



UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU
FACULTE DES SCIENCES BIOLOGIQUES ET DES
SCIENCES AGRONOMIQUES
DEPARTEMENT DES SCIENCES BIOLOGIQUES



Mémoire de fin de cycle

*En vue d'obtention du diplôme de master en biodiversité et
environnement*

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Biodiversité et environnement

*Etude d'une zone humide montagneuse
en Kabylie cas du :
« Lac noir d'Akfadou »*

Présenté par :



Melle. LEMDANI Sabrina



Melle. OUAKED Lylia

Devant le jury composé de :

Président:	M. OUDJIANE AHMED	MAA	UMMTO
Promoteur:	M. METAHRI M ^{ed} SAID	MCA	UMMTO
Examineur:	M. SMAIL ADEL	MCB	UMMTO

Promotion 2019/2020

Remerciements

Nous tenons d'abord à dire et écrire EL HAMOUDOULLAH, et donc à remercier ALLAH de nous avoir guidé et donné le courage pour mener à bien ce travail.

Nos remerciements vont ensuite à notre promoteur Dr METAHRI Mohammed Saïd qui a su nous guider et nous faire progresser tout au long de ce travail. On ne trouve certainement pas la formule pour exprimer notre reconnaissance et notre entière gratitude pour son soutien total. Un honneur pour nous d'avoir travaillé avec lui et certainement sans lui ce travail n'aurait jamais abouti

Nous remercions également le président de jury monsieur OUDJIAN AHMED d'avoir accepté de présider le jury malgré ses multiples occupations, il était le premier à nous encourager à choisir et à entamer ce thème

Nous rendons grâce à monsieur SMAIL ADEL, pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de lire, de juger ce travail et de participer à la soutenance.

Enfin nos vifs remerciements s'adressent à monsieur RAMDINI RAMDANE, pour son soutien, son encouragement et ses orientations. Ses excellentes qualités humaines et scientifiques seront pour nous une référence.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

À mes très chers parents, qui m'ont soutenu et encouragé tout au long de mes études.

À mon cher et unique frère Faten.

À mes deux sœurs Lydia et Chanez. À mes deux chères grands-mères.

À tous mes oncles et tantes paternels et maternels. À tous mes cousins et cousines.

À ma meilleure amie et binôme Sabrina pour son encouragement et sa patience sans limite, ainsi que toute sa famille.

À tous mes amis Kenza, Lydia, Kenza. Plus particulièrement Ahmed pour son soutien et son encouragement.

À tous ceux qui, de loin ou de près, ont contribué à la réalisation de ce travail.

LYLIA

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

A ma mère, en reconnaissance pour son amour, son éducation, sa patience et ses sacrifices qui m'ont permis d'atteindre cette étape de ma vie. Je prie le bon dieu de la bénir en espérant qu'elle sera toujours fière de moi

A mes chers grands parents, spécialement ma grand-mère pour son soutien et ses encouragements

A ma chère sœur jumelle SABIHÀ, ainsi qu'à toutes mes sœurs : NABELLA, ANIA et la petite KATIA

A mon cher et unique frère AHMED

*A tous mes Oncles et
tantes. A tous mes cousins
et cousines.*

A ma meilleure amie et binôme CHAHRA pour son encouragement et sa patience sans limite, à sa maman, sa sœur LYDIA et à toute sa famille

*A tous mes amis, particulièrement YAHIA, KENZA et LYDIA
A tous ceux qui ont de loin ou de près contribué à la réalisation de ce travail.*

SABRINA

Liste des abréviations

Ex : Exemple

MTH : Maladies à transmission hydriques

DGF : Direction générale des forêts.

MES : Matières en suspension

NTU : Unité de Turbidité Néphélométrique

C.I.E : Centre d'Information de l'Eau

pH : Potentiel hydrogène

°F : Degré français

T° : Température.

DBO : Demande biologique en oxygène

DCO : Demande chimique en eau

TAC : Titre Alcalimétrique Complet.

OMS : Organisation mondiale de la santé

COP : Conférence de partie contractante

UNSCO : Coordonnateur spécial des Nations Unies (United Nations Special Coordinator for the Middle East Peace Process)

UICN : Union internationale pour la conservation de la nature

Liste des figures

Figure n° 1 : Les états de l'eau	6
Figure n° 2 : Cycle de l'eau	8
Figure n° 3 : Répartition de l'eau sur la terre.....	9
Figure n°4 : Stratification thermique d'un lac	14
Figure n°5 : Fonctions des zones humides, effets et perceptions	28
Figure n° 6 : Localisation de la forêt d'Akfadou.....	41
Figure n° 7 : Climagramme pluviométrique d'Emberger pour la région d'Akfadou... ..	42
Figure n° 8 : Le lac noir (Agelmim Averkan) sur carte map.....	44
Figure n° 9 : Lac noir, photo prise par drone période de basses eaux.....	58
Figure n° 10 : Lac noir, période de hautes eaux.....	59
Figure n° 11 : Mesure de l'oxygène dissous et de la température in situ (09/03/2020)....	60
Figure n° 12 : Mesure du pH d'un échantillon au sein du laboratoire (10/03/2020).....	60
Figure n° 13 : Mesure de la turbidité au laboratoire (10/03/2020).....	61

Liste des tableaux

Tableau n°1 : Principales différences entre eaux de surfaces et eaux souterraines.....	12
Tableau n°2: Quelques exemples des valeurs des zones humides et leurs contributions à la population.....	32
Tableau n°3 : Liste des 50 zones humides classées par Ramsar en Algérie.....	37
Tableau n° 4 : (Suite) liste de 50 zones humides classées par Ramsar en Algérie.....	38
Tableau n° 5 : Classes de turbidité de l'eau	47
Tableau n° 6: Qualité de l'eau en fonction de la DBO5.....	54

Remerciements

Dédicaces

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Sommaire

Introduction générale.....	2
-----------------------------------	----------

Partie bibliographique

Chapitre I : Généralités sur les eaux naturelles

1. Définitions.....	6
2. Diversité des milieux aquatiques	7
2.1 Cycle de l'eau	7
2.2 Les réservoirs de l'eau	9
3. Les ressources en eaux	9
3.1 Les eaux atmosphériques	9
3.2 Les eaux souterraines	10
3.2.1 Les eaux de sources.....	11
3.3 Les eaux de surfaces	11
3.3.1 Les eaux de mer	11
3.4 Les eaux stagnantes	13
3.5 Les eaux de lac	13
3.5.1 Stratification thermique d'un lac.....	13
3.5.2 Les caractéristiques physicochimiques d'un lac	14
3.5.3 Le peuplement d'un lac.....	15
4. Pollution des eaux naturelles	15
4.1 Définitions.....	15
4.2 Origine de la pollution hydrique	16
4.3 Les différents types de la pollution hydriques	17
4.4 Les différentes formes de la pollution.....	18

4.5 Impact de la pollution de l'eau sur l'environnement	19
---	----

Chapitre 02 : Généralités sur les zones humides

1. Définition	23
2. La convention de Ramsar.....	25
3. Importance des zones humides.....	26
4. Conservation des zones humides	26
5. Fonctions et valeurs des zones humides.....	28
5.1 Fonctions des zones humides	28
5.2 Valeurs des zones humides	30
6. Les dangers menaçant les zones humides... ..	33
7. Zones humides en Algérie : typologie et importance.....	35

Partie expérimentale

Chapitre 03 : Matériels et méthodes

1. Présentation de l'Akfadou... ..	40
1.1 Situation géographique et cadre administratif.....	40
1.2 Cadre hydrographique et climatique	41
2. Le lac noir	44
3. Caractéristiques écologiques du site.....	45
3.1 Richesses floristiques	45
3.2 Richesses faunistiques	46
4. Critère d'évaluation des eaux du lac	47
4.1 Qualité organoleptique	47

4.2 Qualité physique	48
4.3 Qualité chimique	49
4.4 Qualité biologique	54

Chapitre 04 : Résultats et discussion

1. Classement du fonctionnement biologique du lac noir	57
2. Mesure des paramètres de qualité de l'eau du lac noir.....	58
3. Evaluation du pouvoir auto-épurateur du lac noir.....	61
4. Impacte de l'activité anthropique	62
5. Un statut pour protéger la forêt d'Akfadou	64
6. De la nécessité d'une gestion des zones humides	64

Conclusion générale	66
----------------------------------	-----------

Perspectives

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Abstract

Introduction générale

L'eau, l'élément le plus abondant de la planète, son importance dans les activités, ainsi que dans l'économie humaine ne cesse d'augmenter; considérée comme ressource inépuisable elle est très inégalement répartie sur le globe, en effet la planète terre abrite environ 1 386 000 000 km³ d'eau (Anctil, 2008) ; la majeure partie (97%) de cette eau est présentée sous forme d'eau salée dans les mers et les océans, difficilement valorisable pour les activités humaines, les 3% restants (36 millions de km³), plus des trois-quarts constituent les glaciers très peu accessibles. le un-quart restant comprend essentiellement des eaux souterraines (lieux humides, à 1% de l'eau totale du globe) et une faible partie sous forme d'eaux de surface contenues dans les lacs et les rivières (soit 0,01% de l'eau de la planète) (Rimini, 2007). Au vu de ces données, il est à noter que notre planète est globalement un ensemble de milieux humides.

L'eau avec ces caractéristiques physiques et chimiques joue un rôle primordial dans la formation et l'évolution des écosystèmes naturels humides (Barnaud et Fustec, 2007). Par ailleurs, l'homme avec ces activités anthropiques afin de répondre à ces besoins quotidiens participe directement ou indirectement à la destruction de ces écosystèmes hydriques à un rythme inquiétant (Redouane et Aouali, 2012).

Les zones humides sont des milieux situés sur les zones de transition entre terre et eau. Leur nature est étroitement liée au type de fonctionnement hydrologique et notamment aux modes d'alimentation en eau (nature des écoulements, position dans le bassin versant...) qui conditionnent leur dynamique spatiale et temporaire (Matieu, 2006). Elles sont situées généralement sur les points topographiques bas, ou aux abords des cours d'eau mais peuvent se rencontrer sur des plateaux, des cratères ou autre et ceci en fonction de la présence d'eau.

Ces zones occupent aujourd'hui une place importante dans notre société et sont un sujet d'actualité par leurs multiples fonctions et les services écosystémiques rendus à l'homme. En tant que ressources naturelles, elles présentent des intérêts scientifiques économiques ainsi qu'esthétiques. Elles sont aussi d'une grande importance pour les programmes de recherche pour la conservation biologique. Outre le fait que l'homme ait appris à en tirer profit par l'élevage, les diverses cultures, la navigation, l'aspect récréatif ou la dimension paysagère, elles sont aussi de véritables régulatrices du régime des eaux et du climat, des gardiennes du sol et de l'eau potable, des épuratrices de l'eau et d'incroyables réservoirs de biodiversité.

Les zones humides, sont donc des écosystèmes particuliers, considérées comme des zones tampons entre les milieux terrestres et aquatiques (Fustec et Lefeuvre, 2000). Elles sont

reconnues pour l'importance de leur écosystème en tant que support de biodiversité (Maman et Vienne, 2010) et lieux de sa conservation (Matieu, 2006). Elles constituent un patrimoine naturel exceptionnel, de par la richesse biologique qu'elles abritent et toutes les fonctions qu'elles remplissent.

De nos jours, les dirigeants poussés par les scientifiques et les organisations de protection de la nature ont pris conscience de leur grande valeur, mais aussi de la dégradation qu'elles subissent et de leur fragilité. On assiste à une prise de conscience à l'échelle mondiale de la nécessité de les préserver et de les protéger. La démarche dans ce sens est en marche.

Selon Saifouni (2009), la régression et la disparition progressives des zones humides, constituent pour l'environnement, un préjudice grave, parfois irrémédiable, qu'il faut empêcher.

L'Algérie qui a ratifié la convention Ramsar en 1982, en inscrivant deux premiers sites : le lac Obéira et le lac Tonga qui sont également des zones intégrales du parc national d'El Kala dans l'extrême nord-est du pays. Et depuis, il a été procédé au classement de 50 zones humides sur la liste Ramsar qui ont une importance internationale, totalisant une superficie globale de plus de 2.99 millions d'hectares.

L'Algérie compte environ 1500 zones humides, 1000 naturelles et 500 artificielles (barrages et autres retenues). Récemment ce nombre a été élevé à 2300, mais l'inventaire est approximatif et imprécis. Il reste en effet à parfaire les critères d'inventaires car une zone humide ce n'est pas uniquement la présence d'eau. Les zones humides algériennes se distinguent par une forte diversité dont certaines sont d'une indéniable originalité.

Dans notre région d'étude, tous les barrages, toutes les retenues collinaires ainsi que tous les cours d'eau de moyenne ou de petite importance sont de vraies zones humides qu'il convient de protéger de toute pollution et de toute construction. La plupart de ces zones sont en outre de parfaits tours d'observation dont se servent les amateurs, les chercheurs et les étudiants, en plus du fait qu'elles constituent, pour certaines d'entre-elles, des espaces de repos.

Dans ce travail, nous avons pris l'exemple du « Lac noir », un milieu humide qui se situe dans le massif d'AKFADOU à Bejaïa, ce site est considéré comme une destination des milliers de visiteurs ce qui le remet sous une énorme pression anthropique.

Quel est le rôle du lac noir et quel est son fonctionnement biologique ?

Quel est l'impact des activités humaines sur ce site ?

L'objectif de notre travail est de classer le fonctionnement biologique du lac noir ainsi que d'évaluer son pouvoir auto épurateur, enfin de montrer les dangers que ce site subit et de trouver une initiative environnementale qui parviendrait à le protéger.

Pour répondre aux problématiques posées, atteindre les objectifs de ce travail et avoir une approche initiative nous avons organisé notre travail ainsi :

Le premier chapitre est consacré aux généralités sur les eaux naturelles, ce en montrant leurs caractéristiques organoleptiques, physicochimiques et bactériologiques d'après les normes Algériennes

Le deuxième consiste en une étude bibliographique des zones humides et ce en détaillant leurs caractéristiques, leurs valeurs ainsi que leurs fonctions ; où nous avons pris l'exemple d'une zone qui se trouve en Kabylie intitulée « Lac noir », située dans le massif d'Akfadou à Bejaia.

Le troisième chapitre expose le matériel utilisé, la méthodologie expérimentale et il vise à :

- Présenter le site d'étude et ses initiales caractéristiques écologiques.
- Expliquer les critères d'évaluation des eaux du lac noir d'Akfadou.

Le dernier chapitre détaille la discussion des résultats obtenus ainsi que leur interprétation, cette partie vise à :

- Classer le fonctionnement biologique du lac noir.
- Evaluer les capacités auto épuratrices de ce lac.
- Montrer l'impact des activités anthropique sur ce site.

Notre travail est clôturé par une conclusion suivie de quelques perspectives.

Afin de mieux répondre aux problématiques posées, une exploration des documents (ouvrages, conventions, articles, analyse des exemples) a été d'une nécessité pour tirer les concepts utilisés et les introduire dans notre travail.

Chapitre I :
Généralités sur les
eaux naturelles

1. Définitions

L'eau est une molécule très particulière dont la structure et les propriétés sont beaucoup plus complexes que sa formule chimique (H_2O) si simple. C'est une molécule polaire dont la configuration permet l'association avec d'autres molécules par la formation de liaisons hydrogènes qui sont dipolaires de faible énergie (Grosclaude, 1999). La molécule d'eau est composée de deux atomes d'hydrogène et d'un atome d'oxygène soumis à des liaisons covalentes, disposés en V inversé selon un angle de 105° ; sa dimension moyenne est de l'ordre de $3.3 \text{ \AA}$, on la note donc : H_2O (Defranceschi, 1996).

L'eau est un liquide incolore, inodore, sans saveur et de pH neutre ; c'est un excellent solvant entrant dans la composition de la majorité des organismes vivants. S'allie avec certains sels pour former des hydrates et réagit avec des oxydes de métaux pour former des acides. Elle est utilisée comme catalyseur dans de nombreuses réactions chimiques importantes (Bernard, 2007).

L'eau se retrouve sous trois formes : (Figure 01)

- Liquide : caractérisée par une forme non définie. Les molécules peuvent se déplacer les unes par rapport aux autres mais elles restent proches car elles sont liées par des forces intermoléculaires tels que ; l'eau salée des mers et des océans, eau douce des lacs, ou des rivières.
- Solide : à basse température, l'eau est appelée glace et possède des structures cristallines régulières ; tels que la neige ou la glace.
- Gazeuse : caractérisée par une absence de forme et de limite physique, il n'y a pas de liaisons entre les molécules, et sont indépendantes les unes des autres ; c'est la vapeur d'eau (Bordet, 2007)

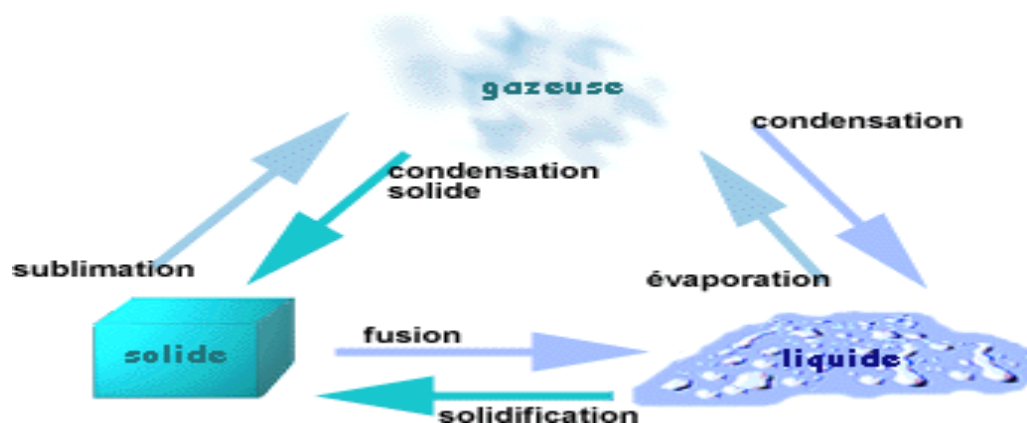


Figure01 : Etats de l'eau (Anonyme, 2009)

Dans la nature on y trouve principalement deux types de ressources hydriques :

- La ressource conventionnelle : celle retrouvée dans le milieu naturel (rivière, nappes souterraines, milieu aquatiques de surface (lacs, canaux...), ces eaux sont destinées à produire les eaux de consommation. L'accès à cette ressource hydrique est parfois naturel, mais généralement des accès artificiels nécessitant des captages, des forages et les infrastructures de rétention ; les ressources conventionnelles présentent des qualités organoleptiques, physicochimiques et biologiques admissibles pour une potabilisation (Metahri, 2012).
- La ressource non conventionnelle : Elle représente l'ensemble des ressources hydriques qui ne sont pas directement accessibles à la potabilisation. Constituée principalement de l'eau des mers et des océans de l'eau des calottes glaciaires et des eaux usées (Metahri, 2008).

2. Diversité des milieux aquatiques

La notion du milieu aquatique englobe, dans le domaine continental, des types très variés d'écosystèmes qui comprennent aussi bien des eaux courantes (sources, ruisseaux, torrent, rivières, fleuves et canaux) que des zones humides (marais, tourbières) ainsi que des eaux dites stagnantes (mares, étangs, gravières, ballastières, lacs,.....) (Grosclaude, 1999).

2.1 Cycle de l'eau

De l'océan à la terre, l'eau opère un circuit fermé qui est le même depuis des milliards d'années, (Lounnas, 2009). Ce circuit est principalement lié à l'évaporation, (Figure 02) l'eau des mers s'évapore dans l'atmosphère, sous l'effet de la chaleur du soleil, elle forme ensuite des nuages qui vont se déplacer sous l'impulsion des vents. Sous l'effet de la gravité, les gouttelettes qui constituent les nuages s'alourdissent et retombe sur le sol sous forme de précipitations (pluie, grêle, neige). Ces eaux pluviales vont permettre d'alimenter les nappes phréatiques souterraines qui vont recharger les cours d'eau, lesquels se jetteront à leur tour dans la mer.

