

**UNIVERSITÉ DE BLIDA 1**

**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**

Département des Biotechnologies



**THÈSE DE DOCTORAT**

En Sciences Agronomiques

Présenté par

**AHMED IRZAGH**

**CONTRIBUTION A L'ETUDE ECOLOGIQUE DES POPULATIONS DE  
MAMMIFERES SAUVAGE MENACES DANS LA REGION D'ILLIZI  
SUD EST D'ALGERIE**

Soutenu le : 05/06/2021.

Devant le jury composé de :

<b>Z.DJAZOULI</b>	Professeur,	Université de Blida1	Président
<b>S. OUARAP</b>	MCA,	Université de Blida1	Examinatrice
<b>F.MARNICHE</b>	Professeur,	ENSVE. Alger	Examinatrice
<b>N. CHEBOUTI- MEZIOU</b>	Professeur,	Université de Boumerdès	Examinatrice
<b>F.BOUNACEUR</b>	Professeur,	C U. Tissemsilt	Dir de thèse
<b>A. GUENDOZ-BENRIMA</b>	Professeur,	Université de Blida1	Co-Dir de Thèse

Année universitaire 2020-2021

## RÉSUMÉ

### CONTRIBUTION A L'ETUDE ECOLOGIQUE DES POPULATIONS DE MAMMIFERES SAUVAGE MENACES DANS LA REGION D'ILLIZI SUD EST D'ALGERIE

Les Mammifères sauvages ont été inventoriés au cours de prospections standardisées dans les principaux biotopes du sud du Tassili n'Ajjer (wilaya d'Illizi). Ce travail d'inventaire a été réalisé afin d'actualiser la répartition de certains mammifères et d'améliorer les connaissances sur ces espèces pour développer des mesures de conservation pertinentes. L'observation directe des animaux, de leurs traces et autres indices de présence a été enregistrée le long de 23 transects tracés dans trois zones autour de Djanet. Les prospections ont été conduites entre 2015 et 2017 en fin d'hiver - début de printemps et fin d'été pour un total de quatre campagnes. Neuf espèces ont été contactées : *Canis anthus*, *Vulpes rueppellii*, *Vulpes zerda*, *Felis margarita*, *Ammotragus lervia*, *Gazella dorcas*, *Asellia tridens*, *Massoutiera mzabi* et *Procavia capensis*. Ce sont essentiellement des espèces de taille moyenne à grande observables en journée.

Les données rajoutent la présence d'une espèce, étendent la répartition d'une autre et confirment la persistance des autres, suggérant la poursuite des efforts en vue de leur conservation

Mots clés : Mammifères, biotopes, transects, Tassili n'Ajjer, prospections, printemps, espèces.

## ABSTRACT

### CONTRIBUTION TO THE ECOLOGICAL STUDY OF THE POPULATION OF THREATENED WILD MAMMALS IN THE REGION OF SOUTH EAST ILLIZI OF ALGERIA

Wild mammals have been inventoried during standardized surveys in the main biotopes of southern Tassili n'Ajjer (wilaya of Illizi). This inventory work was carried out in order to update the distribution of certain mammals and to improve knowledge on these species in order to develop relevant conservation measures. Direct observation of animals, their tracks and other evidence of presence was recorded along 23 transects traced in three areas around Djanet. Surveys were conducted between 2015 and 2017 in late winter - early spring and late summer for a total of four campaigns.

Nine species were contacted: *Canis anthus*, *Vulpes rueppellii*, *Vulpes zerda*, *Felis margarita*, *Ammotragus lervia*, *Gazella dorcas*, *Asellia tridens*, *Massoutiera mzabi* and *Procavia capensis*. They are essentially medium to large species observable during the day.

The data add the presence of one species, expand the distribution of another, and confirm the persistence of others, suggesting continued conservation efforts.

**Keywords:** Mammals, biotopes, transects, Tassili N'Ajjer, surveys, spring, species.

## ملخص

### المساهمة في الدراسة الإيكولوجية لسكان الثدييات البرية المهددة في منطقة جنوب شرق

#### إيليزي-الجزائر-

تم جرد الثدييات البرية خلال خرجات موحدة في المناطق الحيوية الرئيسية في جنوب تاسيلي نازجر (ولاية إيليزي). تم تنفيذ هذا الجرد من أجل تحديث توزيع بعض الثدييات وتحسين المعرفة بهذه الأنواع من أجل تطوير تدابير الحفظ ذات الصلة. تم تسجيل الملاحظة المباشرة للحيوانات ومساراتها وغيرها من الأدلة على وجودها على طول 23 مقطعًا تم تتبعها في ثلاث مناطق حول جانت. أجريت الاستطلاعات بين عامي 2015 و 2017 في أواخر الشتاء أوائل الربيع وأواخر الصيف بمجموع أربع حملات. تم جرد تسعة أنواع وهي: ابن اوى الافريقي والثعالب والقنفود الرمالي والاروي وغزال دوركاس وخفافيش وقندي مزابي والوبر الصخري . هي في الأساس أنواع متوسطة إلى كبيرة و يمكن ملاحظتها خلال النهار. تضيف البيانات وجود نوع واحد ، وتوسع توزيع نوع آخر ، وتؤكد استمرار الأنواع الأخرى ، مما يشير إلى استمرار جهود الحفظ.

**المفتاح:** الثدييات ، التنوع البيئي ، الخطوط الطولية ، تاسيلي نازجر ، المسح العام ، الربيع ، الأنواع.

## **REMERCIEMENTS**

Au terme de ce travail, qu'il me soit permis d'adresser le témoignage de ma gratitude à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation.

Pour commencer, je remercie avant tout Dieu le tout puissant de m'avoir donné la force et le courage nécessaire pour réaliser ce travail, et pour avoir mis sur ma route des gens qui m'ont permis d'évoluer.

Ce travail a été réalisé sous la direction du Pr. Farid Bounaceur Professeur, C U. Tissemsilt et Pr Atika. Guendouz-Benrima, professeur à l'université de Blida 1 qui, par son intérêt, toujours renouvelé, ses conseils, tant sur le plan de l'élaboration du mémoire et sa connaissance approfondie en biodiversité, m'ont été précieux pour mener à terme, et dans les meilleures conditions, cette étude dont elle a déterminé les orientations, tout en me laissant entière liberté pour la conduire à mon gré. Je lui adresse ici toute ma reconnaissance et mon admiration.

Je tiens à exprimer mes remerciements et mes respects à Pr DJAZOULI ZAHER EDDINE qui m'a fait l'honneur de présider le jury de cette thèse et aux membres du laboratoire biotechnologie, pour leur disponibilité, leur soutien, et leur encouragement.

Je tiens à exprimer mes remerciements et mes respects aux membres du jury ,Pr. F. MARNICHE et Dr S. OUARAP et aussi Pr N. CHEBOUTI- MEZIOU pour leur examination.

J'exprime également ma reconnaissance à Pr.SNOUSSI Sid Ahmed professeur et directeur du laboratoire de recherche en biotechnologie des productions végétales, pour avoir accepté de faire de moi un membre de son laboratoire, et sans oublié ses encouragements. Je lui témoigne ici ma profonde gratitude.

**Je dédie de tout mon cœur ce travail à l'âme de Mon père.**

**Merci aux oubliés**

## DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail et ma profonde gratitude à :

- Ø Mes enfants Redouane et Meriem.
- Ø Ma très chers Maman "Fatma " pour ses encouragements et son soutiens durant chaque étape de ma vie.
- Ø Ma très Chère femme, qui m'a toujours soutenu et encouragé pendant les périodes difficiles.
- Ø Mon Cher frère l'Architecte ZEROUGGUI Redouane.
- Ø Mes beaux frères et sœurs
- Ø A tous mes amis et collègue de la faculté SNV à l'université de Blida et toutes les personnes qui ont participé à la réalisation de ce travail.

Ahmed

## SOMMAIRE

REMERCIEMENTS

DEDICACES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

INTRODUCTION.....	01
<b>Chapitre 1.</b> Synthèse bibliographique.....	04
1.1. Données bibliographiques historique sur les mammifères sauvages.....	04
1.2. Données bibliographiques sur les mammifères sauvages d'Algérie.....	06
1.3. Données bibliographiques sur la zoogéographie des mammifères d'Algérie..	06
1.4. Données bibliographiques sur les mammifères du Sahara algérienne.....	07
1.4.1. Mouflon a manchettes <i>Ammotragus lervia</i> .....	08
1.4.2. Les gazelles d'Algérie.....	10
1.4.3. Massoutiera M'Zabi .....	13
1.4.4. Daman des rochers .....	17
1.4.5. Vulpes Zerda .....	21
1.4.6. <i>Felis margarita</i> .....	22
1.4.7. Chiroptère(Trident du désert).....	23
<b>Chapitre 2.</b> Présentation de la région d'étude, Tassili N'Ajjer.....	26
2.1. Situation géographique.....	26
2.2. Géologie.....	27
2.3. Caractéristiques hydrographiques.....	27
2.4. Caractéristiques édaphiques.....	27
2.5. Caractéristiques climatiques .....	27
2.5.1. Pluviométrie .....	27
2.5.2. Températures.....	28
2.5.3. Synthèse climatique .....	28
2.5.3.1 Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen.....	30
2.5.3.2. Climagramme d'Emberger .....	31
2.6. Données bibliographie sur la faune et la flore du Tassili N'Ajjer .....	32
2.6.1. Faune de la région d'étude.....	32
2.6.1.1. Mammifères .....	33
2.6.1.2. Poissons .....	34
2.6.1.3. Amphibiens et Reptiles .....	34
2.6.1.4. Oiseaux.....	35
2.6.1.5. Arthropodes .....	37
2.6.2. Flore de la région d'étude.....	39
<b>Chapitre 3.</b> État de connaissances sur les mammifères du Tassili Algérien .....	43
1. Introduction .....	43
2. Matériel et méthodes.....	44
2.1. Présentation de la région d'étude.....	44
2.2. Méthodologie .....	44
3. Résultats.....	46
3.1 Chacal du Sénégal <i>Canis nthus</i> (Cuvier, 1820).....	46

3.2 Chat des sables <i>Felis margarita</i> (Loche, 1858) .....	46
3.3 Renard famélique <i>Vulpes rueppellii</i> (Linnaeus, 1758) .....	46
3.4 Fennec <i>Vulpes zerda</i> (Zimmerman, 1780) .....	47
3.5 Trident du désert <i>Aselia tridens</i> (Geoffroy, 1813) .....	48
3.6 Daman de rochers <i>Procavia capensis</i> (Pallas, 1766) .....	48
3.7 Goundi du M'zab <i>Massoutiera mzabi</i> (Lataste, 1881).....	49
4. DISCUSSION.....	50
5. CONCLUSION .....	55

<b>Chapitre 4. Structure des populations et distribution spatiale de deux ongulés sauvages <i>Ammotragus lervia</i> et <i>Gazella dorcas</i> dans Tassili N'Ajjer.....</b>	<b>56</b>
1. Introduction.....	56
2. Matériel et méthodes.....	58
2.1 Présentation de la région d'étude.....	58
2.2 Méthodologie.....	59
3. RÉSULTATS .....	63
3.1 Structure des populations et distribution spatiale du mouflon à manchette <i>Ammotragus lervia</i> dans le Tassili.....	63
3.1.1 Variations saisonnières et annuelles de la structure des populations d' <i>Ammotragus lervia</i> dans les zones prospectées du Tassili.....	63
3.1.2 Variations de la structure des populations d' <i>Ammotragus lervia</i> en fonction des différents transects prospectés dans le Tassili entre 2015 et 2016.....	64
3.1.3 Distribution spatiale des populations d' <i>Ammotragus lervia</i> dans le Tassili. ....	65
3.2 Structure des populations et distribution spatiale de la Gazelle dorcas dans le Tassili.....	66
3.2.1 Variations saisonnières de la structure des populations de <i>Gazella dorcas</i> dans les zones prospectées du Tassili entre 2015 et 2016 .....	66
3.2.2 Variations de la structure des populations de <i>Gazella dorcas</i> en fonction des différents transects prospectés dans le Tassili entre 2015 et 2016 .....	67
3.2.3 Distribution spatiale de <i>Gazella dorcas</i> dans le Tassili.....	69
4. DISCUSSION.....	70
4.1 Structure des populations et distribution spatiale d' <i>Ammotragus lervia</i> .....	70
4.2 Structure des populations et distribution spatiale de <i>Gazella dorcas</i> .....	71
5. CONCLUSION .....	74
CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	75
REFERENCE BIBLIOGRAPHIE	

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau 1</b> :Précipitations mensuelles (mm) enregistrées à la région d'étude[105].....	<b>28</b>
<b>Tableau 2</b> :Températures moyennes mensuelles de la région d'étude [105].....	<b>28</b>
<b>Tableau 3</b> Liste des espèces mammifères présentes dans la région d'étude [11].....	<b>33</b>
<b>Tableau 4</b> Espèces des poissons recensées dans la région du Tassili n'Ajjer [11].....	<b>34</b>
<b>Tableau 5</b> Principaux reptiles et amphibiens de la région de Tassili n'Ajjer [11].....	<b>34</b>
<b>Tableau 6</b> Principaux espèces oiseaux de la région de Tassili n'Ajjer [46].....	<b>36</b>
<b>Tableau 7</b> listes espèces d'arthropodes de la région d'étude [46].....	<b>37</b>
<b>Tableau 8</b> Flores des régions botanique de Tassili n'Ajjer [46].....	<b>39</b>
<b>Tableau 9</b> :Principaux espèces végétale caractéristiques de la région d'étude [01].....	<b>40</b>
<b>Tableau10</b> : Caractéristiques des stations d'études des Mammifères dans le Tassili n'Ajjer(Algerie)(Original).....	<b>62</b>

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure 01</b> . Gazelle dorcas, <i>Gazella dorcas</i> (mâle) Linnaeus,1758)[81].....	11
<b>Figure 02.</b> Distribution récente et historique de <i>Gazella dorcas</i> [32].....	13
<b>Figure 03</b> . Présentation de la région d'étude [61].....	26
<b>Figure 04.</b> Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région la région d'étude durant les années 2014(original).....	29
<b>Figure 05.</b> Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région de la région d'étude durant les années 2015 (original) .....	29
<b>Figure 06</b> Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région d'étude durant les années 2016 (original).....	30
<b>Figure 07.</b> Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région d'étude durant les années 2014.2015.2016(original).....	31
<b>Figure 08</b> Climmagramme d'Emberger pour la région du Tassili N'Ajjer (original)..	32
<b>Figure 09</b> Transects parcourus pour la détection des Mammifères dans le Tassili n'Ajjer, région de Djanet (original).....	45
<b>Figure 10.</b> Localisation des données de Carnivores recueillies dans le Tassili n'Ajjer algérien en 2015 et 2017 (a : <i>Canis anthus</i> et <i>Felis margarita</i> , b : <i>Vulpes rueppellii</i> et <i>V zerda</i> (original).....	48
<b>Figure 11.</b> Localisation de la colonie d' <i>Asellia tridens</i> , de <i>Procavia capensis</i> et <i>Massoutiera mzabi</i> recueillies dans le Tassili n'Ajjer algérien en 2015 et 2017(Original).....	49
<b>Figure 12</b> Groupe d'individu Mouflon à manchettes <i>Ammotragus Lervia</i> original ..	51
<b>Figure 13.</b> Photo de gazelle dorcas <i>Gazella Dorcas</i> (original).....	52
<b>Figure 14.</b> Photo de chauve souris <i>Asellia tridens</i> (original).....	53
<b>Figure 15.</b> Photo Daman de rochers <i>Procavia capensis</i> (original).....	54

<b>Figure 16.</b> Photo Goundi du M'zabMassoutiera mzabi (original).....	54
<b>Figure 17.</b> Transects parcourus pour la détection des mammifères dans le Tassili N'Ajjer, région de Djanet (original) .....	60
<b>Figure 18.</b> Variations saisonnières et annuelles de la structure des populations d'Ammotragus lervia dans les zones prospectées du Tassili entre 20015 et 2016(Original).....	63
<b>Figure 19.</b> Variations de la structure des populations de Ammotragus lervia en fonction des différents transects prospectés dans le Tassili en 2015 (Original).....	64
<b>Figure 20.</b> Variations de la structure des populations d'Ammotragus lervia en fonction des différents transects prospectés dans Tassili en 2016 (Original).....	65
<b>Figure 21.</b> Distribution spatiale des populations d'Ammotragus lervia dans le Tassili(Original).....	66
<b>Figure 22</b> .Variations saisonnières et annuelles de la structure des populations de Gazella dorcas dans les zones prospectées du Tassili entre 2015 en 2016.....	67
<b>Figure 23</b> .Variations de la structure des populations de Gazella dorcas en fonction des différents transects prospectés du Tassili en 2015 (original).....	68
<b>Figure 24</b> .Variations de la structure des populations de Gazella dorcas en fonction des différents transects prospectés du Tassili en 2016 (original).....	69
<b>Figure 25.</b> Distribution spatiale de Gazella dorcas dans le Tassili (original).....	69

# *Introduction*

## INTRODUCTION

La biodiversité a connu une érosion sans précédente à l'échelle mondiale par la perte d'habitats et le changement climatique [01]. Les défis consistent à accroître les connaissances sur la diversité et la répartition des espèces [02] et à détecter les processus écologiques et évolutifs afin de systématiser la planification de la conservation de la biodiversité [03].

Les déserts [indice d'aridité (précipitations annuelles moyennes / évapotranspiration potentielle)  $<0,05$  ; [04] et les régions arides (indice d'aridité entre 0,05 et 0,20) sont généralement perçus comme des zones dénudées et plutôt homogènes de faible diversité par rapport à d'autres régions, attirant ainsi moins l'attention scientifique [05]. Cependant, ils permettent d'examiner les effets des environnements extrêmes sur les modèles de biodiversité [04].

Les déserts et les régions arides présentent des espèces réparties de façon inégale dont les limites de l'aire de répartition sont sous un fort contrôle climatique, un taux d'endémisme relativement élevé en raison des processus adaptatifs des organismes aux environnements extrêmes, des micro-points chauds de la biodiversité menacés localement [06] et les extrêmes climatiques générant de forts gradients écologiques [07]. L'augmentation des activités d'exploitation humaine et des conditions d'aridité progressive affectent négativement la biodiversité du désert ainsi que la pauvreté et la fréquence des conflits [08]. L'ampleur et la vitesse du changement climatique dans les déserts devraient être fortes et rapides [09] provoquant une prise de conscience internationale croissante de la biodiversité du désert [08]. Le désert du Sahara et le Sahel aride voisin constituent deux écorégions majeures du continent africain [10] et présentent des caractéristiques qui les distinguent des autres déserts du monde et des régions arides.

La variation temporelle de la recherche sur la biodiversité saharienne, suivie par le nombre d'articles scientifiques publiés sur ce sujet au cours des 140 dernières années, souligne que la recherche a été fortement dépendante des fluctuations de la stabilité politique de la région. La période relativement paisible qu'a connue la décennie 2001-2010 s'est traduite par une augmentation impressionnante du nombre d'études consacrées à la région, pour tous les groupes taxonomiques examinés. Ces efforts de recherche ont associé des outils moléculaires et géomatiques (systèmes mondiaux de navigation par satellite et systèmes d'information géographique) à un large échantillonnage de taxons.

Les connaissances sur la répartition de la biodiversité à travers le Sahara-Sahel sont rares

par rapport aux zones voisines. De grandes parties du nord-est de la Mauritanie, du nord du Mali, de l'ouest de l'Algérie, du sud de la Libye et de presque toutes les régions montagneuses sont sous-échantillonnées.

Les connaissances actuelles sur la richesse en espèces sont particulièrement faibles dans les montagnes où l'effort d'échantillonnage est rare ou inexistant.

La Compilation et analyse des données de distribution des espèces disponibles pour la faune sahélo-saharienne (Dumont, 1982; Le Berre, 1989, 1990; L'évêque, 1990; Kingdon, 1997; Rodel, 2000; Denys, Granjon & Poulet, 2001; Crochet, Geniez & Ineich, 2003; Carranza et al., 2004, 2008; Geniez et al., 2004; Wilson & Reeder, 2005; Baha El Din, 2006; Geniez & Arnold, 2006; Johnson et al., 2006; Trape & Man'e, 2006; Brito et al., 2008, 2010, 2011c; Sindaco & Jerem'cenko, 2008; Arnold, Robinson & Carranza, 2009; Granjon & Duplantier, 2009; Hoath, 2009; Nicolas et al., 2009; Trape, 2009; Brahmi et al., 2010; African Chiroptera Report, 2011; Ferreira et al., 2011; Geniez, Padiàl & Crochet, 2011; Hekkala et al., 2011; Wagner et al., 2011; Trape, Chirio & Trape, 2012) indique la présence d'un total de 305 espèces de libellules, poissons, amphibiens, reptiles et mammifères, réparties principalement le long d'une série de couloirs et de refuges potentiels [11] .

Par exemple, les montagnes du Sahara central du Hoggar et sont des refuges majeurs pour les grands ongulés et carnivores menacés [par ex. *Ammotragus lervia*, *Nanger dama* et *Addax nasomaculatu* [12]; *Acinonyx jubatus* et *Panthera pardus* [13] probablement en raison de leur relative inaccessibilité aux braconniers et de la faible activité humaine généralisée. Les montagnes abritent 41 endémies vertébrées sahélo-sahéliennes (51% de toutes les endémies), l'Air (29% de toutes les endémies), l'Adrar Atar (23%) et le Hoggar (21%) étant particulièrement riches, et contiennent des populations isolées de 88 vertébrés d'origine non saharienne (45% de tous les non sahariens). Ces populations isolées d'espèces d'origine non saharienne persistent dans des habitats restreints au sein des oasis et des montagnes du Sahara-Sahel, suggérant des changements de distribution temporelle liés aux fluctuations climatiques du Plio-Pléistocène [97] et ou des translocations récentes [15] .

Bien que les montagnes soient actuellement entourées de zones sablonneuses et rocheuses, elles étaient probablement reliées par des habitats de type savane au cours des périodes humides passées [11]. Formant un réseau de couloirs de biodiversité [16]. Devant le manque des données sur la faune mammalienne dans la région d'Illizi sont très peu documentées, les recherches locales ce sont focalisées sur l'entomofaune de la région d'Illizi et le régime alimentaire des rapaces nocturnes [17]. Contrairement pour les mammifères les seules investigations remontent à une vingtaine d'années [18]. .ainsi que les travaux sur le guépard mené par Hamdine [19]. Devant le manque marquée sur ces espèces la nécessité

d'une mise à jour des connaissances est plus que nécessaire afin d'actualiser les données sur ce groupe de taxa pour dresser un bilan préliminaire et établir les priorités de conservation de ces données pour une gestion globale des parcours et des habitats ainsi que l'aide à la décision dans les prise en charge des plans de gestion de sauvegarde de ces espèces.

Afin de faciliter la lecture de ce document de thèse nous allons décrire brièvement son organisation.

En effet, le corps de la thèse est composé de quatre chapitres les deux premiers concernent la bibliographie et les résultats sont présentées sous forme de chapitre indépendants traitants chaque problématique bien définie :

- Une **introduction** présente les objectifs et la problématique de la thèse ;
- Le **premier chapitre** est consacré à une synthèse bibliographique de la faune Mammalienne du Tassili ;
- Le **second chapitre**, présente la région d'étude ;
- Dans le **Troisième chapitre**, seront présentés l'état de connaissances sur les mammifères du tassili algérien ;
- Le **quatrième chapitre**, comprend une étude sur structure des populations et distribution spatiale de deux ongulés sauvages *Ammotragus lervia* et *Gazella dorcas* **dans Tassili N'Ajjer ;**
- **Enfin, une** conclusion générale accompagnée de perspectives achève ce travail

*Chapitre I : Synthèse  
bibliographique*

## 1. Synthèse bibliographique.

### 1.1. Données bibliographiques historique sur les mammifères sauvages.

Du Paléocène au Miocène, au début du Tertiaire, au Paléocène, le continent africain était déjà semblable dans sa forme de base à sa forme actuelle. Les placentaires et les marsupiaux s'y développaient déjà, bien que leur connaissance soit très incomplète. La plus ancienne faune africaine connue d'Eutheria provient de la partie sud du bassin du Maroc [20].

L'âge de l'Eocène plusieurs fossiles de faune de mammifères terrestres a été trouvés (Primates), Hyracoidea, Marsupiaux, Macroscelidea, Insectivora, Chiroptera, un créodonte Koholiatlasense [21], [22] et [23].

L'âge de l'Eocène tardif est attribué à la faune). Il contenait des restes de proboscidiens (*Moeritherium sp.*), D'hyracoïdes (*Bunohyrax sp.*) et d'Anthracotheriidae. *Biretia piveteaui* appartenant à des primates catarrhiniens, est le plus ancien représentant de cette famille de singes découvert à ce jour Le site a également révélé les plus vieux rongeurs spécifiquement déterminés de toute l'Afrique ([24], [25]. [26]. [27]).

La faune Oligocène d'Afrique était encore endémique dans une large mesure. Les mammifères de cette période sont pratiquement inconnus du Maghreb, des rares reliques *Palaeomastodon serridem* (Proboscides) de Tunisie [28].

Le Miocène a vu une grande migration de mammifères asiatiques en Afrique. Il n'y a pas de matériel du Sahara appartenant au Miocène.

C'est l'Asie qui a été la principale source de la faune mammifère du Miocène d'Afrique du Nord. Il semble qu'en raison de l'aridité du climat saharien, qui était déjà de type désertique au Miocène, l'Afrique du Nord était dans une large mesure isolée du reste du continent africain à cette époque. Certains éléments endémiques de la faune africaine ont survécu, mais leur nombre diminuait avec le temps. Les migrations ultérieures du sud semblent avoir une importance mineure. Le monde animal de la région s'est développé dans un isolement relatif.

La faune pliocène suggère un climat initialement assez sec et une végétation de type savane. Le refroidissement de la Méditerranée au début du Pléistocène a dû influencer le climat en Afrique du Nord.

La connaissance de la faune des grands mammifères de la transition Pliocène-Pléistocène est basée, dans une large mesure, sur des découvertes qui ne peuvent être datées avec précision selon [29].

La végétation dominante du Pléistocène moyen était probablement de type savane. Des différences écologiques dans la composition de la faune peuvent être observées sur la côte, où *Elephas* était présent tandis que le rongeur *Arvicanthis* était absent, par rapport à l'arrière-pays, où *Loxodonta atlantica* et *Arvicanthis* ont été trouvés. En général, la faune des grands mammifères était clairement africaine dans son caractère avec de nombreuses antilopes de genres présentes à l'époque, et dans une mesure considérable même maintenant, dans l'Afrique subsaharienne. Le climat doit avoir été suffisamment humide pour permettre la migration des animaux à travers le Sahara, éventuellement le long de la côte atlantique. Cette migration ne comprenait que de petits mammifères occasionnels. Dans le même temps, la faune s'enrichit progressivement d'éléments paléarctiques. Leur route de migration la plus probable était celle d'Asie. Leur apparition successive démontre que cet itinéraire a agi comme une sorte de filtre, il ne s'agit pas d'une émergence d'une nouvelle faune mais plutôt d'une migration accidentelle d'espèces particulières [30].

La période du Pléistocène supérieur est connue à partir de très nombreuses localités dans les sédiments fluviaux, limniques et cavernes [31].

La fin du Pléistocène a entraîné une réduction supplémentaire de la faune plus ancienne d'origine africaine (par exemple *Elephas*), mais aussi de certains éléments paléarctiques (par exemple *Megaloceros algericus*). Au lieu de cela, *Loxodonta africana* est apparu et les ânes ont remplacé les zèbres, ces derniers présents jusque-là. Parmi les rongeurs, *Apodemus sylvaticus* a fait son apparition. De nombreuses espèces subsahariennes ont survécu dans l'Holocène jusque dans l'ère néolithique mais se sont progressivement éteintes, certaines d'entre elles clairement sous l'influence humaine [30].

## **1.2. Données bibliographiques sur les mammifères sauvages d'Algérie.**

Selon [30], La faune mammifère d'Algérie se compose de 107 espèces. Cela comprend 11 espèces de mammifères marins (le phoque moine, *Monachus monachus* et 10 espèces de cétacés habitant la méditerranée près de la côte algérienne et parfois échoués sur les côtes. Les 96 espèces restantes forment la faune des mammifères terrestres du pays.

Parmi les espèces de mammifères évoquées ici, quatre ont sans aucun doute atteint l'Algérie avec l'homme. Cela comprend le bouquetin (*Capra ibex*), introduit à Djurdjura en 1979 et bientôt éteint, et 3 espèces de rongeurs synanthropes, la souris domestique (*Mus musculus*) et 2 espèces de rats (*Rattus norvegicus* et *R. rattus*). Certaines autres espèces de mammifères peuvent être introduites par l'homme d'Afrique.

Selon [30], la division la plus distincte est celle en deux régions :

- 1) La région barbare, couvrant les zones méditerranéennes du Maroc, de l'Algérie et de la Tunisie. En Algérie, il s'étend entre la côte et le bord sud de l'Atlas saharien.
- 2) La région saharienne, c'est-à-dire toute la zone désertique d'Afrique du Nord et d'Arabie, y compris le Sahara algérien. Si les espèces de chacune de ces régions zoogéographiques pénètrent parfois aux frontières de l'autre, très peu sont en fait présentes sur tout le territoire de l'Algérie.

## **1.3. Données bibliographiques sur la zoogéographie des mammifères d'Algérie.**

Selon [30] les mammifères d'Algérie se répartissent dans 9 groupes :

1. Espèce endémique d'Afrique du Nord. Certains de ces problèmes se produisent (ou se sont produits) uniquement le Maghreb (par exemple : *Crocidura whitakeri*, *Macaca sylvanus*, *Gazella cuvieri*, *Atlantoxerus getulus*, *Dipodillus simoni*, *Elephantulus rozeti*). D'autres se produisent également dans les régions restantes d'Afrique du Nord, certaines atteignant également les parties voisines de la péninsule arabe : *Gerbillus henleyi*, *Meriones shawi*, *Jaculus orientalis* et *Ctenodactylus gundi*.
2. Espèces paléarctiques, présentes en Afrique du Nord, en Europe et en Asie. Deux groupes peuvent être différenciés ici. Le premier contient ceux qui se

produisent uniquement au Maghreb et Europe occidentale: L'autre groupe comprend des espèces largement réparties en Europe et en Asie, et également présentes en Afrique du Nord.

3. Espèces endémiques du Sahara. Ce groupe comprend également les mammifères présents - en dehors du Sahara - dans les déserts de la péninsule arabique.

4. Espèces largement réparties dans la zone désertique de l'Ancien Monde, dont l'aire de répartition s'étend dans les déserts d'Asie occidentale et, souvent, centrale, ainsi que du Sahara.

5. Espèces circum-sahariennes, principalement présentes dans les zones arides (semi-désertiques et steppiques) autour du désert.

6. Espèces afrotropicales, présentes au sud du Sahara et migrant en Algérie depuis le sud, où elles pénètrent plus ou moins profondément dans le désert.

7. Espèces largement réparties dans la région afrotropicale au sud du Sahara et également rencontrées en Afrique du Nord, notamment au Maghreb.

8. Espèces vivant à la fois en Afrique et en Eurasie, dans la zone subtropicale et tropicale.

9. Espèces cosmopolites distribuées par l'homme dans le monde.

#### **1..4 . Données bibliographiques sur les mammifères du Sahara algérienne.**

D'une manière générale, peu d'informations et d'études récentes ont eu lieu sur le terrain concernant la faune sauvage Saharienne [30] et [28].

De nouvelles investigations de terrain dans cette région été faites afin de mieux appréhender les ressources de la biodiversité qui la caractérisent. Des espèces d'importance internationale, telles que la gazelle leptocère, la gazelle de montagne, la gazelle dorcas et le mouflon à manchette sont probablement présents à ce jour [18] dans le Sahara algérienne le guépard (*Acinonyx jubatus*) est toujours présent dans les régions de l'Ahaggar et du Tassili N'Ajjer [19].

[32] au niveau de l'Ahggar a recensé 17 espèces de mammifères dont le guépard (*Acinonyx jubatus*), deux espèces d'ongulés la gazelle dorcas et le mouflon à manchettes, le chat sauvage d'Afrique (chat ganté), renard de Rüppelli, des lièvres

du Cap, *G. tarabuli*. Le même auteur indique la présence de 50 espèces aviennes dont Grand-duc du désert *Bubo ascalaphus*, 11 reptiles dont *Tarentola ephippiata hoggarensis*, *Agama impalearis*, *Latastia longicaudata*. Pour les rongeurs [17] a recensé dans la région de Djanet (Tassili N'Ajjer) 03 espèces appartenant au genre *Gerbillus* (*Gerbillus nanus*, *G. gerbillus* et *G. tarabuli*) et 04 espèces (*Mus musculus*, *G. nanus*, *G. gerbillus* et *G. tarabuli*).

Une liste globale de 25 espèces de mammifères connues de la zone d'inventaire et des régions avoisinantes a été dressée à partir de données publiées [30]. Selon l'enquête de [25] au niveau de l'Erg occidental indique que ce dernier abrite une faune sauvage riche représentée par la gazelle dorcas, la gazelle des dunes, la gazelle de Cuvier et le Mouflon à manchettes ainsi le lièvre du Cap (*Lepus capensis*), le renard de Rüppell (*Vulpes rueppellii*), le hérisson du désert (*Paraechinus aethiopicus*) et le chacal (*Canis aureus*).

La mission d'inventaire de l'Erg oriental par [33] indique l'existence du Lièvre. *Lepus capensis*, les Canidés représentés par le fennec (*Vulpes zerda*), Le renard famélique (*Vulpes rueppellii*), chacal (*Canis aureus*). Autres mammifères telle zorille de Libye (*Poecilitis libyca*) et le hérisson du désert (*Paraechinus aethiopicus*).

#### **1.4.1. Mouflon à manchettes *Ammotragus lervia***

Le Mouflon à manchettes est un animal robuste avec un cou court et gras et une tête allongée avec un front large. Son pelage est fauve, avec des poils durs, gros, raides et avec un duvet fin et bouclé. Des poils fauves pendent le long de la gorge jusqu'à la face antérieure des pattes. Chez les mâles, ils sont très longs et plus longs que chez les femelles. Ses cornes (jusqu'à 88 cm chez le mâle et 45 chez la femelle) s'enroulent en demi-cercle avec une courbure assez ouverte. Elles sont triangulaires à la base et plutôt de type hétéronyme. Elles peuvent servir à la détermination de l'âge dans les populations sauvages du fait des arrêts de croissance annuels [34] En Espagne, les mâles et les femelles peuvent atteindre respectivement une hauteur au garrot de 110 cm et de 90 cm, et un poids de 150 kg et de 70 kg.

Le Mouflon à manchettes habite des régions rocheuses et escarpées entre 200 et 4100 m, évitant toutefois les zones enneigées. Sa stupéfiante agilité sur les supports les plus difficiles et son mimétisme faisaient dire aux habitants du Tibesti «

mouflon comme le diable ». Dans ses habitats d'introduction, il utilise l'espace en fonction de la saison. Il recherche en hiver les pentes exposées plein sud, plus chaudes, et en été les versants nord, plus frais et avec de meilleurs pâturages. Il préfère des zones plus ouvertes et pentues pendant la saison de reproduction (printemps), les zones boisées en été et les pâturages en automne (rut) et en l'hiver. En Espagne, le maquis et la forêt représentent 45 à 65% des habitats utilisés. Dans les régions arides, il fréquente également des zones boisées pendant le rut [35].

La période de rut principale se situe à l'automne (septembre - novembre) avec un pic de naissances de mars à mai (gestation de 5,5 mois). Des naissances peuvent être néanmoins observées tous les mois de l'année. Les premières mises-bas sont notées chez les femelles âgées de 14,4 - 48,6 mois. Les portées sont de 1 ou 2 petits, exceptionnellement 3 en nature avec une sex-ratio de 1:1. En captivité, 37 des 201 mises bas suivies concernaient des naissances gémellaires avec une sex-ratio 1:1. Les petits peuvent suivre leur mère quelques heures après la naissance. Le sevrage a lieu vers l'âge de 5,5 mois [36].

Une longévité maximale de 16 ans a été constatée en nature. Hormis l'Homme, ses prédateurs sont les grands carnivores. En Espagne, des jeunes mouflons sont capturés occasionnellement par l'Aigle royal (*Aquila chrysaetos*) et surtout par des chiens [36].

En revanche, l'épidémie de gale a entraîné une baisse de population de 90% en 1991. La reprise a toutefois été spectaculaire. Pendant la phase de régression, il y a eu un taux plus élevé d'infection chez les mâles (21,9%) que chez les femelles (16,6%) ou des jeunes (5,1%). Les suivis ont permis de détecter la prévalence d'anticorps de *Neospora caninum* chez 7,7% de 13 individus et la présence d'anticorps du virus de la « blue tongue » chez un des 22 mouflons examinés.

L'accroissement annuel a été de 30% dans la Sierra d'Espuna [37]. Dans le Canyon de Palo Duro (Texas), le lâcher de 42 individus en 1957 a abouti à une population de 600 individus en 1967 [38].

Le Mouflon à manchettes est une espèce grégaire non territoriale, caractérisée par la ségrégation des sexes en dehors de la saison du rut. Il a au cours de l'année

deux périodes d'activité essentiellement consacrées à l'alimentation: au lever du jour et en fin d'après-midi. Au Maroc, ce comportement a été observé dans des réserves interdites au parcours et où les animaux bénéficient d'une certaine quiétude. Dans les zones ouvertes pâturées en journée, les mouflons s'alimentent de nuit [39].

Le domaine vital peut atteindre 3300 ha. Celui de mâles radiopistés était deux fois plus grand que celui de femelles :1547,4 ha / 764 ha. Il variait en taille Saisonnièrement mais le centre d'activité restait approximativement le même [40]

Le Mouflon à manchettes développe un comportement de dispersion (1,8 km /an en moyenne au Nouveau Mexique) indépendant de la taille de la population et de la densité, à l'initiative exclusive de mâles matures suivis de petits groupes de reproducteurs [41]. Il atteint 7,25 km par an au canyon de Palo Duro (Texas), taux de dispersion qui lui permet de se propager rapidement et largement sur une seule année [41].

Des déplacements de long cours sont observés chez cette espèce de façon régulière jusqu'à plus de 100 km, voire 300 km pour un mâle [42]. Cette forte dispersion d'animaux solitaires ou en petits groupes a été observée également à partir de la Sierra d'Espuna [43] .

Le Mouflon à manchettes est un herbivore généraliste peu exigeant qui effectue des choix en fonction de la disponibilité saisonnière : 74 plantes (19 ligneux, 39 herbacées et 16 graminées) ont été identifiées au Nouveau Mexique où la ration annuelle se compose de 42% de ligneux, 38% d'herbacées et 20% de graminées [41]. Il peut ainsi résister aux conditions climatiques défavorables, en particulier à la sécheresse (report sur les ligneux) et aux températures élevées. Il est capable de survivre de longues périodes dans les endroits rocheux avec une végétation très réduite et quasiment sans eau [28] C'est son biotope naturel.

#### **1.4.2. Les gazelles d'Algérie**

Le peuplement mammalogique de la région méditerranéenne comporte 197 espèces dont un quart sont endémiques. Un tiers de ces derniers se trouve dans le Maghreb [56].

D'après [45] , quatre (04) espèces de gazelles (*G. dama*, *G. dorcas*, *G. leptoceros* et *G. cuvieri*) qui sont arrivées à survivre en certains points de leur ancienne aire de distribution [46], la gazelle dama est très menacée ; son étendue n'a pas cessé de se minimiser et s'est réduite aux confins de l'Ahaggar. L'espèce voit décliner son effectif au cours des migrations.

La gazelle dama est une espèce extrêmement rare en Algérie, elle pourrait être considérée comme éteinte [33].



**Figure 01.** Gazelle dorcas, *Gazella dorcas* (mâle) (Linnaeus, 1758) [33].

Petite gazelle à la robe fauve pâle et au ventre blanc. La limite entre la zone dorsale et ventrale est soulignée par une bande plus ou moins foncée sur les flancs. La croupe est blanche.

La tête, de couleur claire, porte sur le chanfrein des marques médianes rousses fauves ainsi qu'une ligne plus foncée allant de l'œil à la narine ; entre les deux, une bande blanche s'étire de la lèvre supérieure à la base des cornes. Les cornes, présentes chez les deux sexes (celle des mâles sont plus longues et plus épaisses que celles des femelles), sont en forme de lyre, annelées, incurvées vers l'arrière et divergentes puis recourbées à l'intérieure avec des extrémités pointées vers le haut. Le corps généralement est plus massif, les mâles ont un cou plus fort que celui des femelles.

La gazelle dorcas est une espèce des zones désertiques et subdésertiques. La gazelle dorcas est la plus ubiquiste des antilopes Sahélo-Saharienne. Les habitats dans lesquels elle a été observée comprennent des oueds, des plateaux, de

canyons, des plaines herbeuses, des déserts de sable et arides, des abords des oasis, des ergs, des regs, des cottes, des sebkas et des dunes [47].

On la trouve depuis les plaines côtières et les dépressions du désert [149] jusqu'à 2000 mètres d'altitude dans les montagnes du Hoggar (Dupuy, 1966). La Gazelle dorcas éviterait les altitudes plus élevées et l'intérieur des déserts [48].

La gazelle dorcas est capable de supporter des températures très élevées. Mais pendant les périodes les plus chaudes, elle est active principalement du crépuscule à l'aube. La gazelle dorcas peut se passer d'eau libre [30]. Elle subvient à ces besoins en sélectionnant des plantes à haute teneur en eau [49]. C'est un brouteur de feuillage et d'herbe et sa stratégie alimentaire à un moment donné dépend des conditions de l'habitat et des disponibilités en nourriture. A titre d'exemple, la dorcas apprécie les feuilles d'acacia, les graminées et diverses espèces de plantes succulentes [50].

Les gazelles dorcas vivent en groupes familiaux de 02 à une quinzaine d'individus. Certaines hardes pouvant compter une soixantaine de bêtes, voir d'avantage ; la taille des groupes varie d'une région à l'autre.

La femelle donne un jeune par portée et la durée de gestation est de 160-180 jours et les naissances ont lieu de Mars à Mai [11]. La longévité est de 14 ans et son apprivoisement est facile [51].

Selon [100], la dorcas est une espèce indo-éthiopienne non spécifique au milieu désertique mais largement répandue dans le Sahara et vit en certains points de la Berbérie.

Certains auteurs la localisent sur les Hauts Plateaux [52], le Sahara algérien [53], le Tassili [54] et l'Ahaggar [55]. D'après une enquête menée par [56], l'espèce est signalée dans treize (13) wilayas : Rélizane, Tissemsilt, Sidi Bel-Abbes, Batna, Biskra, Khenchela, El Oued, Iaghouat, El Bayadh, Béchar, Ouargla, Tiaret et Tamanrasset.

Une étude menée par [96] propose deux (02) sous-espèces: *G. d. massaessyla* au nord de la bordure du Sahara et *G. d. neglecta* au sud de la bordure du Sahara [55].



Figure 02. Distribution récente et historique de *Gazella dorcas* [32].

### 1.4.3. *Massoutiera M'Zabi*

Massoutiera M'zabi est un rongeur diurne qui vit en colonies peuplant des biotopes rocheux du milieu désertiques [21]. [57] Massoutiera vit en groupes familiaux très dispersés dans les zones étudiées en Algérie. Il y avait sept gundis sur un site d'environ 500 m sur 500 m [21].

Le M'zab goundi (*Massoutiera mzabi*) fait partie de la classe des mammifères (Mammalia); de l'ordre des Rongeurs (Rodentia); du sous-ordre des Hystricomorphes (Hystricomorpha); et de la famille des Cténodactylidés.

Un genre monotypique réparti dans les habitats rocheux désertiques et semi-désertiques de la savane sahélienne BZ et du Sahara aride BZ. L'espèce type, bien que nommée à l'origine *Ctenodactylus mzabi* par [52], a été transférée par lui à son nouveau genre, Massoutiera, sur la base du schéma bilobé des molaires supérieures. Les caractères du genre comprennent : le palais s'étend vers l'arrière jusqu'aux pommettes, les dents convergent vers l'avant, les molaires supérieures simples avec des replis étroits des deux côtés et la queue environ une fois et demie la longueur (environ 148%) de l'arrière-pied [58] ; plus de détails sont donnés dans le profil de l'espèce. L'espèce unique est *Massoutiera mzabi*.

Aspect général d'un petit cobaye avec de petites oreilles et une courte queue poilue mobile. Pelage très dense et doux. Pelage dorsal crème à brun rougeâtre. Pelage ventral plus pâle. Les jeunes ont une coloration plus rose que leurs parents. Tête plate et large. Front large et droit. Museau court avec de longues vibrisses noires. Narines nues et noires. Yeux grands et ronds surmontés de longues vibrisses.

Oreilles aplaties sur la tête, ovales, noires à l'intérieur bordées d'une frange dense de poils courts et raides gris blanchâtre. Membres antérieurs et postérieurs courts ; quatre chiffres sur chaque pied. Les doigts de l'arrière-pied sont surmontés de poils en forme de peigne. Les griffes sont acérées et n'atteignent pas le sol en position normale. Queue de longueur relative moyenne (environ 148% de HP), plus longue que chez *Ctenodactylus spp.* mais plus court que chez *feloviavae*; queue bien visible (avec des mouvements effilochés) lorsque le goundi est en mouvement. Crâne: voir les profils de famille et de genre; chaque incisive supérieure avec une seule rainure faible ou sans rainure; processus angulaire de la mandibule allongé en arrière, mais pas dans la mesure où *Ctenodactylus*; bulles auditives extrêmement gonflées (environ 18,2 mm, 40% du GLS). Longueur moyenne des granules fécaux: 7,3 (6,6-7,9) mm. Mamelons: 2 + 0 = 4 [88].

Distribution endémique en Afrique. Sahara Arid BZ (bordure nord) et Sahel Savanna Africa. Gamme discontinue en Algérie, Libye, Mali, Niger et Tchad. Algérie (nord): région du M'zab, Bassin d'Oued Mya, Tademaït. Algérie (sud): Mouydir, Tefedest, (Ahaggar) Tassili N'Ajjer. Libye: Plateau du Maghidet, Akakcus, Massak Mallat, Massak sastafat, Haruj Al Aswad, Djebel Sawda, Djebel Al Hasawinah. Mali : Adrar des Ifoghas. Niger: Air Massif. Tchad. La répartition en Libye n'est pas indiquée sur la carte [59].

En Algérie, *Massoutiera mzabi* possède une aire de répartition continue au sud comprenant le Tassili N'ajjer, le Hoggar, la Tefedest et le Mouydir, plus au nord une deuxième aire s'étend du M'zab au Tademaït [59].

Massoutiera est connu pour habiter des milieux rocheux, l'altitude des sites varie de 460 m à plus de 2300 m, [92], selon l'observation de [92].

Les abris sont constitués par des cavités naturelles ménagées sous des blocs de rochers, sont repérés par les amas de fèces laissés l'entrée par les animaux, que le

plus souvent les formations utilisées présentent des ruptures de pente favorables à la formation d'éboulis rocheux, la pente est généralement importante. Les lits d'oued venant creuser le relief sont très utilisés. Ils présentent non seulement l'intérêt de créer des éboulis mais ils sont souvent le lieu d'une végétation plus abondante. Le même auteur Massoutiera n'utilisant que des abris naturels, il ne peut s'établir qu'en présence de strates géologiques présentant des formations rocheuses se fissurant et ou formant des éboulis. Par contre cet animal semble s'accommoder d'une grande variété de roches et le sol est sableux ou argilo-sableux.

Il semble que les mâles deviennent erratiques pendant la période estivale, et que, dès le début de l'automne, de nouvelles unités de reproduction tendent à se former [90]. Le mâle disparaissant après la naissance de la deuxième portée [56] a observé la durée de gestation de *Massoutiera m'zabi* soit de l'ordre de 9 semaines et la présence de jeunes dès le mois de mars. Une durée de gestation probable d'au moins deux mois, correspondrait à une copulation ayant lieu au début de l'hiver.

[56] observé un œstrus accompagnant la mise bas. Cependant il n'y avait aucun signe d'œstrus post-partum chez la femelle *Massoutiera m'zabi* [56] les femelle *Massoutiera* qui a donné naissance à deux jeunes en captivité était en œstrus 20 à 24 jours plus tard [89]. Première copulation le 15 novembre 1984, première naissance le 23 Janvier, et deuxième naissance le 1<sup>er</sup> avril. Si deux portées se sont indubitablement succédées pendant les observations, la présence d'une troisième portée plus tardive est envisageable [91]. Le même auteur a observé un écart de développement existant entre les Jeunes de deux sites, peut être un décalage de 15 Jours.

*M. m'zabi* présente une activité diurne tout au long de l'année, mais il poursuit régulièrement son activité après la tombée du jour pendant la saison chaude [90]. *Massoutiera* vit en groupes familiaux très dispersés dans les zones étudiées en Algérie. Il y avait sept goundis sur un site d'environ 500 m sur 500 m [90]. La monogamie apparaît de règle chez *M. m'zabi*. La durée de vie en couple varie dans de larges proportions. Dans certains cas le mâle disparaît dans la première mise bas, dans d'autres l'association peut durer après la deuxième mise bas. Les relations entre les deux partenaires sont essentiellement amicales et il existe une certaine coopération, en particulier pour la défense du territoire. L'arrivée des jeunes entraîne une réduction importante des relations au sein du couple reproducteur [90].

Il semble probable que les mâles deviennent erratiques pendant la période estivale, et que, dès le début de l'automne, de nouvelles unités de reproduction tendent à se former. Les femelles adultes semblent par contre fidèles au site et une association des filles avec leur mère semble possible [90] pendant son séjour avec la femelle le male aide au maintien du territoire il semble donne qu'une coopération existe entre les animaux du couple néanmoins, même dans les plus longues associations, le male devient erratique en été, et semble remplaçable par un nouveau conjoint à l'automne [90].

Les animaux se nourrissent individuellement mais peuvent se nourrir près les uns des autres. Dans le M'zab en hiver (novembre-mars), ils se nourrissent en continu du lever au coucher du soleil. En revanche, pendant l'été (avril-septembre), ils sont en partie nocturnes - la recherche de nourriture commence avant le lever du soleil et se poursuit jusqu'à 10 h 00, lorsque les animaux se retirent à l'ombre ou dans leurs abris rocheux; La pêche reprend en fin d'après-midi et peut se poursuivre jusqu'à après le coucher du soleil [90]. Les animaux ramassent des produits alimentaires lorsqu'ils parcourent leur territoire.

Les principaux aliments sont les feuilles, les fleurs, les graines et les tiges de plusieurs espèces d'herbes et de graminées, y compris *Moricandia arvensis*, *Reseda villosa*, *Launea anpustifolia*, *Stipa retorta*, *Pepanum barmala*, *Chrysanthemum macrocarpum*, *Cenlaure aincana*, *Limonium sinuatum*, *Scabiosa arenumaria* [90]. Selon [90] en Algérie *Massoutiera m'zabi* est une source de protéines pour les populations nomades. Les prédateurs de *Massoutiera m'zabi* sont les canidés, les rapaces de proie et les serpents [90].

[60] ont décrit du Hoggar le premier siphonaptère connu sur *Massoutiera m'zabi* *Caenopsylla eremita*. [30] et [90] ont indiqué que à Berriane wilaya de Ghardaïa en Algérie *Caenopsylla janineae* sp. Un parasite de *Massoutiera m'zabi* appartient morphologiquement au groupe de *Caenopsylla* inféodé, Elle se caractérise immédiatement chez le mâle (la femelle n'est pas connue à ce jour).

#### 1.4.4. Daman des rochers

Les premiers systématiciens classent, à la fin du 18<sup>ème</sup> siècle, les damans parmi les rongeurs, autant que le daman à une lèvre supérieure fendue et une paire d'incisives supérieures qui dépasse, chez les individus adultes de chaque côté de la bouche fermée [61].

On s'aperçut au siècle suivant, que leurs caractéristiques anatomiques et morphologiques sont, en réalité, celles d'Ongulés : on créa alors un ordre pour eux seuls. Les Hyracoïdes, et on le rattacha au Super-Ordre des Subongulés (Pachydermes) qui comprenait déjà les Siréniens (Vaches marines) et les Proboscidiens (Eléphants) [61].

L'ordre des Hyracoïdes compte, actuellement, une seule famille, les Procaviidés, avec trois genres [15].

Le genre *Dendrohyrax* comprend trois espèces : *D. dorsalis*, *D. vallis* *D. arboreus*. Ce sont les damans arboricoles qui habitent les forêts tropicales. Leur aire de diffusion s'étend jusqu'à l'Afrique méridionale [15], se rencontre dans toute la zone de forêt équatoriale, et va vers l'Est jusqu'au Kenya et à la Tanzanie [62].

Le genre *Hétérohyrax* représenté par une seule espèce *H. brucei*, c'est le daman des steppes, ou daman gris. Ses habitudes à la fois arboricoles et rupicoles [15], vive dans les régions orientale et méridionale de l'Afrique. On le trouve dans les forêts, les montagnes et surtout dans les steppes [63]. D'après [64] et [65], on rencontre ce genre au Sud de l'Algérie dans le massif de l'Ahaggar.

Le genre *Procavia*, le daman des rochers. La systématique de cet animal est controversée. Certains auteurs ([66] ; [56]) ne reconnaissent qu'une seule espèce de Daman des rochers pour l'ensemble de l'Afrique et du Moyen-Orient: *Procavia capensis*, ce qui d'accord avec [11] qui dit que ce genre est représenté dans la zone saharienne par une seule espèce.

D'autres comme [67] distingue au moins cinq espèces, dont deux vivent dans les déserts. Ils appellent celle du Sahara et de l'Afrique occidentale *Procavia ruficeps* (ou daman du Soudan) et celle de l'Egypte et du Moyen-Orient *Procavia syriacus*, que d'autres auteurs, tels que [68] et [61] encore ont baptisé *Procavia habessinica*.

Selon [63], le genre *Procavia* compte quatre espèces et regroupe les damans les plus typiques, ou daman des rochers, qui sont largement répandus en Afrique et en Asie occidentale. Ceux-ci habitent les zones accidentées arides.

Ces distinctions ne sont basées que sur des différences minimales dans la grandeur des prémolaires et molaires inférieures ; elles ne semblent pas devoir être retenues. On considère donc ces différentes formes comme de simples sous-espèces [61]. La plupart des fossiles d'Hyracoïdes sont placés dans une famille éteinte *Pliohyracidae* ([70]; [71]). Plus de 20 genres d'Hyracoïdes sont représentés de l'Eocène au Pléistocène, sous forme de fossiles [72]. Ces premiers fossiles d'Eocène, il y a 55 - 50 millions d'années, ont été trouvés dans l'Afrique, l'Asie et l'Europe [73]. Les fossiles du Fayoum en Égypte indiquent qu'il y a 36 millions d'années, les damans étaient le groupe le plus important d'ongulés [168]. Ils ont connu dans le passé de nombreuses radiations et un succès évolutif tel qu'ils comptèrent des représentants distribués depuis la Chine à l'Est jusqu'en Espagne à l'Ouest en passant par la Grèce et la France [72].

En Algérie, les études paléontologiques de quelques sites en Algérie, tels que ; Bir El-Ater, Wilaya de Tébessa [74], les monts de Nementcha [75], El-Kohol, Wilaya d'El-Bayadh [22], Glib Zegdou et Gour Lazib, Ouest de la wilaya de Béchar [07], montrent que la répartition paléontologique des Hyracoïdes a atteint, pendant l'Éocène, l'Atlas saharien.

Le Daman des rochers est une espèce éthiopienne répandue dans toutes les zones arides et semi-arides d'Afrique et du Proche-Orient [11].

Sa distribution s'étend du Sénégal à la Somalie, Nord-est d'Afrique jusqu'à la province du Cap, Namibie, Sud d'Angola et des populations isolées dans les montagnes du Sud algérien (massif d'Ahaggar) et de Libye [76], les montagnes d'Adrar des Iforas (Mali) et d'Aïr (Niger) ([77]; [61] et dans le Tchad ; monts de Tibesti et Ennedi, il est partiellement absent de l'Ouest du Sahara, en particulier de l'Atlas marocain [61]. C'est-à-dire que la distribution géographique du daman des rochers, en Afrique, occupe tout l'Est d'Afrique et une grande bande médiane traversante, en plus les grands massifs montagneux du Sahara.

Le daman des rochers est le seul représentatif de l'ordre des Hyracoïdes dans le Moyen-Orient, sa distribution s'étend de la péninsule arabique, Palestine, Liban

et Jordan [78].

