

Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Analyse des interactions entre les odonates
et les facteurs abiotiques autour des
écosystèmes aquatiques du massif forestier
de l'Akfadou.**

Présenté par :

ARROUM Mounia & BELLACHE Liticia

Soutenu le : 28/06/2025

Devant le jury composé de :

RAMDANI Nacer	MCB	Président
CHELLI Abdelmadjid	MCA	Encadrant
El Mabrouk Lilia	MCA	Co encadrant
HENINE Anissa	MCA	Examineur

Année universitaire : 2024 / 2025

Remerciements

Nos remerciements vont en premier lieu à nos parents qui nous ont toujours aidés et soutenus. Ils ont su nous mettre sur les bons rails et nous encourager sans cesse. Encore une fois mille mercis.

Nous exprimons notre profonde gratitude à notre encadrant, **Monsieur Chelli Abdelmadjid**, pour son accompagnement, ses précieux conseils, sa patience et sa confiance tout au long de la réalisation de ce mémoire, sans oublier notre Coencadrant **Mme El Mabrouk Lilia** qui nous a guidé lors de nos différentes sorties ainsi que pour ses remarques constructives.

Nos remerciements vont également à **Monsieur Remdani Nacer**, pour l'honneur qu'il nous a fait en présidant notre jury de soutenance, Ainsi qu'à **Madame Henine Maouche Anissa**, pour avoir accepté d'évaluer et d'examiner ce travail.

Nous tenons aussi à remercier du fond du cœur **nos enseignants**, qui nous ont accompagnées tout au long de notre parcours universitaire.

Un remerciement particulier va à toute l'équipe de la **Conservation des Forêts de Béjaïa et de Chemini**, pour leur accueil, leur aide et leurs conseils précieux dès le début de notre étude, ainsi qu'à toutes les personnes qui nous ont soutenues dans la **collecte des odonates**.

Enfin, nous remercions sincèrement toutes celles et ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Dédicaces

En signe de profond respect et de reconnaissance, je dédie ce travail à :

Ma tendre mère,

Toi qui incarnes la tendresse et le dévouement. Tu n'as jamais cessé de m'encourager, d'être présente, et de veiller à ce que je suive le bon chemin, tant dans la vie que dans mes études. Tu as fait bien plus qu'une mère ne pourrait espérer faire, et je te suis éternellement reconnaissante.

Mon très cher père,

Aucune parole ne saurait exprimer pleinement l'amour, l'estime et le profond respect que je ressens pour toi. Ce travail est le fruit de tes innombrables sacrifices et de ton engagement sans faille pour mon éducation et mon bien-être. Merci pour tout.

Mes frères, Idris et Igmassen,

Pour votre soutien indéfectible, vos encouragements constants et les moments de joie partagés tout au long de ce parcours. Vous avez cru en moi, même dans les instants de doute. Cette réussite est aussi la vôtre. Merci d'être toujours là.

Mon mari,

Mon soutien le plus précieux, mon partenaire de vie. Merci pour ton amour, ta patience et ta présence rassurante, surtout dans les moments les plus difficiles. Tes mots m'ont portée et ta confiance m'a donné la force d'aller au bout.

Ma belle-famille,

Merci pour votre accueil chaleureux, vos encouragements et votre bienveillance. Votre présence à mes côtés m'a profondément touchée et je suis heureuse et fière de faire partie de votre famille. En particulier Ma belle-mère,
Un remerciement tout particulier pour votre douceur, votre accueil et vos prières, qui m'ont accompagnée dans les moments de doute. Votre soutien m'a été précieux.

À mon binôme et amie, Arroum Mounia,

Une compagne de route exceptionnelle, avec qui j'ai partagé les efforts, les défis et les réussites tout au long de cette aventure. Merci pour ta solidarité, ton écoute et ta détermination. Ce travail est aussi le fruit de notre engagement commun.

À mes cousins Gullussa et Zizou,

Qui m'ont toujours encouragé à ne jamais abandonner, même quand je voulais tout laisser tomber.

À vous tous, merci du fond du cœur. Ce mémoire est le vôtre autant que le mien.

Liticia B.

Dédicaces

Peu importe le cadeau que je pourrais leur offrir, rien ne saurait égaler ce que je ressens et souhaite exprimer. J'espère que ce travail n'est que le début d'une longue série de réalisations nourries par leur amour et leur soutien indéfectible.

Je dédie ce modeste travail à mes très chers parents, mes piliers inestimables :

À ma mère, dont le soutien, les prières et les encouragements constants m'ont porté chaque jour.

À mon père, ce travail est le fruit de tes sacrifices et de ta générosité ; ton appui sans faille m'a donné la force d'aller jusqu'au bout. Que Dieu vous accorde santé et longue vie.

À mes chères sœurs : Celia, Kamilia et Karima que ce travail soit une source d'inspiration pour vous.

À mes chers frères : Ghanou, Redouane et Abdou.

À mon frère qui vit actuellement une épreuve difficile : sache que, malgré la distance et les circonstances, tu es toujours présent dans mes pensées et dans mon cœur. J'espère que des jours meilleurs viendront bientôt éclairer ton chemin.

À ma chère amie et binôme Bellache Leticia, pour son soutien moral, sa patience et sa présence tout au long de cette aventure.

À ma précieuse amie Chahinez, pour son écoute et son amitié sincère.

Enfin, à mes enseignants, mes collègues et toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont soutenue tout au long de mon parcours.

Mounia A.

Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Liste des tableaux

Liste des figures

INTRODUCTION01

CHAPITRE I Synthèse bibliographique ...03

Partie I : Généralités sur les Odonates

A. Présentation générale des odonates.....	03
1. Origines et étymologie du nom des libellules.....	03
2. Classification et systématique.....	03
3. Description et comparaison des deux sous ordres.....	04
a. Les Anisoptères.....	04
b. Les Zygoptères.....	04
4. Morphologie et anatomie des Odonates.....	05
a. Morphologie des adultes.....	05
b. Morphologie larvaire.....	07
5. Cycle de vie des odonates	07
6. Habitat et écologie des odonates.....	08
7. Diversité et répartition mondiale des Odonates.....	10
8. Menaces affectant les odonates.....	11
9. Intérêt de l'étude des odonates.....	12

Partie II : les écosystèmes aquatiques forestiers

1. Définitions d'un étang forestier.....	13
2. Différents types de zones humides forestières	13
3. Fonctions et services rendu par les zones humides forestières.....	14
a. Fonction écologique.....	14
b. Fonction économique.....	14
c. Fonction sociale et culturelle.....	14
4. Les menaces pesant sur les zones humides forestières.....	14





CHAPITRE II Matériel et méthodologie de travail17

Partie I. Géolocalisation de la région et caractéristiques du site et des stations

1.Région d'étude.....16
2.Site d'étude.....17
3.Stations d'étude.....18

Partie II. Matériel et méthodologie de travail

1.Matériel de terrain utilisé.....20
2.Méthodologie de travail.....21

Partie III. Indices écologiques appliqués au suivi des odonates

1. Indice de composition.....24
a. Richesse spécifique (S).....24
b. Abondance relative (Ar).....25
c. Fréquence d'occurrence (Fo).....25
2. Indices de structure.....26
a. Indice de diversité de Shannon (H').....26
b. Diversité maximale théorique (H'max).....26
c. Équitabilité (E).....26
d. Indice de Sorensen.....26

CHAPITRE III Résultats et discussions28

I. Aperçu sur l'état des sites.....28
II. Espèces d'Odonates recensés dans les différentes stations d'étude.....32
III. Analyse de la composition des odonates recensés.....36
IV. Analyse de la structure des odonates recensés.....40





CONCLUSION ET RECOMENDATIONS 44

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES46

ANNEXES51

RESUMES





Liste des figures

N°	Titre	Page
Figure 1	Représentation morpho anatomique d'un odonate	06
Figure 2	Morphologie générale des larves d'odonates	07
Figure 3	Cycle de développement des Odonates	08
Figure 4	Principaux facteurs écologiques intervenant lors de la colonisation et du développement d'un odonate dans un milieu aquatique	10
Figure 5	Représentation d'une zone humide forestière	13
Figure 6	Etapas de la dynamique de comblement d'une zone humide. Illustration	15
Figure 7	Localisation des stations d'études dans le massif forestier de l'Akfadou	17
Figure 8	Localisation des stations d'études dans le massif forestier de l'Akfadou	18
Figure 9	Stations d'étude (Lacs et étangs) forestiers du massif forestier de l'Akfadou	19
Figure 10	Matériel utilisé dans le cadre de l'étude des odonates dans leurs milieux de vie	21
Figure 11	Méthodologie d'inventaire appliquée aux odonates dans le cadre de l'étude	22
Figure 12	Représentation schématique du protocole d'inventaire des odonates autour d'un lac	23
Figure 13	Quelques impacts anthropiques sur certaines stations du massif de l'Akfadou	29
Figure 14	Abondance relative des espèces d'odonates dans les biotopes humides de l'Akfadou	36
Figure 15	Diagramme illustrant la classification des cortèges odontologiques inféodés au site d'étude	40





Liste des tableaux

N°	Titre	Page
Tableau 1	Critères de comparaisons entre les Anisoptères et Zygoptères	05
Tableau 2	Caractéristiques des stations d'études du massif forestier de l'Akfadou	19
Tableau 3	Paramètres mesurés dans les stations d'études du massif forestier de l'Akfadou	31
Tableau 4	Liste des espèces d'Odonates recensés dans les différents étangs forestiers à l'Akfadou	33
Tableau 5	Présence/Absence des espèces dans les différentes stations de l'Akfadou	35
Tableau 6	Abondance relative des Odonates recensés dans les stations d'étude dans le massif forestier d'Akfadou	37
Tableau 7	Fréquences d'occurrences des espèces d'Odonates recensées dans le massif forestier d'Akfadou (Bejaia)	39
Tableau 8	Diversité de Shannon et l'équitabilité dans les stations d'étude	41
Tableau 9	Similarités et dissimilarité entre les différentes stations d'étude	43





INTRODUCTION





Les écosystèmes aquatiques en milieu forestier constituent des habitats essentiels pour la biodiversité, mais leur fragilité les rend particulièrement vulnérables aux perturbations anthropiques et environnementales (Dudgeon et al., 2006 ; Allan & Castillo, 2007).

Traditionnellement, leur qualité écologique est évaluée à travers des paramètres physico-chimiques (nutriments, oxygène dissous, etc.), mais ces indicateurs présentent des limites dans la détection d'altérations anciennes ou subtiles (Allan & Castillo, 2007 ; Buss et al., 2015). Pour pallier ces limites, les approches biologiques, fondées sur l'utilisation d'espèces bioindicatrices, offrent une perspective plus intégrative de l'état des écosystèmes. Parmi ces bioindicateurs, les odonates (libellules et demoiselles) se distinguent par leur sensibilité aux modifications environnementales, notamment la qualité de l'eau, la structure de la végétation et les variations climatiques (Corbet, 1999 ; Kalkman et al., 2008).

Leur diversité et leur abondance reflètent ainsi l'état de santé des écosystèmes aquatiques, faisant d'eux des modèles privilégiés pour le suivi écologique (Simaika & Samways, 2012). En effet, ce taxon est un modèle de choix pour l'évaluation et le suivi biologique des habitats aquatiques (Oertli, 2008 ; Simaika & Samways, 2008). Ceci est dû à la dualité de leur cycle de vie (aquatique/terrestre), à leur position clé dans les réseaux trophiques (prédateurs/proies) (May, 2019), à leurs exigences écologiques variées et bien étudiées (espèces *euryèces*/sténoèces**), à leur détection et identification relativement aisées (insectes voyants, de grande taille ; nombre d'espèces abordable), à leur réponse rapide aux modifications du milieu (qu'il s'agisse d'une dégradation ou d'une amélioration), et à leur sensibilité vis-à-vis des changements climatiques (e.g. expansion ou contraction d'aire de répartition).

Dans ce contexte, cette étude vise à évaluer l'état de santé des écosystèmes aquatiques forestiers en utilisant les odonates comme bioindicateurs. Elle cherche plus précisément à :

- ⊕ Détecter d'éventuelles perturbations susceptibles d'affecter les interactions entre les facteurs abiotiques et à analyser la réponse de l'écosystème à ces perturbations, en prenant les odonates comme modèle biologique ;
- ⊕ Évaluer l'influence de la qualité de l'eau, de la végétation riveraine et des caractéristiques du sol sur la diversité et l'abondance des odonates ;
- ⊕ Discuter les éventuels problèmes de gestion identifiés afin de guider une gestion durable de ces milieux naturels fragiles.





En combinant approches écologiques et biogéochimiques, cette recherche contribuera à une meilleure compréhension des dynamiques des écosystèmes aquatiques forestiers et des interactions entre les odonates et leur environnement, tout en proposant des outils pour la conservation de ces écosystèmes fragiles.

Après avoir introduit la problématique ainsi que les objectifs de ce travail, le présent document se structure en trois chapitres. Le premier chapitre, dédié au contexte de l'étude, propose d'abord une synthèse bibliographique sur la bio écologie des odonates, puis une rétrospective sur les fonctions écologiques des zones humides forestières. Le deuxième chapitre présente les principales caractéristiques physiques et bioclimatiques du site d'étude, ainsi que la méthodologie adoptée. Celle-ci repose sur des enquêtes de terrain incluant le suivi des odonates et une évaluation rétrospective de l'état des milieux humides sélectionnés. Le troisième chapitre offre une synthèse générale dans laquelle les résultats obtenus sont analysés et discutés. Enfin, une conclusion viendra souligner les apports de cette étude, mettre en lumière ses implications et proposer des perspectives pour de futurs travaux ainsi que pour une gestion durable de ces écosystèmes.

*Espèce euryèces : Désigne un taxon présentant une écologie relativement large.

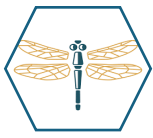
*Espèce sténoèce : Organisme dont la survie est liée à des conditions environnementales (température, etc.) étroites.





**CHAP I. SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE**





Le premier chapitre de ce mémoire présente le contexte général de l'étude à travers deux axes principaux. Le premier porte sur la bioécologie des odonates, en abordant leur biologie, leur écologie, leur comportement, leur cycle de vie, leurs habitats et leurs interactions avec l'environnement. Le second traite du rôle écologique des zones humides forestières, tout en soulignant les menaces qui les affectent, telles que l'assèchement, la pollution et l'eutrophisation, compromettant la biodiversité et les services écosystémiques de ces milieux.

I. GENERALITE SUR LES ODONATES

A. Présentation générale des odonates

1. Origines et étymologie du nom des libellules

C'est en raison de la morphologie particulière de leurs mandibules que les libellules ont reçu le nom scientifique d'Odonata en 1792, attribué par le naturaliste Fabricius. Ce terme, francisé en « odonate », provient de la contraction des mots grecs *odonto* (dent) et *gnathos* (mâchoire), évoquant ainsi leur caractéristique principale : une mâchoire dentée.

En revanche, l'origine du nom commun « libellule » reste sujette à débat. Linné fut le premier à introduire le terme *Libellula* dans son ouvrage *Systema Naturae* (1758). Selon certains dictionnaires français, ce mot dériverait du latin *libella* « niveau », en référence au vol plané et parfaitement horizontal de ces insectes. D'autres sources suggèrent que libellule proviendrait de *libellus* « petit livre », évoquant la manière dont leurs ailes se replient, semblables aux pages d'un ouvrage fermé (Boudot et al., 2017). Une troisième hypothèse associe ce nom à *Libra* « balance », soulignant l'équilibre et la stabilité de leur vol (Ternois, 2003). Dans tous les cas, l'étymologie de libellule semble liée à des instruments de mesure ou d'équilibre, reflétant la grâce et la précision de ces insectes.

2. Classification et systématique

Les odonates (libellules et demoiselles) sont divisés en trois sous-ordres : les Anisoptères (libellules, regroupant 8 familles actuelles), les Zygoptères (demoiselles, comprenant 17 familles actuelles) et les Anisozoptères (représentés par une seule famille). En Afrique, seuls les Anisoptères et les Zygoptères sont présents (Testard, 1981). La majeure partie de la diversité des odonates provient des deux premiers sous-ordres, tandis que les Anisozoptères ne comptent aujourd'hui que deux espèces : l'une vivant dans l'Himalaya et l'autre au Japon.





Cependant, des fossiles appartenant à 10 familles éteintes suggèrent que ce sous-ordre était autrefois bien plus diversifié.

Règne : Animalia

Embranchement : Arthropoda

Sous Embranchement : Hexapoda

Classe : Insecta

Sous Class : Pterygota

Ordre : Odonata

Sous Ordre : Anisoptera – Zygoptera

3. Description et comparaison des deux sous ordres

Les Odonates, communément appelés libellules, se distinguent des autres insectes par des traits morphologiques uniques, tant à l'état adulte que larvaire. Parmi leurs particularités figurent la présence, chez le mâle, d'organes génitaux accessoires éloignés des voies génitales principales, ainsi qu'un labium articulé chez la larve, appelé masque, recouvrant les autres pièces buccales (Testard, 1981).

Ce groupe se divise en deux sous-ordres : les *Anisoptères* (libellules) et les *Zygoptères* (demoiselles). Bien que leur anatomie diffère, leur cycle de vie et leurs comportements présentent de fortes similitudes (Tab.1).

a. Les Anisoptères

Les Anisoptères rassemblent des Odonates de taille moyenne à grande, caractérisés par une tête sphéroïde, des yeux globuleux et proéminents, ainsi qu'un abdomen allongé, parfois élargi. Leur vol est généralement puissant et rapide. Au repos, leurs ailes restent étalées à l'horizontale ou légèrement inclinées (Testard, 1981). De plus, leurs ailes antérieures et postérieures sont asymétriques (les antérieures étant plus étroites) et toujours écartées du corps (D'Aguilar et al., 1985).

b. Les Zygoptères

Les Zygoptères, ou demoiselles, sont des Odonates au corps élancé, souvent de petite taille, avec des yeux bien séparés et situés latéralement sur la tête. Leur abdomen est fin, parfois très allongé, et leur vol est lent et peu puissant. Au repos, ils maintiennent leurs ailes jointes verticalement le long du corps (Testard, 1981). Leurs deux paires d'ailes, quasi identiques, sont fréquemment pédonculées à la base (D'Aguilar & Dommangeat, 1998).





Tableau 1. Critères de comparaisons entre les Anisoptères et Zygoptères (Testard, 1981).

Les Libellules ou Anisoptères	Les Demoiselles ou Zygoptères
Adultes	
✈ Grande taille	✈ Petite taille
✈ Yeux énormes et contigus	✈ Yeux petits et largement séparés
✈ 2 paires d'ailes différentes, ouvertes au repos	✈ 2 paires d'ailes semblables, fermées au repos
✈ Abdomen trapu et robuste	✈ Abdomen fin et élancé
✈ Vol rapide	✈ Vol léger et lent
Larves	
✈ Larves de formes plus massives	✈ Larves minces, allongées
✈ Masque plat ou concave	✈ Masque toujours plat
✈ Nage par expulsion du contenu rectal	✈ Nage par ondulation du corps

4. Morphologie et anatomie des Odonates

Les Odonates comptent parmi les insectes les plus reconnaissables, grâce à leur morphologie distinctive (fig.1). Comme tous les insectes, leur corps se compose de trois parties principales : la tête, le thorax et l'abdomen. Ce dernier, toujours très allongé, se termine par des appendices anaux. Ils possèdent trois paires de pattes et quatre ailes indépendantes (Grand & Boudot, 2006).

a. Morphologie des adultes

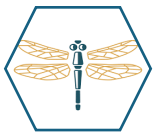
La tête : plus large que le thorax, présente :

- Une paire d'yeux : chez les Zygoptères et les Gomphidae (une famille d'Anisoptères), les yeux sont séparés, tandis que chez les autres Anisoptères, ils sont contigus et recouvrent presque toute la tête.
- Deux antennes situées entre le vertex et le front.
- Trois ocelles disposés en triangle au centre du vertex (Testard, 1981).

