



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire



وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

كلية علوم الطبيعة والحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا

Département de Biologie

N°d'enregistrement

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

## THÈSE

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat 3<sup>ème</sup> cycle LMD

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Ecologie et environnement

Spécialité : Biodiversité et environnement

# Etat des lieux et diversité scorpionique (Scorpiones, Arachnida) de la région de Ghardaïa (Centre de l'Algérie)

Soutenue publiquement le : 13/ 06 /2026

Par

M<sup>me</sup> Souilem Zineb

Devant le jury composé de :

M <sup>r</sup> . Alioua Youcef	Pr.	Université de Ghardaïa	Président
M <sup>r</sup> . Sadine Salah Eddine	Pr.	Université de Ghardaïa	Directeur de thèse
M <sup>r</sup> . Houhamdi Moussa	Pr.	Université de Guelma	Co- directeur de thèse
M <sup>r</sup> . Aouadi Abdelhafidh	M.C.A.	Université de Ghardaïa	Examinateur
M <sup>r</sup> . Ait Hammou Mohammed	Pr.	Université de Tiaret	Examinateur

Année universitaire : 2025 - 2026

إهداء

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

الحمد لله الذي بنعمته تتمّ الصالحات، والذي وفقني لإتمام هذا العمل بعد جهدٍ وصبر.

أهدي ثمرة هذا الجهد:

إلى من كانا السبب في وجودي، وإلى من غمراني بالحب والرعاية، وكان دعاؤهما سرّ نجاحي،

إلى من تقاسم معي لحظات التعب والأمل، وكان سندي في كل المراحل،

إلى كل من منحني كلمة طيبة أو دعماً صادقاً، فكان لها الأثر الكبير في مواصلة الطريق زوجي

العزيز أولاد الهدار عبد الكريم

إلى أساتذتي الكرام، الذين أناروا دربي بالعلم والمعرفة،

إلى زملائي ورفقاء الدرب، الذين شاركوني هذه الرحلة بكل ما فيها،

وإلى كل من ساهم من قريب أو بعيد في إنجاز هذا العمل،

أهديكم هذا الجهد المتواضع، راجياً من الله أن يجعله خالصاً لوجهه الكريم، ونافعاً لكل من يطلع عليه.

## تشكرات

بداية نشكر الله تعالى الذي رزقنا الصحة والإرادة لبدء وإكمال هذه الأطروحة

و أتوجه بالشكر إلى:

جميع أعضاء لجنة المناقشة للمشاركة في تقييم هذه الأطروحة

أقف اليوم ممتنًا لكل من كان له أثر في رحلتي العلمية. شكرًا لمشرفي الفاضل سعدين صلاح الدين

الذي علمني أن البحث ليس مجرد دراسة، بل شغف وسعي لا ينتهي نحو المعرفة

إلى والديّ الغاليين، أنتم نور حياتي، ودعواتكم كانت سببًا في تجاوزي كل التحديات

إلى زوجي العزيز مصدر دعمي و قوتي خلال هذا العمل المتواضع

إلى إخوتي وأحبي، دعمكم المستمر كان مصدر راحتي وسعادتي

إلى زملائي الأعزاء، وأخص بالذكر الأستاذة الفاضلة رواوي ليندة

لكم جميعًا، مني كل الحب والتقدير

أسأل الله أن يوفقني لردّ الجميل لكم يومًا

## Résumé

### Etat des lieux et diversité scorpionique (Scorpiones, Arachnida) de la région de Ghardaïa (Centre de l'Algérie)

Les scorpions comptent parmi les Arthropodes les plus anciens et les mieux adaptés aux milieux désertiques, leur plasticité écologique leur permis de persister depuis plus de 450 millions d'années. La présente étude porte sur l'inventaire et l'analyse écologique de peuplement scorpionique de la région de Ghardaïa (centre algérien), avec un objectif principal d'évaluer l'influence du type de biotope sur la diversité et la distribution spatiale des scorpions. L'échantillonnage de septembre 2022 à octobre 2023 dans quatre biotopes contrastés (erg, reg, palmeraie et milieu urbain) et par le biais de méthode de capture directe et à l'aide de la lumière ultra-violette, nous a permis de collecter 305 individus représentant 11 espèces de la famille Buthidae réparties en 6 genres. Les résultats révèlent une dominance d'*Androctonus amoreuxi* (58 %) et *Androctonus australis* (24,4 %). Les analyses PERMANOVA confirment que le biotope est le principal facteur structurant les assemblages des espèces. Or, la saison n'a pas des effets significatifs. La palmeraie présente la plus forte abondance en scorpions. Cependant, le reg et l'erg représentent la plus grande richesse spécifique. Le milieu urbain reste le biotope le plus appauvri en espèce avec une seule espèce (*A. australis*). L'ordination par mise à l'échelle multidimensionnelle non métrique (NMDS) révèle la présence d'une étroite affinité écologique entre les espèces et leurs biotopes, à l'exception d'*A. amoreuxi* qui, grâce à sa large valence écologique, colonise trois biotopes distincts.

**Mots clés :** Diversité, Scorpion, équilibre des populations, systématique, Ghardaïa, Algérie

## Abstract

### **Current state and diversity of scorpions (Scorpiones, Arachnida) in the Ghardaïa region (Central of Algeria)**

Scorpions are among the oldest and most highly adapted arthropods to extreme desert environments; their remarkable ecological plasticity having enabled them to persist for more than 450 million years across all major geological eras. The present study focuses on the inventory and ecological analysis of scorpion assemblages in the region of Ghardaïa (central Algerian Sahara), with the primary objective of assessing the influence of habitat type on scorpion diversity and spatial distribution in arid ecosystems. Sampling was conducted over a 12-month period across four contrasting biotopes (erg, reg, palm grove and urban area) using two complementary methods: direct capture and nocturnal detection with ultraviolet lamps. A total of 305 individuals were collected, representing 11 species belonging to the family Buthidae, distributed across 6 genera. The results reveal a strong numerical dominance of *Androctonus amoreuxi* (58%) and *A. australis* (24.4%), together accounting for more than 82% of total individuals. PERMANOVA analyses confirm that habitat type is the primary factor structuring scorpion assemblages, while season exerts a secondary yet statistically significant effect. The palm grove exhibited the highest abundance, whereas the reg and erg displayed the greatest species richness and diversity, harboring specialized species adapted to rocky and sandy microhabitats, respectively. The urban area proved to be the most depauperate biotope, with only a single species recorded, reflecting severe environmental filtering induced by increasing habitat artificialization. NMDS ordination revealed a strong ecological affinity between most species and their respective biotopes, with the notable exception of *A. amoreuxi*, whose broad ecological valence allows it to colonize three distinct habitats: the reg, erg and palm grove.

**Keywords:** Diversity, Scorpions, Population Dynamics, Systematics, Ghardaïa, Algeria

## الوضع الحالي وتنوع العقارب (العقارب، العنكبوتيات) في منطقة غرداية (وسط الجزائر)

تصنّف العقارب ضمن أقدم مفصليات الارجل وأشدّها قدرةً على التأقلم مع البيئات الصحراوية القاسية، إذ مكّنتها مرونتها البيئية الاستثنائية من الاستمرار والبقاء في الأوساط الجافة منذ أكثر من 450 مليون سنة، متجاوزةً بذلك جميع الحقب الجيولوجية الكبرى. تتمحور هذه الدراسة حول جرد أنواع العقارب والتحليل الإيكولوجي لمجتمعات العقارب في منطقة غرداية بوسط الصحراء الجزائرية، إذ تسعى هذه الدراسة بصفة رئيسية إلى تقييم تأثير تنوع الأوساط البيئية على التنوع البيولوجي والتوزيع المكاني للعقارب في النظم البيئية الجافة المدروسة. من خلال عملية جمع العينات العقربية على امتداد 12 شهراً في أربعة أوساط بيئية متباينة ومتمايزة: العرق، الرّق، واحة النخيل والوسط الحضري وبالاعتماد على طريقتين متكاملتين: لجمع العقارب: الجمع النهاري المباشر والجمع الليلي باستعمال المصابيح فوق البنفسجية. بلغ مجموع الأفراد المجمعّة 305 فرداً، موزعةً على 11 نوعاً تنتمي جميعها إلى عائلة Buthidae، مصنّفةً ضمن 6 أجناس. كشفت النتائج عن هيمنة عددية واضحة لنوعين رئيسيين *Androctonus amoreuxi* بنسبة (58%) و *A. australis* بنسبة (24,4%). أكّدت تحليلات PERMANOVA أن نوع الوسط البيئي يُمثّل العامل الأساسي المهيكّل لتجمّعات العقارب، في حين لا يُمارس الفصل سوى تأثير ثانوي وإن حمل دلالةً إحصائيةً معنوية. سجّلت واحة النخيل أعلى قيم الوفرة العددية، في حين تميّز الرّق والعرق بأعلى غنى نوعي وأعلى تنوع بيولوجي، إذ تحتويان على أنواعاً متخصصة تكيّفت مع الأوساط الصخرية والرملية على التوالي. أما الوسط الحضري فهو الموئل الأشدّ فقراً بيولوجياً، إذ لم يُسجّل فيه سوى نوع واحد فقط، وهو ما يعكس أثر التصفية البيئية الصارمة الناجمة عن التحضّر المتزايد وما يُفضي إليه من تدهور الطابع الطبيعي لهذا الوسط. كشف الترتيب بأسلوب NMDS عن ارتباط إيكولوجي وثيق بين معظم الأنواع والأوساط البيئية المحدّدة، مع الإشارة إلى استثناء بارز يتمثّل في نوع *Androctonus amoreuxi* الذي يتميّز بتكافؤ بيئي واسع النطاق، يُمكنه من التواجد في ثلاثة أوساط بيئية متمايزة: الرّق، العرق وواحة النخيل.

### الكلمات المفتاحية :

العقارب، التنوع البيولوجي، الأوساط البيئية، علم التصنيف، غرداية، الجزائر.

## Liste des tableaux

<b>Tableau</b>	<b>Intitulé</b>	<b>Page</b>
<b>01</b>	Différentes espèces de scorpions inventoriées en Algérie (liste actualisée).	<b>10</b>
<b>02</b>	Liste des espèces scorpionique endémiques à l'Algérie	<b>11</b>
<b>03</b>	Températures mensuelles en °C de la région d'étude (2014 et 2023)	<b>15</b>
<b>04</b>	Précipitations mensuelles enregistrées dans de la région Ghardaïa pour la période (2014 - 2023)	<b>15</b>
<b>05</b>	Coordonnées géographiques des stations d'échantillonnage	<b>20</b>
<b>06</b>	Répartition des scorpions selon les saisons dans les différents biotopes étudiés	<b>32</b>
<b>07</b>	Liste systématique des espèces de scorpions capturées dans la région d'étude.	<b>36</b>
<b>08</b>	Richesse spécifique spatiale dans les différents biotopes	<b>53</b>
<b>09</b>	Richesse spécifique saisonnière	<b>54</b>
<b>10</b>	Le test de permutation réalisé avec adonis2 sous modèle réduit pour l'évaluation des différences des biotopes et saisons échantillonnés	<b>78</b>
<b>11</b>	Résultats du test de permutation (adonis2) sous modèle réduit pour l'effet des saisons	<b>79</b>
<b>12</b>	Résultats du test de permutation (adonis2) sous modèle réduit pour l'effet des biotopes	<b>80</b>
<b>13</b>	Résultats des modèles linéaires généralisés (GLM) testant l'effet des saisons, des biotopes et de leur interaction sur l'abondance totale des espèces dans la région d'étude.	<b>81</b>
<b>14</b>	Résultats des modèles linéaires généralisés (GLM) testant l'effet des saisons, des biotopes et de leur interaction sur La richesse spécifique dans la région d'étude.	<b>82</b>
<b>15</b>	Résultats des modèles linéaires généralisés (GLM) testant l'effet des saisons, des biotopes et de leur interaction sur L'indice de Shannon dans la région d'étude.	<b>82</b>
<b>16</b>	Résultats des modèles linéaires généralisés (GLM) testant l'effet des saisons, des biotopes et de leur interaction sur H'max dans la région d'étude.	<b>83</b>
<b>17</b>	Résultats des modèles linéaires généralisés (GLM) testant l'effet des saisons, des biotopes et de leur interaction sur L'indice de Simpson dans la région d'étude.	<b>83</b>
<b>18</b>	Résultats des modèles linéaires généralisés (GLM) testant l'effet des saisons, des biotopes et de leur interaction sur L'indice d'équitabilité dans la région d'étude.	<b>84</b>

## Liste des figures

Figure	Intitulé	Page
<b>01</b>	Répartition géographique mondiale des scorpions	<b>6</b>
<b>02</b>	Carte des divers secteurs de répartition de la faune du scorpion en Algérie	<b>8</b>
<b>03</b>	Développement des recherches sur les scorpions de l'Algérie	<b>9</b>
<b>04</b>	Position géographique de la région d'étude	<b>14</b>
<b>05</b>	Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен appliquée à la région d'étude (2022-2023)	<b>17</b>
<b>06</b>	Etage bioclimatique de la région d'étude	<b>18</b>
<b>07</b>	Différents biotopes de la région d'étude	<b>19</b>
<b>08</b>	Capture diurne et nocturne des espèces de scorpions	<b>22</b>
<b>09</b>	Abondance des scorpions selon les types de biotopes dans la région d'étude	<b>32</b>
<b>10</b>	Répartition de scorpions par effectifs selon les types de biotope dans la région d'étude	<b>33</b>
<b>11</b>	Abondance des scorpions selon les saisons	<b>34</b>
<b>12</b>	Répartition saisonnière des populations de scorpions dans la zone d'étude	<b>35</b>
<b>13</b>	<i>Androctonus aeneas</i> Koch, 1839	<b>37</b>
<b>14</b>	<i>Androctonus amoreuxi</i> (Audouin, 1825)	<b>39</b>
<b>15</b>	<i>Androctonus australis</i> (Linnaeus, 1758)	<b>40</b>
<b>16</b>	<i>Buthacus deserticus</i> Sadine, Souilem, Lourenço & Ythier, 2024	<b>42</b>
<b>17</b>	<i>Buthacus samiae</i> Lourenço & Sadine, 2015	<b>42</b>
<b>18</b>	<i>Buthacus spinatus</i> Lourenço, Bissati & Sadine, 2016	<b>43</b>
<b>19</b>	<i>Buthacus elmenia</i> Lourenço & Sadine, 2017	<b>44</b>
<b>20</b>	<i>Buthiscus bicalcaratus</i> Birula, 1905	<b>45</b>
<b>21</b>	Carte de répartition géographique actuelle de <i>Buthiscus bicalcaratus</i> en Algérie	<b>47</b>
<b>22</b>	<i>Buthus saharicus</i> Sadine, Bissati & Lourenço, 2016	<b>48</b>
<b>23</b>	<i>Lissothus chaambi</i> Lourenço & Sadine, 2014	<b>48</b>
<b>24</b>	<i>Orthochirus innesi</i> Simon, 1910	<b>49</b>
<b>25</b>	La Courbe de raréfaction de la richesse des espèces de scorpions estimée dans la région d'étude (Sahara central algérien).	<b>50</b>
<b>26</b>	Courbes de rarefaction et d'extrapolation de la richesse spécifique en fonction du nombre d'individus pour les différents biotopes étudiés (erg, reg, palmeraie et milieux urbains).	<b>51</b>
<b>27</b>	La richesse spécifique selon les biotopes	<b>52</b>
<b>28</b>	La richesse spécifique saisonnière	<b>53</b>
<b>29</b>	Abondance des espèces de scorpions selon les biotopes	<b>54</b>
<b>30</b>	Abondance des espèces de scorpions selon les saisons	<b>56</b>
<b>31</b>	Abondance relative des espèces scorpionique de la région d'étude	<b>59</b>
<b>32</b>	Abondance relative des espèces scorpionique selon le tipe de biotope de la région	<b>60</b>

	d'étude	
<b>33</b>	Abondance relative saisonnière des espèces scorpionique de la région d'étude	<b>61</b>
<b>34</b>	Fréquence d'occurrence des scorpions dans la région d'étude	<b>62</b>
<b>35</b>	Fréquence d'occurrence des scorpions selon les biotopes	<b>64</b>
<b>36</b>	Fréquence d'occurrence des scorpions selon les saisons	<b>66</b>
<b>37</b>	Diagramme de Venn présentant la répartition des espèces de scorpions dans différents biotopes de la région d'étude, dans le centre de l'Algérie.	<b>68</b>
<b>38</b>	Diagramme de Venn présentant la répartition des espèces de scorpions selon les saisons de la région d'étude, dans le centre de l'Algérie.	<b>69</b>
<b>39</b>	Indice de Shannon selon les types de biotopes	<b>70</b>
<b>40</b>	Indice de Shannon selon les saisons	<b>71</b>
<b>41</b>	Diversité maximale ( $H'$ max) selon les biotopes	<b>72</b>
<b>42</b>	Diversité maximale ( $H'$ max) selon les saisons	<b>73</b>
<b>43</b>	Équitabilité selon les biotopes	<b>74</b>
<b>44</b>	Équitabilité selon les saisons	<b>75</b>
<b>45</b>	Indice de Simpson selon le type de biotope	<b>76</b>
<b>46</b>	Indice de Simpson selon les saisons	<b>77</b>
<b>47</b>	Ordination par mise à l'échelle multidimensionnelle non métrique (NMDS) basée sur les abondances des espèces dans différents biotopes et selon les saisons.	<b>85</b>

## Table des matières

Titres	Pages
Introduction	<b>02</b>
<b>Chapitre I : Regard sur les scorpions de l'Algérie</b>	
1. Répartition géographique des scorpions dans le monde	<b>06</b>
2. Origine des scorpions de l'Algérie	<b>07</b>
3. Historique des travaux sur les scorpions de l'Algérie	<b>07</b>
4. Différentes espèces de scorpions inventoriées en Algérie	<b>09</b>
5. Espèces scorpionique endémiques de l'Algérie	<b>11</b>
6. Revue historique sur les scorpions de Ghardaïa (Centre algérien)	<b>12</b>
<b>Chapitre II : Matériel et méthodes</b>	
1. Présentation de la région d'étude	<b>14</b>
1.1. Délimitation Géographiques	<b>14</b>
1.2. Données climatiques	<b>15</b>
1.2.1. Température	<b>15</b>
1.2.2. Précipitation	<b>15</b>
1.3. Synthèse des données climatiques	<b>16</b>
1.3.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gausson	<b>16</b>
1.3.2. Climagramme d'Emberger	<b>17</b>
2. Choix des stations d'études	<b>18</b>
2.1. Erg	<b>18</b>
2.2. Reg	<b>18</b>
2.3. Palmeraie	<b>19</b>
2.4. Milieu urbain	<b>20</b>
3. Echantillonnage	<b>20</b>
3.1. Technique de capture des scorpions	<b>21</b>
3.1.1. Prospection nocturne par lumière ultra-violette	<b>21</b>
3.1.2. Prospection diurne par fouille des refuges :	<b>21</b>
4. Matériel	<b>22</b>
4.1. Sur le Terrain	<b>22</b>
4.2. Au laboratoire	<b>22</b>
5. Exploitation des résultats	<b>23</b>
5.1. Qualité d'échantillonnage appliquée aux scorpions	<b>23</b>
5.2. Les indices écologiques	<b>23</b>
5.2.1. Les indices écologiques de composition et d'organisation	<b>24</b>
5.2.1.1. Richesse spécifique	<b>24</b>
5.2.1.2. Fréquence centésimale ou abondance relative (AR)	<b>25</b>
5.2.1.3. Fréquence d'occurrence (FO%) (Constance)	<b>25</b>

5.2.2. Indices écologiques de diversité et structure	26
5.2.2.1. Indice de diversité de Shannon-Weaver (H')	26
5.2.2.2 Indice de diversité maximale (H'max)	27
5.2.2.3 Indice d'Equitabilité	27
5.2.2.4. Indice de Simpson D	28
6. Analyses statistiques	28
6.1. Tests pairwise adonis2 (PERMANOVA)	29
6.2. Modèles linéaires généralisés (GLM)	29
6.3. Ordination par mise à l'échelle multidimensionnelle non métrique (NMDS)	29
<b>Chapitre III : Résultats</b>	
1. Abondance des scorpions selon le type de biotopes :	32
2. Répartition des scorpions par effectifs selon le type de biotope dans la région d'étude.	33
3. Abondance des scorpions selon les saisons	34
4. Répartition des scorpions par effectifs selon les saisons dans la région d'étude	35
5. Composition taxonomique et faunistique des scorpions.	35
6. Description des espèces rencontrées	36
6.1. <i>Androctonus aeneas</i> Koch, 1839	36
6.2. <i>Androctonus amoreuxi</i> (Audouin, 1825)	38
6.3. <i>Androctonus australis</i> (Linnaeus, 1758)	40
6.4. <i>Buthacus deserticus</i> Sadine, Souilem, Lourenço & Ythier, 2024	41
6.5. <i>Buthacus samiae</i> Lourenço & Sadine, 2015	42
6.6. <i>Buthacus spinatus</i> Lourenço, Bissati & Sadine, 2016	43
6.7. <i>Buthacus elmenia</i> Lourenço & Sadine, 2017	44
6.8. <i>Buthiscus bicalcaratus</i> Birula, 1905	45
6.9. <i>Buthus saharicus</i> Sadine, Bissati & Lourenço, 2016	47
6.10. <i>Lissothus chaambi</i> Lourenço & Sadine, 2014	48
6.11. <i>Orthochirus innesi</i> Simon, 1910	49
7. les indices écologiques	49
7.1. Qualité de l'échantillonnage et complétude de l'inventaire	49
7.1.1 Courbes de raréfaction et d'extrapolation de le région	49
7.1.2. Courbes de raréfaction et d'extrapolation par biotope	50
7.2. Indices écologiques de composition spécifique	51
7.2.1. Richesse spécifique	51
7.2.1.1. Richesse spécifique spatiale	51
7.2.1.2. Richesse spécifique saisonnière	53
7.2.2. Abondance et phénologie selon les biotopes	54
7.2.2.1. Abondance et phénologie selon les biotopes	54
7.2.2.2. Abondance et phénologie selon les saisons	56

7.2.3. Abondance relative	58
7.2.3.1. Abondance relative totale de la région	58
7.2.3.2. Abondance relative selon les biotopes	59
7.2.3.3. Abondance relative saisonnière	60
7.2.4. Fréquence d'occurrence (FO%)	61
7.2.4.1. Fréquence d'occurrence de la région	61
7.2.4.2. Fréquence d'occurrence selon les biotopes	62
7.2.4.3. Fréquence d'occurrence selon les saisons	64
7.3. Indices de structure de communauté	66
7.3.1. Diagramme de Venn de distribution	66
7.3.1.1. Distribution des espèces selon les biotopes	67
7.3.1.2. Distribution des espèces selon les saisons	68
7.3.2. Indice de diversité de Shannon (H')	69
7.3.2.1. Shannon selon les biotopes	70
7.3.2. 2. Indice de Shannon selon les saisons	70
7.3.3. Diversité maximale (H'max)	71
7. 3.3.1. H'max selon les biotopes	71
7.3.3.2. H'max selon les saisons	72
7.3.4. Indice d'équitabilité (E)	73
7.3.4.1. Équitabilité selon les biotopes	73
7.3.4.2. Équitabilité selon les saisons	74
7.3.5. Indice de Simpson (D)	75
7.3.5.1. Simpson selon les biotopes	75
7.3.5.2. Indice de Simpson selon les saisons	76
8. Analyses statistiques multivariées	77
8.1. Tests pairwise adonis2 (PERMANOVA)	77
8.1.1. Évaluation des différences entre biotopes et saisons	77
8.1.2. Comparaisons par paires entre saisons	78
8.1.3. Comparaisons par paires entre biotopes	79
8.2. Modèles linéaires généralisés (GLM)	80
8.2.1. Effet des saisons et des biotopes sur l'abondance totale des espèces	81
8.2.2. Effet des saisons et des biotopes sur la richesse spécifique	1
8.2.3. Effet des saisons et des biotopes sur l'indice de shannon	82
8.2.4. Effet des saisons et des biotopes sur H'max	82
8.2.5. Effet des saisons et des biotopes sur L'indice de Simpson	83
8.2.6. Effet des saisons et des biotopes sur l'indice d'équitabilité	83
8.3. Ordination par mise à l'échelle multidimensionnelle non métrique (NMDS)	84
<b>Chapitre IV : Discussion</b>	
Discussion	87
<b>Conclusion et perspectives</b>	
	96
<b>Références bibliographiques</b>	
	101

# *Introduction*

Les scorpions comme étant des arthropodes très anciens et très plastiques ayant une adaptabilité très importante vis-à-vis des agressions de l'environnement, qui leur a permis d'être l'un des taxons les plus importants pour une étude écologique et biogéographique (Schwerdt et al., 2016). Les nombreux facteurs écologiques notamment ; la température, les précipitations, les caractéristiques du sol, la topographie, la nature du substrat, la couverture végétale influencent la répartition spatiale des scorpions (Lamorali, 1978 ; Polis, 1990 ; Prendini, 2001 ; Sadine, 2018 ; Sadine et al., 2023).

Les scorpions sont parmi les premiers animaux qui ont quitté le milieu marin pour coloniser le milieu terrestre (Schwerdt et al., 2016). Actuellement, on connaît plus de 2926 espèces de ce groupe (Rein, 2026), où quelques-uns peuvent être dangereux pour l'homme (Polis, 1996).

Les scorpions sont des Arthropodes chélicérates qui comptent parmi les plus grands organismes terrestres connus (Goyffon, 2002). Ils colonisent également de manière privilégiée les déserts et les zones arides (Sadine, 2018). En Afrique du Nord, ils sont considérés comme des éléments caractéristiques de la faune des déserts chauds (Goyffon & El-Ayeb, 2002).

D'un point de vue taxonomique, le groupe des Scorpionés se caractérise par une diversité considérable, comprenant 213 genres, 17 familles répertoriées à travers le monde (Rein, 2026). Ces espèces se trouvent sur tous les continents à l'exception de l'Antarctique, se sont acclimatées à divers environnements dans les zones tropicales et tempérées comme les forêts, la savane et le désert (Vachon, 1952 ; Sissom, 1990 ; Goyffon, 2002 ; Chippaux & Goyffon, 2008).

Le territoire algérien se distingue par une biodiversité scorpionique particulièrement riche, répartie en trois familles (Mekahlia et al., 2021) et comprenant plus de 57 espèces (Saadi et al., 2025). Cette richesse spécifique représente près de 1,9 % de la diversité mondiale des scorpions, dont environ 20 % sont considérées comme potentiellement dangereuses pour l'être humain (Sadine et al., 2020).

Au cours de la dernière décennie, la faune scorpionique algérienne a fait l'objet de nombreuses révisions taxonomiques, de travaux de synthèse et de descriptions de nouvelles

espèces (Sadine et al., 2014 ; Lourenço & Sadine, 2014 ; Lourenço et al., 2015 ; Lourenço & Rossi, 2015 ; Lourenço & Sadine, 2015 ; Sadine et al., 2015 ; Lourenço et al., 2016 ; Sadine et al., 2016 ; Lourenço et al., 2017a ; Lourenço et al., 2017b ; Lahrech & Souilem, 2017 ; Lourenço et al., 2018 ; Bengaid, 2018 ; Sadine, 2018 ; Sadine et al., 2018 ; Sadine et al., 2020 ; Sadine et al., 2023 ; Ait Hammou et al., 2023 ; Dupré et al., 2023 ; Khammassi et al., 2024 ; Sadine et al., 2024 ; Saadi et al., 2025 ; Souilem et al., 2025a ; Souilem et al., 2025b ; Ythier et al., 2025)

Les scorpions comme étant un bon modèle d'étude pour l'analyse biogéographique à grande échelle spatiale et temporelle (Cloudsley-Thompson, 1975 ; Lourenço, 1994 ; Ojanguren-Affilastro, 2005 ; Selmane & L'hadj, 2014 ; Ceccarelli et al., 2016 ; Ojanguren-Affilastro et al., 2016).

Notre travail s'inscrit dans ce contexte, a pour objectif de répondre sur les questions principales suivantes :

- (i) Combien d'espèces de scorpions peut-on trouver dans le centre de l'Algérie?
- (ii) Est-ce que la diversité scorpioniques est la même dans les principaux biotopes étudiés (palmeraie, erg, reg et milieu urbain)?
- (iii) Comment les espèces se répartissent-elles au sein de ces habitats?
- (iv) Y-a-t il a une affinité espèce/biotope ?
- (v) Est-ce que les saisons ayant un effet significatif sur la dynamique de scorpions ?

De ce fait, le présent manuscrit s'articule en quatre chapitres dont le premier résume l'origine et les différentes espèces inventoriées en Algérie. Le second chapitre renferme le matériel utilisé ainsi que les méthodes adaptées pour réaliser ce travail. Les résultats sont exposés dans le troisième chapitre. Cependant, les discussions relatives à cette faune sont exposées dans le quatrième chapitre.

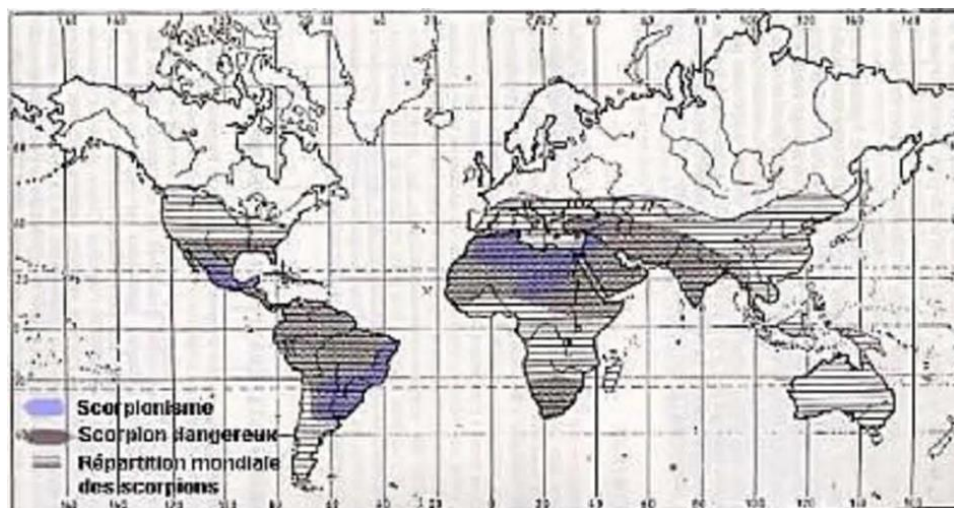
*Chapitre I :*  
*Regard sur les scorpions de*  
*l'Algérie*

Ce chapitre présente une synthèse actualisée de la faune des scorpions en Algérie, en traitant une petite aperçu Origine des scorpions, la répartition des scorpions dans le monde, les travaux sur les scorpions de l'Algérie, Enfin il fournit une liste actualisée des espèces recensées en Algérie, ainsi les liste des espèces endémiques

## 1. Répartition géographique des scorpions dans le monde

Selon Polis (1990), les scorpions sont des arachnides anciens de notre globe a une aire de répartition étendue. En raison de leurs déplacements limités ces animaux ont une forte affinité à leurs biotopes (Sadine, 2012). Leur distribution naturelle s'étend dans l'hémisphère nord jusqu'à une latitude de 50 degrés et, dans l'hémisphère sud, jusqu'à une latitude de 50 degrés (Polis,1990) La répartition de ces animaux thermophiles étant facilement compréhensible en raison des conditions de vie qui leur sont favorables (Vachon, 1952) (fig.1).

Les scorpions ont la capacité de se trouver dans divers habitats (répartition verticale) : des plaines, des plateaux jusqu'aux hautes montagnes atteignant 5000 mètres d'altitude (comme les chaînes de l'Himalaya). On les juge typiquement représentatifs de la faune désertique, tels que le Sahara. Ils s'épanouissent tout autant en savane (Afrique tropicale) qu'en milieu forestier. On les trouve surtout dans les régions intertropicales ou dans les zones tempérées chaudes (Nord de l'Afrique) (Goyffon et El-Ayeb, 2002).



**Figure 1.** Répartition géographique mondiale des scorpions (Goyffon et Heurtault, 1995)

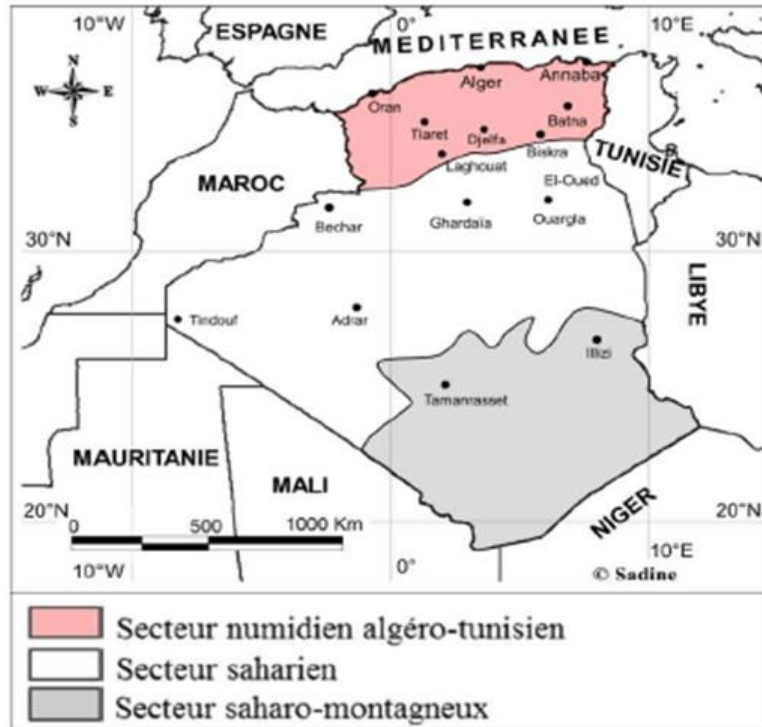
## **2. Origine des scorpions de l'Algérie**

Les scorpions représentent les Chélicérates Arthropodes les plus anciens connus à ce jour. Ils apparaissent dans les milieux aquatiques au Silurien, avec les premiers fossiles étant aquatiques ou du moins amphibies, datant de 425 à 450 millions d'années (Dunlop et Selden, 2013). Au cours des derniers millions d'années, l'Afrique du Nord a traversé diverses fluctuations paléoclimatiques, certaines d'entre elles durant la période quaternaire. Le Sahara a connu plusieurs périodes humides au cours de son histoire, la plus récente s'étant produite entre 10 000 et 5 000 ans BP. C'est seulement depuis environ 3 000 ans que le Sahara est dans l'état d'aridité qu'il connaît actuellement (Cloudsley-Thompson, 1984).

