



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLICUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE  
جامعة باجي مختار - عنابة  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA



FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE  
LABORATOIRE DE BIOLOGIE ANIMALE APPLIQUEE

THESE EN VUE DE L'OBTENTION D'UN DIPLOME DE DOCTORAT (LMD)

Spécialité: BIOLOGIE ANIMALE ENVIRONNEMENTALE

Option : PHYSIO-TOXICOLOGIE

Intitulé

Biosurveillance de l'environnement dans la région Est :  
mesure de biomarqueurs chez *Helix aspersa* et  
corrélation avec les caractéristiques physico-chimiques  
des sols

Presentée par : M. Rabah LARBA

Membre de Jury:

Mme Nadia ARIBI	Pr.	Président	Université Annaba
M. Nouredine SOLTANI	Pr.	Directeur de thèse	Université Annaba
Mme Amina DAMERDJI	MCA	Examineur	Université Tlemcen
M. Rabah BENSALD	Pr.	Examineur	Université Skikda
M. Hamid BOUDJELIDA	Pr.	Examineur	Université Annaba

Année universitaire: 2013/2014

## *Remerciements*

*Le plus grand merci à dieu qui est le seul à guider dans le bon sens durant ma vie et qui m'a aidé à réaliser ce modeste travail.*

*En premier lieu, je tiens tout particulièrement à remercier le Professeur **Noureddine SOLTANI**, Professeur au Département de biologie et Directeur du Laboratoire de Biologie Animale Appliquée, directeur de cette thèse, pour m'avoir accueillie au sein de son équipe de recherche depuis mon Master. Ses nombreux conseils, sa qualité d'écoute, son exigence scientifique ainsi que sa confiance ont été précieux et m'ont permis de mener à terme cette recherche, dans les meilleures conditions.*

*Mes plus vifs remerciements à Madame **Nadia ARIBI**, Professeur à l'Université d'Annaba, pour sa disponibilité et pour avoir fait présider ce jury, je lui exprime toute ma gratitude.*

*Toute ma reconnaissance à Madame **Amina DAMERDJI**, Maître de conférence à l'Université de Tlemcen pour avoir pris sur son temps et accepté d'examiner ce travail et participer à ce jury.*

*Je remercie également Monsieur **Rabah BENSALID**, Professeur à l'Université de Skikda, pour l'immense privilège qu'elle me fait en acceptant d'examiner ce travail.*

*Je tien à remercier Monsieur **Hamid BOUDJELIDA**, Professeur à l'université d'Annaba, de me faire l'honneur de bien vouloir juger ce travail, je vous prie d'accepter le témoignage de ma respectueuse reconnaissance.*

*Je fais part de mes sincères remerciements à Monsieur Mesbah LEHOUAL, Professeur à l'université de Djijel, pour son aide efficace lors de la réalisation de dosage des éléments traces métalliques dans le sol.*

*Un grand remerciement à Mlle Nadjoua ZAIDI Maître de conférences -A- à l'Université de Skikda pour sa disponibilité et les conseils qu'elle m'a apportée, et surtout son aide. MERCI*

*Je remercie également Mesdames : Nadia SOLTANI-MAZOUNI et Dahbia HABES Professeurs au Département de biologie, pour leur soutien, leurs orientations au cours de ma formation.*

*Un remerciement spécial pour ma promotion « PHYSIO-TOXICOLOGIE » Fatma-Zohra 'Imene' BOUMAZA, Neila NEDJI, Radia MEBARKI, Soumaya BELABED, Massaouda GUEMOUDA pour leur aides et leurs disponibilités dans le laboratoire.*

*Un grand remerciement aux docteurs Melle Amel HAMDANI Maître de conférences -A- à l'université d'Annaba et Mesdames Akila AMIRA et Salima CHOUAHDA Maitres de conférences -A- à l'Université d'El-Tarf qui ont participé de près à la réalisation de cette thèse, qu'il trouve ici l'expression de toute ma gratitude.*

*Enfin, je remercie vivement toutes les personnes qui m'ont épaulé et aidé au cours de ce travail, ma mère, mes frères, mes sœurs, ma famille, mes amis, mes collègues, les membres du Laboratoire de Biologie Animal Appliqué, tout le personnel du département de Biologie et tous les autres que j'ai pu oublier.*

***Merci à tous***

## Liste des figures

N°	Titre	Page
<b>01</b>	Localisations géographique des sites d'étude ; 1 : El-Hadjar, 2 : Ben M'hidi, 3 : Sidi Kaçi, 4 : Bouteldja, 5 : El-Tarf, 6 : El-Kala.	<b>9</b>
<b>02</b>	Principe de fonctionnement de la Spectrophotomètre d'Absorption Atomique.	<b>16</b>
<b>03</b>	Les paramètres de biométrie mesurées chez <i>Helix aspersa</i> ; l'hauteur (H) et le diamètre (D).	<b>17</b>
<b>04</b>	Anatomie externe d'un escargot (www.nature-scientia.com).	<b>21</b>
<b>05</b>	Anatomie interne d'un escargot (www.nature-scientia.com).	<b>22</b>
<b>06</b>	Les différents organes prélevés (la tête et l'hépatopancréas).	<b>24</b>
<b>07</b>	Liste des espèces malacologiques inventoriées dans la région de l'Est Algérien durant la période de Février 2010 à Janvier 2011. (www.nature-scientia.com).	<b>28</b>
<b>08</b>	Structure des Gastéropodes pulmonés au niveau des sites étudiés durant la période du printemps (Mars, Avril et Mai) de l'année 2010.	<b>31</b>
<b>09</b>	Structure des Gastéropodes pulmonés au niveau des sites étudiés durant la période d'été (Juin, Juillet et Aout) de l'année 2010.	<b>32</b>
<b>10</b>	Structure des Gastéropodes pulmonés au niveau des sites étudiés durant la période d'automne (Septembre, Octobre et Novembre) de l'année 2010.	<b>33</b>
<b>11</b>	Structure des Gastéropodes pulmonés au niveau des sites étudiés durant la période d'hiver (Février et Décembre et 2010, Janvier 2011) de l'année 2010	<b>35</b>
<b>12</b>	Variation saisonnière de la température dans les sites d'étude durant la période de Février 2010 à Janvier 2011. (m±s, n=12).	<b>47</b>
<b>13</b>	Variation saisonnière du pH eau dans les sites d'étude durant la période de Février 2010 à Janvier 2011. (m±s, n=12).	<b>48</b>
<b>14</b>	Variation saisonnière de l'humidité dans les sites d'étude durant la période de Février 2010 à Janvier 2011. (m±s, n=12).	<b>48</b>
<b>15</b>	Variation saisonnière du taux de matière organique dans les sites d'étude durant la période de Février 2010 à Janvier 2011. (m±s, n=12).	<b>49</b>
<b>16</b>	Variation saisonnière du taux de salinité dans les sites d'étude durant la période de Février 2010 à Janvier 2011. (m±s, n=12).	<b>50</b>
<b>17</b>	Variation saisonnière du taux de porosité dans les sites d'étude durant la période de Février 2010 à Janvier 2011. (m±s, n=12).	<b>50</b>
<b>18</b>	Variation saisonnière du taux de calcaire actif dans les sites d'étude durant la période de Février 2010 à Janvier 2011. (m±s, n=12).	<b>51</b>

<b>19</b>	Concentration de Fer dans le sol des sites étudiés (mg/g de sol) durant la saison de l'été et de l'hiver de l'année 2010 (m±s, n=3).	<b>53</b>
<b>20</b>	Concentration de Manganèse dans le sol des sites étudiés (mg/g de sol) durant la saison de l'été et de l'hiver de l'année 2010 (m±s, n=3).	<b>56</b>
<b>21</b>	Concentration de Plomb dans le sol des sites étudiés (mg/g de sol) durant la saison de l'été et de l'hiver de l'année 2010 (m±s, n=3).	<b>58</b>
<b>22</b>	Concentration du Cadmium dans le sol des sites étudiés (mg/g de sol) durant la saison de l'été et de l'hiver de l'année 2010 (m±s, n=3).	<b>61</b>
<b>23</b>	Activité spécifique de l'acétylcholinestérase ( $\mu\text{Mol}/\text{mn}/\text{mg}$ de protéines) dans la tête d' <i>Helix aspersa</i> récoltés dans différents sites (m±s ; n=12).	<b>64</b>
<b>24</b>	Activité spécifique la glutathion S-transférase ( $\mu\text{Mol}/\text{mn}/\text{mg}$ de protéines) dans l'hépatopancréas d' <i>Helix aspersa</i> récoltés dans différents sites (m±s ; n=12).	<b>66</b>

## Liste des tableaux

N°	Titre	Page
<b>01</b>	Coordonnées géographiques des sites étudiés dans le Nord-est de l'Algérie.	<b>8</b>
<b>02</b>	La gamme de pH des sols (Gauchers & Solter, 1981).	<b>10</b>
<b>03</b>	Echelle de la texture selon Jamagne (1980).	<b>11</b>
<b>04</b>	des sols d'après leur teneur en matière organique (Gauchers (1968).	<b>12</b>
<b>05</b>	Echelle de la conductivité électrique du sol Delaunois (1976).	<b>12</b>
<b>06</b>	Classification des sols d'après leurs teneurs en calcaire, Duchauffour (1970).	<b>14</b>
<b>07</b>	Classification des sols d'après leur porosité Delaunois (1976).	<b>15</b>
<b>08</b>	Conditions particulières d'analyse pour la détermination des éléments traces dans les sols (Juste, 1988).	<b>16</b>
<b>09</b>	Catégorie de la fréquence selon Dajoz (1985).	<b>18</b>
<b>10</b>	Catégories de la constance Selon Dajoz (1971).	<b>19</b>
<b>11</b>	La gamme d'étalonnage des protéines.	<b>27</b>
<b>12</b>	Liste des espèces malacologiques recensées dans les six sites d'études (Février 2010 à janvier 2011).	<b>28</b>
<b>13</b>	Moyenne des poids (g), hauteurs (mm) et diamètres (mm) des gastéropodes récoltés dans les différents sites durant la saison printanière (Mars, Avril et Mai 2010).	<b>36</b>
<b>14</b>	Moyenne des poids (g), hauteurs (mm) et diamètres (mm) des gastéropodes récoltés dans les différents sites durant la saison de l'été (Juin, Juillet et Aout 2010).	<b>36</b>
<b>15</b>	Moyenne des poids (g), hauteurs (mm) et diamètres (mm) des gastéropodes récoltés dans les différents sites durant la saison (Septembre, Octobre et Novembre 2010).	<b>37</b>
<b>16</b>	Moyenne des poids (g), diamètres (mm), hauteurs (mm) des gastéropodes dans les six sites durant la période de l'hiver (Décembre et Février 2010, Janvier 2011).	<b>38</b>
<b>17</b>	Richesse totale et moyenne des espèces récoltées dans les six sites d'étude durant la période du printemps (Mars, Avril et Mai 2010).	<b>38</b>
<b>18</b>	Fréquence centésimale (%) des espèces récoltées dans les six sites d'étude durant la période du printemps (Mars, Avril et Mai 2010).	<b>39</b>

<b>19</b>	La constance (%) des espèces récoltées dans les six sites d'étude durant la période du printemps (Mars, Avril et Mai 2010).	<b>40</b>
<b>20</b>	Indice de diversité de Shanon-Weaver (H') et l'équitabilité (E) des gastéropodes dans les six sites d'étude durant la période du printemps (Mars, Avril et Mai 2010).	<b>40</b>
<b>21</b>	Richesse totale et moyenne des gastéropodes dans les cinq sites d'étude en période estivale (Juin, Juillet et Aout 2010).	<b>41</b>
<b>22</b>	Fréquence centésimale (%) des espèces récoltées dans les six sites d'étude durant la période de l'été (Juin, Juillet et Aout 2010).	<b>41</b>
<b>23</b>	La constance (%) des espèces récoltées dans les six sites d'étude durant la période de l'été (Juin, Juillet et Aout 2010).	<b>42</b>
<b>24</b>	Indice de diversité de Shanon-Weaver (H') et l'équitabilité (E) des gastéropodes dans les cinq sites d'étude en période estivale (Juin, Juillet et Aout 2010).	<b>42</b>
<b>25</b>	Richesse totale et moyenne des gastéropodes dans les cinq sites d'étude en période automnale (Septembre, Octobre et Novembre 2010).	<b>43</b>
<b>26</b>	Fréquence centésimale (%) des espèces récoltées dans les six sites d'étude durant la période de l'automne (Septembre, Octobre et Novembre 2010).	<b>43</b>
<b>27</b>	La constance (%) des espèces récoltées dans les six sites d'étude durant la période de l'automne (Septembre, Octobre et Novembre 2010).	<b>44</b>
<b>28</b>	Indice de diversité de Shanon-Weaver (H') et l'équitabilité (E) des gastéropodes dans les cinq sites d'étude en période automnale (Septembre, Octobre et Novembre 2010)	<b>44</b>
<b>29</b>	Richesse totale et moyenne des gastéropodes dans les cinq sites d'étude en période hivernale (Décembre et Février 2010, Janvier 2011).	<b>45</b>
<b>30</b>	Fréquence centésimale (%) des espèces récoltées dans les six sites d'étude durant la période de l'hiver (Décembre et Février 2010, Janvier 2011).	<b>45</b>
<b>31</b>	La constance (%) des espèces récoltées dans les six sites d'étude durant la période de l'hiver (Décembre et Février 2010, Janvier 2011).	<b>46</b>
<b>32</b>	Indice de diversité de Shanon-Weaver (H') et l'équitabilité (E) des gastéropodes dans les cinq sites d'étude en période de l'hiver (Décembre 2010, Janvier et Février 2011)	<b>53</b>
<b>33</b>	Concentration de Fer dans le sol des sites étudiés ( $\mu\text{g/g}$ de poids sec de sol) pendant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ , $n=12$ ). Test de Tukey : les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes ( $P > 0,05$ ).	<b>53</b>
<b>34</b>	Concentration de Fer dans le sol des sites étudiés ( $\mu\text{g/g}$ de poids sec de sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ , $n=12$ ). Analyse de la variance à deux critères de classification.	<b>54</b>
<b>35</b>	Concentrations de Manganèse dans le sol des sites étudiés ( $\mu\text{g/g}$ de poids sec de sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ , $n=12$ ). Test de Tukey : les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes ( $P > 0,05$ ).	<b>55</b>

<b>36</b>	Concentration de Manganèse dans le sol des sites étudiés (mg/g de poids sec sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ , $n=12$ ). Analyse de la variance à deux critères de classification.	<b>56</b>
<b>37</b>	Concentration du Plomb dans le sol des sites étudiés ( $\mu\text{g/g}$ de poids sec de sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ , $n=12$ ). Test de Tukey : les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes ( $P > 0,05$ ).	<b>58</b>
<b>38</b>	Concentration du Plomb dans le sol des sites étudiés ( $\mu\text{g/g}$ de poids sec de sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ , $n=12$ ). Analyse de la variance à deux critères de classification.	<b>59</b>
<b>39</b>	Concentration de Cadmium dans le sol des sites étudiés ( $\mu\text{g/g}$ de poids sec de sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ , $n=12$ ). Test de Tukey : les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes ( $P > 0,05$ ).	<b>60</b>
<b>40</b>	Concentration de Cadmium dans le sol des sites étudiés ( $\mu\text{g/g}$ de poids sec de sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ , $n=12$ ). Analyse de la variance à deux critères de classification.	<b>61</b>
<b>41</b>	Concentration des éléments traces métalliques (Fer, Manganèse, Plomb et Cadmium) dans le sol des sites étudiés ( $\mu\text{g/g}$ de poids sec de sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ , $n=12$ ). Analyse de la variance à trois critères de classification.	<b>62</b>
<b>42</b>	Activité spécifique de l'acétylcholinestérase ( $\mu\text{Mol/mn/mg}$ de protéines) dans la tête de l' <i>helix aspersa</i> récoltés dans différents sites ( $m \pm s$ , $n=12$ ). Test de Tukey : les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes ( $P > 0,05$ ).	<b>63</b>
<b>43</b>	Activité spécifique de l'acétylcholinestérase ( $\mu\text{Mol/mn/mg}$ de protéines) dans la tête de l' <i>Helix aspersa</i> récoltés dans différents sites ( $m \pm s$ , $n=12$ ). Analyse de la variance à deux critères de classification.	<b>64</b>
<b>44</b>	Activité spécifique de la glutathion S-transférase ( $\mu\text{Mol/mn/mg}$ de protéine) dans l'hépatopancréas d' <i>Helix aspersa</i> récoltés dans différent sites ( $m \pm s$ , $n=12$ ). Test de Tukey : les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes ( $P > 0,05$ ).	<b>66</b>
<b>45</b>	Activité spécifique de la Glutathion S-transférase ( $\mu\text{Mol/mn/mg}$ de protéines) dans l'hépatopancréas d' <i>helix aspersa</i> récoltés dans différent sites ( $m \pm s$ , $n=12$ ). Analyse de la variance à deux critères de classification.	<b>67</b>
<b>46</b>	Limites de détection des métaux lourds (g/Kg) dans les sols (AFNOR, 1996).	<b>74</b>

## Liste des abréviations

**GPT** : Gastéropodes pulmonés terrestres

**MO** : Matière organique

**ETM** : Eléments traces métalliques

**Fe** : Fer

**Mn** : Manganèse

**Pb** : Plomb

**Cd** : Cadmium

**SAA** : Spectrophotométrie d'Absorption Atomique

**S** : Richesse spécifique

**F** : Fréquence centésimale

**C** : Constance

**H'** : Indice de Shanon– Weaver

**E** : Indice de l'Equirépartition

**AChE** : Acétylcholinestérase

**GST** : Glutathion S-transférase

## Sommaire

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

<b>1. Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Matériel et méthodes.....</b>	<b>7</b>
<b>2.1. Présentation des sites d'étude.....</b>	<b>7</b>
2.1.1. Site d'El-Hadjar.....	7
2.1.2. Site de Ben M'hidi.....	7
2.1.3. Site de Sidi Kaçi.....	7
2.1.4. Site de Bouteldja.....	7
2.1.5. Site d'El-Tarf .....	8
2.1.6. Site d'El-Kala.....	8
<b>2.2. Analyse des propriétés physico-chimique du sol .....</b>	<b>9</b>
2.2.1. Technique d'échantillonnage de sol.....	9
2.2.2. Température.....	9
2.2.3. PH eau .....	10
2.2.4. Texture.....	10
2.2.5. Matière organique.....	11
2.2.6. Conductivité électrique (salinité).....	12
2.2.7. Calcaire.....	13
2.2.8. Porosité.....	14
<b>2.3. Extraction et dosage des éléments traces métalliques par la SAA.....</b>	<b>15</b>

<b>2.4. Technique d'échantillonnage, inventaire et clés d'identification.....</b>	<b>17</b>
<b>2.5. Biométrie des espèces inventoriées.....</b>	<b>17</b>
<b>2.6. Indices écologiques.....</b>	<b>17</b>
2.6.1. Indices de composition.....	18
2.6.2. Indices de structures.....	19
<b>2.7. Matériel Biologique <i>Helix aspersa</i>.....</b>	<b>20</b>
2.7.1. Présentation et classification de l'espèce.....	20
2.7.2. Distribution d' <i>helix aspersa</i> .....	20
2.7.3. Anatomie de l'escargot.....	21
2.7.3.1. Anatomie externe de l'escargot.....	21
2.7.3.2. Anatomie interne de l'escargot.....	22
2.7.4. Rythme d'activité .....	22
2.7.5. Estivation et hibernation.....	22
2.7.6. Croissance.....	23
2.7.7. Reproduction.....	23
<b>2.8. Dissection et prélèvement des organes.....</b>	<b>24</b>
<b>2.9. Extraction et dosage des biomarqueurs.....</b>	<b>24</b>
2.9.1. Dosage de l'acétylcholinestérase.....	24
2.9.2. Dosage de la glutathion s–transférase.....	25
2.9.3. Extraction et dosage des protéines.....	26
<b>2.10. Traitement statistiques des données.....</b>	<b>27</b>
<b>3. Résultats.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1. Détermination des espèces dans les zones d'étude.....</b>	<b>28</b>
<b>3.2. Structure des Gastéropodes Pulmonés Terrestres recensés.....</b>	<b>28</b>
3.2.1. Structure en période printanière.....	28
3.2.2. Structure en période estivale.....	29
3.2.3. Structure en période automnale.....	31

---

3.2.4. Structure en période hivernale.....	32
<b>3.3. Variation saisonnière des paramètres biométriques des Gastéropodes.....</b>	<b>34</b>
3.3.1. Données biométriques en période printanière.....	34
3.3.2. Données biométriques en période estivale.....	35
3.3.3. Données biométriques période automnale.....	36
3.3.4. Données biométriques période hivernale.....	37
<b>3.4. Indices écologiques.....</b>	<b>39</b>
3.4.1.1. Indices de composition en printemps.....	39
3.4.1.2. Indices de structures en printemps.....	41
3.4.2.1. Indices de composition en été.....	42
3.4.2.2. Indices de structures en été.....	44
3.4.3.1. Indices de composition en automne.....	45
3.4.3.2. Indices de structures en automne.....	47
3.4.4.1. Indices de composition en hiver.....	48
3.4.4.2. Indices de structures en hiver.....	50
<b>3.5. Caractéristiques physico-chimiques des sols d'échantillonnage.....</b>	<b>50</b>
3.5.1. Variation saisonnière des valeurs de température.....	50
3.5.2. Variation saisonnière des taux du pH eau.....	51
3.5.3. Variation saisonnière de l'humidité.....	51
3.5.4. Variation saisonnière de la matière organique.....	52
3.5.5. Variation saisonnière de la salinité.....	52
3.5.6. Variation saisonnière de la porosité.....	53
3.5.7. Variation saisonnière du calcaire actif.....	54
<b>3.6. Concentration des éléments traces métalliques dans les sols étudiés.....</b>	<b>54</b>
3.6.1. Comparaison des concentrations de Fer dans le sol.....	54
3.6.2. Comparaison des concentrations de Manganèse dans le sol.....	56
3.6.3. Comparaison des concentrations du Plomb dans le sol.....	58
3.6.4. Comparaison des concentrations de Cadmium dans le sol.....	59

---

3.7. Dosage des biomarqueurs du stress environnemental chez <i>helix aspersa</i> .....	61
3.7.1. Activité saisonnière de l'acétylcholinestérase.....	62
3.7.2. Activité saisonnière de la glutathion S-transférase.....	64
4. Discussion.....	68
4.1. Inventaire des Gastéropodes pulmonés terrestres.....	68
4.2. Biométrie des Gastéropodes pulmonés terrestres.....	69
4.3. Etude écologique.....	69
4.4. Paramètres physico-chimiques des sols.....	70
4.5. Influence des paramètres physico-chimiques sur la biodiversité.....	72
4.6. Dosage des éléments traces métalliques dans les sols.....	72
4.7. Mesure des biomarqueurs du stress environnemental.....	74
4.7.1. Activité de la glutathion S-transférase .....	75
4.7.2. Activité de l'acétylcholinestérase .....	77
5. Conclusion et perspectives.....	79
6. Résumés.....	81
Français.....	81
Anglais.....	82
Arab.....	83
7. Références Bibliographiques.....	84
8. Annexes.....	100

## 1. INTRODUCTION

L'écotoxicologie est une discipline relativement récente, qui a pour objet l'étude du comportement et du devenir des polluants dans les écosystèmes, ainsi que leurs effets sur la structure et le fonctionnement des communautés et des écosystèmes (Forbes & Forbes, 1997; Walker *et al.*, 2006 ; Ramade, 2007 ; Boyd, 2010). Cette définition montre que l'écotoxicologie est par essence interdisciplinaire, au carrefour entre la chimie environnementale, la toxicologie et l'écologie. L'émergence des problématiques de protection des écosystèmes et de la biodiversité depuis les années 1970, et plus encore actuellement avec la prise de conscience mondiale des effets anthropiques sur le fonctionnement des écosystèmes (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). Les points clés en développement dans la recherche en écotoxicologie concernent les changements d'échelles : spatiales et temporelles et les relations des processus entre niveaux d'organisation biologique (Cairns & Nlederlehner, 1996 ; Akçakaya, 2001; Hope, 2005 ; Mineau, 2005 ; Tannenbaum, 2005 ; Fairbrother *et al.*, 2007 ; Kapustka, 2008). L'utilisation des outils employés en écologie fonctionnelle et évolutive, en écologie du paysage et en géostatistiques dans le cadre d'études en écotoxicologie aideraient à améliorer la compréhension des mécanismes qui régissent le devenir et les effets des polluants dans l'environnement en les replaçant dans leur contexte écologique (Ares, 2003 ; Van Straalen, 2003 ; Carlsen *et al.*, 2004). Ce type de démarche a montré son intérêt dans l'étude des transferts de contaminants biologiques et la prédiction des risques de transmission en éco-épidémiologie (Danson *et al.*, 2003 ; Kitron *et al.*, 2006 ; Danson *et al.*, 2008 ; Pleydell *et al.*, 2008 ; Yang *et al.*, 2008 ; Johnson *et al.*, 2009). Principalement en raison de son origine historique liée à la toxicologie, l'étude des effets des polluants en écotoxicologie en milieu terrestre a surtout été menée à des niveaux biochimiques, cellulaires, tissulaires, et individuels (Viard-La Rocca, 2004 ; Grara, 2011). Pourtant, parmi les besoins actuels identifiés pour l'évaluation du risque environnemental lié aux polluants, la nécessité de lier les effets à différents niveaux d'organisation biologique et l'extrapolation des résultats obtenus en conditions contrôlées aux situations de terrain sont soulignés (Lagadic *et al.*, 1997 ; Tannenbaum, 2001 ; Dobson & Shore, 2002 ; Mineau, 2005 ; Tannenbaum, 2005). Depuis les années 1990, de nombreux auteurs ont fait apparaître la nécessité et l'intérêt de considérer les impacts des polluants d'un point de vue écologique et non plus seulement toxicologique : l'écotoxicologie devenant en ce sens une écologie du

stress, les polluants étant considérés comme des stressseurs environnementaux au même titre que les autres contraintes écologiques (Van Straalen, 2003 ; Van den Brink, 2008).

Le sol est certainement la composante de l'environnement la plus mal connue alors qu'il constitue le support direct de la plupart des activités humaines. Ce n'est que récemment, et souvent à la suite de la mise en évidence de la pollution des sols par les activités industrielles ou agricoles (McBride, 1994 ; Saltiene *et al.*, 2002 ; Chapman *et al.*, 2003), que l'on a pris conscience de l'importance des fonctions du sol et de la nécessité de les sauvegarder. En effet le sol joue un rôle essentiel comme interface de l'environnement vis-à-vis des principales pollutions provoquées par l'homme (Calvet, 2003). Un sol est considéré pollué lorsque la dégradation de sa qualité par l'apport anthropique d'élément toxique peut porter atteinte à la santé humaine ou/et à l'environnement (Promeyrat, 2001). La présence d'un polluant dans le sol n'est pas en soit un danger (Chaussod, 1996). Le risque apparaît dès que ce polluant peut être mobilisé et agit sur l'environnement (faune, flore) ou sur l'homme (Garrett, 2000 ; Sánchez- Martin *et al.*, 2000; Lee *et al.*, 2006). Les outils actuellement utilisés reposent sur des propriétés physiques et chimiques du sol (Viard-La Rocca, 2004), alors que les paramètres biologiques intègrent l'ensemble de stress environnementaux (pollution chimique, état physique du sol, variations climatiques, modifications biologiques ...) renseignant ainsi sur l'état global du sol.

Les ETMs dans les sols proviennent de différentes sources. Les ETMs endogènes sont hérités du matériau parental, redistribués par les processus pédogénétiques et constituent le fond pédogéochimique (Baize, 1997). La concentration naturelle de ces éléments dans les sols varie selon la nature de la roche, sa localisation, son âge et de la nature de l'élément (Gimbert, 2006). Les ETMs exogènes peuvent être d'origine naturelle (érosion, émissions volcaniques, feux de forêt) (Garrett, 2000) ou anthropiques (Senesi *et al.*, 1999). Trois principaux types de pollutions anthropiques sont responsables de l'augmentation des flux de métaux : La pollution industrielle qui émet dans l'environnement (air, sol, eau) de nombreux ETMs provenant principalement des activités métallurgiques telles que le traitement des minerais, l'exploitation minière ou des processus industriels comme le recyclage du plomb des batteries ou la fabrication de peintures. Il faut distinguer les apports diffus d'origine lointaine, des apports ponctuels localisés d'origine proche. Dans les apports diffus sont classés les poussières et aérosols pouvant parcourir des centaines de kilomètres à partir de leur source

avant de se déposer (Godin *et al.*, 1985 ; Merian *et al.*, 2004). Les apports localisés résultent de rejets anthropiques liés aux activités industrielles de longue durée sans protection efficace contre la dispersion dans l'environnement (Baize, 1997). La pollution liée aux activités agricoles via l'application de produits ou substances destinés à améliorer les propriétés physico-chimiques du sol. Parmi ces apports il est possible de distinguer : les engrais ; Cd dans les engrais phosphatés (Hamon *et al.*, 1998), les produits phyto-sanitaires (Morgan & Taylor, 2004), les lisiers ; Cu, Zn et Cd (Moore *et al.*, 2006). La pollution urbaine qui regroupe des émissions atmosphériques liées au trafic routier et à l'incinération des ordures ménagères (Denison & Silbergeld, 1988 ; Modrzewska & Wyszowski, 2014) et des rejets solides sous la forme des composts et des boues de station d'épuration épandues dans les champs (Robert & Juste, 1999 ; Mc Bride, 1995).

Les Mollusques l'un des groupes les plus importants qui contribuent à la biodiversité terrestres. Il existe dans le monde de 30.000 à 35.000 espèces de mollusques terrestres (Tsai, 2004). La diversité morphologique est sans doute l'une des mesures les plus intuitives de la variété biologique (Williams & Humphries, 1996). L'inventaire est une discipline qui étudie la biodiversité d'un écosystème (Terver, 1939 ; Chevallier, 1992). La faune malacologique méditerranée riche en gastéropodes terrestres (Bigot, 1965 ; Bigot & Aguesse, 1984), et en particulier la faune algérienne (Boudchiche, 2007 ; Damardji, 2010 ; Douafer & Soltani, 2014).

Ces espèces sont souvent utilisées pour contrôler la pollution de l'air et du sol et l'eau (Dallinger, 1994, Astani *et al.*, 2012). Les mollusques gastéropodes terrestres présentent des caractéristiques physiologiques, biologiques et écologiques variées, permettant ainsi de comparer l'influence de ces différents paramètres sur leurs réponses à la contamination de l'environnement (Gomot de Vaublery & Pihan, 2000 ; Laskowski & Hopkin, 1996b). Les escargots présentent un intérêt tout particulier pour l'étude des transferts et effets des ETMs dans les écosystèmes terrestres (Viar-La rocca, 2004 ; Notten *et al.*, 2006) car ces taxons sont largement répartis à travers le monde et colonisent des milieux diversifiés : ils peuvent donc être présents dans une large variété de sites pollués (Talmage & Walton, 1991; Berger & Dallinger, 1993). De plus, ils présentent des densités de population relativement élevées, permettant ainsi d'obtenir des tailles d'échantillon suffisantes pour étudier le transfert et les effets des polluants en milieu naturel (Viar-La rocca, 2004 ; Notten *et al.*, 2006). Ils sont par

ailleurs connus pour accumuler les ETMs dans leurs tissus, donnant ainsi la possibilité de tracer les transferts de ces éléments (Talmage & Walton, 1991; Berger & Dallinger, 1993). Les gastéropodes terrestres sont exposés aux polluants par ingestion des plantes et du sol contaminés, par contact et diffusion à travers la peau et par la respiration (Van Straalen *et al.*, 2005). Leur aptitude en tant que bioindicateur de la pollution métallique est largement étudiée, par inhibition de la croissance et de la reproduction (Laskowski & Hopkin, 1996a ; Gomot, 1997; Mandoz-Escande *et al.*, 2005) et par l'accumulation des métaux lourds dans leurs tissus (Berger *et al.*, 1993 ; Gomot & Pihan, 2000 ; Laskowski & Hopkin, 1996b, Grara, 2012). L'accumulation des métaux est influencée par les facteurs environnementaux (saison, type de sol, ...) (Viard-La rocca, 2004) et les paramètres biologiques des escargots (age, espèces, ...) (Beeby & Eaves, 1983). De plus, l'effet toxique des substances organiques et inorganiques sur les escargots a été évalué par plusieurs chercheurs (Beeby & Richmond, 2002, 2003 ; Viard *et al.*, 2004 ; Regoli *et al.*, 2005 ; Achuba, 2008). Leur position dans les réseaux trophiques (détritivores/herbivores et carnivores constituant la proie de nombreux vertébrés et invertébrés) favorise leur rôle potentiel de vecteurs de contaminants biologiques et chimiques dans les écosystèmes, tout particulièrement dans le cas des micromammifères (Shore & Rattner, 2001 ; Giraudoux *et al.*, 2002 ; Alvarez *et al.*, 2009). Ils constituent une source d'exposition aux ETMs pour de nombreux invertébrés et vertébrés (mammifères et oiseaux, dont certains sont des espèces protégées), pouvant par conséquent entraîner des risques d'empoisonnement secondaire des prédateurs (Beeby, 1985 ; Jongbloed *et al.*, 1996 ; Laskowski & Hopkin, 1996a ; Shore & Rattner, 2001 ; Scheifler *et al.*, 2002; Wijnhoven *et al.*, 2007).

Parmi les bioindicateurs terrestre, *Helix aspersa* (Müller, 1774) est le modèle biologique utilisé dans cette étude. L'escargot *Helix aspersa* dont sa biologie et écologie est bien étudié (Barker, 2001), est un macroconcentrateur de plusieurs métaux lourds (Dallinger, 1993, Sheifler *et al.*, 2006 ; Nowakowska *et al.*, 2012) et est parmi les espèces les plus utilisées au laboratoire dans les expériences d'écotoxicologie (Russell *et al.*, 1981 ; Sheifler *et al.*, 2003 ; Gomot, 1997 ; Gimbert *et al.*, 2006, Grara, 2011). De plus, plusieurs travaux ont démontré l'existence d'une relation dose-effet chez l'escargot terrestre *Helix aspersa* à l'égard de plusieurs contaminants (Coourdassier *et al.*, 2000 ; de Vaufleury *et al.*, 2006 ; Grara, 2012).

On utilise donc la grande sensibilité des méthodes de biosurveillance pour évaluer la dégradation de certains milieux, mais surtout L'évaluation du risque environnemental et l'écotoxicologie pour contrôler la « santé » de milieux de bonne qualité afin d'intervenir rapidement des l'apparition d'altérations mineures. Parmi ces méthodes on distingue : les biomarqueurs ayant pour but de mettre en évidence de façon précoce une pollution (Vander Oost *et al.*, 2003). Un biomarqueur se définit comme un changement observable et/ou mesurable au niveau moléculaire, biochimique, cellulaire, de l'organisme, de la population ou de l'écosystème qui peut être reliée a une exposition ou a des effets toxiques de polluants chimiques environnementaux (Lagadic *et al.*, 1997 ; Galloway & Depledge, 2001 ; Van der Oost *et al.*, 2003). Les différents travaux scientifiques réalisés ont permis de classer les biomarqueurs suivant la spécificité de leur réponse à certaines molécules polluantes ou à un type d'effet. Ainsi, classiquement, les auteurs distinguent les biomarqueurs d'expositions et les biomarqueurs d'effet (Lagadic *et al.*, 1997 ; Kammenga *et al.*, 2000). Ces changements sont plus sensibles que les paramètres mesurés à un niveau supérieur d'organisation biologique tel que l'organe, l'individu ou la population et sont de meilleurs candidats pour tenter d'établir un lien entre la santé des organismes et les niveaux de pollution. Parmi ces biomarqueurs, on peut citer les monooxygénases à cytochrome P450 (Yang *et al.*, 2004) l'induction de l'activité éthoxyrésorufine-O- deethylase (EROD) (Bisseling *et al.*, 2001; De Boer *et al.*, 2001), les systèmes de régulation du stress oxydant, les marqueurs de dommages à l'ADN (Schröder *et al.*, 2000), les cholinestérases (Williams & Sova, 1996 ; Grue *et al.*, 1997 ; Najimi, 1997), la vitellogénine (Sumpter & Jobling, 1995), ou les protéines du stress (HSP 70) (Nover, 1991 ; Ryan & Hightower, 1996). D'autres biomarqueurs spécifiques au stress oxydatif sont recommandés par des instances internationales pour la biosurveillance de la qualité du milieu aquatique dont le malondialdehyde (MDA) qui est issu de la peroxydation lipidique des acides gras polyinsaturés des membranes cellulaires lors d'un stress oxydatif important (Dewes *et al.*, 2006), le glutathion réduit (GSH) impliqué dans le système de défense antioxydant (Regoli & Principato, 1995; Drarja-Beldi & Soltani, 2003) et la glutathion S-transférase (GST) (Souissi *et al.*, 2008, Radwan *et al.*, 2010).