Le thorax : se divise en deux parties inégales :

- Un prothorax très réduit.





- Un synthorax volumineux, résultant de la fusion du méso- et du métathorax. Ces deux éléments sont inclinés vers l'arrière, plaçant les ailes en retrait par rapport aux pattes (Testard, 1981).

L'abdomen : composé de dix segments de longueur variable et d'un onzième rudimentaire, présente une grande flexibilité, essentielle pour la copulation. Sa forme est généralement cylindrique chez les Zygoptères et plusieurs Anisoptères. C'est également au niveau de l'abdomen que se manifestent les différences morphologiques entre mâles et femelles (Testard, 1981).

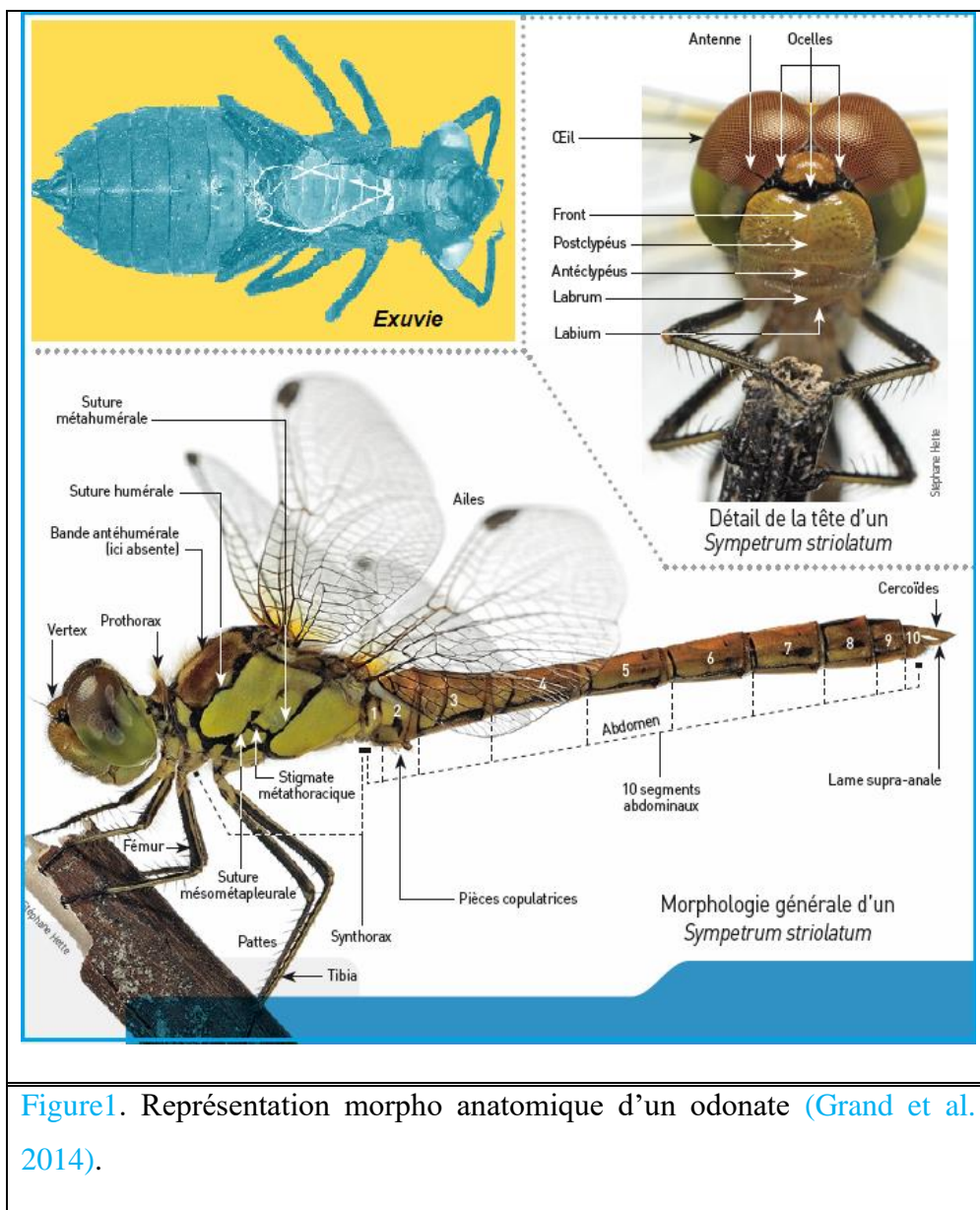


Figure 1. Représentation morpho anatomique d'un odonate (Grand et al. 2014).

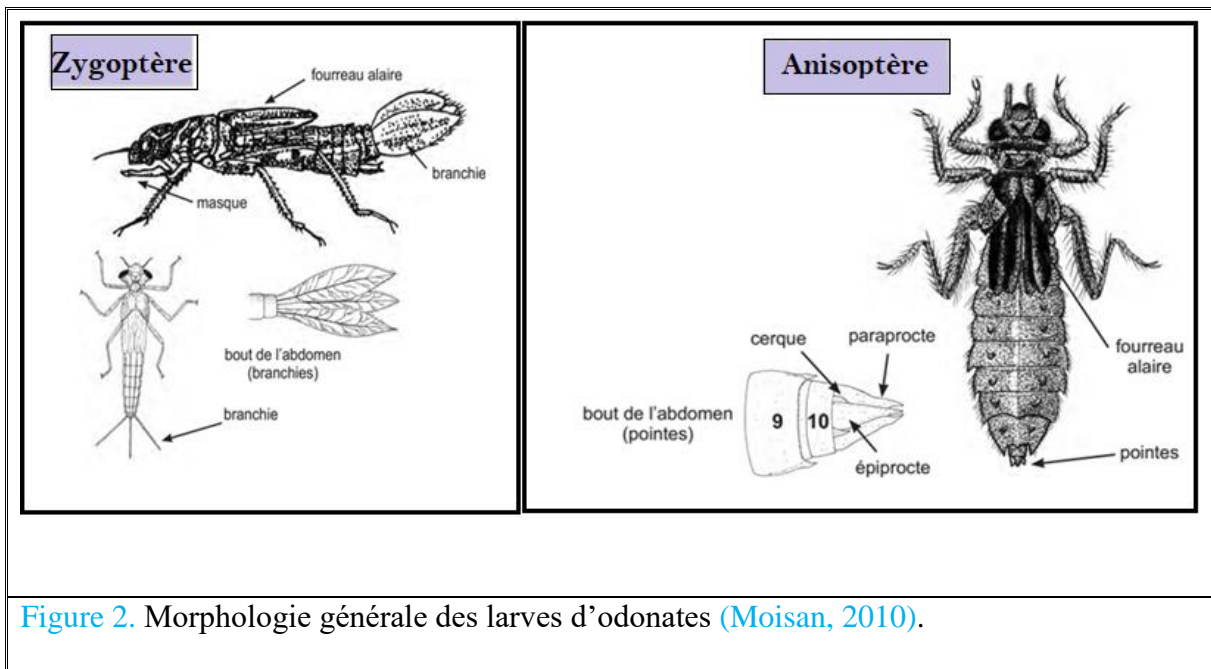




b. Morphologie larvaire

Les larves éclosent à partir de l'œuf et passent par un stade de prolarve avant de grandir, subissant des mues dont le nombre varie selon les espèces (D'Aguilar & Dommanget, 1998). Leur morphologie diffère significativement de celle des adultes : leur silhouette est plus trapue (y compris chez les Zygoptères), et leur labium, constitué de deux pièces articulées se terminant par des palpes mobiles, forme un masque caractéristique (Testard, 1981).

Chez les Zygoptères, le corps est élancé et se termine par trois longues lamelles caudales (branchies anales), tandis que chez les Anisoptères, il est plus court et élargi, avec des lamelles réduites formant une structure pyramidale. La tête présente un organe préhensile spécialisé, le labium (ou « bras mentonnier »), qui joue un rôle crucial dans la capture des proies (Moisan, 2010) (fig.2).

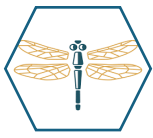


5. Cycle de vie des odonates

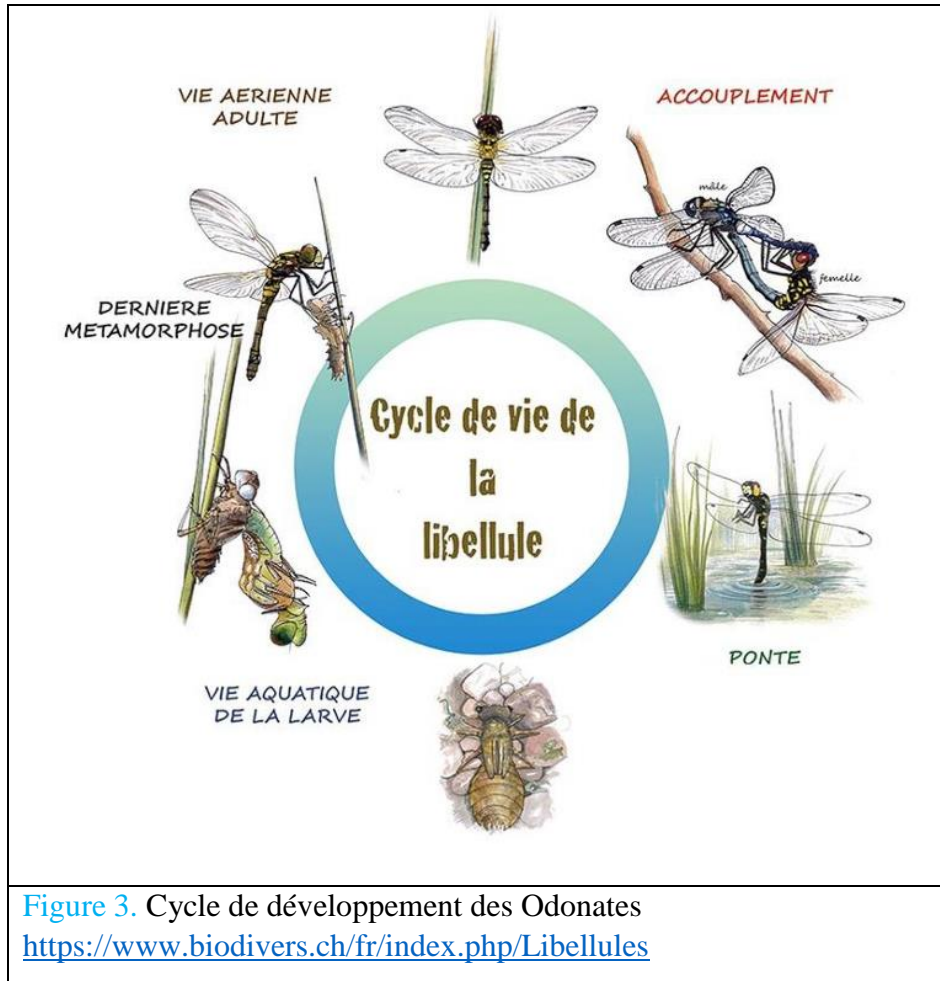
Les libellules, insectes amphibiotiques, dépendent étroitement des milieux aquatiques, en particulier des eaux douces (rivières, lacs, marais, etc.) pour leur cycle biologique (Andrew et al., 2009 ; Tiple et al., 2012). Leur développement, hémimétabole (absence de stade nymphal) et hétérométabole (larve et adulte vivant dans des habitats distincts), comprend trois phases : œuf, larve et imago (Corbet, 1999) (Fig.3).

La ponte varie selon les espèces : dans l'eau, sur la végétation, ou dans les sédiments (Grand & Boudot, 2006). Certains œufs entrent en diapause pour survivre à des conditions difficiles,





tandis que d'autres éclosent rapidement. La larve, aquatique et branchiale, grandit par mues successives avant de sortir de l'eau pour se métamorphoser en adulte. Ce processus, appelé émergence, laisse une exuvie derrière elle (Grand & Boudot, 2006 ; Wildermuth & Küry, 2009). Après l'émergence, l'imago, encore fragile, subit une maturation sexuelle avant de rejoindre un site de reproduction (Grand & Boudot, 2006).



6. Habitat et écologie des odonates

Les larves de libellules se développent exclusivement en milieu aquatique, où certaines espèces présentent des exigences strictes en termes d'acidité, de teneur en sels minéraux, en oxygène et de composition florale. Ces critères influencent le choix des sites de ponte par les femelles adultes, expliquant pourquoi chaque type de milieu aquatique abrite une communauté d'espèces spécifique. Ainsi, les odonates colonisent aussi bien les zones humides naturelles que les environnements artificiels créés par l'Homme (Giraud, 2011). Par exemple, les *Calopteryx* affectionnent les ruisseaux à faible courant bordés de végétation, tandis que les *Gomphidae* privilégient les eaux sablonneuses ou les plages de galets. Cette





répartition reflète la diversité des besoins écologiques nécessaires au maintien des populations. En effet, un habitat favorable doit offrir, de manière pérenne, les conditions propices au cycle de vie complet de l'espèce. Certaines libellules, très spécialisées, sont exigeantes, tandis que d'autres, plus généralistes, tolèrent des conditions variées. Cette sensibilité en fait d'excellents indicateurs de la santé des zones humides pour les écologues (O.S.F.O., 2012).

Leur plasticité écologique leur permet de se reproduire dans des habitats divers (rivières, mares, etc.), notamment pour les espèces ubiquistes comme *Coenagrion puella* ou *Ischnura elegans*. À l'opposé, des espèces spécialisées, dites « sténotopes », comme *Coenagrion ornatum*, dépendent de conditions très spécifiques (qualité de l'eau, végétation, etc.). Certaines, comme l'Agrion de Mercure (*Coenagrion mercuriale*), servent de bioindicateurs en raison de leur sensibilité aux perturbations (O.S.F.O., 2012).

D'autres espèces, comme les *Calopteryx* et les *Gomphidae*, sont liées aux eaux courantes, tandis que des pionnières (*Ischnura saharensis*, *Trithemis annulata*, etc.) colonisent rapidement les plans d'eau temporaires, typiques des régions arides, grâce à un cycle larvaire court (Boudot, 2008).

Les milieux aquatiques variés occupés par les Odonates se distinguent donc, par leurs facteurs abiotiques et biotiques (Dommanget, 1995). Parmi les facteurs abiotiques figurent (Fig.4) :

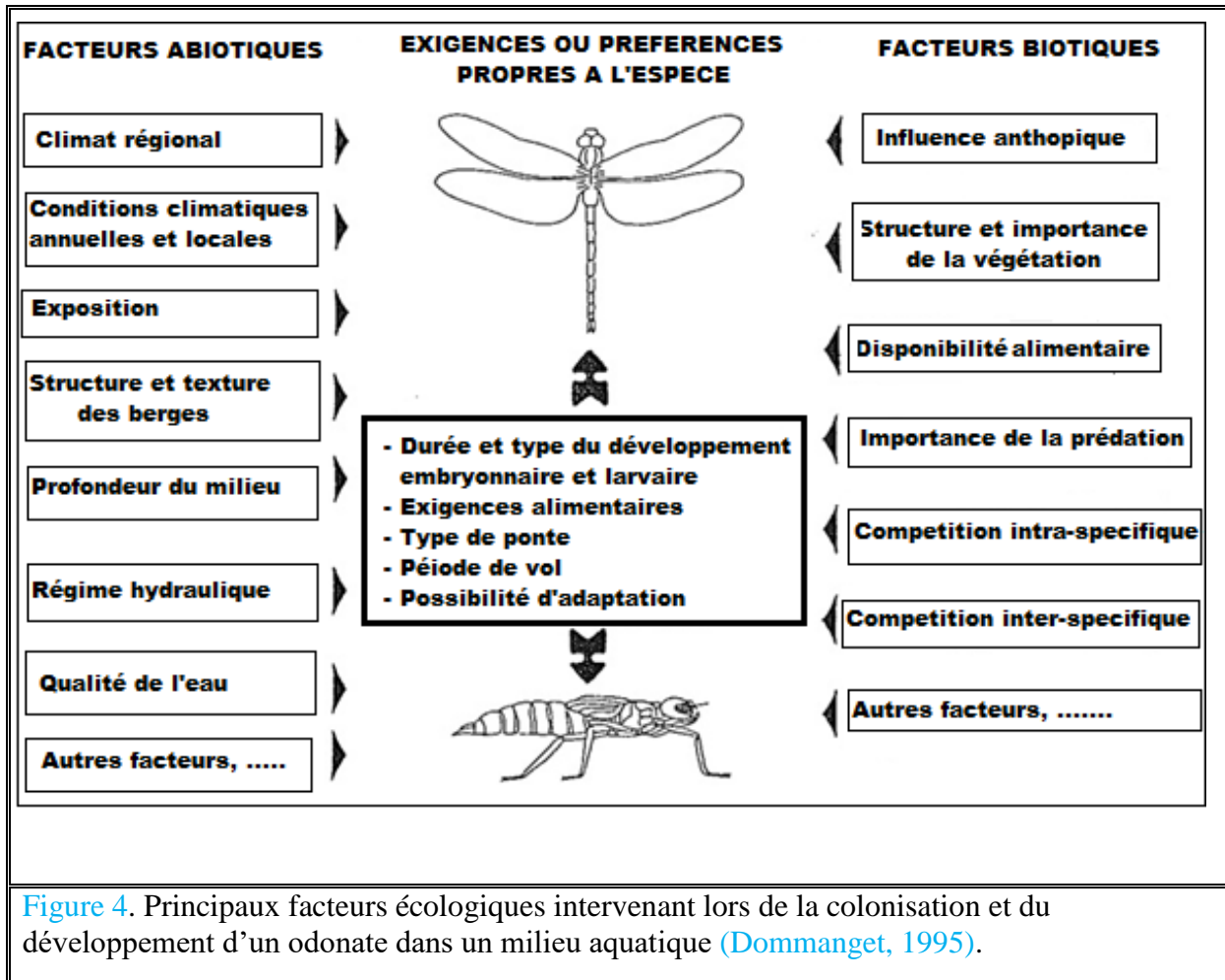
- Le climat et les variations thermiques ;
- L'ensoleillement ;
- La morphologie des berges et la profondeur ;
- Le régime hydrique (permanent/temporaire, lent/rapide) ;
- La qualité chimique de l'eau (la majorité des espèces préfèrent des eaux mésotrophes, légèrement acides à basiques).

Les facteurs biotiques incluent (Fig.4) :

- La végétation rivulaire et aquatique ;
- La disponibilité en proies ;
- La prédation (poissons, écrevisses) ;
- Les pressions anthropiques ;
- La compétition intra- et interspécifique.

Toute altération de ces paramètres impacte les populations d'odonates, faisant d'elles des témoins précieux de l'état écologique des milieux (Dommanget, 1995).





7. Diversité et répartition mondiale des Odonates

Les Odonates (libellules et demoiselles) représentent un groupe taxonomique relativement modeste comparé à d'autres insectes comme les Lépidoptères (120 000 espèces) ou les Coléoptères (300 000 espèces). En 2003, environ 5 500 espèces étaient recensées (Paulson, 2019), un chiffre révisé à près de 6 000 par Silsby (2011). Selon Clausnitzer et al. (2009), le nombre total d'espèces pourrait atteindre 7 500, compte tenu des 1 000 à 1 500 espèces restant à décrire. En effet, près de 40 nouvelles espèces sont identifiées chaque année depuis les années 1970, principalement dans les régions néotropicales, orientales et australasiatiques (Dijkstra et al., 2015 ; Suhling et al., 2015). En septembre 2018, on dénombrait 6 299 espèces d'Odonates, réparties en 3 192 Zygoptères, 3 Anisozygoptères et 3 104 Anisoptères (Schorr, 2018 ; Paulson, 2019). Rien qu'en 2016 et 2017, 121 nouvelles espèces ont été découvertes dans les zones tropicales, dont 60 en Afrique, témoignant d'une connaissance encore incomplète de cette diversité (Paulson, 2019).