Le cycle peut se résumer alors en quelques étapes majeures :

- L'évaporation : se déroule grâce à l'énergie solaire, l'eau des mers et des océans s'évaporent dans l'atmosphère, en se débarrassant de son sel et de ses impuretés. L'évaporation peut également provenir de la terre, ce qui est appelé évapotranspiration ;

un phénomène qui transforme en vapeur d'eau les eaux des rivières, des lacs, des sols, des animaux, et surtout des végétaux.

➤ La condensation : au contact de l'atmosphère, la vapeur d'eau se refroidit et se transforme en gouttelettes qui vont former les nuages, la brume ou le brouillard.

➤ Les précipitations : sous l'impulsion du vent et de la gravité les nuages se déplacent dans l'atmosphère, et retombent sur le sol sous forme d'eaux pluviales, 97% des précipitations tombent sur les océans, les 21% restants tombent sur la terre, puis viennent alimenter les nappes phréatiques soit par infiltration ou par ruissellement (Atteia, 2005)

Les eaux de pluie qui pénètrent dans le sol, par infiltration peuvent stagner jusqu'à des milliers d'années avant de retourner dans les océans. Toutes les eaux issues du ruissellement (ruisseaux, rivières, fleuves et lacs) sont appelées cours d'eau de drainage.

Durant son cycle, l'eau va passer dans différents réservoirs naturels, pour y rester plus ou moins longtemps avant de reprendre son voyage vers les mers et les océans, ce temps de stagnation s'appelle temps de résidence de l'eau, et varie suivant les types de réservoirs :

- Atmosphère : 8jours.
- Rivières : quelques jours.
- Lacs : 17 ans.
- Nappes souterraines : de quelques jours à plusieurs années.
- Océans : 2500 ans.
- Glaciers : plusieurs années.

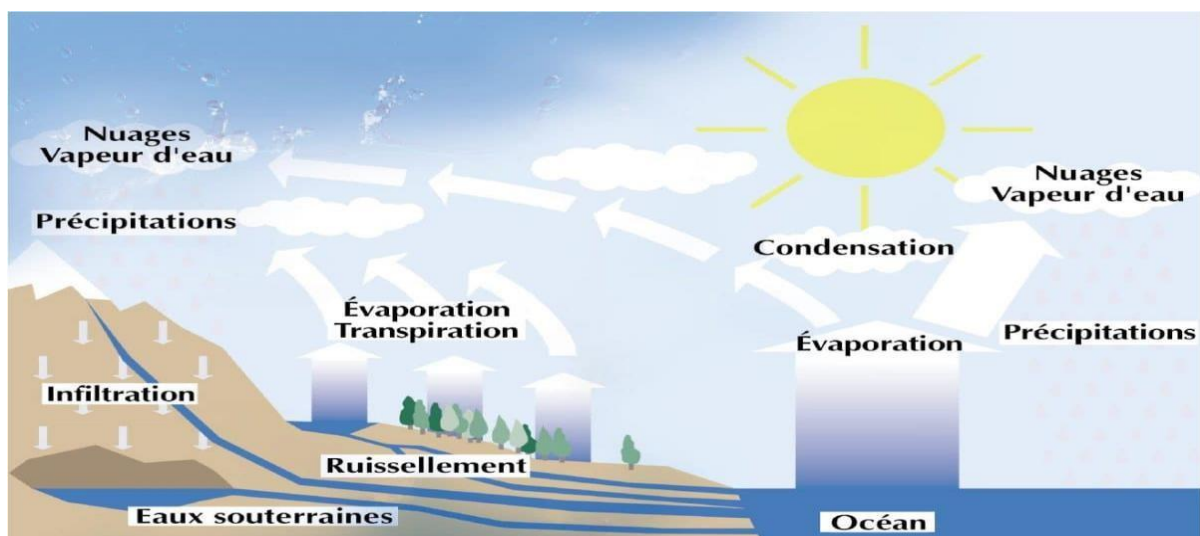


Figure 02 : Cycle de l'eau (Anonyme 1, 2009).

2.2 Les réservoirs de l'eau

L'eau est le liquide le plus abondant sur la terre dont le volume total est d'environ 1.386 milliards de km³ dont environ 97 % contenue dans les océans (Figure 03) ; elle est salée, ce qui la rend inutilisable pour l'homme. L'eau douce est à plus de 68,3 % dans les glaciers. Environ 31% de ces eaux douces se trouve dans le sol. Les sources d'eau douce de surface, comme les rivières et les lacs, totalisent 93100 km³, ce qui représente 0.0067 % de la quantité totale de l'eau sur Terre. Cependant, les rivières et les lacs sont les sources de la plupart de l'eau qui est utilisée par les hommes tous les jours ; donc il est indispensable à la survie de l'espèce vivante terrestre (Assouline et Assouline, 2007).

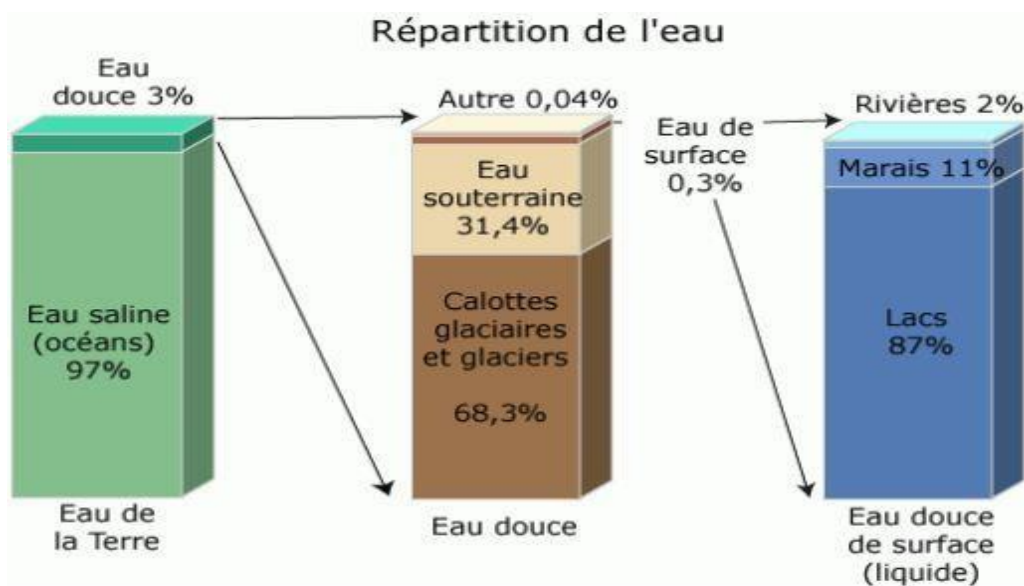


Figure 03: Répartition de l'eau sur la terre (Observatoire Régional de l'Environnement, 2014).

On retrouve quatre sources principales d'eaux: les eaux atmosphériques (pluie), les eaux de surfaces douces, les eaux souterraines et les eaux de mers. Les caractéristiques générales de chacune de ces sources reflètent l'interaction de l'eau et du milieu environnant (Desjardins, 1997).

3. Les ressources en eaux

3.1 Les eaux atmosphériques

Elles sont des eaux de bonnes qualités pour l'alimentation humaine, elles sont saturées d'oxygène (9.15mg/l) et d'azote (16.3mg/l) et ne contiennent aucun sel dissous, comme les sels de magnésium et de calcium, elles sont donc très douces (Desjardins, 1997).

Elles se trouvent essentiellement sous la forme gazeuse, en moyenne, seulement 4% sous forme liquide ou solide au sein des nuages. L'eau atmosphérique est généralement précipitée sous forme d'eau de pluie qui est constituée de particules liquides dont le diamètre est de l'ordre de 0,5 à 3 mm (jusqu'à 7mm dans le cas d'averses), mais, en fait, il faut environ un million de microgouttelettes pour créer une goutte de pluie (Cosandey *et al.*, 2003).

3.2 Les eaux souterraines

Les eaux souterraines résultent de l'accumulation des infiltrations dans le sol qui varient en fonction de sa porosité et de sa structure géologique. Elles se ruissellent vers les nappes. Il existe plusieurs types. La nappe libre est directement alimentée par les eaux de ruissellement. Elle est très sensible à la pollution (Cardot, 2002 in Ben abdarrezzak, 2010).

Les eaux souterraines alimentent un grand nombre de petites municipalités. Elles ont des caractères très diversifiés. Elles sont généralement limpides, incolores, peu minéralisées et ne contiennent pas de microorganismes dangereux. Elles sont potables variables, selon la nature du sous-sol, et la profondeur du puits (Degremont, 1997). Les eaux souterraines sont généralement d'excellente qualité physicochimique et bactériologique. Elles restent jusqu'à présent les meilleurs ressources en eau potable.

Quant à la qualité des eaux souterraines la nature géologique du terrain a une influence déterminante sur la composition chimique de l'eau retenue. A tout instant, l'eau en contact avec le sol dans lequel elle stagne ou circule : il s'établit donc un équilibre entre la composition du terrain et celle de l'eau. Les eaux circulant dans un sous-sol sablonneux ou granitique sont acides et peu minéralisées, celle circulant dans des sols calcaires sont bicarbonatées calciques. Étant donné que les eaux souterraines sont généralement pures sur le plan bactériologique elles constituent une meilleure solution que les eaux de surface en termes de génie sanitaire. En la réalité, les eaux souterraines sont rarement stables tout au long de l'année. Il faut étudier leur évolution surtout pendant les précipitations importantes où elles peuvent devenir troubles ou même être souillées par une nappe phréatique d'une rivière voisine. Elles peuvent être également polluées à partir du sol par des épandages de pesticides et des rejets d'eau résiduaire d'origines agricole ou domestiques.

3.2.1 Les eaux de sources

Les sources représentent l'émergence des eaux souterraines, elles sont plus fréquemment rencontrées dans les régions montagneuses (Bouziani, 2000).

Une eau de source est une eau d'origine souterraine microbiologiquement saine et protégée contre le risque de pollution, apte à la consommation humaine sans autre traitement que, décantation, filtration et/ou aération et/ou adjonction de gaz carbonique (Grosclaude et Coord, 1999).

3.3 Les eaux de surface

Elles ont pour origine, soit les nappes profondes, dont l'émergence constitue une source de ruisseaux et de rivières. Ces eaux de ruissellement se rassemblent en cours d'eaux caractérisées par une surface de contact eau atmosphère toujours en mouvement (Degremont, 2005).

Elles peuvent se trouver stockées en réserves naturelles (lacs) ou artificielles (retenues et barrages) caractérisées par une surface d'échange eau-atmosphère quasiment immobile, une profondeur qui peut être importante et un temps de séjour appréciable (Degremont, 2005).

3.3.1 Les eaux de mer

Les eaux de mer sont des sources d'eau brute qu'on n'utilise que lorsqu'il n'y a pas moyen de s'approvisionner en eau douce. Les eaux de mer sont caractérisées par leur concentration en sels dissous, il s'agit de la salinité. La salinité de la plupart des eaux de mer varie de 33000 à 37000 mg/l (Desjardins, 1997).

Selon Degremont (2005), les eaux de surface et les eaux souterraines se différencient selon les critères suivants (Tableau 1).

Tableau 1: Principales différences entre eaux de surface et eaux souterraines (Degremont, 2005).

Caractéristique	Eaux de surface	Eaux souterraines
Température	variable suivant saisons	relativement constante
Turbidité MES	variable, parfois élevée	faible ou nulle
Couleur	liée surtout aux MES (argiles, algues...) sauf dans les eaux très douces et acides (acides humiques)	liée surtout aux matières en solution (acides humiques) ou due à une précipitation (Fe-Mn)
Goûts et odeurs	fréquents	rare (sauf H₂S)
Minéralisation globale (ou: salinité, TDS...)	variable en fonction des terrains, des précipitations, des rejets...	sensiblement constante ; en générale, nettement plus élevée que dans les eaux de surface de la même région
Fe et Mn divalents (à l'état dissous)	généralement absents, sauf en profondeur des pièces d'eau en état d'eutrophisation	généralement présents
CO₂ agressif	généralement absent	souvent présent en grande quantité
O₂ dissous	le plus souvent au voisinage de la saturation: absent dans le cas d'eaux très polluées	absent la plupart du temps
H₂S	généralement absent	souvent présent
NH₄⁺	présent seulement dans les eaux polluées	présent fréquemment sans être un indice systématique de pollution bactérienne
Nitrates	peu abondants en général	teneur parfois élevée
Silice	teneur en générale modérée	teneur souvent élevée
Micropolluants minéraux et organiques	présents dans les eaux de pays industrialisés, mais susceptibles de disparaître rapidement après suppression de la source	généralement absents, mais une pollution accidentelle subsiste beaucoup plus longtemps
Eléments vivants	bactéries (dont certaines pathogènes), virus, plancton (animal et végétal)	ferrobactéries et sulfatoréductrices fréquentes
Caractère eutrophe	possible: accentué par les températures élevées	non

3.4.1 Les eaux stagnantes

Il existe un continuum entre les cours d'eau typique, à courant plus ou moins rapide selon la pente des terrains, et les eaux dites stagnantes résultant de l'accumulation de l'eau dans les dépressions naturelles ou artificielles (mares, étangs, lacs et retenues).

Le temps de séjour des eaux, caractéristique fondamentale des eaux stagnantes, est extrêmement variable, dépendant de l'importance des apports annuels par rapport au volume de la cuvette. Ce paramètre essentiel représente le temps durant lequel l'eau subit l'influence des facteurs qui vont conditionner son évolution physico-chimique et biologique (Grosclaude, 1999).

3.5 Les eaux des lacs

Elles sont caractérisées par un courant de vitesse nulle, ou quasi nulle. Elles sont souvent des eaux moins pures (Genin et *al*, 1989 in Ben abdarrezzak, 2010). Elles se caractérisent par une forte charge en impuretés et par une pollution biologique et chimique. Les lacs doivent faire l'objet de grandes précautions à prendre : il faut placer la prise d'eau en amont d'une ville pour éviter la pollution par les égouts se déversant dans le lac. On doit en outre craindre les possibilités de courants de retour, dus à certains vents, qui peuvent ramener l'affluent des égouts vers la prise d'eau d'alimentation (Bouziani, 2000).

3.5.1 La stratification thermique d'un lac

Se définit comme étant la formation de couches d'eau distinctes superposées les unes sur les autres. La formation de ces couches est due à une différence de température entre les couches, ce qui entraîne une différence de densité de l'eau (Figure 04).

- **L'épilimnion** : est la couche de surface la plus chaude où il y a abondance de lumière et où la productivité biologique est la plus importante. Le vent permet à cette couche de se mélanger ; ce qui engendre une homogénéisation de l'oxygène dissous et des autres éléments présents (ex.: phosphore). L'épaisseur de cette couche varie au cours de la saison.

- **Le métalimnion** : est la couche intermédiaire. Dans cette couche d'eau, la température varie rapidement avec la profondeur. Elle est plus froide que l'épilimnion mais plus chaude que l'hypolimnion. La diminution de la température crée une barrière physique entre les couches d'eau liée à la différence de densité. L'oxygène peut y être encore abondant.
- **L'hypolimnion** : est la couche froide inférieure faiblement éclairée où la température varie peu. L'oxygène dissous, introduit lors des brassages saisonniers, est utilisé entre autres pour la décomposition de la matière organique. Parfois, l'oxygène disparaît complètement de cette couche d'eau, phénomène que l'on appelle anoxie (Hade, 2002)

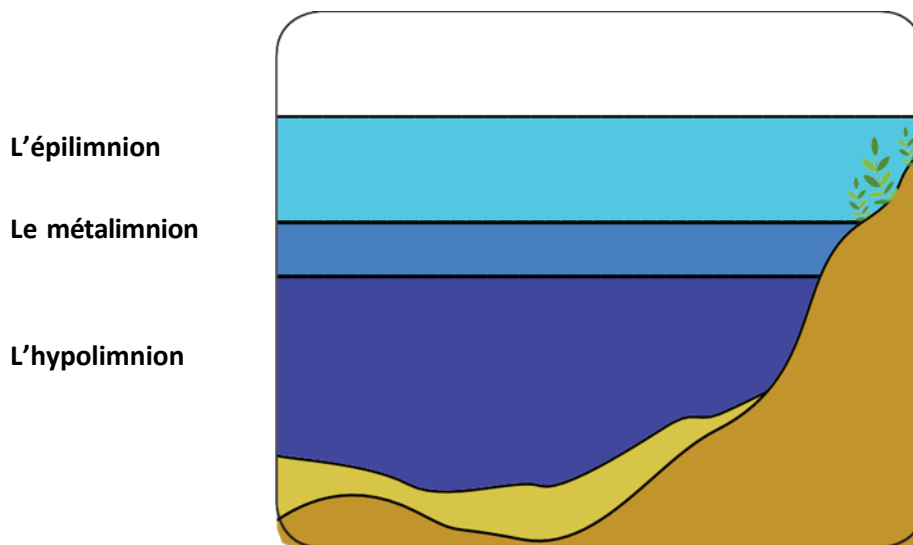


Figure 04 : Stratification thermique d'un lac (Hade, 2002).

3.5.2 Les caractéristiques physicochimiques des lacs

- **Lacs Oligotrophes** : possèdent des eaux pauvres en azote et en phosphore. Ils ont peu de phytoplancton et ce dernier est composé de beaucoup de chlorophycées et de diatomées et de peu de cyanophycées. La teneur de l'eau en oxygène dissous y est élevée ; les eaux sont bleues et transparentes. (Dajoz, R.)
- **Lacs Eutrophes** : riches en substances nutritives et ont habituellement des sédiments chargés de matières organiques. Dans les lacs ayant une stratification thermique, l'épilimnion (couche supérieure chaude) est aérobie, alors que l'hypolimnion (couche inférieure plus froide et plus profonde) est souvent anaérobie (en particulier si le lac est riche en éléments nutritifs). (Prescott, Harly, Klein.)

3.5.3 Le peuplement des lacs

Les lacs se distinguent principalement selon une différence de peuplements entre leurs zones

➤ **La zone littorale :**

- Une ceinture de roseaux (phragmite)
- Une ceinture de scirpes
- Une ceinture de nymphéacées et de potamots vers 1 mètre de profondeur.
- Une ceinture de characées : vers 2 à 3 mètres.

Dans les lacs oligotrophes : la végétation est moins dense avec des isoètes, littorella et des characées. La faune est riche et variée avec des crustacés, annélides et de nombreux insectes.

➤ **La zone sublittorale :**

Est une zone de transition qui s'étend jusqu'à 30 mètres environ. Elle est surtout peuplée de lamellibranches, et les chironomides commencent à y prendre de l'importance. La zone profonde n'existe que dans les lacs comme le Léman.

4. Pollution des eaux naturelles

4.1 Définition

Lorsqu'on parle généralement de la pollution nous pensons habituellement aux matières toxiques produites par l'homme dans l'environnement. Le terme pollution ne doit pas être utilisé que lorsqu'il y'a dommage réel ou potentiel (Kenneth et François, 1976).

Le terme pollution désigne l'ensemble des rejets de composés toxiques que l'homme libère dans l'écosphère, mais aussi les substances qui, sans être dangereuses pour l'organisme vivant exercent une action perturbatrice sur l'environnement. (Ramade, 2005).

La pollution est un énorme problème pour l'humanité, elle menace son écosystème ainsi que son existence. Parmi ces problèmes, la contamination de l'eau se pose avec acuité. En effet, l'eau est affectée de façon croissante par des matières minérales et organiques et même des microorganismes dont certains sont pathogènes ; donc dangereux pour la santé.

La pollution de l'eau est toute modification physique ou chimique de sa qualité, qui a une influence négative sur les organismes vivants ou qui rend l'eau inadéquate aux usages souhaités. On dit que l'eau est polluée, lorsque sa composition ou son état est directement ou indirectement

dégradée. L'eau souterraine, qui est jugée la plus potable, est la ressource la plus couramment utilisée dans les pays en développement. Cependant, cette eau est aussi très vulnérable à la pollution (Kenneth et François, 1976).

