

# *ecologia* *mediterranea*

Vol. 50 (1) – 2024

Revue internationale d'écologie méditerranéenne  
*International Journal of Mediterranean Ecology*



Editors-in-Chief: Dr Élise Buisson & Dr Brigitte Talon

Institut méditerranéen de biodiversité et écologie (IMBE)  
*Mediterranean Institute of Biodiversity and Ecology*

Naturalia Publications

Éditrices en chef : D<sup>r</sup> Élisabeth Buisson  
et D<sup>r</sup> Brigitte Talon  
UMR CNRS IRD IMBE  
Université d'Avignon, IUT  
Site Agroparc, BP 1207  
84911 Avignon cedex 09  
France

**Comité éditorial**

- D<sup>r</sup> Pierre CHEVALDONNÉ, CNRS, Marseille, France
- D<sup>r</sup> Marc CHEYLAN, EPHE, Montpellier, France
- D<sup>r</sup> Bruno FADY, INRAE, Avignon, France
- D<sup>r</sup> Thierry GAUQUELIN, Université Aix-Marseille, France
- D<sup>r</sup> Grant WARDELL-JOHNSON, University of Western Australia, Australie
- D<sup>r</sup> Antoine GAZAIX, Tour du Valat, France
- D<sup>r</sup> Raphaël GROS, Université Aix-Marseille, France
- D<sup>r</sup> Frédéric GUITER, Université Aix-Marseille, France
- D<sup>r</sup> Serge KREITER, SupAgro, Montpellier, France
- D<sup>r</sup> Frédéric MÉDAIL, Université Aix-Marseille, France
- D<sup>r</sup> Tom PARKER, San Francisco State University, États-Unis
- D<sup>r</sup> Philippe PONEL, CNRS, Marseille, France
- D<sup>r</sup> Roger PRODON, EPHE, Montpellier, France
- D<sup>r</sup> Sandra SAURA-MAS, Autonomous University of Barcelona, Espagne
- D<sup>r</sup> Isabelle SCHWOB, Université Aix-Marseille, France
- D<sup>r</sup> Irene TEIXIDOR-TONEU, IRD, France
- D<sup>r</sup> Thekla K. TSITSONI, Aristotle University of Thessaloniki, Grèce
- D<sup>r</sup> Errol VÉLA, Université de Montpellier, France
- D<sup>r</sup> Éric VIDAL, IRD, Nouvelle-Calédonie
- D<sup>r</sup> Mercedes VIVAS, Universidad of Concepción, Chili
- D<sup>r</sup> Ioannis VOGIATZAKIS, Open University of Cyprus, Chypre

ISSN 0153-8756

<http://ecologia-mediterranea.univ-avignon.fr>

**Instructions aux auteurs**

*ecologia mediterranea* publie des articles de recherche originaux sur des sujets se rapportant à l'écologie fondamentale ou appliquée des régions méditerranéennes. La revue exclut les articles purement descriptifs ou de systématique. *ecologia mediterranea* privilégie les domaines scientifiques suivants : bioclimatologie, biogéographie, biologie de la conservation, biologie marine, biologie des populations, écologie des communautés, écologie forestière, écologie génétique, écologie marine, écologie microbienne, écologie du paysage, écologie de la restauration, écologie végétale et animale, écophysiologie, paléoclimatologie, paléoécologie. La revue accepte également des articles de synthèse, des notes/communications courtes, des comptes rendus d'ouvrages, des résumés de thèses, ainsi que des commentaires sur les articles récemment parus dans *ecologia mediterranea*. La revue publie aussi des actes de colloques faisant l'objet d'un numéro spécial. Dans ce cas, prendre contact avec les éditrices.

Les manuscrits sont soumis à des lecteurs spécialistes du sujet. La décision finale d'accepter ou de refuser un article relève des éditrices. L'article proposé doit être envoyé en version électronique à [ecologia.mediterranea@imbe.fr](mailto:ecologia.mediterranea@imbe.fr) (version doc(x) ou rtf). Pour la mise en forme du document, voir les instructions qui suivent. Une fois leur article accepté, les auteurs devront tenir compte des remarques des lecteurs, puis ils renverront leur texte corrigé sous deux mois toujours sous format électronique (doc(x) ou rtf). Passé ce délai, la seconde version sera considérée comme une nouvelle proposition.

**TYPES DE MANUSCRIT**

À préciser sur la première page lors de la soumission d'un manuscrit.

**Article de recherche** : contribution inédite découlant d'une étude complète. Ce type d'article fait typiquement une vingtaine de pages et environ 6 000 à 8 000 mots.

**Note/communication courte** : observation nouvelle ou rapport d'expérience dans un contexte pertinent avec les sujets visés par la revue. Ce type d'article fait typiquement une dizaine de pages et environ 3 000 à 4 000 mots.

**Article de synthèse** : revue critique et originale de sujets spécifiques d'actualité ou d'un champ de recherche de pointe dans le domaine de l'écologie méditerranéenne. Ce type d'article fait typiquement une vingtaine de pages et environ 6 000 à 8 000 mots.

**Commentaire** : avis sur des sujets déjà publiés dans *ecologia mediterranea* ou réflexion critique sur des problèmes d'intérêt général en écologie méditerranéenne. Ce type d'article fait typiquement une à cinq pages et environ 1 000 à 3 000 mots.

**Compte rendu d'ouvrage** : revue critique d'ouvrages (livres, monographies, manuels, etc.) dans le domaine de l'écologie méditerranéenne. Les auteurs d'ouvrages souhaitant voir un compte rendu publié dans *ecologia mediterranea* doivent envoyer un exemplaire de l'ouvrage en question aux éditrices en chef.

**Résumé de thèse** : résumé d'une thèse soutenue récemment dans le domaine de l'écologie méditerranéenne. Auteur, année, titre, spécialité et université (e.g. Thèse de doctorat en écologie soutenue le 3 avril 2012 à l'université de Padoue, Italie, laboratoire xxx), composition du jury, mots clés, résumé de 1 000 mots maximum.

**TEXTE**

Les articles (dactylographiés en Times 12, double interligne, format A4) doivent être rédigés en anglais ou en français. Si l'article soumis n'est pas rédigé en anglais, il est demandé (en plus des résumés) une version anglaise abrégée ainsi qu'une traduction en anglais des titres des figures et tableaux. L'article doit être complet : type de manuscrit, titres anglais et français, auteur(s) et adresse(s), résumés en anglais et en français (au minimum), version anglaise abrégée (si le texte n'est pas en anglais), mots clés anglais et français, texte, puis remerciements, bibliographie, liste des titres des figures et tableaux puis les figures et tableaux (un(e)/page). Ainsi, pour la soumission du manuscrit, les illustrations seront intégrées au document et non envoyées séparément.

Le texte des articles de recherche doit comporter quatre parties non numérotées : introduction, méthodes, résultats, discussion. Les sous-titres ne sont pas numérotés. Par exemple :

- Introduction
- Méthodes
  - Site d'étude
  - Plan expérimental
  - Analyses des données
- Résultats
- Discussion

L'emploi de mots soulignés est à proscrire. Les noms d'auteurs cités figureront en minuscules dans le texte comme dans la bibliographie. En français, n'utilisez les majuscules que pour les noms propres, sauf exception justifiée. Les ponctuations doubles ( : ; ? ! ) sont précédées d'un espace, contrairement aux ponctuations simples ( . , ) . En revanche, toutes les ponctuations sont suivies d'un espace. La mise en forme définitive du texte sera assurée par la revue.

**PREMIÈRE PAGE**

La première page contient :

- 1) le type de manuscrit visé (article de recherche, communication courte, etc.) ;
- 2) le titre de l'article ;
- 3) le nom et prénom des auteurs ;
- 4) l'adresse de chaque auteur sera indiquée avec le courriel de l'auteur pour la correspondance. Dans le cas où la publication est le fait de plusieurs auteurs, il doit être précisé lors du premier envoi la personne à qui doit être retourné l'article après lecture ;
- 5) le nombre total de mots de l'introduction à la bibliographie.

**RÉSUMÉS, MOTS CLÉS ET VERSION ABRÉGÉE**

Les résumés doivent comporter 300 mots au maximum et la version abrégée (français si le manuscrit est en anglais et anglais si le manuscrit est en français) 1 000 mots (environ une page). Le nombre de mots clés est limité à six, dans la langue des résumés ; ils ne doivent généralement pas figurer dans le titre.

**BIBLIOGRAPHIE**

La bibliographie regroupera toutes les références citées et elles seules. Les références seront rangées dans l'ordre alphabétique des auteurs et de façon chronologique. Les abréviations internationales des titres des revues doivent être utilisées (ISI Journal Abbreviations Index). Vérifier attentivement le manuscrit pour s'assurer que toutes les références citées dans le texte apparaissent bien en bibliographie et inversement.

**Articles**

Andow, D.A., Karieva, P., Levin, S.A. & Okubo, A. (1990). Spread of invading organisms. *J. Ecol.* 4, 177-188.

**Ouvrage**

Harper, J.L. (1977). *Population biology of plants*. Academic Press, London, 300 p.

**Chapitre d'ouvrage**

May, R.M. (1989). Levels of organisation in ecology. In: Cherret J.M. (ed.), *Ecological concepts*. Blackwell Scientific Public, Oxford, 339-363.

**Rapport et thèse**

Jaouadi, W. (2011). *Écologie et dynamique de régénération de l'Acacia tortilis (Forsk.) Hayne subsp. raddiana (Savi) Brenan var. raddiana dans le parc national de Bouhedma (Tunisie)*. Thèse de doctorat de l'Institut national agronomique de Tunisie, 180 p.

**Site web**

Météo-France (2020). *Données climatiques de la station de Marignane, normales*. Available at: <http://www.meteofrance.com/climat/france/marignane/13054001/normales>. Last accessed 21.4.2020

**CITATIONS ET RENVOIS APPELÉS DANS LE TEXTE**

Les mots « figures » et « tableaux » annoncés dans le texte sont écrits en toutes lettres et en minuscules. Indiquer le nom d'auteur et l'année de publication (mais indiquer tous les auteurs dans la bibliographie). Exemples : "Since Dupont (1962) has shown that...", or "This is in agreement with previous results (Durand et al. 1990; Dupont & Dupont 1997) ...". Le numéro de page de la citation n'est mentionné que dans le cas où elle est entre guillemets. Si la publication est écrite par plus de deux auteurs, le nom du premier doit être suivi par *et al.*

**ABRÉVIATIONS, NOMENCLATURE ET MOTS LATINS**

L'usage d'un acronyme ou d'une abréviation technique doit être précédé de sa signification lors de sa première apparition. Les codes de nomenclature doivent être respectés selon les conventions internationales. Les mots latins doivent être mis en italiques (*et al.*, *a priori*, etc.), et en particulier les noms de plantes ou d'animaux. Lors de la première apparition du nom d'une espèce, il est demandé d'y faire figurer le nom d'auteur (exemple : *Olea europaea* L.).

**FIGURES ET TABLEAUX**

Pour la soumission du manuscrit, les illustrations seront intégrées au document, à la suite des références bibliographiques (voir la partie « Texte »). Une fois l'article accepté, les illustrations doivent être envoyées séparément du texte, prêtes à l'impression (résolution 300 dpi). Tous les documents devant être insérés doivent être annoncés dans le texte, numérotés dans l'ordre d'apparition et légendés.

**TIRÉS À PART**

Il n'est plus fourni de tirés à part mais un pdf par article.

<b>ABONNEMENT</b>				
(contact : <a href="mailto:ecologia@naturalia-publications.com">ecologia@naturalia-publications.com</a> )				
<b>1 an = 2 numéros</b>				
	Abonnement	Frais de port	Total	
<b>France</b>	<b>60 €</b>	<b>6 €</b>	<b>66 €</b>	
<b>Europe</b>	<b>60 €</b>	<b>12 €</b>	<b>72 €</b>	
<b>Monde</b>	<b>60 €</b>	<b>16 €</b>	<b>76 €</b>	

Abonnement à adresser à : <b>SARL Transfaire</b> <b>Avenue Maréchal Leclerc</b> <b>F-04250 TURRIERS</b>	Code banque 19106	Code guichet 00839	numéro de compte 13995626000	clé RIB 62
Domiciliation : CA SISTERON IBAN : FR76 1910 6008 3913 9956 2600 062 BIC : AGRIFRPP891				

# *ecologia mediterranea*

Revue internationale d'écologie méditerranéenne  
*International Journal of Mediterranean Ecology*

Vol. 50 (1) – 2024

## Sommaire/Contents

Overview on the trophic ecology of the Moorish Gecko <i>Tarentola mauritanica</i> (Linne, 1758) (Reptilia: Phyllodactylidae) in a suburban ecosystem in Algiers <i>Aperçu sur l'écologie trophique de la tarente de Maurétanie</i> <i>Tarentola mauritanica</i> (Linné, 1758) (Reptilia : Phyllodactylidae) dans un écosystème suburbain à Alger F. OULDAISSA, S. DOUMANDJI .....	3
The alien ant <i>Cardiocondyla mauritanica</i> on a small Corsican island: first record for European France <i>La fourmi exotique Cardiocondyla mauritanica signalée</i> <i>pour la première fois en France européenne sur une petite île de Corse</i> R. BLAYA, P. PONEL, E. BUISSON, C. BERQUIER, O. BLIGHT .....	15
First entomological inventory of Forest Cockroaches of Bouira Region (Northern Algeria) <i>Premier inventaire entomologique des blattes forestières</i> <i>de la région de Bouira (nord de l'Algérie)</i> S. BOUNADJI, S. BENHISSEN, F. K. KEBAILI, W. HABBACHI, K. REBBAS .....	21
Application de l'outil de management intégré IMET pour évaluer l'efficacité de la gestion des zones humides. Cas de l'embouchure de la Moulouya au nord-est du Maroc <i>Application of the IMET, Integrated Management Effectiveness Tool,</i> <i>to evaluate the effectiveness of wetland management.</i> <i>Case of Moulouya estuary in northeast Morocco</i> T. OUAGGA, C. PAOLINI, P. ROGGERI, N. SAHIB .....	31

Revue indexée dans Pascal-CNRS et Biosis  
*Journal indexed in PASCAL-CBRS and Biosis*  
<http://ecologia-mediterranea.univ-avignon.fr/>

---

### **Acknowledgments – Remerciements**

*The editorial committee thanks the associate editors and reviewers who have participated in this volume for their advices, corrections and opinions.*

Le comité éditorial de la revue remercie les éditeurs associés et les relecteurs qui ont participé à ce numéro pour leurs conseils, corrections et avis.

### **Editorial Board – Comité éditorial**

D<sup>r</sup> Pierre CHEVALDONNÉ, CNRS, Marseille, France  
D<sup>r</sup> Marc CHEYLAN, EPHE, Montpellier, France  
D<sup>r</sup> Bruno FADY, INRAE, Avignon, France  
Pr Thierry GAUQUELIN, Université Aix-Marseille, France  
D<sup>r</sup> Grant WARDELL-JOHNSON, University of Western Australia, Australie  
D<sup>r</sup> Antoine GAZAIX, Tour du Valat, France  
D<sup>r</sup> Raphaël GROS, Université Aix-Marseille, France  
D<sup>r</sup> Frédéric GUITER, Université Aix-Marseille, France  
Pr Serge KREITER, SupAgro, Montpellier, France  
Pr Frédéric MÉDAIL, Université Aix-Marseille, France  
D<sup>r</sup> Tom PARKER, San Francisco State University, États-Unis  
D<sup>r</sup> Philippe PONEL, CNRS, Université Aix-Marseille, France  
D<sup>r</sup> Roger PRODON, EPHE, Montpellier, France  
D<sup>r</sup> Sandra SAURA-MAS, Autonomous University of Barcelona, Espagne  
D<sup>r</sup> Isabelle SCHWOB, Université Aix-Marseille, France  
D<sup>r</sup> Irene TEIXIDOR-TONEU, IRD, France  
D<sup>r</sup> Thekla K. TSITSONI, Aristotle University of Thessaloniki, Grèce  
D<sup>r</sup> Errol VÉLA, Université de Montpellier, France  
D<sup>r</sup> Éric VIDAL, IRD, Nouvelle-Calédonie  
D<sup>r</sup> Mercedes VIVAS, Universidad of Concepción, Chili  
D<sup>r</sup> Ioannis VOGIATZAKIS, Open University of Cyprus, Chypre

© ecologia  
mediterranea  
Fabrication :  
Transfaire,  
04250 Turriers  
Imprimé en Europe

# Overview on the trophic ecology of the Moorish Gecko *Tarentola mauritanica* (Linne, 1758) (Reptilia: Phyllodactylidae) in a suburban ecosystem in Algiers

*Aperçu sur l'écologie trophique de la tarente de Maurétanie Tarentola mauritanica (Linné, 1758) (Reptilia : Phyllodactylidae) dans un écosystème suburbain à Alger*

Farouk OULDAISSA<sup>1,\*</sup>, Salaheddine DOUMANDJI<sup>1</sup>

1. Research laboratory for plant protection in agricultural and natural environment, Department of Agricultural and Forest Zoology, Higher National Agronomic School, Avenue Hassen Badi, El-Harrach, 16200 Algiers, Algeria

\*Corresponding author: farouk.ouldaissa@edu.ensa.dz

Received: 10 Sep., 2023; First decision: 5 Dec., 2023; Revised: 9 Jan., 2024; Second decision: 10 April; Revised: 11 April; Accepted: 11 April

## Abstract

In Algeria, it is difficult to find a study that highlights the diet of the Moorish Gecko, *Tarentola mauritanica* (Linné, 1758), which is what motivated this work. The study of the trophic ecology of this species is based on the laboratory analysis of 65 droppings previously collected and preserved during the sampling period extending from October 2019 to January 2020, where 8 surveys were carried out. The trituration of these defecations individually using the alcoholic humid method resulted in the identification of 233 individuals in total, from 29 species, belonging to 20 families, 10 orders and 2 classes. These results are presented in the form of an inventory arranged in systematic order and processed using ecological indices. The Insecta forms the basis of the Moorish Gecko's diet (86.2%). Among the Insecta, it appears to be feeding in descending order of importance (in terms of number of species) on Hymenoptera (24.1%), Lepidoptera (17.2%), Heteroptera (13.8%) and Coleoptera (10%). In terms of number of specimens, Lepidoptera, and

more specifically Noctuidae, accounted for more than 50% of the prey ingested. This study shows that *T. mauritanica* has an opportunistic feeding behavior, which is reflected in a large spectrum of prey and monthly variability in the composition of its diet.

## Résumé

En Algérie, il est difficile de trouver une étude qui mette en évidence le régime alimentaire de la tarente de Maurétanie, *Tarentola mauritanica* (Linné, 1758), c'est ce qui a motivé la réalisation du présent travail. L'étude de l'écologie trophique de cette espèce repose sur le traitement au laboratoire de 65 fèces antérieurement collectées et conservées durant la période d'échantillonnage allant d'octobre 2019 à janvier 2020, durant laquelle 8 relevés ont été effectués. La trituration de ces fèces individuellement par la méthode de la voie humide alcoolique a permis l'identification de 233 individus au total, appartenant à 29 espèces, réparties entre 20 familles, 10 ordres et 2 classes. Ces résultats sont présentés sous la forme d'un inventaire rangé par ordre systématique et traité par des indices écologiques. Il est à observer que la classe des Insecta constitue la base du

**Keywords:** *Tarentola mauritanica*, diet ecology, droppings analysis, ecological indices, predation.

*régime alimentaire de la tarente de Maurétanie (86,2 %). Il semblerait aussi qu'au sein même des Insecta, la tarente se nourrit, par ordre d'importance décroissante (si l'on considère les espèces), d'Hymenoptera (24,1 %), de Lepidoptera (17,2 %), d'Heteroptera (13,8 %) et de Coleoptera (10 %). Si l'on considère les individus, les Lepidoptera, plus précisément les Noctuidae, représentent plus de 50 % des proies ingérées. Cette étude montre que T. mauritanica a un comportement alimentaire opportuniste qui se traduit par un large spectre des proies et par la variabilité mensuelle de la composition de son régime.*

## Introduction

Predation is an ecological process that is essential in regulating prey population size (Ramade, 1984). Insects are among the most thriving animal classes. They multiply in large numbers and are therefore one of the main sources of prey (Dorst, 1971). Trophic ecology is a major aspect in reptile studies, as it allows us to understand how these animals exploit their environment (Pérez-Mellado *et al.* 2011). Moreover, among the three classic niche dimensions, diet is perhaps the most studied for lizards (Carretero *et al.* 2006, 2010, Luiselli 2008). Generally, lizards appear to be opportunistic predators (Arnold 1987, Mou 1987, Pérez-Mellado & Corti 1993, Lo Cascio & Capula 2011). Terrestrial invertebrates, particularly insects, constitute a predominant proportion in their diet (Arnold 1987, Carretero 2004). Although research on North African and Mediterranean lizards has provided insights into the systematic aspects of Algerian species (see: Carranza *et al.* 2006, Larbes *et al.* 2007, Carretero 2008, Fonseca *et al.* 2008, 2009, Kaliontzopoulou *et al.* 2008, 2011, 2012, Lima *et al.* 2009 and Verdú-Ricoy *et al.* 2010), information regarding their bioecology, particularly trophic ecology, remains limited. Studies by Le Berre (1989), Rouag & Benyakoub (2006), Rouag *et al.* (2006, 2007), Mamou & Marniche (2016), and Mamou *et al.* (2016) are to be mentioned. Considering this lacks of data, especially regarding *Tarentola mauritanica* (Linné, 1758) in Algeria, the present study aims to provide updated qualitative and quantitative data on the trophic ecology of this gecko in a suburban ecosystem in Algiers.

**Mots-clés:** *Tarentola mauritanica*, régime alimentaire, inventaire systématique, indices écologiques, prédation.

## Materials and methods

### Study site

This study was conducted in the eastern part of the Mitidja plain (36° 32' to 36° 49' N; 3° 03' to 3° 25' E). The study site represents a suburban ecosystem situated at 50m altitude and covering an area of 16 hectares in the city of Algiers (36° 43' N; 3° 08' E) (Figure 1). Two types of landscape appear, one open and the other semi-open, both favorable for the establishment, nesting and feeding of many animal species. This site is characterized by a vegetation that is organized into three strata: the tree stratum (2 to 20m high), the shrub stratum (1 to 2m) and the herbaceous stratum (0.1 to 1m), covering respectively 14.5%, 17.3% and 34.7% (Milla *et al.*, 2012). The landscape is a mosaic of forest enclaves alternating with gardens, orchards and agricultural plots that cover 6 hectares (Soutou *et al.*, 2008), with a variety of seasonal and annual crops (Merabet *et al.*, 2014). The importance of this site lies in its geographic proximity to the Mitidja plain (Bendjouidi & Doumandji, 2007).

### Study Method

In this study, the method used was feces analysis. According to Tatin *et al.* (2013), individual parameters are harder to determine in fecal analysis, but the fact that larger samples can be taken makes it easier to understand the animal's diet.

#### Identifying, collecting and storing the feces of the *Tarentola mauritanica*

The defecations of *Tarentola mauritanica* are characterized by their cylinder shape. They are generally between one and two centimeters long. In terms of color, these droppings are generally dark brown with a white spot at the tip. The brown part corresponds to the fecal matter, the white spot corresponds to solidified urine. These characteristics of shape and color allowed us to identify and collect 65 feces at two roosts occupied by the Moorish gecko (Figure 2). The roosts are located on the outside of two building walls, on each wall there is a lamppost. The building itself is surrounded by vegetation. Sampling took place between October 2019 and January 2020, twice a month. The feces were collected with a brush and immediately placed in small paper cones on which were

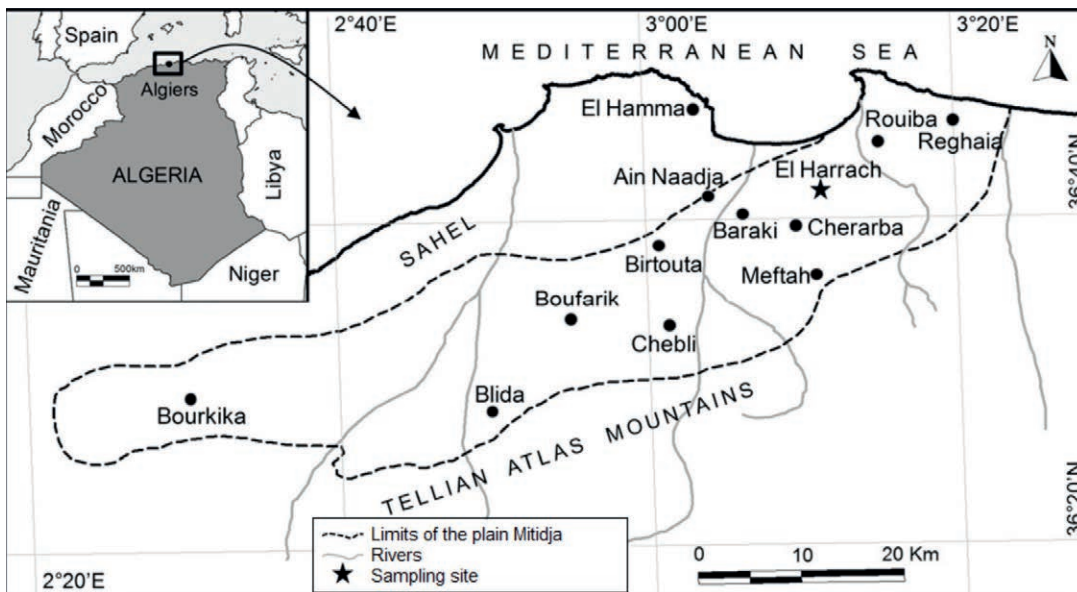


Figure 1 – Location of the *Tarentola mauritanica* feces sampling site.



Figure 2 – Photo of *Tarentola mauritanica* at the sampling point.

written the date and place of sampling and the name of the species. These are then stored in a cardboard box. It is important to make sure that the excrements are completely dry before storing them, to avoid mold development.

#### Laboratory processing of *T. mauritanica* feces

The analysis is conducted using the wet alcoholic technique. This technique makes it easier to soften the sclerotized fragments found in the excrement. Each feces are placed individually in a Petri dish, the bottom of which is squared and marked with a north line, to facilitate the orientation when manipulating the dish during species identification and count. The cover of

the Petri dish is also labelled with the number, date and place of the sample collection. The principle of this method consists of immersing the feces in ethanol (70%) for ten minutes. This operation softens the aggregate of sclerotized fragments and the inorganic content, making it easier to separate the different pieces. Using fine tweezers under binocular magnifying glass (10-40 x), the excrement is triturated, making sure not to cause any further fragmentation of the agglomerate. Once this step is completed, the contents is spread across the entire surface of the Petri dish. As far as possible, the various fragments are regrouped systematically so that they can be identified and counted once dried in air.



Figure 3 – a: *Pheidole pallidula* (head of a soldier), b: *Coccotrypes dactyliperda* (elytra), c: *Lepidoptera Noctuidae sp.1 indet.* (bristles).

#### Identification, counting, and estimated size of prey species consumed by *T. mauritanica*

The systematic determination of prey species consumed by *T. mauritanica* was pushed to the highest possible taxonomic level, ideally down to the species level (Figures 3a and 3b). Insect reference collections from the Department of Agricultural and Forestry Zoology at the Higher National Agronomic School, identification keys and several systematic handbooks were used, for example those on the Heteroptera (Perrier, 1927a) and Coleoptera (Perrier, 1927b, 1927c, 1982). Prey species identification was based on morphological examination and the dimensions of various elements. The presence of Arachnida is therefore confirmed by finding their cephalothorax, tubular tibiae, jaw-like legs and chelicerae. The identification of prey insects is based on the shape, appearance, cuticle ornamentation (tubercles, striae, bristles), colors, brightness and size of important parts such as the heads (Figure 3a), antennae, mandibles, thorax, cerci, leg parts (coxae, femora, tibiae, tarsi), elytra (Figure 3b), wings, scales, setae (Figure 3c), etc. When different species within the same genus cannot be distinguished, they are designated as sp. 1, sp. 2, sp. 3... sp. n, as sp. indet. (species indeterminate) when it is within the same family (Figure 3c), and Fam. indet. when even the family couldn't have been determinate. Preys consumed by the Moorish gecko were counted for each species, based on the number of similar pieces of the same type and size. Thus, one individual corresponds to one head, one thorax, one abdomen, one scutellum or two cerci, two elytra, two membranous wings, two antennae of the same

dimensions, one being right and the other left, or even six legs of the same dimensions, three being left and three right. The element with the highest number is the one to be taken into account when counting the prey species. We measured heads, thoraxes, abdomens, wings and legs using a millimeter paper tape. The size of the whole insect is either estimated by comparison with samples from the insect collections of the department's insectarium, or estimated on the basis that the head generally represents between 1/5th and 1/8th of whole insect body length, depending on whether we're dealing with a Coleoptera or a Hymenoptera. The thorax represents approximately 1/3 and the abdomen 1/2 of the prey's total size (Benchikh *et al.*, 2003).

#### Sampling of potential invertebrate prey present in the study site

The sampling technique used is the sticky trap method. This method requires the use of polyvinyl boards of 300cm<sup>2</sup> surface, covered with glue. Two sticky traps were set up on a monthly basis during the study period near the spots where the gecko tend to hunt. The traps remain in place for 24 hours, then, are brought back to the laboratory to identify the species captured. This technique has been used for sampling potential arthropods prey in other studies (Marquet *et al.*, 1990 and Hódar *et al.* 2006). Capture data in traps were modified for a better adjustment with diet data (Hódar *et al.* 2006): we removed preys  $\leq 2$ mm in length from the availability data because they are not eaten by geckos (Hódar *et al.* 2006). This represents 39 species out of 72 and 264 individuals out of 415 captured.



## Data analysis

The prey species identified and counted are presented as a systematic inventory. These results are then processed using the following ecological indexes.

### Sampling quality index (Q)

Blondel (1979) defines sampling quality as the following ratio:

$$Q = \frac{a}{P}$$

where “a” is the number of species recorded only once during the entire sampling period, and “P” is the number of samples (in this case, the number of feces).

According to Ramade (2009), the closer the ratio tends to zero, the better the sampling quality. But when a/r tends towards one, sampling quality is poorer.

### Total richness (S) and mean richness (Sm)

According to Ramade (2009), it corresponds to the total number of species that constitute a population in a given ecosystem. In this study, it corresponds to the total number of prey species found in all of the 65 Moorish gecko feces.

The mean richness corresponds to the average number of species mentioned in a sample of the biotope (Ramade, 2009). In this study, this index was calculated by summing the total richness obtained during each survey (of which there are eight). The total obtained is divided by the same number of surveys.

### Relative abundance (R.A. %)

According to Faurie *et al.* (2003) for a given species “i”, relative abundance is the percentage of individuals of the target species (ni) as a proportion of the total number of individuals (N) of all the species combined. The percentage given by the following equation:

$$R.A."i" (\%) = \frac{ni}{N} \times 100$$

### Frequency of occurrence (F.O. %)

According to Dajoz (2006), the frequency of occurrence represents the ratio of the number of occurrences of a given species “i” (Pi) to the total number of samples (P) (in this case, the number of feces), the percentage given by the following formula:

$$F.O."i" (\%) = \frac{Pi}{P} \times 100$$

There are six categories, and the specie “i” is considered to be:

- Omnipresent if:  $F.O."i" \% = 100\%$ ;
- Constant if  $75\% \leq F.O."i" \% < 100\%$ ;
- Regular if  $50\% \leq F.O."i" \% < 75\%$ ;
- Accessory if  $25\% \leq F.O."i" \% < 50\%$ ;
- Accidental if  $5\% \leq F.O."i" \% < 25\%$ ; and
- Rare if  $F.O."i" \% < 5\%$ .