En Algérie, le seul genre, de l'ordre des Hyracoïdes, représenté est le genre *Procavia*, daman des rochers [55]. On le rencontre dans les grands massifs montagneux ou à leur périphéries: l'Ahaggar et Tassili des N'Ajjers [61] correspondant aux wilayas de Tamanrasset et Illizi.

La description de cet animal est faite par plusieurs auteurs ; Les damans ressemblent à des marmottes ([77]; [63]), ou de gros rongeurs [15]. Ils sont des animaux aux formes lourdes et arrondies, qui se caractérisent par un cou très court (plus épais chez le mâle), un dos convexe [61], de taille d'un lièvre [11], ou d'une marmotte [77]. Les plus grands spécimens ne dépassent pas 5 kg [61]. Ils mesurent 57 cm de long au maximum, de la pointe du museau à l'extrémité du corps [61].

Les études paléontologiques des Hyracoïdes indiquent que les damans actuels se diffèrent aux taxons éteints, on trouve que ces derniers sont plus grands, ayant la taille des tapirs actuels environ 1 m au garrot et de 220 à 300 kg. Ils ont proliféré jusqu'au Miocène ([71]; [79]).

La couleur du pelage, chez les damans des rochers, varie à leur aire de distribution et entre les individus [68]. La queue est très réduite, mesure de 3 à 3,2 cm, les oreilles sont courtes et arrondies [11]. Les yeux noirs et profonds, qui sont capables de fixer le soleil [63], ils sont pourvus d'une membrane nictitante [15]. Il y a une touffe de vibrisses au-dessus des yeux [63].

D'après [80], trois particularités morphologiques sautent aux yeux de l'observateur sur le terrain. Elles concernent les dents, la conformation des pieds et le pelage du dos.

Les deux incisives supérieures sont longues, incurvées et à croissance continue [80] ; [63]). Elles dépassent, chez les individus âgés, de chaque côté de la bouche fermée. Ces animaux ont d'ailleurs aussi la lèvre supérieure fendue [61].

Le daman des rochers est un animal plantigrade, possédant quatre doigts aux pattes antérieures tandis qu'ils n'ont que trois doigts aux pattes postérieures [61]; [63] ; [81]. Les pieds ont la plante nue et revêtue d'une peau douce [81]. Les pattes sont munis d'ongles plats et noirs ([61]; [63]), qui se recourbent sur les côtés et ressemblent à la fois à ceux de l'éléphant et à sabots très primitifs [61]. A la patte postérieure ; le doigt

interne est armé d'un ongle oblique et crochu [81], qui ressemble à une griffe pointue et effilée [63].

Une grosse glande cutanée dorsale, odoriférante [11], recouverte de poils ayant une couleur différente de celle du pelage. Son emplacement se signale par une tache claire [63], étroite, allongée et nue, au milieu du dos [61].

L'accouplement est déclenché par la photopériode et non par les changements de précipitations ou de température ([82]; [81]). D'après [61], le rut des damans des rochers se situe en pleine saison froide (janvier- février) au Niger tandis que [11] affirme que le rut se situe à la fin de l'été (août-septembre). Selon [83], l'activité sexuelle chez cette espèce durant de février à mai, mais le rut se situe entre mars et avril, en Afrique de Sud.

Ces animaux se reproduisent vers l'âge d'un an et demi. La gestation est relativement longue : elle dure 7 à 8 mois [11], environs 225 jours [63]. Il n'y a donc qu'une portée par an, comprenant en général 2 à 3 juvéniles, mais le nombre peut varier de 1 à 6 ([63] ; [11]).

A la naissance, le juvénile est bien développé et ses yeux sont ouverts. Dès l'âge de deux jours, il commence à mordiller divers végétaux. Il devient très vite et actif, mais n'atteint sa maturité sexuelle qu'au cours de sa deuxième année [63]. D'après [63], la structure des dents broyeuses chez les damans, les Hyracoïdes, est fréquent chez les animaux qui ont un régime végétarien, ils se nourrissent de bourgeons, de feuilles ou d'herbe. Selon [61], les damans des rochers sont des herbivores, ils se nourrissent de petites feuilles vertes dentelés, les fleurs et les gousses d'Acacia, les feuillages du Jujubier et les fruits de Balanites. En plus d'herbes, de baies, d'écorces, de feuilles et de graines d'Acacia, les damans des rochers peuvent aussi manger quelques insectes et lézards [77].

Les Damans des rochers mangent vite, ils passent un peu de temps à se nourrir [72]. La période consacrée à la prise de nourriture n'excède pas une demi-heure par jour. Les repas sont pris en commun par l'ensemble des animaux de groupe [11].

Bien que les Damans des rochers ne soient jamais très éloignés d'un point d'eau, ils boivent très régulièrement [11], tandis que [61] affirme qu'ils n'ont absolument pas besoins de boire, même au plus fort de la saison chaude car ils ont

une physiologie adaptés pour économiser l'eau.

#### 1.4.5. *Vulpes Zerda*

Le Fennec est classé dans le groupe du genre *Fennecus*, dont il est l'unique représentant ([79]; [83]; [84]). Aucune autre sous-espèce n'est décrite dans ce groupe ([85]; [86] cité par [87]). Actuellement le Fennec est placé dans le genre *Vulpes* par un arrangement d'accord avec plusieurs autres auteurs tels que [61]; [42]).

[54], [88] décrivent le Fennec comme étant un petit renard de couleur claire. Le fennec possède une taille plus petite que celle d'un chat domestique. Il a de grandes oreilles, larges et triangulaires ([11]; [87]), qui lui permettent de lutter contre la chaleur induite par les températures élevées et de localiser les proies ([89]; [63]; [90]; [91]; [88]). La robe du Fennec est de couleur sable-isabelle, toujours plus sombre sur le dos et la face externe des oreilles, et plus claire sur les flancs. La couleur de la queue est particulière, de teinte plus roussâtre, avec à l'extrémité des poils noirs. Son poids corporel est compris entre 0,8 et 1,5 kg [61], la longueur de la tête plus celle du corps varie entre 35 et 41 cm et celle de la queue fluctue entre 18,6 et 23,0 cm Selon [92], la dorcas est une espèce indo-éthiopienne non spécifique au milieu désertique mais largement répandue dans le Sahara et vit en certains points de la Berbérie.

[93] signale que la longueur de la queue par rapport à celle du corps est de 56 %. [55], [99], [11], [61] et [93]) mentionnent que les fennecs vivent dans les déserts de sable et dans les semi-déserts d'Afrique du Nord, de l'Atlantique jusqu'au Nord du Sinaï [94], [82] et [87], précisent que les fennecs préfèrent les déserts de sable. Cet animal possède de nombreuses adaptations morphologiques et physiologiques pour vivre dans le désert [100], loin des oasis et de l'eau [95]. Selon leur activité nocturne et le taux d'humidité de leur proie, le fennec peut subsister sans eau et supporter les concentrations d'urée dans l'urine [50], comparativement avec d'autres espèces vivant dans le désert, les fennecs minimisent la perte d'eau et réduisent la taille de son corps. Une adaptation a pour but de baisser la demande d'énergie [33]. En Algérie, le Fennec habite toutes les régions sableuses du Sahara et limitrophes, telles que celles d'El Oued, de Laghouat, du M'zab, de Touggourt, d'Ouargla, de

Biskra, de Beni Abbes et du Tassili [55]. En outre, l'accouplement se fait entre les mois de janvier et de février [54]. Au mois de mars, la femelle, après une gestation de 51 jours environ, met bas deux à cinq petits par portée [04].

Le Fennec forme un couple généralement stable et durable: Les parents nourrissent les jeunes en leur apportant des proies non régurgitées. À l'âge de 7 à 9 mois, les petits atteignent l'âge adulte, ayant acquis la maturité sexuelle [96],

Cette gazelle vit en petites troupes de 3 à 4 individus. Elle fréquente les zones sableuses, principalement les ergs. On peut aussi la rencontrer sur certains regs et dans quelques zones de montagne. Elle peut effectuer de longs déplacements et semble pouvoir se passer d'eau de boisson pendant des périodes assez longues. Sa nourriture est essentiellement composée de (*Stipagrostis pungens*). Au cours des périodes de grande sécheresse, elle peut remonter vers le nord, jusqu'à la hauteur d'Aïn Séfra (Algérie). Elle est surtout active pendant les heures fraîches de la journée. La gestation dure 165 jours. Il y a souvent deux jeunes par portée. La longévité atteint 14 ans en captivité.

#### **1.4.6. Felis margarita**

C'est un animal présent dans tout le Sahara. Les indices de présence sont soit à base de matériel biologique (crânes, peaux, etc.), soit des terriers, soit des observations et photographies de spécimens.

Allure du chat mais un peu plus petit et plus ramassé, tête large, oreilles larges à la base, pelage doux, épais, soles garnies de longs poils brun foncé à noir, qui cachent des pelotes plantaires. Coloration fauve clair à foncé, base de la tête et le dessous blanchâtres, dessins sous forme de trait médio-dorsal faible à fort. Sur les flancs, une douzaine de raies transversales se transforment en tâches pouvant être estompées ou même absentes. Le bout des oreilles, les rayures des joues, du front, des coudes, des cuisses et quelques anneaux ou tâches de la queue (l'extrémité étant noire) sont brun foncé. Chez les jeunes, la pilosité des soles apparaît lentement et les dessins pâlisent de la même façon. Il vit dans un terrier creusé dans le sable, grimpe difficilement.

Petits mammifères (surtout rongeurs) qui sont sans doute déterrés, écureuils et autres espèces jusqu'à la taille du lièvre, oiseaux, reptiles et insectes. Et Solitaire,

nocturne.

Le mâle s'intéresse à une femelle et parade en miaulent comme un chat domestique, toutes les 6 semaines la chatte est en rut pour 2-3 jours et est, durant la copulation, assise. La gestation dure 63 jours, la mise bas en mars-avril, 2 à 4 petits. Sa longévité 8 ans en captivité.

C'est un animal présent dans tout le Sahara. Les indices de présences sont soit à base de matériel biologique (crânes, peaux...), soit des terriers, soit des observations et photographies de spécimens.

Les mentions sur la base de matériel biologique sont de [97] présent une peau trouvée près d'El-Goléa, 1936. [98] de Balsac a récupéré une peau à Beni Ouenif, [128] reçoit un crâne endommagé en provenance de Hassi Issebilene (aux environs de Tindouf) qu'il offre au Musée de Grenoble. [98] de Balsac a offert une peau, en provenance de Laghouat, au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris. 1974, Schavenberg trouva un crâne à Beni Abbès [98], trouvèrent des peaux et des crânes près de Beni Abbès qu'ils ont offerts au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris. Les observations directes ou par photographies les plus anciennes signalées sont faites par : [99] captura un spécimen près de Kerzaza (29°27'N - 01°25'W) près de Beni Abbès et l'offrit au musée local ; [98] De Balsac signala des spécimens à Beni Abbès et Beni Ouenif ; [100] ramassa deux jeunes individus pour une étude parasitologique près de Touggourt ; [100] photographie un spécimen vivant au Tassili de l'Ahnet. Les observations les plus récentes se limitent à celle de De Smet qui signala un individu tué sur la route entre Zelfana et Ouargla et sur un questionnaire établi à El-Oued sur la présence de cet animal où il fut signalé en 1985.

En 2005, par [10] au Hoggar, un individu tué à Lalmaya (Laghouat) le 30 Décembre 2013. Un autre individu tué au Sud de Biskra près de la wilaya de Djelfa en Octobre 2014.

#### **1.4.7. Chiroptère (Trident du désert)**

Les chauves-souris sont les seuls mammifères capables de voler et leur morphologie reflète cette adaptation. Ce sont des animaux de petite taille et leur corpulence moyenne s'apparente à celle d'une souris. Le corps est recouvert de poils. La fourrure, douce et molle au toucher, s'étend à tout le corps à l'exception des

ailles. Les chiroptères possèdent tout un assortiment de glandes cutanées. Les glandes sébacées de type canal paraissent sur l'ensemble du corps. Les glandes sudoripares n'ont pas été trouvées [144]. Les mamelles sont en général pectorales. La famille des Rhinolophes possède une paire de mamelles supplémentaires en région inguinale, non fonctionnelle mais qui servirait à la fixation des jeunes pendant le vol. Les autres organes rappellent l'anatomie des petits rongeurs [101].

Les chauves-souris ont un mode de vie particulier. Sous les climats tempérés de l'hémisphère nord, leur cycle biologique est divisé en quatre grandes périodes [85].

De fin novembre à début mars, les chauves-souris sont regroupées dans des sites tels des grottes, des carrières souterraines, des ponts ou des arbres pour hiberner. Le printemps est marqué par leur reprise d'activité et par leur transit vers les gîtes d'été. À partir de fin mai, les femelles se regroupent pour la fin de la gestation et la mise basse. Chez la plupart des espèces européennes, les mâles sont dispersés et isolés. Les accouplements ont lieu à la fin de l'été. Le sperme sera stocké par la femelle jusqu'au printemps [85].

Les chauves-souris jouent un rôle important dans le maintien, l'évolution et la stabilité des différents écosystèmes. Les insectivores participent dans la régulation et la minimisation des insectes nuisibles à l'agriculture [103]. Les frugivores défèquent ou recrachent les graines le plus souvent en vol ([39] ; [22]). Comme ils favorisent la dissémination et la dispersion des graines sur de vastes espaces à leur grand déplacement par leur guano. Ce guano est constitué des restes d'insectes ou d'autres invertébrés non digérés (antennes, cuticules, élytres...), il se compose de matière organique riche en azote et peut être utilisé en agriculture comme engrais naturel [31]. Dans les pays en voie de développement, le guano des chiroptères peut constituer une source financière non négligeable [31]. En effet, lorsqu'une chauve-souris butine, la fleur dépose du pollen sur le dos et la tête de l'animal. Ce pollen est acheminé vers d'autres plantes et d'autres fleurs lorsque la chauvesouris se déplace pour se nourrir du nectar d'autres végétaux [31]. Les chauves-souris nous évitent ainsi d'utiliser beaucoup de pesticides vu qu'elles mangent aussi les parasites des cultures [08].

Plusieurs menaces portent atteinte à la survie des chauves-souris, la première étant sans doute la méconnaissance à leur égard. Combien de fois avons-nous

entendu parler de «bestioles aveugles qui s'accrochent aux cheveux» ou

de «vampires porteurs de rage» en faisant allusion aux chauves-souris. Ceux qui les connaissent le moindrement le savent, ces petites créatures inoffensives sont les premières victimes des fausses croyances. Outre le manque de connaissances à leur égard, d'autres menaces touchent les chiroptères, dont certaines sont alarmantes [104].

## ***Chapitre II : Présentation de la région d'étude***

## 2. Présentation de la région d'étude, Tassili N'Ajjer

### 2.1. Situation géographique

La région d'étude est située à l'extrême Sud-Est de l'Algérie, elle est distante d'environ de 2200 km de la capitale Alger [61]. Elle s'étend entre la latitude Nord 24° 33' et la longitude Est 9° 29' et sur une altitude de 1094 m. La région est limitée par la frontière libyenne à l'Est, la frontière Nigérienne au Sud, par la wilaya de Tamanrasset au Sud-Ouest, et par la wilaya d'Ouargla au Nord (Figure 03).

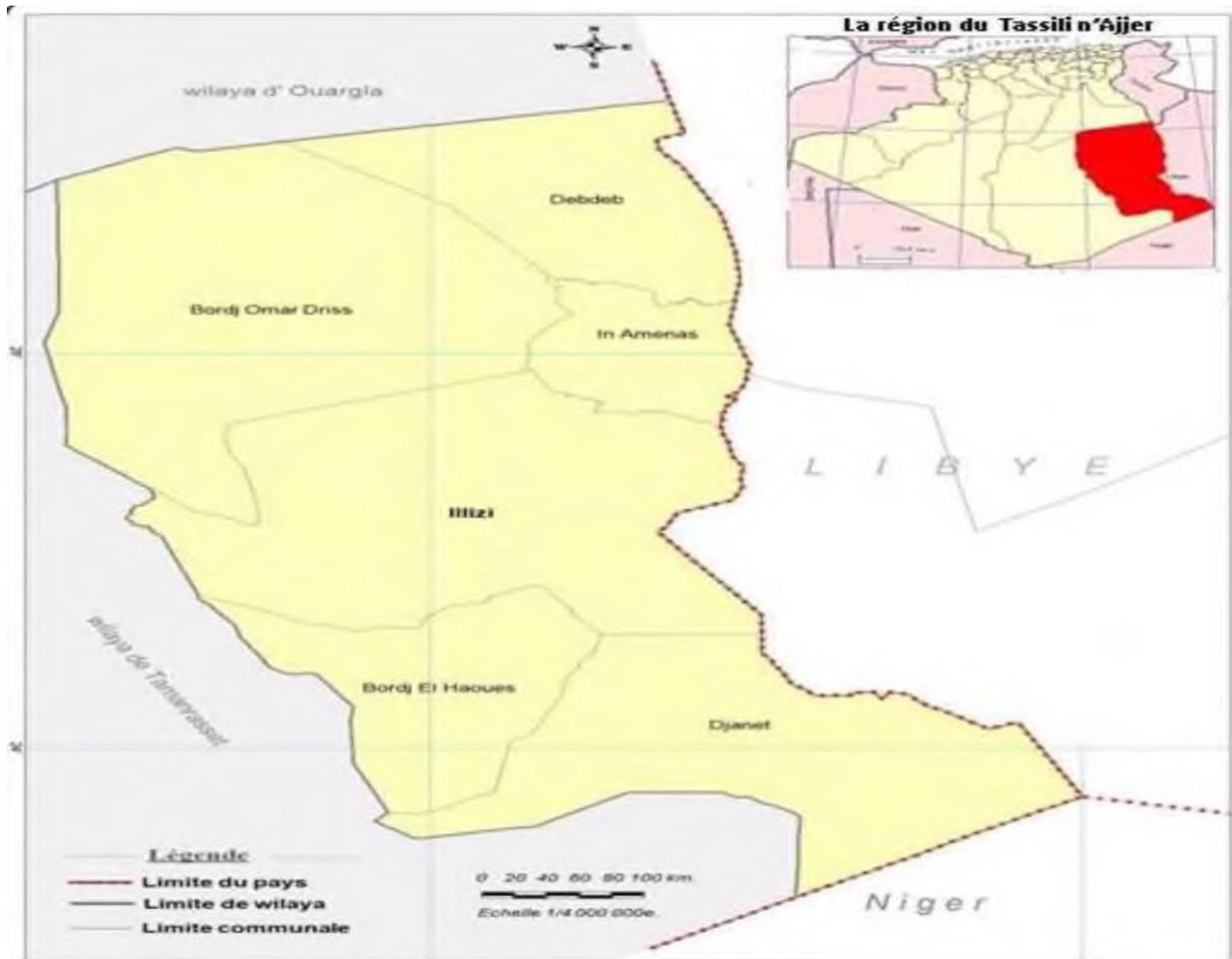


Figure 03. Présentation de la région d'étude [61].

## **2.2. Géologie**

La connaissance géologique de cette région a débuté avec les explorateurs, et cités par [09]. Le schéma exact de la structure géologique du massif central fut établi par [113]. Il est caractérisé par deux ensembles montagneux, le premier est le pays cristallins et le second est l'enceinte tassilienne, formée par un ensemble à relief moins important qui constitue les pays pré-tassiliens [09].

## **2.3. Caractéristiques hydrographiques**

Le plateau du Tassili N'Ajjer est entaillé par un réseau hydrographique dense, caractérisé par des canyons profonds. Cette densité et cette profondeur des gorges sont sans commune mesure avec les quantités d'eau que reçoit actuellement ce territoire [26]. Le réseau hydrographique du Tassili est le résultat de grands torrents qui ont creusé les fleuves et canyons, qui coulent à l'occasion des crues et qui est la plupart du temps desséché [61].

## **2.4. Caractéristiques édaphiques**

Concernant les sols tassiliens, les premières analyses effectuées sur 170 prélèvements, réalisés par [01], ont montré que, malgré leur pauvreté en certains éléments minéraux, ces sols n'étaient nullement carencés. D'après ce même auteur, les éléments minéraux indispensables sont en quantités plus que suffisantes et dépassent les normes des terres réputées cultivables. Les sols sahariens sont généralement des substrats géologiques modifiés par l'érosion, car faute d'humidité suffisante, les facteurs de la pédogenèse s'y trouvent très réduits [26].

## **2.5. Caractéristiques climatiques**

Le Tassili N'Ajjer a connu un bouleversement climatique marqué par une succession de phases humides et de phases arides.

Les phases humides sont attestées par un réseau hydrographique très développé et par une flore de souche méditerranéenne et une grande faune qui l'accompagne. Alors que les phases arides sont caractérisées par des pluies rares et irrégulières, qui tombent souvent sous forme d'averses. Les températures très contrastées et les vents fréquents, accentuent l'évaporation. [46].

Les différents facteurs climatiques qui caractérisent la région d'étude sont représentés dans ce qui va suivre :

### **2.5.1. Pluviométrie**

Le Tassili N'Ajjer, le Hoggar et leurs annexes sont les seules régions parmi les zones sahariennes qui reçoivent des précipitations légèrement supérieures

à la normale et plus régulières [01]. Les quantités de précipitations mensuelles notées au cours des années de travail (2014, 2015, 2016) sont notées dans le tableau suivant :

**Tableau 1.** Précipitations mensuelles (mm) enregistrées à la région d'étude [105].

Précipitation (mm)	Année	Mois												Cumul
		Jan.	Fév.	Mar.	Avr.	Mai	Jun	Jul.	Aoû.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	
	<b>2014</b>	0,6	0	0	0	0,8	0,7	0	0,1	0	0,2	0	0	2,4
	<b>2015</b>	0	4,1	2,8	0	0	0	0	2,8	1,1	0,4	0	0	11,2
	<b>2016</b>	0	0	0	0,1	11,5	0,2	0	0,3	0	0	0,1	0	12,2

L'année la plus pluvieuse dans la région de Djanet est l'année 2016 avec un cumul de 12,2mm (Tableau 1), suivi par l'année 2015 avec 11,2 mm, alors que 2014 reçoit les plus faibles chutes des pluies durant la période d'étude.

### 2.5.2. Températures

Les températures moyennes de la région d'étude pour les années 2014, 2015 et 2016 sont regroupées dans le tableau 2.

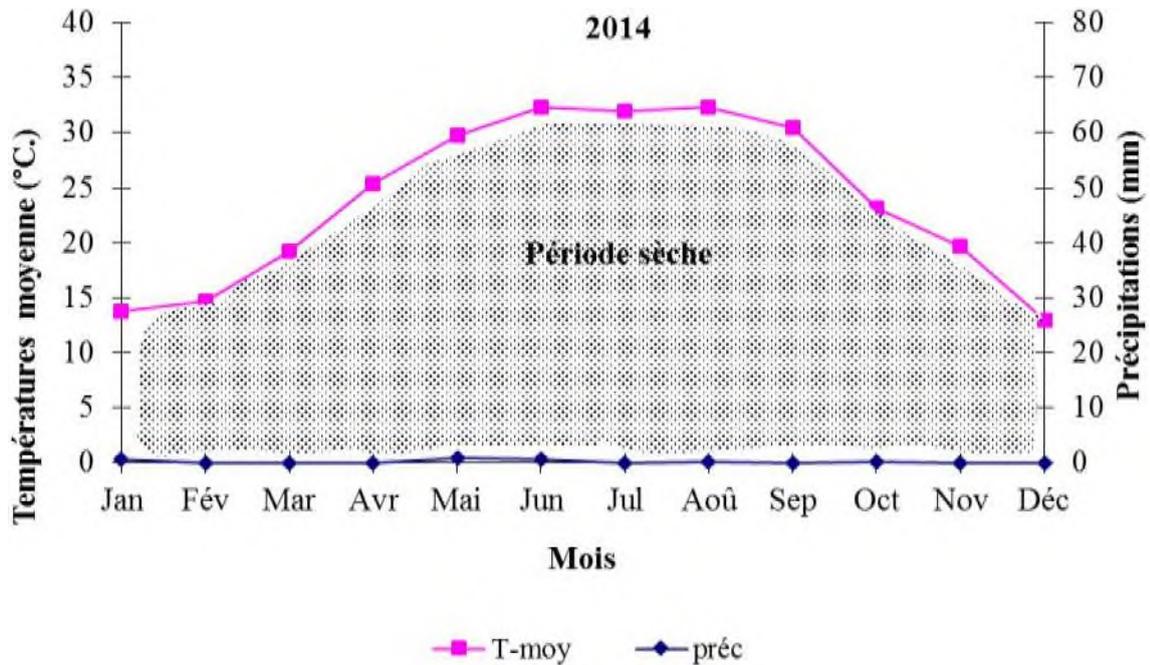
**Tableau 2.** Températures moyennes mensuelles de la région d'étude [105].

T-moy. (°C)	Année	Mois											
		Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Sep	Oct	Nov	Déc
	<b>2014</b>	13,8	14,7	19,2	25,4	29,8	32,3	32	32,3	30,5	23,1	19,7	12,9
	<b>2015</b>	10,8	15,3	17,3	22,8	29,4	31,9	31,4	32,5	30,7	26,1	17,5	11
	<b>2016</b>	12,9	16,4	18,5	28,4	31,4	33,7	31,6	31,1	29,2	24,4	19,3	15,2

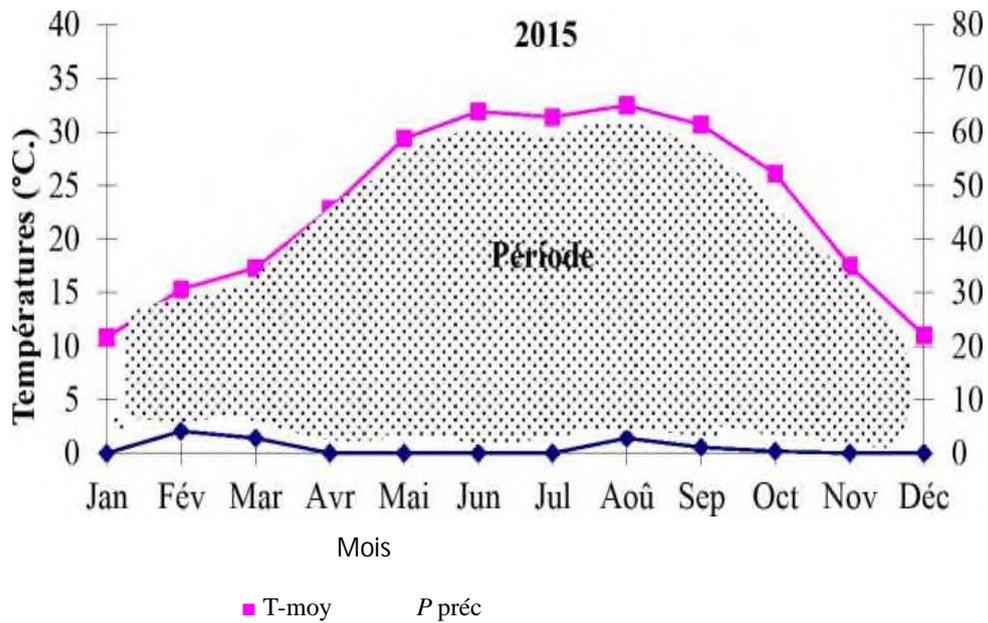
Selon le tableau 2, les mois de décembre et de janvier ont été les mois les plus froids durant les années 2014, 2015 et 2016. Alors que les mois les plus chauds sont juin et aout (T-moy = 32,3°C) en 2014, aout (T-moy = 32,5°C) en 2015 et juin (T-moy = 33,7°C) en 2016.

### 2.5.3. Synthèse climatique

La synthèse des données climatiques est effectuée par l'étude de l'indice xérothermique ou par le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen et le climagramme d'Emberger [61].



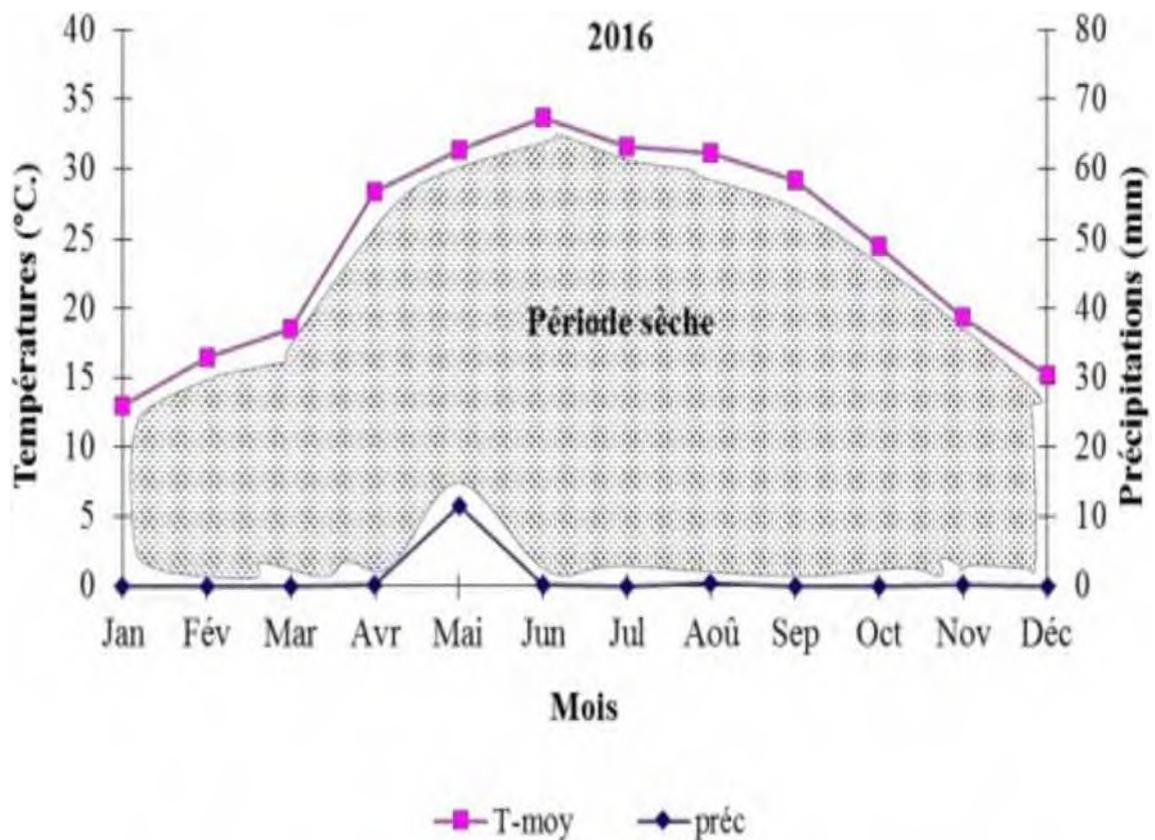
**Figure 04.** Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région la région d'étude durant l'année 2014(Original).



**Figure 05.** Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région de la région d'étude durant l'année 2015. (Original).

### 2 .5.3.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен

Le diagramme ombrothermique est un mode de représentation classique de climat d'une région donnée [61], le diagramme ombrothermique de la région de Tassili N'Ajjer durant les années 2014, 2015 et 2016 (Figure 4, 5, 6) montre que la saison sèche couvre toute l'année dans la région d'étude.



**Figure 06.** Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausсен de la région d'étude durant l'année 2016. (Original).

### 2.5.3.2. Climagramme d'Emberger

Le quotient pluviothermique d'Emberger permet le classement des différents types de climats [61], Le quotient pluviothermique d'Emberger ( $Q_2$ ) est déterminé par la combinaison des trois principaux facteurs du climat. Il est donné par la formule suivante élaborée par STEWART pour l'Algérie et le Maroc, soit :

$$Q_2 = 3,43 (P/M-m) \text{ (Stewart, 1968).}$$

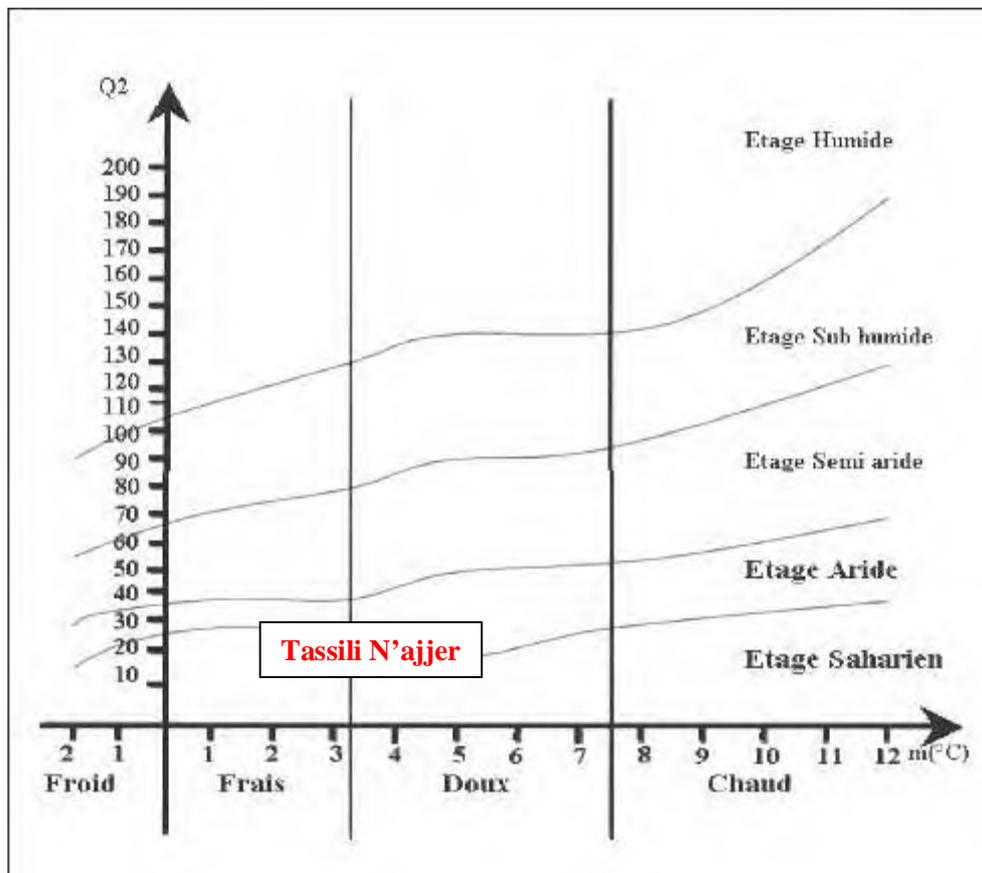
$Q_2$  : Quotient pluviothermique ;

P : Précipitations moyennes annuelles exprimées en mm ;

M : Températures moyennes du mois le plus Chaud °C. ;

m : Températures moyennes du mois le plus froid °C.

Selon les valeurs du quotient pluviothermique ( $Q_2=0,1$ ) et les températures moyennes des minima ( $m = 1,1$ ) obtenues durant la période allant de 2009 à 2018 (Figure 08), la région d'étude appartient à l'étage bioclimatique Saharien, à hiver frais.



**Figure 07.** Climagramme d'Emberger pour la région du Tassili N'Ajjer(Original).

## **2.6. Données bibliographie sur la faune et la flore du Tassili N'Ajjer**

### **2.6.1. Faune de la région d'étude**

Les animaux ont également mis en place des stratégies pour économiser l'eau et éviter la chaleur excessive. La faune du Tassili N'Ajjer reste variée de nos jours. Parmi ces espèces, nous citons : le Mouflon à manchette, la Gazelle dorcas, le Fennec, le Renard, le Guépard, le hérisson, l'hyène, le Daman des roches, etc.

Le principal animal du Sahara reste le dromadaire. Sans lui, l'homme n'aurait absolument pas pu vivre au Sahara. Il a en effet une exceptionnelle résistance à la chaleur et à la soif : même quand la température dépasse les 50°, il peut rester sans boire plusieurs jours de suite. Le dromadaire de somme, plus massif que le dromadaire de selle, peut porter jusqu'à 250 kg de marchandises d'un bout à l'autre du Sahara.

#### **2.6.1.1 .Mammifères**

La richesse des milieux naturels sahariens explique la diversité du peuplement des vertébrés et plus particulièrement de Mammifères. Ces derniers sont représentés actuellement par plus de 130 espèces sauvages [11].

L'augmentation du caractère aride de cette partie de l'Afrique, a fait que certaines espèces (le bubale antique par exemple) sont disparues et d'autres ont modifié leur air de distribution (girafes, éléphants). D'autres sont encore présents dans le domaine saharien mais leur air de distribution a fortement rétréci [11]. Le tableau ci-dessous nous montre quelques espèces de mammifères qui ont été signalé dans la région du Tassili N'Ajjer (Tableau 3).

**Tableau 3.** Liste des espèces mammifères présentes dans la région d'étude [11].

Ordres	Familles	Espèces	Noms communs	
			Français	Tamahaq
Insectivora	Erinaceidae	<i>Hemprich aethiopicus</i> Ehrenberg, 1833	Hérisson du désert	Tekensit
Chiroptera	Rhinolophidae	<i>Rhinolophus clivosus</i> Cretzschmar, 1828	Pvhinolophe de Geoffroy	-
		<i>Pipistrellus deserti</i> Thomas, 1902	Pipistrelle du désert	-
	Vespertilionidae	<i>Otonycteris hemprichii</i> Peters, 1859	Oreillard d'Hemprich	-
		<i>Canis aureus</i> Linnaeus, 1758	Chacal commun	Ebggi
		<i>Vulpes pallida</i> Bowdich, 1821	Renard pâle	-
Carnivora	Canidae	<i>Fennecus zerda</i> Desmarest, 1804	Fennec	Akhorhi
		<i>Crocuta crocuta</i> Erxleben, 1777	Hyène tachetée	
Perissodactyla	Hyaenidae	<i>Hyaena hyaena</i> Linnaeus, 1758	Hyène rayée	Eridel
		Felidae	<i>Felis margarita</i> Loche, 1858	Chat de sable
	<i>Felis sylvestris</i> Schreber, 1777		Chat ganté	-
	Equidae	<i>Acinonyx jubaius</i> Schreber, 1776	Guépard	Amayes
		<i>Equus asinus</i> Linnaeus, 1758	Ane sauvage	ahoulel
	Hypracoide a	Procaviidae	<i>Procavia capensis</i> Pallas ,1758	Daman de roche
Artiodactyla	Bovidae	<i>Bos indicus</i> Linnaeus ,1758	Zébu	Azem
		<i>Addax nasomaculatus</i> Blainville, 1816	Addax	Amellal
		<i>Gazella dama</i> Pallas, 1766	Biche-Robert	Enir
		<i>Gazella dorcas</i> Linnaeus, 1758	Gazelle dorcas	Ahenkoud
		<i>Gazella leptoceros</i> Cuvier, 1842	Gazelle leptocère	Hankout
		<i>Ammotragus lervia</i> Pallas, 1777	Mouflon à manchette	Oudad
		<i>Ovis aries</i> Linnaeus, 1758	Mouton	Ekrer
Tylopodia	Camelidae	<i>Camelus</i>	Dromadaire	Amajor

### 2.6.1.2. Poissons

Généralement les poissons sont identifiés dans les Gueltats, dans tous les sites de la région d'étude. La région de Tassili N'Ajjer compte cinq espèces de poissons réparties sur quatre genres et quatre familles [11]. Le tableau 4 ci-dessous montre les différentes espèces de poissons signalés dans la région du Tassili N'Ajjer.

**Tableau 4.** Espèces des poissons recensées dans la région du Tassili N'Ajjer [11].

Familles	Espèces	Noms communs	
		Français	Tamahaq
Cyprinidae	<i>Barbus callensis biscarensis</i> Boulenger, 1911	Barbeau de Biskra	Hora
	<i>Barbus deserti</i> Pellegrin, 1909	Barbeau du désert	
Clidae	<i>Clarias gariepinus</i> Burchell, 1822	Silure de l'Oued Imhrou	Assetaf
Poecilidae	<i>Gambusia affinis</i> Baird et Girard, 1853	Gambusie	-
Cichlidae	<i>Tilapia zillii</i> Gervais, 1848	Tilapie de Zill	Tafarfara

### 2.6.1.3. Amphibiens et Reptiles

Ils sont généralement inféodés aux milieux humides et traduisent, par leur présence, la qualité biologique des milieux fréquentés. Il s'agit d'un groupe mal connu au Tassili, le tableau 5 donne une idée sur les différentes espèces signalée dans la région d'étude.

**Tableau 5.** Principaux reptiles et amphibiens de la région de Tassili N'Ajjer [11].

Ordres	Familles	Espèces	Noms communs	
			Français	Tamahaq
Reptilia	Agamidae	<i>Agama mutabilis</i> Merrem, 1820	Agame variable	Emeterter
		<i>Agama impalearis</i> Boettger, 1874	Agame de biberon	-
		<i>Uromastyx acanthinurus</i> Bell, 1825	Fouette-queue	Agazzeram
	Geckonidae	<i>Ptyodactylus hasselquistii</i> Donndrof, 1789	Gecko d'hasselquist	Emezerega
		<i>Stenodactylus sthenodactylus</i> Lichtenstein, 1823	Sténodactile élégant	-
		<i>Acanthodactylus boskianus</i> Daudin, 1802	Acanthodactyle rugueux	Timkelkelt

	Lacertidae	<i>Mesalina rubropunctata</i> Lichtenstein, 1823	Erémias à point rouges	-
		<i>Lacerta lepida</i> Linnaeus, 1758	Lézard ocellé	-
	Scincidae	<i>Chalcides ocellatus</i> Forskâl, 1775	Scinque ocellé	-
		<i>Scincus scincus</i> Linnaeus, 1758	Scinque officinal	Tahelmoit
		<i>Varanus griseus</i> Daudin, 1803	Varan du désert	Arata
	Varanidae	<i>Leptotyphlops macrorhynchus</i> Jan, 1861	Serpent minute	Birana
	Leptotyphlopida e	<i>Psammophis sibilans</i> Linnaeus, 1758	Couleuvre sifflante	Achil
	Colubridae	<i>Coluber rhodorachis</i> Jan, 1865	Couleuvre à dos rouge	-
		<i>Lytorhynchus diadema</i> Duméril et Bibron, 1854	Lytorhynque diadème	Seffeltes
		<i>Cérastes vipère</i> Linnaeus 1758	Vipère céraste	Tachilt
	Viperidae	<i>Crocodylus niloticus</i> Laurenti, 1768	Crocodile de Nil	Arachouf
	Crocodylidae	<i>Bufo regularis</i> Reuss, 1834	Crapaud panthérin	-
Batrachia	Bufonidae	<i>Bufo viridis</i> Laurenti, 1768	Crapaud vert	-
		<i>Rana ridibunda</i> Pallas, 1771	Grenouille rieuse	-
	Ranidae	<i>Ptychadena mascareniensis</i> Duméril, et Bibron, 1841	Grenouille Muscarines	-

#### 2.6.1.4. Oiseaux

Dans ces écosystèmes privilégiés, on peut observer pratiquement toutes les espèces d'oiseaux : grands et petits échassiers, oiseaux aquatique et terrestres, rapaces, gallinacés et columbidés, oiseaux nocturnes, alouettes, fauvelles, bergeronnettes, traquets, hirondelles et autre passereaux très nombreux, des oiseaux aux couleurs vives inhabituelles au Sahara comme le guêpier d'Europe ou l'élégante huppe fasciée [94]. Dans le tableau 6 ci-dessous, nous avons énuméré les différentes espèces aviennes qui ont été signalés dans la région.

Tableau 6. Principales espèces d'oiseaux de la région du Tassili N'Ajjer [46].

Familles	Espèces	Noms communs
Ardeidae	<i>Botaurus stellaris</i> Linnaeus, 1758	Butor étoilé
	<i>Ixobrychus minutus</i> Linnaeus, 1766	Blongios nain
	<i>Bubulcus ibis</i> Linnaeus, 1758	Héron grand-bœufs
Anatidae	<i>Anas platyrhynchos</i> Linnaeus, 1758	Canard colvert
	<i>Anas acuta</i> Linnaeus, 1758	Canard pilet
Accioitridae	<i>Pernis apivorus</i> Linnaeus, 1758	Bondrée apivore
	<i>Neophron percnopterus</i> Linnaeus, 1758	Vautour percnoptère
	<i>Circaefus gallicus</i> J. F. Gmelin, 1788	Circaète Jean-le-blanc
	<i>Accipiter brevipes</i> Severtzov, 1850	Epervier à pieds courts
	<i>Buteo rufinus</i> Cretzschmar, 1829	Buse féroce
	<i>Aquila rapax</i> Temminck, 1828	Aigle ravisseur
	<i>Aquila verreauxii</i> Lesson, 1758	Aigle de verreaux
Pandionidae	<i>Falco tinnunculus</i> Linnaeus, 1758	Faucon crécerelle
	<i>Falco biarmicus</i> Temminck, 1825	Faucon lamier
	<i>Falco concolor</i> Temminck, 1825	Faucon concolore
	<i>Falco peregrinus</i> Tunstall, 1771	Faucon pèlerin
Phasinidae	<i>Alectoris barbara duprezi</i> Bonnaterre, 1791	Perdrix gabra
Rallidae	<i>Gallinula chloropus</i> Lumens, 1758	Gallinule poule d'eau
Glareolidae	<i>Cursorius cursor</i> Latham, 1787	Courvite isabelle
Charadriidae	<i>Calidris alpina</i> Linnaeus, 1758	Bécasseau variable
Pteroclididae	<i>Pterocles lichtensteinii</i> Temminck, 1825	Ganga de Lichtenstein
	<i>Pterocles coronatus</i> Lichtenstein, 1823	Ganga couronné
Columbidae	<i>Columba livia</i> Gmelin, 1789	Pigeon biset
	<i>Streptopelia turtur</i> Linnaeus, 1758	Tourterelle de bois
	<i>Streptopelia senegalensis</i> Linnaeus, 1766	Tourterelle maillée
Tytonidae	<i>Tyto alba</i> Scopoli, 1769	Effraie de clochers
Strigidae	<i>Bubo ascalaphus</i> Savigny, 1809	Grand-duc du désert
	<i>Athene noctua saharae</i> Scopoli, 1769	Chevêche d'Athéna

Apodidae	<i>Apus pallidus</i> Shelley, 1870	Martinet pale
Alaudidae	<i>Ammomanes cincturus</i> Gould, 1839	Ammomane élégante
	<i>Ammomanes déserti</i> Lichtenstein, 1823	Ammomane isabelline
Hirundinidae	<i>Ptyonoprogne fuligula</i> Lichtenstein, 1842	Hirondelle isabelline
	<i>Hirundo daurica</i> Linnaeus, 1771	Hirondelle rousseline
	<i>Delichon urbica</i> Linnaeus, 1758	Hirondelle de fenêtre.
Timalidae	<i>Turdoides fulvus</i> Desfontaines, 1789	Cratèrope fauve
Emberizidae	<i>Emberzia sitriolata</i>	Bruant triolet
Corvidae	<i>Corvus ruficollis</i> Lesson, 1830	Corbeau brin
Meropidae	<i>Merops apiaster</i> Linnaeus, 1758	Guêpier d'Europe
Lanidae	<i>Lanius collurio</i> Linnaeus, 1758	Pie-grièche écorcheur
Upupidae	<i>Lanius méridionalis</i> Temminck, 1820	Pie-grièche méridionale
	<i>Upupa epops</i> Linnaeus, 1758	Huppe fasciée
Passeridae	<i>Passer domesticus</i> Linnaeus, 1758	Moineau domestique
Sylviidae	<i>Passer hispaniolensis</i> Temminck, 1820	Moineau espagnol
	<i>Passer simplex</i> Lichtenstein, 1823	Moineau blanc
	<i>Hippolais pallida</i> Hemprich et Ehrenberg, 1833	Hypolaie pâle

### 2.6.1.5. Arthropodes

Les arthropodes de la région d'étude sont mentionnés dans le tableau ci-dessous :

**Tableau 7.** Listes des espèces d'arthropodes de la région d'étude [46].

Ordre	Famille	Espèces
Dermaptera	Forficulidae	<i>Forficula sp</i> Piaget, 1885
	Labiduridae	<i>Anisolabis maritima</i> Bonelli, 1832
Hemiptera	Pentatomidae	<i>Rhaphigaster incarnatus</i>
	Cireidae	<i>Corysis sp.</i>
	Pyrrhocoridae	<i>Pyrrhocoris aegyptus</i> Fallen, 1814.

	Lygeidae	<i>Ophthalmicus sp.</i>
Homoptera	Diaspidae	<i>Parlatoria blanchardi</i> (Targioni, 1892)
Coleoptera	Coccinellidae	<i>Pillus saturalis</i>
		<i>Adonia variegata</i> lablokoff-Khnzorian, 1982
	Getonidae	<i>Oxythorea scolidi</i> .Linnaeus, 1758.
	Anthicidae	<i>Anthicus sp.</i>
	Silvanidae	<i>Oryzaephilus surinamensis</i> (Linnaeus, 1758)
	Dermestidae	<i>Trogoderma sp.</i>
	Meloidae	<i>Mylabris sp.</i>
	Carabidae	<i>Antkia sexmaculata</i> Baxdrimont, 1923
	Bostrychidae	<i>Apate monachus</i> Fabricius, 1775
	Tenebrionidae	<i>Zophosis zyberi</i> Locky, 1984
		<i>Pachychila sp.</i>
		<i>Adesmia biskrensis</i> Leg, 1995.
		<i>Erodeus sp.</i>
		<i>Opartum sp.</i>
		<i>Tribolium sp.</i> Macleay, 1825
		<i>Ténébrionidé sp.</i>
		<i>Asida sp.</i>
Curculionidae	<i>Priontheca coronata</i> Ol, 1795	
	<i>Sitona sp.</i>	
Hymenoptera	Formicidae	<i>Cyphocleonus sp.</i>
		<i>Cataglyphis sp.</i> Foerster, 1850
		<i>Cataglyphis bombycina</i> Roger, 1859
		<i>Tapinoma sp.</i> Foerster, 1850
		<i>Pheidole sp.</i> Westwood, 1839
		<i>Messor sp.</i> Forel, 1890

## 2.6.2. Flore de la région d'étude

La flore actuelle du Tassili N'Ajjer appartient à la région botanique dit Saharo-arabique propre au désert africain. Nous rencontrons aussi des espèces méditerranéennes et tropicales [46]. Le tableau suivant montre les différentes régions botaniques et la flore qui y est affiliée.

**Tableau 8.** Flores des régions botaniques de Tassili N'Ajjer [46].

Région botanique	Nom scientifique	Nom communs	
		Français	Tamahaq
Souche saharo arabique	<i>Calligonum azel</i> L., 1753	-	Azel
	<i>Fagonia bruguieri</i> DC, 1824	-	Afassur
	<i>Zygophyllum album</i> L, 1762	-	Fazaman
Souche méditerranéennes	<i>Cupressus duperziana</i> A. camus, 1926	Cyprès du Tassili	Tarout
	<i>Myrtus duperziana</i> A. camus, 1924	Myrte	Taftasst
	<i>Olea laperrini</i> Batt	Olivier du Tassili	Aliou
	<i>Lavandula pubescens</i> Decne., 1834	La lavande	Idjih
Souche tropicales	<i>Acacia raddiana</i> Forsskal., 1775	Acacia	Absgh
	<i>Balanites aegyptiaca</i> L., 1812	Dattier du désert	Teboureq
	<i>Caloptropis procera</i> Aiton 1811	Arbre à soie du Sénégal	Tourha
	<i>Salvadora persica</i> L., 1753	Cure dents	Tihaq

En générale, la flore de la région de Djanet est représentée par près de 21 familles botanique. Ces dernières abritent des espèces caractéristiques de la région aride et/ou saharienne [01].

**Tableau 9.** Principales espèces végétale caractéristiques de la région d'étude [01].

Familles	Espèces	Nom communs	
		Français	Tamahaq
Amaantacées	<i>Aerva javanica</i> Burm .f, 1849	Euphorbe	Témakarézt
Apiacées	<i>Ammodaucus leucotrichus</i> Coss	-	Akman
	<i>Devera scoparia</i> Coss et Durieu, 1894	Fenouil sauvage	Tattayt
Asclépiadacées	<i>Solenostemma argel</i> .HA Hassan, 2001	-	Aghallachem
	<i>Calotropis procera</i> Aiton ,1811	Arbre à soie du Sénégal	Torha
Astéracées	<i>Artemisia campestris</i> L., 1919	Armoise champêtre	Tejok
	<i>Artémisia judaica</i> L.chevall L., 1759	Armoise de judée	Téharagglé
	<i>Chamomilla pubescens</i> Desf, 1860	Matricaire	Aynasnis
	<i>Cotula cinerea</i> , Delile ,1837	-	Takkélt
	<i>Launaea nudicaulis</i> L.Boiss, 1875	-	Aghararam
	<i>Nauplius graveolens</i> Forssk	-	Amayu
	<i>Pulicaria crispa</i> Forssk, 1877	Petit pulicaire	Ténadfért
Boraginacées	<i>Moltkiopsis ciliata</i> Forssk.	-	Aginas
	<i>Trichodesma africanum</i> L. Lehm, 1818	-	Alkah
Caryophyllacées	<i>Silene villosa</i> . Forssk.	-	Tabak

			amdal
Césalpiniacées	<i>Cassia italica. Mill</i>	Séné du Soudan	Agerger
Brassicacées	<i>Anastatica hierochuntica, L</i>	Rose de jéricho	Akaraba
	<i>Diptolaxi acris</i>	-	Azazaga
	<i>Eremobium aegytiacum</i>	-	Almarugat
	<i>Eruca sativa</i>	Roquette	Tanakfayt
	<i>Farsetia aegyptia</i>	-	Timzar
	<i>Schouwia thebaica</i>	Chou du désert	Alwat
	<i>Zilla spinoza</i>	-	Aftazzan
Chénopodiacées	<i>Cornulaca monocantha</i>	-	Tahara
	<i>Nucularia perrini</i>	-	Tassak
Cistacées	<i>Hélianthemum lippii</i>	Hélianthème	Tahawat
Cucurbitacées	<i>Citrullus colocynthis</i>	Coloquinte	Alkad
Euphorbiacées	<i>Euphorbia granulata</i>	-	Téllakh
Fabacées	<i>Astragalus gombo</i>	-	Ekashaker
	<i>Tephrosia purpurea</i>	-	Tenafit
	<i>Acacia raddiana</i>	-	Absagh
	<i>Acacia arabica</i>	Gommier rouge	Taggart
	<i>Acacia albida</i>	Kade	Ahtes
Lamiacées	<i>Lavandula antineae</i>	Lavande	Egayah
	<i>Teucrium polium helichrysoides</i>	Germandrée Tomenteuse	Tékmzzutén
Orobanchacées	<i>Orobanche aegyptiaca</i>	-	Efatakshi
	<i>Cistanche phelypaea</i>	-	Ahléwan
	<i>Orobanche cernua</i>	Orobanche	Tamzallite
Poacées	<i>Cymbopogon shoenanthus</i>	Jonc aromatique	Tébaremt
	<i>Panicum turgidum</i>	Millet	Afazu
	<i>Stipagrostis plumosa</i>	-	Aghammud
	<i>Stipagrostis pungens</i>	-	Tullult
Polygonacées	<i>Rumex vesicarus</i>	Oseille sauvage	Ténsmimt
Typhacées	<i>Typha elephantina</i>	Massette	Talé
Urticacées	<i>Forskalea tenacissima</i>	-	Talltaq
Polygonacées	<i>Rumex vesicarus</i>	Oseille sauvage	Ténsmimt

Zygophyllacées	<i>Fagonia bruguieri</i>	-	Afassur
	<i>Zygophyllum simplex</i>	-	Fazaman
Oleacées	<i>Olea laperrini</i>	Olivier laperrine	Aliou
Cupressacées	<i>Cupressus duperziana</i>	Cyprés du Tassili	Tarot
Tamaricacées	<i>Tamarix aphylla</i>	Tamarin	Tabarekkat
	<i>Tamarix senegalensis</i>	Tamaris de France	Azawa

*Chapitre III : État de  
connaissances sur les  
mammifères du Tassili  
Algérien*

### 3. État de connaissances sur les mammifères du Tassili Algérien

#### 1. INTRODUCTION

La biodiversité connaît une érosion sans précédent à l'échelle mondiale par la perte d'habitats et le changement climatique [106]. L'identification des points chauds de biodiversité, zones présentant simultanément une biodiversité remarquable et un risque élevé d'extinction, et la caractérisation de l'écologie des espèces pour la planification de la conservation sont les premières étapes pour arrêter la perte de biodiversité [107]. Devant la méconnaissance de la biodiversité [108], mentionnent que l'isolement et l'inaccessibilité d'accès à certains points chauds de la biodiversité rendent difficile l'accès à les échantillonner [109] ; dans ce contexte, Alvers et Brito, montrent que la collecte de données biologiques clés est indispensable pour identifier les espèces vulnérables avec une difficulté supplémentaire pour les espèces présentes en faible population [110].