Des recherches récentes indiquent que le Sahara pourrait être beaucoup plus vieux que les dates précédemment suggérées (Qi et Lourenço, 2007). Même à une époque où le climat en Afrique du Nord était plus doux, il existait déjà des régions isolées de sécheresse qui permettaient l'évolution de scorpions adaptés au désert. Avec l'expansion progressive du désert, les espèces moins aptes aux environnements arides ont vu leur zone de distribution se réduire. Certaines se sont éteintes, alors que d'autres ont perduré dans des zones écologiques particulières, donnant lieu à des distributions fragmentées (Lourenço et Duhem, 2007).

## **3. Historique des travaux sur les scorpions de l'Algérie**

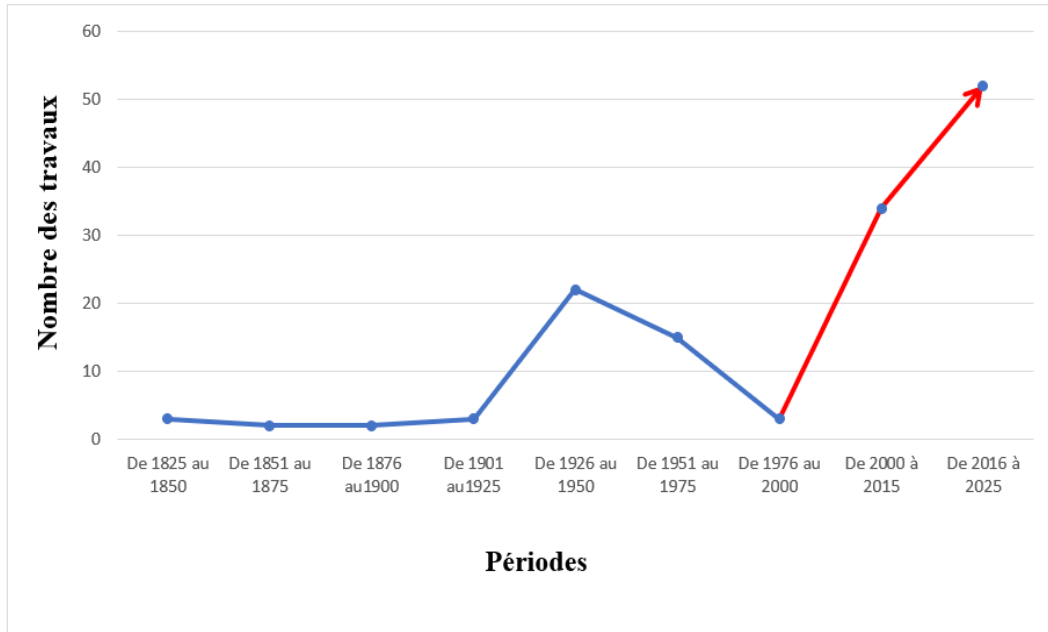
L'Algérie s'inscrit dans l'Afrique du Nord (Berbérie, Sahara, Sahel en particulier) où se caractérise par une faune scorpionique à la fois homogène et autochtone, qui peut être divisée en zone algéro-tunisienne (région méditerranéenne), secteur Saharien, et une région saharo-montagneuse (fig.2) (Vachon, 1952).



**Figure 2.** Carte des divers secteurs de répartition de la faune du scorpion en Algérie (Sadine,2018)

Plusieurs recherches ont été menées sur les scorpions de l'Algérie, révélant une diversité considérable au niveau de cette faune. Ces travaux se composent de notes concernant des espèces, de nouvelles réflexions sur la distribution ou de révisions. Koch a commencé son travail sur la description des espèces de scorpions en Algérie en 1838. Par la suite, les recherches ont continué, mais à un rythme très lent (deux à trois publications tous les 25 ans). Ce n'est qu'à partir de 1928 que des chercheurs tels que Pallary et Sergent ont commencé à s'intéresser à la faune scorpionique algérienne. Toutefois, c'est Vachon (1952) qui a véritablement posé les bases des études sur les scorpions en Algérie, jusqu'à l'apparition du catalogue El-Hennawy (1992), qui a synthétisé les précédents travaux sur le pays.

Depuis la publication du Catalogue des scorpions dans le monde (Fet, 2000), plusieurs études générales ont mentionné les scorpions de l'Algérie, notamment celles de Stockman & Ythier (2010) et Dupré (2012 ; 2023). La figure 3 illustre le progrès des recherches sur les scorpions d'Algérie depuis l'époque antique jusqu'à l'année 2025.



**Figure 3.** Développement des recherches sur les scorpions de l'Algérie

De 2016 à 2025, il y a eu un nombre sans précédent de plus de 55 publications. L'augmentation récente peut être attribuée à la mise en place généralisée d'inventaires régionaux dans diverses zones biogéographiques (Sahara, Atlas, Hautes Plaines), à la découverte de nouvelles espèces endémiques, à l'adoption de techniques modernes (systèmes d'information géographique, analyses moléculaires) et à l'intérêt croissant pour les dimensions écologiques et sanitaires des scorpions. Ces progrès illustrent un niveau inédit d'intérêt scientifique accordé à la faune des scorpions en Algérie durant les dix dernières années.

#### 4. Différentes espèces de scorpions inventoriées en Algérie

Les scorpions sont répartis de manière étendue et diversifiée à travers le pays. C'est en 1839 que Koch a d'abord décrit des scorpions en Algérie, mais c'est réellement le travail de Vachon en 1952 qui a établi les fondements de l'étude de la faune scorpionique du pays, en identifiant 24 espèces et sous-espèces. Ce chiffre a demeuré constant jusqu'au recensement d'El-Hennawy (1992). Par la suite, l'intensification des recherches a permis d'identifier un nombre croissant d'espèces, qui est passé à 26 selon le catalogue de Fet et al. (2000), à 29 selon Dupré (2012) et 54 selon Dupré (2023). Aujourd'hui, nous comptons 58 espèces et sous-espèces

réparties en trois familles et seize genres, avec une forte prédominance du groupe Buthidae qui représente 86% de ce total (voir tableau). Cette faune présente un taux d'endémisme élevé, atteignant plus de 59% (Sadine et al., 2020 ; Dupré, 2023). La liste des espèces de scorpions identifiées a été révisée à plusieurs reprises au cours des années, et un résumé de ces modifications figure dans le tableau 1.

**Tableau 1.** Différentes espèces de scorpions inventoriées en Algérie (liste actualisée).

Familles	Genre	Espèces
Buthidae C.L. Koch, 1837	<i>Androctonus</i> Ehrenberg, 1828	<i>A. ajjer</i> Ythier, Sadine, Alioua, & Lourenço 2025
		<i>A. aeneas</i> C.L. Koch, 1839
		<i>A. amoreuxi</i> (Audouin, 1826)
		<i>A. australis</i> (Linnaeus, 1758)
		<i>A. eburneus</i> Pallary, 1928
		<i>A. hoggarensis</i> (Pallary, 1929)
		<i>A. liouvillei</i> (Pallary, 1924)
		<i>A. tinzaouatinensis</i> Yagmur, Yağmur, Benali, Derradj & Bikada ,2026
	<i>Buthacus</i> Birula, 1908	<i>B. deserticus</i> Sadine, Souilem, Lourenço & Ythier 2024
		<i>B. ahaggar</i> Lourenço, Kourim & Sadine, 2017
		<i>B. algerianus</i> Lourenço, 2006
		<i>B. arenicola</i> (Simon, 1885)
		<i>B. armasi</i> Lourenço, 2013
		<i>B. birulai</i> Lourenço, 2006
		<i>B. elmenia</i> Lourenço & Sadine, 2017
		<i>B. fuscata</i> Pallary, 1929
		<i>B. foleyi</i> Vachon, 1948
		<i>B. sadinei</i> Ythier, 2022
		<i>B. samiae</i> Lourenço & Sadine, 2015
		<i>B. spinatus</i> Lourenço, Bissati & Sadine, 2016
		<i>B. zieglerei</i> Lourenço, 2000
		<i>B. schwendingeri</i> Lourenço, 2002
	<i>B. bicalcaratus</i> Birula, 1905	
	<i>Buthus</i> Leach, 1815	<i>B. ahaggar</i> Ythier, Sadine, Haddadi & Lourenço, 2021
		<i>B. apiatus</i> Lourenço, El Bouhissi & Sadine, 2020
		<i>B. aures</i> Lourenço & Sadine, 2016
		<i>B. boussaadi</i> Lourenço, Chichi & Sadine, 2018
		<i>B. goyffoni</i> Abidi, Sadine & Lourenço, 2021
		<i>B. oudjanii</i> (Lourenço, 2017)
		<i>B. paris</i> (C.L. Koch, 1839)
		<i>B. pusillus</i> Lourenço, 2013
		<i>B. saharicus</i> Sadine, Bissati & Lourenço, 2016
		<i>B. tassili</i> Lourenço, 2002
		<i>B. tunetanus</i> (Herbst, 1800)
	<i>Cicileus</i> Vachon, 1948	<i>C. exilis</i> (Pallary, 1928)
		<i>C. hoggarensis</i> Lourenço & Rossi, 2015
<i>C. montanus</i> Lourenço & Rossi, 2015		
<i>Compsobuthus</i> Vachon, 1949	<i>C. tassili</i> (Lourenço, 2010)	
<i>Hottentotta</i> Birula, 1908	<i>H. franzwernerii</i> (Birula, 1914)	
	<i>H. gentili</i> (Pallary, 1924)	

		<i>H. hoggarensis</i> Lourenço & Leguin, 2014
	<i>Leiurus</i> Ehrenberg, 1828	<i>L. hoggarensis</i> Lourenço, Kourim & Sadine, 2018 <i>L. quinquestriatus</i> (Ehrenberg, 1828)
	<i>Lissothus</i> Vachon, 1948	<i>L. chaambi</i> Lourenço & Sadine, 2014 <i>L. guezzamensis</i> Ersen, Benali & Derradj, 2025 <i>L. occidentalis</i> Vachon, 1950
	<i>Orthochirus</i> Karsch, 1891	<i>O. innesi</i> Simon, 1910 <i>O. tassili</i> Lourenço & Leguin, 2011 <i>O. soufiensis</i> Lourenço & Sadine, 2021
	<i>Pseudolissothus</i> Lourenço, 2001	<i>P. pusillus</i> Lourenço, 2001
	Euscorpiidae Laurie, 1896	<i>Euscorpius</i> Thorell, 1879
<i>Tetratrachobothrius</i> Birula, 1917		<i>T. flavicaudis</i> (DeGeer, 1778)
Scorpiomidae Latreille, 1802	<i>Scorpio</i> Linnaeus, 1758	<i>S. atlasensis</i> Khammassi, Harris & Sadine, 2023
		<i>S. maurus</i> Linnaeus, 1758
		<i>S. punicus</i> Fet, 2000
		<i>S. tassili</i> Lourenço & Rossi, 2016
		<i>S. trarasensis</i> Bouisset & Larrouy, 1962
		<i>S. atakor</i> Ythier, Sadine, Bengaid & Lourenço, 2024
<b>Totale</b>	<b>16</b>	<b>58</b>

### 5. Espèces scorpionique endémiques de l'Algérie

L'Algérie abrite plus de 58 espèces, y compris des 35 espèces communes et d'autres endémiques. Le tableau compile les espèces qui sont propres à l'Algérie.

**Tableau 2.** Liste des espèces scorpioniques endémiques à l'Algérie.

Familles	Genre	Espèces
Buthidae C.L. Koch, 1837	<i>Androctonus</i> Ehrenberg, 1828	<i>A. ajjer</i> Ythier, Sadine, Alioua, & Lourenço 2025
		<i>A. hoggarensis</i> (Pallary, 1929)
		<i>A. tinzaouatinensis</i> Yağmur, Benali, Derradj & Bikada , 2026
	<i>Buthacus</i> Birula, 1908	<i>B. ahaggar</i> Lourenço, Kourim & Sadine, 2017
		<i>B. algerianus</i> Lourenço, 2006
		<i>B. armasi</i> Lourenço, 2013
		<i>B. birulai</i> Lourenço, 2006
		<i>B. deserticus</i> Sadine, Souilem, Lourenço & Ythier 2024
		<i>B. elmenia</i> Lourenço & Sadine, 2017
		<i>B. sadinei</i> Ythier, 2022
		<i>B. samiae</i> Lourenço & Sadine, 2015
		<i>B. spinatus</i> Lourenço, Bissati & Sadine, 2016
	<i>Butheoloides</i> Hirst, 1925	<i>B. schwendingeri</i> Lourenço, 2002
		<i>B. ahaggar</i> Ythier, Sadine, Haddadi & Lourenço, 2021
		<i>B. apiatus</i> Lourenço, El Bouhissi & Sadine, 2020
	<i>B. aures</i> Lourenço & Sadine, 2016	
	<i>B. boussaadi</i> Lourenço, Chichi & Sadine, 2018	

	<i>Buthus</i> Leach, 1815	<i>B. goyffoni</i> Abidi, Sadine & Lourenço, 2021
		<i>B. pusillus</i> Lourenço, 2013
		<i>B. saharicus</i> Sadine, Bissati & Lourenço, 2016
		<i>B. tassili</i> Lourenço, 2002
	<i>Cicileus</i> Vachon, 1948	<i>C. exilis</i> Pallary, 1928
		<i>C. hoggarensis</i> Lourenço & Rossi, 2015
		<i>C. montanus</i> Lourenço & Rossi, 2015
	<i>Compsobuthus</i> Vachon, 1949	<i>C. tassili</i> Lourenço, 2010
	<i>Leiurus</i> Ehrenberg, 1828	<i>L. hoggarensis</i> Lourenço, Kourim & Sadine, 2018
	<i>Lissothus</i> Vachon, 1948	<i>L. chaambi</i> Lourenço & Sadine, 2014
		<i>L. guezzamensis</i> Ersen, Benali & Derradj, 2025
<i>Orthochirus</i> Karsch, 1891	<i>O. tassili</i> Lourenço & Leguin, 2011	
	<i>O. soufiensis</i> Lourenço & Sadine, 2021	
<i>Pseudolissothus</i> Lourenço, 2001	<i>P. pusillus</i> Lourenço, 2001	
<i>Scorpio</i> Linnaeus, 1758	<i>S. atakor</i> Ythier, Sadine, Bengaid & Lourenço, 2024	
	<i>S. tassili</i> Lourenço & Rossi, 2016	
	<i>S. trarasensis</i> Bouisset & Larrouy, 1962	
<b>Totale</b>	<b>11</b>	<b>35</b>

## 6. Revue historique sur les scorpions de Ghardaïa (Centre algérien)

Les études menées sur les scorpions dans le centre algérien ont commencé par un inventaire de quatre espèces de Buthidae : *Androctonus amoreuxi*, *A. australis*, *A. bicolor* et *Buthacus arenicola* (Sadine et al. 2014). Une espèce nouvelle *Lissothus chaambi* a été décrite fin de 2014 dans cette région (Lourenço & Sadine, 2014). Une année après, une autre espèce s'ajoute à la liste des scorpions de Ghardaïa nommée *Buthacus samiae* (Lourenço & Sadine, 2015). Les découvertes ont suivi avec deux espèces *Buthacus spinatus* et *Buthus saharicus* pour l'année 2016 (Lourenço et al., 2016 ; Sadine et al, 2016). Dans la région de El Meniaa, une espèce nouvelle *Buthacus elmenia* a été ajouté à la faune scorpionique du centre algérien (Lourenço et al, 2017). Par la suite, deux mémoires de Master en Ecologie ; Souilem et Lahrache (2017) et Bengaid (2018) ont signalé cinq espèces dans la wilaya de Ghardaïa : *A. australis*, *A. amoreuxi*, *A. aeneas*, *Buthacus samiae* et *Buthus saharicus*. En 2020, plus précisément dans la palmeraie de Zelfana, Sadine (2020) a signalé la présence d'*Orthochirus innesi*. Plus récemment, Sadine et al. (2023) ont arrêté la liste de scorpiofaune de le centre algérien à huit espèces.

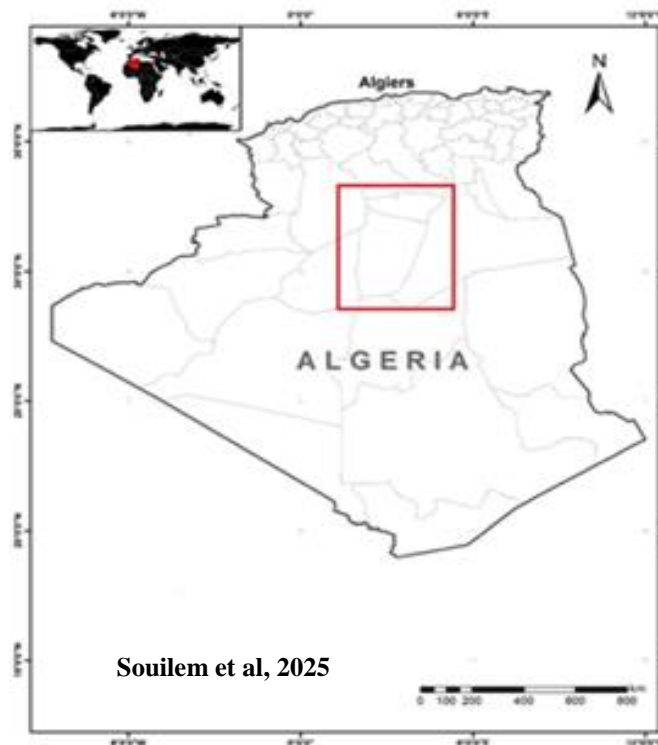
***Chapitre II :***  
***Matériel et méthodes***

La caractérisation écologiquement pertinente des régions biogéographiques est reposée sur l'articulation de trois facteurs : édaphiques, climatiques et biotiques. On a choisi la région du centre algérien (Ghardaïa et El Meniaâ) comme région d'étude.

## 1. Présentation de la région d'étude

### 1.1. Délimitation géographique de la région d'étude

La région d'étude (Ghardaïa et El Meniaa) se trouve dans le Nord du Sahara algérien, à la limite septentrionale du désert, 600 kilomètres au sud d'Alger. Elle couvre une superficie totale de 84.660,12 km<sup>2</sup>, s'étendant du nord au sud sur une distance de 100 à 150 km et d'est en ouest sur une distance de 200 à 250 km. Elle se situe à une altitude moyenne de 460 mètres par rapport au niveau de la mer. La wilaya de Ghardaïa est bordée par la Wilaya de Laghouat au Nord ; la Wilaya de Djelfa au Nord Est ; la Wilaya de Ouargla A l'Est ; la Wilaya de Tamanrasset au Sud ; la Wilaya d'El-B ayad A l'Ouest et au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar. (Benkenzou et al, 2012).



**Figure 4.** Localisation géographique de la région d'étude (carré en rouge)

## 1.2. Données climatiques

### 1.2.1. Température

Le facteur climatique, en particulier la température, joue un rôle déterminant dans la distribution géographique des espèces animales et végétales ainsi que dans la durée de leurs cycles biologiques. Elle occupe une place essentielle dans la régulation des actions des espèces et de communauté à l'intérieur de la biosphère (Chehema, 2011).

La région d'étude se distingue par ses moyennes de température les plus basses qui sont enregistrées en janvier ( $T_{\text{moy}} = 11.59^{\circ}\text{C}$ ). De plus, le mois le plus chaud est noté en juillet avec une température moyenne de  $35.07^{\circ}\text{C}$ .

**Tableau 3.** Températures mensuelles de la région d'étude (2022 et 2023)

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.
M	17.5	19.2	22.66	28.04	32.27	38.27	41.57	40.22	36.08	29.11	22.56	18.36
m	6.02	7,97	10,98	15,2	20.01	25,01	28,56	27,71	23,71	23,97	17,48	7,79
Moy.	11,59	13,5	16,82	21,62	26,39	31,64	35,07	33,97	30,03	23,3	16,99	13,01

T: Température mensuelle en ( $^{\circ}\text{C}$ ) ;

M : Moyenne mensuelle des températures maximales de l'année 2022/2023 en  $^{\circ}\text{C}$  ;

Moy : Moyenne mensuelle des températures minimales de l'année 2022/2023 en  $^{\circ}\text{C}$

### 1.2.2. Précipitation

Les caractéristiques essentielles du climat saharien sont la rareté et l'irrégularité des précipitations. Effectivement, la quantité annuelle de précipitations détermine en grande mesure les biomes terrestres. La vitesse de développement, la longévité et la fécondité des animaux sont influencées par la pluviométrie. Quand il pleut, l'eau se manifeste souvent sous forme d'averse qui s'écoule sur le sol sans s'infiltrer totalement, profitant ainsi peu aux plantes (Vial, 1974 ; Dajoz, 1983 ; Ramade, 1984).

**Tableau 4.** Précipitations mensuelles enregistrées dans de la région d'étude pour la période (2022 -2023)

Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Cumul
P	5,32	7,66	5,85	5,59	6,32	2,78	1,39	5,35	7,14	6,62	6,46	4,86	65.34

P : Précipitation mensuelle exprimées en millimètres.

Selon le tableau 04, il est à noter que les précipitations ont été particulièrement rares à Ghardaïa, attesté par un total annuel de seulement 65.34 mm et, février étant le mois ayant enregistré le plus de pluie ( $P = 7.66$ ).

### 1.3. Synthèse des données climatiques

Les éléments clés pour décrire le climat d'une région spécifique sont la température et les précipitations (Medoriet *al.*, 1998). Nous utilisons pour cela le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1953) ainsi que le climagramme d'Emberger (1955).

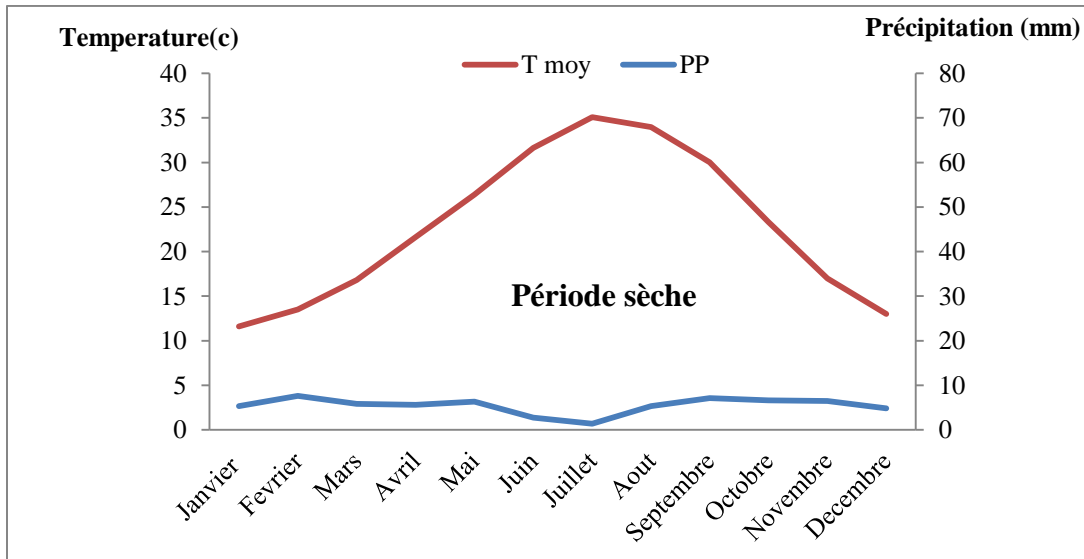
#### 1.3.1. Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen

Le diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen est un graphique représentatif bidimensionnelle qui permet d'identifier les périodes sèches et humides dans la région d'étude, en se basant sur les précipitations et températures mensuelles (Dajoz, 2003). Un mois est considéré sec lorsque la quantité de précipitations mensuelles (mm) est inférieure au double des moyennes de température.

$$T = (M+m) / 2$$

- **T** : Température moyenne mensuelle (°C).
- **M** : Température la plus élevée durant le mois (°C).
- **m** : Température la plus basse durant le mois (°C).

La conception du graphique implique de positionner les mois de l'année sur l'axe des x, et d'afficher les températures sur le premier axe de données, tandis que le second axe parallèle est réservé aux précipitations, suivant la formule  $P = 2T$ . Selon les informations météorologiques, on observe que la région d'étude présente une période sèche s'étale sur toute l'année.



**Figure 5.** Diagramme Ombrothermique de Bagnouls et Gausсен appliquée à la région d'étude (2022-2023)

### 1.3.2. Climagramme d'Emberger

Le Climagramme d'EMBERGER rend possible la classification des divers climats méditerranéens, (Dajoz, 1983), en calculant un quotient de  $Q_2$  déterminé par la formule simplifiée par (Stewart, 1969) à l'aide du quotient suivant

$$Q_2 = 3,43 \times P / (M-m)$$

M : Moyenne des maximums du mois le plus chaud (°C).

m : Moyenne des maximums du mois le plus froid (°C).

Pour la période identifiée, le quotient d'Emberger de la région d'étude indique que la valeur de  $Q_2$  s'élève à 4.03 Par conséquent, il est évident que cette zone se situe au niveau bioclimatique saharien avec un hiver doux avec  $m = 6.02^\circ\text{C}$  (Fig.6).

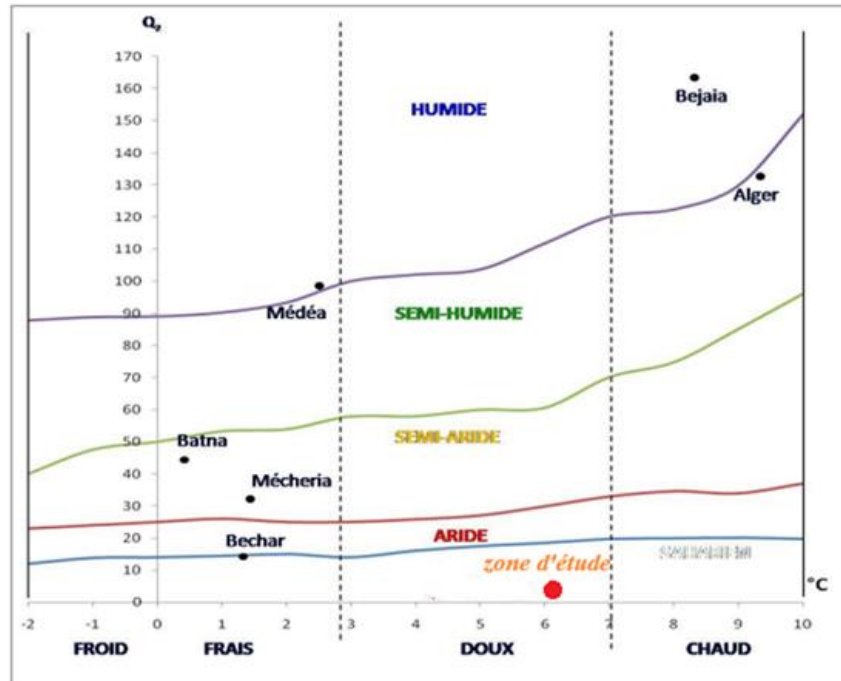


Figure 6. Etage bioclimatique de la région d'étude

## 2. Choix des stations d'études

Notre travail s'articule sur l'étude et la comparaison de la faune scorpionique de différentes strates de quatre types de biotope distincts : le milieu urbain, la Palmeraie, l'erg et le reg au cours des mois de l'année 2022/2023. Les stations d'échantillonnage ont été sélectionnées en fonction de type d'écosystème, l'accessibilité et la facilité de transport ainsi que de la sécurité.

### 2.1. Erg

Le sable constitue un composant fondamental du paysage saharien. Toutefois, les dunes ne couvrent pas l'ensemble du Sahara, mais se trouvent généralement dans de larges zones désertiques dénommées « ergs » (Lelubre, 1952). Selon Gardi (1973), les dunes peuvent présenter diverses formes selon la direction prédominante du vent.

### 2.2. Reg

Selon Monod (1992) les regs sont des sols solides et caillouteux plaines de graviers et de

fragments dérivé de la déflation (l'érosion éolienne) causée par le vent, Ce relief est situé à l'Est de la région de M'Zab et repose au sein d'un substrat du pliocène. Cette région est se localisent dans les communes de Zelfana, Bounoura et El Atteuf (Khene, 2013 ; D.P.A.T., 2005)

### 2.3. Palmeraie

Les oasis sont des écosystèmes abrite des végétations qui sont disposées souvent le long des Oueds et généralement maintenue artificiellement grâce aux pratiques d'irrigation près des sources d'eau, L'apport hydrique transforme le paysage saharien et permet l'installation d'une végétation importante et en favorisant une biodiversité animale élevée (Beddek, 2017).



**Figure 07.** Différents biotopes de la région d'étude. (A) Erg ; (B) Palmeraie ; (C) Reg ; (D) Milieu urbain

## 2.4. Milieu urbain

Un écosystème urbain est un environnement modifié où coexistent des éléments construits, humains et naturels. Il se distingue par une densité de population élevée et une biodiversité adaptée, fréquemment définie par la présence d'espèces opportunistes et la fragmentation de ses espaces verts.

Le tableau 5 illustre les coordonnées géographiques des stations choisies en fonction des types de biotope de la région d'étude.

**Tableau 5.** Coordonnées géographiques des stations d'échantillonnage.

Biotores	Stations	Latitude	Longitude	Altitudes moyenne (m)
Erg	Chaab Sbaa	32°17'N	3°24'E	524m
	Sebseb	32°8' N	3°40'E	468m
	Mansoura	31°56' N	3°31'E	478m
	Oued metlili	32°14' N	3°47'E	460m
	El meniaa	30° 25'N	2°54'E	330m
Milieu urbain	Bouhraoua	32°30'N	3°40'E	576m
	Mansoura	32°03'N	3°44'E	427m
	El Guerrara	32°47'N	4°29'E	307m
	Metlili	32°15'N	3°37'E	496m
Palmeraie	Sebseb	32°12'N	3°30'E	482m
	Zelfana	32°23'N	4°12'E	335m
	Dhayet Ben Dahoua	32°34'N	3°34'E	536m
	Mansoura	31°56'N	3°32'E	480m
Reg	Faynis	32°18'N	3°49'E	496m
	El Guerrara	32°48'N	4°09'E	454m
	Sebseb	N32°11	3°68'E	450m
	Zelfana	32°37'N	4°28'E	338m

## 3. Echantillonnage

Dans le cadre de l'étude de la diversité spatiotemporelle des scorpions, L'échantillonnage a été effectué durant 2022-2023. Des sorties régulières ont été effectuées chaque mi mois pour chaque biotope avec une fréquence de trois sorties par saison, soit 48 sorties de prospection dans les 17 stations retenues. L'échantillonnage adopté reposait sur une prospection aléatoire, En effet dans chaque station sélectionnée, les scorpions recueillis ont été recherchés au hasard, dans

l'ensemble des refuges potentiels et micro-habitats favorables : terriers, constructions abandonnées, sous les pierres, planches de bois, et tout autre abri susceptible d'héberger ces arthropodes. Les spécimens collectés sont conservés dans des boîtes hermétiquement fermées et étiquetés.

### **3.1. Technique de capture des scorpions**

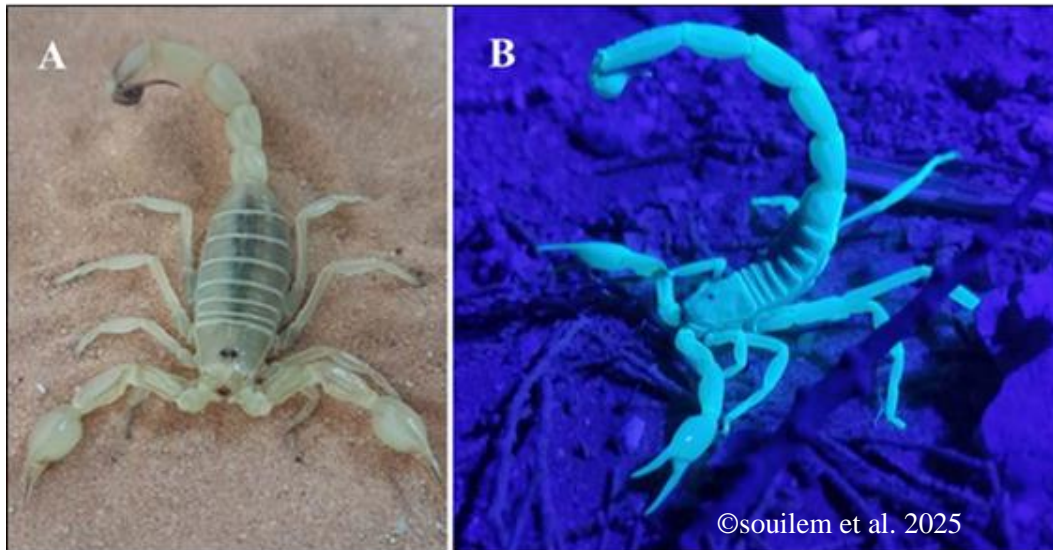
La capture des scorpions a été effectuée par collecte directe ; lors de chaque sortie, deux collecteurs ont parcouru la station choisie. Selon Dehghani et al 2019, Les techniques de tourner de rochers et d'attraction par lumière ultraviolette sont respectivement préconisées pour la capture diurne et nocturne de scorpions, dans les milieux anthropisés et les milieux naturels. L'association de ces deux protocoles d'échantillonnage dans divers écosystèmes optimise l'efficacité de prospection et la représentativité des peuplements scorpionique pour cette raison nous avons utilisé les deux techniques.