### Shannon diversity index (H'), maximal diversity (H' max) and equitability (E)

As given by Lacoste and Salanon (2009), the Shannon Diversity Index is calculated using the following equation:

$$H' = - \sum \frac{ni}{N} \text{Log}_2 \frac{ni}{N}$$

The higher the Shannon diversity index, the more diversified the population under study is. It tends towards zero bits when there is only one species present (Dajoz, 2006).

The maximal diversity is represented by “H' max”, which corresponds to the case where all species are represented by the same number of individuals (Ramade, 2009). It is given by the following formula:

$$H' \text{ max} = \log_2 S$$

As for the equitability index, Ramade (2009) defines it as the ratio between the Shannon diversity index (H') and the maximum diversity index (H' max.). It is represented by the following formula:

$$E = \frac{H'}{H' \text{ max}}$$

Equitability can take values between zero and one. When it tends towards zero, it means that one species is largely dominant over the other species of the population. On the other hand, when it tends towards one, it means that all the species of the population are relatively similar in their relative abundance. In this case, each species has the same number of individuals (Dajoz, 2006).

### Ivlev selection index (I)

According to Jacobs (1974), the Ivlev index (I) compares the relative abundance of a given specie “i” found in the diet (di) with that of the same specie available in the environment (ei). It is expressed by the following formula:

$$I"i" = \frac{(di - ei)}{(di + ei)}$$

According to Johnson (1980), the values of (I) range from -1 to 1 as follow:

- I“i” = -1: species only found in the field;
- -1 < I“i” < 0: species slightly consumed by the predator, but abundant in the field;
- 0 < I“i” < 1: species highly consumed, but scarce in the field;
- I“i” = 1: species only found in the diet.

## Results

### Diet of *Tarentola mauritanica*

The number of invertebrates consumed by *Tarentola mauritanica* is 233 individuals belonging to 29 species divided into 20 families, 10 orders and 2 classes (Table 1).

### Sampling quality index (Q)

According to Table 1, the number of species recorded only once in the diet of this species is 16. Using the formula  $Q = a/r$ , we get  $Q = 16/65 = 0,2$ . This value tends towards zero, which indicates that the number of samples conducted is sufficient.

### Total richness (S) and mean richness (Sm)

The total richness is equal to 29 species and the mean richness 6.88, with an overall number of 233 individuals. The highest total richness was recorded in October 2019, with 20 species and 115 individuals. The lowest total richness was recorded in January 2020, with 9 species and 21 individuals (Table 2).

**Table 1 – Systematic inventory, relative abundance and size of the prey-species found in the diet of *Tarentola mauritanica*.**

Classes	Orders	Families	Species	n	R.A. (%)	Size (mm)	I	F.O. (%)	
Arachnida	Araneae	Fam. 1 indet.	sp. 1 indet.	1	0.43	2	1	1.53	
		Fam. 2 indet.	sp. 2 indet.	1	0.43	2	1	1.53	
		Amaurobiidae	sp. indet.	1	0.43	6	1	1.53	
		Salticidae	sp. indet.	2	0.86	2	1	1.53	
Insecta	Mantodea	Mantidae	<i>Mantis religiosa</i>	1	0.43	1	1	1.53	
	Blattodea	Kalotermitidae	<i>Kalotermes flavicollis</i>	5	2.15	1	0.23	1.53	
	Dermaptera	Labiduridae	<i>Nala lividipes</i>		1	0.43	5	1	1.53
	Hemiptera and Heteroptera	Rhopalidae	<i>Coryzus</i> sp.		1	0.43	2	1	1.53
		Jassidae	sp. 1 indet.		1	0.43	4	-0.9	1.53
			sp. 2 indet.		1	0.43	3	-0.5	1.53
	Coleoptera	Lygaeidae	sp. indet.		1	0.43	2	1	1.53
			Fam. indet.	sp. indet.	1	0.43	2	1	1.53
			Curculionidae	<i>Coccotrypes dactyliperda</i>	56	24.03	4	1	33.85
	Dermestidae	sp. indet.		1	0.43	3	1	1.53	
	Neuroptera	Chrysopidae	<i>Chrysoperla carnea</i>		1	0.43	2	-0.2	1.53
	Hymenoptera	Braconidae	<i>Apanteles</i> sp.		1	0.43	4	1	1.53
		Formicidae	<i>Camponotus barbaricus xanthomelas</i>		13	5.58	4	0.78	4.61
			sp. indet.		1	0.43	1	1	1.53
			<i>Messor barbarus</i>		2	0.86	2	1	3.08
			<i>Pheidole pallidula</i>		3	1.29	3	1	3.08
			<i>Pheidole</i> sp.		2	0.86	2	1	3.08
			<i>Tapinoma nigerrimum</i>		2	0.86	2	1	1.53
	Lepidoptera	Noctuidae	sp. 1 indet.		64	27.47	3	0.86	66.15
			sp. 2 indet.		8	3.43	12	0.26	9.23
sp. 3 indet.			10	4.29	5	1	12.31		
<i>Spodoptera littoralis</i>			48	20.60	2	0.93	44.61		
sp. indet.			2	0.86	2	0.13	3.08		
Diptera	Tineidae	sp. indet.		2	0.86	2	0.13	3.08	
	Fam. indet.	sp. indet.		1	0.43	2	1	1.53	
	Syrphidae	sp. indet.		1	0.43	2	1	1.53	
<b>Total = 2</b>				<b>10</b>	<b>20</b>	<b>29</b>	<b>233</b>	<b>100</b>	<b>1</b>

n: Number of individuals; R.A. %: Relative abundance; mm: Millimeter; I: Ilevel index; F.O. %: Frequency of occurrence; Sp. indet.: Indeterminate specie; Fam. indet: Indeterminate family.

**Table 2 – Total and mean richness and number of preys per month.**

Month	Oct.	Nov.	Dec.	Jan.	Total
N	115	75	22	21	233
S	20	16	10	9	29
Sm	6.88				

N: Number of individuals; S: Total monthly richness; Sm: Mean richness.

### Relative abundances (R.A. %) of classes, orders, families and species of *T. mauritanica*'s preys

The diet of *T. mauritanica* consists mainly of insects (Table 1). They are represented by 25 species (86.2%) and 228 individuals (97.85%). Arachnids also appears in the diet of this Gecko with four species (13.8%) and five individuals (2.15%).

Among the Insecta, the Lepidoptera are the most frequently hunted prey with more than half of the number of individuals (132 out of 233) which represents 56.6%. This order is followed by the Coleoptera (58 preys; 24.9%), then the Hymenoptera (24 preys; 10.3%) (Table 1). To a lesser extent, the Blattodea account for five individuals (2.15%), the Heteroptera for four individuals (1.72%) and the Diptera for two (0.9%). The remaining orders: Mantodea, Dermaptera and Neuroptera, are each represented by just one prey (0.43%) (Table 1).

Among the families of prey species consumed by *Tarentola mauritanica*, the Noctuidae family is the most captured one by the Moorish gecko (130 preys; 35.8%) mostly represented by Noctuidae sp. 1 indet. (64 individuals; 27.5%) and *Spodoptera littoralis* (Boisduval, 1833) (48 individuals; 20.6%). The Noctuidae are followed by the Curculionidae represented by only one specie, *Coccotrypes dactyliperda* (Fabricius, 1801) with 56 individuals (24.0%), followed by the Formicidae (23 preys; 9.87%), *Camponotus barbaricus xanthomelas* (Emery, 1905) is the most frequently consumed in this family with 13 individuals (5.6%). To a lesser extent, the Kalotermitidae family follows, represented by only one specie, *Kaloterms flavicollis* (Fabricius, 1793) with five preys (2.15%), then, the Tineidae, Jassidae and Salticidae families with two preys (0.9%) for each family. The remaining families are each represented by only one prey (0.43%) (Table 1).

Regarding the prey's size, this gecko seems to be feeding, in decreasing order of importance, on prey between 12 and 14mm in length (36.5%), followed by 3-5mm (31.8%), 15-17mm (20.6%), 9-11mm (6%), 6-8mm (4.3%) and finally 18-20mm (0.9%) (Table 1).

### Frequency of occurrence (F.O. %)

Table 1 shows four classes of occurrence:

- The regular class ( $50\% \leq \text{F.O.}\% < 75\%$ ), which includes a single species, Noctuidae sp. 1 indet. (F.O.% = 66.15%).
- The accessory species class ( $25\% \leq \text{F.O.}\% < 50\%$ ), which includes two species, *Spodoptera littoralis* (F.O.% = 44.61%) and *Coccotrypes dactyliperda* (F.O.% = 33.85%).
- The accidental species class ( $5\% \leq \text{F.O.}\% < 25\%$ ), with two species, Noctuidae sp. 2 indet. (F.O.% = 9.23%) and Noctuidae sp. 3 indet. (F.O.% = 12.31%).
- The class of rare species (F.O.% < 5%), which includes 24 species such as *Camponotus barbaricus xanthomelas* (F.O.% = 4.61%), *Messor barbarus* (Linnaeus, 1767) and *Pheidole pallidula* (Nylander, 1849) (F.O.% = 3.08%), *Tapinoma nigerrimum* (Nylander, 1856), *Chrysoperla carnea* (Stephens, 1836), *Nala lividipes* (Dufour, 1820), *Kaloterms flavicollis* and *Mantis religiosa* (Linnaeus, 1758) (F.O.% = 1.53%).

### Shannon diversity index (H'), maximal diversity (H' max) and equitability (E)

The Shannon diversity index is 3.1 bits and the maximal diversity is 4.86 bits. Thus, the diversity is quite medium. The equitability is equal to 0.64 (Table 3). This value tends slightly towards 1, which means that the prey species found in the *T. mauritanica* diet tend to be slightly in balance with one another.

**Table 3 – Shannon diversity index (H'), maximal diversity (H' max.) and equitability (E) of *T. mauritanica* prey species.**

Index	Value
H' (en bits)	3.1
H' max. (en bits)	4.86
E	0.64

H': Shannon diversity index expressed in bits;  
H' max.: maximal diversity index expressed in bits;  
E: Equitability index.

## Potential invertebrate prey present in the study site

The number of invertebrates sampled is 151 individuals belonging to 33 species divided into 21 families, 7 orders and 1 class which is Insecta, all presented as a systematically ordered inventory (Table 4).

Diptera were the most frequently captured (45.7%), followed by Hemiptera (17.2%), Coleoptera (15.2%), Hymenoptera (12.6%) and Lepidoptera (7.3%) (Table 4). The two remaining orders were much less common (Blattodea [1.3%] and Neuroptera [0.7%]).

Based on their size, these insects are gathered as follows: 3-5mm (72.8%), 6-8mm (20.5%), 9-11mm (1.32%), then 12-15mm (5.3%) (Table 4).

## Ivlev selection index (I)

The relationship between diet and prey availability, expressed using the Ivlev index (I), shows that there are 4 categories (Tables 1 and 4). These categories are classified from the least to the most hunted species:

- $I = -1$ : species present in the field but not consumed by *T. mauritanica*. This category includes 24 species that are not targeted by the predator, such as *Anthicus floralis* (Linnaeus, 1758), *Anthicus rodriguessi* (Latreille, 1804), *Cryptolestes ferrugineus* (Stephens, 1831), *Aphaenogaster depilis* (Santschi 1911) and *Psychoda alternata* (Say, 1824).
- $-1 < I < 0$ : these are species slightly consumed by *T. mauritanica*, and also found in the field. This category includes 3 species rarely targeted by this predator: Jassidae sp. 1 indet. ( $I = -0.9$ ), Jassidae sp. 2 indet. ( $I = -0.5$ ), and *Chrysoperla carnea* ( $I = -0.2$ ).
- $0 < I < 1$ : these are the highly consumed species by *T. mauritanica* in contrast to the environment. This category includes 6 species that are targeted by the predator, including *Kaloterme flavicollis* ( $I = 0.23$ ), *Camponotus barbaricus xanthomelas* ( $I = 0.78$ ) and *Prodenia littoralis* ( $I = 0.93$ ).
- $I = 1$ : species present in the diet but not recorded in the field. This category includes 20 species, such as *Mantis religiosa*, *Nala lividipes*, *Coccotrypes dactyliperda*, *Messor barbarus*, *Pheidole pallidula*, and *Tapinoma nigerrimum*.

## Discussion

It is worth recalling that the trophic analysis consisted on examining the contents of 65 feces of *T. mauritanica*. The number of invertebrates consumed by this Gecko is 233 individuals belonging to 29 species divided into 20 families, 10 orders and 2 classes (Table 1). Nouria & Mou (1982) reported a total richness of 15 species by analyzing the stomach contents of *Mesalina olivieri* during the summer in Tunisia, compared with 29 species obtained in the present study. The diet is exclusively based on arthropods, mainly insects, as in other studies (see Capula & Luiselli, 1994; Hódar & Pleguezuelos, 1999; Hódar *et al.* 2006; Martins *et al.* 2022 and Martín *et al.* 2023). The Insecta are represented by 25 species (86.2%) and 228 individuals (97.85%) (Table 1). Other authors who have studied other insectivorous reptiles confirm these results. Indeed, Barbault (1974) reported 93.1% insects in the stomach contents of *Riopa sp* in the Lamto savannah. Similarly, Nouria & Mou (1982) found 82.8% insects in the diet of *Mesalina olivieri* (Audouin, 1882) in Tunisia. The high importance of insects in the diet of *T. mauritanica* may be due to the fact that they are easily captured or because of their abundance and diversity. Arachnida also feature in the diet of this gecko, with 4 species (13.8%) and five individuals (2.15%) (Table 1). Arab (1997) also noted that following the Insecta, the Arachnida were the second highly consumed class with 221 individuals (8.4%) divided between 16 species and 4 orders.

In the present study, the Lepidoptera are the most frequently hunted prey with 56.6%, followed by the Coleoptera (24.9%), the Hymenoptera, mainly represented by wingless ants (10.3%), then, to a lesser extent, the Araneae and Blattodea (2.15% each), the Heteroptera (1.72%) and the Diptera (0.9%). The remaining orders: Mantodea, Dermaptera and Neuroptera, are each represented by just one prey (0.43%) (Table 1). Capula & Luiselli, (1994) noted that Arachnida (28.7%), Diptera (24.6%), Formicidae (flightless ants) (18.1%), Coleoptera (12.1%), and Lepidoptera (11.5%) were the most common prey items in *T. mauritanica*'s diet. Hódar & Pleguezuelos, (1999) and Hódar *et al.* (2006) identified almost similarly: the Araneae (spiders), Homoptera (leafhoppers), Lepidoptera larvae

**Table 4 – Systematic inventory and relative abundance of the potential prey species present in the study area.**

Classe	Orders	Families	Species	n	R.A. (%)	Size (mm)	I
Insecta	Blattodea	Kalotermitidae	<i>Kalotermes flavicollis</i>	2	1.32	6	0.23
	Hemiptera and Heteroptera	Reduviidae	<i>Ploearia</i> sp.	3	1.99	5	-1
		Jassidae	sp. 1 indét.	13	8.61	4	-0.9
			sp. 2 indét.	2	1.32	3	-0.5
		Miridae	sp. indét.	1	0.66	4	-1
		Psyllidae	sp. indét.	7	4.64	3	-1
	Coleoptera	Anthicidae	<i>Anthicus floralis</i>	4	2.65	4	-1
			<i>Anthicus rodriguesi</i>	1	0.66	4	-1
		Laemophloeidae	<i>Cryptolestes ferrugineus</i>	1	0.66	3	-1
		Staphylinidae	sp. indét.	17	11.26	3	-1
	Neuroptera	Chrysopidae	<i>Chrysoperla carnea</i>	1	0.66	12	-0.2
	Hymenoptera	Bethylidae	sp. 1 indét.	2	1.32	5	-1
		Formicidae	<i>Camponotus barbaricus xanthomelas</i>	1	0.66	10	0.78
			<i>Camponotus</i> sp. 1	4	2.65	7	-1
			<i>Camponotus</i> sp. 2	5	3.31	4	-1
			<i>Camponotus</i> sp. 3	3	1.99	5	-1
			<i>Cataglyphis</i> sp.	1	0.66	6	-1
			<i>Aphaenogaster depilis</i>	1	0.66	3	-1
		Ichneumonidae	sp. indét.	1	0.66	5	-1
		Halictidae	<i>Lasioglossum</i> sp.	1	0.66	6	-1
		Lepidoptera	Noctuidae	sp. 1 indét.	3	1.99	14
sp. 2 indét.	3			1.99	13	0.26	
<i>Prodenia littoralis</i>	1			0.66	15	0.93	
Pyralidae	sp. indét.		1	0.66	10	-1	
Tineidae	sp. 1 indét.		1	0.66	5	0.13	
	sp. 2 indét.	2	1.32	3	-1		
Diptera	Bibionidae	sp. indét.	3	1.99	4	-1	
	Sciaridae	<i>Bradysia</i> sp.	20	13.25	3	-1	
	Psychodidae	<i>Psychoda alternata</i>	21	13.91	4	-1	
	Sarcophagidae	sp. 1 indét.	2	1.32	5	-1	
		sp. 2 indét.	1	0.66	7	-1	
	Tachinidae	sp. 1 indét.	19	12.58	8	-1	
		sp. 2 indét.	3	1.99	6	-1	
<b>Total = 1</b>	<b>7</b>	<b>21</b>	<b>33</b>	<b>151</b>	<b>100</b>		

n: Number of individuals; R.A. %: Relative abundance; mm: millimeter; I: Ilev index; Sp. indet.: Indeterminate specie; Fam. indet.: Indeterminate family.

(caterpillars), Carabidae (ground beetles) larvae, Formicidae (ants), Curculionidae (weevils), and other Coleoptera as the most important groups in the diet of *T. mauritanica* in natural sites in south-eastern Spain. While Martín *et al.* (2023) notices that the diet consisted mainly of Coleoptera, followed by Araneae and insect larvae, the three of them accounting for an overall 76% of prey. A brief review of those studies shows that the diet composition of this specie, although invariably based on arthropods, varies widely between zones. There seems

to be a clear contrast between studies conducted in humanized environments and those carried out at natural environments. The diet of the Moorish gecko in humanized or suburban habitats includes flying insects such as Lepidoptera and Diptera, which may represent a major part of the diet (up to 57,5% in our study and 36.1% in Capula and Luiselli, 1994), while in natural sites such as in Hódar & Pleguezuelos, (1999) and Hódar *et al.* (2006) where more than 40% of the prey identified were Lepidoptera's and Carabidae's larvae.

In the present study, the Noctuidae (night moths) were ingested in large numbers, with 130 moths out of 233 preys (55%) (Table 1). This may be related to their nocturnal activity and the features of the environment (proximity of gardens and crop fields). Martins *et al.* (2022) concluded that the high presence of some Lepidoptera species indicates that this gecko doesn't feed only on the ground, but also forages on walls and cliffs, and possibly uses artificial lights as observed by Martín *et al.* (2018). Arab (1997) notes that the consumption of Noctuidae declines during February and March, reaching 4 individuals per month compared to 88 individuals in August and 113 in November. This author points out that during the hibernation period of these Noctuidae, the replacement preys are either Arachnida or Dermaptera. The Noctuidae were followed by the Curculionidae with *Coccotrypes dactyliperda* (56 individuals; 24%) (Table 1). This may be due to the presence of its host plants: Palmaceae (*Phoenix canariensis* [Chabaud, 1882], *Washingtonia filifera* [Wendland, 1879] and *Washingtonia robusta* [Wendland, 1883]). It is also likely due to the hard cuticle of this kind of insect (Coleoptera), particularly rich in scleroproteins that are not totally digested. Martins *et al.* (2022) pointed out that morphology-based diet studies tend to underestimate soft-bodied prey incidence since only partially undigested items from soft body prey can be detected. Nevertheless, they are still highly comparable to diet analyses based on gastric contents of killed animals (Pérez-Mellado *et al.* 2011), and results are even close to those obtained by the molecular analyses of prey found in fecal pellets as in Martins *et al.* (2022) for *T. mauritanica*. All the studies mentioned highlights the generalist diet of this species, which is also corroborated in this study.

In terms of prey's size, our results (78.5% of prey's size between 3 and 14mm) (Table 1), are in line with those of Hódar & Pleguezuelos, (1999) and Hódar *et al.* (2006) who noted that most of the prey were between 2 and 12mm in body length (80.1% and 78.4% respectively). Overall, the diet of *T. mauritanica* geckos did not reflect the availability of invertebrates in the habitat. Particularly, we may state that some insect family such as Tachinidae, Psychodidae and Sciaridae were not consumed despite being the most abundant insects available in the study site (*Psychoda alternata* and *Bradysia* sp. [I = -1]) (Table 4). Neither

were the Staphylinidae and Psyllidae (I = -1). Instead, *T. mauritanica* selected positively less abundant prey such as Noctuidae (*Noctuidae* sp. 1 indet. [I = 0.86], *Spodoptera littoralis* [I = 0.93]) and Formicidae (*Camponotus barbaricus xanthomelas* [I = 0.78]) (Tables 1 and 4). While other minor types of prey were consumed in proportions similar to the expected by their availability in the habitat such as Kalotermitidae (*Kalotermitidae* sp. 1 indet. [I = 0.23]), Chrysopidae (*Chrysoperla carnea* [-0.2]) and Tineidae (Tineidae sp. 1 indet [I = 0.13]) (Tables 1 and 4). These results consolidate those of Hódar *et al.* (2006) and Martín *et al.* (2023).

## Conclusion

Both the taxonomic composition and the prey-size of the prey-species captured differed from those found in the diet of *T. mauritanica*. This gecko seemed to be selecting some prey types, while avoided other, regardless of their abundance. The overall results presented shows that the Moorish gecko know how to exploit the resources that a suburban environment offers. This confirm the strategic feeding behavior of this ecologically widespread gecko (found in sandy deserts, bushy areas, suburban environments and wetlands, as well as on the ground, rocks, trees and house walls), which is reflected in a wide range of prey in its trophic diet. Feeding opportunism is an adaptation to the anthropization of the habitat and the variations of environmental conditions. Thus, significant variations in the number of preys consumed by this Gecko were observed during the study period. This is remarkable given the reduction in the number of prey species found in the feces as we move towards January. This can be explained by the slowdown in its activity and the activity of its prey during cold months.

## Acknowledgements

The authors would like to thank the Algerian Ministry of Higher Education and Scientific Research and the ENSA plant protection research laboratory for their material assistance. The authors would also like to thank the reviewers for their comment, which helped to improve this article.

## References

- Arab, K. (1997). *Place de la Tarente de Mauritanie Tarentola mauritanica Linnaeus, 1758 (Reptila, Gekkonidae) dans le réseau trophique d'un écosystème sub-urbain*. Thèse Magister, inst. nati. agro. El-Harrach, 251 p.
- Arnold, E.N. (1987). Resource partition among lacertid lizards in southern Europe. *J. Zool. Lond.* 1, 739-782.
- Barbault, R. (1974). Le régime alimentaire des amphibiens de la savane de Lamto, Côte d'Ivoire. *Bull. I.F.A.N.* 36 (Sér. A, 4), 952-972.
- Benchikh, C., Daoudi-Hacini, S., Farhi, Y. & Doumandji, S. (2003). Classe de tailles des proies consommées par l'Hirondelle de fenêtre *Delichon urbica* Linné, 1758 (Aves, Hirundinidae) au lieu-dit Les Eucalyptus (Mitidja). *Rev. Ornithologia algerica*, 3(1), 6-11.
- Bendjoudi, D. & Doumandji, S. (2007). Données nouvelles sur la distribution et le comportement du Pigeon ramier *Columba palumbus* (Linné, 1758) en Mitidja. *Journées internationales sur la zoologie agricole et forestière*, 8 au 10 avril 2007. Département de zoologie agricole et forestière. Institut national agronomique, El Harrach.
- Blondel, J. (1979). *Biogéographie et écologie*. Masson, Paris, 173 p.
- Capula, M. & Luiselli, L. (1994). Trophic niche overlap in sympatric *Tarentola mauritanica* and *Hemidactylus turcicus*: A preliminary study. *Herpetol. J.* 4(1), 24-25.
- Carranza, S., Harris, D.J., Arnold, E.N., Batista, V. & Gonzalez de la Vega, J.P. (2006). Phylogeography of the lacertid lizard, *Psammodromus algirus*, in Iberia and across the Strait of Gibraltar. *J. Biogeogr.* 33, 1279-1288.
- Carretero, M.A. (2004). From set menu to a la carte. Linking issues in trophic ecology of Mediterranean lacertids. *Ital. J. Zool.* 71, 121-133.
- Carretero, M.A. (2008). An integrated assessment of a group with complex systematics: the Iberomaghrebian lizard genus *Podarcis* (Squamata, Lacertidae). *Integr. Zool.* 3, 247-266.
- Carretero, M.A., Perera, A., Harris, D.J., Batista, V. & Pinho, C. (2006). Spring diet and trophic partitioning in an alpine lizard community from Morocco. *Afr. Zool.* 41, 113-122.
- Carretero, M.A., Cascio, P.L., Corti, C. & Pasta, S. (2010). Sharing resources in a tiny Mediterranean island? Comparative diets of *Chalcides ocellatus* and *Podarcis filfolensis* in Lampione. *Bonn Zool. Bull.* 57, 111-118.
- Dajoz, R. (2006). *Précis d'écologie*. Dunod, Paris, 631 p.
- Faurie, C., Ferra, C., Médori, P., Deveau, J. & Hemptinne, J.L. (2003). *Écologie: approche scientifique et pratique*. Tec&Doc, Paris, 407 p.
- Fonseca, M.M., Brito, J.C., Rebelo, H., Kalboussi, M., Larbes, S., Carretero, M.A. & Harris, D.J. (2008). Genetic variation among spiny-footed lizards in the *Acanthodactylus pardalis* group from North Africa. *Afr. Zool.* 43, 8-15.
- Fonseca, M.M., Brito, J.C., Paulo, O.S., Carretero, M.A. & Harris, D.J. (2009). Systematic and phylogeographical assessment of the *Acanthodactylus erythrurus* group (Reptilia: Lacertidae) based on phylogenetic analyses of mitochondrial and nuclear DNA. *Mol. Phylogenet. Evol.* 51, 131-142.
- Hódar, J.A. & Pleguezuelos, J.M. (1999). Diet of the Moorish gecko *Tarentola mauritanica* in an arid zone of south-eastern Spain. *Herpetol. J.* 9, 29-32.
- Hódar, J.A., Pleguezuelos, J.M., Villafraña, C. & Fernández-Cardenete, J.R. (2006). Foraging mode of the Moorish gecko *Tarentola mauritanica* in an arid environment: Inferences from abiotic setting, prey availability and dietary composition. *J. Arid Environ.* 65, 83-93.
- Jacobs, J. (1974). Quantitative measurement of food selection. *Oecologia*. 14, 413-417.
- Johnson, D. H., (1980). The comparison of usage and availability measurements for evaluating resource preference. *Ecology*. 61(1), 65-71.
- Kalioztopoulou, A., Brito, J.C., Carretero, M.A., Larbes, S. & Harris, D.J. (2008). Modelling the partially unknown distribution of wall lizards *Podarcis* in North Africa: ecological affinities, potential areas of occurrence and methodological constraints. *Can. J. Zool.* 86, 992-1101.
- Kalioztopoulou, A., Pinho, C., Harris, D.J. & Carretero, M.A. (2011). When cryptic diversity blurs the picture: a cautionary tale from Iberian and North African *Podarcis* wall lizards. *Biol. J. Linn. Soc.* 103, 779-800.
- Kalioztopoulou, A., Carretero, M.A. & Llorente, G.A. (2012). Morphology of the *Podarcis* wall lizards (Squamata: Lacertidae) from the Iberian Peninsula and North Africa: patterns of variation in a putative cryptic species complex: Morphology of Iberian *Podarcis*. *Zool. J. Linn. Soc.* 164, 173-193.
- Lacoste, A. & Salanon, R. (2009). *Éléments de biogéographie et d'écologie*. Armand Colin, Paris, 318 p.
- Le Berre, M. (1989). *Faune du Sahara, I. Poissons, Amphibiens, Reptiles*. Raymond Chabaud, Paris, 328 p.
- Lima, A., Pinho, C., Larbes, S., Carretero, M.A., Brito, J.C. & Harris, D.J. (2009). Relationships of *Podarcis* wall lizards from Algeria based on mtDNA data. *Amphibia-Reptilia*. 30, 483-492.
- Lo Cascio, P.L. & Capula, M. (2011). Does diet in lacertid lizards reflect prey availability? Evidence for selective predation in the Aeolian wall lizard, *Podarcis raffonei* (Mertens, 1952) (Reptilia, Lacertidae). *Biodivers. J.* 2, 89-96.
- Luiselli, L. (2008). Do lizard communities partition the trophic niche? A worldwide meta-analysis using null models. *Oikos*. 117, 321-330.
- Mamou, R. & Marniche, F. (2016). Régime alimentaire de *Psammodromus algirus* (Linnaeus, 1758) (Reptilia : Lacertidae) dans le Djurdjura, nord Algérie. *Bull. Soc. Herp. Fr.* 159, 33-46.
- Mamou, R., Marniche, F., Amroun, M. & Herrel, A. (2016). Trophic ecology of two sympatric lizard species: the Algerian sand lizard and the wall lizard in Djurdjura, northern Algeria. *Zoology and Ecology*. 26(4), 256-264.
- Marquet, P.A., Bozinovic, F., Medel, R.G., Werner, Y.L. & Jaksic, F.M., (1990). Ecology of *Garthia gaudichaudi*, a gecko endemic to the semiarid region of Chile. *Journal of Herpetology*. 24, 431-434.
- Martín, J., Ortega, J., García-Roa, R., Rodríguez-Ruiz, G., Pérez-Cembranos, A. & Pérez-Mellado, V. (2023). Effects of anthropogenic disturbance of natural habitats on the feeding ecology of Moorish Geckos. *Animals*. 13(8), 1413. <https://doi.org/10.3390/ani13081413>

- Martins, B, Silva-Rocha, I., Mata, V.A., Gonçalves, Y., Rocha, R. & Rato, C. (2022). Trophic interactions of an invasive gecko in an endemic-rich oceanic island: Insights using DNA metabarcoding. *Front. Ecol. Evol.* 10. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.1044230>
- Merabet, A., Chebouti-Meziou, N., Chebouti, Y., Bissaad, F.Z., & Doumandji, S. (2014). Le régime alimentaire du pigeon ramier *Columba palumbus* aux abords de la plaine de la Mitidja (nord Algérie). *Rev. Écol. (Terre & Vie)*. 69, 247-257.
- Milla, A., Marniche, F., Makhloufi, A., Daoudi-Hacini, S., Voisin, J.F. & Doumandji, S. (2012). Aperçu de l'avifaune du Sahel algérois. *Alg. j. ari. env.* 2, 3-15.
- Mou, Y. (1987). Écologie trophique d'une population de lézards des murailles *Podarcis muralis* dans l'ouest de la France. *Rev. Ecol. (Terre & Vie)*. 42, 81-100.
- Nouira S. & Mou, Y.P. (1982). Régime alimentaire d'un Lacertidae *Eremias olivieri* (Audouin) des îles Kerkennah en Tunisie. *Rev. Ecol. (Terre & Vie)*. 36, 621-631.
- Pérez-Mellado, V., Pérez-Cembranos, A., Garrido, M., Luiselli, L. & Corti, C. (2011). Using faecal samples in lizard dietary studies. *Amphibia-Reptilia*. 32, 1-7.
- Pérez-Mellado, V. & Corti, C. (1993). Dietary adaptations and herbivory in lacertid lizards of the genus *Podarcis* from western Mediterranean islands (Reptilia: Sauria). *Bonn. Zool. Beit.* 44, 193-220.
- Perrier, R. (1927a). *La faune de la France illustrée*, IV, *Hémiptères, anoploures, mallophages, lepidoptères*. Delagrave, Paris, 243 p.
- Perrier, R. (1927b). *La faune de la France illustrée*, V, *Coléoptères (Première partie)*. Delagrave, Paris, 192 p.
- Perrier, R. (1927c). *La faune de la France illustrée*, VI, *Coléoptères (Deuxième partie)*. Delagrave, Paris, 229 p.
- Ramade, F. (2009). *Éléments d'écologie. Écologie fondamentale*. Dunod, Paris, 689 p.
- Rouag, R. & Benyacoub, S. (2006). Inventaire et écologie des reptiles du Parc national d'El Kala (Algérie). *Bull. Soc. Herp. Fr.* 117, 25-40.
- Rouag, R., Berrahma, I. & Luiselli, L. (2006). Food habits and daily activity patterns of the North African ocellated lizard *Timon pater* from northeastern Algeria. *J. Nat. Hist.* 40, 1369-1379.
- Rouag, R., Djilali, H., Gueraiche, H. & Luiselli, L. (2007). Resource partitioning patterns between two sympatric lizard species from Algeria. *J. Arid. Environ.* 69, 158-168.
- Soultou, K., Baziz, B., Denys, C., Brahimi, R. & Doumandji S. (2008). Variations temporelles du régime alimentaire du faucon crécerelle *Falco tinnunculus* dans un milieu suburbain à El Harrach (Alger, Algérie). *Alauda*. 76(2), 147-155.
- Tatin, L., Chapelin-Viscardi, J.-D., Renet, J., Becker, E. & Ponel, P. (2013). Patron et variations du régime alimentaire du lézard ocellé *Timon lepidus* en milieu steppique méditerranéen semi-aride (plaine de Crau, France). *Rev. Ecol. (Terre & Vie)*. 68, 47-58.
- Verdú-Ricoy, J., Carranza, S., Salvador, A., Busack, S.D. & Díaz, J.A. (2010). Phylogeography of *Psammodromus algirus* (Lacertidae) revisited: systematic implications. *Amphibia-Reptilia*. 31, 576-582.