Avec environ 8.000.000 km<sup>2</sup>, le Sahara est le plus grand désert du monde. L'éloignement des centres urbains, les conditions inhospitalières, ainsi que certains critères de sécurité, qui le caractérisent engendrent des difficultés logistiques pour l'étude de sa flore et de sa faune [97], par rapport à l'Afrique du Nord non saharienne où les données sont plus abondantes, le Sahara est un exemple de région où la biodiversité reste méconnue. Ainsi les informations disponibles sont pour la plupart issues de missions et d'expéditions sporadiques [108] ou d'explorations scientifiques de zones clés, comme les montagnes isolées qui abritent des plantes et des vertébrés endémiques [97] ; dans ce contexte, le défi consiste à accroître les connaissances sur la diversité et la répartition des espèces [111] afin de planifier la conservation des plus menacées [112]. Ainsi, la mégafaune du Sahara a suscité un certain nombre de travaux ces dernières années, montrant la nécessité d'importance internationale de prendre en charge les espèces en danger et par effet parapluie de sauvegarder une biodiversité fragile et mal connue [113]. En effet, même des zones protégées vont subir des pertes dramatiques avec le changement climatique ; Thuiller et *al.*, avancent une perte d'environ 50% de la richesse actuelle en mammifères au cours des années à venir dans le parc national du Tassili N'Ajjer [114].

Le Tassili N'Ajjer, l'une des régions les plus extrêmes de l'Algérie, abrite des espèces rares et endémiques de flore telles que le Cyprès du Tassili, *Cupressus dupreziana* [115] et de faune telles que les scorpions *Compsobuthus berlandi* et *Scorpio tassili* [116]. Dans ce contexte, nous avons jugé utile de porter à connaissance quelques informations inédites sur les mammifères du Tassili N'Ajjer algérien recueillies lors de prospections ciblées. Les espèces observées, ainsi que leur distribution, seront discutées.

## 2. MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 2.1. Présentation de la région d'étude

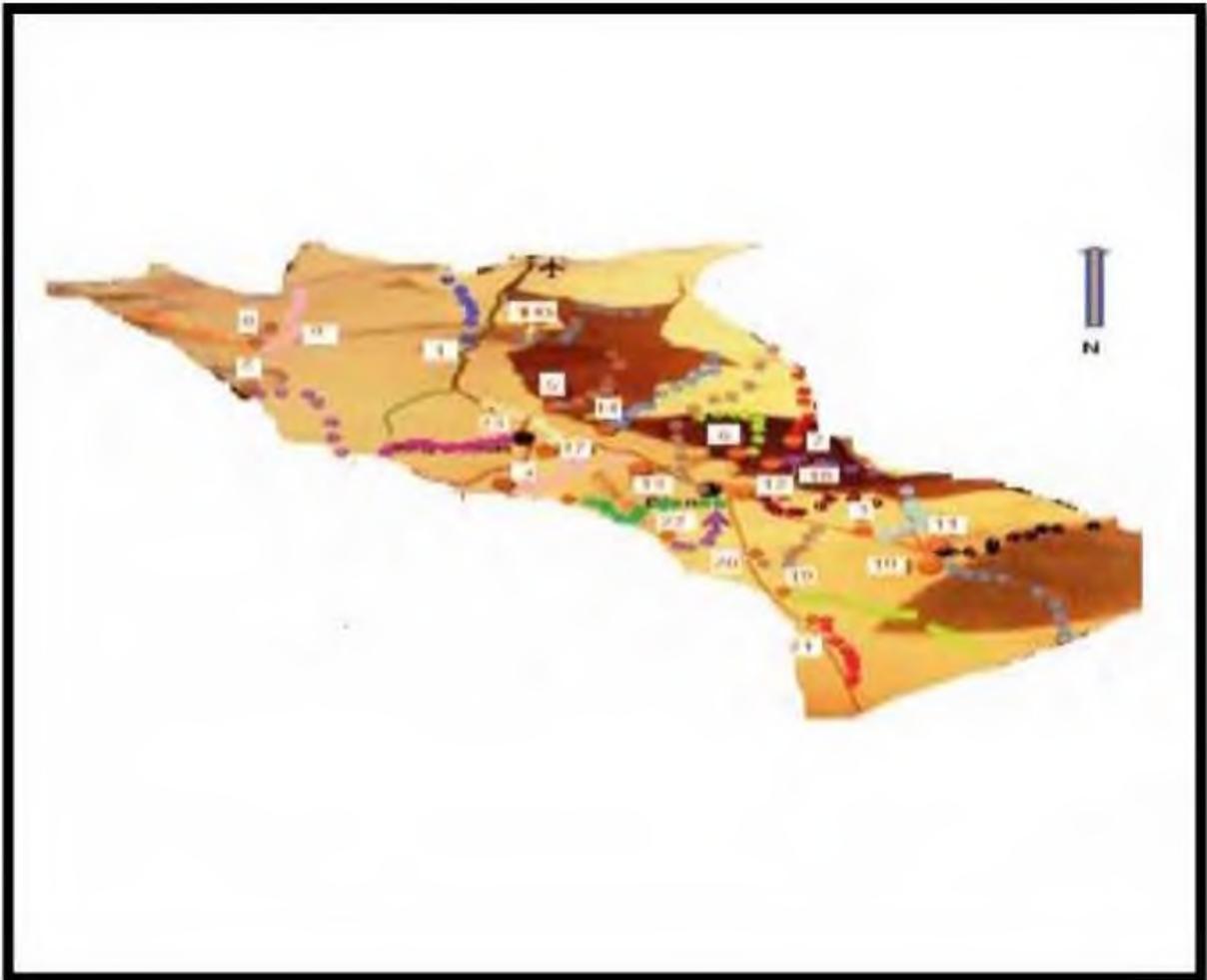
L'étude a été réalisée dans le Tassili N'Ajjer, wilaya d'Illizi, à l'extrême sud-est de l'Algérie. Le Tassili N'Ajjer est un massif montagneux de grès situé au centre du Sahara qui s'élève jusqu'à 2158 m au Djebel Efao. Il s'étend sur 50 à 60 km d'est en ouest, et sur 800 km du nord au sud, soit une superficie de près de 120 000 km<sup>2</sup> située entre 24° 30' et 26° 30' de latitude Nord, et de 6° 30' et 10° 00' de longitude Est [88]. Le Tassili a été érigé en parc national en juillet 1972 et classé au patrimoine mondial par l'UNESCO en 1982, pour ses richesses culturelles avérées, il a été admis comme réserve de l'homme et de la biosphère en 1986 (MAB), en raison de la diversité de ses écosystèmes naturels [25].

Les précipitations sont non seulement rares (moyenne annuelle de 6 mm), mais toujours très irrégulières. Cette région appartient à l'étage bioclimatique saharien [25]. Les températures moyennes annuelles sont élevées, avec un maximum absolu dépassant dépasser 50°C, et des minima de janvier variant de 2 à 9 °C [117]. La flore de cette région est représentée par plusieurs familles comptant des espèces des zones arides ou sahariennes comme *Artemisia judaica*, *Fagonia bruguieri*, *Zygophyllum simplex*, *Cupressus duperziana*, *Olealaperrii*, *Acacia raddiana*, *Calotropis procera* et *Balanites aegyptiaca* [118].

### 2.2. Méthodologie

Des prospections ont été menées grâce à l'appui logistique de l'équipe de l'Office National du Parc Culturel du Tassili de 2015 à 2017 dans trois sites différents à proximité de Djanet (Maddak, Tadrart et Anhaf) en vue de recenser les mammifères. Nous nous sommes basés sur l'observation directe des animaux pour le comptage et l'estimation de la taille des groupes, ainsi que la recherche d'indices de présence, notamment les crottes, afin de compléter la répartition des espèces [119] et l'observation indirecte à base de questionnaire.

Des transects ont été parcourus en vue de couvrir la majorité des habitats de cette région, notamment le fond des vallées et des oueds, et tous les terrains accidentés. Entre six à onze transects d'une longueur variable ont été établis en fonction de la topographie et de la géomorphologie des zones (Figure 9). Des sorties systématiques ont été organisées à raison d'une sortie par transect pour trois campagnes printanières (février à avril 2015, janvier à avril 2016, avril 2017) et une campagne automnale en septembre 2015.



**Figure 09.** Transects parcourus pour la détection des mammifères dans le Tassili N'Ajjer, région de Djinet (Original).

Les prospections ont été réalisées juste du lever du soleil jusqu'au soir (20 h). Au total trois personnes ont été mobilisées chaque fois. Des photographies ont été systématiquement prises à la vue d'un animal afin de limiter les possibles doublons, garder une image objective du biotope occupé et analyser avec précision l'âge et le sexe des animaux. Pour les ongulés, l'âge et le sexe ont été évalués sur la base de la taille du corps, la forme et la longueur des cornes. Ces caractères n'étaient pas discernables pour certaines observations distantes, les individus ont alors été comptabilisés dans une classe « indéterminé ». Nous avons choisi de recueillir trois types de données recommandées dans la littérature pour le suivi des ongulés sauvages dans les environnements arides et semi-arides [120]: (1) observations directes des animaux par contact visuel, (2) indices de présence (crottes et latrines) et (3) photos et vidéos des animaux.

Les observations ont été réalisées avec deux paires de jumelles Barska 10 x 50 et un télescope digital optique AK1 doté d'un trépied. Tous les contacts ont été notés avec leurs coordonnées topographiques relevées au moyen d'un GPS Garmin 76S. Les photos ont été prises au moyen d'un appareil numérique Canon EOS 1200 D (objectif 18-55 mm). La distribution des animaux et des indices de présence a été cartographiée à l'aide du logiciel Mapinfo v 8.0.

### 3. RÉSULTATS

Les prospections ont révélé la présence de neuf (09) espèces appartenant à cinq (05) ordres et six (06) familles de Mammifères : quatre (04) Carnivores, trois (03) Canidés et un (01) Félidé (*Canis anthus*, *Felis margarita*, *Vulpes rueppellii* et *Vulpes zerda*), deux Cétartiodactyles Bovidés (*Gazella dorcas* et *Ammotragus lervia*), un Chiroptère Hipposidéridé (*Asellia tridens*), un Rongeur Cténodactylidé (*Massoutiera m'zabi*) et un Hyracoïde Procaviidé (*Procavia capensis*). Ces espèces avec les localisations et les biotopes où elles ont été observées.

#### 3.1. Chacal du Sénégal *Canis anthus* (Cuvier, 1820)

Un mâle solitaire a été contracté à Indjerren au sud de Djanet en avril 2017 (Figure 10a). Cette faible occurrence peut être due à ses mœurs crépusculaires.

#### 3.2. Chat des sables *Felis margarita* (Loche, 1858)

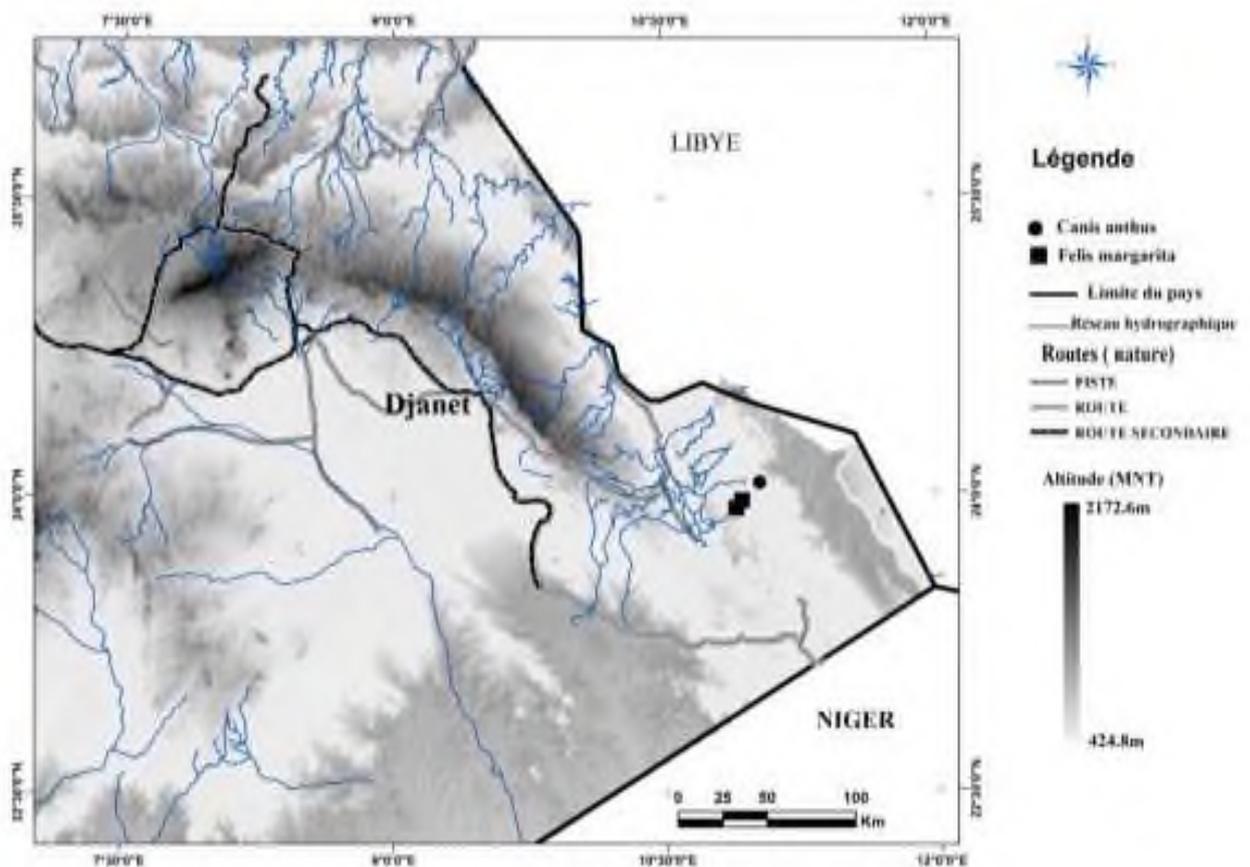
Il est assez bien représenté à Tinmerzouga où il a été contacté en avril les deux années consécutives. Trois individus ont été observés à El Baredj en avril 2015 (Figure 10a).

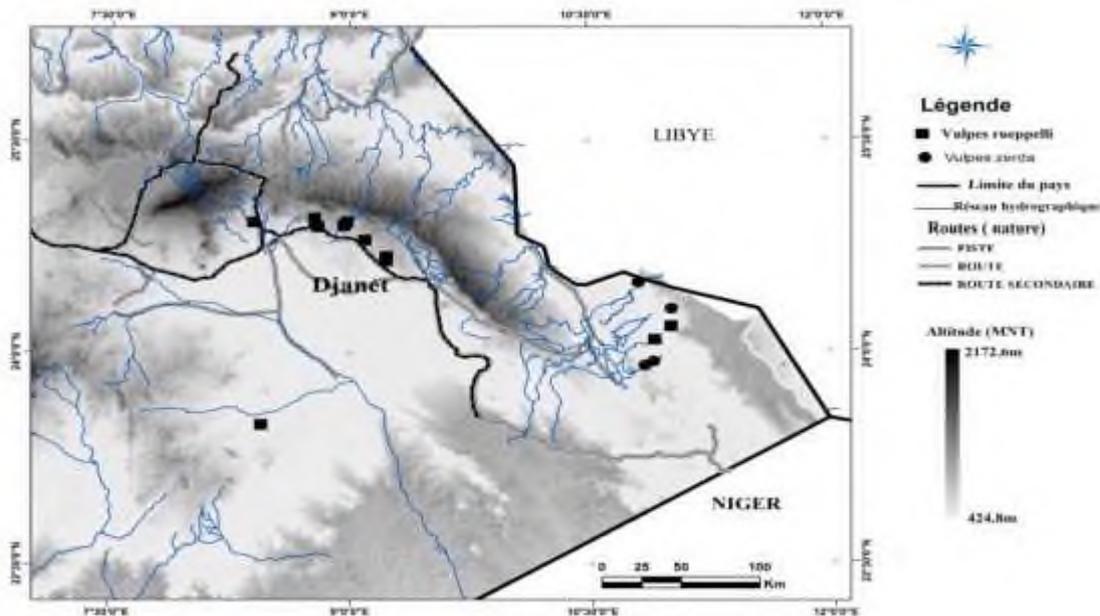
#### 3.3. Renard famélique *Vulpes rueppellii* (Linnaeus, 1758)

Plusieurs spécimens ou empreintes ont été observés dans sept oueds, à Wan Zawten et Adjarazraz, que ce soit de janvier à mars ou en septembre, sur sol sableux humide ou humide, voire rocailleux (Figure 10b). Plusieurs terriers ont été localisés, des crottes ont été observées à proximité

### 3.4 Fennec *Vulpes zerda* (Zimmerman, 1780)

Il a été observé dans cinq localités caractérisées par une végétation sèche et un sol sableux rocailloux. A Idoukal des crottes, des empreintes et une tanière ont été localisées en mars 2016, alors qu'à Tinmerzouga un groupe de trois individus a pu être observé en avril 2017. Un seul spécimen a été contacté dans les trois autres localités (Figure 10b).





**Figure 10.** Localisation des données de Carnivores recueillies dans le Tassili n'Ajjer Algérien en 2015 et 2017 (a : *Canis anthus* et *Felis margarita*, b : *Vulpes rueppellii* et *V. zerda*(Original).

### 3.5 Trident du désert *Aselia tridens* (Geoffroy, 1813)

Une forte colonie de ce Chiroptère a été localisée dans une grotte à proximité de l'oasis de l'Oued Ensendilen en mars 2015 (Figure 11). Il s'agit d'un site humide en permanence avec une végétation riche et luxuriante toute l'année.

### 3.6 Daman de rochers *Procavia capensis* (Pallas, 1766)

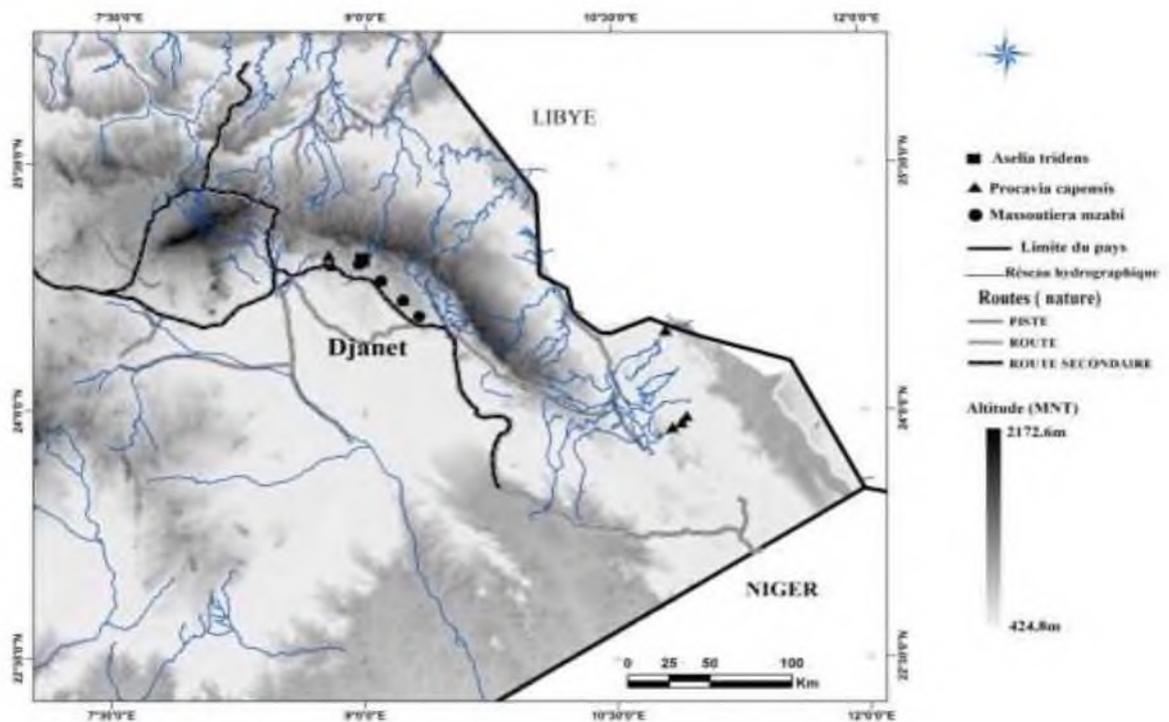
Plusieurs colonies de quelques individus ont été observées dans 7 stations prospectées (Figure 04). Ce mammifère s'abrite des prédateurs dans des biotopes rocheux et rocailleux, tout en vivant à proximité de milieux humides à végétation pérenne.

Sur l'ensemble des observations les groupes étaient composés essentiellement de femelles adultes et de jeunes. Des caractères phénotypiques semblent distinguer deux populations distinctes, l'une composée d'individus noir foncé, l'autre d'individus gris. Des études complémentaires sont nécessaires pour mieux appréhender cette variabilité.

### 3.7 Goundi du M'zab *Massoutiera mzabi* (Lataste, 1881)

Ce rongeur rupicole a été contacté dans cinq localités caractérisées par une végétation pérenne. Trois individus d'un groupe ont été observés à l'Oued Tikoubaouine en mars 2015 et aussi à l'Oued Tiharmouine en septembre 2015.

Un groupe de deux individus aux Oued Alghou en mars 2015 et Oued Essendilen en septembre 2015, et un individu à l'Oued Tilafzou en mars 2015 (Figure 11)



**Figure 11.** Localisation de la colonie d'*Asellia tridens*, de *Procapia capensis* et *Massoutiera mzabi* recueillies dans le Tassili N'Ajjer algérien en 2015 et 2017(Original).

## 4 DISCUSSION

L'exploration des différents habitats de la région de Djanet dans le Tassili a permis d'inventorier les espèces de mammifères les plus visibles lors de prospections diurnes. En l'absence de protocole de capture les petits rongeurs n'ont pas été contactés malgré leur importance numérique dans cette région.

Les trois Canidés observés dans la zone d'étude, Chacal du Sénégal, Renard famélique et Fennec, sont des espèces à large répartition, notamment dans le Sahara [46]. [121] Toutes trois avaient déjà été signalées dans le Tassili N'Ajjer par [04] mais les données n'étaient pas aussi nombreuses pour le Renard famélique. A l'inverse, avec une seule observation, le Chacal du Sénégal, signalé commun par Dragesco-Joffé, est soit en régression, soit trop nocturne pour être détecté lors de nos prospections [120]. Le Fennec, bien représenté plus à l'ouest [111] n'avait pas été signalé dans notre zone d'étude. Aucune mention de *Lycaon*, *Lycaon pictus*, signalé dans le parc national du Tassili en 1996 [70] n'a été relevée récemment dans la région d'étude.

Les Félidés sont représentés par une seule espèce, le Chat des sables, qui n'avait été mentionné que d'une localisation dans le nord du Tassili N'Ajjer [60] et récemment (De Smet). Nos données étendent donc sa répartition en Algérie où il a été récemment confirmé dans l'Ahaggar [61]. L'absence d'observation de Chat ganté, *Felis lybica*, largement distribué dans le nord du Tassili N'Ajjer et l'Ahaggar selon De Smet, peut être expliquée par des prospections réalisées souvent dans des biotopes sableux favorables au Chat des sables [60]. Aucune présence du Guépard, *Acinonyx jubatus*, n'a été détectée lors de nos prospections mais les nomades et les Touareg ont signalé des traces de marquage et de griffes (De Smet, com. pers.) alors que sa présence dans le Tassili N'Ajjer a été largement discutée [75]. Le Guépard a fait l'objet de nombreuses investigations dans le massif de l'Ahaggar par des moyens sophistiqués, caméras infrarouges et génétique moléculaire. Il a ainsi été détecté dans la région de Tin-Haggen dans le parc national de l'Ahaggar à Tamanrasset [57] avec le Léopard, *Panthera pardus* [64]. Les conflits avec les humains liés aux attaques de bétail ont contribué à leur régression, voire disparition, au cours des dernières décennies [75].

Des traces et des crottes d'Hyène ont été trouvées sur le site de Tanet (Anhaf). De Smet rapporte une donnée ancienne d'Hyène rayée, *Hyaena hyaena*, dans les environs de Djanet [60] où un animal a été abattu en avril 2015 (com. pers. O.N.P.T.). Même si l'Hyène tachetée, *Crocuta crocuta*, est considérée disparue d'Algérie [75] seules des analyses

génétiques permettraient d'identifier l'espèce émettrice des nombreuses crottes signalées par les nomades de la région.

Des deux Bovidés, le Mouflon à manchettes a été le plus observé (18 localités) avec des effectifs qui ont atteint 15 individus dans un groupe et toutes les classes d'âge. En dehors de son biotope refuge, les falaises rocheuses [102] il a été observé dans les vallées et oueds où les ressources trophiques sont abondantes et près des Gueltas, probablement pour s'abreuver. Cette forte occurrence de l'espèce dans le Tassili N'Ajjer témoigne du succès de la stratégie de préservation menée au cours de ces dernières années par les pouvoirs publics et le parc national du Tassili en vue de sauvegarder les espèces vulnérables malgré des actes de braconnage qui menacent la vie sauvage. Nos données confirment les distributions précédemment établies [64].



**Figure 12.** Groupe d'individu Mouflon à manchettes *Ammotragus lervia* (original).

La Gazelle dorcas a été observée dans 14 stations, occupant des biotopes proches de ceux précédemment évoqués pour le Mouflon à manchettes. La variabilité de taille des groupes est conforme à celle qui est observée dans les zones arides et sahariennes d'Afrique du Nord que ce soit en Tunisie [122] ou au Maroc [123]. Ces données de présence viennent confirmer la persistance de l'espèce dans la distribution précédemment identifiée [124]. En revanche aucune traces de *Gazella dama* n'a été relevée, les autochtones

semblent ne rien connaître sur cette espèce dont la disparition semble confirmée. La gazelle leptocère, *Gazella leptoceros*, signalée par De Smet des petits Ergs des environs de Djanet, en particulier l'Erg Admer [125], n'a pas été contacté lors de nos prospections.



**Figure 13.** Photo de gazelle *dorcas* *Gazella* Dorcas (original).

L'abondance des deux Bovidés est un atout pour la pérennité des prédateurs, parfois en danger critique d'extinction, dont la survie dépend essentiellement de ces grands herbivores [126] sans doute le conflit humain suite aux attaques au bétail à contribuer à sa disparition au cours des dernières années [126].

L'étude de la distribution spatiale des espèces proies s'inscrivent dans une démarche visant à produire un plan de conservation des grands prédateurs notamment le guépard et le lycaon. En effet, les données sur cette distribution vont aider sans doute à identifier les réseaux écologiques au profit de la conservation des carnivores cibles dans le parc culturel du Tassili N'Ajjer et va contribuer à fournir aux gestionnaires du parc une image précise de l'occupation de l'espace écologique par les espèces ciblées afin de préserver en priorité des aires d'habitats importantes pour la survie des deux grands carnivores menacés ou pour d'éventuels réintroductions de ces espèces.

Le Trident du désert est le seul Chiroptère que nous avons recensé dans la région, faute de prospections particulières et de matériel de détection des émissions ultrasonores. Cette espèce, qui compte parmi les chauves-souris les plus adaptées aux milieux arides [108] a une répartition très large, mais la découverte de colonies est toujours rare. La présence de l'espèce à proximité des oasis à été largement discutée [128]. Alors que les

reliefs rocheux recèlent de nombreux gîtes potentiels, les oasis lui offrent une disponibilité d'eau et une abondance de proies rares dans le Sahara [117]. Des investigations plus adaptées devraient permettre de détecter d'autres espèces de Chiroptères comme *Rhinolophus clivus* signalé par [117] *Otonycteris hemprichii* et *Pipistrellus kuhlii deserti* par [61] ; d'autres espèces connues de l'Ahaggar sont probables : *Rhinopomacystops* (Ideles et Oued-Tit [61] *Taphozous nudiventris* (Oued-Tit [122], *Tadarida aegyptiaca* [11] et *Tadarida teniotis* dont la présence a été récemment confirmée [124].



**Figure 14.**Photo de chauve souris *Asellia tridens* (original).

Le Daman de rochers, unique représentant des Hyracoïdes en Afrique du Nord, a été observé dans plusieurs sites rocheux de 7 stations couvrant une grande partie du Tassili N'Ajjer, conformément aux répartitions précédemment publiées [65], [61] comme dans l'Ahaggar [124] le Daman de rochers vit en groupes sociaux de trois à une dizaine d'individus composés d'un mâle dominant, de femelles et de jeunes.



**Figure 15.** Photo Daman de rochers *Procavia capensis* (original).

Le Goundi du M'zab, espèce endémique du Sahara présente en Algérie de la vallée du M'zab jusqu'à l'Ahaggar [119] semble être abondant dans les oueds et vallées du Tassili N'Ajjer d'après nos prospections. Cette abondance est probablement liée à la disponibilité en ressources trophiques pour ce rongeur herbivore [119].



**Figure 16.** Photo Goundi du M'zab *Massoutiera mzabi* (original).

Il est enfin à noter que malgré le signalement de la présence de Lièvre de Cap (*Lepus capensis*) dans le Tassili N'Ajjer, y compris à proximité de Djanet, par De Smet [28] sa présence n'a pas été détectée lors de nos prospections, peut-être par un effort d'échantillonnage trop faible ou plus sûrement mal adapté à une espèce assez cryptique lorsqu'elle n'est pas dérangée.

## **5 CONCLUSION**

Cette contribution à l'inventaire des mammifères terrestres du Tassili N'Ajjer ne repose que sur 09 espèces mais elle ajoute la présence d'une espèce, apporte l'extension de l'aire de répartition d'une autre et surtout confirme la persistance de populations d'espèces par ailleurs en forte régression. Cette première approche devra être complétée par des études reposant avec des protocoles plus rigoureux avec des méthodes variées afin d'identifier les caractéristiques écologiques locales des populations d'espèces soumises à des conditions climatiques difficiles. Un tel apport de connaissances sera utile pour établir des priorités de gestion et de conservation des habitats dans un cadre de gestion durable de notre biodiversité.

*Chapitre IV : Structure des  
populations et distribution  
spatiale de deux ongulés  
sauvages Ammotragus lervia  
et Gazella dorcas dans Tassili  
N'Ajjer*

#### **4. Structure des populations et distribution spatiale de deux ongulés sauvages *Ammotragus lervia* et *Gazella dorcas* dans Tassili N'Ajjer**

##### **1. INTRODUCTION**

Les populations viables des ongulés herbivores dépendent de leur distribution et de leur abondance, ainsi que de l'aptitude des individus, qui sont souvent déterminées par la sélection des habitats et des ressources trophiques [128] ; [129] ces décisions en matière de sélection des ressources déterminent la capacité des ongulés herbivores à réagir avec leur environnement et dépendent de préférences écologiques spécifiques locales déterminées par de multiples facteurs, notamment la prédation, les conditions climatiques, la végétation, les caractéristiques pédologiques ainsi que la concurrence, tous dépendants par des différences interspécifiques de taille et de cycle biologique [130]. Il est essentiel de comprendre les facteurs qui motivent ces décisions en matière de ressources pour une gestion efficace au niveau des espèces et des paysages ([131]; [132]). Ce problème est particulièrement délicat pour les espèces inféodés aux écosystèmes arides, où les populations doivent faire face à une faible disponibilité des ressources trophiques suite à de nombreux facteurs qui peuvent influencés ces dernières, ce qui entraîne des réponses disparates de ces herbivores, y compris le partage des ressources trophiques [130]. Les techniques qui quantifient de manière robuste la densité des ongulés et les facteurs déterminants sont donc un outil de gestion fondamental [134]. Plusieurs facteurs influencent les modes de regroupement des ongulés et autres mammifères sociaux. Le regroupement est une réponse commune à la prédation, dont le principal avantage est de réduire le risque qu'un individu soit la proie d'un autre, grâce à une vigilance accrue [135].

La structure sociale des ongulés est étroitement liée à des facteurs écologiques tels que le type d'habitat et la disponibilité de la nourriture [135]. La taille des groupes tend à augmenter avec la densité de la population [136] mais l'ouverture de l'habitat peut également affecter les modèles de regroupement ([130]; [135]). En outre, le comportement de regroupement est sensible au risque et la taille du groupe est positivement associée au risque de prédation et à la productivité de la végétation [135].

La compréhension de l'interaction entre les systèmes sociaux et les modèles de

cycle de vie est une condition préalable essentielle à une conservation efficace ([130] et [120]) ; c'est la base sur laquelle sont construits les programmes de surveillance, les modèles de population et les stratégies de gestion. Comme les populations de grands mammifères sont fortement structurées [85] des indicateurs démographiques supplémentaires, tels que les rapports de sexe, la composition des groupes et les taux de recrutement, sont souvent utilisés pour surveiller les populations ([89] et [120]; [46]).

L'Algérie a abritée de grandes populations d'ongulés sahélo-saharienne et ce jusqu'au début du XX siècle [128] Actuellement et en raison d'une surexploitation des populations naturelles pour la chasse, de la destruction des habitats et de la compétition avec le bétail, certaines espèces comme l'*Oryx algazelle* a disparu, d'autre sont au bord de l'extinction (Addax et gazelle dama), d'autres qui semblent être plus abondantes sont surexploitées et risquent d'être menacés, c'est le cas de Mouflon à manchette *Ammotragus lervia* et de la gazelle dorcas *Gazella dorcas*(Agence Nationale pour la Conservation de la Nature,).En Algérie, l'espèce était comme en danger et parait dessiner ces dernières années une chute Brutale de ses effectifs à travers l'ensemble de ces habitats. De la destruction des habitats, en passant par les braconnages, plusieurs indicateurs semblent préciser une disparition certaine de ces bovidés dans de très nombreuses régions du pays [130].

*Ammotragus lervia* est le seul représentant des caprinidés sauvages et n'est connue à l'état sauvage que dans l'ensemble de l'Afrique du Nord et des régions sahariennes [51] .Au niveau mondial, l'espèce est déclarée comme vulnérable (VU A2cd), sur la liste rouge 2012 de l'union internationale de conservation de la nature (UICN), (Cassinello et *al.*, 2008), et il est également inclus dans l'Annexe II de la Convention sur le commerce international des espèces de faune et de flore sauvages (CITES).

*Ammotragus lervia* (Arwui des Arabes) est une espèce endémique des régions montagneuses de l'Afrique du Nord [40], tout au long de la région du Sahara "Sud au environ du 14 ° près du Niger et à travers le nord du Tchad et du Soudan jusqu'à la mer Rouge"[56]. Toute fois on aire de distribution originale comprend les pays d'Afrique du Nord Algérie, le Tchad, l'Egypte, la Libye, le Mali, la Mauritanie, le Maroc, le Niger, le Soudan et la Tunisie [120]. Cette espèce est restée méconnu, jusqu'à son introduction aux États-Unis d'Amérique à la fin des années 1930. Depuis des études écologiques et de gestion ont été entreprises [134]. Cependant, la

connaissance de l'espèce a été synthétisée et décrite par Cassinello (1998). Aucune étude n'a été publiée dans son aire de distribution naturelle en Afrique, en dehors de quelques ouvrages traitant principalement des aspects synthétisant sa distribution [134].

*Gazella dorcas* est l'une des trois gazelles existante actuellement en Algérie, c'est une espèce des zones désertiques et subdésertiques et de ce fait elle est considérée comme la plus ubiquiste des antilopes Sahélo-Sahariennes. Les habitats dans lesquels elle a été observée comprennent des oueds, des plateaux, des canyons, des plaines herbeuses, des déserts de sable et arides, des abords d'oasis, des ergs, des regs, des chotts, des sebkas et des dunes [134], On la trouve depuis les plaines côtières et les dépressions du désert [130] jusqu'à 2 000 m d'altitude dans les montagnes du Hoggar [130]. La Gazelle dorcas éviterait les altitudes plus élevées et l'intérieur des déserts [134]. En Algérie, où son aire de répartition actuelle comprend encore une grande partie du Sahara algérien, la limite nord est maintenant généralement marquée par l'Atlas saharien, bien que quelques gazelles dorcas survivraient sur les Hauts Plateaux près de la frontière avec le Maroc [127]

En Algérie ces deux espèces jouissent d'un statut vulnérable selon Red list IUCN (IUCN., 2008), une révision ainsi qu'une mise à jour de ces derniers est plus que nécessaire. Cependant des études devront être entreprises sur ces espèces dans les milieux naturels dans une perspective de conservation durable de l'espèce, notamment dans les biotopes protégés tel que le Tassili N'Ajjer ou de fortes populations prospèrent [105]. Dans ce contexte, nous avons jugé utile de mener ces investigations en vue d'établir la structure des populations ainsi que la distribution spatiale de ces deux espèces vulnérables.

## **2. MATÉRIEL ET MÉTHODES**

### **2.1. Présentation de la région d'étude**

L'étude a été réalisée dans le Tassili N'Ajjer, wilaya d'Illizi, à l'extrême sud-est de l'Algérie. Le Tassili N'Ajjer est un massif montagneux de grès situé au centre du Sahara qui s'élève jusqu'à 2158 m au Djebel Afao. Il s'étend sur 50 à 60 km d'est en ouest, et sur 800 km du nord au sud, soit une superficie de près de 120 000 km<sup>2</sup> située entre 24° 30' et 26° 30' de latitude Nord, et de 6° 30' et 10° 00' de longitude Est [46]. Le Tassili a été érigé en parc national en juillet 1972 et classé au

patrimoine mondial par l'UNESCO en 1982, pour ses richesses culturelles avérées, il a été admis comme réserve de l'homme et de la biosphère en 1986 (MAB), en raison de la diversité de ses écosystèmes naturels [31].

Les précipitations sont non seulement rares (moyenne annuelle de 6 mm), mais toujours très irrégulières. Cette région appartient à l'étage bioclimatique saharien [31]. Les températures moyennes annuelles sont élevées, avec un maximum absolu dépassant 50° C, et des minima de janvier variant de 2 à 9 °C [51]. La flore de cette région est représentée par plusieurs familles comptant des espèces des zones arides ou sahariennes comme *Artemisia judaica*, *Fagonia bruguieri*, *Zygophyllum simplex*, *Cupressus duperziana*, *Olealaperini*, *Acacia raddiana*, *Calotropi sprocera* et *Balanites aegyptiaca* [136].

## 2.2. Méthodologie

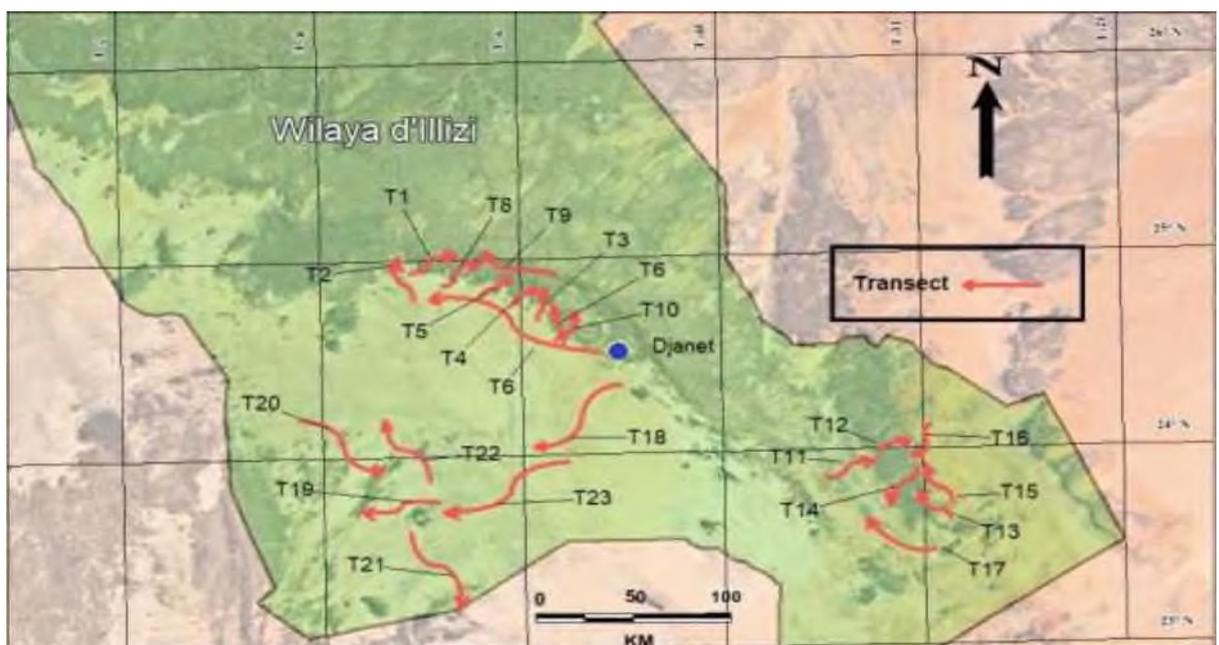
Des prospections ont été menées au cours des années d'investigations entre 2015 jusqu'à 2017 dans toute la région du Tassili en vue de recenser les populations de *Gazella dorcas* et *Ammotragus lervia*. Nous nous sommes basés sur l'observation directe des animaux pour le comptage et l'estimation de la taille des populations, ainsi que les indices de présence, notamment les crottes, afin d'établir sa répartition géographique.

Des transects ont été conçus en vue de couvrir la majorité des habitats pouvant accueillir cette antilope, notamment le fond des vallées et des oueds, et tous les terrains accidentés. Vingt-trois transects (T1 - T23) d'une longueur totale de 345 km ont été établis selon la topographie et la géomorphologie des zones (Figure 17, Tableau 10). Des sorties systématiques ont été organisées à raison de 1 son hiver et en printemps par campagne en collaboration avec le personnel désigné du parc national du Tassili.

Nous avons choisi de recueillir trois types de données recommandées dans la littérature pour le suivi des ongulés sauvages, notamment celui des gazelles dans les environnements arides et semi-arides ([121]; [18]; [36] ;[19]) : (1) observations directes des animaux par contact visuel, (2) indices de présence (crottes et latrines) et (3) photos et vidéos des animaux.

Les sorties ont été réalisées juste avant le lever du soleil jusqu'au soir (20 h) en période estivale et de 8 à 18 h en période hivernale. Au total six personnes ont été mobilisées pour ce suivi. Lors de ces sorties des photos ont été systématiquement prises afin de limiter les possibles doublons et d'analyser avec précision l'âge et le sexe des animaux, ainsi que le biotope occupé. L'âge et le sexe ont été évalués sur la base de la taille du corps, la forme et la longueur des cornes. Pour certaines observations, ces caractères n'étaient pas discernables et les individus ont alors été comptabilisés dans une classe « indéterminé ». Les classes d'âges sont les suivantes : jeunes (moins de 6 mois), sub-adultes (de 7 à 18 mois) et adultes (plus de 18 mois). Pour les sub-adultes, il a été difficile de différencier le sexe. Les crottes et les latrines de *G. dorcas*, relevées pour la cartographie sont facilement reconnaissables par rapport à celles du cheptel local « ovin et caprin ».

Les effectifs ont été comptabilisés sur la base des animaux observés, aucune estimation n'a été réalisée. Les observations ont été réalisées avec deux paires de jumelles BARSKA 10 x50 et un télescope digital optique AK1 doté d'un trépied. Tous les contacts ont été notés avec leurs coordonnées topographiques relevées au moyen d'un GPS GARMIN 76S. Les photos ont été prises au moyen d'un appareil numérique CANON EOS 1200 D, objectif 18-55 mm). La distribution des animaux et indices de présence a été cartographiée à l'aide du logiciel Mapinfo v 8.0.



**Figure 17.** Transects parcourus pour la détection des mammifères dans le Tassili N'Aijer, région de Djanet (Original).

**Tableau 10.** Caractéristiques des stations d'études des mammifères dans le Tassili N'Ajjer (Algérie(Original)).

Sites	Stations	Coordonnées		Altitude (m)	Caractéristique du couvert végétal
		Latitude	Longitude		
MADAK Nord DJANET (103 km)	Oued Sersouf	24°57.321' N	08°46.499'E	1147	Végétation annuelle et pérenne. Sol sableux humide
	oued Tisdamarine	24°53.46 1' N	8°48.092' E	1224	Végétation annuelle et pérenne. Sol sableux
	Oued Tikoubaouine	24°48.09 4' N	9°05.474' E	1146	Végétation pérenne verte. Sol sableux argileux sec
	OuedImourouden	24°39.143' N	9°13.419'E	1190	Végétation pérenne sèche. Sol sableux rocheuse
	Oued Alghou	24°54.174' N	8°57.524'E	1154	Végétation annuelle et pérenne % verte, %2 sèche. Sol sableux
	Oued Abichoal	24°54.58 3' N	8°56.365' E	1139	Végétation annuelle. Sol humide argileux
	OuedEssendilen	24°55.506' N	8°58.597'E	1146	Végétation annuelle avec des oasis. Sol humide
	Oued Tellaline	24°46.41 2' N	9° 08.008'E	1147	Végétation annuelle et pérenne. Sol sableux rocheuse sec
	Oued Tilafzou	24°41.031' N	9°13.500'E	1146	Végétation annuelle +pérenne. Sol sableux sec
	Oued Tiharmouine	24°35.13 0' N	9°19.397'E	1168	Végétation annuelle et saisonnière. Sol sableux et rocheux
TADRART Sud-Est	Idukal 1	24°29.373' N	10°47.953'E	1036	Végétation annuelle et pérenne. Sol
	Idukal 2	24°18.36	10°48.378'	1035	Végétation annuelle et pérenne. Sol sableux
	GueltaTuhadien	24°11.17 8' N	10°51.459'E	917	Végétation pérenne sèche. Sol sableux rocheuse

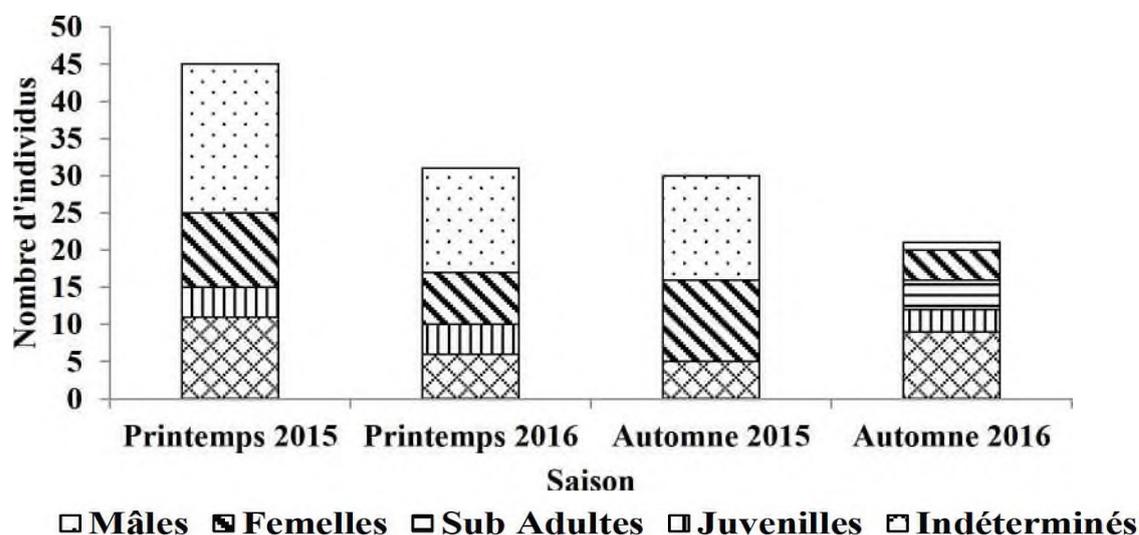
DJANET (200km)	Indjerren	24°03.447' N	11°01.443'E	876	Végétation annuelle et pérenne % verte % sèche. Sol sableux
	Wan Zawten	24°05.165' N	10°54.2475'E	925	Végétation annuelle. Sol humide argileux
	Wan Zawten 2	24°10.540' N	11°00.431'E	853	Végétation annuelle
	Wan Zawten 3	24°05.26 6' N	10°57.222' E	886	Végétation annuelle et pérenne. Sol sableux rocheuse sec
	Tinmerzouga 1	24°18.25 8' N	11°00.513'E	843	Végétation pérenne verte. Sol sableux argileux sec
	Tinmerzouga 2	23°54.211' N	10°50.420'E	928	Végétation annuelle et pérenne. Sol sableux sec
	Tinmerzouga 3	23°56.036' N	10°53.591'E	930	Végétation annuelle. Sol sableux et rocheux
	El Baredj	23°58.214' N	10°55.502'E	2902	Végétation annuelle et pérenne. Sol sableux humide
ANHAF Sud DJANET (197km)	Tahort	24°23.671' N	9°08.647'E	1011	Végétation annuelle et pérenne. Sol sableux
	Tisnar	24°52.987' N	9°02.513'E	943	Végétation pérenne vert. Sol sableux argileux sec
	Tin Arwa	23°52.4481' N	8°54.848'	886	Végétation pérenne sèche. Sol sableux rocheux
	Adjarazraz	23°29.4069' N	8°26.5386'	886	Végétation annuelle et pérenne.
	Tin Arkni	23°24.4397' N	8°23.3938'E	886	Végétation annuelle. Sol humide argileux
	Tanet	24°33.0501' N	7°35.5795'E	887	Végétation annuelle

### 3. RÉSULTATS

#### 3.1. Structure des populations et distribution spatiale du mouflon à manchette *Ammotragus lervia* dans le Tassili.

##### 3.1.1. Variations saisonnières et annuelles de la structure des populations d'*Ammotragus lervia* dans les zones prospectées du Tassili.

L'examen de la structure des populations d'*Ammotragus lervia* en fonction de classes d'âge au cours de nos investigations et qui correspond à la période comprise de 2015 à 2016, montre l'existence de 43 mâles ce qui représente le pourcentage le plus important soit un taux de 35 %, il est suivi par le groupe des femelles avec 30 individus avec un pourcentage de 25 %, quant aux jeunes on note un nombre de 19 individus avec un pourcentage de l'ordre de 15 %. Cependant, un nombre de 05 sub-adultes a été dénombré avec un pourcentage relativement faible soit 10 %. Donc, la taille des mâles est beaucoup plus importante que celle des femelles avec un sexe ratio égale à 45 % (Figure 18).

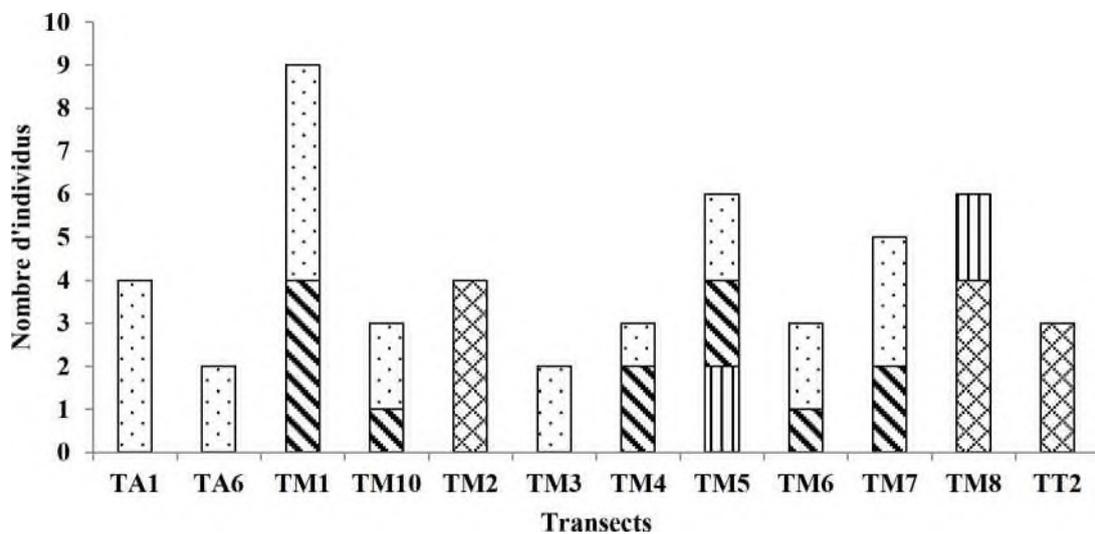


**Figure 18.** Variations saisonnières et annuelles de la structure des populations d'*Ammotragus lervia* dans les zones prospectées du Tassili entre 2015 et 2016.(Original).

L'examen des variations saisonnières montrent une importance numérique de tous les groupes à l'exception de la classe des juvéniles et ce particulièrement au cours du printemps 2015, ce nombre baisse pour l'automne 2015 cette classe est absente et sera identique à celui du printemps 2016 avec une faible représentation de la catégorie des mâles.

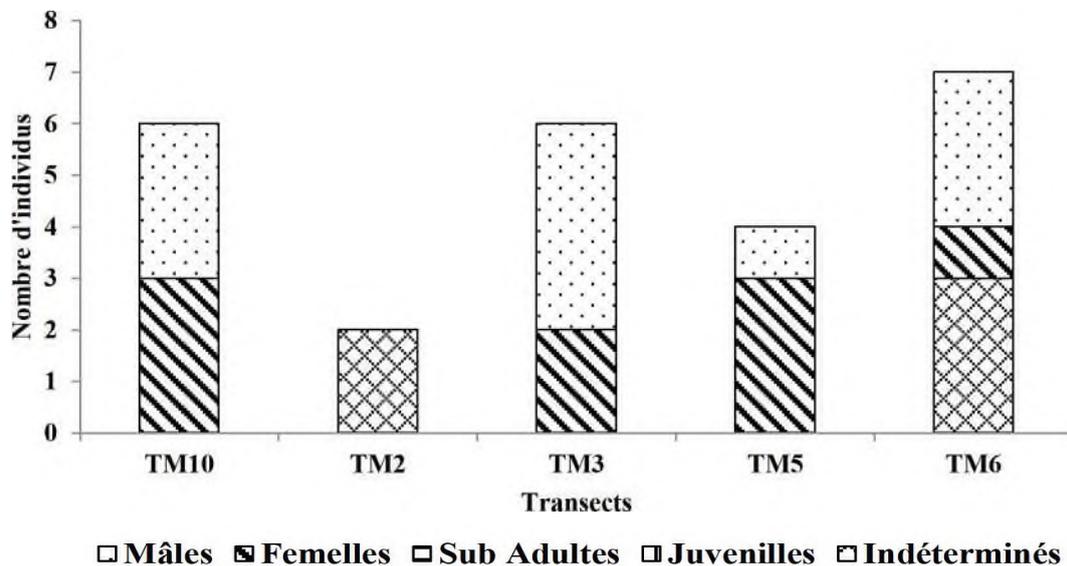
### 3.1.2. Variations de la structure des populations d'*Ammotragus lervia* en fonction des différents transects prospectés dans le Tassili entre 2015 et 2016.

L'analyse de la structure des populations d'*Ammotragus lervia* en fonction des différents transects prospectés dans le Tassili entre 2015 et 2016 révèle une grande variabilité en effectif et en catégories de classe des différentes composantes du groupe. Les mâles sont exclusivement recensés au niveau de TA1, TA6, TM3 et sont majoritairement présents en TM1, TM5, TM6, TM7 et TM10 ce nombre diminue dans les transects TM4. Quant aux femelles elles sont fortement présentes en TM1, TM4, TM5, TM7 et TM10. Toutefois les catégories de la classe des indéterminés est fortement représentés en TM2 et TM8, en revanche les juvéniles sont représentés exclusivement dans les transects TM5 et TM8, il est à noter l'absence des sub-adultes.



□ Mâles    ▨ Femelles    ▬ Sub Adultes    ▮ Juveniles    ▩ Indéterminés

**Figure 19.** Variations de la structure des populations de *Ammotragus lervia* en fonction des différents transects prospectés dans le Tassili en 2015(Original)..