Annaba est un pole économique et touristique très important, située dans la région Est de l'Algérie. Plusieurs travaux montrent une contamination différente (Semadi & Deruelle, 1978 ; Abdenour *et al.*, 2000, 2004), en particulier la pollution par les métaux lourds (Beldi *et al.*, 2006, Drif & Abdenour, 2010). Dans ce but, nous avons examiné la dégradation d'un

insecticide dans l'eau de mer (Soltani & Morsli, 2003) et dans l'eau douce (Zaidi & Soltani, 2013) et l'évaluation de ses risques écotoxicologiques sur les espèces non-cibles tels que les crevettes (Morsli & Soltani, 2003), poisson (Zaidi & Soltani, 2010, 2011) et mollusque marin (Belabed & Soltani, 2013). Les éléments traces métalliques ont été déterminés chez *Donax trunculus* (Beldi *et al.*, 2006), un mollusque comestible largement distribué dans la côte méditerranéenne (Verlecar *et al.*, 2006). Cette espèce a été utilisée comme bioindicateur de la pollution marine (Sifi *et al.*, 2007; Amira *et al.*, 2011 ; Soltani *et al.*, 2012). Plusieurs réponses des biomarqueurs associés à la pollution de l'environnement ont été testés (Soltani *et al.*, 2012 ; Belabed & Soltani, 2013). Les écosystèmes côtiers sont soumis à plusieurs formes de perturbations, parmi lesquelles les contaminants chimiques d'origine urbaine, agricole, du port et des activités industrielles associées à des niveaux élevés d'urbanisation créent préoccupation majeure (Abdenour *et al.*, 2000 ; Beldi *et al.*, 2006). La pollution industrielle dans la zone de Annaba a été étudiée chez l'espèce *Helix aspersa* (Atailia, 2009 ; Grara, 2011), c'est une espèce dominante dans la région de notre étude (Boudchiche, 2007 ; Douafer & Soltani 2014).

La présente étude s'inscrit dans le programme de biosurveillance de la qualité du sol. On a choisi six sites différents par rapport à la proximité ou leur éloignement des zones industrielles : El-Hadjar, Ben M'hidi et Sidi Kaçi proches de plusieurs complexes industriels, et Bouteldja, El-Tarf et El-Kala éloignés des sources de pollution. L'étude comprend trois parties :

- une première partie concerne l'inventaire, la biométrie et les indices écologiques des espèces de gastéropodes pulmonés existant dans ces sites en vue de choisir une espèce bioindicatrice qui sera retenue pour la biosurveillance.
- une deuxième partie traite de l'analyse physico-chimique des sols des divers sites retenus (température, pH, salinité, humidité, matière organique, porosité et calcaire) et du dosage de quelques éléments traces métalliques (Fer, Plomb, Manganèse et Cadmium) afin de rechercher des corrélations avec la distribution des espèces de gastéropodes inventoriées.
- une troisième partie aborde le dosage de l'acétylcholinestérase et de la glutathion S-transférase chez l'espèce la plus abondante et la plus fréquente *Helix aspersa* utilisée comme espèce sentinelle pour évaluer la qualité des sols.

## **2. Matériel et méthodes**

### **2.1. Présentation des sites d'étude**

#### **2.1.1. El-Hadjar**

C'est une daïra de la wilaya d'Annaba, située à 10Km au Sud-Est de la ville de Annaba. Elle a une superficie de 63 km<sup>2</sup>. Elle bénéficie d'un climat humide. La pluviométrie annuelle dans cette région est de 450 à 600 mm/an. La daïra d'El-Hadjar est frontalière avec les Daïras d'El-Bouni au Nord, Ben M'hidi à l'Est, Ain Berda au Sud et Sidi Ammar à l'Ouest. Elle comprend plusieurs complexes industriels dont Arcelor Mittal qui est considéré comme une source principale de la pollution. Les coordonnées géographiques des différents sites sont données dans le tableau 1.

#### **2.2.2. Ben M'hidi**

C'est une daïra de la wilaya de El-Tarf, située à 25Km à l'Est de la ville de El-Hadjar. Elle a une superficie de 150,65km<sup>2</sup>. Elle bénéficie d'un climat humide. La pluviométrie annuelle dans cette région est de 400 à 600 mm/an. Elle est frontalière avec les Daïras d'El-Chatt au Nord, Bouteldja à l'Est, Drean au Sud et El-Hadjar à l'Ouest. C'est une zone agricole et comprend une usine des produits phytosanitaires.

#### **2.2.3. Sidi Kaçi**

C'est une localité de la daïra de Ben M'hidi située à 3Km à l'Est de la ville de Ben M'hidi et à 28Km à l'Est de la ville d'El-Hadjar. Elle bénéficie d'un climat humide. La pluviométrie annuelle dans cette région est de 400 à 600 mm/an. Elle a une superficie de 21 km<sup>2</sup>. C'est une zone agricole et comprend une usine des produits parapharmaceutiques.

#### **2.2.4. Bouteldja**

C'est une daïra de la wilaya d'El-Tarf, située à 55Km à l'Est de la ville de El-Hadjar. Elle a une superficie de 113,53 km<sup>2</sup>. Elle bénéficie d'un climat humide. La pluviométrie annuelle dans cette région est de 410 à 620 mm/an. Elle est frontalière avec les Daïras de El-Chatt au Nord, El-Tarf à l'Est, Zrizer au Sud et ben M'hidi à l'Ouest. C'est une zone agricole.

### 2.2.5. El-Tarf

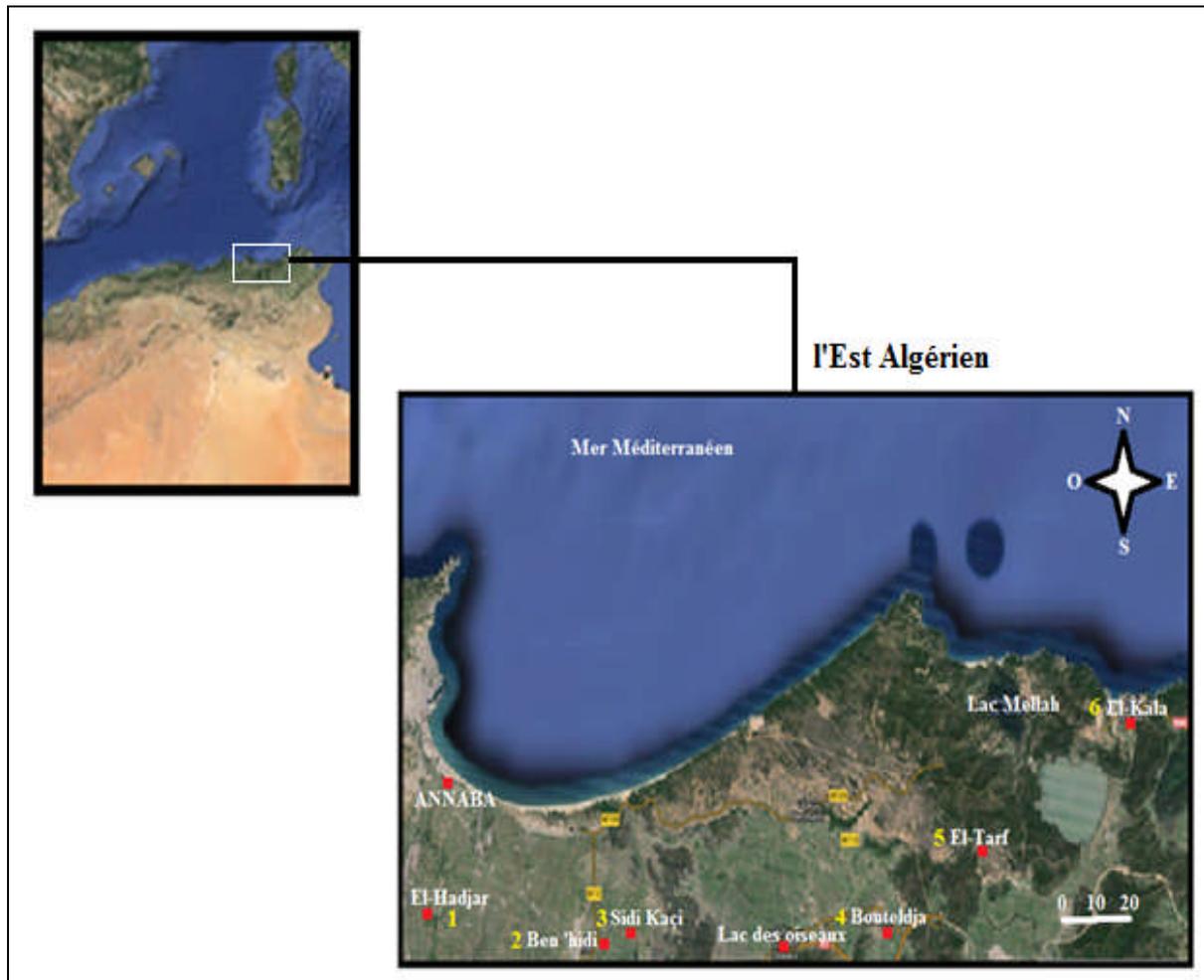
C'est une daïra de la wilaya d'El-Tarf, située à 60Km à l'Est de la ville de El-Hadjar. Elle a une superficie de 111,4 km<sup>2</sup>. Elle bénéficie d'un climat humide. La pluviométrie annuelle dans cette région est de 420 à 620 mm/an. Elle est frontalière avec les Daïras d'El-Chatt au Nord, El-Kala à l'Est, Zrizer au Sud et Bouteldja à l'Ouest. C'est une zone agricole.

### 2.2.6. Le Parc National d'El Kala

Le parc national de El-Kala (P.N.K) a été créé par le décret 83/462 du 13.07.83 et érigé en zone protégée en 1991 par l'UNESCO dans le but d'une conservation du patrimoine naturel Algérien. Il est situé à l'extrême Nord-est Algérien (70 Km à l'Est de Annaba et 80Km à la ville de El-Hadjar), il est limité à l'Est par la frontière Algéro-Tunisienne, au Nord par la Mer Méditerranéenne, à l'Ouest par l'extrémité de la plaine alluviale d'Annaba et enfin au Sud par le contrefort des monts de la Medjerda. Il est servi par un ensemble de conditions naturelles éminemment favorable à une richesse biologique peu commune (Benyakoub & Chabi, 2000), considéré comme une entité de référence sur le plan de la biodiversité en Algérie qui a toujours attiré les naturalistes nationaux et internationaux pour étudier sa faune et sa flore (Semraoui *et al.*, 1993). Il borde la Mer Méditerranéenne et comprend une belle mosaïque d'habitats qui implique une grande diversité biologique notamment au niveau de la faune: Zones humides (trois lacs), forêts de pins et de chênes (dont une rare forêt littorale de Pins d'Alep), zones montagneuses et écosystèmes marins.

**Tableau 1 :** Coordonnées géographiques des sites étudiés dans le Nord-est de l'Algérie.

Sites	Nord	Est
El-Hadjar	36°48'00,36''	7°44'00,00''
Ben M'hidi	36°46'02,06''	7°54'11,64''
Sidi Kaçi	36°45'34,32''	7°58'22,59''
Bouteldja	36°46'57,16''	8°12'00,08''
El-Tarf	36°46'01,58''	8°19'01,84''
El-Kala	36°53'48,55''	8°26'36,80''



**Figure 1 :** Localisation géographique des sites d'étude ; 1 : El-Hadjar, 2 : Ben M'hidi, 3 : Sidi Kaçi, 4 : Bouteldja, 5 : El-Tarf, 6 : El-Kala (PNEK vérifié).

## 2.2. Paramètres physico-chimiques des sols

### 2.2.1. Technique d'échantillonnage et préparation des sols

Les échantillons de sol ont été prélevés manuellement à une profondeur d'environ 10-20 vérifié) cm à l'aide d'une truelle (Koranteng-Addo *et al*, 2011). Les échantillons ont été prélevés mensuellement de façon aléatoire dans chaque site durant la période de Février 2010 à Janvier 2011. Les échantillons de sol ont été conservés dans des sacs en polyéthylène et transportés dans le laboratoire. Les échantillons ont été séchés à l'air libre à l'abri des rayons de soleil dans le laboratoire jusqu'à l'analyse.

### 2.2.2. Température de sol

La température du sol a été mesurée à l'aide d'un thermomètre de terrain.

### 2.2.3. PH eau

Le pH des sols est une donnée essentielle car l'existence d'une phase minérale, sa spéciation et sa toxicité sont autant des paramètres liés au pH du milieu. La mesure de pH se fait fréquemment dans une suspension aqueuse, le rapport de masse de sols au volume d'eau varie suivant les méthodes et la texture du milieu, le ratio le plus souvent rencontrée est de 1/5 (Morel, 1986). Les échantillons (10 g) sont préparés pour l'analyse dans un bécher, on y ajoute 25 ml d'eau distillée, en agite ensuite avec un agitateur magnétique pendant 1 heure. La suspension est ensuite laissée au repos pendant 2 heures à l'abri de l'air, puis on mesure le pH de la suspension. On compare les valeurs du pH selon l'échelle suivante (Tableau 2).

**Tableau 2 :** La gamme de pH des sols (Gauchers & Solter, 1981).

pH	Désignation des sols
3 - 4,5	Extrêmement acides
4,5 – 5	Très fortement acides
5 - 5,5	Très acides
5,5 – 6	Acides
6 - 6,75	Faiblement acides
6,75 – 7,25	Neutres
7,25 – 8,5	Alcalins
8,5	Très alcalins

### 2.2.3. Texture

Elle est réalisée selon la méthode de Gauchers (1968). Pour déterminer la texture du sol, on a utilisé la méthode par saturation qui consiste à mesurer le pourcentage d'humidité du sol (Y) et à le comparer à une échelle qui détermine la texture lui Correspondant (Tableau 3). Tout d'abord on a pris 50 g de sol et on a imbibé d'eau, goutte à goutte tout en mélangeant jusqu'au point où la pâte devienne luisante et glisse doucement lorsqu'on incline le récipient. Ensuite on a suivi les étapes suivantes : 1) Peser une capsule vide (P1). 2) Prendre une petite quantité de pâte (sol mouillé) et la mettre dans la capsule puis repeser (P2). 3) Mettre à l'étuve

à 105°C pendant 24 heures. 4) Peser une troisième fois la capsule à la sortie de l'étuve (P3), le poids correspond donc au poids de la capsule vide + le poids du sol sec.

La texture est mesurée selon la formule suivante :

$$\begin{aligned} \mathbf{X1} &= \mathbf{P2} - \mathbf{P3} \text{ (poids de l'humidité)} \\ \mathbf{X2} &= \mathbf{P3} - \mathbf{P1} \text{ (poids du sol sec)} \end{aligned}$$

**P1** : poids de la capsule vide (g).

**P2** : poids de la capsule + sol mouillé (g).

**P3** : correspond au poids de la capsule vide + le poids du sol sec après la sortie de l'étuve (g).

Ensuite on applique la règle de trois pour calculer le pourcentage d'humidité :

$$\begin{aligned} \mathbf{X1} &\longrightarrow \mathbf{X2 \text{ g de sol sec}} \\ \mathbf{Y} &\longrightarrow \mathbf{100 \text{ g de sol sec}} \end{aligned}$$

**Tableau 3** : Echelle de la texture selon Jamagne (1980).

Humidité (%)	Texture
<12	Sableuse
12-24	Sablo-limoneuse
24-37,5	Limono-sableuse
37,5-45	Limono-argileuse
45-75	Argilo-limoneuse
>75	Argileuse

#### 2.2.4. Dosage de la matière organique

Déterminée selon la méthode de Gauchers (1968) selon les étapes suivantes : On met 0,5 g de sol dans un erlenmeyer, on ajoute 10 ml de bichromate de potassium (8%) avec 15 ml d'acide sulfurique concentré. On laisse bouillir pendant 5 mn sur une plaque chauffante, puis refroidir, transvaser le contenu dans une fiole de 100 ml et ajouter de l'eau jusqu'au trait de jauge. On prend 20 ml de la solution, on l'ajoute à 100 ml d'eau distillée puis on ajoute 2 à 3 gouttes de diphénylamine.

$$\mathbf{C\% = (Y-X) \times 0,615 \text{ mg} \times (100/20) \times (100/P) \times (1/1000)}$$

**Y** : la quantité de sel de Mohr utilisée pour titrer le témoin.

**X** : la quantité de sel de Mohr utilisée pour l'échantillon à doser.

**0,615** : facteur d'équivalence entre le sel de Mohr et le carbone (en mg).

**100/20** : on utilise 20 ml à partir de 100 ml.

**P** : poids du sol sec (1g).

La matière organique calculé comme suit :

<b>% matière organique = % C x 1,72</b>
---

**Tableau 4** : Classification des sols d'après leur teneur en matière organique Gauchers (1968).

<b>Matière organique (%)</b>	<b>Appréciation</b>
<1	Extrêmement faible
1-1,5	Très faible
1,5-2,5	Faible
2,5-3,5	Moyen
3,5-4,5	Moyennement élevé
4,5-5	Elevé
>5	Très élevé

### 2.2.5. Conductivité électrique (salinité)

La conductivité électrique est la mesure du degré de la salinité du sol étudié (Delaunoy, 1976). La détermination de la conductivité électrique se fait sur extrait de sol (rapport sol / eau=1/2,5) à l'aide d'un conductimètre.

**Tableau 5** : Echelle de la conductivité électrique du sol Delaunoy (1976).

<b>Salinité (ms/cm)</b>	<b>Salure</b>
0 – 0,6	Non salé
0,6 – 1,4	Peu salé
1,4 – 2,4	Salé
2,4 – 6	Très salés

### 2.2.6. Calcaire

Pour la détermination du calcaire total, on utilise la propriété de carbonates de calcium de se décomposer sous l'action d'un acide en eau et CO<sub>2</sub> (Duchauffour, 1970). On décompose par un acide fort (acide chlorhydrique) le carbonate de calcium contenue dans l'échantillon de terre et on mesure le volume de gaz carbonique dégagé par la réaction à la température et à la pression atmosphérique :



Le volume de gaz carbonique dégagé lors de la réaction est mesuré à l'aide de calcimètre de Bernard. En comparant les deux volumes, on détermine le taux de carbonates exprimé en carbonate de calcium de l'échantillon de sol. Introduire la prise d'essai de poids P dans une erlènemyer muni d'une extension latérale en doigt contenant 5 mL d'HCl, fermé la fiole on la raccrochant au calcimètre ; faire couler l'HCl sur l'échantillon du sol pour attaquer le carbonate de calcium, Si le sol contient le calcaire, il se produit un dégagement du CO<sub>2</sub> déplaçant l'eau dans la colonne de calcimètre d'un volume V<sub>1</sub>. Procéder de la même manière avec un témoin constitué de 0,3 g CaCO<sub>3</sub> pur, soit V<sub>2</sub> le volume obtenu. Pour calculer le pourcentage du CaCO<sub>3</sub> on applique la formule suivante :

$$\text{CaCO}_3 = \frac{30 V_1}{V_2}$$

Concernant le calcaire actif, il est dosé comme suit : mettre 10 g du sol dans un flacon avec 250 ml d'oxalate d'ammonium (0,2). Ensuite agiter pendant 2 heures à l'aide d'un agitateur mécanique ; on filtre la solution et on prélève 9 ml du filtrat, on complétant par 1 ml d'acide sulfurique et puis on titre le mélange par le permanganate de potassium jusqu'à la coloration rose, avec agitation, le tout sur une plaque chauffante de 60°C.

$$\% \text{ Teneur de calcaire actif} = (N - n) \times 12,5$$

**N** : quantité de permanganate de potassium nécessaire pour titré le témoin.

**n** : quantité de permanganate de potassium nécessaire pour titré l'échantillon.

**Tableau 6:** Classification des sols d'après leurs teneurs en calcaire, Duchauffour (1970).

Calcaire (%)	Désignation des sols
0 – 5	Peu calcaire
5 -15	Moyennement calcaire
15 – 30	Calcaire
> 30	Très calcaire

### 2.2.7. Porosité

La détermination de la porosité (Delaunoy, 1976) totale de petits agrégats de terre conduit à l'évaluation de la porosité texturale ou l'estimation de la porosité minimale d'assemblage. La partie de l'espace poral qui est à l'origine de la diminution de la porosité totale des blocs de terre est due aux fissures et aux canalicules est appelée la porosité structurale. Elle comprend deux paramètres, densité apparente et la densité réelle.

#### 2.2.7.1. Densité apparente

Mettre un morceau d'agrégat de la terre dans l'étuve pendant 24 heures, peser l'agrégat après séchage ( $P_1$ ). Puis on plonge l'agrégat dans une solution de paraffine chaud, laisser au repos 5 à 10 minutes, après peser l'échantillon avec la paraffine ( $P_2$ ). Puis on replonge l'agrégat dans une éprouvette contenant un volume d'eau distillé 50 ml et on note le changement de volume ( $V$ ).

La densité apparente est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Porosité} = \frac{\text{Masse échantillon}}{\text{Volume échantillon}} \times 100$$

$P_1$  : poids de l'échantillon

$P_2$  : poids de l'échantillon + paraffine

$V$  : volume du sol + paraffine

### 2.2.7.2. Densité réelle

Dans une fiole de 50 ml mettre 10 g du sol et peser ( $P_1$ ), puis on complète par l'eau distillée dégazée jusqu'à 50 ml et on les pèse ( $P_2$ ).

La densité réelle calculée par la formule suivante :

$$\text{Densité réelle} = \frac{10}{10 + P_2 - P_1}$$

$P_1$  : poids de la fiole + l'eau dégazé

$P_2$  : poids de la fiole + l'eau dégazé + le sol

La porosité exprimée par la formule suivante :

$$\text{Densité apparente} = \frac{\text{Densité réelle} - \text{Densité apparente}}{\text{Densité réelle}} \times 100$$

**Tableau 7** : Classification des sols d'après leur porosité (Delaunoy, 1976).

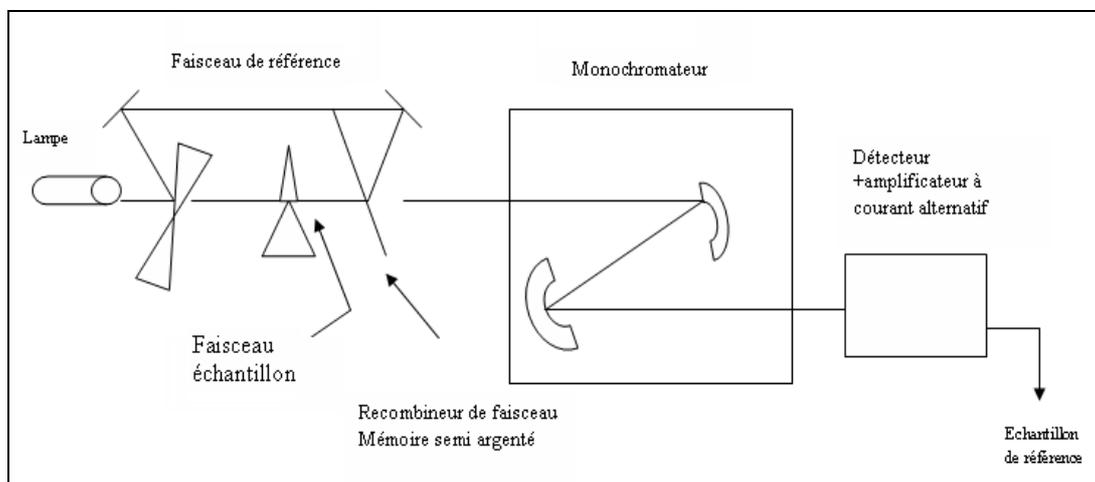
Porosité (%)	Désignation des sols
< 10	porosité faible
10-20	porosité assez faible
20-30	porosité assez forte
> 30	porosité forte

### 2.3. Extraction et dosage des métaux lourds par la SAA Extraction

Le dosage des métaux lourds (manganèse, fer, plomb et cadmium) a été réalisé selon la méthode de Laib & Laghouchi (2011). Le procédé d'extraction consiste à ajouter à 2 g de sol pris à partir d'un échantillon broyé dans un mortier puis passé au tamis de 250 microns, 15 mL d'acide chlorhydrique et 5 mL d'acide nitrique dans un bicher. Laisser en contact pendant une nuit afin de permettre une oxydation lente de la matière organique, puis chauffer dans un bain de sable pendant 2h à une température de 180°C, après refroidissement et rinçage du réfrigérant par quelques mL d'eau déminéralisée, le contenu de bain de sable est

filtré sur papier filtre (Whatman n°01) sans cendre, lavé aux acides à vitesse moyenne de filtration dans des fioles de 100 mL puis compléter jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée. Tous les échantillons dosés par la SAA sont filtrés sous vide par des membranes de filtration ayant une porosité 0,45µm.

Le dosage est effectué par spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA) à flamme air/acétylène de type (SHIMADZU AA-6200, Analytik Jena, Germany). Il comporte les dispositifs suivants (Fig. 2). Les gammes d'étalonnage sont préparées à partir de solutions standard (1000 mg/L) de Fer, Manganèse, Plomb et Cadmium chloride in water Merck (Merck KGaA, Darmstadt, Germany). (Tableau 7) spécifiques aux éléments étudiés.



**Figure 2** : Principe de fonctionnement de la spectrophotométrie d'absorption atomique (S.A.A.).

**Tableau 8** : Conditions particulières d'analyse pour la détermination des éléments traces Dans les sols (Juste, 1988).

Élément	Longueur d'onde (nm)	Atomisation	Limite de détection (g/Kg)	Gamme d'étalonnage (mg/L)
<b>Cd</b>	228,8	Flamme:air/acétylène	2	0,2 – 0,4 – 1 – 2,5 – 5
<b>Mn</b>	279,5	Flamme:air/acétylène	nd	0,5 – 1 – 2 – 4 – 6
<b>Pb</b>	283,3	Flamme:air/acétylène	100	1 – 2,5 – 5 – 10 – 15
<b>Fe</b>	297,4	Flamme:air/acétylène	nd	2,5 – 5 – 10 – 15 – 20

\*: nd: non disponible

Pour mieux interpréter les résultats obtenus au cours de notre étude, une étude statistique a été faite à travers deux méthodes ; l'analyse de la variance et la matrice de la corrélation par l'utilisation du logiciel Excel.

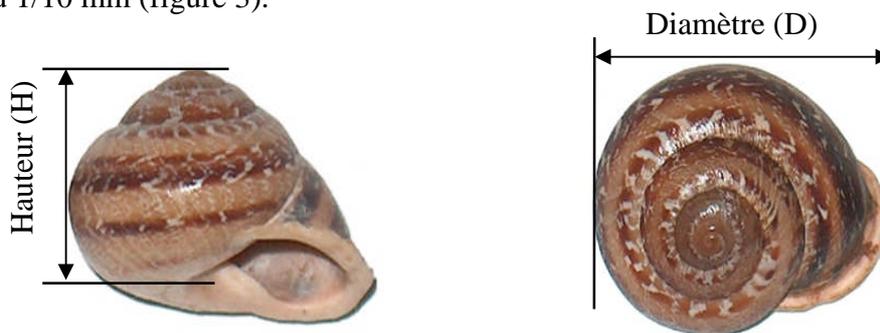
#### 2.4. Technique d'échantillonnage ???? , inventaire et clés d'identification

Les Mollusques font partie des invertébrés, animaux pluricellulaires, dépourvus d'axe vertébral. Ils possèdent une coquille, qui peut cependant manquer dans des groupes importants. Par ailleurs, ils présentent une symétrie bilatérale primitive, mais susceptible de se trouver profondément altérée dans certain groupes (Gaillard, 1991). Sur le plan de la systématique, la classe des Gastéropodes se divise en trois sous-classes (Gaillard, 1991 ; Grzimek & Fontaine, 1973) : 1/ Les Prosobranches, qui constituent la quasi-totalité des Gastéropodes marins a coquille (Gaillard, 1991), 2/ les Opisthobranches, qui constituent la totalité des Gastéropodes marins adaptés a la vie benthique littorale ou a la vie pélagique Certains possèdent une coquille, mais la grande majorité est d'aspect limaciforme (Grzimek & Fontaine 1973), et 3/ Les Pulmonés, qui constituent la quasi-totalité des Gastéropodes, avec ou sans coquille, habitant les domaines terrestres et les eaux douces (Gaillard 1991). Ce sont les seuls Mollusques bénéficiant d'une respiration pulmonaire. Ils sont fréquemment hermaphrodites (Grzimek & Fontaine, 1973).

Les méthodes d'identification décrites par Bonnet *et al.* (1990) et Chevallier (1992) se basent sur le nombre de bandes spirales au niveau des coquilles ainsi que la couleur et la forme de ces dernières.

#### 2.5. Biométrie des espèces

Les escargots récoltés sont pesés à l'aide d'une balance de précision Sortorius H110 (précision 0,1 mg), la hauteur (L) et le diamètre (D) des coquilles est relevé à l'aide d'un pied à coulisse au 1/10 mm (figure 3).



**Figure 3 :** Les paramètres de biométries mesurées chez *Helix aspersa* l'hauteur (H) et le diamètre (D).

## 2.6. Indices écologiques

Les indices écologiques qui retiennent notre attention pour l'exploitation de nos résultats sont : la qualité de l'échantillonnage, la richesse totale et moyenne, la fréquence, la constance, l'indice de Shannon-Waever et l'indice d'équirépartition.

### 2.6.1. Indices de composition

#### 2.6.1.1. Richesse spécifique (ou totale) et moyenne:

La richesse totale d'un peuplement (Blondel, 1975) est le nombre d'espèces (**S**) rencontrées dans la région d'étude, tandis que la richesse moyenne (**S'**) est le quotient du nombre total d'individus (**Ki**) pour chacune des espèces sur le nombre total de relevés (**N**) effectués, C'est-à-dire :

$$S' = Ki / N$$

#### 2.6.1.2. Fréquence centésimale (F)

La fréquence (**F**) permet d'étudier la distribution d'une espèce dans une région donnée et de dire si elle est commune, rare ou très rare. La fréquence déterminée selon la méthode de (Dajoz, 1985). Elle est donnée par la formule suivante :

$$F = (ni \times 100) / N$$

**ni** : le nombre d'individus de l'espèce prise en considération.

**N** : le nombre total d'individus.

**Tableau 9** : Catégorie de la fréquence selon Dajoz (1985).

Fréquence (%)	catégorie
> 50	Espèce commune
25 - 50	Espèce rare
< 25	Espèce très rare

### 2.6.1.3. Constance (C)

La constance (C) est le rapport exprimé sous la forme de pourcentage du nombre de relevés contenant l'espèce *i* prise en considération, divisé par le nombre total de relevés (Dajoz, 1971) ; elle s'exprime de la manière suivante :

$$C = p / N \times 100$$

**P** : le nombre de relevés contenant l'espèce.

**N** : le nombre de relevés effectués.

**Tableau 10** : Catégories de la constance Selon Dajoz (1971).

Constance (%)	Catégorie
100	Omniprésente
$75 \% \leq C < 100$	Constante
$50 \% \leq C < 75$	Régulière
$25 \% \leq C < 50$	Accessoire
$5 \leq C < 25$	Accidentelle
$\leq 4$	Rare

## 2.6.2. Indices de structures

### 2.6.2.1. Indice de diversité de Shanon – Weaver

L'indice de diversité de Shanon et Weaver ( $H'$ ) est la quantité d'information apportée par un échantillon sur les structures du peuplement dont provient l'échantillon et sur la façon dont les individus y sont répartis entre diverses espèces (Daget, 1976). L'indice de diversité se calcule comme suit :

$$H' = - \sum_{i=1}^{i=n} [p_i \cdot \text{Log}_2 p_i] \quad \text{ou } p_i = n_i / N$$

$H'$  : Diversité spécifique.

**N** : Effectif total du peuplement.

**$n_i$**  : Effectif de l'espèce (i).

### 2.6.2.2. Équitabilité (équirépartition)

L'équitabilité (E) constitue une seconde dimension fondamentale de la diversité (Ramade, 1984). Elle est le rapport entre la diversité spécifique (H') et la diversité maximale (Hmax), elle s'exprime comme suit :

$$E = H' / H_{\max} \text{ avec } H_{\max} = \text{Log}_2(S)$$

## 2.7. Matériel Biologique

### 2.7.1. Présentation et classification de l'espèce bioindicatrice

*Helix aspersa* ou le petit gris, est un escargot appartient à l'embranchement des Mollusques, animaux à corps mou et dépourvu de squelette, sa masse viscérale présente une torsion de 180° par rapport au pied d'où une asymétrie de certains de ses organes (Bonnet *et al.*, 1990).

#### Classification

*Helix aspersa* (Müller, 1774) est un Mollusque gastropode, pulmoné terrestre, aussi nommé *Cantareus aspersus*, *Cornu aspersum*, *Criptomphalus aspersus* dans la nomenclature récente (Barker, 2001) ou le petit gris.

Selon Bonnet & Vrillon (1990) sa position systématique est la suivante:

<b>Règne:</b>	Animalia
<b>Embranchement :</b>	Mollusca
<b>Classe :</b>	Gastéropoda
<b>Sous-classe :</b>	Pulmonés
<b>Ordre :</b>	Stylomatophora
<b>Super-famille :</b>	Helicacea
<b>Famille:</b>	Helicidae
<b>Genre :</b>	<i>Helix aspersa</i>
<b>Sous-espèce :</b>	<i>aspersa</i> (Müller, 1774)

### 2.7.2. Distribution géographique

Grâce à ses pouvoirs adaptatifs aux variations climatiques, *Helix aspersa* est très commun; se trouve dans ses zones habituelles de répartition : jardins, buissons, haies, champs, rochers, et vignobles, généralement, il est très commun au niveau de la région méditerranéenne, dans le monde. *Helix aspersa* se distribue selon l'Université de Flauride ????? (2009) comme suit ;

En Afrique : Le Nord d'Afrique (Algérie) et l'Afrique du sud.

Dans l'Asie ; Turquie, rives de la mer noire. Le Pacifique : Australie (Queens land, Tasmanie), nouvelle Zélande.

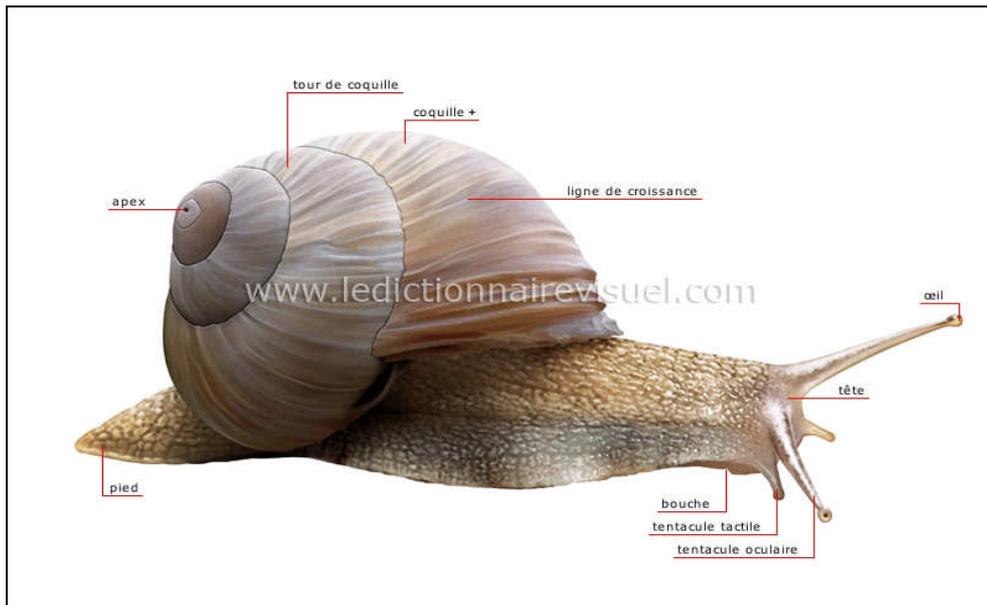
En Europe ; Grande-Bretagne (principalement les régions du sud et côtières), Belgique, France, Allemagne, Grèce, Irlande, Italie, Portugal, Espagne.

L'Amérique du nord ; Mexique, Etats-Unis et Amérique du sud : Argentine, Chili.