La distribution des Odonates est très hétérogène à l'échelle mondiale, avec une plus grande richesse spécifique dans les régions tropicales épargnées par les glaciations (Kalkman et al., 2008). Par exemple :

- ⇒ L'Amérique du Nord compte 433 espèces, dont 138 au Québec (Pilon & Lagacé, 1998).
- ⇒ L'Australie abrite 324 espèces (Theischinger & Hawking, 2006).
- ⇒ Madagascar en héberge au moins 175 (Dijkstra, 2007) et l'Inde plus de 500 (Subramanian, 2005).
- ⇒ En revanche, l'Europe ne compte que 143 espèces (Kalkman et al., 2018).

La région méditerranéenne, avec 165 espèces (Riservato et al., 2009), se distingue par un taux d'endémisme élevé : une espèce sur sept y est exclusive, particulièrement chez les Calopterygidae, Platycnemididae, Cordulegastridae et Coenagrionidae. Les Libellulidae (48 espèces), Coenagrionidae (35), Gomphidae (21) et Aeshnidae (16) y dominent. Cette biodiversité reflète à la fois une histoire évolutive riche et des niches écologiques variées.

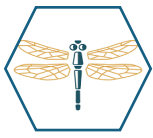
8. Menaces affectant les odonates

Les odonates (libellules et demoiselles) subissent de fortes pressions, principalement en raison de la dégradation des zones humides, essentielles à leur reproduction. Aux XIX^e et XX^e siècles, de nombreux milieux humides ont été asséchés ou transformés pour répondre aux besoins de l'urbanisation, de l'agriculture et de l'industrie (Oertli & Frossard, 2013). Par ailleurs, l'artificialisation des rivières (canalisation, barrages) a limité la formation de nouvelles zones humides.

La destruction et l'altération de ces habitats s'accompagnent souvent d'une baisse de la qualité écologique et d'un appauvrissement de la biodiversité. Par exemple, l'eutrophisation des milieux humides, causée par les rejets agricoles riches en nutriments, accélère leur comblement. À cela s'ajoutent les pollutions domestique et industrielle des eaux. Outre la disparition des zones humides, leur connectivité est également compromise. La fragmentation des paysages due aux infrastructures humaines (routes, constructions) limite la dispersion des odonates et réduit les échanges génétiques entre populations.

Les espèces exotiques envahissantes représentent une autre menace. Les écrevisses introduites, par exemple, consomment massivement les larves de libellules, tandis que les carpes, élevées pour la pêche, troublent les eaux et dégradent leurs habitats. Selon le ministère





de l'Écologie, les opérations de démoustication fréquentes en zones côtières affectent aussi la diversité des odonates (S.F.O, 2012).

Enfin, le changement climatique modifie la répartition des espèces. Certaines, adaptées à la chaleur, étendent leur aire vers le nord ou en altitude. En revanche, les espèces dépendantes des milieux froids voient leurs habitats se réduire, avec des risques d'extinction localisée. Leur migration vers des altitudes plus élevées est souvent limitée par le manque d'habitats disponibles.

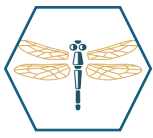
9. Intérêt de l'étude des odonates

Les Odonates, insectes à la fois aquatiques et terrestres, jouent un rôle clé dans les écosystèmes d'eau douce. Prédateurs et proies, ils participent à l'équilibre écologique et témoignent de la biodiversité de ces milieux (D'Aguilar & Domanget, 1998). Depuis les années 1980, leur utilisation en biologie de la conservation s'est accrue (Bried & Samways, 2015), car ils constituent d'excellents indicateurs de la qualité des habitats aquatiques et des changements environnementaux (Oertli, 2008 ; Gerlach et al., 2013). Bien que leur emploi isolé comme bioindicateurs soit limité (Dommanget, 2000), ils remplissent plusieurs critères utiles en écologie appliquée (Oertli, 2008) :

- **Bioindicateurs efficaces** : Leur présence renseigne sur la santé et la structure des écosystèmes aquatiques.
- **Distribution mondiale** : Présents presque partout (sauf milieux extrêmes), avec des espèces souvent inféodées à des habitats spécifiques.
- **Interface aquatique-terrestre** : Leur cycle de vie dépend des deux milieux, en faisant un modèle d'étude des interactions entre ces écosystèmes.
- **Sensibilité climatique** : Leur réaction aux variations thermiques et leur mobilité en font des sentinelles du réchauffement climatique.
- **Rôle écologique central** : Espèces « clés de voûte » (prédateurs et proies) et « parapluies » (leur protection bénéficie à toute la communauté associée).
- **Valeur pédagogique** : Insectes charismatiques, ils sensibilisent le public à la conservation des zones humides.

Ainsi, les Odonates méritent une place centrale dans les stratégies de conservation, combinant utilité scientifique et impact mobilisateur.



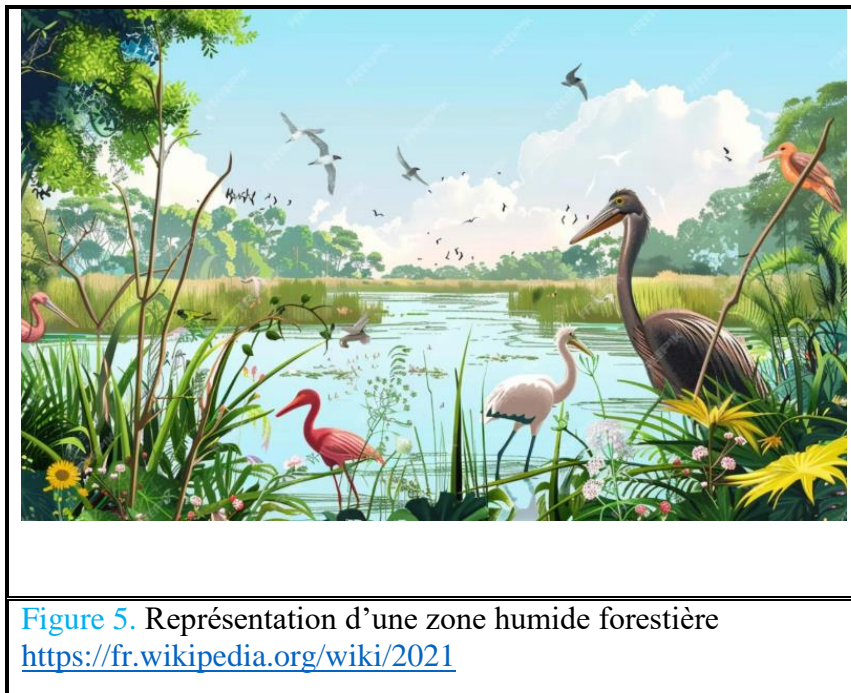


II. LES ECOSYSTEMES AQUATIQUES FORESTIERS

1. Définitions d'un étang forestier

La définition du mot « étang » varie et il n'existe pas d'accord universel sur sa signification (EPCN, 2009). Selon le dictionnaire Le Robert, un étang est une étendue d'eau, naturelle ou artificielle, plus petite et moins profonde qu'un lac.

Un **étang forestier** est une masse d'eau plus grande qu'une mare mais plus petite et moins profonde qu'un lac (Wikipédia, 2021). Il peut être naturel ou créé par l'homme, avec une profondeur allant de quelques centimètres à plusieurs mètres. Certains étangs conservent leur eau toute l'année, tandis que d'autres se remplissent après les pluies et s'assèchent en été. On les trouve dans toutes les régions biogéographiques du monde (Fig.5).



2. Différents types de zones humides forestières

On distingue deux types de zones humides forestières en fonction de leur origine de formations :

- **Naturelle** : Des processus naturels ont permis la création de mares et d'étangs au cours de toutes les époques géologiques. On peut par exemple citer les dépressions topographiques créées après les glaciations, les bras morts des plaines alluviales ou les mares créées par des chutes d'arbres ou par l'action des animaux, ou bien à la suite d'incidents climatiques
- **Artificielle** : Historiquement, beaucoup de mares et d'étangs étaient créés afin de répondre à des besoins agricoles, domestiques et industriels et pouvaient avoir des usages multiples





comme abreuvoir pour le bétail, ancienne zone d'extraction de matériaux, trou d'obus, point d'eau pour lutter contre les incendies.

3. Fonctions et services rendu par les zones humides forestières

Les zones humides forestières sont des écosystèmes clés pour la biodiversité, servant de relais écologiques entre habitats d'eau douce et abritant des espèces rares et menacées. En résumé, ces écosystèmes jouent un rôle vital sur les plans écologique, économique et social (De Meester et al. 2005 ; EPCN 2008).

a. Fonction écologique

Ces écosystèmes forestiers sont des réservoirs de biodiversité, accueillant :

- *Amphibiens* : Plus de 50 % des espèces protégées par la Directive Habitats y sont liées.
- *Invertébrés* (libellules, insectes...) et *végétaux* spécifiques.
- *Mammifères* et *poissons*.

Ils constituent aussi un lieu de reproduction crucial pour de nombreuses espèces.

b. Fonction économique

Ces biotopes aquatiques forestiers soutiennent des activités comme :

- *La pisciculture*, l'abreuvement du bétail et l'irrigation.
- *Des services écosystémiques* : rétention des eaux pluviales, régulation hydrique, stockage du carbone et réduction des pollutions.

c. Fonction sociale et culturelle

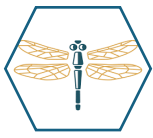
- *Patrimoine* : Liés à l'histoire et aux traditions locales.
- *Loisirs et éducation* : Espaces de détente, d'inspiration et supports pédagogiques.
- *Recherche* : Écosystèmes-modèles pour les études scientifiques.

4. Les menaces pesant sur les zones humides forestières

Les zones humides constituent des écosystèmes à la fois complexes et fragiles, dont le fonctionnement reste encore mal compris. Bien que leur valeur écologique et économique soit reconnue, et malgré les efforts croissants pour les protéger, elles subissent toujours des dégradations importantes dues à divers aménagements.

Parmi les nombreuses menaces qui pèsent sur ces milieux, les plus préoccupantes sont la pollution, le surpâturage et la fréquentation humaine. Ces pressions sont aggravées par des conditions naturelles défavorables, telles que la fragilité des sols et un climat rigoureux.



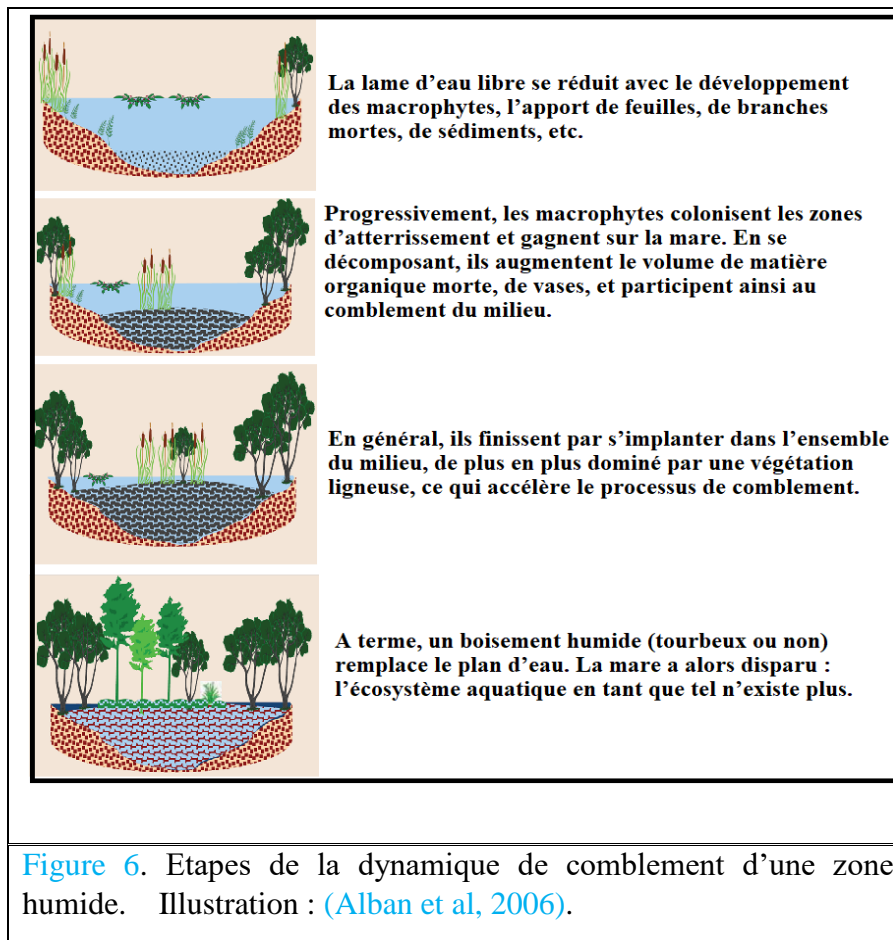


De plus, l'abandon et le manque de reconnaissance du statut de certaines zones humides contribuent à leur déclin.

D'autres disparaissent progressivement, remplacés par d'autres écosystèmes en raison de l'accumulation de feuilles mortes, de bois ou de l'invasion par des plantes ligneuses (Fig.6). Ces transformations nuisent particulièrement à la faune spécialisée, comme les odonates (libellules et demoiselles), qui dépendent de milieux ouverts, ensoleillés et riches en végétation aquatique.

En effet, la composition biologique, la localisation géographique et l'environnement de ces zones déterminent leur biodiversité. Ainsi, certaines mares forestières très fermées peuvent être totalement dépourvues d'espèces, tandis que d'autres, plus ouvertes ou situées en lisière, abritent parfois plus d'une vingtaine d'espèces lorsqu'elles sont colonisées par des héliophytes et hydrophytes (Alban et al., 2006).

La préservation de ces habitats passe donc par l'information des acteurs concernés, par la mise en œuvre de mesures de gestion adaptées et par l'intégration des zones humides dans les projets planifiés à l'échelle locale (Alban et al., 2006).





**CHAP II. MATERIEL
&
METHODE**





Ce chapitre présente une description synthétique du site d'étude, incluant sa localisation, ses caractéristiques physiques, climatiques et hydrographiques. Il expose également la méthodologie adoptée, fondée sur des techniques de terrain telles que le suivi des odonates, l'analyse des facteurs abiotiques et l'évaluation de l'état des zones humides sélectionnées. Cette approche vise à identifier les facteurs influençant la répartition et le développement des populations étudiées.

I. Géolocalisation de la région et caractéristiques du site et des stations d'étude

1. Région d'étude

Notre étude sur les odonates et les zones humides forestières a été menée dans la partie nord-est de la région de Bejaia ; située dans le centre nord de l'Algérie en Kabylie de la Soummam, qui s'étend sur 3 268 km² entre les massifs du Djurdjura, des Bibans et des Babors, avec une façade maritime de plus de 100 km. Distant de 181 km d'Alger, elle est entourée de plusieurs villes importantes comme Tizi Ouzou (93 km) et Sétif (70 km) (Fig.7). Son relief, majoritairement montagneux (75 %), est traversé par la vallée de la Soummam et des plaines côtières.

Bejaia bénéficie d'un climat méditerranéen tempéré, avec des hivers doux (15°C en moyenne) et des étés modérément chauds (25°C). Les zones montagneuses connaissent des hivers plus rudes, avec des chutes de neige. La région, l'une des plus arrosées d'Algérie, reçoit environ 1 200 mm de pluie par an, principalement entre novembre et mars.

Son réseau hydrographique est riche et varié, comprenant :

- Des eaux stagnantes permanentes (lacs, marais, lagunes, barrages) ;
- Des étangs et mares forestiers en haute montagne ;
- Des eaux courantes, dont l'oued Soummam (90 km), classé zone humide d'importance internationale (Convention de Ramsar, 2012), ainsi que d'autres oueds majeurs comme l'oued Aguerioune (80 km) et l'oued Djemaa (46 km).



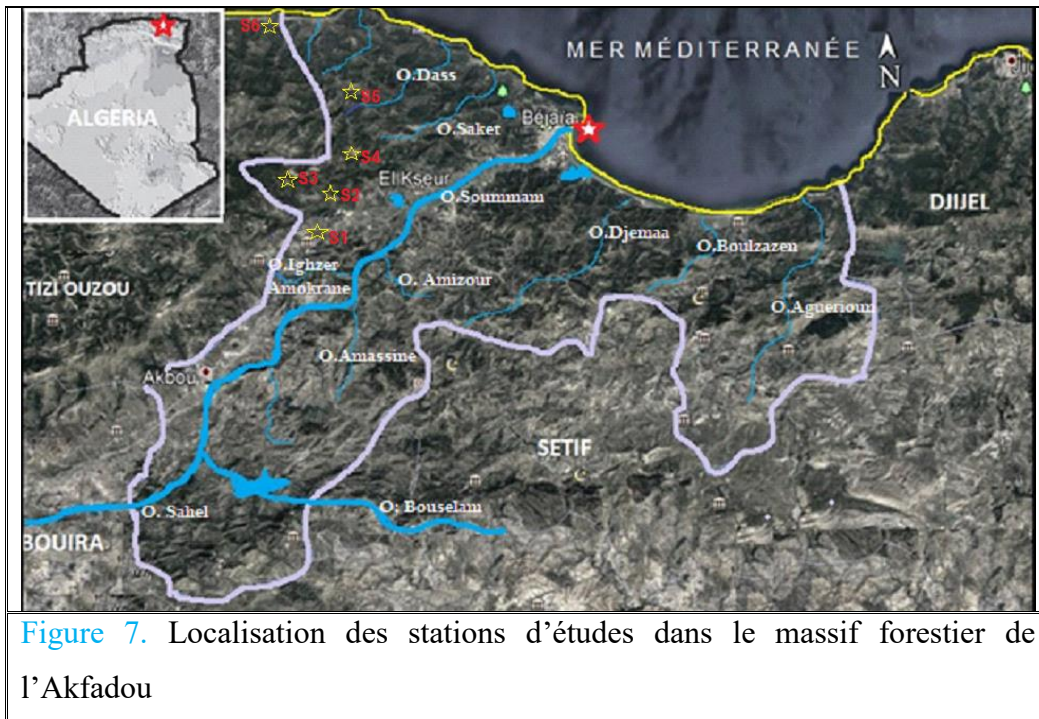


Figure 7. Localisation des stations d'études dans le massif forestier de l'Akfadou

2. Site d'étude

Nos stations d'études sont des lacs et étangs temporaires situées dans le massif forestier d'Akfadou, situé à environ 160 km à l'est d'Alger, à 20 km de la Méditerranée et à 70 km à l'ouest de Béjaïa, relève administrativement des wilayas de Béjaïa et de Tizi-Ouzou (Fig.8). Orienté principalement vers le nord, il constitue l'un des plus vastes ensembles de forêts décidues en Algérie. Cette zone abrite une diversité d'essences, dominées notamment par différentes espèces de chênes (*Quercus canariensis*, *Q. afares*, *Q. suber*, *Q. ilex*), ainsi que par *Acer monspessulanum*, *Populus alba*, *Abies numidica* et *Taxus baccata*. On y trouve également des espèces introduites, comme *Castanea sativa* et *Cedrus atlantica*.

S'étendant sur environ 11 000 hectares, le massif est divisé en deux parties : l'Akfadou Ouest (4 600 ha, dépendant de Tizi-Ouzou) et l'Akfadou Est (6 400 ha, rattaché à Béjaïa) (Messaoudene et al., 2007). Le relief y est généralement accidenté, avec des pentes variantes entre 15 % et 45 %, particulièrement dans sa partie sud-orientale. L'altitude oscille entre 800 m et 1 646 m (Messaoudene, 1989). Sur le plan bioclimatique, la forêt se situe dans des zones humides tempérée et per humide fraîche (Laribi et al., 2008). Les conditions climatiques y sont rigoureuses, avec d'abondantes chutes de neige en hiver et des précipitations annuelles comprises entre 1 200 et 2 000 mm, ce qui en fait l'une des régions les plus arrosées d'Afrique du Nord (Messaoudene, 1989).