# The alien ant *Cardiocondyla mauritanica* on a small Corsican island: first record for European France

*La fourmi exotique Cardiocondyla mauritanica signalée pour la première fois en France européenne sur une petite île de Corse*

Romane Blaya<sup>1,2\*</sup>, Philippe Ponel<sup>1</sup>, Élise Buisson<sup>1</sup>, Cyril Berquier<sup>3</sup>, Olivier Blight<sup>\*</sup>

1. Avignon Université, Aix-Marseille Université, CNRS, IRD, IMBE, Avignon, France

2. Naturalia Environnement, Agence d'Avignon – Site Agroparc, 20, rue Lawrence Durrell, BP 31 285, Avignon cedex 9, F-84911 France

3. Office de l'environnement de la Corse, Observatoire – Conservatoire des insectes de Corse, lieu-dit "Lergie", RN 200, F-20250 Corte, France

\*Corresponding authors: romane.blaya@gmail.com and olivier.blight@imbe.fr

Received: 3 April; First decision: 5 June, 2024; Revised: 26 June, 2024; Accepted: 29 June, 2024.

## Abstract

*Cardiocondyla mauritanica* Forel, 1890 is first recorded for European France, on a small satellite island of southern Corsica (Porraccia Piccola island, Lavezzi archipelago). The origins of this ant species are poorly understood, but supposed from North Africa and the Middle East. It is currently spreading in many southern European countries with no recorded impacts on native biodiversity. This species could expand its range to higher latitudes with the ongoing global warming. Its presence was recorded from a remote natural area with restricted access, suggesting that the species is able to spread naturally over several kilometers. Further investigations are needed to precise its current geographical range in Corsica.

## Résumé

*Cardiocondyla mauritanica* Forel, 1890 est signalée pour la première fois en France européenne, sur un îlot satellite du sud de la Corse (île Porraccia Piccola, archipel des Lavezzi). Les origines de cette espèce de fourmi sont méconnues, mais présumées d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient. Elle se répand actuellement dans de nombreux pays du sud de l'Europe sans qu'aucun impact sur la biodiversité indigène n'ait été souligné. Cette espèce pourrait étendre son aire de répartition à des latitudes plus élevées avec le réchauffement climatique en cours. Sa présence a été enregistrée dans une zone naturelle isolée, avec un accès restreint, ce qui suggère que l'espèce est capable de se répandre sur plusieurs kilomètres sans l'aide des activités humaines. Des investigations supplémentaires sont nécessaires pour préciser son aire de répartition géographique actuelle en Corse.

**Keywords:** Moorish sneaking ant, cosmopolitan, tramp species, Porraccia Piccola, Corsica.

**Mots-clés:** espèce cosmopolitaine, fourmi exotique, Porraccia Piccola, Corse.

## Introduction

More than 300 ant species established successfully outside their native range (Wong *et al.* 2023). However, only a minority of these alien species are considered invasive with considerable ecological, economic and sanitary impacts (EASIN 2022; Wong *et al.* 2023). Most invasive ants still have a large proportion of suitable habitats to colonize, and, for some species, global warming could further increase this proportion (Bertelsmeier *et al.* 2016).

The spread of alien species is known to be facilitated by human activities (Bertelsmeier 2021) as most alien ants establish in areas already disturbed, such as urban green spaces, agricultural lands and buildings (Lopez-Vaamonde *et al.* 2010). Similarly, in the Mediterranean basin, most alien species do not occur in natural habitats, even if a fair proportion manage to spread in protected areas (Demetriou *et al.* 2023a).

Among the 183 ant alien species known in Europe in 2021 (Rabitsch & Blight 2021), 40 were present in the Mediterranean region (Schifani 2019). Nevertheless this list is constantly changing, as new species arrive (Menchetti *et al.* 2022, 2023) and established ones expand (Blight *et al.* 2023, Pavon *et al.* in prep). Moreover, some species have an ambiguous alien status due to the lack of knowledge on their native range and their ancient history of introduction in the Mediterranean basin (Schifani 2019).

Among alien species with ambiguous status, *Cardiocondyla mauritanica* Forel 1890 is a worldwide distributed ant (Wetterer 2012). Probably from North Africa and the Middle East Countries (Wetterer 2012), its origins are unclear and its alien status in the northern part of the Mediterranean basin is considered uncertain (Schifani *et al.* 2021). It shares some biological characteristic with invasive species, such as polygyny and uniclonality (Heinze *et al.* 2006). It was also reported to co-exist with some of them, such as the Argentine ant, *Linepithema humile* (Mayr 1868) (Reyes-López & Espadaler 2005; Wetterer 2012). However, *C. mauritanica* is not considered invasive in Europe (Reyes-López *et al.* 2008; Seifert 2003) as no negative effect has yet been observed on native biodiversity (Reyes-López & Espadaler 2005).

The species appear to colonize both natural and anthropogenic areas (Demetriou *et al.*

2023a; Schifani 2019) with preferences for xerothermic and open habitats (Seifert 2003). In the past decades it was found established in most southern European countries, including Portugal (Obregón Romero & Reyes López 2012), Spain including Balearic islands (Gómez & Espadaler 2006; Reyes-López & Espadaler 2005), Italy with Sicily and Sardinia (Schifani *et al.* 2021; Schifani & Alicata 2018), Greece and associated islands (Demetriou *et al.* 2023a; Salata & Borowiec 2018), Malta (Seifert *et al.* 2017) and Cyprus (Demetriou *et al.* 2023b). *Cardiocondyla mauritanica* is already known from Guadeloupe in the West Indies since 2000s (Galkowski 2016). However, no records were found for European France.

## Material and methods

This species was hand collected during ant community surveys on Corsican satellite islands in spring 2023 (Blaya *et al.* in prep). Among the 37 small islands surveyed, this species was only found on Porraccia Piccola (also called Porraccia North in Paradis *et al.* 2020; 41°23'35.3"N, 9°15'52.6"E), which was visited on June, 8<sup>th</sup> 2023. This islet is part of the Lavezzi archipelago in the district of Corse-du-Sud (département 2A), France, and included in the natural reserve of Bouches de Bonifacio (Figure 1). Porraccia Piccola is a granitic islet of 0.69ha, located 1.7km from mainland of Corsica (Paradis *et al.* 2020), but very close to Porraccia Grande (0.85ha), 35m away. Diversified habitats were observed on the islet, including bare granitic rocks, altered rocks area and bare organic soil, dense vegetation area, gull nesting sites and sandy shore (see pictures in Paradis *et al.* 2020).

Other specimen records from European France were searched for. First, we contacted local ant specialists for unpublished records: Christophe Galkowski from AntArea and Cyril Berquier from The Office de l'Environnement de la Corse and the Observatoire Conservatoire des Insectes de Corse. Then, we checked museum specimens labelled "*Cardiocondyla mauritanica*" and "*Cardiocondyla nuda* var. *mauritanica*" in the Museum national d'Histoire naturelle (MNHN, Paris), for unpublished record. We also checked museum specimens of "*Cardiocondyla elegans*" for possible misidentification. Finally, we looked for "*Cardiocondyla mauritanica*",

“*Cardiocondyla nuda* var. *mauritanica*” and “Complex *Cardiocondyla nuda*” records on on-line databases (GBIF.org, AntCat.org, and AntMaps.org) and on a participative science website (iNaturalist.org).

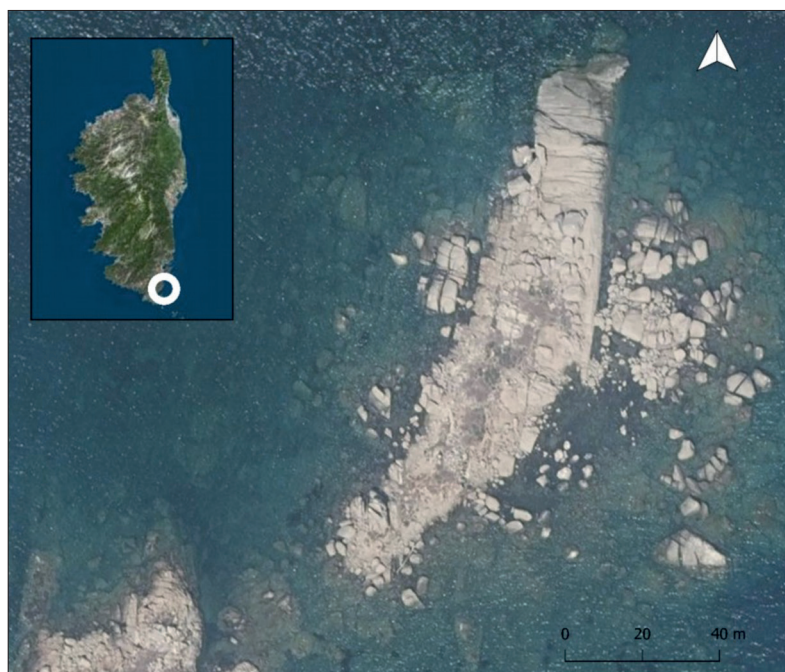
Workers were identified using morphological criteria described in Seifert 2023.

## Results and discussion

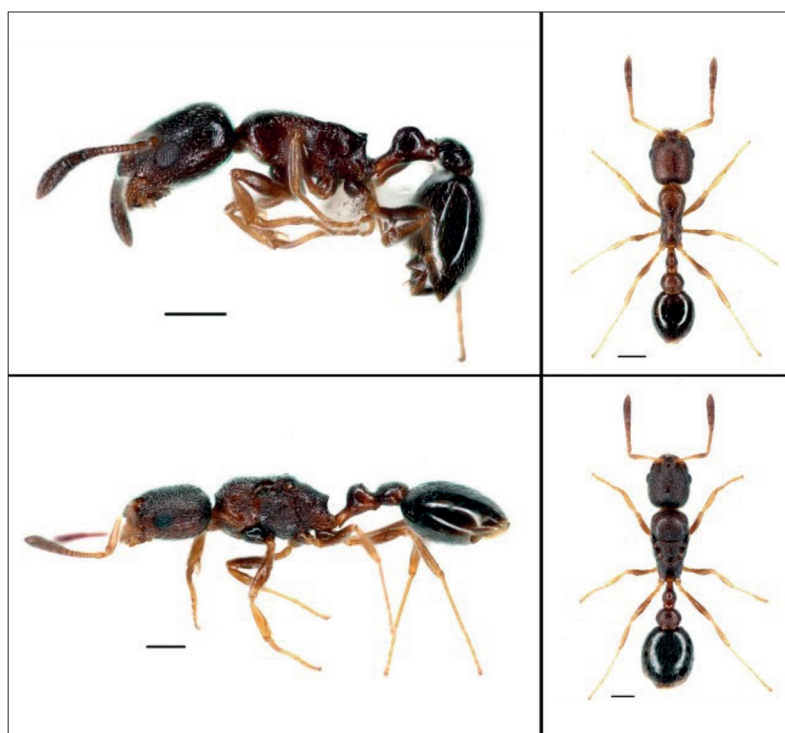
A dozen of workers and one queen of *Cardiocondyla mauritanica* were found on the islet of Porraggia Piccola (Figure 2). This species was particularly easy to spot as numerous workers were foraging on the ground. A nest was found on the ground on a sandy area on the south-east shore. The entrance of the nest was prospected, allowing to find a queen. Four other species were found on the islet on the same survey, i.e. *Messor minor* (André, 1883), *Messor capitatus* (Latreille, 1798), *Pheidole pallidula* (Nylander, 1849), and *Tetramorium complex caespitum-impurum*.

This islet had already been surveyed in 1985 but *C. mauritanica* was not recorded at the time (Delaugerre & Brunstein 1987). More recently, historical data have been gathered and large inventories were carried out until 2016 to build the atlas of the ants of Corsica (Blatrix *et al.* 2018). This work did not give any evidence of specimens belonging to *Cardiocondyla* genus, either on the main island or smaller satellite islands.

Probably native to North Africa and the Middle East, this species has already successfully colonized a wide range of countries and habitats, achieving its cosmopolitan status (Heinze 2017; Wetterer 2012). Thus, the spread of *C. mauritanica* in South Corsica is not surprising as the dry and warm climate suits its ecological preferences (Seifert 2003). Moreover, Mediterranean islands, including Corsica and Sardinia, are experiencing rising temperatures and declining precipitation (Vogiatzakis *et al.* 2016) that could increase the suitability of habitats for alien species from lower latitudes. As *C. mauritanica* is already known from south, west and central Sardinia (Scupola 2009) its arrival in Corsica which is a very close island to the north, was a matter of time. Small islands located in between Corsica and Sardinia, are an ideal path for natural spreading of aliens, acting as stepping stones.



**Figure 1 –** Photography of the satellite islet Porraggia Piccola (Corse du Sud, France). Its localization around main island of Corsica is indicated with the white circle. At the south west of the islet the northern part of Porraggia Grande is visible. Main island of Sardinia is located 15km to the south. Source: BD ORTHO (IGN).



**Figure 2 –** Photography of collected individuals identified as *Cardiocondyla mauritanica* (© Philippe Ponel). The scale bar represents 0.25mm. The top photos show a worker and bottoms photos show a queen.

Although human-mediated introduction could have helped *C. mauritanica* to colonize new localities, especially in such an attractive touristic destination as Corsica, its presence in the restricted-access and remote islet of Porrhaggia Piccola shows its ability to spread naturally over several kilometers. The dispersal of this species over long distances is made possible by winged queens during nuptial flights (Seifert 2003). Prevailing winds, such as libeccio and sirocco, respectively directed north-east and north-west in South Corsica (Burlando *et al.* 2008), could have helped the spread of *C. mauritanica* by carrying sexuals individuals from Sardinia to Corsica and satellite islets.

No other record of *C. mauritanica* were found in the databases. All the specimens labelled *C. mauritanica* and *C. nuda* var. *mauritanica*, found in the investigated collections from the MHNH of Paris, were collected from North African countries. One record of *C. mauritanica* was reported on iNaturalist.org on the 24<sup>th</sup> of October, 2023, from Stagnolu beach near Bonifacio in South Corsica. However, the relatively low resolution of the uploaded picture cannot lead to an identification and the record remain dubious.

Further investigation could be necessary to assess the *C. mauritanica* spread as last extensive surveys in Corsica date from 2016. This ant was found in the company of other native ant species, on an island where plants and arthropods were well diversified, suggesting it has no negative effects on native biodiversity as described by Reyes-López & Espadaler in 2005. However, it would still be interesting to follow the progression of this alien ant species and its potential effects, especially outside urbanized areas.

## Acknowledgement

This study was funded by the Port Cros National Park (Parc national de Port Cros) and the Office of the Environment of Corsica (Office de l'Environnement de la Corse). We thank the natural reserve of Bouches de Bonifacio for allowing us the access to the islets. We are also grateful to Christophe Galkowski (AntArea) who confirmed the identification and to Quentin Rome (MNHN, Muséum national d'histoire naturelle) who guided us through specimens of MNHN collections in Paris.

## Bibliography

- Bertelsmeier, C. (2021). Globalization and the anthropogenic spread of invasive social insects. *Current Opinion in Insect Science*, Special Section on Pollinator decline: human and policy dimensions \* Social insects, 46, 16-23.
- Bertelsmeier, C., Blight, O. & Courchamp, F. (2016). Invasions of ants (Hymenoptera: Formicidae) in light of global climate change. *Myrmecological News*, 25-42.
- Blatrix, R., Colindre, L., Wegnez, P., Galkowski, C. & Colin, T. (2018). *Atlas des fourmis de Corse*. Éditions de l'Office de l'environnement de la Corse. Corte.
- Blight, O., Thomas, T., Jourdan, H., Bichaton, J.-Y., Colindre, L. & Galkowski, C. (2023). Detection and early impacts of France's first established population of the little fire ant, *Wasmannia auropunctata*. *Biol Invasions*.
- Burlando, M., Antonelli, M. & Ratto, C.F. (2008). Mesoscale wind climate analysis: identification of anemological regions and wind regimes. *International Journal of Climatology*, 28, 629-641.
- Delaugerre, M. & Brunstein, D. (1987). Observations sur la flore et la faune de plusieurs îlots du sud de la Corse (archipels des Lavezzi, des Cerbicale et côte sud-orientale). *Travaux scientifiques du parc naturel régional et des réserves naturelles de Corse*, 12, 1-17.
- Demetriou, J., Georgiadis, C., Koutsoukos, E., Borowiec, L. & Salata, S. (2023a). Alien ants (Hymenoptera, Formicidae) on a quest to conquer Greece: a review including an updated species checklist and guidance for future research. *NeoBiota*, 86, 81-122.
- Demetriou, J., Georgiadis, C., Martinou, A.F., Roy, H., Wetterer, J.K., Borowiec, L., *et al.* (2023b). Running rampant: the alien ants (Hymenoptera, Formicidae) of Cyprus. *NeoBiota*, 88, 17-73.
- EASIN. (2022). Commission implementing regulating (EU) 2022/1203. *Official Journal of the European Union*.
- Galkowski, C. (2016). Notes sur les fourmis de Guadeloupe (Hymenoptera, Formicidae). *Bulletin de la Société Linnéenne de Bordeaux*, 44, 25-36.
- Gómez, K. & Espadaler, X. (2006). Exotic ants (Hymenoptera: Formicidae) in the Balearic Islands. *Myrmecological News*, 8.
- Heinze, J. (2017). Life-history evolution in ants: the case of *Cardiocondyla*. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 284, 20161406.
- Heinze, J., Cremer, S., Eckl, N. & Schrempf, A. (2006). Stealthy invaders: the biology of *Cardiocondyla* tramp ants. *Insect. Soc.*, 53, 1-7.
- Lopez-Vaamonde, C., Glavendekić, M. & Paiva, M.R. (2010). Invaded habitats. Chapter 4. *BioRisk*, 4, 46-50.
- Menchetti, M., Schifani, E., Alicata, A., Cardador, L., Sbraga, E., Toro-Delgado, E., *et al.* (2023). The invasive ant *Solenopsis invicta* is established in Europe. *Current Biology*, 33, R896-R897.
- Menchetti, M., Schifani, E., Gentile, V. & Vila, R. (2022). The worrying arrival of the invasive Asian needle ant *Brachyponera chinensis* in Europe (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa*, 5115, 146-150.
- Obregón Romero, R. & Reyes López, J.L. (2012). Nuevas aportaciones sobre hormigas exóticas para Portugal continental (Hymenoptera: Formicidae). *Boletín de la Asociación Española de Entomología*, 36, 279-284.

- Paradis, G., Médail, F. & Petit, Y. (2020). Flore et végétation vasculaires des îles Porraggia Nord et Sperduto (Réserve naturelle des Bouches-de-Bonifacio, Corse du Sud), *Bulletin de la Société des sciences historiques et naturelles de la Corse*, 772-773, 97-124.
- Rabitsch, W. & Blight, O. (2021). The threat posed by alien ants to EU agriculture and the potential for phytosanitary measures to prevent importation. *Technical note prepared by IUCN for the European Commission*.
- Reyes-López, J.-L. & Espadaler, X. (2005). Tres nuevas especies foráneas de hormigas para la Península Ibérica (Hymenoptera, Formicidae). *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa*.
- Reyes-López, J.-L., Ordoñez-Urbano, C. & Carpintero, S. (2008). Relación actualizada de las hormigas alóctonas de Andalucía (Sur de España). *Boln. Asoc. esp. Ent.*, 32, 81-94.
- Salata, S. & Borowiec, L. (2018). Taxonomic and faunistic notes on Greek ants (Hymenoptera: Formicidae), *Annals of the Upper Silesian Museum in Bytom entomology*, 27, 1-51.
- Schifani, E. (2019). Exotic ants (Hymenoptera, Formicidae) invading Mediterranean Europe: a brief summary over about 200 years of documented introductions. *Sociobiology*, 66, 198-208.
- Schifani, E. & Alicata, A. (2018). Exploring the myrmecofauna of Sicily: thirty-two new ant species recorded, including six new to Italy and many new aliens (Hymenoptera, Formicidae). *Polish Journal of Entomology*, 87, 323-348.
- Schifani, E., Nalini, E., Gentile, V., Alamanni, F., Ancona, C., Caria, M., *et al.* (2021). Ants of Sardinia: an updated checklist based on new faunistic, morphological and biogeographical notes. *Redia*, 104, 21-35.
- Scupola, A. (2009). Le specie italiane del genere *Cardiocondyla*. *Boll. Soc. entomol. ital.*, 141, 187-190.
- Seifert, B. (2003). The ant genus *Cardiocondyla* (Insecta: Hymenoptera: Formicidae): a taxonomic revision of the *C. elegans*, *C. bulgarica*, *C. batesii*, *C. nuda*, *C. shuckardi*, *C. stambuloffii*, *C. wrough-tonii*, *C. emeryi*, and *C. minutior* species groups. *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien. Serie B für Botanik und Zoologie*, 104, 203-338.
- Seifert, B. (2023). A revision of the Palaearctic species of the ant genus *Cardiocondyla* Emery 1869 (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa*, 5274, 1-64.
- Seifert, B., Okita, I. & Heinze, J. (2017). A taxonomic revision of the *Cardiocondyla nuda* group (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa*, 4290, 324-356.
- Vogiatzakis, I.N., Mannion, A.M. & Sarris, D. (2016). Mediterranean island biodiversity and climate change: the last 10,000 years and the future. *Biodivers Conserv*, 25, 2597-2627.
- Wetterer, J. (2012). Worldwide spread of the Moorish sneaking ant, *Cardiocondyla mauritanica* (Hymenoptera: Formicidae). *Sociobiology*, 59, 985-997.
- Wong, M.K.L., Economo, E.P. & Guénard, B. (2023). The global spread and invasion capacities of alien ants. *Current Biology*, 33, 566-571.e3.



# First entomological inventory of Forest Cockroaches of Bouira Region (Northern Algeria)

## *Premier inventaire entomologique des blattes forestières de la région de Bouira (nord de l'Algérie)*

Siham BOUNADJI<sup>1,2\*</sup>, Saliha BENHISSEN<sup>1,3</sup>, Ferial Kheira KEBAILI<sup>4</sup>,  
Wafa HABBACHI<sup>3</sup>, Khellaf REBBAS<sup>1,5</sup>

1. Department of Natural and Life Sciences, Faculty of Sciences, University of M'sila, University Pole, Road Bourdj Bou Arreiridj, M'sila 28000, Algeria; saliha.benhissen@univ-msila.dz
2. Biodiversity and Biotechnological Techniques for the Valorization of Plant Resources (BTB-VRV) Mohamed Boudiaf University, M'Sila, 28000, Algeria; siham.bounadji@univ-msila.dz
3. Laboratory of Applied Neuroendocrinology, Department of Biology, Faculty of Sciences, University of Badji Mokhtar, Annaba, Algeria; habbachi.waffa@yahoo.fr
4. Environmental Research Center (CRE), Annaba 23000, Algeria; kebaifer.94@gmail.com
5. Laboratory of agro-biotechnology and nutrition in arid and semi-arid zones, Research team for the management of natural resources and the environment, Ibn Khaldoun Tiaret University; khellaf.rebbas@univ-msila.dz

\*Corresponding author: siham.bounadji@univ-msila.dz

### Abstract

Cockroaches play an important role in ecosystems. In natural environments, such as forests, they feed on organic matter, such as dead leaves and participate in their decomposition. In this work, we carried out an inventory of the cockroaches which live in the area of Bouira in Algeria, more precisely in the Fedj Dirrah pine forest and the El Meghnine pine forest in order to identify and quantify them. We also conducted a study of the natural habitat of forest cockroaches in these pine forests. The results demonstrated the presence of five species belonging to the Blattellidae family distributed over three genera; the species are: *Loboptera decipiens*, *Loboptera ovobolata*, *Dziriblatta stenoptera*, *Phyllodromica trivitatta* and *Capraiellus panzeri*. *Loboptera decipiens* is the most abundant species with a percentage of 58.78% and it is classified among the regular species (i.e. common).

The results obtained from the study of the natural habitat of forest cockroaches showed that organic matter, mineral matter and organic carbon are the principal ecological parameters indicating the presence and activity of the Blattellidae in these forests. Therefore, the results obtained indicate that this environment is rich in species (cockroaches), and that these environments are favorable to the survival of forest cockroaches.

### Résumé

Les blattes jouent un rôle important dans l'écosystème. Dans les milieux naturels comme les forêts, elles se nourrissent de matières, comme les feuilles mortes trouvées dans ces sols, et les décomposent. Dans ce travail, nous avons réalisé un inventaire des blattes qui vivent dans la région de Bouira en Algérie (pinède de Fedj Dirrah et

---

**Keywords:** entomological, pine forests, Bouira, Blattellidae, natural habitat.

---

**Mots-clés:** entomologique, pinèdes, Bouira, Blattellidae, habitat naturel.

*pinède d'El Meghaine) afin de les quantifier, de les identifier et de réaliser une étude écologique de cette région. Nous avons également mené une étude de l'habitat naturel des blattes forestières de ces forêts de pins. Les résultats ont démontré la présence de cinq espèces appartenant à la famille des Blattellidae réparties en trois genres; les espèces sont: Lobotera decipiens, Lobotera ovobata, Dziriblattella stenoptera, Phyllodromica trivitatta et Capraiellus panzeri. L'espèce L. decipiens est la plus abondante avec un pourcentage de 58,78 % et elle est classée parmi les espèces régulières (c'est-à-dire communes). Les résultats obtenus par l'étude de l'habitat naturel des blattes forestières montrent que la matière organique, la matière minérale et le carbone organique sont les principaux paramètres écologiques indiquant la présence et l'activité des blattes. Les résultats obtenus indiquent que ce milieu est riche en espèces (blattes) et que ces milieux sont favorables à la survie des blattes forestières.*

## Introduction

Forests are an important part of the terrestrial bio-economy (Jonsson *et al.* 2021) and provide habitats for plants, animals and micro-organisms (Fan *et al.*, 2016). Conversely, biodiversity promotes and guarantees the multi-functionality and stability of forest ecosystems (Aouissi *et al.* 2017; Shiyou *et al.* 2022).

Generally, forests in Algeria have long been used for wood production. On this basis, forests have been managed to obtain the maximum yield for a considerable period of time, which gives them economic value. All biotic or abiotic elements that intervene to reduce wood production are considered harmful and are eliminated. Currently, this restrictive perspective is gradually being abandoned, and a certain aspect of forest entomology is being developed. This aspect consists of studying the biology and ecology of all forest insects in particular and invertebrates in general, and searching for their role in the ecosystem (Merabet 2014; Deghiche-Diab *et al.* 2022).

Forest cockroaches are the best examples of forest litter insects. They often dwell in leaf litter, especially at the ground level. These insects feed on plant debris and help decompose dead leaves (Hedjouli 2022). The composition of cockroach fauna can vary from one region to another, depending on the habitat and many biotic and abiotic factors (Rust *et al.* 1995; Hedjouli 2022).

In general, faunistic studies in North Africa are fragmentary, lacking, or even unavailable (Aouissi *et al.* 2021; Farhi *et al.* 2022). In addition, the Blattoptera fauna in North Africa is not well known. In fact, few details or research is available on this group of insects in terms of both biodiversity and specific biology. From 1929 to 1943, Chopard described and identified Orthoptera fauna, including cockroaches in the Mediterranean basin. Few studies have been conducted on the inventory of forest cockroaches in Algeria. The most important studies were Habbachi (2013) on forest and urban cockroaches in the Northeastern regions of Algeria (Annaba, Guelma, SoukAhras, Biskra and El-oued), Masna *et al.* (2014) in the semi-arid regions of Laghouat, and finally the work of Masna (2016) in the Djelfa region. In addition, we can cite the study of Azoui (2017) in the region of Batna, and more recently Hedjouli (2022) on different ecosystems (Annaba, Taref, and Djelfa). In short, all of these studies focused on the eastern part of the country.

This study aimed to construct and broaden the comprehensive knowledge about the species of forest cockroaches of the north central part of Algeria, in the Bouira region, near Algiers. Additionally, this work described the natural habitat where these cockroaches were sampled.

## Material and methods

### Study area

The state of Bouira is located in the center of the country, 120km away from the capital Algiers (DPAT 2010). It covers an area of 4456.26km<sup>2</sup> representing 0.19% of the national territory. The study area is located at an altitude of 555m above sea level (36°22'15.98"N 03°54'05.63"E). It is bounded to the north by Tizi Ouzou, to the east by the state of Bordj Bou Arreridj, to the south by the state of M'sila and to the west by the states of Médéa and Blida (Figure 1).