#### **3.1.1. Prospection nocturne par lumière ultra-violette :**

La méthode de prospection à la lumière UV, la plus répandue en scorpionologie, repose sur la fluorescence naturelle de la cuticule des scorpions sous rayonnement ultraviolet, qui les rend visibles grâce à leur teinte jaune caractéristique. Cette méthode, qui date de plus de 60 ans (Pavan & Vachon 1954), optimise les relevés effectués durant la nuit. Les prospections ont été conduites durant la période d'activité maximale des scorpions, entre 21h00 et 02h00 (Sadine 2005), ciblant leurs micro-habitats préférentiels : litière, sous-face des pierres, anfractuosités murales et écorces de troncs.

#### **3.1.2. Prospection diurne par fouille des refuges :**

Les collectes matinales visaient à inventorier les scorpions dans leurs abris en Retournement de de pierres et blocs rocheux, inspection des fissures, Inspection des fissures, amas de bois mort et troncs d'arbres, Versement d'eau dans les terriers pour faire sortir les scorpions dans la période d'hivernation. Les refuges naturels sont généralement observés autour de la palmeraie et dans les dunes de sable.



**Figure 08.** Capture (A) diurne et (B) nocturne des espèces de scorpions.

## 4. Matériel

### 4.1. Sur le Terrain

Pour la capture des scorpions, le matériel suivant a été employé :

- Pinces métalliques : de 20 à 30 cm pour une manipulation sécurisée des spécimens conçues pour une manipulation sécurisée des spécimens, réduisant ainsi les risques d'envenimation.
- Boîtes de collecte : individuelles en plastique ventilés afin d'assurer un transport sûr et prévenir le cannibalisme inter et intra-spécifique et permettant un transport optimal vers le laboratoire.
- Appareil photo numérique : avec zoom a permis la photographie in situ des spécimens et de leurs micro-habitats.
- GPS : pour localiser précisément les coordonnées géographiques (latitude, longitude, altitude) des sites de collecte, essentiels pour les analyses spatiales et les modélisations de distribution en SIG.

## 4.2. Au laboratoire (Identification)

Les spécimens de scorpions collectés ont été conservés dans des boîtes contenant de l'éthanol à 70°, sur lesquels sont mentionnées les informations concernant le lieu, la date et transportés au laboratoire pour identification taxonomique sous stéréomicroscope binoculaire équipé d'une lumière froide. Les individus ont été examinés en variant la mise au point à l'aide d'une pince et d'une épingle.

L'identification selon les clés de Vachon (1952, 1974) et Stahnke (1970) est basée sur des caractères ultra-morphologiques: position des trichobothriotaxie, forme de la vésicule à venin et de l'aiguillon, disposition et forme des carènes, extrémité des appendices ambulatoires, morphologie des chélicères et granulation de leurs doigts, nombre de dents des peignes, ainsi que les organes génitaux et la disposition des yeux. Certains échantillons ont été soumis au Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris pour validation par le Dr. R.W. Lourenço.

## 5. Exploitation des résultats

### 5.1. Qualité d'échantillonnage appliquée aux scorpions

Afin d'évaluer la complétude de l'inventaire scorpionique, des courbes d'accumulation et de raréfaction d'espèces ont été générées pour chaque biotope à partir des matrices d'abondance, en utilisant le nombre d'individus collectés comme mesure de l'effort d'échantillonnage. La richesse spécifique estimée ( $S_{est}$ ) a été calculée à l'aide du logiciel Estimate S 9.1.0. (Colwell & Joshi, 2013). L'adéquation de l'effort d'échantillonnage a ensuite été appréciée sur la base de l'asymptote des courbes et du rapport entre richesse observée et richesse estimée.

### 5.2. Indices écologiques

La mesure de la diversité des espèces est nécessaire pour surveiller et évaluer la conservation de la biodiversité (Morris et al. 2014) et pour obtenir des estimations quantitatives de la variabilité biologique en tant qu'entités d'une communauté. Pour mesurer l'état des écosystèmes nous avons calculé les indices écologiques de structures et de compositions.

Les indices écologiques sont des outils quantitatifs essentiels pour caractériser la structure

et la diversité de communauté biologique. Ils permettent de décrire, d'analyser et de comparer la composition et l'abondance des espèces, à la fois dans l'espace et dans le temps, offrant ainsi une vision synthétique des patrons écologiques et facilitant l'évaluation des impacts environnementaux ou anthropiques. Ces indices se déclinent en mesures de composition spécifique (abondance, richesse, fréquence d'occurrence) et en indices de structure (Shannon, Simpson, équitabilité), qui renseignent sur l'organisation interne et l'équilibre des assemblages biologiques. Dans le cadre de notre étude, nous avons préalablement évalué la qualité de l'échantillonnage afin d'en assurer la pertinence.

### **5.2.1. Indices écologiques de composition et d'organisation**

Pour décrire l'ensemble de la composition du peuplement scorpionique trois indices écologiques ont été analysés ; (1) la richesse spécifique, (2) les abondances (totales, relatives), (3) la fréquence/constance.

Les indices de composition spécifique permettent de caractériser quantitativement la structure des communauté scorpionique. Ils comprennent : l'abondance et la phénologie des espèces, qui décrivent le nombre d'individus et leurs variations temporelles ; l'abondance relative, indiquant la proportion d'individus de chaque espèce par rapport au total de la communauté ; la richesse spécifique, correspondant au nombre total d'espèces présentes ; et la fréquence d'occurrence (FO%), qui renseigne sur la proportion de relevés où chaque espèce est observée. Ces indices offrent une vision synthétique de la diversité, de la dominance et de la répartition des espèces dans l'espace et le temps.

#### **5.2.1.1. Richesse spécifique (S)**

Elle exprime le nombre total de taxons présents au sein d'un biotope ou d'un habitat donné, rapporté à une surface d'échantillonnage définie (Magurran, 2004). Ce paramètre permet d'évaluer l'importance numérique des taxons présents dans la communauté étudiée. L'augmentation du nombre d'espèces implique une complexification des interactions interspécifiques et des relations biotiques avec le milieu (Baziz, 2002). La fiabilité de ce paramètre dans l'estimation de la richesse réelle du peuplement s'améliore proportionnellement au nombre de relevés réalisés (Blondel, 1975). L'effort d'échantillonnage demeure donc un facteur

déterminant dans l'exactitude de cette mesure. La richesse totale s'exprime par la formule suivante :

$$S = sp_1 + sp_2 + sp_3 + \dots + sp_n$$

Où :

S : le nombre total d'espèces observées

sp<sub>1</sub>, sp<sub>2</sub>, sp<sub>3</sub>, ..., sp<sub>n</sub> : désignent les différentes espèces recensées

### 5.2.1.2. Fréquence centésimale ou abondance relative (AR)

Selon Blondel (1979) l'abondance relative permet de préciser la place occupée par les effectifs de chaque espèce trouvée dans les biotopes. Elle correspond à la proportion des effectifs d'une espèce *i* par rapport à l'effectif total de l'ensemble de la communauté, toutes espèces confondues. (Dajoz, 1971). L'abondance relative s'exprime en pourcentage (%) selon la formule proposée par Faurie et al. (2003) :

$$AR (\%) = ni \times 100/N$$

- AR est l'abondance relative
- Ni est le nombre des individus de l'espèce *i* prises en considération.
- N est le nombre des individus toutes espèces confondues.

### 5.2.1.3. Fréquence d'occurrence ou Constance (FO%)

La fréquence d'occurrence (constance) d'une espèce représente le pourcentage de relevés dans lesquels une espèce donnée est observée, par rapport à la totalité des relevés effectués au sein d'un peuplement ou d'une aire d'étude (Dajoz, 2006). Il s'agit de la formule suivante :

- FO% = (Pa/P) \* 100.
- FO% = fréquence d'occurrence de l'espèce.
- Pa = nombre total de relevés contenant l'espèce prise en considération.
- P = la totalité des relevés.

En fonction de la valeur de FO% on distingue les catégories suivantes (Bigot and Bogot, 1973) :

- Constante ou omniprésente: si  $75\% < FO\% \leq 100\%$
- Frequentes : si  $50\% < FO\% \leq 75\%$
- Occasionnelle ou commune: si  $25\% < FO\% \leq 50\%$
- Espèces Rare ou accidentelle si  $FO\% \leq 25\%$

### 5.2.2. Indices écologiques de diversité et structure

#### 5.2.2.1. Indice de diversité de Shannon-Weaver (H')

En écologie, L'indice de Shannon-Wiener constitue l'un des descripteurs les plus couramment utilisés pour mesurer la diversité d'un peuplement (Magurran, 1988 ; Krebs), cet indice renseigne sur la diversité des espèces d'un milieu étudié et évalue la dimension et la complexité d'un peuplement (Blondel, 1995 ; Houhamdi, 2002). Selon Dajoz, 1975 cet indice (H') prend en compte à la fois le nombre d'espèces présentes et la répartition des individus au sein de ces espèces L'indice de diversité de Shannon-Weaver est calculé selon la formule suivante (Ramade, 1984) :

$$H' = -\sum P_i \log_2 P_i$$

- $p_i = n_i / n$
- $p_i$  : fréquence relative des espèces.
- $n_i$ : nombre d'individus pour chaque espèce
- $n$  : nombre total d'individus de toutes les espèces

L'indice de Shannon-Wiener varie entre deux valeurs limites: ( $H' = 0$ ,  $H' = \log_2(S)$ ) ;  $H' = 0$  lorsque tous les individus appartiennent à une seule espèce, et  $H' = \log_2(S)$  lorsque toutes les espèces ont des abondances exactement identiques, S désignant le nombre total d'espèces. Dans l'écosystème naturels, on observe habituellement que les valeurs de H' fluctuent entre 1,5 et 3,5 bits, dépassant rarement 4,5 bits (Magurran, 1988).

L'un des avantages majeurs de l'indice de Shannon-Weaver est qu'il ne dépend pas de la taille de l'échantillon, tout en intégrant la répartition des effectifs entre les différentes espèces (Dajoz, 1975). Dans le cadre de la présente étude, cet indice a été calculé afin de caractériser la

diversité des peuplements scorpionique en fonction des biotopes et des saisons considérés.

### 5.2.2.2 Indice de diversité maximale ( $H'_{\max}$ )

La diversité maximale, notée  $H'_{\max}$ , représente la valeur théorique maximale que peut atteindre l'indice de Shannon-Weaver pour un peuplement donné lorsque toutes les espèces y sont représentées par des effectifs strictement identiques (Müller, 1985 ; Weesie et Belemsobgo, 1997). Elle est calculée selon la formule proposée par Blondel (1979) :

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

**S** : richesse totale

### 5.2.2 .3 Indice d'Équitabilité

L'équitabilité constitue, avec la richesse spécifique, un descripteur fondamental de la diversité (Ramade, 1984). Elle caractérise la manière dont les individus se répartissent entre les différentes espèces du peuplement. L'indice d'équitabilité de Pielou (1966), également appelé indice de régularité, quantifie cette répartition par le rapport entre la diversité observée ( $H'$ ) et la diversité maximale théorique ( $H'_{\max}$ ) (Blondel, 1979). L'équirépartition est obtenue grâce à la formule suivante :

$$E = H' / H'_{\max}$$

- **$H'$**  : l'indice de diversité de Shannon-Weaver exprimé en bits.
- **$H'_{\max}$**  : la diversité maximale exprimée en bits.

L'indice d'équitabilité varie entre 0 et 1, ces deux valeurs extrêmes correspondant à des structures de peuplement très contrastées (Legendre et Legendre, 1979 ; Barbault, 1981, 1992 ; Ramade, 1984).

Lorsque  $E$  tend vers 0 ( $E < 0,5$ ), cela traduit un fort déséquilibre dans la répartition des effectifs : une ou quelques espèces dominant largement le peuplement par leur abondance, tandis que les autres espèces demeurent faiblement représentées (Barbault, 1981 ; Ramade, 1984). Cette situation peut refléter, dans le cas d'études trophiques, un comportement de spécialisation

alimentaire où l'espèce étudiée sélectionne préférentiellement certaines proies parmi celles disponibles.

À l'inverse, lorsque E tend vers 1, les effectifs se répartissent de manière homogène entre toutes les espèces présentes, qui possèdent alors des abondances sensiblement équivalentes (Legendre et Legendre, 1979 ; Barbault, 1992 ; Ramade, 1984). Cette situation caractérise un peuplement équilibré où aucune espèce ne domine nettement les autres.

#### 5.2.2.4. Indice de Simpson D

Cet indice a été proposé par Simpson en 1965. Il est essentiellement lié aux variations d'abondance entre espèces dominantes, Il mesure la probabilité que deux Individus sélectionnés au hasard dans un milieu donné soit de la même espèce. La formule de cet indice est la suivante :

$$D = \sum Ni (Ni-1) / N (N-1)$$

- Ni : nombre d'individus de l'espèce donnée
- N : nombre total d'individus.

L'indice est inversement proportionnel à la diversité, de ce fait, une autre formulation a été proposée afin d'établir un indice directement représentatif de l'hétérogénéité en retranchant l'indice de Simpson à sa valeur maximale : 1 (Pielou, 1969 ; Pearson et Rosenberg, 1978). Cette nouvelle formulation constitue l'indice de diversité de Simpson Cet indice varie donc de 0 (diversité minimum) à 1 (diversité maximum). Plus il se rapproche de 1, plus les chances d'obtenir des individus d'espèces différentes sont élevées.

Dans sa forme complémentaire (1-D), des valeurs élevées traduisent une faible dominance et une communauté plus équilibrée, tandis que des valeurs faibles indiquent une forte dominance d'un nombre restreint d'espèces.

## 6. Analyses statistiques

### 6.1. Tests pairwise adonis2 (PERMANOVA)

Pour vérifier les différences de composition de communauté d'espèces entre les biotopes et les saisons échantillonnés, une analyse multivariée de variance par permutations (PERMANOVA) a été réalisée à l'aide de la fonction `adonis2` du package `vegan` sous le logiciel R. Cette méthode statistique non paramétrique permet de tester l'effet des biotopes et des saisons sur la structure des peuplements en termes de composition spécifique, sans hypothèse préalable sur la distribution des données, ce qui la rend particulièrement adaptée aux données écologiques de composition en espèces. Le modèle réduit a été appliqué afin de tester l'effet de chaque biotope et de chaque saison indépendamment, en contrôlant l'effet des autres variables. Le seuil de significativité retenu pour l'ensemble des analyses était de  $\alpha = 0,05$ . Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide du logiciel R (R Core Team, 2016) et du package `vegan` (Oksanen et al. 2016).

### 6.2. Modèles linéaires généralisés (GLM)

Pour d'évaluer les effets de la saison, du biotope et de leur interaction sur les principaux paramètres décrivant la composition et la structure de communauté (L'abondance totale, La richesse spécifique, L'indice de Shannon, H'max, l'indice d'équitabilité L'indice de Simpson) les modèles linéaires généralisés (GLM) ont été utilisés.

### 6.3. Ordination par mise à l'échelle multidimensionnelle non métrique (NMDS)

Afin de visualiser les relations entre les espèces et les biotopes/saisons au sein de la zone d'étude, une mise à l'échelle multidimensionnelle non métrique (NMDS) a été réalisée. Cette méthode d'ordination permet de représenter graphiquement, dans un espace réduit à deux dimensions, les similarités et dissimilarités entre les populations sur la base de leur composition spécifique. L'ensemble des analyses a été effectué à l'aide du package R `vegan` (Oksanen et al. 2020).

***Chapitre III :***  
***Résultats***

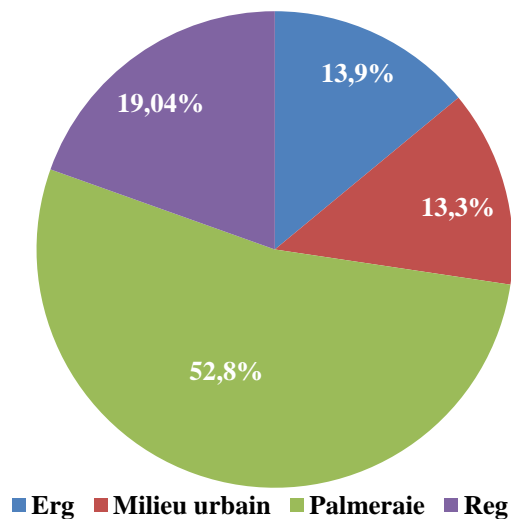
Au cours des 12 mois de prospection entre octobre 2022 et septembre 2023, nous avons collecté et examiné 305 scorpions provenant des quatre biotopes de la région d'étude (Centre algérien). Représenté dans le tableau 06.

**Tableau 6.** Répartition des scorpions selon les saisons dans les différents biotopes étudiés

Biotopes	Nombre d'individus			
	Été	Automne	Hiver	Printemps
<b>Erg</b>	25	7	5	6
<b>Milieu urbain</b>	21	10	0	10
<b>Palmeraie</b>	70	32	17	44
<b>Reg</b>	24	4	10	22

### 1. Abondance des scorpions selon le type de biotopes

Les résultats relatifs à l'abondance des scorpions par biotopes sont mentionnés dans la figure suivante :



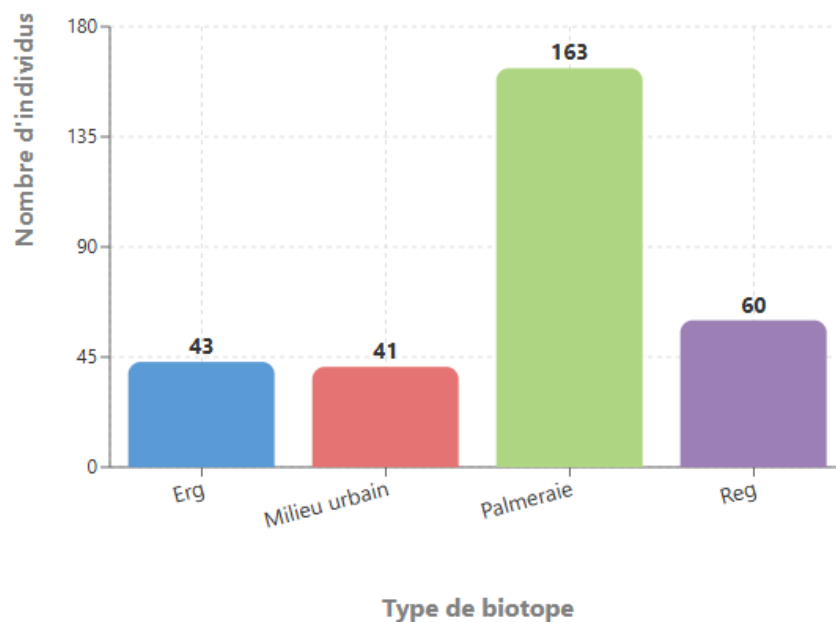
**Figure 9.** Abondance des scorpions selon les types de biotopes

La figure (09) illustre la distribution exprimée en pourcentages, des scorpions inventoriés au sein de quatre types de biotopes distincts. Au total, 305 individus ont été collectés et répartis entre ces quatre biotopes. L'analyse de la répartition spatiale révèle une distribution hétérogène des spécimens, suggérant une sélectivité marquée des scorpions vis-à-vis des micro habitats prospectés.

La palmeraie est largement dominante avec (52,8%) constituent plus de la moitié du total et surpassant les trois autres biotopes combinés, Le biotope reg se classent à la deuxième position avec (19,4%), suivies de l'erg qui abrite (13,9%). Le milieu urbain rassemble le pourcentage plus faible avec (13,3% des captures).

## 2. Répartition des scorpions par effectifs selon le type de biotope dans la région d'étude

Les résultats relatifs à la répartition des scorpions par effectifs selon le type de biotope dans la région sont présentés dans la figure suivante :



**Figure 10.** Répartition de scorpions par effectifs selon les types de biotope

Les résultats obtenus indiquent une hétérogénéité spatiale notable dans la répartition des scorpions à travers les quatre biotopes étudiés. La distribution des effectifs présente une variation considérable, suggérant une forte sélectivité dans l'occupation des habitats disponibles (fig.10)

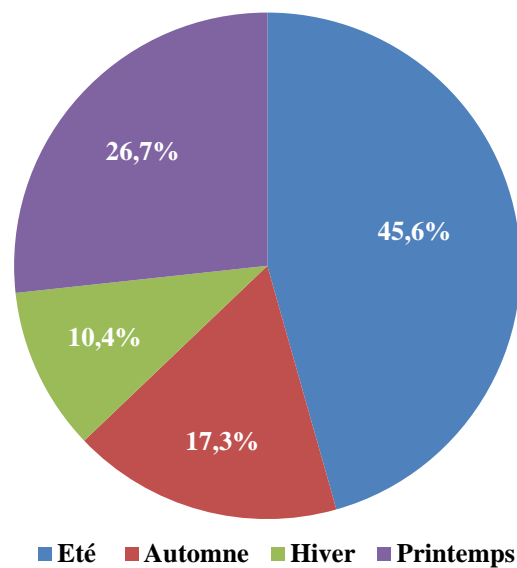
La palmeraie constitue le biotope dominant avec un effectif de 163 individus, représentant le milieu le plus colonisé suivi par Le reg qui a été enregistré 60 individus, tandis que l'erg et le milieu urbain présentent les effectifs les plus faibles avec respectivement 43 et 41 individus.

L'analyse comparative des effectifs met en évidence des disparités importantes entre

biotopes. La palmeraie héberge 2,7 fois plus d'individus que le reg, 3,8 fois plus que l'erg, et 4,0 fois plus que le milieu urbain. Cette répartition non homogène suggère fortement une sélection active de l'habitat par les populations de scorpions plutôt qu'une distribution aléatoire dans l'espace disponible.

### 3. Abondance des scorpions selon les saisons

Les diagrammes en secteurs dans la figure 11 illustrent la répartition saisonnière de la population de scorpions dans région d'étude.

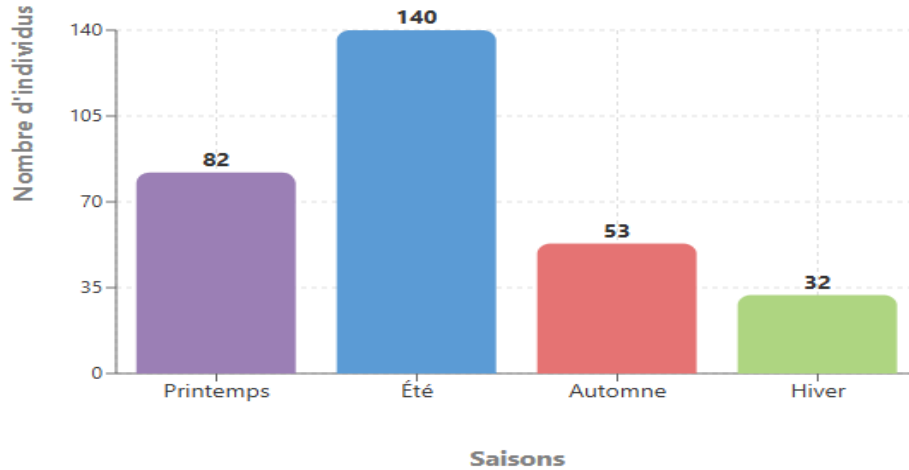


**Figure 11.** Abondance des scorpions selon les saisons

L'étude de la répartition temporelle des observations a démontré une variation saisonnière significative. L'activité la plus importante a été observée pendant la saison d'été, qui a regroupé 45,6% de l'effectif total enregistré. Au printemps, on a enregistré 26,7% des observations, tandis que l'automne a contribué à hauteur de 17,3% du total des individus capturés. Tandis que Durant période hivernale, on a observé la plus basse densité de population avec seulement 10,4% des individus, correspondant au moment où l'activité scorpionique est à son limite.

#### 4. Répartition des scorpions par effectifs selon les saisons dans la région d'étude

La répartition des scorpions par effectifs selon la saison dans la région d'étude sont présentés dans la figure suivante :



**Figure 12.** Répartition saisonnière des populations de scorpions dans la zone d'étude

La figure 12 illustre la répartition saisonnière des populations de scorpions observées dans la zone d'étude. Les données recueillies ont montré une variabilité temporelle notable dans la présence des populations de scorpions, avec une diminution notable du nombre d'individus de l'été à l'hiver. Un pic d'activité a marqué la saison estivale, avec la capture de 140 individus. Au printemps, on a compté 82 spécimens, ce qui positionne cette saison en deuxième position pour ce qui est de l'abondance. L'automne a connu une baisse significative, limitant l'effectif à seulement 53 individus. Finalement, l'hiver a montré le niveau d'activité le plus bas de l'année, avec seulement 32 individus dénombrés.

#### 5. Composition taxonomique et faunistique des scorpions

Sur la base des clés d'identification décrites par Vachon (1952, 1974), notre étude a révélé que la liste systématique de la diversité scorpionique comprend 11 espèces réparties en 6 genres, toutes appartenant à la famille des Buthidae. Elles sont présentées par ordre taxonomique dans le Tableau 7.

**Tableau 7.** Liste systématique des espèces de scorpions capturées dans la région d'étude.

Genres	Espèce s	Endemisme	References
<i>Androctonus</i>	<i>Androctonus aeneas</i> C.L. Koch, 1839	/	Sadine, 2018
	<i>Androctonus amoreuxi</i> (Audouin, 1825)	/	Sadine, 2018
	<i>Androctonus australis</i> (Linnaeus, 1758)	/	Sadine, 2018
<i>Buthacus</i>	<i>Androctonus deserticus</i> Sadine, Souilem, Lourenço & Ythier, 2024	Region de Ghardaia	Cette etude
	<i>Buthacus samiae</i> Lourenço & Sadine, 2015	Region de Ghardaia	Lourenço et al. 2016
	<i>Buthacus spinatus</i> Lourenço, Bissati & Sadine, 2016	Region de Ghardaia	Lourenço & Sadine, 2015
	<i>Buthacus elmenia</i>	Region de Ghardaia	
<i>Buthiscus</i>	<i>Buthiscus bicalcaratus</i> Birula, 1905	/	Current study
<i>Buthus</i>	<i>Buthus saharicus</i> Sadine, Bissati & Lourenço, 2015	Pour l'Algerie	Sadine et al, 2016
<i>Lissothus</i>	<i>Lissothus chaambi</i> Lourenço & Sadine, 2014	Region de Ghardaia	Lourenço & Sadine, 2014
<i>Orthochirus</i>	<i>Orthochirus innesi</i> Simon, 1910	/	Sadine, 2020
<b>6 genre</b>	<b>11especes</b>		

La liste de 11 espèces scorpionique dans la région étudiée révèle une diversité scorpionique notable et importante, elle représente **18.96%** des espèces identifiées en Algérie et de **0.37 %** des espèces mondiales avec un taux d'endémisme très important **45%**

## 6. Description des espèces rencontrées

### 6. 1. *Androctonus aeneas* Koch, 1839

*Androctonus aeneas* Koch, 1839 est une espèce de taille moyenne dont la longueur corporelle totale varie entre 7 et 8 cm. Selon Zouatine (2024), les mensurations morphométriques révèlent un léger dimorphisme sexuel. Chez les mâles, le prosoma apparaît relativement court avec une longueur moyenne de  $0,90 \pm 0,22$  cm. Le mésosoma est proportionnellement plus développé, atteignant en moyenne  $1,72 \pm 0,25$  cm, tandis que le métasoma présente une longueur modérée de  $4,00 \pm 0,45$  cm.

Les femelles se distinguent par un prosoma légèrement plus long ( $0,94 \pm 0,18$  cm) comparativement aux mâles. Le mésosoma s'avère légèrement plus court avec une moyenne de  $1,68 \pm 0,31$  cm, alors que le métasoma atteint  $4,18 \pm 0,51$  cm, présentant une tendance à l'allongement par rapport à celui des mâles (Zouatine, 2024).

*A. aeneas* présente une coloration allant du brun sombre au noir. Les bouts des pattes ambulatoires et des pinces sont plus clairs, contrastant avec le reste du corps (fig.03). Les doigts fixe et mobile des chélicères sont ornés de 13 à 15 séries semi-obliques de granulations. Le peigne présente un dimorphisme sexuel avec 27 à 32 dents pectinales chez les individus mâles et 21 à 27 chez les femelles (Vachon, 1952 ; Lourenço, 2005 ; Lourenço et al. 2015).



**Figure 13.** *Androctonus aeneas* Koch, 1839

Koch a défini pour la première fois *A. aeneas* en 1839, en se basant sur des spécimens collectés à Aïn El-Turk (Oran). Cette espèce, marquée par une variabilité morphologique notable, a souvent été identifiée à tort avec *Androctonus bicolor* (Ehrenberg, 1828) ou divisée en trois sous-espèces : *Androctonus aeneas aeneas* (Koch, 1839), *Androctonus aeneas liouvillei* (Pallary, 1924) et *Androctonus bicolor aeneas* (Levy et Amitai, 1980).

Suite à l'analyse des échantillons originaires de l'Égypte, de Tripolitaine, de Syrie et de Tunisie, Lourenço (2005) a démontré l'existence d'un gradient morphologique et a suggéré de considérer *Androctonus aeneas* comme synonyme d'*Androctonus bicolor*.

À cause de la disparition des caractéristiques de la description initiale réalisée par Koch Teruel et Kovařík (2014) ont considéré *A. aeneas* comme un nomen dubium, et ils ont identifié deux espèces distinctes : *A. turieli* (Tunisie) et *A. tenuissimus* (Égypte). Ensuite, Afin de stabiliser le statut nomenclatural d'*A. aeneas*, Lourenço et al. (2015) ont désigné un néotype, un spécimen mâle collecté à Aïn El-Turk (localité type), et ont confirmé la mise en synonymie d'*A. aeneas*

avec *A. turieli*.

Sur le territoire algérien, plusieurs études (Sadine et al., 2011, 2012, 2014 ; Sadine, 2018 ; Ouici et al., 2020 ; Mekahlia et al., 2021 ; Ait Hammou et al., 2024) attestent qu'*Androctonus aeneas* présente une distribution géographique étendue. Cette espèce est répertoriée depuis les régions orientales, notamment Tébessa, Khenchela et El-Oued, jusqu'aux zones occidentales incluant Aïn El-Turk, localité type de ce taxon. Son aire de répartition comprend également les wilayas de Batna, Ouargla, M'Sila et Sidi Bel Abbès.

### **6.2. *Androctonus amoreuxi* (Audouin, 1825)**

Cette espèce de scorpion se caractérise par une taille importante, pouvant atteindre 12 cm de longueur totale. L'abdomen caudal présente une particularité morphologique notable : un amincissement marqué à partir du troisième segment de la queue (Sadine et al, 2014).

L'analyse morphométrique révèle un dimorphisme sexuel modéré. La longueur du prosome chez les mâles est de  $1,22 \pm 0,18$  cm, tandis que chez les femelles elle atteint  $1,24 \pm 0,17$  cm. Le mésosome des mâles présente une longueur moyenne de  $2,32 \pm 0,25$  cm, alors que les femelles d'*A. amoreuxi* affichent des mésosomes légèrement plus courts avec une moyenne de  $2,20 \pm 0,27$  cm.

Le métasome (queue) constitue la structure la plus développée chez cette espèce. Les mâles d'*A. amoreuxi* possèdent le métasome le plus long avec une moyenne de  $5,90 \pm 0,16$  cm, caractérisé par une faible variabilité intraspécifique. Les femelles d'*A. amoreuxi* présentent également des métasomes allongés, mesurant en moyenne  $5,60 \pm 0,35$  cm (Zouatine 2024). Les dois fixes et mobiles sont équipées de 12 à 13 rangées semi-obliques de granules et les peignes sont composés de 31 à 35 dents chez les mâles et de 21 à 25 dents chez les femelles (Vachon, 1952 ; Lourenço, 2005).



**Figure 14.** *Androctonus amoreuxi* (Audouin, 1825)

Vachon (1952) décrit initialement *A. amoreuxi* à partir de spécimens égyptiens et circonscrit son aire de répartition principalement à l'Afrique du Nord, englobant l'Égypte, la Libye, la Tunisie, l'Algérie, le nord de la Mauritanie, ainsi qu'une présence marginale au Maroc.

Trois décennies plus tard, Levy et Amitai (1980) confirment la présence avérée de cette espèce en Égypte, validant ainsi les observations initiales de Vachon. Au début du XXI<sup>e</sup> siècle, Lourenço (2005) étend considérablement l'aire de répartition supposée de l'espèce, la signalant sur un vaste territoire s'étendant du Sénégal et de la Mauritanie à l'ouest jusqu'à l'Inde à l'est.

Toutefois, des révisions taxonomiques ultérieures basées sur des analyses morphologiques des populations moyen-orientales révèlent l'absence d'affinités avec *A. amoreuxi*, remettant en question cette distribution élargie. De même, les populations identifiées sous le nom d'*Androctonus amoreuxi* dans le massif du Tassili N'Ajjer, au sud de l'Algérie, sont réassignées à une espèce distincte, *A. eburneus* (Pallary, 1928).

Plus récemment, Mousaid et al. 2024 suggèrent qu'*A. amoreuxi* pourrait présenter une distribution plus étendue dans l'extrême sud du Maroc, région saharienne caractérisée par de vastes zones arides offrant des conditions écologiques favorables à sa dispersion, s'étendant potentiellement jusqu'au nord de la Mauritanie.

### 6.3. *Androctonus australis* (Linnaeus, 1758)

*A. australis* constitue une espèce de grande taille, pouvant atteindre plus de 10 cm de longueur totale. Elle se distingue aisément par son métagonite particulièrement épais, arborant une coloration jaune paille caractéristique, contrastant avec les pédipalpes et les segments métasomaux distaux qui présentent une pigmentation plus ou moins assombrie (Vachon, 1952) (fig. 18). Les doigts fixe et mobile des chélicères portent 12 à 14 séries semi-obliques de granulations de teinte sombre. Le peigne pectinal manifeste un dimorphisme sexuel prononcé, comptant 30 à 36 dents chez les mâles et 22 à 26 chez les femelles (Vachon, 1952 ; Lourenço, 2005).