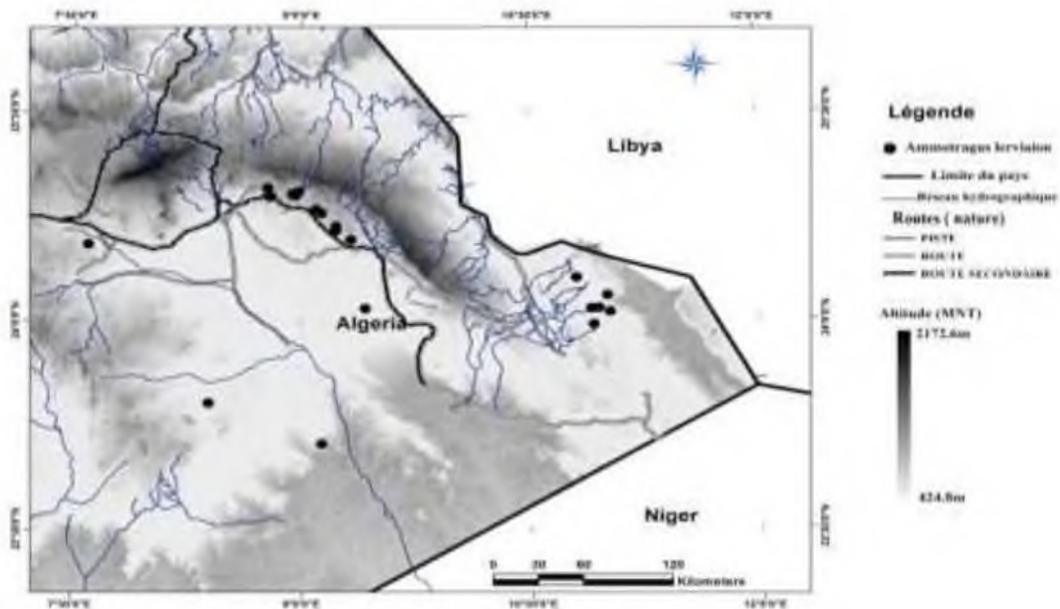


**Figure 20.** Variations de la structure des populations d'*Ammotragus lervia* en fonction des différents transects prospectés dans Tassili en 2016.(Original).

En 2016 les variations de la structure des populations d'*Ammotragus lervia* en fonction des différents transects prospectés dans Tassili est clairement en faveur des catégories des mâles et des femelles qui sont représentés en effectifs intéressants dans les transects (TM3, TM5, TM6 et TM10) et la catégorie des indéterminés exclusivement en TM2 et TM6.

### 3.1.3. Distribution spatiale des populations d'*Ammotragus lervia* dans le Tassili.

Concernant la répartition spatiale de *A. lervia*, on note que ce dernier est très largement distribué dans le Tassili notre zone d'étude, il a été contacté dans 18 localités, principalement des oueds et des vallées entre les montagnes rocheuses (Figure 21). Des groupes comptant jusqu'à 18 individus sont signalés à Tisnar et au moins 12 individus à Oued Abichoal, Oued Alghou et Oued Tiharmouine.



**Figure 21.** Distribution spatiale des populations d'*Ammotragus lervia* dans le Tassili.(Original).

### 3.2. Structure des populations et distribution spatiale de la *Gazelle dorcas* dans le Tassili.

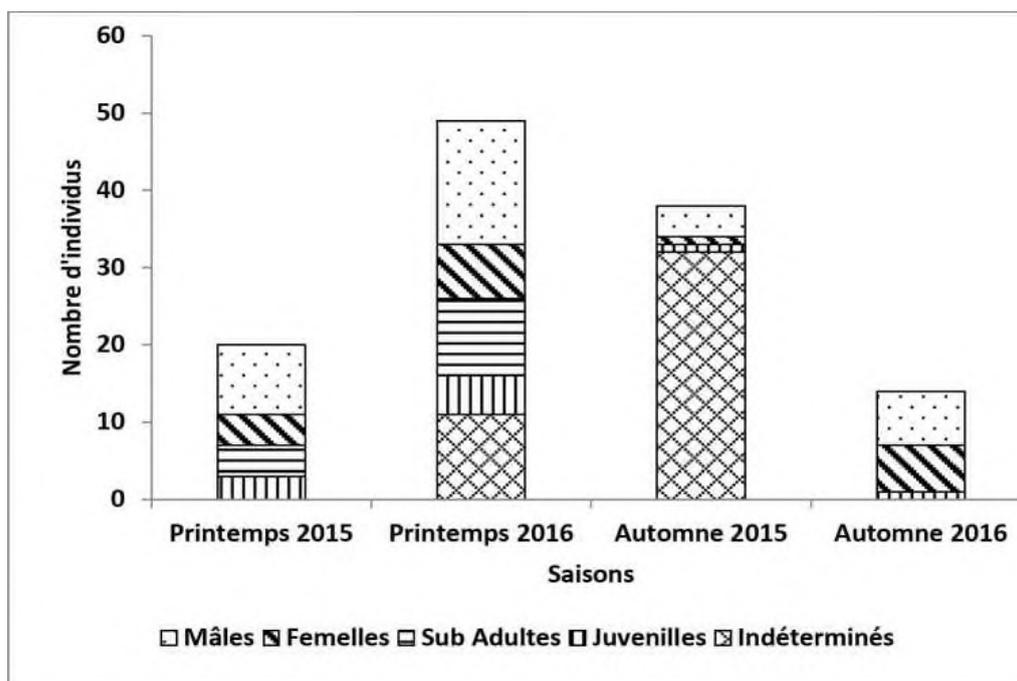
#### 3.2.1. Variations saisonnières de la structure des populations de *Gazella dorcas* dans les zones prospectées du Tassili entre 2015 et 2016.

Un nombre maximal de 243 gazelles *dorcas* a été observé dans tout le territoire de Tassili. Avec une densité de 13 gazelles par kilomètre le maximum d'individus a été observé au niveau du transect T4 dans les monts de Tassili. Pour les neuf autres transects, ce nombre oscille entre 02 et 30 gazelles avec des densités comprises entre 0 et 13 gazelles par km.

Les femelles adultes ont été les animaux les plus fréquemment contactés, devant les « indéterminés », les mâles adultes, les sub adultes et les jeunes. Le plus grand nombre d'observations de femelles adultes a été recensé au niveau du transect T3 (n =30), contre seulement 2 pour le transect T6. Le nombre d'observations de mâles adultes, également réalisées dans tous les transects, est toujours très inférieur, sauf dans le transect T5 où avec 09 observations il dépasse celui des femelles (n = 6). Quant aux sub-adultes et aux jeunes, ils n'ont été observés que dans 5 et 6 transects respectivement, avec un nombre total d'observations de 7 dans le transect T1 pour les sub-adultes, de 6 dans le transect T9 pour les jeunes. Le transect T4 a compté le plus grand nombre d'indéterminés (n = 26) alors que seuls deux transects n'ont pas permis d'identifier

correctement âge et sexe des gazelles observées.

Le nombre de femelles adultes observées a atteint un maximum de 24 gazelles en février, il reste inférieur à 10 les autres mois, avec un minimum de 2 en juillet (Figure 22). Le nombre de mâles adultes observés ne dépasse pas 4 individus en automne et hiver, un seul individu a été contacté en septembre et en mai. Les sub-adultes ont été signalés en janvier et février, avec des effectifs de 7 et 5 respectivement, et d'octobre à décembre, avec des effectifs de 6 à 3. Les jeunes ont été observés de mai à septembre avec des effectifs mensuels de 2 à 4 individus



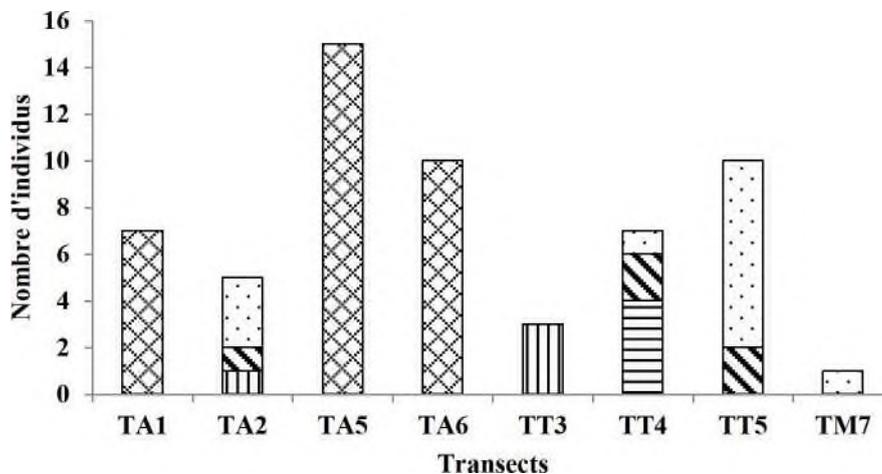
**Figure 22.** Variations saisonnières et annuelles de la structure des populations de *Gazella dorcas* dans les zones prospectées du Tassili entre 2015 et 2016(Original)..

### 3.2.2. Variations de la structure des populations de *Gazella dorcas* en fonction des différents transects prospectés dans le Tassili entre 2015 et 2016.

En 2015, l'analyse des fluctuations de la structure des populations contractées le long des différents transects prospectés est en faveur de la catégorie des classes indéterminées rencontrées dans les transect TA5 TA6 et TA1, les juvéniles sont représentées exclusivement en TT3 et faible taux en TA2. Un seul transect TT4

montre la présence de sub adultes.

Des groupes de mâles fortement représentés sont notés dans le transect TT5 et TA2, contrairement au transect TM7 ou un faible taux a été enregistré. Les femelles sont notées simultanément en faible effectifs en TA2, TT4 et TT5.

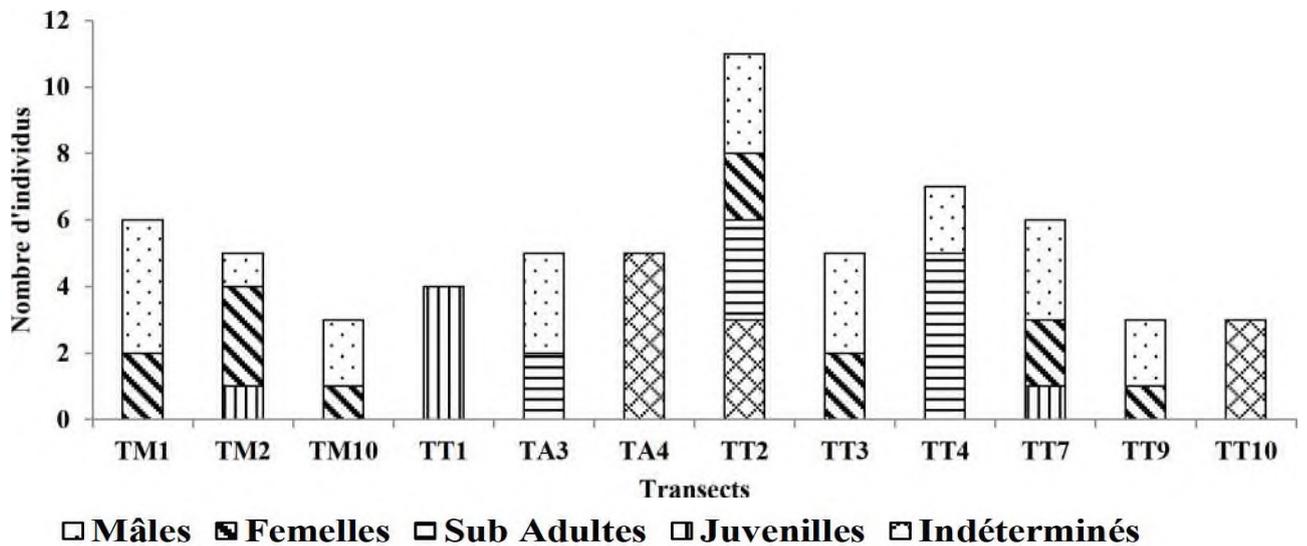


□ Mâles ■ Femelles □ Sub Adultes □ Juveniles □ Indéterminés

**Figure 23.** Variations de la structure des populations de *Gazella dorcas* en fonction des différents transects prospectés du Tassili en 2015(Original)..

Des observations différentes semblent s'afficher au cours de l'année 2016, le taux le plus élevé a été noté en faveur du transect TT2 ou presque toutes les catégories sociales ont été signalées. Le reste des transects montrent des effectifs moyens certains sont représentés par trois catégories comme c'est le cas pour TM2 et TT7, d'autres engendrent deux catégories sociales notamment les mâles et les femelles pour TM1, TM10, TT3 et TT9.

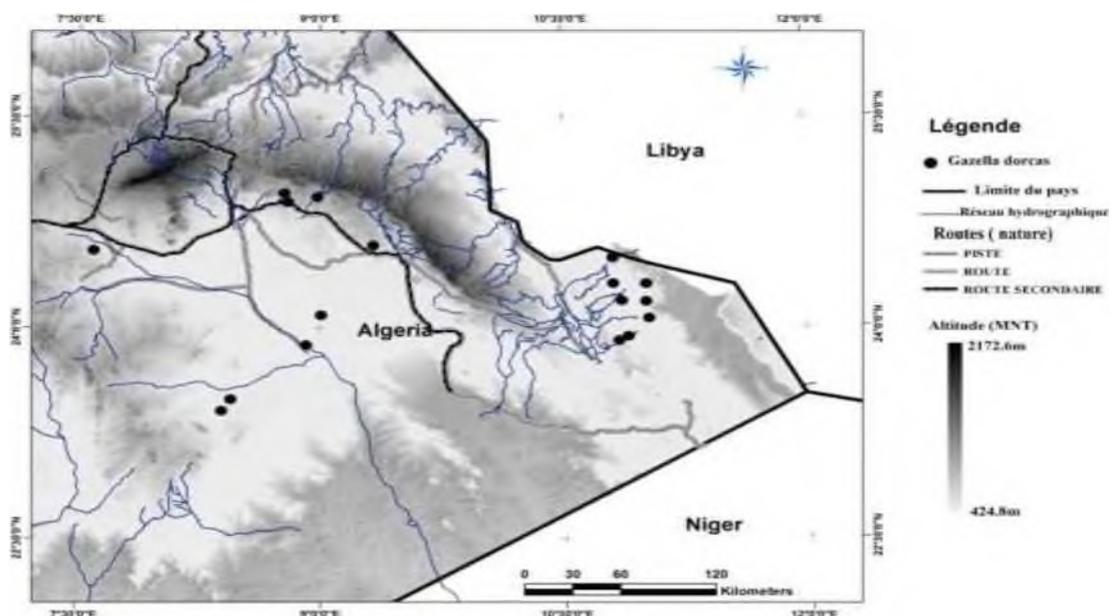
Les juvéniles sont majoritaires en TT1 contrairement au TM2 et TT7 sont faiblement représentés.



**Figure 24.** Variations de la structure des populations de *Gazella dorcas* en fonction des différents transects prospectés du Tassili en 2016.(Original).

### 3.2.3. Distribution spatiale de *Gazella dorcas* dans le Tassili.

*Gazelle dorcas* Linnaeus, 1758. Cet Antilopiné est également une espèce à très forte occurrence dans la région, ayant été contactée dans 14 localités (Figure 25) avec des groupes de composition variable, comptant de 1 à 10 individus, comme fut le cas à Indjerren en avril 2017. Des investigations complémentaires sont nécessaires pour couvrir d'autres localités non investies pour indéterminé son occurrence et sa présence dans le massif du Tassili.



**Figure 25.** Distribution spatiale de *Gazella dorcas* dans le Tassili.(Original).

## 4. DISCUSSION

### 4.1. Structure des populations et distribution spatiale d'*Ammotragus lervia*.

La connaissance des effectifs de la structure en classes d'âge et de sexe, et de leurs variations temporelles constitue un objectif général de l'ensemble des organisations de gestion de la faune sauvage [134].

Nos résultats ont montré que les effectifs recensés de cet ongulé sont stables et important et ce au cours des différentes campagnes de prospections menées en 2015 et 2016 ainsi que dans la majorité des transcuts investis lors de ces expéditions [130]. L'examen de la structure de la population d'*Ammotragus lervia* montre l'existence de cinq catégories sociales bien distinctes constituées essentiellement par des mâles, femelles, sub-adultes jeunes et indéterminés. Nos données sont en accord avec les observations menées sur l'organisation sociale des populations de mouflon à manchettes au niveau du parc national de Chambi en Tunisie après 23 ans de son introduction [124].

De même des résultats presque similaires sont également observés au niveau de la réserve de chasse de Moutas [132] au sud de l'Espagne où l'espèce a été introduite, il semblerait que cette dernière s'est largement étendue et s'est très bien adaptée dans ces biotopes relativement similaires à ceux d'origines de l'espèce [133] ; [134].

Toutefois, il est à noter que les techniques de dénombrement des grands mammifères, existent mais le choix de l'une d'entre elles s'avère difficile [122] ; [123]). En effet les méthodes dites de « recensement » ne sont le plus souvent que des méthodes de dénombrement, puisqu'elles ne permettent pas dans le meilleur des cas, que d'estimer l'effectif de la population étudiée, alors que d'autres recensements permettent d'obtenir également la structure en âge et en sexe [122].

Les mâles adultes bien présents dans toutes les campagnes et les transects sont souvent en groupe isolés et préfèrent rester entre eux au long de l'année et ne rejoignent les groupes de femelles qu'au moment du rut, ces mêmes observations ont été déjà signalés auparavant respectivement en Tunisie [128], en Espagne et en Amérique [129].

Il faut également noter que le sex-ratio obtenu au cours de ces investigations semble être en faveur des mâles, ceci est identique avec les données de l'espèce en semi captivité ou ce dernier est de 1,35 dans la réserve de Moutas à Tlemcen [135], contrairement aux données signalées par la littérature [130], où le sex-ratio est en faveur des femelles chez le mouflon de Corse au massif du Caroux Espinousse au Sud de la France. Les mêmes constatations sur le sex-ratio, ont été relevées chez d'autres bovidés sauvages proches du mouflon notamment le cerf, et le bouquetin des Alpes respectivement par [121] et [125]. Contrairement à ce qui a été observé ailleurs sur cette même espèce, nos résultats ne sont pas en concordance avec les données déjà publiées sur le sexe ratio en Tunisie, où il est en faveur des femelles (Ben Mimoun et Nouira, 2013) et notamment ceux des populations introduites au sud de l'Amérique dans la Vallée de Rio Hondo au sud de New Mexico (58 mâles: 100 femelles) [68] ainsi que ceux du Texas soit (20 à 40 mâles: 100 femelles) [123]. Cependant les données signalées dans notre suivi reflètent une prédominance des mâles par rapport aux femelles. Les deux sexes et toutes les classes d'âges ont pu être observés (adultes mâles et femelles, sub-adultes, jeunes et indéterminés). De faibles effectifs ont été signalés à Tanetet Arkni avec respectivement 2 et 3 individus. Dans ces vastes territoires désertiques, la population d'*Ammotragus lervia* est répartie en petits groupes dans la partie orientale du Tassili et l'extrême sud Est, ceci est en accord avec les travaux de [124] qui confirment la formation de groupes monosexuels chez le mouflon de Corse espèce proche du mouflon à manchettes et qui semble bien marquée dans la réserve de Bavella en Corse.

Nos données sur la distribution de *A. lervia* rejoignent celle déjà décrite par ([127] et [128]) où il a été noté une large distribution dans ces vastes territoires, cette forte présence témoigne des vastes territoires et de l'inaccessibilité d'accès à des biotopes relativement fortement escarpés dans ces milieux hostiles où l'espèce se réfugie pour fuir les braconniers de la région.

#### **4.2. Structure des populations et distribution spatiale de *Gazella dorcas***

Un effectif global de l'ordre de 243 individus de *G. dorcas* pour 180 observations a été recensé au cours de l'année 2015 par contre 63 observations en 2016 dans les différentes stations prospectées par nos soins dans la région du Tassili N'Ajjers. Ce

nombre est probablement sous-estimé compte tenu des contraintes qui peuvent être liées au mode de recueil des données, les observations directes étant plus fiables et reproductibles, mais limitées aux secteurs parcourus. Le plus faible nombre d'observations à partir de certaines saisons surtout le printemps correspond à la période des mises bas et de l'élevage des jeunes, mais aussi de l'intensification de l'activité agropastorale liée à l'activité des nomades ceci semble en parfaite accord avec les données recueillies dans le sud Tunisien sur la même espèce confirment le statut de rareté de la gazelle dorcas dans le sud-est de la Tunisie ([126]; East, 1992 ; Muller, 1966). En effet, cette dernière n'a été trouvée que dans 40,6 % des zones où elle avait été signalés jusqu'à la fin du siècle dernier [111]. Son apparition semble être corrélée négativement de la pression humaine, notamment l'intensité de l'utilisation des terres pour l'agriculture [120].

Ces effectifs peuvent être comparés à la rigueur avec une espèce de gazelle voisine en absence de données sur la dorcas vu qu'il y'a eu aucun travail dans ce sens en Algérie, nous pouvons mentionner que la structure des populations est relativement proche de la gazelle de Cuvier est constituée essentiellement d'adultes avec une sex-ratio en faveur des femelles. Ce déséquilibre peut être dû au braconnage exercé préférentiellement sur les mâles adultes [124], mais aussi par la présence de groupes de célibataires mobiles et difficiles à observer [125]. Dans ce contexte au Mergueb, [125] a mentionné un total de 5 mâles uniquement dans toute la réserve sans que ce faible effectif influe sur la pérennité de la population sachant que l'espèce est polygame, un mâle pouvant constituer un harem avec 4 à 5 femelles. Une telle sex-ratio en faveur des femelles a aussi été observée pour cette même espèce en captivité au sud de l'Espagne [130], alors que [02] n'ont pas mentionné de déséquilibre de sex-ratio au cours de 25 années de suivi des naissances, toujours en captivité dans la station des zones arides à Almeria.

Ce n'est qu'à partir du mois de mai que les jeunes apparaissent dans les observations, ce qui correspond bien à une période de mise bas qui coïncide généralement avec le début du printemps en captivité ([129]; [130]). Le nombre relatif de jeunes est faible, une situation déjà signalée chez d'autres espèces de gazelles où les pourcentages des juvéniles ne dépassant pas 25 %, notamment chez *G. dorcas* au Niger [120] et chez *G. gazella*. Dans notre cas, ce faible nombre peut être dû à la forte prédation qu'exercent sur cette espèce les chiens errants et les carnivores sauvages notamment l'hyène rayée (*Hyaena hyaena*), le chacal (*Canis anthus*) et le renard (*Vulpes rupeii*) [122]

A partir d'octobre les jeunes deviennent des sub-adultes qui ne sont observés que jusqu'en février. Leur nombre est plus élevé, ce qui suggère que le reste de l'année ces individus occupent des secteurs non prospectés ou que des femelles suitées échappent aux observations, sans doute parce qu'elles recherchent alors des habitats plus sûrs. Les individus indéterminés ont été observés uniquement d'octobre à décembre, des observations semblables ont été rapportées à Mergueb [134]. Cependant, il est très probable que la catégorie des indéterminés est constituée par des harems et des mâles sont alors passés inaperçus.

Plusieurs auteurs mentionnent une très forte dominance des harems au sein des populations chez d'autres espèces de gazelles. [120] mentionnent la prédominance de plus de 56 % de groupes mixtes chez *Gazella sub gutturosa* en Asie. [129] note que dans la réserve de l'Air du Ténéré (Niger), les harems regroupent plus de 82 % des *Gazella dorcas*. Des observations semblables ont été également signalées chez *Gazella spekei* [126]) et *Gazella dama* dans la réserve de Guembeul au Sénégal [09].

La distribution de Gazelle dorcas s'est graduellement contractée vers le Sud tout au long du XIX<sup>e</sup> et XX<sup>e</sup> siècle [134]. Dans les années 1920 et 1930, elle restait largement distribuée et commune des hauts plateaux du Maroc à la Tunisie, sur les plateaux de l'Atlas saharien, entre le grand Erg occidental et le grand Erg oriental et dans la partie Sud-est du pays ([134]).

Sa distribution et ses effectifs ont décliné à partir du milieu du siècle, et particulièrement dans les années 1960 et 1970 à cause de la chasse motorisée, mais l'espèce restait commune et localement abondante dans de grandes parties de son aire algérienne durant les années 1970 et 1980 [118]. La limite septentrionale de l'aire de l'espèce continuait cependant à descendre vers le Sud, et dans les années 1980, on ne la rencontrait plus au Nord de l'Atlas saharien ([122]; De Smet et Mallon, 2001).

Néanmoins, l'espèce reste sans doute largement distribuée dans la zone saharienne d'Algérie, mais les effectifs sont supposés grandement réduits [122]. Le contrôle des armes à feu dû aux activités militaires de ces dernières années a apparemment réduit le braconnage (De Smet, pers comm.) mais pas suffisamment

pour arrêter de déclin de l'espèce [122]. Il n'y a pas d'estimation disponible des effectifs sauvages.

La gazelle dorcas est largement considérée comme l'une des la plupart des espèces de gazelles généralistes de l'habitat, car elle utilise une grande variété d'habitats secs [129]. Toutefois, il a été avancé que l'utilisation de l'habitat par les gazelles peut dépendre de la saison [129]. Notre étude a été réalisée en deux périodes au printemps et en automne, qui se caractérise par le développement de vivaces vertes et de graminées annuelles, notamment dans des zones plates et ouvertes. Ces plantes et herbes fraîches sont très appréciées par les gazelles. Des investigations plus approfondies sur les relations entre l'occurrence des gazelles et les caractéristiques de l'habitat en utilisant les données collectées en différentes saisons et sur plusieurs années peuvent renseigner plus sur les facteurs qui déterminent la répartition de gazelles dorcas dans cette région.

## 5. CONCLUSION

La structure des populations et distribution spatiale de deux ongulés sauvages *Ammotragus lervia* et *Gazella dorcas* dans le Tassili N'Ajjer a été étudiée au cours de deux campagnes d'investigations 2015 et 2016 au cours duquel plusieurs paramètres ont pu être élucidés.

Nous avons montré que parmi les deux représentants des deux Bovidés, le Mouflon à manchettes a été le plus observé (18 localités) avec des effectifs qui ont atteint 15 individus dans un groupe et toutes les classes d'âge.

Quant à la Gazelle dorcas a été observée dans 14 stations, occupant des biotopes proches de ceux précédemment évoqués pour le Mouflon à manchettes. La variabilité de taille des groupes est conforme à celle qui est observée.

Cette forte occurrence de ces deux ongulés sauvages dans le Tassili N'Ajjer témoigne du succès de la stratégie de préservation menée au cours de ces dernières années par les pouvoirs publics et le parc national du Tassili en vue de sauvegarder les espèces dans un cadre d'une gestion conservatoire durable de notre patrimoine mammalien dans cette région

## *Conclusion et perspectives*

## CONCLUSION ET PERSPECTIVES

En conclusion, ce travail a tenté dans les grandes lignes d'enrichir le fond documentaire et actualiser les connaissances sur un groupe de taxa qui reste encore assez méconnu en Algérie : la faune mammalienne ; considérée comme étant la plus importante des vertébrés après celui des oiseaux dont le rôle dans le fonctionnement et le maintien de l'équilibre des systèmes naturels n'est plus à démontrer.

Les résultats obtenus dans cette recherche démontrent que la zone qui a fait objet de notre étude abrite une diversité mammalienne très caractéristique du Sahara Algériens. En effet, la majorité sont classés Vulnérables et un en danger d'extinction selon l'UICN.

Cette richesse en mammalienne est étroitement liée à l'importante diversité physiologique des milieux naturels et la mosaïque d'habitat qui caractérise la zone d'étude. La présence de Gueltas et d'autres milieux rocheux, inféodés à des zones humides du Sahara sont à l'origine d'une remarquable diversité floristique, faunistique et entomologique, il serait donc fort probable que la richesse trouvée dans cette étude soit sous-estimée et ce en raison du grand patrimoine naturel existant dans la région.

Si certains aspects abordés dans cette thématique permettent une comparaison avec des études antérieures, elle reste néanmoins toujours perfectible. C'est pour quoi des programmes de suivis et de surveillances sont toujours suggérés à la suite de cette étude, en tenant compte évidemment du statut qui caractérise ces mammifères ainsi que la mosaïque d'habitats qu'ils exploitent.

Notre travail constitue une première contribution à l'étude des mammifères sauvages du Tassili. Elle devrait susciter d'autres travaux dans les autres zones bioclimatiques de l'Algérie afin de mieux connaître les besoins écologiques et de piloter leur conservation. Compte tenu du rôle clé de ces petits mammifères dans les écosystèmes, la nécessité d'étudier les habitats de chasse, de chercher, localiser et protéger les gîtes des espèces menacées doit occuper une priorité dans les

programmes de la sauvegarde et / ou la restauration des écosystèmes naturels.

Il serait intéressant de rechercher les relations inter et intra-spécifiques, et quel type de stratégies adaptées par ces mammifères. Par ailleurs il serait important d'approfondir les études sur d'autres aspects de la biologie et l'écoéthologie avec l'appui des méthodes de monitoring sophistiquées tel que le radio tracking, collier GPS et les détecteurs d'ultra sonores pour les chauves-souris afin de cerner leurs déplacements et leurs comportements durant toute l'année, dans le but de mieux connaître les espèces et contribuer à leur préservation. Cependant, il faut signaler qu'une menace sérieuse pèse sur les populations sauvages de nos mammifères en Algérie, elle est due essentiellement à la pression humaine dans les milieux, engendrant des impacts sur leurs populations, comme la dégradation des habitats (forte urbanisation, épandage de pesticides, destruction des habitats, déforestation, surpâturage et braconnage).

Pour cela, les actions sur l'environnement restent importantes, la création d'aires protégées et la sauvegarde des espaces naturels passent par la prise de conscience du problème par les habitants. Des campagnes de sensibilisation auprès des populations locales, sur l'importance et le rôle majeur de certaines espèces de mammifères dans le maintien des écosystèmes terrestres, sont indispensables en vue de sauvegarder notre biodiversité et notre patrimoine biologique pour les futures générations

## Références bibliographiques

- [01] OZENDA P., (2003). Flore et végétation du Sahara. C.N.R.S., Paris, 662 p.
- [02] WHITTAKER R. J., ARAÚJO M. B., PAUL J., LADLE R. J., WATSON J.E.M. & WILLIS K. J., (2005). Conservation biogeography : assessment and prospect. *Diversity and Distributions* 11, 3-23.
- [03] MARGULES C. R., & PRESSEY R. L., (2000). Systematic conservation planning. *Nature* 405: 243-253. ABÂIGAR T., CANO M., & SAKKOUHI M., (2005). Evaluation of habitat use of a semi-captive population of Cuvier's gazelles *Gazella cuvieri* following release in Boukornine National Park, Tunisia. *Acta Theriologica* 50, 405-415.
- [04] WACHER T., DE SMET K., BELBACHIR F., BELBACHIR-BAZI A., FELLOUS A., BELGHOUL M., & MARKER L., (2005). Inventaire de la faune du Groupe Sahelo-Saharien. Partie 4 : Massif central de l'Ahaggar, Algérie, Mars 2005. Sahelo Saharan Interest Group. 40 pp.
- [05] DUPUY A., (1967). Répartition actuelle des espèces menaces de l'Algérie. *Bull. Soc. Sci. Nat. Phys. Maroc* 47, 355-386. [02] ABAIGAR T., & CANO M., (2005). Management and Conservation of Cuviers gazelle (*Gazella cuvieri*) in captivity. International Studbook. Instituto de Estudios Almerienses. Almeria, 102p.
- [06] TABUCE R., COIFFAIT B., COIFFAIT P. E., MAHBOUBI M., & JAEGER J. J., (2001 a). Knowledge of the evolution of African Paleogene mammals. Contribution of the Bir El-Ater locality (Eocene, Algeria). Collection Colloques et Séminaires in African Small Mammals / Petits mammifères africains. Ed. IRD, Paris. Pp ; 215-229
- [07] BENDJEDDOU M. L, BAKHOUCHE B., & BOUSLAMA Z., (2014). A new locality for *Tadaridateniotis* (Rafinesque, 1814) (Mammalia, Chiroptera,

Molossidae) in Algeria. *NaturaRerum* 3, 37-39.

[08] **MACNUTT J. W., & WOODROFFE R., (2013)**. *Lycaonpictus* African wild dog (painted dog, hunting dog). In : J. Kingdon & M. Hoffmann (Eds.), *Mammals of Africa*. Volume V. Carnivores, pangolins, equids and rhinoceroses. Bloomsbury Publishing, London, pp. 51-59.

[09] **BEDDIAF R., (2008)**. Etude du régime alimentaire du Hibou ascalaphe *Bubo ascalaphus* (Savigny, 1809) et de la Chouette chevêche *Athenenoctua* (Scopoli, 1769) dans la région de Djanet (Illizi, Sahara Central). Mémoire Ingénieur Agronome, Université de Ouargla.

[10] **ALVARES F., & BRITO J. C., (2006)**. Habitat requirements and potential areas of occurrence for the pine marten in North-western Portugal: conservation implications. In: M. Santos-Reis, J. Birks, E.

[11] **LE BERRE M., (1990)**. *Faune du Sahara. 2 - Mammifères*. Lechevalier - R. Chabaud, Paris, 360 p.

[12] **CHAMMEM M., SELMI S., NOUIRA S., & KHORCHANI T., (2008)**. Factors affecting the distribution of dorcas gazelle. *Journal of Zoology (London)* 275, 146152.

[13] **BUUVEIBAATAR B., (2011)**. *Factors affecting survival and cause specific mortality of saiga calves (Saigatataricamongolica) in Mongolia*. Thesis, University of Massachusetts Amherst.

[14] **JONES G., MORTON M., HUGHES P. M., & BUDDEN R. M., (1993)**. Echolocation, flight morphology and foraging strategies of some West African hipposiderid bats. *Journal of Zoology (London)* 230, 385-400.

[15] **BENKHEIRA A., (2006)**. Bulletin d'information N°5, Novembre 2006 Spécial Naâma cas de oglet el Daya

[16] **BUSBY G. B. J, GOTTELLI D., DURANT S., WACHER T., MARKER L., BELBACHIR F., DE SMET K, BELBACHIR-BAZI A., FELLOUS A. & BELGHOUL M., (2006)**. A report from the Sahelo Saharan Interest Group - Office du Parc National de

l'Ahaggar Survey, Algeria (March 2005) - Part 5: Using molecular genetics to study the presence of endangered carnivores (November 2006). Unpublished Report, vi + 19 p.

[17] **ATTUM O., & MAHMOUD T., (2012).** Dorcas gazelle and livestock use of trees according to size in a hyper-arid landscape. *Journal of arid Environments* 76, 49-53.

[18] **DE SMET K., & MALLON D. P., (2001).** Algeria in MALLON, D.P. & KINGSWOOD, S.C. (compilers). Antelopes. Part 4: North Africa, the Middle East, and Asia. Global Survey and Regional Action Plans. SSC Antelope Specialist Group. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. viii + 260pp.

[19] **HEIM DE BALSAC H., (1936).** Bio géographie des Mammifères et des Oiseaux de l'Afrique du Nord. *Bulletin biologique de France et de Belgique* Supplément XXI, 1-446.

[20] **DRAGESCO-JOFFE A., (1993).** La vie sauvage au Sahara. Delachaux Niestlé, Paris, 240 p.

[21] **GONZALEZ-CANDELA M., LEON-VIZCAINO L., (1999).** Sarnasarcoptica en la poblacion de arrui (*Ammotragus lervia*) del parque Regional de Sierra Espuna (Murcia) Galemys (In Spanish). 11(2) : 43-58.

[22] **MAHBOUBI M., AMEUR R., CROCHET J. Y., & JAEGER J. J., (1986).** El Kohol (Saharan Atlas, Algeria): a new Eocene mammal locality in Northwestern Africa. *Palaeontographica Abteilung A.* 192 (1-3): 15 - 49.

[23] **HEIM De BALSAC H., (1936).** Biogéographie des mammifères et des oiseaux de l'Afrique du Nord. *Bull. Biologique de France et de Belgique.* Suppl. 21.

[24] **ALADOS C. L., & ESCOS J., (1994).** Variation in the sex ratio of a low dimorphic polygynous species with high levels of maternal reproductive effort : Cuvier's gazelle. *Ethology Ecology & Evolution*, 6, 301-311.

[25] **DIETZ C., VON HELVERSEN O., & NILL D., (2009).** L'encyclopédie des chauves-souris d'Europe et d'Afrique du Nord : biologie, caractéristiques, protection. Delachaux et Niestlé, Paris. 400 p.

[26] **ABDOUN F., (2002).** Etude de la dynamique spatio-temporelle des

populations de *Cupressus dupreziana* A. Camus au Tassili n'Ajjer. Thèse de Doctorat de l'Université Aix- Marseille III, Marseille, 171p.

[27] **GRAY G. G., (1985).** Status and distribution of *Ammotragus lervia*: A worldwide review. In: Hoefs M, editor. Wild sheep. Distribution, abundance, management and conservation of the sheep of the world and closely related mountain ungulates. Whitehorse, Canada: Northern Wild Sheep and Goat Council; 1985. p. 95-126.

[28] **DE SMET K., (1997B).** Algeria. In: Shackleton, D. M. (ed.), Wild sheep and goats and their relatives: status survey and conservation action plan for *Caprinae* : 17-19. IUCN, Gland, Switzerland.

[29] **BORKOWSKI J., (2000).** Influence of the density of a sika deer population on activity, habitat use, and group size. *Canadian Journal of Zoology*, 78: 1369-1374.

[30] **LATASTE F., (1885c).** Sur le système dentaire du genre *Ctenodactylus*. *Naturaliste*, (7). 21-22.

[31] **BOUNACEUR F., BENAMOR N., BISSAAD F. Z., ABDI A., AULAGNIER S., (2016 A).** Is there a future for the last populations of aoudad (*Ammotragus lervia*) in Northern Algeria? *Pakistan J. Zool.*, vol. 48(6), pp. 1727-1731, 2016.

[32] **WRONSKI T., & PLATH M., (2010).** Characterization of the spatial distribution of latrines in reintroduced mountain gazelles: do latrines demarcate female group home ranges? *J. Zool.* (London) 280, 92-101

[33] **FOURIE L. J., (1983).** The population dynamics of the rock hyrax *Procavia capensis* (Pallas, 1766) in the Mountain Zebra National Park. Thèse, Doctorat. Université de Rhodes. Afrique de Sud. 397 pp.

[34] **GROVES C. P., (1981).** Notes on the gazelles, 3. The dorcas gazelle of North Africa. *Annali Mus. Civ. Storia nat. Giacomo Doria*, (83). 455-471.

[35] **CORBET G. B., (1979 ).** The taxonomy of *Procavia capensis* in Ethiopia, with

special reference to the aberrant tusks of *P. C. Capillosa* Brauer (Mammalia, Hyracoidea).  
British Museum of Natural History (Zoology). 36 : 251-259.

[36] **JOLEAUD L., (1929).** Etudes de la géographie zoologique de la Berbérie. Bull  
Soc. Zool France LIX: 438-457.

[37] **HARRISON D. L., & BATES P. J. J., (1991).** The Mammals of Arabia. Harrison  
Zoological Museum Publication. Ed. Sevenoaks. 354pp.

[38] **WARD D., SALTZ D., (1994).** Foraging at different spatial scales: dorcas  
gazelles foraging for lilies in Negev desert. Ecology 75, 48-58.

[39] **FESTA-BIANCHET M., APOLLONIO M., (2003).** *Animal behavior and wildlife  
conservation*. Washington, DC: Island Press.

[40] **DORST J., & PETTER F., (1959).** Présence en Afrique du nord d'une chauve-  
souris du genre *Tadarida*. Mammalia, (23) .- 560-561.

[41] **STRANGE N., THEILADE I., THEA S., SLOTH A. & HELLES F., (2008).**  
Integration of species persistence, costs and conflicts: an evaluation of tree conservation  
strategies in Cambodia. *Biological Conservation* 137, 223-236.

[42] **GRETTEMBERGER J., (1987).** Ecology in the dorcas gazelle in the northern  
Niger. *Mammalia*, 51, 527-536.

[43] **CHAMMEM M., SELMI S., NOUIRA S., & KHORCHANI T., (2008).** Factors  
affecting the distribution of dorcas gazelle. *Journal of Zoology (London)* 275, 146152.

[44] **DE SMET K., (1997B).** Algeria. In: Shackleton, D. M. (ed.), Wild sheep and  
goats and their relatives: status survey and conservation action plan for *Caprinae* : 17-  
19. IUCN, Gland, Switzerland.

[45] **DUPUY A., (1964).** La Gazelle de Cuvier. Science et Nature 65: 35-36.

[46] **O. P. N. T. (2006).** Parc national du Tassili. Office du Parc National du Tassili,  
Djanet, 8 p.

[47] **LAVAUDEN L., (1926).** Les gazelles du Sahara central. Bull. Soc. Hist. Nat.  
Afrique du Nord 17:11-27.

- [48] **HABIBI K., THOULESS C. R., & LINDSAY N., (1993).** Comparative behavior of sand and mountain gazelles. *J. Zool. Lond.*, **229**, 41-53.
- [49] **OSBORN D. J., & HELMY I., (1980).** The contemporary land mammals of Egypt (including Sinai). *Fieldiana Zool. New Ser.* 5, 1-579.
- [50] **GAILLARD J., (1984).** Les méthodes de recensement chez les grands mammifères. Rapport Bibliographique DEA. Lab.Biom. Univ. Claude Bernard, Lyon, pp: 11.
- [51] **JONES G., MORTON M., HUGHES P. M., & BUDDEN R. M., (1993).** Echolocation, flight morphology and foraging strategies of some West African hipposideridbats. *Journal of Zoology (London)* 230, 385-400.
- [52] **LAVAUDEN L., (1920).** La chasse et la faune cynégétique en Tunisie. Tunis, Direction générale de l'agriculture, du commerce et de la colonisation.
- [53] **LOCHE V., (1858 a).** Catalogue des mammifères et des oiseaux observés en Algérie. A.
- [54] **LE HOUÉROU H. N., (1997).** Climate, flora and fauna changes in the Sahara over the past 500 million years. *Journal of aridEnvironments*, 37, 619-647.
- [55] **LAING S. E., S. T. BUCKLAND, R. W. BURN, D. LAMBIE, A. AMPHLETT. (2003).** Dung and nest surveys: estimating decay rates. *J. Appl. Ecol.* 40:1102-1111.
- [56] **COULSON,G. (1993).**Theinfluenceof population density and habitat on grouping in the western grey kangaroo, *Macropusfuliginosus*. *Wildlife Research*, 20:151-162.
- [57] **GRAY G. G., (1985).** Status and distribution of *Ammotragus lervia*: A worldwide review. In: Hoefs M, editor. Wild sheep. Distribution, abundance, management and conservation of the sheep of the world and closely related mountain ungulates. Whitehorse, Canada: Northern Wild Sheep and Goat Council; 1985. p. 95-126.
- [58] **MOQUIN-TANDON A., (1862).** Éléments de zoologie médicale, contenant la description des animaux utiles à la médecine et des espèces nuisibles à l'homme,

Venimeuses ou Parasites. Précédée de considération sur l'organisation et la classification des animaux, et d'un résumé sur l'histoire naturelle de l'homme, (1804-1863). Revue et Augmentée. Ed. L.A.I.M, BAILLIERE J.B., & Fils, Paris. 590 pp.

- [59] **GRAY G. G., SIMPSON C. D., (1980).** *Ammotragus lervia*. Mammal Spec.144:1-7.
- [60] **CORBET G. B.,(1978).** The mammals of the Palaeartic region: a taxonomic review. Cornell University Press, Ithaca.
- [61] **DUBIEF J., (1999).** *L'Ajjer Sahara central*. Karthala, Paris, 709 p.
- [62] **CARROLL R. L., (1988).** Vertebrate paleontology and evolution. W.H. Freeman and Company. New York. 700 pp.
- [63] **SELLAMI M., (1999).** La Gazelle de Cuvier *Gazellacuvieri*(Ogilby, 1841) en Algérie. Statut et premiers éléments d'écologie, données sur le régime alimentaire dans la Réserve naturelle de Mergueb (M'Sila). Thèse Doctorat. Inst. Nat. Agro. El Harrach, 124 p.
- [64] **CASSINELLO J., (2000).** *Ammotragus* free-ranging population in the south-east of Spain: a necessary first account. Biol. Conserv.9 :887-900.
- [65] **KOWALASKI K., & RZEBIK-KOWALSKA B.,(1991).** Mammals of Algeria. Polish. Acad. Sci. Inst. Syst.Evol. Anim.Wroclawa- Krakow, pp: 370.
- [66] **SCHLITTER D. A., & ROBBINS L. W., (1973).** Présence de *Tadarida* dans le Sahara central. *Mammalia* 37, 199.
- [67] **BOUG A. M., ISLAM Z., AL SHEHRY A., & WRONSKI T., (2012).** Camera trapping confirms the persistence of Arabian Gazelles, *Gazella arabica*, in the Asir Mountains, Saudi Arabia (Mammalia: Bovidae). *Zoology in the Middle East*, **57**, 3-10.
- [68] **KOWALASKI K., & RZEBIK-KOWALSKA B.,(1991).** Mammals of Algeria. Polish. Acad. Sci. Inst. Syst.Evol. Anim.Wroclawa- Krakow, pp: 370.
- [69] **SIMPSON C. D., (1980).** Symposium on ecology and management of Barbary sheep. Texas Tech. University Press, Lubbock.

- [70] **CASSINELLO J., (2012).** Arrui - *Ammotragus lervia*. Encyclopedia Virtual de los Vertebrados Espanoles.
- [71] **MILLAR R. P., & GLOVER T. D., (1970).** Seasonal changes in the reproductive tract of the male rock hyrax, *Procavia capensis*. *Journals of Reproduction & Fertility*, 23 : 497- 499.
- [72] **ROBERTS G., (1996).** Why individual vigilance declines as group size increases. *Animal Behaviour*, 51: 1077-1086
- [73] **MEYER G. E., (1978).** Hyracoidea. in MAGLIO V.J. & COOKE H.B.S. Eds. *Evolution of African mammals*. 284-314. Harvard University Press. Cambridge, Massachusetts.
- [74] **THIRGOOD S. J., (1996).** Ecological factors influencing sexual segregation and group size in fallow deer (*Damadama*). *Journal of Zoology*, 239: 783-797.
- [75] **MAHBOUBI M., TABUCE R., MEBROUK F., COIFFAIT B., COIFFAIT P. E. & JAEGER J. J., (2003).** L'Eocène continental vertébrés de la bordure sud des monts des Nementcha (Atlas Saharien Oriental, Algérie) - Précisions stratigraphiques et implications paléobiogéographiques. *Bulletin des Servies Géologiques de l'Algérie*. 14 (1) : 27-35.
- [76] **ALDEN P. C., ESTES R. D., SCHLITTER D., & McBRIDE B., (2001).** Photo-guide des animaux d'Afrique. Ed. Delachaux et Niestlé. Paris, 443 pp
- [77] **LHOTE H., (1955).** Les Touaregs du Hoggar (Ahaggar). Ed. Payot, Paris. 467 pp.
- [78] **HEIM De BALSAC H., (1936).** Biogéographie des mammifères et des oiseaux de l'Afrique du Nord. *Bull. Biologique de France et de Belgique*. Suppl. 21.
- [79] **SMITH T. R., MALLON D. P., & DE SMET K., (2001).** Chapter 3: Tunisia. In *Global survey and regional action plans: antelopes*.
- [80] **DE CESARE N. J., M. HEBBLEWHITE M. BRADLEY D. HERVIEUX L.**

**NEUFELD, M. MUSIANI., (2014).** Linking habitat selection and predation risk to spatial variation in survival. *J. Anim. Ecol.* 83:343-352.

**[81] MÜLLER H.-P., (1996).** Letter to T. Smith. Unpublished

**[82] MILNER-GULLAND E. J., BUKREEVA O. M., COULSON, T., LUSHCHEKINA A. A., KHOLODOVA M. V., BEKENOV A., GRACHEV I. A., (2003).** Reproductive collapse of saiga antelope harems. *Nature*, 422: 135.

**[83] CORBET G. B., (1979 ).** The taxonomy of *Procavia capensis* in Ethiopia, with special reference to the aberrant tusks of *P. C. Capillosa* Brauer (Mammalia, Hyracoidea). *British Museum of Natural History (Zoology)*. 36 : 251-259.

**[84] CUNNINGHAM P. L., & WRONSKI T., (2010).** Twenty years of gazelle monitoring on FarasanIslands:An overview. *Oryx*, 45, 50-55.

**[85] HAMDINE W., MEFTAH T., & SEHKI A., (2003).** Répartition et statut du guépard (*Acinonyx jubatus* Schreber, 1776) dans le Sahara central algérien (Ahaggar et Tassili). *Mammalia* 67, 439-443.

**[86] FELLOUS A., & MAAZIZ S., (2003).** Rapport National sur les Antilopes Sahelo-Sahariennes en Algerie. Séminaire d'Agadir (Maroc). Convention sur les especes Migratrices.

**[87] IUCN, (2008).** The red list of threatened animals. IUCN Publications Service, Cambridge.

**[88] CUZIN F., AULAGNIER S., &THEVENOT M., (2017).** Cetartiodactyla. *In* : S. Aulagnier, F. Cuzin& M. Thévenot (éd.), *Mammifères sauvages du Maroc. Peuplement, répartition, écologie*. S.F.E.P.M., Paris, pp. 207-232.

**[89] DRAGESCO-JOFFE A., (1993).** La vie sauvage au Sahara. Delachaux Niestlé, Paris, 240 p.

**[90] BEUDELS R. C., DEVILLERS P., & CUZIN F., (2013).** *Gazella cuvier* gazelle (Atlas gazelle, Edmi gazelle). *In* Kingdon J and Hoffmann M, eds., *Mammals of Africa*, Volume VI, Pigs, Hippopotamus, Chevrotain, Giraffes, Deer and Bovids. Bloomsbury

Publishing, London 349-352.

[91] **DUPUY A., (1966a)**. Espèces menacées du territoire algérien. Trav.Inst. Rech .sahar. Univ. Alger, (23)- 29-56.

[92] **HOFER H., & MILLS G., (1998)**. Worldwide distribution of hyaenas.*In* : G. Mills & H. Hofer (Eds.) : *Hyaenas. Status survey and Conservation Action Plan*. I.U.C.N. / S.S.C. Hyaena Specialist Group, Cambridge, pp. 39-63.

[93] **GINSBERG J. R., MILNER-GULLAND E. J., (1994)**. Sex-biased harvesting and population dynamics in ungulates - implications for conservation and sustainable use. *Conservation Biology*, 8: 157-166.

[94] **DE SMET K. (1989)**. Studie van de verspreiding en biotoopkeuze van de grote Mammalia in Algerie in het kader van het natuurbehoud. Doctorat Land bouwkundige Wetens chappen, Rijksuniversiteit Gent, 355 p.

[95] **DRAGESCO-JOFFE A., (1993)**. La vie sauvage au Sahara. Delachaux Niestlé, Paris, 240 p.

[96] **DE SMET K., & SMITH T. R., (2001)**. Chapter 4 Algeria. *In* Mallon DP and Kingswood SC, eds. *Antelopes. Part 4: North Africa, the Middle East and Asia. Global Survey and Regional Action Plans*. Gland, Switzerland and Cambridge, UK: SSC Antelope Specialist Group. IUCN, 22-29.

[97] **DURANT S. M., PETTORELLI N., BASHIR S., WOODROFFE R., WACHER T., ORNELLAS P. DE, RANSOM C., ABAIGAR T., ABDELGADIR M., EL ALQAMY H., BEDDIAF M., BELBACHIR F., BELBACHIR-BAZI A., BERBASH A. A., BEUDELS-JAMAR R. C., BOITANI L., BREITENMOSER C., CANO M., CHARDONNET P., COLLEN B., CORNFORTH W.A., CUZIN F., GERNGROSS P., HADDANE B., HADJELOUM M., JACOBSON A., JEBALI A., LAMARQUE F., MALLON D., MINKOWSKI K., MONFORT S., NDOASSAL B., NEWBY J. E., NGAKOUTOU B. E., NIAGATE B., PURCHASE G., SAMAÏLA S., SAMNA A. K., SILLERO-ZUBIRI C., SOULTAN A. E., PRICE M. R. S. & BAILLIE J. E. M., (2012)**. Forgotten biodiversity in

desert ecosystems. *Science* 336, 1379-1380.

[98] ILLIUS A. W., T. G. O'CONNOR., (2000). Resource heterogeneity and ungulate population dynamics. *Oikos* 89:283-294

[99] EAST R., (1992). Conservation status of antelopes in North Africa. *Species* 18:35-36.

[100] WRONSKI T., & PLATH M., (2010). Characterization of the spatial distribution of latrines in reintroduced mountain gazelles: do latrines demarcate female group home ranges? *J. Zool. (London)*280,92-101.

[101] NEWMAN C., BUESCHING C. D., & MACDONALD D. W., (2003). Validating mammal monitoring methods and assessing the performance of volunteers in wildlife conservation - "Sedquiscustodietipsoscustodies?" *Biological Conservation* 113, 189-197.

[102] BUSBY G. B. J., GOTTELLI D., WACHER T., MARKER L., BELBACHIR F., DE SMET K., BELBACHIR-BAZI A., FELLOUS A., BELGHOUL M. & DURANT S. M., (2009). Genetic analysis of scat reveals leopard *Pantherapardus* and cheetah *Acinonyxjubatus* in southern Algeria. *Oryx* 43, 412-415.

[103] NABET F., (2005). Les chauves-souris de Chartreuse : Biologie et mesures de protection, (59), 1-46.

[104] GAILLARD J. M., FESTA-BIANCHET M., YOCCOZ N. G.,(1998). Population dynamics of large herbivores: variable recruitment with constant adult survival. *Trends in Ecology and Evolution*, 13: 58-63.

[105] O. N. M. Office National de métrologique.,(2019) .

[106] Pimm S.L. (2008).Biodiversity: climate change or habitat loss - which will kill more species? *Current Biology* 18, R117-R119.

[107] Strange N., Theilade I., Thea S., Sloth A. & Helles F. (2008). Integration of species persistence, costs and conflicts: an evaluation of tree conservation strategies in Cambodia. *Biological Conservation* 137, 223-236.

[108] Abdoun F. & Beddiaf M. (2002). [Cupressus dupreziana](#). *Camus: répartition*,

dépérissement et régénération au Tassili n'Ajjer, Sahara central.

*Comptes Rendus Biologies* 325, 617-627.

[109] **Álvares F. & Brito J.C. (2006).** Habitat requirements and potential areas of occurrence for the pine marten in North-western Portugal: conservation implications. *In*: M. Santos-Reis, J. Birks,

[110] **Brito J.C., Godinho R., Martínez-Freiría F., Pleguezuelos J.M., Rebelo H., Santos Vale C.G., Velo-Anton G., Boratynski Z., Carvalho S.B., Ferreira S., Goncalves D.V, Silva T.L., Tarroso P., Campos J.C., Leite J.V., Nogueira J., Alvares F., Sillero N., Sow A.S., Fahd S., Crochet P.A. & Carranza S. (2014).** Unravelling biodiversity, evolution and threats to conservation in the Sahara-Sahel. *Biological Reviews* 89, 215-231.

[111] **Newman C., Buesching C.D. & MacDonald D.W. (2003).** Validating mammal monitoring methods and assessing the performance of volunteers in wildlife conservation - "Sed quiscustodiet ipsos custodiet?" *Biological Conservation* 113, 189-197.

[112] **Álvares F. & Brito J.C. (2006).** Habitat requirements and potential areas of occurrence for the pine marten in North-western Portugal: conservation implications. *In*: M. Santos-Reis, J. Birks, E.

[113] **Abáigar T., Cano M. & Sakkouhi M. (2005).** Evaluation of habitat use of a semi-captive population of Cuvier's gazelles *Gazella cuvieri* following release in Boukornine National Park, Tunisia. *Acta Theriologica* 50, 405-415.

[114] **Attum O., Ghazali U., EL Noby S.K. & Hassan I.N. (2014).** The effects of precipitation history on the kilometric index of dorcas gazelles. *Journal of arid Environments* 102, 113-116.

[115] **Busby G.B.J, Gottelli D., Durant S., Wachter T., Marker L., Belbachir F., De Smet K, Belbachir-Bazi A., Fellous A. & Belghoul M. (2006).** A report from the Sahelo Saharan Interest Group – Office du Parc National de l'Ahaggar Survey, Algeria (March 2005) - Part 5: Using molecular genetics to study the presence of endangered carnivores (November 2006). Unpublished Report, vi + 19 p.

[116] **Brentjes B. (1980).** The Barbary sheep in ancient North Africa. *In*: C.D. Simpson (Ed.), Symposium on ecology and management of Barbary sheep. Texas Tech. University Press, Lubbock, TX, pp. 25-26.