4.2 Les origines de la pollution de l'eau

Elle provient essentiellement des activités domestiques urbaines, industrielles et agricoles, ainsi que des précipitations, elle perturbe les conditions de vie de la flore et la faune aquatique, et déséquilibre le milieu

4.2.1 Les origines domestiques et urbaines

Les eaux usées urbaines, essentiellement constituées par des eaux domestiques provenant de l'activité humaine (ménagères : eau de cuisine, toilette, lavage...etc.). Ce sont des eaux concentrées en pollution organique mais dont le volume est 2 à 3 fois plus élevé. Elles représentent le deux tiers de la charge organique (Villagines, 2003).

4.2.2 Les origines industrielles

La pollution d'origine industrielle se caractérise par quelques traits spécifiques, elle provient des sources ponctuelles établissements industriels aisément identifiables, d'autre part, elle est directement liée aux aspects techniques de processus de fabrication ou des installations de traitement mis en œuvre (Villagines, 2003).

Les eaux industrielles ou résiduaires véhiculent des produits chimiques toxiques (arsenic, acide sulfurique ou cyanure et divers métaux lourds) elles posent à l'heure actuelle de multiples problèmes par leur risque toxique chez tous les êtres vivants (Bouziani, 2000).

4.2.3 Les origines agricoles

L'utilisation irrationnelle des engrais chimiques et des pesticides, mais ce sont surtout les pratiques culturales modernes qui en sont en causes : labourages profonds et violents favorisant l'infiltration directe dans le sous-sol sans autoépuration (Castany, 1998).

L'enrichissement de l'eau en éléments nutritifs "eutrophisation" notamment par les engrais azotés et phosphatés conduit à la prolifération d'algues et de végétaux et à la dégradation des caractéristiques de l'eau (acidité, goût, odeur) la pollution des eaux et aussi un enjeu pour la production d'eau potable (NGO, 2004).

4.3 Les différents types de pollution hydrique

Les causes de la pollution sont étendues avec l'accroissement de la population et le développement accéléré des techniques industrielles modernes (Ramade, 1998). Selon leur nature, on distingue divers types de pollutions

4.3.1 Pollution physique

L'utilisation de l'eau comme liquide de refroidissement de centrales thermiques réchauffe les rivières dans lesquelles le rejet s'effectue cette élévation de la température diminue la teneur en oxygène de l'eau et donc la capacité de vie des différentes espèces on y trouve (Eleveque, 1996).

- La pollution radioactive : qui selon la C.I.E (2005) la présence du tritium en grande quantité dans l'eau peut signifier la présence d'autre radionucléides et constitue un indicateur de la contamination de la nappe par les rejets radioactifs liés aux activités humaines.
- La pollution thermique : Ce type de pollution est causé par les rejets d'eaux chaudes provenant des systèmes de refroidissement des centrales nucléaires en particulier. Ces eaux chaudes provoquent la réduction de la teneur en oxygène dissous de l'eau et influent sur l'équilibre biologique du milieu (Gaujous, 1995).

4.3.2 La pollution chimique

La pollution chimique de l'eau devient de nos jours une préoccupation de santé publique, qui prend des formes multiples. Certaines formes de pollution chimique échappent souvent aux méthodes ordinaires de traitement de l'eau et posent par conséquent des problèmes complexes de pollution, tant au niveau de surface, qu'au niveau des nappes. La pollution chimique de l'eau est due essentiellement aux déversements des polluants organiques et des sels de métaux lourds par les industries. L'enrichissement des sols pour augmenter leur productivité agricole, par divers catégories d'engrais et de pesticides est également source de pollution chimique des nappes phréatique souterraines (Vilagines, 2003).

Le phénomène de bioaccumulation perturbe l'écosystème en amplifiant la pollution, les poissons et leurs prédateurs concentrent (à des doses plus fortes que l'eau) les substances toxiques comme les métaux, ou les pesticides organochlorés : c'est le phénomène de concentration le long de la chaîne alimentaire (Bouziani, 2000)

Les rejets de Nitrate et de phosphate; sont des rejets urbains, industriels et des rejets dispersés de l'agriculture, ils peuvent conduire à l'eutrophisation des rivières, une prolifération des végétaux se produit, elle entraîne une diminution ou parfois la disparition des poissons et des espèces animales (Bouziani, 2000).

4.3.3 La pollution organique

Elle est engendrée par le déversement des eaux usées domestiques ou des eaux résiduares provenant des industries textiles, papeteries, industrie de bois, de raffineries et d'abattoirs.

Ces matières organiques qui se présentent aussi bien ; en suspension (particules solides) qu'en solution dans l'eau appelées à devenir des polluants lorsqu'elles sont déversées en quantités massives ou de façon répétée dans les espaces limités en créant une accumulation.

Les matières organiques peuvent être biodégradables c'est-à-dire susceptibles d'être détruites par autoépuration grâce aux micro-organismes présents dans l'eau qui se nourrissent de cette pollution, mais entraînent en contrepartie une consommation importante d'oxygènes dissous. D'autres matières peuvent être non biodégradables (Bechac et *al.*, 1987).

4.3.4 La pollution biologique

Ce type de pollution d'origine humaine et animal est engendré par les rejets urbains, elle est dangereuse particulièrement en présence des micro-organismes pathogènes (*Vibrio Colérique*, *Salmonelles*, *Escherichia-coli*, *Streptocoques fécaux*) Qui peuvent être à l'origine des maladies infectieuses à transmission hydrique (Haslay et Leclerc, 1993).

4.4 Les différentes formes de pollution

4.4.1 La pollution ponctuelle

Elle provient des ressources bien déterminées et qui peuvent être contrôlées par les stations d'épuration (rejets domestiques ou industriels) (Leveque ,1996).

4.4.2 La pollution diffuse

Elle est due principalement aux pratiques agricoles, les engrais gagnent les milieux aquatiques par lessivage des sols en surface et après infiltration dans le sol (Leveque ,1996).

4.4.3 La pollution permanente

Ce type de pollution est très répandu et correspond aux rejets domestiques de grandes villes par exemple.

4.4.4 Pollution accidentelle ou aigue

Résulte du déversement accidentel de produits toxiques dans le milieu naturel, d'origine industrielle, agricole ou lessivage des sols urbains (Chaoui, 2013)

4.5 Impact de la pollution des eaux sur l'environnement

La pollution de l'eau est placée en tête des problèmes environnementaux, et ses effets sont multiples, elle conduit à des mortalités massives d'espèces, et observables à différents niveaux ; dans les nappes par infiltration des eaux usées ; dans les eaux de surface par versement des eaux non drainées, ainsi que les eaux du littoral qui font l'objet d'une pollution permanente par suite des déversements systématiques des bateaux et les rejets industriels (Bouziani, 2000).

4.5.1 Impact sur les eaux superficielles

L'émission des polluants vers les eaux de surface (lacs, cours d'eau, zone humide) est conditionnée par les mêmes facteurs que pour les eaux souterraines. Le transfert vers ces eaux est dicté par l'imperméabilité des sols qui favorise le ruissèlement au détriment de l'infiltration (Chassanac, 2007)

Durant ce transfert, vers les eaux de surface, une atténuation naturelle de la charge polluante est souvent constatée. Elle peut être très efficace dans les zones humides ou la présence conjuguée de la strate des macrophytes (joncs, roseaux, végétation hygrophile) et de sols vasards très riches en matière organique joue en faveur d'une dégradation rapide et d'un piégeage des micropolluants. De même, la capacité auto épuratrice des cours d'eau peut être significative, limitant ainsi le tronçon impacté.

Les impacts types résultent surtout de la mise en solution des polluants solubles, de la surmultiplication d'une microflore spécifique et d'un déficit en oxygénation du milieu (consommation de l'oxygène dissous par les processus de biodégradation).

Ces impacts sont les suivants :

- ✓ Perte de la qualité des eaux et de leur potabilité.

- ✓ Perte de la biodiversité (surdéveloppement d'espèces au détriment d'autres) ;
- ✓ Intoxication de la faune et de la flore par anaérobiose, voire de la chaîne alimentaire par bioaccumulation des micropolluants. (Chassanac, 2007)

Parmi les conséquences de la pollution des eaux on peut cependant citer :

4.5.1.1 Modification des caractéristiques physicochimiques du milieu

C'est une altération de la salinité, l'acidité ou la température de l'eau. Ce qui devient toxique pour les organismes vivant dans le milieu. La baisse de l'oxygène dissous affecte la vie des êtres vivants, ces derniers subissent donc une crise d'hypoxie, conséquence d'un apport trop important de matières organiques.

Les mortalités de la faune et la flore peuvent avoir d'autres origines. C'est notamment le cas lors des marées noires, où les hydrocarbures de type lourds tels que le pétrole brut et autres types de fioul; ont de multiples impacts liés à l'englèvement physique qu'ils provoquent : la végétation recouverte est étouffée, les oiseaux mazoutés sont incapables de voler et ne peuvent plus s'alimenter...

Les déchets peuvent aussi nuire à la biodiversité, en particulier aux animaux marins et côtiers qui les confondent avec des proies et les ingèrent. Par ailleurs, les fragments de plastiques issus de la dégradation des déchets peuvent avoir des effets toxiques ou provoquer des perturbations endocriniennes chez les organismes qui les ingèrent.

4.5.1.2 L'eutrophisation des milieux

L'eutrophisation est l'ensemble des symptômes que présente un écosystème aquatique à la suite d'un apport excessif de nutriments tels que le phosphore et l'azote. L'apport des nitrates et des phosphates stimule fortement la croissance des organismes végétaux, entraînant le développement soudain de plantes ou d'algues, qualifié de "prolifération végétale". Ce phénomène est accentué par les températures élevées, l'abondance de lumière et le faible renouvellement de l'eau.

Les proliférations végétales impactent les milieux et leur biodiversité. Elles entraînent une augmentation de la consommation d'oxygène, notamment la nuit (par la respiration des végétaux) ou lorsque des grands volumes de plantes se décomposent. Des mortalités soudaines d'organismes vivants peuvent alors se produire à cause d'un manque d'oxygène.

4.5.1.3 La contamination des êtres vivants

L'eau est l'un des principaux vecteurs de transmission des maladies, par l'intermédiaire des germes infectieux, et par conséquent la mortalité humaine ; le risque microbiologique est ainsi le premier paramètre à prendre en compte en matière d'alimentation en eau potable. La conséquence sanitaire d'une pollution est variable dans le temps en fonction de l'usage de l'eau (Gaujous, 1995), L'eau potable peut transmettre des virus, bactéries, parasites et des contaminants chimiques, qui menacent la santé humaine par ingestion. Les deux maladies les plus communes liées à l'eau contaminée sont le choléra et la diarrhée (Brundtland, 2002).

On peut répartir ces maladies en trois catégories :

- Les maladies à transmission hydrique « MTH » : les MTH sont des infections d'origine bactérienne, parasitaire ou virale (causées par les microorganismes fécaux- oraux et les substances toxiques) ;
- Les maladies à support hydrique dues aux organismes aquatiques
- Les maladies transmises par les nombreux vecteurs vivants sur l'eau (moustique, mouche tsé-tsé) dont les plus graves infections sont représentées par le paludisme et la fièvre jaune (Bouziani, 2000).

4.5.1.4 Les perturbations endocriniennes

Certaines substances sont capables d'interagir avec le système hormonal, en particulier les fonctions reproductrices ou le métabolisme. En effet, leur structure moléculaire est suffisamment proche de certaines hormones naturelles telles que la testostérone pour perturber le fonctionnement naturel du système hormonal. Ainsi, l'effet de ces polluants n'est pas directement toxique mais provoque des modifications d'ordre physiologique, appelées perturbations endocriniennes. Par ailleurs, ces substances peuvent avoir un effet même à de très faibles doses, comme les micropolluants. Elles sont susceptibles d'avoir des effets différents, ou renforcés, lorsqu'elles sont en mélange.

Dans la mesure où les systèmes hormonaux existent chez les animaux comme chez les végétaux, les perturbations endocriniennes peuvent affecter toute la biodiversité des milieux, mais les conséquences peuvent être très variées, mais conduisent globalement à un déclin des populations.

Chapitre II :

Les zones humides

1. Définition des zones humides

Le terme général de zone humide désigne tous les habitats aquatiques d'eaux stagnantes (lenticques) peu profondes: mares, marais, marécages ou encore lagunes littorales, auxquels s'adjoignent les rives, les cours d'eau, les ripisylves, les bras morts de plaine d'inondation fluviale, la zone littorale des lacs quand à celle-ci est étendue et de très faible relief. En définitive, les zones humides constituent donc souvent des mosaïques d'écosystèmes présentant de multiples connexions au niveau desquelles existent de nombreux types d'écotones (Ramade, 2008).

Touffet (1982 in OEPA, 2005) propose une définition dans le dictionnaire essentiel d'écologie, selon lui les zones humides sont « tous les milieux où le plan d'eau se situe au niveau de la surface du sol ou à proximité. Ils se trouvent ainsi saturés d'eau de façon permanente ou temporaire par des eaux courantes ou stagnantes, douces, saumâtres ou salées. Il s'y développe une végétation adaptée à un engorgement plus ou moins permanent. On comprend dans les zones humides: les zones halophiles et saumâtres, les marais arrière-littoraux, les marais continentaux, les tourbières, les bordures d'étangs et les berges des eaux courantes, les prairies, landes et bois humides établis sur des sols hydromorphes ».

Au sens de la convention de RAMSAR (article 1.1) : « les zones humides sont définies comme étant des étendues de marais, de fagnes, de tourbières ou d'eaux naturelles ou artificielles, permanentes ou temporaires, où l'eau est stagnante ou courante, douce, saumâtre ou salée, y compris des étendues d'eau marine dont la profondeur à marée basse n'excède pas six mètres » (Davis, 1996).

L'article 2.1 stipule aussi que les zones humides pourront inclure des zones de rives ou de côtes adjacentes à la zone humide et des îles ou des étendues d'eau marine d'une profondeur supérieure à six mètres à marée basse, entourées par la zone humide, particulièrement lorsque ces zones, îles ou étendues d'eau ont de l'importance en tant qu'habitat des oiseaux d'eau (Ramsar, 2013).

Cependant, cinq types principaux de zones humides peuvent se présenter :

- Zones humides marines : zones humides côtières comprenant des lagunes côtières, des berges rocheuses et des récifs coralliens.

- Zones humides estuariennes : y compris des deltas, des marais cotidaux et des marécages à mangroves.
- Zones humides lacustres : zones humides associées à des lacs.
- Zones humides riveraines : zones humides bordant les rivières et les cours d'eau.
- Zones humides palustres : c'est à dire marécageuses (marais, marécages et tourbières).

On y trouve aussi, des zones humides artificielles créées par l'homme, telles que des étangs d'aquaculture (à poissons et à crevettes), des étangs agricoles, des terres agricoles irriguées, des sites d'exploitation du sel, des zones de stockage de l'eau, des gravières, des sites de traitement des eaux usées et des canaux (Ramsar, 2013).

Les zones humides sont donc définies comme toute zone de transition entre les systèmes terrestres et aquatiques où la nappe phréatique est proche de la surface du sol, ce sont alors des terrains exploités ou non habituellement inondés ou gorgés d'eau douce, salée ou saumâtre de façon permanente ou temporaire, Ce sont des étendues, de marécage de tourbières, d'eau naturelle ou artificielle marines dont la profondeur à marée basse n'excède pas 6m (Ramsar, 2011).

Ces endroits possèdent une végétation dominée par des plantes hydrophiles pendant au moins une partie de l'année dans laquelle cette surface est recouverte d'eau peu profonde.

Ces zones recouvrent une diversité exceptionnelle ; ce sont donc des milieux extrêmement divers et extrêmement productifs, car ils produisent le quart de la production primaire, c'est-à-dire toute cette matière organique, vivante, ces plantes ces micro-organismes sont à la base de la chaîne alimentaire. (Conférence de Jean Jalbert « les zones humides du littoral » enregistré le 02/02/2016).

Les zones humides représentent un véritable enjeu écologique, économique et social, ces espaces courent d'énormes menaces dues à l'activité humaine et pour faire face à ce danger plusieurs organismes interviennent pour intégrer la protection de cet écosystème au cœur de l'organisation et l'aménagement urbain des territoires.

Ces zones représentent un milieu peu répondu mais extrêmement important pour la vie sur terre et pour la biodiversité en générale. Ces zones sont présentes partout dans tous les bassins

versants, du haut des bassins versants des montagnes ou sur les collines jusqu'à la mer ou l'océan.

2. La Convention de Ramsar

D'après Ramsar (1971), un traité intergouvernemental qui a été adopté le 2 février 1971 dans la ville Iranienne de Ramsar, sur les berges méridionales de la mer Caspienne. Ceci explique pourquoi, bien que l'on écrive généralement: Convention sur les zones humides (Ramsar, Iran, 1971), celle-ci est plus connue du grand public sous son nom de Convention de Ramsar. Il s'agit du premier accord multilatéral moderne sur l'environnement, sur la conservation et l'utilisation durable des ressources naturelles et ses dispositions, par comparaison avec celles d'accords plus récents, sont relativement simples et générales. La Convention a la particularité d'établir des engagements aussi bien au niveau des sites qu'au niveau des politiques nationales. Avec le temps, la Conférence des Parties contractantes (COP) a élaboré et interprété les principes de base du texte du traité, réussissant ainsi à préserver toute la pertinence des travaux de la Convention dans un environnement mondial en évolution rapide.

Le nom officiel du traité, Convention relative aux zones humides d'importance internationale, particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau, traduit l'accent mis, à l'origine, sur la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides avant tout dans leur fonction d'habitats pour les oiseaux d'eau. Mais au fil du temps, la Convention a élargi son champ d'application pour couvrir tous les aspects de la conservation et de l'utilisation rationnelle des zones humides. Ces dernières sont maintenant reconnues comme des écosystèmes vitaux pour la conservation de la biodiversité et pour le développement durable, remplissant ainsi pleinement la mission énoncée dans le texte de la Convention. L'usage de plus en plus répandu de la forme raccourcie du titre du traité, « Convention sur les zones humides », est donc totalement appropriée.

La Convention est entrée en vigueur en 1975 et, en janvier 2016, avait 169 parties contractantes, ou Etats membres, partout dans le monde. Bien que le message central porté par Ramsar soit l'utilisation durable de toutes les zones humides, l'«étendard » de la Convention est la liste des zones humides d'importance internationale (ou Liste de Ramsar) sur laquelle les parties ont inscrit plus de 2220 zones humides (ou Sites Ramsar) méritant une protection spéciale. Ces sites couvrent 214 millions d'hectares (2,14 millions de kilomètres Carrés) : une superficie supérieure à celle du Mexique. L'Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science

et la culture (UNESCO) est le Dépositaire 1 de la Convention, mais la Convention de RAMSAR ne fait pas partie du système de conventions et accords sur l'environnement des Nations Unies et de l'UNESCO. La Conférence des Parties Contractantes (COP) est l'organe suprême de la Convention dont l'administration quotidienne est confiée au Secrétariat, placé sous l'autorité du Comité permanent élu par la COP. Le Secrétariat Ramsar est hébergé, sous contrat, par l'UICN, l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature, à Gland, en Suisse.

La mission de la Convention de Ramsar, adoptée par les Parties contractantes en 1999 est affinée 2002, est la suivante: « La conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides par des actions locales et nationales et par la coopération internationale, en tant que contribution à la réalisation du développement durable dans le monde entier».

3. Importance écologique des zones humides

Un caractère essentiel pour les zones humides est la disponibilité de l'eau, qui est contrôlée par le cycle hydrologique. Une zones humide est une dépression naturelle et la mise en eau de celle-ci est fonction d'un équilibre entre les entrées (précipitation, nappe d'eau souterraines) et les sorties (évaporation) d'eau. Les zones humides ont un rôle multidimensionnel et elles contribuent au maintien et à l'amélioration de la qualité de l'eau en agissent comme un filtre épurateur, filtre physique, car elles favorisent les dépôts de sédiments et plusieurs espèces bactériennes qui jouent un rôle essentiel dans la dégradation des éléments et des substances toxiques en milieu aquatique.

Les zones humides constituent également un lieu propice de la diversité biologique. Cette dernière est fonction de la variabilité de la condition hydrique de ces milieux. Elles jouent également un rôle essentiel dans l'alimentation et la reproduction de plusieurs espèces animales (oiseaux, micro- et macro invertébrées, etc.) (Benhallouche et Bendahmane 2015).