*A. australis* se distingue par le prosoma le plus long et homogène parmi les espèces du genre *Androctonus* étudiées, mesurant  $1,42 \pm 0,08$  cm chez les mâles et  $1,38 \pm 0,08$  cm chez les femelles. Le mésosoma atteint  $2,28 \pm 0,17$  cm chez les mâles et  $2,38 \pm 0,19$  cm chez les femelles, révélant un léger développement supérieur chez ces dernières. Le métagonite manifeste un dimorphisme sexuel marqué avec  $5,54 \pm 0,54$  cm chez les mâles contre  $4,76 \pm 0,43$  cm chez les femelles (Zouatine, 2024).



**Figure 15.** *Androctonus australis* (Linnaeus, 1758)

Décrite initialement par Linné (1758) sous le nom de *Scorpio australis*, cette espèce figure parmi les plus répandues de la famille, distribuée du nord-est du Maroc jusqu'à l'Égypte, en

passant par l'Afrique du Nord et le Sahel (Vachon, 1952 ; Levy & Amitai, 1980 ; Fet & Lowe, 2000 ; Geniez, 2009).

Plusieurs sous-espèces ont été ultérieurement décrites au sein de ce taxon. Toutefois, Lourenço (2005) a profondément révisé le statut taxonomique de cette espèce, restreignant son aire de répartition à l'Afrique et reclassant toutes les populations moyen-orientales dans d'autres espèces. Sa révision démontre qu'*A. australis* constitue une espèce unique présentant un polymorphisme intraspécifique, invalidant ainsi la subdivision en sous-espèces précédemment établie.

Néanmoins, Seiter et Turiel (2013) signalent ultérieurement la première occurrence d'*Androctonus australis* en Jordanie, questionnant ainsi la restriction géographique strictement africaine proposée par Lourenço.

#### **6.4. *Buthacus deserticus* Sadine, Souilem, Lourenço & Ythier, 2024**

Cette espèce présente une taille moyenne avec une longueur totale de 44-50 mm chez la femelle et 47-52 mm chez le mâle. La coloration générale est jaunâtre à brun jaunâtre, marquée par une pigmentation brun foncé à noirâtre sur la carapace et 5<sup>ème</sup> anneau, Le peigne compte 15-17 dents chez la femelle et 22-24 chez le mâle. Le doigt du pédipalpe est fortement renflée chez le mâle.

Récemment décrite par Sadine et al (2024), cette espèce a été capturée pour la première fois dans notre région d'étude, plus précisément dans les localités de Mansoura, Béni Isguen, Sebseb et Metlili.



**Figure 16.** *Buthacus deserticus* Sadine, Souilem, Lourenço & Ythier, 2024.

### **6.5. *Buthacus samiae* Lourenço & Sadine, 2015**

Cette espèce de scorpion présente des dimensions moyennes comprises entre 5 et 6 centimètres, avec une coloration variant du jaune paille au jaune clair. La queue se caractérise par sa finesse et sa longueur remarquable. Les pédipalpes montrent des doigts fixes et mobiles ornés de 8 à 9 rangées de granules de teinte foncée. Concernant le dimorphisme sexuel observable sur les peignes, Lourenço et Sadine (2015) ont documenté la présence de 28 à 32 dents chez les individus mâles, contre 24 à 26 chez les femelles.



**Figure 17.** *Buthacus samiae* Lourenço & Sadine, 2015.

Sur le plan taxonomique, Sadine et al. (2014) avaient initialement classé les spécimens de la région de Ghardaïa (centre algérien) comme appartenant à *Buthacus arenicola*. Néanmoins, un examen détaillé des individus collectés à Sebseb et Hassi L'Fhel a démontré qu'il s'agissait d'une espèce totalement différente de *B. arenicola*, précédemment répertorié à Ouargla (Sadine, 2005 ; 2012) ainsi qu'à El-Oued (Sadine et al. 2011).

#### 6.6. *Buthacus spinatus* Lourenço, Bissati & Sadine, 2016

*Buthacus spinatus* représente une espèce de taille petite à modérée au sein du genre, atteignant une longueur totale de 42 mm chez la femelle et 36-37 mm chez le mâle. La coloration varie du jaune au jaune pâle, seul le cinquième segment métasomal exhibant une pigmentation brun foncé à noirâtre. Le dénombrement des dents pectinales s'établit à 17-18 chez la femelle et 21-23 chez le mâle. La main des pédipalpes affiche un renflement modéré chez le mâle. Les doigts comportant 8 rangées de granules de couleur sombre sur le doigt fixe et 9 sur le doigt mobile (Lourenço et al. 2016 ; Sadine et al. 2024).



**Figure 18.** *Buthacus spinatus* Lourenço, Bissati & Sadine, 2016.

Dans le cadre de la présente étude, deux spécimens mâles de *B. spinatus* ont été identifiés pour la première fois le 29 janvier 2023 dans les milieux sableux de Sebseb. Cette découverte constitue le premier signalement de mâles pour cette espèce dans la région.

*B. spinatus* présente de fortes affinités morphologiques avec *B. deserticus*, susceptibles d'induire une confusion taxonomique lors d'examen superficiels. Les deux taxons partagent plusieurs caractères diagnostiques remarquables : granulation identique sur les doigts des pédipalpes (8 rangées sur le doigt fixe, 9 sur le mobile), un cinquième segment métasomal orné de granulations spinoïdes avec une pigmentation assombrie, ainsi qu'une disposition oculaire similaire avec cinq yeux latéraux.

Néanmoins, l'analyse morphométrique approfondie établit clairement la distinction spécifique entre ces deux entités. Le critère discriminant majeur réside dans le comptage pectinal : *B. spinatus* exhibe 17-18 dents chez les femelles et 21-23 chez les mâles, tandis que *B. deserticus* présente 15-17 dents chez les femelles et 22-24 chez les mâles. Bien que cette variation apparaisse subtile, elle demeure constante et constitue un marqueur taxonomique fiable pour la différenciation de ces deux espèces morphologiquement apparentées.

#### 6.7. *Buthacus elmenia* Lourenço & Sadine, 2017

Cette espèce de scorpions de taille modérée mesure environ 40,7 mm de longueur totale à l'état adulte. *Buthacus elmenia* arbore une coloration uniforme jaune à jaune pâle sans taches. Les doigts fixe et mobile des pédipalpes portent 7 à 8 rangées de granules sombres. Le dimorphisme sexuel se manifeste au niveau des dents des peignes : 16-16 dents chez les femelles contre 20-19 chez les mâles. Aucune carène spinoïde n'est observable sur la queue (Lourenço et al. 2017).



**Figure19.** *Buthacus elmenia* Lourenço & Sadine, 2017

### 6.8. *Buthiscus bicalcaratus* Birula, 1905

*Buthiscus bicalcaratus* est un scorpion de taille moyenne atteignant 50 à 60 mm de longueur totale. Sa coloration générale varie du jaune au jaune pâle, avec des pinces légèrement plus foncées (Fig. 1). Les doigts mobiles des chélicères comportent dix rangées de granules contre neuf sur les doigts fixes. Les peignes présentent 17-17 dents chez les femelles et 19-20 chez les mâles selon Vachon (1952 ; 1955), Lourenço (2002) et Aboshaala et al. (2020 ; 2022a).

*Buthiscus bicalcaratus* Birula, 1905, est un scorpion endémique d'Afrique du Nord, décrit à partir de spécimens du sud tunisien. Cette espèce possède deux synonymes : *Buthacus ducrosi* (Pallary, 1937) et *Trichobuthus guebleri* (Vachon, 1941).



**Figure 20.** *Buthiscus bicalcaratus* Birula, 1905.

Son aire de répartition, initialement limitée au sud tunisien et au centre algérien, s'est progressivement étendue à la Tripolitaine et au sud libyen dans la région de Ghadamès (Vachon 1955 ; Lourenço 2002), puis au nord-est du Mali (Goyffon et al. 2012). Elle est actuellement connue du nord de la Libye, de Tunisie, d'Algérie et du nord-est du Mali.

En Algérie, l'espèce a été signalée à Béni Abbès, Hasi Fokra, El-Oued, Biskra et Ouargla (Vachon 1942, 1952 ; Sadine et al. 2011 ; Sadine 2012, 2018 ; Sadine et Bissati 2014). Vachon

(1942) a considérée comme pré-désertique, elle a été reclassée en 1952 comme espèce désertique et rare en Algérie. Ythier et Lourenço (2023) ont récemment délimité une zone de distribution incluant le nord de l'Adrar.

Souilem et al. (2025) ont significativement élargi la connaissance de la distribution de *B. bicalcaratus* en Algérie en documentant quatre nouvelles localités révélant une aire de répartition bien plus vaste que précédemment établie (fig.21).

À Béchar (Taghit), une population a été découverte à 150 km au sud de Béni Abbès, localité type de *T. guebleri* syn. *B. bicalcaratus*. Dans la région de Ghardaïa (centre algérien), l'espèce est confirmée et semble restreinte aux biotopes d'erg et aux paysages fortement ensablés.

La découverte à Tiaret est particulièrement notable, étendant l'aire de répartition d'environ 400 km vers le nord-ouest jusqu'à la zone steppique, une région aride non traditionnellement associée à cette espèce. Cette donnée suggère une tolérance écologique potentiellement plus large que supposé, malgré la préférence connue des scorpions psammophiles pour les habitats sableux (Vachon 1942 ; 1952 ; Sadine et al. 2011 ; Aboshaala et al. 2020 ; 2022).

Enfin, Tindouf marque une extension majeure d'environ 850 km vers le sud-ouest depuis Béni Abbès, atteignant la frontière marocaine et démontrant une expansion distributionnelle considérable vers le sud.



**Fig. 21.** Carte de répartition géographique actuelle de *Buthiscus bicalcaratus* en Algérie (Souilem et al 2025).

### 6.9. *Buthus saharicus* Sadine, Bissati & Lourenço, 2016

Il s'agit d'une espèce de scorpion de taille moyenne, avec une longueur totale pouvant atteindre 67 mm pour les individus femelles et 52 mm pour les mâles. Cette espèce se distingue par une coloration homogène allant du jaune au jaune pâle, sans aucune marque pigmentaire chez les spécimens adultes. Les doigts fixe et mobile des pinces (pédipalpes) sont ornés de 11 rangées de granules. Concernant les peignes, organes sensoriels situés à la face ventrale, ils comportent 27 à 29 dents chez les femelles contre 31 dents chez les mâles (Sadine et al. 2016).



**Figure 22.** *Buthus saharicus* Sadine, Bissati & Lourenço, 2016.

#### **6.10. *Lissothus chaambi* Lourenço & Sadine, 2014**

Scorpions de petite taille, mesurant 22,5 mm chez le mâle et 25,6 mm chez la femelle en longueur totale. Coloration variant du jaune au jaune pâle, marbrée de pigments rouge-orangé à sombres. Les doigts fixe et mobile des pédipalpes sont constitués d'une série linéaire de petits granules formant presque une rangée unique ; deux à trois petits granules spinoïdes sont présents sur le tiers distal des doigts ; les granules accessoires externes et internes sont absents sur les deux doigts. Le nombre de dents pectinales varie de 16 à 17 chez les mâles et de 14 à 16 chez les femelles (Lourenço & Sadine, 2014).



**Figure 23.** *Lissothus chaambi* Lourenço & Sadine, 2014.

### 6.11. *Orthochirus innesi* Simon, 1910

Il s'agit d'un scorpion de petite taille qui ne dépasse pas 3,5 cm, présentant une coloration foncée variant du fauve rougeâtre au noir (fig. 24). Les pédipalpes et les pattes locomotrices affichent une couleur uniforme et pâle. Les doigts fixe et mobile des pinces possèdent chacun 8 rangées de granules. Les pectines comportent 17 à 18 dents chez les mâles et 15 à 16 dents chez les femelles (Lourenço & Leguin, 2011).



**Figure 24.** *Orthochirus innesi* Simon, 1910.

L'espèce a été décrite initialement à partir du Djebel Mokattam, près du Caire en Égypte. Vachon (1952) a examiné des spécimens provenant de plusieurs pays dont l'Égypte, la Tunisie, la Libye et l'Algérie. Selon Fet & Lowe (2000), la répartition de cette espèce semble limitée à l'Afrique du Nord.

La première mention de *O. innesi* au Maroc a été documentée en 1995 à la bordure du Sahara (Kovařík, 1995). L'aire de répartition connue de l'espèce s'étend de l'Égypte au sud de la Tunisie, bien que des interrogations persistent concernant sa distribution précise en Algérie.

Peu de recherches ont été menées sur *O. innesi*. Les travaux récents de Lourenço et al. (2011) sur le genre *Orthochirus* ont confirmé la présence de l'espèce en Algérie, les populations algériennes correspondant à la description originale de Simon.

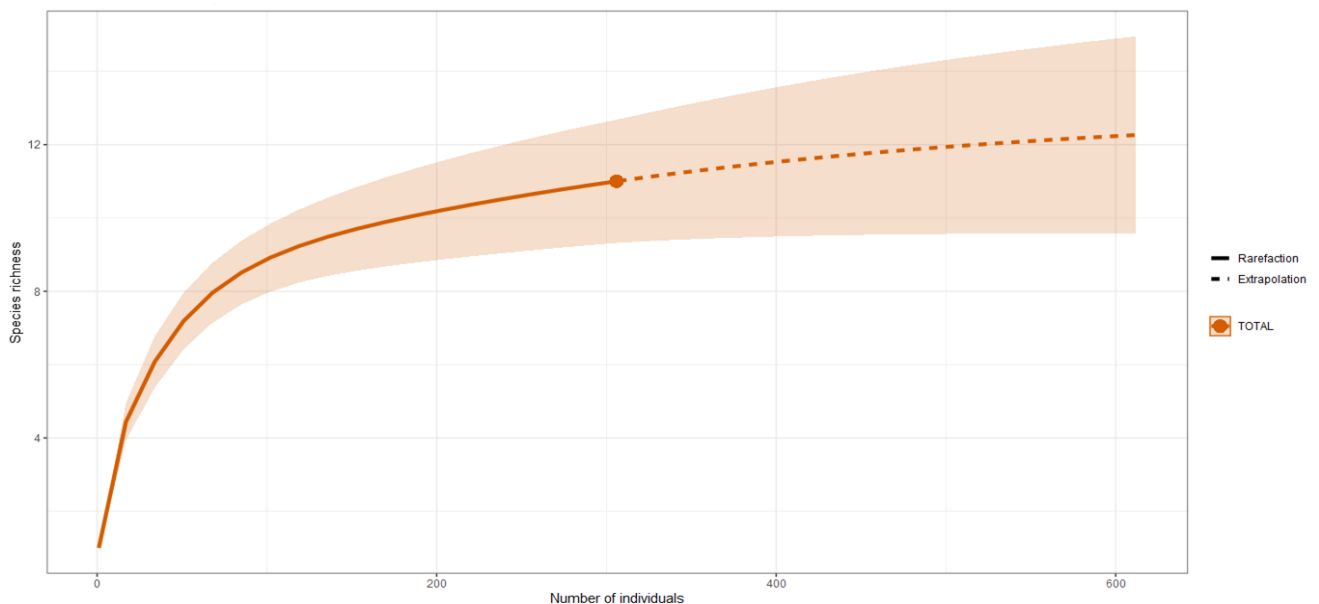
## 7. Indices écologiques

### 7.1. Qualité de l'échantillonnage et complétude de l'inventaire

Avant d'interpréter les indices écologiques, il est essentiel de vérifier la qualité de l'échantillonnage et la complétude de l'inventaire. Cela permet de s'assurer que les données reflètent réellement la composition de la communauté et que l'absence d'espèces rares n'est pas due à un biais d'échantillonnage.

#### 7.1.1. Courbes de raréfaction et d'extrapolation de la région d'étude

La courbe de raréfaction et d'extrapolation a été générée afin d'évaluer l'exhaustivité de l'échantillonnage et d'estimer la richesse spécifique asymptotique de la communauté de scorpions de la région d'étude. Les analyses ont été réalisées à partir des abondances observées, en utilisant le logiciel Estimate S pour produire simultanément les courbes de raréfaction (données observées) et d'extrapolation (données prédites), avec leurs intervalles de confiance à 95 %. Ces outils permettent de visualiser l'accumulation des espèces en fonction de l'effort d'échantillonnage et fournissent un indicateur quantitatif de la complétude de l'inventaire.

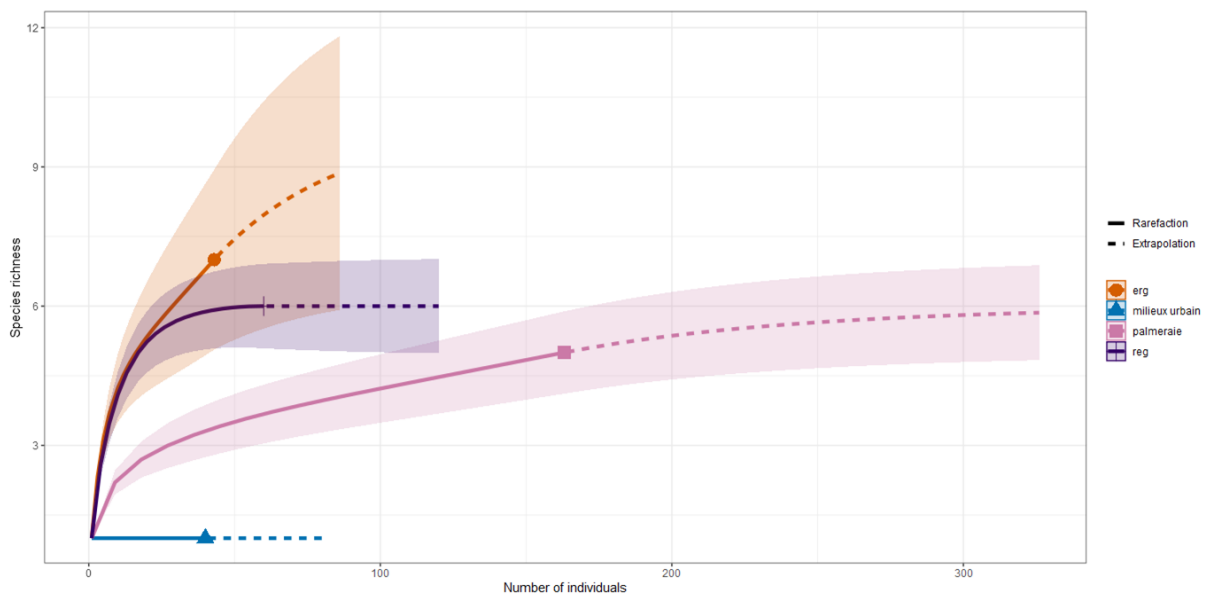


**Figure 25.** Courbe de raréfaction de la richesse des espèces de scorpions estimée dans la région d'étude

La courbe de raréfaction et d'extrapolation (fig.25) représente l'évolution de la richesse spécifique en fonction du nombre d'individus échantillonnés pour l'ensemble des captures. La courbe de la phase de raréfaction (trait continu) indique qu'un échantillonnage de 300 individus a permis de détecter 11 espèces, soit environ 92 % de la richesse spécifique totale estimée ( $\approx 12$  espèces). La pente initiale traduit la découverte rapide des espèces dominantes, suivie d'une inflexion progressive reflétant l'apparition des espèces moins abondantes, ce qui confirme la pertinence de l'effort d'échantillonnage.

L'extrapolation suggère qu'un doublement de l'effort ( $\sim 600$  individus) ne permettrait de révéler qu'une seule espèce supplémentaire, indiquant que la richesse spécifique totale estimée proche d'être complètement caractérisée. Le ratio espèces observées/espèces estimées ( $\approx 0,92$ ) témoigne d'une excellente complétude de l'inventaire. La fraction restante pourrait correspondre à des espèces très minoritaires ou à distribution localisée.

### 7.1.2. Courbes de raréfaction et d'extrapolation par biotope



**Figure 26.** Courbes de raréfaction et d'extrapolation de la richesse spécifique en fonction du nombre d'individus pour les différents biotopes étudiés (erg, reg, palmeraie et milieux urbains).

La figure 26 présente les courbes de raréfaction et d'extrapolation de la diversité spécifique (exprimée en nombre effectif d'espèces) en fonction du nombre d'individus

échantillonnés, pour quatre types de milieux : erg, reg, palmeraie et milieu urbain ;L'analyse des courbes révèle des différences marquées entre les milieux, tant en termes d'effort d'échantillonnage que de richesse spécifique estimée.

L'**erg** présente la richesse spécifique la plus élevée et la pente d'accumulation la plus forte, atteignant environ 7 espèces pour seulement 40 individus échantillonnés, avec une extrapolation suggérant une richesse asymptotique proche de 9 espèces ;

Le **reg** se distingue par une stabilisation rapide de sa courbe autour de 6 espèces dès environ 50 individus, et le maintien de ce plateau lors de l'extrapolation, ce qui indique une bonne représentativité de l'échantillonnage pour ce milieu.

La **palmeraie**, bien qu'ayant bénéficié de l'effort d'échantillonnage le plus important (plus de 150 individus), affiche une richesse spécifique inférieure et une courbe encore ascendante à la fin de la phase d'extrapolation (6 espèces), ce qui suggère qu'un échantillonnage supplémentaire serait nécessaire pour atteindre l'asymptote.

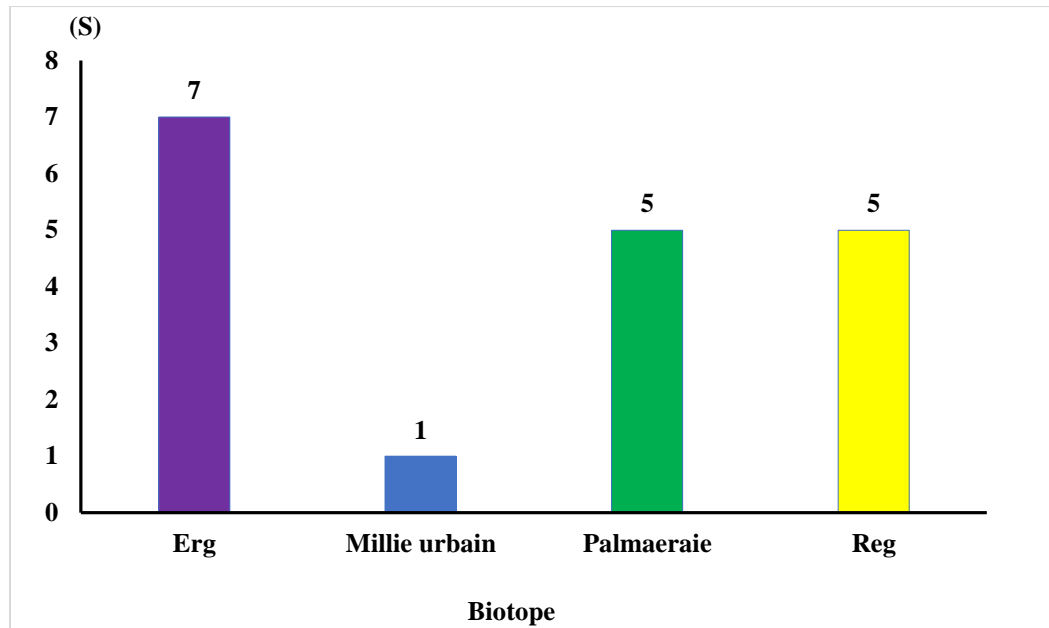
Le milieu urbain se distingue par une courbe de raréfaction qui sature quasi immédiatement dès les premières unités d'échantillonnage, avec une richesse spécifique limitée à une seule espèce recensée, quelle que soit l'intensité de l'effort d'échantillonnage.

## 7.2. Indices écologiques de composition spécifique

### 7.2.1 Richesse spécifique

#### 7.2.1.1. Richesse spécifique spatiale

L'analyse de la richesse spécifique dans les quatre biotopes de la région d'étude montre une répartition des espèces dissemblable (Fig.27). Sur les 11 espèces recensées, l'erg présente la richesse la plus élevée avec 7 espèces, suivi de la palmeraie et du reg avec 5 espèces chacune. Le milieu urbain est le plus pauvre, avec une seule espèce, *Androctonus australis*.



**Figure 27.** Richesse spécifique selon les biotopes

La matrice de présence/absence (Tableau 8) précise les différences. L'erg abrite des espèces exclusives telles que *Buthacus spinatus*, *B. elmeniaa* et *B. bicalcaratus*, adaptées aux conditions sableuses et sèches. La palmeraie accueille *A. aeneas* et *O. innesi*, absente des autres biotopes, tandis que *B. saharicus* et *L. chaambi* est uniquement présent dans le reg.

Bien que la palmeraie et le reg aient le même nombre d'espèces, leur composition diffère. Elles ne partagent que *A. amoreuxi* et *A. australis*, ce qui montre un renouvellement des espèces entre les milieux. *A. australis* est la seule espèce présente dans tous les biotopes, ce qui confirme sa grande capacité d'adaptation.

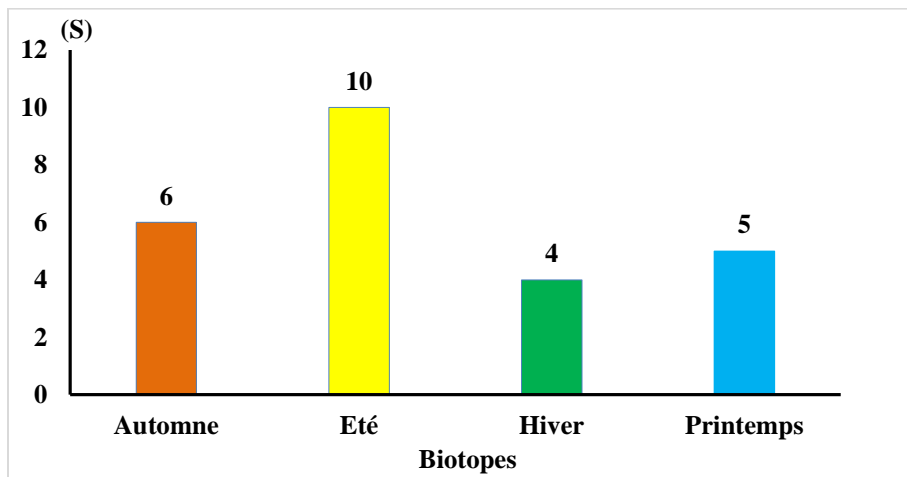
Ces résultats montrent que l'erg, grâce à la diversité de ses conditions de sol et de relief, favorise la coexistence de plusieurs espèces. À l'inverse, le milieu urbain, fortement modifié, limite la présence des espèces sensibles et ne permet la survie que d'espèces tolérantes.

**Tableau 8.** Richesse spécifique spatiale dans les différents biotopes

Biotope	Erg	Milieu urbain	Palmeraie	Reg
<i>A. aeneas</i>	-	-	+	-
<i>A. amoreuxi</i>	+	-	+	+
<i>A. australis</i>	+	+	+	+
<i>B. deserticus</i>	+	-	+	-
<i>B. samiae</i>	-	-	-	+
<i>B. spinatus</i>	+	-	-	-
<i>B. elmeniaa</i>	+	-	-	-
<i>B. bicalcaratus</i>	+	-	-	-
<i>B. saharicus</i>	-	-	-	+
<i>L. chaambi</i>	-	-	-	+
<i>O. innesi</i>	-	-	+	-
Richesse	6	1	5	5

### 7.2.1.2. Richesse spécifique saisonnière

L'analyse de la richesse spécifique au cours des différentes saisons montre une variation temporelle marquée (Fig.28). Le pic estival atteint 10 espèces, suivi d'une baisse en automne (6 espèces), au printemps (5 espèces) et en hiver (4 espèces). Ces résultats impactent l'influence des conditions climatiques sahariennes sur l'activité et la détectabilité des espèces.

**Figure 28.** Richesse spécifique saisonnière

La matrice de présence/absence (Tableau 9) permet de préciser la répartition saisonnière des espèces. L'été est la période de richesse maximale, avec 10 espèces actives, reflétant des

conditions de température et de disponibilité trophique favorables. L'automne et le printemps sont représentés par une richesse moyenne de 5-6 espèces. Tandis que l'hiver est la saison la plus pauvre, avec seulement 4 espèces détectables.

Certaines espèces sont présentes d'une manière permanente, comme *A. amoreuxi*, *B. samiae* et *B. spinatus*, indiquant une grande tolérance écologique. À l'inverse, des espèces strictement saisonnières ou sténocécs, telles que *A. aeneas*, *B. saharicus* ou *O. innesi*, apparaissent uniquement en été, suggérant des exigences thermiques étroites ou une dépendance à des ressources saisonnières. La présence hivernale exclusive de *L. chaambi* souligne une adaptation particulière aux conditions froides ou un mécanisme d'évitement de la compétition estivale.

**Tableau 9.** Richesse spécifique saisonnière

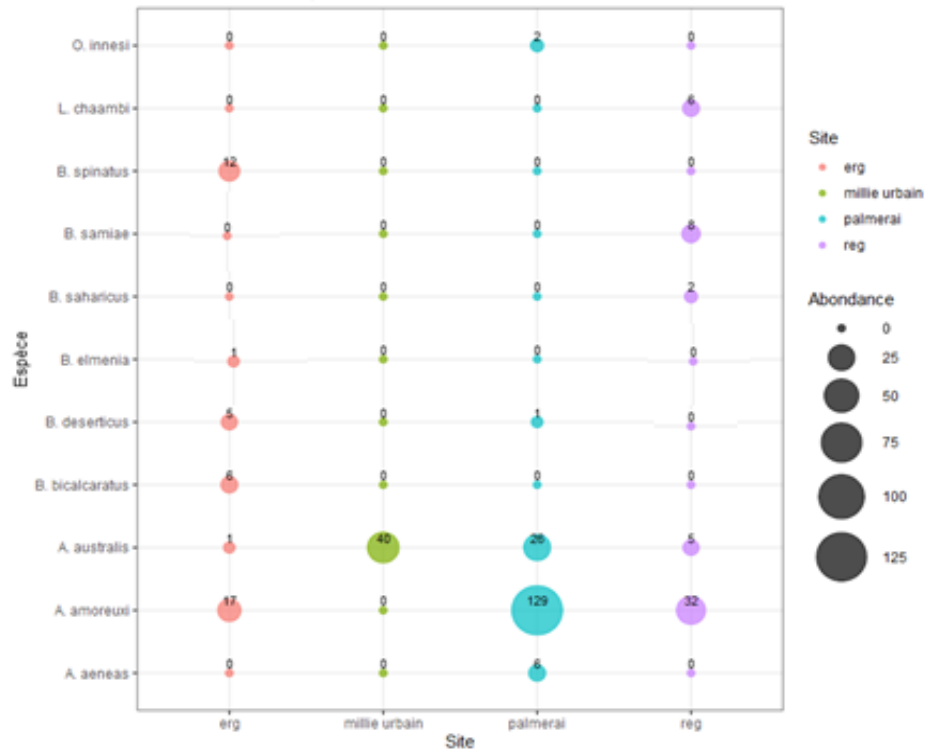
Saisons	Été	Automne	Hiver	Printemps
<i>A. aeneas</i>	+	-	-	-
<i>A. amoreuxi</i>	+	+	+	+
<i>A. australis</i>	+	+	-	+
<i>B. deserticus</i>	+	+	-	-
<i>B. samiae</i>	+	+	+	+
<i>B. spinatus</i>	+	+	+	+
<i>B. elmeniaa</i>	+	-	-	+
<i>B. bicalcaratus</i>	+	+	-	-
<i>B. saharicus</i>	+	-	-	-
<i>L. chaambi</i>	-	-	+	-
<i>O. innesi</i>	+	-	-	-
Richesse	<b>10</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>5</b>

Cette structuration saisonnière illustre comment la partition temporelle des niches, en complément de la répartition spatiale, favorise la coexistence des espèces et le maintien de la diversité dans un environnement désertique extrême.

## 7.2.2. Abondance et phénologie des espèces de scorpions

### 7.2.2.1. Abondance et phénologie selon les biotopes

La figure 29 présente l'abondance et la phénologie des scorpions selon les quatre types de biotopes dans la région d'étude.



**Figure 29.** Abondance des espèces de scorpions selon les biotopes.

La figure 29 illustre que l'abondance et la phénologie des scorpions varie significativement selon les biotopes, traduisant une forte structuration spatiale de la communauté. La palmeraie est largement dominée par *A. amoreuxi* avec 129 individus, représentant à elle seule la quasi-totalité des captures, suivie d'*A. australis* avec 26 individus et d'*A. aeneas* avec 6 individus. *B. deserticus* n'y est représentée que par un seul individu, tandis que toutes les autres espèces sont totalement absentes. Cette forte dominance d'*A. amoreuxi* confère à la palmeraie une structure communautaire nettement déséquilibrée sur le plan de l'équitabilité interspécifique, traduisant une exploitation préférentielle de ce biotope par cette espèce au détriment des autres taxons.