- [117] **Anciaux de Faveaux, M. (1976).** Distribution des Chiroptères en Algérie, avec notes écologiques et parasitologiques. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle d'Afrique du Nord* 67, 69-80.
- [118] **Schlitter D.A. & Robbins L.W. (1973).** Présence de *Tadarida* dans le Sahara central. *Mammalia* 37, 199.
- [119] **De Balsac H. (1936).** Biogéographie des Mammifères et des Oiseaux de l'Afrique du Nord. *Bulletin biologique de France et de Belgique* Supplément XXI, 1-446.
- [120] **Boutheldja H. (2015).** Ecologie du Daman des rochers *Procavia capensis* dans le Parc National de l'Ahaggar Tamnasset. Mémoire de Magister, ENS de Kouba Alger, 125 p.
- [121] **Lawes M.J. & Nanni R.F. (1993).** The density, habitat use and social organization of dorcas gazelles (*Gazella dorcas*) in Makhtesh Ramon, Negev Desert, Israel. *Journal of arid Environment*, 24, 177-196.
- [122] **Bourlière F., 1969.** L'échantillonnage des populations de grands mammifères pp 189-206 In : Lamotte M et Bourlière F, 1969- Problèmes d'écologie : L'échantillonnage des peuplements animaux des milieux terrestres. Ed. Masson et Cie Paris, 303p.
- [123] **Cassinello J., 1998.** *Ammodramus lervia*: a review on systematics, biology, ecology and distribution. *Annales Zoologici Fennici*. 35 :149-162.
- [124] **Gaillard J., 1984.** Les méthodes de recensement chez les grands mammifères. Rapport Bibliographique DEA. Lab. Biom. Univ. Claude Bernard, Lyon, pp: 11.
- [125] **Ben Mimoun J., et Nouira S., 2013.** Social organisation of Barbary sheep (*Ammodramus lervia*) population in the Chambi National Park, Tunisia. *International Journal of Biodiversity and Conservation*. Vol 5(1) :5-19.
- [126] **ALADOS, C.L. & ESCOS, J. (1991).** Phenotypic and genetic characteristics affecting life time reproductive success in female's Cuvier's, dama and dorcas gazelles (*Gazella cuvieri*, *G. dama* and *G. dorcas*). *J. Zool. London*, **223**, 307-321.
- [127] **Kacem, S.B.H., Muller, H.P. & Wiesner, H. (1994).** Gestion de la faune sauvage

et du parc national en Tunisie: Re-introduction, gestion et aménagement. Tunis: Direction Generale des Forets, and Eschborn: Deutsche Gesellschaft für TechnischeZusammenarbeit. Ward, D. & Saltz, D. (1994). Foraging at different spatial scales: dorcas gazelles foraging for lilies in Negev desert. *Ecology* 75, 48–58.

**[128]** ABAIGAR, T., ELLOUZE, G., ZAHZAH, K., GARCIA-GONZALEZ, R. & NOUIRA, S. (2005b).-Status of Wild Population of Cuvier's Gazelle (*Gazella cuvieri*) in Tunisia. Preliminary Results. *Fifth Annual Sahelo-Saharan Interest Group Meeting*, 28-29.

**[129]** ATTUM, O. & MAHMOUD, T. (2012).-Dorcas gazelle and livestock use of trees according to size in a hyper-arid landscape. *J. Arid Environ.*, **76**, 49-53.

**[130]** BOUG, A., M., ISLAM, Z., AL SHEHRY, A. & WRONSKI, T. (2012).- Camera trapping confirms the persistence of Arabian Gazelles, *Gazella arabica*, in the Asir Mountains, Saudi Arabia (Mammalia: Bovidae). *Zoology in the Middle East*, **57**, 3-10.

**[131]** CHAMMEM, M., SELMI, S., NOUIRA, S. & KHORCHANI, T. (2008).- Factors affecting the distribution of Dorcas gazelle. *J. Zool. (London)*, **275**, 146-152.

**[132]** CUNNIGHAM, P.L. & WRONSKI, T. (2010).- Twenty years of gazelle monitoring on Farasan Islands: An overview. *Oryx*, **45**, 50-55.

**[133]** DUNHAM, K. M. Status of a reintroduced population of mountain gazelles *Gazella gazella* in central Arabia: management lessons from an aridland reintroduction. *Oryx*. 35(2):111-118.

**[134]** LAWES, M.J. & NANNI, R.F. (1993).- The density, habitat use and social organization of Dorcas gazelles (*Gazella dorcas*) in Makhtesh Ramon, Negev Desert, Israel. *J. Arid Environ.*, **24**, 177-196.

**[135]** WRONSKI, T. & PLATH, M. (2010).- Characterization of the spatial distribution of latrines in reintroduced mountain gazelles: do latrines demarcate female group home ranges? *J. Zool.* (London) **280**, 92-101.

## CONTRIBUTION À L'ACTUALISATION DES CONNAISSANCES SUR LES MAMMIFÈRES DU TASSILI ALGÉRIEN

IRZAGH Ahmed<sup>1</sup>, BOUNACEUR Farid<sup>2\*</sup>, ANTAR Djamel<sup>3</sup>, BENRIMA Atika<sup>1</sup>, AULAGNIER Stéphane<sup>4</sup>

1. Laboratoire de Biotechnologie des Productions Végétales, Département de Biotechnologie. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Blida 1, B.P. 270, route de Soumaa, Blida, Algérie
2. Equipe de recherche Biologie de la Conservation en Zones Arides et Semi-Arides, Laboratoire Agronomie Environnement., Département des Sciences de la Nature et de la Vie, Faculté des Sciences, Centre Universitaire Ahmed El Wancharissi, Tissemsilt, Algérie
3. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Moulay Tahar, Saida, Algérie
4. Comportement et Ecologie de la Faune Sauvage, INRA, Université de Toulouse, France

Reçu le 18/11/2019, Révisé le 25/05/2020, Accepté le 30/05/2020

### Résumé

**Description du sujet :** Les Mammifères sauvages ont été inventoriés au cours de prospections standardisées dans les principaux biotopes du sud du Tassili n'Ajjer (wilaya d'Illizi).

**Objectifs :** Ce travail d'inventaire a été réalisé afin d'actualiser la répartition de certain Mammifères et d'améliorer les connaissances sur ces espèces pour développer des mesures de conservation pertinentes.

**Méthodes :** L'observation directe des animaux, de leurs traces et autres indices de présence a été enregistrée le long de 23 transects tracés dans trois zones autour de Djanet. Les prospections ont été conduites entre 2015 et 2017 en fin d'hiver – début de printemps et fin d'été pour un total de quatre campagnes.

**Résultats :** Neuf espèces ont été contactées : *Canis anthus*, *Vulpes rueppellii*, *Vulpes zerda*, *Felis margarita*, *Ammotragus lervia*, *Gazella dorcas*, *Asellia tridens*, *Massoutiera mzabi* et *Procapra capensis*. Ce sont essentiellement des espèces de taille moyenne à grande observables en journée.

**Conclusion :** Les données rajoutent la présence d'une espèce, étendent la répartition d'une autre et confirment la persistance des autres, suggérant la poursuite des efforts en vue de leur conservation.

**Mots clés:** Mammifères ; inventaire ; distribution ; biotope ; Sahara.

## NEW INFORMATION ON MAMMALS OF THE ALGERIAN TASSILI

### Abstract

**Description of the subject:** Wild mammals were surveyed during standardized field trips in the main biotopes of southern Tassili n'Ajjer (Illizi wilaya).

**Objective:** This survey intended to update the distribution of some mammal species and increase our knowledge on their status in order to implement relevant actions of conservation.

**Methods:** Visual observation of animals, footprints and faeces was implemented along 23 transects in three areas around Djanet. Four surveys have been conducted between 2015 and 2017 in the late winter –early spring and in the early autumn.

**Results:** Nine mammal species have been recorded: *Canis anthus*, *Vulpes rueppellii*, *Vulpes zerda*, *Felis margarita*, *Ammotragus lervia*, *Gazella dorcas*, *Asellia tridens*, *Massoutiera mzabi* et *Procapra capensis*. These are mainly large or medium-sized species which are active in daylight.

**Conclusion:** Our data show that one species is new for the area, extend the distribution of a second one, and confirm the presence of the other ones, suggesting that efforts for their conservation should be carry on.

**Keywords:** Mammalia; survey; distribution; biotope; Sahara.

\*Auteur correspondant: BOUNACEUR Farid, Email : fbounaceur@yahoo.fr

## INTRODUCTION

La biodiversité connaît une érosion sans précédent à l'échelle mondiale par la perte d'habitats et le changement climatique [1]. L'identification des points chauds de biodiversité, zones présentant simultanément une biodiversité remarquable et un risque élevé d'extinction, et la caractérisation de l'écologie des espèces pour la planification de la conservation sont les premières étapes pour arrêter la perte de biodiversité [2, 3]. Devant la méconnaissance de la biodiversité, Strange *et al.* [4], mentionnent que l'isolement et l'inaccessibilité d'accès à certains points chauds de la biodiversité rendent difficile l'accès à les échantillonner. Dans ce contexte, Alvers et Brito, montrent que la collecte de données biologiques clés est indispensable pour identifier les espèces vulnérables avec une difficulté supplémentaire pour les espèces présentes en faible population [5]. Avec environ 8.000.000 km<sup>2</sup>, le Sahara est le plus grand désert du monde. L'éloignement des centres urbains, les conditions inhospitalières, ainsi que certains critères de sécurité, qui le caractérisent engendrent des difficultés logistiques pour l'étude de sa flore et de sa faune [6, 7]. Par rapport à l'Afrique du Nord non saharienne où les données sont plus abondantes, le Sahara est un exemple de région où la biodiversité reste méconnue. Ainsi les informations disponibles sont pour la plupart issues de missions et d'expéditions sporadiques [8] ou d'explorations scientifiques de zones clés, comme les montagnes isolées qui abritent des plantes et des vertébrés endémiques [9, 10, 11]. Dans ce contexte, le défi consiste à accroître les connaissances sur la diversité et la répartition des espèces [12] afin de planifier la conservation des plus menacées [3]. Ainsi, la mégafaune du Sahara a suscité un certain nombre de travaux ces dernières années, montrant la nécessité d'importance internationale de prendre en charge les espèces en danger et par effet parapluie de sauvegarder une biodiversité fragile et mal connue [13, 14]. En effet, même des zones protégées vont subir des pertes dramatiques avec le changement climatique ; Thuiller *et al.* [15], avancent une perte d'environ 50% de la richesse actuelle en Mammifères au cours des années à venir dans le Parc national du Tassili n'Ajjer.

Le Tassili n'Ajjer, l'une des régions les plus extrêmes de l'Algérie, abrite des espèces rares et endémiques de flore telles que le Cyprès du Tassili, *Cupressus dupreziana* [16] et de faune telles que les scorpions *Compsobuthus berlandi* et *Scorpio tassili* [17, 18]. Dans ce contexte, nous avons jugé utile de porter à connaissance quelques informations inédites sur les Mammifères du Tassili n'Ajjer algérien recueillies lors de prospections ciblées. Les espèces observées, ainsi que leur distribution, seront discutées.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### 1. Présentation de la région d'étude

L'étude a été réalisée dans le Tassili n'Ajjer, wilaya d'Illizi, à l'extrême sud-est de l'Algérie. Le Tassili n'Ajjer est un massif montagneux de grès situé au centre du Sahara qui s'élève jusqu'à 2158m au Djebel Afao. Il s'étend sur 50 à 60 km d'est en ouest, et sur 800 km du nord au sud, soit une superficie de près de 120 000 km<sup>2</sup> située entre 24° 30' et 26° 30' de latitude Nord, et de 6° 30' et 10° 00' de longitude Est [19]. Le Tassili a été érigé en Parc national en juillet 1972 et classé au Patrimoine Mondial par l'UNESCO en 1982, pour ses richesses culturelles avérées, il a été admis comme Réserve de l'homme et de la biosphère en 1986 (MAB), en raison de la diversité de ses écosystèmes naturels [20]. Les précipitations sont non seulement rares (moyenne annuelle de 6 mm), mais toujours très irrégulières. Cette région appartient à l'étage bioclimatique saharien [21]. Les températures moyennes annuelles sont élevées, avec un maximum absolu dépassant 50°C, et des minima de janvier variant de 2 à 9 °C [22]. La flore de cette région est représentée par plusieurs familles comptant des espèces des zones arides ou sahariennes comme *Artemisia judaica*, *Fagonia bruguieri*, *Zygophyllum simplex*, *Cupressus dupreziana*, *Olea laperrini*, *Acacia raddiana*, *Calotropis procera* et *Balanites aegyptiaca* [23, 24].

### 2. Méthodologie

Des prospections ont été menées grâce à l'appui logistique de l'équipe de l'Office National du Parc Culturel du Tassili de 2015 à 2017 dans trois sites différents à proximité de Djanet (Maddak, Tadrart et Anhaf) en vue de recenser les Mammifères.

Nous nous sommes basés sur l'observation directe des animaux pour le comptage et l'estimation de la taille des groupes, ainsi que la recherche d'indices de présence, notamment les crottes, afin de compléter la répartition des espèces [25]. Des transects ont été parcourus en vue de couvrir la majorité des habitats de cette région, notamment le fond des vallées et des oueds, et tous les terrains accidentés. Entre six à onze transects d'une longueur variable ont été établis en fonction de la topographie et de la géomorphologie des zones (Fig. 1, Tableau 1). Des sorties systématiques ont été organisées à raison d'une sortie par transect pour trois campagnes printanières (février à avril 2015, janvier à avril 2016, avril 2017) et une campagne automnale en septembre 2015.

Les prospections ont été réalisées juste du lever du soleil jusqu'au soir (20 h). Au total trois personnes ont été mobilisées chaque fois. Des photographies ont été systématiquement prises à la vue d'un animal afin de limiter les possibles doublons, garder une image objective du biotope occupé et analyser avec précision l'âge et le sexe

des animaux. Pour les ongulés, l'âge et le sexe ont été évalués sur la base de la taille du corps, la forme et la longueur des cornes. Ces caractères n'étaient pas discernables pour certaines observations distantes, les individus ont alors été comptabilisés dans une classe « indéterminé ». Nous avons choisi de recueillir trois types de données recommandées dans la littérature pour le suivi des ongulés sauvages dans les environnements arides et semi-arides [26, 27, 28 et 29] : (1) observations directes des animaux par contact visuel, (2) indices de présence (crottes et latrines) et (3) photos et vidéos des animaux. Les observations ont été réalisées avec deux paires de jumelles Barska 10 x 50 et un télescope digital optique AK1 doté d'un trépied. Tous les contacts ont été notés avec leurs coordonnées topographiques relevées au moyen d'un GPS Garmin 76S. Les photos ont été prises au moyen d'un appareil numérique Canon EOS 1200 D (objectif 18-55 mm). La distribution des animaux et des indices de présence a été cartographiée à l'aide du logiciel Mapinfo v 8.0.

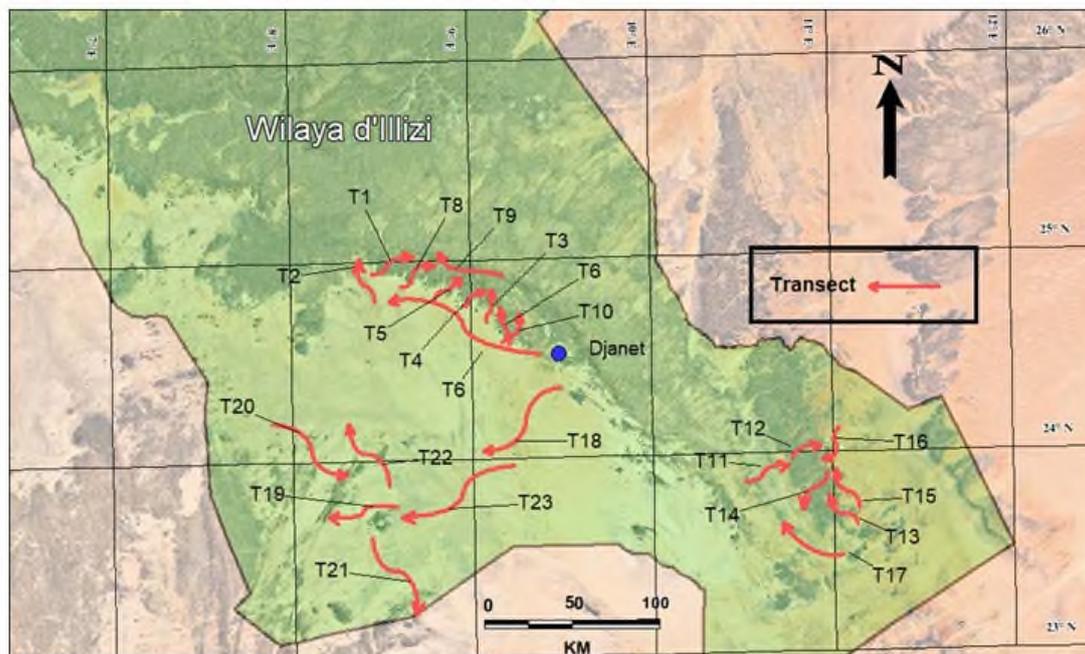


Figure 1 : Transects parcourus pour la détection des Mammifères dans le Tassili n'Ajjer, région de Djanet (wilaya d'Ilizi).

Tableau 1 : Caractéristiques des stations d'études des Mammifères dans le Tassili n'Ajjer (Algérie)

Sites	Stations	Coordonnées géographiques		Altitude (m)	Caractéristiques du couvert végétal
		Latitude	Longitude		
MADAK Nord DJANET (103 km)	Oued Sersouf	24°57.321' N	08°46.499' E	1147	Végétation annuelle et pérenne. Sol sableux humide
	Oued Tessdamarene	24°53.461' N	8°48.092' E	1224	Végétation annuelle et pérenne. Sol sableux
	Oued Tikoubaouine	24°48.094' N	9°05.474' E	1146	Végétation pérenne verte. Sol sableux argileux sec
	Oued Imourouden	24°39.143' N	9°13.419' E	1190	Végétation pérenne sèche. Sol sableux rocheuse
	Oued Alghou	24°54.174' N	8°57.524' E	1154	Végétation annuelle et pérenne ½ verte, ½2 sèche. Sol sableux
	Oued Abichoal	24°54.583' N	8°56.365' E	1139	Végétation annuelle. Sol humide argileux
	Oued Essendilen	24°55.506' N	8°58.597' E	1146	Végétation annuelle avec des oasis. Sol humide
	Oued Tellaline	24°46.412' N	9° 08.008' E	1147	Végétation annuelle et pérenne. Sol sableux rocheuse sec
	Oued Tilafzou	24°41.031' N	9°13.500' E	1146	Végétation annuelle +pérenne. Sol sableux sec
	Oued Tiharmouine	24°35.130' N	9°19.397' E	1168	Végétation annuelle et saisonnière. Sol sableux et rocheux
ADRART Sud-Est DJANET (200km)	Idukal 1	24°29.373' N	10°47.953'E	1036	Végétation annuelle et pérenne. Sol sableux humide
	Idukal 2	24°18.368' N	10°48.378' E	1035	Végétation annuelle et pérenne. Sol sableux
	GueltaTuhadien	24°11.172' N	10°51.459' E	917	Végétation pérenne sèche. Sol sableux rocheuse
	Indjerren	24°03.447' N	11°01.443' E	876	Végétation annuelle et pérenne ½ verte ½ sèche. Sol sableux
	Wan Zawten 1	24°05.165' N	10°54.2475'E	925	Végétation annuelle. Sol humide argileux
	Wan Zawten 2	24°10.540' N	11°00.431' E	853	Végétation annuelle
	Wan Zawten 3	24°05.266' N	10°57.222' E	886	Végétation annuelle et pérenne. Sol sableux rocheuse sec
	Tinmerzouga 1	24°18.258' N	11°00.513' E	843	Végétation pérenne verte. Sol sableux argileux sec
	Tinmerzouga 2	23°54.211' N	10°50.420' E	928	Végétation annuelle et pérenne. Sol sableux sec
	Tinmerzouga 3	23°56.036' N	10°53.591'E	930	Végétation annuelle. Sol sableux et rocheux
ANHAF Sud DJANET (197km)	El Baredj	23°58.214' N	10°55.502' E	2902	Végétation annuelle et pérenne. Sol sableux humide
	Tahort	24°23.671' N	9°08.647' E	1011	Végétation annuelle et pérenne. Sol sableux
	Tisnar	24°52.987' N	9°02.513' E	943	Végétation pérenne vert. Sol sableux argileux sec
	Tin Arwa	23°52.4481' N	8°54.848' E	886	Végétation pérenne sèche. Sol sableux rocheux
	Adjarazraz	23°29.4069' N	8°26.5386' E	886	Végétation annuelle et pérenne.
	Tin Arkni	23°24.4397' N	8°23.3938' E	886	Végétation annuelle. Sol humide argileux
	Tanet	24°33.0501' N	7°35.5795' E	887	Végétation annuelle

## RÉSULTATS

Les prospections ont révélé la présence de neuf espèces appartenant à cinq ordres et six familles de Mammifères : quatre Carnivores, trois Canidés et un Félinid (*Canis anthus*, *Felis margarita* *Vulpes rueppellii* et *Vulpes zerda*), deux Cétartiodactyles Bovidés (*Gazella dorcas* et *Ammotragus lervia*), un Chiroptère Hipposidéridé (*Asellia tridens*), un Rongeur Cténodactylidé (*Massoutiera mzabi*) et un Hyracoïde Procaviidé (*Procavia capensis*). Ces espèces avec les localisations et les biotopes où elles ont été observées.

**Chacal du Sénégal** *Canis anthus* Cuvier, 1820. Un mâle solitaire a été contracté à Indjerren au sud de Djanet en avril 2017 (Fig. 2a). Cette faible occurrence peut être due à ses mœurs crépusculaires.

**Chat des sables** *Felis margarita* Loche, 1858. Il est assez bien représenté à Tinmerzouga où il a été contacté en avril les deux années consécutives. Trois individus ont été observés à El Baredj en avril 2015 (Fig. 2a).

**Renard famélique** *Vulpes rueppellii* Linnaeus, 1758. Plusieurs spécimens ou empreintes ont été observés dans sept oueds, à Wan Zawten et Adjarazraz, que ce soit de janvier à mars ou en septembre, sur sol sableux humide ou humide, voire rocailloux (Fig. 2b). Plusieurs terriers ont été localisés, des crottes ont été observées à proximité.

**Fennec** *Vulpes zerda* Zimmerman, 1780. Il a été observé dans cinq localités caractérisées par une végétation sèche et un sol sableux rocailloux. A Idoukal des crottes, des empreintes et une tanière ont été localisées en mars 2016, alors qu'à Tinmerzouga un groupe de trois individus a pu être observé en avril 2017. Un seul spécimen a été contacté dans les trois autres localités (Fig. 2b).

**Gazelle dorcas** *Gazella dorcas* Linnaeus, 1758. Cet Antilopiné est également une espèce à très forte occurrence dans la région, ayant été contactée dans 14 localités (Fig. 3) avec des groupes de composition variable, comptant de 1 à 10 individus, comme fut le cas à Indjerren en avril 2017.

La forte présence de cette espèce dans le Tassili n'Ajjer est prometteuse pour le maintien de la vie sauvage de la région, notamment de ses prédateurs.

**Mouflon à manchettes (Aoudad)** *Ammotragus lervia* Pallas, 1777. Très largement distribué dans la zone d'étude, il a été contacté dans 18 localités, principalement des oueds et des vallées entre les montagnes rocheuses (Fig. 3). Pendant la journée, cet ongulé se réfugie dans les pentes escarpées pour éviter les perturbations anthropiques ou la prédation. Des groupes comptant jusqu'à 18 individus sont signalés à Tisnar et au moins 12 individus à Oued Abichoal, Oued Alghou et Oued Tiharmouine. Les deux sexes et toutes les classes d'âges ont pu être observés (adultes mâles et femelles, subadultes, jeunes et indéterminés). De faibles effectifs ont été signalés à Tanettin et Arkni avec respectivement 2 et 3 individus.

**Trident du désert** *Asellia tridens* Geoffroy, 1813. Une forte colonie de ce Chiroptère a été localisée dans une grotte à proximité de l'oasis de l'Oued Ensendiren en mars 2015 (Fig. 4). Il s'agit d'un site humide en permanence avec une végétation riche et luxuriante toute l'année.

**Daman de rochers** *Procavia capensis* Pallas, 1766. Plusieurs colonies de quelques individus ont été observées dans 7 stations prospectées (Fig. 4). Ce mammifère s'abrite des prédateurs dans des biotopes rocheux et rocailloux, tout en vivant à proximité de milieux humides à végétation pérenne. Sur l'ensemble des observations les groupes étaient composés essentiellement de femelles adultes et de jeunes. Des caractères phénotypiques semblent distinguer deux populations distinctes, l'une composée d'individus noir foncé, l'autre d'individus gris. Des études complémentaires sont nécessaires pour mieux appréhender cette variabilité.

**Goundi du Mzab** *Massoutiera mzabi* Lataste, 1881. Ce rongeur rupicole a été contacté dans cinq localités caractérisées par une végétation pérenne. Trois individus d'un groupe ont été observés à l'Oued Tikoubaouine en mars 2015 et aussi à l'Oued Tiharmouine en septembre 2015, un groupe de deux individus aux Oued Alghou en mars 2015 et Oued Essendilen en septembre 2015, et un individu à l'Oued Tilafzou en mars 2015 (Fig. 4).

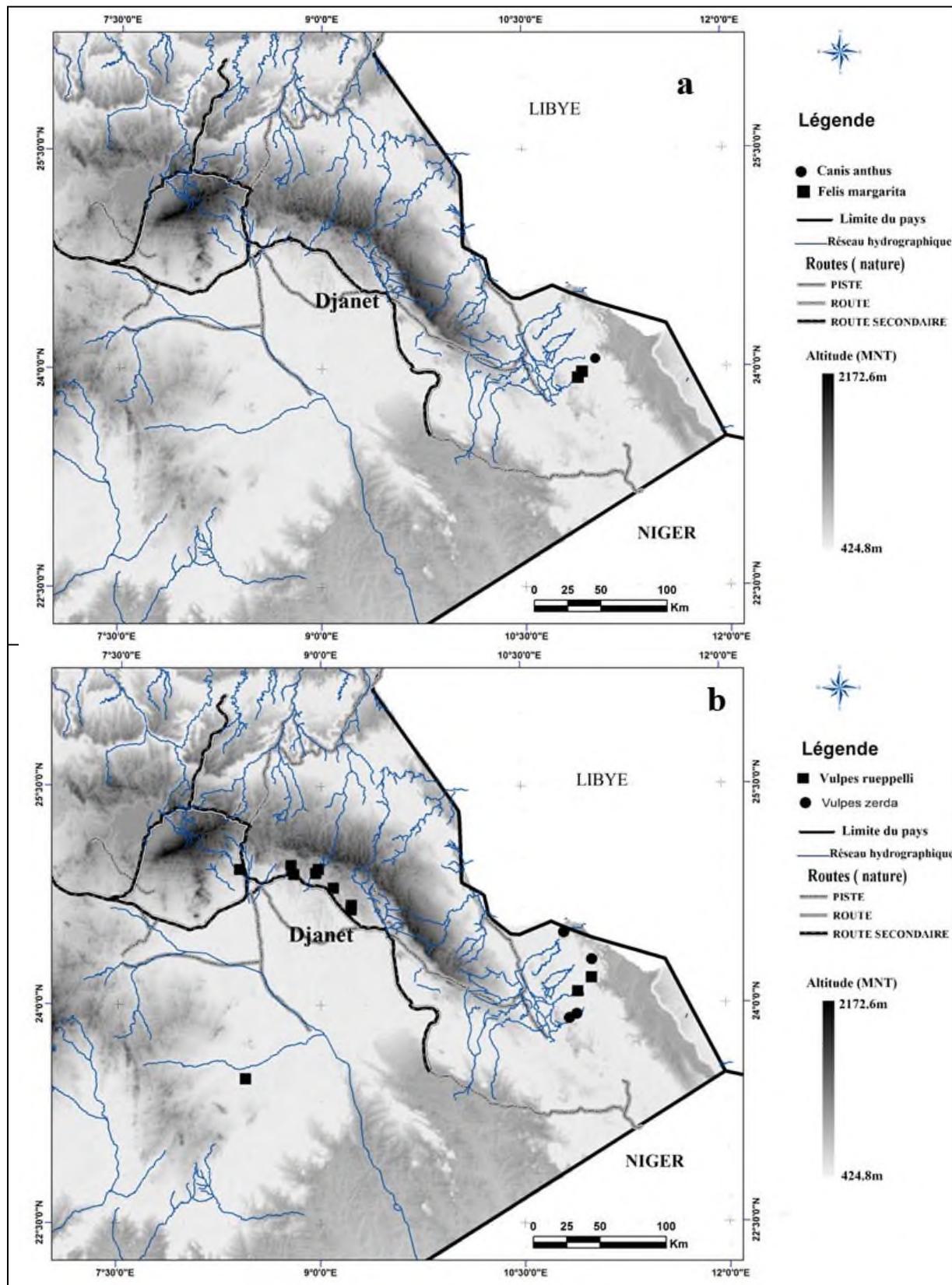


Figure 2 : Localisation des données de Carnivores recueillies dans le Tassili n'Ajjer algérien en 2015 et 2017 (a : *Canis anthus* et *Felis margarita*, b : *Vulpes rueppellii* et *V. zerda*).

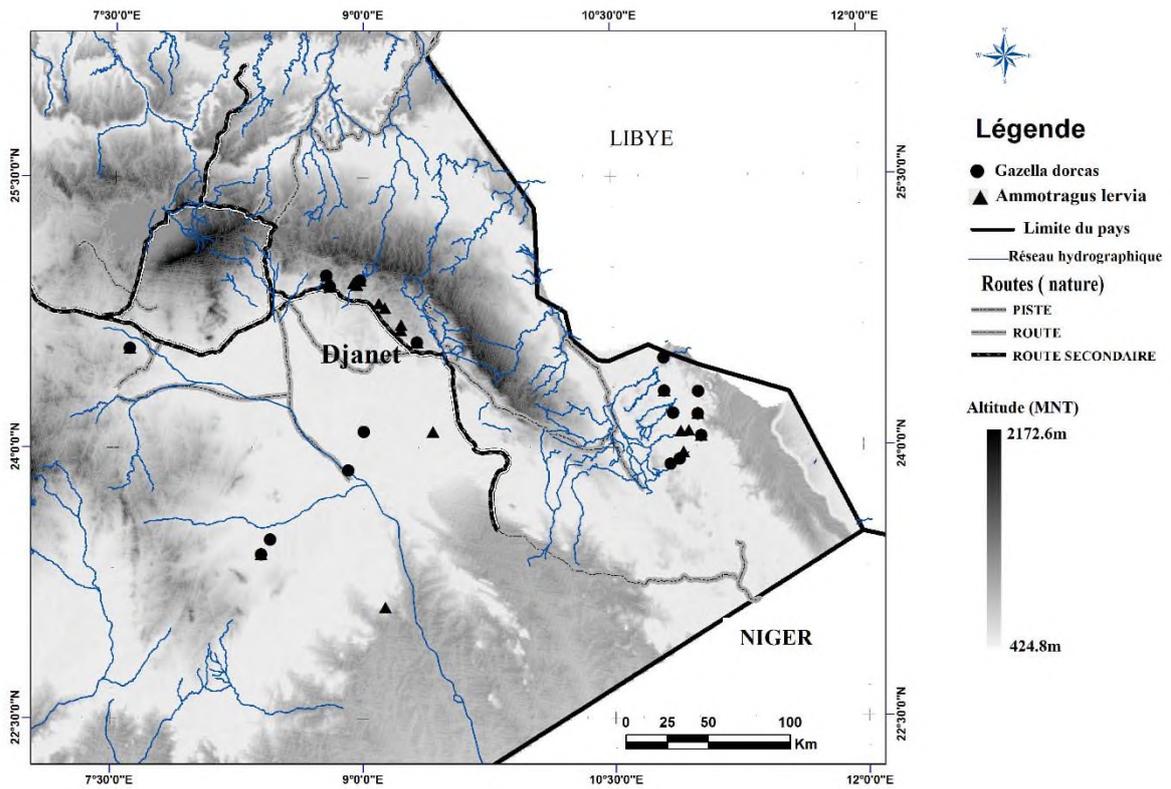


Figure 3 : Localisation des données des Cétartiodactyles recueillies dans le Tassili n’Ajjer algérien en 2015 et 2017.

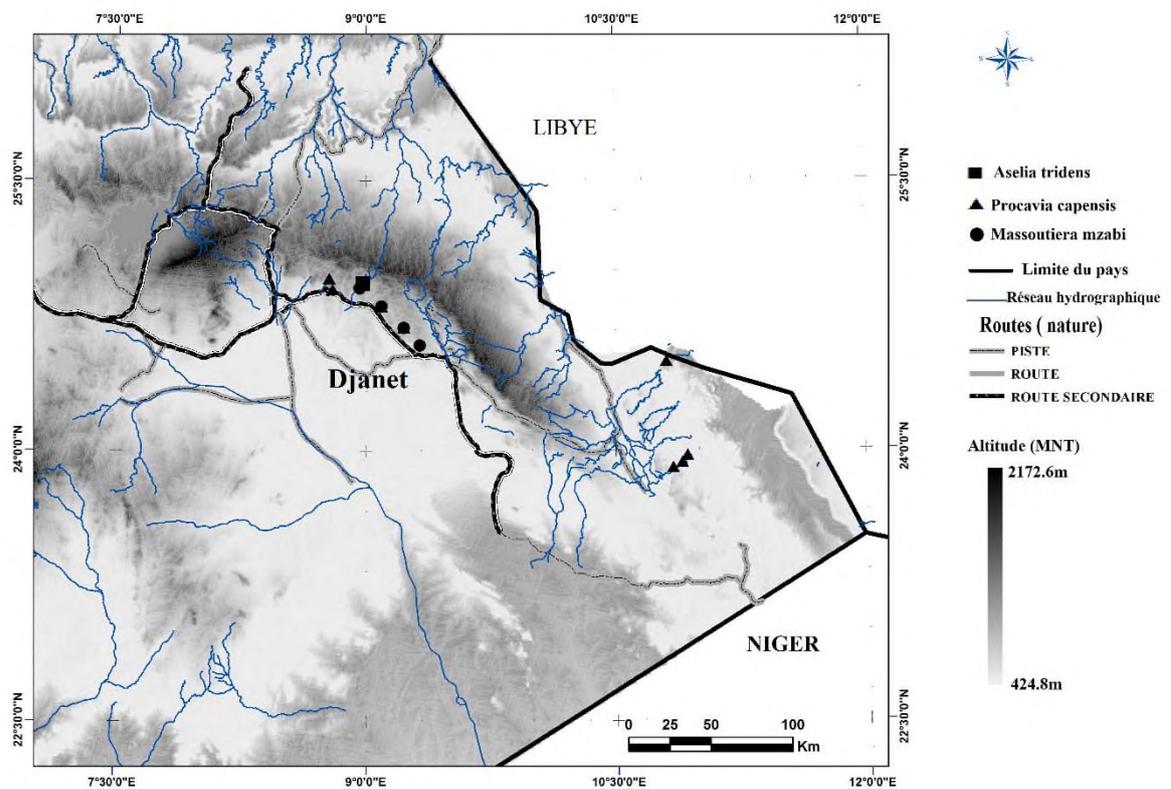


Figure 4 : Localisation de la colonie d’*Asellia tridens*, de *Procapra capensis* et *Massoutiera mzabi* recueillies dans le Tassili n’Ajjer algérien en 2015 et 2017.

## DISCUSSION

L'exploration des différents habitats de la région de Djanet dans le Tassili a permis d'inventorier les espèces de Mammifères les plus visibles lors de prospections diurnes. En l'absence de protocole de capture les petits rongeurs n'ont pas été contactés malgré leur importance numérique dans cette région. Les trois Canidés observés dans la zone d'étude, Chacal du Sénégal, Renard famélique et Fennec, sont des espèces à large répartition, notamment dans le Sahara [11, 30, 13]. Toutes trois avaient déjà été signalées dans le Tassili n'Ajjer par De Smet [31], mais les données n'étaient pas aussi nombreuses pour le Renard famélique. A l'inverse, avec une seule observation, le Chacal du Sénégal, signalé commun par Dragesco-Joffé [32], est soit en régression, soit trop nocturne pour être détecté lors de nos prospections. Le Fennec, bien représenté plus à l'ouest [31, 33] n'avait pas été signalé dans notre zone d'étude. Aucune mention de Lycaon, *Lycaon pictus*, signalé dans le Parc National du Tassili en 1996 [34], n'a été relevée récemment dans la région d'étude. Les Félidés sont représentés par une seule espèce, le Chat des sables, qui n'avait été mentionné que d'une localisation dans le nord du Tassili n'Ajjer [31, 33] et récemment (De Smet, com per). Nos données étendent donc sa répartition en Algérie où il a été récemment confirmé dans l'Ahaggar [35]. L'absence d'observation de Chat ganté, *Felis lybica*, largement distribué dans le nord du Tassili n'Ajjer et l'Ahaggar selon De Smet [31], peut être expliquée par des prospections réalisées souvent dans des biotopes sableux favorables au Chat des sables. Aucune présence du Guépard, *Acinonyx jubatus*, n'a été détectée lors de nos prospections mais les nomades et les Touareg ont signalé des traces de marquage et de griffes (De Smet, com. pers.) alors que sa présence dans le Tassili n'Ajjer a été largement discutée [36]. Le Guépard a fait l'objet de nombreuses investigations dans le massif de l'Ahaggar par des moyens sophistiqués, caméras infrarouges et génétique moléculaire. Il a ainsi été détecté dans la région de Ti-n- Hağğen dans le Parc National de l'Ahaggar à Tamanrasset [37] avec le Léopard, *Panthera pardus* [30, 38]. Les conflits avec les humains liés aux attaques de bétail ont contribué à leur régression, voire disparition, au cours des dernières décennies [36].

Des traces et des crottes d'Hyène ont été trouvées sur le site de Tanet (Anhaf). De Smet [31], rapporte une donnée ancienne d'Hyène rayée, *Hyaena hyaena*, dans les environs de Djanet, où un animal a été abattu en avril 2015 (com. pers. O.N.P.T.).

Même si l'Hyène tachetée, *Crocuta crocuta*, est considérée disparue d'Algérie [39], seules des analyses génétiques permettraient d'identifier l'espèce émettrice des nombreuses crottes signalées par les nomades de la région. Des deux Bovidés, le Mouflon à manchettes a été le plus observé (18 localités) avec des effectifs qui ont atteint 15 individus dans un groupe et toutes les classes d'âge. En dehors de son biotope refuge, les falaises rocheuses [40, 41], il a été observé dans les vallées et oueds où les ressources trophiques sont abondantes et près des gueltas, probablement pour s'abreuver. Cette forte occurrence de l'espèce dans le Tassili n'Ajjer témoigne du succès de la stratégie de préservation menée au cours de ces dernières années par les pouvoirs publics et le Parc National du Tassili en vue de sauvegarder les espèces vulnérables malgré des actes de braconnage qui menacent la vie sauvage. Nos données confirment les distributions précédemment établies [31, 33]. La Gazelle dorcas a été observée dans 14 stations, occupant des biotopes proches de ceux précédemment évoqués pour le Mouflon à manchettes. La variabilité de taille des groupes est conforme à celle qui est observée dans les zones arides et sahariennes d'Afrique du Nord que ce soit en Tunisie [42] ou au Maroc [43]. Ces données de présence viennent confirmer la persistance de l'espèce dans la distribution précédemment identifiée [31, 33]. En revanche aucune traces de *Gazella dama* n'a été relevée, les autochtones semblent ne rien connaître sur cette espèce dont la disparition semble confirmée.

La gazelle leptocère, *Gazella leptoceros*, signalée par De Smet [31] des petits ergs des environs de Djanet, en particulier l'erg Ahmer, n'a pas été contactée lors de nos prospections. L'abondance des deux Bovidés est un atout pour la pérennité des prédateurs, parfois en danger critique d'extinction, dont la survie dépend essentiellement de ces grands herbivores [14], sans doute le conflit humain suite aux attaques au bétail à contribuer à sa disparition au cours des dernières années [36].

L'étude de la distribution spatiale des espèces proies s'inscrit dans une démarche visant à produire un Plan de conservation des grands prédateurs notamment le guépard et le lycaon.

En effet, les données sur cette distribution vont aider sans doute à identifier les réseaux écologiques au profit de la conservation des carnivores cibles dans le parc culturel du Tassili n'Ajjer et va contribuer à fournir aux gestionnaires du parc une image précise de l'occupation de l'espace écologique par les espèces ciblées afin de préserver en priorité des aires d'habitats importantes pour la survie des deux grands carnivores menacés ou pour d'éventuels réintroductions de ces espèces. Le Trident du désert est le seul Chiroptère que nous ayons recensé dans la région, faute de prospections particulières et de matériel de détection des émissions ultrasonores. Cette espèce, qui compte parmi les chauves-souris les plus adaptées aux milieux arides [44], a une répartition très large, mais la découverte de colonies est toujours rare. La présence de l'espèce à proximité des oasis a été largement discutée [45, 46, 47]. Alors que les reliefs rocheux recèlent de nombreux gîtes potentiels, les oasis lui offrent une disponibilité d'eau et une abondance de proies rares dans le Sahara [8]. Des investigations plus adaptées devraient permettre de détecter d'autres espèces de Chiroptères comme *Rhinolophus clivosus* signalé par Heim de Balsac [48], *Otonycteris hemprichii* et *Pipistrellus kuhlii deserti* par Kowalski et Rzebik-Kowalska [33]. D'autres espèces connues de l'Ahaggar sont probables : *Rhinopoma cystops* (Ideles et Oued-Tit, [33], *Taphozous nudiventris* (Oued-Tit [49], *Tadarida aegyptiaca* [50, 51] et *Tadarida teniotis* dont la présence a été récemment confirmée [52]. Le Daman de rochers, unique représentant des Hyracoïdes en Afrique du Nord, a été observé dans plusieurs sites rocheux de 7 stations couvrant une grande partie du Tassili n'Ajjer, conformément aux répartitions précédemment publiées [31, 33]. Comme dans l'Ahaggar [53], le Daman de rochers vit en groupes sociaux de trois à une dizaine d'individus composés d'un mâle dominant, de femelles et de jeunes. Le Goundi du Mzab, espèce endémique du Sahara présente en Algérie de la vallée du Mzab jusqu'à l'Ahaggar [54], semble être abondant dans les oueds et vallées du Tassili n'Ajjer d'après nos prospections. Cette abondance est probablement liée à la disponibilité en ressources trophiques pour ce rongeur herbivore [55].

Il est enfin à noter que malgré le signalement de la présence de Lièvre de Cap (*Lepus capensis*) dans le Tassili n'Ajjer, y compris à proximité de Djanet, par De Smet [31], sa présence n'a pas été détectée lors de nos prospections, peut-être par un effort d'échantillonnage trop faible ou plus sûrement mal adapté à une espèce assez cryptique lorsqu'elle n'est pas dérangée.

## CONCLUSION

Cette contribution à l'inventaire des Mammifères terrestres du Tassili n'Ajjer ne repose que sur 9 espèces mais elle ajoute la présence d'une espèce, apporte l'extension de l'aire de répartition d'une autre et surtout confirme la persistance de populations d'espèces par ailleurs en forte régression. Cette première approche devra être complétée par des études reposant avec des protocoles plus rigoureux avec des méthodes variées afin d'identifier les caractéristiques écologiques locales des populations d'espèces soumises à des conditions climatiques difficiles. Un tel apport de connaissances sera utile pour établir des priorités de gestion et de conservation des habitats dans un cadre de gestion durable de notre biodiversité.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans une partie du Parc Culturel du Tassili n'Ajjer avec un permis délivré à Ahmed Irzagh par le département de Recherche et Interprétation de l'Office National du Parc Culturel sous le numéro 25 DR 2015. Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de ce travail, particulièrement Mr Iskoukafi Cheikh directeur du Parc, Mr Machar Aissa, Ayoub Barka et Ayoub Mohamed.

## RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1]. Pimm S.L. (2008). Biodiversity: climate change or habitat loss - which will kill more species? *Current Biology* 18, R117-R119.
- [2]. Myers N., Mittermeier R.A., Mittermeier C.G., da Fonseca G.A.B. & Kent J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature* 403, 853-858.
- [3]. Margules C.R. & Pressey R.L. (2000). Systematic conservation planning. *Nature* 405 : 243-253.
- [4]. Strange N., Theilade I., Thea S., Sloth A. & Helles F. (2008). Integration of species persistence, costs and conflicts: an evaluation of tree conservation strategies in Cambodia. *Biological Conservation* 137, 223-236.

- [5]. **Álvares F. & Brito J.C. (2006).** Habitat requirements and potential areas of occurrence for the pine marten in North-western Portugal: conservation implications. *In: M. Santos-Reis, J. Birks, E.*
- [6]. **Archer T. & Popovic T. (2007).** The Trans-Saharan Counter-Terrorism Initiative. The US War on Terrorism in Northwest Africa. The Finish Institute for Foreign Affairs. Report no. 16.
- [7]. **Ward D. (2009).** *The biology of deserts.* Oxford University Press, New York.
- [8]. **Rebello H. & Brito J.C. (2006).** Bat guild structure and habitat use in the Sahara desert. *African Journal of Ecology* 45, 228-230.
- [9]. **Quézel P. (1978).** Analysis of the flora of Mediterranean and Saharan Africa. *Annals of the Missouri botanical Garden* 65,479-534.
- [10]. **Le Berre M. (1989).** *Faune du Sahara. 1 - Poissons, Amphibiens et Reptiles.* Lechevalier - R. Chabaud, Paris, 332 p.
- [11]. **Le Berre M. (1990).** *Faune du Sahara. 2 - Mammifères.* Lechevalier - R. Chabaud, Paris, 360 p.
- [12]. **Whittaker R.J., Araújo M.B., Paul J., Ladle R.J., Watson J.E.M. & Willis K.J., 2005.** Conservation biogeography: assessment and prospect. *Diversity and Distributions* 11, 3-23.
- [13]. **Brito J.C., Godinho R., Martínez-Freiría F., Pleguezuelos J.M., Rebello H., Santos Vale C.G., Velo-Anton G., Boratynski Z., Carvalho S.B., Ferreira S., Goncalves D.V., Silva T.L., Tarroso P., Campos J.C., Leite J.V., Nogueira J., Alvares F., Sillero N., Sow A.S., Fahd S., Crochet P.A. & Carranza S. (2014).** Unravelling biodiversity, evolution and threats to conservation in the Sahara-Sahel. *Biological Reviews* 89, 215-231.
- [14]. **Durant S.M., Pettorelli N., Bashir S., Woodroffe R., Wachter T., Ornellas P. de, Ransom C., Abáigar T., Abdelgadir M., El Alqamy H., Beddiaf M., Belbachir F., Belbachir-Bazi A., Berbash A.A., Beudels-Jamar R.C., Boitani L., Breitenmoser C., Cano M., Chardonnet P., Collen B., Cornforth W.A., Cuzin F., Gerngross P., Haddane B., Hadjeloum M., Jacobson A., Jebali A., Lamarque F., Mallon D., Minkowski K., Monfort S., Ndoassal B., Newby J.E., Ngakoutou B.E., Niagate B., Purchase G., Samaïla S., Samna A.K., Sillero-Zubiri C., Sulttan A.E., Price M.R.S. & Baillie J.E.M. (2012).** Forgotten biodiversity in desert ecosystems. *Science* 336, 1379-1380.
- [15]. **Thuiller W., Broennimann O., Hughes G., Alkemade J.R.M., Midgley G.F. & Corsi F. (2006).** Vulnerability of African mammals to anthropogenic climate change under conservative land transformation assumptions. *Global Change Biology* 12, 424-440.
- [16]. **Abdoun F. & Beddiaf M. (2002).** *Cupressus dupreziana* A. Camus: répartition, déperissement et régénération au Tassili n'Ajjer, Sahara central. *Comptes Rendus Biologies* 325, 617-627.
- [17]. **Lourenço W.R. (2010).** The *Compsobuthus* species from Tassili des Ajjer', Algeria (Scorpiones, Buthidae) and description of a new species. *Entomologische Mitteilungen der Zoologisches Museum Hamburg*, 15, 147-155.
- [18]. **Lourenço W.R. & Rossi A. (2016).** Confirmation of a new species of *Scorpio* Linnaeus, 1758 in the Tassili N'Ajjer Mountains, South Algeria (Scorpiones: Scorpionidae). *Onychium* 12, 11-18.
- [19]. **Dubief. J. (1999).** *L'Ajjer Sahara central.* Karthala, Paris, 709 p.
- [20]. **O.P.N.T. (2006).** Parc national du Tassili. Office du Parc National du Tassili, Djanet, 8 p.
- [21]. **Beddiaf. R. (2008).** Etude du régime alimentaire du Hibou ascalaphe *Bubo ascalaphus* (Savigny, 1809) et de la Chouette chevêche *Athene noctua* (Scopoli, 1769) dans la région de Djanet (Illizi, Sahara Central). Mémoire Ingénieur Agronome, Université d'Ouargla.
- [22]. **Le Houérou H.N. (1997).** Climate, flora and fauna changes in the Sahara over the past 500 million years. *Journal of arid Environments*, 37, 619-647.
- [23]. **Ozenda P. (2003).** *Flore et végétation du Sahara.* C.N.R.S., Paris, 662 p.
- [24]. **Abdoun F. (2002).** Etude de la dynamique spatio-temporelle des populations de *Cupressus dupreziana* A. Camus au Tassili n'Ajjer. Thèse de Doctorat de l'Université Aix-Marseille III, Marseille, 171 p.
- [25]. **Newman C., Buesching C.D. & MacDonald D.W. (2003).** Validating mammal monitoring methods and assessing the performance of volunteers in wildlife conservation - "Sed quis custodiet ipsos custodiet?" *Biological Conservation* 113, 189-197.
- [26]. **Lawes M.J. & Nanni R.F. (1993).** The density, habitat use and social organization of dorcas gazelles (*Gazella dorcas*) in Makhtesh Ramon, Negev Desert, Israel. *Journal of arid Environment*, 24, 177-196.
- [27]. **Abáigar T., Cano M. & Sakkouhi M. (2005).** Evaluation of habitat use of a semi-captive population of Cuvier's gazelles *Gazella cuvieri* following release in Boukornine National Park, Tunisia. *Acta Theriologica* 50, 405-415.
- [28]. **Attum O. & Mahmoud T. (2012).** Dorcas gazelle and livestock use of trees according to size in a hyper-arid landscape. *Journal of arid Environments* 76, 49-53.

- [29]. Attum O., Ghazali U., EL Noby S.K. & Hassan I.N. (2014). The effects of precipitation history on the kilometric index of dorcas gazelles. *Journal of arid Environments* 102, 113-116.
- [30]. Busby G.B.J., Gottelli D., Durant S., Wacher T., Marker L., Belbachir F., De Smet K., Belbachir-Bazi A., Fellous A. & Belghoul M. (2006). A report from the Sahelo Saharan Interest Group – Office du Parc National de l’Ahaggar Survey, Algeria (March 2005) - Part 5: Using molecular genetics to study the presence of endangered carnivores (November 2006). Unpublished Report, vi + 19 p.
- [31]. De Smet K. (1989). Studie van de verspreiding en biotoopkeuze van de grote Mammalia in Algerie in het kader van het natuurbehoud. Doctorat Landbouwkundige Wetenschappen, Rijksuniversiteit Gent, 355 p.
- [32]. Dragesco-Joffé A. (1993). *La vie sauvage au Sahara*. Delachaux Niestlé, Paris, 240 p.
- [33]. Kowalski K. & Rzebik-Kowalska B. (1991). *Mammals of Algeria*. Ossolineum, Wroclaw, 370 p.
- [34]. MacNutt J.W. & Woodroffe R. (2013). *Lycaon pictus* African wild dog (painted dog, hunting dog). In : J. Kingdon & M. Hoffmann (Eds.), *Mammals of Africa. Volume V. Carnivores, pangolins, equids and rhinoceroses*. Bloomsbury Publishing, London, pp. 51-59.
- [35]. Belbachir F. (2009). Spotted: the elusive sand cat in Algerian Ahaggar Mountains, central Sahara. *Cat News* 50, 17-18.
- [36]. Hamdine W., Meftah T. & Sehki A. (2003). Répartition et statut du guépard (*Acinonyx jubatus* Schreber, 1776) dans le Sahara central algérien (Ahaggar et Tassili). *Mammalia* 67, 439-443.
- [37]. Belbachir F., Pettorelli, N., Wacher, T., Belbachir-Bazi, A. & Durant S.M. (2015). Monitoring rarity: the critically endangered Saharan cheetah as a flagship species for a threatened ecosystem. *PLoS ONE* 10, e0115136.
- [38]. Busby G.B.J., Gottelli D., Wacher T., Marker L., Belbachir F., De Smet K., Belbachir-Bazi A., Fellous A., Belghoul M. & Durant S.M. (2009). Genetic analysis of scat reveals leopard *Panthera pardus* and cheetah *Acinonyx jubatus* in southern Algeria. *Oryx* 43, 412-415.
- [39]. Hofer H. & Mills G. (1998). Worldwide distribution of hyaenas. In : G. Mills & H. Hofer (Eds.) : *Hyaenas. Status survey and Conservation Action Plan*. I.U.C.N. / S.S.C. Hyaena Specialist Group, Cambridge, pp. 39-63.
- [40]. Brentjes B. (1980). The Barbary sheep in ancient North Africa. In: C.D. Simpson (Ed.), Symposium on ecology and management of Barbary sheep. Texas Tech. University Press, Lubbock, TX, pp. 25-26.
- [41]. Shackleton D.M. (1997). Wild sheep and goats and their relatives: status survey and conservation action plan for Caprinae. International Union for Conservation of Nature, Gland, 390 p.
- [42]. Chammem M., Selmi S., Nouira S. & Khorchani T. (2008). Factors affecting the distribution of dorcas gazelle. *Journal of Zoology (London)* 275, 146-152.
- [43]. Cuzin F., Aulagnier S. & Thévenot M. (2017). Cetartiodactyla. In : S. Aulagnier, F. Cuzin & M. Thévenot (éd.), *Mammifères sauvages du Maroc. Peuplement, répartition, écologie*. S.F.E.P.M., Paris, pp. 207-232.
- [44]. Aulagnier S. (2013). *Asellia tridens* Geoffroy's trident leaf-nosed bats. In: M. Happold & D.C.D. Happold (Eds.), *Mammals of Africa. Volume IV. Hedgehogs, shrews and bats*. Bloomsbury Publishing, London, pp. 362-364.
- [45]. Dietz C., von Helversen O. & Nill D. (2009). L'encyclopédie des chauves-souris d'Europe et d'Afrique du Nord : biologie, caractéristiques, protection. Delachaux et Niestlé, Paris. 400 p.
- [46]. Jones G., Morton M., Hughes P.M. & Budden R.M. (1993). Echolocation, flight morphology and foraging strategies of some West African hipposiderid bats. *Journal of Zoology (London)* 230, 385-400.
- [47]. Whitaker J.O. Jr., Shalmon B. & Kunz T.H. (1994). Food and feeding habits of insectivorous bats from Israel. *Zeitschrift für Säugetierkunde* 59, 74-81.
- [48]. Heim de Balsac H. (1936). Biogéographie des Mammifères et des Oiseaux de l’Afrique du Nord. *Bulletin biologique de France et de Belgique* Supplément XXI, 1-446.
- [49]. Anciaux de Faveaux, M. (1976). Distribution des Chiroptères en Algérie, avec notes écologiques et parasitologiques. *Bulletin de la Société d’Histoire naturelle d’Afrique du Nord* 67, 69-80.
- [50]. Schlitter D.A. & Robbins L.W. (1973). Présence de *Tadarida* dans le Sahara central. *Mammalia* 37, 199.
- [51]. Qumsiyeh M.B. (1985). The bats of Egypt. *Special Publication of the Museum of Texas Tech University* 23, 1-102.
- [52]. Bendjeddou M.L, Bakhouche B. & Bouslama Z. (2014). A new locality for *Tadarida teniotis* (Rafinesque, 1814) (Mammalia, Chiroptera, Molossidae) in Algeria. *Natura Rerum* 3, 37-39.
- [53]. Boutheldja H. (2015). Ecologie du Daman des rochers *Procapra capensis* dans le Parc National de l’Ahaggar Tamnasset. Mémoire de Magister, ENS de Kouba Alger, 125 p.
- [54]. Gouat P., Gouat J. & Coulon J. (1984). Répartition et habitat de *Massoutiera mzabi* en Algérie (Rongeur Cténodactylidé). *Mammalia* 48, 351-362.
- [55]. Gouat P. (1988). Etude socioécologique de trois espèces de rongeurs Cténodactylidés d’Algérie. Thèse de Doctorat, Université Lyon 1, 311 p.