## Presentation of the study sites

### Fedj Dirrah

The Fedj Dirrah forest is located in the south of Bouira. It is between 36° 06' 01" North and 3° 43' 41" East. The forest is located approximately 52km south from the center of the state. The average altitude is 1071m above sea level. The main plant species in the forest is Aleppo pine (*Pinus halepensis*) whereas the secondary species is Juniper (*Juniperus phoenicea*) (Figure 2).

### El Meghnine

The El Meghnine forest is located in the south of Bouira, between 36° 03' -27' North and 3° 55' -25' East. It is located approximately 57km south from the center of the state at an altitude of 1046 m above sea level. The main plant species in the forest is the Aleppo pine (*Pinus halepensis*) (Figure 3).

## Method of sampling and identification

To achieve the inventory, 12 trips were carried out at each study site (Fedj Dirrah and El Meghnine) over a 12 month-period from April 06, 2021 to March 09, 2022. In this study, a single person captured cockroaches periodically by lifting stones and digging litter for 2h in the morning (Figure 4). The collected individuals were placed in plastic tubes, filled with alcohol and taken to the laboratory for identification using the identification keys of Chopard (1943; 1951).

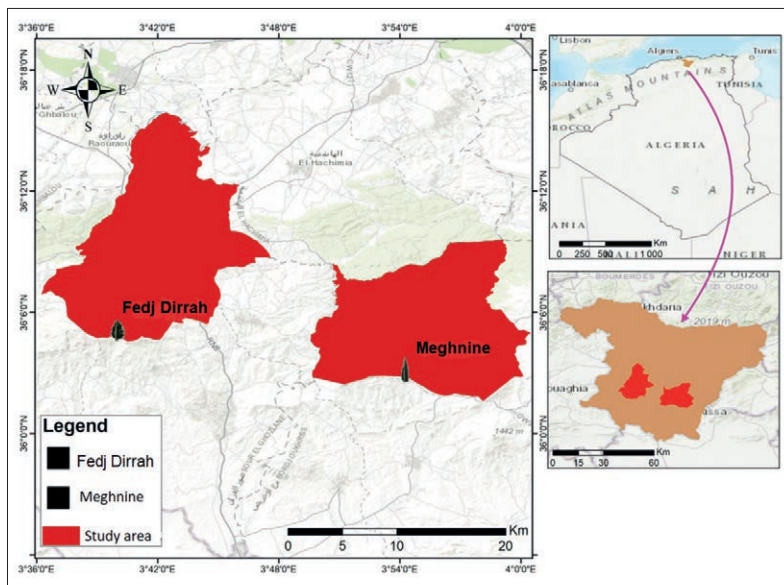


Figure 1 – Presentation of the study area (© S. Bounadji).



Figure 2 – The Fedj Dirrah forest (© S. Bounadji).

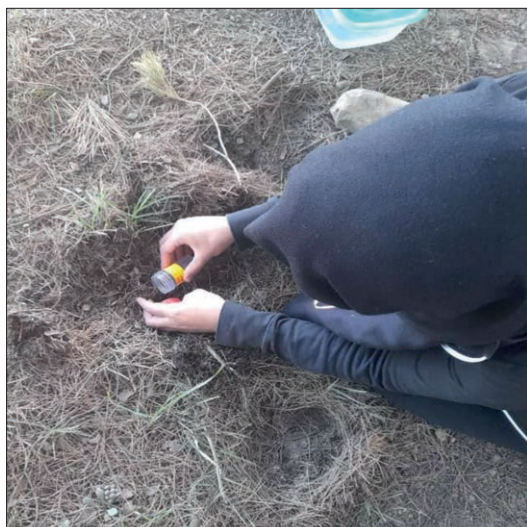


Figure 4 – Collecting cockroaches (© S. Bounadji).



Figure 3 – The El Meghnine forest (© S. Bounadji).

**Method for studying the natural habitat of forest cockroaches**

**SAMPLING METHOD**

Following Habbachi’s (2013) method, we proceeded with taking samples within six plots in each forest: three plots located inside the forest and three plots located on the edges of the forest (Border). At each plot, a sample of three layers of soil was taken: the first one is the upper layer which includes brown or yellow leaves mixed with twigs, the second is the middle layer which is more decomposed, and the third being, the lower layer which is in contact with the ground, more decomposed than the other two. These samples were taken on January 2022.

**LITTER PHYSICAL COMPOSITION**

The purpose of the physical separation of the litter is to determine the proportions of the following fractions: leaves (here, mainly pine needles), twigs and a last fraction called “miscellaneous” which brings together the different parts of the litter that are more decomposed and this in the different layers of litter from both sites (Habbachi 2013).

**LITTER CHEMICAL COMPOSITION**

Chemical analyzes were carried out on the litter by measuring the following parameters: Humidity (H), Organic Matter (OM), Mineral Matter (MM), Organic Carbon (OC), and pH (Habbachi 2013).

**Statistical Analyses**

Microsoft Excel (ver. 2019) was used to calculate ecological indices on cockroach composition: total richness (Blondel, 1975), relative abundance F (%) (Dajoz, 1971) and frequency of occurrence C (%) (Dajoz, 1982), as well as ecological structure: specific diversity H’ (Shannon and Weaver, 1949) and equitability (E) (Barbault, 1981).

Litter composition and chemistry were analyzed using a nonparametric approach with Aligned Ranks Transformation ANOVA (ART anova) (package ARTool). The factors were “location within the forest (inside/border)” + “layer (upper/middle/lower)”. These statistical analyses were performed using the R 4.2.2. statistical package (R Core Team 2022).

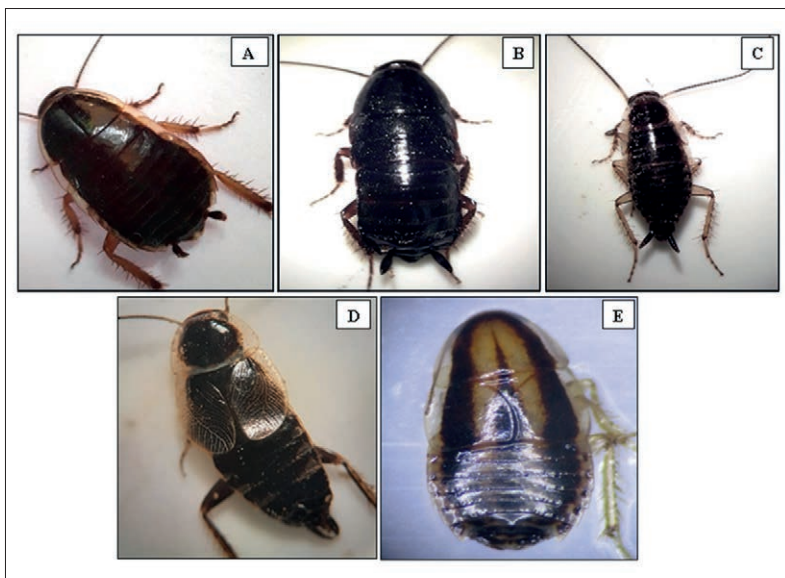


Figure 5 – A: *Lobopectera decipiens*, B: *Lobopectera ovobata*, C: *Dziriblattella stenoptera*, D: *Capraiellus panzeri*, E: *Phyllodromica trivittata*, using (Gy: ×0.7×5).

**Results**

**Species richness and abundance of forest cockroaches**

A total of 148 individuals were collected from the pine forests in Bouira. The specimens found all belong to the sub-family of Ectobiinae (order: Blattodea, family: Blattellidae) divided into four genus which are: *Lobopectera* (78%), *Dziriblattella* (1.35%), *Capraiellus* (0.67%) and *Phyllodromica* (19.59%) with the report of five species (Figure 5): *Lobopectera decipiens* (Germar) (60.13%), *Lobopectera ovobata* Bohn (17.87%), *Dziriblattella stenoptera* Bohn (1.35%), *Capraiellus panzeri* (Stephens) (= *Ectobius panzeri*) (0.67%), *Phyllodromica trivittata* (19.59%) (Figures 5 and 6).

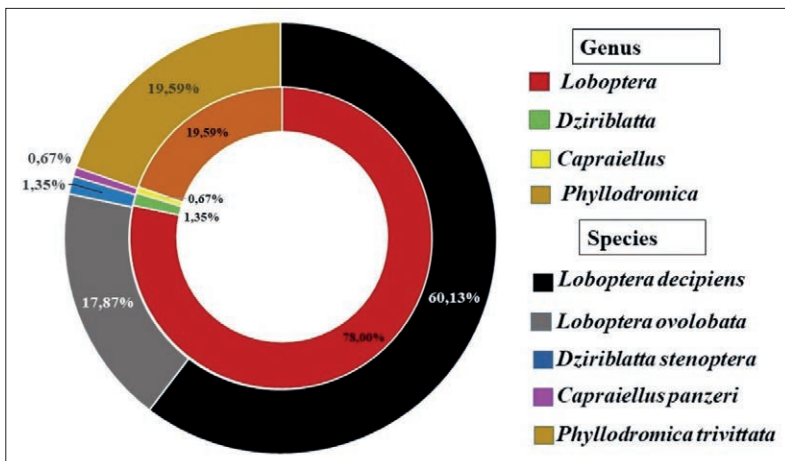


Figure 6 – Abundance of forest cockroach genus and species identified in the pine forests of the Bouira region.

### Distribution of forest cockroaches according to the season

The most dominant species was *L. decipiens*, in spring, followed by *P. trivittata* in summer, which decreased significantly in autumn. *Loboptera ovolobata* was present in spring, little in autumn, and completely absent in summer. Finally, *C. panzeri* was identified only once in summer (Figure 7).

### Number of forest cockroaches by cycle of development

During this study, harvesting cockroaches at various stages of development proved: young larvae, old larvae and adults. The old larvae were the most dominant for all the species found, followed by the adults, and lastly the young larvae and more specifically for the species *L. decipiens* (Figure 8).

### Ecological indices

#### Ecological indices of composition

The total richness of the pine forests of Bouira is characterized by the existence of five species (S=5) with an average richness of  $S_m = 0.42$  (Table 1) with five species was recorded in Fedj Dirrah forest and three species in El Meghnine forest.

In our two surveyed study sites, the genus *Loboptera* was the most abundant (58.78% *L. decipiens* and 18.24% *L. ovolobata*). This was followed by the genus *Phyllodromica*, which was represented by one species (20.95% *P. trivittata*). The genus *Dziriblatia* was represented by the species *D. stenoptera* at a rate of 1.35%. Finally, the genus *Capraiellus* was represented by the species *C. panzeri* at a rate of 0.67% (Table 2).

The results indicate that the species of *L. decipiens* takes regular category; according the two species of *L. ovolobata* and *P. trivittata* take an accessory category. Finally, *D. stenoptera* and *C. panzeri* take in an accidental category (Table 2).

During the study period, it was found that the two forests studied had a Shannon-Weaver index  $\approx 1.45$  bits, with an evenness that varies between 0.61 to 0.91, which indicates that these two forests are balanced. The concentration index was 0.47 and 0.38 for the Fedj Dirrah forest and the El Meghnine forest respectively (Table 3).

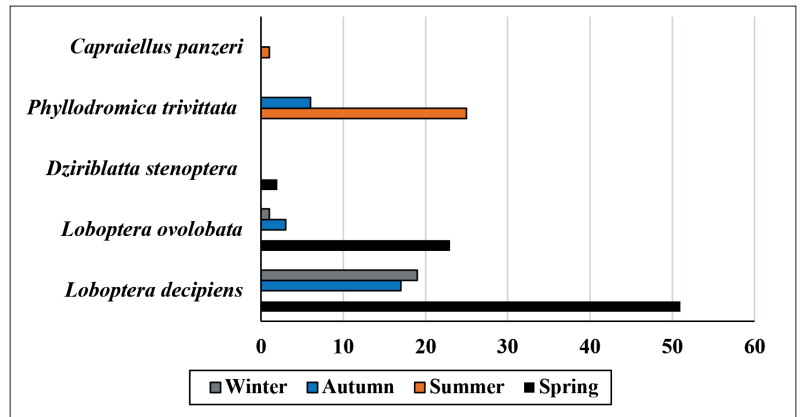


Figure 7 – Distribution of forest cockroaches inventoried according to the seasons (pine forests of the Bouira state).

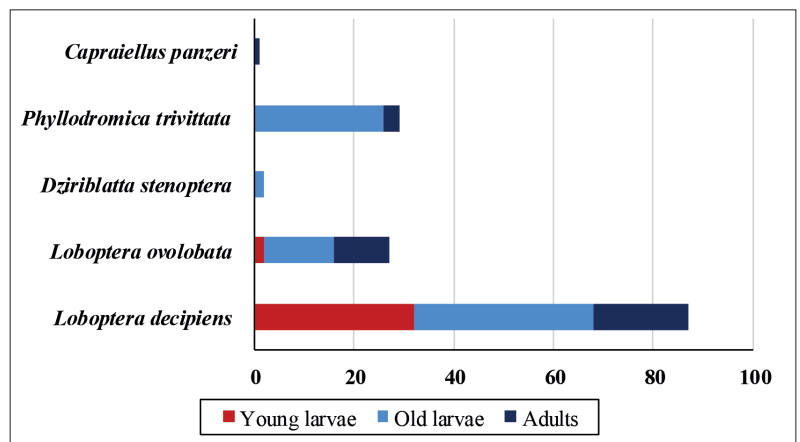


Figure 8 – Number of forest cockroaches by cycle of development in identified in the pine forests of the Bouira state.

Table 1 – Total and average richness of the pine forests of Bouira

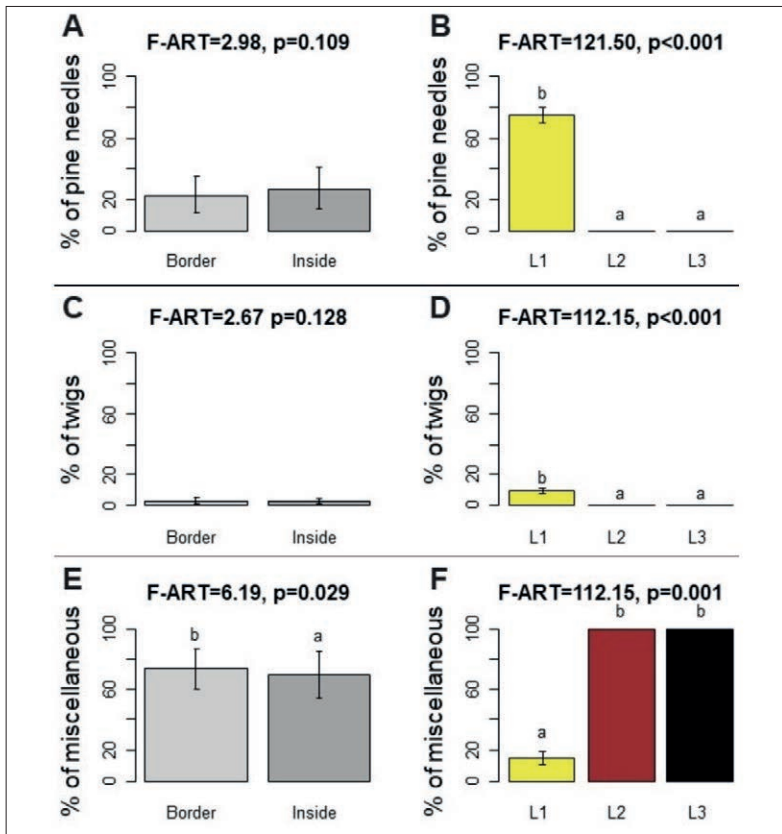
Region	Number of individuals	Total richness (S)	Average richness (S <sub>m</sub> ) / sampling trip
Pine forests of Bouira	148	5	0.42
Fedj Dirrah	99	5	0.41
El Meghnine	49	3	0.25

Table 2 – Ecological composition indices

Species	(F%)	Occurrence (C) (%)	Categories limit (%)	Categories
<i>Loboptera decipiens</i>	58.78	58.33	50 ≤ C ≤ 75	Regular
<i>Loboptera ovolobata</i>	18.24	25.00	25 ≤ C ≤ 50	Accessory
<i>Dziriblatia stenoptera</i>	1.35	8.33	5 ≤ C ≤ 25	Accidental
<i>Phyllodromica trivittata</i>	20.95	33.33	25 ≤ C ≤ 50	Accessory
<i>Capraiellus panzeri</i>	0.67	8.33	5 ≤ C ≤ 25	Accidental

Table 3 – The ecological indices of structure

	H'	H max	Equitability	Concentration	Diversity
Fedj Dirrah forest	1.43	2.33	0.61	0.47	0.53
El Meghnine forest	1.45	1.59	0.91	0.38	0.62



**Figure 9 – Composition of the litter at the Fedj Dirrah forest.**  
**A and B:** % pine needle. **C and D:** % of twigs. **E and F:** % of last fraction called “miscellaneous”.  
**A, C, E** compare plots located inside the forest and three plots located on the edges of the forest (Border). **B, D, F** compare litter layers (L1 = upper layer, L2 = middle layer, L3 = lower layer).

## Study of the natural habitat of forest cockroaches

### Physical separation

At the Fedj Dirrah site, the results recorded in Figure 9 show that in the six plots, the upper layer is essentially composed of needles (ca. 75%), while twigs and miscellaneous represent ca. 10% and 15% of the fraction respectively. The middle and lower layers present 100% of the “miscellaneous” fraction. There is no to little difference between plots located inside or on the border of the forests (slightly less of the miscellaneous fraction inside).

At El Meghne site, the physical separation of the litter shows that the pine needles represent approximately 71% of the external layer in the six plots studied. It is noted that in the middle and lower layer of this litter the quasi-total absence of pine needles, twigs and the miscellaneous fraction dominates these layers (Figure 10). Again, there is no to little difference between plots located inside or on the border of the forests (slightly less of the miscellaneous fraction inside).

## Physic-chemical analyzes of the litter

### Humidity

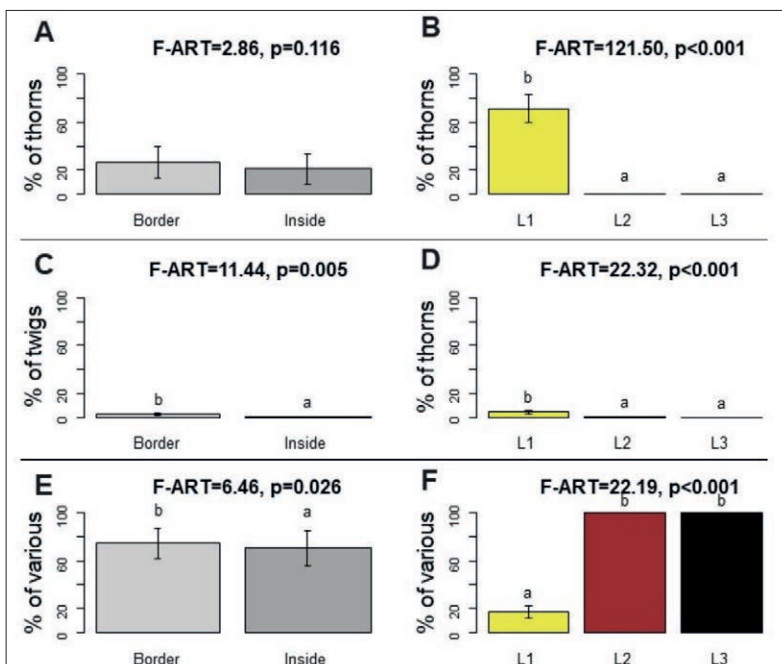
The quantity of water retained in the litter of *Pinus halepensis* of Fedj Dirrah is greater in the upper and middle layers than in the lower layer. The humidity is also higher in the border than inside the forest (Figure 11).

Regarding El Meghne, the water content is not significantly different between layers or between locations in the forest, although it is slightly higher in the upper layer and in the border of the forest (Figure 12).

### Organic matter and organic carbon

The organic matter and organic carbon contents of Fedj Dirrah litter significantly decrease with depth (Figure 11). There is no significant difference between location within the forest (Figure 11).

The organic matter and organic carbon contents of El Meghne litter is significantly higher in the upper layer compared to the two deeper layers (Figure 12). There are only very slight differences between location within the forest (Figure 12).



**Figure 10 – Composition of the litter at the El Meghne forest.**  
**A and B:** % pine needle. **C and D:** % of twigs. **E and F:** % of last fraction called “miscellaneous”.  
**A, C, E** compare plots located inside the forest and three plots located on the edges of the forest (Border). **B, D, F** compare litter layers (L1 = upper layer, L2 = middle layer, L3 = lower layer).

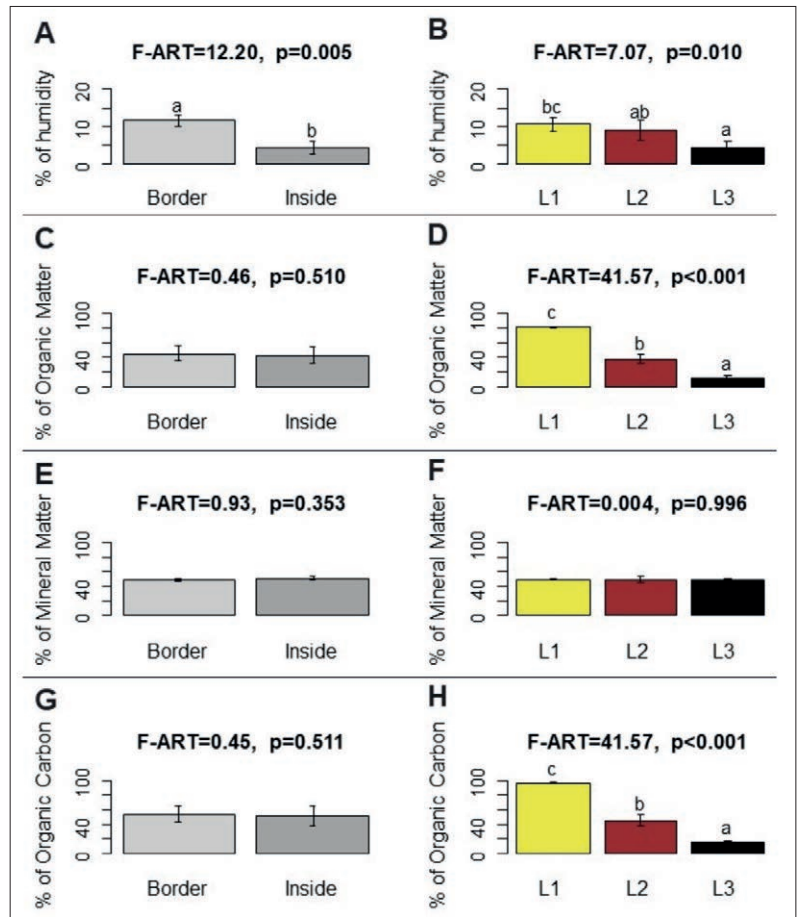
Mineral matter

The amount of mineral matter in the Fedj Dirrah site litter is similar between layers and reaches about 50%. These results are similar for the El Meghnine site (Figure 11).

pH

Based on the results obtained in Table 3, we note that the pH of the Aleppo pine litter in the Fedj Dirrah and El Meghnine sites is generally neutral. At Fedj Dirrah the pH is higher in the third layer and represents 8.5, for El Meghnine it is 8.4 (Table 3).

**Figure 11 – Physic-chemical analyses of the litter of Fedj Dirrah forest.**  
**A and B:** % of humidity. **C and D:** % of Organic Matter. **E and F:** % of Mineral Matter. **G and H:** % of Organic Carbon. **A, C, E, G** compare plots located inside the forest and three plots located on the edges of the forest (Border). **B, D, F, H** compare litter layers (L1 = upper layer, L2 = middle layer, L3 = lower layer).



**Figure 12 – Physic-chemical analyses of the litter of El Meghnine forest.**  
**A and B:** % of humidity. **C and D:** % of Organic Matter. **E and F:** % of Mineral Matter. **G and H:** % of Organic Carbon. **A, C, E, G** compare plots located inside the forest and three plots located on the edges of the forest (Border). **B, D, F, H** compare litter layers (L1 = upper layer, L2 = middle layer, L3 = lower layer).

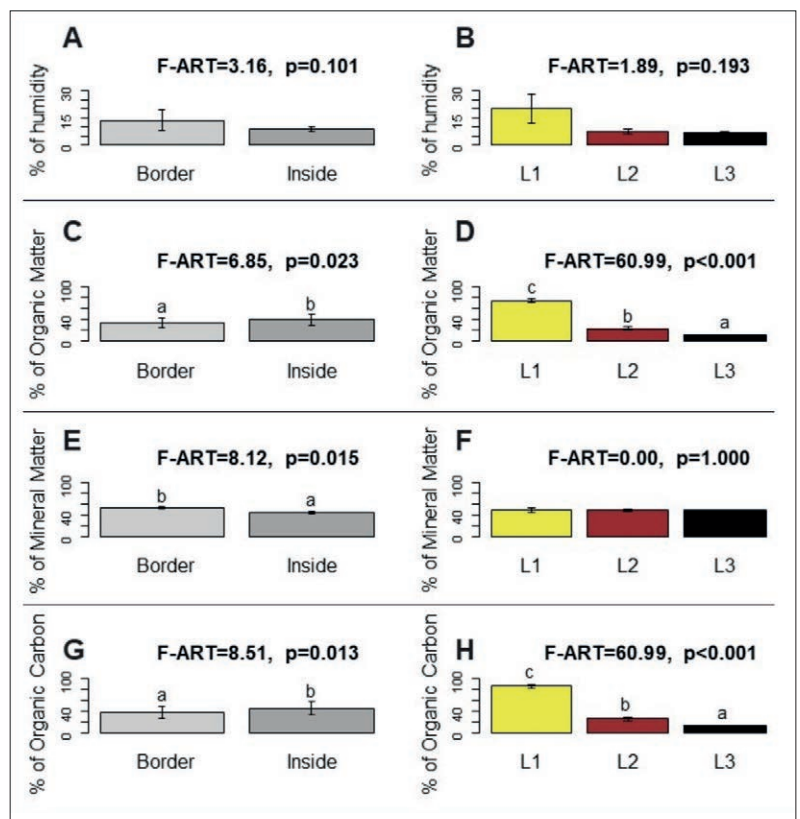


Table 3 – pH measurement for study sites

Parcels	Layers	Fedj Dirrah		El Meghaine	
		Interior	Border	Interior	Border
P1	L1	7.11	7.52	6.73	7.22
	L2	6.57	7.98	7.10	6.75
	L3	8.35	8.30	8.27	7.66
P2	L1	6.12	7.42	7.30	6.66
	L2	8.18	8.20	7.27	7.81
	L3	8.19	8.50	8.00	6.30
P3	L1	6.71	8.00	7.18	7.00
	L2	8.25	7.93	7.24	8.40
	L3	8.00	8.00	7.50	7.20

## Discussion

Forest cockroaches are always found in environments where there is vegetation; there are many indications available on the biology of these arthropods in their natural environment specifically at the level of the Mediterranean basin. Chopard (1951) listed more than 54 species of cockroaches there, including 46 forest species (Habbachi 2013). The lack of information concerning species living in Algeria and the importance of cockroaches has led us to make an inventory of the most common species that can be found in two forests.

The analysis of the results of cockroach sampling during the sampling period (from April 2021 until March 2022) in the two surveyed sites, shows the existence of a total richness of five species. They are *L. decipiens*, *L. ovolobata*, *D. stenoptera*, *P. trivittata* and *C. panzeri*. *L. decipiens* is the most abundant species. *C. panzeri* was reported for the first time in Algeria, the others are already reported in different regions of Algeria, in the coastal region of Annaba by Habbachi (2013) and Hedjouli (2022), in the region of Djelfa by Masna (2016) and in the region of Batna by Azoui (2017).

*Loboptera* (Brunner, 1865) is a cosmopolitan genus. It is best known in the Mediterranean Basin, including Northern Africa (Chopard, 1943) and Algeria. *Loboptera* lives among dead leaves, under stones and in slightly humid regions. In our case, it is represented by two species: *L. decipiens* and *L. ovolobata*, which are present in the two surveyed sites. *Loboptera decipiens* was found with an abundance of 58.78% in our study; it is a cockroach native to the Mediterranean basin. It belongs in the Blattellidae family and the Blattellinae

subfamily. It is a small species, about 8 to 10mm in size, with a shiny black body and with a yellowish or white band on the sides. The legs are reddish brown. The elytra are thin and lateral with a rounded top. The abdomen is enlarged in the middle. The sub-genital plate is transverse in males and in females is often triangular in shape (Chopard, 1943). Chopard (1951) reports it in Southern Europe, North Africa and Asia, Morocco, Algeria and Tunisia. *Loboptera ovolobata* (Bohn, 1991) was found it with an abundance of 18.24% in our study. It is a species belonging to the subfamily Blattellinae, which has common characteristics with *L. decipiens*. A shiny black body and a size of 10 to 12mm with short elytra characterize it. Additionally, it lacks the yellowish or white band on the sides that are found in *L. decipiens*. *Loboptera ovolobata* was reported in Algeria in the region of Djelfa by Masna (2016) and Hedjouli (2022) in different ecosystems (Annaba, El Taref and Djelfa in 2022).

The genus *Dziriblatia* (Chopard, 1937), is characterized by small-sized species with a range of North African origin, it is indicated on several countries as Spain, Portugal, Morocco, Algeria and Tunisia (Chopard, 1943), the coloration in males and females of *Dziriblatia* in some cases is different, the elytra are lateral lobe-shaped in females and short in males. Their sexual dimorphism is very remarkable (Chopard, 1951). In our case, it is represented by one species *D. stenoptera* (Chopard, 1936), which was found with an abundance of 1.35% of our study area. It measures between 6 and 7mm. The male is characterized by a straw-colored head, slightly darker antennae; straw-colored legs; thoracic center is straw-colored, with only scattered dark spots, abdominal tergites with dark, shallow markings, dark abdominal sternites, with broad straw-colored lateral margins. The female of *D. stenoptera* can have the same color as the male, but can be of a much darker coloring on the head, thorax and abdomen (Chopard, 1936; Bohn, 2020). This species was reported in Algeria in the region of Djelfa by Masna (2016), in Batna by Azoui (2017), and in Annaba by Hedjouli (2022).

*Phyllodromica* (Rehn, 1903) is a genus of Mediterranean origin with a distribution over Europe, Asia and Africa in its northern part (Princis, 1971). Their species are characterized by shortened forewings, reaching no further than the end of the second abdominal segment, broadly rounded (mainly in males) transversely (mainly in females), hindwings

rudimentary. Spaces inter-nervous with scattered dark spots, merging in some species with longitudinal stripes or a larger basal spot (Bohn, 1992). In our case, it is represented by one species *P. trivittata*. *Phyllodromica trivittata* (Seville, 1839) was found with an abundance of 20.95% in our study, it is one of the two species of *Phyllodromica* collected that is quite rare in general. It is yellowish, shiny, with three brown longitudinal bands on the pronotum, the elytra and the abdomen; the two wide side bands meet in front. The head of *P. trivittata* is yellow with a brown band between the antennae. The elytra of the male are almost rectangular, elongated, do not reach the end of the abdomen while those of the female are short, truncated and do not exceed the second abdominal segment. The size of the male is 5.5mm and the elytra 3.5mm, while the female is of a size that varies between 6 and 7 MM and the elytra of 2mm (Chopard, 1943). This species was reported in Algeria in the region of Djelfa and Laghouat by Masna (2016) and in Batna by Azoui (2017).