Le reg se distingue par une distribution des abondances plus homogène comparativement aux autres biotopes. Bien qu'*A. amoreuxi* demeure l'espèce dominante avec 32 individus, les effectifs sont répartis de manière relativement équitable entre plusieurs espèces, notamment *B. samiae* avec 8 individus, *L. chaambi* avec 6 individus et *A. australis* avec 5 individus. Cette

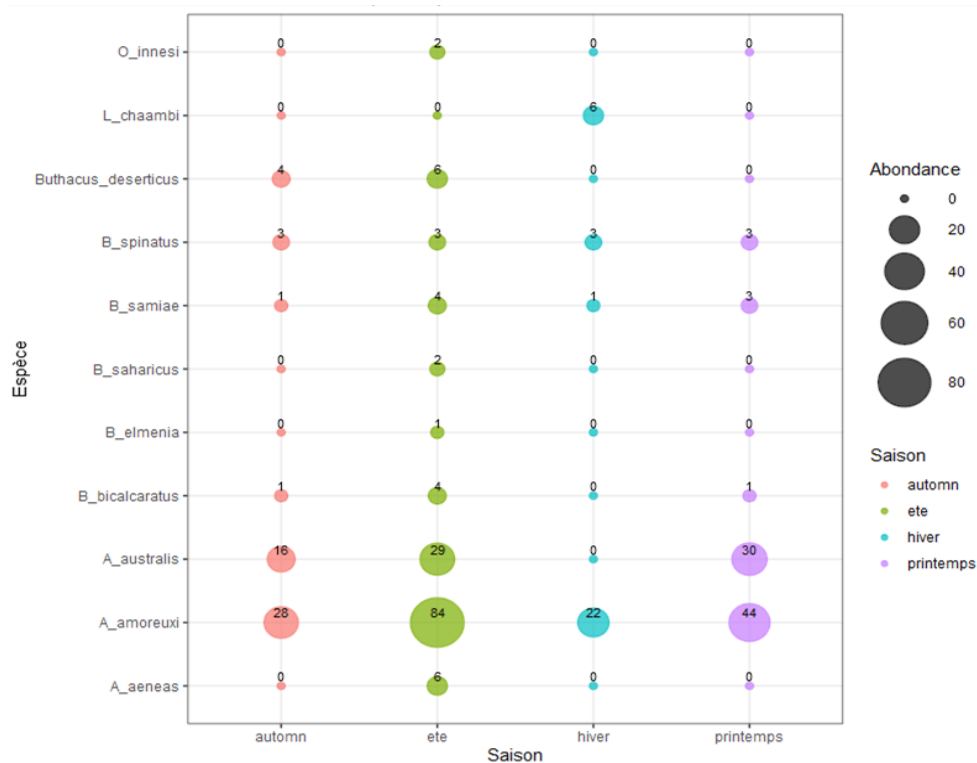
répartition témoignant d'une meilleure équitabilité interspécifique et d'une utilisation plus diversifiée de ce biotope par l'ensemble de la scorpiofaune de la zone d'étude.

L'erg se caractérise par des effectifs globalement faibles, reflétant la faible abondance inhérente à ce biotope. *A. amoreuxi* y est l'espèce la plus abondante avec 17 individus, suivie de *B. spinatus* avec 12 individus, *B. deserticus* avec 9 individus et *B. bicalcaratus* avec 6 individus.

Enfin, le milieu urbain apparaît comme le biotope le plus défavorable, avec une forte simplification de la communauté, dominée exclusivement par *A. australis* (40 individus).

### 7.2.2.2. Abondance et phénologie selon les saisons

La figure 30 présente l'abondance et la phénologie saisonnière des scorpions dans la région d'étude.



**Figure 30.** Abondance des espèces de scorpions selon les saisons.

La figure illustre que l'abondance des scorpions varie fortement au cours de l'année,

reflétant l'influence directe du climat saharien sur leur activité. Période estivale constitue la période de maximum d'abondance, Elle est dominée par *A. amoreuxi* avec 84 individus et *A. australis* (29 individus), Les espèces secondaires sont également présentes, notamment *A. aeneas* avec 6 individus, *B. samiae* et *B. bicalcaratus* avec 4 individus chacune, *B. spinatus* avec 3 individus et *O. innesi* avec 2 individus.

La période automnale correspond à une phase de transition, marquée par une diminution modérée des effectifs par rapport au pic estival, tout en conservant des densités notables pour *A. amoreuxi* (28 individus) et *A. australis* (16 individus), Les espèces secondaires sont faiblement représentées, avec *Buthacus deserticus* comptant 4 individus, *B. spinatus* 3 individus et *B. samiae* et *B. bicalcaratus* 1 individu chacune, tandis que toutes les autres espèces sont totalement absentes. Cette période reste favorable à l'activité nocturne, mais amorce un ralentissement progressif lié à la baisse des températures.

La période printanière montre une reprise nette de l'activité, avec des abondances importantes pour *A. amoreuxi* (44 individus) et *A. australis* (30 individus), Les espèces secondaires restent faiblement représentées, avec *B. spinatus* et *B. samiae* comptant 3 individus chacune et *B. bicalcaratus* 1 individu, tandis que toutes les autres espèces demeurent absentes traduisant une phase de réactivation biologique après l'hiver.

La période hivernale représente la période la moins favorable, caractérisée par une forte réduction de l'activité et des effectifs, avec seulement *A. amoreuxi* (22 individus) et *A. australis* (6 individus) observés en proportions notables. Tandis que *L. chaambi* est représentée par 5 individus, *B. spinatus* par 3 individus et *O. innesi* par 1 individu uniquement. Toutes les autres espèces affichent une abondance strictement nulle durant cette période. Cette baisse est probablement liée à la diminution de l'activité métabolique et à la recherche de refuges profonds.

Ces résultats montrent que *A. amoreuxi* et *A. australis* conservent une présence tout au long de l'année, tandis que les autres espèces présentent une activité strictement saisonnière, fortement conditionnée par les variations thermiques.

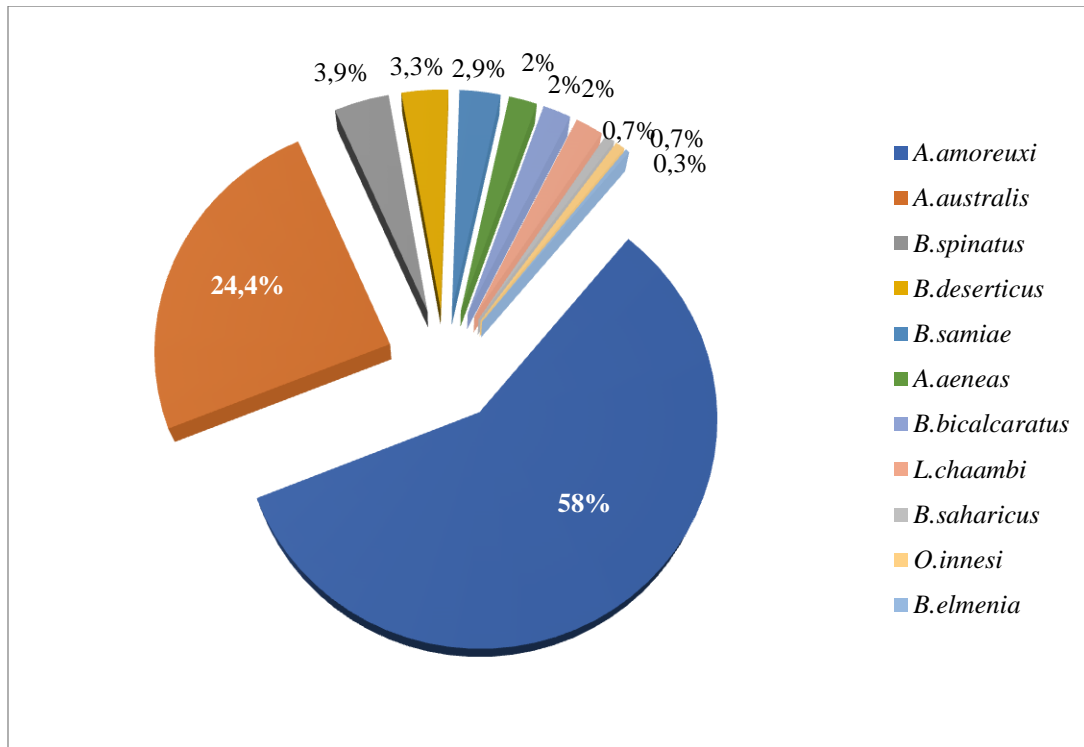
### 7.2.3. Abondance relative

L'abondance relative représente la proportion d'individus d'une espèce par rapport au nombre total d'individus de la communauté. Cet indice permet d'évaluer l'importance numérique de chaque espèce et de caractériser la structure de l'assemblage biologique, en mettant en évidence les espèces dominantes et les espèces rares.

#### 7.2.3.1. Abondance relative totale de la région

L'abondance relative totale des scorpions montre une structure fortement hiérarchisée, dominée par un petit nombre d'espèces. La communauté est largement contrôlée par *Androctonus amoreuxi* (58 %) et *A. australis* (24,4 %), qui totalisent à elles seules plus de 80 % des individus recensés. Les autres espèces présentent des abondances relatives nettement plus faibles, inférieures à 5 %, telles que *Buthacus spinatus* (3,9 %), *Buthacus deserticus* (3,3 %) et *B. samiae* (2,9 %). Les espèces les plus rares, comme *B. saharicus* (0,7 %), *Orthochirus innesi* (0,7 %) et *B. elmenia* (0,3 %), ne représentent qu'une fraction marginale de la communauté (fig. 31).

Cette répartition inégale traduit un fort déséquilibre entre espèces dominantes et espèces rares, suggérant l'existence de tolérances écologiques différentielles aux conditions environnementales contraignantes du milieu saharien. Les espèces dominantes, notamment *A. amoreuxi* et *A. australis*, peuvent être considérées comme des généralistes écologiques capables d'exploiter une large gamme de conditions, tandis que les espèces faiblement représentées semblent plus sensibles aux perturbations et aux variations du milieu.



**Figure 31.** Abondance relative des espèces scorpionique de la région d'étude.

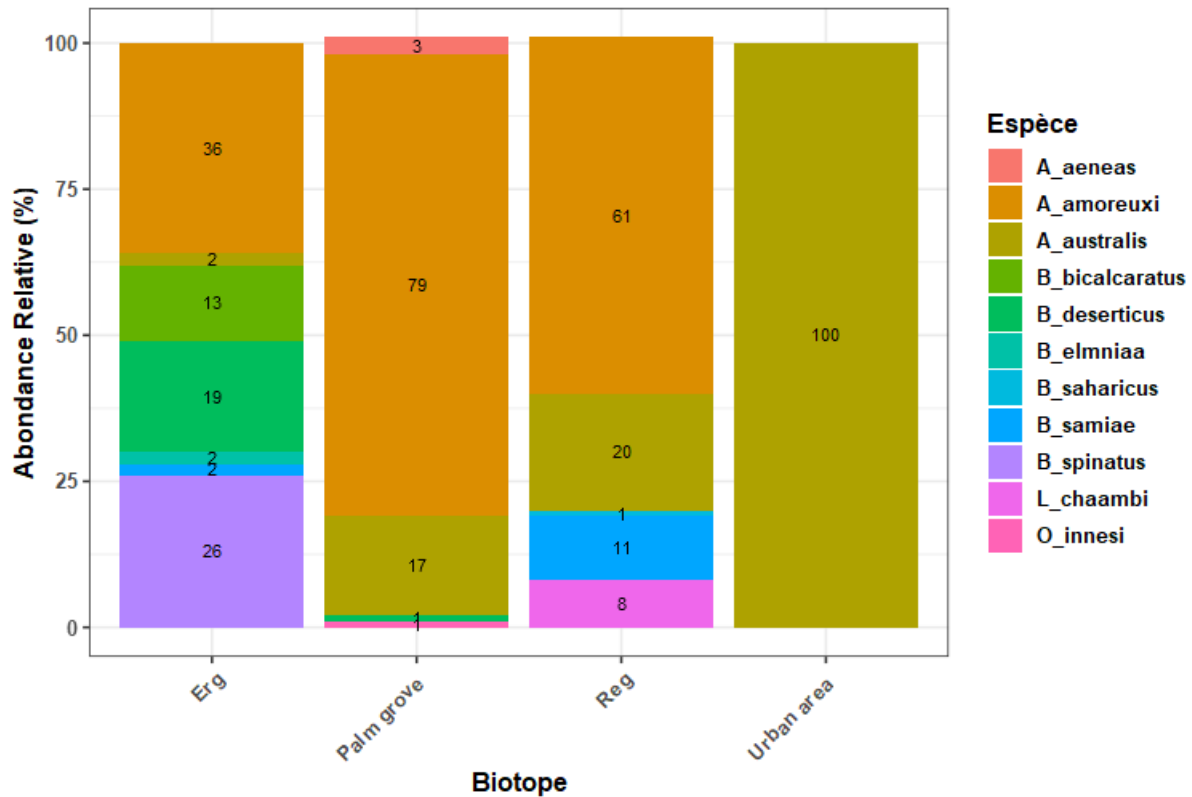
### 7.2.3.2. Abondance relative selon les biotopes

La figure 32 illustre que Les variations d'abondance relatives entre biotopes révèlent des préférences d'habitat nettement différenciées. Le milieu urbain est caractérisé par une dominance exclusive de *A. australis* (100 %), illustrant une simplification extrême de la communauté sous l'effet des perturbations anthropiques.

La palmeraie est dominée par *A. amoreuxi* (79 %), suivie par *A. australis* (17 %), tandis que les autres espèces ne représentent qu'une partie marginale. Cette dominance reflète un milieu particulièrement favorable à ces espèces. Le reg montre une structure plus équilibrée, dominée par *A. amoreuxi* (60.52 %) et *A. australis* (19.73 %), avec une contribution non négligeable de *B. samiae* (10.52 %) et *L. chaambi* (7.89 %), traduisant une plus grande hétérogénéité écologique.

L'erg présente également une répartition relativement diversifiée, avec une dominance modérée de *A. amoreuxi* (36.17 %) et *B. spinatus* (25.53 %), suivie par *B. deserticus* et *B. bicalcaratus* avec (19.14 %) et (12.76%) respectivement. *A. australis* et *B. elmenia* présentent

seulement (2 %) chacune. Ces résultats indiquent une coexistence favorisée par la diversité des micro-conditions du substrat sableux.



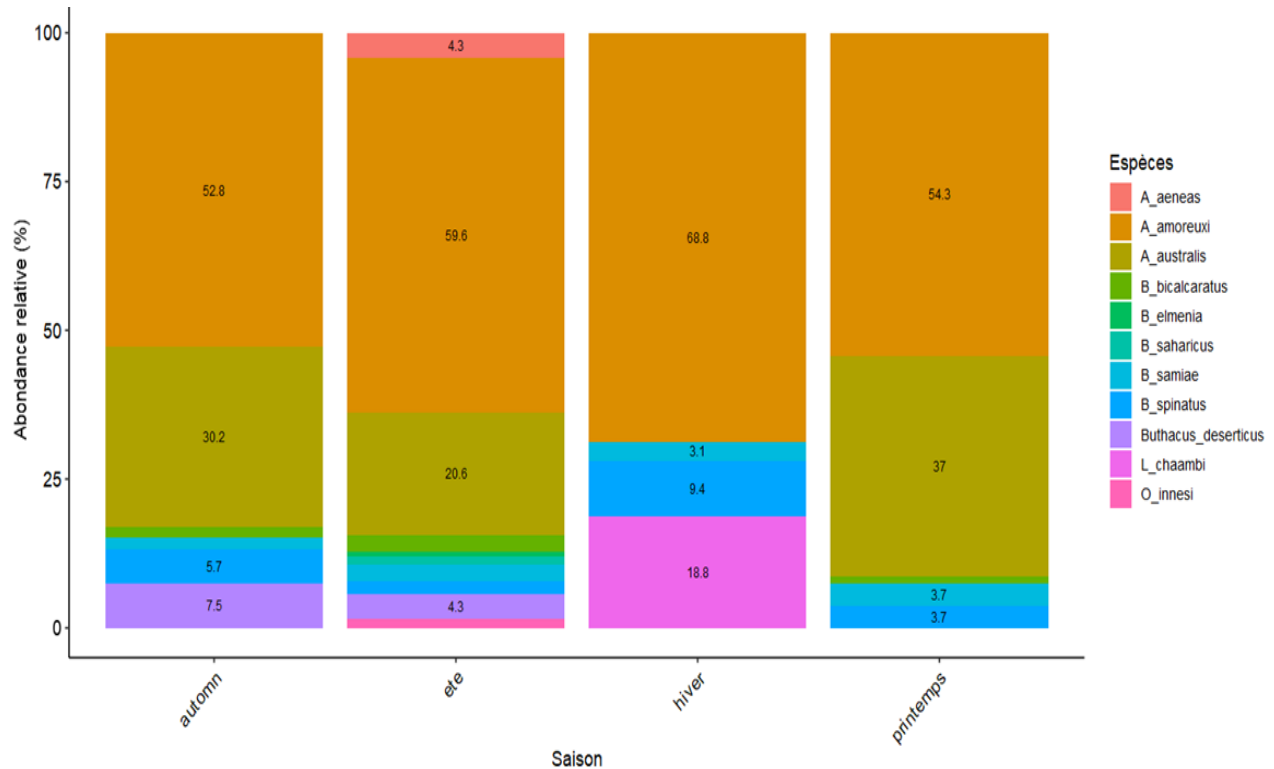
**Figure 32.** Abondance relative des espèces scorpionique selon le type de biotope de la région d'étude

### 7.2.3.3. Abondance relative saisonnière

La distribution saisonnière met en évidence un pic d'abondance relative en été, dominé par *A. amoreuxi* (59,6 %) et *A. australis* (20,6 %). L'automne est marqué par une dominance partagée entre *A. amoreuxi* (52,8 %) et *A. australis* (30,2 %). En hiver, *A. amoreuxi* reste majoritaire (68,8 %), mais on observe une augmentation relative de *L. chaambi* (18,8 %) et de *B. samiae* (9,4 %), suggérant une meilleure tolérance de ces espèces aux conditions froides.

Au printemps, *A. amoreuxi* (54,3 %) et *A. australis* (37 %) dominent de nouveau, tandis que les autres espèces restent faiblement représentées. Ces variations saisonnières influencent l'influence des conditions thermiques sur l'activité et la disponibilité des scorpions, confirmant le

rôle du climat comme facteur structurant majeur des peuplements.



**Figure 33.** Abondance relative saisonnière des espèces scorpionique de la région d'étude

#### 7.2.4. Fréquence d'occurrence (Fo%)

La fréquence d'occurrence correspond au pourcentage de relevés dans lesquels une espèce est observée. Elle permet d'évaluer son degré de distribution au sein de la région étudiée et d'identifier les espèces constantes, fréquentes, occasionnelles ou rares dans les différents milieux et saisons.

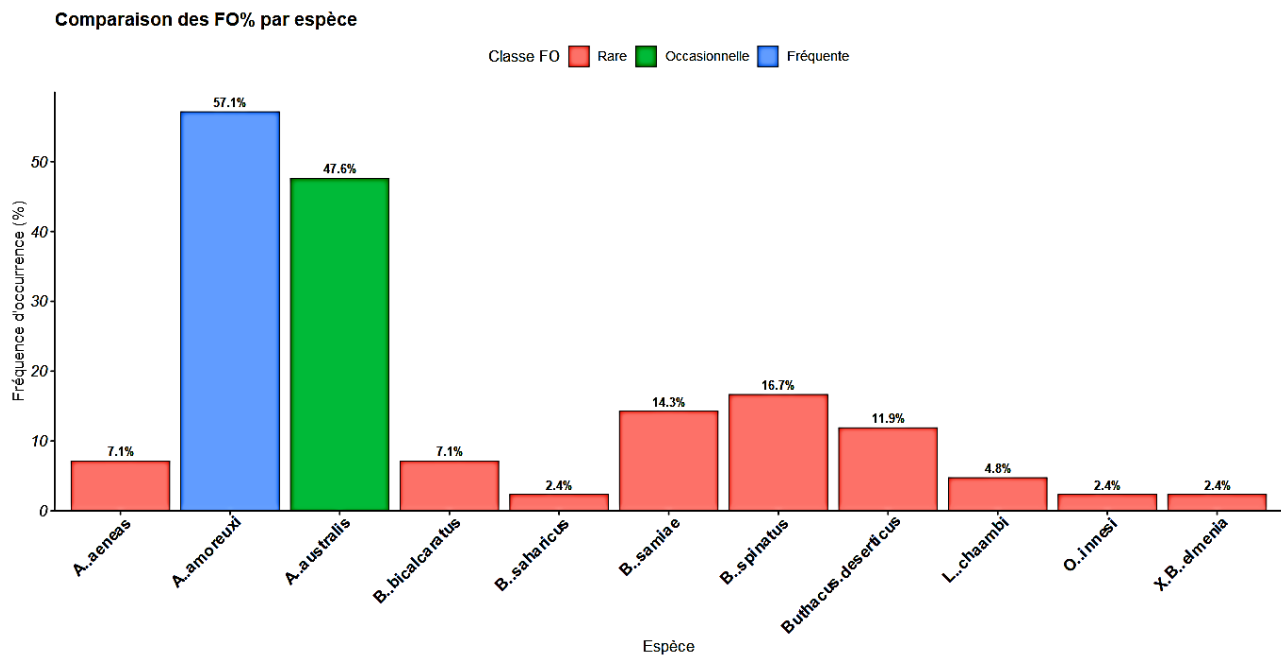
##### 7.2.4.1. Fréquence d'occurrence de la région

L'analyse de la fréquence d'occurrence régionale (Fig. 34) met en évidence une structure nettement hiérarchisée dominée par un nombre restreint d'espèces *Androctonus amoreuxi* présente la valeur la plus élevée avec 57,1 %, ce qui traduit une distribution large et régulière dans l'ensemble des relevés Cette forte occurrence confirme son statut d'espèce dominante et écologiquement bien adaptée aux conditions sahariennes. *A. australis* affiche également une

fréquence élevée avec 47,6 % est classée occasionnelle, indiquant une présence fréquente dans la majorité des stations prospectées. Cette valeur confirme sa grande plasticité écologique et sa capacité à coloniser aussi bien les milieux naturels que les environnements anthropisés.

Les autres espèces présentent des fréquences nettement plus faibles généralement inférieures à 20 % *Buthacus spinatus* 16,7 %, *B. samiae* 14,3 % et *B. deserticus* 11,9 % peuvent être considérées rares.

Cette organisation révèle un assemblage structuré autour de deux espèces centrales à large distribution et d'un cortège d'espèces secondaires ou rares dont la présence dépend de conditions écologiques particulières.



**Figure 34.** Fréquence d'occurrence des scorpions dans la région d'étude

#### 7.2.4.2. Fréquence d'occurrence selon les biotopes

L'analyse de la fréquence d'occurrence selon les biotopes met en évidence des différences nettes entre les habitats, confirmant une structuration spatiale importante, comme le montre la Figure 35. La palmeraie se distingue par une forte constance d'*Androctonus amoreuxi*, avec une fréquence atteignant 100%, ce qui en fait l'espèce constante de ce milieu. *A. australis* présente

une fréquence d'occurrence de 58.33%, la classant dans la catégorie des espèces fréquentes. Les espèces restantes se répartissent dans les catégories inférieures d'occurrence : *A. aeneas* atteint 25%, la positionnant à la limite du seuil de rareté, tandis que *O. innesi* et *B. deserticus* enregistrent des fréquences de 8.33% chacune, les classant parmi les espèces rares strictes, dont la présence dans ce biotope demeure ponctuelle et sans caractère de régularité.

Dans le reg, *A. amoreuxi* présente une fréquence d'occurrence de 75%, la classant dans la catégorie des espèces fréquentes et confirmant son importance écologique dans ce biotope, avec une valeur proche du seuil de constance. *B. samiae* affiche une fréquence de 41.66%, la positionnant dans la catégorie des espèces occasionnelles ; cette valeur représente par ailleurs la fréquence maximale enregistrée pour cette espèce parmi l'ensemble des biotopes prospectés, témoignant d'une affinité préférentielle pour les substrats pierreux caractéristiques du reg. *A. australis* et *L. chaambi* affichent quant à elles des fréquences de 16.66% chacune, les classant parmi les espèces rares, dont la présence dans ce biotope demeure irrégulière et secondaire. *B. saharicus* enregistre la valeur la plus faible avec 8.33%, la confinant au statut d'espèce rare stricte, dont la présence dans ce biotope demeure ponctuelle et sans caractère de régularité.

L'erg présente une structure différente avec une fréquence importante de *B. spinatus* 58.33 %, la classant dans la catégorie des espèces fréquentes et confirmant son affinité préférentielle pour les substrats sableux meubles, cohérente avec les adaptations locomotrices et fouisseuses caractéristiques des arthropodes psammophiles. *B. deserticus* se positionne en second rang avec une fréquence de 33%, la plaçant dans la catégorie des espèces occasionnelles. *A. amoreuxi* et *B. bicalcaratus* affichent quant à elles des fréquences de 25% chacune, les positionnant à la limite du seuil de rareté. Enfin, *A. australis*, *B. elmenia* et *B. samiae* enregistrent les valeurs les plus faibles avec 8.33% chacune, les confinant au statut d'espèces rares strictes

Le milieu urbain apparaît comme le plus simplifié avec une occurrence dominante d'*A. australis* atteignant 66.66 %. Les autres espèces y sont absentes ou extrêmement rares. Cette situation illustre l'effet des perturbations anthropiques sur la diversité et la distribution des scorpions.

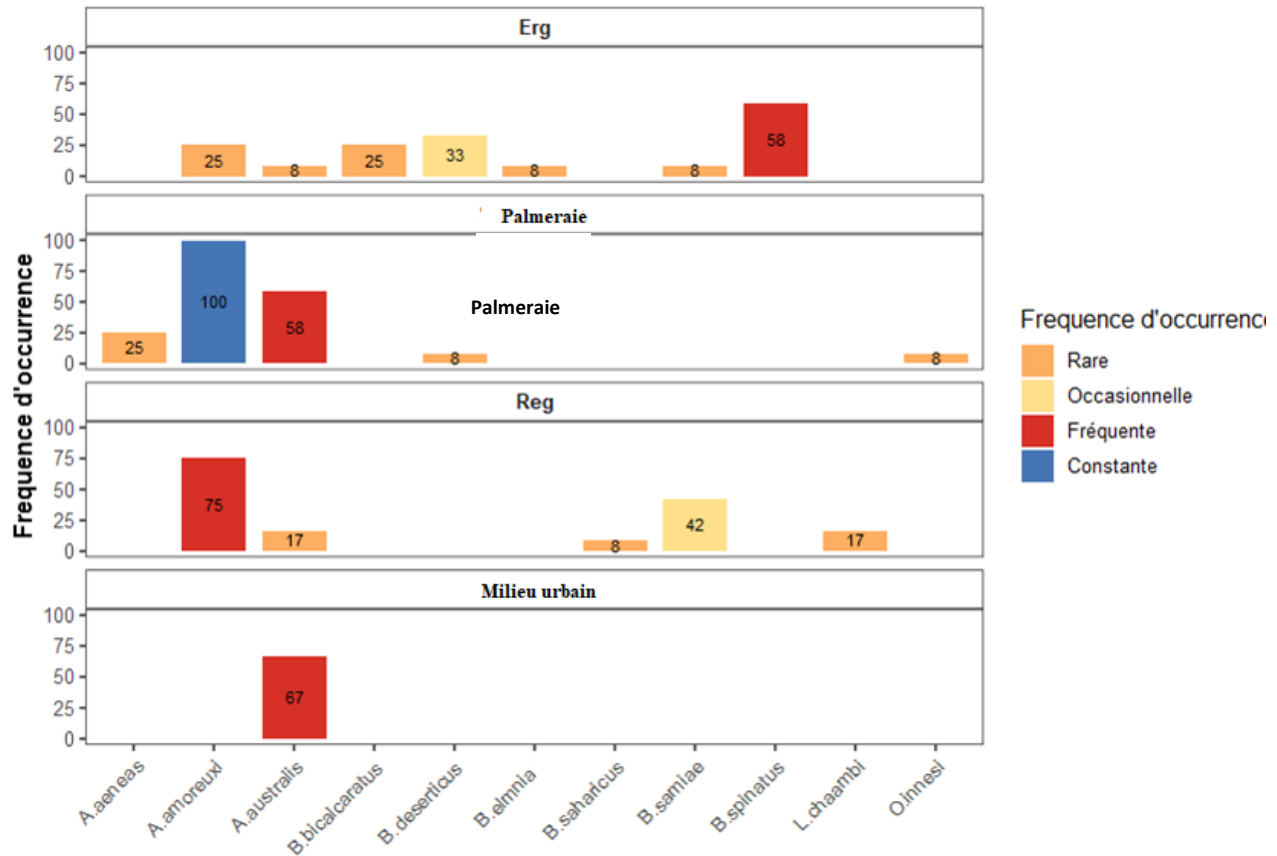


Figure 35. Fréquence d'occurrence des scorpions selon les biotopes.

### 7.2.4.3. Fréquence d'occurrence selon les saisons

L'analyse saisonnière de la fréquence d'occurrence révèle une dynamique temporelle marquée influencée par les conditions climatiques sahariennes illustrée dans la Figure 36. En été, le peuplement enregistre la richesse spécifique la plus élevée de l'ensemble des saisons avec 9 taxons détectés. *A. amoreuxi* atteint sa fréquence saisonnière maximale avec 66.66%, la classant dans la catégorie des espèces fréquentes et confirmant sa position dominante durant cette saison. *A. australis* affiche une fréquence de 41.66%, la maintenant dans la catégorie des espèces occasionnelles. *A. aeneas*, *B. deserticus*, *B. saharicus*, *B. samiae* et *B. spinatus* enregistrent des fréquences comprises entre 8% et 17%, les classant parmi les espèces rares. *B. elmenia*, *B. bicalcaratus* et *O. innesi* affichent les valeurs les plus faibles avec 8% chacune, les confinant au statut d'espèces rares strictes, dont la présence durant cette saison demeure ponctuelle et sans caractère de régularité. Il convient de souligner que plusieurs taxons, notamment *A. aeneas*, *B.*

*saharicus* et *O. innesi*, sont détectés exclusivement en été.

En automne, le peuplement enregistre 5 taxons détectés sans qu'aucune espèce n'atteigne le statut de fréquente. *A. australis* présente la fréquence d'occurrence la plus élevée de la saison avec 50%, la classant dans la catégorie des espèces occasionnelles. *A. amoreuxi* affiche une fréquence de 41.66%, la classant également parmi les espèces occasionnelles. *B. deserticus* atteint 25%, la positionnant à la limite du seuil de rareté. *B. samiae* et *B. spinatus* enregistrent les valeurs les plus faibles avec 8.33% chacune, les confinant au statut d'espèces rares strictes, dont la présence en automne demeure ponctuelle et sans caractère de régularité.

Au printemps, le peuplement enregistre également 5 taxons détectés. *A. australis* atteint 58.33%, la classant dans la catégorie des espèces fréquentes et représentant la valeur maximale de la saison. *A. amoreuxi* affiche une fréquence de 41.66%, la maintenant dans la catégorie des espèces occasionnelles. *B. spinatus* atteint 25%, la positionnant à la limite du seuil de rareté. *B. samiae* enregistre une fréquence de 16.66%, la classant parmi les espèces rares. *B. bicalcaratus* affiche la valeur la plus faible avec 8.33%, la confinant au statut d'espèce rare stricte, dont la présence dans cette saison demeure ponctuelle et sans caractère de régularité.

En hiver, le peuplement enregistre la richesse spécifique la plus faible de l'ensemble des saisons avec seulement 4 taxons détectés et des fréquences globalement réduites. *A. amoreuxi* affiche la fréquence la plus élevée de la saison avec 50%, la classant dans la catégorie des espèces occasionnelles et témoignant du maintien d'une présence notable malgré les conditions hivernales. *L. chaambi* enregistre une fréquence de 16.66%, la classant parmi les espèces rares ; cette espèce se distingue par une présence exclusivement hivernale parmi l'ensemble des saisons prospectées, confirmant sa spécialisation pour les conditions thermiques froides de cette période. *B. samiae* et *B. spinatus* affichent les valeurs les plus faibles avec 8.33% chacune, les confinant au statut d'espèces rares strictes, dont la présence en hiver demeure ponctuelle et sans caractère de régularité. Cet appauvrissement hivernal du peuplement traduit une réduction générale de l'activité biologique des taxons composant la communauté, conduisant à une diminution significative de leur détectabilité lors des relevés saisonniers.

Ces variations saisonnières mettent en évidence des stratégies phénologiques différenciées allant d'espèces à activité quasi continue comme *A. amoreuxi* et *A. australis* à des espèces

strictement saisonnières dont la présence est fortement conditionnée par les températures.

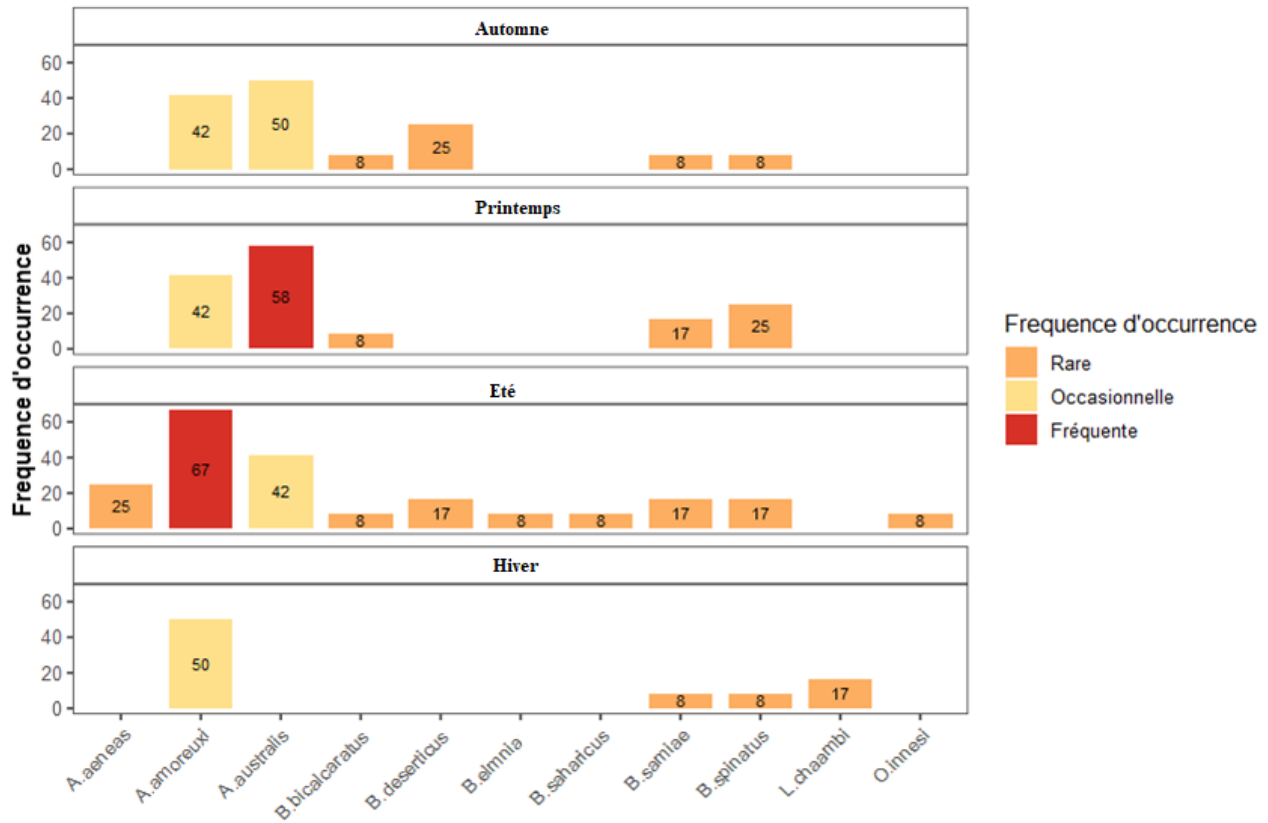


Figure 36. Fréquence d'occurrence des scorpions selon les saisons.