4. Conservation des zones humides

Publiée par Ramsar (2006), Les zones humides sont parmi les milieux les plus productifs du monde. Elles sont le berceau de la diversité biologique et fournissent l'eau et la productivité primaire dont un nombre incalculable d'espèces de plantes et d'animaux dépendent pour leur survie. Elles entretiennent de fortes concentrations d'oiseaux, de mammifères, de reptiles, d'amphibiens, de poissons et d'invertébrés et sont aussi des greniers importants de matériel

génétique végétal. Le riz, par exemple, qui est une plante commune des zones humides, est à la base de l'alimentation de plus de la moitié de l'humanité.

Depuis quelques années, nous avons acquis une meilleure connaissance des différents rôles des écosystèmes des zones humides et de leurs valeurs pour l'humanité et nous les avons aussi beaucoup mieux décrits. En conséquence, nous avons beaucoup dépensé pour restaurer les fonctions hydrologiques et biologiques perdues ou dégradées des zones humides. Mais cela ne suffit pas. Ce sont les pratiques qu'il faut améliorer à très grande échelle car, aujourd'hui, les dirigeants de ce monde s'efforcent de résoudre la crise de l'eau de plus en plus aiguë et de faire face aux effets des changements climatiques. Pendant ce temps, il est probable qu'il y aura 70 millions d'habitants de plus chaque année, pendant les 20 prochaines années. En outre, les zones humides sont importantes, et parfois vitales pour la santé, le bien-être et la sécurité des populations qui vivent dans leurs limites ou à proximité parce qu'elles sont parmi les milieux les plus productifs du monde, sources de biens et services multiples et variés.

La conservation des zones humides est liée à :

- **Leurs fonctions**

Les interactions entre les éléments physiques, biologiques et chimiques tels que le sol, l'eau, les plantes et les animaux, permettent à une zone humide de remplir de nombreuses fonctions vitales, notamment :

- Le stockage de l'eau ;
- La protection contre les tempêtes et la maîtrise des crues ;
- La stabilisation du littoral et la maîtrise de l'érosion ;
- Le renouvellement de la nappe phréatique (le mouvement de l'eau de la zone humide vers la nappe phréatique) ;
- La restitution des eaux souterraines (le mouvement de l'eau restitué par la nappe phréatique sous forme d'eau de surface dans une zone humide) ;
- L'épuration de l'eau ;
- La rétention des éléments nutritifs ;
- La rétention des sédiments ;
- La rétention des polluants ;

- La stabilisation des conditions climatiques locales, en particulier du régime des précipitations et de la température.

- **Leurs valeurs**

Les zones humides fournissent fréquemment des avantages économiques considérables, par exemple :

- L'alimentation en eau (quantité et qualité) ;
- Les pêcheries (plus des deux tiers des poissons pêchés dans le monde dépendent de zones humides en bon état) ;
- L'agriculture, grâce au renouvellement des nappes phréatiques et à la rétention des matières nutritives dans les plaines d'inondation ;
- Le bois d'œuvre et autres matériaux de construction ;
- Les ressources énergétiques telles que la tourbe et la litière ;
- La faune et la flore sauvages ;
- Le transport ;
- Toute une gamme d'autres produits des zones humides, y compris les plantes médicinales ;
- Les possibilités de loisirs et de tourisme.

5. Fonctions et valeurs des zones humides

5.1 Fonctions des zones humides

5.1.1 Fonction écologique

Du point de vue fonctionnel, les zones humides participent à l'équilibre physique et écologique de l'ensemble de l'écosystème (Figure 5).

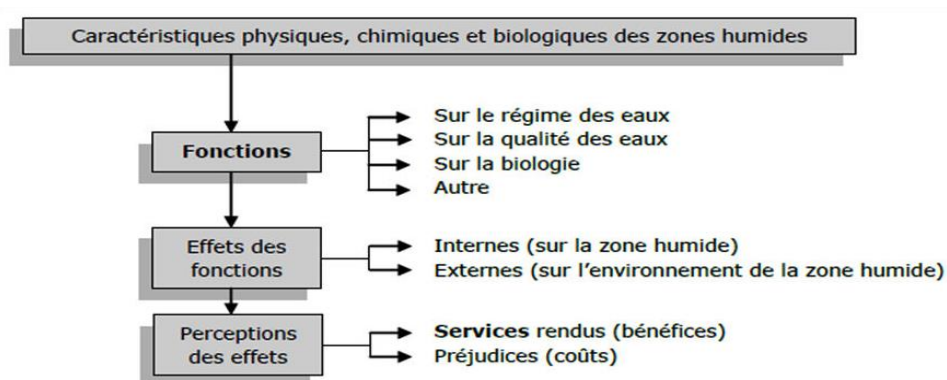


Figure 5: Fonctions des zones humides, effets et perceptions (Barnaud et Fustec, 2007 in Martin, 2012).

5.1.2 Fonction hydrologique

Les zones humides, de par leur structure, sont capables d'emmagasinier des volumes assez importants d'eau. Cette fonction de stockage des eaux participe ainsi au maintien des débits d'étiage et la régulation des pics de crues, limitant ainsi le risque d'inondation en zone urbaine. L'eau stockée dans certaines zones humides participe à la recharge des nappes souterraines. Ce ci dépend de la zone, de la perméabilité du sol, du volume de stockage et des conditions locales: climat, configuration du bassin versant.

Les zones humides participent aussi à la régulation des microclimats où l'évapotranspiration intense d'eau caractérise ces milieux et comme conséquence elles tamponnent les effets des sécheresses.

5.1.3 Fonction climatique

Les zones humides participent à la régulation des microclimats. Les précipitations et la température peuvent être influencées localement par les phénomènes d'évaporation intense d'eau, et de la végétation par le phénomène d'évapotranspiration. Elles peuvent ainsi tamponner les effets de sécheresse au bénéfice de certaines activités agricoles, donc elles jouent un rôle dans la stabilité du climat (Oudihat, 2011).

5.1.4 Fonction biogéochimique

Suivant les caractéristiques biologiques et physico-chimiques de la zone, des processus d'ordre physique ont eu lieu (sédimentation, adsorption) et des processus biologiques interviennent (assimilation végétale, dénitrification microbiologique,...). En plus du piégeage du carbone atmosphérique (production de matière organique), ils participent à la régulation des flux de nutriments (azote, phosphore ...) et d'éléments toxiques et évitent ainsi l'eutrophisation du milieu.

Il est donc nécessaire de maintenir le rôle des zones humides pour l'épuration naturelle et l'amélioration de la qualité des eaux tout en réduisant évidemment les quantités de polluants des sources en amont. Le maintien de la qualité de l'eau fait partie des services rendus par les zones humides.

5.1.5 Fonction diversité d'habitats floristiques et faunistiques

Le terme biodiversité regroupe plusieurs notions telles que le nombre d'espèces et d'habitats observés mais aussi leur rareté et la diversité génétique des populations. Ce sont des écotones (Ramade, 2003 ; Dajoz, 2006), c'est à dire leur localisation à l'interface entre milieux aquatiques et terrestres leur confère des conditions favorables à la diversité spécifique où la vie de nombreux organismes y dépend.

La présence de végétations diversifiées crée une multitude d'habitats destinés à une grande variété d'espèces animales (invertébrés, amphibiens, reptiles, poissons, oiseaux, mammifères). Toutefois il est à signaler que tous les milieux humides ne présentent pas une diversité en espèces en raison de certaines conditions stressantes (sécheresse, salinité ...).

5.1.6 Fonction d'activité anthropogénique

Nombreuses sont les activités humaines qui peuvent s'exercer et se développer sur les milieux des zones humides. Parmi ces activités on compte l'agriculture, alimentation en eau (quantité et qualité), l'élevage, la cueillette, la pêche, la chasse, exploitation de sous-produits végétaux (roseaux, fauche d'herbes, émondages ...), le transport, les randonnées et la découverte de la nature, l'éducation à l'environnement, écotourisme...

5.2 Valeurs des zones humides

Les zones humides sont des territoires assis sur des terrains fonciers. La valeur d'un territoire peut naturellement être évaluée selon sa valeur foncière ou selon la valeur de sa production agricole (Allout, 2013). Cependant d'autres valeurs doivent être considérées pour ces milieux tant convoités par les hommes.

5.2.1 Valeur économique

La valeur économique est importante de ces lieux. En effet la valeur marchande des productions issues de ces milieux pour les hommes est inestimable. Comme exemple on cite : l'effet tampon des inondations, épuration des eaux et le potentiel génétique des êtres vivants présents.

5.2.2 Valeur biologique

Les zones humides ne sont que de petits milieux de terre où l'eau y est un acteur principal mais elles possèdent une biodiversité exceptionnelle comparée aux autres milieux terrestres avoisinants. Elles représentent donc un réel enjeu pour le maintien de la biodiversité.

5.2.3 Valeur esthétique

Les zones humides sont des espaces très convoités par l'agritourisme et l'écotourisme. Les paysages d'eau, de verdure et d'espèces animales sont fort appréciés.

5.2.4 Valeur socioculturelle

L'utilisation des sociétés humaines des zones humides leur confère une vocation sociale de convivialité où l'activité cynégétique est souvent associée à ces rencontres. Parfois ces milieux recèlent une valeur spirituelle.

5.2.5 Amortisseurs climatiques

Les événements climatiques deviennent de plus en plus extrêmes, on observe des sécheresses prolongées ainsi que des précipitations massives, il s'avère que les zones humides sont de véritables solutions, elles sont donc très efficaces pour gérer les changements climatiques, ainsi que l'érosion côtière, avec la hausse des niveaux marins, les zones humides servent d'amortisseurs et de barrières, afin d'atténuer les effets des eaux, les effets de l'extraction du sable, ainsi que les effets du surpâturage qui entraîne principalement la disparition du couvert végétal ce qui affecte tout l'écosystème. (Tableau 2)

Tableau 2 : Quelques exemples des valeurs des zones humides et de leurs contributions à la population.

		Éléments constituant la valeur	Exemple
Valeurs des contributions des zones humides à la population	Contributions matérielles	Aliments et fibres	Les zones humides comme source de poisson et de riz.
		Eau	Les zones humides comme source d'eau douce pour les êtres humains et pour l'utilisation écologique.
		Ressources médicinales, biochimiques et génétiques	Matériel issu des zones humides pour utilisation dans la médecine et la biotechnologie.
	Contributions non matérielles	Apprentissage et inspiration	Les zones humides comme avenue pour la recherche et l'éducation sur les systèmes aquatiques.
		Expériences physiques et psychologiques	Les zones humides comme source de loisirs et de tourisme.
		Identités d'appui	Les zones humides donnent un sens de l'appartenance et ont des liens avec les communautés.
		Maintien des options	Capacité des zones humides de soutenir l'adaptation aux changements climatiques actuels et futurs.
	Contributions de régulation	Création et maintien des habitats	Les zones humides comme habitats des oiseaux migrateurs sur une voie de migration.
		Régulation climatique	Rôles des zones humides comme puits de carbone. Rôle des zones humides pour atténuer les inondations et les sécheresses.
		Régulation de la quantité et la qualité d'eau douce	Rôle des zones humides pour l'épuration de l'eau.
		Régulation des risques et des phénomènes extrêmes	Rôle des zones humides pour la modération des tempêtes.
		Régulation des parasites	Les libellules et les oiseaux insectivores contrôlent les populations d'espèces de parasites comme les moustiques.
Valeurs intrinsèques des zones humides	Propriétés	Biote	Diversité des espèces.
		Assemblages d'espèces	Populations et communautés d'espèces des zones humides.
		Processus écosystémiques	Énergie – Dynamique des matières nutritives.

6. Les dangers menaçant les zones humides

La régression d'un milieu humide peut résulter d'une initiative privée (drainage, remblaiement, plantations), mais aussi de la mise en œuvre d'une action publique comme le creusement d'un canal par l'Etat, ou les effets d'une politique agricole.

Malgré les fonctions et services rendus par zones humides, leur dégradation se poursuit de nos jours jusqu'à même leur disparition. Les principales causes de dégradation et de disparition des zones humides peuvent être résumées comme suit :

- Prélèvement d'eau, déviation des affluents (aménagement des cours d'eau) et construction de barrages hydrauliques.
- Boisement des terres agricoles par des espèces pompeuses d'eau comme le cas des Eucalyptus dans la Mitidja.
- Extraction de matériaux (sables, graviers, tourbe...).
- Développement de l'urbanisation et des infrastructures (cas de l'autoroute Est-Ouest dans le Parc National d'El Kala).
- Les aménagements portuaires pour les zones humides côtières et sur les fleuves navigables.
- Intensification de l'agriculture par l'utilisation abusive des engrais azotés et phosphatés ce qui entraîne l'eutrophisation des milieux en question.
- Pollutions industrielles surtout par les rejets de composés toxiques ou autres activités telles que celles liées aux tanneries.
- Intensification de l'aquaculture sans préoccupation de la biodiversité existante comme c'est le cas de la carpe chinoise au passé dans le lac Oubeira à El Kala.
- Introduction d'espèces exotiques envahissantes et invasives ce qui provoque des changements significatifs des écosystèmes comme c'est le cas du lac Victoria et ses Cichlidés menacés par la perche du Nil qui est un prédateur féroce introduit.

6.1 Prélèvement d'eau

La demande en eau est en croissante évolution, ceci affecte par conséquent la qualité écologique des écosystèmes humides et aquatiques, en effet les prélèvements d'eau pour les besoins en agriculture (la superficie irriguée a été multipliée par trois entre 1970 et 1990), de l'industrie (centrales nucléaires, industries de papeterie...) et de l'alimentation en eau potable peuvent avoir un impact important sur le fonctionnement hydrologique des zones humides, le niveau des cours d'eau et des nappes phréatiques si les prélèvements sont excessifs.

6.2 Développement de l'urbanisation et de l'infrastructure

L'urbanisation s'accroît de jour en jour ce qui engendre une énorme pression sur les zones humides et provoque leur destruction. Parmi les conséquences de l'urbanisation on peut citer:

- La modification des approvisionnements en eau et des écoulements dans les zones humides par la création de nouveaux réseaux et l'imperméabilisation de surfaces
- Mitage et cloisonnement de l'espace qui créent des ruptures dans les connexions écologiques, perturbant le bon fonctionnement des milieux aquatiques et des espèces qui y vivent.
- Pollutions accidentelles ou diffuses le long des voies de circulation : lessivage des chaussées entraînant sels ou métaux lourds, emploi d'herbicides sur les accotements, etc.

6.3 Les espèces exotiques envahissantes

Certaines espèces animales ou végétales « envahissantes » déséquilibrent gravement les écosystèmes des milieux humides. En effet, les invasions biologiques sont une cause majeure de la perte de la biodiversité (UICN), introduites généralement pour des causes volontaires, ces espèces, en effet ont un double impact ; sur les espèces indigènes ainsi que sur le milieu.

Elles entrent en compétition avec les animaux et les plantes indigènes pour la nourriture par exemple, ce qui entraîne la destruction de leur habitat, et peut mener à leur disparition également. Aussi ces espèces envahissantes peuvent être vectrices de plusieurs maladies.

Elles agissent sur les milieux en les fragilisant par la banalisation des paysages et en modifiant l'acidité du milieu.

Le développement excessif des roseaux, phragmites et algues qui empêchent la pénétration des rayons de soleil en profondeur et le manque d'entretien (travaux de dragages) des zones humides provoque la détérioration de ces milieux.

6.4 Pollution

Ces zones sont un réceptacle à ciel ouvert des dépôts sauvages des déchets de l'activité humaine, et lieux de rejets des eaux usées, décharge de matériaux ferreux, débris, gravats et ordures... d'où vient la dégradation des eaux de surfaces et souterraines, du sol et de l'aire mais aussi des écosystèmes.

6.5 La surexploitation des ressources naturelles

Les zones humides sont exposées à plusieurs activités inconscientes des humains telles que la pêche incontrôlée, le déboisement, le pompage des eaux, extraction du sable; le surpâturage qui entraîne la disparition du couvert végétal et met en danger tout un écosystème.

Pour y remédier aux problèmes et aux menaces de quels souffrent ces endroits, les communautés internationales interviennent dans un cadre juridique pour leur protection et leur sauvegarde.

7. Les zones humides d'importance internationale en Algérie

L'Algérie, de par sa configuration physique, la diversité de son climat et l'immensité de son territoire, recèle d'importantes zones humides. Selon la Direction Générale des Forêts, (DGF, 2001), les zones humides se répartissent d'une manière générale comme suit :

- La partie Nord- Est renferme de nombreux lacs d'eau douce, des marais de ripisylves et des plaines d'inondation.
- La frange Nord-Ouest et les hautes plaines steppiques se caractérisent par des plans d'eau salée tels que Chotts, sebkhas et par des plans d'eau non salée (Dayas).
- Le Sahara renferme des oasis et des réseaux hydrographiques souterrains dont certains sites sont exceptionnels et alimentés par des sources permanentes appelées Gueltas.

L'Algérie, ayant ratifié dès 1982 la convention de Ramsar, a adopté une démarche volontariste pour le classement, la conservation et l'utilisation rationnelle des zones humides et de leurs ressources.

La chronologie d'inscription des zones humides d'importance internationale sur la liste Ramsar pour l'Algérie a abouti à une liste de 50 sites et s'est opérée dans le temps comme suit:

- 1982 : 02 sites inscrits. - 2004 : 16 sites inscrits.
- 1999 : 01 site inscrit. - 2009 : 05 sites inscrits.
- 2001 : 10 sites inscrits. - 2011 : 03 sites inscrits.
- 2002 : 13 sites inscrits.

Selon le Pader (2013), l'Algérie compte aujourd'hui plus de 1500 zones humides où sur un laps de temps d'une trentaine d'années, cinquante (50) sites sont déjà classés dans la liste des zones humides d'importance internationale de Ramsar (Tableau 3 et 4) et englobant une superficie totale de près de trois (03) millions d'hectares (2.991.013,00 ha). Il est à noter que dix (10) sites prioritaires sont retenus par le Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Environnement et de la Ville, pour être dotés d'un plan de gestion assurant leur gestion rationnelle et durable (Pader, 2013). Il s'agit des sites suivants: le lac Tonga, l'Oasis de Tamantit Oued Ahmed Timmi, le Chott El Hodna, le Chott Timerganine, la Dayet Morsli, le barrage Bougara, le Chott Zahrez Chergui, les Gueltates Afilal, l'Oued Mazafran et le lac de Ménéa.

Le lac noir d'Akfadou, n'est étrangement pas classé parmi les zones humides d'importance internationale, c'est-à-dire il ne figure pas parmi la liste RAMSAR

Tableau 3: Liste des 50 zones humides classées Ramsar en Algérie (DGF, 2001, 2002 et 2004):
Liste arrêtée au 02/02/2015 : Journée Mondiale des Zones Humides.