The genus *Capraiellus* is reported for the first time in Algeria. In our case, it is represented by one species *C. panzeri*. With this study, this species is reported for the first time in Algeria in the region of Bouira with an abundance of 0.67%. The species is small with an elongated shape, grayish, brown head with a very clear yellow band between the eyes, brown body and legs, and short elytra. The male of this species is grayer in color with darker legs (Chopard, 1951).

Litter is an important factor due to its influence on distribution of soil and litter arthropods (Kumssa *et al.*, 2004; Medianero *et al.*, 2007; Arul, 2013). It plays several essential roles for macro-arthropods in forest ecosystems: it represents a food source (Ruan *et al.*, 2005), intervenes in the regulation of microclimatic conditions at the soil surface (Ober & DeGroot, 2014), its thickness influences the abundance and vertical distribution of arthropods and hypogeal fauna (Bultman & Uetz, 1984).

In all the layers of the litter, the humidity rate is less than 20%, which shows a low water retention capacity. The pH is relatively neutral in the sites, which explains the proliferation of cockroaches.

The amount of organic carbon in the forest floor depends largely on the quantity and quality of litter produced by forest vegetation (Anderson, 1991; Van Cleve & Powers, 1995; Masna, 2016). The diversity and quantity of

organic matter present in the soil are also factors that determine the activity and diversity of insects (Burghouts *et al.*, 1992). The first two layers of the litter of the studied sites are rich in organic matter and organic carbon.

Organic matter and mineral matter are essential for the proper functioning and sustainability of forest ecosystems. They are food for soil living organisms and micro-organisms. A soil rich in organic matter and mineral matter promotes biodiversity (Mousset 2014).

As stated previously, given the lack of studies on forest cockroaches, despite their ecological importance, we conducted this study in order to fill in an important lack of data on the biodiversity of the region, but more studies are necessary to cover more ecosystems in the region.

## Conclusion

In this study, the inventory of cockroaches in the region of Bouira, Algeria, was carried out for the first time. The inventory was realized in two Aleppo pine forests from April 2021 to March 2022. Five species that belong to the family Blattellidae were found, *L. decipiens*, *L. ovolobata*, *D. stenoptera*, *P. trivittata*, *C. panzeri* respectively. The species *C. panzeri* was reported for the first time in Algeria in the region of Bouira. In our period of study, the species of *L. decipiens* was the most abundant, it presented with 60.13%. Also, based on the results obtained from the ecological indices of structure. According to the results obtained by the study of the natural habitat of these cockroaches of these two pine forests, we were able to say that these two sites are concerned as environments favorable to the survival of cockroaches. We conclude that our forests are diversified and well balanced. However, further studies are needed to continue the inventory of forest cockroaches in other unexplored forest plots in the Bouira region and other regions to identify the maximum number of species that exist in our country.

## Acknowledgements

Many thanks are addressed to all the colleagues and reviewers who helped with comments and/or advices.

## References

- Aouissi, H. A., Gasparini, J., Belabed, A. I. & Bouslama, Z. (2017). Impact of greenspaces in city on avian species richness and abundance in Northern Africa. *Comptes Rendus Biologies*. 340(8), 394-400. <https://doi.org/10.1016/j.crvi.2017.07.002>
- Aouissi, H.A., Ababsa, M., Gaagai, A. *et al.* (2021). Does melanin-based plumage coloration reflect health status of free-living birds in urban environments? *Avian Res.* 12. <https://doi.org/10.1186/s40657-021-00280-7>
- Azoui, I. (2017). *Inventory of urban and forest blattopteran fauna in the Batna region with characterization of the main species of interest and control trials*. PhD thesis, University of Batna 2.
- Barbault, R. (1981). *Ecology of population and settlements*. Masson, Paris, 200 p.
- Beccaloni, G. W. & Eggleton, P. (2011). Order Blattodea Brunner von Wattenwyl, 1882. In: Zhang, Z.-Q. (ed.) *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*. *Zootaxa*, 3148(1), 199-200.
- Blondel, J. (1975). Analysis of bird populations. Element of an ecological diagnosis. The sampling method progressive frequency (S.P.E), *Rev. Ecol. Earth Lif.* 29(4), 533-589.
- Bohn, H. (1991). Revision of the *Loboptera* species of Morocco (Blattaria: Blattellidae: Blattellinae). *Insect Systematics and Evolution*. 22(3), 251-295.
- Bohn, H. (1992). "Revision of the baetica-group of *Phyllodromica* in Spain (Blattaria: Blattellidae: Ectobiinae)." *Insect Systematics and Evolution*, 23.3, 319-345.
- Bohn, H. (2020). Revision of the genus *Dziriblatta* Chopard, 1936 (Blattodea, Ectobiidae, Ectobiinae). II. The species of the subgenera *Pauciscleroblatta* and *Monoscleroblatta*. *Zootaxa*. 4728(3). [zootaxa-4728 <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4728.3.1>](https://doi.org/10.11646/zootaxa.4728.3.1)
- Brunner, V.W. (1865). *Nouveau Système des blattaires*. Forgotten Books, London, 448 p.
- Chopard, L. (1943). *Orthopteroids of North Africa (I. Fauna of French Empire)*. Larose, Paris.
- Chopard, L. (1951). *Orthopteroids. Fauna of France*. Volume 56. Lechevalier, Paris.
- Chopard, L. (1936). The Blattides (Orth.) of the Hololampra group living in Algeria. *Bulletin of the Natural History Society of North Africa*. 27, 55-65.
- Chopard, L. (1937). *Les Dermaptères et orthoptères de Madère*, 20 p.
- Cochran, D. G. (2009). Blattodea: (cockroaches). In: *Encyclopedia of insects*. Academic Press, London, 108-112.
- Dajoz, R. (1971). *Precision of ecology*. Dunod, Paris, 434 p.
- Dajoz, R. (1982). *Precision of ecology*. Gauthier Villard., Paris, 503 p.
- D.P.A.T. (2010). The Department of Planning and Regional Development of the wilaya of Bouira. <http://www.wilaya-bouira.dz>
- Deghiche-Diab, N., Aouissi, H. A. & Deghiche, T. (2022). First record of the sawfly *Athalia cornubiae* Benson, 1931 (Hymenoptera: Tenthredinidae) in the oasis of Ziban (Algerian Sahara). *African Journal of Ecology*. 60(4), 1297-1300. <https://doi.org/10.1111/aje.13067>
- Fan, Y.L., Hu, N., Ding, S.Y., Liang, G. & Lu, X. (2016). Progress in terrestrial ecosystem services and biodiversity. *Acta Ecol. Sin.* 36, 4583-4593.
- Farhi, Y., Aouissi, H. A., Merdas, S., Fadlaoui, H. & Merzouki, Y. (2022). First breeding data of the barn swallow (*Hirundo rustica*) in the northern Algerian Sahara (Biskra region). *African Journal of Ecology*. 60(4), 1283-1286. <https://doi.org/10.1111/aje.13060>
- Habbachi, W. (2013). *Study of Blattellidae (Dictyoptera): toxicological tests, synergy and resistance to insecticides and bio-pesticides*. Doctoral thesis, University of Annaba (Algeria).
- Hedjouli, Z. (2022). *Abundance and distribution of cockroaches in the different Algerian ecosystems: Inventory, integrated pest management and behavior*. Doctoral thesis, University of Annaba (Algeria).
- Jonsson, R., Rinaldi, F., Pilli, R., Fiorese, G., Hurmekoski, E., Cazzaniga, N., Robert, N. & Camia, A. (2021). Boosting the EU Forest-Based Bioeconomy: Market, Climate, and Employment Impacts. *Technol. Forecast. Soc.* 163, 120478. <http://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120478>
- Latorre, A., Domínguez-Santos, R., García-Ferris, C. & Gil, R. (2022). Of Cockroaches and Symbionts: Recent Advances in the Characterization of the Relationship between *Blattella germanica* and Its Dual Symbiotic System. *Life*. 12(2), 290. <https://doi.org/10.3390/life12020290>
- Masna, F. (2016). *Inventory of urban and forest Blattoptera fauna in the arid region of Laghouat. Characterization of the main harmful species and control trials*. PhD thesis, University of Annaba (Algeria), 153 p.
- Mori, A.S., Isbell, F., Fujii, S., Makoto, K., Matsuoka, S. & Osono, T. (2016). Low multifunctional redundancy of soil fungal diversity at multiple scales. *Ecol. Lett.* 19, 249-259. <http://doi.org/10.1111/ele.12560>
- Princis, K. (1971). Pars 14: Blattariae: Subordo Epilamproidea. Fam. Ectobiidae. In: Beier M. & Junk W. (eds), *Orthopterorum catalogus*. s-Gravenhage, 1039-1224.
- Quezel, P. & Santa, S. (1963). *New flora of Algeria and southern desert regions*. Volume 2. CNRS, Paris.
- R Core Team (2022). R: *A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>
- Rehn, J.A.G. (1903). A Contribution to the Knowledge of the Orthoptera of Mexico and Central America. *Transactions of the American Entomological Society*. 29(1), 17.
- Rust, M. K., Owens, J. M. & Reiersen, D. A. (1995). *Understanding and Controlling the German Cockroach*. Oxford University Press, New York Oxford, 430 p.
- Serville, J.G.A. (1839). *Histoire naturelle des insectes orthoptères*. Collection des suites a Buffon, Paris, xvii, 776 p.
- Shiyu, C., Chen, S., Chen, J., Jiang, C., Yao, R.T., Xue, J., Bai, Y., Wang, H., Jiang, C., Wang, S., Zhong, Y. *et al.* (2022). Trends in Research on Forest Ecosystem Services in the Most Recent 20 Years: A Bibliometric Analysis. *Forests*. 13, 1087. <http://doi.org/10.3390/f13071087>



# Application de l'outil de management intégré IMET pour évaluer l'efficacité de la gestion des zones humides

## Cas de l'embouchure de la Moulouya au nord-est du Maroc

### *Application of the IMET, Integrated Management Effectiveness Tool, to evaluate the effectiveness of wetland management Case of Moulouya estuary in northeast Morocco*

Toufik OUAGGA<sup>1\*</sup>, Carlo PAOLINI<sup>2</sup>, Paolo ROGGERI<sup>3</sup>, Nargis SAHIB<sup>1\*</sup>

1. Laboratoire d'amélioration des productions agricoles, biotechnologie & environnement (LAPABE), Faculté des Sciences, Université Mohammed Premier, BP: 717, 60000, Oujda, Maroc

2. Observatoire des aires protégées et de la biodiversité (BIOPAMA-COMIT), Italy

3. Centre commun de recherche, Commission européenne, Ispra, Italy

\*Auteurs correspondants: t.ouagga@ump.ac.ma; n.sahib@ump.ac.ma

Received: 3 March, 2024; First decision: 8 April, 2024; Revised: 12 May, 2024; Second decision: 8 June, 2024; Revised: 28 June, 2024; Accepted: 29 June, 2024.

#### Résumé

L'évaluation de l'efficacité de la gestion des aires protégées est une composante vitale pour leur gestion réactive, adaptative et proactive. La gestion de la zone humide de l'embouchure de la Moulouya présente une complexité notable. En effet, ce Site d'intérêt biologique et écologique (SIBE) s'étend sur deux provinces, Nador et Berkane, ce qui entrave la coordination efficace entre les organismes responsables, situation déplorée par de nombreux acteurs qui regrettent le manque de coordination dans la gestion. L'évaluation de l'efficacité de gestion du SIBE de l'embouchure de la Moulouya a été réalisée en utilisant un nouvel outil d'évaluation dénommé IMET (Integrated Management Effectiveness Tool). L'examen des résultats de l'évaluation révèle que tous les éléments du cycle de gestion de l'aire protégée se situent en deçà de la moyenne,

établie à 50 % selon l'outil IMET. Le score global de l'analyse s'établit à seulement 33,1 %, démontrant ainsi une performance globalement faible. Les éléments les moins performants sont les processus (25,7), les intrants (27,5) et les effets/impacts (28,9). Le contexte de gestion (42,1), la planification (38,2) et les résultats (36,1) affichent des scores légèrement plus élevés. Malgré son importance et la valeur de ses écosystèmes, le SIBE ne présente pas une efficacité optimale en matière de fonctionnement et de mise en œuvre des actions de conservation. Car il fait face à plusieurs défis, similaires à ceux rencontrés dans d'autres sites d'Afrique centrale évalués avec le même outil. L'application de l'outil IMET au niveau du SIBE de l'embouchure de la Moulouya a permis d'évaluer d'une manière approfondie l'efficacité de la gestion d'un autre type d'aire protégée, située dans une écorégion différente. Les résultats du présent travail prouvent que l'outil IMET peut donc être utilisé indépendamment de la région géographique, du pays, de la typologie, de l'écorégion, de la catégorie de gestion et l'de a désignation internationale du site.

**Mots-clés:** SIBE, aire protégée, cycle de gestion, zone humide, embouchure de la Moulouya.

## Abstract

The assessment of protected area management effectiveness is crucial for their reactive, adaptive, and proactive management. In northeast Morocco, the governance system in the Moulouya River wetland complex is complicated. The Site of Biological and Ecological Interest (SIBE) covers two provinces, Nador and Berkane, which hampers effective coordination between the responsible bodies, a situation deplored by many actors who regret the lack of coordination in management. The evaluation of the management effectiveness of the SIBE of the Moulouya Estuary was carried out using a new evaluation tool called "Integrated Management Effectiveness Tool" (IMET). A review of the evaluation results indicates that all elements of the protected area management cycle are below the 50% IMET average. The overall score of the analysis is only 33.1%, demonstrating an overall low performance. The worst performers are processes (25.7), inputs (27.5) and effects/impacts (28.9). The management context (42.1), planning (38.2) and results (36.1) show slightly higher scores. While confirming the values and importance, the SIBE does not ensure adequate efficiency in the operation and implementation of activities. The evaluation revealed that the SIBE of Moulouya Estuary faces several major challenges similar to other sites assessed by the same tool at the level of Central Africa. Indeed, the use of the IMET tool allowed a thorough assessment of the effectiveness of management in another type of protected area and in another ecoregion, which validates the work of Bialowolski *et al.* (2023). The IMET tool can therefore be used regardless of geographic region, country, typology, ecoregion, management category and international designation.

## Abridged version

### Introduction

The Site of Biological and Ecological Interest (SIBE) of the Moulouya Estuary has been included on the Ramsar list of Important International Wetlands since 2005 (Ramsar List 2023). The Wetland complex embodies five systems: marine, estuarine, lake, fluvial and palustrine, in addition to the coastal dunes. It is an extensive estuary and floodplain complex of the largest Moroccan river. The marshy complex downstream of the Moulouya River is the largest Mediterranean estuary. The SIBE covers a land area of 4.500 hectares (Triplet *et al.* 2010), with a proposed protected marine area covering 2.600 hectares (figure 1,

figure 2). The SIBE provides several ecological functions, including absorbing river floods and providing a site for the migration of rare or threatened fish species in Morocco. It is also a vital habitat for various species of birds and fish of global significance, including *Alosa fallax*, *Anguilla anguilla*, *Chthyaetus audouinii* and *Marmaronetta angustirostris*. Despite numerous studies and projects, the SIBE continues to be degraded, and habitat loss is on the rise (Arrach 2014). Thus, there is a need for an updated planning and monitoring-evaluation mechanism that aligns with new standards for managing protected areas. With this objective, we evaluate the effectiveness of the Integrated Management Effectiveness Tool (IMET) (Paolini *et al.* 2016), as a Decision Support System (DSS) in the context of the planning and management of the protected area of the Moulouya Estuary, to gather crucial information to identify areas for improvement in the management of this SIBE. Also, we contribute to confirm the versatility of the IMET tool and its relevance in all protected areas, regardless of geographic region, country, typology, ecoregion, management category and international designation.

### Methods

The IMET (Bialowolski *et al.* 2023) was used to evaluate the management effectiveness of the Moulouya SIBE, it is an integrated tool designed to support the planning, monitoring, and evaluation of protected areas as part of the Biodiversity and Protected Area Management Program (BIOPAMA). Its purpose is to improve the management of protected areas and the achievement of conservation objectives by providing decision-makers with relevant information (Paolini *et al.* 2016; Paolini & Rakotobe 2022). IMET is structured into three modules: i) the Context of Intervention, ii) Management Evaluation, and iii) the Analysis Report (Bialowolski *et al.* 2023). IMET principally utilizes scores normalized to the <0; 100> range in order to evaluate the standing of a protected area, where 0 represents the worst possible conditions and 100 the best possible conditions. Thus, the comparison of management effectiveness scores is possible either for a single protected area over time – capturing even slow evolution – or between multiple sites, to scale-up assessments at a "system level" (ecosystem, conservation landscape, transboundary PAs, national, or regional) (Bialowolski *et al.* 2023).

---

**Keywords:** SIBE, protected area, management cycle, wetland, Moulouya Estuary.

## Results

### Management context

Overall, the management context of the SIBE appears to be below average with a score of 42.1 (figure 3). The evaluation indicates that various aspects of the management context, including designations, key species, ecosystem services, and the value and significance of the site, all received scores lower than average. The management context assesses the assets of the site in terms of natural and cultural values, designation, and their integration into management, as well as the pressures and threats. However, the support from authorities and institutions such as municipalities and the state is also below average. Moreover, the site is facing numerous pressures and threats, such as negative impacts on biodiversity from tourist and recreational areas (-90.67), changes to the system due to the construction of two dams upstream of Moulouya River (-72.67), which act as barriers to fish migration and reproduction and flood bird nesting sites during high water periods, and itinerant agriculture (-63), which involves clearing the SIBE land for local agriculture (Biotope 2016).

### Planning

The overall score achieved is less than satisfactory (38.2). Upon further scrutiny of the SIBE's layout and setup, it was found that there is no documentation concerning its establishment. Moreover, the present Development and Management Plan fails to explicitly state the conservation aims of the crucial components. The SIBE's shape index is low (2.53), indicating that its size, shape, and design are not appropriate for protecting species, habitats, and other valuable assets, therefore endangering the maintenance of natural processes. Although there is an existing management strategy, we found that it is not adequately put into action and the annual work plan lacks a budget.

### Inputs

The Inputs indicator has a score of 27.5 which is below the average. The low percentage is related to the low adequacy of the current budget (12.5). The rate concerns the state budget over the year 2020, which is considered low and remains constant despite the size of the protected area (4.500ha) and the real needs in infrastructure and equipment.

### Process

The indicator syntheses and the SIBE context of management process indicators show a weakness in the management cycle with a score of 25.7, below the average. The latter is explained by the low score of the index of the system for monitoring values and aspects of importance of the protected area and of research and biomonitoring (0 for both). Indeed, the SIBE has insufficient staff. It is for this reason that activities are focused on monitoring to protect specific species. Ecoguards do not control the entire site. The means of operation are lacking. It should be noted that even the legal texts that exist are not fully applied. The communities are weakly involved in the management of the site. Biomonitoring and research are still at a very low level.

### Outputs

The weakness of this element of the management cycle with 36.1 is mainly explained by the low level of achievement of results and the weakness of the monitoring of the protected area. The level of implementation of the work plan is satisfactory at 83.3. The work plan is developed according to the means available and not to needs or conservation objectives.

### Outcomes (Effects/Impacts)

The ratio effects/impacts (28.9) is low. The achievement of conservation objectives, which has a very low score, shows that the objectives set in the management plan were too ambitious and poorly formulated. These conservation objectives have also been negatively impacted by climate change, nuisances and threats. These elements were not taken into account in the management plan, which explains the very low percentage of 14.8 for the achievement of these objectives.

## Discussion

The management of protected areas often faces major challenges. Indeed, the tools currently used to assess their effectiveness do not adequately meet the needs of management, both locally and nationally (Boucher *et al.* 2013; Abdulaziz *et al.* 2015). Insufficient information and data in many protected areas require thorough, structured and comprehensive assessments to better understand complex management issues

(Proces *et al.* 2021). Several Central African countries used the IMET tool to assess the management effectiveness of their PAs. In 2021, Burundi evaluated all of its PAs (14 PAs) using this tool in order to measure the effects and impacts induced by the various interventions carried out (Nzigiyimpa *et al.* 2022). For the same purpose, other countries in Central Africa have carried out the evaluation of some PAs using the IMET tool. The Democratic Republic of Congo (DRC) on two PAs (Nkono 2018; ICCN 2020) and Senegal on the Marine Protected Area (MPA) of Saint-Louis (DAMCP 2020). According to Zabiti Kandolo *et al.* (2022), the IMET tool would contribute to the better management of protected areas in the DRC. Compared to the results obtained at the level of seventeen PAs evaluated by the IMET tool (Table 1), the results of the effectiveness of the management of the wetland complex of the Moulouya Estuary in northeastern Morocco roughly resemble three PAs of Burundi (Gisagara, Makamba and Malagarazi). Examination of the results reveals that all aspects of the management cycle of these PAs are below average, thus explaining the relatively low overall score of the analysis, which is 33.1 for the Moulouya Estuary, 26.58 for the protected landscape of Gisagara, 22.65 for the protected landscapes of Makamba and 15.62 for the Malagarazi Nature Reserve (Table 1). Other PAs in Central Africa (10) also have relatively low overall analysis scores, but they do not necessarily have all components of the management cycle above average. On the other hand, only four PAs have relatively good scores (above average) compared to the seventeen cases using the IMET tool in Central Africa (Table 9). Compared to our case study, the lowest scores were also observed in the input dimension (mean equal to 29.8) for most Central African PAs (15 PAs) (Table 9). Similarly low scores were obtained in the processes (30.8). The best score was noted in the management context (52.7) which resembles the result obtained at the Moulouya Estuary with a score of 42.1. Relatively high scores were also observed in Effects/Impacts (50.7), although the protected areas mentioned had very few inputs. On the other hand, at the studied site, there is a concordance between the low score of inputs (27.5) and that of Effects/Impacts (28.9). In addition, similar results were observed in the planning scores and results for the Central African PAs and the Moulouya Estuary.

IMET has demonstrated its value in providing a structured framework for the evaluation of a wide range of important indicators for the management of the SIBE. This analysis, conducted during the year 2020, establishes a baseline to refer to in the future. IMET also highlighted important challenges in terms of management, planning, human resources, budget, cooperation with local communities and spatial delineation. The use of IMET was useful and decisive in order to arrive at relevant recommendations and to clearly identify the strengths and weaknesses of the site.

## Conclusion

The evaluation carried out using the IMET tool revealed that the SIBE of the Moulouya Estuary faces several major challenges similar to other sites evaluated by the same tool in Central Africa. In general, the site suffers from a lack of basic data on key elements of the SIBE and a glaring deficit in infrastructure and equipment; insufficient human resources in terms of both quantity and quality; a largely inadequate budget to support management activities; the underdevelopment of ecotourism despite the great potential offered by the site, including its beautiful beach and protected habitats; the undervaluation of ecosystem services provided by these ecosystems; low involvement of local communities in the management of the SIBE, with few initiatives to improve their living conditions; and as well as gaps in research and biomonitoring, with ad hoc and little systematic efforts.

The results of these evaluations confirmed the validity, relevance and versatility of the IMET tool. Indeed, the use of the IMET tool allowed a thorough assessment of the effectiveness of management in another type of protected area and at the level of another ecoregion, which validates the work of Bialowolski *et al.* (2023). The IMET tool can therefore be used regardless of geographic region, country, typology, ecoregion, management category and international designation.

## Introduction

L'efficacité de gestion des Aires protégées (AP) se définit comme l'évaluation de la mesure dans laquelle les AP sont bien gérées et surtout la mesure dans laquelle la gestion protège les valeurs et atteint les buts et objectifs des AP (Hockings *et al.* 2006).

Les discussions autour du concept de l'efficacité de gestion des AP ont émergé dans les années 1990, initialement impulsées par les universitaires et des organisations non gouvernementales (ONG) (Wright *et al.* 2017). Par la suite, ces évaluations sont devenues un outil permettant aux organismes subventionnaires d'évaluer la performance de la gestion des AP, jusqu'à devenir une condition de mobilisation des financements. Ainsi, le Fonds pour l'environnement mondial (FEM) exigeait la réalisation d'une évaluation d'efficacité de gestion comme obligation de reconduction des financements pour les AP (Coad *et al.* 2015). En 2000, la Commission mondiale des aires protégées (CMAP) de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) a publié un cadre pour l'évaluation de l'efficacité de la gestion des AP basée sur la gestion du cycle de projet avec six éléments :

le contexte, la planification, les intrants, les processus, les extrants et les résultats (Stem *et al.* 2005 ; Hockings *et al.* 2000).

Au cours de la dernière décennie, différentes méthodes d'évaluation de l'efficacité de la gestion des AP ont été utilisées (Leverington *et al.* 2008) afin de mieux répondre aux exigences des gestionnaires, du personnel de terrain et des services décisionnels nationaux. Un nouvel outil d'évaluation dénommé « Integrated Management Effectiveness Tool » (IMET) a été développé en 2016 par le Centre commun de recherche (CCR) de la Commission européenne, avec la collaboration de l'UICN (Paolini *et al.* 2016). L'IMET, fortement ancré sur les 6 étapes du cycle de gestion des AP (tableau 1), a été conçu en valorisant les expériences et les différents outils disponibles. Basé sur une approche simple, il s'appuie sur une application informatique qui soutient la collecte de l'information ainsi que son organisation, analyse et visualisation, en facilitant ainsi la compréhension des problèmes et, de surcroît, la prise de décisions éclairées pour la gestion, les opérations et la planification des AP (Bialowolski *et al.* 2023). Développé dans le cadre du programme Biodiversity and

Tableau 1 – Résumé du cadre de la CMAP de l'UICN.

Table 1 – Summary of the IUCN WCPA framework.

Éléments d'évaluation	Explication	Critères évalués
Contexte de la gestion	<b>La situation actuelle</b> Évaluation de l'importance, des menaces et du cadre politique.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Importance</li> <li>• Menaces</li> <li>• Vulnérabilité</li> <li>• Contexte national</li> <li>• Partenaires</li> </ul>
Planification	<b>La situation recherchée</b> Évaluation de la planification de l'aire protégée.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contexte juridique et politique de l'aire protégée.</li> <li>• Définition des priorités, des cibles d'intervention et des objectifs de l'aire protégée par rapport aux objectifs du réseau d'aires protégées nationale.</li> <li>• Plan de gestion et plan de travail annuel ou pluriannuel.</li> </ul>
Intrants	<b>Les besoins</b> Évaluation des ressources nécessaires.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ressources humaines.</li> <li>• Ressources financières.</li> <li>• Moyens disponibles.</li> </ul>
Processus	<b>La gestion</b> Évaluation du mode de gestion.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adéquation et pertinence des processus de gestion.</li> </ul>
Extrants	<b>Les actions et les résultats de la gestion</b> Évaluation de la mise en œuvre des programmes et activités de gestion ; produits et services fournis.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Résultats des activités de gestion.</li> <li>• Services et produits.</li> </ul>
Résultats	<b>Les effets et les impacts de la gestion</b> Évaluation des effets et des impacts et de leur contribution aux objectifs.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effets et impacts : atteints par les dispositions et les activités de gestion des objectifs de gestion et de conservation.</li> </ul>

Protected Area Management (BIOPAMA) et financé par le 11<sup>e</sup> Fonds européen pour le développement (FED), l'IMET est un outil intégré en support à la planification, au suivi et à l'évaluation des AP qui vise l'amélioration de la gestion des AP et l'atteinte des objectifs de conservation (Paolini *et al.* 2016; Paolini & Rakotobe 2022).

L'efficacité de la gestion des AP s'avère primordiale pour atteindre l'objectif 3 du Cadre mondial pour la biodiversité de Kunming-Montréal. En effet, une gestion inadéquate compromettrait l'objectif de conservation efficace d'au moins 30 % des écosystèmes terrestres, marins et d'eau douce de la planète (Zenodo 2022). Le suivi et l'évaluation des mesures de gestion dans les AP constituent un élément important du processus de gestion adaptative, permettant aux gestionnaires d'examiner et de comprendre les forces, les faiblesses et les résultats de leurs décisions et d'en tirer des leçons (Hockings 2003).

À l'instar des AP du Maroc, le site objet de la présente étude se caractérise aussi par la complexité des actions de conservation et une forte interaction entre la conservation et le développement. Ces AP ont pour objectifs principaux la préservation de la biodiversité et le développement humain. Ces deux aspects sont d'égale importance. En conséquence, les

gestionnaires sont confrontés à une multitude de défis complexes et variés, notamment des problèmes sociaux, une gestion parfois contradictoire des ressources naturelles, les effets du changement climatique, la participation de nombreux acteurs, une diversité de compétences concernant l'aire protégée et bien d'autres (El-Hajj Sawaya 2016).

Dans ce contexte multi-acteurs et interdisciplinaire, il devient difficile de séparer les actions internes entreprises sur le site de celles menées par d'autres services externes afin d'évaluer l'impact de la gestion et la gouvernance de l'AP (Johnson *et al.* 2019).

L'analyse des enjeux liés à la gestion du Site d'intérêt biologique et écologique (SIBE) de l'embouchure de la Moulouya, située à l'extrême nord-est du Maroc (figure 1), s'impose. Les conditions de gestion et de gouvernance de ce site, telles que l'existence de plusieurs interlocuteurs, les problèmes sociaux, la réticence des partenaires aux projets de conservation ainsi que le statut légal et foncier du site (El-Hajj Sawaya 2016; Biotope 2016) représentent un défi considérable. Malgré les efforts notables déployés par les services nationaux et intergouvernementaux, ainsi que les multiples études et projets réalisés pour la préservation du site depuis les années 1990 (Arrach 2014), il y a une aggravation de la dégradation de l'environnement et de la perte d'habitats au sein du SIBE (Benhoussa & Dakki 2003).

C'est pourquoi il devient impératif de mettre en place un mécanisme de planification et de suivi-évaluation actualisé en accord avec les nouvelles normes et les meilleurs outils disponibles pour la gestion des AP. Cette démarche vise à fournir aux décideurs un instrument leur permettant d'évaluer rapidement l'efficacité globale de la gestion de l'AP, afin de prendre des décisions appropriées pour améliorer les pratiques de gestion.

Bien que l'outil IMET ait démontré sa validité, sa pertinence et sa polyvalence à travers l'évaluation d'un nombre croissant d'aires protégées (Bialowolski *et al.* 2023), son application reste relativement limitée à ce jour. Ce travail explore donc son autre potentiel en tant que Système d'aide à la décision (DSS) dans un contexte nouveau : une zone humide nord-africaine classée site Ramsar. Ainsi, l'étude s'articule autour de deux objectifs principaux :  
– évaluer l'efficacité de l'outil IMET en tant que DSS pour la planification et la gestion de l'AP de l'embouchure de la Moulouya.