### 7.3. Indices de structure

Les indices de structure de communauté scorpionique sont des outils quantitatifs qui permettent de décrire l'organisation interne d'un assemblage biologique en évaluant simultanément la richesse spécifique, la distribution des abondances et le degré de dominance entre les espèces. Ils traduisent la complexité écologique d'un peuplement en mettant en évidence les relations d'équilibre, de spécialisation et de hiérarchisation qui s'établissent entre ses composantes. Ces indices constituent ainsi des indicateurs synthétiques du fonctionnement et de la stabilité des écosystèmes.

#### 7.3.1. Diagramme de Venn de distribution

Le diagramme de Venn de distribution est une représentation graphique utilisée pour

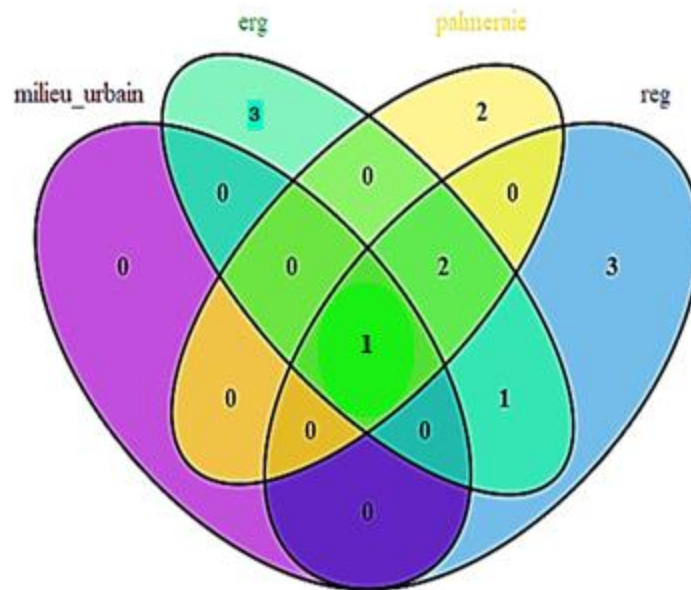
visualiser les relations de partage et d'exclusivité entre plusieurs ensembles biologiques, spatiaux ou temporels. Il permet d'illustrer de manière synthétique les espèces communes à plusieurs groupes ainsi que celles spécifiques à un seul, facilitant ainsi l'interprétation des recouvrements, des complémentarités et de la structuration des communautés selon différents facteurs écologiques.

### 7.3.1.1. Distribution des espèces selon les biotopes

Le diagramme de Venn établi selon les biotopes met en évidence une structuration spatiale marquée de la communauté scorpionique, traduisant une forte différenciation faunistique entre les habitats prospectés (fig.37). Chacune du reg et de l'erg se caractérise par la présence de trois espèces qui leur sont uniques : *B. elmenia*, *B. spinatus* et *B. bicalcaratus* sont étroitement associées à l'erg, reflétant une spécialisation écologique liée aux substrats sableux dunaires, tandis que *B. samiae*, *L. chaambi* et *B. saharicus* sont propres au reg, témoignant d'une affinité marquée pour les substrats pierreux caractéristiques de ce milieu. La palmeraie ne renferme quant à elle que deux espèces exclusives, *O. innesi* et *A. aeneas*, tandis que le milieu urbain ne présente aucune espèce qui lui soit spécifique, ce qui reflète un appauvrissement biologique et une homogénéisation du peuplement imputable aux perturbations anthropiques.

Le cœur du diagramme révèle que deux espèces sont communes aux quatre biotopes, à savoir *A. amoreuxi* et *A. australis*, attestant de l'existence d'un noyau d'espèces à large valence écologique, capables de tolérer des conditions environnementales contrastées. En revanche, les recouvrements entre paires de biotopes demeurent très limités, plusieurs intersections affichant des valeurs nulles, soulignant ainsi la faible similarité spécifique entre les habitats.

Les recouvrements partiels concernent principalement les milieux naturels. Deux espèces sont partagées entre l'erg, la palmeraie et le reg, soit *A. amoreuxi* et *A. australis*, tandis qu'une seule espèce est commune à l'erg et au reg. Le milieu urbain, quant à lui, ne partage aucune espèce avec les autres biotopes en dehors du noyau ubiquiste central, confirmant ainsi son caractère écologiquement marginal au sein de la communauté étudiée.

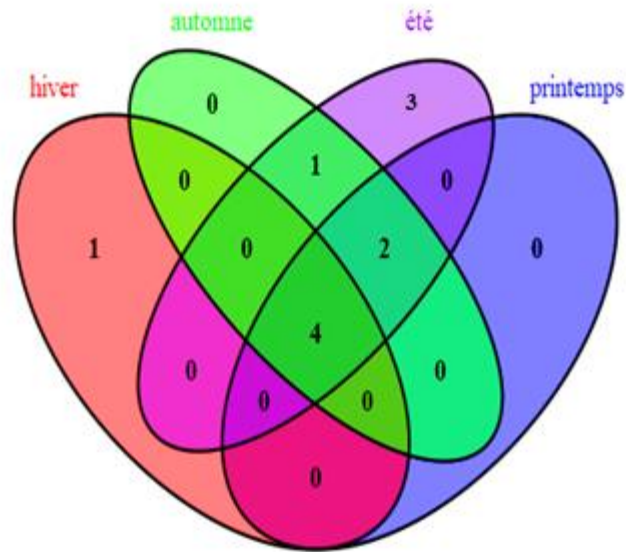


**Figure 37.** Diagramme de Venn présentant la répartition des espèces de scorpions dans différents biotopes de la région d'étude

### 7.3.1.2. Distribution des espèces selon les saisons

Le diagramme de Venn saisonnier met en évidence une structuration temporellement marquée de la communauté scorpionique, traduisant une forte variabilité phénologique entre les espèces (fig.38). L'été présente la richesse spécifique la plus élevée avec quatre espèces exclusives, indiquant que cette saison correspond à la période d'activité maximale et aux conditions écologiques les plus favorables. L'hiver, en revanche, ne compte qu'une seule espèce exclusive, ce qui traduit un filtrage environnemental sévèrement lié aux basses températures. Le printemps et l'automne ne présentent aucune espèce strictement spécifique, confirmant leur rôle de saisons de transition.

Le noyau central du diagramme montre que quatre espèces sont communes aux quatre saisons, révélant l'existence d'un groupe d'espèces à grande tolérance thermique et à activité annuelle continue. Deux espèces sont partagées entre l'automne, l'été et le printemps, suggérant une affinité pour les périodes chaudes à tempérées. Une seule espèce est commune à l'automne et à l'été, tandis qu'aucune espèce n'est partagée exclusivement entre l'hiver et une autre saison.



**Figure 38.** Diagramme de Venn présentant la répartition des espèces de scorpions dans différentes saisons de la région d'étude

Dans l'ensemble, cette distribution traduit une partition temporelle des niches, où certaines espèces sont strictement saisonnières alors que d'autres présentent une activité prolongée au cours de l'année. La dominance estivale et la contraction hivernale du pool spécifique soulignent le rôle déterminant de la température et des conditions climatiques comme principaux filtres environnementaux dans la structuration temporelle des communautés scorpioniques.

### 7.3.2. Indice de diversité de Shannon ( $H'$ )

L'indice de Shannon intègre simultanément la richesse spécifique et l'équitabilité des abondances. Il mesure le degré d'incertitude associé à la prédiction de l'identité d'un individu choisi au hasard. Plus la communauté est riche et équilibrée, plus la valeur de  $H'$  est élevée. Une valeur faible indique soit une pauvreté spécifique, soit une forte dominance d'une espèce, soit les deux simultanément.

### 7.3.2.1. Shannon selon les biotopes

La figure 39, met en évidence une forte variabilité des valeurs de l'indice de diversité de Shannon-Weaver entre les quatre biotopes prospectés dans la région d'étude. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans l'erg ( $H' = 2,07$ bits) et le reg ( $H' = 2,05$ ), traduisant des communautés riches et relativement équilibrées. La palmeraie présente une valeur intermédiaire ( $H' = 0,99$ ), indiquant une diversité plus réduite avec une dominance partielle de certaines espèces. Quant au milieu urbain, il affiche une valeur nulle ( $H' = 0$ ), ce qui confirme l'absence totale de diversité et la présence d'une seule espèce dominante dans ce milieu fortement anthropisé.

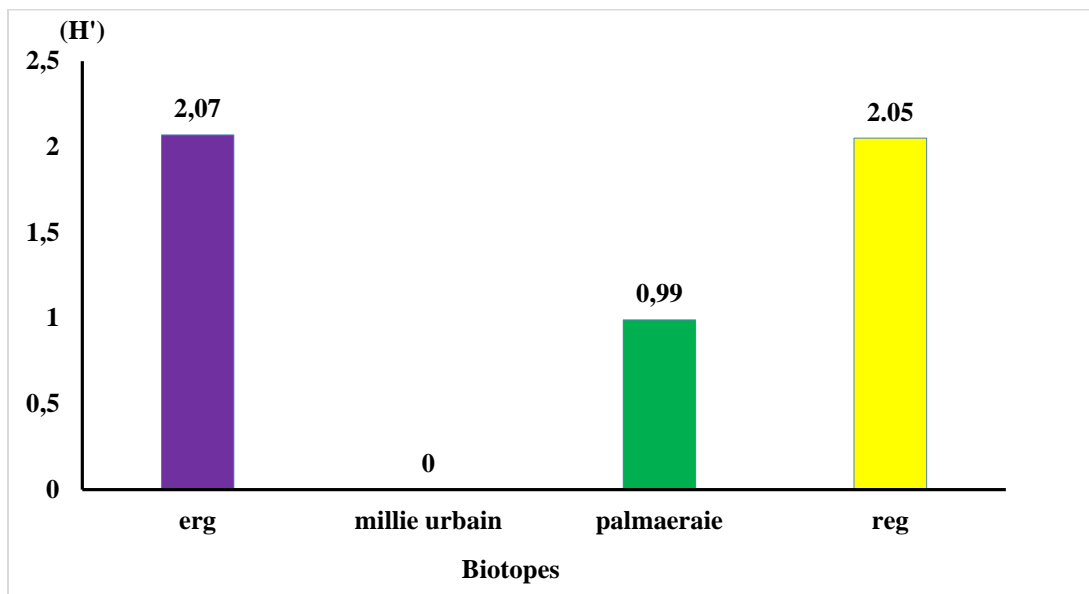
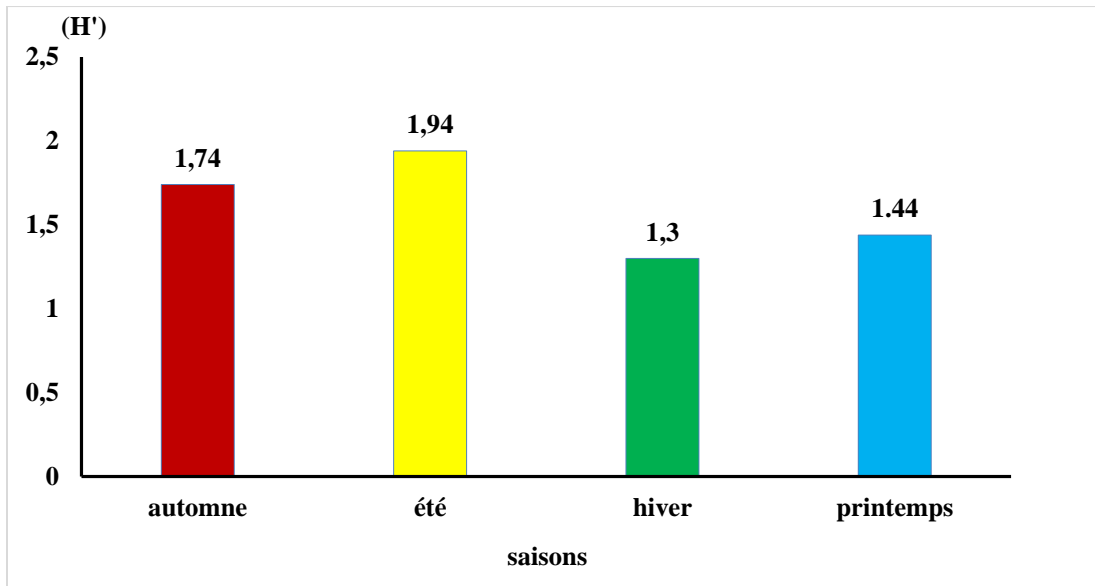


Figure 39. Indice de Shannon selon les types de biotopes.

### 7.3.2.2. Indice de Shannon selon les saisons

Les valeurs de l'indice de Shannon varient également de manière marquée selon les saisons. La valeur la plus élevée est enregistrée en été ( $H' = 1,94$ ), période correspondant à une activité biologique maximale, suivie de l'automne avec une diversité légèrement inférieure ( $H' = 1,74$ ). Le printemps affiche une valeur intermédiaire ( $H' = 1,44$ ), tandis que l'hiver présente la diversité la plus faible ( $H' = 1,30$ ), conséquence directe de la contraction du bassin spécifique et de la dominance accumulée des espèces les plus tolérantes aux basses températures.



**Figure 40.** Indice de Shannon selon les saisons.

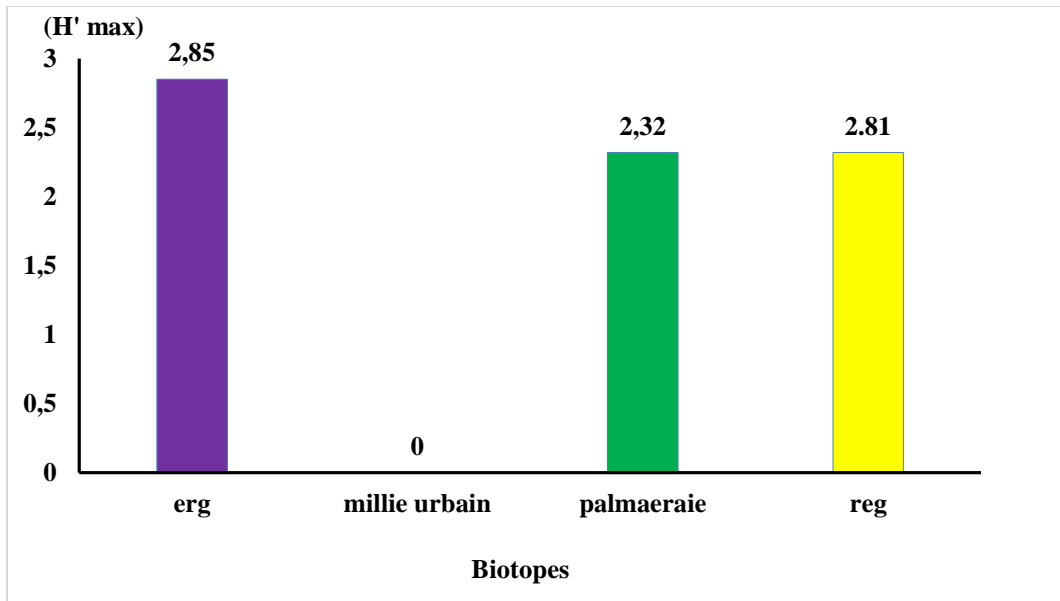
### 7.3.3. Diversité maximale (H'max)

H'max représente la diversité théorique maximale qui pourrait atteindre une communauté si toutes les espèces présentes étaient parfaitement équitables. Cet indice dépend uniquement de la richesse spécifique et permet d'évaluer le potentiel diversifié d'un milieu ou d'une saison déterminant des abondances réelles.

#### 7.3.3.1. H'max selon les biotopes

Les valeurs de H'max varient fortement selon les biotopes, traduisant des différences marquées de richesse spécifique (Fig 41). Le reg présente le potentiel diversifié le plus élevé (H'max = 2,81), suivi de l'erg (H'max = 2,58) et de la palmeraie (H'max = 2,32). Ces valeurs élevées indiquent que ces biotopes possèdent un nombre relativement important d'espèces susceptibles de coexister théoriquement de manière équilibrée.

À l'inverse, le milieu urbain affiche une valeur nulle (H'max = 0), confirmant l'extrême pauvreté spécifique de ce milieu, dominée par une seule espèce. Cette situation traduit une forte homogénéisation biologique liée aux contraintes anthropiques.



**Figure 41. Diversité maximale (H' max) selon les biotopes**

#### 7.3.3.2. H' max selon les saisons

Les valeurs de la diversité maximale (H' max) varient de manière notable au cours de l'année, reflétant les fluctuations saisonnières de la richesse spécifique. L'été présente le potentiel le plus élevé (H' max = 3,32), correspondant à la période où le nombre d'espèces actives est à son maximum. L'automne affiche une valeur légèrement inférieure (H' max = 2,58), suivi du printemps (H' max = 2,32), qui maintient un potentiel de diversité appréciable tandis que L'hiver présente quant à lui la valeur la plus faible (H' max = 2,00), conséquence directe de l'inactivité ou de la disparition saisonnière de plusieurs espèces, réduisant ainsi la diversité théorique durant cette période froide.

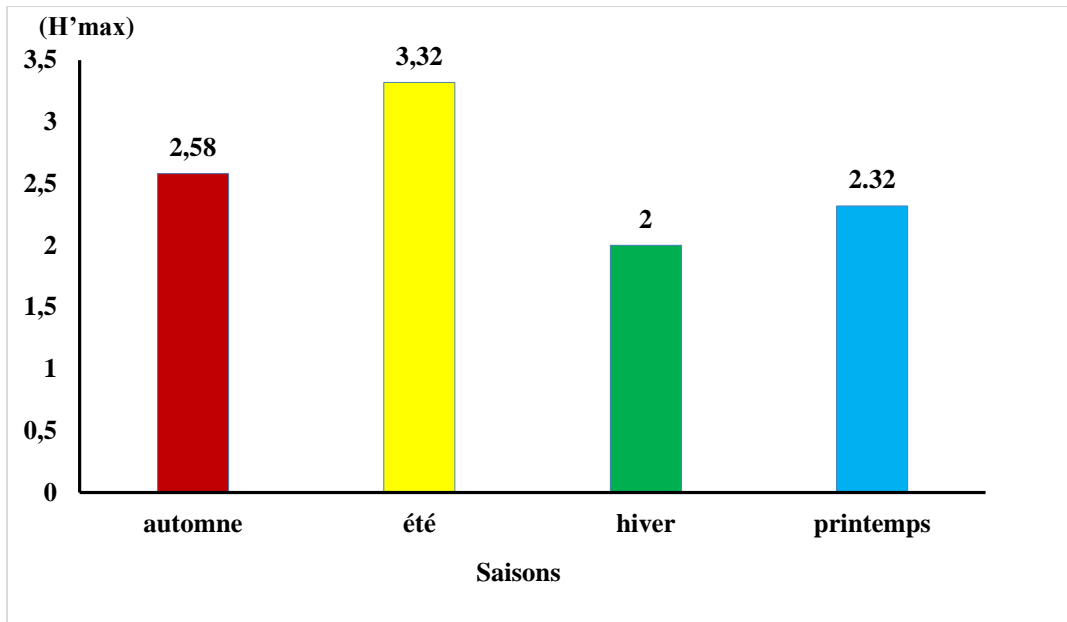


Figure 42. Diversité maximale (H'max) selon les saisons.

#### 7.3.4. Indice d'équitabilité (E)

##### 7.3.4.1. Équitabilité selon les biotopes

Les valeurs de l'équitabilité de Pielou (E) montrent une variation significative selon les biotopes (figure 43). L'erg présente l'équitabilité la plus élevée ( $E = 0,80$ ), traduisant une répartition relativement homogène des individus entre les espèces. Le reg enregistre une valeur légèrement inférieure ( $E = 0,73$ ), suivi de la palmeraie ( $E = 0,43$ ), où une dominance plus marquée de certaines espèces tend à réduire l'équilibre de la distribution. Le milieu urbain affiche la valeur la plus faible ( $E \approx 0$ ), reflétant une dominance d'une seule espèce (*Androctonus australis*).

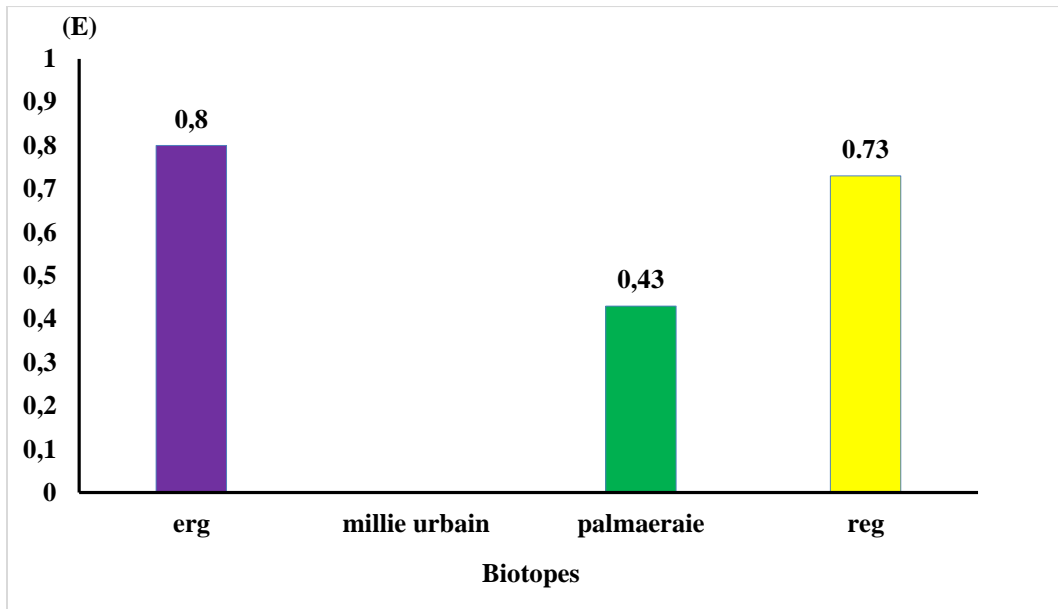


Figure 43. Équitabilité selon les biotopes

#### 7.3.4.2. Équitabilité selon les saisons

Contrairement au patron spatial, les fluctuations saisonnières de l'équitabilité sont relativement modérées (fig.44) avec des valeurs allant de 0,58 à 0,67, traduisant une stabilité structurelle globale au cours de l'année.

L'automne enregistre l'équitabilité la plus élevée ( $E = 0,67$ ), traduisant une répartition équilibrée des abondances entre les espèces à la suite de la période estivale de forte activité. L'hiver affiche une valeur légèrement inférieure ( $E = 0,65$ ), les espèces actives conservant des abondances comparables entre elles. Le printemps présente une équitabilité intermédiaire ( $E = 0,62$ ), reflétant une distribution encore bien répartie. L'été, bien que correspondant à la période de richesse spécifique maximale, enregistre la valeur la plus faible ( $E = 0,58$ ), ce qui suggère une augmentation temporaire des abondances de certaines espèces dominantes durant le pic d'activité, au détriment de l'équilibre global de la communauté.

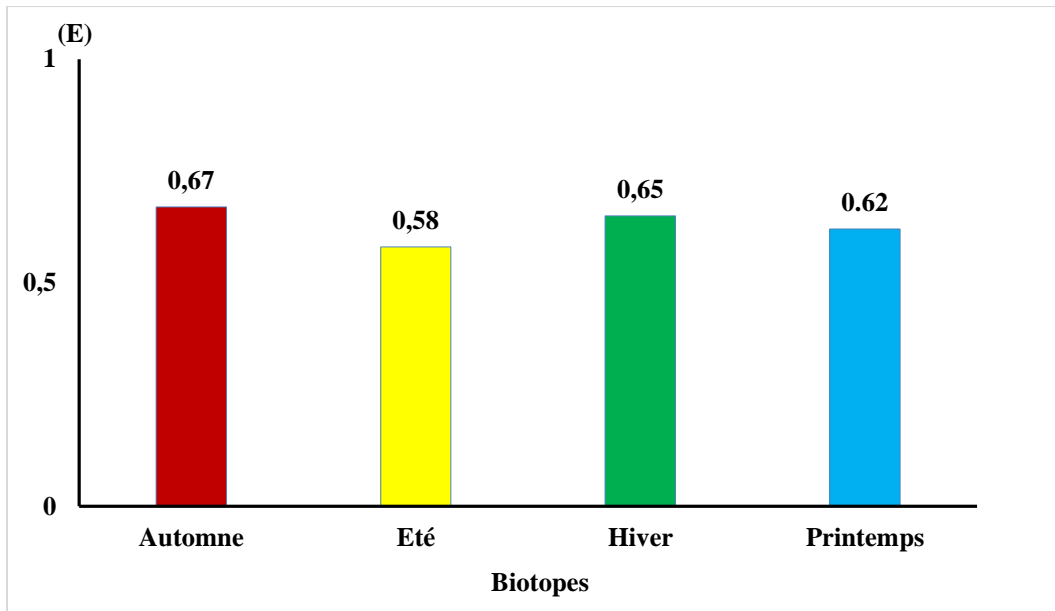


Figure 44. Équitabilité selon les saisons.

### 7.3.5. Indice de Simpson (D)

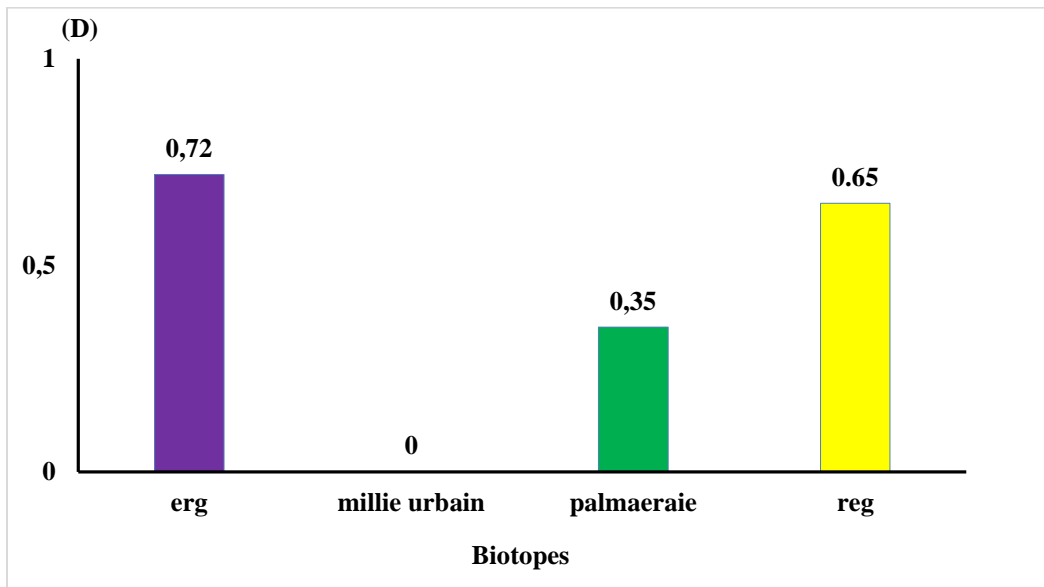
L'indice de Simpson (D) exprime la probabilité que deux individus choisis au hasard appartiennent à la même espèce. Dans sa forme complémentaire (1-D), des valeurs élevées traduisent une faible dominance et une communauté plus équilibrée, tandis que des valeurs faibles indiquent une forte dominance d'un nombre restreint d'espèces.

#### 7.3.5.1. Simpson selon les biotopes

Les valeurs de l'indice de Simpson observées montrent une variation nette de la dominance selon les biotopes (fig. 45). L'erg présente la valeur la plus élevée (0,72), indiquant une faible dominance et une structure communautaire relativement équilibrée. Cette situation suggère une coexistence efficace des espèces, Le reg affiche également une valeur élevée (0,65), traduisant une diversité relativement stable avec une dominance modérée, suivi de la palmeraie (D = 0,35) révélant une dominance plus marquée de certaines espèces.

Le milieu urbain affiche une valeur nulle (D = 0) révélant une dominance absolue d'une seule espèce et une diversité pratiquement nulle dans cet habitat fortement perturbé. Globalement, ces résultats confirment que les habitats naturels (erg et reg) maintiennent une

meilleure équitabilité spécifique que les milieux anthropisés.

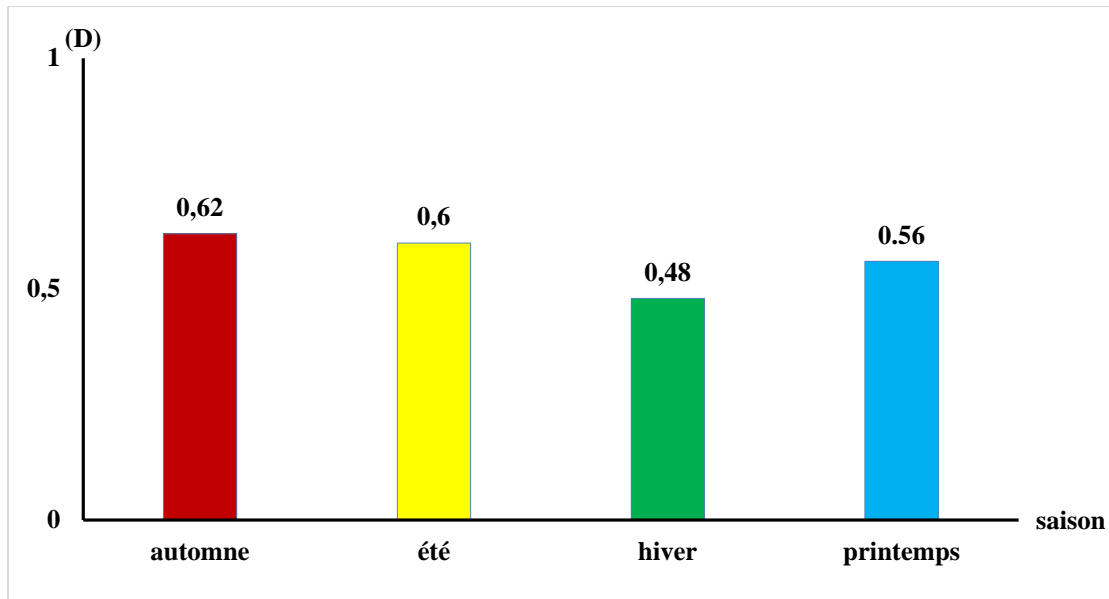


**Figure 45.** Indice de Simpson selon le type de biotope

### 7.3.5.2. Indice de Simpson selon les saisons

Les valeurs de l'indice de diversité de Simpson (D) révèlent une variation modérée selon les saisons (fig.46), avec des valeurs comprises entre 0,48 et 0,62, témoignant d'une certaine stabilité de la structure des communautés au cours de l'année.

L'automne présente la valeur la plus élevée ( $D = 0,62$ ), indiquant une faible dominance et une coexistence relativement équilibrée des espèces. L'été ( $D = 0,60$ ) affiche également une dominance faible à modérée, suggérant une structure communautaire relativement stable malgré le pic d'activité biologique. Le printemps ( $D = 0,56$ ) enregistre une légère diminution de l'indice, traduisant une augmentation modérée de la dominance, possiblement liée à une dynamique de réorganisation des communautés après la période hivernale. L'hiver présente quant à lui la valeur la plus faible ( $D = 0,48$ ), reflétant une dominance accrue au sein des peuplements. Cette réduction de l'indice s'explique par un filtrage environnemental important exercé par les basses températures, qui ne permettent la persistance que des espèces les plus tolérantes, entraînant ainsi une diminution sensible de l'équitabilité spécifique.



**Figure 46.** Indice de Simpson selon les saisons

## 8. Analyses statistiques multivariées

### 8.1. Tests pairwise adonis2 (PERMANOVA)

#### 8.1.1. Évaluation des différences entre biotopes et saisons

L'analyse PERMANOVA met en évidence un effet très hautement significatif du biotope sur la composition spécifique des assemblages ( $p = 0,001$ ), tandis que l'effet saisonnier est également significatif mais d'intensité plus modérée ( $p = 0,041$ ). Ces résultats démontrent clairement que la structuration des communautés est dominée par des facteurs spatiaux, le type d'habitat constituant le principal déterminant de l'organisation faunistique.

**Table 10.** Le test de permutation réalisé avec adonis2 sous modèle réduit pour l'évaluation des différences des biotopes et saisons échantillonnés

Source	Df	Sum of Sqs	R <sup>2</sup>	F	Pr(>F)
Biotope	3	6,1957	0,43604	103999	0,001 ***
Saison	3	1,0629	0,07481	1,7842	0,041 *
Résiduelle	35	6,9505	0,48915	—	—
Total	41	14,2091	1,00000	—	—

La contribution du biotope apparaît nettement supérieure à celle de la saison, indiquant que les gradients environnementaux spatiaux : « nature du substrat, conditions microclimatiques, disponibilité des refuges et degré d'anthropisation » exercent un filtrage écologique plus fort que les variations climatiques saisonnières. Cette hiérarchisation des facteurs est cohérente avec les modèles de déterminisme environnemental en milieux désertiques, où la contrainte physique de l'habitat sélectionne des cortèges spécialisés.

La significativité du facteur saisonnier révèle néanmoins l'existence d'une dynamique temporelle réelle. Les variations climatiques annuelles influencent l'activité, la reproduction et la survie des espèces, entraînant des ajustements dans la composition des assemblages. Toutefois, ces fluctuations temporelles ne remettent pas en cause l'identité écologique propre à chaque biotope.