Liste	Année d'inscription	Wilaya	Superficie (ha)
La réserve intégrale du lac Tonga	1982	El Tarf	2.700
La réserve intégrale du lac Oubeira	1982	El Tarf	2.200
La réserve naturelle du lac des Oiseaux	1999	El Tarf	170
Le chott Ech-Chergui	2001	Saïda, Nâama, El Bayadh	855.500
Le complexe de zone humide de Guebes-Sanhaja	2001	Skikda	42.100
Le chott El Hodna	2001	M'Sila et Batna	362.000
La vallée d'Iherir	2001	Illizi	6.500
Les Gueltats Dissakarassene	2001	Tamanrasset	35.100
Le chott Merouene et Oued Khrouf	2001	El Oued et Biskra	37.700
Les marais de la Macta	2001	Mascara, Oran, Mostaganem	44.500
Les Oasis de Ouled Said	2001	Adrar	25.400
La sebkha d'Oran	2001	Oran	56.870
Les oasis de Tamentit et Sid Ahmed Timmi	2001	Adrar	95.700
Les oasis de Maghara et Tiout	2002	Nâama	195.500
Le chott de Zahrez Chergui	2002	Djelfa	50.985
Le chott de Zahrez Gharbi	2002	Djelfa	52.500
Les Gueltats d'Afilal	2002	Tamanrasset	20.900
La grotte kartistique de Ghar Boumâza	2002	Tlemcen	20.200
Le maris de la Mekhada	2002	El Tarf	8.900
Le chott Melghir	2002	El Oued et Biskra	551.500
La réserve naturelle du lac de Reghaia	2002	Alger	842
La réserve intégrale de la tourbière de lac Noir	2002	El Tarf	05
Les aulnaies Ain Khier	2002	El Tarf	170
La réserve naturelle du lac de Beni Belaid	2002	Jijel	600
Le crique de Ain Ouarka	2002	Nâama	2.350
Le lac de Fetzara	2002	Annaba	20.680
Sebkhet El Hamiet	2004	Sétif	2.509

Tableau 4 (suite) : Liste des 50 zones humides classées RAMSAR en Algérie

Liste	Année d'inscription	Wilaya	Superficie (ha)
Sebkhet Bazer	2004	Sétif	4.379
Chott El Beïdha-Hammam Essoukhna	2004	Sétif	12.223
Garaet Annk Djemel-El Merhssel	2004	Oum El Bouaghi	18.140
Garaet Guellif	2004	Oum El Bouaghi	24.000
Chott Tinsilt	2004	Oum El Bouaghi	2.154
Garaet El Taref	2004	Oum El Bouaghi	33.460
Dayet El Ferd	2004	Tlemcen	3.323
Oglat Edaïra (Aïn Ben Khelil)	2004	Nâama	23.430
Les Salines d'Arzew	2004	Oran	5.778
Le lac de Tellamine	2004	Oran	2.399
Le Lac Mellah	2004	El Tarf	2.257
Sebkhet El Meleh (Lac d'El Goléa)	2004	Ghardaïa	18.947
Chott Oum Raneb	2004	Ouargla	7.155
Chott Sidi Slimane	2004	Ouargla	616
Chott Aïn El Beïda	2004	Ouargla	6.853
Garaet Timerganine	2009	Oum El Bouaghi	1.460
Marais de Bourdim	2009	El Tarf	11
Sebkhet Ezzmoul	2009	Oum El Bouaghi	6.765
Lac Boulhilet	2009	Oum El Bouaghi	856
Vallée d'Oued Soummam	2009	Béjaïa	12.453
Oum Lâagareb	2011	Annaba	729
Lac du barrage de Boughezoul	2011	Médéa	09
Ile de Rachgoun	2011	Aïn Témouchent	66
Total			2.991.013,00

Chapitre III :

Matériels et méthodes

1. Présentation de l'Akfadou

1.1 Situation géographique et cadre Administratif

Le massif d'Akfadou s'étend sur une surface de 11 000 ha, soit 18 % de la chênaie caducifoliée d'Algérie, il est partagé administrativement entre deux wilayas Tizi-Ouzou et Béjaia (Messaoudene, 2007).

Son altitude est variante de 800 m à 1 646 m. Scindées en deux parties : la forêt domaniale de l'Akfadou-Est est gérée par la direction de la conservation des forêts de Bejaia, et la forêt domaniale de l'Akfadou-Ouest, sous la direction de la conservation des forêts de Tizi-Ouzou.

Les notes de Ahmim (2003) renseignent les caractéristiques suivantes : La surface de la forêt domaniale de l'Akfadou sont évaluées à 4600 ha du côté Ouest et 5400 ha du côté Est, ses limites se réfèrent à la route national 12 au nord, joignant El-Kseur à Tizi-Ouzou, au Nord-Ouest, la ligne de crête liant les points altitudinales suivants : 948, 1040, 1306, 1167, 1312, 1202, 1109 et 1052 mètres, au Sud-Ouest par l'Oued Assif, réciproquement au Sud par l'Oued Cheria, et enfin à l'Est en rapport avec les limites naturelles du peuplement forestier.

La forêt domaniale de L'Akfadou-Est (Figure 06) s'étend sur un triangle d'Est en Ouest sur une largeur de 14 Km et de points extrêmes culminent les altitudes suivantes : 1646 m à Djemma Tamesguida et 797 m au canton Takamra (Abdelaziz et al, 1976). Elle est située à l'ouest de la wilaya de Bejaia et distancée d'environ 55 à 65 Km du chef-lieu, et d'environ 220 Km de la capital, Alger. Quatre communes distinctes y sont limitrophes : Beni Ksila au Nord, Ouzellaguene au Sud, Taourirt Ighil et Fenaia Ilmathen au Nord-Est, Sidi Aich au Sud-Est ; et la Wilaya de Tizi-Ouzou à l'Ouest. 11 cantons ont été délimités, et relèvent des administrations forestières suivantes : la direction de conservation des forêts de wilaya de Bejaia et les circonscriptions de Adekar et de Chemini. L'accès routiers s'effectue par l'empreint de la route national 12 prolongée au sud par la départementale CW 173 (Abdelaziz et al, 1976).

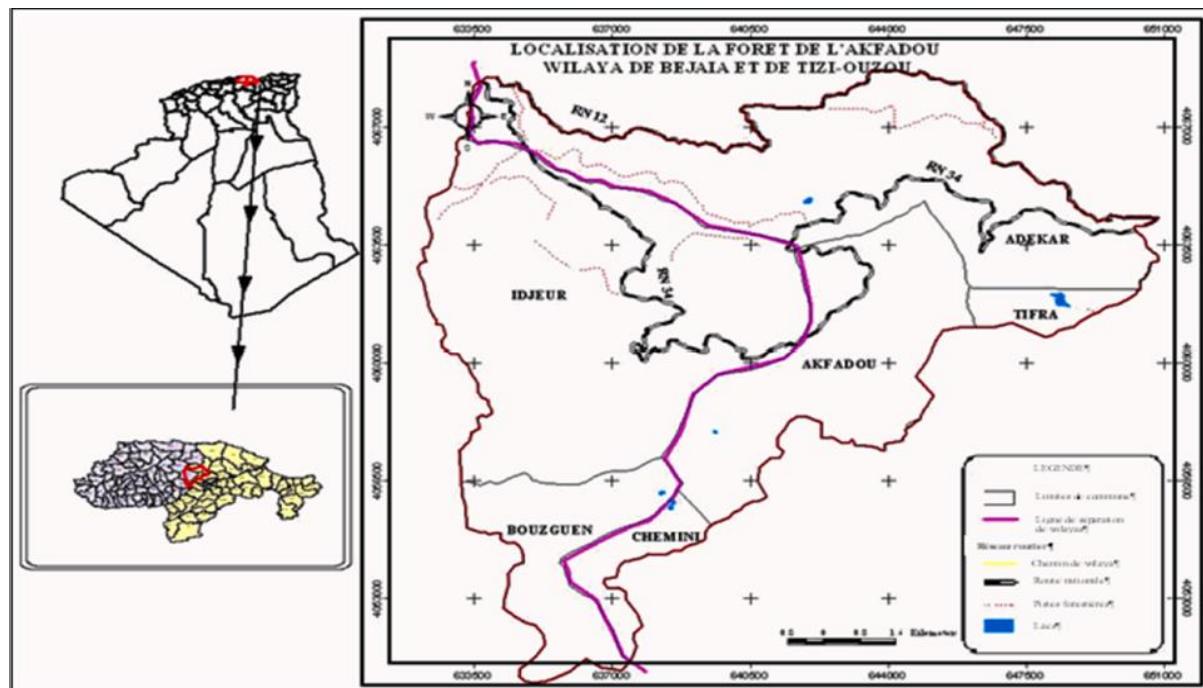


Figure 06 : Localisation de la forêt d'Akfadou (ANONYME 1988.)

1.2 Cadre Physique, hydrographique et climatique

La forêt de l'Akfadou possède un relief assez accidenté avec une pente de 15 % à 45 %, notamment dans sa partie sud-orientale, l'altitude varie de 800 m à 1 646 m (Messaoudene, 2007). L'aspect montagnard de la forêt-Est de l'Akfadou aligne donc des crêtes, des pentes abruptes au sud Est et des affluents temporaires et permanents constituant ainsi, un réseau hydrographique développé, de régime torrentiel en périodes pluvieuses permettent d'alimenter les affluents suivants : Acif El Hammam au Nord, Sebaou à l'Ouest et l'oued Soummam à l'Ouest (Laribi, 1999 in Bellili, 2003). La géologie est marquée par des formations numidiennes à faciès flysh caractérisées par l'alternance de grès quartzeux, d'argiles vertes et brunes (Abdelaziz et al, 1976).

Appartenant au domaine méditerranéen, le massif d'Akfadou compte parmi les régions les plus abondamment arrosées en Algérie, et le climat varie d'une zone à une autre, en effet la direction des axes montagneux par rapport à la mer et au vent humide détermine la hauteur pluviométrique, ce sont donc les versants nord-ouest ainsi que leurs sommets qui reçoivent les précipitations les plus fortes.

Le manque de stations météorologiques dans le massif d'Akfadou, ne nous permet pas de faire une étude climatologique complète de cette station.

La région est principalement caractérisée par un climat pluvieux et doux en hiver, sec et chaud en été, c'est la saison la moins arrosée, c'est donc un climat biologiquement sec (Daget, 1980, 1984).

L'analyse sommaire des deux facteurs, précipitations et températures permettent de caractériser le climat de la région, en effet selon une étude faite par Meddour (2010) montre que le climat est de type humide à variante tempérée ainsi, les températures atteignent parfois le 0°C, favorisant la chute de neige.

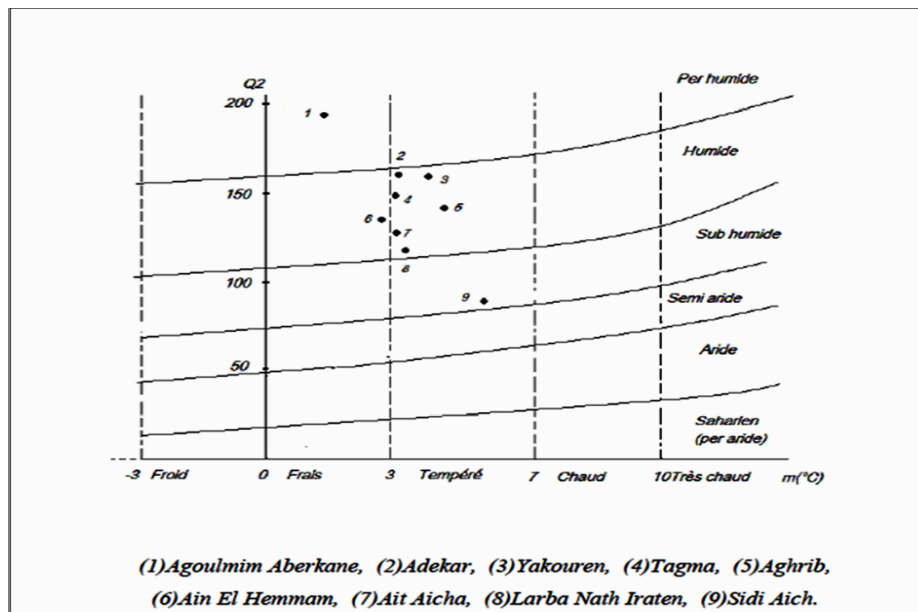


Figure 07: Climagramme pluviométrique d'EMBERGER modèle QUEZEL (2000), pour la région de l'Akfadou.

1.3 Orographie

Le relief est un facteur déterminant pour la répartition des éléments climatiques sur le territoire. Les dépressions offrent autant de stations abritées ou exposées, dont la flore peut varier en fonction des affinités écologiques des espèces (Lerond, 1981).

Le relief est de type montagneux, il consiste en une suite de lignes de crêtes dont les deux principales se joignent bout à bout au Nord-est du massif. Elles sont orientées Est Nord-est, Ouest Sud-ouest, dans la partie Nord du l'Akfadou, puis Nord Nord-est, Sud Sud-ouest dans la partie orientale. Elles constituent respectivement les prolongements de la chaîne littorale et de celles du Djurdjura. L'altitude varie entre 870m et 1646m.

Les sommets les plus importantes sont: Djbel Afroune (1317m), Djbel Toukra (1464m), Azerou El Mesbeh (1450m), Azrou Taghat (1542m), Tala Guizane (1623m), Djbel Zeen (1646m) (LARIBI, 1999).

1.4 Géologie et lithologie

Sur le plan géologique, le Numidien couvre un bon tiers du Nord-est de la grande Kabylie. Un immense banc gréseux s'étend d'Ouest en Est, le long d'une cinquantaine de kilomètres, d'Azazga jusqu'aux environs d'El-kseur (Bejaïa).

Du Nord au Sud, la largeur de son affleurement avoisine les trente kilomètres au méridien de l'Akfadou. Il constitue un ensemble homogène couvert de forêts (Gaillard, 1988). Le Numidien d'Akfadou est représenté par les grès numidiens de l'Eocène Supérieur et les argiles sous-numidiennes de l'Oligocène.

1.5 Pédologie

Selon Boudy (1955), la pédogenèse est étroitement liée aux facteurs climatiques, à la nature du substrat et au couvert végétal. Le peuplement qui domine la forêt de l'Akfadou est calcifuge (pauvre en calcaire). Les sols siliceux, frais et profond, favorisent le développement du chêne liège *Quercus suber* et la bruyère arborescente *Erica arborea*.

Les couches supérieures sont pauvres en éléments minéraux, ceci rend le sol impropre à l'agriculture et justifie sa vocation forestière (Anonyme, 2004).

Selon la classification de Duchaufour (1977), ils seraient des sols bruns forestiers. Ces sols sont acides et l'humus est de type Mull ou Moder (Laribi, 1999).

1.6 Hydrographie

Selon Laribi (2000), le réseau hydrographique est représenté par de nombreux ruisseaux à régime torrentiel qui alimentent pendant les périodes pluvieuses d'Acif El- Hammam au Nord, du Sebaou à l'Ouest et de l'Oued Soummam à l'Est.

D'après Alik et Arezki (2002), le relief ravine par des chenaux peu profonds qui alimentent quatre Oued principaux: Oued Abdel Ali et Acif Yahia à l'Ouest, Oued Rmila et Oued El Mouha à l'Est.

2. Le Lac Noir

Le lac Noir (en berbère : Agelmim Averkan) est un lac naturel situé dans le massif montagneux de l'Akfadou à l'ouest de la wilaya de Bejaia en Algérie. Il se localise dans la commune d'Adekar à 1200 m d'altitude, est d'une superficie d'environ 3 hectares et d'1 m de profondeur. Le Lac noir, ainsi appelé à cause des reflets sombres de ses eaux, est un plan d'eau de près de 10 hectares au cœur même de la forêt de l'Akfadou (Figure 08).

Une digue artificielle a été construite afin de maintenir un niveau d'eau appréciable.

.

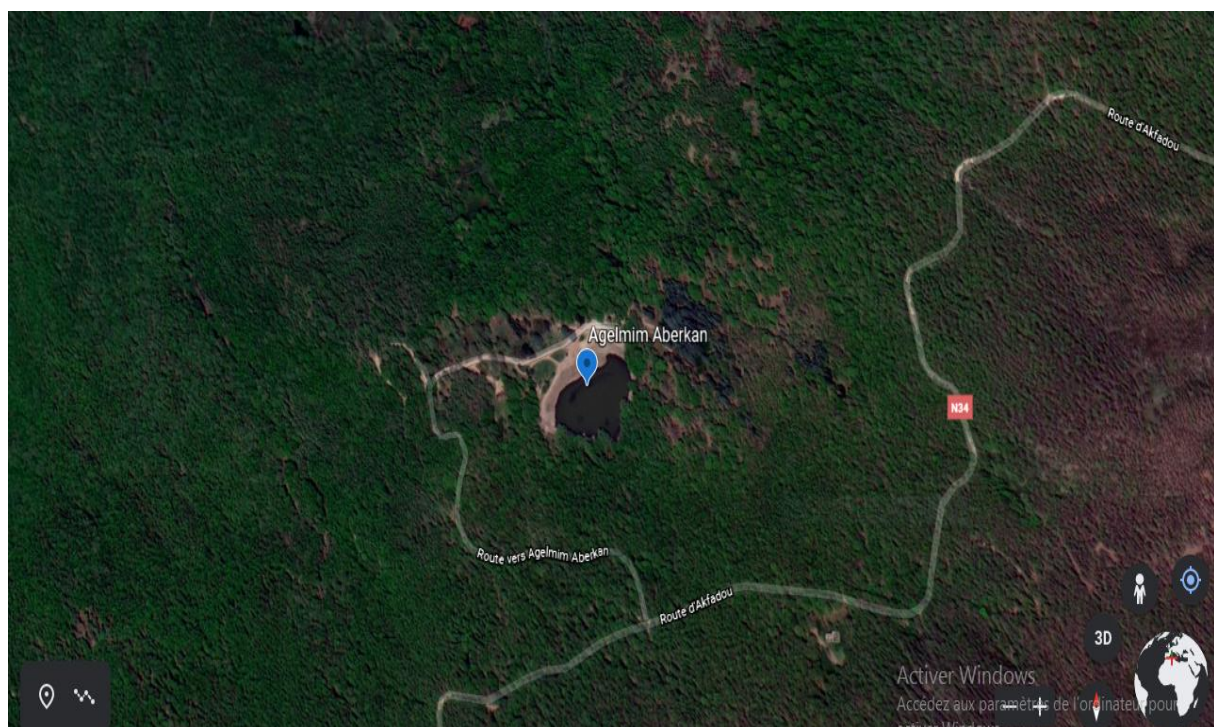


Figure08 : Lac Noir ou Agelmim Averkan (Google Maps, 2020)

3. Caractéristiques écologiques du site

3.1 La richesse floristique

Peu d'études palynologiques ont été effectuées dans la forêt d'Akfadou. La seule étude qui retrace l'histoire de ce massif est celle de Salamani (1991). Les résultats de cette étude démontrent la dominance du Cèdre (*Cedrus atlantica*) dans cette région à une période charnière entre la fin du tardiglaciaire et le début de l'Holocène. La cédraie amorce alors graduellement son retrait pour être définitivement remplacé par la chênaie caducifoliée qui domine les paysages alticoles pendant plus de neuf millénaires. Le même auteur indique que la mise en place de la chênaie caducifoliée a pu se faire en parallèle avec celle de la subéraie à plus basse altitude. Les peuplements de Chênes caducifoliés d'Ath-Ghobri et d'Akfadou ont fait l'objet d'exploitation intense entre 1939 et 1945. Ces exploitations effectuées sans plan d'aménagement ont affecté les stations les plus accessibles.

La forêt d'Akfadou est constituée essentiellement de peuplements de chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.), de chêne afarès (*Q. afares* Pomel) et de chêne liège (*Quercus suber* L.). Ces peuplements présentent une mosaïque d'âges divers. Le chêne zéen est l'essence dominante jusqu'à 1 646 m d'altitude, où il occupe environ 45 % de la superficie boisée.

Le chêne afarès abonde sur quelques lignes de crête, les versants sud et sud-ouest et les terrains caractérisés par des sols plus ou moins argileux.

Le plus souvent, il est situé au-dessous de 1 250 m d'altitude. Les peuplements purs occupent environ 15 % de la surface boisée. Les peuplements mixtes de chêne zéen et de chêne afarès se retrouvent partout dans les zones de transition. Il en est de même pour les peuplements mixtes de chêne zéen et de chêne liège, limités à une altitude de 1 100 m. Ces peuplements mixtes couvrent environ 25 % de la zone boisée. Quant au chêne liège à l'état pur, il occupe 15 % de la zone périphérique de l'Akfadou.

De gros chênes zéens et afarès, âgés de plus de 500 ans, sont présents dans de nombreux sites. Ces individus témoignent de l'origine ancestrale de la chênaie de l'Akfadou (Messaoudène, 1989).