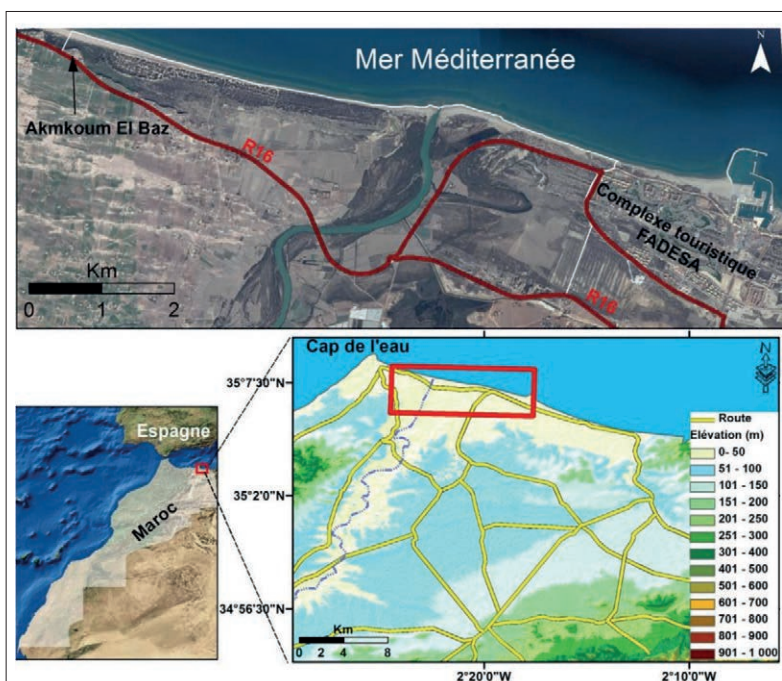


Figure 1 – Carte de localisation du SIBE de l'embouchure de la Moulouya (Source: El Ouali 2015).

Figure 1 – Location map of the SIBE of the Moulouya Estuary (Source: El Ouali 2015).

Il s'agit d'identifier les axes d'amélioration de la gestion de ce SIBE ;

- confirmer la polyvalence et la pertinence de l'outil IMET pour l'ensemble des AP, indépendamment de leur localisation géographique, typologie, écorégion, catégorie de gestion ou désignation internationale.

Ce travail vise ainsi à déterminer si l'outil IMET peut effectivement constituer un DSS efficace pour répondre aux besoins et aux enjeux de gestion d'aires protégées complexes, caractérisées par des spécificités écosystémiques, sociales et administratives, comme c'est souvent le cas au Maroc.

## Méthodes

### Zone d'étude

Le site de l'embouchure de la Moulouya est situé à l'extrême nord-est du Maroc, sur le littoral méditerranéen, au niveau des deux rives de l'oued Moulouya entre les provinces de Berkane et Nador (figure 1). La superficie de la zone humide est de 4 500 ha (Triplet *et al.* 2010). Cette zone s'étale du marécage Ain-Zerga à l'amont jusqu'à l'embouchure de la Moulouya à l'aval (entre Saïdia et le cap de l'Eau) (figure 2).

### Intérêt écologique du SIBE

L'embouchure de la Moulouya a été classée, depuis 1996, comme un Site d'intérêt biologique et écologique (SIBE), lors de l'élaboration du Plan directeur des aires protégées (AEFLCD 1996). Elle est inscrite, en 2005, dans la liste Ramsar des zones humides d'importance internationale (Ramsar List 2023). Elle représente une valeur patrimoniale indéniable du fait qu'elle constitue l'estuaire de la plus grande rivière du versant méditerranéen du Maghreb et du plus long oued du Maroc.

Ses fonctions écologiques sont nombreuses : la rétention et l'absorption de l'eau des inondations de la rivière, un milieu très important pour la migration de nombreuses espèces de poissons devenus rares ou menacés au Maroc (alose feinte, anguille d'Europe...) et un lieu de repos, de nidification ou d'hivernage pour de nombreuses espèces d'oiseaux d'intérêt mondial (goéland d'Audouin, sarcelles marbrées) (Biotope 2016).

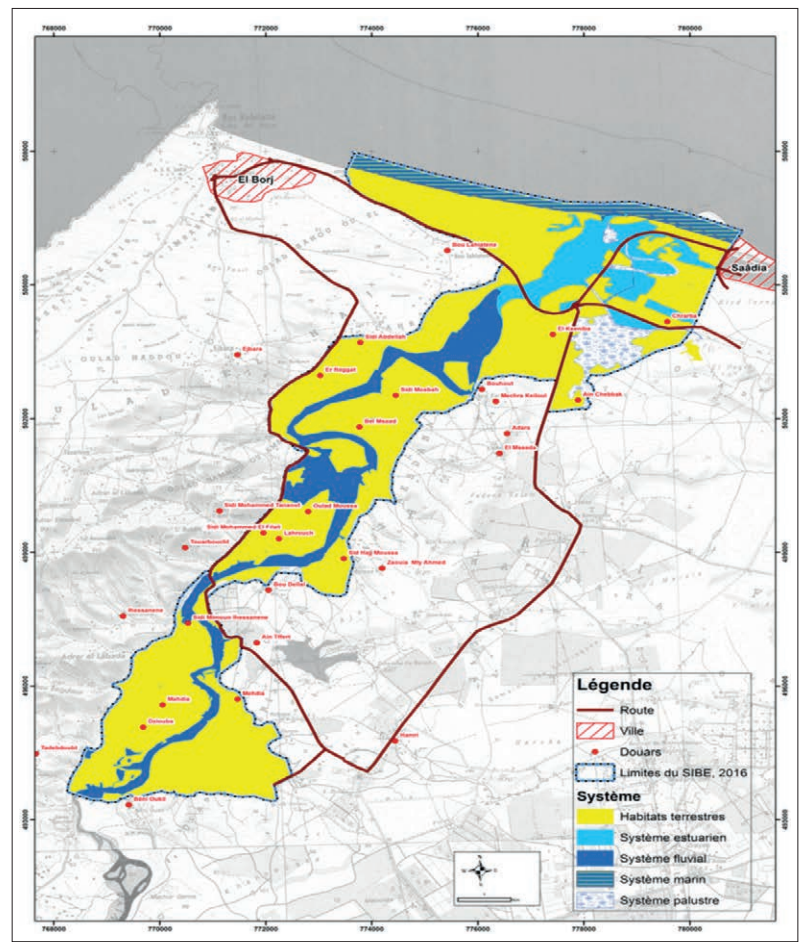


Figure 2 – Carte des limites du SIBE de l'embouchure de la Moulouya (Source: ID-Green Land Consulting 2019).

Figure 2 – Map of the boundaries of the SIBE of the Moulouya Estuary (Source: ID-Green Land Consulting 2019).

Les habitats naturels du SIBE sont représentés par 5 systèmes qui sont subdivisés en plusieurs habitats (tableau 2) (ID-Green Land Consulting 2019).

### L'outil IMET

L'évaluation a été conduite avec l'utilisation de la version offline d'IMET (V 2.8 running English). L'IMET est structuré en trois modules principaux. Le premier module analyse le contexte d'intervention à travers une revue approfondie des éléments clés du contexte du site, ce qui facilite la compréhension de la situation actuelle. Ce module est structuré en sept sections organisées autour de 21 indicateurs principaux. Il recueille les informations de base sur l'AP et identifie les éléments clés de conservation. Le deuxième module est spécifiquement dédié à l'évaluation de l'efficacité de gestion. Il permet une évaluation approfondie et structurée de la gestion suivant les six éléments du cycle

**Tableau 2 – Les différents habitats du SIBE.****Table 2 – The various SIBE habitats.**

Systèmes	Habitats
Système marin	Eaux côtières et plage sableuse.
Système estuarien	Rivière en aval du pont de la rocade. Lagune. Dépression estuarienne envahie par des plantes halophiles: les sansouïres à <i>Arthrocnemum macrostachyum</i> K. et à <i>Sarcocornia fruticosa</i> L.; le SIBE de la Moulouya présente l'une des plus grandes sansouïres de l'Afrique du Nord. Dépression estuarienne envahie par une végétation haute: formation à <i>Phragmites australis</i> CAV., à <i>Typha angustifolia</i> L. et à <i>Scirpus lacustris</i> L.
Système palustre	Marais saumâtres d'Aïn Chebbak et de la plaine de Charriba, séparés du système estuarien par la rocade. Ancien lit de la rivière couvert d'une végétation halophile avec localement des plantes hydrophiles dans la zone d'immersion permanente ou semi-permanente.
Système fluvial	Cours de la rivière en amont de la rocade. Forêt alluviale de la <i>Tamarix canariensis</i> Willd. sur les rives.
Habitat terrestre	Dunes littorales, ancienne junipéraie et dunes reboisées (avec eucalyptus). Les garrigues. Les habitats agricoles.

de gestion PAME (Hockings *et al.* 2006). Il comprend 38 indicateurs et cinq sous-indicateurs. Pour faciliter l'évaluation, les informations issues de l'analyse du contexte d'intervention sont automatiquement reportées et mises à disposition. L'outil IMET facilite l'intégration des données en interconnectant les divers éléments de gestion, et il assure la transmission automatique d'informations essentielles du contexte de l'intervention à l'évaluation de la gestion (Bialowolski *et al.* 2023). Le dernier module, rapport d'analyse, résume l'ensemble de l'évaluation en établissant une fiche de synthèse sur le site d'intervention et sur son actuelle gestion. Aussi, en proposant une analyse FFOM (Forces, faiblesses, opportunités et menaces), il soutient une analyse complémentaire et la formulation de propositions d'amélioration, ainsi que la reformulation ou mise à jour des objectifs de gestion dans un format adapté aux autorités de gestion et aux partenaires tels que les bailleurs de fonds (Bialowolski *et al.* 2023).

L'IMET utilise principalement des scores normalisés dans l'intervalle <0; 100> afin d'évaluer l'état d'une aire protégée, où 0 représente les pires conditions possibles et 100 les meilleures conditions possibles : en dessous de 50, il s'agit d'un score faible et au-dessus de 50, le score est considéré comme bon (Bialowolski *et al.* 2023). Grâce à sa base de données et à son module « Analyse d'échelle » (*Scaling-up*), l'IMET permet aussi de comparer deux ou plusieurs exercices d'évaluation différents, soit au sein d'un même site au fil du temps, permettant

de saisir des variations même limitées, soit entre différents sites, permettant de réaliser des évaluations au niveau de « systèmes » (écosystème, paysage de conservation, AP transfrontalières, réseaux d'AP nationaux ou régionaux) (Bialowolski *et al.* 2023). L'IMET et son module *Scaling-up* reposent sur un système solide d'analyses statistiques et sur une base de données qui, en facilitant des analyses dans le temps ou à une échelle supérieure, permettent d'établir des tendances et d'identifier les priorités d'intervention.

La collecte des données pour l'alimentation de l'outil IMET doit être réalisée consécutivement par le biais d'auto-évaluations conjointes, impliquant le personnel des zones protégées, les représentants des services nationaux, les communautés locales et d'autres parties prenantes. En moyenne, une douzaine de participants contribuent à chaque évaluation IMET. Bien que le processus d'évaluation s'appuie principalement sur l'expérience des participants, il est encadré par au moins un coach IMET, un professionnel des AP ayant reçu une formation approfondie sur l'outil. Pour chaque question proposée, les scores sont établis de manière collaborative selon une échelle prédéfinie. Les réponses sont ensuite agrégées (pour les indicateurs comportant plusieurs sous-indicateurs) et converties sur une échelle de 0 à 100 points, facilitant ainsi la compréhension de la situation actuelle et de son évolution dans le temps (Bialowolski *et al.* 2023).

L'outil IMET a été conçu pour aider directement les gestionnaires, tant sur le terrain qu'au niveau national, dans l'amélioration de



l'efficacité de la gestion des aires protégées et, plus largement, la conservation de la biodiversité. L'outil apporte un soutien à la planification, au suivi et à l'évaluation des aires protégées en structurant les informations disponibles et en définissant les valeurs de référence. Les analyses qui en résultent peuvent être explorées à différentes échelles : AP individuelle, niveau régional ou national. Cette approche favorise une gestion proactive basée sur les résultats qui facilitent la planification, l'analyse de l'état de conservation

et la visualisation de paramètres permettant d'évaluer l'efficacité de la gestion en matière d'atteinte des objectifs de conservation (Quintana & Morse 2005).

### Méthodologie de collecte des données

Cette étude se base sur plusieurs sources d'informations comprenant les documents de référence (tableau 3), les déclarations

**Tableau 3 – Les différentes références utilisées pour alimenter IMET.**

**Table 3 – The different references used to feed IMET.**

Projets	Années	Références
	2019	Plan d'aménagement et de gestion du SIBE (ID-Green Land Consulting 2019).
	2015-2024	Stratégie nationale des zones humides (Dakki et al. 2015).
	2007	Plan d'action (HCEFLCD 2007).
MedWetCost Maroc	2003	Flore de l'embouchure de la Moulouya (Haloui 2003).
MedWetCost Maroc	2003	Invertébrés terrestres (Chavanon 2003).
MedWetCost Maroc	2003	Rapport de synthèse (Menioui & Mahe 2003).
MedWetCost Maroc	2003	Diagnostic socio-économique (Khatabi 2003).
MedWetCost Maroc	2003	Cartographie des habitats et répartition des principaux taxons (Benhoussa & Dakki 2003).
MedWetCost Maroc	2003	Diagnostic pour l'aménagement des zones humides du nord du Maroc, embouchure de la Moulouya (Dakki 2003).
MedWetCost Maroc	2003	Herpétologie (Fahd 2003).
MedWetCost Maroc	2003	Étude diagnostique, mammifères terrestres, embouchure de la Moulouya (Sehhar & Benazzou 2003).
MedWetCost Maroc	2003	Diagnostic de la faune aquatique (Zine 2003).
MedWetCost Maroc	2003	Diagnostic ornithologique, embouchure Moulouya (El Agbani et al. 2003).
Projet GIZC	2016	Diagnostic écologique, socio-économique, cartographie des habitats et élaboration d'un programme de suivi écologique de la zone humide de l'embouchure de la Moulouya. Missions I, Mission II, Mission III et Mission IV (Biotope 2016).
	1996	Plan directeur des aires protégées (PDAP) (AEFLCD 1996).
	1992	Convention sur la diversité biologique (CDB) (Nations unies 1992).
	1971	Convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau, Ramsar (UNESCO 1971).
	2003	Fiche descriptive zone Ramsar, (FDR) (Dakki et al. 2003)
	2010	Mission consultative Ramsar. Rapport n° 71 (Triplet et al. 2010).
	2009	Étude de la contamination des ressources en eaux souterraines et cartographie de la vulnérabilité d'un aquifère soumis au climat semi-aride méditerranéen : cas de la plaine côtière de Saïdia, Maroc (Melloul et al. 2009).
	2002	Les environnements du littoral méditerranéen du Maroc compris entre l'oued Kiss et le cap des Trois Fourches. Dynamique sédimentaire et évolution et écologie des foraminifères benthiques de la lagune de Nador (Irzi 2002).
	1959	Carte des précipitations du Maroc (Gausson et al. 1959).
	2010	Impacts écologiques des aménagements touristiques sur le littoral de Saïdia, Maroc oriental (Boumeaza et al. 2010).
Projet FEM/BM	2014	Étude hydrologique de l'embouchure de la Moulouya et proposition de schéma d'aménagement et de gestion (Arrach 2014).
	1525	Description de l'Afrique (Al Ouazzane 1525).
	2008	Lignes directrices pour l'application des catégories de gestion aux aires protégées (Dudley 2008).

officielles, les plans (y compris les plans de gestion), les projets, les cartes thématiques, les rapports des différents ateliers tenus pendant la préparation du Plan d'aménagement et de gestion (PAG) du SIBE en 2019, les enquêtes et inventaires sur les ressources biologiques et les rapports de recherche ou les articles de journaux (tableau 4).

En complément de cette documentation, des entretiens ont été menés auprès de diverses parties prenantes : représentants des autorités locales et des agences gouvernementales, chercheurs universitaires, membres d'organisations de conservation et représentants des communautés locales. Ces échanges, encadrés par un coach IMET, visaient à recueillir leurs perceptions et opinions concernant l'AP et sa gestion (tableau 5). Au total, soixante-sept réunions impliquant les gestionnaires du site et les différents partenaires ont jalonné le processus d'évaluation de l'efficacité de gestion. Cette approche multi-sources a permis d'obtenir une vision globale tout au long de l'exercice d'évaluation.

## Résultats

L'analyse des résultats de l'efficacité de gestion montre que tous les éléments du cycle de gestion de l'aire protégée sont en deçà de la moyenne, ce qui explique le faible score global de l'analyse qui est de 33,1 (figure 3).

Les plus faibles valeurs concernent les processus (25,7), les intrants (27,5) et les effets/impacts (28,9). Par contre, le contexte de gestion (42,1), la planification (38,2) et les résultats (36,11) présentent des scores légèrement plus élevés, tout en restant en deçà de la moyenne.

## Le contexte de gestion

Le contexte de gestion évalue les atouts du site, le degré d'intégration des valeurs naturelles et culturelles dans la gestion, ainsi que les pressions et menaces (Bialowolski *et al.* 2023), sur la base de 3 indicateurs : C1 : valeur et importance avec 5 sub-indicateurs (C1.1 ; C1.2 ; C1.3 ; C1.4 ; C1.5) ; C2 : contraintes et soutiens externes ; C3 : menaces.

**Tableau 4 – Les différents articles et rapports réalisés sur le SIBE.**

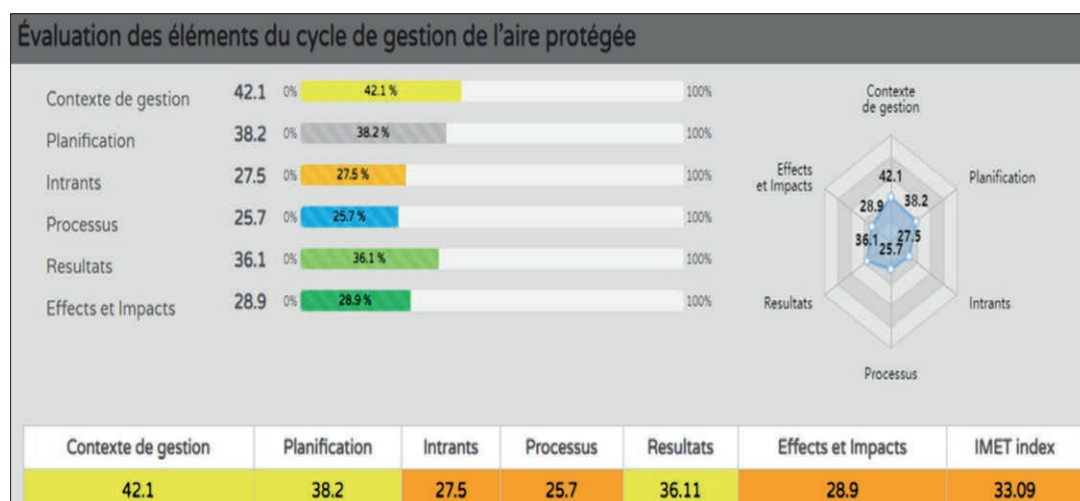
**Table 4 – The various articles and reports on SIBE.**

Documents	Auteurs	Reuves	Année
Recensement hivernal d'oiseaux d'eau au Maroc: 1996-2000.	Dakki, M., Qninba, A., El Agbani, M.A., Benhoussa, A.	<i>Trav. Inst. Sci.</i>	2003
The freshwater malacological composition of Moulouya's watershed and Oriental Morocco.	Taybi, A. F., Mabrouki, Y., Ghamizi, M., Berrahou, A.	<i>Journal of materials and Environmental Science</i>	2017
Contribution à l'étude des plécoptères dans le Maroc oriental et le bassin-versant de la Moulouya et leur distribution en fonction des étages bioclimatiques.	Mabrouki, Y., Taybi, A.F., Chavanon, G., Vinçon, G., Berrahou, A.	<i>J. Mater. Environ. Sci.</i>	2016
Realization of a recent taxonomic inventory (2014) wildlife estuarine ecosystem of the mouth of the moulouya in Morocco.	Darif <i>et al.</i>	<i>European Scientific Journal</i>	2015
Amphibians of the Oriental Region and the Moulouya River Basin of Morocco: distribution and conservation notes.	Mabrouki, Y., Fouzi Taybi, A., Skalli, A., Sánchez-Vialas, A.	<i>Basic and Applied Herpetology 33</i>	2019
Some observations of rare or common birds in winter 2005-2006 at the mouth of the Moulouya and in the plain of Triffa (north-eastern Morocco).	Cherkaoui, I., Boutaleb, A., Faqih, Y., Saddik, M.	<i>Go-South Bull.</i>	2006
Études sur la Basse Moulouya (Maroc oriental) : 6. Les Coléoptères aquatiques de l'oued Zegzel.	Berrahou, A., Chavanon, G., Richoux, P.	<i>Publications de la Société Linnéenne de Lyon</i>	2000
Study of granitic rocks which are exposed in the Aouli Paleozoic window, Haute Moulouya area, Morocco.	Oukemeni, D., Bourne, J.H.	<i>Journal of African Earth Sciences</i>	1993
An integrated coastal zone management initiative for sensitive coastal wetland on either sides of The Moulouya Estuary in Morocco.	Basraouia, Y., Chafia, wA., Zarhloulea, Y., Demnati, S.	<i>Procedia Social and Behavioral Sciences</i>	2011
Ecological impacts of tourist developments on the coast of Saïdia, oriental Morocco.	Boumeaza, T., Sbai, A., Salmon, M., Benata M., Ozer, A.	<i>Rivages méditerranéens</i>	2010

**Tableau 5 – Les entretiens réalisés avec les parties prenantes dans le SIBE.**

**Table 5 – Interviews with stakeholders in SIBE.**

Parties prenantes	Nombre d'entretiens	Dates d'entretiens
Direction provinciale des Eaux et Forêts de Berkane	6	11/06/2019; 14/01/2020; 04/02/2020; 19/05/2020; 28/05/2020; 23/12/2020.
Direction provinciale des Eaux et Forêts de Nador	4	12/06/2019; 15/01/2020; 18/05/2020; 24/12/2020.
Unité de gestion du SIBE de Moulouya	9	11/06/2019; 14/01/2020; 04/02/2020; 05/02/2020; 06/03/2020; 10/03/2020; 19/05/2020; 28/05/2020; 23/12/2020.
Direction régionale des Eaux et Forêts de l'Oriental	12	11/06/2019; 13/01/2020; 27/01/2020; 03/02/2020; 09/03/2020; 16/03/2020; 09/06/2020; 16/06/2020; 18/06/2020; 15/07/2020; 07/12/2020; 22/12/2020.
Association Homme et Environnement	3	11/06/2019; 14/01/2020; 04/02/2020.
Université Mohamed Premier d'Oujda	1	11/06/2019
Centre régional des métiers et de la formation de la région de l'Oriental	1	11/06/2019
Province de Berkane	3	11/06/2019; 14/01/2020; 04/02/2020.
Province de Nador	2	12/06/2019; 15/01/2020.
Commune territoriale de Saïdia	3	11/06/2019; 14/01/2020; 04/02/2020.
Commune territoriale de Boughriba	1	11/06/2019
Commune territoriale de Madagh	1	11/06/2019
Commune territoriale de Ras El Ma	1	12/06/2019
Commune territoriale d'Oulad Daoud Zkhanine	1	12/06/2019
Direction régionale de l'Environnement de l'Oriental	4	11/06/2019; 13/01/2020; 03/02/2020; 09/06/2020.
Agence du bassin hydraulique de la Moulouya	2	11/06/2019; 13/01/2020.
Délégation régionale du tourisme de l'Oriental	1	11/06/2019
Office régional de mise en valeur agricole de la Moulouya	1	11/06/2019
Agence urbaine de Nador-Driouch-Guercif	1	12/06/2019
Club marocain pour l'environnement et le développement à Ahfir	1	11/06/2019
Faculté pluridisciplinaire de Nador	1	12/06/2019
Association Moulouya pour l'Environnement et le Développement	1	12/06/2019
Institut national de Recherche halieutique	1	12/06/2019
Association Méditerranée pour le tourisme et le développement de l'investissement	1	12/06/2019
Association Eau et Énergie pour tous dans la région de l'Oriental	1	12/06/2019
Centre régional d'investissement	4	12/06/2019; 13/01/2020; 03/02/2020; 09/06/2020.



**Figure 3 – Score global de l'analyse IMET dans le SIBE de Moulouya.**

**Figure 3 – Overall score of the IMET analysis in the Moulouya SIBE.**

La valeur de l'indicateur synthétique de contexte de gestion est la plus élevée par rapport aux autres éléments des IMET (42,1), ce qui signifie que le site a une base de gestion encourageante. Par contre, il apparaît globalement que le contexte de gestion avec un score de synthèse de 42,1 est en deçà de la moyenne (figure 4). Les résultats obtenus montrent que les éléments du contexte de gestion ne sont pas favorables en ce qui concerne les sub-indicateurs : désignations spéciales, espèces clés, services écosystémiques et changement climatique, qui présentent tous des scores inférieurs à la moyenne. L'indicateur de valeur et d'importance C1 marque le score le plus élevé du premier élément du cycle de gestion (30,1) suivi par C2, les contraintes et supports externes (-15,2). Le score des menaces (C3) est élevé (-46,1) (figure 5).

L'évaluation détaillée des menaces et le score global qui en résulte mettent en évidence l'importance des menaces qui entravent la bonne gestion de l'embouchure de la Moulouya. Les principales menaces portent notamment sur les éléments suivants (tableau 6) :

– les zones touristiques et récréatives (-90,67), qui exercent un impact négatif sur la biodiversité. Cette situation est parfaitement compréhensible, étant donné la proximité des complexes touristiques voisins. De même, le développement du tourisme sur le littoral du SIBE se caractérise

par un tourisme de masse, particulièrement fort en période estivale ;

- la pollution causée par les déchets plastiques en provenance de la ville proche du SIBE, Saïdia (-76,67). En effet, la gestion des déchets solides constitue un défi majeur pour le site et est un enjeu environnemental important à l'échelle du SIBE. Malgré les efforts déployés par la commune, les observations de terrain montrent les limites de la gestion des décharges au sein du SIBE ;
- l'utilisation d'herbicides et de pesticides par l'agriculture moderne irriguée (-72). Les principaux impacts de l'agriculture moderne irriguée sont liés à la pollution diffuse des eaux du bassin-versant du SIBE, caractérisée par l'augmentation des concentrations en résidus de produits phytosanitaires et en nitrates (Biotope 2016) ;
- les perturbations du système dues à la construction de deux barrages en amont de l'oued Moulouya (-72,67). Les barrages construits représentent un obstacle majeur pour la migration et la reproduction des espèces halieutiques. L'ouverture de ces barrages pendant les périodes de hautes eaux entraîne l'inondation des sites de nidification de l'avifaune ;
- l'agriculture itinérante (-63), qui se traduit par le défrichement des terres du SIBE au profit de l'agriculture pratiquée par la population locale.

## La planification

Évalue 6 indicateurs : P1 : adéquation des dispositions législatives et réglementaires ; P2 : conception et configuration de l'AP ; P3 : démarcation de l'AP ; P4 : plan de gestion ; P5 : plan de travail ; P6 : objectifs de l'AP.

La planification est un outil essentiel pour la gestion d'une AP. Pour le SIBE de Moulouya, le score obtenu par IMET est inférieur à la moyenne (38,2) (figure 6). En général, la planification révèle des lacunes, suite au manque des textes portant création du SIBE. De plus, le PAG actuel ne définit pas de manière explicite les objectifs de conservation pour les éléments clés du site. Parmi les six indicateurs de planification, seuls deux (P1 et P4) obtiennent un score supérieur à 60 sur 100. Bien qu'un plan de gestion ait été élaboré en 2019 pour une période s'étendant jusqu'en 2024, il n'est pas mis en application par les gestionnaires suite à la non-crédation d'une aire protégée de catégorie « site naturel » identifiée comme priorité

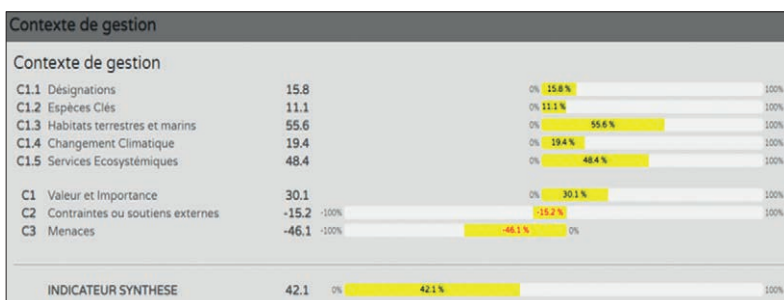


Figure 4 – Évaluation du contexte de gestion du SIBE de Moulouya.

Figure 4 – Evaluation of the management context of the Moulouya SIBE.

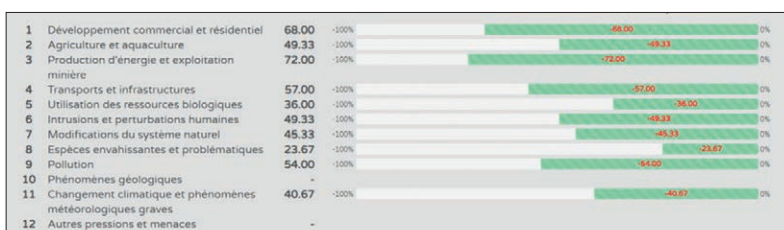


Figure 5 – Analyse détaillée des menaces pour le SIBE de Moulouya.

Figure 5 – Detailed threat analysis for the Moulouya SIBE.

**Tableau 6 – Critères d'évaluation des menaces.**

**Table 6 – Threat Assessment Criteria.**

Indicateurs	Critères	Score IMET
C3	Menaces	- 46,10
1	Zones touristiques et récréatives	- 90,67
2	Zones urbaines et habitations	- 76,67
3	Déchets des villes	- 76,67
4	Grands barrages	- 72,67
5	Exploitation de mines ou de carrières	- 72,00
6	Herbicides et pesticides	- 72,00
7	Activités récréatives	- 68,33
8	Agriculture itinérante	- 63,00
9	Sécheresses	- 63,00
10	Production de fruits/légumes	- 63,00
11	Prélèvement d'eau souterraine (utilisation agricole)	- 63,00
12	Routes	- 63,00
13	Perche/poteau pour construction	- 63,00
14	Prélèvement d'eau de surface (utilisation agricole)	- 63,00

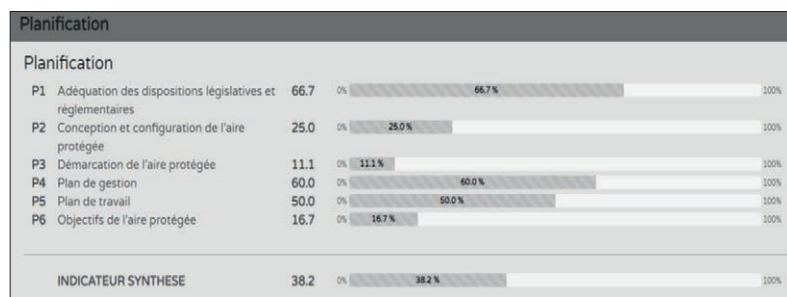
principale dans ledit plan. Les indicateurs P2, P3 et P6 présentent les scores les plus faibles, inférieurs à 25 points. L'absence de démarcation et de délimitation précise constitue une faiblesse majeure de la gestion car elle accroît l'empiètement des terres et les conflits avec les parties prenantes au sujet des ressources naturelles. La conception et la configuration de l'AP ainsi que le manque de clarté de ses objectifs réduisent le score de la planification de la gestion (Nkono 2018). Bien que les notes de P1, P4 et P5 soient satisfaisantes, le SIBE a besoin d'un engagement fort de la part de la direction pour améliorer la planification à l'avenir. Malgré l'élaboration du plan de travail annuel, seules les tâches de routine, ne nécessitant pas de moyens financiers importants, sont partiellement exécutées.