## Research paper

# Deep mitochondrial DNA phylogeographic divergence in the threatened aoudad *Ammotragus lervia* (Bovidae, Caprini)

Louiza Derouiche<sup>a,\*</sup>, Ahmed Irzagh<sup>b</sup>, Rafiq Rahmouni<sup>c</sup>, Redouane Tahri<sup>d</sup>, Mohamed Hadjeloum<sup>e</sup>, Rachid Bouhadad<sup>a</sup>, Carlos Fernandes<sup>f,\*</sup>

<sup>a</sup> LBEIG, Population Genetics & Conservation Unit, Faculté des Sciences Biologiques, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, BP 32 El-Alia, Bab Ezzouar, 16111, Algiers, Algeria

<sup>b</sup> Département de Biotechnologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Saad Dahlab de Blida, route de Soumâa, BP 270, 09000 Blida, Algeria

<sup>c</sup> Réserve de Chasse de Tlemcen, Direction Générale des Forêts (DGF), Boulevard de Lala Sitti, Tlemcen, Algeria

<sup>d</sup> 'Nature Algérie', Béchar, Algeria

<sup>e</sup> Bureau de la Gestion et Protection de la Faune, Direction Générale des Forêts (DGF), Algiers, Algeria

<sup>f</sup> CE3C – Centre for Ecology, Evolution and Environmental Changes, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, 1749-016 Lisboa, Portugal



## ARTICLE INFO

## Keywords:

Barbary sheep  
Phylogeography  
Divergence times  
Molecular systematics  
Subspecies  
Caprine

## ABSTRACT

The aoudad or Barbary sheep (*Ammotragus lervia*) is a threatened ungulate emblematic of North Africa, whose population structure and subspecific taxonomy have not been examined genetically. This knowledge is essential and urgently needed to inform ongoing conservation and management efforts. We analysed the mitochondrial cytochrome *b* gene and four nuclear genes (casein kappa, spectrin beta nonerythrocytic 1, thyroglobulin, thyrotropin subunit beta) for the first phylogeographic survey of the aoudad, and uncovered a deep Mediterranean-Saharan mitochondrial split separating two highly distinct evolutionary lineages. Their level of divergence is greater than or comparable to those observed between several pairs of congeneric species of different caprine genera. The split was estimated to have occurred in the Early Pleistocene, about 1.3 million years ago. None of the four nuclear genes surveyed, chosen because they have been used in phylogeographic and species-level phylogenetic studies of bovids, allowed us to detect, likely due to their slow evolutionary rate, the substantial and geographically coherent subdivision revealed by mitochondrial DNA. This study is evidence and testament to the ability of mitochondrial DNA, probably unrivalled by any other single-locus marker, as an exploratory tool for investigating population genealogy and history and identifying potential evolutionarily significant units for conservation in animals.

## 1. Introduction

The aoudad or Barbary sheep *Ammotragus lervia* (Pallas, 1777) is a medium-sized wild ungulate belonging to a monotypic genus in the tribe Caprini of the family Bovidae (Kingdon, 1982; Kingdon, 1997; Hassanin and Douzery, 1999; Kingdon and Hoffmann, 2013). The species was formerly widespread in rugged and mountainous terrain from arid and semiarid regions to open forests in North Africa, but their range and population size have decreased dramatically due to hunting, poaching, habitat destruction, and competition with domestic livestock (Loggers et al., 1992; Kingdon, 1997; Shackleton, 1997). It has become extinct or endangered in many parts of its former distribution area (Cuzin, 1996; Manlius et al., 2003; Mimoun et al., 2017), so much so that it is considered a top conservation priority among caprines

(Shackleton, 1997) and is currently listed as 'Vulnerable' in the IUCN Red List of Threatened Species (Cassinello et al., 2008). Unlike the situation in its indigenous range, the aoudad has been successfully introduced for hunting into Spain (southeast mainland and island of La Palma in the Canary archipelago) and southwestern United States, where it has become invasive and a threat to local biodiversity (Gray and Simpson, 1980; Cassinello et al., 2004; Nogaes et al., 2006; Acevedo et al., 2007).

Given the severe population decline and fragmentation across its native North African distribution (Shackleton, 1997), there is an urgent need to determine the species' population genetic structure to inform the conservation and management of the aoudad. Based on pelage colour and patterns, shape and curvature of the horns, and geographical distribution, six subspecies are recognized (Rothschild, 1913, 1921;

Abbreviations: bp, base pair(s); mt, mitochondria(l)

\* Corresponding authors.

E-mail addresses: [derouiche\\_fatma@yahoo.fr](mailto:derouiche_fatma@yahoo.fr) (L. Derouiche), [cafemandes@fc.ul.pt](mailto:cafemandes@fc.ul.pt) (C. Fernandes).

<https://doi.org/10.1016/j.gene.2020.144510>

Received 22 November 2019; Received in revised form 20 February 2020; Accepted 24 February 2020

Available online 25 February 2020

0378-1119/ © 2020 Elsevier B.V. All rights reserved.

Allen, 1939; Gray and Simpson, 1980; Grubb, 2005; Cassinello et al., 2008) as follows: *A. l. lervia* (Atlas Aoudad; occurring in northern Morocco, northern Algeria, and northern Tunisia), *A. l. sahariensis* (Saharan Aoudad; distributed in Mauritania, southern Morocco, the Adrar des Iforas in Mali, south Algeria, southwestern Libya, and the Tibesti Mountains in northwestern Chad), *A. l. fassini* (Libyan Aoudad; present in extreme southern Tunisia and in Libya), *A. l. angusi* (Air Aoudad; found in the Air and Termit mountains of Niger), *A. l. blainei* (Kordofan Aoudad; in Sudan, where currently it is probably restricted to the Red Sea hills, and it may also be the subspecies inhabiting the Ennedi Mountains in northeast Chad), and *A. l. ornata* (Egyptian Aoudad; in both the Eastern and Western Deserts of Egypt) (Fig. S1). However, the taxonomy of the aoudad is unclear because the morphological distinctiveness of the subspecies is uncertain and the consistency of the morphological differences has not been thoroughly evaluated (Cassinello et al., 2008). Moreover, there is debate regarding the exact geographic ranges of the described subspecies (Kingdon, 1997; Shackleton, 1997; Cassinello, 1998). Therefore, it is necessary to evaluate the validity of the subspecies and determine the geographical limits of the valid ones. Genetic studies using mitochondrial DNA (mtDNA) sequence data have proven useful in such contexts (e.g. Rambau et al., 2003; Mulcahy, 2008; Andersen and Light, 2012; Prieto-Torres et al., 2018). The fact is that the aoudad has been understudied genetically, particularly in terms of the geographic distribution of its genetic diversity in its native range. The bulk of previous molecular research has sought to clarify the phylogenetic relationships of the aoudad with other Caprini (Curtain and Fudenberg, 1973; Manwell and Ann Baker, 1975, 1977; Hight and Nadler, 1976; Ludwig and Fischer, 1998; Mereu et al., 2008; Pirastru et al., 2009). Recent studies do not indicate a close affinity with either sheep (*Ovis* spp.) or goats (*Capra* spp.), but instead with the Arabian tahr (*Arabitragus jayakari*) and the chamois (*Rupicapra* spp.) (Hassanin et al., 2009; Peng et al., 2012; Jiang et al., 2013; Yang et al., 2013).

In Algeria, the largest country in Africa, the abundance and distribution of the aoudad in the north of the country have decreased significantly in the last decades, and the northern boundaries of natural populations generally coincide with the Saharan Atlas and the southern slopes of the Aurès Mountains (Kowalski and RzebiK-Kowalska, 1991; De Smet, 1997; Bounaceur et al., 2016). In response to this, and to promote the conservation and recovery of the species in northern Algeria, aoudads have been reintroduced into two protected areas: the Moutas hunting reserve, near Tlemcen in the western Tell Atlas, and the Djelfa hunting reserve, located in the Hauts Plateaux (De Smet, 1997; Bounaceur et al., 2016). Overall, despite the species being protected by national law since 1983, the remaining natural populations in northern Algeria are on the verge of extinction (Bounaceur et al., 2016). To the south of the Saharan Atlas, the aoudad occurs in the Provinces of Béchar and Ghardaïa, in the Tademaït Plateau, and in the Provinces of Tamanrasset and Illizi (Kowalski and RzebiK-Kowalska, 1991; De Smet, 1997). Populations in northern Algeria belong to the nominate subspecies *A. l. lervia* (type locality restricted to northwest Algeria by Harper, 1940) (Kowalski and RzebiK-Kowalska, 1991), to which Cassinello et al. (2008) have suggested that the populations in the Provinces of Béchar and Ghardaïa may also belong, whereas *A. l. sahariensis* is the subspecies present in the Tademaït Plateau, close to its type locality (Oued Mya; Rothschild, 1913), and further south in the country (Cassinello et al., 2008) (Fig. 1).

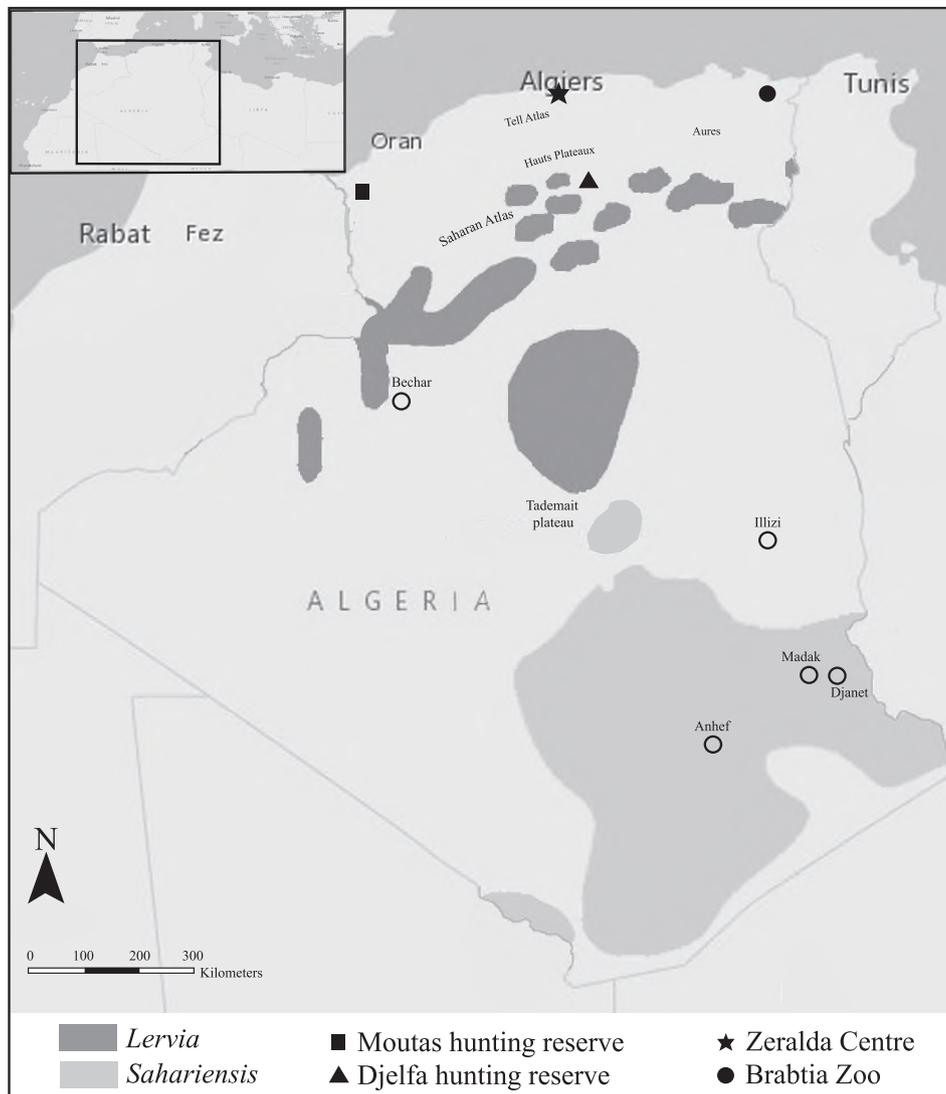
The study presented here contributes to our understanding of the geographic genetic structure of the aoudad in Algeria, and the degree of genetic differentiation and the geographic boundaries between the subspecies *A. l. lervia* and *A. l. sahariensis*. We used sequences of the mitochondrial Cytochrome *b* (*Cyt b*) gene of aoudad samples collected from the wild in the Algerian Sahara (in both the southeast and west of the country) and from semi-captive and captive populations in the north of Algeria. We also generated and analysed nuclear DNA sequences from four genes (casein kappa, *CSN3*; spectrin beta

nonerythrocytic 1, *SPTBN1*; thyroglobulin, *TG*; thyrotropin subunit beta, *TSHB*). These five genes were chosen because they have been used previously in phylogeographic and phylogenetic studies of caprines and other bovids (Matthee and Davis, 2001; Ropiquet and Hassanin, 2006; Hassanin and Ropiquet, 2007; Silva et al., 2017) and because aoudad sequences for these genes are available in public sequence databases. The inclusion of published aoudad sequences allowed us to extend the study to other areas of the species' native range, and to begin investigating its evolutionary history and examining its phylogeography and subspecific taxonomy across its distribution. This knowledge can guide conservation management actions, such as reintroductions, augmentations, and captive breeding.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Sampling and laboratory procedures

We gathered aoudad samples in Algeria from the wild in the provinces of Béchar in the west and Illizi and Tamanrasset in the southeast, from the semi-captive populations in the reserves of Djelfa and Moutas and the Cynegetic Centre of Zéralda, and from the Zoological Park of Brabtia d'El Kala (Table 1 and Fig. 1). We are not aware of official information on the origins of the animals in the semi-captive and captive populations; in the literature we only found reference to the origin of the population in the Moutas reserve as being the Algiers Zoo and an enclosure in El Hamma (Bounaceur et al., 2016). In any case, the results of this study are consistent with the hypothesis that aoudads in those semi-captive and captive populations in northern Algeria are derived from individuals caught from wild populations from the same region, which until recently were not as rare as they are today (Kowalski and RzebiK-Kowalska, 1991; Bounaceur et al., 2016). For the semi-captive and captive populations, the samples were muscle tissue from stored specimens, with the exception of the Djelfa Reserve where fresh faecal pellets from each different individual were collected immediately after observation of defecation. Samples from animals in the wild were recently deposited faecal pellet piles (excluding those that appeared to be from more than one individual) collected at sites indicated by local guides and visited and searched immediately after observation with binoculars of aoudads at the sites. Samples were preserved in absolute ethanol and stored at  $-20^{\circ}\text{C}$ . Total genomic DNA was extracted from tissue and faecal samples using the EZNA Tissue DNA kit (Omega Bio-Tek) and the PSP Spin Stool DNA Kit (Strattec), respectively. We amplified a fragment of 775 base pairs (bp) of the *Cyt b* gene with the primers L14724 (5'-TGATATGAAAAACCATCGTTG-3'; Irwin et al., 1991; Rebholz and Harley, 1999) and H15791 (5'-AATGTAGTTGTCTGGTC-3'; Fernandes et al., 2008). We also amplified fragments of the nuclear genes *CSN3* (736 bp; primers KCAS F2: 5'-GGTTTACATTATGAGCTA-3', and KCAS R: 5'-TTTGATGTCTCCTTAGAG-3'), *SPTBN1* (743 bp; primers SPTBN1 F2: 5'-GTGGAAGACCTGTACAG-3', and SPTBN1 R: 5'-AAAGCTCTTGGTAACAGA-3'), *TG* (850 bp; primers TG F: 5'-GCCCCAAGAAATGTGAGTC-3', and TG R: 5'-AGCACTGTTCTGAGCCTC-3'), and *TSHB* (667 bp; primers TH F: 5'-ATGTGGACAAGCAATGTC-3', and TH R: 5'-CTTGCCACACTTACAGCT-3'). Some of the nuclear primers are from previous studies with slight modifications (KCAS R: Schlieben et al., 1991; SPTBN1 R, TG F and TG R: Ropiquet and Hassanin, 2006), and the remaining ones were newly designed based on alignments of published sequences of Bovidae. Based on data retrieved from the University of California, Santa Cruz (UCSC) Genome Browser (<http://genome.ucsc.edu/>; Kent et al., 2002; Tyner et al., 2017), the four nuclear genes are located on different chromosomes in cattle (*Bos taurus*) and sheep (*Ovis aries*) (Zimin et al., 2009; Jiang et al., 2014), and thus they may also be unlinked in *A. lervia*. Polymerase chain reactions (PCR) were carried out in volumes of 15  $\mu\text{l}$  with 1x PCR Buffer (Qiagen), 2 mM  $\text{MgCl}_2$ , 0.2 mM of each dNTP (Bioline), 0.5  $\mu\text{M}$  of each primer, 0.6  $\mu\text{g}/\mu\text{l}$  bovine serum albumin (BSA; New England Biolabs), 0.75 U of HotStar Taq DNA Polymerase (Qiagen), and approximately



**Fig. 1.** Map showing the locations in Algeria where aoudad samples were collected for this study (see Table 1 for details). The black symbols indicate the semi-captive and captive populations in northern Algeria and the black open circles represent locations of samples from wild populations. Also shown are the possible distribution areas described in Cassinello et al. (2008) for the two aoudad subspecies recognized in Algeria. Major toponyms are also indicated. The inset shows Algeria's position in northwest Africa and in the Mediterranean region.

50 ng of DNA. Thermal cycling conditions consisted of an initial denaturation at 95 °C for 15 min, followed by 45 cycles of 30 s at 94 °C, 30 s at 50–55 °C, 1 min at 72 °C, and a final extension of 7 min at 72 °C. The results of the PCR amplifications were visualized on 2% agarose gels to verify PCR quality, and the PCR products were purified with an Exo-SAP protocol (Hanke and Wink, 1994; Werle et al., 1994) and sequenced at Macrogen Inc.

## 2.2. Data analyses

Sequences were edited, assembled and aligned using Sequencher 4.7 (Gene Codes Corporation). We downloaded available aoudad sequences from Genbank and included these in our alignments (Table 1 and S1). Sequence alignments were analysed with FaBox 1.5 (Villesen, 2007) to identify samples with identical sequences. File format conversions of sequence alignments for use in different computer programs were done using ALTER (Glez-Peña et al., 2010). As shown below in the Results section, variation in the four nuclear genes analysed was extremely low and its distribution across Algeria meant that subsequent analyses of phylogeographic structure would be ineffective; therefore we only performed statistical analyses on the *Cyt b* data.

To examine and visualize the genealogical and geographical relationships among the observed mtDNA haplotypes, median-joining networks (Bandelt et al., 1999) were constructed in PopART 1.7 (Leigh and Bryant, 2015). Trimming our *Cyt b* sequences to 627 bp allowed us to include some aoudad *Cyt b* sequences from Genbank, but in order to incorporate additional shorter sequences from diverse geographic origins, we created a smaller alignment of 376 bp (Table 1). The second set of published sequences included 30 samples from Tunisia, corresponding to two haplotypes, and eight samples from Morocco of a single haplotype. We used outgroup rooting (Jansen et al., 2002; Cassens et al., 2003; Dubach et al., 2013) to estimate the ancestral node of the ingroup. We also estimated networks including an ancestral sequence of the aoudad sample studied, as inferred based on a comprehensive phylogenetic dataset of Caprini *Cyt b* sequences (Table S2) and using the marginal reconstruction algorithm of the FastML web server (<http://fastml.tau.ac.il/>; Ashkenazy et al., 2012). For comparison, the ancestral sequence was also reconstructed through a Bayesian stochastic character mapping approach implemented in SIMMAP 1.5.2 (Bollback, 2006).

To assess the presence of mitochondrial clades within *A. lervia* and, if present, to compare their patristic distances to those among other

**Table 1**Information on the aoudad samples and *Cyt b* sequences used in this study. An asterisk (\*) indicates countries where the species is non-native.

Sample code	Country	Sampling location	Haplotype (702 bp alignment)	Haplotype (627 bp alignment)	Haplotype (376 bp alignment)	GenBank accession number	Reference
M2	Algeria	Moutas Reserve	H1	H1	H1	MN641980	This study
M3	Algeria	Moutas Reserve	H1	H1	H1	MN641980	This study
M7	Algeria	Moutas Reserve	H1	H1	H1	MN641980	This study
M8	Algeria	Moutas Reserve	H1	H1	H1	MN641980	This study
M9	Algeria	Moutas Reserve	H1	H1	H1	MN641980	This study
M10	Algeria	Brabtia Zoo	H1	H1	H1	MN641980	This study
M11	Algeria	Béchar Province	H2	H2	H5	MN641981	This study
M14	Algeria	Illizi District	H3	H3	H6	MN641982	This study
M15	Algeria	Béchar Province	H2	H2	H5	MN641981	This study
M16	Algeria	Béchar Province	H2	H2	H5	MN641981	This study
M17	Algeria	Béchar Province	H2	H2	H5	MN641981	This study
M18	Algeria	Béchar Province	H2	H2	H5	MN641981	This study
M19	Algeria	Béchar Province	H4	H4	H7	MN641983	This study
M20	Algeria	Béchar Province	H2	H2	H5	MN641981	This study
M21	Algeria	Béchar Province	H2	H2	H5	MN641981	This study
M22	Algeria	Zéralda Centre	H1	H1	H1		This study
M23	Algeria	Béchar Province	H5	H5	H7	MN641984	This study
M25	Algeria	Djanet District	H3	H3	H6	MN641982	This study
M26	Algeria	Madak, Djanet District	H3	H3	H6	MN641982	This study
M27	Algeria	Madak, Djanet District	H6	H6	H8	MN641985	This study
M28	Algeria	Madak, Djanet District	H3	H3	H6	MN641982	This study
M29	Algeria	Madak, Djanet District	H6	H6	H8	MN641985	This study
M31	Algeria	Anhef, Tamanrasset Province	H3	H3	H6	MN641982	This study
1_Djelfa	Algeria	Djelfa Reserve	H1	H1	H1	MN641980	This study
2_Djelfa	Algeria	Djelfa Reserve		H1	H1		This study
3_Djelfa	Algeria	Djelfa Reserve	H1	H1	H1	MN641980	This study
4_Djelfa	Algeria	Djelfa Reserve	H1	H1	H1	MN641980	This study
5_Djelfa	Algeria	Djelfa Reserve	H1	H1	H1	MN641980	This study
6_Djelfa	Algeria	Djelfa Reserve	H1	H1	H1	MN641980	This study
7_Djelfa	Algeria	Djelfa Reserve	H1	H1	H1	MN641980	This study
	Egypt	Mansoura Zoo	H3	H3	H6	EF466060	Mereu et al. 2008
	Niger				H6	= EF466060	Silva et al. 2015
	Algeria	Semi-captive in northern Algeria			H1	KM582123	Silva et al. 2015
	Algeria	Semi-captive in northern Algeria			H2	KM582126	Silva et al. 2015
	Algeria	Semi-captive in northern Algeria			H3	KM582125	Silva et al. 2015
	Tunisia				H4	KM582124	Silva et al. 2015
	Tunisia				H1	KM582123	Silva et al. 2015
	Morocco				H9	= FJ207522	Silva et al. 2015
	Spain*	“La Hoya” Field Station, Almería			H9	= FJ207522	Silva et al. 2015
	Spain*	“La Hoya” Field Station, Almería			H1	KM582123	Silva et al. 2015
		Vincennes Zoo, Paris	H7	H8	H9	FJ207522	Hassanin et al. 2009
		MNHN, Paris		H8	H9	AF034731	Hassanin et al. 1998
				H1	H1	FJ556568	Unpublished
				H7	H5	KU165683	Unpublished

caprine species, we constructed phylogenetic trees based on the above-mentioned Caprini *Cyt b* dataset (Table S2). Prior to tree building, we tested for substitution saturation using the index  $I_{ss}$  of Xia et al. (2003) in DAMBE 6.4.40 (Xia, 2017). Substitution saturation was also assessed in DAMBE by plotting the numbers of transitions and transversions against corrected genetic distance for all pairwise sequence comparisons in the dataset, with an asymptotic relationship indicating the presence of saturation. Both the substitution saturation analyses and the tree reconstructions (see below) were conducted considering the *Cyt b* data partitioned by codon position, as this was the best-fit partitioning scheme according to the corrected Akaike information criterion (AICc) (Akaike, 1974; Sugiura, 1978; Hurvich and Tsai, 1989) in PartitionFinder 2.1.1 (Lanfear et al., 2016) using PhyML (Guindon et al., 2010). The corrected genetic distances used in the saturation plots were calculated under the Tamura-Nei model of nucleotide substitution (TN93; Tamura and Nei, 1993), as this was selected by PartitionFinder for each of the codon positions. Phylogenetic analyses were performed using Bayesian inference (BI) and maximum likelihood (ML) as

implemented in MrBayes 3.2.6 (Ronquist et al., 2012) and RAxML 8.2.11 (Stamatakis, 2014), respectively. Analyses in MrBayes were conducted with two parallel runs, each with four Markov chains (one cold and three heated), default heating parameter ( $t = 0.1$ ), and 20 million generations. The first five million generations were discarded as burn-in and, thereafter, chains were sampled every 500 generations. The entire general time-reversible (GTR; Lanave et al., 1984) substitution model space was sampled within the analyses (Huelsenbeck et al., 2004). Convergence was indicated by an average standard deviation of split frequencies between parallel runs of less than 0.01. For all model parameters, the effective sample size (ESS) was greater than 900 and the potential scale reduction factor (PSRF) was 1.0. Support for tree nodes was determined according to the values of Bayesian posterior probability (BPP) obtained in a majority-rule consensus tree (Holder et al., 2008; Huggins et al., 2011). In RAxML we used a random starting tree, a GTR +  $\Gamma$  model of sequence evolution for each partition, and support for each node was evaluated by 1000 bootstrap replicates (Felsenstein, 1985). Majority-rule consensus trees (Berry and Gascuel,

1996; Holder et al., 2008) were computed with SumTrees 4.4.0 of the DendroPy library version 4.4.0 (Sukumaran and Holder, 2010) and visualized and edited with FigTree 1.4.4 (available at <https://github.com/rambaut/figtree/releases>).

Pairwise nucleotide substitution distances between *Cyt b* haplotypes of aoudad and other caprine species were calculated in Mega 10.0.5 (Kumar et al., 2018) under the TN93 model, the one selected from among those available in the software using the Bayesian information criterion (BIC; Schwarz, 1978), and accounting for heterogeneity of substitution pattern among lineages (Tamura and Kumar, 2002). Standard errors (SE) were estimated by bootstrap using 1000 replicates. The TN93 model provides good estimates of genetic distance ( $d$ ), regardless of nucleotide substitution patterns, when  $d < 0.5$  (Tamura and Kumar, 2002). Since in studies of mammals, genetic distances for *Cyt b* data are often given as estimated using Kimura's (1980) two-parameter model (K2P) (e.g. Johns and Avise, 1998; Bradley and Baker, 2001), we also calculated K2P distances, again considering uniform substitution rates among sites. For each aoudad mitochondrial clade, we computed the number of segregating sites ( $S$ ), the number of haplotypes ( $n_H$ ), haplotype diversity ( $h$ ), nucleotide diversity ( $\pi$ ), Tajima's  $D$  (Tajima, 1989a) and Fu's  $F_S$  (Fu, 1997) in ARLEQUIN 3.5.2.2 (Excoffier and Lischer, 2010). We also calculated in DnaSP 5.10.1 (Librado and Rozas, 2009) the  $R_2$  statistic (Ramos-Onsins and Rozas, 2002), which may be more powerful than Fu's  $F_S$  and Tajima's  $D$  for detecting demographic growth with small sample sizes ( $n$ ) (Ramos-Onsins and Rozas, 2002; Sano and Tachida, 2005). We did not use tests based on the mismatch distribution (Rogers and Harpending, 1992; Harpending, 1994) because they may have high Type II error rates (Ramos-Onsins and Rozas, 2002).

We estimated divergence time between aoudad clades based on net average *Cyt b* sequence divergence per site ( $d_A$ ) (Nei and Li, 1979; Nei, 1987) and using the equation  $d_A = 2\mu T$  (Nei, 1987), where  $\mu$  is the average substitution rate per site and  $T$  is the time since divergence. The substitution rate was derived as described in the following. Given our observed *Cyt b* divergence between aoudad and its closest relative, the Arabian tahr, and published estimates of their divergence time (about  $5 \pm 1$  Ma ago) (Ropiquet and Hassanin, 2005a, 2006; Bibi, 2013), we obtained a substitution rate using equation  $d_{xy} = 2\mu T$ , where  $d_{xy}$  is the average sequence divergence per site (Nei, 1987). For both intraspecific and interspecific comparisons, sequence divergence calculations were performed in Mega under the respective best-fit available substitution model selected by BIC. Tajima's test (1993), as implemented in Mega, was applied to evaluate the assumption of equal rates between aoudad clades, using the Arabian tahr as outgroup, and between aoudad and Arabian tahr, with the Pyrenean chamois *Rupicapra pyrenaica* as outgroup.

Divergence time between aoudad *Cyt b* clades was also estimated under two isolation models, one allowing diverging populations to have different initial sizes and varying over time, as implemented in IM (Hey and Nielsen, 2004; Hey, 2005), and the other not, conducted in IMA2 (Hey and Nielsen, 2007). Both IM and IMA2 are based on Markov chain Monte Carlo (MCMC) simulations of gene genealogies. In IM we ran 10 Metropolis-coupled chains, with 10 steps between record keeping and 10 genealogy updates per step, for 20 million MCMC steps after a burn-in of one million steps; the scalars for the upper bound on the prior distribution of the  $\theta$  parameters were 100 and for the upper bound on the prior distribution of the time of population splitting ( $t$ ) was 60. In IMA2 we also ran 10 Metropolis-coupled chains, with 100 steps between genealogy saving, sampling 200,000 genealogies after a burn-in of one million steps; the values for the upper bound on the prior distribution of the  $\theta$  parameters were 500 and for the upper bound on the prior distribution of  $t$  was 60. In both IM and IMA2, the upper bounds for the priors of the  $\theta$  and  $t$  parameters were chosen based on preliminary runs with different prior distributions, until they included the tails of the posterior distributions. In the final analyses, we used 45 chain swap attempts per step, a geometric heating scheme, the Hasegawa-Kishino-

Yano (HKY) (Hasegawa et al., 1985) nucleotide substitution model, and four independent runs with different starting seeds to verify convergence of parameter estimates. MCMC convergence and mixing of individual runs were assessed by examination of parameter trend line plots and ESS values. To convert estimates of the time since splitting into years we used the average substitution rate estimate obtained as described above. We also tried to estimate the divergence time between aoudad clades using the coalescent method described by Gaggiotti and Excoffier (2000), as implemented in ARLEQUIN, but the results were not statistically significant. This method aims to remove both the effects of bottlenecks at the time of divergence and unequal genetic drift due to unequal sizes of the descendant populations, as they can lead to over-estimation of divergence times from genetic distances, and is robust to population growth after divergence.

We estimated coalescence time of aoudad clades based on Bayesian relaxed phylogenetic analyses of the Caprini *Cyt b* dataset conducted in BEAST 1.8.4 (Drummond et al., 2012). All BEAST input files were created in BEAUti, available in the BEAST package. The alignment was partitioned by codon position, and each partition was analysed using the substitution model selected by jModelTest 2.1.10 (Darriba et al., 2012) (according to codon position: TN93 with equal base frequencies +  $\Gamma$ ; HKY + I; TN93 +  $\Gamma$  + I). Soft-bound calibration priors were normally distributed with a mean of 10.1 Ma and a standard deviation of 1.5 Ma for the age of the root of the tree, based on published estimates for the age of the clade Caprini + *Panthalops* (Bibi, 2013; see also Ropiquet and Hassanin, 2005a,b; Hassanin et al., 2012), and a mean of 8.9 Ma and a standard deviation of 1.5 Ma for the age of crown Caprini, a calibration point based on the fossil taxon *Araçaraçu mudejar* (Alcalá and Morales, 1997; Van Dam et al., 2001) and that has been used in previous molecular dating studies of bovids (Pérez et al., 2014; see also Additional File 1 of Bibi, 2013). Note that here we follow Bibi (2013) in excluding *Panthalops* from Caprini as defined by Hassanin and Douzery (1999). Calibrations at deeper nodes generally lead to more accurate and precise rate and date estimates (Duchêne et al., 2014). We also conducted analyses using an additional calibration based on an estimated age of the oldest known *Ovis* fossils at approximately 2.42 Ma (Mead and Taylor, 2005), which again has been used before in divergence time studies of caprines (Ropiquet and Hassanin, 2006; Rezaei et al., 2010). Previous genetic estimates of the time of origin of the genus *Ovis* have ranged between 2.1 and 3.1 Ma (Ropiquet and Hassanin, 2005a; Lalueza-Fox et al., 2005; Bunch et al., 2006; Sanna et al., 2015). The prior on the age of the node was set to a lognormal distribution with a mean of 2.42, log standard deviation of 1.0, and an offset of 1.0. Because the monophyly of Caprini sensu Bibi (2013) is well established (Hassanin et al., 2009; Bibi, 2013), we enforced the monophyly of the group. When calibrated nodes have enforced monophyly, the marginal prior distribution may be a much better match to the calibration density (Heled and Drummond, 2012). Analyses began with a random starting tree, and employed either the Yule process (Yule, 1925; Gernhard, 2008) or the calibrated Yule (Heled and Drummond, 2012) as tree priors; in the latter, the construction of the Yule prior is conditional on calibrated node height. The Yule birth rate prior was set to an exponential distribution with an initial value and mean of 0.3, according to the expected rate for a tree with 39 tips and an assumed height of 10.1 Ma, as calculated using the Python script 'yule.py' (written by Jamie Oaks and available at <https://github.com/joaks1/pyule>). Substitution rate variation among lineages was modeled with uncorrelated rates drawn from a lognormal distribution (UCLN model, Drummond et al., 2006). The hypothesis of equal evolutionary rate throughout the Caprini *Cyt b* tree was rejected ( $P = 1.337 \times 10^{-9}$ ) by the likelihood ratio test of the molecular clock in Mega. However, in all the UCLN analyses the estimated coefficient of variation of the branch rates was relatively low (0.112–0.122) and although the 95% highest posterior density (HPD) intervals did not include zero (range:  $1.373 \times 10^{-6}$ –0.299) the frequency histograms were abutting against it, indicating that the data are quite clock-like. In these cases, using a

strict molecular clock may increase the precision of divergence date estimates (Ho et al., 2005a; Brown and Yang, 2011) and topological inference (Drummond et al., 2006). Therefore, we also performed analyses with a strict clock (SC). Both the priors on the mean branch rate (*ucl.d.mean*) in the UCLN analyses and on the substitution rate (*clock.rate*) in the SC analyses were set to a broad exponential distribution with an initial value and mean of 0.05. Finally, we set the prior of the relative rates among codon positions to a uniform distribution (0, 1.0E100) with an initial value of 1, the prior on the gamma shape parameter ( $\alpha$ ) for the third codon position to an exponential distribution with a mean of 10.0 and an initial value of 7.0 (in accordance with the  $\alpha$  value estimated by jModelTest for third codon positions), and left other priors at default settings. For each combination of calibration points, tree prior and clock model, we ran four independent MCMC analyses, each with 50 million generations and sampled every 5000 generations following a pre-burnin of 10%. We also performed MCMC analyses without sequence data to obtain estimates from the prior distribution and test the influence of priors on posterior distributions (Drummond et al., 2006; Barba-Montoya et al., 2017; Brown and Smith, 2018; Bromham et al., 2018); three independent runs of 50 million generations each were carried out under each combination of calibration points, tree prior and clock model. For each analysis, we used Tracer 1.7.1 (Rambaut et al., 2018), with a default burn-in of 10% of the chain length, to assess convergence of the chain to the stationary distribution, obtain estimates and ESS of parameters, and plot marginal posterior densities. After verifying convergence, and confirming that posterior distributions of estimates were markedly different from the prior distributions (with the exception of age estimates for the calibration nodes; Brown and Smith, 2018), the tree files from the four runs with data were combined using SumTrees, with the first 25% (2500) trees from each run discarded as burn-in, into a maximum clade credibility (MCC) tree with median node heights. This method has a good overall performance, in terms of accuracy in estimating ages and model fit, compared to other tree summary approaches (Heled and Bouckaert, 2013; Bromham et al., 2018).

Uncorrelated relaxed clock models may underperform in the presence of significant rate autocorrelation among lineages (Lepage et al., 2007; Battistuzzi et al., 2010; Dornburg et al., 2012). We assessed rate autocorrelation in the Caprini *Cyt b* dataset using two methods. First, we examined in Tracer the covariance between parent and child branch rates in the UCLN analyses; if the 95% HPD interval for the covariance statistic contains zero, then there is no strong evidence of autocorrelation of rates in the phylogeny (Drummond et al., 2006). However, this method may lack power to detect rate autocorrelation (Battistuzzi et al., 2010; Ho et al., 2015). Hence, we also evaluated rate autocorrelation using a recently developed powerful machine learning method, CorrTest (Tao et al., 2019), available in Mega.

There is now a 'fourth generation' of molecular clock dating approaches (Kumar and Hedges, 2016), which allow rates to vary from branch to branch but do not require prior selection of a statistical model to describe the rate variation or the specification of a branching process model (Kumar and Hedges, 2016). The application of different molecular clock methods allows increasing confidence in the accuracy (i.e. closer to the true divergence time) of congruent results (Battistuzzi et al., 2010; Mello et al., 2017). Thus, times to most recent common ancestor (TMRCA) were also estimated using the RelTime method (Tamura et al., 2012) in Mega. RelTime is based on a relative rate framework and does not assume either a specific model for lineage rate variation or an underlying diversification process (Battistuzzi et al., 2018; Tamura et al., 2018). It has been benchmarked against Bayesian divergence time analyses, and generally yielded very similar time estimates (Mello et al., 2017). Moreover, it may be particularly useful when the distribution of evolutionary rates differs among clades or when clocks are local (Tamura et al., 2018). The RelTime-ML timetree was computed using a MCC tree with median node heights from the MrBayes analysis and a TN93 +  $\Gamma$  + I substitution model, the one

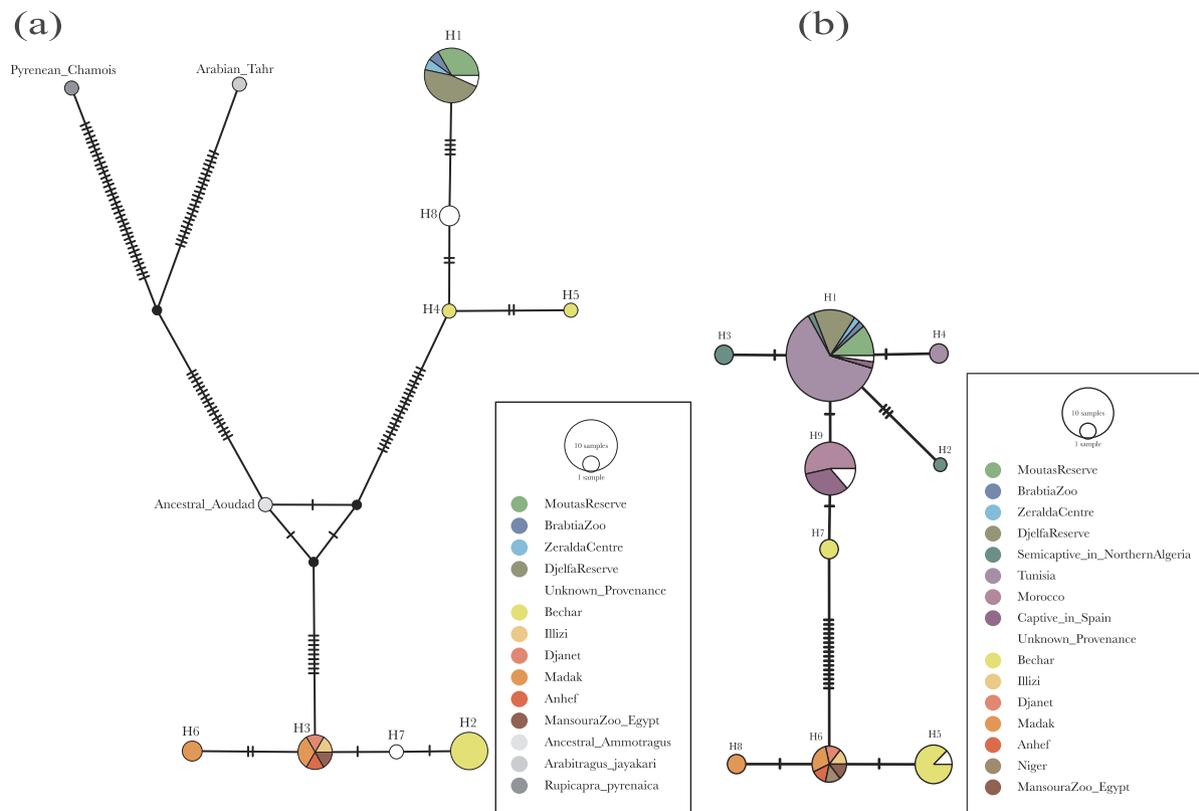
selected by BIC as the best-fitting among those available in Mega. The MCC tree had an identical topology to the extended majority-rule consensus tree from the MrBayes analysis (see below). Analyses were done both using the Caprini MRCA (hard minimum and maximum bounds of 7 and 11 Ma, respectively) as a single calibration constraint or in conjunction with the *Ovis* MRCA (hard minimum and maximum bounds of 1.5 and 3.5 Ma, respectively) as an additional calibration. Mega does not use calibrations located in a clade containing the outgroup(s) because that would require an assumption of equal rates of evolution between the ingroup and outgroup sequences (Kumar et al., 2016).

### 3. Results

#### 3.1. Genetic variation, haplotype relationships and phylogenetic analyses

The distinct aoudad DNA sequences generated in this study have been deposited in GenBank under accession numbers MN641980-MN641999 (Tables 1 and S1). From the *Cyt b* sequences, maximizing the number of individuals included as well as sequence length, we obtained an alignment of 702 bp with 39 (5.6%) variable sites, of which 37 (5.3%) were parsimony informative and two (0.3%) were singletons. Several observations indicate that the *Cyt b* sequences produced were mitochondrial and not nuclear-integrated copies of mtDNA (Zhang and Hewitt, 1996; Bensasson et al., 2001). First, the PCR consistently yielded a single product of the expected size. Second, they were unambiguous and highly similar to published homologous sequences of *A. lervia*. Third, they did not contain indels or stop codons. Lastly, they showed a bias against guanine at third codon positions (4% of guanines compared with 24.8 and 14.5% at first and second codon positions, respectively) and against second codon position substitutions (average ML pairwise distance of 0.3% compared with 1% and 9.5% at first and third codon positions, respectively). The four nuclear gene fragments showed low levels of variation. The numbers of polymorphic sites in the samples across Algeria in the analysed fragments of the genes *CSN3*, *SPTBN1*, *TG* and *TSHB* were, respectively, 2, 6, 1 and 2, but in the latter three genes all homozygous individuals at any variable site had the same nucleotide substitution. In fact, for all nuclear genes there were common haplotypes between northern and southern Algeria (Table S1).

In the median-joining network analysis of *Cyt b* data to investigate phylogeographic patterns in the aoudad, trimming our sequences to 627 bp allowed to include a few sequences from GenBank, but in order to incorporate additional shorter sequences of known geographic origin, a smaller alignment of 376 bp was constructed. The two sets of aoudad sequences contained, respectively, 37 (5.9%) and 24 (6.4%) variable sites, of which 35 (5.6%) and 21 (5.6%) were parsimony informative, and two (0.3%) and three (0.8%) were singletons. The networks revealed two major aoudad phylogroups separated by a large number of mutations (Fig. 2). The minimum number of mutational steps between haplotypes from the two phylogroups in the 627-bp and 376-bp networks was 30 and 16, respectively. The two phylogroups were disconnected in a statistical parsimony analysis (Templeton et al., 1992), even with a relatively liberal connection limit of 0.9 for the probability of parsimony, as implemented in the software TCS (Clement et al., 2000); a result that often indicates the presence of distinct evolutionary lineages in studies using protein-coding mitochondrial genes (Hart and Sunday, 2007). Within Algeria, this main partition can be seen as corresponding to a significant north-south genetic differentiation (Fig. 2a). When the analysis was extended to include published aoudad sequences from other areas in the native range, the general pattern observed appears to actually reflect a Mediterranean-Saharan break (Fig. 2b). One of the two phylogroups was found across the Algerian Sahara (Béchar, Illizi and Tamanrasset provinces), in Niger, and in one specimen in the Mansoura Zoo in Egypt, whereas the other was the only one found in northern Algeria (semi-captive and captive populations), Morocco and Tunisia; the latter phylogroup was also



**Fig. 2.** Median-joining networks of (a) 627-bp and (b) 376-bp aoudad *Cyt b* haplotypes. The first contains 35 aoudad sequences and is rooted with two outgroups, Arabian tahr and Pyrenean chamois, and an inferred ancestral aoudad sequence; the second contains 84 aoudad sequences. Circles represent haplotypes and their size is proportional to frequency. Circles are coloured according to where haplotypes were found and to their relative frequency. Small black circles represent hypothetical haplotypes. Dashes on lines connecting haplotypes represent the number of nucleotide substitutions separating them. Haplotype designations and further information are given in Table 1.

detected in the Béchar Province (Fig. 2b). Given the overall geographic distribution of the two phylogroups, the first is hereafter referred as ‘Saharan’ and the second as ‘Mediterranean’. Based on the 627 bp dataset, the inferred ML ancestral aoudad sequence was more similar to the Saharan phylogroup (Fig. 2a). The ancestral sequence reconstructed using Bayesian character mapping agreed with that estimated by marginal ML reconstruction. Rooting with only the outgroups (Arabian tahr and Pyrenean chamois) also suggest that Saharan phylogroup haplotypes are the most ancestral in the aoudad sample (Fig. S2).

To examine for the presence of aoudad clades, we constructed phylogenetic trees based on a comprehensive dataset of Caprini *Cyt b* sequences (Table S2) that were trimmed and added to the aoudad alignment of 702 bp. The resulting alignment had 268 (38.2%) variable sites, of which 209 (29.8%) were parsimony informative and 59 (8.4%) were singletons. Before tree estimation, we tested for substitution saturation. There was no evidence for substantial substitution saturation at any codon position, as the observed  $I_{ss}$  was always significantly lower than the critical value ( $P = 0.00$ ), except for third codon positions when the  $I_{ss}$  test was performed assuming an asymmetrical topology ( $I_{ss} < I_{ss \cdot cAsym}$ ,  $P = 0.18$ ), which clearly does not match the tree we inferred (see below). For each of the three codon positions, the slope and coefficient of determination ( $r^2$ ) of the linear regression between the numbers of transitions and corrected genetic distance for all pairwise sequence comparisons in the dataset were, respectively: 0.86, 0.97; 0.96, 1; 0.18, 0.68. The *Cyt b* BI (Fig. 3) and ML (Fig. S3) consensus trees were very similar. Both topologies recovered the clades *Ammotragus* + *Arabitragus* + *Rupicapra*, *Capra* + *Hemitragus* + *Pseudois* + *Budorcas*, *Nilgiritragus* + *Ovis*, and *Capricornis* + *Naemorhedus* + *Ovibos*, which have been found in previous phylogenetic studies of caprines (Ropiquet and Hassani, 2005a;

Hassani et al., 2009; Bibi, 2013). In each of the analyses the values of BPP and bootstrap proportions, respectively, strongly supported the two phylogroups inferred from the median-joining network (‘Mediterranean’ and ‘Saharan’) as clades. Inspection of the branch lengths in both the BI and ML phylograms indicates that divergence between the two aoudad clades is larger or at least comparable to that among species within *Capra*, *Capricornis*, *Naemorhedus*, *Ovis*, *Pseudois*, or *Rupicapra*. This is confirmed by estimates of genetic distance between sequences under the TN93 (Table S3) and the K2P (Table S4) models. The TN93 pairwise distances, expressed as percent nucleotide substitutions, between the aoudad clades were 4.7–5.4%, while among congeneric species of *Capra* (excluding the problematic *Capra sibirica*, Ropiquet and Hassani, 2005a, 2006), *Capricornis*, *Ovis*, *Pseudois*, and *Rupicapra*, they were, respectively, 2.2–6.0%, 0.6–6.1%, 2.2–6.8%, 1.4%, and 5.3%. The corresponding K2P distances were 4.6–5.4%, 2.2–6.0%, 0.6–6.0%, 2.2–6.7%, 1.4%, and 5.2%, respectively. In terms of amino acid divergence, the numbers of amino acid differences between sequences were 3–5, 2–8, 1–5, 0–3, 2, and 5, respectively (Table S5). Two of the amino acid differences among aoudads were fixed between the Mediterranean and Saharan clades, with phenylalanine versus leucine at residue 121 (nucleotide positions 361–363) and alanine versus threonine at residue 122 (nucleotide positions 364–366), respectively. At these sites, the amino acid states found in the Saharan clade were identical to those observed in *Arabitragus* and *Rupicapra*.

The values of haplotype diversity, nucleotide diversity, Tajima’s  $D$ , Fu’s  $F_s$  and Ramos-Onsins and Rozas’  $R_2$  for the Mediterranean and Saharan clades were, respectively, as follows:  $0.37 \pm 0.15$ ,  $0.65 \pm 0.07$ ;  $0.003 \pm 0.002$ ,  $0.002 \pm 0.002$ ;  $-0.49$  ( $P = 0.35$ ),  $0.86$  ( $P = 0.81$ );  $1.48$  ( $P = 0.81$ ),  $2.0$  ( $P = 0.86$ ); and  $0.13$  ( $P = 0.26$ ),  $0.20$  ( $P = 0.80$ ) (Table 2). Based on the shorter 376 bp alignment



**Fig. 3.** Majority-rule consensus phylogram (cut-off 0.7) from the Bayesian inference analysis of the 702-bp caprine *Cyt b* haplotypes. See Table 1 and S2 for haplotype information. Numbers above branches are Bayesian posterior probabilities. Numbers within black circles at nodes are keyed to the numbers in the first column of Tables 3 and 4. The identified ‘Mediterranean’ and ‘Saharan’ aoudad clades are also indicated.

containing more sequences, the values of  $h$ ,  $\pi$ , Tajima’s  $D$ , Fu’s  $F_S$  and Ramos-Onsins and Rozas’  $R_2$  for the Mediterranean and Saharan phylogroups were, respectively, as follows:  $0.50 \pm 0.06$ ,  $0.63 \pm 0.07$ ;  $0.002 \pm 0.002$ ,  $0.002 \pm 0.002$ ;  $-1.39$  ( $P = 0.07$ ),  $0.67$  ( $P = 0.79$ );  $-2.07$  ( $P = 0.11$ ),  $0.45$  ( $P = 0.55$ ); and  $0.07$  ( $P = 0.21$ ),  $0.19$  ( $P = 0.68$ ) (Table 2).

### 3.2. Divergence time estimation

Tajima’s test did not reject the hypothesis of equal substitution rates for *Cyt b* among aoudad lineages and Arabian tahr ( $P > 0.05$ ). The estimated *Cyt b*  $d_{xy}$  between aoudad and Arabian tahr, using a TN93 +  $\Gamma$  ( $\alpha = 0.14$ ) substitution model, was  $0.171 \pm 0.050$ ; approximating the 95% confidence interval (CI) as  $\pm 2$  SE (e.g. Eizirik et al., 2001; Tchaicka et al., 2007), gives a 95% CI of 0.071–0.271. This *Ammotragus* - *Arabitragus* average divergence, and assuming that they had their MRCA at  $5 \pm 1$  Ma ago, yields a substitution rate of 1.71%

per Ma; integrating divergence estimation error and calibration uncertainty results in an overall range for the substitution rate estimate of 0.59–3.39% per Ma. Given the substitution rate of 1.71% per Ma, the estimated  $d_A$  between the Mediterranean and Saharan aoudad clades ( $0.045 \pm 0.009$ ; based on the TN93 model; the  $d_{xy}$  was  $0.050 \pm 0.009$ ) corresponds to a divergence time of 1.316 Ma (95% CI: 0.789–1.842 Ma). Taking into account the overall uncertainty about the substitution rate (0.59–3.39% per Ma), we obtain the following conservative interval for the divergence time estimate between the two aoudad clades: 0.398–5.339 Ma. Based on the above substitution rate estimate (1.71% per Ma) and using the equation  $d_x = 2\mu T$  (Wilson et al., 1985), where  $d_x$  is the average pairwise divergence per site within a group of sequences (Nei, 1987), the coalescence times of the clades ‘Mediterranean’ ( $d_x = 0.006 \pm 0.002$ ) and ‘Saharan’ ( $d_x = 0.004 \pm 0.002$ ) were estimated at 0.175 Ma (95% CI: 0.058–0.292 Ma) and 0.117 Ma (95% CI: 0.004–0.234 Ma; lower limit was calculated without rounding the  $d_x$  value to three decimal places),

**Table 2**

Estimates of genetic diversity and mutation-drift equilibrium tests for the overall sets of aoudad *Cyt b* sequences analysed and for each of the two clades identified in this study, based on two alignments with different sequences and lengths.

	S	n <sub>H</sub>	h	$\pi$	D	F <sub>S</sub>	R <sub>2</sub>
Overall							
702 bp dataset (n = 30)	39	7	0.763 ± 0.051	0.025 ± 0.013	2.904 (P = 1.000)	13.227 (P = 1.000)	0.224 (P = 1.000)
376 bp dataset (n = 84)	24	9	0.671 ± 0.048	0.017 ± 0.009	1.035 (P = 0.883)	6.400 (P = 0.954)	0.133 (P = 0.899)
Mediterranean Clade							
702 bp dataset (n = 15)	8	4	0.371 ± 0.153	0.003 ± 0.002	-0.489 (P = 0.348)	1.484 (P = 0.807)	0.132 (P = 0.264)
376 bp dataset (n = 67)	7	6	0.503 ± 0.060	0.002 ± 0.002	-1.394 (P = 0.066)	-2.074 (P = 0.106)	0.066 (P = 0.205)
Saharan Clade							
702 bp dataset (n = 15)	4	3	0.648 ± 0.072	0.002 ± 0.002	0.864 (P = 0.809)	1.997 (P = 0.864)	0.195 (P = 0.800)
376 bp dataset (n = 17)	2	3	0.632 ± 0.066	0.002 ± 0.002	0.669 (P = 0.785)	0.446 (P = 0.552)	0.188 (P = 0.682)

n, number of samples; S, number of segregating sites; n<sub>H</sub>, number of haplotypes; h, haplotype diversity;  $\pi$ , nucleotide diversity; D, Tajima’s D statistic (Tajima, 1989a); F<sub>S</sub>, Fu’s F<sub>S</sub> statistic (Fu, 1997); R<sub>2</sub>, Ramos-Onsins and Rozas’ R<sub>2</sub> statistic (Ramos-Onsins and Rozas, 2002); P, p-value of the test.

**Table 3**

TMRCAs point estimates (medians of the posterior distributions) and 95% highest posterior density (HPD) intervals, in millions of years ago (Ma), from the BEAST analyses of *Cyt b* using different tree priors (Yule or calibrated Yule) and clock models (UCLN or strict) and two or three calibration points. The numbers in the first column correspond to the node numbers in Fig. 3.