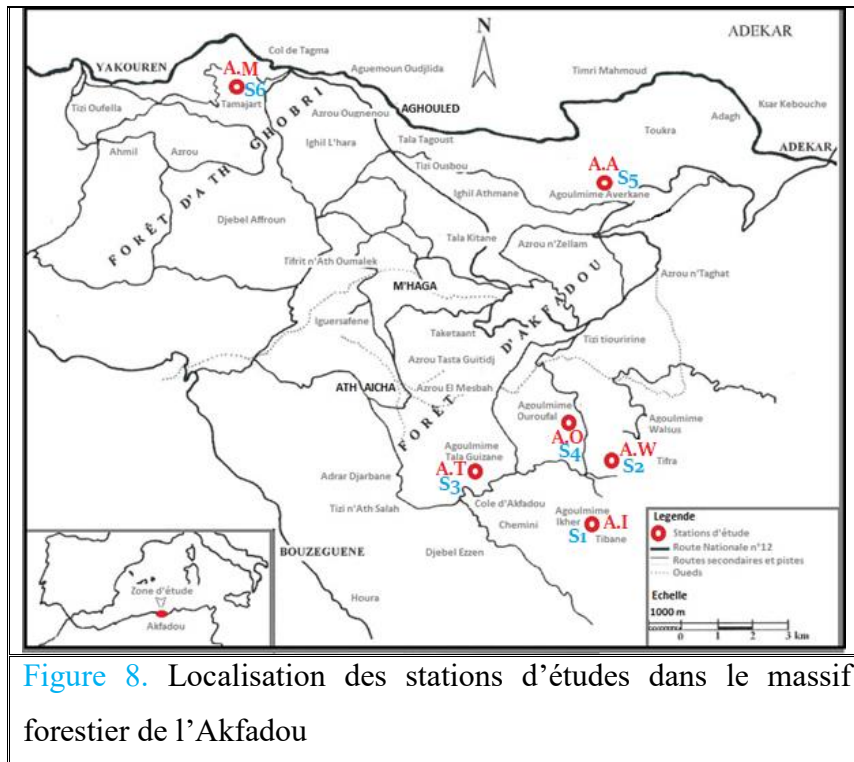


Figure 8. Localisation des stations d'étude dans le massif forestier de l'Akfadou

3. Stations d'étude

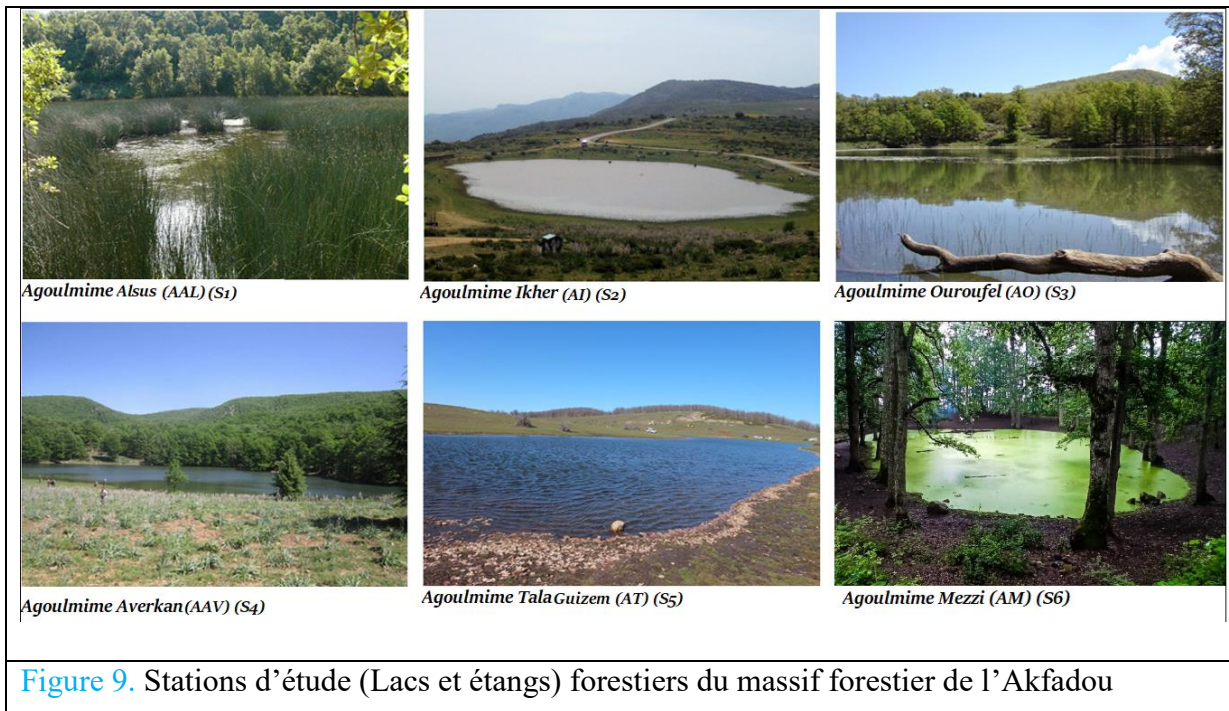
Nos stations d'étude sont des lacs et étangs temporaires situées dans les forêts de chênes du massif forestier d'Akfadou dont les caractéristiques sont mentionnées dans le (Tab.2). Ces stations d'étude sont bordées par une ceinture boisée, formée exclusivement par *Quercus canariensis*, *Q. afares* et accessoirement par *Cedrus atlantica*. La végétation basse près des plans d'eau se compose d'*Erica arborea*, *Calicotome spinosa*, *Rubus fruticosus*, *R. ulmifolius*, *Asphodelus albus*, *Myrtus communis*, *Arbutus unedo*, *Phillyrea angustifolia*, *Pteridium aquilinum* avec la présence marquée de *Cytisus villosus*. Quant aux héliophytes et hydrophytes, il y a une dominance de quelques espèces telles que : *Persicaria amphibia*, *Potamogeton nodosus*, *Myriophyllum alterniflorum*, *Ranunculus aquatilis*, *Corrigiola litoralis*, *Sparganium erectum*, *Elatine alsinastrum* et la dominance du (souchet) *Schoenoplectus lacustris* dans l'étang Aglmime Walsus (S2) qui couvre la plus grande partie de la surface d'eau avec des pieds dépassant les 2 mètres ainsi que la lentille des eaux qui couvre toute la surface de l'eau d'un tapis végétale vert donnant l'appellation à ce lac (Lac vert) (Fig.9).





Tableau 2 . Caractéristiques des stations d'études du massif forestier de l'Akfadou.

Habitat type	Stations d'étude	Code	Localité	Profondeur (m)	Surface (ha)	Altitude (m)	Latitude	Longitude
Eaux stagnantes (Lacs & Etangs)	Agoulmime Alsus (S1)	AAL	Tifra	0,5	02,50	790	36°40'02"N	4°39'56"E
	Agoulmime Ikher (S2)	AI	Tibane	0,8	02,80	1065	36°37'09"N	4°38'09"E
	Agoulmime Ouroufel (S3)	AO	Akfadou	0,5	01,40	1360	36°38'41"N	4°34'42"E
	Agoulmime Averkane (S4)	AAV	Adekar	1,5	03,50	1264	36°41'47"N	4°36'09"E
	Agoulmime Tala Guizem (S5)	AT	Chemini	1,8	01,20	1572	36°37'42"N	4°34'03"E
	Agoulmime Mezzi (S6)	AM	Ait Ghouvri	1,80	3,00	1086	36°43'32N	04°29'27"E

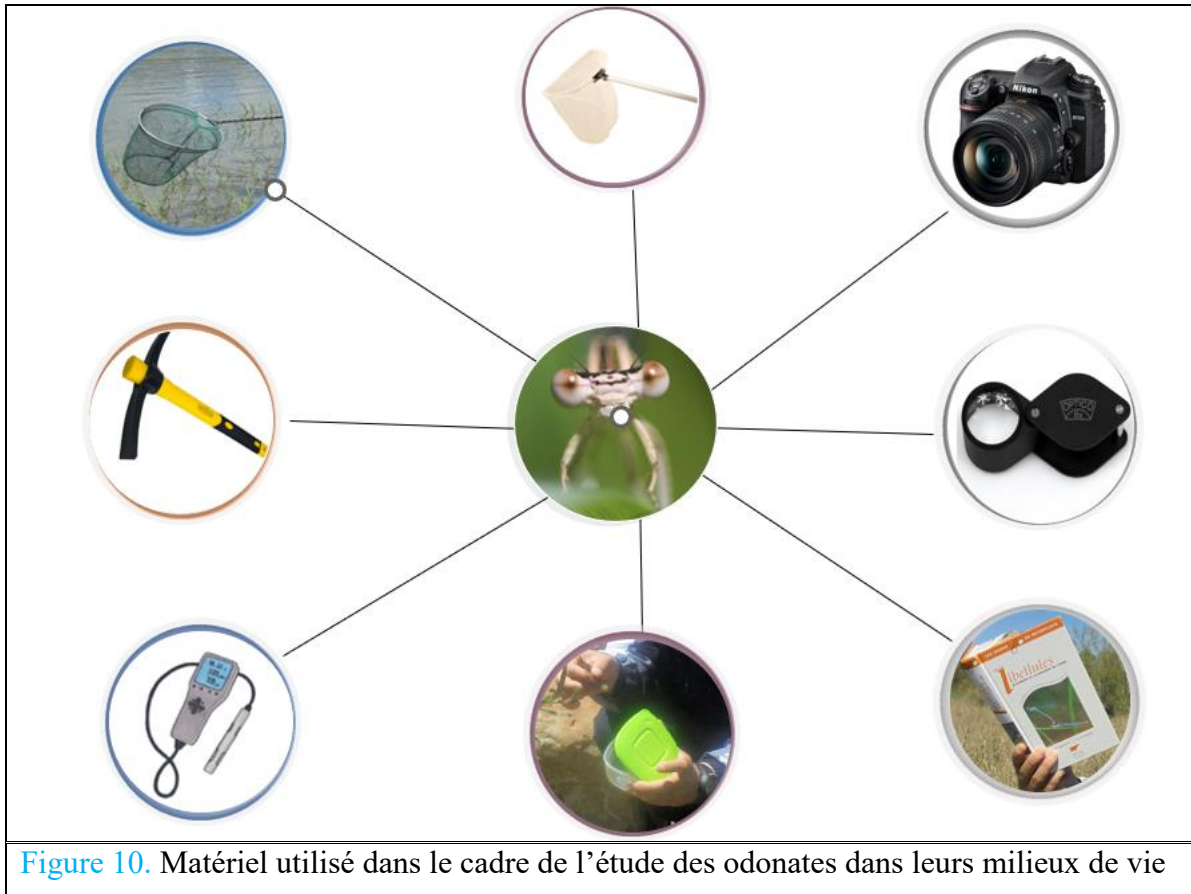




1. Matériel de terrain utilisé

Le matériel utilisé pour l'échantillonnage des odonates dans leurs habitats naturels comprend plusieurs outils essentiels pour capturer, identifier et documenter les espèces observées (Fig.10). Le filet entomologique est principalement utilisé pour la capture des imagos d'odonates en vol, tandis que le filet Troubleau est particulièrement adapté pour la collecte des larves d'odonates. Pour une identification plus précise, notamment pour les personnes encore peu expérimentées, l'utilisation d'une loupe aplanétique, dont le grossissement varie de 8X à 20X, est indispensable afin de distinguer les critères fins des individus. Les spécimens dont la détermination reste incertaine, comme certaines femelles de Zygoptères, sont placés dans des boîtes de récolte en plastique pour un examen approfondi en laboratoire, à l'aide d'une loupe binoculaire et des guides d'identification de terrain, de préférence couvrant les espèces nord-africaines ou méditerranéennes et offrant des clés d'identification complètes avec illustrations, tel que (D'Aguilar et Dommanget 1998 ; Grand et Boudot 2006). Par ailleurs, un appareil photo numérique spécialisé en prise de vue rapprochée est utilisé pour documenter les habitats aquatiques. Un multi paramètre pour mesurer divers paramètres chimiques de l'eau tels que la température, l'oxygène dissous, le pH et la conductivité, tandis qu'un carnet de terrain ou une fiche de relevé spécifique consigne minutieusement toutes les données relatives aux observations (lieux, dates, comportements, effectifs, etc.) [Annexe I]. Enfin, une pioche pour prélever le sol des stations d'étude pour réaliser des analyses granulométriques complémentaires.





2. Méthodologie de travail

En fonction de l'état des connaissances, des objectifs et des moyens disponibles à mettre en œuvre ; l'échantillonnage et le suivi des odonates dans leurs habitats reposent sur différents types de protocoles (Varanguin & Sirugue, 2007). En ce qui concerne notre étude, le protocole mis au point selon la question à laquelle on voulait répondre, (c.a.d : est-ce que les facteurs abiotiques peuvent influencer la richesse et la distribution des odonates dans des habitats aquatiques. Pour ce faire, un échantillonnage des odonates, des mesures des paramètres de l'eau ainsi que la granulométrie ont été réalisés sur chaque station d'étude.

En ce qui concerne les odonates, dans le cadre de notre étude, 3 types de méthodes d'inventaire ont été appliquées pour les Odonates. La (Fig.11) illustre de manière simplifiée ces diverses méthodes.



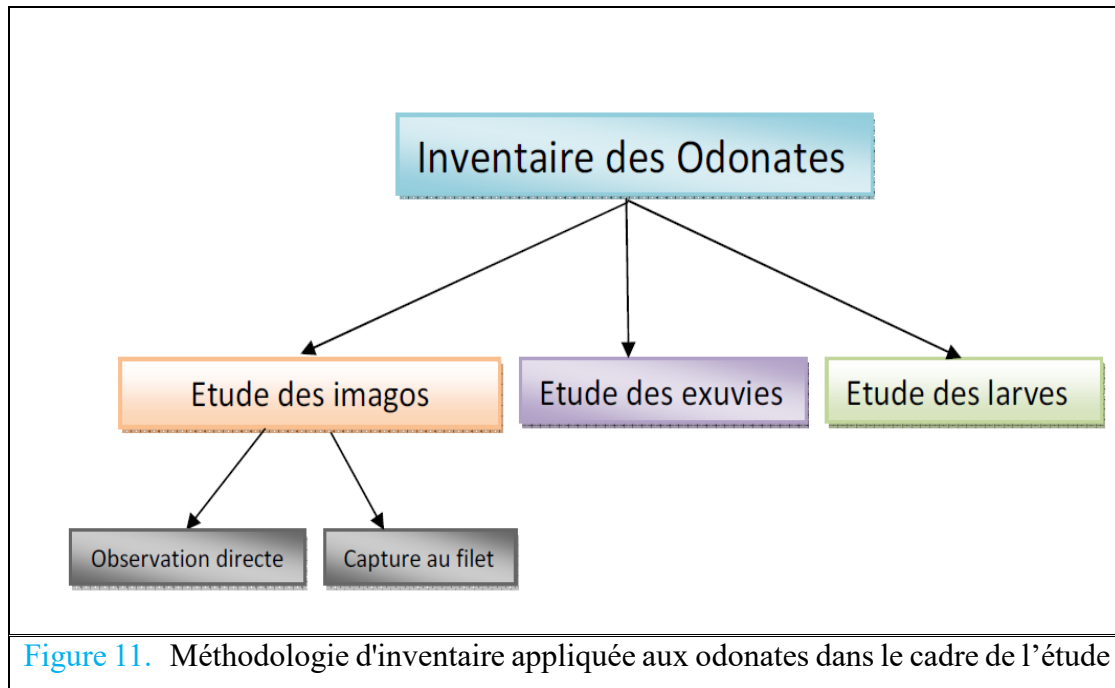


Figure 11. Méthodologie d'inventaire appliquée aux odonates dans le cadre de l'étude

L'étude des imagos chez les Odonates présente certains inconvénients. Tout d'abord, elle ne garantit pas toujours la preuve du caractère autochtone de l'espèce, notamment dans le cas des Anisoptères. De plus, certaines espèces peuvent passer inaperçues lors des prospections. En revanche, l'étude des exuvies chez les Odonates offre plusieurs avantages importants. Elle permet notamment de démontrer de manière certaine le caractère autochtone de l'espèce dans l'habitat observé. Elle offre également une meilleure image de l'importance des populations larvaires, ce qui est crucial pour comprendre la dynamique des espèces. De plus, cette méthode permet de détecter la présence d'espèces discrètes qui échappent souvent à l'observation à l'état imaginal (Corbet, 1999).

Sur chaque station, un relevé exhaustif de tous les odonates présents a été réalisé sur une période de 03 mois (d'avril à juin 2025) à raison de 02 sorties par mois. Chaque station a été prospecté à partir d'une des berges en marchant lentement et régulièrement pour identifier les individus et les exuvies dans la végétation et au-dessus de l'eau (Fig.12). La durée de chaque visite était d'environ 2 heures par temps favorable, entre [10 heures et 15 heures], pendant les périodes où les températures étaient supérieures à 18 °C. Une période supplémentaire de 20 min a été allouée aux abords immédiats de chaque station (végétation herbacée, ligneuse, etc.) pour recenser les adultes abrités. Tous les odonates ont été identifiés visuellement ou capturés à l'aide d'un filet à entomologique lorsque nécessaire et identifiés à l'aide d'une loupe aplanétique et de guides d'identification pertinents (D'Aguilar et Dommanget 1998 ; Grand et Boudot 2006). En





cas de doute, les spécimens capturés sont placés dans des boîtes en plastique étiquetée pour une identification plus poussée au laboratoire. En ce qui concerne la qualité de l'eau, nous avons réalisés la mesure des paramètres de l'eau à l'aide d'un multi paramètre ainsi que des indices visuels afin de nous informer d'une perturbation susceptible de nuire aux odonates. Il s'agit de la présence de déchets, de produits d'origine ménagère, de mousse ou d'algues filamenteuses et d'une eau turbide ou boueuse.

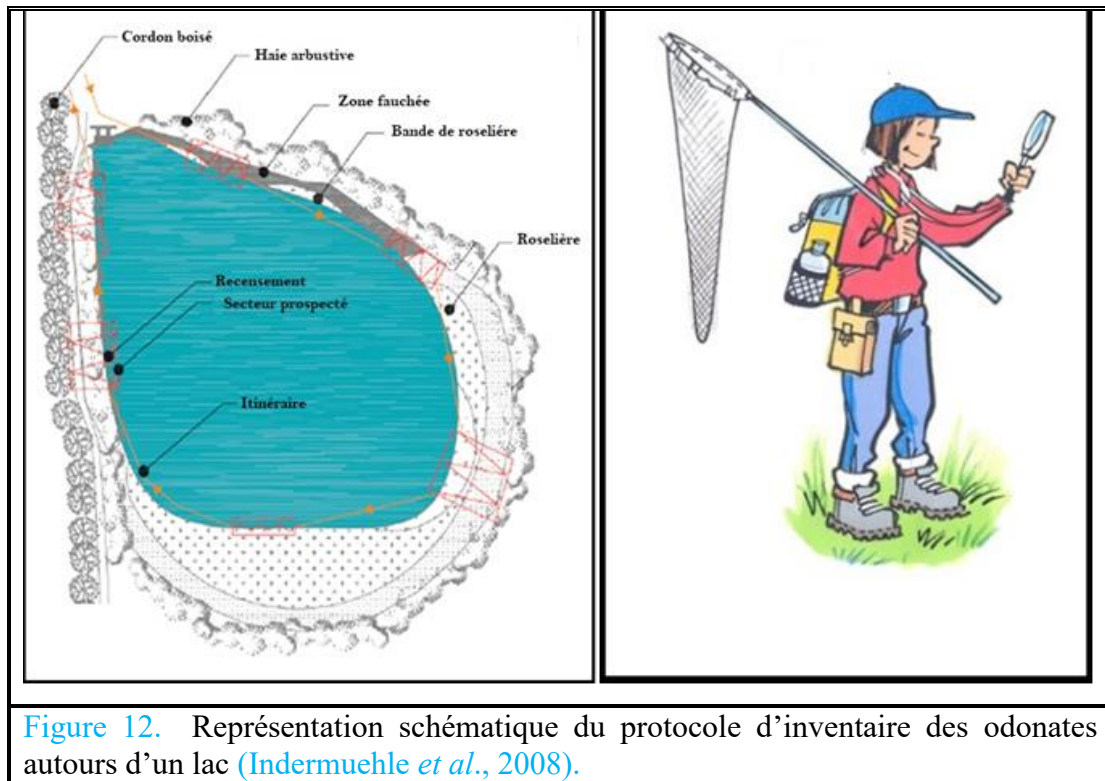


Figure 12. Représentation schématique du protocole d'inventaire des odonates autour d'un lac (Indermuehle *et al.*, 2008).