L'arboretum d'Agoulmine Aberkane, la châtaigneraie de Mehaga et celle de Tala-Kitane, la cédraie d'Adekar, les nombreuses aulnaies, les bouquets d'ifs (*Taxus baccata* L.) et de houx (*Ilex aquifolium* L.) méritent aussi une attention particulière. Bien qu'introduit en 1890 puis

en 1948 à Agoulmime Aberkane et aux alentours, à Tala Kitane et à Adekar, plus précisément dans le cadre de programmes d'amélioration forestière, le cèdre de l'Atlas (*Cedrus atlantica* Manetti) forme actuellement de très belles cédraies perpétuées par une régénération naturelle très importante. Il en est de même pour le châtaignier (*Castanea sativa* Mill.), le pin noir (*Pinus nigra* Ait.), le pin coulier (*Pinus coulteri* D. Don.) et le cyprès (*Cupressus horizontalis* L.), introduits aussi en 1890 et 1948 dans l'arboretum d'Agoulmime Aberkane et à Lazella. *Abies numidica* (De Lann.) est représenté par 75 individus inventoriés au sud de la cédraie d'Agoulmime Aberkane. L'aulne glutineux (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), l'if et le houx colonisent partout les stations les plus humides à tendance marécageuse de l'Akfadou, ainsi que les sources et cours d'eau. Parmi les espèces caducifoliées figurent aussi l'érable (*Acer obtusatum* W. et K.), le sorbier (*Sorbus torminalis* (L.) Crantz et le merisier (*Cerasus avium* L.). L'érable peut parfois codominer avec le chêne zéen, voire le dominer pour constituer de véritables érablières occupant des surfaces assez réduites malgré tout. Le sorbier et le merisier, bien qu'assez fréquents, sont rarement abondants. Mais leur intérêt écologique est suffisamment important pour que les aires réduites où poussent ces espèces dans l'Akfadou soient protégées.

3.2 La richesse Faunistique

L'Akfadou compte environ 10 espèces de mammifères parmi les espèces animales (Mammifères, oiseaux etc.): On retrouve le singe magot (*Macaca sylvanus*), le lièvre commun, le chacal (*Canis aureus*), le renard, le sanglier (*Sus scrofa*), la genette commune (*Genetta genetta*), la belette, le hérisson, le porc-épic et l'hyène rayée, notons l'introduction du cerf de Bérberie dans un enclos à Adekar Comme on retrouve également des espèces d'oiseaux comme la perdrix cambra, la chouette chevêche, le vautour fauve, le pic vert.

Il y'a lieu de signaler la disparition de quatre espèces de mammifères: le lion de l'Atlas, la panthère, le Cerf de Bérberie et la Loutre.

Batraciens : l'existence de nombreux points d'eau et de tourbière plaident pour une richesse plus importante.

Les amphibiens : Il est dénombré 3 espèces de Crapauds, Grenouille verte, Grenouille rousse, Rainette.

Les Mollusques : le massif de l'Akfadou renferme 3 Mollusques endémiques

L'espèce la plus répandue est le singe magot, dont la population est de plus de 3000 individus. 93 espèces d'oiseaux de 27 familles différentes, dont 16 espèces de rapaces.

L'Akfadou compte également 10 reptiles et 4 batraciens. Certaines de ces espèces sont menacées et protégées. On compte également le cerf de Berbérie qui a été récemment réintroduit avec succès dans l'Akfadou. (ANRF Chemini, 2020).

4. Critères d'évaluation des eaux d'un lac

4.1 Qualités organoleptiques

Les facteurs organoleptiques (couleur, saveur, turbidité et odeur) constituent souvent les facteurs d'alerte pour une pollution sans présenter à coup sûr un risque pour la santé.

4.1.1 Couleur

La coloration d'une eau est dite vraie ou réelle lorsqu'elle est due aux seules substances en solution. Elle est dite apparente quand les substances en suspension y ajoutent leur propre coloration. Les couleurs réelles et apparentes sont approximativement identiques dans l'eau claire et les eaux de faible turbidité (Rodier, 2005).

4.1.2 Odeur

Toute odeur de l'eau est un signe de pollution ou de la présence de matières organiques en décomposition. Ces substances sont en général en quantité si minime qu'elles ne peuvent être mises en évidence par les méthodes d'analyse ordinaire. Le sens olfactifs peut seul, parfois, le déceler (Rodier et *al.*, 2009).

4.1.3 Saveur

Une eau de bonne qualité doit avoir une saveur faible et agréable (Ramade ,1998). Si l'eau renferme une quantité importante de chlorure, elle sera saumâtre, si elle renferme une quantité trop forte de magnésie, elle sera amère et si elle est chargée en fer, elle sera métallique, s'il y'a absence de sels habituels et d'anhydride carbonique, elle sera fade (Rodier et *al.*, 2005). La saveur d'une eau est due à la combinaison de nombreux facteurs, parmi lesquels interviennent :

- Les matières organiques dissoutes provenant de la décomposition des matières organiques végétales et des résidus agricoles ;
- La minéralisation de l'eau : certains sels minéraux donnent des goûts particuliers à l'eau ;
- Les métabolites de certains micro-organismes vivants dans l'eau.

4.1.4 Turbidité

La mesure de la turbidité permet de préciser les informations visuelles sur l'eau. La turbidité de l'eau a pour origine la présence de matières en suspension (argile, limons, particules fibreuses ou organique, micro-organismes....), étant souvent liée à des phénomènes pluviométriques dans les eaux superficielles et dans certaines eaux souterraines nappes peu profondes. La turbidité se mesure à l'aide d'un turbidimètre. Et sont exprimées en unités et correspondent à une mesure optique de passage de lumière. D'autres unités comparables sont employées, l'unité néphélométrique de turbidité ou NTU (JOEL, 2003)

Tableau 5 : Classes de turbidité de l'eau (Rodier et al, 2009)

NTU < 5	Eau claire
5 < NTU < 30	Eau légèrement trouble
NTU > 50	Eau trouble

4.2 Qualité physique

4.2.1 Température

C'est un facteur important pour l'activité biologique, il influence la solubilité de l'oxygène du milieu récepteur, donc son pouvoir auto épurateur (Benallou, 2004).

La température de l'eau dépend d'une série de facteurs

- La situation géographique et la saison
- La profondeur (la température des profondeurs est généralement plus faible qu'en surface)
- La couleur de l'eau (une eau sombre absorbe plus fortement la chaleur)
- Le volume de l'eau (plus le volume est élevé moins importantes sont les fluctuations de température) (Mahamat et Beskri, 2010).

La T° est donc une caractéristique physique importante, elle joue un rôle dans la solubilité des sels et surtout des gaz, dans la détermination du pH pour la connaissance de l'origine de l'eau des mélanges éventuels. Sa mesure est nécessaire pour accéder à la détermination du champ de densité et des courants. D'une façon générale, la température des eaux superficielles est influencée par la température de l'air et ceci d'autant plus que leur origine est moins profond (Hamed et al., 2012).

4.2.2 Matières en suspension

Les matières en suspension contenues dans les eaux résiduaires constituent un paramètre important qui marque généralement le degré de pollution. Ce sont des matières qui ne sont ni colloïdales, ni solubilisées et elles-peuvent être organiques ou minérales. La présence des matières en suspension, diminue la concentration en oxygène dissous, ce qui rend les activités des micro-organismes faibles et par conséquent diminution du phénomène d'autoépuration (Felfoul et Hadjyahya, 1999).

Les matières en suspension comprennent toutes les matières minérales ou organiques qui ne se solubilisent pas dans l'eau. Elles incluent les argiles, les sables, les limons, les matières organiques et minérales de faible dimension, le plancton et autres micro-organismes de l'eau. La quantité de matières en suspension varie notamment selon les saisons et le régime d'écoulement des eaux. Ces matières affectent la transparence de l'eau et diminuent la pénétration de la lumière et, par conséquent, la photosynthèse. Elles peuvent également gêner la respiration des poissons. Par ailleurs, les matières en suspension peuvent accumuler des quantités élevées de matières toxiques (métaux, pesticides, huiles minérales, hydrocarbures aromatiques polycycliques...) (Merabet, 2010).

4.3 Qualité chimique

4.3.1 Potassium (K)

Le potassium est un élément normal des eaux, où sa concentration est largement inférieure à celle du sodium, bien que leurs abondances relatives terrestres soient comparables (sodium 2,83 %, potassium 2,59 %).

Le potassium est impliqué dans la rétention de l'eau dans la plante et sa pression dans les cellules, ainsi que dans l'ouverture et la fermeture des stomates. Le potassium est exigé dans l'accumulation et la translocation des hydrates de carbone. Le manque de potassium réduira le rendement et la qualité. Trop de sodium (Na) expulse le potassium (K), causant une carence en (K), le potassium (K) peut être inassimilable à cause d'un excès de Calcium (Ca), de Nitrate d'ammonium, et probablement par temps froid. Un excès de potassium peut aggraver l'assimilation du magnésium, du manganèse, du zinc et du fer et affecter l'assimilation du calcium (Duguet *et al.*, 2006).

4.3.2 Fer (Fe)

Le fer, bien qu'il ne soit pas un constituant de la chlorophylle, est indispensable à sa formation. Sa carence provoque la chlorose. Le fer participe à la constitution de nombreuses enzymes d'oxydation.

Le fer contenu dans les eaux superficielles peut avoir une origine tellurique, mais, le plus souvent, il provient de lessivage de terrain et de pollutions minières ou métallurgiques.

Dans les eaux superficielles, plus aérées, le fer se retrouve sous forme ferrique et précipite sous forme d'hydroxyde ferrique $\text{Fe}(\text{OH})_3$; il sera donc associé aux matières en suspension.

Dans les eaux souterraines, plus réductrices, le fer va se retrouver sous forme ferreuse Fe^{2+} qui est soluble (Rejsek, 2002).

4.3.3 Magnésium (Mg^{2+})

Le magnésium est plus abondant après le calcium par rapport au sodium et au potassium. Le Magnésium peut avoir deux gaines : Les calcaires dolomitiques qui libèrent le magnésium par dissolution, en présence du gaz carbonique. La dissolution du MgSO_4 des terrains gypseux du Trias situés au Sud (Sahraoui, 2015).

4.3.4 Calcium (Ca^{2+})

Le calcium est un métal alcalino-terreux extrêmement répandu dans la nature et en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonates. Est un composant majeur de la dureté totale de l'eau, le calcium est généralement l'élément dominant des eaux potables. Il existe surtout à l'état d'hydrogénocarbonates et en quantité moindre, sous forme de sulfates, chlorure etc. les eaux de bonne qualité renferment de 250 à 350 mg/l les eaux qui dépassent les 500 mg/l présente de sérieux inconvénient pour les usages domestiques et pour l'alimentation des chaudières (Khelili, 2015).

4.3.5 Chlorures (Cl^-)

Les chlorures sont des anions inorganiques importants contenus en concentrations variables dans les eaux naturelles, généralement sous forme de sels de sodium (NaCl) et de potassium (KCl). Ils sont souvent utilisés comme un indice de pollution. Ils ont une influence sur la faune et la flore aquatique ainsi que sur la croissance des végétaux (Makhoukh, 2011).

4.3.6 pH

Le potentiel d'hydrogène est le logarithme décimal de l'inverse de sa concentration en ions d'hydrogène (H^+), il est inférieur ou supérieur à 7 suivant que l'eau est acide ou basique. Il n'a pas de signification hygiénique mais il représente une notion importante dans détermination de l'agressivité de l'eau et la précipitation des éléments dissous. (Hamed et *al.*, 2012).

Le Ph des eaux naturelles est compris entre 6,5 et 8 (Michard, 2002).

4.3.7 Dureté totale (TH)

La dureté de l'eau est due à la présence de calcium et dans une moindre mesure, de magnésium. On l'exprime généralement en quantité équivalente de carbonate de calcium.

Une dureté supérieure 200 mg/L peut provoquer l'entartrage $CaCO_3$ (excès calcaire) du système de distribution et entraîner une consommation excessive de savon avec formation d'écume.

La concentration du calcium dans l'eau de consommation n'est pas généralement élevée par rapport au besoin journalier (2 g/j) (Hawa, 2001).

La dureté d'une eau exprimait l'aptitude de cette eau à réagir et à faire mousser du savon. A l'heure actuelle, on appelle dureté ou titre hydrotimétrique (TH) la somme des cations alcalino-terreux présents dans une eau. En pratique, on ne considère que les cations dont les concentrations sont supérieures à 1mg/l, c'est le cas des ions calcium et magnésium. Ces ions sont présents dans l'eau sous forme de sels de chlorure, de sulfates ou d'hydrogénocarbonates. (Rejsek, 2002).

Dans l'eau sont déterminés:

- ✓ **La dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH):** qui est la somme des concentrations calcique et magnésienne;
- ✓ **La dureté calcique:** qui correspond à la teneur globale en sels de calcium;
 $TCa = [Ca^{2+}]$ exprimé en degré français (°F).

- ✓ **La dureté magnésienne:** qui correspond à la teneur globale en sels de magnésium;
 $TMg = [Mg^{2+}]$ exprimé en degré français (°F).
- ✓ **La dureté carbonatée:** qui correspond à la teneur en hydrogénocarbonate et carbonate de calcium et de magnésium (Rodier *et al.*, 2005).

4.3.8 Oxygène dissous

L'oxygène dissous est l'un des paramètres particulièrement importants pour l'analyse de l'eau, car il conditionne les réactions biologiques qui ont lieu dans les écosystèmes aquatiques. La solubilité de l'oxygène dans l'eau dépend de différents facteurs: la température, la pression et la force ionique du milieu. La concentration en oxygène dissous est exprimée en mg ($O_2 \cdot L^{-1}$) (Tardat-Henry *et al.*, 1992).

C'est un des paramètres les plus sensibles à la pollution. Sa valeur nous renseigne sur le degré de pollution et par conséquent sur le degré de l'autoépuration d'un cours d'eau (Kahoul, 2014).

Les concentrations en oxygène dissous, constituent avec les valeurs de pH, l'un des plus importants paramètres de qualité des eaux pour la vie aquatique (Merabet, 2010).

L'oxygène dissous dans les eaux de surface, provient essentiellement de l'atmosphère et de l'activité photosynthétique des algues et des plantes aquatiques. La concentration en oxygène dissous varie de manière journalière et saisonnière car elle dépend de nombreux facteurs; tels que la pression partielle en oxygène de l'atmosphère, la température de l'eau, la salinité, la pénétration de la lumière, l'agitation de l'eau et la disponibilité en nutriments (Merabet, 2010).

4.3.9 Matières organiques

La matière organique est principalement issue de la décomposition des végétaux, des animaux élaborée sous l'influence des micro-organismes. Elle n'est pas toxique, surtout si on tient compte de la quantité absorbée par l'alimentation mais, elle participe à beaucoup de paramètres de qualité de l'eau : couleur, sous-produits de désinfection, naissance des produits indésirables et produits biodégradables, odeurs et saveurs désagréables (Rodier *et al.*, 2005 ; Lounnas, 2009).

Ces produits très complexes sont formés principalement par des substances humiques de masse moléculaire très variable, généralement teintées, à caractère acide et hydrophile. En quantités beaucoup moins importantes, on rencontre des substances dites non humiques constituées principalement par des protéines et acides aminés, polysaccharides, etc. D'une façon générale,

une teneur élevée en matières organiques devra toujours faire suspecter une contamination microbienne ou autre (Duguet et *al.*, 2005 ; Rodier et *al.*, 2005).

Dans les eaux brutes superficielles, la teneur maximale en matières organiques évaluée par le paramètre « oxydabilité au permanganate de potassium à chaud en milieu acide » est fixée à 10 mg/l.

4.3.10 Demande Chimique en Oxygène

La demande chimique en oxygène (DCO), exprimée en mg.L^{-1} , est la quantité d'oxygène consommée par les matières existantes dans l'eau et oxydable dans des conditions opératoires définies. En effet, la mesure correspond à une estimation des matières oxydables présentes dans l'eau quel que soit leur origine organique ou minérale. La DCO étant en fonction des caractéristiques des matières présentes, de leurs proportions respectives et des possibilités de l'oxydation (Tardat-Henry et *al.*, 1992).

4.3.11 Demande Biochimique en Oxygène

L'oxydation des composés organiques biodégradables par les microorganismes entraîne une consommation d'oxygène ; le milieu exerce donc une certaine demande biochimique d'oxygène. La mesure de cette DBO permet d'évaluer le contenu d'une eau en matières organiques biodégradables et donc, dans une certaine mesure, sa qualité ou son degré de pollution. La dégradation complète des matières organiques peut être relativement longue (plusieurs semaines). D'autre part, l'oxydation des dérivées ammoniacaux et des nitrites en nitrates (nitrification) absorbe également de l'oxygène. Cette nitrification, dans les eaux naturelles, ne débute qu'au bout d'une dizaine de jours. Pour ces deux raisons, on mesure la DBO en 5 jours, ou DBO₅ (Lounnas, 2009).

La DBO₅ est donc la quantité d'oxygène nécessaire aux micro-organismes présents dans un milieu pour oxyder les substances organiques biologiquement dégradables contenues dans un échantillon d'eau maintenu dans l'obscurité, pendant 5 jours. Ce paramètre constitue un bon indicateur de la teneur en matière organique biodégradable d'une eau naturelle polluée ou d'une eau résiduaire (Tableau 6).

Deux échantillons sont nécessaires : le premier sert à la mesure de la concentration initiale en oxygène, le second à la mesure de la concentration résiduaire en oxygène au bout de 5 jours. La DBO₅ est la différence entre ces 2 concentrations. Plus la différence est grande et plus le

milieu est demandeur en oxygène et donc mal équilibré car les déchets à transformer sont trop importants (Khelili, 2015).

Tableau 6 : Qualité de l'eau en fonction de la DBO5 (Loup J. 1974).

DBO5	Qualité de l'eau
DBO5 < 1 mg/l d'O₂	Excellente qualité
DBO5 = 2 mg/l d'O₂	Bonne qualité
DBO5 = 3 mg/l d'O₂	Qualité moyenne
DBO5 = 5 mg/l	Eau moyennement polluée
DBO5 > 10 mg/l	Eau polluée

4.4 Qualité biologique

4.4.1 Principaux germes recherchés dans l'eau

Coliformes Totaux

Selon l'organisation internationale de standardisation, il s'agit de bacilles gram négatifs (BGN) non sporulés oxydase négative aérobies ou anaérobies facultatifs, capables de fermenter le lactose avec production d'acide et de gaz en 24 à 48 heures à une température comprise entre 36 C° et 37 C° (Leyla, 2002).

Coliformes Thermo-tolérants

Il s'agit des coliformes possédant les mêmes caractéristiques que les coliformes mais à 44 C°, ils remplacent dans la majorité des cas l'appellation : (coliformes fécaux) on cite là l'exemple de E. coli qui produisent de l'indole à partir du tryptophane, fermentent le lactose ou le mannitol avec production d'acide et de gaz. Elle ne peut pas en général se reproduire dans les milieux aquatiques, leur présence dans l'eau indique une pollution fécale récente (John, 2010).

Streptocoques Fécaux (37 C°)

Il s'agit de cocci à gram positif (CGP) de forme sphérique ou ovoïde, se présentant en chainettes Pius ou moins longues, non sporulées aéro-anaérobies facultatives, ne possédant ni catalase ni oxydase, ce sont des hôtes normaux d'homme, et ne sont pas considérés comme pathogènes (Leyla, 2002).

Clostridium sulfiro-réducteurs

Elles représentent les bacilles stricts, à Gram positif, formant des endospores. On les rencontre dans le tube digestif de l'Homme et des animaux à sang chaud. Ils survivent plus longtemps que les coliformes dans l'eau et ils résistent à la désinfection. Leur absence dans une eau est signe d'efficacité de la filtration sur sable (Rodier, 1984). Les coliformes, les streptocoques et les clostridium sont des germes indicateurs de contamination fécale.

Chapitre IV :

Résultats et discussions

1. Classement du fonctionnement biologique du lac noir

L'autoépuration au niveau du lac noir obéit au système d'épuration naturelle classique qui est celui d'un lagunage naturel.

Le lagunage est un système biologique d'épuration extensive, qui consiste à recevoir les eaux de ruissellement et/ou les eaux usées dans un ou plusieurs bassins successifs de faible profondeur, où des phénomènes naturels de dégradation font intervenir la biomasse épuratrice qui transforme la matière organique en minérale selon leurs cycles biogéochimiques respectifs. La matière polluante est soustraite aux eaux usées et/ou de ruissellement, pour se retrouver en grande partie absorbée par la microflore et la microfaune. Une autre partie accumulée dans les sédiments pour servir de substrat aux protozoaires et aux parasites. Enfin, dans les conditions d'anoxies, une faible partie des matières minérales est réduite et transférée dans l'atmosphère sous forme de méthane et d'azote gazeux.