### 2.7.3. Anatomie générale de l'escargot

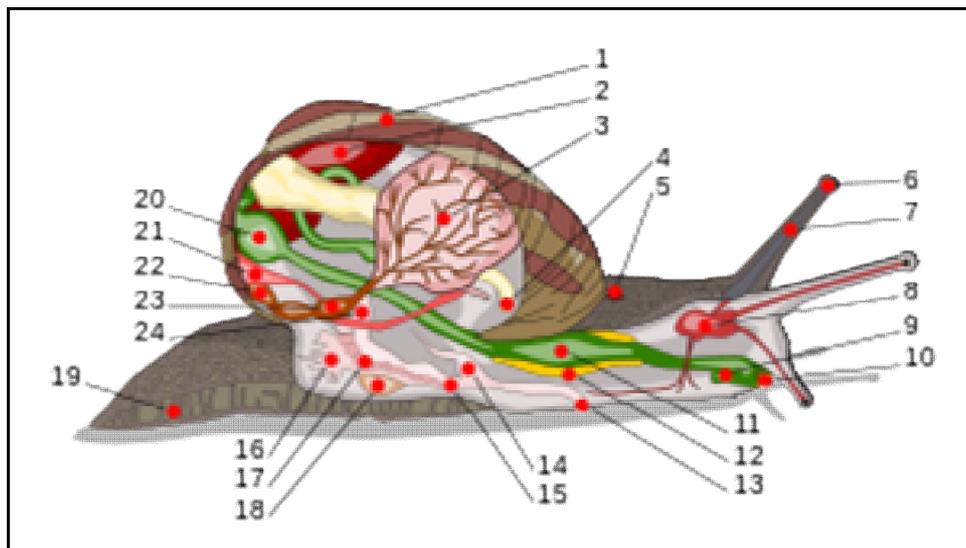
#### 2.7.3.1. Anatomie externe de l'escargot

La coquille est un squelette externe secrétée par la face dorsale et le bord libre du manteau, elle est globoïde, spirale, a un enroulement dextre, son ouverture est évasée, descendante; son bord externe est appelé: péristome (Chevalier, 1982). Le corps de l'escargot est mou, visqueux en raison de la présence du mucus. Il est constitué de trois parties : la tête, le pied et la masse viscérale (Bonnet *et al.*, 1990) (Fig. 4). Sa tête comporte la bouche qui s'ouvre vers le bas et les organes des sens constitués de deux paires de tentacules. Les tentacules inférieures, tactiles, sont dirigés vers le bas, les tentacules supérieures, oculaires, portant un œil simple et un organe olfactif, qui sont dirigés vers le haut (Bonnet *et al.*, 1990). Le pied est musculeux, large et plat, il supporte une coquille calcaire formée d'une seule pièce en forme de spirale. Sa face inférieure, en contact avec le sol, forme une sole de reptation, lorsque l'escargot se déplace, elle laisse une trace brillante formée de mucus (Cadart, 1975). La masse viscérale dont la plus grande partie est enfermée dans la coquille (Chevalier, 1982), contenant presque tous les organes ; elle est richement vascularisée.



**Figure 4 :** Anatomie externe d'un escargot (www.nature-scientia.com).

### 2.7.3.2. Anatomie interne d'un escargot



**Figure 5 :** Anatomie interne d'un escargot (www.nature-scientia.com).

**Légende :** (1.coquille - 2. foie - 3. poumon - 4. anus - 5. pore respiratoire - 6. oeil - 7. tentacule - 8. cerveau - 9. conduit salivaire - 10. bouche - 11. panse -14. pénis - 15. vagin - 16. glande muqueuse - 17. ovaire - 18. sac de dards - 19. pied - 20. estomac - 21. rein - 22. manteau - 23. coeur - 24. canal déférent).

#### 2.7.4. Rythme d'activité

L'activité des escargots petit-gris est préférentiellement nocturne. Elle se synchronise avec la photopériode naturelle et débute au coucher du soleil avec un maximum six heures après celui-ci (Chevallier, 1992). Les trois facteurs qui influencent cette activité sont l'hygrométrie du milieu (air et sol), la température et l'intensité lumineuse (Chevallier, 1982). Les escargots sont actifs si l'humidité relative de l'air est supérieure à 80% et si la température minimale nocturne n'est pas inférieure à 9° C.

#### 2.7.5. Estivation et hibernation

Une absence prolongée d'humidité provoque l'estivation de *Helix aspersa* (Chevallier, 1992). L'animal se fixe alors sur un support en fermant l'ouverture de sa coquille par un voile de mucus solidifié : l'épiphragme. Il reprend son activité lorsque les conditions environnementales sont plus favorables. Lorsque la température moyenne devient inférieure à 15° C, les escargots se mettent en hibernation en se "collant" sur un support ou en s'enfouissant dans le sol ou la litière et secrètent un épiphragme d'hiver. Dans une atmosphère humide, le processus d'hibernation s'effectue en-dessous de 5° C. Le raccourcissement de la durée de jour semble avoir également une action sur la mise en hibernation (Bailey, 1981).

#### 2.7.6. Croissance

Quatre phases de croissance ont été définies en fonction de la taille et de la masse des animaux mais aussi de leur différenciation sexuelle (Gomot, 1997 b) :

- ✓ Phase infantile durant laquelle le tractus génital est non-différencié chez des animaux de 0,02 à 0,6 g,
- ✓ Phase juvénile relative à un tractus génital qui s'organise et à une gamétogenèse active. La masse est comprise entre 0,6 et 6,0 g.
- ✓ Phase de maturation sexuelle ou phase préadulte durant laquelle les glandes annexes femelles se développent. Elle concerne des escargots non bordés (absence d'épaississement du péristome) de plus de 6 g.
- ✓ La phase adulte à croissance nulle durant laquelle les animaux sont aptes à se reproduire. Ils sont alors bordés et pèsent entre 6 et 14 g.

En général, la croissance naturelle jusqu'au stade adulte s'étale sur deux ans si bien que les individus sont le plus souvent considérés comme sexuellement matures à partir du deuxième ou troisième été suivant leur naissance (Chevallier, 1992). Cette croissance se fait par palier,

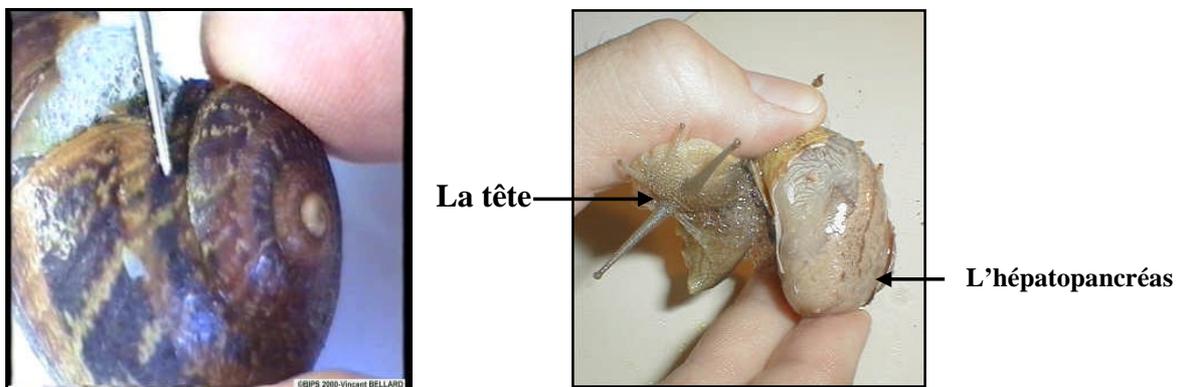
au rythme des estivations et hibernations. Les facteurs qui influencent la croissance sont la température, l'humidité ambiante, l'éclairement (longueur d'onde, intensité et photopériode) ainsi que la nature du sol et de la nourriture (Gomot ,1997). La durée de vie moyenne d'un escargot en milieu naturel est de 6 à 7 ans (Gomot & Gomot, 1995).

### 2.7.7. Reproduction

La période de reproduction commence au début du mois de mai et dure jusqu'à la mi-septembre. L'accouplement implique une fécondation réciproque par échange de spermatozoaires entre les deux partenaires. Cette règle n'est cependant pas absolue et certains individus se comportent soit comme mâle soit comme femelle. L'autofécondation n'a été que très rarement constatée chez les escargots du genre *Helix* et jamais pour *H. aspersa aspersa*. La durée entre l'accouplement et la ponte varie en fonction des conditions du milieu. En conditions optimales, elle est d'une dizaine de jours mais ce délai peut atteindre un voire deux mois suivant les conditions d'environnement. (Daguzan, 1981; Chevallier, 1982). Pour pondre, l'escargot creuse une cavité de quelques centimètres de profondeur dans le sol, y dépose ses oeufs puis rebouche le "nid de ponte". Le nombre moyen d'oeufs par ponte varie de 80 à 130 pour des individus de différentes origines (Madec, 1983).

### 2.8. Dissection et prélèvement des organes

Dans une cuvette à dissection, placer un escargot et découper la coquille avec les ciseaux en suivant le bord d'enroulement de la coquille (trait pointillé rose).



**Figure 6 :** Les différents organes prélevés (la tête et l'hépatopancréas).

## 2.9. Extraction et dosage des biomarqueurs

Le dosage de L'acétylcholinestérase est effectué dans la tête *d'helix aspersa*, tandis que le dosage des activités de la GST est effectué dans les hépatopancreas des mêmes individus. Les protéines ont été déterminées selon la méthode de Bradford (1976).

### 2.9.1. Dosage de l'acétylcholinestérase

Le Dosage de l'acétylcholinestérase (AChE) est réalisé selon la méthode d'Ellman *et al.* (1961) qui consiste à fournir à l'enzyme un substrat, l'acétylthiocholine (ASCh) dont l'hydrolyse libère de la thiocholine (SCh) et de l'acide acétique. La thiocholine en présence de DTNB (acide 5, 5'-dithio-bis-2-nitrobenzoïque) forme un complexe de couleur jaune dont l'intensité est lue à une longueur d'onde de 412 nm.

Les têtes sont homogénéisées dans 1 ml de solution détergente [38.03 mg EGTA (acide éthylène glycol-bis,  $\beta$ -aminoéthyl éther NNN'N' tétra-acétique), 1 ml triton X 100 %, 5,845 g Na Cl, 80 ml tampon tris (10 mM, pH 7)], puis centrifugés (5000 tours/mn, 5mn. Le surnageant récupéré servira comme source d'enzyme.

Le dosage de l'activité AChE est réalisé sur une fraction aliquote de 100  $\mu$ l à la quelle on ajoute 100  $\mu$ l de DTNB préparé extemporanément [39,6 mg DTNB, 15 mg  $\text{CO}_3\text{HNa}$  (bicarbonate de sodium), 10 ml tampon tris (0,1 M, pH 7) et 1 ml de tampon tris (0,1 M, pH 7). après 3 à 7 min, 100  $\mu$ l de substrat acétylthiocholine préparé extemporanément (23,6 mg ASCh, 1 ml eau distillée) sont ajoutés. La lecture des absorbances s'effectue toutes les 4 min pendant 20 mn à une longueur d'onde de 412 nm contre un blanc ou 100  $\mu$ l de la solution détergente remplace les 100  $\mu$ l du surnageant. L'activité spécifique est calculée selon la formule suivante:

$$\text{AChE } (\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg de protéines}) = \frac{\Delta D_0/\text{mn} \times V_t}{1,36 \times 10^4 \times V_s} \text{ / mg de protéines}$$

$\Delta D_0$  : pente de la droite de régression obtenue après hydrolyse du substrat en fonction du temps.

$1,36 \times 10^4$  : coefficient d'extinction molaire du DTNB.

$V_t$  : volume total dans la cuve : 1,3 ml [0,1 ml surnageant + 0,1 ml DTNB + 1ml tampon tris (0,1 M, pH 7) + 0,1 acétylthiocholine].

$V_s$  : volume du surnageant dans la cuve : 0,1 ml

### 2.9.2. Dosage de la glutathion S-transférase

La mesure de l'activité de la glutathion S-transférase (GST) est déterminée selon la méthode de Habig *et al.* (1974). Elle est basée sur la réaction de conjugaison entre la GST et un substrat, le CDNB (1-chloro 2,4 dinitrobenzène) en présence d'un cofacteur, le glutathion (GSH). La lecture des absorbances est effectuée à une longueur d'onde de 340 nm dans un spectrophotomètre visible/UV (GENESYS TM8).

Les hépatopancréas sont homogénéisés dans 1ml de tampon phosphate (0,1 M, pH 6). L'homogénat est centrifugé à 14000 trs/mn pendant 30 min et le surnageant récupéré servira comme source d'enzyme.

Le dosage consiste à faire réagir 0,2 ml du surnageant avec 1,2 ml du mélange CDNB (1mM)/GSH (5 mM) [20,26 mg CDNB, 153,65 mg GSH, 1ml tampon phosphate (0,1M, pH 6)]. La lecture des absorbances est effectuée toutes les 1 min pendant 5 min à une longueur d'onde de 340nm contre un blanc contenant 0,2 ml d'eau distillée remplaçant la quantité du surnageant.

L'activité spécifique est déterminée d'après la formule suivante :

$$\text{GST } (\mu\text{M}/\text{min}/\text{mg de protéines}) = \frac{\Delta D_0 / \text{mn} \times V_t}{9,6 \times V_s} \quad / \quad \text{mg de protéines}$$

$\Delta D_0$  : pente de la droite de régression obtenue après hydrolyse du substrat en fonction du temps.

$V_t$  : volume total dans la cuve : 1,4 ml [0,2 ml surnageant + 1,2 ml du mélange CDNB/GSH].

$9,6$  : coefficient d'extinction molaire du CDNB.

$V_s$  : volume du surnageant dans la cuve : 0,2 ml.

### 2.9.3. Extraction et dosage des protéines

Les protéines ont été dosées selon la méthode de Bradford (1976), le dosage s'est effectué sur une fraction aliquote de 0,1 ml de l'homogénat avec 4 ml de Bleu Brillant de Comassie (BBC) (C250, Merk) comme réactif [100 mg de BBC, 50 ml d'éthanol (95%), 100

ml d'acide ortho phosphorique (85%) et complété à 1000 ml par l'eau distillée] et l'albumine sérum de bœuf (BSA, Sigma) comme standard.

La lecture des absorbances s'effectue à une longueur d'onde de 595 nm, dans un spectrophotomètre Janway 6300 et la gamme d'étalonnage est réalisée à partir d'une solution mère d'albumine de bœuf (1 mg/ml) selon les indications ci-dessous dans le tableau 11.

**Tableau 11** : La gamme d'étalonnage des protéines.

<b>Tubes</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Solution d'albumine (µl)</b>	0	20	40	60	80	100
<b>Eau distillée (µl)</b>	100	80	60	40	20	0
<b>Réactif (BBC) (ml)</b>	4	4	4	4	4	4

### 2.10. Traitements statistiques des données

L'analyse statistique des données est effectuée avec le logiciel MINITAB d'analyse et traitement statistique des données version (Version 16, PA State College, USA) disponible au Laboratoire de Biologie Animale Appliquée. La répartition des mesures biologiques (inventaire, indices écologiques, paramètres physico-chimiques, métaux lourds et biomarqueurs) répond à une loi normale et ces paramètres sont exprimées par leur moyenne et leur l'écart type établie sur un effectif ou un nombre de répétitions précisées dans les figures et les tableaux. La démonstration statistique des effets recherchés est réalisée à l'aide de tests paramétriques. Différents tests statistiques ; ANOVA à un, deux et trois critères de classification, test de Tukey et test de corrélation. Le niveau de signification est  $p < 0,05$ .

### 3. Résultats

#### 3.1. Détermination des espèces dans les zones d'étude

Les résultats de l'inventaire des Gastéropodes pulmonés terrestres (escargots et limaces) au niveau des six sites d'étude sont mentionnés dans le tableau 12 et la figure 7. Les espèces ont été identifiées d'après la classification relativement récente de Germain (1969a, 1969b). L'inventaire montre qu'il existe 14 espèces dont 12 sont des escargots et 2 des limaces réparties en 5 familles. La famille Milacidae avec 2 espèces de limaces *Milax gagates* (Draparnaud, 1801) et *Milax nigricans* (Phillipi, 1836). La famille Helicidae réparti en 2 sous-familles : Helicinae regroupe 6 espèces : *Helix aspersa* (Müller, 1774), *Helix aperta* (Born, 1778), *Macularia jourdaniana* (Bourguignat, 1867), *Macularia hieroglyphicula* (Michaud, 1833), *Archelix punctata* (Müller, 1774), *Euparypha pisana* (Müller, 1774) et la sous-famille Helicellinae regroupe 2 espèces; *Helicella virgata* (Da Costa, 1778), *Helicella (Trochoidea) elegans* (Gmelin, 1791), la famille Hygromiidae avec 2 espèces *Trochoidea elegans* (Gmelin, 1791), *Helicella virgata* (Da Costa, 1780), la famille Subulinidae avec l'espèce *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758) ; la famille Ferussaciidae avec une espèce de *Ferussacia folicus* (Gmelin, 1791) et enfin la famille Enidae représentée par l'espèce *Chondrula tridens* (Müller, 1774).

**Tableau 12 :** Liste des espèces malacologiques recensées dans les six sites d'études (Février 2010 à janvier 2011).

Familles	Sous-Familles	Genre-espèces
Milacidae		<i>Milax gagates</i> (Draparnaud, 1801) <i>Milax nigricans</i> (Phillipi, 1836)
Helicidae	Helicinae	<i>Helix aspersa</i> (Müller, 1774) <i>Helix aperta</i> (Born, 1778) <i>Macularia jourdaniana</i> (Bourguignat, 1867) <i>Macularia hieroglyphicula</i> (Michaud, 1833) <i>Archelix punctata</i> (Müller, 1774) <i>Euparypha pisana</i> (Müller, 1774)
	Helicellinae	<i>Helicella virgata</i> (Da Costa, 1778) <i>Helicella (Trochoidae) elegans</i> (Gmelin, 1791)
Subulinidae		<i>Rumina decollata</i> (Linnaeus, 1758)
Ferussaciidae		<i>Ferussacia folicus</i> (Gmelin, 1791)
Enidae		<i>Chondrula tridens</i> (Müller, 1774)



*Helix aspersa* (Müller, 1774)



*Helix aperta* (Bom, 1778)



*Archelix punctata* (Müller, 1774)



*Trochoidea elegans* (Gmelin, 1791)



*Cochlicella barbara* (Linnaeus, 1758)



*Rumina decollata* (Linnaeus, 1758)



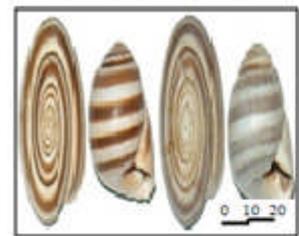
*Macularia jourdaniana*  
(Bouguignat, 1867)



*Macularia hieroglyphicula*  
(Michaud, 1833)



*Euparipha pisana* (Müller, 1774)



*Chondrula tridens* (Müller, 1774)



*Ferussacia folicus* (Gmelin, 1791)



*Helicella virgata* (Da Costa, 1780)



*Milax gagates* (Draparnaud, 1801)



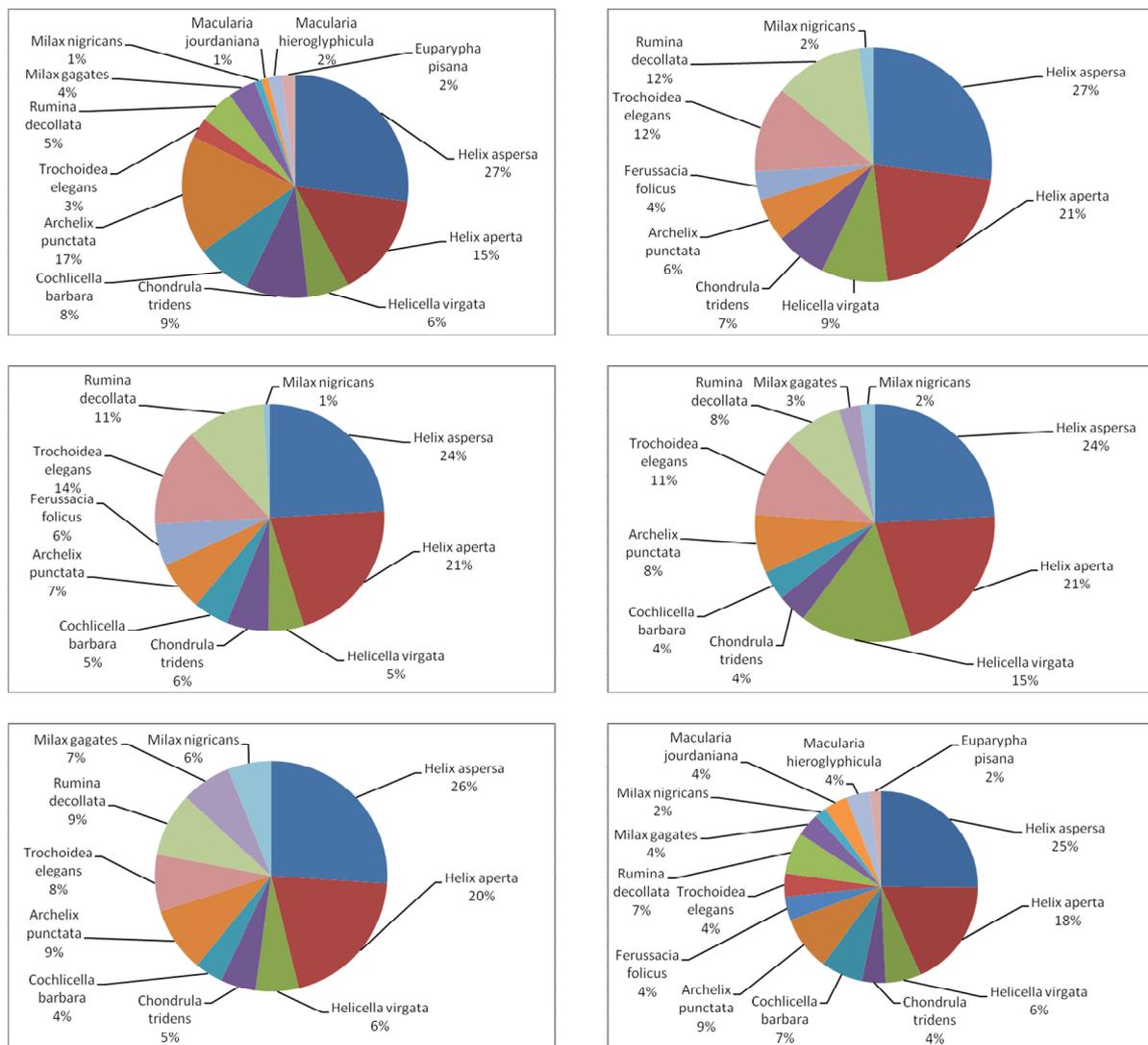
*Milax nigricans* (Phillipi, 1836)

**Figure 7 :** Liste des espèces malacologiques inventoriées dans la région Est Algérien durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ([www.nature-scientia.com](http://www.nature-scientia.com)).

### 3.2. Structure des Gastéropodes Pulmonés Terrestres recensés:

#### 3.2.1. Structure des Gastéropodes en période printanière :

Durant la période printanière (Février, Mars et Avril 2010) au niveau des sites étudiés : El-Hadjar, Ben M'hidi, Sidi Kaçi, Bouteldja, El-Tarf et El-Kala, nous avons récolté 5513 individus de Gastéropodes pulmonés terrestres avec des dominances inégaux entre les espèces. Les résultats obtenus montrent que l'espèce d'*Helix aspersa* présente un pourcentage du nombre d'individus majoritaire dans tous les sites (Fig. 8). Ce pourcentage varié entre 24% dans les sites de Sidi Kaçi et Bouteldja et 27 % à El-Hadjar et Ben M'hidi. En signale un pourcentage très faible des limaces qui se varie entre 2% et 6% pour les deux espèces avec l'absence de ces espèces à El-Hadjar.



**Figure 8.** Structure des Gastéropodes pulmonés au niveau des sites étudiés durant le printemps (Mars, Avril et Mai) de l'année 2010.

3.2.2. Structure des Gastéropodes en période estivale :

Dans la saison de l'été nous avons recensés 2422 individus de Gastéropodes pulmonés terrestres (Fig. 9). Au cours de cette saison l'espèce *Helix aspersa* présente une dominance maximale d'individus au niveau d'El-Hadjar 36% et Ben M'hidi 29%. Au niveau de Sidi Kaçi la dominance des espèces est presque similaire avec une dominance maximale de l'espèce *Trochoidea elegans* 25% et minimale chez l'espèce *Archelix punctata* 12%. Dans les sites de Bouteldja et El-Tarf on remarque la dominance de l'espèce *Trochoidea elegans* avec le pourcentage de 25% et 26% respectivement. L'espèce *Archelix punctata* présente une dominance au niveau d'El-Kala avec un pourcentage de 28%.

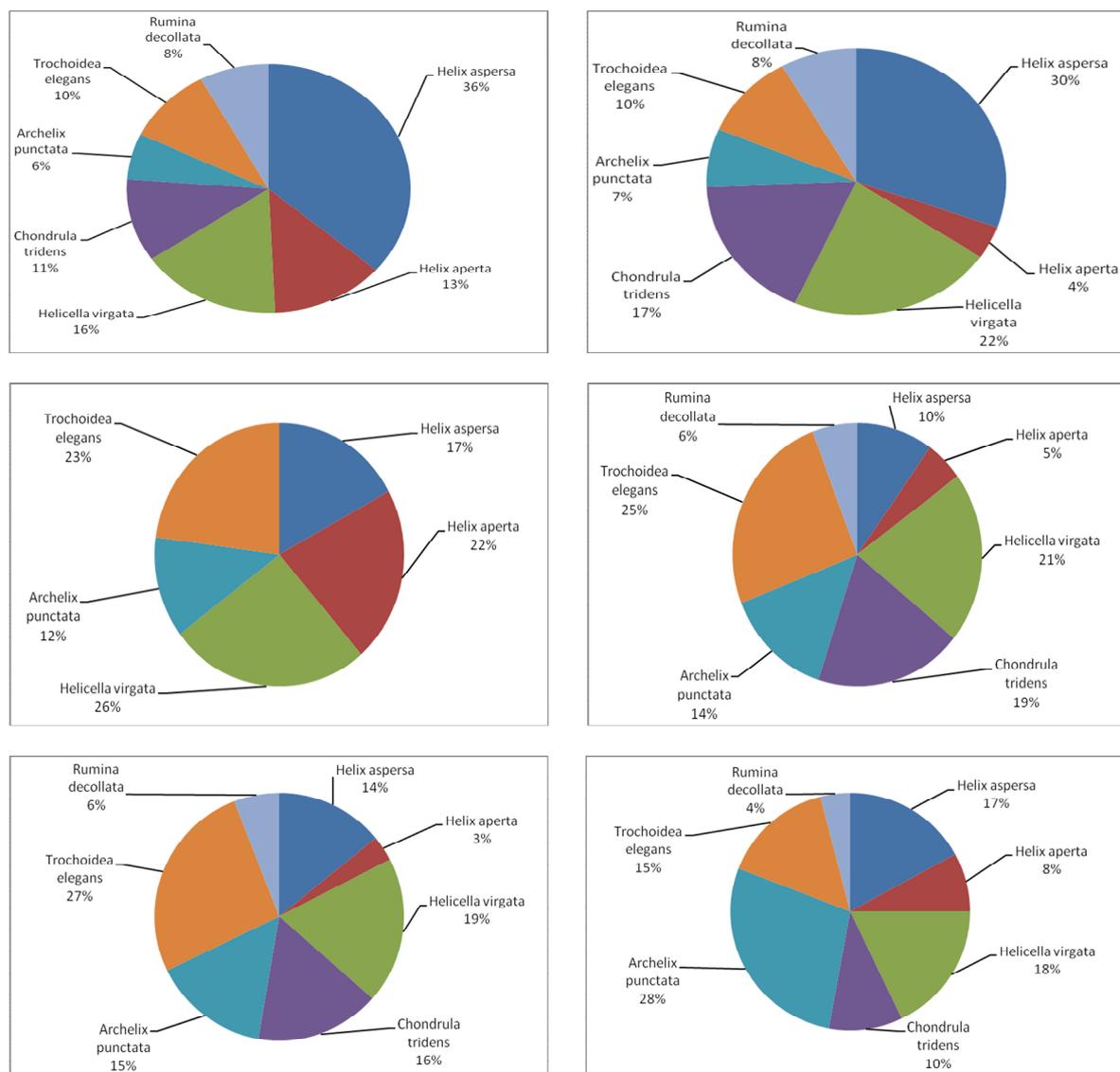


Figure 9. Structure des Gastéropodes pulmonés au niveau des sites étudiés durant l'été (Juin, Juillet et Aout) de l'année 2010.

3.2.3. Structure des Gastéropodes en période automnale :

Pendant la période automnale nous avons collecté 3709 individus de Gastéropodes pulmonés terrestres dans les sites étudiés. Sur le plan dominance *helix aspersa* est incontestablement l'espèce dominante dans tous les sites avec une dominance maximale 30% à El-Hadjar et minimale à El-Kala 18%. Dans ce dernier présente la dominance d'une autre espèce *Archelix punctata*. Les plus faibles taux reviennent aux limaces qui présentant des dominances varient entre 2% et 5% avec l'absence des ces espèces au niveau de Sidi Kaçi (Fig. 10).

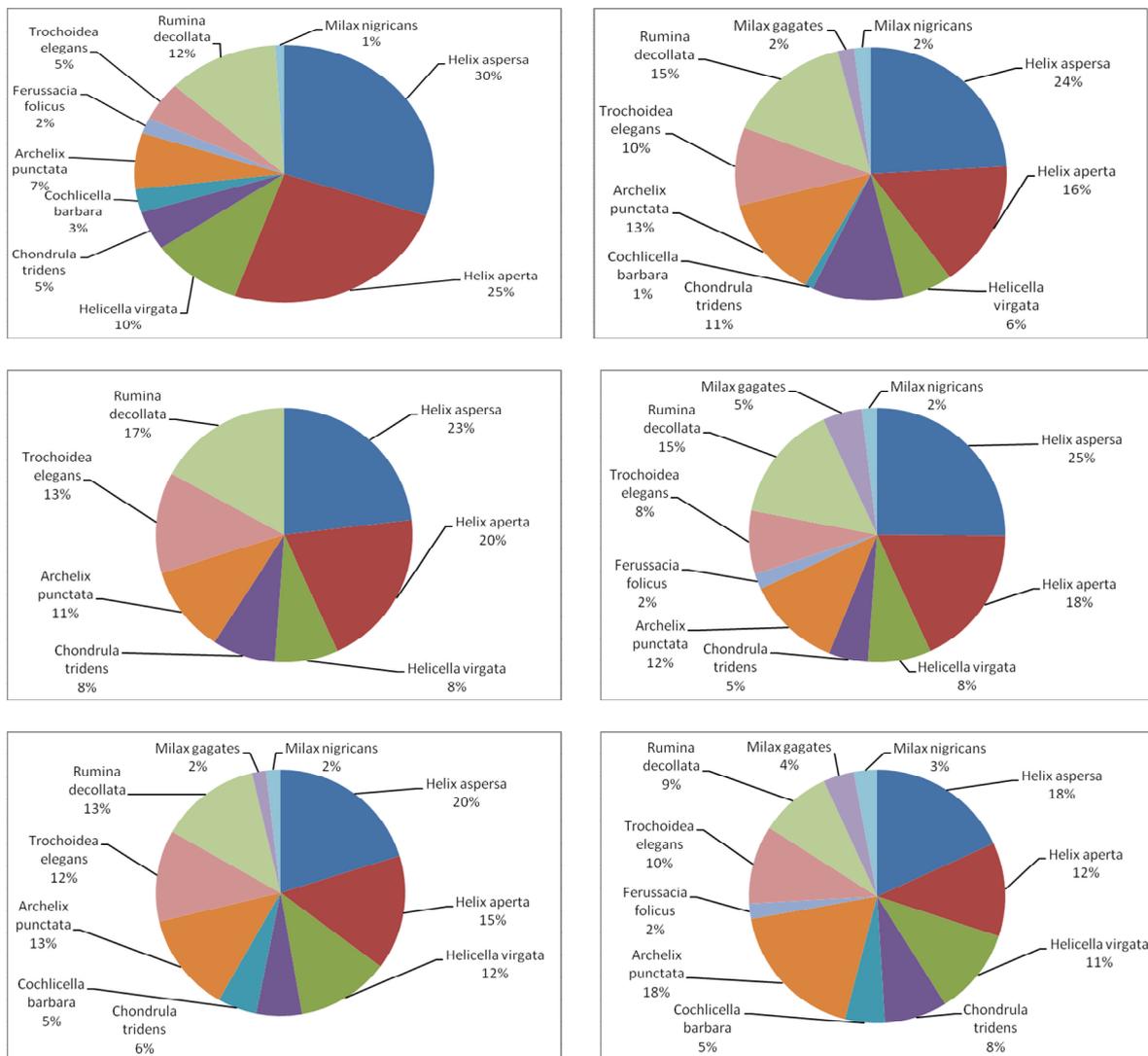
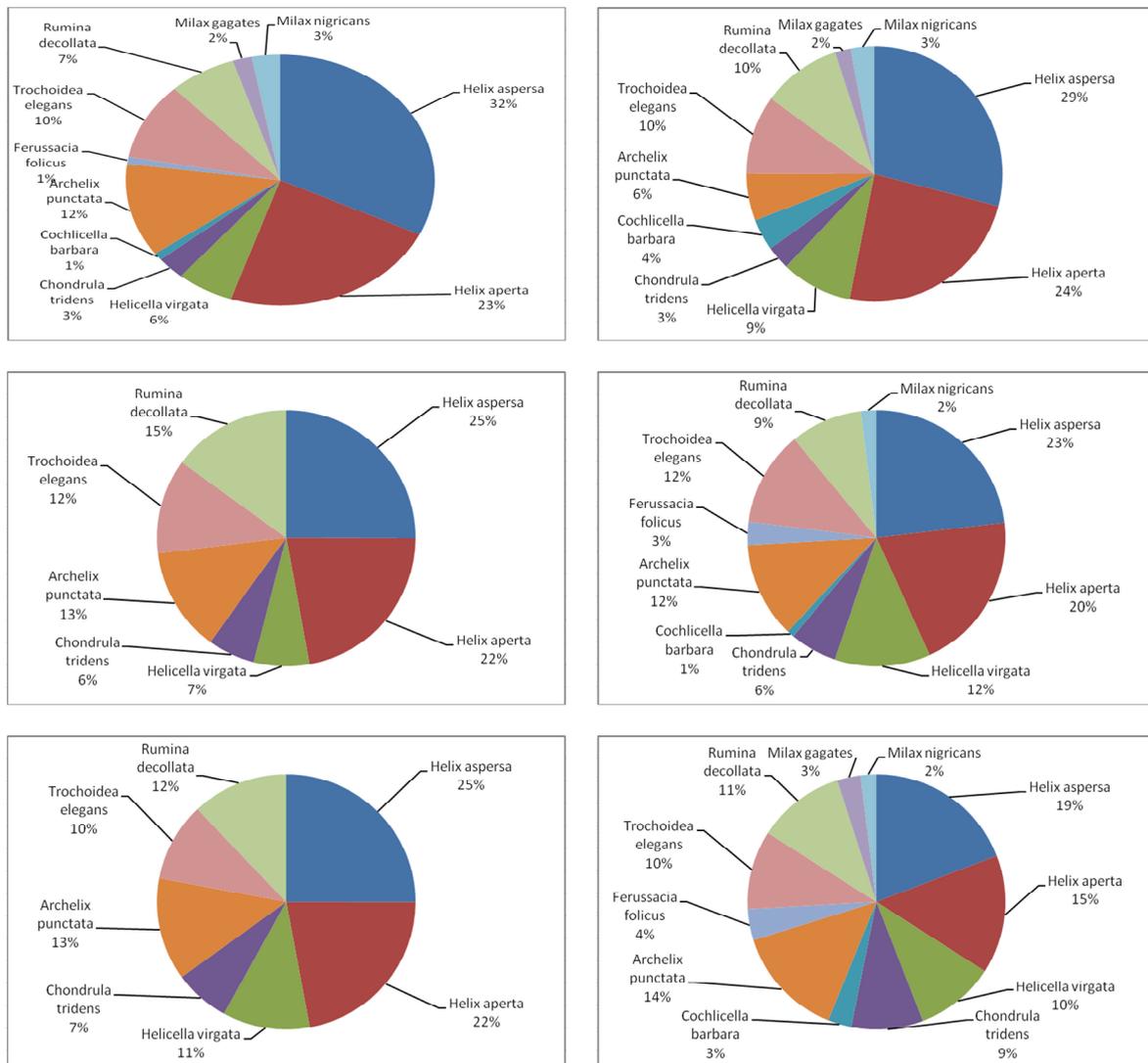


Figure 10. Structure des Gastéropodes pulmonés au niveau des sites étudiés durant l'automne (Septembre, Octobre et Novembre) de l'année 2010.

**3.2.4. Structure des Gastéropodes en période hivernale :**

Dans la saison de l’hiver (Février et Décembre 2010, Janvier 2011) nous avons recueilli 4675 individus de Gastéropodes pulmonés terrestres. L’espèce dominante est *Helix aspersa* avec un taux maximal de 32% à El-Hadjar et minimal à El-Kala, suivi par *Helix aperta* avec un taux maximal de 24% à Ben M’hidi et minimal à El-Kala 15%. Alors que les plus faibles taux reviennent aux limaces avec des dominances moyennes entre 2% et 3%. Au niveau des sites de Sidi Kaçi et El-Tarf on signale l’absence des ces espèces.



**Figure 11.** Structure des Gastéropodes pulmonés au niveau des sites étudiés durant l’hiver (Février et Décembre et 2010, Janvier 2011).

### 3.3. Variation saisonnière des paramètres biométriques des Gastéropodes

La biométrie est caractérisée par le poids (g) de l'escargot, le diamètre et la hauteur (mm) de la coquille selon Charrier (1981).