D'après la littérature, les larves d'odonates sont sensibles à la texture des sédiments de l'habitat aquatique. Les zones sableux-limoneuses sont plus favorables aux larves fouisseuses, par contre les zones riches en argile sont moins propices à certaines espèces (Corbet, 1999 ; Tsubaki & Ono, 1987). En reliant les profils granulométriques aux abondances et à la diversité des libellules, on pourra identifier les préférences des espèces et leur répartition.

Afin de caractériser la granulométrie des sols des différents biotopes humides présents sur notre site d'étude, un protocole rigoureux a été mis en place. Des échantillons représentatifs ont été prélevés en trois points distincts de chaque station, avec un volume compris entre 500 grammes et 1 kilogramme par point. Avant analyse, les échantillons ont été soumis à plusieurs traitements préparatoires : séchage à l'air libre pendant une semaine, réduction manuelle des mottes pour





préserver la structure des agrégats, tamisage à l'aide d'un tamis à mailles carrées de 2 mm, puis stockage dans des flacons plastiques hermétiquement fermés.

L'analyse granulométrique, visant à déterminer la texture du sol, a été réalisée selon la méthode internationale, modifiée par l'utilisation de la pipette de Robinson. Cette technique repose sur la vitesse de sédimentation des particules dans un liquide, proportionnelle à leur taille selon la loi de Stokes. La matière organique a été détruite à l'aide d'eau oxygénée (20 volumes), et les agrégats ont été dispersés à l'aide d'une solution de pyrophosphate de sodium à 40 %. Les particules ont ensuite été séparées en fonction de leur taille. Les fractions fines ($< 2 \mu\text{m}$, correspondant aux argiles et limons fins) ont été prélevées par pipette à des temps et profondeurs définis conformément aux principes de la sédimentation. Les fractions grossières ($> 50 \mu\text{m}$), incluant les sables fins, sables grossiers et limons grossiers, ont été isolées par tamisage après élimination des particules fines par siphonage successif. Chaque fraction a été ensuite séchée à 105°C , puis pesée. Le pourcentage en poids de chaque classe granulométrique a été calculé afin d'établir la distribution granulométrique complète de l'échantillon. Ces données ont permis de déterminer la texture des sols (sableux, limoneux, argileux, etc.) à l'aide du triangle textural de l'USDA. Cette caractérisation granulométrique constitue une base essentielle pour l'interprétation des propriétés physiques du sol et leur influence sur les écosystèmes, notamment dans le cadre de l'étude des habitats aquatiques des libellules (Corbet, 1999 ; Tsubaki & Ono, 1987).

III. Indices écologiques appliqués au suivi des odonates

Pour évaluer la composition et la structure des peuplements odonatologiques dans la région d'étude, plusieurs indices écologiques ont été calculés. Ces indicateurs permettent d'analyser la richesse spécifique, l'abondance relative, la fréquence d'occurrence, la diversité et l'équitabilité des espèces recensées.

1. Indices de composition

a. Richesse spécifique (S).

La richesse spécifique correspond au nombre total d'espèces présentes dans un écosystème donné (Ramade, 1984). Dans cette étude, elle représente l'ensemble des espèces d'odonates observées dans une station au cours des six mois de suivi.





b. Abondance relative (Ar).

L'abondance relative d'une espèce est le rapport entre son effectif (n_i) et l'effectif total du peuplement (N), exprimé en pourcentage (Dajoz, 1985) : $Ar (\%) = n_i / N \times 100$

Où :

- n_i = nombre d'individus de l'espèce considérée
- N = nombre total d'individus toutes espèces confondues

c. Fréquence d'occurrence (Fo).

La fréquence d'occurrence (Fo) est une mesure utilisée en écologie pour déterminer à quelle fréquence une espèce apparaît dans un ensemble de relevés ou stations d'observation. Elle indique dans combien de stations (ou relevés) une espèce est présente, en proportion du nombre total de stations étudiées. Cette valeur est exprimée en pourcentage.

Elle est calculée par la formule suivante : $Fo (\%) = P_i / P \times 100$

P_i : Nombre de stations où l'espèce est présente

P : Nombre total de stations étudiées (Dajoz, 1985).

La fréquence d'occurrence permet de :

- Comparer la répartition spatiale des espèces.
- Identifier les espèces rares (faible Fo) ou ubiquistes (présentes presque partout, donc Fo élevée).
- Évaluer la préférence écologique d'une espèce.

*En fonction de la valeur de (Fo), on distingue les cas suivants :

⊖ Rares ou accidentelles : $5 \% \leq Fo < 25 \%$

⊖ Accessoires : $25 \% \leq Fo < 50 \%$

⊖ Régulières : $50 \% \leq Fo < 75 \%$

⊖ Constantes ou communes : $75\% \leq Fo \leq 100\%$





2. Indices de structure

a. Indice de diversité de Shannon (H')

La diversité reflète la complexité d'un peuplement en intégrant à la fois la richesse spécifique et la répartition des abondances (Magurran, 1988). L'indice de Shannon se calcule ainsi :

$$H' = -\sum (ni/N) \times \log_2(ni/N)$$

Où :

- ni = effectif de l'espèce *i*
- N = effectif total du peuplement

Cet indice, exprimé en *bits*, varie entre :

- **0** (dominance d'une seule espèce)
- $\log_2 S$ (diversité maximale, lorsque toutes les espèces ont la même abondance)

Selon Magurran (1988), les valeurs typiques se situent entre **1,5 et 3,5**, dépassant rarement **4,5**.

b. Diversité maximale théorique (H'max)

La diversité maximale correspond à un peuplement où toutes les espèces sont également abondantes (Ponel, 1983) : $H'_{\max} = \log_2 S$

c. Équitabilité (E)

L'équitabilité (ou équirépartition) compare la diversité observée (H') à la diversité maximale théorique (H'max) : $E = H' / H'_{\max}$

Cet indice varie entre **0** (déséquilibre, une espèce domine) et **1** (équilibre parfait, toutes les espèces ont la même abondance) (Barbault, 1981).

d. Indice de Sorensen

L'indice de Sorensen (ou coefficient de Sorensen) est une mesure de similarité utilisée en écologie pour comparer la composition des espèces entre deux communautés ou stations d'étude.





L'indice de Sorensen se calcule par La formule est la suivante : $S = 2 \times C / A + B$

Où :

- A = nombre d'espèces dans la station A
- B = nombre d'espèces dans la station B
- C = nombre d'espèces communes aux deux stations

L'indice varie entre **0** (aucune espèce en commun) et **1** (communautés identiques).

Cet indice est utile pour évaluer si deux stations abritent des communautés similaires ou distinctes, identifier des zones avec des assemblages d'espèces uniques (ex. milieux humides différents). Il est utilisé également pour comparer des sites avant/après une perturbation.

L'indice de Sorensen est un outil rapide pour comparer la similarité des peuplements d'odonates entre stations. Il est utile en écologie des communautés, en bio indication et en gestion des milieux aquatiques. Pour une analyse plus fine, on peut le combiner avec d'autres indices (Shannon, Jaccard, analyses multivariées).





**CHAP III. RESULTAS
&
DISCUSSIONS**





Ce chapitre propose une synthèse des résultats obtenus. Il débute par une évaluation de l'état de conservation des zones humides étudiées, afin d'identifier les perturbations affectant les communautés odonatologiques. Il se poursuit par l'analyse de la composition et de la structure de l'odonatofaune du massif forestier de l'Akfadou, incluant la répartition, l'abondance des espèces recensées et leur statut de conservation selon la liste rouge de l'UICN pour l'Afrique du Nord.

I. Aperçu sur l'état des sites

Au cours des différentes prospections de terrain en quête du recensement et de suivi des Odonates dans les six (06) étangs forestiers du massif forestier de l'Akfadou, nous avons réalisé en parallèle une évaluation et un constat sur l'état de conservation de ces habitats aquatiques forestiers où vivent ces odonates. Rappelons que l'évaluation de l'état de santé de ces derniers, s'est faite par des mesures des paramètres de l'eau ; la texture du sol ainsi que par des indices visuels de toute perturbation susceptible de nuire aux espèces d'odonates vivant dans ce site.

La situation écologique de certains biotopes du massif forestier de l'Akfadou est particulièrement préoccupante, notamment dans les étangs fréquentés par les riverains et les visiteurs ce que signalaient [Chelli & Moulai \(2019a\)](#) ainsi que [Hamamouche & Azib \(2021\)](#) lors de leurs travaux dans cette région. En effet, en explorant ces étangs durant cette étude, la situation semble très inquiétante dans presque toutes les stations prospectées. Ces zones humides de haute montagne subissent en effet une double pression anthropique. D'un côté, nous avons une perturbation naturelle, et de l'autre, une anthropisation humaine.

La présence humaine dans ces zones fragiles accentue d'avantage leur dégradation. Le surpâturage des bovins des riverains et les activités récréatives des visiteurs dégradent leurs paysages surtout au niveau des berges entraînant un piétinement intensif, transformant les abords en borbiers dépourvus de végétation ([Fig.13](#)). C'est le cas du lac Noir ou Aglmime Avar Kane (AAV), et du lac vert ou Aglmime Mezzi (AM) très prisé au printemps et en été. Les rives de ces sites, autrefois préservées, subissent aujourd'hui de profondes altérations : arrachage de la végétation, piétinement intensif, feux de camp et barbecues sauvages, sans oublier les déchets plastiques qui s'y accumulent ([Fig.13](#)). Ces bijoux naturels, symbole de fierté régionale, se transforment peu à peu en décharges à ciel ouvert au cœur de cette forêt idyllique. Un autre phénomène alarmant concerne l'étang Aglmime Alsus (AAL), envahi par





le souchet des lacs (*Schoenoplectus lacustris*). Cette plante, qui se développe en bandes denses dépassant les deux mètres, gagne progressivement le centre du plan d'eau, réduisant drastiquement les surfaces en eau libre (Fig. 13 - S1), le même phénomène est observé au niveau du lac vert ou Aglmime mezzi (AM) qui est totalement couvert de la lentille, une situation qui menace directement les communautés d'Odonates. Par ailleurs, l'accumulation de feuilles mortes et de branches accélère l'envasement, diminuant la profondeur des étangs et provoquant leur assèchement prématuré (Fig. 13- S3). En l'absence de mesures de protection et de conservation par les autorités compétentes, ces habitats risquent de perdre irrémédiablement leur biodiversité exceptionnelle.

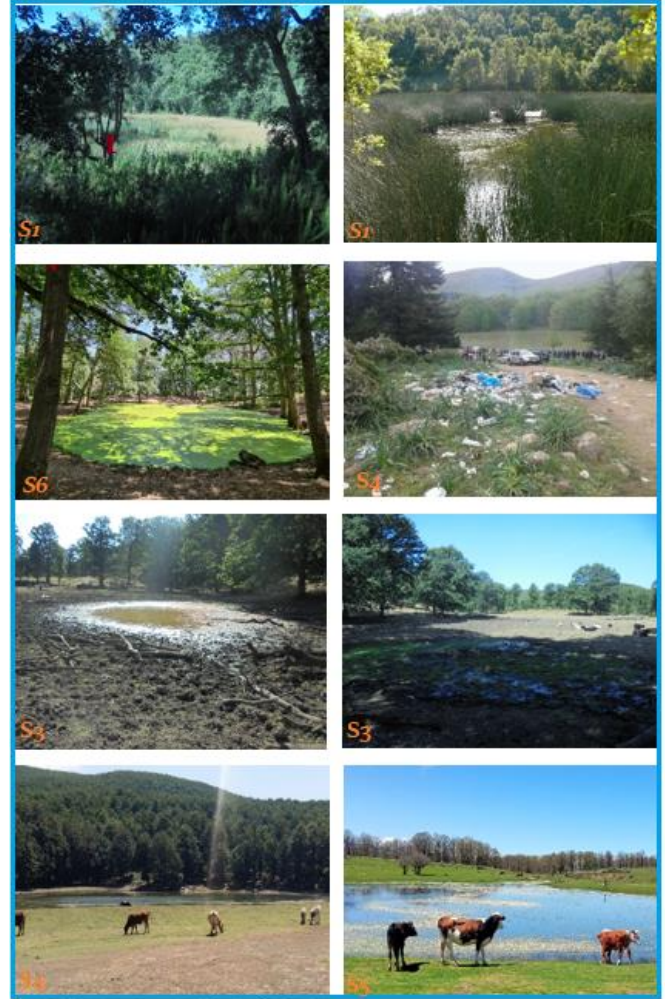


Figure 13. Quelques impacts anthropique sur certaines stations du massif de l'Akfadou.

Afin de caractériser la physionomie et la composition physico-chimique des étangs étudiés, une série de mesures a été réalisée. Elle visait à identifier les paramètres environnementaux influençant les communautés d'odonates, en mettant en évidence les facteurs favorables à leur développement ainsi que les contraintes pouvant limiter leur présence dans ces milieux humides. Les paramètres analysés incluent, entre autres, la température de l'eau, le pH, la conductivité, la teneur en oxygène dissous, la texture du sol ainsi que le recouvrement de l'eau par les algues et la végétation aquatique. Les données recueillies, synthétisées dans le tableau (Tab. 3), permettent d'établir des corrélations entre les conditions du milieu et la diversité odonatologique.





Les odonates présentent un cycle de vie particulier marqué par une phase larvaire exclusivement aquatique, jouant un rôle écologique crucial (Corbet, 1999). Leur développement, leur survie et leur succès de métamorphose dépendent étroitement des conditions environnementales des habitats qu'elles colonisent (Kalkman et al., 2008). Parmi les facteurs déterminants, les paramètres physico-chimiques (tels que la température, le pH et la concentration en oxygène dissous) et biologiques (disponibilité en proies, compétition interspécifique) influencent significativement leur distribution, leur croissance et leur diversité (Suhling et al., 2015). Certaines espèces d'odonates, en raison de leur sensibilité aux variations de ces paramètres, sont considérées comme d'excellents bioindicateurs de la qualité des écosystèmes aquatiques (Bried et al., 2012). Par exemple, les Zygoptères sont souvent associés à des eaux bien oxygénées et peu polluées, tandis que certains Anisoptères tolèrent des conditions plus variées (Chovanec & Waringer., 2001). Dans cette optique, une analyse détaillée des paramètres mesurés dans les six stations d'étude permet d'évaluer leur impact potentiel sur les communautés d'odonates et, par extension, sur la santé des milieux aquatiques.

Les mesures de pH révèlent que la majorité des stations présentent des eaux alcalines (pH 8,78~9,03). Les eaux naturelles non polluées ont généralement un pH proche de la neutralité, mais des valeurs inférieures à 9 peuvent indiquer une pollution organique liée à la décomposition de matière végétale (feuilles, bois mort) ou à des apports anthropiques. Ce phénomène est corroboré par les travaux de (Allan & Castillo., 2007), qui soulignent que les processus de décomposition consomment de l'oxygène et libèrent des acides organiques, abaissant le pH. Un pH alcalin comme celui de S6 pourrait défavoriser les espèces sensibles, telles que certains Odonates ou Éphéméroptères, dont les larves sont vulnérables aux conditions basiques (Corbet, 1999).

Les concentrations en oxygène dissous (32,25 ~ 38 %) sont inférieures au seuil optimal de 40 % généralement requis pour le maintien d'une biodiversité aquatique riche (Chapman & Kimstach, 1996). Ces faibles taux suggèrent une dégradation organique, potentiellement due à des apports de déchets végétaux ou animaux (bouses de vache). La station S6 (32,25 %) pourrait ainsi limiter la présence d'espèces exigeantes en oxygène.

La conductivité (91,33 ~198 $\mu\text{S}/\text{cm}$) reflète une minéralisation globalement faible, typique des eaux de surface peu influencées par des apports géochimiques (Dodds & Whiles, 2010).





Tableau 3. Paramètres mesurés dans les stations d'études du massif forestier de l'Akfadou.

Stations	Agoulmim Alsus S1	Agoulmim Ikher S2	Agoulmim Ouroufel S3	Agoulmim Averkar S4	Agoulmim T.Guizem S5	Agoulmim Mezzi S6
<i>Paramètres</i>	<i>Caractéristiques des stations</i>					
Type de station	Etang	Etang	Lac	Lac	Etang	Lac
Ouverture/fermeture	Semi ouvert	Ouvert	Semi ouvert	Fermé	Ouvert	Fermé
Localité	Tifra	Thivane	Akfadou	Adekar	Chemini	Yakouren
Profondeur (m)	0,80	0,50	1,50	1,70	1,20	1,60
Surface (ha)	2,50	2,80	1,40	3,50	1,50	1,80
Altitude (m)	790	1065	1360	1264	1572	1086
Type de sol	Limoneux (Phénomène de battance)	Limoneux fin	Sableux limoneux (phénomène de battance)	Limoneux sableux	Argileux	Argileux limoneux
Recouvrement	80%	30%	90%	25%	20%	98%
	<i>Paramètres de l'eau des stations</i>					
pH	08,01	08,75	08,62	08,78	8,63	09,03
T° de l'eau (C°)	18,16	20,70	19,83	15,46	21,64	19,40
Oxygène dissous (%)	35,33	38	34,60	33,80	34,55	32,25
Conductivité (µs/cm)	155,66	95,66	131,33	112,60	125,33	198

Cependant, les valeurs élevées mesurées en S6 (198 µS/cm) et S2 (155 µS/cm) pourraient indiquer une pollution anthropique comme une minéralisation naturelle accrue. Ces conditions sont défavorables aux espèces sensibles aux ions dissous, comme certaines diatomées ou invertébrés (Bere & Tundisi, 2011).

Les variations de température (20,70 ~ 21,64 °C dans les étangs ouverts S2 et S5 contre des valeurs plus basses en S3, S4 et S6) s'expliquent par l'altitude (1360 m et 1264 m) et la morphologie des milieux (fermeture du couvert végétal). Les températures plus élevées des étangs peu profonds (S2, S5) favorisent le développement larvaire des odonates (Corbet, 1999), mais un réchauffement excessif peut réduire l'oxygène dissous.