Ce processus d'autoépuration naturelle est assuré par une symbiose parfaite entre les algues qui fournissent de l'oxygène et les bactéries qui fournissent en contrepartie les sels minéraux nécessaires.

On désigne par lagunage ou bassin de stabilisation, toute dépression ou excavation naturelle ou artificielle dans laquelle s'écoulent naturellement ou artificiellement les eaux usées brutes ou décantées, pour ressortir, sans intervention extérieure d'aucune sorte, dans un état où elles ne risquent pas d'altérer la qualité du milieu récepteur. (Figure 09)

Le lagunage, associés aux systèmes conventionnels de traitement secondaire, ils constituent aussi d'excellents dispositifs tertiaires aptes à réduire les risques liés aux micro-organismes pathogènes.

Les mécanismes de l'épuration et le fonctionnement d'un lagunage simple peuvent être décrits par le schéma suivant :

Eau usée (nutriments) + oxygène (algue) + (bactérie) → boues + effluent traité + CO₂ + H₂O.

Il consiste, à retenir les effluents dans des bassins pendant une période plus ou moins longue au cours de laquelle les organismes présents permettent d'éliminer 20 à 60 Kg de DBO₅/hectare/mois.

On peut classer les lagunes en fonction de leur régime ou en fonction de leur place dans la filière épuratoire.

On aura donc, selon le premier critère, des bassins de stabilisation :

- Anaérobies : sorte de pré-digesteurs exposé à l'air ;
- Aérobies : fonctionnant grâce à une association typique d'algues et de bactéries ;
- Facultatifs : où la zone supérieure est aérobie et la zone inférieure anaérobie ;

On parle aussi, selon le deuxième critère, de :

- Lagunage complet : lorsque l'installation est directement alimentée d'eau brute non décantée ;
- Lagunage secondaire : lorsque l'installation est alimentée d'eau décantée ;
- Lagunage tertiaire : pour une installation directement alimentée d'un effluent traité suivant un procédé conventionnel (boues activées, lits bactériens,...).



Figure 09 : Lac noir, Akfadou, photo prise par drone période basses eaux (Anonyme, 2019).

2. Mesure des paramètres de qualité de l'eau du lac noir

Suite aux conditions sanitaires et aux mesures barrières prises pour endiguer à la propagation de la pandémie du « Covid 19 », nous n'avons malheureusement pu réaliser que deux sorties sur le terrain, pour évaluer les paramètres physicochimiques et biologiques ainsi que le fonctionnement global dudit milieu.



Figure 10 : Lac noir, période des hautes eaux (Originale, 2020).

A cet effet, nous avons mesuré l’oxygène dissous, la température, le pH du lac ainsi, nous avons ou mené une enquête sociale sur l’activité anthropique au niveau de ce site. (Figure 11, 12).

La première sortie a eu lieu le 09/03/2020 :

La mesure de l’oxygène dissous a été faite in situ, en utilisant un oxymètre de terrain mis à notre disponibilité par le laboratoire traitement des eaux.

Les résultats obtenus montrent que l’eau du lac noir présente les caractéristiques suivantes :

- Le taux de saturation moyen de l’oxygène dissous est de 95% : L’eau du lac noir est suffisamment oxygénée pour permettre un bon développement des espèces assurant l’auto épuration de ce lac et donc ne présente pas de problèmes de fermentation.
- La température de l’eau mesurée sur plusieurs points au niveau du lac donne une moyenne de 9.8°C : Cette valeur est normale pour cette période d’analyse à savoir le 09 Mars 2020, elle favorise bien les échanges gazeux eau/air et elle reste favorable à l’activité biologique.



Figure 11 : Mesure de l'oxygène dissous et de la température in situ (09/03/2020).

- Pour la mesure du pH nous avons récolté plusieurs échantillons en différents points et sur différentes profondeurs au niveau du lac ; La valeur moyenne du pH mesuré est de 7.5 : Cette valeur reste dans l'intervalle du pH des eaux naturelles à savoir 6.5 à 8.5. C'est donc une moyenne optimale à l'activité biologique.



Figure 12 : Mesure du pH d'un échantillon au sein du laboratoire (10/03/2020).

- La turbidité moyenne mesurée sur plusieurs échantillons en période des hautes eaux donne une valeur de 46.2 NTU : L'eau du lac est donc légèrement trouble ; Cette moyenne est caractéristique de cette période de fonte des glaces et des crues qui charrient une importante concentration en matières en suspension (MES).



Figure 13 : Mesure de la turbidité au laboratoire (10/03/2020).

3. Evaluation du pouvoir auto épurateur du lac

Afin d'évaluer le pouvoir auto épurateur du lac noir, faute de DBO mètre, nous avons estimé sa demande biochimique en oxygène de l'ordre de 9.5mg/l.

En tenant compte de cette valeur et des valeurs théoriques des abattements de la charge polluante des lagunages naturels qui sont évalués entre 20 et 60 kg DBO₅/hectare/mois (20 kg/hectare/mois pour un lagunage complet, 40kg/hectare/mois pour un lagunage secondaire, 60kg/hectare/mois pour un lagunage tertiaire).

Le lac noir d'Akfadou est du type lagunage complet car, il reçoit les eaux brutes de ruissellement de son sous bassin versant. A cet effet, l'abattement retenu pour l'auto épuration naturelle du lac noir est de 20kg/hectare/mois.

A partir de ces données nous allons estimer les capacités épuratoires du lac noir d'Akfadou :

Avec une DBO₅ estimée à 9.5mg/l, nous allons donc calculer le flux global de la matière organique présente dans le lac noir.

✓ Calcul du volume d'eau du lac :

↳ $V = P \times S$

V : le volume du lac

P : la profondeur moyenne du lac (1m)

S : la surface du lac (3 ha=30000 m²)

$$V = 1 \times 30000 = 30000 \text{ m}^3$$

Le volume d'eau du lac est donc 30000 m³

✓ Calcul du flux annuel de la matière organique :

↳ DBO = 9.5mg/l

9.5 mg → 1 L

X mg → 1m³

$$X = 9.5\text{g/m}^3$$

On a :

9.5 g → 1 m³

X → 30000 m³

Flux annuel de la matière organique du lac noir = 285 Kg.

Les capacités épuratoires mensuelles du lac noir sont de l'ordre de 60 kg.

↳ La charge organique c'est la quantité de DBO₅ reçue / la capacité épuratoire annuelle

$$\text{La charge organique} = 285 / 720 = 0.4\%.$$

Conclusion :

Le lac noir est sollicité à 40% de ses capacités, d'où la bonne qualité de sa ressource hydrique.

La valeur de la charge organique témoigne du fort pouvoir épurateur du lac noir ce qui permet de préserver les objectifs environnementaux escomptés et cela malgré toutes les perturbations anthropiques que ce site subit.

4. Impact de l'activité anthropique :

La deuxième sortie a eu lieu le 28/09/2020 afin de réaliser :

Une enquête d'investigation sur l'impact de l'activité touristique sur le site en question. Durant cette sortie, nous avons été accompagnées des membres d'une association écologique « Amis de la nature », comme nous avons aussi été éclairées par les fonctionnaires de la maison forestière de Chemini.

Suite à notre investigation sur le terrain, nous avons constaté les faits suivants :

Le lac noir serait l'un des plus beaux et des plus pittoresques sites naturels d'Algérie. Ce lac est le cœur de la forêt de l'Akfadou. Il est devenu la destination privilégiée de milliers de visiteurs

et de touristes en bien trop grands nombres. Comble de l'inconscience, beaucoup de ces visiteurs indéliçats arrachent, piétinent, salissent, polluent et vont jusqu'à s'aventurer sur les berges du lac en voiture. Ainsi des monceaux d'ordures et de sacs poubelles qui sont laissés derrière eux. Ces faits affecteraient la faune et la flore du lac et risquent de modifier progressivement les paramètres de qualité du milieu aquatique en place.

Le lac noir est un écosystème fragile qui subit une énorme pression anthropique, due principalement au tourisme de masse, une dégradation que ce site ne peut pas supporter. Le tourisme dérange principalement la faune surtout en période de reproduction et d'accouplement

A partir de la ville d'Adekar, il faut compter 12 kilomètres de piste cahoteuse et profondément ravinée par les pluies à travers la forêt avant d'y arriver. Cet état des sentiers ne rebute nullement tous les aventuriers qui veulent voir de leurs propres yeux à quoi ressemble cette merveilleuse créature de la nature qui est popularisée par les photos postées sur les réseaux sociaux.

Malheureusement, comme dans tous les sites naturels ou archéologiques du pays, certains de nos concitoyens ne montrant pas le moindre signe de respect pour cette nature qu'ils sont venus admirer. On crie à tue-tête, on chante en groupe au son des derboukas, on pousse les baffes des voitures à leur maximum et on allume des feux de bois un peu partout sans égard aux animaux qui peuplent ces lieux et qui ont déjà pris la poudre d'escampette à l'arrivée des intrus pour se retrouver à l'abri des nuisances sonores engendrées.

Plusieurs véhicules s'aventurent jusqu'au bord de l'eau, labourant en profondeur la pelouse trempée par les eaux de pluie qui abriterait des rainettes vertes et autres petites bestioles habituées de cette niche écologique. Par beau temps, on va jusqu'à improviser des matchs de foot sur la malheureuse pelouse alpine qui a perdu tout son gazon. Certains de ces touristes laissent leurs déchets aux abords du lac après avoir quitté le lieu ou même certains jettent le charbon de leur barbecue dedans.

Le lac est devenu une gigantesque foire où des groupes de personnes et de véhicules circulent dans tous les sens ; Ces faits témoignent de l'incivisme environnemental de la plupart des citoyens. Au train où vont les choses, elles ne vont certainement pas tarder à causer la disparition de ce site.

5. Un statut pour protéger la forêt de l'Akfadou

La seule manière de protéger cette forêt est de la doter d'un statut. Il faudrait que les pouvoirs publics classent la forêt d'Akfadou parc national, comme l'avait fait la France en 1925. En effet, l'Akfadou était classé comme parc national par la France coloniale par l'arrêté gouvernemental du 23 janvier 1925. Etrangement, l'Algérie indépendante n'a pas jugé utile de reprendre ce classement lorsque les premiers parcs nationaux ont été créés dans les années 80'.

Pourtant, la superficie du massif de l'Akfadou dépasse les 20 000 hectares, avec un domaine forestier national qui renferme l'un des plus grands complexes de forêts caducifoliées d'Algérie. Malgré cette richesse exceptionnelle, la forêt de l'Akfadou ne bénéficie aujourd'hui d'aucun statut qui puisse la protéger. L'Akfadou présente pourtant des potentialités exceptionnelles, à l'image des lacs comme le lac Ouroufel, le lac Aslous et Aguelmime Averkan, le Lac noir et également de la zénaie d'Akfadou qui est unique en Afrique du nord.

Dans les années 1940, plusieurs espèces comme le sapin de Numidie, le cèdre de l'Atlas, le pin noir, le châtaignier, le houx ou l'aulne glutineux ont été introduites avec d'excellents résultats.

En effet même la colonie de pins noirs a fait l'objet de prédatons de la part des touristes qui taillent initiales en l'écorce de leurs immenses troncs. La déforestation touche ce site également.

6. Une gestion indispensable des zones humide

Comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, toutes les zones humides évoluent en permanence : on parle de la « dynamique » des zones humides. Sans aucune perturbation naturelle ou intervention humaine, leur évolution naturelle aboutit à terme à leur repeuplement naturel, ce qui entraîne leur fermeture vis-à-vis de l'extérieur, l'arrêt des échanges et la perte de leurs fonctionnalités.

L'Homme doit cependant gérer les zones humides s'il veut en préserver leurs fonctions et leurs services.

La gestion correspond à une intervention planifiée pour atteindre des objectifs choisis (patrimoniaux, agricoles, forestiers, cynégétiques, piscicoles...). Ces objectifs vont de la conservation de certaines propriétés à la création d'une nouvelle zone humide, en passant par la réhabilitation ou la restauration de la zone (Barnaud et Barbier, 2006).

Conclusion générale

Conclusion générale

D'après notre étude bibliographique, on a pu conclure que le lac noir d'Akfadou représente l'un des très beaux sites naturels d'Algérie, une véritable symbiose vivante où se confrontent diverses espèces végétales et animales qui font la richesse de ce lieu. Ce lac se révèle comme un joyau serti dans son écrin de verdure. Un plan d'eau dont on aperçoit une destination privilégiée des visiteurs, hélas cet écosystème s'est fragilisé sous une énorme pression anthropique.

L'approche fonctionnelle montre que le lac noir fonctionne selon le type lagunage complet car, il reçoit l'ensemble des eaux de ruissellement de son versant à l'état brut avec une capacité épuratoire de 20kg/DBO₅/ hectare/mois.

Le lac noir contribue au maintien et à l'amélioration de la qualité de l'eau en agissant comme filtre physique. L'évaluation de son pouvoir auto épurateur a montré qu'il est sollicité à hauteur de 40% de ses capacités épuratoires, ce qui témoigne donc de son fort pouvoir d'auto épuration naturelle, d'où la bonne qualité de son eau avec un pH moyen de 7,5 favorable à l'ensemble des activités biologiques et un taux d'oxygène dissout avoisinant les 95%, favorisant la bonne prolifération de la faune et de la flore aérobie.

Le lac noir, est un biotope fragile soumis à une énorme pression anthropique, due principalement au tourisme de masse que cet écosystème ne peut pas supporter.

Perspectives

Afin de protéger le lac noir d'Akfadou, il est nécessaire de

- Maîtriser la fréquentation du site et ne pas dépasser un certain seuil qu'il convient de fixer.
- Aussi, les visiteurs ne doivent pas sortir des cheminements qui ont été créés pour eux,
- Gérer les zones humides d'une façon planifiée afin d'atteindre les objectifs voulus qui sont principalement leur préservation à long terme.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

1. **ABDELAZIZ, M. 1976.** Etudes des possibilités de création d'une nouvelle structure de gestion de la forêt domaniale d'Akfadou Est. Mémoire de fin d'étude. Institut de Technologie Agricole Mostaganem, p 158.
2. **ALLOUT, I. 2013.** Etude de la biodiversité floristique de la zone humide de Boukhmira Sidi Salem, El Bouni-Annaba. Mémoire de Magister, Université Badji Mokhtar - Annaba, p 189.
3. **ANCTIL, F. 2008.** L'eau et ses enjeux. Edition Boeck Université de Bruxelles, Belgique, p 276.
4. **ASSOULINE, S. et ASSOULINE, J. 2007.** Géopolitique de l'Eau : Nature et Enjeux. Edition STUDYRAMA Perspectives, p 60.
5. **ATTEIA, O. 2005.** Chimie et pollutions des eaux souterraines. Editions Tec Doc. LAVOISIER, Paris, p 75.
6. **ANONYME 1. 1988.** Etude d'aménagement de la forêt domaniale d'Akfadou, phase II étude du milieu. Document BNEF. p 175.
7. **ANONYME. 2009.** Cycle de l'eau.
8. **BARNAUD et FUSTEC. 2007.** Conserver les zones humides : Pourquoi ? Comment ? 1^{er} Edition QUAE, p 102.
9. **BELLILI, K. 2003.** Etude socioéconomique de la région d'Akfadou [texte imprimé] : Dans le cadre de classement du forêt d'Akfadou est en aire protégée thèse Université A.Mira de Bejaia.
10. **BEN ABDARREZZAK, A. 2010.** Caractéristiques physico-chimiques des eaux du lac Témacine, Méggarine et Ayata et inventaire des espèces piscicoles de ces lacs. Mémoire d'ingénieur d'Etat. Université d'Ouargla, p 17.
11. **BENALLOU, A. 2004.** Analyse physico-chimique des effluents provenant de la laiterie de Arib. Centre université de Khemis Miliana, p 22.
12. **BENHALLOUCHE N. et BENDAHDANE I. 2014.** Ecologie de la Reproduction des oiseaux d'eau à dayet el ferd (w. Tlemcen). Thèse de Doctorat. Université Abou – Bekr Belkaid – Tlemcen, p 123.
13. **BERNARD, C. 2007.** Introduction à l'étude de la médecine expérimentale. Edition BIBLIOBAZAAR, p 222.
14. **BIRGAND, F ; et NOVINE, E., 2004.** Facteurs expliquant la présence e matière organique dans les eaux superficielles en Bretagne : Analyse de données existantes. Rapport final de CEMAGREF- CNRSRENNES, p 85.
15. **BORDET, J. 2007.** L'eau dans son environnement rural. Edition JOHANET. Paris, 50p
16. **BOUZIANI. M. 2000.** L'eau de la pénurie aux maladies. Edition IBEN KHALDOU : Oran, p 132. ISBN: 9961-71-071-1.

Références bibliographiques

17. **CARDOT, C. 1999.** Les traitements de l'eau: procédés physico-chimiques et Biologiques, cours et problèmes résolus: génie de l'environnement. Edition ELLIPSES, p 71.
18. **CASTANY, G. 1982.** Principes et Méthodes de l'Hydrogéologie. Edition DUNOD, Paris, France.
19. Centrales nucléaires et environnement, prélèvements d'eau et rejets, EDF, 2013
20. **CHASSANAC, T.** Technique de l'ingénieur. Environnement G3. Paris. Juillet 2007.
21. **CHAOUI, M. 2013.** Contribution à l'étude de qualité physico-chimique et métallique des eaux de surface (Oued Moulouya/Barrage Hassan II) au voisinage de la mine abandonnée Zaida (Haute Moulouya). Mémoire de Master. Université Cadi Ayyad, Maroc.
22. **JALBERT, J. 2016.** Les zones humides du littoral. 02/02/2016. Conférence.
23. **DAJOZ, R. 2006.** Précis d'écologie. 8^{ème} Edition DUNOD, Paris, p 621-631.
24. **DAVIS, T.J., 1996.** Le Manuel de la Convention RAMSAR. Edition T.J. Davis - Bureau de la Convention RAMSAR de Suisse, p 185.
25. **DEFRANCESCHI, M. 1996.** L'eau dans tous ses états. Edition: ELLIPSES, p 61.
26. **DEGREMONT, S. 1989.** Memento technique de l'eau, tome 1, 3^{ème} Edition LAVOISIER, paris, p 276.
27. **DEGREMONT, S. 2005.** Memento technique de l'eau, dixième édition TOME1.Edition LAVOISIER, p 156.
28. **DESJARDINS, R. 1997.** Le traitement des eaux. 2^{ème} Edition de l'école Polytechnique de Montréal, p 79.
29. **DGF. 2000.** Les zones humides - Un univers à découvrir ! Atlas 2, Direction Générale des Forêts, Alger, p 49.
30. **DGF. 2002.** Atlas des 26 zones humides algériennes d'importance internationale. Atlas 3, Direction Générale des Forêts, Alger, p 89.
31. **DGF. 2004.** Atlas IV des zones humides algériennes d'importance internationale. Atlas 4, Direction Générale des Forêts, Alger, p 105.
32. **DUGUET, J.P. et al. 2005.** Réglementation et traitement des eaux destinées à la consommation humaine. 1^{ère} édition, ASTEE (Association Scientifique et Technique pour l'Environnement), p 85.
33. **FELFOUL, R. HADJYAHYA, S. 1999.** Contribution au traitement des eaux d'oued boutane (Khemis Miliana) Choix d'un procédé d'épuration Centre université de Khemis Miliana, p 16.
34. **GRASCLAUD, G ; coll. 1999 :** L'eau : usage et polluants. T II. Edition INRA

Références bibliographiques

35. **FUSTEC, E. et Lefeuvre J-C. 2002.** Fonctions et valeurs des zones humides In: Géomorphologie: relief, processus, environnement. Juillet-septembre 2002, Vol. 8 (3): 279-280.
36. **GAUJOUS, D. 1995.** La pollution des milieux aquatiques : aide-mémoire. 2ème Edition, Lavoisier Tec et Doc, Paris, France, p 98.
37. **GROSCLAUDE, G. 1999.** Un point sur l'eau. Tome II usages et polluants. Edition INRA. Paris, p 210.
38. **HADE, A. 2002.** Nos lacs – les connaître pour mieux les protéger. Éditions FIDES, p 360.
39. **HAMED, M. GUETTACHE, A & BOUAMER, L. 2012.** Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage DJORF- TORBA Bechar. Mémoire d'Ingénieur d'état en Biologie. Université de Bechar, p 7,9.
40. **HAWA, S. 2001.** Analyse physico-chimique et bactériologique au L.N.S des eaux de consommation de la Ville de Bamako. Université de Bamako, p 20.
41. **HASLAY, C et LECLERC, H. 1993.** Microbiologie des Eaux d'Alimentation Edition, LAVOISIER TEC et DOC., Paris, France, p 256.
42. **JOEL, G. 2003.** La qualité de l'eau potable, technique et responsabilités, Paris, Novembre 2003.
43. **JOHN, P. DANALD, A. 2010.** Microbiologie, 3^{ème} édition, p 163.
44. **KAHOUL. TOUHAMI. 2014.** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la Ville d'Annaba (Algérie). Université Badji Mokhtar. Annaba BP12. Algérie, p 36.
45. **KHELILI, R. LAZALI, D. 2015.** Etude des propriétés physico-chimiques et bactériologiques de l'eau du barrage Harraza (Wilaya de Ain Defla), p 28.
46. **KENNETH, M et FRANÇOIS, V. 1976.** Biologie de la pollution. Librairie Vuibert. Paris, p 142.
47. **LARIBI, M. 1999.** Contribution à l'étude phytosociologie des formations caducifoliées à Quercus canariensis Willd et Quercus afares Pom. Du massif forestier d'Ath Ghobri- Akfadou. Mémoire Magistère. Université TIZI OUZOU, p 159.
48. **LEYLA, G. RONNEFOY, C et GUILLET. F. 2002.** Microbiologie et qualité des industries agroalimentaire, Paris, p 160.
49. **LEVEQUE, C. 1996.** Ecosystème aquatique, Edition HACHETTE livre. Paris, p 102.
50. **LOUNNAS, A. 2009.** Amélioration des procédés de clarification des eaux de la station Hamadikroma de Skikda. Thèse de magister, Université de Skikba, p 65.