#### 3.3.1. Données biométriques en période printanière

Les résultats de biométrie des Gastéropodes pulmonés terrestres récoltés au niveau des sites d'étude durant la période printanière sont mentionnés dans le tableau 13. Ces résultats indiquent que le poids le plus élevé est enregistré chez l'espèce *Helix aspersa*  $10,55 \pm 1,34$  g, suivi par l'escargot vert *Helix aperta* qui présente un poids maximal  $7,32 \pm 2,24$  g. On signale que l'espèce *Milax nigricans* présente le poids faible  $0,90 \pm 0,14$  g. On ce concerne l'hauteur, l'espèce *Helix aspersa* présente la valeur la plus élevé  $28,16 \pm 2,34$  mm, tandis que *Cochlicella barbara* présente la valeur minimale  $9,32 \pm 1,62$  mm. Les résultats de diamètre montrent que le diamètre maximal chez *Milax gagates*  $24,46 \pm 2,32$  mm et le minimal chez l'espèce *Cochlicella barbara*  $5,74 \pm 0,70$  mm.

**Tableau 13 :** Moyenne des poids (g), hauteurs (mm) et diamètres (mm) des Gastéropodes récoltés dans les différents sites durant la saison printanière (Mars, Avril et Mai 2010).

Paramètres Espèces	Poids	Hauteurs	Diamètres
<i>Helix aspersa</i>	10,55±1,34	28,16±2,34	20,13±1,86
<i>Helix aperta</i>	7,32±2,24	22,14±3,26	15,84±1,60
<i>Helicella virgata</i>	3,46±1,86	14,69±2,42	8,86±2,90
<i>Chondrula tridens</i>	4,16±0,48	16,84±2,16	13,62±2,10
<i>Cochlicella barbara</i>	1,14±0,16	9,32±1,62	5,74±0,70
<i>Archelix punctata</i>	3,22±0,92	20,10±2,26	14,28±2,86
<i>Ferussacia folicus</i>	1,56±0,09	13,32±0,64	5,82±0,46
<i>Trochoidea elegans</i>	2,64±0,92	10,42±2,26	6,70±2,32
<i>Rumina decollata</i>	3,66±0,92	13,12±2,16	22,30±3,18
<i>Milax gagates</i>	1,18±0,69	11,42±1,82	24,46±2,32
<i>Milax nigricans</i>	0,90±0,14	10,38±1,58	22,62±3,09
<i>Macularia jourdaniana</i>	5,59±2,52	12,85±2,71	22,74±6,90
<i>Macularia hieroglyphicula</i>	3,65±2,92	12,63±2,78	22,22±4,41
<i>Archelix punctata</i>	3,93±2,08	11,51±3,36	24,36±5,24

**3.3.2. Données biométriques en période estivale :**

Pendant la période estivale on remarque que *Helix aspersa* est l'espèce volumineuse avec un poids de  $13,76 \pm 2,81$  g, par contre le poids faible enregistré chez l'espèce *Trochoidea elegans*  $4,62 \pm 0,86$  g. La valeur de l'hauteur la plus élevée signalé chez l'espèce  $30,52 \pm 1,27$  mm et la plus faible chez l'espèce *Trochoidea elegans*  $12,46 \pm 1,82$  mm. *Helix aspersa* présente aussi le diamètre le plus élevé  $22,66 \pm 2,32$  mm (Tab. 14).

**Tableau 14 :** Moyenne des poids (g), hauteurs (mm) et diamètres (mm) des Gastéropodes dans les six sites durant la période de l'été (Juin, Juillet et Aout 2010).

Paramètres Espèces	Poids	Hauteurs	Diamètres
<i>Helix aspersa</i>	13,76±2,81	30,52±1,27	22,66±2,32
<i>Helix aperta</i>	9,53±2,66	24,18±2,83	18,56±1,86
<i>Helicella virgata</i>	5,40±1,05	16,41±2,32	9,46±1,06
<i>Chondrula tridens</i>	6,18±0,88	18,58±2,06	14,27±1,38
<i>Archelix punctata</i>	5,47±1,09	22,33±1,91	17,70±2,55
<i>Trochoidea elegans</i>	4,62±0,86	12,46±1,82	7,87±2,31
<i>Rumina decollata</i>	5,12±0,92	30,46±1,47	15,43±1,66

**3.3.3. Données biométriques en période automnale :**

Les résultats de biométrie durant la période automnale sont illustrés dans le tableau 15. Ces résultats montrent que *Helix aspersa* est l'espèce volumineuse  $14,52 \pm 1,62$ g. On remarque que l'espèce *Milax nigricans* présente le poids faible  $1,37 \pm 1,06$  g. Pour l'hauteur, l'espèce *Helix aspersa* présente la valeur la plus élevée  $31,22 \pm 1,42$  mm et l'espèce *Cochlicella barbara* présente la valeur minimale  $10,22 \pm 0,91$  mm. Les résultats de diamètre montrent que le diamètre maximal chez *Milax gagates*  $25,66 \pm 0,85$  mm et le minimal chez l'espèce *Ferussacia folicus*  $6,47 \pm 0,32$  mm.

**Tableau 15 :** Moyenne des poids, diamètres, hauteurs des Gastéropodes dans les six sites durant la période d’automne (Septembre, Octobre et Novembre 2010).

Paramètres Espèces	Poids	Hauteurs	Diamètres
<i>Helix aspersa</i>	14,52±1,62	31,22±1,42	23,33±0,96
<i>Helix aperta</i>	10,86±2,13	26,33±1,12	19,76±1,26
<i>Helicella virgata</i>	7,63±2,19	17,36±0,93	10,42±1,55
<i>Chondrula tridens</i>	6,27±0,82	19,42±1,24	14,60±1,08
<i>Cochlicella barbara</i>	1,47±1,06	10,22±0,91	6,82±0,76
<i>Archelix punctata</i>	6,17±2,52	23,44±1,42	17,68±1,32
<i>Ferussacia folicus</i>	3,25±0,41	14,56±0,50	6,47±0,32
<i>Trochoidea elegans</i>	6,93±2,31	13,58±1,70	8,53±0,82
<i>Rumina decollata</i>	6,19±1,74	24,33±1,08	15,43±0,64
<i>Milax gagates</i>	2,88±0,95	14,70±1,13	25,66±0,85
<i>Milax nigricans</i>	1,37±1,06	10,98±0,94	23,41±0,92

### 3.3.4. Données biométriques en période hivernale :

Les résultats de biométrie pendant la période printanière sont mentionnés dans le tableau 16. Ces résultats révèlent que *Helix aspersa* est l’espèce volumineuse avec un poids de 16,66 ± 0,98 g. On signale que les limaces *Milax gagates* et *Milax nigricans* présentent les poids faibles 1,86 ± 0,82 g et 1,06 ± 0,46 g respectivement. On ce concerne l’hauteur, l’espèce *Helix aspersa* présente la valeur la plus élevé 31,64 ± 1,08 mm et l’espèce *Cochlicella barbara* présente la valeur minimale 11,66 ± 0,82 mm. Les valeurs de diamètre les plus élevés sont enregistrés chez les limaces *Milax gagates* et *Milax nigricans* avec des valeurs respectifs de 26,66 ± 0,78 et 24,51 ± 0,57.

**Tableau 16 :** Moyenne des poids (g), diamètres (mm), hauteurs (mm) des Gastéropodes dans les six sites durant la période de l’hiver (Février et Décembre 2010, Janvier 2011).

Paramètres Espèces	Poids	Hauteurs	Diamètres
<i>Helix aspersa</i>	16,66±0,98	31,64±1,08	22,96±1,35
<i>Helix aperta</i>	13,34±0,96	26,55±1,21	20,83±1,66
<i>Helicella virgata</i>	5,70±0,96	16,15±1,06	9,94±1,06
<i>Chondrula tridens</i>	6,94±0,88	18,56±1,62	14,96±0,98
<i>Cochlicella barbara</i>	1,98±0,74	11,66±0,82	7,37±0,62
<i>Archelix punctata</i>	7,24±0,82	23,88±1,15	17,22±1,10
<i>Ferussacia folicus</i>	1,93±0,74	14,51±0,74	7,53±0,83
<i>Trochoidea elegans</i>	7,38±1,01	13,96±1,33	10,01±0,93
<i>Rumina decollata</i>	7,08±0,76	24,46±1,46	17,34±1,12
<i>Milax gagates</i>	1,86±0,82	13,56±0,89	26,66±0,78
<i>Milax nigricans</i>	1,06±0,46	12,51±0,90	24,51±0,57

### 3.4. Indices écologiques

#### 3.4.1. Printemps

##### 3.4.1.1. Indices de composition

Les résultats de la richesse totale (S) et moyenne (S’) montrent que la région de l’Est Algérien est riche en différentes familles et espèces des Gastéropodes pulmonés terrestres pendant la période du printemps. Le site d’El-Kala est plus riche en hélicidés, on remarque que le site de Ben M’hidi est le moins avec 9 espèces. Concernant la richesse moyenne, la valeur maximale est obtenue à El-Kala avec 330 et minimale à El-Tarf avec 272,33; un nombre important d’individus a été récolté à El Kala 990 mais faible à El-Tarf 817 (Tab. 17).

**Tableau 17 :** Richesse totale et moyenne des espèces récoltées dans les six sites d’étude durant la période du printemps (Mars, Avril et Mai 2010).

Paramètres Sites	El-Hadjar	Ben M’hidi	Sidi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
Richesse totale	13	9	10	10	10	14
Nombre total d’individus	930	958	888	930	817	990
Nombre de relevées	3	3	3	3	3	3
Richesse moyenne	310,33	319,33	296	310	272,33	330

Les données relatives à la fréquence centésimale sont mentionnées dans le tableau 18. On remarque que *Helix aspersa* est l'espèce la plus fréquente dans tous les sites étudiés suivi par l'espèce *Helix aperta*. En général, la fréquence varie d'un site à l'autre en fonction des conditions climatiques des régions ; elle est supérieure à 25% chez *Helix aspersa* dans les sites de El-Hadjar, Ben M'hidi et El-Tarf donc c'est une espèce rare par contre elle inférieure à 25% dans les sites de Sidi Kaçi, Bouteldja et El-Kala donc c'est une espèce très rare. Chez les autres espèces la fréquence moins de 25% dans tous les sites ce qui explique qu'elles sont des espèces très rares.

**Tableau 18 :** Fréquence centésimale (%) des espèces récoltées dans les six sites d'étude durant la période du printemps (Mars, Avril et Mai 2010).

Espèces	Sites					
	El-Hadjar	BenM'hidi	Sdi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
<i>Helix aspersa</i>	26,98	26,93	23,98	23,97	25,94	24,94
<i>Helix aperta</i>	14,94	20,98	20,94	20,96	19,95	17,98
<i>Helicella virgata</i>	5,91	8,97	4,95	14,96	5,99	5,96
<i>Chondrula tridens</i>	8,92	6,99	5,96	3,97	4,89	3,93
<i>Cochlicella barbara</i>	7,95	0	4,95	3,97	3,91	6,97
<i>Archelix punctata</i>	16,98	5,94	6,98	7,95	8,93	8,99
<i>Ferussacia folicus</i>	0	3,96	5,96	0	0	3,93
<i>Trochoidea elegans</i>	2,90	11,89	13,96	10,96	7,95	3,93
<i>Rumina decollata</i>	4,94	11,98	10,92	7,95	8,93	6,97
<i>Milax gagates</i>	3,97	0	0	2,90	6,97	3,93
<i>Milax nigricans</i>	0,96	1,98	0,90	1,93	5,99	1,91
<i>Macularia jourdaniana</i>	0,96	0	0	0	0	3,93
<i>Macularia hieroglyphicula</i>	1,93	0	0	0	0	3,93
<i>Archelix punctata</i>	1,93	0	0	0	0	1,91

Les résultats de la constance des Gastéropodes pulmonés terrestres pendant la période printanière indiquant que les espèces *Helix aspersa*, *Helix aperta*, *Trochoidea elegans* et *Rumina decollata* sont des espèces omniprésentes dans tous les sites étudiés (Tab. 19).

**Tableau 19 :** La constance (%) des espèces récoltées dans les six sites d'étude durant la période du printemps (Mars, Avril et Mai 2010).

<b>Sites</b> <b>Espèces</b>	<b>El-Hadjar</b>	<b>Ben M'hidi</b>	<b>Sidi Kaçi</b>	<b>Bouteldja</b>	<b>El-Tarf</b>	<b>El-Kala</b>
<i>Helix aspersa</i>	100	100	100	100	100	100
<i>Helix aperta</i>	100	100	100	100	100	100
<i>Helicella virgata</i>	0,66	0,33	0,33	100	0,66	100
<i>Chondrula tridens</i>	0,66	0,33	0,33	0,33	0,66	100
<i>Cochlicella barbara</i>	0,33	0	0,33	0,33	0,33	0,66
<i>Archelix punctata</i>	100	0,66	0,33	0,66	100	100
<i>Ferussacia folicus</i>	0	0,33	0,33	0,33	0,66	0,66
<i>Trochoidea elegans</i>	100	100	100	100	100	100
<i>Rumina decollata</i>	100	100	100	100	100	100
<i>Milax gagates</i>	0,33	0	0	0,33	0,66	0,66
<i>Milax nigricans</i>	0,33	0,33	0,33	0,33	0,66	0,33
<i>Macularia jourdaniana</i>	0,66	0	0	0	0	0,66
<i>Macularia hieroglyphicula</i>	0,66	0	0	0	0	0,66
<i>Archelix punctata</i>	0,66	0	0	0	0	100

### 3.4.1.2. Indices de structures

En ce concerne les indices de structures on observe que l'indice de diversité de Shanon-Weaver ( $H'$ ) présente la valeur maximale 3,15 à El-Kala et la valeur minimale 2,60 à Ben M'hidi. L'équitabilité (E) ou l'équité est la dimension fondamentale de la diversité qui permet de comparer les structures des peuplements. Les résultats montrent qu'elle varie entre 0,79 à Ben M'hidi et 0,95 à El-Kala. Elle est donc inférieure à 1, ce qui signifie que les différentes populations ne sont pas en équilibre entre elles (Tab. 20).

**Tableau 20 :** Indice de diversité de Shanon-Weaver ( $H'$ ) et l'équitabilité (E) des gastéropodes dans les six sites d'étude durant la période du printemps (Mars, Avril et Mai 2010).

<b>Sites</b> <b>Paramètres</b>	<b>El-Hadjar</b>	<b>Ben M'hidi</b>	<b>Sidi Kaçi</b>	<b>Bouteldja</b>	<b>El-Tarf</b>	<b>El-Kala</b>
<b>Shanon-Weaver</b>	3,02	2,60	2,85	2,86	2,80	3,15
<b>Equitabilité</b>	0,90	0,79	0,89	0,87	0,96	0,95

### 3.4.2. Eté

#### 3.4.2.1. Indices de composition

Pendant la saison de l'été la richesse totale (S) est maximale (7espèces) dans les sites ; El-Hadjar, Ben M'hidi, Boutreldja, El-Tarf et El-Kala, le site de Sidi Kaçi est moins riche en hélicidés avec 5 espèces. Pour la richesse moyenne (S'), le site de El-Kala présente la valeur maximale 175,66 et la valeur minimale à Sidi Kaçi 272,33. On signale un nombre important d'individus a été récolté à El Kala 527 (Tab. 21).

**Tableau 21 :** Richesse totale et moyenne des gastéropodes dans les cinq sites d'étude en période estivale (Juin, Juillet et Aout 2010).

Sites Paramètres	El-Hadjar	Ben M'hidi	Sidi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
Richesse totale	7	7	5	7	7	7
Nombre total d'individus	345	369	334	448	399	527
Nombre de relevées	3	3	3	3	3	3
Richesse moyenne	115	123	111,33	149,33	133	175,66

Les résultats de fréquence centésimale en période estivale révèlent que l'espèce *Helix aspersa* est fréquente à El-Hadjar 35,94% et Ben M'hidi 28,99%. On remarque que l'espèce *Helicella virgata* est la plus fréquente dans les sites de Sidi kaçi et Bouteldja avec des pourcentages 27,54% et 20,98% successivement. Dans le site de El-Tarf, *Trochoidea elegans* est l'espèce fréquente avec un pourcentage de 25,81% tandis que l'espèce *Otala lactea* est fréquente dans le site de El-Kala 27,89% (Tab. 22).

**Tableau 22 :** Fréquence centésimale (%) des espèces récoltées dans les six sites d'étude durant la période de l'été (Juin, Juillet et Aout 2010).

Sites Espèces	El-Hadjar	Ben M'hidi	Sidi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
<i>Helix aspersa</i>	35,94	28,99	17,96	9,82	13,78	16,88
<i>Helix aperta</i>	12,75	3,79	22,96	4,91	3,25	7,97
<i>Helicella virgata</i>	15,94	21,15	27,54	20,98	18,79	17,83
<i>Chondrula tridens</i>	10,72	16,80	0	18,97	15,78	9,86
<i>Archelix punctata</i>	5,79	6,73	13,17	13,83	14,78	27,89
<i>Trochoidea elegans</i>	9,85	9,75	24,25	25	25,81	14,99
<i>Rumina decollata</i>	7,82	7,85	0	5,80	5,76	3,98

Le tableau 23 illustre les valeurs de la constance (%), *Helix aspersa* présente un pourcentage de 100% dans les sites ; El-Hadjar, El-Tarf et El-Kala, donc elle est omniprésente. On remarque que l'espèce *Helicella virgata* présente la même valeur 0,33% dans tous les sites elle est accessoire.

**Tableau 23 :** La constance (%) des espèces récoltées dans les six sites d'étude durant la période de l'été (Juin, Juillet et Aout 2010).

Espèces	Sites					
	El-Hadjar	Ben M'hidi	Sidi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
<i>Helix aspersa</i>	100	0,66	0,66	0,66	100	100
<i>Helix aperta</i>	100	0,66	0,33	0,33	0,66	100
<i>Helicella virgata</i>	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
<i>Chondrula tridens</i>	0,33	0,33	0	0,33	0,33	0,33
<i>Archelix punctata</i>	0,66	0,66	0,33	0,33	0,66	100
<i>Trochoidea elegans</i>	0,66	0,66	0,66	100	100	0,66
<i>Rumina decollata</i>	0,66	0,66	0	0,66	100	100

### 3.4.2.2. Indices de structure

L'indice de diversité de Shanon – Weaver ( $H'$ ) pendant la saison de l'été varie entre 1,90 à Sidi Kaçi et 2,54 à El-Kala. La valeur maximale de l'équitabilité (E) ou l'équité est enregistrée à Ben M'hidi 0,73 et la valeur minimale à Sidi Kaçi 0,60, les différentes populations ne sont pas en équilibre entre elles  $E < 1$  (Tab. 24).

**Tableau 24 :** Indice de diversité de Shanon-Weaver ( $H'$ ) et l'équitabilité (E) des gastéropodes dans les cinq sites d'étude en période estivale (Juin, Juillet et Aout 2010).

Paramètres	Sites					
	El-Hadjar	BenM'hidi	Sidi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
Shanon-Weaver	2,53	2,60	1,90	2,50	2,49	2,54
Equitabilité	0,72	0,73	0,60	0,70	0,71	0,72

### 3.3.3. Automne

#### 3.3.3.1. Indices de composition

Le tableau 25 montre que la région de l'Est algérien est riche en différentes familles et espèces des gastéropodes pulmonés terrestres en période automnale. On remarque que le site

de El-Kala est plus riche en hélicidés avec 11 espèces, la richesse minimale au niveau le site de Sidi Kaçi 7 espèces. Concernant la richesse moyenne, la valeur maximale est obtenue à El-Kala de 241 et minimale à El-Hadjar de 173 ; ainsi un nombre important d'individus à El-Kala 723 mais faible à El-Hadjar 519.

**Tableau 25 :** Richesse totale et moyenne des gastéropodes dans les cinq sites d'étude en période automnale (Septembre, Octobre et Novembre 2010).

Sites	El-Hadjar	Ben M'hidi	Sidi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
<b>Paramètres</b>						
<b>Richesse totale</b>	10	10	7	10	10	11
<b>Nombre total d'individus</b>	519	607	593	669	598	723
<b>Nombre de relevées</b>	3	3	3	3	3	3
<b>Richesse moyenne</b>	173	202,33	197,66	223	199,33	241

D'après les résultats mentionnés dans le tableau 26, on remarque que l'espèce *Helix aspersa* présente un pourcentage majoritaire dans les sites ; El-Hadjar, Ben M'hidi, Sidi Kaçi, Bouteldja et El-Tarf. Au niveau de site de El-Kala, on signale que *Helix aspersa* et *Otala lactea* sont les plus fréquents 17,98 %, ainsi l'espèce *Helix aperta* a des valeurs importantes au niveau de tous les sites avec le maximale à El-Hadjar 24,85% et le minimale à El-Kala 11,89%.

**Tableau 26 :** Fréquence centésimale (%) des espèces récoltées dans les six sites d'étude durant la période de l'automne (Septembre, Octobre et Novembre 2010).

Sites	El-Hadjar	Ben M'hidi	Sidi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
<i>Helix aspersa</i>	29,86	23,88	22,93	24,96	19,9	17,98
<i>Helix aperta</i>	24,85	15,98	19,89	17,93	14,88	11,89
<i>Helicella virgata</i>	9,82	5,93	7,92	7,92	11,87	10,92
<i>Chondrula tridens</i>	4,81	10,87	7,92	4,93	5,85	7,88
<i>Cochlicella barbara</i>	2,89	0,98	0	0	5,01	4,97
<i>Archelix punctata</i>	6,93	12,85	10,96	11,95	12,87	17,98
<i>Ferussacia folicus</i>	1,92	0	0	1,94	0	1,93
<i>Trochoidea elegans</i>	4,81	9,88	12,68	7,92	11,87	9,95
<i>Rumina decollata</i>	11,94	14,99	16,86	14,94	12,87	8,99
<i>Milax gagates</i>	0	1,97	0	4,93	1,83	3,87
<i>Milax nigricans</i>	0,96	1,97	0	1,91	1,83	2,90

Les résultats de la constance (%) des gastéropodes pulmonés terrestres récoltés pendant la saison de l'automne (Tab. 27) indiquant que les espèces : *Helix aspersa*, *Helix aperta*, *Otala lactea* et *Rumina decollata* présentent un pourcentage de 100 % dans les six sites, ce qui explique que ce sont des espèces omniprésentes dans la région. Pour les limaces *Milax gagates* et *Milax nigricans* présentent une constance accessoire (0,33%) dans tous les sites ou ils sont présents.

**Tableau 27 :** La constance (%) des espèces récoltées dans les six sites d'étude durant la période de l'automne (Septembre, Octobre et Novembre 2010).

Espèces	Sites					
	El-Hadjar	Ben M'hidi	Sidi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
<i>Helix aspersa</i>	100	100	100	100	100	100
<i>Helix aperta</i>	100	100	100	100	100	100
<i>Helicella virgata</i>	100	0,66	0,66	0,66	100	100
<i>Chondrula tridens</i>	0,66	0,66	0,66	0,66	0,66	100
<i>Cochlicella barbara</i>	0,33	0,33	0	0	0,66	0,66
<i>Archelix punctata</i>	100	100	100	100	100	100
<i>Ferussacia folicus</i>	0,33	0	0	0,33	0	0,33
<i>Trochoidea elegans</i>	0,66	100	100	0,66	100	100
<i>Rumina decollata</i>	100	100	100	100	100	100
<i>Milax gagates</i>	0	0,33	0	0,33	0,33	0,33
<i>Milax nigricans</i>	0,33	0,33	0	0,33	0,33	0,33

### 3.4.3.2. Indices de structure

Le tableau 28 indique que l'indice de diversité de Shanon – Weaver (H') varie entre 2,67 à Sidi Kaçi et 3,10 à El-Kala. L'équitabilité (E) ou l'équirépartition est la dimension fondamentale de la diversité qui permet de comparer les structures des peuplements, les résultats montrent qu'elle est entre 0,82 et 0,95 donc  $E < 1$  ; ce qui signifie que les différentes populations ne sont pas en équilibre entre elles.

**Tableau 28 :** Indice de diversité de Shanon-Weaver (H') et l'équitabilité (E) des gastéropodes dans les cinq sites d'étude en période automnale (Septembre, Octobre et Novembre 2010).

Paramètres	Sites					
	El-Hadjar	Ben M'hidi	Sidi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
<b>Shanon-Weaver</b>	2,90	2,89	2,67	2,96	2,92	3,10
<b>Equitabilité</b>	0,87	0,88	0,82	0,89	0,90	0,95

### 3.4.4. Hiver

#### 3.4.4.1. Indices de composition

Les résultats de la richesse totale (S) pendant la saison de l'hiver montrent que les sites de El-Hadjar et El-Kala sont riches en hélicidés (11 espèces), on remarque que les sites de Sidi Kaçi et El-Tarf sont moins riches en hélicidés avec 5 espèces. Pour la richesse moyenne (S'), le site de El-Kala présente la valeur maximale 175,66 et la valeur minimale à Sidi Kaçi 272,33. On signale un nombre important d'individus a été récolté à El-Kala 527 (Tab. 29).

**Tableau 29 :** Richesse totale et moyenne des gastéropodes dans les cinq sites d'étude en période hivernale (Février et Décembre 2010, Janvier 2011).

Paramètres \ Sites	El-Hadjar	Ben M'hidi	Sidi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
Richesse totale	11	10	7	10	7	11
Nombre total d'individus	845	805	693	782	634	916
Nombre de relevées	3	3	3	3	3	3
Richesse moyenne	281,66	268,33	231	260,66	211,33	305,33

D'après les résultats de la fréquence en période hivernale, on remarque que l'espèce *Helix aspersa* est la plus fréquente dans tous les sites étudiés, suivi par *Helix aperta* a des fréquences importantes au niveau de tous les sites avec le maximale à Ben M'hidi 23,97% et le minimale à El-Kala 14,95% (Tab. 30).

**Tableau 30 :** Fréquence centésimale (%) des espèces récoltées dans les six sites d'étude durant la période de l'hiver (Décembre et Février 2010, Janvier 2011).

Espèces \ Sites	El-Hadjar	Ben M'hidi	Sidi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
<i>Helix aspersa</i>	31,95	28,94	24,96	22,89	24,92	18,99
<i>Helix aperta</i>	22,95	23,97	21,93	19,94	21,92	14,95
<i>Helicella virgata</i>	5,91	8,94	6,92	11,89	10,88	9,93
<i>Chondrula tridens</i>	2,95	2,98	5,91	5,88	6,94	8,95
<i>Cochlicella barbara</i>	0,94	3,97	0	0,89	0	2,94
<i>Archelix punctata</i>	11,95	5,96	12,98	11,89	12,93	13,97
<i>Ferussacia folicus</i>	0,94	0	0	2,94	0	3,93
<i>Trochoidea elegans</i>	9,94	9,93	11,97	11,89	9,93	9,93
<i>Rumina decollata</i>	6,98	9,93	14,86	8,95	11,98	10,91
<i>Milax gagates</i>	2,01	1,98	0	0	0	2,94
<i>Milax nigricans</i>	2,95	2,98	0	1,91	0	1,96

Les valeurs de la constance (%) des gastéropodes pulmonés terrestres révèlent que les espèces : *Helix aspersa*, *Helix aperta*, *Archelix punctata*, *Trochoidea elegans* et *Rumina decollata* présentent un pourcentage de (100%) dans les six sites ; ce qui explique que ce sont des espèces omniprésentes dans la région de l'est Algérien en période hivernale (Tab. 31).

**Tableau 31 :** La constance (%) des espèces récoltées dans les six sites d'étude durant la période de l'hiver (Décembre et Février 2010, Janvier 2011).

Espèces \ Sites	Sites					
	El-Hadjar	BenM'hidi	Sidi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
<i>Helix aspersa</i>	100	100	100	100	100	100
<i>Helix aperta</i>	100	100	100	100	100	100
<i>Helicella virgata</i>	0,66	0,66	0,66	0,66	100	100
<i>Chondrula tridens</i>	100	0,66	0,66	0,66	100	100
<i>Cochlicella barbara</i>	0,66	0,66	0	0,33	0	0,66
<i>Archelix punctata</i>	100	100	100	100	100	100
<i>Ferussacia folicus</i>	0,33	0	0	0,33	0	0,33
<i>Trochoidea elegans</i>	100	100	100	100	100	100
<i>Rumina decollata</i>	100	100	100	100	100	100
<i>Milax gagates</i>	100	100	0	0	0	100
<i>Milax nigricans</i>	0,66	0,66	0	100	0	100

### 3.4.4.2. Indices de structure

Les résultats de l'indice de diversité de Shanon-Weaver (H') en période hivernale montrent que la valeur maximale 3,12 à El-Kala et minimale 2,68 à Sidi Kaçi. En ce concerne L'équitabilité (E) ou l'équirépartition les résultats montrent qu'elle est entre 0,68 et 0,96 donc  $E < 1$  ; ce qui signifie que les différentes populations ne sont pas en équilibre entre elles (Tab. 32).

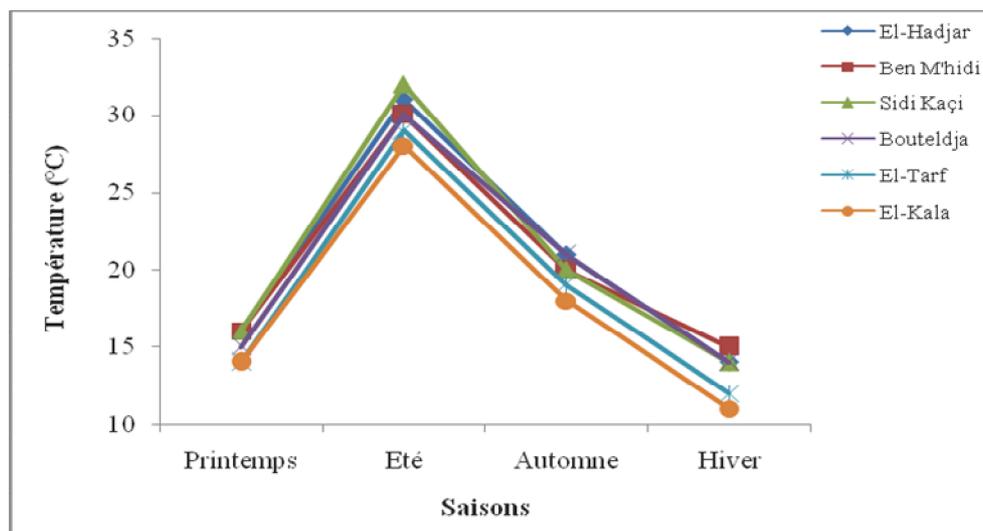
**Tableau 32 :** Indice de diversité de Shanon-Weaver (H') et l'équitabilité (E) des gastéropodes dans les cinq sites d'étude en période de l'hiver (Décembre 2010, Janvier et Février 2011).

Paramètres \ Sites	Sites					
	El-Hadjar	Ben M'hidi	Sidi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
Shanon-Weaver	2,94	2,88	2,68	2,90	2,75	3,12
Equitabilité	0,95	0,89	0,80	0,87	0,83	0,96

### 3.5. Caractéristiques physico-chimiques des sols d'échantillonnage

#### 3.5.1. Variation saisonnière des valeurs de température

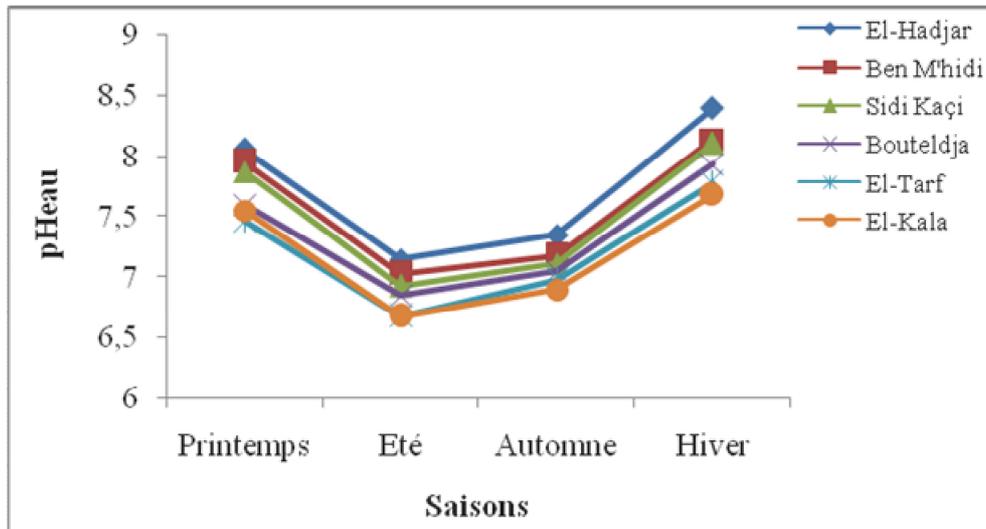
Les variations de la température de sol dans les sites étudiés sont similaires et importantes où elle passe de 12,66°C en hiver dans le site de El-Kala à 32,33°C la saison d'été dans le site de Sidi Kaçi. Cependant le sol dans laquelle vit les gastéropodes n'est donc jamais très froide. (Fig. 12).



**Figure 12 :** Variation saisonnière de la température dans les sites d'étude durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 (m±s, n=12).

#### 3.5.2. Variation saisonnière des taux du pH eau

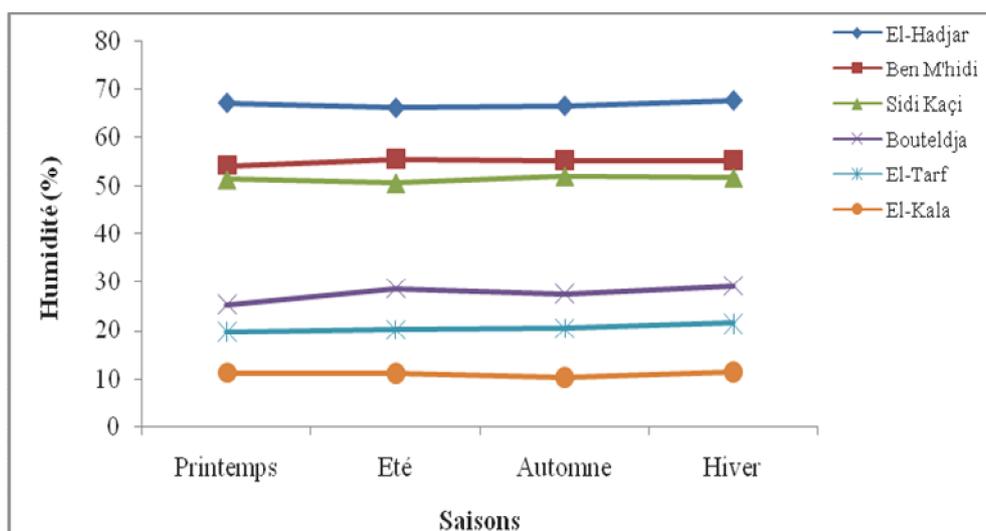
Les variations saisonnières du pH eau du sol dans la zone d'étude (Fig.13) sont similaires où la valeur la plus élevée est enregistré en Hiver dans le site d'El-Hadjjar 8,4 et la valeur le plus faible 7,11 au niveau de Sidi Kaçi en automne. Les mesures du pH eau de sol montrent des variations relativement constantes dans les différents sites d'études. Ces résultats indiquent que les sols étudiés sont des sols alcalins (pH > 7,5) pendant la saison du printemps et de l'hiver et que les sols étudiés durant la période estivale et la période automnale sont des sols neutres (pH 6,75-7,25).



**Figure 13:** Variation saisonnière du pH eau dans les sites d'étude durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 (m±s, n=12).

### 3.5.3. Variation saisonnière de la Texture

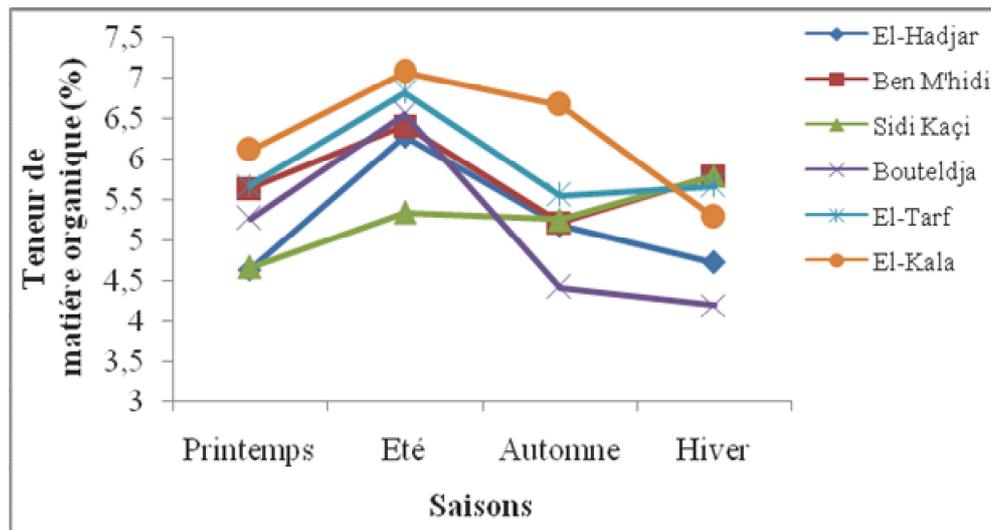
Les variations saisonnières des valeurs de l'humidité représentées dans la figure 14. Les valeurs maximales à El-Hadjar avec un maximum de 67,73 en Hiver. Par contre les valeurs minimales à El-Kala avec un minimum de 10,36 en Automne. Les résultats obtenus montrent que les sols d'El-Hadjar, Ben M'hidi et Sidi kaçi sont de sols argilo-limoneuse. Tandis que les sols de Bouteldja, El-Tarf et El-Kala sont respectivement des sols limono-sableux, sablo-limoneux et sableux.