La texture du sol est également un facteur écologique majeur dans la structuration des communautés de larves d'odonates. Corbet (1999) affirme que les types de sols peuvent influencer la composition, la densité et la diversité des larves d'odonates, car les odonates sont des insectes aquatiques dont les larves vivent en milieu benthique (au fond de l'eau), où elles interagissent avec le substrat. Un sol limoneux en (S1, S2) qui est une structure fine et riche en matière organique favorise les larves fouisseuses (ex : Libellulidae) qui ont besoin d'un substrat meuble pour se cacher ou chasser. Ce même auteur souligne que les larves d'odonates ont une préférence pour les substrats riches en matière organique et facilement pénétrables. Des sols





sableux limoneux / limoneux sableux rencontrés dans les stations (S3, S4) sont moins stable que l'argile ou le limon pur, cela peut limiter la présence de certaines espèces sensibles à l'instabilité du substrat. Cependant, la présence de sable augmente la porosité, ce qui peut améliorer l'oxygénation du substrat. [Kalkman et al. \(2008\)](#) mentionnent que les espèces de Zygoptères sont souvent plus abondantes dans des substrats bien oxygénés.

En revanche, des sols argileux et argileux limoneux comme ceux des stations (S5, S6) qui est une texture dense et pauvre en oxygène est souvent difficile à pénétrer est moins favorable à la diversité larvaire sauf pour certaines espèces tolérantes. Cette texture peut présenter en outre des risques d'anoxie élevé en cas de décomposition organique importante. [Dudgeon \(2008\)](#) rapporte que les substrats argileux ont tendance à héberger des communautés benthiques moins diversifiées.

Les stations S1, S3, S5 et S6, avec des valeurs de conductivité électrique élevées, pourraient héberger une communauté appauvrie, tandis que S2 et S4, un peu plus stables, seraient favorables à une plus grande diversité.

Cette analyse préliminaire suggère des degrés de perturbation variables, avec S1, S3 et S6 comme priorités pour des mesures de restauration. Des analyses complémentaires tel que l'identification d'autres micro invertébrés aquatiques, mesures de nutriments affinaient ces interprétations.

II. Espèces d'Odonates recensés dans les différentes stations d'étude

La liste des espèces d'odonates recensées dans les six étangs du massif forestier de l'Akfadou lors des différentes visites mensuelles est présentée dans le [\(Tab.4\)](#) ci-dessous. Les taxons du groupe « famille » sont présentés par ordre systématique et ceux des groupes « genre » et « espèce » sont présentés par ordre alphabétique. Le statut des espèces enregistrées est tiré des listes rouges méditerranéennes et nord-africaines de l'UICN ([Riservato et al. 2009](#) ; [Samraoui et al. 2010](#))





Tableau 4. Liste des espèces d'Odonates recensés dans les différents étangs forestiers à l'Akfadou

Sous Ordre	Famille	Espèces	Conservation
Zigoptères (44%)	Lestidae (22%)	<i>Chalcolestes viridis</i> (Vander Linden, 1825)	LC
		<i>Lestes barbarus</i> (Fabricius, 1798)	LC
		<i>Lestes virens</i> (Charpentier, 1825)	LC
		<i>Sympecma fusca</i> (Vander Linden, 1820)	LC
	Coenagrionidae (22%)	<i>Erythromma lindennii</i> (Selys, 1840)	LC
		<i>Coenagrion scitulum</i> (Rambur, 1842)	NT
		<i>Enallagma deserti</i> (Selys, 1871)	LC
		<i>Ischnura graellsii</i> (Rambur, 1842)	LC
Anisoptères (56%)	Aeshnidae (28%)	<i>Aeshna affinis</i> Vander Linden, 1820	VU
		<i>Aeshna isoceles</i> (O. F. Müller, 1767)	VU
		<i>Aeshna mixta</i> Latreille, 1805	LC
		<i>Anax imperator</i> Leach, 1815	LC
		<i>Hemianax ephippiger</i> (Burmeister, 1839)	LC
	Libellulidae (28%)	<i>Orthetrum cancellatum</i> (Linnaeus, 1758)	LC
		<i>Sympetrum fonscolombii</i> (Selys, 1840)	LC
		<i>Sympetrum meridionale</i> (Selys, 1841)	LC
		<i>Sympetrum sanguineum</i> (O. F. Müller, 1764)	VU
		<i>Sympetrum striolatum</i> (Charpentier, 1840)	LC
18 Espèces d'Odonates			
LC : Least Concern			NT : Near Threatened
			VU : Vulnerable

Malgré une période de prospection relativement brève, le site d'étude a révélé une richesse notable en odonates. En effet, au cours des trois (03) mois d'inventaire, dix-huit (18) espèces d'odonates ont été identifiées [Annexe II], réparties entre les deux sous-ordres : Zygoptera (44 %) et Anisoptera (56 %). Ces espèces appartiennent à quatre (04) familles et douze (12) genres. Les familles des Libellulidae et des Aeshnidae se révèlent les plus diversifiées, avec cinq (05) taxons chacune, représentant 28 % des espèces recensées. Elles sont suivies des familles Lestidae et Coenagrionidae, comptant quatre (04) taxons chacune, soit 22 % de l'ensemble de l'odonatofaune observée.

Cette diversité remarquable confère au site une importance particulière, puisqu'il abrite environ 27 % de l'odonatofaune algérienne, estimée à 63 espèces selon Samraoui & Menai (1999), 38





% des espèces connues en Numidie (Samraoui & Corbet, 2000), et 47 % de celles inventoriées à Béjaïa (Chelli & Moulai, 2019 a, b ; Chelli et al., 2020). Ces proportions soulignent la richesse odonatologique exceptionnelle de cette zone, bien que la partie orientale du massif forestier étudiée dans le cadre de ce travail ne représente que 1,95 % de la superficie totale de la wilaya de Béjaïa. Elles suggèrent également que la qualité des habitats humides de l'Akfadou demeure globalement favorable au maintien de ces communautés, malgré les pressions anthropiques croissantes et les dégradations écologiques du paysage environnant.

Sur les dix-huit (18) espèces recensées, quatorze (14), soit 75 %, figurent dans la Liste Rouge de l'UICN pour l'Afrique du Nord dans la catégorie LC (Préoccupation mineure) (Tab.4). Quatre espèces sont néanmoins considérées comme menacées : *Aeshna affinis*, *Aeshna isocelis* et *Sympetrum sanguineum* sont classées vulnérables (VU) (Garcia et al., 2010 ; Samraoui et al., 2010), tandis que *Coenagrion scitulum* est inscrit dans la catégorie Quasi menacée (NT) selon l'UICN (Samraoui et al., 2010).

Par ailleurs, sur les cinq espèces de Lestidae connues en Algérie, quatre d'entre elles à savoir : *Lestes barbarus*, *L. virens*, *Chalcolestes viridis* et *Sympetma fusca* ont été observées dans les étangs forestiers d'altitude de l'Akfadou, ce qui atteste du rôle écologique crucial de ces milieux en tant que refuges pour des espèces spécialisées.

Il convient également de noter que plus de la moitié (58 %) des espèces recensées appartiennent au cortège méditerranéen. Les principales espèces typiques des milieux lenticules (eaux stagnantes) du Maghreb et du bassin méditerranéen telles que *Enallagma deserti*, *Coenagrion scitulum*, *Erythromma lindenii*, *Lestes barbarus* et *Ischnura graellsii* sont bien présentes sur le site. D'autres espèces, aujourd'hui absentes, auraient vraisemblablement pu exister dans ces biotopes avant les altérations induites par les activités humaines. Enfin, la forte représentation d'espèces ubiquistes comme *Ischnura graellsii*, *Orthetrum cancellatum* et *Sympetrum fonscolombii* témoigne d'un processus de banalisation de la faune odonatologique au sein de ce massif forestier.

Les six stations d'étude se partagent deux espèces qui sont *Ischnura graellsii* et *Anax imperator* (Tab.5).

La répartition des espèces recensées dans les six stations d'étude en fonction de leurs présences/absences sont portés dans le (Tab.5) ci-dessous.





isocoles, *Hemianax ephippiger*, *Erythromma lindennii* et *Sympecma fusca* ont une distribution plus limitée ou spécifique, ce qui peut refléter des préférences particulières pour certains habitats ou conditions locales. D'autres espèces par contre, telles que *Enallagma deserti*, *Sympetrum fonscolombii*, *S. sanguineum*, *Aeshna affini*, *Coenagrion scitulum*, *Lestes barbarus* et *L. virens* montrent une distribution plus variable, étant présentes dans plusieurs stations mais pas dans toutes, ce qui peut refléter une tolérance ou des préférences pour certains habitats spécifiques.

III. Analyse de la composition des odonates recensés

• L'abondance relative des Odonates recensés

L'abondance relative des espèces d'Odonates recensées dans les six biotopes humides lenticues du massif forestier de l'Akfadou sont consignés dans le (Tab.6) et illustrés dans la (Fig.14) ci-dessous.

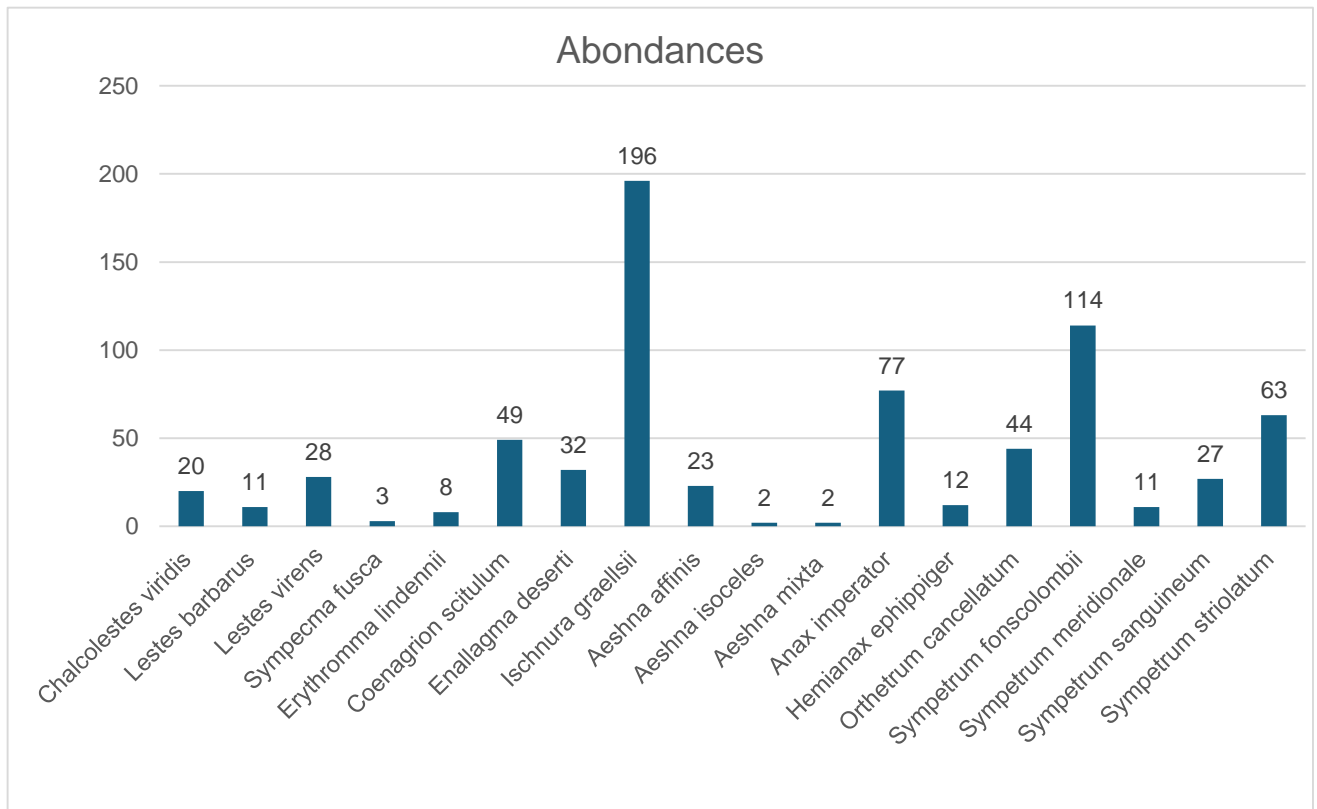


Figure 14. Abondance relative des espèces d'odonates dans les biotopes humides de l'Akfadou

Dans les eaux stagnantes des étangs forestiers de l'Akfadou, nous avons recensés durant les trois mois d'étude 729 individus d'odonates. Parmi l'odonatofaune recensée, deux espèces dominant en nombre d'individus affichant des abondances relativement importantes, il s'agit d'*Ischnura graellsii* et de *Sympetrum fonscolombii* (Tab.6 et Fig.14). Ces deux espèces en





compagnie d'*Anax imperator* et *Sympetrum striolatum* dominant en nombre d'individus l'effectif globale des odonates recensés. En effet, l'analyse des effectifs, met en évidence la dominance de ces quatre espèces comptabilisant à elles seules plus de la moitié (62%) des effectifs totaux recensés sur l'ensemble des stations. En tête, nous avons *Ischnura graellsii* qui est non seulement la plus fréquente, mais aussi la plus abondante avec 196 individus suivie par *Sympetrum fonscolombii* avec 114 individus et en fin par *Anax imperator* et *Sympetrum striolatum* avec respectivement 77 et 63 individus. Trois espèces, néanmoins, présentent des populations aux effectifs très modestes ne dépassant pas cinq (05) individus, à savoir *Sympecma fusca* (03) individus, *Aeshna mixta* et *Aeshna isoceles* avec (03) individus chacune. Cet état de fait, nous laisse avancer des suppositions sur la vulnérabilité de ces trois libellules dans cette forêt (Fig. 14 et Tab.6).

Tableau 6. Abondance relative des Odonates recensés dans les stations d'étude dans le massif forestier d'Akfadou.

Stations	(S1)		(S2)		(S3)		(S4)		(S5)		(S6)	
	Alssus		Ikher		Ouroufel		Averkan		Talla Guizem		Mezzi	
	N= 100		N= 137		N= 128		N= 151		N= 152		N= 61	
Espèces	ni	Ar%	ni	Ar%	ni	Ar%	ni	Ar%	ni	Ar%	ni	Ar%
<i>Chalcolestes viridis</i>	X	X	12	8,75	X	X	08	5,29	X	X	X	X
<i>Lestes barbarus</i>	04	4	02	1.45	X	X	X	X	05	3.28	X	X
<i>Lestes virens</i>	06	6	X	X	X	X	12	7.94	10	6.57	X	X
<i>Sympecma fusca</i>	X	X	X	X	X	X	03	1.98	X	X	X	X
<i>Erythromma lindennii</i>	X	X	08	5.83	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Coenagrion scitulum</i>	X	X	X	X	08	6.25	X	X	11	7.23	30	49,18
<i>Enallagma deserti</i>	X	X	07	5.10	12	9.37	06	3.97	07	4.60	X	X
<i>Ischnura graellsii</i>	43	43	30	21.89	17	13.28	61	40.39	30	19.73	15	24,59
<i>Aeshna affinis</i>	06	6	04	2.91	X	X	X	X	12	7.89	01	01,63
<i>Aeshna isoceles</i>	02	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Aeshna mixta</i>	02	2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Anax imperator</i>	13	13	13	9.48	20	15.62	11	7.28	15	9.86	05	8,19
<i>Hemianax ephippiger</i>	X	X	12	8.75	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Orthetrum cancellatum</i>	11	11	05	3.64	06	4.68	15	9.93	08	5.26	X	X
<i>Sympetrum fonscolombii</i>	X	X	24	17.51	41	32.03	27	17.88	22	14.47	X	X
<i>Sympetrum meridionale</i>	04	4	X	X	04	3.12	X	X	X	X	03	4,91
<i>Sympetrum sanguineum</i>	04	4	05	3.64	09	7.08	08	5.29	X	X	X	X
<i>Sympetrum striolatum</i>	05	5	15	10.94	11	8.59	X	X	32	21.05	07	11,47

N : nombre total des individus toutes espèces confondues ; ni : nombre des individus d'une espèce ; X : Absence de l'espèce





La faible abondance de ces trois (03) espèces pourrait être attribuée à des exigences écologiques spécifiques (habitat, ressources alimentaires, conditions physico-chimiques) non entièrement satisfaites dans les sites échantillonnés (Dijkstra & Lewington, 2006 ; Corbet, 1999). En revanche, l'étang Aglmime Mezzi (S6), bien que caractérisé par une faible diversité spécifique, présente une dominance marquée de *Coenagrion scitulum*, représentant près de 50 % des effectifs totaux recensés dans cette station. Cette observation est d'autant plus notable que cette espèce est classée "Quasi Menacée" (NT, Near Threatened) sur la Liste Rouge de l'UICN.

La prolifération de *C. scitulum* dans ce milieu pourrait s'expliquer par la présence d'un couvert végétal aquatique dense, principalement constitué de lentilles d'eau, couvrant presque la totalité de la surface de l'étang. Cette végétation flottante offre probablement des conditions favorables à l'espèce, en servant à la fois d'abri pour les larves contre les prédateurs et de support pour la ponte (Askew, 2004 ; Boudot & Kalkman, 2015). Malgré des conditions environnementales peu optimales (sol argilo-limoneux, pH légèrement acide, faible taux d'oxygène dissous et conductivité élevée), *C. scitulum* semble mieux adaptée que les autres zygoptères, lui permettant de dominer dans ce biotope particulier.

Par ailleurs, la présence de cette espèce aux côtés d'autres odonates menacés tels qu'*Aeshna isoceles*, *Aeshna affinis* et *Sympetrum sanguineum* (classés Vulnérables (VU) par l'UICN) dans les zones humides du massif forestier de l'Akfadou souligne l'importance écologique de ce site. Ces observations justifient la nécessité d'une stratégie de conservation ciblée, visant à préserver ces habitats critiques pour les espèces rares ou en déclin (Clausnitzer et al., 2009).

- **Les fréquences d'occurrences des Odonates recensés**

Les fréquences d'occurrences des Odonates recensés dans les différents biotopes étudiés du massif forestier de l'Akfadou sont consignées dans le (Tab.7).





Tableau 7. Fréquences d'occurrences des espèces d'Odonates recensées dans le massif forestier d'Akfadou (Bejaia).

Espèces	P= 06	
	Pi	Fo%
<i>Chalcolestes viridis</i>	02	33,33
<i>Lestes barbarus</i>	03	50
<i>Lestes virens</i>	03	50
<i>Sympecma fusca</i>	01	16,66
<i>Erythromma lindennii</i>	01	16,66
<i>Coenagrion scitulum</i>	03	50
<i>Enallagma deserti</i>	04	66,66
<i>Ischnura graellsii</i>	06	100
<i>Aeshna affinis</i>	04	66,66
<i>Aeshna isoceles</i>	01	16,66
<i>Aeshna mixta</i>	01	16,66
<i>Anax imperator</i>	06	100
<i>Hemianax ephippiger</i>	01	16,66
<i>Orthetrum cancellatum</i>	05	83,33
<i>Sympetrum fonscolombii</i>	04	66,66
<i>Sympetrum meridionale</i>	03	50
<i>Sympetrum sanguineum</i>	04	66,66
<i>Sympetrum striolatum</i>	05	83,33

À la lumière des résultats présentés dans le tableau 7, quatre cortèges odonatologiques distincts peuvent être identifiés.

- ⊖ Le premier cortège regroupe les espèces omniprésentes et constantes. Deux d'entre elles se démarquent nettement du reste de la faune odonatologique par leur présence systématique (fréquence d'occurrence, Fo = 100 %) : *Ischnura graellsii* et *Anax imperator*. Ces deux espèces sont les plus représentées dans l'ensemble des six étangs forestiers étudiés ; elles ont été observées dans toutes les stations et lors de chaque relevé mensuel tout au long de la période d'étude. À ce groupe s'ajoutent deux autres espèces, *Orthetrum cancellatum* et *Sympetrum striolatum*, considérées comme relativement constantes avec une fréquence d'occurrence de 83,33 %, relevées dans cinq biotopes sur les six. Ces quatre espèces





montrent une tolérance marquée aux variations de milieu, ce qui les classe parmi les espèces généralistes, contrairement à d'autres espèces dont la présence est fortement dépendante des caractéristiques physiologiques et chimiques du milieu.