Références bibliographiques

51. **LOUP, J. 1975.** Initiation aux études de géologie. Les eaux terrestres, l'hydrologie continentale. Edition MASSON et CIE, Paris, p : 5-7.
52. **MATHIEU, S. 2006.** Evaluation de l'intérêt des zones humides ordinaires –arguments pour les valoriser auprès du public. ENGREF Centre de Montpellier et Office International de l'Eau, p 32.
53. **MAHAMAT, B. BESKRI, A. 2010.** Caractéristique physico-chimique des eaux souterraines dans la plaine de Khemis Miliana, Mémoire fin d'étude. Centre université de Khemis Miliana, p 23.
54. **MAKHOUKH, M. 2011.** Contribution à l'étude physico-chimique des eaux superficielles de l'oued Moulouya. Maroc, p 45.
55. **MAMAN, L et VIENNE, L. 2010.** Les zones humides, un patrimoine remarquable. Géosciences, pp 68-77.
56. **MARTIN, L. 2012.** La gestion des zones humides dans les dossiers loi sur l'eau : amélioration des avis techniques pour une meilleure mise en œuvre des mesures compensatoires en zones humides. Mémoire de Master, Université de Limoges, p 96.
57. **MERABET, S. 2010.** Évaluation de la qualité physico-chimique des eaux brutes et Distribuées du barrage réservoir de beni Haroun. Mémoire de magister chimie analytique. Université Mentouri de Constantine, p 4, 5,9.
58. **METAHRI M.S et SAHMOUNE, A. 2008.** Elimination de l'azote et du phosphore des eaux usées traitées par valorisation agricole.
59. **MESSAOUDENE, M. 1989.** Étude dendroécologique et productivité de *Q. canariensis* Willd et de *Q. afares* Pomel dans les massifs de l'Akfadou et de Beni-Ghobri en Algérie. Thèse de doctorat en sciences, université Aix-Marseille III, p 124.
60. **MESSAOUDENE, M., LARIBI M., DERRIDJ, A. 2007.** Étude de la diversité floristique de la forêt de l'Akfadou Tizi-ouzou : Bois et forêts des tropiques. Algérie, p 104.
61. **MICHARD, G. 2002.** Chimie des eaux naturelles, Principes de géochimie des eaux, Publié, Janvier 2002.
62. **NGO, CH. 2004.** Déchets et pollution impact sur l'environnement et la santé. Edition DUNOD, p 265.
63. **OEPA. 2005.** Observatoire de l'Eau des Pays de l'Adour, Les Zones Humides - Bassin de l'Adour, Phase 1 – Données et sources d'informations, p 27.
64. **ODIHAT, K. 2011.** Ecologie et structure des Anatidés de la zone humide de Dayet El Ferd (Tlemcen). Mémoire de Magister en Ecologie et Biologie des Populations. Université Abou – Bekr Belkaid – Tlemcen, p 92.

Références bibliographiques

65. **PADER, 2013.** Extrait du Portail Algérien des Energies Renouvelables, 50 sites RAMSAR classés zones humides d'importance internationale en Algérie, p 2. [en ligne] (Consulté le 07/01/2015) <http://portail.cder.dz/spip.php?article3017>
66. **PRESCOTT, H. Klein. 2002.** Microbiologie. 2eme Edition française (traduction de la 5ème édition américaine-calberg M et jean Dusart) de BOECK, p 1137.
67. **RAMAD, F. 2005.** Dictionnaire Encyclopédique des sciences de l'eau .Edition EDISCIENCE International, Paris, France, p 168.
68. **RAMAD, F. 1998.** Dictionnaire Encyclopédique des sciences de l'eau .Edition EDISCIENCE International, Paris, France, p 201.
69. **RAMADE, F. 2008.** Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité. Ed. Dunod, Paris, p 727.
70. **RAMADE, F. 2003.** Elément d'écologie, écologie fondamentale. 3^{ème} édition DUNOD, Paris, p 690.
71. **RAMSAR. 2013.** Le Manuel de la Convention de Ramsar, Guide de la Convention sur les zones humides, 6^{ème} édition. Secrétariat de la Convention de Ramsar, Gland, Suisse, p 85.
72. **RAMSAR. 2011.** La convention de Ramsar. 01/03/2011, p 5.
73. **REJSEK, F. 2002.** Analyse des eaux : aspect réglementaire et technique. Edition Centre régional de documentation pédagogique d'aquitaine, p 111.
74. **RODIER, J. 1984.** L'analyse de l'eau, eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer, Edition BORDAS, Paris, p 228.
75. **RODIER, J et al. 1997.** L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires et eaux de mer. 8^{ème} édition DUNOD. p 206.
76. **RODIER, J. 2005.** L'Analyse d'eau. 8^{ème} édition, p 354.
77. **RODIER, J., Legube B., Merlet, N. et Brunet, R. 2009.** L'analyse de l'eau. 9eme édition, Ed. Dunod, Paris, p 236.
78. **SALAMANI, M. 1991.** Premières données palynologiques sur l'histoire holocène du massif de l'Akfadou (Grande Kabylie). Algérie.Ecologica medit, XVII : 145-159.
79. **SAHRAOUI, N. 2015.** Etude de la coherence entre la vulnérabilité à la pollution de la qualité des eaux souterraines plaine Khemis Miliana. Mémoire de Master en Eau et Bioclimatique. Université Khemis Miliana, p 19.
80. **SAIFOUNI, A. 2009.** État des lieux des zones humides et des oiseaux d'eau en Algérie. Mémoire de Magister en sciences agronomiques. Ecole Nationale Supérieure Agronomique, p 22.

Références bibliographiques

81. **MELANIE, C. 2009.** Identification, caractérisation et localisation des zones humides du bassin versant de l'Yser. Rapport de stage de master 2, p54. S.A.). El Harrach, Alger, p 250.
82. **SKINNER, J. et ZALEWSKI, S. 1995.** Fonctions et valeurs des zones humides méditerranéennes. Conservation des zones humides méditerranéennes MedWet, Tour du Valat, France, p 78.
83. **VILAGINES, R. 2003.** Eau, environnement et santé publique: introduction à l'hydrologie. 2^{ème} édition LAVOISIER, Paris, 2003. ISBN 2-7430-0604-8 (HY.43).
84. **VILAGINES, R. 2003.** Eau, environnement et santé publique, 2^{ème} Edition, Introduction à l'hydrologie. Coédition TEC et DOC Edition Médical Internationales, Londres, paris, New York, p 190.

Site internet

1. C.I.E : Centre d'Information sur l'Eau: www.Cieau.com.
2. <http://www.zones-humides.org/milieux-en-danger/menaces>
3. https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/rpb_values_of_wetlands_f.pdf
4. www.christophe_corteau.com
5. www.angers-pratique.fr

Annexes

Annexes

Annexe 01

Tableau 01 : Cumuls mensuels et annuels des précipitations depuis septembre 2010 jusqu'à avril 2020. (INRF AZAZAGA, 2020)

Mois année	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	Jan	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Juin	Juil.	Aou	Mm
09/10	115.4	44.9	139	203.5	166.5	78.7	121.1	81.8	70.2	26	00	16	1063.1
10/11	27.5	126.3	167	123.9	293.4	218.9	87.5	52.95	135.3	29.1	00	00	1261.85
11/12	1.6	63.9	212.6	162.8	134.7	380.1	121.2	188.7	30	1.6	0.1	00	1297.3
12 /13	27	80.5	86.6	77.8	204.5	231.9	137.2	65.4	139.5	2.3	00	34.2	1086.3
13 /14	24.6	40	285.5	176.3	108.8	138.2	271.6	9.5	19.8	56.6	0.1	00	1018
14/15	0.2	59.9	26.6	364.1	230.9	242.	135.4	0.6	11	16.7	00	00	1088.2
15/16	14.7	127.4	125.5	00	104.3	90	287.2	74.6	80.7	11.7	00	00	915
16 /17	14.7	15.7	72.3	150.6	329.6	48.5	31.9	31.8	00	16.7	00	6.2	718
17/18	37.5	31.9	195.9	150.6	53	165.5	232.5	102.8	116.2	52.5	00	8.8	1147.2
18 /19	35.3	242.9	193.9	54.5	276	83.2	92.1	98.2	84.3	3.7	00	10.3	980.5
19/20	71.7		253.3	55.2	59.8	0.4	95.7	111.6					

Annexes

Annexe 02 : Liste des espèces animales dans la forêt d'Akfadou

Nom	Ordre	Famille	Genre	Espèce	Biotope
Hérisson	Insectivores	Erinacéidés	<i>Erinaceus</i>	<i>Erinaceus algirus</i>	broussailles et buissons et milieux cultivés,
Singe Magot	Primates	Cercopithécidés	<i>Macaca</i>	<i>Macaca sylvanus</i>	région boisée des hautes altitudes
Lièvre Brun	Lagomorphes	Léporidés	<i>Lepus</i>	<i>Lepus capensis</i>	prairie et zones de culture ainsi que les zones boisées
Lapin de Garenne	Lagomorphes	Léporidés	<i>Oryctolagus</i>	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	zone de culture de basses altitudes
Lérot	Rongeurs	Gliridés	<i>Eliomys</i>	<i>Eliomys quercinus</i>	terrains rocheux, zones cultivées et forêt,
Rat Rayé	Rongeurs	Muridés	<i>Lemniscomys</i>	<i>Lemniscomys barbarus</i>	zones cultivées
Mulot Sylvestre	Rongeurs	Muridés	<i>Apodemus</i>	<i>Apodemus sylvaticus</i>	maquis et proximité des habitations ainsi que le milieu forestier
Porc-épic	Rongeurs	Hystricidés	<i>Hystrix</i>	<i>Hystrix cristata</i>	pentcs rocheuses herbacées
Belette	Carnivores	Mustélidés	<i>Mustela</i>	<i>Mustela ermine</i>	broussailles des zones rocailluses, zones de cultures et jardins
Mangouste	Carnivores	Viverridés	<i>Herpestes</i>	<i>Herpestes ichneumon</i>	milieu humide
Genette	Carnivores	Viverridés	<i>Genetta</i>	<i>Genetta genetta</i>	haute montagne à couvert végétale dense
Chat sauvage	Carnivores	Félidés	<i>Felis</i>	<i>Felis libyca</i>	bois, maquis
Chacal	Carnivores	Canidés	<i>Canis</i>	<i>Canis aureus</i>	bois, dans les zones découvertes des hautes montagnes
Renard Roux	Carnivores	Canidés	<i>Vulpes</i>	<i>Vulpes vulpes</i>	tous les biotopes
Hyène Rayée	Carnassiers	Hyaenidés	<i>Hyaena</i>	<i>Hyaena hyaena</i>	tous les biotopes
Sanglier	Artiodactyles	Suidés	<i>Sus</i>	<i>Sus scrofa</i>	zone boisée des hautes altitudes

Annexes

Annexe 03 : Liste des espèces floristique recensées dans la forêt d'Akfadou

Nom Scientifique	Nom commun	Famille	Strate
<i>Acer monspessulanum</i>	Erable de Montpellier	Aceraceae	Arbre
<i>Acer obtusatum</i>	Erable a feuille d'obier	Aceraceae	Arbre
<i>Alliariaofficinalis</i>	Alliaire officinale	Brassicaceae	Herbacé
<i>Alnusglutinosa</i>	Aulne glutineux	Bétulaceae	Arbre
<i>Ampelodesmamuritanicum</i>	Diss	Poaceae	Herbacé
<i>Anacyclusclavatus</i>	Anacycle en massue	Asteraceae	Herbacé
<i>Anagalisarvensis</i>	Mouton rouge	Prmulacaceae	Herbacé
<i>Artemisiaabsinthium</i>	Absinthe	Asteraceae	Herbacé
<i>Asparagus acutifolius</i>	Asperge sauvage	Liliaceae	Arbuste
<i>Asperula laevigata</i>	Aspérule lisse	Rubiaceae	Herbacé
<i>Asphodelusmicrocarpus</i>	Asphodèle	Liliaceae	Herbacé
<i>AspleniumAdiantum-nigrum</i>	Asplénium noir	Aspleniaceae	Herbacé
<i>AspleniumTrichomanes</i>	Faux capillaire	Aspleniaceae	Herbacé
<i>Atractylisgummifera</i>	Chardon à glu	Asteraceae	Herbacé
<i>Bellis annua</i>	Pâquerette annuelle	Asteraceae	Herbacé
<i>Bellis sylvestris</i>	Pâquerette d'automne	Asteraceae	Herbacé
<i>Biscutelladidyma</i>	Biscutelle, Lunetière	Brassicaceae	Herbacé
<i>Calycotomespinosa</i>	Calycotomeépineux	Fabaceae	Arbuste
<i>Carex sp</i>	Laiche	Cypéraceae	Herbacé
<i>Cistussalvifolius</i>	Ciste à feuilles de sauge	Cistaceae	Arbuste
<i>Cyclamen africanum</i>	Cyclamen	Primulaceae	Herbacé
<i>Cytisustriflorus</i>	Cytises	Fabaceae	Arbuste
<i>Erica arborea</i>	Bruyère arborescente	Ericaceae	Arbuste
<i>Euphorbiaamygdaloides</i>	Euphorbe des bois	Euphorbiaceae	Herbacé
<i>Euphorbiacuneifolia</i>	Euphorbe à feuilles en coin	Euphorbiaceae	Herbacé
<i>Euphorbiapterococca</i>	Euphorbe à coques ailées	Euphorbiaceae	Herbacé
<i>Ficaria verna</i>	Petite chélidoine	Ranunculacées	Herbacé
<i>Galium rotundifolium</i>	Gaillet à feuilles rondes	Rubiaceae	Herbacé
<i>Galium scabrum</i>	Gaillet scabre	Rubiaceae	Herbacé
<i>Galium tunetanum</i>	/	Rubiaceae	Herbacé
<i>Gallium aparine</i>	Gaillet gratteron	Rubiaceae	Herbacé
<i>Genistasp</i>	Genêt	Fabaceae	Arbuste
<i>Geraniumatlanticum</i>	Géranium des bois	Geraniaceae	Herbacé
<i>Geraniumlucidum</i>	Géranium luisant	Geraniaceae	Herbacé
<i>Geraniumpurpureum</i>	Geranium pourpre	Geraniaceae	Herbacé
<i>Graminées sp</i>	Graminées	Poaceae	Herbacé
<i>Hedera helix</i>	Lierre commun	Araliaceae	Arbuste
<i>Iris juncea</i>	Juncea d'iris	Iridaceae	Herbacé
<i>Iris sisyrinchium</i>	Iris sisyrhinque	Iridaceae	Herbacé
<i>Iris unguicularis</i>	Iris d'Algérie	Iridaceae	Herbacé
<i>Lavandulastoechas</i>	Lavande à toupet	Lamiaceae	Arbuste
<i>Menthapellegium</i>	Menthe pouliot	Lamiaceae	Herbacé
<i>Mentharotundifolia</i>	Menthe du Nil	Lamiaceae	Herbacé

Annexes

<i>Nasturtium officinale</i>	Cresson de fontaine	Brassicaceae	Herbacé
<i>Osmundaregalis</i>	Fougère royale	Osmundaceae	Herbacé
<i>Pteridium aquilinum</i>	Fougère-Aigle	Dennstaedtiaceae	Herbacé
<i>Quercus afares</i>	Chêne afares	Fagaceae	Arbre

Annexe 04 :

Figure: photographie d'un oxymètre de terrain



Rôle : Mesure de l'oxygène dissous et de la température

Annexe05 :

Figure : photographie d'un pH mètre (HANNA)



Rôle : Mesure du potentiel hydrogène des échantillons

Annexe 06 :

Figure ; photographie d'un turbidimètre



Rôle : Mesure de la turbidité de chaque échantillon

Résumé

Le lac noir, une zone humide montagneuse située dans la forêt d'Akfadou à Bejaia est influencée par plusieurs formes de pollution qui résultent principalement des activités anthropiques. Le lac noir possède un fort pouvoir épurateur, un processus naturel qu'il assure par sa propre biomasse épuratrice. Ce travail, consiste en une classification de son fonctionnement biologique et une estimation de son pouvoir auto épurateur. Pour cela, des sorties sur terrain d'étude, et quelques analyses ont été effectuées, telles que la mesure de l'oxygène dissous, de la DBO, du pH, de la turbidité ainsi que la T°. Les résultats obtenus ont permis de classer le fonctionnement biologique du lac en lagunage complet; la teneur en oxygène dissous est de 95% : témoin d'une bonne oxygénation du milieu ; avec une DBO estimée à de 9.5mg/l. Les résultats obtenus lors de l'étude investigatrice ont permis d'identifier les principales sources de pollution principalement la surfréquentation de ce site. Des stratégies pour limiter cette perturbation doivent être mises en place par les décideurs à tous les niveaux afin d'éviter les problèmes pouvant engendrer un dysfonctionnement de l'équilibre écologique du lac noir et de la forêt d'Akfadou en général.

Mots clés : Zone humide, lac noir, Akfadou, autoépuration, biomasse, pollution, activités anthropiques, oxygène dissous, DBO, flux de matière organique, pH, turbidité.

ABSTRACT

The Black Lake, a mountainous wetland located in the Akfadou forest in Bejaia, is influenced by several forms of pollution that mainly result from anthropogenic activities. The black lake has a strong purifying power, a natural process ensured by its own purifying biomass. This work consists of a classification of its biological functioning and an estimation of its self-purifying power. To do this, field trips and some analyses were carried out, such as the measurement of dissolved oxygen, BOD, pH, turbidity and T°. The results were used to classify the biological functioning of the lake as a complete lagoon; the dissolved oxygen content is 95%: a good oxygenation of the environment; with an estimated BOD of 9.5mg/l. The results obtained during the investigation studies identified the main sources of pollution mainly overfrequenting of this site. Strategies to limit this disturbance must be put in place by decision-makers at all levels to avoid problems that could lead to a dysfunction of the ecological balance of the Black Lake and the Akfadou Forest in general.

Keywords: Wetland, black lake, Akfadou, self-purification, biomass, pollution, anthropogenic activities, dissolved oxygen, BOD, organic matter flow, turbidity.