**Figure 14.** Variation saisonnière de l'humidité dans les sites d'étude durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 (m±s, n=12).

### 3.5.3. Variation saisonnière de la Matière organique

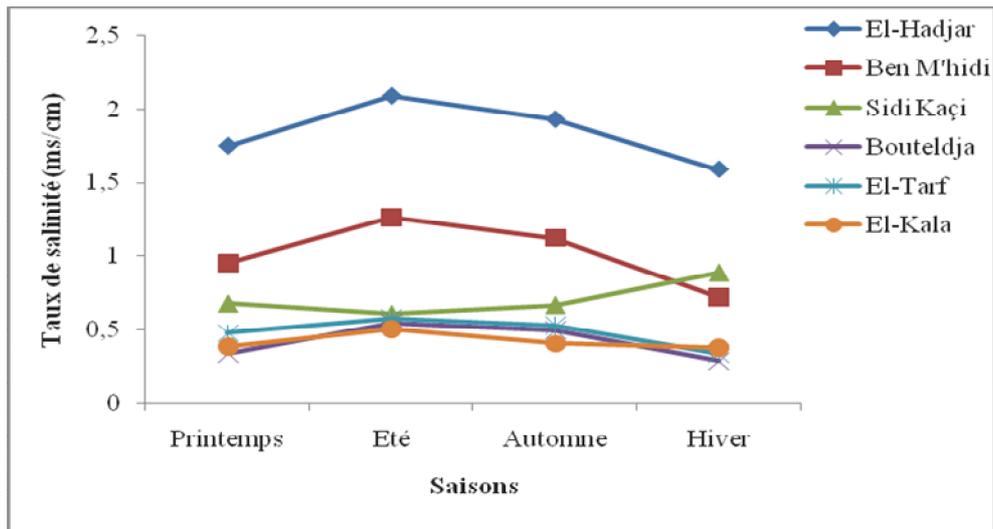
Les variations saisonnières des valeurs de la matière organiques des sols étudiés sont mentionnées dans la figure 15. Les valeurs maximales en période estivale au niveau de tout les sites avec un minimum de 5,34 % à Sidi Kaçi et un maximum de 7,07 %, par contre les valeurs minimales en période hivernale avec un minimum de 4,20 % à El-Tarf et un maximum de 5,79 à Ben M'hidi et Sidi Kaçi. Les valeurs obtenues montrent que les sols étudiés sont des sols riches en matière organique.



**Figure 15 :** Variation saisonnière du taux de matière organique dans les sites d'étude durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 (m±s, n=12).

### 3.5.4. Variation saisonnière de la conductivité électrique (salinité)

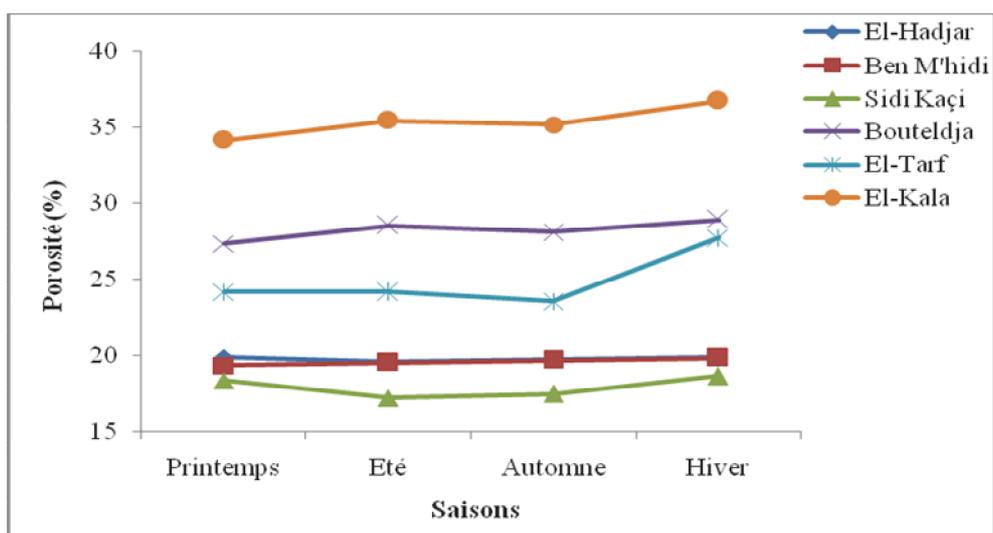
Les variations saisonnières des valeurs de la salinité sont enregistrées dans la figure 16. L'évolution de la salinité permet de révéler des valeurs minimales en période hivernale dans les six sites, avec un minimum de 0,38 ms/cm à El-Kala et un maximum de 1,59 ms/cm à El-Hadjar, par contre les valeurs maximales sont observées en période estivale dans les six sites de prélèvement 2,09 à El-Hadjar et 0,51 à El-Kala. Les résultats de salinité montrent que les sols de Bouteldja, El-Tarf et El-Kala ne sont pas salés, par contre les sols de Ben M'hidi et Sidi Kaçi sont des sols peu salés et le sol d'El-Hadjar est un sol salé.



**Figure 16 :** Variation saisonnière du taux de salinité dans les sites d'étude durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 (m±s, n=12).

### 3.5.5. Variation saisonnière de la porosité

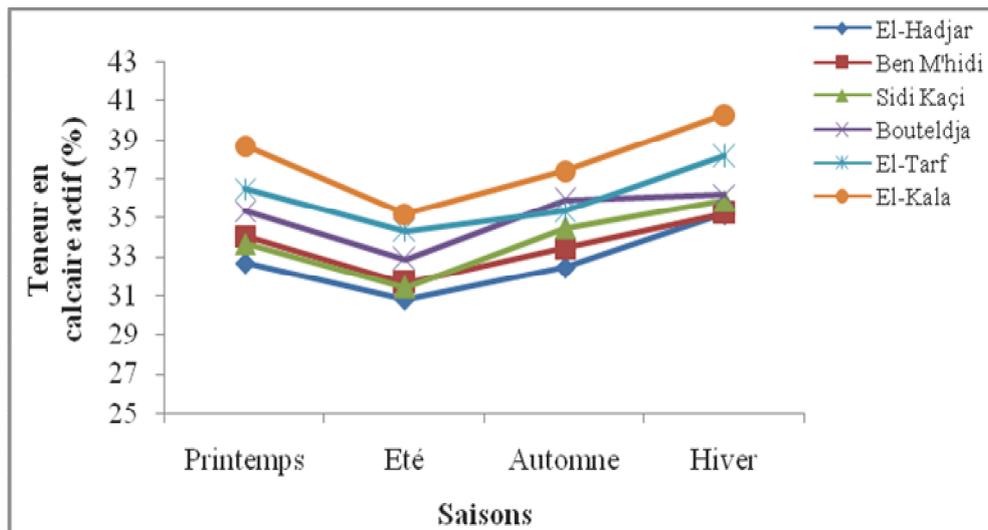
La figure 17 présente les variations saisonnières du taux de porosité. Les valeurs les plus basses enregistrées au niveau de Sidi Kaçi suivi par Ben M'hidi et El-Hadjar ou les valeurs sont variées entre 17,17 et 19,88. Ces sites ont une porosité assez faible, au niveau de Bouteldja et El-Tarf les valeurs sont variées entre 24,16 et 28,89 successivement donc ont une porosité assez forte, les valeurs saisonnière de la porosité les plus élevés sont enregistrés à El-Kala, c'est une porosité forte.



**Figure 17 :** Variation saisonnière de porosité dans les sites d'étude durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 (m±s, n=12).

### 3.5.7. Variation saisonnière du calcaire actif

La figure 18 présente les variations saisonnières du teneur en calcaire actif. Les valeurs les plus basses enregistrées en été dans tous les sites, avec un teneur maximal au niveau de El-Kala  $38,19 \pm 0,66\%$  et le teneur minimal à Sidi Kaçi  $29,41 \pm 0,47\%$ . Les teneurs en calcaire les plus faibles enregistrées en période hivernale, le teneur le plus élevé à  $31,28 \pm 0,91\%$  et le plus faible à  $26,89 \pm 0,45\%$ . Les sols des sites étudiés sont riches en calcaire  $>30\%$ , sauf le site de Sidi Kaçi qui a un sol calcaire 15-30%.



**Figure 18 :** Variation saisonnière du teneur en calcaire actif dans les sites d'étude durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 (m±s, n=12).

### 3.6. Concentration des éléments traces métalliques dans les sols étudiés

#### 3.6.1 Comparaison des concentrations de fer dans le sol

Les concentrations obtenues de fer dans le sol des sites étudiés par la SAA (Tab. 33 et Fig 19) révèlent que les concentrations les plus élevées sont enregistrées en période estivale, avec une concentration maximale à El-Hadjar  $849,998 \pm 65,063$  ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) et une concentration minimale à El-Kala  $330,040 \pm 12,578$  ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol). On remarque que les valeurs les plus faibles en période hivernale. La valeur maximale enregistrée au niveau de El-Hadjar  $586,943 \pm 3,926$  ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) minimale au niveau de El-Kala  $295,203 \pm 20,693$  ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol).

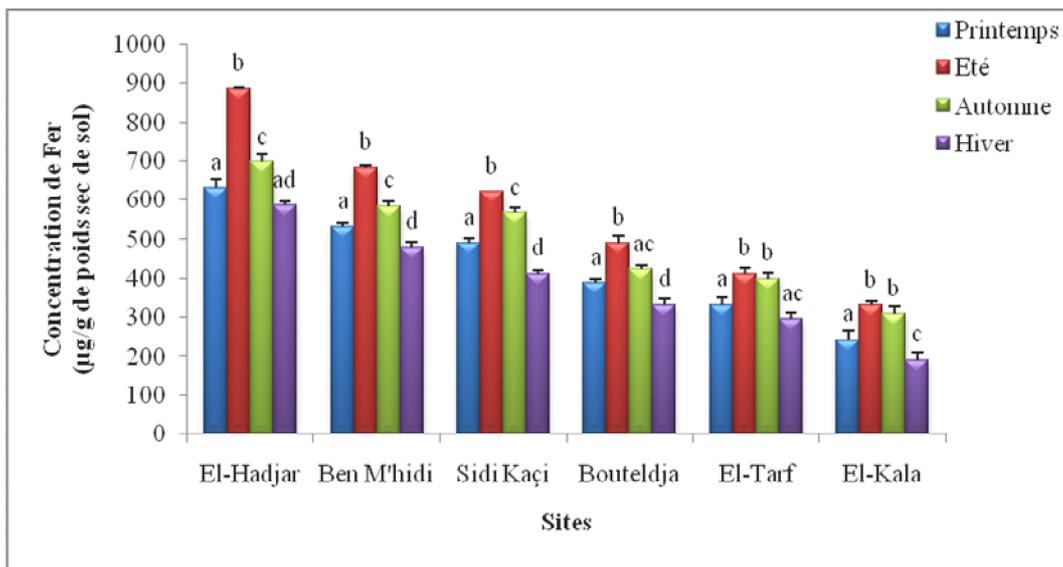
La comparaison des concentrations de Fer grâce au test de Tukey (Tab. 33) entre les quatre saisons pour le site de El-Hadjar permis d'identifier 4 groupes: le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été troisième groupe englobe l'automne et le quatrième groupe englobe le printemps et l'hiver. Pour le site de Ben M'hidi on remarque qu'il existe 4 groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe la l'été troisième groupe englobe l'automne et le quatrième groupe englobe l'hiver. Concernent le site de Sidi Kaçi, on signale l'existence de 4 groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été troisième groupe englobe l'automne et le quatrième groupe englobe le printemps et l'hiver. Dans le site de Bouteldja il existe 4 groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été troisième groupe englobe le printemps et l'automne et le quatrième groupe englobe l'hiver. Pour le site de El-Tarf on remarque qu'il existe 3 groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été et l'automne troisième groupe englobe l'hiver. Pour le site de El-Kala on remarque qu'il existe 3 groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été et l'automne troisième groupe englobe l'hiver

D'un autre côté le test de Tukey entre les sites d'une même saison montre qu'il existe cinq classes en printemps ; classe A regroupe El-Hadjar, classe B regroupe Ben M'hidi et Sidi Kaçi, classe C regroupe Bouteldja classe D regroupe El-Tarf et classe E regroupe le site de El-Kala. En ce concerne l'été, on remarque l'existence de six classes ; classe A regroupe El-Hadjar, classe b regroupe Ben M'hidi, classe C regroupe Sidi Kaçi, classe D regroupe Bouteldja, classe E regroupe El-Tarf et classe F regroupe le site de El-Kala. Pendant l'automne on signale quatre classes; classe A regroupe El-Hadjar, classe B regroupe Ben M'hidi et Sidi Kaçi, classe C regroupe Bouteldja et El-Tarf et classe D regroupe le site de El-Kala et pour l'hiver il existe cinq classe classe A regroupe El-Hadjar, classe B regroupe Ben M'hidi, classe C regroupe Sidi Kaçi, classe D regroupe Bouteldja et El-Tarf et classe E regroupe le site de El-Kala.

**Tableau 33:** Concentration de Fer dans le sol des sites étudiés ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) pendant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ ,  $n=12$ ). Test de Tukey : les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes ( $P > 0,05$ ).

Sites Saisons	El-Hadjar	Ben M'hidi	Sidi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
<b>Printemps</b>	630,147 $\pm$ 24,979 <b>A</b> a	532,607 $\pm$ 10,402 <b>B</b> a	491,513 $\pm$ 11,179 <b>B</b> a	387,573 $\pm$ 11,323 <b>C</b> a	332,414 $\pm$ 17,694 <b>D</b> a	243,574 $\pm$ 24,984 <b>E</b> a
<b>Eté</b>	849,998 $\pm$ 65,063 <b>A</b> b	675,110 $\pm$ 62,193 <b>B</b> b	620,922 $\pm$ 14,364 <b>C</b> b	492,087 $\pm$ 10,872 <b>D</b> b	412,674 $\pm$ 52,678 <b>E</b> b	330,040 $\pm$ 12,578 <b>F</b> b
<b>Automne</b>	698,659 $\pm$ 18,503 <b>A</b> c	584,448 $\pm$ 11,280 <b>B</b> c	566,618 $\pm$ 14,813 <b>B</b> c	423,877 $\pm$ 10,939 <b>C</b> ac	399,529 $\pm$ 15,074 <b>C</b> b	309,526 $\pm$ 19,479 <b>D</b> b
<b>Hiver</b>	586,943 $\pm$ 3,926 <b>A</b> ad	479,956 $\pm$ 16,855 <b>B</b> d	412,753 $\pm$ 55,440 <b>C</b> d	332,693 $\pm$ 18,525 <b>D</b> d	295,203 $\pm$ 20,693 <b>D</b> ac	192,433 $\pm$ 24,282 <b>E</b> c

Les lettres en majuscules comparent les moyennes d'une même saison entre les sites, tandis que les lettres en minuscules comparent les moyennes d'un même site entre les deux saisons.



**Figure 19.** Concentration de Fer dans le sol des sites étudiés ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) pendant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ ,  $n=12$ ).

L'ANOVA à deux critères de classification (site, saison) des données sur les concentrations de Fer indique des effets site, saison et l'interaction site-saison ( $p < 0,001$ ) hautement significatif (Tab. 34).

**Tableau 34 :** Concentration de Fer dans le sol des sites étudiés ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ ,  $n=12$ ). Analyse de la variance à deux critères de classification.

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Site	3	1432480	1432480	286496	1171,86	0,000***
saison	5	292521	292521	97507	398,83	0,000***
Site*Saison	15	31620	31620	2108	8,62	0,000***
Erreur	48	11735	11735	244		
Total	71	1768356				

NS : non significatif \* significatif ( $P < 0,05$ ) \*\* très significatif ( $P < 0,01$ ) \*\*\* hautement significatif ( $P < 0,001$ )

### 3.6.2. Comparaison des concentrations de Manganèse dans le sol

Les concentrations de manganèse ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) dans le sol des sites étudiés par la SAA sont mentionnées dans le tableau 35 et figure 20. En effet les résultats obtenus montrent que les concentrations les plus élevées sont enregistrées en période estivale avec une concentration maximale à El-Hadjar  $20,892 \pm 1,422$  ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) et une concentration minimale à El-Kala  $10,360 \pm 1,794$  ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol). Les faibles concentrations de manganèse sont enregistrées en hiver. On signale que la valeur la plus élevée toujours motionnée au niveau de El-Hadjar  $11,098 \pm 0,898$  ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) et la plus faible au niveau de El-Kala  $3,439 \pm 0,428$  ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol).

La comparaison des concentrations de Manganèse grâce au test de Tukey (Tab. 35) entre les quatre saisons pour le site de El-Hadjar révèle qu'il existe 4 groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe l'automne et le quatrième groupe englobe l'hiver. Pour le site de Ben M'hidi on remarque qu'il existe 4 groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe la l'été, troisième groupe englobe l'automne et le quatrième groupe englobe l'hiver. En ce concerne le site de Sidi Kaçi, on signale l'existence de 4 groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe l'automne et le quatrième groupe englobe le printemps et l'hiver. Dans le site de Bouteldja il existe trois groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été et l'automne et troisième groupe englobe l'hiver. Pour le site de El-Tarf on remarque qu'il existe 3 groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été et l'automne, troisième groupe englobe

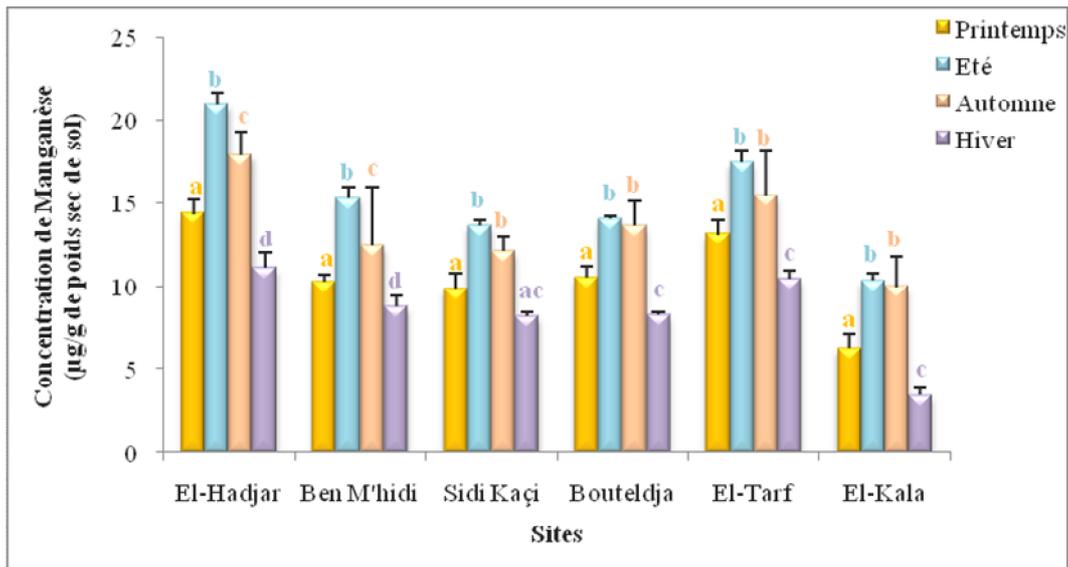
l'hiver. Pour le site de El-Kala on remarque qu'il existe 3 groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été et l'automne, troisième groupe englobe l'hiver.

D'un autre coté le test de Tukey entre les sites d'une même saison montre qu'il existe six classes en printemps ; classe A regroupe El-Hadjar, classe B regroupe Ben M'hidi, classe C Sidi Kaçi, classe D regroupe Bouteldja, classe E regroupe El-Tarf et classe F regroupe le site de El-Kala. En ce concerne l'été, on remarque l'existence de six classes ; classe A regroupe El-Hadjar, classe b regroupe Ben M'hidi, classe C regroupe Sidi Kaçi, classe D regroupe Bouteldja, classe E regroupe El-Tarf et classe F regroupe le site de El-Kala. Pendant l'automne on signale cinq classes; classe A regroupe El-Hadjar, classe B regroupe Ben M'hidi et Sidi Kaçi, classe C regroupe Bouteldja, classe D regroupe El-Tarf et classe E regroupe le site de El-Kala et pour l'hiver il existe quatre classe ; classe A regroupe El-Hadjar, classe B regroupe Ben M'hidi, Sidi Kaçi et Bouteldja, classe C regroupe El-Tarf et classe D regroupe le site de El-Kala.

**Tableau 35 :** Concentrations de Manganèse dans le sol des sites étudiés ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ ,  $n=12$ ). Test de Tukey : les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes ( $P > 0,05$ ).

	El-Hadjar	Ben M'hidi	Sidi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
<b>Printemps</b>	14,532 $\pm$ 1,032 <b>A</b> a	10,307 $\pm$ 1,385 <b>B</b> a	9,423 $\pm$ 0,865 <b>C</b> a	10,608 $\pm$ 1,701 <b>D</b> a	13,563 $\pm$ 1,060 <b>E</b> a	6,599 $\pm$ 0,992 <b>F</b> a
<b>Eté</b>	20,559 $\pm$ 0,388 <b>A</b> b	15,760 $\pm$ 0,466 <b>B</b> b	13,660 $\pm$ 0,089 <b>C</b> b	14,085 $\pm$ 0,255 <b>D</b> b	17,283 $\pm$ 0,270 <b>E</b> b	10,760 $\pm$ 0,419 <b>F</b> b
<b>Automne</b>	17,826 $\pm$ 0,984 <b>A</b> c	12,401 $\pm$ 1,003 <b>B</b> c	12,265 $\pm$ 0,325 <b>B</b> c	13,516 $\pm$ 0,915 <b>C</b> b	15,659 $\pm$ 0,637 <b>D</b> b	9,811 $\pm$ 1,495 <b>E</b> b
<b>Hiver</b>	11,398 $\pm$ 0,397 <b>A</b> d	8,675 $\pm$ 0,211 <b>B</b> d	8,238 $\pm$ 0,103 <b>B</b> ad	8,352 $\pm$ 0,057 <b>B</b> c	10,562 $\pm$ 0,262 <b>C</b> c	3,206 $\pm$ 0,074 <b>D</b> c

Les lettres en majuscules comparent les moyennes d'une même saison entre les sites, tandis que les lettres en minuscules comparent les moyennes d'un même site entre les saisons.



**Figure 20 :** Concentration de Manganèse dans le sol des sites étudiés ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ ,  $n=12$ ).

L'ANOVA à deux critères de classification (site, saison) des concentrations de Manganèse indique un effet site et un effet saison ( $p < 0,001$ ) hautement significatifs, par contre l'interaction site/saison on a un effet ( $p < 0,001$ ) très significatif (Tab. 36).

**Tableau 36 :** Concentration de Manganèse dans le sol des sites étudiés ( $\text{mg/g}$  de poids sec de sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ ,  $n=12$ ). Analyse de la variance à deux critères de classification.

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Site	5	508,974	508,974	101,795	160,10	0,000***
saison	3	504,422	504,422	168,141	264,45	0,000***
Site* saison	15	24,56	24,56	1,637	2,58	0,007**
Erreur	48	30,519	30,519	0,636		
Total	71	1068,475				

NS : non significatif \* significatif ( $P < 0,05$ ) \*\* très significatif ( $P < 0,01$ ) \*\*\* hautement significatif ( $P < 0,001$ )

### 3.6.3. Comparaison des concentrations de Plomb dans le sol

Les concentrations de Plomb ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) dans le sol des sites étudiés par la SAA sont mentionnées dans le tableau 37 et figure 21. Les résultats obtenus montrent que les concentrations les plus élevées sont enregistrées en période estivale, avec une concentration maximale à El-Tarf  $1,979 \pm 0,599$  ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) et une concentration minimale à

El-Kala  $1,060 \pm 0,060$  ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol). On observe que les valeurs les plus faibles en période hivernale, la valeur maximale enregistré à El-Tarf  $1,399 \pm 0,058$  ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) et la valeur minimale à El-Kala  $0,374 \pm 0,110$  ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol).

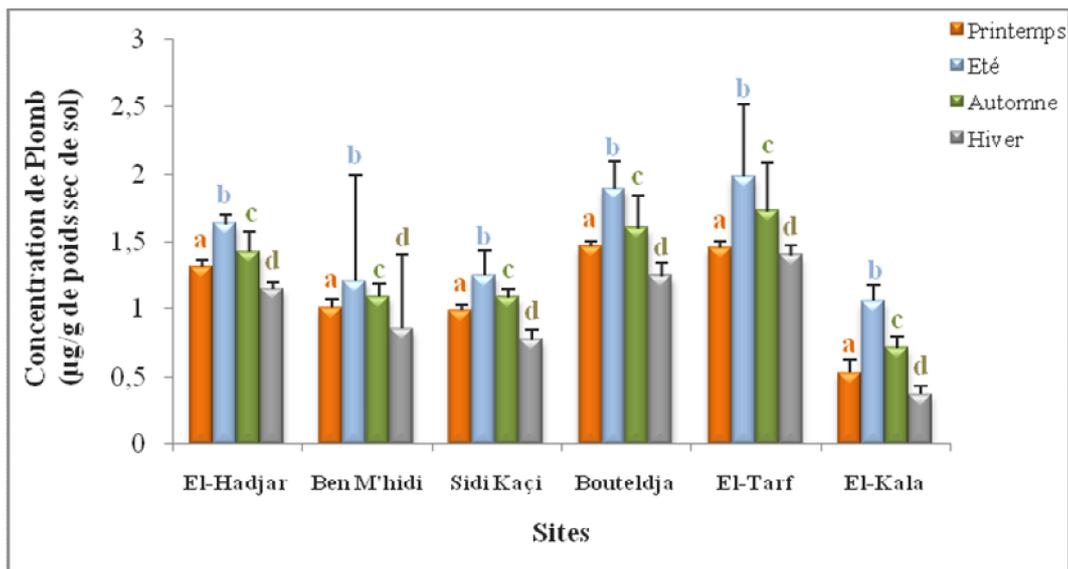
La comparaison des concentrations de Plomb grâce au test de Tukey (Tab. 37) entre les quatre saisons indique qu'il existe quatre groupes à El-Hadjar ; le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe l'automne et le printemps et le quatrième groupe englobe l'hiver. Pour le site de Ben M'hidi on remarque qu'il existe deux groupes : le premier groupe englobe le printemps, l'été et l'automne et le deuxième groupe englobe l'hiver. En ce concerne le site de Sidi Kaçi, on signale l'existence de quatre groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe le printemps et l'automne et le quatrième groupe englobe l'hiver. Dans le site de Bouteldja il existe quatre groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe l'automne et quatrième groupe englobe l'hiver. Pour le site de El-Tarf on remarque qu'il existe quatre groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe l'automne, quatrième groupe englobe le printemps et l'hiver. Pour le site de El-Kala on remarque qu'il existe quatre groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe l'automne et quatrième groupe englobe l'hiver.

D'un autre coté le test de Tukey entre les sites d'une même saison montre qu'il existe six classes en printemps ; classe A regroupe El-Hadjar, classe B regroupe Ben M'hidi, classe C Sidi Kaçi, classe D regroupe Bouteldja, classe E regroupe El-Tarf et classe F regroupe le site de El-Kala. En ce concerne l'été, on remarque l'existence de six classes ; classe A regroupe El-Hadjar, classe b regroupe Ben M'hidi, classe C regroupe Sidi Kaçi, classe D regroupe Bouteldja, classe E regroupe El-Tarf et classe F regroupe le site de El-Kala. Pendant l'automne on signale cinq classes; classe A regroupe El-Hadjar, classe B regroupe Ben M'hidi et Sidi Kaçi, classe C regroupe Bouteldja, classe D regroupe El-Tarf et classe E regroupe le site de El-Kala et pour l'hiver il existe cinq classe classe A regroupe El-Hadjar, classe B regroupe Ben M'hidi et Sidi Kaçi, classe C regroupe Bouteldja, classe D regroupe El-Tarf et classe E regroupe le site de El-Kala.

**Tableau 37 :** Concentration du Plomb dans le sol des sites étudiés ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ ,  $n=12$ ). Test de Tukey : les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes ( $P > 0,05$ ).

	El-Hadjar	Ben M'hidi	Sidi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
<b>Printemps</b>	1,313 $\pm$ 0,081 <b>A</b> a	1,107 $\pm$ 0,194 <b>B</b> a	0,989 $\pm$ 0,013 <b>C</b> a	1,463 $\pm$ 0,068 <b>D</b> a	1,477 $\pm$ 0,058 <b>E</b> a	0,540 $\pm$ 0,061 <b>F</b> a
<b>Eté</b>	1,630 $\pm$ 0,049 <b>A</b> b	1,210 $\pm$ 0,550 <b>B</b> a	1,255 $\pm$ 0,177 <b>C</b> b	1,890 $\pm$ 0,202 <b>D</b> b	1,979 $\pm$ 0,599 <b>E</b> b	1,060 $\pm$ 0,060 <b>F</b> b
<b>Automne</b>	1,458 $\pm$ 0,047 <b>A</b> ac	1,061 $\pm$ 0,116 <b>B</b> a	1,084 $\pm$ 0,069 <b>B</b> ac	1,603 $\pm$ 0,012 <b>C</b> c	1,742 $\pm$ 0,054 <b>D</b> c	0,744 $\pm$ 0,052 <b>E</b> c
<b>Hiver</b>	1,149 $\pm$ 0,055 <b>A</b> d	0,856 $\pm$ 0,056 <b>B</b> b	0,770 $\pm$ 0,047 <b>B</b> d	1,247 $\pm$ 0,044 <b>C</b> d	1,399 $\pm$ 0,058 <b>D</b> ad	0,374 $\pm$ 0,110 <b>E</b> d

Les lettres en majuscules comparent les moyennes d'une même saison entre les sites, tandis que les lettres en minuscules comparent les moyennes d'un même site entre les saisons.



**Figure 21 :** Concentration de Plomb dans le sol des sites étudiés ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ ,  $n=12$ ).

L'analyse de la variance à deux critères de classification (site, saison) des concentrations du Plomb montre un effet site et un effet saison ( $p < 0,001$ ) hautement significatifs et l'interaction site/saison révèle un effet ( $p < 0,01$ ) très significatif (Tab. 38).

**Tableau 38 :** Concentration du Plomb dans le sol des sites étudiés ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ ,  $n=12$ ). Analyse de la variance à deux critères de classification.

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Site	5	8,06634	8,06634	1,61327	320,82	0,001***
saison	3	2,69849	2,69849	0,89950	178,87	0,001***
Site*saison	15	0,25542	0,25542	0,01703	3,39	0,001***
Erreur	48	0,24138	0,24138	0,00503		
Total	71	11,26163				

NS : non significatif \* significatif ( $P < 0,05$ ) \*\* très significatif ( $P < 0,01$ ) \*\*\* hautement significatif ( $P < 0,001$ )

### 3.6.4. Comparaison des concentrations du Cadmium dans le sol

Les concentrations de Cadmium ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) dans le sol des sites étudiés par la SAA sont mentionnées dans le tableau 39 et figure 22. En effet, les résultats obtenus montrent que les concentrations les plus élevées sont enregistrées en période estivale avec une concentration maximale à El-Hadjar  $0,151 \pm 0,004$  ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) et une concentration minimale à El-Kala  $0,054 \pm 0,013$  ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol). En période hivernale, la valeur la plus élevée mentionnée est de El-Hadjar  $0,097 \pm 0,009$  ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) et la plus faible à El-Kala  $0,017 \pm 0,003$  ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol).

La comparaison des concentrations de Cadmium grâce au test de Tukey (Tab. 39) entre les quatre saisons indique qu'il existe quatre groupes à El-Hadjar ; le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe l'automne et le printemps et le quatrième groupe englobe l'hiver. Pour le site de Ben M'hidi on remarque qu'il existe quatre groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe le printemps et l'automne et le quatrième groupe englobe l'hiver. En ce concerne le site de Sidi Kaçi, on signale l'existence de quatre groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe le printemps et le quatrième groupe englobe l'hiver. Dans le site de Bouteldja il existe quatre groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe le printemps et l'automne et quatrième groupe englobe l'hiver. Pour le site de El-Tarf on remarque qu'il existe quatre groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe l'automne et quatrième groupe englobe l'hiver. Pour le site de El-Kala on remarque qu'il existe quatre groupes : le

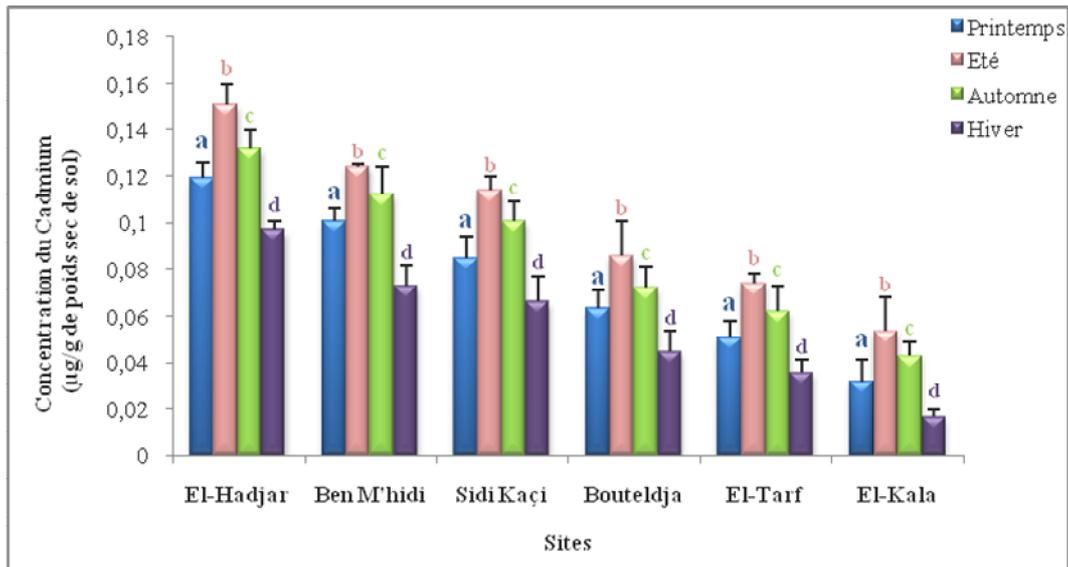
premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe l'automne et quatrième groupe englobe l'hiver.

D'un autre coté le test de Tukey entre les sites d'une même saison montre qu'il existe six classes en printemps ; classe A regroupe El-Hadjar, classe B regroupe Ben M'hidi, classe C Sidi Kaçi, classe D regroupe Bouteldja, classe E regroupe El-Tarf et classe F regroupe le site de El-Kala. En ce concerne l'été, on remarque l'existence de six classes ; classe A regroupe El-Hadjar, classe b regroupe Ben M'hidi, classe C regroupe Sidi Kaçi, classe D regroupe Bouteldja, classe E regroupe El-Tarf et classe F regroupe le site de El-Kala. Pendant l'automne on signale cinq classes; classe A regroupe El-Hadjar, classe B regroupe Ben M'hidi et Sidi Kaçi, classe C regroupe Bouteldja, classe D regroupe El-Tarf et classe E regroupe le site de El-Kala et pour l'hiver il existe cinq classes ; classe A regroupe El-Hadjar, classe B regroupe Ben M'hidi et Sidi Kaçi, classe C regroupe Bouteldja, classe D regroupe El-Tarf et classe E regroupe le site de El-Kala.

**Tableau 39 :** Concentration de Cadmium dans le sol des sites étudiés ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m\pm s$ ,  $n=12$ ). Test de Tukey : les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes ( $P > 0,05$ ).

	<b>El-Hadjar</b>	<b>Ben M'hidi</b>	<b>Sidi Kaçi</b>	<b>Bouteldja</b>	<b>El-Tarf</b>	<b>El-Kala</b>
<b>Printemps</b>	0,119 $\pm$ 0,002 <b>A</b> <b>a</b>	0,101 $\pm$ 0,002 <b>B</b> <b>a</b>	0,086 $\pm$ 0,002 <b>C</b> <b>a</b>	0,063 $\pm$ 0,002 <b>D</b> <b>a</b>	0,051 $\pm$ 0,003 <b>E</b> <b>a</b>	0,032 $\pm$ 0,001 <b>F</b> <b>a</b>
<b>Été</b>	0,151 $\pm$ 0,004 <b>A</b> <b>b</b>	0,124 $\pm$ 0,009 <b>B</b> <b>b</b>	0,114 $\pm$ 0,011 <b>C</b> <b>b</b>	0,086 $\pm$ 0,009 <b>D</b> <b>b</b>	0,074 $\pm$ 0,005 <b>E</b> <b>b</b>	0,054 $\pm$ 0,013 <b>F</b> <b>b</b>
<b>Automne</b>	0,132 $\pm$ 0,008 <b>A</b> <b>ac</b>	0,112 $\pm$ 0,003 <b>B</b> <b>ac</b>	0,110 $\pm$ 0,017 <b>B</b> <b>c</b>	0,073 $\pm$ 0,004 <b>C</b> <b>ac</b>	0,062 $\pm$ 0,003 <b>D</b> <b>c</b>	0,043 $\pm$ 0,002 <b>E</b> <b>c</b>
<b>Hiver</b>	0,097 $\pm$ 0,009 <b>A</b> <b>d</b>	0,073 $\pm$ 0,001 <b>B</b> <b>d</b>	0,066 $\pm$ 0,006 <b>B</b> <b>d</b>	0,045 $\pm$ 0,005 <b>C</b> <b>d</b>	0,036 $\pm$ 0,004 <b>D</b> <b>d</b>	0,017 $\pm$ 0,003 <b>E</b> <b>d</b>

Les lettres en majuscules comparent les moyennes d'une même saison entre les sites, tandis que les lettres en minuscules comparent les moyennes d'un même site entre les saisons.