### 8.1.2. Comparaisons par paires entre saisons

Les analyses pairwise montrent que les contrastes significatifs concernent principalement les comparaisons impliquant l'hiver. Les différences entre l'hiver et le printemps ( $p = 0,006$ ), ainsi qu'entre l'hiver et l'été ( $p = 0,029$ ), indiquent une restructuration marquée des assemblages durant la saison froide. L'hiver agit comme un filtre écologique restrictif, réduisant la présence des espèces thermophiles et favorisant celles capables de tolérer des conditions climatiques plus rigoureuses.

Dans l'ensemble, la dynamique saisonnière semble structurée autour de deux états principaux : un état hivernal distinct et un ensemble de saisons plus homogènes caractérisant la

période d'activité optimale.

**Tableau 11.** Résultats du test de permutation (adonis2) sous modèle réduit pour l'effet des saisons

Groups	df	Sum of Sqs	R <sup>2</sup>	F	Pr
Autumn_vs_Winter	1	0,7475	0,10423	2,0945	0,058
Autumn_vs_Spring	1	0,45	0,05512	1,2251	0,288
Autumn_vs_Summer	1	0,3976	0,05459	1,1549	0,304
Winter_vs_Spring	1	1,1545	0,17282	3,5515	0,006**
Winter_vs_Summer	1	0,6802	0,12648	2,3168	0,029*
Spring_vs_Summer	1	0,4152	0,06486	1,3178	0,26

### 8.1.3. Comparaisons par paires entre biotopes

Les comparaisons pairwise entre biotopes révèlent des différences significatives pour toutes les paires, attestant d'une forte différenciation spatiale des assemblages. Les contrastes les plus marqués concernent le milieu urbain par rapport aux habitats naturels, confirmant l'effet homogénéisateur de l'anthropisation. Le milieu urbain constitue un système écologiquement isolé, caractérisé par une simplification communautaire et une dominance accrue d'espèces tolérantes aux perturbations.

L'erg se distingue également fortement des autres biotopes, ce qui reflète la singularité écologique des milieux sableux. Les propriétés physiques du substrat, la mobilité des dunes et les conditions thermiques spécifiques créent un environnement sélectif favorisant des espèces hautement spécialisées.

La différenciation entre la palmeraie et le reg, bien que significative, demeure plus faible que les autres contrastes. Cette relative similarité suggère l'existence de conditions environnementales partagées ou d'une certaine connectivité écologique favorisant des échanges faunistiques. Ces deux habitats pourraient ainsi représenter des unités écologiques partiellement convergentes au sein du paysage étudié.

**Tableau 12.** Résultats du test de permutation (adonis2) sous modèle réduit pour l'effet des biotopes.

Groupes	df	Sum of Sqs	R <sup>2</sup>	F	Pr
Erg_vs_palmeraie	1	1,9169	0,28073	7,806	0,001***
Erg_vs_Reg	1	1,2721	0,17136	3,9291	0,001***
Erg_vs_Milieu urbain	1	2,6454	0,42387	11,772	0,001***
Palmeraie_vs_Reg	1	0,7706	0,13499	3,2773	0,022*
Palmeraie_vs_Milieu urbain	1	2,6302	0,52479	19,878	0,001***
Reg_vs_Milieu urbain	1	2,5841	0,41640	12,13	0,001***

### Synthèse écologique générale

L'ensemble des résultats PERMANOVA confirme que la structuration des assemblages repose principalement sur les gradients spatiaux liés au type d'habitat, tandis que la saison exerce une influence secondaire mais significative. Les habitats naturels présentent des identités faunistiques distinctes, façonnées par leurs contraintes écologiques propres, alors que le milieu urbain se démarque par une simplification marquée de la composition spécifique.

La dynamique saisonnière apparaît comme un processus de modulation interne des communautés, avec un rôle central de l'hiver dans la recomposition des assemblages. Ainsi, l'organisation écologique observée résulte d'une interaction entre déterminisme spatial fort et ajustements temporels récurrents, traduisant la complexité des mécanismes structurant ces communautés désertiques.

### 8.2. Modèles linéaires généralisés (GLM)

Les modèles linéaires généralisés permettent d'évaluer séparément et conjointement les effets de la saison, du biotope et de leur interaction sur les principaux paramètres décrivant la structure des communautés.

### 8.2.1. Effet des saisons et des biotopes sur l'abondance totale des espèces

L'abondance totale est significativement influencée par la saison ( $p = 0,01281$ ) et par le biotope ( $p = 0,00342$ ), tandis que leur interaction n'est pas significative ( $p = 0,83857$ ). Cela indique que le nombre total d'individus varie selon les périodes de l'année et selon le type d'habitat, mais que l'amplitude des variations saisonnières reste comparable entre biotopes. Les différences spatiales traduisent la capacité d'accueil propre à chaque habitat, alors que l'effet saisonnier reflète des fluctuations démographiques liées aux conditions climatiques et aux cycles biologiques.

**Tableau 13.** Résultats des modèles linéaires généralisés (GLM) testant l'effet des saisons, des biotopes et de leur interaction sur l'abondance totale des espèces dans la région d'étude

L'abondance totale	Df	Sum Sq	p.value	sig.
Seasons	3	2096.4	0.01281	*
Biotope	3	2647.4	0.00342	**
Seasons : Biotope	9	960.2	0.83857	ns

### 8.2.2. Effet des saisons et des biotopes sur la richesse spécifique des espèces

La richesse spécifique présente le même schéma. Elle est significativement affectée par la saison ( $p = 0,01229$ ) et par le biotope ( $p = 0,00804$ ), sans interaction significative ( $p = 0,80060$ ). Le nombre d'espèces dépend donc à la fois des contraintes écologiques propres à chaque habitat et des variations saisonnières, mais la dynamique temporelle de la richesse suit une tendance générale similaire dans tous les biotopes. Les habitats agissent comme filtres écologiques, tandis que la saison module temporairement la présence de certaines espèces.

**Tableau 14.** Résultats des modèles linéaires généralisés (GLM) testant l'effet des saisons, des biotopes et de leur interaction sur La richesse spécifique dans la région d'étude.

La richesse spécifique	Df	Sum Sq	p.value	Sig.
Seasons	3	1871.5	0.01229	*
Biotope	3	2029.3	0.00804	**
Seasons : Biotope	9	922.8	0.80060	ns

### 8.2.3. Effet des saisons et des biotopes sur l'indice de Shannon

L'indice de Shannon, qui intègre à la fois la richesse et l'équilibre des abondances, est significativement influencé par la saison ( $p = 0,02604$ ) et par le biotope ( $p = 0,02139$ ). L'interaction n'est pas significative ( $p = 0,48905$ ). Ce résultat montre que la diversité globale varie dans l'espace et dans le temps, mais que l'effet saisonnier sur la diversité reste homogène entre habitats. Les différences observées reflètent donc principalement des variations structurelles propres aux biotopes, modulées par des fluctuations saisonnières.

**Tableau 15.** Résultats des modèles linéaires généralisés (GLM) testant l'effet des saisons, des biotopes et de leur interaction sur L'indice de Shannon dans la région d'étude.

L'indice de Shannon	Df	Sum Sq	p.value	sig.
Seasons	3	1414.4	0.02604	*
Biotope	3	1480.3	0.02139	*
Seasons : Biotope	9	1291.5	0.48905	ns

### 8.2.4. Effet des saisons et des biotopes sur H'max

H'max est fortement influencé par la saison ( $p = 0,004054$ ) et par le biotope ( $p = 0,004530$ ), sans interaction significative ( $p = 0,300538$ ). Le potentiel maximal théorique de diversité varie ainsi selon les contextes spatiaux et temporels. Le biotope détermine un plafond écologique lié à ses caractéristiques environnementales, tandis que la saison agit sur les conditions favorables au maintien d'un nombre maximal d'espèces (tab16).

**Tableau 16.** Résultats des modèles linéaires généralisés (GLM) testant l'effet des saisons, des biotopes et de leur interaction sur H'max dans la région d'étude.

Hmax	Df	Sum Sq	p.value	sig.
Seasons	3	1635.8	0.004054	*
Biotope	3	1606.6	<b>0.004530</b>	**
Seasons : Biotope	9	1171.7	0.300538	ns

### 8.2.5. Effet des saisons et des biotopes sur L'indice de Simpson

L'indice de Simpson présente un schéma différent. Ni la saison ( $p = 0,23140$ ) ni le biotope ( $p = 0,50432$ ) n'ont d'effet significatif pris isolément. En revanche, l'interaction saison  $\times$  biotope est hautement significative ( $p = 0,00180$ ). Cela signifie que la dominance relative des espèces dépend de la combinaison spécifique entre habitat et saison. Certains biotopes peuvent accentuer la dominance d'un petit nombre d'espèces durant certaines saisons, tandis que d'autres maintiennent une structure plus équilibrée. La dominance apparaît donc comme un paramètre fortement contextuel.

**Tableau 17.** Résultats des modèles linéaires généralisés (GLM) testant l'effet des saisons, des biotopes et de leur interaction sur L'indice de Simpson dans la région d'étude.

Simpson_index	Df	Sum Sq	p.value	sig.
Seasons	3	1032.4	0.23140	ns
Biotope	3	211.5	0.50432	ns
Seasons : Biotope	9	3829.7	0.00180	**

### 8.2.6. Effet des saisons et des biotopes sur l'indice d'équitabilité

Enfin, l'indice d'équitabilité de Pielou n'est pas significativement influencé par la saison ( $p = 0,05156$ , proche du seuil de significativité), mais il est significativement affecté par le biotope ( $p = 0,02080$ ). L'interaction n'est pas significative ( $p = 0,41042$ ). Cela indique que la répartition des individus entre espèces dépend principalement des caractéristiques propres aux habitats. Certains biotopes favorisent une distribution plus homogène des abondances, alors que

d'autres présentent une organisation plus déséquilibrée.

**Tableau 18.** Résultats des modèles linéaires généralisés (GLM) testant l'effet des saisons, des biotopes et de leur interaction sur l'indice d'équitabilité dans la région d'étude.

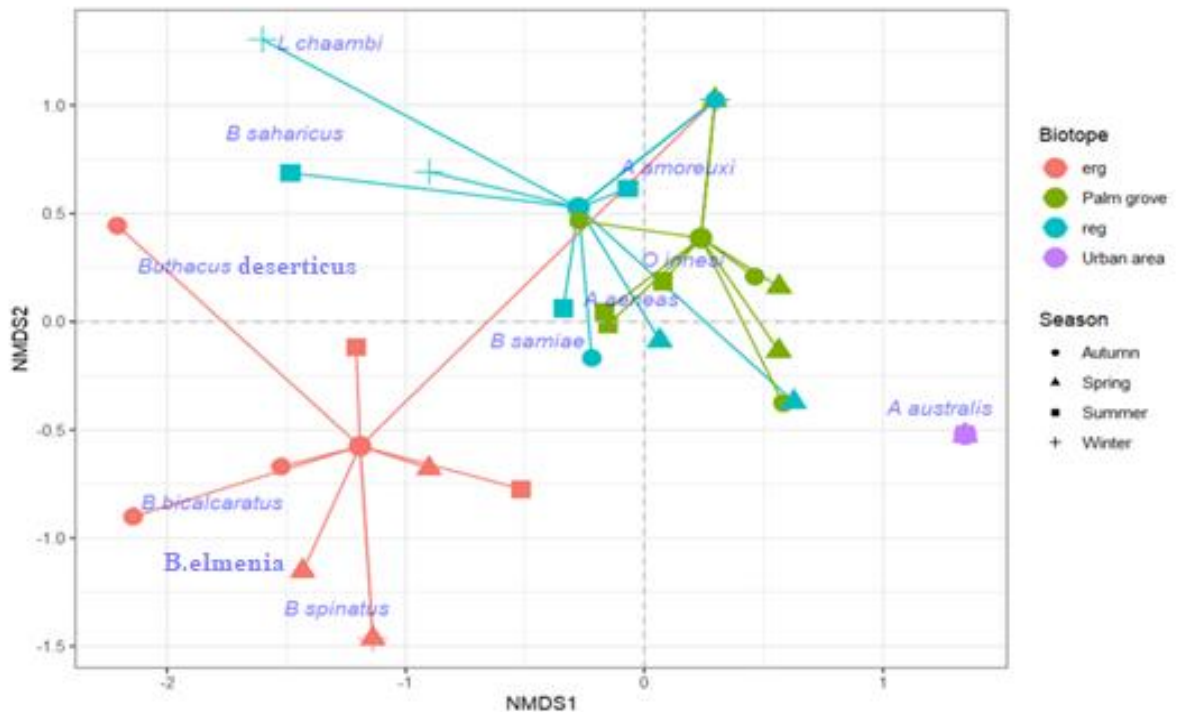
Pielou.s.evenness	Df	Sum Sq	p.value	sig.
Saisons	3	1183.3	0.05156	ns
Biotopes	3	1489.5	0.02080	*
Seasons : Biotopes	9	1420.0	0.41042	ns

Dans l'ensemble, les résultats montrent que les paramètres liés au nombre d'espèces et à la diversité globale sont influencés conjointement par l'espace et le temps, tandis que les mécanismes de dominance répondent de manière plus complexe et dépendante du contexte écologique. Le biotope constitue le facteur structurant principal, alors que la saison agit comme un modulateur dynamique des assemblages.

### 8.3. Ordination par mise à l'échelle multidimensionnelle non métrique (NMDS)

La NMDS (mise à l'échelle multidimensionnelle non métrique) est une méthode d'ordination qui permet de représenter graphiquement les similarités ou les différences entre communautés à partir de leurs compositions spécifiques. Elle simplifie des données écologiques complexes en les projetant dans un espace à deux dimensions.

L'analyse NMDS met en évidence une structuration spatiale nette des assemblages en fonction des biotopes, confirmant le rôle prépondérant du facteur habitat dans l'organisation de communauté (Fig.47). La projection sur les axes NMDS1 et NMDS2 montre une séparation claire du milieu urbain par rapport aux habitats naturels, traduisant une composition spécifique distincte et fortement simplifiée. Cette différenciation spatiale est cohérente avec les résultats de la PERMANOVA, qui ont révélé une contribution majeure du biotope à la variance totale observée.



**Figure 47.** Ordination par mise à l'échelle multidimensionnelle non métrique (NMDS) basée sur les abondances des espèces dans différents biotopes et selon les saisons.

Le milieu urbain apparaît isolé sur le plan d'ordination et est étroitement associé à *Androctonus australis*, ce qui confirme le caractère anthropophile de cette espèce et son aptitude à coloniser des environnements perturbés. Cette isolation reflète un processus d'homogénéisation biotique, où la pression anthropique réduit la diversité et favorise la dominance d'un taxon tolérant. La distance observée entre ce biotope et les autres traduit une rupture écologique nette entre habitats naturels et espaces anthropisés.

L'erg forme également un groupement bien individualisé, caractérisé par la présence d'espèces telles que *Buthacus* sp., *Buthiscus bicalcaratus* et *Buthacus spinatus*. Cette configuration suggère une forte spécialisation liée aux substrats sableux et aux contraintes microclimatiques propres aux dunes. Le regroupement serré de ces espèces indique une affinité écologique marquée et confirme le rôle du substrat comme filtre environnemental déterminant.

Le reg et la palmeraie occupent des positions intermédiaires sur le plan d'ordination et présentent un certain chevauchement, ce qui suggère une similarité écologique relative. Cette proximité peut s'expliquer par des conditions environnementales partiellement convergentes, notamment en termes de structure du sol et de microclimat. Certaines espèces, comme *Androctonus amoreuxi*, occupent une position centrale dans l'espace d'ordination, traduisant une large amplitude écologique et un caractère généraliste. Cette espèce semble capable d'exploiter plusieurs types d'habitats, jouant potentiellement un rôle de connecteur entre les communautés.

La distribution des saisons sur le graphique montre un chevauchement important à l'intérieur de chaque biotope, indiquant que l'effet saisonnier modifie davantage les abondances relatives que la composition fondamentale des assemblages. Bien que certaines variations puissent être observées, notamment une dispersion légèrement plus marquée en hiver, la structuration principale demeure d'ordre spatial. Ainsi, la saison agit comme un facteur modulateur, tandis que le biotope constitue le déterminant principal de la différenciation communautaire.

Dans l'ensemble, l'ordination NMDS confirme que les assemblages scorpioniques étudiés sont fortement structurés par les caractéristiques écologiques des habitats. Les filtres environnementaux spatiaux semblent prédominants, alors que les variations saisonnières influencent surtout la dynamique interne des populations sans altérer profondément la composition spécifique. Cette convergence entre analyses multivariées et indices de diversité renforce la robustesse des conclusions écologiques obtenues.

*Chapitre IV :*  
*Discussions*

Cette étude a révélé une diversité considérable des populations de scorpions dans la région d'étude (centre algérien). Du point de vue systématique, onze espèces ont été identifiées, réparties en six genres, appartenant à la famille des Buthidae. Les genres les plus importants sont *Buthacus* avec quatre espèces, suivi d'*Androctonus* avec trois espèces. Les genres *Buthus*, *Buthiscus*, *Lissothus* et *Orthochirus* sont quant à eux représentés par une seule espèce chacun. Ces résultats sont en accord partiel avec ceux de Souilem et al. (2025), qui ont recensé les mêmes espèces dans la même région, à l'exception de *Buthacus elmenia*, tandis que Sadine et al. (2023) n'avaient répertorié que huit espèces.

Selon Saadi et al. (2025), 57 espèces de scorpions sont actuellement recensées en Algérie. Ainsi, les espèces inventoriées dans la région d'étude représentent 19 % de la scorpiofaune algérienne et 73 % des espèces identifiées dans le Sahara septentrional algérien (Sadine, 2018).

### **Genre *Androctonus***

En Algérie, le genre *Androctonus* est représenté par six espèces (Dupré et al., 2023). Dans le cadre de la présente étude, ce genre constitue le plus dominant avec un taux de représentativité de 88 %, regroupant trois espèces : *A. amoreuxi*, *A. australis* et *A. aeneas*. Une analyse comparative avec les travaux antérieurs révèle une variabilité notable de la diversité spécifique de ce genre à l'échelle nationale. En effet, certaines localités affichent une richesse spécifique particulièrement faible, limitée à la seule espèce *A. aeneas*, telle que rapportée à Belzma (Batna), Khenchla et Sidi Bel Abbès par Sadine et al. (2012), Hasnaoui et al. (2018) et Ouici et al. (2020) respectivement. Une diversité intermédiaire a quant à elle été documentée dans la province d'Ouargla et au nord-est algérien (Tébessa), où deux espèces ont été inventoriées (Mekahlia et al., 2021). La richesse spécifique la plus comparable à nos résultats demeure celle enregistrée dans la région du Souf, où Sadine et al. (2011) ont mis en évidence la coexistence de trois espèces au sein de ce même genre.

L'espèce *Androctonus aeneas* demeure la moins représentée du genre, avec une abondance de seulement 2 %, lui conférant un statut d'espèce rare dans notre région d'étude. Ce résultat est cohérent avec les observations réalisées à Sidi Bel Abbès (Ouici et al., 2020), à Tébessa (Mekahlia et al., 2021), à Khenchla (Hasnaoui et al., 2018) et à Belzma, Batna (Sadine

et al., 2012), où cette espèce constitue la seule représentante du genre.

*Androctonus amoreuxi* : Cette espèce s'est révélée la plus dominante parmi les scorpions capturés, affiche un taux de dominance de 61 %, ce qui lui confère le statut d'espèce constante. Sa présence a été signalée dans plusieurs régions d'Algérie, notamment dans la région du Souf (Sadine et al., 2011), confirmant ainsi sa large répartition géographique à travers les zones arides et sahariennes du pays.

*Androctonus australis* : Cette espèce présente une abondance relative de 25 %, lui attribuant le statut d'espèce abondante, ce qui corrobore les résultats de Sadine et al. (2023). Sa prédominance a également été rapportée dans les régions de Ghardaïa (Lahrech & Souilem, 2017 ; Bengaid, 2018; Zouatine, 2024) ainsi que dans les zones d'Ouargla et d'El Oued (Sadine et al., 2011, 2018), soulignant son adaptation aux milieux désertiques algériens.

### **Genre *Buthacus***

Le genre *Buthacus* est représenté en Algérie par 12 espèces, dont quatre ont été inventoriées dans notre zone d'étude avec une abondance globale de 8,5 %, parmi lesquelles figure une nouvelle espèce récemment décrite (Sadine et al., 2024). À l'échelle maghrébine, une richesse spécifique similaire a été rapportée au Maroc avec quatre espèces recensées, ainsi que dans la région de Misurata au nord de la Libye (Saadi et al., 2025 ; Aboshaala et al., 2022). Néanmoins, certains travaux ont signalé une diversité plus importante, avec cinq espèces identifiées dans cette même région géographique (Bengaid et al., 2022 ; Bengaid, 2024). Sur le plan national, la représentativité de ce genre reste limitée, seules deux espèces ayant été décrites dans les provinces d'El Oued et d'Ouargla (Sadine et al., 2011, 2018), ce qui met en évidence l'apport significatif de notre étude à la connaissance de la diversité scorpionique en Algérie.

L'analyse de l'occurrence des espèces du genre *Buthacus* révèle que *B. samiae*, *B. spinatus*, *B. deserticus* et *B. elmenia* présentent toutes un statut accidentel au sein de notre inventaire faunistique, avec des fréquences d'apparition très faibles. Cette rareté commune aux quatre espèces s'explique par le fort endémisme qui caractérise la scorpiofaune de la région d'étude, dont les conditions biotiques et abiotiques particulières semblent contrôler étroitement la distribution et la structuration de ces peuplements scorpioniques au sein des écosystèmes

désertiques de cette région.

### Genre *Buthus*

Le genre *Buthus* constitue un genre très diversifié en Algérie, comptant 10 espèces reconnues (Ythier et al., 2021), nombre récemment porté à 11 à la suite de la description de *Buthus goyffoni* par Abidi et al. (2021) dans la région d'El Tarf, au nord-est du pays. Dans le cadre de la présente étude, ce genre est représenté par une diversité nettement plus restreinte, limitée à l'unique espèce *Buthus saharicus*, dont l'abondance relative particulièrement faible (3 %) témoigne d'une présence hautement accidentelle dans cette région. Ce caractère endémique et sporadique est cohérent avec les observations antérieures de Sadine et al. (2018) dans la province d'Ouargla, ainsi qu'avec celles d'Abidi et al. (2018) et de Mekahlia et al. (2021). Une composition spécifique distincte a par ailleurs été documentée dans le nord-est algérien par Meddour et al. (2017), qui ont signalé la présence d'espèces différentes au sein de ce genre, notamment *B. paris*, *B. goyffoni* et *B. tunetanus*, recensées dans les zones d'altitude des régions de Tébessa et de l'Aurès.

### Genre *Orthochirus*

Le genre *Orthochirus* présente une représentativité particulièrement modeste dans notre étude, avec une unique espèce recensée à une abondance relative de 0,3 % seulement. Ce constat s'avère d'autant plus remarquable lorsqu'il est mis en perspective avec la diversité spécifique de ce genre à l'échelle nationale, où trois espèces ont été documentées sur l'ensemble du territoire algérien (Lourenço & Sadine, 2021 ; Dupré et al., 2023).

### Genres *Buthiscus* et *Lissothus*

Les genres *Buthiscus* et *Lissothus* n'étaient chacun représentés que par une seule espèce dans notre étude, avec une abondance relative très faible de 0,3 %, traduisant leur rareté dans la zone prospectée. *Lissothus chaambi* demeure endémique à la région d'étude. En Algérie, le genre *Lissothus* (Vachon, 1948) est représenté par trois espèces : *Lissothus occidentalis* (Vachon, 1950), la plus largement distribuée à travers le Sahara algérien ; *Lissothus chaambi* (Lourenço & Sadine, 2014), décrite dans notre région d'étude ; et *Lissothus guezzamensis* (Yağmur et al.,

2025), la découverte la plus récente du genre, identifiée dans la province d'In Guezzam, à l'extrême sud du territoire algérien.

*Buthiscus bicalcaratus* : longtemps considérée comme cantonnée à la région d'El Oued (Sadine et al., 2011), cette espèce a fait l'objet d'une découverte majeure grâce aux travaux de Souilem et al. (2025), qui ont, pour la première fois, collecté des individus vivants dans notre zone d'étude, révélant ainsi une extension remarquable de son aire de répartition vers le sud-ouest et le nord-ouest algérien, avec de nouvelles occurrences confirmées dans les régions de Béchar, Tiaret et Tindouf.

## 2. Structuration spatiale de communauté scorpionique

L'évaluation de la diversité au sein de communauté écologique repose fondamentalement sur le recours aux indices de diversité, qui constituent des outils incontournables pour caractériser et comparer la structure des peuplements étudiés (Kunakh et al. 2023). Dans les écosystèmes arides, les assemblages de scorpions présentent souvent une plus grande diversité d'espèces et constituent des indicateurs utiles (Lira et al. 2023)

L'analyse de la distribution spatiale des scorpions entre les quatre biotopes prospectés met en évidence une forte hétérogénéité de la diversité spécifique, traduisant une partition marquée des niches écologiques à l'échelle locale. Ces résultats suggèrent que le type de substrat, la stabilité du milieu et les conditions microclimatiques agissent comme des filtres environnementaux déterminants dans la structuration de communauté scorpionique de la région d'étude.

La palmeraie s'est confirmée comme le biotope le plus favorable sur le plan de l'abondance, concentrant les effectifs les plus élevés. Cette productivité s'explique par la conjonction de plusieurs facteurs favorables, notamment les conditions microclimatiques relativement stables, une humidité plus élevée, une disponibilité accrue de refuges et une richesse trophique importante. Ces résultats concordent avec ceux rapportés par plusieurs auteurs dans différents biotopes de cette région (Lahrech & Souilem 2017 ; Bengaid 2018 ; Sadine et al. 2011).

De même, Foerster et al. (2020) ont montré que la structure de la végétation, notamment

le nombre et la hauteur des arbres, constitue un déterminant majeur de l'abondance des scorpions, soulignant ainsi le rôle fondamental du couvert végétal dans le maintien des assemblages scorpioniques. Dans le même sens, Lira et al. (2020) ont démontré qu'en forêt atlantique et en Caatinga, l'abondance et la richesse en scorpions augmentent avec la complexité structurale du milieu, notamment la densité des arbres et arbustes, la présence de bois mort et la profondeur de la litière.

Toutefois, bien que la palmeraie concentre les effectifs les plus élevés, sa richesse spécifique demeure intermédiaire et sa diversité spécifique plus faible, traduisant une dominance marquée de certaines espèces vraisemblablement imputable aux perturbations d'origine anthropique liées aux pratiques agricoles, lesquelles altèrent la structure naturelle de l'habitat. À titre de comparaison, Sadine (2018) a rapporté que la palmeraie d'El Oued présentait une richesse spécifique plus élevée que les autres biotopes, suggérant que l'état de conservation du milieu joue un rôle déterminant dans la structuration des communautés scorpionique. Cette dominance se reflète également dans l'équilibre interspécifique, où la palmeraie révèle un déséquilibre marqué, étant dominée par quelques taxons abondants au détriment des autres, Par ailleurs, la forêt de Khanchla s'est distinguée comme le biotope le plus abondant, tant sur le plan quantitatif, concentrant près de 50 % des individus collectés, que sur le plan qualitatif, avec quatre espèces recensées.

Des résultats similaires ont été rapportés dans certains déserts et savanes semi-arides, où l'abondance des scorpions s'avère positivement corrélée à la présence de formations arbustives (Polis & McCormick, 1987 ; Blaum et al., 2009), suggérant ainsi que la densité et la structure de la végétation jouent un rôle déterminant dans la distribution et la diversité de ces arthropodes. Le reg et l'erg se révèlent comme les biotopes les plus riches et les plus diversifiés de l'étude, en dépit d'abondances globalement intermédiaires concentrées sur des espèces spécialisées, adaptées respectivement aux microhabitats rocheux et sableux, ce qui reflète la faible pression anthropique qui caractérise ces milieux naturels.

L'hétérogénéité des microhabitats rocheux et sableux propre à ces deux biotopes favorise la coexistence de plusieurs taxons et assure une répartition relativement équilibrée des effectifs entre les espèces, aboutissant à une structuration harmonieuse de ces communautés, et ce malgré

des conditions climatiques parfois sévères. Ces résultats sont cohérents avec ceux de Navidpour et al. (2020) en Iran, qui ont montré qu'un grand nombre d'espèces préféraient les substrats sableux en raison de leurs adaptations écomorphologiques, et que la faible densité du couvert végétal était privilégiée par la majorité des espèces de scorpions.

Par ailleurs, De Araújo Lira et al. (2022) ont souligné que la composition et la richesse spécifique des communautés de scorpions dépendent conjointement de variables biotiques et abiotiques, telles que la végétation et la topographie, et que ces variables expliquent une fraction importante de l'assemblage des communautés lorsqu'elles sont considérées ensemble plutôt qu'individuellement. De même, De Oliveira Souza et al. (2024) ont démontré que la probabilité de présence des scorpions était étroitement liée à la structure des plantes, la longueur et la variabilité de la largeur des feuilles constituant les principaux facteurs prédictifs. Lira et al. (2018) ont également montré, dans les forêts néotropicales, que le partage spatio-temporel des ressources et des refuges constitue un facteur déterminant de la dynamique des populations et de la répartition spatiale des espèces de scorpions, avec une richesse fonctionnelle plus élevée dans les milieux humides que dans les milieux secs.

Le milieu urbain se distingue comme le biotope le plus appauvri sur tous les plans, témoigne un filtrage environnemental sévère induit par l'artificialisation croissante de ce milieu. Son abondance est la plus faible, sa richesse spécifique se limite à une seule espèce recensée, et sa diversité est la plus basse de l'étude. Ce constat rejoint les observations rapportées dans des études antérieures menées dans des matrices non urbaines, où la richesse en espèces de scorpions tendait à être systématiquement plus élevée que dans les paysages urbains (Dias et al. 2006 ; Lira et al. 2016, 2019). Dans le même sens, Lira et al. (2019a, 2020) ont souligné que les modifications de la structure du paysage, notamment la réduction du couvert végétal, agissent comme un filtre complexe limitant la dispersion de la majorité des espèces de scorpions, les espèces spécialistes étant incapables de coloniser les zones ouvertes voisines de leurs habitats d'origine (Lira et al. 2019b, 2020).

La persistance de la seule espèce *A. australis* dans ce contexte s'explique par sa grande plasticité écologique et sa capacité d'adaptation aux environnements fortement anthropisés, un constat déjà documenté dans plusieurs travaux menés en milieu urbain saharien. Le milieu urbain,

réduit à une espèce unique, ne permet pas d'évaluer l'équilibre interspécifique, illustrant ainsi le stade le plus avancé de la dégradation biotique observée dans cette étude.

## 2. Structuration temporelle de communauté scorpionique

L'analyse saisonnière de la diversité scorpionique révèle une structuration temporelle bien marquée, L'été s'impose comme la saison la plus favorable, enregistrant les effectifs et les indices de diversité les plus élevés. En tant qu'animaux ectothermes, les scorpions sont particulièrement sensibles aux variations thermiques, la température modulant en profondeur plusieurs processus physiologiques essentiels, notamment la digestion, la consommation d'oxygène et la croissance (Bobka et al., 1981 ; Zhang, 2004 ; Angilletta et al., 2004). Ainsi, les conditions thermiques optimales de la saison estivale favorisent l'intensification de l'activité locomotrice et reproductive de ces arthropodes, ce qui se traduit par un pic d'abondance et de diversité caractéristique de cette période, une observation largement confirmée par les travaux de Fet (1980) et Polis (1990).

Le printemps constitue quant à lui une phase de transition, marquée par une reprise progressive de l'activité biologique après la période de repos hivernal, ce qui en fait également une saison favorable à la collecte des scorpions, comme le confirment Mekahlia et al. (2021) ; Abidi (2022) et Sadine et al. (2023). L'automne maintient des niveaux de richesse spécifique et d'équitabilité relativement élevés, reflétant la persistance des conditions favorables héritées de la saison estivale.

En revanche, l'hiver enregistre les valeurs de diversité et d'abondance les plus faibles, ce qui s'explique par l'entrée des scorpions en hibernation, entraînant une réduction notable de leur activité métabolique et une tendance marquée à rechercher des refuges profonds en réponse aux contraintes thermiques hivernales, justifiant ainsi la diminution significative des effectifs recensés durant cette période.

Ces tendances saisonnières sont corroborées par de nombreux travaux menés à l'échelle internationale. Aslan & Toprak (2022) rapportent qu'*Androctonus crassicauda* présente une variation saisonnière marquée, avec des effectifs croissant à partir du mois de mai, atteignant leur pic maximal en juillet et août, puis déclinant progressivement à partir d'octobre. Des dynamiques similaires ont été documentées en Turquie (Özkan et al., 2006), en Arabie Saoudite (Jarrar et al.,

2008) et en Iran (Nazar & Hassan, 2016), confirmant le caractère universel de cette dynamique saisonnière au sein du genre *Androctonus*. Dans les Caatingas brésiliennes, Araújo et al. (2010) ont montré que l'activité et l'abondance de plusieurs espèces sont étroitement corrélées aux précipitations, à l'évapotranspiration et à la disponibilité des proies, avec des pics liés aux périodes de reproduction. En milieu urbain, *Tityus serrulatus* présente un comportement nocturne avec un pic d'activité en début de soirée, les différences saisonnières entre saison sèche et humide demeurant toutefois relativement faibles. Enfin, Abidi (2022) souligne que la répartition des espèces scorpionique suit un gradient bioclimatique, lequel exerce une influence déterminante sur leur distribution et leur diversité à l'échelle régionale.

# *Conclusion et Perspectives*

La présente étude, consacrée à la biodiversité scorpionique du Sahara central algérien, précisément dans la région d'étude, a été conduite selon une approche biotopique et saisonnière au cours de la période 2022-2023.