- ⊖ Le deuxième cortège comprend les espèces à répartition régulière. Il rassemble quatre espèces présentes dans 66,66 % des biotopes : *Enallagma deserti*, *Aeshna affinis*, *Sympetrum fonscolombii* et *Sympetrum sanguineum*. À celles-ci s'ajoutent quatre autres espèces à savoir : *Lestes barbarus*, *L. virens*, *Coenagrion scitulum* et *Sympetrum meridionale*, observées dans la moitié des biotopes étudiés (50 %).
- ⊖ Le troisième cortège est composé d'espèces dites accessoires, dont la fréquence de présence varie entre 25 % et moins de 50 %. On y retrouve l'espèce *Chalcolestes viridis*. Enfin, le quatrième cortège regroupe les espèces accidentelles ou strictement liées à des biotopes très spécifiques. Leur fréquence d'occurrence est inférieure à 25 %, et elles n'ont été observées que dans un ou deux biotopes. Il s'agit de *Sympecma fusca*, *Erythromma lindennii*, *Aeshna isocles*, *Aeshna mixta* et *Hemianax ephippiger* (Fig.15).

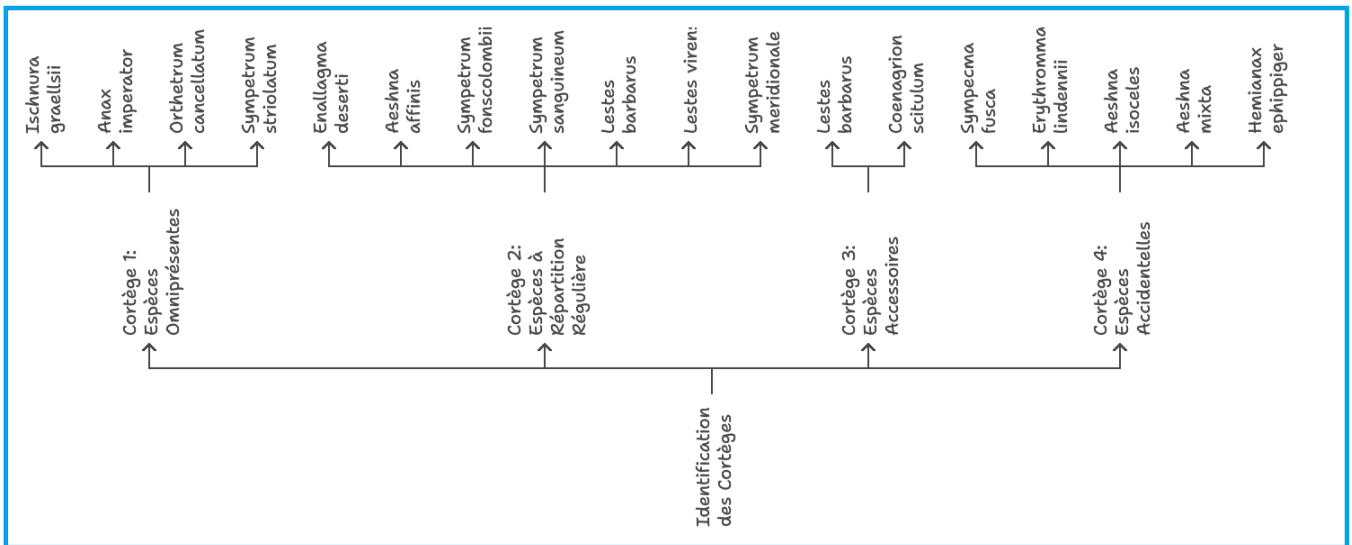


Figure 15. Diagramme illustrant la classification des cortèges odonotologiques inféodés au site d'étude.

IV. Analyse de la structure des odonates recensés

Afin de mieux appréhender la structure de l'odonatofaune, un traitement de la diversité et de l'équitabilité ont été réalisés. Les résultats sont portés dans le (Tab.8) ci-dessous.





Tableau 8. Diversité de Shannon et l'équitabilité dans les stations d'étude

Indice écologiques	Stations d'étude					
	AAL (S1)	AI (S2)	AO (S3)	AAV (S4)	AT (S5)	AM (S6)
Nombre d'individus	100	137	128	151	152	61
H'	2,745	3,255	2.818	2.598	3.055	1,969
H' max	3,459	3,585	3.169	3.169	3.322	2,585
E	0,79	0,90	0.88	0.81	0.91	0,76
Richesse spécifique	11	12	09	09	10	06
Richesse totale	18					
Total des individus	699					
H' : diversité de Shannon - Weaver H' max : Diversité maximale E : Equirépartition						

- **Indice de Diversité de Shannon et l'équitabilité de Pilon**

La répartition spatiale des Odonates dans notre région, ainsi que les variations de leur abondance, semblent étroitement liées à la qualité écologique des habitats aquatiques étudiés et aux différentes pressions qu'ils subissent. Cette corrélation entre la structure des communautés d'Odonates et les caractéristiques des milieux aquatiques a été largement documentée dans la littérature scientifique (Corbet, 1999; Kalkman et al., 2008). Nos observations révèlent que certains étangs présentent des conditions particulièrement favorables au développement des odonates, se traduisant par une diversité et une richesse spécifique plus élevées que d'autres. C'est notamment le cas des étangs Aglmime Ikher (S2) et Aglmime Tala Guizem (S5), qui se distinguent par une communauté odonatologique abondante et diversifiée.

Vraisemblablement, la qualité de l'habitat joue un rôle déterminant dans la biodiversité des odonates. En effet, les étangs S2 et S5, caractérisés par des zones humides bien dégagées, ensoleillées et peu profondes, offrent des conditions optimales pour ces insectes. Une faible profondeur permet un réchauffement rapide de l'eau, favorable au développement des larves et à l'activité des adultes ; un pH modéré, une conductivité faible et une oxygénation suffisante créent probablement un milieu propice à une grande variété d'espèces. Ces observations sont en accord avec les travaux de Remsburg et Turner (2009), qui soulignent l'importance des habitats peu profonds et ensoleillés pour la diversité des Odonates. De même, Dijkstra et Lewington (2007) mettent en évidence l'influence des paramètres physico-chimiques (pH, oxygénation) sur la distribution des espèces. Ces conditions contrastent avec celles des étangs Aglmime Averkane (S4) et Aglmime Mezzi (S6), plus profonds, à l'eau plus froide et au pH légèrement acide, où la diversité odonatologique est moindre (Tab. 3).





Les étangs S2 et S5 présentent des valeurs d'équitabilité proches de 1 (0,90 et 0,91 respectivement, [Tab. 8](#)), indiquant une répartition équilibrée des individus entre les différentes espèces. Cela suggère un écosystème stable et peu perturbé, où les ressources sont suffisantes pour maintenir une communauté diversifiée. Cette stabilité écologique est un facteur clé dans la structuration des communautés d'Odonates, comme le démontrent les études de [Bried et al. \(2012\)](#) sur les indicateurs de qualité des zones humides. À l'inverse, l'étang Alssus (S1), bien que très riche en espèces (11 recensées) et en effectifs (100 individus), montre une équitabilité plus faible (0,79), principalement en raison de la dominance écrasante d'*Ischnura graellsii* (43 % de la population). Ce déséquilibre pourrait refléter une compétition interspécifique intense ou des conditions favorisant particulièrement cette espèce, un phénomène fréquemment observé dans les milieux soumis à des perturbations modérées ([Suhling et al., 2015](#)).

L'étang Aglmime Mezzi (S6) enregistre la plus faible équitabilité (0,76), corrélée à une faible richesse spécifique (6 espèces) et une abondance limitée (61 individus). Donc, une faible diversité (comme en S6) peut indiquer un stress environnemental, une perturbation anthropique ou des conditions écologiques limitantes. Ces résultats rejoignent ceux de [Chovanec et Waringer \(2001\)](#), qui identifient les Odonates comme de bons bioindicateurs des pressions environnementales. Les stations avec une haute diversité et équitabilité (S2, S5) pourraient être des milieux plus stables ou moins perturbés. Ces habitats, avec leurs structures ouvertes et ensoleillées, émergent comme des habitats prioritaires pour la conservation des Odonates, conformément aux recommandations de [Clausnitzer et al. \(2009\)](#) sur la préservation des zones humides critiques. Leur stabilité écologique favorise des peuplements équilibrés et résilients. À l'opposé, les milieux moins diversifiés (S4, S6) pourraient servir d'indicateurs de dégradation environnementale, appelant des mesures de restauration ciblées, une approche soutenue par les travaux de [Simaika et Samways \(2012\)](#) sur la gestion conservatoire des habitats à Odonates.

- ***Indice de similarité de Sorensen***

Pour comprendre les liens entre la similarité des communautés écologiques ([Tab.9](#)) et les caractéristiques environnementales ([Tab.3](#)), nous avons croiser les deux tableaux. L'objectif est d'identifier quels paramètres environnementaux pourraient expliquer les similarités ou dissimilarités observées.





Tableau 9. Similarités et dissimilarité entre les différentes stations d'étude

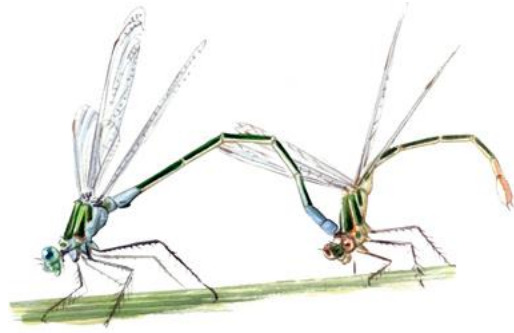
Stations	(AAL) S1	(AI) S2	(AO) S3	(AAV) S4	(AT) S5	(AM) S6
(AAL) S1						
(AI) S2	0,60					
(AO) S3	0,60	0,66				
AAV S4	0,60	0,66	0,66			
(AT) S5	0,66	0,54	0,73	0,63		
(AM) S6	0,58	0,44	0,66	0,26	0,62	

A travers les corrélations entre Similarité et Paramètres Environnementaux, nous cherchons à expliquer les similarités élevées (ex : S3-S5 = 0.73) ou faibles (ex : S4-S6 = 0.26) par les variables environnementales.

Bien que les types de sol diffèrent (sableux limoneux pour l'un et argileux pour l'autre), Aglmime Ouroufel (S3) et Aglmime Talla Guizem (S5) présentent une forte similarité de 0,73. Cette ressemblance peut s'expliquer par des caractéristiques physico-chimiques très proches, notamment un pH quasi identique (8,62 contre 8,63), une conductivité similaire (131,33 µS/cm contre 125,33 µS/cm), des profondeurs comparables (1,50 m contre 1,20 m), des températures proches (19,83°C contre 21,64°C) ainsi que des taux d'oxygène dissous presque équivalents (34,60 % contre 34,55 %). En revanche, Aglmime Averkane (S4) et Aglmime Mezzi (S6) affiche une similarité très faible qui est de 0.26. Cela peut s'expliquer par ces différences marquées à savoir le pH de 8.78 en (S4) contre 9.03 en (S6), cela suggère que S6 est plus basique. La conductivité est de 112.60 contre 198.00 µS/cm, donc, S6 a une salinité/ionisation bien plus élevée. Le Recouvrement est de 25% en (S4) contre 98% en (S6), cela veut dire que S6 est presque entièrement couvert, limitant la lumière. Type de sol est Limoneux sableux en (S4) contre argileux limoneux en (S6). Ces différences abiotiques drastiques expliquent la faible similarité écologique. Aglmime Mezzi (S6) est un étang forestier atypique en raison de sa conductivité très élevée (198 µS/cm, potentiellement due à des minéraux dissous ou une pollution organique, Son pH le plus élevé (9.03) et son recouvrement quasi-total (98%), créant un microhabitat unique. Ces contrastes abiotiques expliquent la faible similarité écologique entre S4 et S6, soulignant l'influence déterminante des paramètres environnementaux sur les assemblages des peuplements d'odonates.

Le croisement des données confirme que, les similarités écologiques sont fortement influencées par la conductivité, le pH et le type de sol. (S6) est une station exceptionnelle, probablement en raison de conditions chimiques extrêmes (conductivité, pH) et physiques (recouvrement).





CONCLUSION





Le massif forestier de l'Akfadou, situé à la croisée des vallées de la Soummam, du Sébaou et du Djurdjura, constitue un hotspot de biodiversité encore méconnue. Ses paysages variés abritent des zones humides d'altitude d'une grande valeur écologique, qui pourraient servir de corridor naturel entre le parc national de Gouraya (est) et celui du Djurdjura (ouest). Ces écosystèmes aquatiques, longtemps préservés en raison de leur isolement, subissent depuis deux décennies une pression touristique croissante, menaçant leur intégrité.

Cette étude sur les libellules et leurs habitats naturels menée dans ce vaste territoire a permis d'établir une base de données essentielle pour la gestion des zones humides protégées. Elle met en lumière la nécessité de renforcer les mesures contre les activités humaines non réglementées et d'étendre la protection aux étangs forestiers d'altitude de ce massif forestier, actuellement menacés et dépourvus de statut de conservation. Ces zones humides discrètes, peu connues auparavant du grand public sont devenues ces deux dernières décennies des endroits prisés des touristes venant des quatre coins d'Algérie par le biais des agences touristiques. Sans intervention rapide des autorités compétentes (Direction de l'Environnement et/ou Direction des Forêts), ces milieux uniques risquent de disparaître, entraînant la perte irréversible de leur biodiversité exceptionnelle. Une gestion adaptée de ces écosystèmes aquatiques favoriserait non seulement la croissance des populations existantes, mais aussi l'établissement de nouvelles espèces montagnardes.

Malgré une période de prospection relativement brève, le site d'étude a révélé une richesse notable en odonates. En effet, au cours des trois (03) mois d'inventaire, dix-huit (18) espèces d'odonates ont été identifiées, ce qui représente la moitié de l'odonatofaune de Bejaia et près d'un tiers des espèces connues en Algérie. Parmi les taxons recensés, quatre se distinguent par leur ubiquité et leur tolérance aux conditions variées des étangs prospectés : *Ischnura graellsii*, *Anax imperator* et *Orthetrum cancellatum* et *Sympetrum striolatum* présents dans 80 % des relevés. Cette forte représentation de ces espèces ubiquistes témoigne d'un processus de banalisation de la faune odonatologique au sein de ce massif forestier. La majorité des espèces recensées (75%) sont classées comme préoccupation mineure (LC) dans la liste rouge de l'UICN, mais quatre espèces sont considérées comme vulnérables ou quasi menacées, il s'agit d'*Aeshna affinis*, *Aeshna isoceles*, *Sympetrum sanguineum* et *Coenagrion scitulum*.

Certaines stations, comme S2 et S5, présentent des communautés riches et équilibrées, en lien avec une meilleure qualité écologique de leurs habitats. Leur stabilité écologique pourrait en faire des refuges importants pour la conservation. En revanche, des stations comme S4 et S6





montrent une faible diversité et une forte modulation par des facteurs abiotiques tels que la salinité, le pH, ou la couverture végétale, reflétant un environnement plus dégradé.

Ces résultats illustrent que la qualité environnementale des habitats aquatiques dans le massif de l'Akfadou est fortement impactée par l'activité humaine et les changements abiotiques, ce qui se manifeste par une diversité d'odonates en baisse, une communauté déséquilibrée et la présence d'espèces vulnérables ou menacées. La conservation de ces habitats nécessite des mesures pour limiter la dégradation et restaurer la santé écologique des sites.

L'état de conservation des zones humides du massif de l'Akfadou est globalement préoccupant en raison de la forte pression anthropique exercée sur ces écosystèmes fragiles. Les activités humaines, telles que le surpâturage, le piétinement, l'envasement et la pollution, ont fortement altéré la qualité écologique des habitats aquatiques, compromettant la stabilité et la biodiversité des communautés odonatologiques qui y résident. La diversité, l'abondance et l'équité des populations d'odonates, ainsi que leur statut selon la liste rouge de l'UICN, reflètent ces perturbations, avec une présence notable d'espèces vulnérables ou menacées. Cette situation souligne la nécessité de mettre en œuvre des mesures de conservation ciblées, incluant la restauration des habitats, la gestion durable des activités humaines, et la sensibilisation locale afin de préserver ces micro-habitats exceptionnels, essentiels à la biodiversité régionale.

Cette étude souligne l'importance cruciale de ces écosystèmes et appelle à des actions concertées pour leur conservation. Elle constitue une base solide pour de futures recherches et pour l'élaboration de stratégies de préservation, afin que ces milieux exceptionnels puissent continuer à être étudiés et appréciés pour les générations à venir.





BIBLIOGRAPHIE





- Alban N., Arnaboldi F., Arnal G., Bardat J., Chaïb J., Dardignac C., Dommanget J.L. James D., Queney P., Limoges O. & Vicario J.P. 2006. Guide technique de gestion des mares forestières de plaine. Office National des Forêts. 214 p.
- Allan J.D. & Castillo M.M. 2007. Stream Ecology: Structure and Function of Running Waters. Springer.
- Andrew R.J., Subramaniam K.A. & Tiple A.D. 2009. A Handbook on Common Odonates of Central India. South Asian Council of Odonatology, Nagpur, India, 65 p.
- Askew R. R. 2004. The Dragonflies of Europe. Harley Books.
- Barbault R. 1981. Ecologie des populations et des peuplements. Des théories aux faits. Masson, Paris, 200 p.
- Bere T. & Tundisi J.G. 2011. "Influence of ionic composition on benthic macroinvertebrates in tropical streams". Hydrobiologia, 663(1), 1–14.
- Boudot J.P. 2008. *Selysiothemis nigra* (Vander Linden, 1825), nouveau pour le Maroc, et autres observations sur les Odonates du Maghreb nord occidental (Odonata : Anisoptera : Libellulidae). *Martinia*, 24 (1) : 3-29.
- Boudot J.P. & Kalkman V.J. 2015. Atlas of the European Dragonflies and Damselflies. KNNV Publishing.
- Boudot J.P., Grand D., Wildermuth H. & Monnerat C. 2017. Les libellules de France, Belgique, Luxembourg et Suisse. Biotope, Mèze (Collection Parthénope), 2ème Ed., 456 p.
- Bried J. & Samways M.J. 2015. A review of odonatology in freshwater applied ecology and conservation science. *Freshwater science*, 34(3) :1023-1031.
- Bried J.T., Dillon A.M., Hager B.J., Patten M.A. & Luttbeg B. 2012. Odonata as indicators of ecosystem health in wetlands. *Ecological Indicators*, 20, 277-286.
- Buss D.F., Carlisle D.M. & Chon T.S. et al. 2015. Stream biomonitoring using macroinvertebrates around the globe: a comparison of large-scale programs. *Environ Monit Assess* 187, 4132. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4132-8>
- Chapman D. & Kimstach V. 1996. Selection of Water Quality Variables. *Water Quality Assessments: A Guide to the Use of Biota, Sediments and Water in Environment Monitoring*, Chapman Edition, 2nd Edition, E and FN Spon, London, 59-126. <http://dx.doi.org/10.4324/noe0419216001.ch3>
- Chelli A. & Moulai R. 2019 a. Ecological characterization of the odonatofauna in lotic and lentic waters of northeast Algeria. *Ann. Soc. Entomol. Fr.*, 55(5), 430–445. DOI: 10.1080/00379271.2019.1660215
- Chelli A. & Moulai R. 2019b. Diversity and ecological diagnosis of dragonflies of high-mountain temporary ponds in the Akfadou massif forest (Algeria). *Zoology and Ecology*, 29(1), 28–37. DOI: 10.35513/21658005.2019.1.4.