Une analyse approfondie de la conception et de la configuration de l'AP met en évidence l'absence de textes juridiques portant création du SIBE (décret de création, lois de protection).

### Les intrants

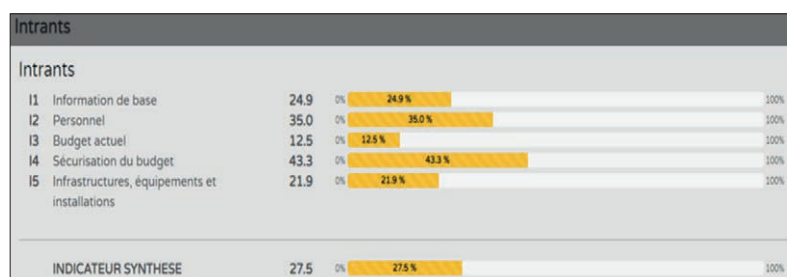
Les intrants sont essentiels pour la gestion d'une aire protégée. L'analyse des intrants évalue 5 aspects, représentés par les indicateurs suivants : I1 : information de base ; I2 : personnel ; I3 : budget actuel ; I4 : sécurisation du budget ; I5 : infrastructure, équipements et installations.

L'évaluation a permis de mettre en évidence le manque au sein du SIBE d'informations



**Figure 6 – Cote de planification du SIBE de Moulouya.**

**Figure 6 – Moulouya SIBE planning score.**



**Figure 7 – Classement des intrants du SIBE de Moulouya.**

**Figure 7 – Moulouya SIBE input classification.**

détaillées sur les espèces clés, les habitats, les menaces et les effets du changement climatique, ce qui représente certainement un aspect critique demandant à être pris en compte dans les futures actions de gestion. L'indicateur I1 a reçu un score particulièrement bas (24,9), ce qui entrave certainement la bonne gestion du site (figure 7). Les autres indicateurs montrent également de faibles scores, tout particulièrement l'indicateur I3 relatif au budget actuel (12,5).

## Processus

Les processus, quatrième élément du cycle de gestion, peuvent être considérés comme le moteur de la gestion. L'outil IMET procède à son évaluation à travers l'analyse de 6 sous-éléments, à leur tour répartis en 18 indicateurs de PR1 à PR18 (tableau 7).

Les résultats montrent que la valeur de l'indicateur synthétique pour les processus se classe parmi les éléments les moins performants du cycle de gestion, avec un score de synthèse de 25,7, bien en deçà de la moyenne (tableau 7). Cette faible performance est en partie due au score insignifiant de l'indice du système de suivi des valeurs et des aspects d'importance de l'AP, qui atteint 0 point, en particulier pour les indicateurs de recherche et biomonitoring PR15-PR16 (0 point). Le SIBE souffre d'un sous-effectif de personnel, et les activités de suivi sont principalement axées sur la surveillance pour la protection de la faune et de la flore du site. Les écogardes ne couvrent

pas l'intégralité de la zone, et les ressources opérationnelles sont insuffisantes. De plus, la participation des communautés locales dans la gestion du site est limitée.

En ce qui concerne la gestion interne du SIBE, elle obtient le score le plus élevé parmi les sous-éléments du processus (40,4). La gestion interne souffre d'un manque d'initiatives de renforcement des capacités pour les ressources humaines (PR1 : 13,3). Ceci est le résultat d'un programme de formation centralisé par l'Agence nationale des eaux et forêts (ANEF) qui n'est pas bien structuré, conçu ou mis en œuvre. La direction régionale de l'ANEF de l'Oriental organise également des formations *ad hoc*, mais cela ne constitue pas un programme de formation et de développement planifié ou bien conçu et devrait être pris en compte lors de l'élaboration du budget et de la planification des ressources humaines dans la révision du plan de gestion actuel.

**Tableau 7 – Les indicateurs du processus.**

**Table 7 – Process Indicators.**

Processus	Score IMET
Indicateur synthétique	25,7
Sous-éléments Indicateurs	
Systèmes et processus de gestion interne	40,4
Capacité du staff et formations	PR1 13,3
Ressources humaines, politiques de gestion et procédures	PR2 75,8
Conditions du travail et motivation du personnel	PR3 25,9
Orientation de la gestion de l'aire protégée	PR4 16,7
Budget et gestion financière	PR5 62,5
Maintenance de l'infrastructure, équipements et installations	PR6 48,3
Gestion/protection des valeurs	17,4
Gestion des valeurs et des éléments clés de l'aire protégée avec des actions spécifiques	PR7 18,1
Gestion des patrouilles de rangers (force de l'ordre)	PR8 28,6
Renseignement, enquêtes, développement de dossiers et action légale	PR9 5,6
Relations avec les parties prenantes	37,0
Coopération avec les parties prenantes	PR10 75,0
Bénéfice/aide aux communautés locales	PR11 19,4
Éducation environnementale et sensibilisation du public	PR12 16,7
Gestion du tourisme	17,9
Gestion des installations et des services aux visiteurs	PR13 19,1
Gérer les impacts des visiteurs	PR14 16,7
Suivi et recherche	0,0
Systèmes de surveillance des ressources naturelles et culturelles	PR15 0,0
Recherche et suivi écologique à long terme	PR16 0,0
Changement climatique et des services écosystémiques	10,8
Gestion des effets du changement climatique	PR17 13,3
Gestion des services écosystémiques	
Actions de suivi-identification des objectifs de gestion pour améliorer la situation en cours	PR18 8,3

Le personnel exprime une satisfaction relative quant aux politiques et procédures de gestion des ressources humaines (PR2 : 75,8). Cependant, les conditions générales de travail et la motivation du personnel restent problématiques (PR3 : 25,9). Cette dichotomie souligne la nécessité pour les gestionnaires de créer un environnement de travail propice à la motivation du personnel, élément important pour l'atteinte des objectifs de conservation. Notons que les valeurs liées à la gestion de la direction (budget, finances, orientation de la gestion) obtiennent un score satisfaisant (PR5 : 62,5).

La gestion et la protection des valeurs du SIBE présentent l'un des scores les plus faibles parmi les sous-éléments des processus (17,4). Cette faiblesse se manifeste particulièrement dans la gestion des patrouilles de surveillance et l'application de la loi (PR8 : 28,6), ainsi que dans la gestion des valeurs clés et des menaces spécifiques à l'AP (PR7 : 18,1). Les activités de renseignement, d'enquêtes et de poursuite judiciaire affichent le score le plus faible (5,6). Malgré la limitation des ressources financières et humaines, le personnel du SIBE s'efforce de préserver la biodiversité du site.

La coopération avec diverses parties prenantes est généralement bonne (PR10 : 75), à l'exception des interactions avec les utilisateurs locaux des ressources naturelles, les communautés riveraines, les ONG de défense des droits sociaux, les propriétaires fonciers et les opérateurs touristiques privés. L'amélioration de cette collaboration s'avère très nécessaire pour une gestion efficace de l'AP. Les conditions de vie des populations autour du SIBE sont aussi à améliorer pour réduire les pressions et menaces car la pauvreté est identifiée comme l'une des causes majeures de la dégradation du SIBE.

Le faible score de l'éducation environnementale et la sensibilisation du public, PR12 (16,7), est dû à l'organisation irrégulière des séances d'éducation environnementale dans les écoles et des rencontres de sensibilisation dans les villages périphériques et dans la province de Berkane, faute de moyens financiers. L'éducation à l'environnement et la sensibilisation du public exigent une certaine concentration et un renforcement des capacités du personnel assurant la sensibilisation de la communauté.

La gestion touristique au sein du SIBE révèle des lacunes significatives, comme en témoigne le score global de 17,9. Bien que

situé à proximité de la zone balnéaire de Saïdia, une zone touristique établie, le SIBE ne capitalise pas sur son potentiel écotouristique et souffre de l'absence d'un système efficace de gestion des visiteurs, d'où le faible score du sous-indicateur PR13 (19,1). La dynamique touristique de la région se concentre principalement sur l'attrait balnéaire de Saïdia durant la période estivale, orientant les investissements majeurs vers le développement de stations balnéaires. Cette focalisation sur le tourisme de plage ne favorise pas la valorisation des ressources naturelles et culturelles du SIBE. La gestion de l'impact des visiteurs présente également des marges d'amélioration considérables, comme l'indique le score modeste du PR14 (16,7). Une optimisation de cet aspect pourrait contribuer à rehausser la moyenne générale de cette section. Il est à noter que le SIBE possède un potentiel touristique non négligeable, malheureusement sous-exploité.

Le biomonitoring et la recherche au sein du SIBE révèlent un développement encore embryonnaire. Il apparaît essentiel de renforcer la collaboration avec les universités, les institutions et les organismes de recherche afin de promouvoir la recherche orientée vers la conservation et d'adopter un système de suivi robuste des éléments clés du SIBE. Le score de 10,8 des changements climatiques et services écosystémiques illustre certaines faiblesses. Le SIBE subit les effets croissants des changements climatiques qui affectent négativement la diversité et la qualité des services écosystémiques fournis. L'analyse de la gestion du SIBE face au changement climatique révèle que les gestionnaires n'ont pas suffisamment étudié les impacts potentiels des changements climatiques sur les valeurs clés du site, ce qui se traduit par une absence de suivi spécifique. Le score global des mesures d'atténuation des effets du changement climatique est particulièrement faible (PR17 : 13,3), reflétant un manque de stratégies adaptatives. L'identification et l'intégration des éléments clés les plus vulnérables aux changements climatiques dans la planification de la gestion font défaut, limitant ainsi la capacité du site à mettre en œuvre des mesures d'adaptation efficaces. Pour remédier à ces faiblesses, une révision du plan de gestion s'impose, avec deux axes prioritaires : 1) prendre des mesures d'adaptation au changement climatique pour les éléments clés de la gestion ; 2) lancer des activités de gestion pour obtenir des crédits carbone. Cela dit, selon l'IMET, bon nombre

de mesures liées au changement climatique ont été prises par défaut dans la gestion de la conservation.

Concernant la gestion des services écosystémiques, le score de 8,3 (PR18) indique une performance faible mais potentiellement améliorable. Le plan de gestion recommande des actions spécifiques pour la gestion des services écosystémiques, offrant ainsi une base pour le développement de stratégies futures.

## Les résultats

Ils sont caractérisés par 3 indicateurs : O/P1 : mise en œuvre du programme de travail, O/P2 : résultats atteints, OP3 : domination de l'AP.

La faiblesse de cet aspect du cycle de gestion (36,11) est principalement due à l'atteinte limitée des résultats et à l'insuffisance de la surveillance de l'AP. Le niveau de mise en œuvre du plan de travail, quant à lui, apparaît comme satisfaisant O/P1 (83,3) (figure 8). Toutefois, il est important de noter que le plan de travail est élaboré en fonction des ressources disponibles plutôt que des besoins ou des objectifs de conservation.

## Effets et impacts

Ils comprennent 3 indicateurs : O/C1 : atteinte des objectifs de conservation ; O/C2 : conditions et tendances des principaux éléments de conservation de l'AP ; O/C3 : effets et résultats des intervenants sur la qualité de vie des acteurs locaux.

Le score pour l'élément effets et impacts est relativement bas. Le SIBE n'a pas réussi à atteindre un niveau de mise en œuvre satisfaisant, obtenant seulement 28,9 points en tant qu'indicateur synthétique (figure 9). Cela est en grande partie dû aux scores défailants des indicateurs suivants : 1) réalisation des objectifs de conservation à long terme de la gestion O/C1 (14,8) ; 2) conditions et tendances des éléments clés de conservation de la zone protégée O/C2 (-43,8) ; et 3) effets et résultats pour les parties prenantes sur la qualité de vie O/3 (-12,2). Les faibles performances dans la préservation des conditions et des tendances des éléments clés de conservation de la zone protégée ont contribué à ces résultats décevants car le SIBE n'a pas réussi à maintenir et à améliorer de manière satisfaisante l'état des valeurs et l'importance du site.

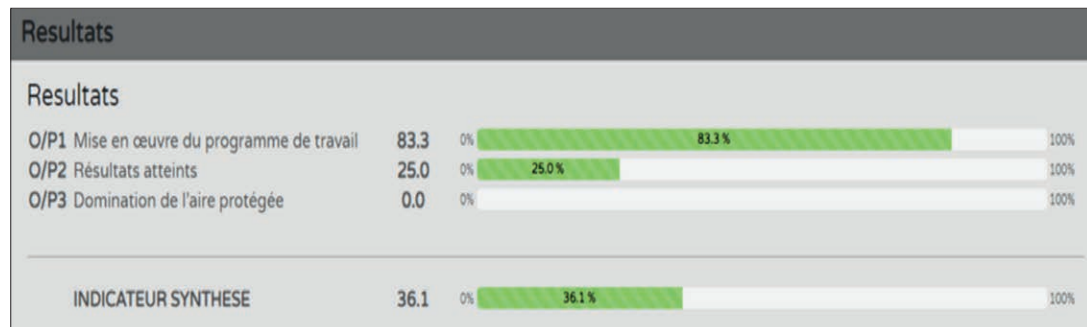


Figure 8 – Taux de sortie au niveau du SIBE de Moulouya.

Figure 8 – Output rate at Moulouya SIBE.



Figure 9 – Évaluation des effets et des impacts du SIBE de Moulouya.

Figure 9 – Evaluation of the effects and impacts of the Moulouya SIBE.



## Discussion

La gestion des AP se heurte souvent à des défis majeurs. En effet, les outils actuellement utilisés pour évaluer son efficacité ne répondent pas de manière adéquate aux besoins de la gestion, tant à l'échelle locale qu'à l'échelle nationale (Boucher *et al.* 2013 ; Abdulaziz *et al.* 2015). L'insuffisance d'informations et le manque de données dans de nombreuses AP nécessitent des évaluations approfondies, structurées et complètes pour mieux comprendre les problèmes de gestion complexes (Proces *et al.* 2021).

### L'IMET en tant que système d'aide à la décision pour la planification et la gestion du SIBE de l'embouchure de la Moulouya

L'évaluation du SIBE de l'embouchure de la Moulouya via l'outil IMET a mis en lumière plusieurs axes d'amélioration pour sa gestion (annexe 1). Le site souffre d'un manque d'informations de base structurées et d'une approche de gestion principalement réactive, axée sur des objectifs qualitatifs plutôt que quantitatifs du PAG. Cette situation, qui n'est pas propre au SIBE de la Moulouya, reflète des défis communs observés dans d'autres AP (Brandon & Eszter 2023).

L'analyse comparative avec dix-sept autres sites révèle des lacunes répétitives : une focalisation excessive sur la surveillance de base et le tourisme, au détriment d'activités essentielles telles que le biomonitoring, l'adaptation aux changements climatiques, la valorisation des services écosystémiques et l'engagement effectif des communautés locales dans la conservation (Nzigiyimpa *et al.* 2022). Pour le SIBE de la Moulouya, l'évaluation IMET préconise plusieurs actions prioritaires (annexe 1) : l'intégration des espèces clés dans les stratégies de gestion, la prise en compte des impacts des changements climatiques, l'optimisation de l'exécution du plan de gestion, l'amélioration des mécanismes de financement, la conception, la taille et la forme de l'aire protégée, la démarcation, la délimitation et le zonage, le renforcement des liens avec les communautés locales, et une meilleure exploitation des désignations internationales du site dans sa gestion quotidienne.

L'analyse comparative des pressions et menaces pesant sur le SIBE de l'embouchure de la Moulouya et les sites Ramsar du Burundi

révèle des défis communs en matière de conservation. Le SIBE fait face à des menaces diverses, tant externes (extraction illégale de sable, braconnage) qu'internes (prélèvement d'eau souterraine, déforestation de la tamaricaie, défrichement). Cette situation reflète la complexité de la gestion des aires protégées, où les gestionnaires doivent souvent composer avec des pressions dépassant leur champ d'action direct (Davey 1998 ; Worboy *et al.* 2006).

Dans le plan de gestion, l'objectif général du SIBE est axé sur la protection des différents habitats de la zone et sur la conservation de sa biodiversité, tout en assurant son rôle environnemental durable. Cependant, cet objectif, tel qu'il est énoncé, est difficilement atteignable (P6 : 16,7), principalement en raison de la dégradation des habitats causée par l'agriculture itinérante, les zones touristiques et récréatives, les prélèvements d'eau de surface, la construction de barrages, la pollution, ainsi que les multiples pressions et menaces auxquelles fait face la zone. La réalisation des objectifs de conservation à long terme doit être améliorée par la mise à jour de la stratégie, de l'approche et des activités pour une meilleure coordination entre les objectifs à long terme et les activités de planification du travail. L'écart entre la définition des objectifs et les actions réelles mis en évidence par l'analyse illustre l'inadéquation de la planification de la gestion, ce qui rejoint les conclusions de Lu *et al.* (2012) lors de l'évaluation de cinq AP à Taïwan.

Par ailleurs, la conception, la taille et la forme de l'aire protégée (P2 : 25,0) ne sont pas suffisamment adaptées pour assurer la protection adéquate des espèces, des habitats et des valeurs naturels. Résultat similaire aux sites Ramsar du Burundi qui ont eux aussi un faible indice de forme  $((\text{RACINE}(3.14)/((6.28)*\text{périmètre}/\text{RACINE}(\text{superficie})) = \text{bon } 1-1,5; \text{moyen de } 1,5 \text{ à } 2; \text{faible } > 2)$  (Nzigiyimpa *et al.* 2022). Actuellement, la configuration du SIBE, qui suit le lit de l'oued Moulouya, constitue une entrave à sa gestion. Le périmètre actuel de l'AP ne tient compte que d'une partie très restreinte en mer. Pourtant, une protection efficace nécessiterait la gestion d'un espace élargi et/ou la gestion de plusieurs espaces plus restreints, mais proches. Il convient de réviser les limites du SIBE sur la base d'éléments écologiques patrimoniaux. Étant donné la petite taille du SIBE, les améliorations doivent tenir compte d'un zonage spécifique, tel que l'écosystème fonctionnel

**Annexe 1 – Recommandations proposées pour l'amélioration de la gestion du SIBE.****Annexe 1 – Recommendations Proposed for Improving the Management of SIBE.**

Catégorie	Détails
Éléments de gestion	<p>Faune: <i>Barbus moulouyensis</i> P., loutre, <i>Larus audouinii</i> P.            Flore: <i>Limonium cymuliferum</i> Boiss., <i>Ruppia maritima</i> L., tamarix.            Habitats: sansouïres, dunes littorales, forêt alluviale de tamaris.            Menaces: zones touristiques et récréatives, prélèvement d'eau de surface (utilisation agricole), sécheresses, agriculture itinérante.            Services écosystémiques: habitats importants, science-recherche, promenades, randonnées et loisirs, écotourisme et observation de la nature, contrôle de l'érosion éolienne et lutte contre la sécheresse.            Avantages matériels: création ou renforcement d'activités de productions locales, contribution au développement local, partage des revenus avec les collectivités locales, développement des infrastructures grâce au tourisme, revenus du tourisme, emploi de la population locale.            Avantages immatériels: protection des personnes, des installations et des infrastructures, maintien de la quantité et de la qualité des services d'approvisionnement des écosystèmes, diminution des conflits entre les utilisateurs des ressources naturelles.            En ce qui concerne les espèces clés, il faudrait mettre davantage l'accent sur la gestion des espèces qui ont besoin d'un écosystème plus vaste et qui sont à l'origine de la création du SIBE (<i>Barbus moulouyensis</i> et loutre). Le SIBE devrait également étendre sa gestion à d'autres espèces fortement menacées ou sous-gérées telles que l'alose, l'anguille et les oiseaux mondialement vulnérables.</p>
Gouvernance et gestion	<p>Réalisation d'une étude de faisabilité pour la création d'une aire protégée, classement du site en AP selon l'une des catégories de l'UICN, création d'une structure de gestion dédiée au site, extension du site incluant la zone marine, révision du PAG actuel, création d'un Groupement d'intérêt public (GIP), révision des limites du SIBE pour améliorer la cohérence écologique, application de standards internationaux pour la protection de la biodiversité, accroissement du nombre de partenaires techniques et financiers, développement d'une stratégie attractive pour les bailleurs de fonds, plaidoyers et communications envers les décideurs et partenaires, dotation en matériel et personnel nécessaires, engagement des parties prenantes pendant la planification de la gestion.</p>
Conservation de la communauté	<p>Mise en place d'une plateforme d'acteurs, sensibilisation de tous les acteurs sur l'importance des désignations, contrats agro-environnementaux avec les agriculteurs, coordination des interventions, campagnes d'information des populations locales, développement d'activités génératrices de revenus, renforcement du système de collecte des déchets, renforcement du système d'assainissement des eaux usées, plan de formation à la gestion écologique des zones humides, labellisation de l'artichaut violet, coordination et soutien des parties prenantes, collaboration renforcée entre parties prenantes, accroissement des engagements communautaires et du partage d'informations.</p>
Conservation de la biodiversité	<p>Création et gestion d'îlots de nidification pour les oiseaux, réhabilitation des connexions hydrauliques, suivi écologique régulier de la flore et de la faune, plan d'action des espèces clés, restauration écologique du cordon dunaire, restauration écologique des anciennes carrières de sable, restauration écologique des sansouïres arrière-dunaires, restauration du lit majeur de l'affluent, activités de recherche sur les herbiers marins, diagnostic de l'état de conservation de la roselière, suivi régulier des espèces sensibles au changement climatique, gestion du pâturage dans la garrigue, programme de recherche scientifique, adaptation au changement climatique, surveillance écologique et production d'informations, recherches sur les habitats, la flore et la faune, augmentation du nombre des écogardes.</p>
Développement du tourisme durable	<p>Élaboration d'une stratégie de développement de l'offre écotouristique, plan de nettoyage des déchets sur le littoral, gestion et contrôle de l'accès à la plage, programme de sensibilisation et d'éducation à l'environnement, développement du tourisme naturel, augmentation des produits touristiques et des stratégies de marketing, création de nouveaux produits touristiques, mécanisme de retour d'information sur le tourisme.</p>

pour les poissons migrateurs, les habitats de reproduction des oiseaux, les zones touristiques, les zones agricoles, etc. L'intégration de la source du marais d'Aïn Chebbak dans le SIBE est une action primordiale pour avoir une gestion cohérente du marais. La gestion des zones périphériques des zones humides est également d'une grande importance, car les zones tampons et les communautés environnantes peuvent représenter à la fois des défis et des opportunités souvent sous-estimés. Il est essentiel d'intégrer la gestion de ces zones périphériques de manière holistique avec la gestion proprement dite de la zone humide (Ramachandra 2012).

La démarcation, la délimitation et le zonage de l'AP (P3: 11,1) nécessitent une attention particulière. Le manque de clarté dans la démarcation, la délimitation des zones et les règles régissant l'utilisation des ressources naturelles semble contribuer aux scores de menace attribués par les gestionnaires. D'autre part, il est difficile de réduire les pressions et les menaces qui pèsent sur le SIBE, en raison de l'insuffisance quantitative et qualitative du personnel. La gestion du SIBE devrait être intégrée dans une gestion environnementale plus large, prenant en compte la fonctionnalité de l'écosystème, y compris l'intégrité et la fragmentation de l'habitat, la migration des

oiseaux et des poissons, les zones de développement, les zones touristiques, etc. Le soutien au SIBE est faible, en particulier de la part des collectivités locales et des acteurs économiques, ce qui explique un score de menace élevé. Cela souligne la nécessité d'engager une communication et un plaidoyer en faveur de leur implication et d'un soutien accru, d'autant plus que leur engagement pourrait devenir essentiel pour maintenir et renforcer le zonage et la stratégie d'utilisation durable des ressources naturelles sur le long terme. En outre, le faible soutien de la communauté, les droits de propriété contestés, le manque de ressources humaines et de financement, le manque d'informations et une conception inadéquate sont identifiés comme des pressions et des menaces liées à la gestion des sites naturels (Lu *et al.* 2012). Pour assurer la fonctionnalité du SIBE, selon les résultats de l'IMET, il est recommandé de donner la priorité à la démarcation, à la délimitation externe et au zonage interne, tout en réexaminant les objectifs de conservation des éléments clés.

Le SIBE souffre d'un manque de personnel qualifié pour la gestion du site, ce qui limite la capacité de surveillance et la mise en œuvre des activités. Il est préoccupant de constater qu'un seul technicien forestier est chargé de la gestion du site. De plus, l'unité de gestion du SIBE ne dispose pas d'une structure adéquate. Le personnel de surveillance fait de son mieux avec les maigres moyens à sa disposition pour assurer les activités quotidiennes de surveillance. Face à la nécessité d'élargir le SIBE vers la mer et au manque déjà enregistré du personnel au niveau du site, il est urgent de recruter du personnel supplémentaire, notamment des écogardes, afin de renforcer tant quantitativement que qualitativement l'équipe existante. De plus, le budget alloué par l'État pour l'année 2020 est considéré comme étant insuffisant pour répondre aux besoins en infrastructures et en équipements de l'AP. Ce constat est remarqué aussi au niveau d'une grande partie des sites d'Afrique centrale dont les scores des intrants présentent une faiblesse notoire (Nzigiyimpa *et al.* 2022 ; Nkono 2018 ; ICCN 2020 ; DAMCP 2020).

Bien que la loi forestière (DAHIR 1917) autorise le partage des revenus des projets situés en domaine forestier avec les communautés locales, plusieurs obstacles entravent leur engagement actif dans la conservation du site. Il est impératif d'améliorer l'intégration des parties prenantes telles que les communautés locales, les collectivités vivant

à proximité ou à l'intérieur de l'AP, les utilisateurs locaux des ressources naturelles, les ONG et les opérateurs touristiques privés. Par exemple, certains tour-opérateurs encouragent la conservation par le biais de donations, de soutien en nature ou le lobbying au nom de la conservation (Buckley 2010 ; Bottema & Bush 2012). Les populations riveraines considèrent la création des AP comme une spoliation de leurs terres et la privation de leur droit d'accès aux ressources naturelles. Cette situation explique l'évaluation faible des avantages/assistance aux communautés locales (PR11), avec un score de 19,4. Les communautés et les associations locales devraient également avoir la possibilité de s'impliquer dans des activités touristiques et des opportunités d'emploi liées à la conservation. Compte tenu des potentialités touristiques dont regorge le SIBE, il serait important d'encourager les opérateurs privés à investir dans le secteur de l'écotourisme et d'établir des liens solides de collaboration avec les opérateurs touristiques de la région. L'implication effective des communautés riveraines est aussi une pierre angulaire du développement de ce secteur.

Certaines activités du plan de gestion ont été entreprises en 2020 mais elles ne sont pas réalisées avec la même cadence, avec des variations dans leurs niveaux d'exécution selon les déclarations des gestionnaires du site. L'analyse des résultats d'IMET de l'AMP de Saint-Louis montre aussi que le plan de travail existe mais ne prend pas en compte, de façon spécifique, certaines espèces clés et habitats critiques pour la conservation de la biodiversité (DAMCP 2020). Il est essentiel de garantir que les actions mises en œuvre correspondent aux objectifs de conservation et au plan de gestion du SIBE. Un alignement plus précis entre les actions entreprises et les objectifs fixés contribuerait à une meilleure réalisation du plan de gestion (Nzigiyimpa *et al.* 2022).

La gestion du SIBE requiert des ressources financières substantielles. Il est donc important d'élaborer une stratégie spécifique pour la mobilisation de fonds pour obtenir un soutien financier adéquat. Cela pourrait impliquer la recherche d'alliances, de partenariats scientifiques et de développement avec des organismes nationaux et internationaux, l'exploration de sources de revenus telles que les crédits carbone et le tourisme, ainsi que la participation à des initiatives et projets pertinents auprès d'organisations internationales.

## Confirmation de la polyvalence et de la pertinence de l'outil IMET

L'outil IMET a été appliqué pour évaluer l'efficacité de la gestion du complexe humide de l'embouchure de la Moulouya, située dans le nord-est du Maroc. Conçu à l'origine pour les AP en Afrique centrale, l'IMET a pour objectif d'améliorer la gestion, la planification et les résultats de conservation de ces zones. Cet outil, nouvellement appliqué dans un contexte de zone humide nord-africaine classée site Ramsar, répond à la nécessité de mener des analyses approfondies afin d'optimiser la gestion, les capacités de planification et les performances en matière de conservation des AP (Bialowolski *et al.* 2023). Les applications initiales de l'outil IMET, menées

dans dix AP en Afrique centrale dans le cadre de projets financés par l'Union européenne, ont démontré sa polyvalence et sa pertinence (Bialowolski *et al.* 2023). Ces applications, couvrant le Burundi, le Cameroun, le Tchad, la République centrafricaine et le Gabon, ont confirmé la validité de l'IMET pour évaluer divers types d'AP, indépendamment de leur contexte écologique (terrestre, côtier ou marin), de leur écorégion ou de leur classification selon les critères de l'UICN. Suite à cette validation, l'IMET a été adopté par d'autres pays d'Afrique centrale comme méthode facile à appliquer pour évaluer l'efficacité de la gestion de leurs AP (tableau 8).

En 2021, le Burundi a évalué l'ensemble de ses AP (14 AP) par l'outil IMET dans le but

**Tableau 8 – Les dix-sept aires protégées de l'Afrique centrale comparées avec notre cas d'étude.**

Source: Protected planet (<https://www.protectedplanet.net>).

**Table 8 – The Seventeen protected areas in Central Africa compared to our case study.**

Source: Protected planet (<https://www.protectedplanet.net>).