Cette étude a permis d'inventorier un total de 305 individus, réparti en 11 espèces appartenant à 6 genres, tous inclus au sein de la famille des Buthidae. Le genre *Androctonus* est représenté par trois espèces : *A. australis*, *A. aeneas* et *A. amoreuxi*. Le genre *Buthacus* regroupe quatre espèces : *B. spinatus*, *B. samiae*, *B. deserticus* et *B. elmenia*. Enfin, les genres *Buthiscus*, *Lissothus* et *Orthochirus* sont chacun représentés par une seule espèce, à savoir respectivement *Buthiscus bicalcaratus*, *Lissothus chaambi* et *Orthochirus ennesi*.

Dans le cadre de la présente étude, une nouvelle espèce pour la science appartenant au genre *Buthacus* Birula, 1908 a été décrite à partir de spécimens récoltés dans la région d'étude, au centre de l'Algérie, et signalée pour la première fois dans les localités de Mansoura, Béni Isguen, Sebseb et Metlili, toutes situées au cœur du Sahara algérien. Par ailleurs, une diagnose révisée de la femelle de *Buthacus spinatus* est proposée, accompagnée de la description et de l'identification du mâle pour la première fois dans la science, sur la base de deux spécimens mâles collectés en janvier 2023 dans les milieux sableux de Sebseb, constituant ainsi le premier signalement du mâle pour cette espèce.

Les résultats de la présente étude mettent en évidence une dominance marquée d'*Androctonus amoreuxi* (58 %) et *A. australis* (24,4). En revanche, la majorité des espèces restantes affichent des abondances relatives modestes, ne dépassant pas 5 %, tel que *Buthacus spinatus* (3,9 %), *Buthacus deserticus* (3,3 %) et *B. samiae* (2,9 %). À l'extrémité de ce gradient d'abondance, *B. saharicus* (0,7 %), *Orthochirus innesi* (0,7 %) et *B. elmeniaa* (0,3 %) constituent des éléments rares.

L'analyse de la richesse spécifique et de l'abondance relative des différents biotopes étudiés présente des disparités remarquables. L'erg se distingue par la richesse spécifique la plus élevée avec 6 espèces, tandis que la palmeraie, bien que présentant une richesse légèrement inférieure avec 5 espèces, constitue le biotope le plus favorable avec 52,8 % du total des individus recensés. Le reg affiche également une richesse de 5 espèces et se positionne en

deuxième rang en termes d'abondance avec 19,4 % des captures, suivi de l'erg qui totalise 13,9 % des individus collectés. Tandis que, le milieu urbain se caractérise par les valeurs les plus faibles pour les deux paramètres, avec une richesse spécifique limitée à une seule espèce.

Les valeurs les plus élevées de l'indice de diversité de Shannon-Weaver ( $H'$ ) sont enregistrées dans l'erg ( $H' = 2,07$ ) et le reg ( $H' = 2,05$ ). La palmeraie présente une valeur intermédiaire ( $H' = 0,99$ ), indiquant une diversité plus réduite et une dominance partielle de certaines espèces. Le milieu urbain affiche une valeur nulle ( $H' = 0$ ) car il n'abrite qu'une seule espèce (*A. australis*).

L'erg présente l'équitabilité la plus élevée ( $E = 0,80$ ) présente le biotope le plus équilibré, Le reg affiche également une équitabilité élevée ( $E = 0,73$ ), indiquant une dominance limitée malgré un potentiel diversifié important. En revanche, la palmeraie présente une valeur nettement plus faible ( $E = 0,43$ ), traduisant une dominance plus marquée de l'espèce *A. amoreuxi*. Le milieu urbain, caractérisé par une équitabilité nulle, révèle une dominance extrême d'une seule espèce (*Androctonus australis*).

L'ensemble des résultats des tests statistiques de PERMANOVA confirme que la structuration des assemblages repose principalement sur les gradients spatiaux liés au type de biotope, tandis que la saison exerce une influence secondaire mais significative.

Les contrastes les plus marqués concernent le milieu urbain par rapport aux habitats naturels, confirmant l'effet homogénéisateur de l'anthropisation. Le milieu urbain constitue un système écologiquement isolé, caractérisé par une simplification communautaire et une dominance accrue d'espèces tolérantes aux perturbations.

L'erg se distingue également fortement des autres biotopes, ce qui reflète la singularité écologique des milieux sableux. Les propriétés physiques du substrat, la mobilité des dunes et les conditions thermiques spécifiques créent un environnement sélectif favorisant des espèces hautement spécialisées. La différenciation entre la palmeraie et le reg, bien que significative, demeure plus faible que les autres contrastes.

La richesse spécifique et l'abondance des scorpions présentent une variation saisonnière

marquée ; l'hiver a montré les valeurs les plus faibles tandis que le maximum a été enregistré en été, qui indique une forte activité durant cette période.

Ces résultats soulignent l'influence des conditions climatiques sahariennes sur l'activité et la détectabilité des espèces de scorpions.

Les valeurs de l'indice de Shannon varient également de manière marquée selon les saisons. La valeur la plus élevée est enregistrée en été, période correspondant à une activité biologique maximale. Par contre, l'hiver présente la diversité la plus faible.

Les valeurs de l'équitabilité de Pielou (E) montrent une variation significative selon les saisons.

Les valeurs de l'indice de Shannon varient également de manière marquée selon les saisons. La valeur la plus élevée est enregistrée en été, période correspondant à une activité biologique maximale. Par contre, l'hiver présente la diversité la plus faible.

L'ensemble des résultats des tests statistiques de PERMANOVA confirme que : la structuration des assemblages repose principalement sur les gradients spatiaux liés au type de biotope tandis que la saison exerce une influence secondaire mais significative.

L'analyse du diagramme NMDS révèle une structuration nette du peuplement scorpionique en fonction des biotopes. La majorité des espèces présentent une affinité étroite avec un biotope particulier, à l'exception de *A. amoreuxi* qui, de par sa large valence écologique, se retrouve associée à trois biotopes distincts : le reg, l'erg et la palmeraie. Au niveau du reg, *B. samiae* et *B. saharicus* sont caractéristiques de la saison estivale, tandis que *L. chaambi* y est inféodée en hiver. L'erg, quant à lui, accueille *B. deserticus* et *B. bicalcaratus* en automne, ainsi que *B. spinatus* au printemps et en hiver. La palmeraie se distingue en été par la présence conjointe de *A. aeneas* et *O. innesi*. Quant au milieu urbain, il demeure le biotope exclusif de *A. australis*, espèce dont l'activité a été enregistrée durant toutes les saisons, à l'exception de l'hiver.

Les résultats de la présente inventaire, associés aux observations sur la répartition spatiale et saisonnière des espèces recensées, font de ce travail une contribution pionnière à la connaissance de la biodiversité scorpionique de la région d'étude (centre algérien). Cependant,

cet inventaire ne peut être considéré comme définitif. La présence probable d'espèces non encore répertoriées dans ces milieux, ainsi que le comportement nocturne et cryptique de certains taxons pouvant avoir échappé à l'échantillonnage, laissent entrevoir une diversité potentiellement plus importante que celle documentée. Il est donc nécessaire de poursuivre les efforts de prospection, en élargissant la couverture géographique, en diversifiant les biotopes explorés et en prolongeant les périodes d'observation, afin d'établir un inventaire faunistique aussi exhaustif et représentatif que possible de cette région encore insuffisamment explorée.

Les résultats de cette étude ouvrent plusieurs axes de recherche qui méritent d'être poursuivis. Sur le plan taxonomique, des analyses moléculaires sont nécessaires pour confirmer la liste des espèces inventoriées. Sur le plan écologique, il serait intéressant d'explorer les relations entre la morphologie des espèces et les biotopes qu'elles occupent (Eco morphologie), afin de mieux comprendre comment ces animaux s'adaptent aux conditions des habitats.

## *Références bibliographiques*

Abidi, H. (2022). *Composition et structure du peuplement scorpionique dans différents écosystèmes de l'Est Algérien*. Thèse de Doctorat. Université 8 Mai 1945 Guelma, Algérie. 125pp.

Abidi, H., Sadine, S. E., Houhamdi, M., Madoui, A., & Lourenço, W. R. (2021). The genus *Buthus* Leach, 1815 in Algeria (Scorpiones: Buthidae) and a possible new case of vicariant species. *Revista Ibérica de Aracnología*, 38, 81-86.

Aboshaala, F., Badry, A., & Sadine, S. E. (2020). Ecological considerations on *Buthiscus bicalcaratus* Birula, 1905 with a new locality in northern Libya (Scorpiones, Buthidae). *Revista Ibérica de Aracnología*, 36, 181-183.

Aboshaala, F., Badry, A., & Sadine, S. E. (2022). Scorpion diversity patterns in the Misurata region, North Libya (Arachnida: Scorpiones). *Zoology and Ecology*, 32(1), 144-152. <https://doi.org/10.35513/21658005.2022.2.7>

Aboshaala, F., Yağmur, E. A., Sadine, S. E., Ghaliow, M., & Badry, A. (2022). On the poorly known species *Buthiscus bicalcaratus* Birula, 1905 (Scorpiones: Buthidae). *Serket*, 18(3), 263-273.

Angilletta, M., Steury, T., & Sears, M. (2004). Temperature, growth rate, and body size in ectotherms: Fitting pieces of a life-history puzzle. *Integrative and Comparative Biology*, 44, 498-509.

Araújo, C., Cândido, D., Araújo, H., Dias, S., & Vasconcellos, A. (2010). Seasonal variations in scorpion activities (Arachnida: Scorpiones) in an area of Caatinga vegetation in northeastern Brazil. *Zoologia*, 27, 372-376.

Aslan, N., & Toprak, Ş. (2022). Investigations of bio-ecology on *Androctonus crassicauda*: Buthidae occurring in Sanliurfa. *Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi*, 25(6), 1254-1263.

Bengaid, Y. (2018). *Composition et structure de peuplement scorpionique de la région de Ghardaïa (Algérie)*. Mémoire de Master. Option Ecologie et environnement. Université de Ghardaïa. 51p.

Bengaid, Y. (2025). *Bioécologie des scorpions du genre Buthacus (Birula, 1908) dans le Sahara du centre algérien* (Doctoral dissertation).

Bengaid, Y., Sadine, S. E., Zouatine, O., Abidi, H., Bissati, S., & Houhamdi, M. (2022). Notes and remarks on *Buthacus* species of Central Algeria (Scorpiones: Buthidae). *Serket*, 18(3), 274-281.

Benkenzou, D. (2012). *Annuaire statistique*. 131p.

Birula, A. (1905). Skorpiologische Beiträge. 4-5 (4. *Buthiscus* gen. nov. - 5. *Buthiscus bicalcaratus* sp. nov.). *Zoologischer Anzeiger*, 29(19), 621-624.

Bigot, L. and Bodot, P. (1973). Contribution to the biocenotic study of the Garrigue with *Quercus coccifera* – Biotic composition of the invertebrate's populations. *Vie et Milieu* 23: 229–249. (In French).

Blaum, N., Seymour, C., Rossmann, E., Schwager, M., & Jeltsch, F. (2009). Changes in arthropod diversity along a land use driven gradient of shrub cover in savanna rangelands: identification of suitable indicators. *Biodiversity and Conservation*, 18(5), 1187-1199.

Blondel, J. (1975). L'analyse des peuplements d'oiseaux, éléments d'un diagnostic écologique. I. La méthode des échantillonnages fréquents progressifs (E.F.P.). *Revue d'Écologie (La Terre et La Vie)*, 29(4), 533-589.

Blondel, J. (1979). *Biogéographie et écologie*. Masson, Collection d'Ecologie, 15, 153-155.

Blondel, J., & Aronson, J. (1995). Biodiversity and ecosystem function in the Mediterranean basin. In Davis, G. & Richardson, D. *Biodiversity and ecosystem function in the Mediterranean type ecosystems* (pp. 43-119). Springer Verlag, Berlin.

Bobka, M., Jaeger, R., & McNaught, D. (1981). Temperature dependent assimilation efficiencies of two species of terrestrial salamanders. *Copeia*, 1981, 417-421.

Castri (di), F., & Younes, T. (1990). Fonction de la biodiversité biologique au sein de l'écosystème. *Acta Oecologica*, 11(3), 429-444.

Chiarucci, A., Bacaro, G., & Scheiner, S. (2011). Old and new challenges in using species diversity for assessing biodiversity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 366, 2426-2437. <https://doi.org/10.1098/rstb.2011.0065>

Chippaux, J. P., & Goyffon, M. (2008). Epidemiology of scorpionism: a global appraisal. *Acta Tropica*, 107(2), 71-79.

Cloudsley-Thompson, J. L. (1971). Recent expansion of the Sahara. *International Journal of Environmental Studies*, 2(1-4), 35-39.

- Cloudsley-Thompson, J. L. (1984). *Sahara Desert: Key Environments*. Pergamon Press.
- Dajoz, R. (1971). *Précis d'écologie*. Ed. Dunod, Paris, 434p.
- Dajoz, R. (1975). *Précis d'écologie*. Ed. Dunod, Paris, 434p.
- Dajoz, R. (1983). *Précis d'écologie fondamentale et appliquée*. Ed. Gauthier-Villars, Paris.
- Dajoz, R. (2003). *Précis d'écologie (7ème éd.)*. Ed. Dunod, Paris, 615p.
- Dajoz, R. (2006). *Précis d'écologie*. Ed. Dunod, Paris, 631p.
- De Araújo Lira, A., Foerster, S., DeSouza, A., & De Armas, L. (2022). Disentangling diversity patterns in Cuban scorpions (Arachnida: Scorpiones). *Novitates Caribaea*.
- De Oliveira Souza, M., Foerster, S., Salomão, R., Souza-Alves, J., De Moura, G., Lira, A., & Ferreira, R. (2024). The role of bromeliad structural complexity on the presence, spatial distribution and predator avoidance in *Tityus neglectus* (Scorpiones: Buthidae). *Ecology and Evolution*, 14.
- Dehghani, R., Haghi, F. M., Mogaddam, M. Y., Sedaghat, M., & Hajati, H. (2016). Review study of scorpion classification in Iran. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(5), 440-444.
- Dehghani, R., Kassiri, H., & Mohammadzadeh, N. (2019). Comparison of various methods of collecting scorpions (Arachnida, Scorpiones) in Khuzestan Province, Southwestern Iran. *Archives of Clinical Infectious Diseases*. <https://doi.org/10.5812/archcid.84452>
- Dias, S. C., Candido, D. M., & Brescovit, A. D. (2006). Scorpions from Mata do Buraquinho, João Pessoa, Paraíba, Brazil, with ecological notes on a population of *Ananteris mauryi* Lourenço (Scorpiones, Buthidae). *Revista Brasileira de Zoologia*, 23, 707-710.
- Dunlop, J. A., & Selden, P. A. (2013). Scorpion fragments from the Silurian of Powys, Wales. *Arachnology*, 16(1), 27-32.
- Dupré, G. (2012). *Annotated bibliography on African scorpions from antiquity to 2012* (2nd ed.). 117p.
- Dupré, G., El Bouhissi, M., & Sadine, S. E. (2023). La faune des scorpions d'Algérie. *Arachnides*, 108, 2-16.
- El-Hennawy, H. K. (1992). *A catalogue of the scorpions described from the Arab countries (1758-1990)* (Arachnida: Scorpionida).

- Es-Saadi, M., Hamdi, S., Khourcha, S., Sadki, K., Errafii, K., & Oukkache, N. (2025). Endemic scorpion species and subspecies in Morocco: A comprehensive overview. *Toxicon*, 255, 108253.
- Fet, V. (1980). Ecology of the scorpions (Arachnida, Scorpiones) of the southeastern Kara-Kum. *Entomologicheskoe Obozrenie*, 59, 223-228.
- Fet, V. (2000). Family Scorpionidae Latreille, 1802. In V. Fet, W. D. Sissom, G. Lowe & M. E. Braunwalder (Eds.), *Catalog of the Scorpions of the World (1758-1998)* (pp. 427-486). New York Entomological Society.
- Fet, V., & Lowe, G. (2000). Family Buthidae C. L. Koch, 1837. In V. Fet, W. D. Sissom, G. Lowe & M. E. Braunwalder (Eds.), *Catalog of the Scorpions of the World (1758-1998)* (pp. 54-286). New York Entomological Society.
- Foerster, S., De Araújo Lira, A., & De Almeida, C. (2020). Vegetation structure as the main source of variability in scorpion assemblages at small spatial scales and further considerations for the conservation of Caatinga landscapes. *Neotropical Biology and Conservation*.
- Goyffon, M., & Chippaux, J. P. (1990). Animaux venimeux terrestres. *Techniques EMC Intoxications, Pathologie du travail*, 16078(A10), 14p.
- Goyffon, M., Dabo, A., Coulibaly, S. K., Togo, G., & Chippaux, J. P. (2012). Dangerous scorpion fauna of Mali. *Journal of Venomous Animals and Toxins including Tropical Diseases*, 18(4), 361-368. <https://doi.org/10.1590/S1678-91992012000400003>
- Goyffon, M., & El Ayeb, M. (2002). Epidémiologie du scorpionisme. *Infotox*, 15(2), 2-6.
- Goyffon, M., & Heurtault, J. (1995). *La fonction venimeuse*. Edition Masson, 284p.
- Hammou, M. A., Dahmani, W., Cheddad, A., El Bouhissi, M., Feghoul, M. A., Benali, N., & Sadine, S. E. (2024). On current distribution of *Androctonus aeneas* Koch, 1839 in Algeria (Scorpiones: Buthidae). *Serket*, 20(3).
- Hasnaoui, C., Meddour, A., & Lebbal, S. (2018). New data on scorpion diversity in the region of Khenchela, Algeria. *Serket*, 16(1), 1-6.
- Houhamdi, M. (2002). *Ecologie du peuplement avien du lac des Oiseaux (Numidie orientale)*. Thèse de doctorat d'état. Université Badji Mokhtar, Annaba. 138p.
- Jarrar, B., & Al-Rowaily, M. (2008). Epidemiological aspects of scorpion stings in Al-Jouf province. *Annals of Saudi Medicine*, 28(3), 183.

Karsch, F. (1891). Arachniden von Ceylon und von Minikoy gesammelt von den Herren Doctoren P. und F. Sarasin. *Berliner Entomologische Zeitschrift*, 36(2), 267-310.

Koch, C. L. (1839). *Die Arachniden*. CH Zeh'sche Buchhandlung.

Kovařík, F. (1995). First report of *Orthochirus innesi* (Scorpionida: Buthidae) from Morocco. *Klapalekiana*, 31, 19-21.

Kraepelin, K. (1899). Scorpiones und Pedipalpi. In F. Dahl (Ed.), *Das Tierreich. Arachnoidea*, 8, 1-265. R. Friedländer und Sohn Verlag, Berlin.

Kunakh, O. M., Volkova, A. M., Tutova, G. F., & Zhukov, O. V. (2023). Diversity of diversity indices: Which diversity measure is better? *Biosystems Diversity*, 31(2), 131-146.

Lahrech, A., & Souilem, Z. (2017). *Contribution à l'étude de la faune scorpionique de la région de Ghardaïa (Algérie)*. Mémoire de Master en Ecologie Académique. Université de Ghardaïa, Algérie.

Lira, A. F. A., Araújo, V. L. N., DeSouza, A. M., Rego, F. N. N. A., & Albuquerque, C. M. R. (2016). The effect of habitat fragmentation on the scorpion assemblage of a Brazilian Atlantic Forest. *Journal of Insect Conservation*, 20(3), 457-466.

Lira, A. F. A., DeSouza, A. M., Albuquerque, C. M. R. (2018). Environmental variation and seasonal changes as determinants of the spatial distribution of scorpion (Arachnida: Scorpiones) in Neotropical forests. *Canadian Journal of Zoology*, 96(9), 963-972.

Lira, A. F. A., Pordeus, L. M., Salomão, R. P., Badillo-Montaña, R., & Albuquerque, C. M. R. (2019). Effects of anthropogenic land-use on scorpions (Arachnida: Scorpiones) in neotropical forests. *International Journal of Tropical Insect Science*, 39, 211-218.

Lira, A. F. A., Salomão, R. P., & Albuquerque, C. M. (2019). Pattern of scorpion diversity across a bioclimatic dry-wet gradient in Neotropical forests. *Acta Oecologica*, 96, 10-17.

Lira, A., Badillo-Montaña, R., Lira-Noriega, A., & De Albuquerque, C. (2020). Potential distribution patterns of scorpions in north-eastern Brazil under scenarios of future climate change. *Austral Ecology*, 45, 215-228. <https://doi.org/10.1111/aec.12849>

Lira, A. F. A., De Oliveira, R., Dionisio-Da-Silva, W., & Moura, G. (2020). Influence of the edge-core gradient on the scorpion assemblage (Arachnida, Scorpiones) in a Brazilian Atlantic forest. *International Journal of Tropical Insect Science*, 41, 447-454.

Lira, A., Foerster, S. Í. A., & Badry, B. (2023). Living in a desert: examining scorpion beta diversity in Egyptian drylands. *African Zoology*, 58(1), 18-28.

Lourenço, W. R. (2001). Un nouveau genre et une nouvelle espèce de scorpion d'Algérie, avec des considérations taxonomiques sur le genre *Lissothus* Vachon, 1948 (Scorpiones, Buthidae). *Zoosystema*, 23(1), 51-57.

Lourenço, W. R. (2002). Notes on the taxonomy and geographical distribution of *Buthiscus bicalcaratus* Birula, 1905 (Scorpiones, Buthidae). *Entomologische Mitteilungen aus dem zoologischen Museum Hamburg*, 14(165), 11-16.

Lourenço, W. R., & Duhem, B. (2007). Observations on the remarkable disrupted geographical distribution of the genus *Microbuthus* Kraepelin, 1898 in North Africa, with the description of a new species from Egypt (Scorpiones, Buthidae). *Comptes Rendus Biologies*, 330(5), 439-445.

Lourenço, W. R., & Leguin, E. A. (2011). Further considerations on the species of the genus *Orthochirus* Karsch, 1891 from Africa, with description of three new species (Scorpiones: Buthidae). *Euscorpius*, 123, 1-19.

Lourenço, W. R., & Sadine, S. E. (2014). A new species of the rare buthid scorpion genus *Lissothus* Vachon, 1948 from Central Algeria (Scorpiones, Buthidae). *Comptes Rendus Biologies*, 337(6), 416-422.

Lourenço, W. R., Bissati, S., & Sadine, S. E. (2016). One more new species of *Buthacus* Birula, 1908 from the region of Ghardaïa, Algeria (Scorpiones: Buthidae). *Arachnida - Rivista Aracnologica Italiana*, 8, 2-11.

Lourenço, W. R., & Sadine, S. E. (2015). A new species of *Buthacus* Birula, 1908 from the region of Ghardaïa, Algeria (Scorpiones, Buthidae). *Revista Ibérica de Aracnología*, 27, 55-59.

Lourenço, W. R., & Sadine, S. E. (2021). The genus *Orthochirus* Karsch, 1891, in Algeria with description of a new species (Scorpiones, Buthidae). *Bulletin de la Société Entomologique de France*, 126(2), 175-181.

Lourenço, W. R., Sadine, S. E., Bissati, S., & Houtia, A. (2017). The genus *Buthacus* Birula, 1908 in northern and central Algeria; description of a new species and comments on possible microendemic populations (Scorpiones: Buthidae). *Rivista Aracnologica Italiana*, 3(12), 18-30.

Magurran, A. E. (1988). *Ecological diversity and its measurement*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey. 179p.

Magurran, A. E. (2004). *Measuring ecological diversity*. Blackwell Science Ltd., UK. 256p.

- Mekahlia, M. N., Abidi, H., Slimane, F., Sadine, S. E., Dekak, A., & Chenchouni, H. (2021). Seasonal patterns of scorpion diversity along a gradient of aridity in Algeria. *Acta Oecologica*, *113*, 103792.
- Morris, E. K., Caruso, T., Buscot, F., Fisher, M., Hancock, C., Maier, T. S., et al. (2014). Choosing and using diversity indices: insights for ecological applications from the German Biodiversity Exploratories. *Ecology and Evolution*, *4*(18), 3514-3524. <https://doi.org/10.1002/ece3.1155>
- Mousaid, M., & Tang, V. (2024). Review of the distribution of *Androctonus amoreuxi* (Audouin, 1825) (Scorpiones: Buthidae) in Morocco. *Serket*, *20*(2).
- Mulleur. (1985). *L'avifaune forestière nicheuse des Vosges du Nord – Sa place dans le contexte médio-Européen*. Thèse de Doctorat ès Sciences. Université de Dijon. 318p.
- Navidpour, S., Jahanifard, E., & Hosseini-Vasoukolaei, N. (2020). Species composition and spatial distribution of scorpions based on eco-environmental variables in provinces along with the Oman Sea and the Persian Gulf in Iran: A GIS-based approach. *Archives of Razi Institute*, *76*(1), 149-160.
- Nazari, M., & Hassan, R. (2016). Study on distribution of scorpions to provide prevention and interventions in combating scorpionism in Poldokhtar County, Lorestan Province, Iran. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, *10*(12), LC05-LC09.
- Ouici, H., El Bouhissi, M., Sadine, S. E., & Abidi, H. (2020). Preliminary study and ecological comments on scorpion diversity in Sidi Bel Abbes region, North-west Algeria. *Serket*, *17*(2), 87-96.
- Özkan, Ö., Adıgüzel, S., Yakıştıran, S., Cesaretli, Y., Orman, M., & Karaer, K. Z. (2006). *Androctonus crassicauda* (Olivier 1807) scorpionism in the Sanliurfa provinces of Turkey. *Türkiye Parazitoloji Dergisi*, *30*(3), 239-245.
- Pavan, M., & Vachon, M. (1954). Sur l'existence d'une substance fluorescente dans les téguments des scorpions (Arachnides). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris*, *239*, 1700-1702.
- Polis, G. A. (Ed.). (1990). *The biology of scorpions*. Stanford University Press. xxiii + 587p.
- Polis, G. A., & McCormick, S. J. (1987). Intraguild predation and competition among desert scorpions. *Ecology*, *68*(2), 332-343.

- Qi, J. X., & Lourenço, W. R. (2007). Distribution of endemic relict groups of Saharan scorpions, with the description of new genus and species from Mauritania. *Comptes Rendus Biologies*, 330(1), 80-85.
- R Core Team. (2016). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Ramade, F. (1984). *Éléments d'écologie — Écologie fondamentale*. Ed. McGraw-Hill, Paris. 397p.
- Saadi, H., Mouane, A., Ramdani, N., Chikha, M., Belkacemi, H., Ali, M. F., ... & Sadine, S. E. (2025). Unveiling scorpionism in Northern Algerian Sahara (El Oued Province): Epidemiological trends and faunistic diversity. *Toxicon*, 108597.
- Sadine, S. E. (2005). *Contribution à l'étude bioécologique de quelques espèces de scorpions : Androctonus australis, Androctonus amoreuxi, Buthacus arenicola, Buthus tunetanus et Orthochirus innesi dans la wilaya de Ouargla*. Mémoire d'Ingénieur. Université de Ouargla, Algérie.
- Sadine, S. E. (2012). *Contribution à l'étude de la faune scorpionique du Sahara septentrional Est algérien (Ouargla et El Oued)*. Mémoire de Magister, Option Zoophytatrie. Université de Ouargla, Algérie. 84p.
- Sadine, S. E. (2018). *La faune scorpionique du Sahara septentrional algérien : Diversité et Écologie*. Thèse de Doctorat. Université Kasdi Merbah-Ouargla, Algérie. 112p.
- Sadine, S. E. (2020). New locality of *Orthochirus innesi* Simon, 1910 in Algeria (Scorpiones: Buthidae). *Serket*, 17(3), 171-175.
- Sadine, S. E., Alioua, Y., & Chenchouni, H. (2012). First data on scorpion diversity and ecological distribution in the National Park of Belezma, Northeast Algeria. *Serket*, 13(1/2), 27-37.
- Sadine, S. E., Alioua, Y., Kemassi, A., Mebarki, M. T., Houtia, A., & Bissati, S. (2014). Aperçu sur les scorpions de Ghardaïa (Algérie). *Journal of Advanced Research in Science and Technology*, 1(1), 12-17.
- Sadine, S. E., Bissati, S., & Lourenço, W. R. (2016). The first true deserticolous species of *Buthus* Leach, 1815 from Algeria (Scorpiones: Buthidae); ecological and biogeographic considerations. *Comptes Rendus Biologies*, 339(1), 44-49.

Sadine, S. E., Bissati, S., & Idder, M. (2018). Diversity and structure of scorpion fauna from arid ecosystem in Algerian Septentrional Sahara (2005-2018). *Serket*, 16, 51-59.

Sadine, S. E., Bissati, S., & Ould El-Hadj, M. D. (2011). Premières données sur la diversité scorpionique dans la région du Souf (Algérie). *Arachnides*, 61, 2-10.

Sadine, S. E., Djilani, S., & Kerboua, K. E. (2020). Overview on scorpions of Algeria. *Algerian Journal of Health Sciences*, 2(1), 8-14.

Sadine, S. E., Souilem, Z., Bengaid, Y., Chedad, A., Djelloud-Souilem, Z., Chebihi, B., Zouaimia, A., Bensakhri, Z., Houhamdi, M., & Zebza, R. (2023). Effects of climate on scorpion diversity in arid ecosystems of the Sahara Desert of Algeria. *Diversity*, 15(4), 541.

Sadine, S. E., Souilem, Z., Chedad, A., Chebihi, B., Zebza, R., Houhamdi, M., & Ythier, E. (2024). A new species of *Buthacus* Birula, 1908 from the Algerian Saharan Desert (Scorpiones: Buthidae). *Faunitaxys*, 12(9), 1-9.

Seiter, M., & Turiel, C. (2013). First record of *Androctonus australis* (Linnaeus, 1758) from Jordan (Scorpiones: Buthidae). *Revista Ibérica de Aracnología*, 23, 95-98.

Souilem, Z., Sadine, S. E., Ait Hammou, M., & Houhamdi, M. (2025a). Range extension of *Buthiscus bicalcaratus* Birula, 1905 in Algeria (Scorpiones: Buthidae). *Revista Ibérica de Aracnología*, 47(2), 151-154.

SOUILEM, Z., SADINE, S. E., ROUARI, L., CHEDAD, A., ZEBZA, R., & HOUHAMDI, M. (2025b). Diversity and distribution of scorpions according to habitats in the arid ecosystems of the central Algerian Sahara. *Biharean Biologist*, 19(2), 118-128.

Stockmann, R., & Ythier, E. (2010). *Scorpions of the World*. N.A.P. Editions.

Stockmann, M., Turiel, C., Althoff, F., Lowe, G., & Kovařík, F. (2016). First report of *Lissothus occidentalis* Vachon, 1950 (Scorpiones: Buthidae) from Morocco and Western Sahara, with notes on ecology and captive breeding. *Euscorpius*, 235, 1-12.

Souilem, Z., Sadine, S. E., Rouari, L., Chedad, A., Zebza, R., & Houhamdi, M. (2025). Diversity and distribution of scorpions according to habitats in the arid ecosystems of the central Algerian Sahara. *Biharean Biologist*, 19(2), 118-128.

Vachon, M. (1942). Remarques sur un scorpion prédésertique peu connu *Buthiscus bicalcaratus* Birula. *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 2ème série*, 14(6), 419-421.

Vachon, M. (1948). Études sur les scorpions (suite). Chapitre III (suite). Description des scorpions du Nord de l'Afrique. *Archives de l'Institut Pasteur d'Algérie*, 26, 162-208.

Vachon, M. (1950). Etudes sur les scorpions. III (suite). Description des scorpions du Nord de l'Afrique. *Archives de l'Institut Pasteur d'Algérie*, 28, 152-216.

Vachon, M. (1952). *Étude sur les scorpions*. Institut Pasteur d'Algérie, 482p.

Vachon, M. (1974). Etude des caractères utilisés pour classer les familles et les genres de scorpions (Arachnides). 1. La trichobothriotaxie en arachnologie. Sigles trichobothriaux et types de trichobothriotaxie chez les scorpions. *Bulletin du Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 3ème série*, 140(104), 857-958.

Vial, Y., & Vial, M. (1974). *Sahara, milieu vivant : Guide du voyageur naturaliste*. Coll. Couleurs de la Nature. Hatier, Paris. 223p.

Weesie, P. D. M., & Belemsobgo, U. (1997). Les rapaces diurnes du Ranch de gibier de Nazinga (Burkina Faso). *Alauda*, 65(3), 263-278.

Yağmur, E. A., Benali, N., & Derradj, L. (2025). *Lissothus guezzamensis* sp. nov. from In Guezzam Region, Algeria (Scorpiones: Buthidae). *Commagene Journal of Biology*, 9(2), 151-157.

Ythier, E., & Lourenço, W. R. (2023). A new species of *Buthiscus* Birula, 1905 (Scorpiones: Buthidae) from the Adrar des Ifoghas, Mali. *Faunitaxys*, 11(22), 1-7.

Ythier, E., Sadine, S. E., Alioua, Y., & Lourenço, W. R. (2025). A new species of *Androctonus* Ehrenberg, 1828 from the Tassili n'Ajjer, Algeria (Scorpiones: Buthidae). *Faunitaxys*, 13(8), 1-8.

Ythier, E., Sadine, S. E., Bengaid, Y., & Lourenço, W. R. (2024). A new species of *Scorpio* Linnaeus, 1758 from Algeria (Scorpiones: Scorpionidae) and a new case of vicariance.

Ythier, E., Sadine, S. E., Haddadi, M. L., & Lourenço, W. R. (2021). A new species of *Buthus* Leach, 1815 from Algeria (Scorpiones: Buthidae) and an interesting new case of vicariance. *Faunitaxys*, 9(21), 1-9.

Zhang, Y., & Ji, X. (2004). The thermal dependence of food assimilation and locomotor performance in southern grass lizards, *Takydromus sexlineatus* (Lacertidae). *Journal of Thermal Biology*, 29, 45-53.

Zekri, W. (2023). *Étude de la diversité génétique des scorpions (Scorpiones) dans le Sud des Aurès, Algérie*. Thèse de Doctorat. Université Mohamed Khider Biskra, Algérie. 132p.