**Figure 22 :** Concentration de Cadmium dans le sol des sites étudiés (µg/g de poids sec de sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 (m±s, n=12).

L’ANOVA de à deux critère de classification (site, saison) des concentrations de Cadmium montre un effet site et effet saisons ( $p < 0,001$ ) hautement significatif, un et l’interaction site/saison révèle un effet ( $p < 0,01$ ) très significatif (Tab. 40).

**Tableau 40 :** Concentration de Cadmium dans le sol des sites étudiés (µg/g de poids sec de sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 (m±s, n=12). Analyse de la variance à deux critères de classification.

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Site	5	0,0619098	0,0619098	0,0123820	480,33	0,001***
saison	3	0,0207747	0,0207747	0,0069249	268,64	0,001***
Site*saison	15	0,0005334	0,0005334	0,0000356	1,38	0,196 <sup>NS</sup>
Erreur	48	0,0012373	0,0012373	0,0000258		
Total	71	0,0844553				

NS : non significatif \* significatif ( $P < 0,05$ ) \*\* très significatif ( $P < 0,01$ ) \*\*\* hautement significatif ( $P < 0,001$ )

Enfin, l’analyse de la variance à trois critères de classification indique qu’il y a un effet métal, un effet saison, un effet site, l’interaction métal/saison, l’interaction métal/site, l’interaction saison/site et l’interaction métal/saison/site ( $p < 0,001$ ) hautement significatif (Tab. 41).

**Tableau 41 :** Concentration des éléments traces métalliques (Fer, Manganèse, Plomb et Cadmium) dans le sol des sites étudiés ( $\mu\text{g/g}$  de poids sec de sol) durant la période de Février 2010 à Janvier 2011 ( $m \pm s$ ,  $n=12$ ). Analyse de la variance à trois critères de classification

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Métal	3	88418	88418	29473	493,32	0,000***
Saison	3	11706317	11706317	3902106	65314,62	0,000***
Site	5	361567	361567	72313	1210,40	0,000***
Métal*saison	9	237703	237703	26411	442,08	0,000***
Métal*site	15	8340	8340	556	9,31	0,000***
Saison*site	15	1047366	1047366	69824	1168,74	0,000***
Métal*saison*site	45	24369	931958	542	9,06	0,000***
Erreur	192	11471	11471	60		
Total	287	13485551				

NS : non significatif \* significatif ( $P < 0,05$ ) \*\* très significatif ( $P < 0,01$ ) \*\*\* hautement significatif ( $P < 0,001$ )

Le test de corrélation entre les éléments traces métalliques et les paramètres physico-chimiques révèlent que le pH eau, matière organique et porosité affecte la mobilité des ETMs tandis que la température, l'humidité et le calcaire n'ont pas un effet sur la mobilité des ETMs. (Annexe 1, Tab. 1).

### 3.7. Dosage des biomarqueurs du stress environnemental chez *helix aspersa*

#### 3.7.1. Activité saisonnière de l'acétylcholinestérase:

L'activité de l'AChE ( $\mu\text{Mol/mn/mg}$  de protéines) dans les têtes d'*helix aspersa* est variable dans chaque site entre les saisons (Tab. 42 et Fig 23). L'activité de l'AChE passe de  $40,472 \pm 1,236$  ( $\mu\text{Mol/mn/mg}$  de protéines) chez la population de El-Kala en période hivernale à  $10,334 \pm 0,828$  ( $\mu\text{Mol/mn/mg}$  de protéines) chez la population de El-Hadjar en période estivale.

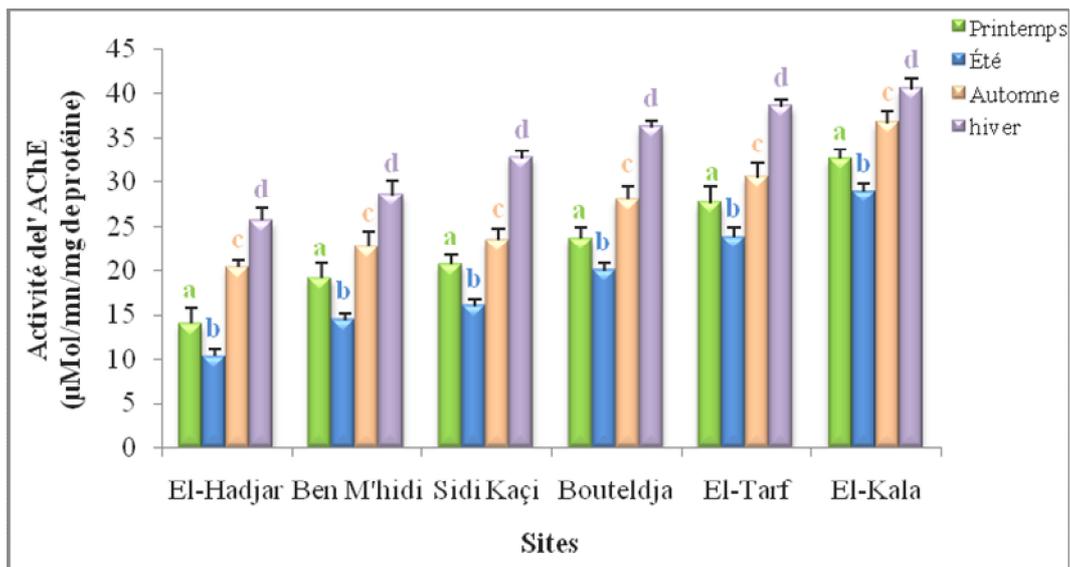
La comparaison de l'activité de l'AChE grâce au test de Tukey (Tab. 42) entre les quatre saisons indique qu'il existe quatre groupes à El-Hadjar ; le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe l'automne et le quatrième groupe englobe l'hiver. Pour le site de Ben M'hidi on remarque qu'il existe quatre groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe l'automne et le quatrième groupe englobe l'hiver. En ce concerne le site de Sidi Kaçi, on signale l'existence de quatre groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe l'automne et le quatrième groupe englobe l'hiver. Dans le site de Bouteldja il existe quatre groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe l'automne et le quatrième groupe englobe l'hiver. Pour le site de El-Tarf on remarque qu'il existe quatre groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe l'automne et le quatrième groupe englobe l'hiver. Pour le site de El-Kala on remarque qu'il existe quatre groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe l'automne et le quatrième groupe englobe l'hiver.

D'un autre coté le test de Tukey entre les sites d'une même saison montre qu'il existe six classes en printemps ; classe A regroupe El-Hadjar, classe B regroupe Ben M'hidi, classe C Sidi Kaçi, classe D regroupe Bouteldja, classe E regroupe El-Tarf et classe F regroupe le site de El-Kala. En ce concerne l'été, on remarque l'existence de six classes ; classe A regroupe El-Hadjar, classe b regroupe Ben M'hidi, classe C regroupe Sidi Kaçi, classe D regroupe Bouteldja, classe E regroupe El-Tarf et classe F regroupe le site de El-Kala. Pendant l'automne on signale cinq classes; classe A regroupe El-Hadjar, classe B regroupe Ben M'hidi et Sidi Kaçi, classe C regroupe Bouteldja, classe D regroupe El-Tarf et classe E regroupe le site de El-Kala et pour l'hiver il existe six classes ; classe A regroupe El-Hadjar, classe b regroupe Ben M'hidi, classe C regroupe Sidi Kaçi, classe D regroupe Bouteldja, classe E regroupe El-Tarf et classe F regroupe le site de El-Kala.

**Tableau 42 :** Activité spécifique de l'acétylcholinestérase ( $\mu\text{Mol}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) dans la tête de l'*helix aspersa* récoltés dans différents sites ( $m \pm s$ ,  $n=12$ ). Test de Tukey : les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes ( $P > 0,05$ ).

	El-Hadjar	Ben M'hidi	Sidi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
<b>Printemps</b>	14,044 $\pm$ 1,680 <b>A</b> a	19,087 $\pm$ 1,836 <b>B</b> a	20,623 $\pm$ 1,097 <b>C</b> a	23,584 $\pm$ 1,264 <b>D</b> a	27,530 $\pm$ 1,978 <b>E</b> a	32,550 $\pm$ 1,079 <b>F</b> a
<b>Été</b>	10,334 $\pm$ 0,828 <b>A</b> b	14,442 $\pm$ 0,633 <b>B</b> b	15,934 $\pm$ 0,825 <b>C</b> b	19,988 $\pm$ 0,847 <b>D</b> b	23,718 $\pm$ 1,098 <b>E</b> b	28,868 $\pm$ 0,888 <b>F</b> b
<b>Automne</b>	20,365 $\pm$ 0,758 <b>A</b> c	22,648 $\pm$ 1,757 <b>B</b> c	23,446 $\pm$ 1,291 <b>B</b> c	27,890 $\pm$ 1,534 <b>C</b> c	30,437 $\pm$ 1,637 <b>D</b> c	36,604 $\pm$ 1,422 <b>E</b> c
<b>Hiver</b>	25,579 $\pm$ 1,392 <b>A</b> d	28,436 $\pm$ 1,698 <b>B</b> d	32,640 $\pm$ 0,864 <b>C</b> d	36,171 $\pm$ 0,775 <b>D</b> d	38,468 $\pm$ 0,843 <b>E</b> d	40,472 $\pm$ 1,236 <b>F</b> d

Les lettres en majuscules comparent les moyennes d'une même saison entre les sites, tandis que les lettres en minuscules comparent les moyennes d'un même site entre les saisons.



**Figure 23.** Activité spécifique de l'acétylcholinestérase ( $\mu\text{Mol}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) dans la tête d'*Helix aspersa* récoltés dans différents sites ( $m \pm s$  ;  $n=12$ ).

Pour la variation saisonnière de l'AChE, l'analyse de la variance à deux critères de classification révèle un effet site, saison et l'interaction site\*saison ( $P \leq 0,001$ ) hautement significatif entre les quatre saisons et les six sites prospectés pendant la période d'étude (Tab. 43).

**Tableau 43 :** Activité spécifique de l’acétylcholinestérase ( $\mu\text{Mol}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) dans la tête de l’*Helix aspersa* récoltés dans différents sites ( $m \pm s$ ,  $n=12$ ). Analyse de la variance à deux critères de classification.

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Site	5	9279,66	9279,66	1855,93	2860,14	0,001***
Saison	3	8873,17	8873,17	806,65	1243,11	0,001***
Site*saison	15	298,52	298,52	5,43	8,36	0,001***
Erreur	48	140,16	140,16	0,65		
Total	71	18591,51				

Le test de corrélation entre l’AChE, les ETMs et les paramètres physico-chimiques révèlent que le Fer, Plomb, Manganèse, Cadmium, pH eau, humidité et température affectent l’activité spécifique de l’acétylcholinestérase (Annexe 1, Tab. 2).

### 3.7.2. Activité saisonnière de la glutathion S-transférase

L’activité de la glutathion S-transférase déterminée au niveau de l’hépatopancréas d’escargot *Helix aspersa* selon la méthode de Habig *et al.* (1974) dans les six sites d’études pendant la période de Février 2010 à Janvier 2011; elle est exprimée en  $\mu\text{M}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéine.

Le taux de GST ( $\mu\text{Mol}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) dans les hépatopancréas d’*helix aspersa* est variable dans chaque site entre les saisons. Le taux de la GST passe de  $39,485 \pm 0,989$  ( $\mu\text{Mol}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéines) chez la population de El-Kala en période hivernale à  $14,185 \pm 1,783$  ( $\mu\text{Mol}/\text{m}/\text{mg}$  de protéines) chez la population de El-Hadjar en période estivale (Tab. 44 et Fig 24).

La comparaison du taux de la GST grâce au test de Tukey (Tab. 44) entre les quatre saisons indique qu’il existe quatre groupes à El-Hadjar ; le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l’été, troisième groupe englobe l’automne et le quatrième groupe englobe l’hiver. Pour le site de Ben M’hidi on remarque qu’il existe quatre groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l’été, troisième groupe englobe l’automne et le quatrième groupe englobe l’hiver. En ce concerne le site de Sidi Kaçi, on signale l’existence de quatre groupes : le premier groupe englobe le printemps,

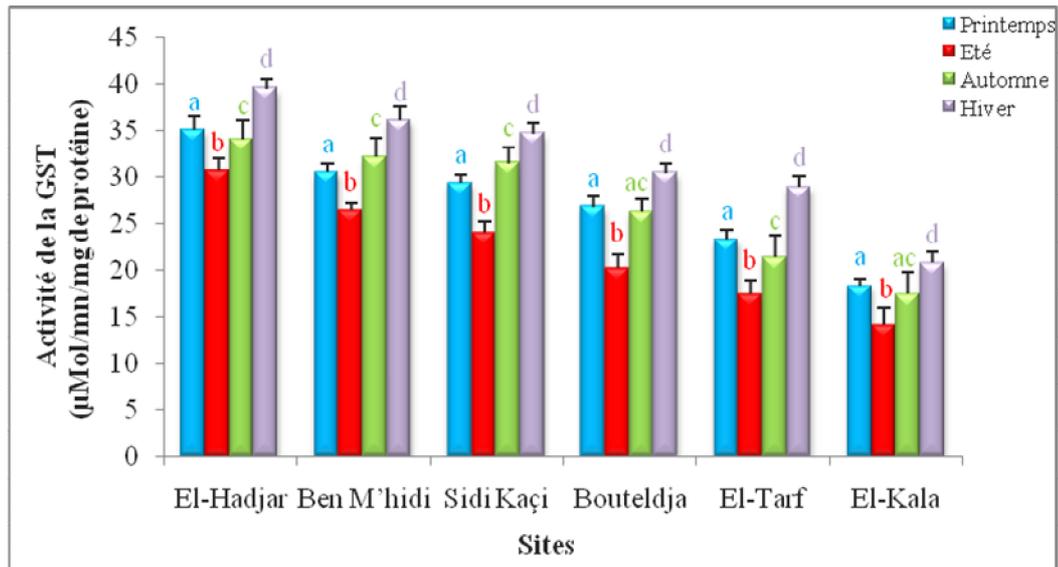
deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe l'automne et le quatrième groupe englobe l'hiver. Dans le site de Bouteldja il existe quatre groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe le printemps et l'automne et quatrième groupe englobe l'hiver. Pour le site de El-Tarf on remarque qu'il existe quatre groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe l'automne et quatrième groupe englobe l'hiver. Pour le site de El-Kala on remarque qu'il existe quatre groupes : le premier groupe englobe le printemps, deuxième groupe englobe l'été, troisième groupe englobe le printemps et l'automne et le quatrième groupe englobe l'hiver.

D'un autre coté le test de Tukey entre les sites d'une même saison montre qu'il existe six cinq classes; classe A regroupe El-Hadjar, classe B regroupe Ben M'hidi et Sidi Kaçi, classe C regroupe Bouteldja, classe D regroupe El-Tarf et classe E regroupe le site de El-Kala. En ce concerne l'été, on remarque l'existence de six classes ; classe A regroupe El-Hadjar, classe b regroupe Ben M'hidi, classe C regroupe Sidi Kaçi, classe D regroupe Bouteldja, classe E regroupe El-Tarf et classe F regroupe le site de El-Kala. Pendant l'automne on signale cinq classes; classe A regroupe El-Hadjar, classe B regroupe Ben M'hidi et Sidi Kaçi, classe C regroupe Bouteldja, classe D regroupe El-Tarf et classe E regroupe le site de El-Kala et pour l'hiver il existe six classes ; classe A regroupe El-Hadjar, classe b regroupe Ben M'hidi, classe C regroupe Sidi Kaçi, classe D regroupe Bouteldja, classe E regroupe El-Tarf et classe F regroupe le site de El-Kala.

**Tableau 44 :** Activité spécifique de la glutathion S-transférase ( $\mu\text{Mol}/\text{mn}/\text{mg}$  de protéine) dans l'hépatopancreas d'*Helix aspersa* récoltés dans différent sites ( $m \pm s$ ,  $n=12$ ). Test de Tukey : les moyennes affectées d'une même lettre ne sont pas significativement différentes ( $P > 0,05$ ).

	El-Hadjar	Ben M'hidi	Sidi Kaçi	Bouteldja	El-Tarf	El-Kala
<b>Printemps</b>	35,045 $\pm$ 1,424 <b>A</b> a	30,419 $\pm$ 0,962 <b>B</b> a	29,295 $\pm$ 0,860 <b>B</b> a	26,698 $\pm$ 1,140 <b>C</b> a	23,279 $\pm$ 1,047 <b>D</b> a	18,304 $\pm$ 0,737 <b>E</b> a
<b>Eté</b>	30,571 $\pm$ 1,300 <b>A</b> b	26,287 $\pm$ 0,729 <b>B</b> b	24,014 $\pm$ 1,142 <b>C</b> b	20,214 $\pm$ 1,377 <b>D</b> b	17,307 $\pm$ 1,611 <b>E</b> b	14,185 $\pm$ 1,783 <b>F</b> b
<b>Automne</b>	34,020 $\pm$ 2,103 <b>A</b> c	32,029 $\pm$ 2,158 <b>B</b> c	31,415 $\pm$ 1,724 <b>B</b> c	26,246 $\pm$ 1,229 <b>C</b> ac	21,339 $\pm$ 2,372 <b>D</b> c	17,319 $\pm$ 2,423 <b>E</b> ac
<b>Hiver</b>	39,485 $\pm$ 0,989 <b>A</b> d	36,076 $\pm$ 1,470 <b>B</b> d	34,655 $\pm$ 1,088 <b>C</b> d	30,375 $\pm$ 0,996 <b>D</b> d	28,894 $\pm$ 1,132 <b>E</b> d	20,725 $\pm$ 1,239 <b>F</b> d

Les lettres en majuscules comparent les moyennes d'une même saison entre les sites, tandis que les lettres en minuscules comparent les moyennes d'un même site entre les saisons.



**Figure 24.** Activité spécifique la glutathion S-transférerase ( $\mu\text{Mol/mn/mg}$  de protéines) dans l'hépatopancréas d'*Helix aspersa* récoltés dans différents sites ( $m \pm s$  ;  $n=12$ ).

ANOVA à deux critère de classification (site, saison) des taux de la GST montre un effet site, un effet saison et l'interaction site/saison ( $p < 0,001$ ) hautement significatif (Tab. 45).

**Tableau 45 :** Activité spécifique de la Glutathion S-transférerase ( $\mu\text{Mol/mn/mg}$  de protéines) dans l'hépatopancréas d'*helix aspersa* récoltés dans différent sites ( $m \pm s$ ,  $n=12$ ). Analyse de la variance à deux critères de classification.

Source	DL	SC séq	SC ajust	CM ajust	F	P
Site	5	9279,66	9279,66	1855,93	2860,14	0,001 ***
Saison	3	8873,17	8873,17	806,65	1243,11	0,001 ***
Site*saison	15	298,52	298,52	5,43	8,36	0,001 ***
Erreur	48	140,16	140,16	0,65		
Total	71	18591,51				

NS : non significatif \* significatif ( $P < 0,05$ ) \*\* très significatif ( $P < 0,01$ ) \*\*\* hautement significatif ( $P < 0,001$ )

Le test de corrélation entre la GST, les ETMs et les paramètres physico-chimiques, indique que le Fer, Plomb, Manganèse, Cadmium, température, humidité et pH eau affectent l'activité spécifique de la GST (Annexe 1, Tab. 3).

## 4. DISCUSSION

### 4.1. Inventaire des Gastéropodes pulmonés terrestres

La région de l'Est Algérien, présente une diversité biologique est très variée (Boudchiche, 2007), dans cette étude menée en 2010 dans les sites de El-Hadjar, Ben M'hidi, Sidi Kaçi, Bouteldja, El-Tarf et El-Kala, 14 espèces de Gastéropodes pulmonés terrestres ont été inventoriées dont 12 sont des escargots et 2 sont des limaces ; ces espèces sont réparties en 6 familles : la famille Helicidae regroupe 7 espèces : La famille Milacidae avec 2 espèces de limaces *Milax gagates* (Draparnaud, 1801) et *Milax nigricans* (Phillipi, 1836). La famille Helicidae réparti en 2 sous-familles : Helicinae regroupe 6 espèces : *Helix aspersa* (Müller, 1774), *Helix aperta* (Born, 1778), *Macularia jourdaniana* (Bourguignat, 1867), *Macularia hieroglyphicula* (Michaud, 1833), *Archelix punctata* (Müller, 1774), *Euparypha pisana* (Müller, 1774) et la sous-famille Helicellinae regroupe 2 espèces; *Helicella virgata* (Da Costa, 1778), *Helicella (Trochoidae) elegans* (Gmelin, 1791), la famille Hygromiidae avec 2 espèces *Trochoidea elegans* (Gmelin, 1791), *Helicella virgata* (Da Costa, 1780), la famille Subulinidae avec l'espèce *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758) ; la famille Ferussaciidae avec une espèces de *Ferussacia folicus* (Gmelin, 1791) et enfin la famille Enidae représentée par l'espèce *Chondrula tridens* (Müller, 1774). Un inventaire des Gastéropodes pulmonés terrestres réalisé pendant l'année 2007 au niveau de la zone d'El-Kala montre qu'il existe 13 espèces malacologiques (Boudchiche, 2007) ; *Milax gagates* (Draparnaud, 1801), *Milax nigricans* (Phillipi, 1836), *Helix aspersa* (Müller, 1774), *Helix aperta* (Born, 1778), *Macularia jourdaniana* (Bourguignat, 1867), *Macularia hieroglyphicula* (Michaud, 1833), *Archelix punctata* (Müller, 1774), *Euparypha pisana* (Müller, 1774), *Helicella virgata* (Da Costa, 1778), *Helicella (Trochoidae) elegans* (Gmelin, 1791), *Trochoidea elegans* (Gmelin, 1791), *Helicella virgata* (Da Costa, 1780), *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758), *Ferussacia folicus* (Gmelin, 1791) et *Chondrula tridens* (Müller, 1774). Dans notre étude à El-Kala nous avons récolté 14 espèces avec la présence d'une nouvelle espèce *Theba pisana* (Müller, 1774). Au niveau la région de Tlemcen, 8 espèces malacologiques sont identifiés dans la région steppique (Damerdji, 2008) : *Helix aspersa* (Müller, 1774), *Helix aperta* (Born, 1778), *Otala lactea* (Müller, 1774), *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758), *Helicella virgata* (Da Costa, 1780), *Zebrina detrita* (Müller, 1774), *Dupotetia A zonata* (Pallary, 1926), *Cochlicella barbara* (Linnaeus, 1758). Une étude malacologique récente menée dans la région Nord-Est

du pays (Douafer & Soltani, 2014) signale 11 espèces des Gastéropodes pulmonés terrestres à El-Kala réparties en 6 familles *Helix aspersa* (Müller, 1774), *Helix aperta* (Born, 1778), *Dupotetia A zonata* (Pallary, 1926), *Otala lactea* (Müller, 1774), *Trochoidea elegans* (Gmelin, 1791), *Helicella virgata* (Da Costa, 1780), *Cochlicella barbara* (Linnaeus, 1758), *Rumina decollata* (Linnaeus, 1758), *Zebrina detrita* (Müller, 1774), *Milax gagates* (Draparnaud, 1801) et *Milax nigricans* (Phillipi, 1836). Nos résultats montrent qu'il existe trois espèces non identifiées dans le site d'El-Kala par Douafer & Soltani (2014), *Theba pisana* (Müller, 1774), *Cepaea nemoralis* (Linnaeus, 1758), *Cepaea vendobonensis* (Ferussac, 1821). La région méditerranéenne comporte plusieurs espèces malacologiques avec une diversité très variée (Bigot & Aguesse, 1984). Au niveau des sites El-Hadjar, Ben M'hidi, Sidi Kaçi, Bouteldja, El-Tarf et El-Kala et pendant les quatre saisons durant l'année 2010 on signale la prédominance de l'espèce *Helix aspersa* (Boudchiche, 2007 ; Douafer & Soltani, 2014). Cette espèce de grande saveur culinaire est connue pour être indigène aux rivages de la mer méditerranée (Terver, 1939 ; Chevallier, 1992).

#### 4.2. Biométrie des Gastéropodes pulmonés terrestres

Les résultats concernant la biométrie des espèces récoltées au niveau des sites d'étude révèlent que la moyenne la plus élevée concernant le poids a été enregistrée chez *Helix aspersa* en hiver. Douafer & Soltani (2014) ont trouvé que l'espèce *Helix aspersa* est également la plus volumineuse dans la région Est du pays. Dans la région de Tlemcen, la taille des Gastéropodes est maximale en période hivernale (Damerdji, 2001 ; 2012). Les facteurs abiotiques et biotiques restent importants dans la variation de la taille des coquilles d'un Gastéropode terrestre (Riddle, 1986). Les tailles maximales des Gastéropodes ont été remarquées chez la population d'El-Kala (Douafer & Soltani, 2014). Certains caractères conchyliologiques particuliers, comme la taille et la couleur, distinguent les espèces susceptibles de s'élever en altitude (Damerdji, 2010).

#### 4.3. Etude écologique

D'après les données écologiques obtenues on peut dire que le site d'El-Kala est plus riche en espèces malacologiques avec une richesse totale de 14 espèces au printemps. Une étude sur la biodiversité montre qu'il existe 13 espèces (Boudchiche, 2007) et 11 (Douafer & Soltani, 2014) dans le même site d'El Kala. Dans la région de Tlemcen, Damerdji (2013)

rapporte une richesse spécifique des escargots de 11 espèces. Au printemps, avec les conditions climatiques favorables, les Gastéropodes pulmonés terrestres sont collectés sur le genêt avec une richesse maximale de 15 espèces (Damerdji & Djedid 2008). En hiver, un nombre important des Gastéropodes terrestres a été recensé en Italie avec des richesses élevées de 14 espèces malacologiques (Sacchi, 1971). La même valeur est retrouvée en avril sur le romarin par Damerdji *et al.* (2005). En période estivale, au vu des conditions défavorables on remarque une diminution relative du nombre de Gastéropodes. (Ondina, 1988 ; Damerdji & Benyoucef, 2006 ; Boudchiche, 2007). Dans notre cas, les Gastéropodes sont présents dans les six sites de la région d'étude pendant tous les mois de l'année y compris ceux qui sont les plus chauds.

L'indice de diversité le plus élevé a été enregistré au niveau d'El-Kala en période printanière (3,15). La valeur de l'indice de diversité diminue avec la richesse des gastéropodes (Damerdji *et al.*, 2005) ; l'indice de diversité est minimale au niveau de Sidi kaçi durant la période estivale (1,90). L'indice de Shannon-Weaver est le plus élevé dans la station qui présente une richesse de 16 espèces à Tlemcen (Damerdji & Djedid 2008). Par conséquent, les effectifs de différentes espèces ont tendance à s'équilibrer particulièrement entre eux. Les mêmes observations ont été faites par Damerdji & Djedid (2008). L'étude de la biodiversité des Gastéropodes au niveau de la méditerranée (Espagne) montre que l'indice de diversité et l'indice de Shannon-Weaver sont en rapport avec la richesse des espèces (Puente, 1997).

#### **4.4. Paramètres physico-chimiques des sols**

Les études des paramètres physico-chimiques sont d'une importance majeure dans la dynamique des espèces terrestres (Viard-La Rocca, 2004). Les paramètres physico-chimiques analysés dans ce travail peuvent être considérés comme des indicateurs d'évolution (Bailey, 1975 ; 1981). La température est un facteur écologique fondamental qui joue un rôle important dans le contrôle du métabolisme (Viard-La Rocca, 2004 ; Bailey, 1975) et de la répartition biogéographique de l'ensemble des espèces, directement ou en relation avec d'autres facteurs écologiques comme la salinité, l'humidité ou le pH (Duchaufour, 1989).

Le  $pH_{eau}$  indique la concentration en ions  $H^+$  présents dans l'eau. Les sols étudiés sont alcalins ( $pH > 7,5$ ) au printemps et en hiver tandis que durant la période estivale et la période automnale ils sont neutres ( $pH 6,75-7,25$ ) (McBride, 1994). Ils sont soit agricoles ou urbains ou reconstitués. La texture du sol et la minéralogie des argiles sont des caractéristiques qui

vont également largement influencer l'effet de l'apport de la matière organique fraîche (Kiem & Kandeler, 1997 ; Denef *et al.*, 2002 ; De Gryze *et al.*, 2005 ; Wuddivira *et al.*, 2009). Les sols d'El-Hadjar, Ben M'hidi et Sidi Kaçi sont des sols argilo-limoneux, tandis que les sols de Bouteldja, El-Tarf et El-Kala sont respectivement des sols limono-sableux, sablo-limoneux et sableux (Baize & Jabiol 1995). L'humidité hygroscopique représente la quantité d'eau que peut retenir un sol soumis aux conditions naturelles d'assèchement (Godin, 1984 ; Lazaridou-Dimitriadou & Saunders, 1986). Les résultats obtenus montrent que cette humidité est comprise entre 10,36 et 67,24 %. Ces valeurs sont en relation avec la texture du sol, car les sols argilo-limoneux à texture fine retiennent plus d'eau que les sols sableux à structure particulaire (Baize & Jabiol 1995).

La diminution de la teneur en matière organique des sols a été identifiée comme étant parmi les principales menaces sur les sols cultivés (European Commission, 2002). La matière organique contrôle en grande partie les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol et influence en conséquence les propriétés fonctionnelles du sol (Loveland & Webb, 2003). La nature biochimique de la matière organique apportée est un des principaux facteurs d'influence de la décomposition de la matière organique fraîche apportée (Heal *et al.*, 1997). Les sols de notre étude présentent des valeurs variées entre 4,20 et 7,07 se sont des sols riches en matière organique (Abiven *et al.*, 2009 ; Loveland & Webb, 2003).

La salinité est une mesure physico-chimique qui nous donne une idée sur la concentration des électrolytes dans un sol (Godin, 1984 ; McBride, 1994). Les résultats de notre analyse montrent que les sols des sites étudiés ont une conductivité électrique faible à moyenne (<1000  $\mu\text{s}/\text{cm}$ ). Le minimum de salinité est de 0,38 ms/cm à El-Kala et le maximum est de 1,59 ms/cm à El-Hadjar, par contre les valeurs maximales sont observées en période estivale dans les six sites de prélèvement. Les résultats de salinité montrent que les sols de Bouteldja, El-Tarf et El-Kala ne sont pas salés (Godin, 1984 ; McBride, 1994), par contre les sols de Ben M'hidi et Sidi Kaçi sont des sols peu salés (Godin, 1984) et le sol d'El-Hadjar est un sol salé (McBride, 1994).

Les résultats du dosage du calcaire montrent que ce sont des sols riches en calcaire. Le taux élevé du calcaire est en rapport avec la nature du pH<sub>eau</sub> et la matière organique (Duchaufour, 1989) et la porosité (Duthil, 1971). La porosité comprend deux paramètres : la densité apparente et la densité réelle. La densité apparente varie entre 1.00g/cm<sup>3</sup> et 2.00g/cm<sup>3</sup> (Kaouritchev, 1970), elle indique l'état ou la condition du sol ; elle diminue avec la teneur du

sol en humus (Duthil, 1971). La majorité des sols étudiés ont une densité apparente comprise entre 1-1.80 g/cm<sup>3</sup>. La densité réelle exprime la densité des éléments constituant la phase solide du sol, elle est généralement comprise entre 2,1 g/cm<sup>3</sup> 2,6 g/cm<sup>3</sup>. La majorité des sols étudiés a une densité réelle inférieure à 2.6 ; ces sols contiennent beaucoup de matière organique (Duthil, 1971). Les valeurs de la porosité dans les sites de Sidi Kaçi, Ben M'hidi et El-Hadjar varient entre 17,17 et 19,88. Ces sites ont une porosité assez faible, au niveau de Bouteldja et El-Tarf les valeurs varient entre 24,16 et 28,89 successivement ; la porosité est donc assez forte ; les valeurs saisonnières de la porosité les plus élevées sont enregistrées à El-Kala à cause de sa texture sableuse (Kaouritchev, 1970).

#### **4.5. Influence des paramètres physico-chimiques sur la biodiversité**

Les propriétés physico-chimiques des sols ont des effets importants sur la faune. Dans notre étude, les saisons humides (printemps, automne et hiver) ont une biodiversité très riche par contre la saison de l'été et en vu des conditions défavorables le nombre d'espèces réduit (Sacchi, 1965 ; Boudchiche, 2007 ; Douafer & Soltani, 2014). Les mollusques terrestres présentent une teneur en eau de leurs tissus en relation directe avec la température et l'humidité du milieu ambiant (Bigot, 1957 ; Jeppesen & Nygard, 1976). Tous les pulmonés ont besoin d'eau et d'air humide (Ricou, 1964 ; Damerdji & Djedid, 2008). La majorité des limaces et des escargots n'est active que si l'humidité du milieu est suffisante (Jeppesen & Nygard, 1976 ; Bachelier, 1978 ; Charrier & Daguzan, 1982). La température et la photopériode jouent un rôle important dans la croissance et la reproduction des gastéropodes terrestres, en particulier chez *Helix aspersa* (Bailey, 1975 & 1981 ; Jess & Marks, 1998). Les facteurs abiotiques et biotiques restent importants dans la variation de la taille d'un escargot du genre *Helix* (Gomot, 1994). Ces facteurs en excès ou en baisse déclenchent les phénomènes d'estivation ou d'hibernation. La répartition des gastéropodes est déterminée par des conditions régionales et situationnelles impliquant le climat et la nature de l'habitat notamment les caractéristiques édaphiques comme la concentration en calcium du milieu (Charrier & Daguzan, 1982).

#### **4.6. Dosage des éléments traces métalliques dans les sols**

Les bioteneurs des ETM dans les sols donnent une indication de la fraction biologiquement circulante de ces éléments et par conséquent de la quantité qui rentre dans la chaîne alimentaire (Abdul Rida, 1992 ; Abdul Rida & Bouché 1995). Les sites de notre étude sont

diversement contaminés par les ETM. Les sols pollués constituent une source pour les ETMs dans l'environnement et constituent une source d'exposition majeure des organismes (Alloway, 1995). Concernant le Fe, Mn, Pb et le Cd, les sources anthropogéniques majeures sont l'industrie métallurgique, l'industrie manufacturière et surtout la fonderie, les activités minières, les sites de stockage de déchets (résidus d'incinération de plastiques, batteries...) (Suna *et al.*, 2010, Maas *et al.*, 2010), les épandages de boues d'épuration, les pratiques agricoles (fertilisants, pesticides...), la combustion d'hydrocarbures et autres combustibles fossiles et les gaz d'échappement des véhicules notamment pour le Pb (Alloway, 1995). Dans le cas de rejets atmosphériques d'activités minières et de fonderie par exemple, les dépôts peuvent affecter plusieurs dizaines de km<sup>2</sup> autour de la mine/de l'usine concernée (Rieuwerts & Farago, 1996 ; Martley *et al.*, 2004 ; Hasselbach *et al.*, 2005). Dans le cas d'émissions de poussières contaminées depuis des sources ponctuelles, il a été montré que la distance à la source, la direction et la vitesse des vents, la fréquence et la quantité de précipitations, la rugosité et l'interception par l'environnement influencent sur les taux de déposition et en conséquence, les niveaux de pollution des sols (Antonic & Legovic, 1999 ; Branford *et al.*, 2004 ; De Ridder *et al.*, 2004 ; Ali-Khodja *et al.*, 2005 ; Floret *et al.*, 2006 ; Rawlins *et al.*, 2006). De plus, les quantités et la spéciation des ETMs varient avec l'occupation du sol, les milieux boisés montrant des concentrations en ETMs dans les sols généralement plus fortes que les milieux ouverts (prairies, champs cultivés, landes...) (Rieuwerts & Farago, 1996 ; Fowler *et al.*, 2004 ; Ettler *et al.*, 2005 ; Magiera & Zawadzki, 2007). Les sols étudiés contiennent des teneurs en ETM qui varient en fonction de l'éloignement des sites par rapport à la source de pollution (Bretzel & Calderisi, 2006 ; Suna *et al.*, 2010 ; Modrzewska & Wyszowski, 2014). Les valeurs trouvées dans les sols des différents sites sont inférieures aux normes (AFNOR, 1996) indiquées dans le tableau 46. Le site d'El-Hadjar est relativement le plus pollué avec des teneurs maximales du Cd, Mn et surtout du Fe à cause de l'existence d'un complexe sidérurgique Arcelor Mital (Maas *et al.*, 2010). Les concentrations élevées de Pb à Bouteldja et El-Tarf par rapport aux autres sites sont en rapport avec leur proximité avec le réseau routier générant une pollution plombique. Ceci est en accord avec des études précédentes faites ailleurs (Garcia & Millan, 1998 ; Maas *et al.*, 2010 ; Škrbić & Đurišić-Mladenović, 2013 ; Modrzewska & Wyszowski, 2014). Des variations saisonnières importantes observées pour les teneurs en ETM, ces teneurs en ETM dans les sols étudiés sont élevés en été comparativement à l'hiver, un gradient décroissant est observé été > automne >

printemps > hiver, ceci peut être due au lessivage des polluants par la pluie (Piron-Frenet *et al.*, 1994 ; Xu & Tao, 2004 ; Rodriguez *et al.*, 2008).