Node in Fig. 3	Clade/Split	Point estimates; 95% HPD intervals			
		Yule; UCLN 2 calibration points	Yule; strict clock 2 calibration points	Calibrated Yule; UCLN 2 calibration points	Calibrated Yule; strict clock 2 calibration points
1	<i>A. lervia</i>	2.620; 1.598–3.827	2.664; 1.699–3.800	2.804; 1.634–4.120	2.837; 1.749–4.078
2	'Mediterranean' aoudad	0.372; 0.149–0.666	0.369; 0.158–0.651	0.394; 0.165–0.720	0.392; 0.169–0.712
3	'Saharan' aoudad	0.255; 0.067–0.528	0.256; 0.074–0.527	0.272; 0.068–0.560	0.272; 0.072–0.555
4	<i>Ammotragus</i> + <i>Arabitragus</i>	4.859; 3.262–6.665	4.950; 3.394–6.636	5.193; 3.432–7.229	5.245; 3.542–7.179
5	<i>Ammotragus</i> + <i>Arabitragus</i> + <i>Rupicapra</i>	6.822; 4.868–8.861	6.903; 5.019–8.871	7.240; 5.058–9.552	7.298; 5.193–9.575
6	<i>Rupicapra</i>	2.311; 1.285–3.489	2.329; 1.456–3.447	2.456; 1.382–3.782	2.475; 1.461–3.666
7	<i>Budorcas</i> + <i>Pseudois</i> + <i>Capra</i> + <i>Hemitragus</i>	7.105; 5.205–8.975	*	7.527; 5.390–9.727	*
8	<i>Pseudois</i>	0.557; 0.222–0.992	0.557; 0.249–0.969	0.593; 0.233–1.057	0.591; 0.244–1.025
9	<i>Capra</i> + <i>Hemitragus</i>	4.783; 3.235–6.537	4.839; 3.398–6.533	5.104; 3.368–7.114	5.148; 3.503–7.064
10	<i>Capra sensu stricto</i>	2.382; 1.600–3.315	2.377; 1.625–3.230	2.539; 1.649–3.597	2.537; 1.714–3.517
11	<i>C. ibex</i> + <i>C. pyrenaica</i>	0.818; 0.401–1.325	0.829; 0.432–1.311	0.872; 0.428–1.436	0.881; 0.450–1.412
12	<i>Nilgiritragus</i> + <i>Ovis</i>	4.539; 3.038–6.215	4.487; 3.054–6.035	4.821; 3.085–6.657	4.763; 3.219–6.539
13	<i>Ovis</i>	3.066; 2.088–4.279	3.077; 2.153–4.195	3.265; 2.090–4.551	3.269; 2.175–4.468
14	<i>O. canadensis</i> + <i>O. dalli</i>	0.889; 0.440–1.461	0.895; 0.461–1.434	0.950; 0.445–1.576	0.953; 0.475–1.538
15	<i>O. ammon</i> + <i>O. a. musimon</i> + <i>O. vignei</i>	1.331; 0.798–1.991	1.342; 0.806–1.945	1.414; 0.821–2.154	1.427; 0.861–2.108
16	<i>O. a. musimon</i> + <i>O. vignei</i>	0.874; 0.436–1.404	0.885; 0.486–1.409	0.929; 0.446–1.490	0.939; 0.498–1.500
17	<i>Capricornis</i> + <i>Naemorhedus</i> + <i>Ovibos</i>	5.246; 3.816–6.777	5.369; 4.005–6.860	5.553; 3.972–7.358	5.661; 4.100–7.371
18	Caprini	9.211; 7.424–10.875	9.270; 7.506–10.967	9.575; 7.421–11.685	9.641; 7.540–11.758
19	Caprini + <i>Pantholops</i>	9.760; 8.077–11.572	9.732; 8.003–11.472	10.006; 7.942–12.095	10.009; 7.905–12.038
	Estimated mean substitution rate	1.33%	1.32%	1.26%	1.25%

Node in Fig. 3	Clade/Split	Point estimates; 95% HPD intervals			
		Yule; UCLN 3 calibration points	Yule; strict clock 3 calibration points	Calibrated Yule; UCLN 3 calibration points	Calibrated Yule; strict clock 3 calibration points
1	<i>A. lervia</i>	2.557; 1.529–3.730	2.601; 1.654–3.688	2.701; 1.610–4.010	2.736; 1.687–3.950
2	'Mediterranean' aoudad	0.360; 0.138–0.639	0.360; 0.151–0.637	0.378; 0.152–0.690	0.377; 0.151–0.669
3	'Saharan' aoudad	0.248; 0.066–0.508	0.249; 0.069–0.502	0.262; 0.075–0.547	0.262; 0.071–0.535
4	<i>Ammotragus</i> + <i>Arabitragus</i>	4.762; 3.201–6.613	4.829; 3.367–6.569	5.018; 3.268–6.989	5.076; 3.386–6.964
5	<i>Ammotragus</i> + <i>Arabitragus</i> + <i>Rupicapra</i>	6.698; 4.796–8.772	6.735; 4.920–8.747	7.019; 4.895–9.285	7.056; 4.981–9.266
6	<i>Rupicapra</i>	2.256; 1.293–3.434	2.267; 1.382–3.339	2.370; 1.337–3.660	2.383; 1.411–3.528
7	<i>Budorcas</i> + <i>Pseudois</i> + <i>Capra</i> + <i>Hemitragus</i>	6.912; 5.181–8.950	*	*	*
8	<i>Pseudois</i>	0.542; 0.223–0.975	0.542; 0.241–0.942	0.571; 0.234–1.033	0.569; 0.248–0.998
9	<i>Capra</i> + <i>Hemitragus</i>	4.663; 3.105–6.366	4.712; 3.298–6.388	4.930; 3.238–6.855	4.960; 3.370–6.826
10	<i>Capra sensu stricto</i>	2.314; 1.564–3.228	2.310; 1.590–3.158	2.447; 1.588–3.484	2.440; 1.634–3.383
11	<i>C. ibex</i> + <i>C. pyrenaica</i>	0.797; 0.393–1.299	0.803; 0.405–1.259	0.838; 0.394–1.377	0.848; 0.443–1.380
12	<i>Nilgiritragus</i> + <i>Ovis</i>	4.356; 2.934–6.011	4.316; 2.981–5.842	4.579; 3.051–6.487	4.541; 3.029–6.235
13	<i>Ovis</i>	2.833; 1.961–3.973	2.900; 2.027–3.939	3.037; 1.958–4.219	3.049; 2.047–4.178
14	<i>O. canadensis</i> + <i>O. dalli</i>	0.858; 0.412–1.406	0.860; 0.443–1.375	0.908; 0.441–1.515	0.907; 0.459–1.464
15	<i>O. ammon</i> + <i>O. a. musimon</i> + <i>O. vignei</i>	1.274; 0.755–1.898	1.288; 0.790–1.875	1.342; 0.776–2.033	1.353; 0.825–2.014
16	<i>O. a. musimon</i> + <i>O. vignei</i>	0.836; 0.423–1.349	0.850; 0.462–1.352	0.883; 0.428–1.427	0.894; 0.463–1.412
17	<i>Capricornis</i> + <i>Naemorhedus</i> + <i>Ovibos</i>	5.141; 3.768–6.694	5.252; 3.963–6.755	5.384; 3.801–7.120	5.475; 3.948–7.150
18	Caprini	9.049; 7.280–10.789	9.096; 7.379–10.817	9.322; 7.120–11.399	9.361; 7.281–11.470
19	Caprini + <i>Pantholops</i>	9.616; 7.850–11.392	9.558; 7.850–11.343	9.770; 7.630–11.785	9.742; 7.694–11.842
	Estimated mean substitution rate	1.37%	1.36%	1.31%	1.30%

\* Asterisks indicate nodes not recovered with BPP  $\geq 0.8$  in the respective MCC tree.

respectively. Including the overall uncertainty about the substitution rate (0.59–3.39% per Ma), the respective conservative intervals are 0.029–0.847 Ma and 0.002–0.678 Ma.

In the IM and IMA2 analyses, ESS values were  $> 4150$  for each parameter in all individual runs. In the four individual runs in IM, the estimated divergence time between the aoudad clades, taken as the value of the modal smoothed bin in the marginal distribution histogram, ranged from 1.262 to 1.292 Ma (range of 90% HPD intervals: 0.102–1.652 Ma). In turn, in the four individual runs in IMA2, the estimated time of divergence between the aoudad clades, also taken as the value of the modal smoothed bin in the marginal distribution histogram, ranged from 1.242 to 1.347 Ma (range of the 95% HPD intervals: 0.197–1.932 Ma).

TMRCAs estimates from the BEAST analyses of *Cyt b* under different combinations of calibrations, tree prior and clock model, are given in Table 3; ESS values were  $> 3950$  for each parameter in all individual runs. All schemes gave similar age estimates and 95% HPD intervals

and comparable estimates of mean substitution rate ( $\approx 1.25$ – $1.37\%$  per Ma) (Table 3). The TMRCAs estimates tended to be slightly younger when using three calibration points, i.e. when including the youngest calibration date (2.42 Ma), the one for the origin of the genus *Ovis*; this is in agreement with studies investigating the relationship between estimated mean substitution rate and depth of calibrations (Ho et al., 2005b). We found no evidence of substitution rate autocorrelation among lineages, which if present could make the use of an uncorrelated relaxed clock model less appropriate. In all individual BEAST runs under the UCLN model, the 95% HPD interval for the covariance statistic included zero (range of 95% HPD intervals:  $-0.246$ – $0.214$ ). The CorrTest analysis (score of 0.0465) also did not reject the hypothesis of independent evolutionary rates among lineages ( $P > 0.05$ ). The fact that the inferred mean substitution rate ( $\approx 1.25$ – $1.37\%$  per Ma) is consistent with rates estimated for *Cyt b* in previous studies of caprines and other bovids (e.g. Manceau et al., 1999; Lerp et al., 2011) suggests that the calibrations used did not impose an unrealistic evolutionary

rate. Moreover, the age estimates for the different nodes in the caprine tree agree well with those in the literature. For example, here is a list of average point estimates that have been obtained (Ropiquet and Hassanin, 2005a; Pérez et al., 2014, 2017) for the TMRCA of some caprine clades: Caprini + *Pantholops*, 9.9–10.7 Ma; Caprini, 8.6–9.7 Ma; *Capricornis* + *Naemorhedus* + *Ovibos*, 5.8 Ma; *Budorcas* + *Pseudois* + *Capra* + *Hemitragus*, 8 Ma; *Capra* + *Hemitragus*, 3.4–4.5 Ma; *Nilgiritragus* + *Ovis*, 3.3–4.5 Ma; *Ammotragus* + *Arabitragus* + *Rupicapra*, 6.8–7.9 Ma; *Ammotragus* + *Arabitragus*, 4.6–6 Ma; and *Rupicapra*, 1.5–3.1 Ma. Concerning the genus *Ovis*, its origin has been estimated at 2.1–3.1 Ma (Ropiquet and Hassanin, 2005a; Lalueza-Fox et al., 2005; Bunch et al., 2006; Sanna et al., 2015), the divergence between *O. canadensis* and *O. dalli* at 0.9–1.4 Ma (Bunch et al., 2006; Rezaei et al., 2010), the TMRCA of the clade *O. ammon* + *O. a. musimon* + *O. vignei* at 1–1.7 Ma (Bunch et al., 2006; Rezaei et al., 2010; Sanna et al., 2015), and the split between *O. a. musimon* + *O. vignei* at 0.9–1.4 Ma (Bunch et al., 2006; Rezaei et al., 2010; Sanna et al., 2015). Finally, the appearance of the ancestor of *Capra sensu stricto* (i.e. excluding *C. sibirica*) and the divergence between *C. ibex* and *C. pyrenaica* have been estimated respectively at 1.5–2 Ma and 0.6–0.7 Ma (Lalueza-Fox et al., 2005; Pérez et al., 2014). The RelTime analyses using either one (Caprini MRCA) or two (Caprini and *Ovis* MRCAs) calibrations produced identical TMRCA point estimates and 95% CIs, except for the latter for nodes directly involving the *Ovis* lineage, which were narrower in the analysis using two calibrations (Table 4). The age estimates from RelTime for nodes across the Caprini phylogeny (Table 4) were generally consistent with those from BEAST (Table 3) and those previously published and described above. The confidence intervals from RelTime were broader than those from BEAST, but this could be expected, since the method for estimating confidence intervals in RelTime (Tamura et al., 2012) produces rather wide intervals (Tamura et al., 2018).

The BEAST estimates for the TMRCA of the two aoudad clades were 2.6–2.8 Ma (range of 95% HPD intervals: 1.5–4.1 Ma), and for the coalescence of the sampled lineages of each clade were: 'Mediterranean', 0.36–0.39 Ma (range of 95% HPD intervals: 0.14–0.72 Ma); 'Saharan', 0.25–0.27 Ma (range of 95% HPD intervals: 0.07–0.56 Ma) (Table 3). In turn, the respective estimates from RelTime were 2.34 Ma (95% CI: 1.060–4.055 Ma), 0.098 Ma (95% CI: 0–0.319 Ma), and 0.018 Ma (95% CI: 0.006–0.034 Ma) (Table 4).

**Table 4**

TMRCA point estimates and 95% confidence intervals (CI), in millions of years ago (Ma), from the RelTime analyses of *Cyt b* using one or two calibration points. The numbers in the first column correspond to the node numbers in Fig. 3.

Node in Fig. 3	Clade/Split	Point estimates; 95% CI	
		One calibration point: Caprini	Two calibration points: Caprini; <i>Ovis</i>
1	<i>A. lervia</i>	2.340; 1.060–4.055	2.340; 1.060–4.055
2	'Mediterranean' aoudad	0.098; 0–0.319	0.098; 0–0.319
3	'Saharan' aoudad	0.018; 0.006–0.034	0.018; 0.006–0.034
4	<i>Ammotragus</i> + <i>Arabitragus</i>	4.735; 2.734–7.278	4.735; 2.734–7.278
5	<i>Ammotragus</i> + <i>Arabitragus</i> + <i>Rupicapra</i>	6.498; 3.979–9.633	6.498; 3.979–9.633
6	<i>Rupicapra</i>	2.488; 1.215–4.173	2.488; 1.215–4.173
7	<i>Budorcas</i> + <i>Pseudois</i> + <i>Capra</i> + <i>Hemitragus</i>	7.225; 4.463–10.649	7.225; 4.463–10.649
8	<i>Pseudois</i>	0.581; 0.088–1.283	0.581; 0.088–1.283
9	<i>Capra</i> + <i>Hemitragus</i>	4.686; 2.757–7.122	4.686; 2.757–7.122
10	<i>Capra sensu stricto</i>	2.134; 1.071–3.533	2.134; 1.071–3.533
11	<i>C. ibex</i> + <i>C. pyrenaica</i>	0.728; 0.182–1.493	0.728; 0.182–1.493
12	<i>Nilgiritragus</i> + <i>Ovis</i>	5.380; 3.193–8.134	5.380; 3.198–8.127
13	<i>Ovis</i>	2.736; 1.439–4.427	2.736; 1.5–3.5
14	<i>O. canadensis</i> + <i>O. dalli</i>	1.380; 0.471–2.631	1.380; 0.620–2.398
15	<i>O. ammon</i> + <i>O. a. musimon</i> + <i>O. vignei</i>	0.904; 0.306–1.729	0.904; 0.386–1.604
16	<i>O. a. musimon</i> + <i>O. vignei</i>	0.532; 0.116–1.118	0.532; 0.165–1.041
17	<i>Capricornis</i> + <i>Naemorhedus</i> + <i>Ovibos</i>	5.090; 3.089–7.588	5.090; 3.089–7.588
18	Caprini	9; 7–11	9; 7–11
19	Caprini + <i>Pantholops</i>	NE	NE

The intervals in italics are hard uniform calibration bounds, not 95% CIs. NE: not estimated by RelTime.

#### 4. Discussion

The aoudad is a threatened species whose native populations are severely fragmented and, in general, show a current declining demographic trend (Cassinello et al., 2008). Moreover, the validity of its subspecies and the true extent of their geographic ranges had not yet been evaluated genetically. The present work focused on the initial investigation of the geographic genetic structure of the aoudad in Algeria, and of the distribution of the subspecies *lervia* and *sahariensis* and their degree of genetic differentiation in that country. However, by including and analysing additional sequences available in public databases of aoudads from other areas of the native distribution in North Africa, our study also has novel potential implications for the sub-specific taxonomy of *A. lervia*. To our knowledge, this is the first molecular phylogeographic survey of the aoudad and sheds light on the population genetic structure and evolutionary history of the species in its native range. The information provided by this research is also important for aoudad conservation, as it allows for more informed conservation management decisions, in particular regarding reintroductions, reinforcements, translocations, and exchange of individuals among captive stocks (Wyner et al., 1999; Attard et al., 2016).

Molecular marker assessments have been invaluable in revealing previously unsuspected deep phylogeographic divergence and major mismatches between inferred genetic units and postulated distribution areas of traditionally recognized subspecies (e.g. Rambau et al., 2003; Mulcahy, 2008). These two phenomena were also observed in the present study. We identified two highly divergent aoudad clades in Algeria (Fig. 2a; mean ML  $d_A$  = 4.5%), a partition that the inclusion of published aoudad sequences from other regions in North Africa suggested to be a major phylogeographic split within the native North African range of the species (Fig. 2b; mean ML  $d_A$  = 4.7%). In what may be roughly considered a Mediterranean-Saharan break, the 'Mediterranean' clade contained haplotypes found in northern Tunisia, north (in semi-captive and captive populations) and west (in two wild individuals from the Béchar Province) Algeria, and Morocco, and the 'Saharan' clade included haplotypes found in southeast (Illizi and Tamanrasset provinces) and west (in seven wild individuals from the Béchar Province) Algeria, Niger, and Egypt (Mansoura Zoo) (Fig. 2). Notably, the *Cyt b* divergence between the two aoudad clades is greater or at least of the same order of magnitude as those between congeneric species of *Capra*, *Capricornis*, *Naemorhedus*, *Ovis*, *Pseudois*, and

*Rupicapra* (Tables S3–S5). Here, however, it should be noted that the alpha taxonomy of *Pseudois* is still under debate, with different authors considering *P. nayaur* and *P. schaeferi* (*Cyt b* sequence divergence of 1.4%) as either distinct species or conspecific (Harris, 2014). We also detected two fixed *Cyt b* amino acid differences between the two aoudad clades (Vogler and DeSalle, 1994).

#### 4.1. Phylogeographic history and timing

The age of *A. lervia* was estimated around the Pliocene-Pleistocene boundary (point estimates of 2.6–2.8 Ma from BEAST and ~ 2.3 Ma from RelTime; Tables 3 and 4). These estimates roughly agree with the age that has been proposed for what are, to our knowledge, the oldest *Ammotragus* fossils in Africa (Villafranchian of Mechta-el-Arbi, Algeria) (Romer, 1928; Hopwood and Hollyfield, 1954).

Point estimates for the divergence time between the two aoudad clades from either  $d_A$ , IM or IMA2, were consistently close to 1.3 Ma. This is encouraging (Fu and Li, 1999) because the three methods are very different in terms of the underlying demographic models, assumptions, and algorithms used. For instance, the distance  $d_A$  assumes that the sizes of the derived populations are equal and constant over time, that is, they experience the same genetic drift. Similarly, IMA2 assumes that descendant populations are of constant size, but in IM we used a model in which descendant populations may have different initial sizes and subsequent independent demographic histories in which population growth or shrinkage is allowed. Using models that consider the possibility of different sizes of the daughter populations can significantly reduce bias in divergence time estimates (Gaggiotti and Excoffier, 2000). It is also known that demographic bottlenecks can increase genetic distances between populations (Wilson et al., 1985; Gaggiotti and Excoffier, 2000), but this bottleneck effect may be less when population divergence is large and within-population genetic diversity is limited (Takezaki and Nei, 1996; Hedrick, 1999; Gaggiotti and Excoffier, 2000), especially if, as we did, one uses models explicitly accounting for unequal-sized daughter populations (Gaggiotti and Excoffier, 2000). The estimated divergence time between the two aoudad clades of about 1.3 Ma corresponds approximately to the beginning of a long period (~100 ka) without ‘green Sahara’ episodes (Larrasoana et al., 2013; Rohling et al., 2015), during which there must have been fragmentation of the aoudad's geographic distribution. This vicariance may have led to allopatric divergence between aoudad populations in distant regions separated by barriers and beyond their dispersal capacities (Gray and Simpson, 1980), and this could explain the two highly distinct major clades observed (Avise et al., 1987). Despite the inferred ancient ancestry for both clades, the low levels of genetic variation and the genealogical and geographic patterns within each of the two clades (Fig. 2) suggest a relatively recent coalescence of their extant diversity, which we interpret as the result of strong historical population bottlenecks (Maruyama and Fuerst, 1985; Wilson et al., 1985; Avise et al., 1988; Grant and Bowen, 1998). These were apparently followed by regional range expansions over long distances of the two lineages (Neigel and Avise, 1993), which would explain the presence of the ‘Mediterranean’ clade in Morocco, northern Algeria, and Tunisia, and the ‘Saharan’ clade in Egypt, Niger, and southeastern Algeria. Indeed, a haplotype found in northern Algeria is also present in Tunisia and the haplotype detected in Morocco differs from that one by a single nucleotide substitution, and a haplotype found in southeastern Algeria was also recovered in Niger and Egypt (Fig. 2b). Concordantly, based on the 702 bp alignment, the estimated average nucleotide and haplotype diversity were low and moderate, respectively, in both clades (‘Mediterranean’:  $n = 15$ ,  $\pi = 0.3\%$ ,  $h = 0.37$ ; ‘Saharan’:  $n = 15$ ,  $\pi = 0.2\%$ ,  $h = 0.65$ ) (Table 2), which are patterns that can be considered consistent in both cases with a history of population bottleneck followed by population growth and expansion (Grant and Bowen, 1998). This conclusion holds when considering the shorter 376 bp alignment including GenBank sequences, in particular of aoudads from

Morocco, Tunisia and Niger (‘Mediterranean’:  $n = 67$ ,  $\pi = 0.2\%$ ,  $h = 0.50$ ; ‘Saharan’:  $n = 17$ ,  $\pi = 0.2\%$ ,  $h = 0.63$ ) (Table 2). The fact that the Tajima's  $D$ , Fu's  $F_S$  and Ramos-Onsins and Rozas'  $R_2$  tests did not indicate demographic growth may be due to a lack of power because of the small numbers of segregating sites (Ramos-Onsins and Rozas, 2002), or because the expansion of the clades was relatively recent, since it has been shown that under realistic population growth models these tests may have more power to detect older expansions (Fu, 1997; Ramos-Onsins and Rozas, 2002). Alternatively, given the negative and closer to statistically significant values of  $D$  and  $F_S$  for the ‘Mediterranean’ clade in the 376 bp alignment (Table 2), one might think that larger sample sizes could detect expansion signatures; however, the power of the  $F_S$  and  $R_2$  tests can reach 0.7–0.8 for  $n = 15$  (Ramos-Onsins and Rozas, 2002). Overall, the reason why the three mutation-drift equilibrium tests used did not identify expansion signals may have been a combination of few segregating sites and moderate sample sizes (Ramos-Onsins and Rozas, 2002). The high nucleotide diversity and high positive values of Tajima's  $D$  and Fu's  $F_S$  for the overall sets of aoudad *Cyt b* sequences (Table 2), especially for the longer 702 bp alignment, are interpreted as due to the deep phylogeographic break in the species (Simonsen et al., 1995; Grant and Bowen, 1998).

Geographic expansion of formerly allopatric and isolated populations may lead to their secondary contact (Avise et al., 1987); if since then gene flow has been sufficiently restricted, the lineages from the different former isolates may still have limited overlap in their distribution (Templeton et al., 1995). This is what we detected, with the presence of the two clades in the Béchar Province (Fig. 2). This region is adjacent to southeastern Morocco and the western end of the Saharan Atlas, but is connected by the Saoura Valley and rocky plateaus to the Tademaït in central Algeria and through it to the Illizi and Tamanrasset provinces in southeastern Algeria. Additional sampling, in particular from regions not yet sampled such as Mauritania, Mali and Libya, is needed to better define geographic boundaries of clades and to verify the existence or otherwise of other areas of apparent sympatry or parapatry.

Assuming that the *Cyt b* substitution rate calibrated with the *Ammotragus-Arabitragus* divergence may be more appropriate than the average substitution rates estimated in the BEAST analyses to date coalescence events within the aoudad (Thorne et al., 1998), the mean coalescence times estimated in the BEAST analyses for extant genetic diversity in the ‘Mediterranean’ and ‘Saharan’ clades can be tentatively converted to approximately 287 ka and 199 ka, respectively. This, together with the respective mean estimates from  $d_x$  (175 ka and 117 ka), suggests coalescences around the Middle-Late Pleistocene. On the other hand, considering that short-term mutation rates may be measurably higher than phylogenetic estimates of substitution rates (Ho et al., 2005b, 2007, 2011), this raises the possibility that coalescences date to the Last Glacial Period (~115–12 ka), as hinted at by the estimates from RelTime. In addition to uncertainty about the short-term substitution rate, age estimates of the extant genetic diversity of clades may be particularly sensitive and dependent on sample size, and therefore these results should be confirmed with additional sampling as this may reveal more haplotypes. However, the single sample from Egypt showed the same haplotype as the single sample from Niger, and this haplotype was also the most common in samples from southeastern Algeria. Moreover, almost all samples from Tunisia and northern Algeria shared the same haplotype, and all eight samples from Morocco exhibited the same haplotype (Fig. 2). Thus, there may not be much more mitochondrial diversity to be found in each clade because when bottlenecks are strong and relatively recent, and given the relatively modest substitution rate of *Cyt b*, mitochondrial variation (particularly nucleotide diversity) may still be very low (Maruyama and Fuerst, 1984, 1985; Wilson et al., 1985; Tajima, 1989b; Björklund, 2003) so that it is essentially captured even with only moderate sample sizes.

#### 4.2. Taxonomic and conservation considerations

This study revealed the presence of two highly differentiated mitochondrial lineages in the aoudad, with a level of *Cyt b* divergence greater than or comparable to those observed between several pairs of congeneric species of different Caprini genera. The two lineages were mostly allopatric, with one being present in Morocco, northern Algeria and Tunisia, and the other in southeastern Algeria, Niger and Egypt, with the exception of one apparent contact zone in western Algeria (Béchar). These genetic and geographic patterns, accompanied by the fact that the division seemingly corresponds to a history of ecological separation between temperate Mediterranean and arid Saharan regions, suggest the presence of two subspecies in the data analysed (O'Brien and Mayr, 1991). This hypothesis should be evaluated with analyses using detailed sampling covering the Saharan distribution of the aoudad, and also based on other evidence not yet available, such as informative markers from the nuclear genome (Avisé and Ball, 1990; Zhang and Hewitt, 2003), molecular cytogenetic comparisons (Rambau et al., 2003; Atega et al., 2018), and geometric morphometric data (Evin et al., 2008). Interestingly, the phylogeographic subdivision we detected in Algeria roughly agrees with the distribution discussed by Cassinello et al. (2008) for the subspecies *lervia* and *sahariensis* in that country, with uncertainty as to the subspecies present in Béchar. On the other hand, our results do not appear to be consistent with the distinction between the subspecies *sahariensis*, *angusi* and *ornata*, as samples from respectively southeastern Algeria, Niger and Egypt shared the same haplotype (Fig. 2).

Irrespective of issues of subspecies taxonomy and distinction between *lervia* and *sahariensis*, the Mediterranean and Saharan aoudad populations appear to be two distinct evolutionary units (Ryder, 1986; Zink, 2004) with a long history of geographic isolation (Moritz, 2002) and likely adaptive divergence in response to contrasting ecological conditions (Lynch et al., 1999; Merilä and Crnokrak, 2001). Therefore, the conservation of both units is essential, and their management should be independent to maintain evolutionary potential across heterogeneous environments (O'Brien and Mayr, 1991; Moritz, 1994, 2002; Fraser and Bernatchez, 2001). In this latter context, it is worth noting that the commonly held view that the captive population at the Experimental Station of Arid Zones (EEZA; Almería, Spain) belongs to the subspecies *sahariensis* (Cassinello, 1998) is not supported by our study.

#### 5. Conclusions

Mitochondrial genes, due to their typically higher variability and rate of genetic drift (Brown et al., 1979; Moritz et al., 1987; Pesole et al., 1999), can be more powerful and informative than nuclear genes for inferring population genealogical patterns and demographic history within animal species (Wilson et al. 1985; Moore, 1995; Zink and Barrowclough, 2008; Barrowclough and Zink, 2009). This study highlights the value of mtDNA, probably unrivalled by any other single-locus marker, as an exploratory tool to investigate and uncover historical genetic structure, assess subspecific taxonomy, and identify potential evolutionarily significant units for conservation (Avisé, 1989, 1995; Harrison, 1989; Lerp et al., 2011; Andersen and Light, 2012; Derouiche et al., 2017; Prieto-Torres et al., 2018). In agreement, none of the four nuclear genes that we also surveyed, chosen because they have already been used in phylogeographic and species-level phylogenetic studies of bovids, allowed us to detect any unambiguous sign of the substantial and geographically coherent intraspecific subdivision exposed by mtDNA. This is likely due to their slow evolutionary rate (Matthee and Davis, 2001).

This first phylogeographic survey of the aoudad indicated a deep Mediterranean-Saharan genetic break in the species, suggesting the presence of two highly distinct evolutionary lineages. It therefore highlights and raises the profile of this threatened and poorly studied ungulate emblematic of the North African landscape for further

phylogeographic and taxonomic research with improved geographic sampling across the species' range, and using other types of nuclear markers such as fast-mutating microsatellites (Charruau et al., 2011; Buchalski et al., 2016) or genome-wide panels of single nucleotide polymorphisms (SNPs) (Sim et al., 2016; Dotsev et al., 2018).

#### CRedit authorship contribution statement

**Louiza Derouiche:** Conceptualization, Methodology, Software, Validation, Formal analysis, Investigation, Resources, Data curation, Writing - original draft, Writing - review & editing, Visualization, Project administration, Funding acquisition. **Ahmed Irzagh:** Conceptualization, Methodology, Investigation, Resources, Data curation, Writing - review & editing. **Rafiq Rahmouni:** Conceptualization, Methodology, Investigation, Resources, Data curation, Writing - review & editing. **Redouane Tahri:** Methodology, Investigation, Resources, Data curation, Writing - review & editing. **Mohamed Hadjeloum:** Conceptualization, Methodology, Investigation, Resources, Data curation, Writing - review & editing, Project administration. **Rachid Bouhadad:** Resources, Writing - review & editing. **Carlos Fernandes:** Conceptualization, Methodology, Software, Validation, Formal analysis, Investigation, Resources, Data curation, Writing - original draft, Writing - review & editing, Visualization, Supervision, Project administration, Funding acquisition.

#### Declaration of Competing Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

#### Acknowledgments

The costs associated with the sampling were supported by the private resources of Louiza Derouiche. Carlos Fernandes acknowledges support from Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) is the Portuguese public agency that supports science, technology and innovation, in all scientific domains, under responsibility of the Ministry for Science, Technology and Higher Education (MCTES, Portugal) and Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL) through, respectively, a research grant within the project UID/BIA/00329/2019 and a contract as Invited Assistant Professor (F41699). This work was supported by Portuguese National Funds through FCT in the strategic projects granted to CE3C (grant numbers UID/BIA/00329/2013 and UIDB/00329/2020). We thank three anonymous reviewers and J. Mullins Andrade for their comments and suggestions that helped to improve previous versions of the manuscript.

#### Appendix A. Supplementary data

Supplementary data to this article can be found online at <https://doi.org/10.1016/j.gene.2020.144510>.

#### References

- Acevedo, P., Cassinello, J., Hortal, J., Gortázar, C., 2007. Invasive exotic aoudad (*Ammotragus lervia*) as a major threat to native Iberian ibex (*Capra pyrenaica*): a habitat suitability model approach. *Divers. Distrib.* 13, 587–597.
- Atega, F., Silva, R.M., Kjällerström, H.J., Vercammen, P., Raudsepp, T., Collares-Pereira, M.J., Fernandes, C., Oom, M.M., Chaves, R., 2018. Comparative chromosome painting in genets (*Carnivora, Viverridae, Genetta*), the only known feliforms with a highly rearranged karyotype. *Cytogenet Genome Res.* 156, 35–44.
- Akaike, H., 1974. A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans. Automat. Contr.* 19, 716–723.
- Alcalá, L., Morales, J., 1997. A primitive caprine from the Upper Vallesian of La Roma 2 (Alfambra, Teruel, Aragón, Spain). *C. R. Acad. Sci. IIA* 324, 947–953.
- Allen, G.M., 1939. A checklist of African mammals. *Bull. Museum Comp. Zool.* 83, 1–763.
- Andersen, J.J., Light, J.E., 2012. Phylogeography and subspecies revision of the hispid pocket mouse, *Chaetodipus hispidus* (Rodentia: Heteromyidae). *J. Mammal.* 93,

- 1195–1215.
- Ashkenazy, H., Penn, O., Doron-Faigenboim, A., Cohen, O., Cannarozzi, G., Zomer, O., Pupko, T., 2012. FastML: a web server for probabilistic reconstruction of ancestral sequences. *Nucl. Acids Res.* 40, 580–584.
- Attard, C.R.M., Möller, L.M., Sasaki, M., Hammer, M.P., Bice, C.M., Brauer, C.J., Carvalho, D.C., Harris, J.O., Beheregaray, L.B., 2016. A novel holistic framework for genetic-based captive-breeding and reintroduction programs. *Conserv. Biol.* 30, 1060–1069.
- Avise, J.C., 1989. A role for molecular genetics in the recognition and conservation of endangered species. *Trends Ecol. Evol.* 4, 279–281.
- Avise, J.C., 1995. Mitochondrial DNA polymorphism and a connection between genetics and demography of relevance to conservation. *Conserv. Biol.* 9, 686–690.
- Avise, J.C., Ball, R.M., Arnold, J., 1988. Current versus historical population sizes in vertebrate species with high gene flow: a comparison based on mitochondrial DNA lineages and inbreeding theory for neutral mutations. *Mol. Biol. Evol.* 5, 331–344.
- Avise, J.C., Ball, R.M., 1990. Principles of genealogical concordance in species concepts and biological taxonomy. *Oxf. Surv. Evol. Biol.* 7, 45–67.
- Avise, J.C., Arnold, J., Ball, R.M., Bermingham, E., Lamb, T., Neigel, J.E., Reeb, C.A., Saunders, N.C., 1987. Intraspecific phylogeography: the mitochondrial DNA bridge between population genetics and systematics. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 18, 489–522.
- Bandelt, H.-J., Forster, P., Rohl, A., 1999. Median-joining networks for inferring intraspecific phylogenies. *Mol. Biol. Evol.* 16, 37–48.
- Barba-Montoya, J., dos Reis, M., Yang, Z., 2017. Comparison of different strategies for using fossil calibrations to generate the time prior in Bayesian molecular clock dating. *Mol. Phylogenet. Evol.* 114, 386–400.
- Barrowclough, G.F., Zink, R.M., 2009. Funds enough, and time: mtDNA, nuDNA and the discovery of divergence. *Mol. Ecol.* 18, 2934–2936.
- Battistuzzi, F.U., Filipiński, A., Hedges, S.B., Kumar, S., 2010. Performance of relaxed-clock methods in estimating evolutionary divergence times and their credibility intervals. *Mol. Biol. Evol.* 27, 1289–1300.
- Battistuzzi, F.U., Tao, Q., Jones, L., Tamura, K., Kumar, S., 2018. RelTime relaxes the strict molecular clock throughout the phylogeny. *Genome Biol. Evol.* 10, 1631–1636.
- Bensasson, D., Zhang, D.-X., Hartl, D.L., Hewitt, G.M., 2001. Mitochondrial pseudogenes: evolution's misplaced witnesses. *Trends Ecol. Evol.* 16, 314–321.
- Berry, V., Gascuel, O., 1996. On the interpretation of bootstrap trees: appropriate threshold of clade selection and induced gain. *Mol. Biol. Evol.* 13, 999–1011.
- Bibi, F., 2013. A multi-calibrated mitochondrial phylogeny of extant Bovidae (Artiodactyla, Ruminantia) and the importance of the fossil record to systematics. *BMC Evol. Biol.* 13, 166.
- Björklund, M., 2003. Test for a population expansion after a drastic reduction in population size using DNA sequence data. *Heredity* 91, 481–486.
- Bollback, J.P., 2006. SIMMAP: stochastic character mapping of discrete traits on phylogenies. *BMC Bioinf.* 7, 88.
- Bounaceur, F., Benamor, N., Bissaad, F.Z., Abdi, A., Aulagnier, S., 2016. Is there a future for the last populations of aoudad (*Ammotragus lervia*) in northern Algeria? *Pakistan J. Zool.* 48, 1727–1731.
- Bradley, R.D., Baker, R.J., 2001. A test of the genetic species concept: cytochrome-b sequences and mammals. *J. Mammal.* 82, 960–973.
- Bromham, L., Duchêne, S., Hua, X., Ritchie, A.M., Duchêne, D.A., Ho, S.Y.W., 2018. Bayesian molecular dating: opening up the black box. *Biol. Rev.* 93, 1165–1191.
- Brown, W.M., George Jr, M., Wilson, A.C., 1979. Rapid evolution of animal mitochondrial DNA. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 76, 1967–1971.
- Brown, J.W., Smith, S.A., 2018. The past sure is tense: on interpreting phylogenetic divergence time estimates. *Syst. Biol.* 67, 340–353.
- Brown, R.P., Yang, Z., 2011. Rate variation and estimation of divergence times using strict and relaxed clocks. *BMC Evol. Biol.* 11, 271.
- Buchalski, M.R., Sacks, B.N., Gille, D.A., Penedo, M.C.T., Ernest, H.B., Morrison, S.A., Boyce, W.M., 2016. Phylogeographic and population genetic structure of bighorn sheep (*Ovis canadensis*) in North American deserts. *J. Mammal.* 97, 823–838.
- Bunch, T.D., Wu, C., Zhang, Y.-P., Wang, S., 2006. Phylogenetic analysis of snow sheep (*Ovis nivicola*) and closely related taxa. *J. Hered.* 97, 21–30.
- Cassens, I., Van Waerebeek, K., Best, P.B., Crespo, E.A., Reyes, J., Milinkovitch, M.C., 2003. The phylogeography of dusky dolphins (*Lagenorhynchus obscurus*): a critical examination of network methods and rooting procedures. *Mol. Ecol.* 12, 1781–1792.
- Cassinello, J., 1998. *Ammotragus lervia*: a review on systematics, biology, ecology and distribution. *Ann. Zool. Fennici* 35, 149–162.
- Cassinello, J., Cuzin, F., Jdeidi, T., Masetti, M., Nader, I., De Smet, K., 2008. *Ammotragus lervia*. The IUCN Red List of Threatened Species. DOI: 10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T1151A3288917.en.
- Cassinello, J., Serrano, E., Calabuig, G., Perez, J.M., 2004. Range expansion of an exotic ungulate (*Ammotragus lervia*) in southern Spain: ecological and conservation concerns. *Biodivers. Conserv.* 13, 851–866.
- Charruau, P., Fernandes, C., Orozco-terWengel, P., Peters, J., Hunter, L., Ziaie, H., Jourabchian, A., Jowkar, H., Schaller, G., Ostrowski, S., Vercammen, P., Grange, T., Schlotterer, C., Kotze, A., Geigl, E.M., Walzer, C., Burger, P.A., 2011. Phylogeography, genetic structure and population divergence time of cheetahs in Africa and Asia: evidence for long-term geographic isolates. *Mol. Ecol.* 20, 706–724.
- Clement, M., Posada, D., Crandall, K.A., 2000. TCS: a computer program to estimate gene genealogies. *Mol. Ecol.* 9, 1657–1659.
- Curtain, C.C., Fudenberg, H.H., 1973. Evolution of the immunoglobulin antigens in the Ruminantia. *Biochem. Genet.* 8, 301–308.
- Cuzin, F., 1996. Répartition actuelle et statut des grands mammifères sauvages du Maroc (Primates, Carnivores, Artiodactyles). *Mammalia* 60, 101–124.
- Darriba, D., Taboada, G.L., Doallo, R., Posada, D., 2012. jModelTest 2: more models, new heuristics and parallel computing. *Nat. Methods* 9, 772.
- De Smet, K., 1997. Algeria. In: Shackleton, D.M. (Ed.), *IUCN/SSC Caprinae Specialist Group. Wild sheep and goats and their relatives: status survey and conservation action plan for Caprinae*. I.U.C.N., Gland, Switzerland and Cambridge, UK, pp. 17–19.
- Derouiche, L., Vercammen, P., Bouhadad, R., Fernandes, C., 2017. Genetic evidence supporting the taxonomic separation of the Arabian and Northwest African subspecies of the desert hedgehog (*Paraechinus aethiopicus*). *Gene* 620, 54–65.
- Dornburg, A., Brandley, M.C., McGowen, M.R., Near, T.J., 2012. Relaxed clocks and inferences of heterogeneous patterns of nucleotide substitution and divergence time estimates across whales and dolphins (Mammalia: Cetacea). *Mol. Biol. Evol.* 29, 721–736.
- Dotsev, A.V., Denisikova, T.E., Okhlopov, I.M., Mézszáros, G., Sölkner, J., Reyer, H., Wimmers, K., Brem, G., Zinovieva, N.A., 2018. Genome-wide SNP analysis unveils genetic structure and phylogeographic history of snow sheep (*Ovis nivicola*) populations inhabiting the Verkhoyansk Mountains and Momsy Ridge (northeastern Siberia). *Ecol. Evol.* 8, 8000–8010.
- Drummond, A.J., Ho, S.Y.W., Phillips, M.J., Rambaut, A., 2006. Relaxed phylogenetics and dating with confidence. *PLoS Biol.* 4, e88.
- Drummond, A.J., Suchard, M.A., Xie, D., Rambaut, A., 2012. Bayesian phylogenetics with BEAUti and the BEAST 1.7. *Mol. Biol. Evol.* 29, 1969–1973.
- Dubach, J.M., Briggs, M.B., White, P.A., Ament, B.A., Patterson, B.D., 2013. Genetic perspectives on “lion conservation units” in Eastern and Southern Africa. *Conserv. Genet.* 14, 741–755.
- Duchêne, S., Lanfear, R., Ho, S.Y.W., 2014. The impact of calibration and clock-model choice on molecular estimates of divergence times. *Mol. Phylogenet. Evol.* 78, 277–289.
- Eizirik, E., Kim, J.H., Menotti-Raymond, M., Crawshaw Jr, P.G., O'Brien, S.J., Johnson, W.E., 2001. Phylogeography, population history and conservation genetics of jaguars (*Panthera onca*, Mammalia, Felidae). *Mol. Ecol.* 10, 65–79.
- Evin, A., Baylac, M., Ruedi, M., Mucedda, M., Pons, J.M., 2008. Taxonomy, skull diversity and evolution in a species complex of *Myotis* (Chiroptera: Vespertilionidae): a geometric morphometric appraisal. *Biol. J. Linn. Soc.* 95, 529–538.
- Excoffier, L., Lischer, H.E.L., 2010. Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Mol. Ecol. Resour.* 10, 564–567.
- Felsenstein, J., 1985. Confidence limits on phylogenies: an approach using the bootstrap. *Evolution* 39, 783–791.
- Fernandes, C.A., Ginja, C., Pereira, I., Tenreiro, R., Bruford, M.W., Santos-Reis, M., 2008. Species-specific mitochondrial DNA markers for identification of non-invasive samples from sympatric carnivores in the Iberian Peninsula. *Conserv. Genet.* 9, 681–690.
- Fraser, D.J., Bernatchez, L., 2001. Adaptive evolutionary conservation: towards a unified concept for defining conservation units. *Mol. Ecol.* 10, 2741–2752.
- Fu, Y.-X., 1997. Statistical tests of neutrality of mutations against population growth, hitchhiking and background selection. *Genetics* 147, 915–925.
- Fu, Y.-X., Li, W.-H., 1999. Coalescing into the 21st century: an overview and prospects of coalescent theory. *Theor. Popul. Biol.* 56, 1–10.
- Gaggiotti, O.E., Excoffier, L., 2000. A simple method of removing the effect of a bottleneck and unequal population sizes on pairwise genetic distances. *Proc. R. Soc. Lond. B* 267, 81–87.
- Gernhard, T., 2008. The conditioned reconstructed process. *J. Theor. Biol.* 253, 769–778.
- Glez-Peña, D., Gómez-Blanco, D., Reboiro-Jato, M., Fdez-Riverola, F., Posada, D., 2010. ALTER: program-oriented conversion of DNA and protein alignments. *Nucl. Acids Res.* 38, 14–18.
- Grant, W.A.S., Bowen, B.W., 1998. Shallow population histories in deep evolutionary lineages of marine fishes: insights from sardines and anchovies and lessons for conservation. *J. Hered.* 89, 415–426.
- Gray, G.G., Simpson, C.D., 1980. *Ammotragus lervia*. *Mamm. Spec.* 144, 1–7.
- Grubb, P., 2005. Order Artiodactyla. In: Wilson, D.E., Reeder, D.M. (Eds.), *Mammal Species of the World. A Taxonomic and Geographic Reference*, third ed. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, pp. 637–722.
- Guindon, S., Dufayard, J.-F., Lefort, V., Anisimova, M., Hordijk, W., Gascuel, O., 2010. New algorithms and methods to estimate maximum-likelihood phylogenies: assessing the performance of PhyML 3.0. *Syst. Biol.* 59, 307–321.
- Hanke, M., Wink, M., 1994. Direct DNA sequencing of PCR-amplified vector inserts following enzymatic degradation of primer and dNTPs. *Biotechniques* 17, 858–860.
- Harpending, H.C., 1994. Signature of ancient population growth in a low-resolution mitochondrial DNA mismatch distribution. *Hum. Biol.* 66, 591–600.
- Harper, F., 1940. The nomenclature and type localities of certain Old World mammals. *J. Mammal.* 21, 191–203.
- Harris, R.B., 2014. Pseudois nayaur. The IUCN Red List of Threatened Species. DOI: 10.2305/IUCN.UK.2014-3.RLTS.T61513537A64313015.en.
- Harrison, R.G., 1989. Animal mitochondrial DNA as a genetic marker in population and evolutionary biology. *Trends Ecol. Evol.* 4, 6–11.
- Hart, M.W., Sunday, J., 2007. Things fall apart: biological species form unconnected parsimony networks. *Biol. Lett.* 3, 509–512.
- Hasegawa, M., Kishino, H., Yano, T.A., 1985. Dating of the human-ape splitting by a molecular clock of mitochondrial DNA. *J. Mol. Evol.* 22, 160–174.
- Hassanin, A., Douzery, E.J.P., 1999. The tribal radiation of the family Bovidae (Artiodactyla) and the evolution of the mitochondrial cytochrome *b* gene. *Mol. Phylogenet. Evol.* 13, 227–243.
- Hassanin, A., Ropiquet, A., 2007. Resolving a zoological mystery: the kouprey is a real species. *Proc. R. Soc. Lond. B* 274, 2849–2855.
- Hassanin, A., Pasquet, E., Vigne, J.-D., 1998. Molecular systematics of the subfamily Caprinae (Artiodactyla, Bovidae) as determined from cytochrome *b* sequences. *J. Mamm. Evol.* 5, 217–236.
- Hassanin, A., Ropiquet, A., Couloux, A., Cruaud, C., 2009. Evolution of the mitochondrial genome in mammals living at high altitude: new insights from a study of the tribe Caprini (Bovidae, Antilopinae). *J. Mol. Evol.* 68, 293–310.

- Hassanin, A., Delsuc, F., Ropiquet, A., Hammer, C., van Vuuren, B.J., Matthee, C., Ruiz-Garcia, M., Catzeflis, F., Areskoug, V., Nguyen, T.T., Couloux, A., 2012. Pattern and timing of diversification of Cetartiodactyla (Mammalia, Laurasiatheria), as revealed by a comprehensive analysis of mitochondrial genomes. *C. R. Biol.* 335, 32–50.
- Hedrick, P.W., 1999. Perspective: highly variable loci and their interpretation in evolution and conservation. *Evolution* 53, 313–318.
- Heled, J., Bouckaert, R.R., 2013. Looking for trees in the forest: summary tree from posterior samples. *BMC Evol. Biol.* 13, 221.
- Heled, J., Drummond, A.J., 2012. Calibrated tree priors for relaxed phylogenetics and divergence time estimation. *Syst. Biol.* 61, 138–149.
- Hey, J., 2005. On the number of New World founders: a population genetic portrait of the peopling of the Americas. *PLoS Biol.* 3, e193.
- Hey, J., Nielsen, R., 2004. Multilocus methods for estimating population sizes, migration rates and divergence time, with applications to the divergence of *Drosophila pseudoobscura* and *D. persimilis*. *Genetics* 167, 747–760.
- Hey, J., Nielsen, R., 2007. Integration within the Felsenstein equation for improved Markov chain Monte Carlo methods in population genetics. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 104, 2785–2790.
- Hight, M.E., Nadler, C.F., 1976. Relationships between wild sheep and goats and the aoudad (Caprini) studied by immunodiffusion. *Comp. Biochem. Phys. B* 54, 265–269.
- Ho, S.Y.W., Phillips, M.J., Cooper, A., Drummond, A.J., 2005b. Time dependency of molecular rate estimates and systematic overestimation of recent divergence times. *Mol. Biol. Evol.* 22, 1561–1568.
- Ho, S.Y.W., Phillips, M.J., Drummond, A.J., Cooper, A., 2005a. Accuracy of rate estimation using relaxed-clock models with a critical focus on the early metazoan radiation. *Mol. Biol. Evol.* 22, 1355–1363.
- Ho, S.Y.W., Shapiro, B., Phillips, M.J., Cooper, A., Drummond, A.J., 2007. Evidence for time dependency of molecular rate estimates. *Syst. Biol.* 56, 515–522.
- Ho, S.Y.W., Lanfear, R., Bromham, L., Phillips, M.J., Soubrier, J., Rodrigo, A.G., Cooper, A., 2011. Time-dependent rates of molecular evolution. *Mol. Ecol.* 20, 3087–3101.
- Ho, S.Y.W., Duchêne, S., Duchêne, D., 2015. Simulating and detecting autocorrelation of molecular evolutionary rates among lineages. *Mol. Ecol. Resour.* 15, 688–696.
- Holder, M.T., Sukumaran, J., Lewis, P.O., 2008. A justification for reporting the majority-rule consensus tree in Bayesian phylogenetics. *Syst. Biol.* 57, 814–821.
- Hopwood, A.T., Hollyfield, J.P., 1954. An annotated bibliography of the fossil mammals of Africa (1742–1950). *Fossil Mammals of Africa No. 8*. British Museum (Natural History), London.
- Huelsensbeck, J.P., Larget, B., Alfaro, M.E., 2004. Bayesian phylogenetic model selection using reversible jump Markov chain Monte Carlo. *Mol. Biol. Evol.* 21, 1123–1133.
- Huggins, P.M., Li, W., Haws, D., Friedrich, T., Liu, J., Yoshida, R., 2011. Bayes estimators for phylogenetic reconstruction. *Syst. Biol.* 60, 528–540.
- Hurvich, C.M., Tsai, C.-L., 1989. Regression and time series model selection in small samples. *Biometrika* 76, 297–307.
- Irwin, D.M., Kocher, T.D., Wilson, A.C., 1991. Evolution of the cytochrome *b* gene of mammals. *J. Mol. Evol.* 32, 128–144.
- Jansen, T., Forster, P., Levine, M.A., Oelke, H., Hurler, M., Renfrew, C., Weber, J., Olek, K., 2002. Mitochondrial DNA and the origins of the domestic horse. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 99, 10905–10910.
- Jiang, L., Wang, G., Tan, S., Gong, S., Yang, M., Peng, Q., Peng, R., Zou, F., 2013. The complete mitochondrial genome sequence analysis of Tibetan argali (*Ovis ammon hodgsoni*): Implications of Tibetan argali and Gansu argali as the same subspecies. *Gene* 521, 24–31.
- Jiang, Y., Xie, M., Chen, W., Talbot, R., Maddox, J.F., Faraut, T., Wu, C., Muzny, D.M., Li, Y., Zhang, W., Stanton, J.-A., Brauning, R., Barris, W.C., Hourlier, T., Aken, B.L., Searle, S.M.J., Adelson, D.L., Bian, C., Cam, G.R., Chen, Y., Cheng, S., DeSilva, U., Dixon, K., Dong, Y., Fan, G., Franklin, I.R., Fu, S., Fuentes-Utrilla, P., Guan, R., Highland, M.A., Holder, M.E., Huang, G., Ingham, A.B., Jhangiani, S.N., Kalra, D., Kovar, C.L., Lee, S.L., Liu, W., Liu, X., Lu, C., Lv, T., Mathew, T., McWilliam, S., Menzies, M., Pan, S., Robelin, D., Servin, B., Townley, D., Wang, W., Wei, B., White, S.N., Yang, X., Ye, C., Yue, Y., Zeng, P., Zhou, Q., Hansen, J.B., Kristiansen, K., Gibbs, R.A., Flicek, P., Warkup, C.C., Jones, H.E., Oddy, V.H., Nicholas, F.W., McEwan, J.C., Kijas, J.W., Wang, J., Worley, K.C., Archibald, A.L., Cockett, N., Xu, X., Wang, W., Dalrymple, B.P., 2014. The sheep genome illuminates biology of the rumen and lipid metabolism. *Science* 344, 1168–1173.
- Johns, G.C., Avise, J.C., 1998. A comparative summary of genetic distances in the vertebrates from the mitochondrial cytochrome *b* gene. *Mol. Biol. Evol.* 15, 1481–1490.
- Kent, W.J., Sugnet, C.W., Furey, T.S., Roskin, K.M., Pringle, T.H., Zahler, A.M., Haussler, D., 2002. The human genome browser at UCSC. *Genome Res.* 12, 996–1006.
- Kimura, M., 1980. A simple method for estimating evolutionary rates of base substitutions through comparative studies of nucleotide sequences. *J. Mol. Evol.* 16, 111–120.
- Kingdon, J., 1982. *East African Mammals: An Atlas of Evolution in Africa*. The University of Chicago Press, Chicago, Bovids.
- Kingdon, J., 1997. *The Kingdon Field Guide to African Mammals*. Academic Press, London.
- Kingdon, J., Hoffmann, M. (Eds.), 2013. *Mammals of Africa*. Bloomsbury Publishing, London.
- Kowalski, K., RzebiK-Kowalska, B., 1991. *Mammals of Algeria*. Polish Academy of Science, Institute of Systematics and Evolution of Animals, Wrocław.
- Kumar, S., Hedges, S.B., 2016. Advances in time estimation methods for molecular data. *Mol. Biol. Evol.* 33, 863–869.
- Kumar, S., Stecher, G., Tamura, K., 2016. MEGA7: molecular evolutionary genetics analysis version 7.0 for bigger datasets. *Mol. Biol. Evol.* 33, 1870–1874.
- Kumar, S., Stecher, G., Li, M., Nkay, C., Tamura, K., 2018. MEGA X: molecular evolutionary genetics analysis across computing platforms. *Mol. Biol. Evol.* 35, 1547–1549.
- Lalueza-Fox, C., Castresana, J., Smpietro, L., Marquès-Bonet, T., Alcover, J.A., Bertranpetit, J., 2005. Molecular dating of caprines using ancient DNA sequences of *Myotragus balearicus*, an extinct endemic Balearic mammal. *BMC Evol. Biol.* 5, 70.
- Lanave, C., Preparata, G., Saccone, C., Serio, G., 1984. A new method for calculating evolutionary substitution rates. *J. Mol. Evol.* 20, 86–93.
- Lanfear, R., Frandsen, P.B., Wright, A.M., Senfeld, T., Calcott, B., 2016. PartitionFinder 2: new methods for selecting partitioned models of evolution for molecular and morphological phylogenetic analyses. *Mol. Biol. Evol.* 34, 772–773.
- Larrazaola, J.C., Roberts, A.P., Rohling, E.J., 2013. Dynamics of green Sahara periods and their role in hominin evolution. *PLoS One* 8, e76514.
- Leigh, J.W., Bryant, D., 2015. POPART: full-feature software for haplotype network construction. *Methods Ecol. Evol.* 6, 1110–1116.
- Lepage, T., Bryant, D., Philippe, H., Lartillot, N., 2007. A general comparison of relaxed molecular clock models. *Mol. Biol. Evol.* 24, 2669–2680.
- Lerp, H., Wronski, T., Pfenninger, M., Plath, M., 2011. A phylogeographic framework for the conservation of Saharan and Arabian Dorcas gazelles (Artiodactyla: Bovidae). *Org. Divers. Evol.* 11, 317.
- Librado, P., Rozas, J., 2009. DnaSP v5: a software for comprehensive analysis of DNA polymorphism data. *Bioinformatics* 25, 1451–1452.
- Loggers, C.O., Thévenot, M., Aulagnier, S., 1992. Status and distribution of Moroccan wild ungulates. *Biol. Conserv.* 59, 9–18.
- Ludwig, A., Fischer, S., 1998. New aspects of an old discussion - phylogenetic relationships of *Ammotragus* and *Pseudois* within the subfamily Caprinae based on comparison of the 12s rDNA sequences. *J. Zool. Syst. Evol. Res.* 36, 173–178.
- Lynch, M., Pfender, M., Spitze, K., Lehman, N., Hicks, J., Allen, D., Latta, L., Ottene, M., Bogue, F., Colbourne, J., 1999. The quantitative and molecular genetic architecture of a subdivided species. *Evolution* 53, 100–110.
- Manceau, V., Crampe, J.P., Boursot, P., Taberlet, P., 1999. Identification of evolutionary significant units in the Spanish wild goat, *Capra pyrenaica* (Mammalia, Artiodactyla). *Anim. Conserv.* 2, 33–39.
- Manlius, N., Menardi-Noguera, A., Zboray, A., 2003. Decline of the Barbary sheep (*Ammotragus lervia*) in Egypt during the 20th century: literature review and recent observations. *J. Zool.* 259, 403–409.
- Manwell, C., Ann Baker, C.M., 1975. *Ammotragus lervia*: progenitor of the domesticated sheep or specialized offshoot of caprine evolution? *Experientia* 31, 1370–1371.
- Manwell, C., Ann Baker, C.M., 1977. *Ammotragus lervia*: Barbary sheep or Barbary goat? *Comp. Biochem. Phys. B* 58, 267–271.
- Maruyama, T., Fuerst, P.A., 1984. Population bottlenecks and nonequilibrium models in population genetics. I. allele numbers when populations evolve from zero variability. *Genetics* 108, 745–763.
- Maruyama, T., Fuerst, P.A., 1985. Population bottlenecks and nonequilibrium models in population genetics. II. Number of alleles in a small population that was formed by a recent bottleneck. *Genetics* 111, 675–689.
- Matthee, C.A., Davis, S.K., 2001. Molecular insights into the evolution of the family Bovidae: a nuclear DNA perspective. *Mol. Biol. Evol.* 18, 1220–1230.
- Mead, J.I., Taylor, L.H., 2005. New species of *Sinocapra* (Bovidae, Caprinae) from the lower Pliocene Panaca Formation, Nevada, USA. *Palaeontol. Electron.* 8, 11A.
- Mello, B., Tao, Q., Tamura, K., Kumar, S., 2017. Fast and accurate estimates of divergence times from big data. *Mol. Biol. Evol.* 34, 45–50.
- Mereu, P., di Suni, M.P., Manca, L., Masala, B., 2008. Complete nucleotide mtDNA sequence of Barbary sheep (*Ammotragus lervia*). *DNA Sequence* 19, 241–245.
- Merilä, J., Crnokrak, P., 2001. Comparison of genetic differentiation at marker loci and quantitative traits. *J. Evol. Biol.* 14, 892–903.
- Mimoun, J.B., Cassinello, J., Noura, S., 2017. Update of the distribution and status of the aoudad *Ammotragus lervia* (Bovidae, Caprini) in Tunisia. *Mammalia* 81, 181–187.
- Moore, W.S., 1995. Inferring phylogenies from mtDNA variation: mitochondrial-gene trees versus nuclear-gene trees. *Evolution* 49, 718–726.
- Moritz, C., 1994. Defining 'Evolutionarily Significant Units' for conservation. *Trends Ecol. Evol.* 9, 373–375.
- Moritz, C., 2002. Strategies to protect biological diversity and the evolutionary processes that sustain it. *Syst. Biol.* 51, 238–254.
- Moritz, C., Dowling, T.E., Brown, W.M., 1987. Evolution of animal mitochondrial DNA: relevance for population biology and systematics. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* 18, 269–292.
- Mulcahy, D.G., 2008. Phylogeography and species boundaries of the western North American Night snake (*Hypsiglena torquata*): revisiting the subspecies concept. *Mol. Phylogenet. Evol.* 46, 1095–1115.
- Nei, M., 1987. *Molecular Evolutionary Genetics*. Columbia University Press, New York.
- Nei, M., Li, W.H., 1979. Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 76, 5269–5273.
- Neigel, J.E., Avise, J.C., 1993. Application of a random walk model to geographic distributions of animal mitochondrial DNA variation. *Genetics* 135, 1209–1220.
- Nogales, M., Rodríguez-Luengo, J.L., Marrero, P., 2006. Ecological effects and distribution of invasive non-native mammals on the Canary Islands. *Mammal Rev.* 36, 49–65.
- O'Brien, S.J., Mayr, E., 1991. Bureaucratic mischief: recognizing endangered species and subspecies. *Science* 251, 1187–1188.
- Peng, Q., Tang, L., Tan, S., Li, Z., Wang, J., Zou, F., 2012. Mitogenomic analysis of the genus *Pseudois*: evidence of adaptive evolution of morphological variation in the ATP synthase genes. *Mitochondrion* 12, 500–505.
- Pérez, T., González, I., Essler, S.E., Fernández, M., Domínguez, A., 2014. The shared mitochondrial genome of *Rupicapra pyrenaica ornata* and *Rupicapra rupicapra carthusiana*: old remains of a common past. *Mol. Phylogenet. Evol.* 79, 375–379.
- Pérez, T., Rodríguez, F., Fernández, M., Alborno, J., Domínguez, A., 2017. Ancient mitochondrial pseudogenes reveal hybridization between distant lineages in the evolution of the *Rupicapra* genus. *Gene* 628, 63–71.
- Pesole, G., Gissi, C., De Chirico, A., Saccone, C., 1999. Nucleotide substitution rate of mammalian mitochondrial genomes. *J. Mol. Evol.* 48, 427–434.
- Pirastu, M., Multinieddu, C., Mereu, P., Sannai, M., El Sherbini, E.S., Hadjisterkotis, E., Náhlik, A., Franceschi, P., Manca, L., Masala, B., 2009. The sequence and