PA	Pays	WDPA ID	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Désignation Nationale	Catégorie IUCN	Type	Désignation Internationale
Parc national de la Salonga	République démocratique du Congo (RDC)	10906	36000	Parc national	Not reported	Terrestre	Patrimoine mondial n. 280 IBA CD004
Réserve de faune de Lomako-Yokokala	RDC	555512077	3601.88	Réserve naturelle	Not reported	Terrestre	
Aire marine protégée de Saint-Louis	Sénégal	352704	496	Aire marine protégée	VI	Marine	
Parc national de la Ruvubu	Burundi	9160	508	Parc national	II	Terrestre	Ramsar n.2148 IBA B1003
Paysage aquatique protégé du Nord (PAPN)	Burundi	555558381	162.42	Réserve naturelle	Not reported	Terrestre	Ramsar n.2149 IBA B1001
Réserve naturelle forestière de Vyanda	Burundi	101434	44.97	Parc national	Ib	Terrestre	
Réserve naturelle forestière de Bururi	Burundi	9164	33	Parc national	Ib	Terrestre	IBA B1005
Réserve naturelle forestière de Monge	Burundi	28464	50	Parc national	Ib	Terrestre	
Paysage protégé de Gisagara	Burundi	61707	11	Parc national	V	Terrestre	
Parc national de la Rusizi	Burundi	900788	106.73	Parc national	Not reported	Terrestre	Ramsar n.1180 IBA B1004
Parc national de la Kibira	Burundi	9161	400	Parc national	II	Terrestre	IBA B1002
Réserve naturelle de Rumonge	Burundi	9165	50	Parc national	Ib	Terrestre	
Réserve naturelle de Kigwena	Burundi	9166	8	Parc national	Ib	Terrestre	
Paysages protégés de Makamba	Burundi	Not reported	85	Not reported	Not reported	Terrestre	
Réserve naturelle de la Malagarazi	Burundi	555558380	8	Not reported	Not reported	Terrestre	Ramsar n.2150
Faïlles de Nyakazu	Burundi	9167	7	Monument naturel	III	Terrestre	
Les chutes de Karera	Burundi	9168	1.42	Monument naturel	III	Terrestre	

de mesurer les effets et les impacts induits par les différentes interventions réalisées (Nzigiyimpa *et al.* 2022). Dans le même objectif, d'autres pays d'Afrique centrale ont effectué l'évaluation de certaines AP à l'aide de l'outil IMET. La République démocratique du Congo (RDC) a évalué deux AP : le parc national de la Salonga et la réserve de faune de Lomako-Yokokala (Nkono 2018 ; ICCN 2020). Le Sénégal a réalisé une évaluation de l'Aire marine protégée (AMP) de Saint-Louis (DAMCP 2020). Selon Zabiti Kandolo *et al.* (2022), l'outil IMET a contribué à une meilleure gestion des AP en RDC. En effet, l'utilisation répétée de l'outil IMET dans 18 AP de RDC (pour 33 évaluations au total) a contribué à l'établissement du diagnostic des problèmes de gestion et à générer des informations structurées afin d'orienter la prise des décisions pour le changement de l'état de conservation (Zabiti Kandolo *et al.* 2022).

Les résultats de l'embouchure de la Moulouya sont comparables à ceux de certaines AP du Burundi, notamment les paysages protégés de Gisagara et de Makamba, et la réserve naturelle de Malagarazi. L'examen des résultats révèle que tous les aspects du cycle de gestion de ces AP se situent en dessous de la moyenne, expliquant ainsi le score globalement bas de l'analyse, qui est à 33,1 pour l'embouchure de

la Moulouya, 26,58 pour le paysage protégé de Gisagara, 22,65 pour les paysages protégés de Makamba et 15,62 pour la réserve naturelle de la Malagarazi (tableau 9). D'autres AP d'Afrique centrale (10 AP) ont aussi des scores globaux relativement bas, mais elles n'ont pas toutes les composantes du cycle de gestion en dessous de la moyenne. Par contre, seulement quatre AP ont des scores globaux au-dessus de la moyenne (tableau 9). Comparativement à notre cas d'étude, les scores les plus faibles ont été observés aussi dans la dimension des intrants (moyenne égale à 29,8) pour la plupart des AP de l'Afrique Centrale (15 AP) (tableau 9). De même, des faibles scores ont été obtenus dans les processus (30,8). Le meilleur score a été noté dans le contexte de gestion (52,7) ressemblant à celui obtenu au niveau de l'embouchure de la Moulouya (42,1). Des scores relativement élevés ont également été observés dans les effets/impacts (50,7), même si les zones protégées mentionnées ne disposaient que de très peu de ressources. Par contre, au niveau du site étudié, on constate une concordance entre le faible score des intrants (27,5) et celui des effets/impacts (28,9). De plus, des résultats presque similaires ont été observés dans les scores relatifs à la planification et les résultats pour les AP d'Afrique centrale et l'embouchure de la Moulouya.

**Tableau 9 – Résumé des évaluations de l'IMET. Scores dans les six dimensions de l'efficacité de la gestion et score global d'IMET.**  
Source: Nzigiyimpa *et al.*, 2022; Nkono 2018; ICCN 2020; DAMCP 2020.

**Table 9 – Summary of IMET assessments. Scores in the six management effectiveness dimensions and Overall IMET score.**  
Source : Nzigiyimpa *et al.*, 2022; Nkono 2018; ICCN 2020; DAMCP 2020.

PA	Date d'évaluation	Contexte	Planification	Intrants	Processus	Résultats	Effets/ impacts	IMET
Moulouya	2020	42.1	38.2	27.5	25.7	36.1	28.9	33.1
Salonga	2019	67.2	74.2	62.5	60.9	61.1	62.0	64.5
Lomako-Yokokala	2018	26.6	74.4	52.1	43.7	70.3	59.8	53.1
Saint-Louis	2020	60.7	51.7	36.8	47.4	32.2	47.6	45.5
Ruvubu	2021	54.6	40.1	34.4	34.8	25.3	51.8	40.2
PAPN	2021	52.3	50.0	29.1	33.8	41.7	65.0	45.3
Vyanda	2021	57.2	34.1	16.2	24.6	35.9	35.1	33.9
Bururi	2021	58.5	53.5	40.1	27.1	42.1	53.0	45.7
Monge	2021	54.8	21.5	21.9	21.6	37.5	60.6	36.3
Gisagara	2021	47.8	18.8	11.4	25.8	12.5	43.2	26.6
Rusizi	2021	80.3	53.3	22.1	37.1	57.0	59.8	51.6
Kibira	2021	66.6	55.1	34.9	36.9	66.9	59.8	53.4
Rumonge	2021	47.5	46.7	20.8	14.0	60.0	43.6	38.8
Kigwena	2021	44.2	50.1	13.6	18.6	36.1	42.7	34.2
Makamba	2021	38.4	5.3	18.1	14.3	12.5	47.3	22.7
Malagarazi	2021	33.1	6.6	13.4	14.8	0.0	25.8	15.6
Nyakazu	2021	50.7	37.7	35.4	37.1	27.8	49.2	39.7
Karera	2021	56.8	48.5	44.5	31.2	57.0	55.9	49.0
Moyenne		52.8	42.4	29.8	30.8	39.8	50.7	40.9

L'expérience d'autres pays, comme la République démocratique du Congo, montre que l'IMET peut contribuer à une meilleure gestion des AP en établissant un diagnostic clair des problèmes et en générant des informations structurées pour guider les actions futures. De même, l'application de l'IMET a permis d'identifier les points faibles dans le cycle de gestion de l'embouchure de la Moulouya, notamment au niveau des intrants et des processus. Ceci va pertinemment orienter la prise de décisions et améliorer l'état de conservation du site.

## Conclusion

L'évaluation réalisée à l'aide de l'outil IMET a révélé que le SIBE de l'embouchure de la Moulouya présente une base de gestion acceptable en ce qui concerne le contexte de gestion et la planification, tout en maintenant les valeurs et l'importance du SIBE. Cependant, il est confronté à plusieurs défis majeurs similaires à ceux d'autres sites évalués par le même outil au niveau de l'Afrique centrale. En général, le site souffre d'un manque de données de base sur les éléments clés du SIBE, d'un déficit criant en infrastructures et en équipements, d'insuffisances en ressources humaines tant en quantité qu'en qualité et d'un budget largement inadéquat pour soutenir les activités de gestion. Face à cette situation, il est impératif de renforcer les ressources financières du SIBE pour améliorer l'efficacité de sa gestion. Les résultats de ces évaluations ont aussi confirmé la validité, la pertinence et la polyvalence de l'outil IMET. En effet, l'utilisation de cet outil a permis une évaluation approfondie de l'efficacité de la gestion dans un autre type d'AP et au niveau d'une autre éco-région, ce qui permet de valider le travail de Bialowolski *et al.* (2023). L'outil IMET peut donc être utilisé, peu importe la région géographique, le pays, la typologie, l'écorégion, la catégorie de gestion et la désignation internationale. En outre, il a permis d'établir des références pour le suivi futur et des dossiers structurés pour la gestion axée sur les résultats et la collecte de fonds. Il sera donc nécessaire de procéder à des réévaluations de l'efficacité de la gestion du SIBE de la Moulouya à des pas de temps réguliers en utilisant l'IMET, et ce dans une optique de gestion et de conservation durable, d'autant plus que plusieurs indicateurs sont en état d'évolution.

## Bibliographie

- Abdulaziz, H., Johar, F., Rafee, M.M. & Medugu, N.I. (2015). Protected area management in Nigeria: a review. *Jurnal teknologi/Jurnal Teknologi*. 77(15): Technology-Driven Sustainable Development in Built Environment & Environmental Technology Vol. 2.
- AEFLCD (1996). *Plan directeur des aires protégées du Maroc*. Administration des Eaux et Forêts et de la Conservation des sols, Ministère de l'Agriculture et de la Réforme agraire (MARA).
- Al Ouazzane, H. (1525). *Description de l'Afrique : tierce partie du monde*. Volume 1.
- Arrach, S. (2014). *Étude hydrologique de l'embouchure de la Moulouya et proposition de schéma d'aménagement et de gestion*. Projet FEM/Banque mondiale « Gestion intégrée des zones côtières/côtes méditerranéennes – région de l'Oriental », 91 p.
- Benhoussa, A. & Dakki, M. (2003). *Cartographie des habitats et répartition des principaux taxons*. Projet MedWetCost Maroc « Conservation des zones humides et des écosystèmes côtiers de la région méditerranéenne ».
- Bialowolski, P., Rakotobe, D., Marelli, A., Roggeri, P. & Paolini, C. (2023). Use of the IMET tool in the evaluation of protected area management effectiveness in Central Africa. *Environ. Manage.* 326, 116680.
- Biotope (2016). *Diagnostic écologique, socio-économique, cartographie des habitats et élaboration d'un programme de suivi écologique de la zone humide de l'embouchure de la Moulouya*. Missions I, Mission II, Mission III et Mission IV du projet GIZC (Gestion intégrée des zones côtières). Rapport fait pour le ministère délégué auprès du ministre de l'Énergie, des Mines, de l'Eau et de l'Environnement chargé de l'Environnement au Maroc.
- Boucher, T.M., Spalding, M. & Revenga, C. (2013). Role and Trends of Protected Areas in Conservation. In: Levin S.A. (ed.) *Encyclopedia of Biodiversity*, second edition, Volume 6, Academic Press. Elsevier eBooks, Waltham, 485-503.
- Boumeaza, T., Sbai, A., Salmon, M., Benata, M. & Ozer, A. (2010). Impacts écologiques des aménagements touristiques sur le littoral de Saïdia, Maroc oriental. *Méditerranée*, 115, 94-102.
- Bottema, M.J.M. & Bush, S.R. (2012). The durability of private sector-led marine conservation: a case study of two entrepreneurial marine protected areas in Indonesia. *Ocean & Coastal Manage.* 61, 38-48. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.01.004>
- Buckley, R.C. (2010). *Conservation Tourism*. CABI, Wallingford, Royaume-Uni.
- Brandon, P.A. & Eszter, T.K. (2023). Challenges to protected and conserved areas: wicked solutions needed for wicked problems. *Sustainability*. 15(24). <https://doi.org/10.3390/su152416635>
- Chavanon, G. (2003). *Invertébrés terrestres*. Projet MedWetCost Maroc « Conservation des zones humides et des écosystèmes côtiers de la région méditerranéenne ».
- Coad, L., Leverington, F., Knights, K., Geldmann, J., Eassom, A., Kapos, V., Kingston, N., de Lima, M., Zamora, C., Cuadros, I., Nolte, C., Burgess, N.D. & Hockings, M. (2015). Measuring impact of protected area management interventions: current and future use of the global database of protected area

- management effectiveness. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 370, 20140281.
- DAHIR (1917). Dahir du 10 octobre 1917 sur la conservation et l'exploitation des forêts. *Bulletin officiel.* 262, 29 octobre.
- Dakki, M. (2003). *Diagnostic pour l'aménagement des zones humides du nord du Maroc, embouchure de la Moulouya.* Projet MedWetCost Maroc « Conservation des zones humides et des écosystèmes côtiers de la région méditerranéenne ».
- Dakki, M., El Agbani, M.A., Qninba, A., Benhoussa, A., Hammada, S., Hamidi, S. & Maamri, A. (2003). *Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar, (FDR). Catégories approuvées dans la recommandation 4.7 modifiée par la résolution VIII.3 de la conférence des parties contractantes.* Rapport de mission.
- Dakki, M., Menioui, M. & Zouhair, A. (2015). *Stratégie nationale des zones humides 2015-2024. Stratégie plan d'action.* Rapport de Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).
- Davey, A.G. (1998). *National system planning for protected areas.* Best practice protected area guidelines series n° 1. IUCN, Gland, 71.
- DAMCP - Direction des aires marines communautaires protégées (2020). *Rapport d'analyse de l'évaluation de l'efficacité de gestion de l'AMP de Saint-Louis avec la version II IMET.* Rapport d'activités. <https://www.damcp.gouv.sn/type-de-document/rapports-dactivit%C3%A9s>
- Dudley, N. (2008). *Lignes directrices pour l'application des catégories de gestion aux aires protégées.* IUCN, Gland, Suisse, x + 96 p.
- El Agbani, M.A., Qninba, A., Hamidi, S. & Maamri, A. (2003). *Diagnostic ornithologique, embouchure de la Moulouya.* Projet MedWetCost Maroc « Conservation des zones humides et des écosystèmes côtiers de la région méditerranéenne ».
- El-Hajj Sawaya, R. (2016). *Approche intégrative des enjeux de conservation de la biodiversité méditerranéenne pour la priorisation des aires protégées.* Thèse de doctorat de l'Université d'Aix-Marseille.
- El Ouali, A. (2015). *Étude de conception d'un plan d'utilisation et de gestion de la plage du SIBE de l'embouchure de la Moulouya.* Projet FEM/Banque mondiale « Gestion intégrée des zones côtières/côtes méditerranéennes – région de l'Oriental ».
- Fahd, S. (2003). *Herpétologie.* Projet MedWetCost Maroc « Conservation des zones humides et des écosystèmes côtiers de la région méditerranéenne ».
- Gausson, H., Roux, G. & Bagnouls, M.F. (1959). *Carte des précipitations du Maroc.* Dir. Agricult. Forêts, Rabat, feuille 2.
- Haloui, B. (2003). *Flore de l'embouchure de la Moulouya.* Projet MedWetCost Maroc « Conservation des zones humides et des écosystèmes côtiers de la région méditerranéenne ».
- HCEFLCD (2007). *Plan d'action du Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la lutte contre la désertification.* « La conservation et la valorisation des aires protégées, des ressources cynégétiques et des poissons d'eau douce : garants de la gestion durable de la biodiversité ».
- Hockings, M., Stolton, S. & Dudley, N. (2000). *Evaluating effectiveness: a framework for assessing the management of protected areas.* Best practice protected area guidelines series n° 6. IUCN, Gland, 121.
- Hockings, M. (2003). *Systems for Assessing the Effectiveness of Management in Protected Areas.* *BioScience.* 53, 823.
- Hockings, M., Stolton, S., Leverington, F., Dudley, N. & Courrau, J. (2006). *Evaluating Effectiveness: A framework for assessing management effectiveness of protected areas.* 2<sup>nd</sup> edition. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, xiv + 105 p.
- ICCN – Institut congolais pour la conservation de la nature (2020). *Rapport sur l'état de conservation du parc national de la Salonga.*
- ID-Green Land Consulting (2019). *Plan d'aménagement et de gestion (PAG) du SIBE de l'embouchure de la Moulouya.* Rapport fait pour le Haut Commissariat aux Eaux et Forêts et à la lutte contre la désertification.
- Irzi, Z. (2002). *Les Environnements du littoral méditerranéen du Maroc compris entre l'oued Kiss et le cap des Trois Fourches. Dynamique sédimentaire et évolution et écologie des foraminifères benthiques de la lagune de Nador.* Thèse de doctorat de l'Université Mohammed 1<sup>er</sup>, Faculté des Sciences, Oujda, Maroc, 311 p.
- Johnson, D.E., Froján, C.B., Neat, F., Oevelen, D.V., Stirling, D., Gubbins, M.J. & Roberts, J. M. (2019). Rockall and Hatton: resolving a super wicked marine governance problem in the High Seas of the Northeast Atlantic Ocean. *Frontiers in marine science.* 6, 69. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00069>
- Khattabi, A. (2003). *Diagnostic socio-économique.* Projet MedWetCost Maroc « Conservation des zones humides et des écosystèmes côtiers de la région méditerranéenne ».
- Leverington, F., Hockings, M., & Lemos Costa, K. (2008). *Management effectiveness evaluation in protected areas.* Report for the project 'Global study into management effectiveness evaluation of protected areas'. The University of Queensland, Gatton, IUCN WCPA, TNC, WWF.
- Lu, D., Kao, C. & Chao, C. (2012). Evaluating the management effectiveness of five Protected Areas in Taiwan using WWF's RAPPAM. *Environ. Manage.* 50, 272-282.
- Menioui, M. & Mahe, E. (2003). *Rapport de synthèse.* Projet MedWetCost Maroc « Conservation des zones humides et des écosystèmes côtiers de la région méditerranéenne ».
- Melloul, A., Boughriba, M., & Boufaïda, M. (2009). Étude de la contamination des ressources en eaux souterraines et cartographie de la vulnérabilité d'un aquifère soumis au climat semi-aride méditerranéen : cas de la plaine côtière de Saïdia, Maroc. *Science et changements planétaires/Sécheresse.* 20(2), 223-231.
- Nations unies (1992). *Convention sur la diversité biologique (CDB),* sommet de la terre, 5 juin.
- Nkono, J. (2018). *Mise à jour de l'évaluation de l'efficacité de gestion (IMET) au niveau de la Réserve de faune de LOMAKO-YOKOKALA à la République démocratique du Congo (RDC).* Rapport d'African Wildlife Foundation (AWF).
- Nzigiympa, L., Bukuru, D., Niyongabo, J. & Nishishikare, J. (2022). *Évaluation de l'efficacité de gestion des aires protégées du Burundi avec l'outil IMET.* BIOPAMA, Institut Jane Goodall (IJG) et Observatoire des forêts d'Afrique centrale (OFAC).
- Paolini, C., Rakotobe, D. & Jomha Djossi, D. (2016). *Coach Observatory Mission Information Toolkit (COMIT): A toolkit to support coaching missions to improve protected area management and*

- develop the information system of the Biodiversity and Protected Areas Management (BIOPAMA) Programme.* IUCN, Gland, Switzerland, 128p.
- Paolini, C. & Rakotobe, D. (2022). *Malette pédagogique pour l'outil intégré sur l'efficacité de gestion. Guide pour évaluer et améliorer l'efficacité de gestion des aires protégées.* UICN, Gland, Suisse.
- Proces, P., Jomha Djossi, D., Nsom Zamo, A.-C., Onotiang, M., Epanda, M., Gami, N., Sauget, M., Mangué Ebang, G., Jungers, Q., Palla, F. & Doumenge, C. (2021). Dynamique des aires protégées en Afrique centrale : des enjeux écologiques au développement socio-économique. *In: Aires protégées d'Afrique centrale. État 2020.* OFAC-COMIFAC & IUCN, 18-61.
- Quintana, J. & Morse, S. (2005). Social interactions and resource ownership in two private protected areas of Paraguay. *J. Environ Manage.* 77(1), 64-78.
- Ramsar List (2023). *The List of Wetlands of International Importance.* <https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/sitelist.pdf>
- Ramachandra, T.V. (2012). *Conservation and Management of Wetlands: Requisite Strategies.* National Conference on Conservation and Management of Wetland Ecosystems. 06th-09th November. School of Environmental Sciences Mahatma Gandhi University, Kottayam, Kerala.
- Sehhar, E.A. & Benazzou, T. (2003). *Étude diagnostique, mammifères terrestres, embouchure de la Moulouya.* Projet MedWetCost Maroc « Conservation des zones humides et des écosystèmes côtiers de la région méditerranéenne ».
- Stem, C., Margoluis, R. Salafsky, N. & Marcia, B. (2005). Monitoring and evaluation in conservation: a review of trends and approaches. *Conserv. Biol.* 19(2), 295-309.
- Triplet, P., Dakki, M., Cherkaoui, I., De Lopé, M. & Dufour, A. (2010). *Mission consultative Ramsar, Rapport n° 71 : Moulouya, Maroc.*
- UNESCO (1971). *Convention relative aux zones humides d'importance internationale particulièrement comme habitat des oiseaux d'eau,* Ramsar, 2 février.
- Wright, P., Lazaruk, H., Bjorgan, L., Gonzales, E. & Thurston, E. (2017). *Document de discussion : évaluation de l'efficacité de la gestion.* Rapport de l'organisation « En route vers l'objectif 1 du Canada ».
- Worboy, G.L., Winkler, C. & Lockwood, M. (2006). Threats to protected areas. *In: Lockwood, M., Worboys, G. and Kothari, A. (eds) Managing protected areas.* A global guide. Earthscan, London, 223-261.
- Zabiti Kandolo, G., Kapuku Mbombo, J. & Mbende, M. (2022). *IMET, outil innovant de gestion des aires protégées dans la préservation des forêts du bassin du Congo : cas du parc national de la salonga, RDC.* Organisation des travaux préparatoires de la 27<sup>e</sup> conférence de parties à la convention cadre des Nations unies sur le changement climatique. République démocratique du Congo, Kinshasa du 3 au 5 octobre 2022.
- Zine, N.E. (2003). *Diagnostic de la faune aquatique.* Projet MedWetCost Maroc « Conservation des zones humides et des écosystèmes côtiers de la région méditerranéenne ».
- Zenodo (2022). *Convention on Biological Diversity.* Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework, 14. <https://www.cbd.int/conferences/2021-2022/cop-15/documents>

Réalisation, fabrication :

**Transfaire / naturalia**  
PUBLICATIONS

04250 Turriers

[www.transfaire.com](http://www.transfaire.com)

[www.naturalia-publications.com](http://www.naturalia-publications.com)

Achévé d'imprimer : octobre 2024



Editors-in-Chief: Dr Élise Buisson  
et Dr Brigitte Talon  
UMR CNRS IRD IMBE  
Université d'Avignon, IUT  
Site Agroparc, BP 1207  
84911 Avignon cedex 09  
France

## Editorial Board

Dr Pierre CHEVALDONNÉ, CNRS,  
Marseille, France  
Dr Marc CHEYLAN, EPHE, Montpellier,  
France  
Dr Bruno FADY, INRAE, Avignon, France  
Pr Thierry GAUQUELIN, Université Aix-  
Marseille, France  
Dr Grant WARDELL-JOHNSON, University  
of Western Australia, Australia  
Dr Antoine GAZAIX, Tour du Valat, France  
Dr Raphaël GROS, Université Aix-  
Marseille, France  
Dr Frédéric GUIER, Université Aix-  
Marseille, France  
Pr Serge KREITER, SupAgro, Montpellier,  
France  
Pr Frédéric MÉDAIL, Université Aix-  
Marseille, France  
Dr Tom PARKER, San Francisco State  
University, USA  
Dr Philippe PONEL, CNRS, Marseille,  
France  
Dr Roger PRODON, EPHE, Montpellier,  
France  
Dr Sandra SAURA-MAS, Autonomous  
University of Barcelona, Spain  
Dr Isabelle SCHWOB, Université Aix-  
Marseille, France  
Dr Irene TEIXIDOR-TONEU, IRD, France  
Dr Thekla K. TSITSONI, Aristotle University  
of Thessaloniki, Greece  
Dr Errol VÉLA, Université de Montpellier,  
France  
Dr Éric VIDAL, IRD, Nouvelle-Calédonie  
Dr Mercedes VIVAS, Universidad of  
Concepción, Chili  
Dr Ioannis VOGIATZAKIS, Open  
University  
of Cyprus, Cyprus

ISSN 0153-8756

<http://ecologia-mediterranea.univ-avignon.fr>

## Guidelines for authors

*ecologia mediterranea* publishes original research reports and syntheses in the fields of fundamental and applied ecology of Mediterranean areas, except for descriptive articles or articles about systematic. The editors of *ecologia mediterranea* invite original contributions in the fields of: bioclimatology, biogeography, conservation biology, marine biology, population biology, community ecology, forest ecology, marine ecology, genetic ecology, landscape ecology, microbial ecology, restoration ecology, plant and animal ecology, ecophysiology, palaeoecology, palaeoclimatology. The journal also publishes reviews, short communications, book reviews, Ph. D. thesis abstracts and comments on papers recently published in the journal. *ecologia mediterranea* invite conference organizers to get in touch with the editors for special issues as part of conference/symposium proceedings. Manuscripts are peer-reviewed by appropriate referees. The final decision to accept or reject the manuscript is made by the editors. To submit a paper, please send an electronic version of your paper to [ecologia.mediterranea@imbe.fr](mailto:ecologia.mediterranea@imbe.fr) (doc(x) or rtf). Please read the following guidelines to prepare your manuscript. When the article is accepted, the authors should take reviewer's comments into consideration. They will send back to the journal Editorial Office, within 2 months. After this deadline, the manuscript will be considered as a new submission.

### TYPES OF MANUSCRIPTS

Please, mention the type of manuscript you are submitting on the first page of your submission.

**Research article:** research report of broad scope that is an original contribution to science. The typical length of research papers is about 6,000 to 8,000 words.

**Short communication:** brief report of new observations or of important findings that deserve publication before broader studies are completed. The typical length of short communications is about 3,000 to 4,000 words.

**Reviews:** critical appraisal of broad areas of investigation or re-search in Mediterranean ecology. The typical length of reviews is about 6,000 to 8,000 words.

**Commentaries:** opinion on topics recently published in *ecologia mediterranea* or essays on topics of general interest in Mediterranean ecology. The typical length of short communications is about 1,000 to 3,000 words.

**Book review:** critical appraisal of a Book interesting to the readers of *ecologia mediterranea*. Editors who wish to see their book reviewed in *ecologia mediterranea* should get in touch with the editors of the journal.

**Ph. D. thesis abstracts:** abstract of the Ph. D. thesis recently defended in the fields covered by *ecologia mediterranea*. Author, Year, Title, University (e.g. Ph. D. thesis defended on April, 4th 2014 at University of California, Irwin, USA, Lab xxx), Composition of board, Keywords, Abstract (1,000 words max.).

### MANUSCRIPT PREPARATION

Manuscripts (typewritten Times 12, with double line spacing) must be written in English or in French. If the language is not English, you should join an English short version and English titles of figures and tables. The manuscript must be complete: e.g. title in English and French, author(s) and address(es), abstract in English and French, an English short version (if English is not the language used in the article), keywords in English and French, text, acknowledgements, references, figures and tables (one / page). For the submission, figures and tables are integrated in the word document and not sent separately. For research papers, the

text should normally consist of 4 sections: introduction, methods, results, discussion which are not numbered. Subtitles are not numbered either:

Introduction  
Methods  
Study site  
Experimental design  
Statistical analyses  
Results  
Discussion

Use lower-case letter type for names in the text and in the reference section. Do not underline any word. In English, there is one blank after any punctuation, never before. Copy editing of manuscripts is performed by the journal.

### FIRST PAGE

The first page contains:

- 1) the type of manuscript (research paper, short communication, etc.);
- 2) the title of the article;
- 3) the names of the authors;
- 4) the address of each author + an email at least of the corresponding author;
- 5) the total number of words from the introduction to the references included.

### ABSTRACTS, KEYWORDS AND SHORT VERSION

Abstracts should be no longer than 300 words. The English short version should not exceed one page long (1,000 words). Do not use more than six keywords. Keywords should not be present in the title.

### REFERENCES

All publications cited in the text should be presented in a list of references following the text of the manuscript. The list of references should be arranged alphabetically on author's names, and chronologically for each author. You should abbreviate the titles of periodicals mentioned in the list of references (except if you are not sure of it: ISI Journal Abbreviations Index). Check the manuscript to make sure that all references are cited and that all citations in the text are included in the references. Use following system to write the references:

#### Article

Andow, D.A., Karieva, P., Levin, S.A. & Okubo, A. (1990). Spread of invading organisms. *J. Ecol.* 4, 177-188.

#### Book

Harper, J.L. (1977). *Population biology of plants*. Academic Press, London, 300 p.

#### Book chapter

May, R.M. (1989). Levels of organisation in ecology. In: Chernet J.M. (ed.), *Ecological concepts*. Blackwell Scientific Public, Oxford, 339-363.

#### Thesis, Report

Jaouadi, W. (2011). *Écologie et dynamique de régénération de l'Acacia tortilis (Forsk.) Hayne subsp. raddiana (Savi) Brenan var. raddiana dans le parc national de Bouhedma (Tunisie)*. Thèse de doctorat de l'Institut national agronomique de Tunisie, 180 p.

#### Website

Météo-France (2020). *Données climatiques de la station de Marignane, normales*. Available at: <http://www.meteofrance.com/climat/france/marignane/13054001/normales>. Last accessed 21.4.2020

### IN-TEXT CITATIONS

The words "figure" and "table" announced in-text should be written in extenso and with lower-case letter type. In the text refer to the author's name and year of publication (followed by pages only if it is a quotation). If a publication is written by more than two authors, the name of the first author should be used followed by "et al." (this indication, however, should never be used in the list of references: first author and co-authors should be mentioned in it). Examples: "Since Dupont (1962) has shown that...", or "This is in agreement with previous results (Durand et al. 1990; Dupont & Dupont 1997)..."

### ABBREVIATES, NOMENCLATURE AND LATIN WORDS

Explanation of a technical abbreviate is required when the first use. International convention codes for nomenclature should be used. Latin words should be in italic (et al., a priori, etc.), particularly for plants or animals' denomination (the first time, please precise author's name: for example, *Olea europaea* L.).

### FIGURES AND TABLES

All illustrations should be included in the word document after the section "References". Once the paper is accepted for publication, illustrations should be sent separately (3,000 dpi). All the illustrations should be cited and should have a legend.

### REPRINTS

A pdf version will be supplied free of charge for each paper.

## SUBSCRIPTION

(contact : [ecologia@naturalia-publications.com](mailto:ecologia@naturalia-publications.com))

1 year = 2 issues

	Subscription	Postage	Total
France	60 €	6 €	66 €
Europe	60 €	12 €	72 €
World	60 €	16 €	76 €

Mail this subscription to:  
SARL Transfaire  
Avenue Maréchal Leclerc  
F-04250 TURRIERS

Bank: CA SISTERON  
IBAN: FR76 1910 6008 3913 9956 2600 062  
BIC: AGRIFRPP891

**Sommaire – Contents**

<b>Overview on the trophic ecology of the Moorish Gecko <i>Tarentola mauritanica</i> (Linne, 1758) (Reptilia: Phyllodactylidae) in a suburban ecosystem in Algiers</b>	
F. OULDAISSA, S. DOUMANDJI .....	3
<b>The alien ant <i>Cardiocondyla mauritanica</i> on a small Corsican island: first record for European France</b>	
R. BLAYA, P. PONEL, E. BUISSON, C. BERQUIER, O. BLIGHT .....	15
<b>First entomological inventory of Forest Cockroaches of Bouira Region (Northern Algeria)</b>	
S. BOUNADJI, S. BENHISSEN, F. K. KEBAILI, W. HABBACHI, K. REBBAS .....	21
<b>Application de l’outil de management intégré IMET pour évaluer l’efficacité de la gestion des zones humides. Cas de l’embouchure de la Moulouya au nord-est du Maroc</b>	
T. OUAGGA, C. PAOLINI, P. ROGGERI, N. SAHIB .....	31

---

Revue indexée dans Pascal-Cnrs et Biosis