**Tableau 46** : Limites de détection des métaux lourds (g/Kg) dans les sols (AFNOR, 1996).

Métaux lourds	Concentrations*
Cd	2
Cr	150
Cu	100
Pb	100
Zn	300
Fe	nd
Mn	nd

\*: nd: non disponible

#### 4.7. Mesure des biomarqueurs du stress environnemental

La préservation de la qualité des sols est devenue une préoccupation majeure des pouvoirs publics au même titre que la protection des milieux aquatiques et aériens. Il est impératif de développer des techniques analytiques capables de détecter plusieurs polluants (Gimbert *et al.*, 2006). De ce fait, l'utilisation des paramètres biochimiques appelés biomarqueurs comme indicateurs de la qualité des écosystèmes (Soltani *et al.*, 2012, Boumaza, 2014). Ces biomarqueurs mesurent l'interaction entre un système biologique et un agent environnemental et peuvent être chimiques, physiologiques ou biologiques (Wo, 1999) ; leur validité tient à trois caractéristiques principales: spécificité, sensibilité et préciosité (Amiard-Triquet *et al.*, 1998). L'inhibition ou l'induction *in vivo* des biomarqueurs est un bon outil environnemental pour évaluer l'exposition et les effets potentiels des xénobiotiques sur les organismes (Ozmen *et al.*, 1999 ; Sturn *et al.*, 1999). La capacité d'un organisme de s'adapter à un environnement altéré par la contamination anthropique dépend principalement des mécanismes de la détoxification de divers composés endogènes (Parsons *et al.*, 1998)

#### 4.7.1. Activité de la glutathion S-transférase

Les glutathion S-transférases représentent une famille d'enzymes multifonctionnelles, essentiellement cytosoliques impliquées, dans des opérations diverses de transport et de biosynthèse intracellulaire (Georges *et al.*, 1990). Ces enzymes sont impliquées dans de nombreux processus physiologiques parmi lesquels figure la détoxification de nombreux xénobiotiques (Habig *et al.*, 1974 ; Lauterburg & Mitchel, 1981). En effet, ces enzymes catalysent la réaction d'addition entre ces composés et le groupement –SH du glutathion générant ainsi des composés plus hydrosolubles par neutralisation des sites électrophiles des xénobiotiques (Hayes *et al.*, 2004). Cependant, la fonction la plus étudiée est leur capacité de catalyser des réactions de conjugaison entre un peptide, le glutathion et des molécules réactives comportant des sites électrophiles, capables de réagir avec les macromolécules comme les acides nucléiques (ADN et ARN) (Baussant *et al.*, 2009). La catalyse de cette conjugaison du glutathion avec certains substrats représente une étape essentielle dans la formation de composés qui seront moins toxiques et plus hydrosolubles que les molécules de départ (Chatterjee & Bhattacharya, 1984).

Nos résultats révèlent que l'induction de GST est maximale en été dans les six sites (El-Hadjar, Ben M'hidi, Sidi Kaçi, Bouteldja, El-Tarf et El-Kala) et il diminue progressivement en hiver. Cette variation entre saisons peut s'expliquer par des variations des facteurs environnementaux comme la pluviométrie, la température, l'hygrométrie, l'humidité, la durée du jour et l'alimentation qui agissent principalement sur l'activité de l'escargot, alors en hiver les facteurs environnementaux sont défavorables (stress environnemental), l'escargot entre en hibernation, ses activités physiologiques sont réduites, son métabolisme est ralenti (Bailey, 1975 ; 1986), dans ce cas il n'est pas en contact continu avec son milieu ; ce qui réduit les périodes d'exposition aux contaminants existant dans l'environnement ; contrairement en printemps et en automne, les facteurs environnementaux seront favorables pour reprendre ses activités dans son milieu, des longues périodes d'exposition, favorisent l'accumulation des polluants. Pour la saison de l'été, période sèche (absence de lessivage des polluants) les ETMs persistent dans le sol ce qui entraîne une accumulation dans les escargots (Xu & Tao, 2004 ; Rodriguez *et al.*, 2008).

De plus, le taux de GST augmente dans les sites El-Hadjar, Ben M'hidi, Sidi Kaçi, Bouteldja et El-Tarf comparativement au site d'El-Kala qui présente un taux faible. Cette augmentation peut se traduire par une pollution provenant de la zone industrielle FERTIAL,

l'usine ArcelorMittal d'El-Hadjar et le complexe métallurgique FERROVIAL ; ces activités métallurgiques ont des apports diffus d'origine lointaine (poussières, aérosols) pouvant parcourir des centaines de kilomètres à partir de leur sources avant de se déposer (Godin *et al.*, 1985 ; Hopkin, 1989 ; Merian *et al.*, 2004) ou soit des apports ponctuels localisés d'origine proche liée aux activités industrielles de longues durées (Baize, 1997). L'augmentation du taux du GST au niveau de Ben M'hidi, Sidi Kaçi, Bouteldja et El-Tarf est en rapport avec la direction des vents qui jouent un rôle dans le transport des polluants des zones industrielles précédentes et aussi par l'effet des engrais (Cd dans les engrais phosphatés (Hamon *et al.*, 1998); les émissions atmosphériques liées au trafic routier et à l'incinération des ordures ménagères (Denison & Silbergeld, 1998 ; Modrzewska & Wyszowski, 2014). Le parc national d'El Kala reste un site moins pollué. Ce gradient décroissant de l'activité de la GST peut s'expliquer par l'éloignement des principales sources de pollution (les zones industrielles ; FERTIAL et FERROVIAL).

Les résultats de nombreuses expériences montrent l'augmentation de l'activité de GST en réponse à la quantité élevée de polluants dans l'environnement (Canesi *et al.*, 1999 ; Viard-La rocca *et al.*, 2004). En accord avec nos résultats Radwan *et al.*, (2010) trouvent un gradient décroissant de l'induction de la GST chez un gastéropode terrestre (*Theba pisana*) par l'éloignement au source de pollution (Egypte). Une induction de la GST a été signalée chez l'escargot *Theba pisana* exposé aux pesticides (El-Gendy *et al.*, 2009) et aussi chez trois espèces de mollusque terrestre ; *Helix pomatia*, *Helix aspersa* et *Arion rufus* collectées dans des sites contaminées par les métaux lourds (Italy) (Menta & Parisi, 2001). Ces résultats sont en accord aussi avec les travaux de Radwan *et al.*, (1992), qui ont mis en évidence une induction de l'activité GST après exposition du gastéropode terrestre (*Theba pisana*) à un pesticide (Carbamate) mais aussi chez l'espèce *Helix aspersa* exposé aux insecticides (Radwan & Mohamed, 2013). Chez les escargots *Nucella lapilli* et *Monodonta lineate* exposés au cuivre on note une réduction de l'activité de la GST (Cunha *et al.*, 2007). Dans une étude de biosurveillance, l'induction de la GST à été observée chez l'escargot *Helix aspersa* récolté dans des sites urbains pollués par les métaux lourds (Abdel-Halim *et al.*, 2013).

L'estimation de l'activité de la GST chez la population de *Helix aspersa* au cours de quatre saisons montre une augmentation de l'activité de l'enzyme dans les différents sites. Nos résultats montrent une augmentation significative du taux de GST au niveau de l'hépatopancréas en présence des ETMs ; cette augmentation est une réponse au stress

oxydatif provoqué par la présence de métaux lourds dans l'organe (Farombi *et al.*, 2007). Les enzymes de biotransformation sont parmi les premières à répondre à la présence d'un élément métallique dans un organisme vivant. Cette augmentation indique un taux élevé de conjugaison des ETMs avec le glutathion (Peršić, 2004).

#### 4.7.2. Activité de l'acétylcholinestérase

L'acétylcholinestérase (AChE) est la cible principale des ETMs (Payne *et al.*, 1996 ; Flammarion *et al.*, 1998a et 2002a ; Sturm *et al.*, 1999 ; Barra *et al.*, 2001). L'inhibition de l'acétylcholinestérase peut avoir des effets sur le comportement des êtres vivants (Saglio *et al.*, 1996 ; Khessiba *et al.*, 2001). L'analyse de l'activité de l'acétylcholinestérase dans les différents tissus des organismes terrestre est considérée comme biomarqueur de la contamination des milieux terrestres (Viar-La rocca, 2004 ; Gimbert, 2006).

L'acétylcholinestérase peut être inhibée par de nombreux neurotoxiques (Bocquéné, 1996 ; Bairy, 2000). La mesure de son inhibition constitue un marqueur dont l'expression traduit spécifiquement l'exposition des organismes à différents contaminants et notamment certains produits phytosanitaires. L'AChE constitue en effet la cible privilégiée de certains ETMs (Cadmium), herbicides (triazines, paraquat) et autres molécules neurotoxiques (Herbert *et al.*, 1995 ; Bocquéné *et al.*, 1997 ; Forget *et al.*, 1999 ; Dellali *et al.*, 2001 ; Belabed & Soltani, 2013). L'inhibition de l'activité de l'AChE s'est également révélée intéressante dans le cadre d'étude de la qualité des milieux terrestre (Viar-La Rocca, 2004).

Nos résultats montrent une diminution significative de l'activité de l'AChE au niveau de la tête d'*Helix aspersa* au cours des quatre saisons (printemps, été, automne et hiver). L'inhibition de l'AChE est maximale en été dans les six sites (El-Hadjar, Ben M'hidi, Sidi Kaçi, Bouteldja, El-Tarf et El-Kala) et relativement moindre en hiver. Cette variation entre saisons peut s'expliquer par des variations des facteurs environnementaux (Xu & Tao, 2004 ; Rodriguez *et al.*, 2008). En hiver les facteurs environnementaux sont défavorables (stress environnemental), l'escargot entre en hibernation, ses activités physiologiques sont réduites (Bailey, 1975 ; 1986), son métabolisme est ralenti, dans ce cas il n'est pas en contact continu avec son milieu ; ce qui réduit les périodes d'exposition aux contaminants existant dans l'environnement ; contrairement au printemps et en automne, les facteurs environnementaux seront favorables pour reprendre ses activités dans son milieu, des longues périodes d'exposition, favorisent l'accumulation des polluants. Pour la saison de l'été, en raison de

l'absence des pluies (pas de lessivages des polluants) les ETMs persistent dans le sol ce qui entraîne leur accumulation dans les escargots (Xu & Tao, 2004 ; Rodriguez *et al.*, 2008).

Un gradient décroissant de l'inhibition de l'AChE El-Hadjar > Ben M'hidi > Sidi Kaçi > Bouteldja > El-Tarf et le site de El-Kala moins pollué. Cette diminution peut s'expliquer par une pollution provenant des usines périphériques. L'inhibition de l'AChE dans le site de El-Hadjar peut être due à l'accumulation des ETMs par *Helix aspersa* proviennent du complexe ARCELOR METAL (Merian *et al.*, 2004 ; Maas *et al.*, 2010) La diminution de l'activité de l'AChE au niveau de Ben M'hidi, Sidi Kaçi, Bouteldja et El-Tarf est exprimée par la direction des vents qui joue un rôle dans le transport des polluants des zones industrielles. Le parc national d'El Kala reste un site moins pollué ne contient aucune source de pollution.

Des études cinétiques à plus long terme, basées sur l'analyse d'*Helix aspersa* exposés 56 jours sur le terrain, ont permis d'affiner l'analyse temporelle des transferts sol-plante-escargots de métaux (Gimbert *et al.*, 2008). D'autres travaux appuient nos résultats, notamment ceux de Radwan *et al.* (1992), qui ont mis en évidence une inhibition de l'activité (AChE) après exposition du gastéropode terrestre (*Theba pisana*) aux pesticides (carbamates) ou encore de Salama *et al.*, (2005) relatifs à une inhibition de l'activité de l'AChE après exposition du gastéropode *Helix aspersa* au carbofurane (pesticide) et aux insecticides (Imidaacloprod) (Radwan & Mohamed, 2013). Une étude *in situ* concernant l'activité de l'AChE montre que cette inhibition augmente d'une manière dose-dépendante en présence de poussières métalliques et de cadmium dans les organes d'*Helix aspersa* (Grara, 2011).

Des expériences précises des contaminations des milieux terrestres par les métaux ont ainsi été obtenues par exemple au Royaume-Uni avec *H. aspersa* (Cooke *et al.*, 1979), ou *Cepaea hortensis* (Dallinger *et al.*, 2004). Elles peuvent en effet révéler des différences interspécifiques de bioaccumulation, comme l'a par exemple constaté Rabitsch (1996) avec des espèces comme *Helix pomatia*, *Arianta arbustorum*, *Aegonis verticillus* et *Bradybaena fructicum*. Pourtant, en complément des études de bioindication active où l'on maîtrise l'exposition et qui renseignent sur la disponibilité des contaminants, l'analyse des escargots peut apporter des informations sur les niveaux atteints après des expositions de plusieurs années (Gomot-de Vaufleury & Pihan, 2000 ; Pihan & de Vaufleury, 2000).

## 5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Cette étude s'inscrit dans le but d'évaluer la contamination des sols dans la région Nord-Est (Algérie) par un suivi saisonnier de deux biomarqueurs du stress environnemental (GST, AChE) qui s'étend de Mars 2010 à Février 2011 chez un mollusque gastéropode *Helix aspersa* (Müller, 1774).

L'étude bioécologique de la faune malacologique dans les 6 sites de la région a permis d'inventorier 14 espèces lors des 12 prélèvements. Les Gastéropodes sont retrouvés partout même pendant les mois les plus chauds. En effectif, *Helix aspersa* (Müller, 1774) est l'espèce la plus volumineuse et la plus dominante dans tous les sites et pendant toutes les saisons. Le calcul de l'indice de Shannon- Weaver et l'équirépartition indique un équilibre entre les effectifs des différentes espèces présentes.

Les propriétés physico-chimiques des sols étudiés dans ce travail indiquent qu'il y a une similarité entre les sites. Les sols étudiés sont chauds en été et froids en hiver. Ils sont alcalins pendant les saisons de printemps et de l'hiver, et neutres durant les périodes estivale et automnale. Les résultats de texture montrent que les sols d'El-Hadjar, Ben M'hidi et Sidi kaçi sont de sols argilo-limoneuse. Tandis que les sols de Bouteldja, El-Tarf et El-Kala sont respectivement des sols limono-sableux, sablo-limoneux et sableux. Les valeurs de matière organique montrent que les sols étudiés sont des sols riches en matière organique. Les résultats sur la salinité indiquent que le sol d'El-Hadjar est salé, les sols de Bouteldja, El-Tarf et El-Kala ne sont pas relativement salé, par contre les sols de Ben M'hidi et Sidi Kaçi sont des sols peu salé. Les sols des sites étudiés sont riche en calcaire (>30%), sauf le site de Sidi Kaçi qui à un sol calcaire (15-30%). Les valeurs de porosité montrent que les sites d'El-Hadjar, Ben M'hidi et Sidi Kaçi ont une porosité assez faible, au niveau de Bouteldja et El-Taf une porosité assez forte, et le site d'El-Kala présente une porosité forte.

Le dosage des éléments traces métalliques ; Fer, Manganèse, Plomb et Cadmium, montrent qu'il y a une contamination qui reste en dessous des normes. Il révèle que la pollution des sols

augmente en période estivale. De plus, la pollution est plus importante au niveau d'El-Hadjar suivi par Ben M' Hidi, Sidi Kaci, Bouteldja, El Tarf et El Kala.

La mesure des biomarqueurs montre une variation saisonnière ainsi qu'une différence entre les sites. Une forte contamination a été observée à El-Hadjar suivie par Ben M'Hidi, Sidi Kaci, Bouteldja, El Tarf mis en évidence par une diminution de l'activité de l'AChE et une augmentation de la GST, tandis que la plus faible contamination a été enregistrée à El Kala par une augmentation de l'activité de l'AChE et la diminution de la GST. Ce gradient décroissant de pollution est en rapport avec les sources de pollution (activités industrielles). Le site le moins pollué est celui d'El Kala.

A l'avenir, il serait intéressant d'analyser les éléments traces métalliques dans la chair de l'espèce d'*Helix aspersa* et d'évaluer les effets secondaires de ces éléments sur la physiologie de l'espèce. Le dosage d'un biomarqueur de la pollution métallique (les métallothionéines) et d'autres enzymes de détoxifications (GPx et SOD) est envisagé afin d'obtenir des informations complémentaires sur l'action de ces éléments traces métalliques.

## 6. RÉSUMÉS

### Résumé

Dans cette étude un inventaire des Gastéropodes pulmonés terrestres a été réalisé afin de choisir une espèce bioindicatrice qui sera utilisée dans l'évaluation de la qualité des sols dans quelques biotopes de l'Est algérien.

L'inventaire des Gastéropodes Pulmonés terrestres récoltés au niveau six sites (El-Hadjar, Ben M'Hidi, Sidi Kaçi, Bouteldja, El-Tarf et El-Kala) pendant la période de mars 2010 à février 2011. Il révèle la présence de 14 espèces appartenant à 6 familles: Milacidae, Helicidae, Subulinidae, Cochlicellidae, Enidae and Hygromidae. Les espèces identifiées sont ; *Helix aspersa* (Müller, 1774), *Otala lactea* (Müller, 1774), *Trochoidea elegans* (Gmelin, 1791), *Rumina decollate* (Linnaeus, 1758); *Helix aperta* (Born, 1778), *Helicella virgata* (Da Costa, 1780) et *Theba pisana* (Müller, 1774), *Cepaea vendobonensis* (Ferussac, 1821), *Zebrina detrita* (Müller, 1774), *Dupotetia A zonata* (Pallary, 1926), *Cochlicella barbara* (Linnaeus, 1758), *Milax gagates* (Draparnaud, 1801), *Milax nigricans* (Phillipi, 1836) et *Cepaea nemoralis* (Linnaeus, 1758). La richesse spécifique varie en fonction des sites et des saisons. Les avleusr les plus élevées sont observées au printemps et en hiver et les plus basses en été. L'espèce *Helix aspersa* (Muller, 1774) en raison de son abondance et sa fréquence dans les différents sites d'étude, a été retenue comme espèce bioindicatrice de la pollution. La distribution des Gastéropodes Pulmonés terrestres a été corrélée avec les paramètres physico-chimiques des sols. Le dosage des éléments traces métalliques (Cd, Fe, Pb et Mn) par spectrométrie d'absorption atomique montre que le sol d'El-Hadjar présente le teneur le plus élevé avec un gradient décroissant de pollution des sols par ces élément ; El-Hadjar > Ben M'hidi > Sidi Kaçi > Bouteldja > El-Tarf > El-Kala. Les variations saisonnières des activités de l'acétylcholinestérase et de la glutathion S-transférase montre que le site d'El Hadjar est le site le plus pollué suivi de celui de Ben M'hidi, Sidi Kaçi, Bouteldja et El-Tarf, respectivement. El-Kala est le site le moins pollué. Globalement les réponses sont corrélées avec les teneurs en métaux lourds des sols des différents sites ; les plus marquées sont enregistrées en été.

**Mots clés:** Biodiversité, Gastéropodes, *Helix aspersa*, Biomarqueurs, Bioindicateur, Sols, Métaux lourds.

## Abstract

On this study, a survey of terrestrial Gastropods pulmonata conducted to select a bioindicator species to be use in the assessment of soil quality on some habitats of eastern Algeria.

The inventory of terrestrial gastropods Pulmonata collected at six sites (El-Hajar, Ben M'hidi, Sidi Kaci, Bouteldja, El-Tarf and El-Kala) during the period February 2010 to January 2011 showed the presence of 14 species owned to six families: *Milacidae*, *Helicidae*, *Subulinidae*, *Cochlicellidae*, *Enidae* and *Hygromidae*. Among the identified species ; *Helix aspersa* (Müller, 1774), *Otala lactea* (Müller, 1774), *Trochoidea elegans* (Gmelin, 1791), *Rumina decollate* (Linnaeus, 1758), three are accessories: *Helix aperta* (Born, 1778), *Helicella virgata* (Da Costa, 1780) and *Theba pisana* (Müller, 1774), and seven are accidental: *Cepaea vendobonensis* (Ferussac, 1821), *Zebrina detrita* (Müller, 1774), *Dupotetia A zonata* (Pallary, 1926) *Cochlicella barbara* (Linnaeus, 1758), *Milax gagates* (Draparnaud, 1801) *Milax nigricans* (Phillipi, 1836) *Cepaea nemoralis* (Linnaeus, 1758). The species richness varies according to sites and seasons. The highest values were observed in spring and winter and lowest in summer. The species *Helix aspersa* (Muller, 1774) owing to its abundance and frequency presence on the different study sites was select as a bioindicator species of pollution. The distribution of terrestrial gastropods Pulmonata correlated with physico-chemical soil parameters. The dosage of trace metals (Cd, Fe, Mn and Pb) by Atomic Absorption Spectrometry shows that the El-Hadjar soil has the highest content with a decreasing gradient of soil pollution by these elements, El-Hadjar > Ben M'hidi > Sidi Kaçi > Bouteldja > El-Tarf > El-Kala. Seasonal variations in activity of acetylcholinesterase and glutathione S-transferase shows that the site of El-Hadjar is the most polluted site followed by Ben M'hidi; Sidi Kaci; Bouteldja and El-Tarf respectively. El-Kala is the least polluted site. Overall responses are correlate with the concentrations of heavy metals in soils of different sites, the most marked recorded in summer.

**Keywords:** Biodiversity, Gastropods, *Helix aspersa*, Biomarkers, Bioindicators, Soils, Heavy Metals.

## ملخص

في هذه الدراسة تم إجراء جرد الرخويات الأرضية لتحديد الأنواع bioindicator لاستخدامها في تقييم نوعية التربة في بعض المواقع من شرق الجزائر.

جرد الرخويات الأرضية Pulmonata التي جمعت في ستة مواقع (الحجار ، بن مهدي ، سيدي قاسي ، بوتلجة ، الطارف و القالة ) خلال الفترة من فيفري 2010 إلى جانفي 2011 يكشف عن وجود 14 نوعا ينتمون إلى 6 عائلات Enidae ، Cochlicellidae ، Subulinidae ، Helicidae ، Milacidae ، Hygromidae . الأنواع التي تم تحديدها : *Helix aspersa* (Müller, 1774), *Otala lactea* (Müller, 1774), *Trochoidea elegans* (Gmelin, 1791), *Rumina decollate* (Linnaeus, 1758); 3 sont accessoires: *Helix aperta* (Born, 1778), *Helicella virgata* (Da Costa, 1780) et *Theba pisana* (Müller, 1774), et 7 sont accidentelles: *Cepaea vendobonensis* (Ferussac, 1821), *Zebrina detrita* (Müller, 1774), *Dupotetia A zonata* (Pallary, 1926), *Cochlicella barbara* (Linnaeus, 1758), *Milax gagates* (Draparnaud, 1801), *Milax nigricans* (Phillipi, 1836), *Cepaea nemoralis* (Linnaeus, 1758). ثراء أنواع الرخويات الرضية يختلف حسب المواقع والمواسم. نلاحظ أن أعلى نسبة تكون في فصلي الربيع و الشتاء و أقل نسبة في فصل الصيف. النوع *Helix aspersa* (Muller 1774) يوجد بوفرة و تردد عالي في مواقع الدراسة المختلفة وقد تم اختياره كعلامة حيوية لدراسة نسبة التلوث. توزيع الرخويات الأرضية يرتبط مع المعلومات الفيزيائية والكيميائية للتربة. تحديد المعادن الثقيلة ( الكاديوم ، الحديد ، المنغنيز والرصاص ) بواسطة مطياف الامتصاص الذري يدل على أن تربة الحجار يحتوي على أعلى محتوى من هذه المعادن مع تناقص تدريجي في تلوث التربة بواسطة هذه العناصر، الحجار < بن مهدي < سيدي قاسي < بوتلجة < الطارف < القالة. التغيرات الموسمية في النشاط من أستيلكولين استراز و الجلوتاثيون S- ترانسفيراز يدل على أن موقع الحجار هو الموقع الأكثر تلوثا تليه مواقع : بن مهدي ، سيدي قاسي ، بوتلجة ، الطارف على التوالي. القالة هو الموقع الأقل تلوثا. ترتبط هذه الاستجابات مع تركيزات المعادن الثقيلة في التربة مع مختلف المواقع ، و الأكثر وضوحا تسجل في فصل الصيف.

**الكلمات الرئيسية :** التنوع البيولوجي ، الرخويات الأرضية ، *Helix aspersa* ، العلامات الحيوية، bioindicators ، التربة ، المعادن الثقيلة .

## 7. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abd El-Halim K.Y., Abo El-Saad A.M., Talha M.M., Hussein A.A., & Bakry N.M., 2013.** Oxidative stress on land snail *Helix aspersa* as a sentinel organism for ecotoxicological effects of urban pollution with heavy metals. *Chemosphere*, 93, 1131–1138.
- Abdenmour C., Khelili K., Boulakoud M.S., & Rainbow P.S., 2000.** Trace metals in marine, brackish and freshwater prawns (Crustacea, Decapoda) from North-East Algeria. *Hydrobiologia*, 432, 217-227.
- Abdenmour C., Smith B.D., Boulakoud M.S., Samraoui B., & Rainbow P.S., 2004.** Trace metals in shrimps and sediments from Algerian water. *Journal of Catalogue Matimatic and Environnement*, 3, 9-12.
- Abdul Rida A.M.M., & Bouché M.B., 1995.** The eradication of earthworm genus by heavy metal in southern France. *Appl. Soil. Ecol*, 2, 45-52.
- Abdul Rida A.M.M., 1992.** Biosurveillance de la contamination du sol: apport de l'étude des lombriciens à l'évaluation des risques liés aux éléments traces. Thèse de doctorat en ecotoxicologie et environnement, Université de Montpellier 2 (France), 234p.
- Abiven S., Menasseri S., & Chenu C., 2009.** The effects of organic inputs over time of on soil aggregate stability- a literature analysis. *Soil, Biology & Biochemistry*, 41, 1-12.
- Achuba F.I., 2008.** African land snail *Achatina marginatus*, as bioindicator of environmental pollution. *North-Western Journal of Zoology*, 4 (1), 2008, 1-5.
- Agence Française de Normalisation (AFNOR), 1996.** Qualité des sols. Recueil des normes françaises. AFNOR, Paris.
- Akçakaya H.R.E., 2001.** Linking population-level risk assessment with landscape and habitat models. *Science of the Total Environmen,t* 274, 283-291.
- Ali-Khodja H., Boumegoura N., & Habbas B., 2005.** Spatio-temporal deposition fluxes of dust and trace elements around a cement plant in the vicinity of Hamma Bouziane, Algeria. *Fresenius Environmental Bulletin*, 14, 237-247.
- Alloway B.J., 1995.** Heavy metals in soils. Blackie Academic & Professionals, 368 pp.
- Alvarez L.A., Gramaje D., Abad-Campos P., & Garcia-Jimenez J., 2009.** Role of the *Helix aspersa* snail as a vector of *Phytophthora citrophthora* causing branch cankers on clementine trees in Spain. *Plant Pathology*, 58, 956-963.
- Amiard J.C., Caquet T., & Lagadic L., 1998.** Les biomarqueurs parmi les méthodes d'évaluation de la qualité de l'environnement. Lavoisier Tec & Doc, Paris, 21-31.
- Amira A., Sifi K., & Soltani N., 2011.** Measure of environmental stress biomarkers in *Donax trunculus* (Mollusca, Bivalvia) from the gulf of Annaba (Algeria). *European Journal of Experimental Biology*, 1 (2):7-16.

- Antonic O., & Legovic T., 1999.** Estimating the direction of an unknown air pollution using a digital elevation model and a sample of deposition. *Ecol. Model*, 124, 85–95.
- Ares J., 2003.** Time and space issues in ecotoxicology: Population models, landscape pattern analysis, and long-range environmental chemistry. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 22, 945-957.
- Astani M., Vosoughi A.R., Salimi L. & Ebrahimi M., 2012.** Comparative study of heavy metal (Cd, Fe, Mn, and Ni) concentrations in soft tissue of gastropod *Thais mutabilis* and sediments from intertidal zone of Bandar Abbas. *Advances in Environmental Biology*, 6, 319-326.
- Atailia, A., 2009.** Effet des poussières métalliques d'origine industrielles sur un organisme animal bioindicateur / bioaccumulateur de pollution : *Helix aspersa*. Mémoire de magister, Université Badji Mokhtar, Annaba. 45 p.
- Bachelier G., 1978.** La Faune des Sols, son Ecologie et son Action, Initiations-Documentations techniques, N°38. O.R.S.T.O.M., Paris, p391.
- Bailey S.E.R., 1981.** Circannual and circadian rhythms in the snail *Helix aspersa* Müller and the photoperiodic control of annual activity and reproduction. *Jorn. Comp. Physiol*, 142, 89-94.
- Bailey S.E.R., 1975.** The seasonal and daily patterns of locomotor activity in the snail *Helix aspersa* Müller, and their relation to environmental variables. *Proc. Malacol. Soc. London* 35: 43-45;.
- Bainy A.C.D., 2000.** Biochemical responses in Peneids caused by contaminants. *Aquacul.*, 191: 163 – 168.
- Baize D., & Jabiol B., 1995.** Guide pour la description des sols. Collection techniques et pratiques, INRA, Paris, 375 p.
- Baize D., 1997.** Teneurs totales en éléments traces métalliques dans les sols (France). INRA, Paris, 408 p.
- Barker G.M., 2001.** The Biology of Terrestrial Molluscs. CAB International, Oxon, Wallingford, UK, 567 p.
- Barra R., Notarianni V. & Gentili G., 2001.** Biochemical biomarker responses and chlorinated compounds in the fish *Leuciscus cephalus* along a contaminant gradient in a polluted river. *Bull. Environ. Cont. Toxicol.*, 66, 582-590.
- Baussant T., Bechmann R.K., Taban I.C., Larsen B.K., Tandberg A.H., Bjørnstad A., Torgrimsen S., Naevdal A., Øysaed K.B., Jonsson G. & Sanni S., 2009.** Enzymatic and cellular responses in relation to body burden of PAHs in bivalve molluscs: A case study with chronic levels of North Sea and Barents Sea dispersed oil. *Mar. Poll. Bull.*, 58 : 1796-1807.
- Beeby A., & Eaves S.L., 1983.** Short-term changes in Ca, Pb, Zn and Cd concentrations of the garden snail *Helix aspersa* (Müller, 1774) from a central London car park. *Environmental pollution*, 30, 233-244.
- Beeby A., & Richmond L., 2002.** Evaluating *Helix aspersa* as a sentinel for mapping metal pollution. *Ecol Indic*, 1, 261–270.
- Beeby A., & Richmond L., 2003.** Do the soft tissues of *Helix aspersa* serve as a quantitative sentinel of predicted free lead concentrations in soil? *Appl Soil Ecol*, 22, 159–165.

- Beeby A., 1985.** The role of *Helix aspersa* as a major herbivore in the transfer of lead through a polluted ecosystem. *Journal of Applied Ecology*, 22, 267-275.
- Belabed S., & Soltani, N., 2013.** Acute toxicity of cadmium on *Donax trunculus*: acetylcholinesterase, glutathione S-transferase activities and pattern of recovery. *European Journal of Experimental Biology*, 3(2), 54-61.
- Beldi H., Gimbert F., Maas S., Scheifler R., & Soltani N., 2006.** Seasonal variations of Cd, Cu, Pb and Zn in the edible mollusc *Donax trunculus* (Mollusca, Bivalvia) from the gulf of Annaba, Algeria. *African Journal of Agricultural Research*, 1(4), 085-090.
- Benyacoub S., & Chabi Y., 2000.** Egg size variation in Algerian population of the blue Tit (*Parus caeruleus ultramarinus*): effects of altitude and habitat. *Rev. Ecol. Terre. Vie*, 55 : 183-192.
- Berger B., & Dallinger R., 1993.** Terrestrial snails as quantitative indicators of environmental metal pollution. *Mon. Ass*, 25, 65-84.
- Berger B., Dallinger R., Felder E. & Moser, J., 1993.** Budgeting the flow of cadmium and zinc through the terrestrial gastropod *Helix pomatia* L., In *Ecotoxicology of metals in invertebrates*, Ed.
- Bigot L., & Aguesse P., 1984.** Considération sur les adaptations de la faune des Invertébrés aux conditions particulières de fonctionnement des écosystèmes d'un Delta méditerranéen (la Camargue ou delta du Rhone). *Bull. Mus. Hist. Nat. Marseille*, 44, 7-17.
- Bigot L., 1965.** Essai d'Ecologie quantitative sur les Invertébrés de la Sansouire camarguaise. Imprimerie M. DECLUME, Lans – Le – Saunier, 100 p.
- Bisseling C.M., Van Dam C.J.F.M., Schippers A.C., Van der Wielen P., & Wiersinga W., 2001.** Met de Natuur in Zee, rapportage project “*Ecosysteemdoelen Noordzee*”, kennisfase.
- Black C.A., & Evan D.D., 1965.** Methods of soil analysis, American Society of Agronomy, Part 2, Agronomy 9, 917-918.
- Blondel J., 1975.** L'analyse des peuplements d'oiseaux, élément d'un diagnostic écologique la méthode d'échantillonnage fréquentiels progressifs (EFP). *La terre et la vie*, 29, 533-289.
- Bocquené G., 1996.** L'acétylcholinestérase, marqueur de neurotoxicité. Application à la surveillance des effets biologiques des polluants chez les organismes marins. Thèse Doc., Ecole Pratique des Hautes Etudes : 250p.
- Bocquené G., Galgani F. & Walker H., 1997.** Les cholinestérases, biomarqueurs de neurotoxicité. In : Lagadic L., Caquet T., Amiard J.C. et Ramade F., (eds) *Biomarqueurs en écotoxicologie – Aspects fondamentaux*. Masson, Papis : 209- 204.
- Boumaza F.Z., 2014.** Évaluation de l'état de santé des eaux du golfe d'Annaba à travers un Mollusque Gastéropode *Patella caerulea* (Linnaeus, 1758) : paramètres écologiques et biochimiques. Thèse de doctorat 3ème cycle en science de la vie, 194p.
- Bonnet J.C., & Vrillon J.L., 1990.** L'escargot *Helix aspersa* biologie – élevage. Edition INRA, 14-15.
- Bonnet J.C., Aupinel P., & Vrillon J.L., 1990.** L'escargot *Helix aspersa*, biologie, élevage. Du labo au terrain. INRA.

- Boudechiche L., 2007.** Biodiversité des hélicidés du Parc National d'El-Kala (extrême Nord-Est Algérien). Bulletin de l'INSTM N° Spécial 12 : *Actes des Neuvièmes Journées Tunisiennes des Sciences de la Mer* (Tabarka, déc. 2007).
- Boyd R.S., 2010.** Heavy metal pollutants and chemical ecology: exploring new frontiers. *Journal of Chemical Ecology*, 36, 46-58.
- Bradford M.M., 1976.** A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding, *Analytical Biochemistry*, 72, 248-254.
- Branford D., Fowler D., & Moghaddam M.V., 2004.** Study of aerosol deposition at a wind exposed forest edge using <sup>210</sup>Pb and <sup>137</sup>Cs soil inventories. *Water Air and Soil Pollution*, 157, 107-116.
- Bretzel F., & Calderisi M., 2006.** Metal contamination in urban soils of Coastal Tuscany (Italy). *Environmental Monitoring and Assessment*, 118: 319-335.
- Cadart J., 1975.** Les Escargots. Biologie-Elevage-Parcage-Histoire-Gastronomie-Commerce. 38 Figures.
- Cairns J., & Nlederlehner B.R., 1996.** Developing a field of landscape ecotoxicology. *Ecological Applications*, 6, 790-796.
- Calvet R., 2003.** Le sol, propriétés et fonctions. Tome 1 : Constitution et structure, phénomènes aux interfaces, Dunod, Paris.
- Canesi L., Viarengo A., Leonzio C., Filipelli M., & Gallo G. 1999.** Heavy metals and glutathione metabolism in mussel tissue. *Aquat. Toxicol.* 46, 67-76.
- Carlsen T.M., Coty J.D., & Kercher J.R., 2004.** The spatial extent of contaminants and the landscape scale: An analysis of the wildlife, conservation biology, and population modeling literature. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 23, 798-811.
- Chapman J.W., Reynolds D.R., & Smith A.D., 2003.** Vertical looking radar: a new tool for monitoring high altitude insect migration. *Bioscience*, 53 (5), 503-511.
- Charrier M., & Daguzan J., 1979.** Etude de la croissance de l'escargot « Petit-gris », *Helix aspersa* Müller (Mollusque Gastéropode Pulmoné). *Haliotis*, 9, 15-18.
- Charrier M., 1981.** Contribution à la biologie et à l'écophysiologie de l'escargot *Helix aspersa* (Muller, 1774). Doctorat de 3<sup>e</sup> cycle de l'Université de Rennes I, 330 p.
- Chatterjee S. & Bhattacharya S., 1984.** Detoxication of industrial pollutants by the glutathione S-transferase system in the liver of *Anabas testudineuse* (Bloch). *Toxicol. Lett.*, 22: 187 – 198.
- Chaussod R., 1996.** La qualité biologique des sols. Evaluation et implications. *Etude et gestion des sols*, 3, 261-277.
- Chevalier H., 1992.** L'élevage des escargots : production et préparation du « Petit-gris ». Ed. *Du point vétérinaire*. 144 p.
- Chevallier H., 1982.** Facteurs de croissance chez des gastéropodes pulmonés terrestres paléarctiques en élevage. *Haliotis*, 12, 29-46.