- phylogenies of the  $\alpha$ -globin genes of Barbary sheep (*Ammotragus lervia*), goat (*Capra hircus*), European mouflon (*Ovis aries musimon*) and Cyprus mouflon (*Ovis aries ophion*). *Comp. Biochem. Phys. D* 4, 168–173.
- Prieto-Torres, D.A., Cuervo, A.M., Bonaccorso, E., 2018. On geographic barriers and Pleistocene glaciations: tracing the diversification of the russet-crowned warbler (*Myiothlypis coronata*) along the Andes. *PLoS One* 13, e0191598.
- Rambaut, R.V., Robinson, T.J., Stanyon, R., 2003. Molecular genetics of *Rhabdomys pumilio* subspecies boundaries: mtDNA phylogeography and karyotypic analysis by fluorescence in situ hybridization. *Mol. Phylogenet. Evol.* 28, 564–575.
- Rambaut, A., Drummond, A.J., Xie, D., Baele, G., Suchard, M.A., 2018. Posterior summarization in Bayesian phylogenetics using Tracer 1.7. *Syst. Biol.* 67, 901–904.
- Ramos-Onsins, S.E., Rozas, J., 2002. Statistical properties of new neutrality tests against population growth. *Mol. Bio. Evol.* 19, 2092–2100.
- Rehholz, W., Harley, E., 1999. Phylogenetic relationships in the bovid subfamily Antilopinae based on mitochondrial DNA sequences. *Mol. Phylogenet. Evol.* 12, 87–94.
- Rezaei, H.R., Naderi, S., Chintauan-Marquier, I., Taberlet, P., Virk, A., Naghash, H., Rioux, D., Kaboli, M., Pompanon, F., 2010. Evolution and taxonomy of the wild species of the genus *Ovis* (Mammalia, Artiodactyla, Bovidae). *Mol. Phylogenet. Evol.* 54, 315–326.
- Rogers, A.R., Harpending, H., 1992. Population growth makes waves in the distribution of pairwise genetic differences. *Mol. Biol. Evol.* 9, 552–569.
- Rohling, E.J., Marino, G., Grant, K.M., 2015. Mediterranean climate and oceanography, and the periodic development of anoxic events (sapropels). *Earth-Sci. Rev.* 143, 62–97.
- Romer, A.S., 1928. Pleistocene mammals of Algeria: fauna of the Paleolithic station of Mechta-el-Arbi. *Logan. Mus. Bull.* 1, 80–163.
- Ronquist, F., Teslenko, M., van der Mark, P., Ayres, D.L., Darling, A., Höhna, S., Larget, B., Liu, L., Suchard, M.A., Huelsenbeck, J.P., 2012. MrBayes 3.2: efficient Bayesian phylogenetic inference and model choice across a large model space. *Syst. Biol.* 61, 539–542.
- Ropiquet, A., Hassanin, A., 2005b. Molecular phylogeny of caprines (Bovidae, Antilopinae): the question of their origin and diversification during the Miocene. *J. Zool. Syst. Evol. Res.* 43, 49–60.
- Ropiquet, A., Hassanin, A., 2005a. Molecular evidence for the polyphyly of the genus *Hemiragrus* (Mammalia, Bovidae). *Mol. Phylogenet. Evol.* 36, 154–168.
- Ropiquet, A., Hassanin, A., 2006. Hybrid origin of the Pliocene ancestor of wild goats. *Mol. Phylogenet. Evol.* 41, 395–404.
- Rothschild, W., 1913. On *Ovis lervia* Pallas and its subspecies. *Novit. Zool.* 20, 459–460.
- Rothschild, W., 1921. Captain Angus Buchanan's Air expedition. III. Ungulate mammals collected by Captain Angus Buchanan. *Novit. Zool.* 28, 75–77.
- Ryder, O.A., 1986. Species conservation and systematics: the dilemma of subspecies. *Trends Ecol. Evol.* 1, 9–10.
- Sanna, D., Barbato, M., Hadjisterkotis, E., Cossu, P., Decandia, L., Trova, S., Pirastru, M., Leoni, G.G., Naitana, S., Francalacci, P., Masala, B., Manca, L., Mereu, P., 2015. The first mitogenome of the Cyprus mouflon (*Ovis gmelini ophion*): new insights into the phylogeny of the genus *Ovis*. *PLoS One* 10, 0144257.
- Sano, A., Tachida, H., 2005. Gene genealogy and properties of test statistics of neutrality under population growth. *Genetics* 169, 1687–1697.
- Schlieben, S., Erhardt, G., Senft, B., 1991. Genotyping of bovine k-casein (k-CN<sup>A</sup>, k-CN<sup>B</sup>, k-CN<sup>C</sup>, k-CN<sup>E</sup>) following DNA sequence amplification and direct sequencing of k-CN<sup>E</sup> PCR product. *Anim. Genet.* 22, 333–342.
- Schwarz, G., 1978. Estimating the dimension of a model. *Ann. Stat.* 6, 461–464.
- Shackleton, D.M. (Ed.), IUCN/SSC Caprinae Specialist Group, 1997. *Wild sheep and goats and their relatives: status survey and conservation action plan for Caprinae*. I.U.C.N., Gland, Switzerland and Cambridge, UK.
- Silva, T.L., Godinho, R., Castro, D., Abáigar, T., Brito, J.C., Alves, P.C., 2015. Genetic identification of endangered North African ungulates using noninvasive sampling. *Mol. Ecol. Resour.* 15, 652–661.
- Silva, T.L., Vale, C.G., Godinho, R., Fellous, A., Hingrat, Y., Alves, P.C., Abáigar, T., Brito, J.C., 2017. Ecotypes and evolutionary significant units in endangered North African gazelles. *Biol. J. Linn. Soc.* 122, 286–300.
- Sim, Z., Hall, J.C., Jex, B., Hegel, T.M., Coltman, D.W., 2016. Genome-wide set of SNPs reveals evidence for two glacial refugia and admixture from postglacial recolonization in an alpine ungulate. *Mol. Ecol.* 25, 3696–3705.
- Simonsen, K.L., Churchill, G.A., Aquadro, C.F., 1995. Properties of statistical tests of neutrality for DNA polymorphism data. *Genetics* 141, 413–429.
- Stamatakis, A., 2014. RAxML version 8: a tool for phylogenetic analysis and post-analysis of large phylogenies. *Bioinformatics* 30, 1312–1313.
- Sugiura, N., 1978. Further analysis of the data by akaike's information criterion and the finite corrections. *Commun. Stat. Theo. Meth.* 7, 13–26.
- Sukumaran, J., Holder, M.T., 2010. DendroPy: a Python library for phylogenetic computing. *Bioinformatics* 26, 1569–1571.
- Tajima, F., 1989b. The effect of change in population size on DNA polymorphism. *Genetics* 123, 597–601.
- Tajima, F., 1989a. Statistical method for testing the neutral mutation hypothesis by DNA polymorphism. *Genetics* 123, 585–595.
- Tajima, F., 1993. Simple methods for testing the molecular evolutionary clock hypothesis. *Genetics* 135, 599–607.
- Takezaki, N., Nei, M., 1996. Genetic distances and reconstruction of phylogenetic trees from microsatellite DNA. *Genetics* 144, 389–399.
- Tamura, K., Kumar, S., 2002. Evolutionary distance estimation under heterogeneous substitution pattern among lineages. *Mol. Biol. Evol.* 19, 1727–1736.
- Tamura, K., Nei, M., 1993. Estimation of the number of nucleotide substitutions in the control region of mitochondrial DNA in humans and chimpanzees. *Mol. Biol. Evol.* 10, 512–526.
- Tamura, K., Battistuzzi, F.U., Billing-Ross, P., Murillo, O., Filipiński, A., Kumar, S., 2012. Estimating divergence times in large molecular phylogenies. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 109, 19333–19338.
- Tamura, K., Tao, Q., Kumar, S., 2018. Theoretical foundation of the RelTime method for estimating divergence times from variable evolutionary rates. *Mol. Biol. Evol.* 35, 1770–1782.
- Tao, Q., Tamura, K., Battistuzzi, F.U., Kumar, S., 2019. A machine learning method for detecting autocorrelation of evolutionary rates in large phylogenies. *Mol. Biol. Evol.* 36, 811–824.
- Tchacka, L., Eizirik, E., De Oliveira, T.G., Candido Jr, J.F., Freitas, T.R., 2007. Phylogeography and population history of the crab-eating fox (*Cerdocyon thous*). *Mol. Ecol.* 16, 819–838.
- Templeton, A.R., Crandall, K.A., Sing, C.F., 1992. A cladistic analysis of phenotypic associations with haplotypes inferred from restriction endonuclease mapping and DNA sequence data III. Cladogram estimation. *Genetics* 132, 619–633.
- Templeton, A.R., Routman, E., Phillips, C.A., 1995. Separating population structure from population history: a cladistic analysis of the geographical distribution of mitochondrial DNA haplotypes in the tiger salamander, *Ambystoma tigrinum*. *Genetics* 140, 767–782.
- Thorne, J.L., Kishino, H., Painter, I.S., 1998. Estimating the rate of evolution of the rate of molecular evolution. *Mol. Biol. Evol.* 15, 1647–1657.
- Tyner, C., Barber, G.P., Casper, J., Clawson, H., Diekhans, M., Eisenhart, C., Fischer, C.M., Gibson, D., Gonzalez, J.N., Guruvadoo, L., Haeussler, M., Heitner, S., Hinrichs, A.S., Karolchik, D., Lee, B.T., Lee, C.M., Nejad, P., Raney, B.J., Rosenbloom, K.R., Speir, M.L., Villarreal, C., Vivian, J., Zweig, A.S., Haussler, D., Kuhn, R.M., Kent, W.J., 2017. The UCSC Genome Browser database: 2017 update. *Nucl. Acids Res.* 45, D626–D634.
- Van Dam, J.A., Alcalá, L., Zarza, A.A., Calvo, J.P., Garcés, M., Krijgsman, W., 2001. The upper Miocene mammal record from the Teruel-Alfambra region (Spain). The MN system and continental stage/age concepts discussed. *J. Vertebr. Paleontol.* 21, 367–385.
- Villesen, P., 2007. FaBox: an online toolbox for FASTA sequences. *Mol. Ecol. Notes* 7, 965–968.
- Vogler, A.P., DeSalle, R., 1994. Diagnosing units of conservation management. *Conserv. Biol.* 8, 354–363.
- Werle, E., Schneider, C., Renner, M., Völker, M., Fiehn, W., 1994. Convenient single-step, one tube purification of PCR products for direct sequencing. *Nucl. Acids Res.* 22, 4354–4355.
- Wilson, A.C., Cann, R.L., Carr, S.M., George, M., Gyllensten, U.B., Helm-Bychowski, K.M., Higuchi, R.G., Palumbi, S.R., Prager, E.M., Sage, R.D., Stoneking, M., 1985. Mitochondrial DNA and two perspectives on evolutionary genetics. *Biol. J. Linn. Soc.* 26, 375–400.
- Wyner, Y.M., Amato, G., DeSalle, R., 1999. Captive breeding, reintroduction, and the conservation genetics of black and white ruffed lemurs, *Varecia variegata variegata*. *Mol. Ecol.* 8, S107–S115.
- Xia, X., 2017. DAMBE6: new tools for microbial genomics, phylogenetics, and molecular evolution. *J. Hered.* 108, 431–437.
- Xia, X., Xie, Z., Salemi, M., Chen, L., Wang, Y., 2003. An index of substitution saturation and its application. *Mol. Phylogenet. Evol.* 26, 1–7.
- Yang, C., Xiang, C., Qi, W., Xia, S., Tu, F., Zhang, X., Moermond, T., Yue, B., 2013. Phylogenetic analyses and improved resolution of the family Bovidae based on complete mitochondrial genomes. *Biochem. Syst. Ecol.* 48, 136–143.
- Yule, G.U., 1925. A mathematical theory of evolution, based on the conclusions of Dr. J. C. Willis, F. R. S. *Philos. T. Roy. Soc. Lond. B* 213, 21–87.
- Zhang, D.-X., Hewitt, G.M., 1996. Nuclear integrations: challenges for mitochondrial DNA markers. *Trends Ecol. Evol.* 11, 247–251.
- Zhang, D.-X., Hewitt, G.M., 2003. Nuclear DNA analyses in genetic studies of populations: practice, problems and prospects. *Mol. Ecol.* 12, 563–584.
- Zimin, A.V., Delcher, A.L., Florea, L., Kelley, D.R., Schatz, M.C., Puiu, D., Hanrahan, F., Pertea, G., Van Tassel, C.P., Sonstegard, T.S., Marçais, G., Roberts, M., Subramanian, P., Yorke, J.A., Salzberg, S.L., 2009. A whole-genome assembly of the domestic cow, *Bos taurus*. *Genome Biol.* 10, R42.
- Zink, R.M., 2004. The role of subspecies in obscuring avian biological diversity and misleading conservation policy. *Proc. R. Soc. Lond. B* 271, 561–564.
- Zink, R.M., Barrowclough, G.F., 2008. Mitochondrial DNA under siege in avian phylogeography. *Mol. Ecol.* 17, 2107–2121.

Louiza Derouiche, Farid Bounaceur\*, Naceur Benamor, Mohamed Hadjloum, Hafida Benameur-Hasnaoui, Houria Ounas, Ahmed Irzagh, Aouad Boualem, Redouane Belmoures, Chaouki Djeghim and Stéphane Aulagnier

# Distribution and status of the striped hyena *Hyaena hyaena* (Linnaeus, 1758) (Mammalia, Hyaenidae) in Algeria

<https://doi.org/10.1515/mammalia-2019-0085>

Received February 12, 2019; accepted January 30, 2020

**Abstract:** The striped hyena *Hyaena hyaena* is listed “Vulnerable” by the International Union for Conservation of Nature (IUCN) in the Mediterranean region as its population and range are decreasing in most countries. In Algeria, the distribution and status of this species have not been reviewed for nearly 30 years. A field survey was conducted during the last 10 years in many regions and suitable habitats in order to update this information. Our results show that the striped hyena was eradicated from some northern areas of its former range, but still occurs in most regions of Algeria. Causes of mortality are reported and conservation measures are suggested in order to keep sustainable populations.

**Keywords:** Carnivora; habitat; North Africa; range; survey.

\*Corresponding author: Farid Bounaceur, Département des Sciences de la Nature et de la Vie, Centre Universitaire Ahmed Ben Yahia Al-Wancharissi, Tissemsilt 38000, Algeria, e-mail: fbounaceur@yahoo.fr

**Louiza Derouiche:** École Supérieure des Sciences de l’Aliment et Industries Agroalimentaires, Avenue Ahmed Hamidoch Beaulieu, 16200 El Harrach, Alger, Algeria

**Naceur Benamor, Ahmed Irzagh and Aouad Boualem:** Equipe de Recherche Biologie de la Conservation en Zones arides et Semi Arides, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie Campus de Karmane, Université Ibn Khaldoun, Tiaret 14000, Algeria

**Mohamed Hadjloum:** Service Gestion et Protection de la Faune, Direction Générale des Forêts, Alger 16000, Algeria

**Hafida Benameur-Hasnaoui:** Parc National de Tlemcen, Site de Lalla Setti, Tlemcen 13000, Algeria

**Houria Ounas and Redouane Belmoures:** Laboratoire de Recherche Productions Animales, Biotechnologie et Santé (PABIOS), Institut des Sciences Agronomiques et Vétérinaires, Université Mohammed Chérif Messâadia, Souk Ahras 41000, Algeria

**Chaouki Djeghim:** Association pour la Protection de la Nature et de l’Environnement, Ibn Ziad, Constantine 25000, Algeria

**Stéphane Aulagnier:** Comportement et Ecologie de la Faune Sauvage, Institut National de la Recherche Agronomique, Université de Toulouse, CS 52627, 31326 Castanet-Tolosan cedex, France

## Introduction

Global analyses show that carnivores are among the most threatened mammals (Ceballos et al. 2005, Schipper et al. 2008). Over the 295 existing species, 114 are currently on the International Union for Conservation of Nature’s (IUCN) Red List of Threatened Species and six are “Data Deficient” (IUCN 2018). It is challenging for scientists to identify the causes of decline of carnivores, and for conservationists to keep sustainable populations over their whole range (Karanth and Chellam 2009). Due to their position high up in the trophic network, carnivores usually have low population densities (Riple et al. 2014). Most species are threatened by habitat loss and fragmentation, hunting for curative purposes or trophies, depletion of their prey due to excessive shooting, snaring, netting or other forms of exploitation (Robinson and Bennett 2000).

In the 20th century, North African carnivores lost the type subspecies of lion *Panthera leo leo* (Linnaeus, 1758) (Black et al. 2013), and possibly the African wild dog, *Lycan pictus* (Temminck, 1820), and leopard, *Panthera pardus* (Linnaeus, 1758); in addition, cheetah, *Acinonyx jubatus* (Schreber, 1778) and serval, *Leptailurus serval* (Schreber, 1776) are on the verge of extinction (Kowalski and Rzebik-Kowalska 1991, Aulagnier et al. 2015). After these “Critically Endangered” or “Endangered” species of the Mediterranean region (Temple and Cuttelod 2009) comes the “Vulnerable” striped hyena, *Hyaena hyaena* (Linnaeus, 1758).

The striped hyena is widely distributed in the northern half of Africa (Wagner 2013), in Asia, the Middle East and the Arabian Peninsula, albeit now patchily (Kolowski and Holekamp 2009). Over a total population of 5000–14,000 individuals, the African population, 2450–7850 individuals, represents roughly half of the worldwide striped hyenas (Hofer and Mills 1998). The species is listed “Near Threatened” under the criterion C1 (AbiSaid and Dloniak 2015), given that the numbers are likely to be below 10,000 mature individuals and the deliberate and incidental persecution it suffers. Other ecological factors

such as scarcity of food and shelter and competition with other carnivores may also be factors contributing to the decline of this species (Wagner 2006, Alam 2011).

After the extinction of the spotted hyena *Crocuta crocuta* (Erxleben, 1777) during the Neolithic period (Geraads 2017), the striped hyena became the only representative of the four extant hyaenid species in North Africa where it is sometimes considered to be a subspecies, *Hyaena hyaena barbara* Blainville, 1844. For north-western Africa, the distribution and status have not been evaluated in Tunisia where the species is considered “historically present” by Hofer and Mills (1998). In Morocco, Cuzin et al. (2017) recently reported a dramatic decline due to illegal hunting and trapping for sorcery purposes (Bellakhdar 1978), poisoning campaigns (Ogada 2014) and road fatalities. In Algeria, the most recent information about the distribution of the striped hyena was documented by De Smet (1989) and compiled by Kowalski and RzebiK-Kowalska (1991).

After the recent increase in human activities including habitat destruction and persecution and in the absence of recent reported sightings updating the distribution and status of the striped hyena, it became a priority to initiate ecological studies and prepare a conservational action plan.

Wild carnivores are charismatic but competing animals for humans, and the assessment of population trends and status is often tricky due to ecological traits such as solitary, nocturnal and elusive behavior, low population densities and concealment of information by local people when they are protected. Nevertheless we conducted field surveys over Algeria in most habitats suitable for the striped hyena. We also questioned many potential sources of information in order to map its current distribution and assess the recorded causes of mortality. Due to the lack of past and present knowledge, we were unable to identify population trends; therefore, we will update the status of the species by comparing this distribution to the maps prepared similarly by De Smet (1989) (Figures 1A, 2A).

## Materials and methods

The hyena survey was conducted between 2008 and 2018 in all regions and natural habitats of Algeria. Two teams were involved in collecting data. First, LD collected data through a collaboration with forest conservationists of the General Forest Office (DGF), and with national parks from different Algerian sites including: Chr ea (CNP, Blida), Belzma (BNP, Batna), Tlemcen (TNP, Tlemcen), Theniet El Had (THENP, Tissemsilt), El Kala  (EKNP, El Taref), Djurdjura (DNP, Bouira – Tizi-Ouzou), Gouraya (GNP, Bejaia).

The help of veterinaries and naturalists from different parts of the country was also relevant. Second, FB and his team visited four to five times each locality where the presence of the striped hyena was reliably reported by forest officers. In the field, information was collected either by direct sighting or by interviewing local shepherds, hunters, forest rangers and wildlife naturalists.

Each specimen or track sighting was visited by one author, and some sites were visited more than once. Unfortunately, some sites were unreachable, and associated data were discarded. Information recorded at each site included: location, date, GPS coordinates, type of record (live sighting, dead animal, feces, etc.), main habitat type and human activities.

Each data sheet was completed by one of the authors with the help of local game hunters or shepherds. Confirmation of sightings or tracks was based on our field investigations.

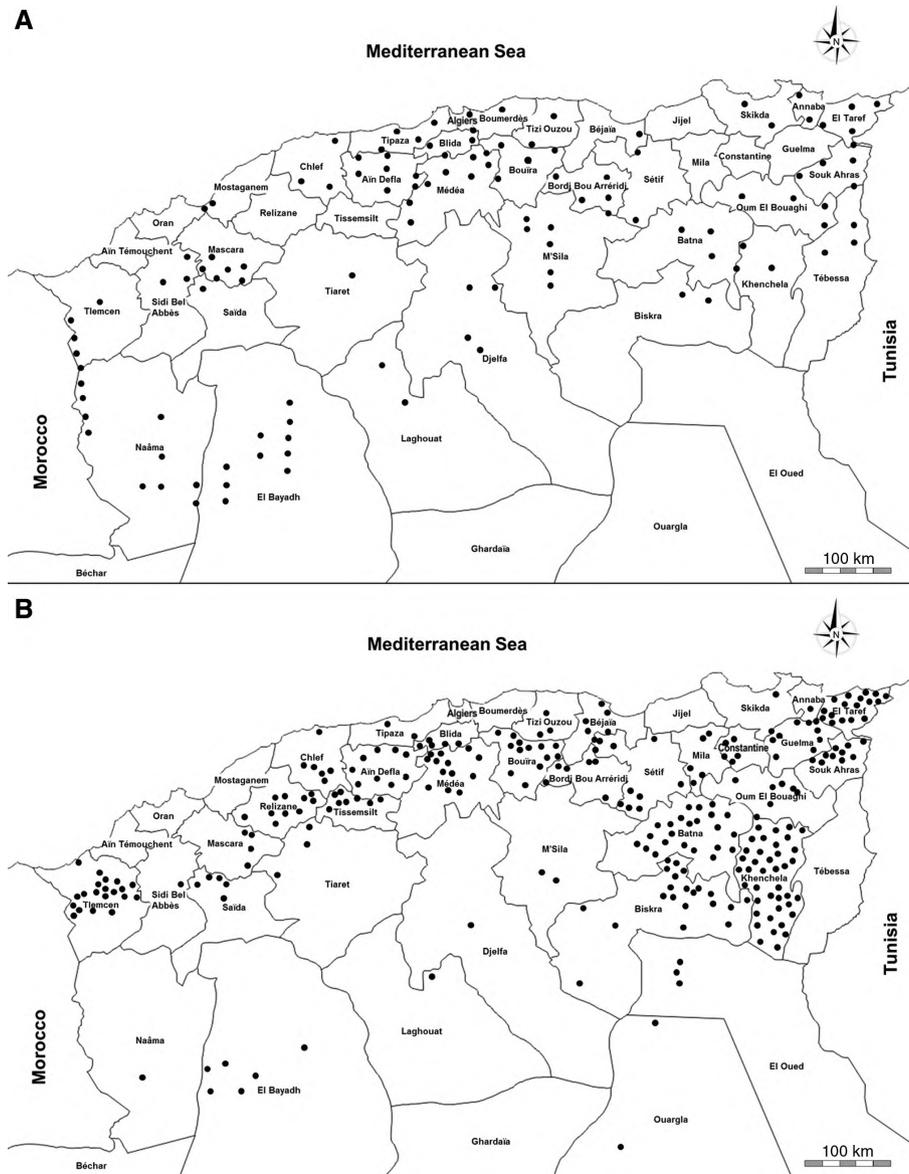
Collected data were used to map the presence of the striped hyena using MapInfo v 8.0 (North Greenbush, NY, USA). The distribution reported by De Smet (1989) was also mapped accordingly for comparison (Figure 1A, B).

## Results

We recorded 314 striped hyena locations (Figures 1B, 2B) supporting a wide distribution of the species in the country, including southern Sahara. Most new records were obtained from northern Algeria (Supplementary Table 1), with the presence of the species in 28 locations near Tlemcen in north-west, ranging from the Mediterranean strand to the semi-arid part of this governorate. Heading east, the striped hyena was reported mainly in the mountainous regions north to the Atlas chain, with numerous locations in some governorates: 34 in Bouira, 29 in El Taref, 27 in Batna, 22 in Biskra, 14 in Souk Ahras, 13 in M ed ea, 10 in Ain Defla, Constantine, Relizane, Tissemsilt and Setif. In the most northern part of the country, it was reported only from Bejaia (cultivated area), Chlef (Bissa cork-oak forest), Tipaza (cultivated area) and the Medejerd mountains in El Taref governorate at the extreme north-east.

The striped hyena was recorded mainly in mountain open and dense forests (43.9% of records) of pine (*Pinus halepensis*) and green oak (*Quercus ilex*), but also in cultivated lands (41.4%), often bordered by clear forests, and peri-urban areas (Figure 3). Steppe (6.7%), matorral and maquis (1.0%) provided fewer records.

A total of 121 specimens were found dead (Figure 4). Road fatality was the main cause of mortality (57.0%), before human shooting (19.8%), trapping (5.8%) or



**Figure 1:** Distribution of the striped hyena (*Hyaena hyaena*) in northern Algeria. (A) According to De Smet (1989) and (B) data collected between 2008 and 2018.

poisoning (0.8%). One animal was killed by feral dogs. At last the cause of mortality was undetermined for 19 dead specimens.

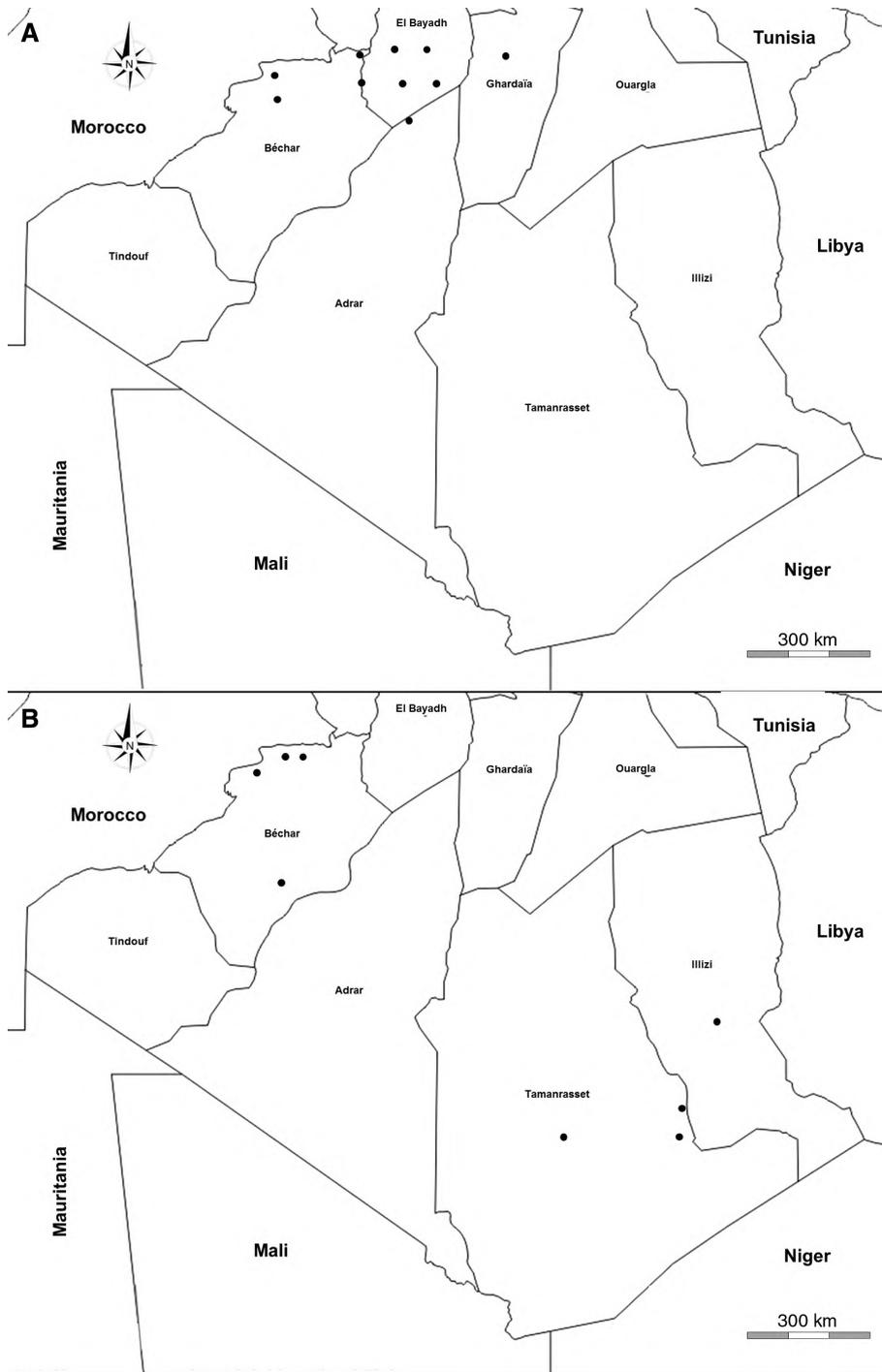
## Discussion

### Distribution and habitat

By comparison with the distribution mapped by De Smet (1989), we collected a data set including several new records of occurrence. This set also shows that the

striped hyena is still widely distributed in Algeria from the Mediterranean Sea to central Sahara, through semi-arid and arid regions. Yet some differences can be emphasized. The retreat from the northernmost parts of the country, reported during the 20th century (Kowalski and Rzebik-Kowalska 1991), is ongoing.

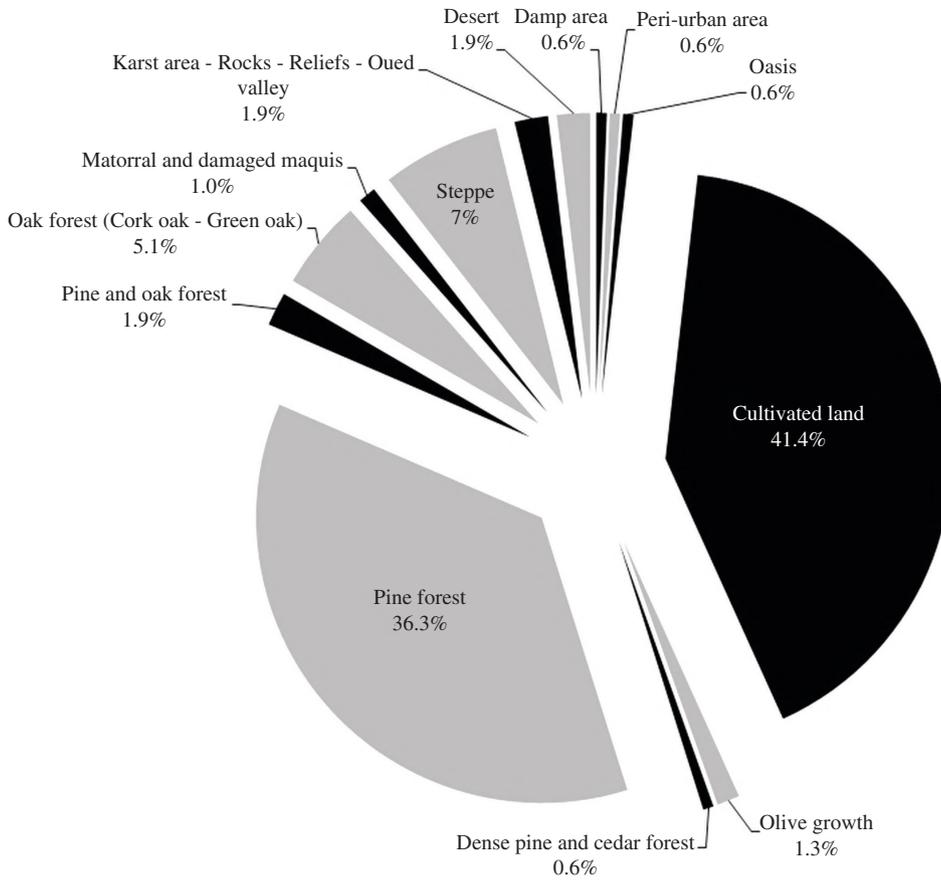
The striped hyena has disappeared from the vicinity of important economic localities such as Algiers, Boumerdes and Mostaganem where it was reported until the 1990s (De Smet 1989). In the north of the Saharan Atlas, we did not record any sign of presence where it occurred previously in Bayadh Naâma and Ghardaia governorates (De Smet 1989, Kowalski and Rzebik-Kowalska 1991).



**Figure 2:** Distribution of the striped hyena (*Hyaena hyaena*) in southern Algeria. (A) According to De Smet (1989) and (B) data collected between 2008 and 2018.

Our investigations in these areas were possibly not very efficient due to the lack of surveyors and the wide area to survey. Similarly, the lack of striped hyena data from the north-eastern region in Tébessa governorate, which is a difficult region to survey due to insecurity, should be further investigated.

On the other hand, the striped hyena was recorded in southern Sahara (Hoggar and Tassili n'Ajjer) where the previous record dated back to the middle 20th century (Régnier 1960). We believe however that there are still more undiscovered populations in this area. Many occurrences were also collected in Tlemcen, Batna and



**Figure 3:** Main habitats of the striped hyena (*Hyaena hyaena*) in Algeria according to data collected between 2008 and 2018.

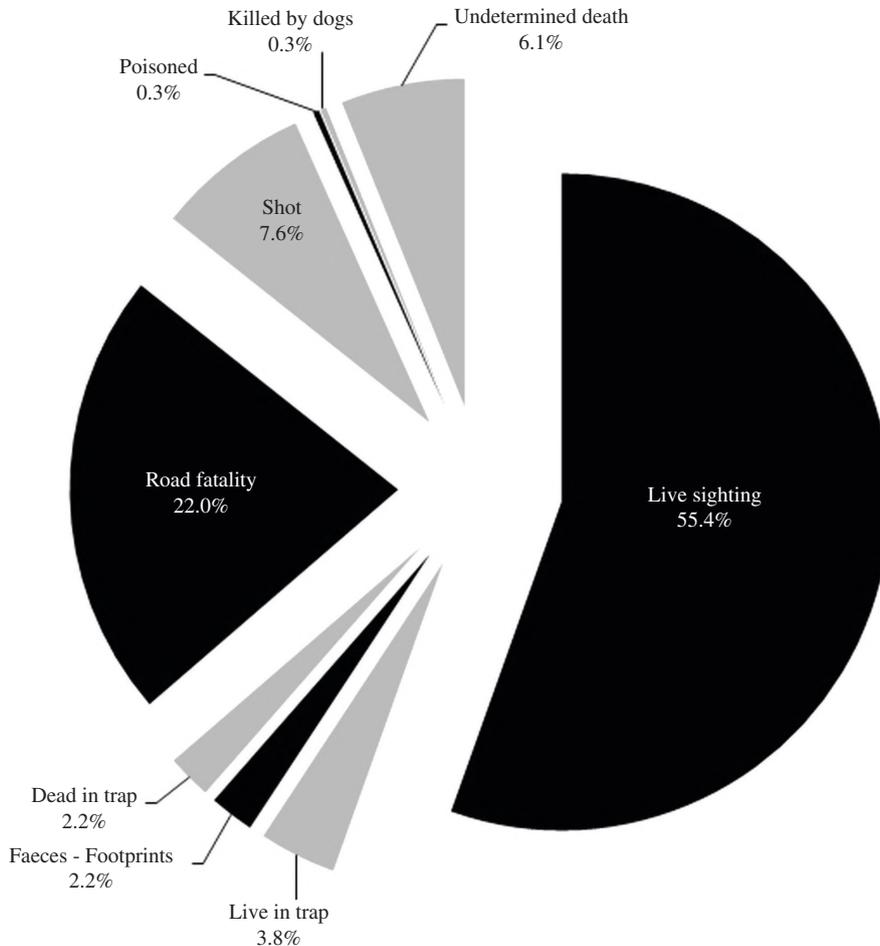
Khenchela governorates where De Smet (1989) reported only few sightings. The number of data from Tlemcen is surprising as there is no evidence of remaining hyenas across the Moroccan border (Cuzin et al. 2017). Many data also originated from Médéa, Bouira, Biskra, Souk Ahras and El Taref governorates, whereas the species is suggested to remain as several small isolated populations in the nearby northern Tunisia (Dalhoumi et al. 2018). These various “spots” are located in different bioclimates, geographical areas and elevations with a maximum vertical distribution of ca. 2000 m in Djurdjura mountains whereas it is 2700 m in Morocco (Cuzin 2003) and 3300 m in Pakistan (Roberts 1997).

According to the literature, the striped hyena generally favors open or thorn bushes in arid to semi-arid environments, where water is available, and avoids open desert and dense thickets and forests (Wagner 2013). In Algeria, most data were collected from mountains or rough terrains, including deep valleys in karst areas, which could offer resting sites for the species as it was reported by Rieger (1979). They were also mainly recorded in, or near, open forests which are not part of the

habitat described in central Asia by Heptner and Sludskij (1980) or more recently in India by Alam et al. (2015). It is noteworthy but not surprising to notice the presence of striped hyenas in cultivated zones and near rural settlements, as this species is among the main carnivores using human-provided food resources as components of their diet (Mills and Hofer 1998). Such opportunistic behavior may prevail in crowded Algerian regions like Constantine governorate. In India, population densities of the striped hyena are linked to the availability of safe refuges and livestock abundance (Alam et al. 2015). Similarly, the largest number of records from eastern Algeria could be related to the presence of shelters, human settlements and free-ranging livestock.

### Causes of mortality

Over 122 dead striped hyenas, 68 resulted from road fatality, which was also reported from Israel (Mendelsohn 1993), Turkey (Akay et al. 2011) and Iran (Tourani et al. 2012). In Morocco, this cause of mortality has increased



**Figure 4:** Categories of observations (including causes of mortality) of the striped hyena (*Hyaena hyaena*) in Algeria from data collected between 2008 and 2018.

with road traffic as hyenas are attracted by roadkills (Aulagnier et al. 2015). Beyond socio-economic and traffic safety impact (e.g. Bissonette et al. 2008), animal populations may suffer from isolation and increased inbreeding leading to population declines and local extinctions (Forman and Alexander 1998, Coffin 2007, Jackson and Fahrig 2011).

The second reported cause of mortality was hunting and poisoning as, like in its whole range (Hofer 1998), the striped hyena is blamed for damages on livestock (goats, sheep) and poultry. Human-hyena conflict is one of the major challenges to save the remaining populations. Studies analyzing the conflict between human and wildlife in many parts of the world showed that the rate of tolerance toward predators mostly depends on the degree of predation on their domestic animals (Kolowski and Holekamp 2006, Holmern et al. 2007, Bhandari and Chalise 2016, Dejene et al. 2016, Bhandari and Bouchal 2018). In Algeria, the increasing level of conflict is probably due to

the lack of conservation awareness and mitigation programs for this species.

The third cause of mortality was trapping targeted to control wild boar, *Sus scrofa*, whose numbers are rising everywhere in Algeria and Tunisia (Cuzin and Randi 2013). Finally, the cause of mortality of 20 specimens was not identified due to the lack of local veterinary laboratories where autopsies can be performed. We suspect that some of these specimens were poisoned either intentionally or indirectly after eating a poisoned prey mainly used for jackal control.

### Status and conservation issues

Striped hyena populations are declining throughout the geographical range due to prosecution, poisoning and hunting for medicinal purposes, depletion of prey populations, habitat destruction, wildlife diseases and

competition with other carnivores (Singh et al. 2010, Akay et al. 2011, Alam 2011, Dejene et al. 2016). In Algeria, there are no data on population trends. Our current records suggest the scarcity of most populations. Regarded as endangered in North Africa for a long time (Simon 1969) and in Egypt more recently (Hoath 2003), the striped hyena is dramatically declining in Morocco (Cuzin et al. 2017). Yet records are still numerous in Algeria, where the species is however highly vulnerable.

Numerous data were collected from cultivated zones and peri-urban areas as natural prey depletion forces hyenas to venture into human settlements in search of food, such as livestock and other domestic animals (Wagner 2013). In this case, the human-hyena conflict cannot be solved by only legal protection of the species (order 06-05 of July 15, 2006 for Algeria) and authority supervision. So, trade of skins, teeth and legs still occurs on the market in Taghit and Béni Abbès (south-western Algeria) for traditional medicine purposes (pers. obs.).

The concept of conservation and sustainable use of natural resources is deeply rooted in Islamic culture (Bakader et al. 1983), and should convince a larger number of people to accept the presence of striped hyenas. Additionally, conservation strategies should involve the preservation of numerous wild prey, as well as adopting methods to reduce livestock killings (e.g. effective nocturnal livestock management in predator-proof pens, herding during daytime, use of guard dogs). In most conflicting sites, compensation programs should be launched.

In order to reduce road fatalities, a number of mitigation measures have been designed (Glista et al. 2009, van der Grift et al. 2013, Rytwinski et al. 2015). However, these measures may not apply in the North African landscapes and for the striped hyena which is attracted by roadkills.

In conclusion, our data indicate that the occurrence of the striped hyena is larger in Algeria than it is widely believed, even if only a limited number of sites have been surveyed. Moreover, it was impossible for us to estimate populations for various reasons, including the extent of suitable habitats for the species and the insecurity in some regions. Additional studies on populations living in different habitat types are needed for improving our knowledge of the striped hyena conservation status in Algeria.

**Acknowledgments:** We thank our colleagues, Faten Lasgaa and Halima Boutheldja, for providing information on specimens.

## References

- AbiSaid, M. and S.M.D. Dloniak. 2015. *Hyaena hyaena*. The IUCN Red List of Threatened Species 2015: e.T10274A45195080.
- Akay, A.E., S. Inac and I.C. Yildirim. 2011. Monitoring the local distribution of striped hyenas (*Hyaena hyaena* L.) in the Eastern Mediterranean region of Turkey (Hatay) by using GIS and remote sensing technologies. *Environ. Monit. Assess.* 181: 145–455.
- Alam, M.S. 2011. Status ecology and conservation of striped hyena (*Hyaena hyaena*) in Gir National Park and Sanctuary, Gujarat. PhD Thesis, Aligarh Muslim University, Aligarh, India.
- Alam, M.S., J.A. Khan and B.J. Pathak. 2015. Striped hyena (*Hyaena hyaena*) status and factors affecting its distribution in the Gir National Park and Sanctuary, India. *Folia Zool.* 64: 32–39.
- Aulagnier, S., A. Bayed, F. Cuzin and M. Thévenot. 2015. Mammifères du Maroc: extinctions et régressions au cours du XX<sup>ème</sup> siècle. In: *Approche intégrative de la 6<sup>ème</sup> extinction: influence de l'installation des hommes modernes au Maroc sur l'évolution de la biodiversité des petits vertébrés terrestres*. *Trav. Inst. Sci., Sér. gén.* 8: 53–67.
- Bakader, A., A. Al-Sabbagh, M. Al-Genid and M. Izzidien. 1983. Islamic principles for the conservation of the natural environment. IUCN, Gland. pp. 25.
- Bellakhdar, J. 1978. Médecine traditionnelle et toxicologie ouest-sahariennes. Contribution à l'étude de la pharmacopée marocaine. Ed. tech. nord-africaines, Rabat. pp. 357.
- Bhandari, S. and D.R. Bouchal. 2018. Notes on human–hyena (*Hyaena hyaena*, Linnaeus 1751) conflict in Jajarkot, Kalikot and Mahottari district of Nepal. *J. Inst. Sci. Tech.* 22: 127–131.
- Bhandari, S. and M.K. Chalise. 2016. People's attitudes toward striped hyena (*Hyaena hyaena* Linnaeus, 1758) (Mammalia: Carnivora: Hyainidae) conservation in lowland Nepal. *J. Threat. Taxa* 8: 9125–9130.
- Bissonette, J.A., C.A. Kassar and L.J. Cook. 2008. Assessment of costs associated with deer–vehicle collisions: human death and injury, vehicle damage, and deer loss. *Hum. Wildl. Interact.* 2: 17–27.
- Black S.A., A. Fellous, N. Yamaguchi and D.L. Roberts. 2013. Examining the extinction of the Barbary lion and its implication for felid conservation. *PLoS One* 8: e60174.
- Ceballos, G., P.R. Erlich, J. Soberon, I. Salazar and J.P. Fay. 2005. Global mammal conservation: what must we manage? *Science* 309: 603–607.
- Coffin, A.W. 2007. From roadkill to road ecology: a review of the ecological effects of roads. *J. Transp. Geogr.* 15: 396–406.
- Cuzin, F. 2003. Les grands Mammifères du Maroc méridional (Haut Atlas, Anti Atlas et Sahara): distribution, écologie et conservation. Thèse Doctorat E.P.H.E., Montpellier. pp. 340.
- Cuzin, F. and E. Randi. 2013. *Sus scrofa* Wild boar (Eurasian wild pig). In: (J. Kingdon and M. Hoffmann, eds.) *Mammals of Africa*. Volume VI. Pigs, hippopotamuses, chevrotain, giraffes, deer and bovinds. Bloomsbury Publishing, London. pp. 28–31.
- Cuzin, F., S. Aulagnier and M. Thévenot. 2017. Carnivora (pp. 155–196). In: (S. Aulagnier, F. Cuzin and M. Thévenot, eds.) *Mammifères sauvages du Maroc*. Peuplement, répartition, écologie. Société Française pour l'Etude et la Protection des Mammifères, Paris. pp. 340.
- Dalhouni, R., N. Nefla, W. Bedoui, R. Ouni and S. Aulagnier. 2018. Liste préliminaire des mammifères terrestres de la région

- Mastouta-Bishshouk (Beja, nord-ouest de la Tunisie). Rev. Fac. Sci. Bizerte 16: 1–10.
- De Smet, K.J.M. 1989. Studie van de verspreiding en biotoopkeuze van de grote Mammalia in Algerie in het kader van het natuurbehoud. Doctorat Landbouwkundige Wetenschappen, Rijksuniv. Gent. pp. 355.
- Dejene, S.W., N. Dechassa and R.U. Reddy. 2016. Coexistence of human and hyena and associated impacts in Haramaya district of Eastern Ethiopia. Int. J. Biodivers. Conserv. 8: 1–7.
- Forman, R.T.T. and L.E. Alexander. 1998. Roads and their major ecological effects. Ann. Rev. Ecol. Syst. 29: 207–231.
- Geraads, D. 2017. Grands Mammifères fossiles du Maroc. In: (S. Aulagnier, F. Cuzin and M. Thévenot, eds.) Mammifères sauvages du Maroc. Peuplement, répartition, écologie. Société Française pour l'Etude et la Protection des Mammifères, Paris. pp. 63–72.
- Glista, D.J., T.L. DeVault and J.A. DeWoody. 2009. A review of mitigation measures for reducing wildlife mortality on roadways. Landscape Urban Plan. 91: 1–7.
- Heptner, V.G. and A.A. Sludskij. 1980. Die Säugetiere Der Sowjetunion. Raubtiere (Feloidea) (Vol. III). Veb Gustav Fischer, Jena. pp. 607.
- Hoath, R. 2003. A field guide to the mammals of Egypt. The American University in Cairo Press, Cairo – New York. pp. 236.
- Hofer, H. 1998. 3.2 Striped hyaena *Hyaena (Hyaena) hyaena* (Linnaeus, 1758). In: (G. Mills and H. Hofer, eds.) Hyaenas. Status survey and conservation action plan. I.U.C.N./S.S.C. Hyaena Specialist Group, Cambridge. pp. 21–26.
- Hofer, H. and G. Mills. 1998. Population size, threats and conservation status of hyaenas. In: (G. Mills and H. Hofer, eds.) Hyaenas. Status survey and conservation action plan. I.U.C.N./S.S.C. Hyaena Specialist Group, Cambridge. pp. 64–79.
- Holmern, T., J.W. Nyahongo and E. Roskaft. 2007. Livestock loss caused by predators outside the Serengeti National Park, Tanzania. Biol. Conserv. 135: 518–542.
- IUCN. 2018. The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2018-2. <<http://www.iucnredlist.org>>.
- Jackson, N.D. and L. Fahrig. 2011. Relative effects of road mortality and decreased connectivity on population genetic diversity. Biol. Conserv. 144: 3143–3148.
- Karanth, K.U. and R. Chellam. 2009. Carnivore conservation at the crossroads. Oryx 43: 1–2.
- Kolowski J.M. and K.E. Holekamp. 2006. Spatial, temporal, and physical characteristics of livestock depredations by large carnivores along a Kenyan reserve border. Biol. Conserv. 128: 529–541.
- Kolowski J.M. and K.E. Holekamp. 2009. Ecological and anthropogenic influences on space use by spotted hyaenas. J. Zool. 277: 23–36.
- Kowalski, K. and B. Rzebiak-Kowalska. 1991. Mammals of Algeria. Ossolineum, Krakow. pp. 370.
- Mendelsohn, H. 1993. The present situation of the hyaena (*Hyaena hyaena suriaca*) in Israel. IUCN/SSC Hyaena Specialist Group Newsletter 6: 24–25.
- Mills, G. and H. Hofer. 1998. Action plan for hyaenid conservation into the 21st century. In: (G. Mills and H. Hofer, eds.) Hyaenas. Status survey and conservation action plan. I.U.C.N./S.S.C. Hyaena Specialist Group, Cambridge. pp. 103–108.
- Ogada, D.L. 2014. Power of poison: pesticide poisoning of Africa's wildlife. Ann. N.Y. Acad. Sci. 1322: 1–20.
- Régnier J. 1960. Les Mammifères au Hoggar. Bull. Liais. sahar. 11: 300–320.
- Rieger I. 1979. A review of the biology of striped hyaenas, *Hyaena hyaena* (Linné, 1758). Säugetierk. Mitteil. 27: 81–95.
- Ripple W.J., J.A. Estes, R.L. Beschta, C.C. Wilmers, E.G. Ritchie, M. Hebblewhite, J. Berger, B. Elmhagen, M. Letnic, M.P. Nelson, O.J. Schmitz, D.W. Smith, A.D. Wallach and A.J. Wirsing. 2014. Status and ecological effects of the World's largest Carnivores. Science 343: 1241484.
- Roberts T.J. 1997. The mammals of Pakistan. Revised edition. Oxford University Press, Karachi. pp. 525.
- Robinson, J.G. and E.L. Bennett. 2000. Hunting for sustainability in tropical forests. Columbia University Press, Irvinton. pp. 1000.
- Rytwinski, T., R. van der Ree, G.M. Cunningham, L. Fahrig, C.S. Findlay, J. Houlahan, J., J.A.G. Jaeger, K. Soanes and E.A. van der Grift. 2015. Experimental study designs to improve the evaluation of road mitigation measures for wildlife. J. Environ. Manage. 154: 48–64.
- Schipper, J. and co-authors. 2008. The status of the world's land and marine mammals: diversity, threat and knowledge. Science 322: 225–230.
- Simon, N.M. 1969. Proposals for field investigations of rare and endangered mammals. Biol. Conserv. 1: 280–290.
- Singh, P., A.M. Gopalaswamy and K.U. Karanth. 2010. Factors influencing densities of striped hyenas (*Hyaena hyaena*) in arid regions of India. J. Mammal. 91: 1152–1159.
- Temple H.J. and A. Cuttelod. 2009. The status and distribution of Mediterranean mammals. IUCN, Gland – Cambridge. pp. vii + 32.
- Tourani, M., E.M. Moqanaki and B.H. Kiabi. 2012. Vulnerability of striped hyaenas, *Hyaena hyaena*, in a human-dominated landscape of Central Iran. Zool. Middle East 56: 133–136.
- Van der Grift, E.A., R. van der Ree, L. Fahrig, S. Findlay, J. Houlahan, J.A.G. Jaeger, N. Klar, L.F. Madriñan and L. Olson. 2013. Evaluating the effectiveness of road mitigation measures. Biodivers. Conserv. 22: 425–448.
- Wagner, A.P. 2006. Behavioral ecology of striped hyena (*Hyaena hyaena*). PhD Dissertation, Montana State University, Bozeman, Montana.
- Wagner, A.P. 2013. *Hyaena hyaena* striped hyaena. In: (J. Kingdon and M. Hoffmann, eds.) Mammals of Africa. Volume V. Carnivores, pangolins, equids and rhinoceroses. Bloomsbury Publishing, London, pp. 267–272.

**Supplementary Material:** The online version of this article offers supplementary material (<https://doi.org/10.1515/mammalia-2019-0085>).