- Chelli A., Moulai R. & Djemai A. 2020. Does the Tichi Haf dam construction affect dragonfly and damselfly (Odonata: Insecta) assemblages of the Boussellam watercourse (central north Algeria)? A preliminary study. *Acta Zoologica Lituanica*, 30(1), 37–47. DOI: 10.35513/21658005.2020.1.5.
- Chovanec A. & Waringer J. 2001. Ecological integrity of river-floodplain systems : assessment by dragonfly surveys. *River Research and Applications*, 17(4-5), 493-507.
- Clausnitzer V., Kalkman V.J., Ram M., Collen B., Baillie J.E.M., Bedjani M., Darwall W.R.T., Dijkstra K.D.B., Dow R., Hawking J., Karube H., Malikova E., Paulson D., Schütte K., Suhling F., Villanueva R., Von Ellenrieder N. & Wilson K. 2009. Odonata enter the biodiversity crisis debate: the first global assessment of an insect group. *Biological Conservation*, 142 (8) : 1864-1869.
- Corbet P. S. 1999. *Dragonflies: Behavior and Ecology of Odonata*. Cornell University Press.
- D'Aguilar J., Dommanget J.L. & Prechac R. 1985. *Guide des libellules d'Europe et d'Afrique du Nord*. Les Guides du Naturaliste. Ed. Delachaux et Niestlé, 341 p.
- D'Aguilar J. & Dommanget J.L. 1998. *Guide des libellules d'Europe et d'Afrique du Nord*. Delachaux & Niestlé, Paris, 2ème Ed., 463 p.
- Dajoz R. 1985. *Precis d'ecologie*. ED. Dunod, Paris, 505 p.
- De Meester L., Declerck S., Stoks R., Louette G., Van De Meutter F., De Bie T., Michels E. & Brendonck L. 2005. Ponds and pools as model systems in conservation biology, ecology and evolutionary biology. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst*. 15: 715–725.
- Dijkstra K.D.B. 2007. *Guide des libellules de France et d'Europe*. Les guides du naturaliste. Collection Delachaux-et-Niestle. 320 p.
- Dijkstra K.D.B. & Lewington R. 2007. *Guide des libellules de France et d'Europe*. Delachaux et Niestlé SA, Paris, 320 p.
- Dijkstra K.D. B., Kipping J. & Meziere N. 2015. Sixty new dragonfly and damselfly species from Africa (Odonata). *Odonatologica* 44 : 447-678.
- Dudgeon D., et al. 2006. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. *Biological Reviews*, 81(2), 163-182.
- Dodds W. & Whiles M. 2010. *Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications of Limnology*. 2nd Edition, Elsevier, Amsterdam, 330-333.
- Dommanget J.L. 1995. *Etude faunistique et bibliographique des Odonates de France*, INRA, Muséum national d'histoire naturelle, Inventaire de faune et de flore, Fascicule 36, Secrétariat de la faune et de la flore, Paris, 283 p.
- Dommanget J.L. 2000. Valeur bio-indicatrice des Odonates dans un but de gestion conservatoire des habitats aquatiques et terrestres. Communiqué de presse du 20 décembre 2000.
- E.P.C.N. 2009. *Manifeste pour les mares et les étangs*. (European Pond Conservation Network) Réseau Européen pour la Conservation des Mares et des Étangs. 20 p.





- Gerlach J., Samways M. & Pryke J. 2013. Terrestrial invertebrates as bioindicators : An overview of available taxonomic groups. *Journal of Insect Conservation*, 17(4) : 831-850.
- Giraud P. 2011. Inventaire, étude et suivi des Odonates sur les goyas des plateaux de Retord et du Grand Colombie. BTSA Gestion et Protection de la Nature. 32 p.
- Grand D. & Boudot J.P. 2006. Les libellules de France, Belgique et Luxembourg. Biotope, Mèze (Collection Parthénope), 480 p.
- Grand D., Boudot J.P. & Doucet G. 2014. Cahier d'identification des Libellules de France, Belgique, Luxembourg & Suisse. 3ème Ed., Biotope, Collection Parthénope.
- Hamamouche Y. & AZIB Y. 2021. Diagnostic écologique et étude des Odonates des étangs du massif forestier de l'Akfadou. Mémoire de Master. Université de Bejaia, 53 p.
- Indermuehle N.S. Angélibert. & Oertli B. 2008. IBEM: Indice de Biodiversité des Etangs et Mares. Manuel d'utilisation. [IBEM: Index of Biodiversity of Ponds. User's manual]. Ecole d'Ingénieurs HES de Lullier, Genève.
- Kalkman V.J., Clausnitzer V., Dijkstra K.D.B., Orr A.G., Paulson D.R. & Van-Tol J. 2008. Global diversity of dragonflies (Odonata) in freshwater. *Hydrobiologia*, 595 (1) : 351-363.
- Kalkman V.J., Boudot J.P., Bernard R., De Knijf G., Suhling F. & Termaat T. 2018. Diversity and conservation of European dragonflies and damselflies (Odonata). *Hydrobiologia*, 811 (1) : 269-282.
- Laribi M., Derridj A. & Acherar M. 2008. 'Phytosociologie de la forêt caducifoliée à chêne zéen (*Quercus canariensis* Willd.) dans le massif d'Ath Ghobri – Akfadou (Grande Kabylie, Algérie).' *Fitosociologia* 45 (2): 77–91.
- Magurran A.E. 1988. Ecological diversity and its measurement. Cambridge University Press, Chapman. London. 179 p.
- May M.L. 2019. Odonata : Who they are and what they have done for us lately : Classification and ecosystem services of dragonflies. *Insects* 10, 62, 17 pp.
- Messaoudene M. 1989. Etude 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, Université Aix-Marseille III.
- Messaoudene M., Laribi M & Derridj A. 2007. Etude de la diversité floristique de la forêt de l'Akfadou (Algérie). *Bois et Forêts des Tropiques* 291 (1): 75–81.
- Moisan J. 2010. Guide d'identification des principaux macroinvertébrés benthiques d'eau douce du Québec. Direction du suivi de l'état de l'environnement, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, 82 p.
- Oertli B. 2008. The use of dragonflies in the assessment and monitoring of aquatic habitats. Pp. 79-95, dans : Córdoba-Aguilar A. 2008. *Dragonflies & Damselflies. Model Organisms for Ecological and Evolutionary Research*. Oxford University Press, Biology. 290 pp.





- Oertli B. & Frossard P.A. 2013. Mares et étangs : Ecologie, gestion, aménagement et valorisation. Presses polytechniques et universitaires romandes.
- O.S.F.O. 2012. Agir pour les Odonates. L'essentiel du Plan national d'actions 2011-2015. Opie et Société Française d'Odonatologie. Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie. 20 p.
- Pilon P.G. & Lagacé D. 1998. Les odonates du Québec. Traité faunistique. Entomofaune du Québec, Chicoutimi, Québec, 367 p.
- Paulson D.R. 2019. Odonate Diversity Around the World. In *Dragonflies and Damselflies: A Natural History* (pp. 198-213). PRINCETON ; OXFORD : Princeton University Press. Extrait de <http://www.jstor.org/stable/j.ctv5nph1n.9>
- Ponel P. 1983. Contribution à la connaissance de la communauté des arthropodes psammophil de l'Isthme de Giens. Travaux scientifique du parc national de Port-Cros, 9 : 149-182.
- Ramade F. 1984. Eléments d'écologie, écologie fondamentales. Ed. Mc Graw-Hill, Paris, 397 p.
- Remsburg A. J. & Turner M. G. 2009. Aquatic and terrestrial drivers of dragonfly assemblages in freshwater ecosystems. *Ecological Applications*, 19(4), 855-868.
- Riservato E., Boudot J.P., Ferreira S., Jovic M., Kalkman V.J., Schneider W., Samraoui B. & Cuttelod A. 2009. "The Status and Distribution of Dragonflies of the Mediterranean Basin." Gland, Switzerland and Malaga, Spain : IUCN. vii + 33 p.
- Samraoui B., Menai R. 1999. A contribution to the study of Algerian Odonata. *International Journal of Odonatology*, 2 (2): 145-165.
- Samraoui B., Boudot J.P., Ferreira S., Riservato E., Jović M., Kalkman V.J. & Schneider W. 2010. The Status and Distribution of Dragonflies (Odonata). Chap. 5, pp. 51-70. In : Garcia N., Cuttelod A. & Abdul Malak D., (eds.), *The Status and Distribution of Freshwater Biodiversity in Northern Africa*. IUCN Red List of Threatened Species, Regional Assessments series. IUCN, Gland, Switzerland & Malaga, Spain, 141 pp.
http://cmsdata.iucn.org/downloads/the_status_and_distribution_of_freshwater_biodiversity_in_northern_africa.pdf
- Samraoui B. & Corbet P.S. 2000 a. The odonata of Numidia, northeastern algeria. Part I. Status and distribution. *International Journal of Odonatology*, 3 (1) : 11-25.
- Simaika J.P. & Samways M.J. 2008. Valuing dragonflies as service providers. Pp. 109-123, dans : Córdoba-Aguilar A. 2008. *Dragonflies & Damselflies. Model Organisms for Ecological and Evolutionary Research*. Oxford University Press, Biology. 290 pp.
- Simaika J. P. & Samways M. J. 2012. Using dragonflies to monitor and prioritize lotic systems: a South African perspective. *Organisms Diversity & Evolution*, 12(3), 251-259.





- Schorr M. 2018. World Odonata List.
<https://www.pugetsound.edu/academics/academicresources/slater-museum/biodiversity-resources/dragonflies/world-odonata-list2/>.
- Silsby J. 2011. Dragonflies of the World. Natural History Museum/CSIRO Publishing, London, 216p.
- Subramanian K.A. 2005. Dragonflies and damselflies of Peninsular India. A field guide. Project Lifescape. Centre of Ecological Science, Indian Institut of Science, Indian Academy of Science, Bangalore, 118 p.
- Suhling F., Sahlén G., Gorb S., Kalkman V. J., Dijkstra K. D. B. & van Tol J. 2015. Order Odonata. In Thorp and Covich's Freshwater Invertebrates (pp. 893-932). Academic Press.
- Ternois V. 2003. A la découverte des libellules. Les livrets nature du CPIE du Pays de Soulaines, 11p.
- Testard P. 1981. Odonates in : Flore et faune aquatiques de l'Afrique Sahélo soudanienne. Initiations-Documentations Techniques, ORSTOM, Paris, (45) : 445-481.
- Tiple A.D., Paunikar S. & Talmale S.S. 2012. Dragonflies and damselflies (Odonata: Insecta) of Tropical Forest Research Institute, Jabalpur, Madhya Pradesh, central India. Journal of Threatened Taxa 4 (4) : 2529-2533.
- Theischinger G. & Hawking J. 2006. The complete field guide to dragonflies of Australia. CSIRO publishing, Collingwood, 366 p.
- Tsubaki Y. & Ono T. 1987. Microhabitat Selection by Dragonfly Nymphs in a Stream. Freshwater Biology, 17(3), 461-468.
- Varanguin N. & Sirugue D. 2007. Inventaires des odonates patrimoniaux en Bourgogne. Revue science Bourgogne-Nature(5) :66-80.
- Wildermuth H. & Küry D. 2009. Protéger et favoriser les libellules. Guide pratique de protection de la nature. Contributions à la protection de la nature en Suisse (32), 89 p.

SITOGRAPHIE

[1] [<https://www.biodivers.ch/fr/index.php/Libellules>]

[2] [<http://www.jstor.org/stable/j.ctv5nph1n.9>]

[3] [<https://www.pugetsound.edu/academics/academicresources/slater-museum/biodiversity-resources/dragonflies/world-odonata-list2/>.]

[4] [<https://fr.wikipedia.org/wiki/2021>]





ANNEXES





Annexe II : Photos des différentes espèces d'odonates recensées dans le massif forestier de l'Akfadou



Anax imperator ♀



Anax imperator ♂



Aeshna isocetes ♀



Aeshna isocetes ♂



Aeshna affinis ♂



Aeshna affinis tandem



Hemianax ephippiger ♂



Hemianax ephippiger ponte



Orthetrum cancellatum ♂



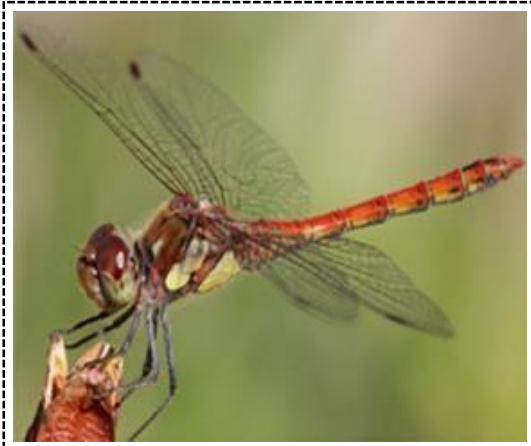
Orthetrum cancellatum ♀



Sympetrum fonscolombii ♂



Sympetrum fonscolombii ♀



Sympetrum meridionale ♂



Sympetrum meridionale ♀



Sympetrum sanguineum ♂



Sympetrum sanguineum ♀



Sympetrum striolatum ♂



Sympetrum striolatum tandem



Ischnura graellsii ♂



Ischnura graellsii tandem

RÉSUMÉ – Un diagnostic écologique de six étangs du massif forestier de l'Akfadou, et un suivi des Odonates associés à ces biotopes ont été réalisés sur une période de trois mois successifs. Ces milieux humides sont pratiquement pas bien explorés sur le plan entomologique. Les résultats obtenus par cette étude nous ont permis d'avoir une idée claire sur l'état de santé de ces étangs et le peuplement odonatologique associé. Certains étangs semblent confrontés à de nombreuses menaces d'origine humaine et naturelle. Avec un total de 18 espèces d'Odonates, ce territoire renferme environ 28 % de l'odonatofaune Algérienne et 50% de celle inventoriée à Bejaia. Ces stations partagent 02 espèces ; il s'agit de : *Ischnura graelsii* et *Anax imperator*. Ces deux espèces sont omniprésentes dans plus de 75 % des relevés et se répartissent d'une manière constante dans les différents biotopes. La première espèce en compagnie de *Sympetrum fonscolombii* , d'*Anax imperator* et *Sympetrum striolatum* dominent en nombre en comptabilisant à elles seules plus de la moitié (60%) des effectifs totaux recensés. L'indice de diversité de Shannon-Weaver et d'équirépartition appliqués à la faune odonatologique révèlent que l'étang Aglmime Ikher (AI) et Aglmime Tala Guizane (AT) sont les mieux structurés et les plus stables du point de vue peuplements au niveau de ce massif.

Mots clés : Odonates - Akfadou - Diversité- Etangs forestiers - Anthropisation – Bejaia

ABSTRACT - An ecological diagnosis of six ponds in the Akfadou forest massif and monitoring of the Odonata associated with these biotopes were carried out over a period of three successive months. These wetlands are virtually unexplored from an entomological point of view. The results obtained from this study have given us a clear idea of the state of health of these ponds and the associated odonatological population. Some of the ponds appear to be facing numerous threats of both human and natural origin. With a total of 18 species of Odonata, this area contains around 28% of Algeria's odonatofauna and 50% of that inventoried in Bejaia. These stations share 02 species, namely : *Ischnura graelsii* and *Anax imperator*. These two species are omnipresent in more than 75% of the surveys and are evenly distributed in the different biotopes. The first species, together with *Sympetrum fonscolombii* , *Anax imperator* and *Sympetrum striolatum*, dominated in terms of numbers, accounting for more than half (60%) of the total numbers recorded. The Shannon-Weaver diversity index and the equi-repartition index applied to the odonatological fauna reveal that the Aglmime Ikher (AI) and Aglmime Tala Guizane (AT) ponds are the best structured and most stable from the point of view of populations in this massif.

Key words: Odonates - Akfadou - Diversity - Forest ponds - Anthropisation – Bejaia

المخلص

تم إجراء تشخيص بيئي لستة أحواض في كتلة غابات أكفادو ورصد الأودونات المرتبطة بهذه البيئات الحيوية على مدى فترة ثلاثة أشهر متتالية - هذه الأراضي الرطبة غير مستكشفة تقريباً من حيث الحشرات. وقد أعطتنا النتائج التي تم الحصول عليها من هذه الدراسة فكرة واضحة عن الحالة الصحية لهذه البرك وما يرتبط بها من الأودونات. ويبدو أن بعض البرك تواجه العديد من التهديدات ذات المنشأ البشري والطبيعي على حد سواء. مع ما مجموعه 18 نوع من الأودونات، تحتوي هذه المنطقة على حوالي 28% من الأودونات الجزائرية و 50% من ذلك التي تم جردها في بجاية. تشترك هذه المحطات في 02 نوع، وهي : هذان النوعان منتشران في كل مكان في أكثر من 75% من المواقع التي تم مسحها وموزعة بالتساوي عبر مختلف البيئات الحيوية. النوع الأول، بصحبة هيمن من حيث الأعداد، حيث يمثل أكثر من نصف (60%) من إجمالي المسجل. يكشف مؤشر شانون-ويفر للتنوع ومؤشر شانون-ويفر للتنوع مؤشر إعادة التقسيم المتساوي المطبق على حيوانات الأودونات أن بركتي هما الأفضل تنظيمياً والأكثر استقراراً من حيث المجموعات (AT) وأغلميم تالا غيزان (AI) أغلميم إيخر.

الكلمات المفتاحية: الأودونات - أكفادو - التنوع - أحواض الغابات - الأنثروبولوجيا - بجاية

RÉSUMÉ - Un diagnostic écologique de six étangs du massif forestier de l'Akfadou, et un suivi des Odonates associés à ces biotopes ont été réalisés sur une période de trois mois successifs. Ces milieux humides, encore peu explorés sur le plan entomologique. Les résultats obtenus par cette étude nous ont permis d'avoir une idée claire sur l'état de santé de ces étangs et le peuplement odonatologique associé. Certains étangs semblent confrontés à de nombreuses menaces d'origine humaine et naturelle. Avec un total de 18 espèces d'Odonates, ce territoire renferme environ 28 % de l'odonatofaune Algérienne et 50% de celle inventoriée à Bejaia. Ces stations partagent 02 espèces ; il s'agit de : *Ischnura graelsii* et *Anax imperator*. Ces deux espèces sont omniprésentes dans plus de 75 % des relevés et se répartissent d'une manière constante dans les différents biotopes. La première espèce en compagnie de *Sympetrum fonscolombii*, d'*Anax imperator* et *Sympetrum striolatum* dominant en nombre en comptabilisant à elles seules plus de la moitié (60%) des effectifs totaux recensés. L'indice de diversité de Shannon-Weaver et d'équirépartition appliqués à la faune odonatologique révèlent que l'étang Aglmime Ikher (AI) et Aglmime Tala Guizane (AT) sont les mieux structurés et les plus stables du point de vue peuplements au niveau de ce massif.

Mots clés : Odonates - Akfadou - Diversité- Etangs forestiers - Anthropisation - Bejaia

ABSTRACT - An ecological diagnosis of six ponds in the Akfadou forest massif and monitoring of the Odonata associated with these biotopes were carried out over a period of three successive months. These wetlands are virtually unexplored from an entomological point of view. The results obtained from this study have given us a clear idea of the state of health of these ponds and the associated odonatological population. Some of the ponds appear to be facing numerous threats of both human and natural origin. With a total of 18 species of Odonata, this area contains around 28% of Algeria's odonatofauna and 50% of that inventoried in Bejaia. These stations share 02 species, namely : *Ischnura graelsii* and *Anax imperator*. These two species are omnipresent in more than 75% of the surveys and are evenly distributed in the different biotopes. The first species, together with *Sympetrum fonscolombii* , *Anax imperator* and *Sympetrum striolatum*, dominated in terms of numbers, accounting for more than half (60%) of the total numbers recorded. The Shannon-Weaver diversity index and the equi-repartition index applied to the odonatological fauna reveal that the Aglmime Ikher (AI) and Aglmime Tala Guizane (AT) ponds are the best structured and most stable from the point of view of populations in this massif.

Key words: Odonata - Akfadou - Diversity - Forest ponds - Anthropisation -Bejaia