- Coeurdassier M., Gomot- de Vaufléury A., & Badot P.M., 2000.** Dose-Dependent growth inhibition and bioaccumulation of hexavalent chromium in land snail *Helix aspersa*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 19, 2571-2578.
- Cooke M., Jackson G., Nickless D.J., Roberts, A., 1979.** Distribution and speciation of cadmium in the terrestrial snail *Helix aspersa*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 23: 445-451.
- Cunha I., Mangas-Ramirez E., Guilhermino L., 2007.** Effects of copper and cadmium on cholinesterase and glutathione S-transferase activities of two marine gastropods (*Monodonta lineata* and *Nucella lapillus*). *Comp. Biochem. Physiol*, 145, 648-657.
- Daget J., 1976.** Les modèles mathématiques en écologie 8 ; P.165-170 en Masson (Paris, New York).
- Daguzan J., 1981.** Contribution à l'élevage de l'escargot petit-gris : *Helix aspersa* Müller (mollusque gastéropode pulmoné stylommatophore). I. Reproduction et éclosion des jeunes en bâtiment et en conditions thermohygro-métriques contrôlées. *Ann. Zootechn* 30, 249-272.
- Dajoz R., 1971.** Précis d'Ecologie. Dunod, Paris, France.
- Dajoz R., 1985.** Précis d'écologie. Ed. Bordas, Paris, 505 p.
- Dallinger R., Lagg B., Egg M., Schipflinger R., & Chabicovsky M., 2004.** Cd accumulation and Cd-metallothionein as a biomarker in *Cepaea hortensis* (Helicidae, Pulmonata) from laboratory exposure and metal-polluted habitats. *Ecotoxicology*, 13(8), 757-772.
- Dallinger R., 1993.** Strategies of metal detoxification in terrestrial invertebrates. In: Rainbow, P. (Eds.), *Ecotoxicology of Metals in invertebrates*. Lewis, Boca Raton, FL, pp.245-289.
- Dallinger R., 1994.** Invertebrate organisms as biological indicators of heavy metals pollution. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 48, 27-31.
- Damardji A., 2010.** Composition et structure des Gastéropodes dans les stations à *Thymus ciliatus* Desf. (Labiatae) aux alentours de Tlemcen (Algérie). *Afrique science*, 6(1) 13-29.
- Damardji A., 2012.** Diversité de la malacofaune sur deux espèces de cistacées (*cistus salvifolius* l. Et *c. Ladaniferus* l.) Dans la région de Tlemcen (nord-ouest algérien). *Rev. Ivoir. Sci. Technol.*, 19, 102-113.
- Damerdji A., 2013.** Malacological Diversity on Some Lamiaceae in the Region of Tlemcen (Northwest Algeria). *Journal of Life Sciences*, 7(8), 856-861.
- Damerdji A., & Benyoucef B., 2006.** Impact des différents facteurs physiques et du rayonnement solaire sur la diversité malacologique dans la région de Tlemcen (Algérie). *Revue des Energies Renouvelables*. 9 (4), 267-267.
- Damerdji A., & Djedid A., 2008.** Diversité et aperçu bioécologique de la faune malacologique associée au Genêt (*Calycotome spinosa*) dans les environs de Tlemcen (Algérie). *Bull. Mus. Hist. Nat. de Marseille. Mésogée*. 64, 47-57.
- Damerdji A., Ladjmi L., & Doumandji S., 2005.** Malacofaune associée à *Rosmarinus officinalis* L. (Labiatae) : inventaire et aperçu bioécologique près de Mansourah (Tlemcen, Algérie). *Revue Sciences et Technologie C- N°23*, juin (2005), pp.11-20.

- Damerdji A., 2001.** Impact des facteurs abiotiques et biotiques sur la taille des coquilles de *Sphincterochila candidissima* (Mollusca – Sphincterochilidae) dans la région de Tlemcen (Algérie). *Rev. Semes., I.N.R.A.A.*, 9, 10 –109.
- Damerdji A., 2008.** Contribution à l'étude écologique de la malacofaune de la zone Sud de la région de Tlemcen (Algérie). *Afrique science*, 4(1), 138-146.
- Danson F.M., Armitage R.P., & Marston G.G., 2008.** Spatial and temporal modelling for parasite transmission studies and risk assessment. *Journal de la Societe Francaise de Parasitologie*, 15, 463-468.
- Danson F.M., Graham A.J., Pleydell D.R.J., Campos-Ponce M., Giraudoux P., & Craig P.S., 2003.** Multi-scale spatial analysis of human alveolar echinococcosis risk in China. *Parasitology*, 127, S133-S141.
- De Boer W.F., Daniels P., & Essink K., 2001.** Towards Ecological Quality Objectives for North Sea Benthic Communities. National Institute for Coastal and Marine Management (RIKZ), Haren, the Netherlands. Contract RKZ 808, Report nr 2001-11. 64 p.
- De Gryze S., Six J., Brits C., & Merckx R. 2005.** A quantification of short-term macroaggregate dynamics: influences of wheat residue input and texture. *Soil Bio. Biochem*, 37, 55-66.
- De Ridder K., Neiryneck J., & Mensink C., 2004.** Parametising forest edge deposition effective roughness length. *Agricultural and Forest Meteorology*, 123, 1-11.
- Delaunois A., 1976.** Travaux pratique de pédologie générale.
- Dellali M., Gnassia-Barelli M., Romeo M. & Aissa P., 2001.** The use of acetylcholinesterase activity in *Ruditapes decussatus* and *Mytilus galloprovincialis* in biomonitoring of Bizerta lagoon. *Comp. Biochem. Pysiol. C.*, 130, 227-235.
- Denef K., Six, J., Bossuyt H., Frey S.D., Elliott E.T., Merckx R., & Paustian K., 2001.** Influence of wet-dry cycles on the interrelationship between aggregate, particulate organic matter, and microbial community dynamics. *Soil Biol. Biochem*, 33, 1599–1611.
- Denison R.A., & Silbergeld E.K., 1988.** Risks of municipal solid waste incineration: an environmental perspective. *Risk analysis*, 8, 343-355.
- Dewes L.J., Sandrine J.Z., Monserrat J.M., & Yunes J.S., 2006.** Biochemical and physiological responses after exposure to microcytins in the crab. *Chasmagnathus granulatus* (Decapod, Brachyura). *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 65: 201-208.
- Dobson S., Shore R.F., 2002.** Extrapolation for Terrestrial Vertebrates. *Human and Ecological Risk Assessment*, 8, 45-54.
- Douafer L., & Soltani N., 2014.** Inventory of Land Snails in Some Sites in the Northeast Algeria: Correlation with Soil Characteristics. *Advances in Environmental Biology*, 8(1), 236-243.
- Drardja-Beldi H., & Soltani N., 2003.** Laboratory evaluation of dimilin on growth and glutathione activity in mosquitofish, a non-target species. *Comm. Appl. Biol. Sci.*, Ghent University, 68(4a): 299-304.
- Drif F., & Abdennour A., 2010.** Trace Metals in the Mussel *Donax trunculus* Linnaeus 1758 from Urban and Industrial Contaminated Locations. *Journal of Applied Sciences Research*, 6(12), 2063-2067.

- Duchaufour P., 1989.** Pédologie et groupes écologiques : Rôle du type d'humus et du pH. *Bulletin d'écologie*, n°20.
- Duchaufour P., 1970.** Précis de pédologie. Ed Masson et Cie. Paris.
- Duthil J., 1971.** Eléments d'écologie et d'agronomie : connaissance du milieu. Sciences de la vie. Tome I. Baillière, Paris, 265p.
- El- Gendy K.S., Radwan M.A., Gad A.F. 2009.** In vivo evaluation of oxidative stress biomarkers in the land snail, *Theba pisana* exposed to copper-based pesticides. *Chemosphere*, 77, 339-344.
- Ellman G.L., Courtney K.D., Andres V. & Featherstone R.M., 1961.** A new and rapid colorimetric determination of acetylcholinesterase activity. *Biochem. Pharmacol*, 7, 88-95.
- Ettler V., Vanek A., Mihaljevic M., & Bezdicka P., 2005.** Contrasting lead speciation in forest and tilled soils heavily polluted by lead metallurgy. *Chemosphere*, 58, 1449-1459.
- European Commission 2002.** Communication of 16 April 2002 from the Commission to the Council, the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Towards a Thematic Strategy for Soil Protection. COM 2002, 179 final.
- Fairbrother A., Wenstel R., Sappington K., & Wood W., 2007.** Framework for metals risk assessment. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 68, 145-227.
- Farombi E. O., Adelowo O. A., & Ajimoko Y. R., 2007.** Biomarkers of Oxidative Stress and Heavy Metal Levels as Indicators of Environmental Pollution in African Cat Fish (*Clarias gariepinus*) from Nigeria Ogun River. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 4(2), 158-165.
- Flammarion P., Migeon B., Urios S., Morfin P. & Garric J., 1998a.** Effect of Methidathion on the cytochrome P450 1A in the cyprinid fish gudgeon (*Gobio gobio*). *Aquat. Toxicol.*, 42, 93- 102.
- Flammarion P., Noury P. & Garric J., 2002a.** The measurement of cholinesterase activities as a biomarker in chub (*Leuciscus cephalus*): the fish length should not be ignored. *Environ. Poll.*, 120, 325-30.
- Floret N., Viel J.F., Lucot E., Dudermel P.M., Cahn J.Y., Badot P.M., & Mauny F., 2006.** Dispersion modeling as a dioxin exposure indicator in the vicinity of a municipal solid waste incinerator: A validation study. *Environmental Science and Technology*, 40, 2149-2155.
- Forbes, V.E., Forbes, T.L., 1997.** Ecotoxicologie. Théorie et applications. INRA, Paris, France.
- Forget J., Pavillon J.F., Bellaëff B. & Bo quené G., 1999.** Joint action of pollutants combinations (pesticides and metals) on survival (LC<sub>50</sub> value) and acetylcholinesterase activity of *Tigriopus brevicornis* (Copepoda, Harpacticoida) . *Environ. Toxicol. Chem.*, 18(5), 912-918.
- Fowler D., Skiba U., Nemitz E., Choubedar F., Branford D., Donovan R., & Rowland P., 2004.** Measuring aerosol and heavy metal deposition on urban woodland and grass using inventories of <sup>210</sup>Pb and metal concentrations in soil. *Water Air and Soil Pollution* 4, 483-499.
- Gaillard J. 1991.** Les Mollusques. Document polycopie du module de la conférence sur les animaux venimeux au Museum d'Histoire Naturelle de Paris, juillet 99. p 1-18.
- Galloway T.S & Depledge M.H., 2001.** Immunotoxicity in invertebrates: measurement and ecotoxicological relevance. *Ecotoxicology*, 10, 5-23.

- Garrett R.R., 2000.** Natural sources of metals to the environment. *Human and Ecological Risk Assessment*, **6**, 945-963.
- Garcia R., & Millan E. 1998.** Assessment of Cd, Pb and Zn contamination in roadside soils and grasses from Gipuzkoa (Spain). *Chemosphere*, **37**(8), 1615-1625.
- Gauchers F., 1968.** Traité de pédologie agricole. Le sol et ces caractéristiques agronomiques.
- Gauchers F., & Soltser H., 1981.** Base de la production végétale : le sol, Edition Techniques agricoles.
- Georges G.S., & Buchanan G., 1990.** Isolation, properties and induction of piace liver cytosolic glutathione S-trnsferase. *Fish. Physiol. Biochem.*, **8**(6): 437-449.
- Germain L., 1969a.** Mollusques terrestres et fluviatiles. Ed. Kraus, Nendeln, Liechtenstein, **21**, 477 p.
- Germain L., 1969b.** Mollusques terrestres et fluviatiles. Ed. Kraus, Nendeln, Liechtenstein, **22**, 240 p.
- Gimbert F., 2006.** Cinétique de transfert de polluants métalliques du sol à l'escargot .Thèse de doctorat, université de franche comté, France.192 p.
- Gimbert F., de Vaufleury, A., Douay F., Coeurdassier M., Scheifler R., & Badot P.M., 2006.** Modelling chronic exposure to contaminated soil: a toxicokinetic approach with the terrestrial snail *Helix aspersa*. *Environment International*, **32**, 866-875.
- Gimbert F., de-Vaufleury A., Douay B., Coeurdassiera M., Scheifler R., Badot P.M., 2008.** Long-term responses of snails exposed to cadmium-contaminated soils in a partial life-cycle experiment. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, **70**, 138–146.
- Giraudoux P., Craig P.S., Delattre P., Bao G., Bartholomot B., Harraga S., Quere Delattre P., Takahashi K., Raoul F., Quéré J.P., Craig P., & Vuitton D., 2002.** Transmission ecology of *Echinococcus multilocularis* in wildlife: what can be learned from comparative studies and multi-scale approaches ?, in: Craig, P., Pawlowski, Z. (Eds.), Cestode zoonoses: Echinococcosis and Cystercosis. An emergent and global problem. NATO Sciences Series, IOS press, Amsterdam, The Netherlands, pp. 251-262.
- Godin M., Feinbert M.H., & Ducauze C.J., 1985.** Modeling of soil contamination by air - borne lead and cadmium around several emission sources. *Environmental Pollution*, **10**, 97-114.
- Godin P.M., 1984.** Analyse et traitement des sols pollués. Projet de cahier technique, Secrétariat chargé de l'environnement, 155p.
- Gomot de Vaufleury A., & Pihan, F., 2000.** Growing snails used as sentinels to evaluate terrestrial environment contamination by trace elements. *Chemosphere*, **40**, 275 - 284.
- Gomot A., & Gomot L., 1995.** Neurohormonal control of body and shell growth of the snail *Helix*. *Bull. Inst. Océa*. Monaco, **14**, 141-149.
- Gomot A., 1994.** Contribution à l'étude de la croissance d'escargots du genre *Helix* : influencedes facteurs de l'environnement. Nutrition et composition biochimique. Contrôle neuroendocrine. Thèse en Sciences de la Vie, Université de Besançon, 258p.
- Gomot A., 1997.** Effets des métaux lourds sur le développement des escargots. Utilisation des escargots comme bio-indicateurs de pollution par les métaux lourds pour la préservation de la santé de l'homme. *Bull. Acad. Natl. Méd*, **181**, 59-75.

- Gomot A., 1997b.** Double labelling of neural grafts for identification of sites mediating growth in snails. *Biol. Cell*, 89, 133-140.
- Gomot A., & Pihan F., 1997.** Comparison of the bioaccumulation capacities of copper and zinc among two snails subspecies (*Helix*). *Ecotox. Environ. Safe.*, 38, 85-94.
- Gomot-de Vaufleury A. & Pihan F., 2002.** Methods for toxicity assessment of contaminated soil by oral or dermal uptake in land snails: metal bioavailability and bioaccumulation. *Environmental Toxicology and Chemistry* 21, 820-827.
- Grara N., 2011.** Evaluation de la toxicité de certains polluants industriels sur un animal bioaccumulateur (gastéropode *Helix aspersa*) : Cas des métaux. Thèse en science de la vie, Option: Toxicologie cellulaire, Université de Annaba, 120p.
- Grara N., Boucenna M., Atailia A., Berrebbah H., & Djébar M.R., 2012.** Etude expérimentale de la bioaccumulation des éléments traces métalliques Cd, Cu, Zn et Pb chez l'escargot *Helix aspersa*. *Bulletin de l'Institut Scientifique*, Rabat, 34 (2), 183-187.
- Grue C. E., Guilbert P.L., & Seeley M. E., 1997.** Neurophysiological and behavioural changes in non-traget wildlife exposed to organophosphate and carbamate pesticide: Thermoregulation, food consumption and reproduction. *Am. Zool.*, 37: 369-388.
- Grzimek B., & Fontaine M. 1973.** Le Monde Animal, Editions Stauffacher S.A., Zurich Volume III : Mollusques Echinodermes p 123-134.
- Grzimek B., & Fontaine M., 1973.** Räumliche Effekte von Totholzstrukturen bei Landschnecken (Mollusca Gastropoda). *Forst und Holz*, 64(2): 22-27.
- Habig W.H., Pabst M.J., & Jakoby W.B., 1974.** Gluthation-S-transferases: the first enzymatic step in mercapturic acid formation. *Journal of Biological Chemistry*, 249, 7130-7139.
- Hamon R.E., McLaughlin M.J., Naidu R., & Correll A., 1998.** Long- term changes in cadmium bioavailability in soil. *Environmental Sciences and Technology*, 32, 3699-3703.
- Hasselbach L., Ver Hoef J.M., Ford J., Neitlich P., Crecelius E., Berryman S., Wolk B., & Bohle, T., 2005.** Spatial patterns of cadmium and lead deposition on and adjacent to National Park Service lands in the vicinity of Red Dog Mine, Alaska. *Science of the Total Environment*, 348, 211-230.
- Hayes J.D., Flanagan J.U., & Jowsey I.R., 2004.** Glutathione transferases. *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol*, 45, 51 – 88.
- Heal O.W., Anderson J.M., & Swift M.J., 1997.** Plant litter quality and decomposition: An historical overview. In Cadisch G and Giller KE (Eds.), *Driven By Nature. Plant Litter Quality and Decomposition*. pp 3-30. CAB International, Wallingford.
- Herbert A., Guilhermino L., Assis H.C.S. & Hansen P.D., 1995.** Acetylcholinesterase activity in aquatic organisms as pollution biomarker. *Zeitschrift Angewandt Zool.*, 3, 1-5.
- Hope B.K., 2005.** Performing spatially and temporally explicit ecological exposure assessments involving multiple stressors. *Human and Ecological Risk Assessment*, 11, 539-565.
- Hopkin S.P., 1989.** Ecophysiology of metals in terrestrial invertebrates. *Elsevier Applied science*, NY, USA, 366 p.

- Jeppesen L.L., & Nygard K., 1976.** The influence of photoperiod, temperature and internal factors on the hibernation of *Helix pomatia* L. (Gastropoda, Pulmonata). *Videnskabelige Meddelelser fra Dansk Naturhistorisk Forening*, 139, 305–329.
- Jess S., & Marks R.J. (1998).** Effect of temperature and photoperiod on growth and reproduction of *Helix aspersa* var. *maxima*. *Journal of Agricultural Science*, 130, 367-372.
- Johnson P.T.J., Lund P.J., Hartson R.B., & Yoshino T.P., 2009.** Community diversity reduces *Schistosoma mansoni* transmission, host pathology and human infection risk. Proceedings of the Royal Society. *Biological Sciences*, 276, 1657-1663.
- Jongbloed R.H., Traas T.P., & Luttik R., 1996.** A probabilistic model for deriving soil quality criteria based on secondary poisoning of top predators: II. Calculations for dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) and cadmium. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 34, 279-306.
- Jordaens K, De Wolf H, Vandecasteele B, Blust R, & Backeljau T. 2006.** Associations between shell strength, shell morphology and heavy metals in the land snail *Cepaea nemoralis* (Gastropoda, Helicidae). *Sci Total Environ*, 363, 285–293.
- Juste C., 1988.** Appréciation de la mobilité et de la biodisponibilité des éléments en traces du sol. *Science du Sol*, 26, 103-112.
- Kammenga J.E., Dallinger R., Donker M.H., Kohler H.R., Simonsen V., Triebkorn R. & Weeks J.M., 2000.** Biomarkers in terrestrial invertebrates for ecotoxicological soil risk assessment. In *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, 164. 93-147.
- Kaouritchev, I., 1970.** Manuel pratique de pédologie. Sciences de la vie. Tome I. Moscou. 278p.
- Kapustka L.A., 2008.** Limitations of the current practices used to perform ecological risk assessment. *Integrated. Environmental Assessment and Management*, 4, 290-298.
- Khessiba U.N., Hoarau P., Magnassia B. Aissa P. & Romèò M., 2001.** Réponse biochimique de la moule *Mytilus galloprovincialis* du lac de Bizerte (Tunisie) à une exposition du polluant chimique. *Environ. Toxicol. Chem.*, 40, 222-229.
- Kiem R., & Kandeler E., 1997.** Stabilization of aggregates by the microbial biomass as affected by soil texture and type. *Appl Soil Ecol*, 5, 221-230.
- Kitron U., Clennon J.A., Cecere M.C., Gurtler R.E., King C.H., & Vazquez-Prokopec G., 2006.** Upscale or downscale: applications of fine scale remotely sensed data to Chagas disease in Argentina and schistosomiasis in Kenya. *Geospatial Health* 1, 49-58.
- Koranteng-Addo E.J, Owusu-Ansah E, Boamponsem L.K., Bentum J.K., & Arthur S, 2011.** Levels of zinc, copper, iron and manganese in soils of abandoned mine pits around the Tarkwa gold mining area of Ghana. *Advances in Applied Science Research*, 2 (1), 280-288.
- Lagadic L., Caquet T., Amiard J.C., & Ramade F., 1997.** Biomarqueurs en écotoxicologie. Aspects fondamentaux. Masson, Paris, France.
- Laib E., & Leghouchi E. 2011.** Cd, Cr, Cu, Pb, and Zn concentrations in *Ulva lactuca*, *Codium fragile*, *Jania rubens*, and *Dictyota dichotoma* from Rabta Bay, Jijel (Algeria). *Environ Monit Assess.* doi 10.1007/s10661- 011-2072-0.

- Laskowski R., & Hopkin S.P., 1996a.** Effect of Zn, Cu, Pb and Cd on fitness in snail (*Helix aspersa*). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 34, 59-69.
- Laskowski R., & Hopkin S.P., 1996b.** Accumulation of Zn, Cu, Pb and Cd in the garden snail *Helix aspersa*: implication for predators. *Environmental pollution*, 91, 289-297.
- Lauterburg D.J. & Mitchel J.R., 1981.** Gillette, bromobenzene-induced liver necrosis, protective role of glutathione and evidence for 3,4-bromobenzene oxide as the hepatic intermediate. *Pharmacol.*, 11:151-169.
- Lazaridou-Dimitriadou M., & Saunders D., 1986.** The influence of humidity, photoperiod, and temperature on the dormancy and activity of *Helix lucorum* L. (Gastropoda, Pulmonata). *Jornal Moll Stud*, 52, 180–189.
- Lee C.S.L., Li X., Shi W., Cheung S.C.N., & Thornton, I., 2006.** Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: a study based on GIS and multivariate statistics. *Science of the Total Environment*, 356, 45-61.
- Loveland P., & Webb J., 2003.** Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions: a review? *Soil and Tillage Research*, 70, 1-18.
- Maas, S., Scheifler, R., Benslama, M., Crini, N., Lucot, E., & Brahmis, Z., 2010.** Spatial distribution of heavy metal concentrations in urban, suburban and agricultural soils in a Mediterranean city of Algeria. *Environmental Pollution*, 158, 2294–2301.
- Madec L., 1983.** Importance des conditions climatiques et de l'origine des individus pour la reproduction de l'escargot petit-gris en élevage sous bâtiment contrôlé. Session ITAVI, Rennes.
- Magiera T., & Zawadzki J., 2007.** Using of high-resolution topsoil magnetic screening for assessment of dust deposition: Comparison of forest and arable soil datasets. *Environmental Monitoring and Assessment*, 125, 19-28.
- Mandoz-Escande C., Bréchnignac F., Colle C., Dubois E., Hugon J., Jouglet H., Moutier M., Rongier P.A., Schu E.H., & Zanon R., 2005.** Experimental installation for radioecologie research on defined ecosystems subjected to contamination in controlled condition, 133, 178-191.
- Martley E., Gulson B., & Pfeifer H., 2004.** Metal concentrations in soils around the copper smelter and surrounding industrial complex of Port Kembla, NSW, Australia. *Science of the Total Environment*, 325, 113-127.
- McBride M.B. 1994.** Environmental Chemistry of soils. Oxford University Press. New York.
- McBride M.B., 1995.** Toxic metal accumulation from agricultural use of sludge: are USEPA regulations protective. *Journal of Environmental Quality*, 24, 5-18.
- Menta C., & Parisi V. 2001.** Metal concentrations in *Helix pomatia*, *Helix aspersa* and *Arion rufus*: a comparative study. *Environmental Pollution*, 115, 205-208.
- Merian E., Anke M., Ihnat M., & Stoeppler M., 2004.** Metals and their compounds in the environment. Occurrence, analysis and biological relevance. 2nd Edition, VCH Publishers, Weinheim, New York, USA, 1806 .
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005.** Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute, Washington, DC., USA, p. 100.

- Mineau P., 2005.** A Review and Analysis of Study Endpoints Relevant to the Assessment "Long Term" Pesticide Toxicity in Avian and Mammalian Wildlife. *Ecotoxicology*, 14, 775-799.
- Modrzewska B., & Wyszowski M., 2014.** Trace metals content in soils along the state road 51(northeastern Poland). *Environ Monit Assess*, 186, 2589–2597. doi : 10.1007/s10661-013-3562-z.
- Morel R., 1986.** Les sols cultivés. Lavoisier.1ère édition. Paris. pp. 21-64.
- Moore P.A., Jr, Joern B.C., Edwards D.R., Wood C.W., & Daniel T.C., 2006.** Effects of manure amendments on environmental and production problems. American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan, USA.759-776.
- Morgan R.K., & Taylor E., 2004.** Copper Accumulation in Vineyard Soils in New Zealand. *Environnemental Sciences*, 1, 139-167.
- Morsli S.M., & Soltani N., 2003.** Effets d'un insecticide inhibiteur de la synthèse de la chitine, le diflubenzuron, sur la cuticule de la crevette *Penaeus kerathurus*. *Journal de Recherche Océanographique*, 28, 85-88.
- Najimi S., 1997.** Evaluation de l'état de santé de la baie d'Agadir: Bioaccumulation métallique et réponse de deux biomarqueurs de pollution chez *Mytilus galloprovincialis* et *Perna Perna*. Université IBNOU ZOHR, 161 p.
- Notten M.J.M., Oosthoek A.J.P., Rozema J., & Aerts R., 2006.** Heavy metal pollution affects consumption and reproduction of land snail *Capaea nemoralis* fed on naturally polluted *Urtica dioica* leaves. *Ecotoxicology*, 15, 295–304. doi:10.1007/s10646-006-0059-3.
- Nover L., (1991).** Heat Shock Response. CRC Press, Boca Raton, FL.
- Nowakowska A., Laciak T., & Caputa M., 2012.** Organ Profiles of the Antioxidant Defence System and Accumulation of Metals in *Helix aspersa* Snails. *Polish Journal of Environmental Studies*, 21 (5), 1369-1375.
- Ondina P., 1988** – Gastéropodes terrestres de A Coruna y Pontevedra. Tesis Doctoral. Univ. De Santiago. 386 p.
- Ozmen M., Sener S., Mete A., & Kucukbay H., 1999.** In vitro and in vivo acetylcholinesterase-inhibiting effect of new classes of organophosphorus compounds. *Environ Toxicol Chem* 18: 24-246.
- Parsons R., Tassinary L.G., Ulrich R.S., Hebl M.R., & Grossman-Alexander M., 1998.** The view from the road : Implications for stress recovery and immunization. *Jorn Envi Psych*, 18(2), 113-140.
- Payne J. F., Mathieu A., Melvin W. & Fancey L. L., 1996.** Acethylcholinesterase, an old biomarker with a new future? Field trials in association with two urban rivers and a paper mill in Newfoundland. *Mar. Poll. Bull.*, 32, 225-231.
- Peršić A., 2004.** Modalités de contamination par les polluants organiques persistants des réseaux trophiques lagunaires. Application de la méthode des isotopes stables .Thèse de Doctorat. Université Paris XI. 159p.

- Pihan F., & de Vauffleury A., 2000.** The Snail as a Target Organism for the Evaluation of Industrial Waste Dump Contamination and the Efficiency of Its Remediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 46 (2), 137-147.
- Piron-Frenet M., Bureau F., & Pineau A., 1994.** Lead accumulation in surface roadside soil: its relationship to traffic density and meteorological parameters. *The Science of the Total Environment*, 144, 297–304.
- Pleydell D.R.J., Yang Y.R., Danson F.M., Raoul F., Craig P.S., McManus D.P., Vuitton D.A., Wang Q., & Giraudoux P., 2008.** Landscape composition and spatial prediction of *alveolar echinococcosis* in Southern Ningxia, China. *Plos Neglected Tropical Diseases*, 2, 10-22.
- Promeprat S., 2001.** Contribution à l'étude de la pollution atmosphérique autoroutière, caractérisation des flux de déposition et de la contamination métallique de l'environnement de proximité, Thèse en Sciences de la Vie, Université de Metz, 207p.
- Puente A.I., 1997.** Estudio taxonomico y biogeografico de la Superfamilia Helicoidea Rafinesque, 1815 (Gastropoda: Pulmonata: Stylommatophora) de la Peninsula Iberica e Islas Baleares. Tesis Doctoral. 970 p.
- Rabitsch W.B., 1996.** Metal accumulation in terrestrial pulmonates at a lead/zinc smelter site in Arnoldstein, Austria. *Bull Environ Contam Toxicol*, 56, 734-741.
- Radwan M.A., & Mohamed M.S., 2013.** Imidacloprid induced alterations in enzyme activities and energy reserves of the land snail, *Helix aspersa*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 95, 91–97.
- Radwan M.A., El-Gendy K.S., & Gad A.F. 2010.** Biomarkers of oxidative stress in the land snail, *Theba pisana* for assessing ecotoxicological effects of urban metal pollution. *Chemosphere*, 79, 40-46.
- Radwan M.A., EL-Wakil H.B., & Osman K.A., 1992.** Toxicity and biochemical impact of certain oxime carbamate pesticides against terrestrial snail, *Theba pisana* (Muller). *J. Environ. Sci. Health*, 27 (6), 759-773.
- Ramade F., 1984.** Elément d'écologie fondamentale .Ed MC Grow-hill.Paris.
- Ramade, F., 2007.** Introduction à l'écotoxicologie. Editions Tec & Doc. Lavoisier, Paris.
- Rawlins B.G., Lark R.M., Webster R., & O'Donnell K.E., 2006.** The use of soil survey data to determine the magnitude and extent of historic metal deposition related to atmospheric smelter emissions across Humberside, UK. *Environmental Pollution*, 143, 416-426.
- Regoli F., & Principato G., 1995.** Glutathione, glutathione-dependent and antioxidant enzymes in mussel, *Mytilus galloprovincialis*, exposed to metals in different field and laboratory conditions: implications for a proper use of biochemical biomarkers. *Aquat Toxicol*, 31:143–164.
- Regoli F., Gorbi S., Machella N., Tedesco S., Benedetti M., & Bocchetti R., 2005.** Prooxidant effects of extremely low frequency electromagnetic fields (ELF-EM) in the land snail *Helix aspersa*. *Free Radic Biol Med*, 39,1620–1628. doi: 10.1016/j.freeradbiomed.08.004.
- Ricou G., 1964.** Relations entre l'Activité des Limaces Grises et la Température, Overdr. Mededel de Landbou Whogeschool Opzoekings, staat Gent. 29, 1071-1080.

- Riddle W.A. 1986.** Physiological ecology of land snails and slugs. In: Russell-Hunter, W.D., ed. *The Mollusca Academic*, 6, 431-461.
- Rieuwerts J.S., & Farago M.E., 1996.** Mercury concentrations in a historic lead mining and smelting town in the Czech Republic: a pilot study. *Sci Tot Environ*, 188, 167-171.
- Robert M., & Juste C., 1999.** Enjeux environnementaux et industriels - Dynamique des éléments traces dans l'écosystème sol. In: Spéciation des métaux dans le sol. Les Cahiers du Club Crin, Paris, 15-37.
- Rodriguez J.A., Nanos N., Grau J.M., Gil L., & Lopez-Arias M., 2008.** Multiscale analysis of heavy metal contents in Spanish agricultural topsoils. *Chemosphere*, 70, 1085-1096.
- Russell L.K., Dehaven J. I & Botts R. P., 1981 ;** Toxic effects of cadmium on the garden snail (*Helix aspersa*). *Bull. Environ. Contam. Toxicol*, 26, 634-640.
- Ryan J.A. & Hightower L.E., 1996.** Stress proteins as molecular biomarkers for environmental toxicology. In *Stress-Inducible Cellular Responses*. U. Feige, R. I. Morimoto, I. Yahara and B. Polla (Eds.). Birkhäuser Verlag Basel/Switzerland. 411-424.
- Sacchi C.F., 1971.** Ecologie comparée des Gastéropodes Pulmonés des dunes Méditerranéennes et Atlantiques. *Nature. Soc. It. Sc. nat. Museo, Civ. St. nat. e Acquario Civ*, Milano, 62 (3), pp. 277-358.
- Saglio P., Trijasse S. & Azam D., 1996.** Behavioural effects of water-born carbofuron in goldfish. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*, 31: 232-238.
- Salama A.K., Osman K.A., Saber N.A., & Soliman S.A., 2005.** Oxidative stress induced by different pesticides in the land snails, *Helix aspersa*. *Pakistan journal of biological Science*, 8(1), 92-96.
- Saltiene Z., Brukstiene D. & Ruzgyte A. 2002.** Contamination of soil by polycyclic aromatic hydrocarbons in some urban areas. *Polycyclic Aromatic Compounds*, 22(1): 23-35.
- Samraoui B., Benyacoub S., Mecibah S., & Dumont H.J. (1993).** Afrotropical libellulids in the lake district of El Kala, NE Algeria, with a redescription of *Urothemis e. edwardsi* (Selys) and *Acisoma panorpoides ascalaphoides* (Rambur) (Anisoptera : Libellulidae). - *Odonatologica*, 3: 365-372.
- Sánchez-Martin M.J., Sánchez-Camazano M., & Lorenzo L.F., 2000.** Cadmium and lead contents in suburban and urban soils from two medium-sized cities of Spain: influence of traffic intensity. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 64, 250-257.
- Scheifler R., M. Coerdassier, C. Morilhat, N. Bernard, B. Faivre, P. Flicoteaux, P. Giraudoux, M. Noël, P. Piotte, D. Rieffel, A. de Vaufleury, P.M. & Badot 2006.** Lead concentrations in feathers and blood of common blackbirds (*Turdus merula*) and in earthworms inhabiting unpolluted and moderately polluted urban area. *Science of the Total Environment* vol. 371:197-205.
- Scheifler R., Brahim M.B., Gomot-de Vaufleury A., Carnus J.-M. & Badot P.-M. 2003.** A field method using microcosms to evaluate transfer of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn from sewage sludge amended forest soils to *Helix aspersa* snails. *Environmental Pollution*, 122(3): 343-350.

- Scheifler R., Gomot-de Vaufleury A., Toussaint M.L., & Badot P.M., 2002.** Transfer and effects of cadmium in an experimental food chain involving the snail *Helix aspersa* and the predatory carabid beetle *Chrysocarabus splendens*. *Chemosphere*, 48, 571-579.
- Semadi A., & Deruelle S., 1978.** Lead pollution monitoring by transplanted lichens in Annaba area (Algeria). *Review of Pollution Atmospheric*, (Oct-Dec), 86-102.
- Senesi G.S., Baldassare G., Senesi N., & Radina B., 1999.** Trace element inputs into soils by anthropogenic activities and implication for human health. *Chemosphere*, 39, 343-377.
- Shore R.F., & Rattner B.A., 2001.** *Ecotoxicology of Wild Mammals*. John Wiley & Sons, London, UK.
- Sifi K., Chouahda S., & Soltani N. 2007.** Biosurveillance de l'environnement par la mesure de biomarqueurs chez *Donax trunculus* dans le golfe d'Annaba. *Mésogée*, 63, 11-18.
- Škrbić B., & Đurišić-Mladenović N., 2013.** Distribution of heavy elements in urban and rural surface soils: the Novi Sad city and the surrounding settlements, Serbia. *Environ Monit Assess*, 185, 457-471 doi 10.1007/s10661-012-2567-3.
- Soltani N., & Morsli S.M., 2003.** Quantification du Dimilin<sup>R</sup> par chromatographie liquide haute performance : étude de la dégradation dans l'eau de mer. *Journal de Recherche Océanographique*, 28, 118-120.
- Soltani N., Amira A., Sifi K., & Beldi H., 2012.** Environmental monitoring of the annaba gulf (algeria): measurement of biomarkers in *Donax trunculus* and metallic pollution. *Bulletin de la Société zoologique de France*, 137(1-4), 47-56.
- Souissi M., Ouali K., Hadj Moussa W., Rouachdia R., Djabourabi A., & Bensouilah M., 2008.** Proportioning of Biomarkers (GSH, GST, AChE, Catalase) Indicator of pollution at *Gambusia affinis* (Teleostei Fish) Exposed to Cadmium. *Mar. Ecobiol. Lit. Envi*.
- Sturm A., Wogram J., Hansen P.D. & Liess M., 1999.** Potential use of cholinesterase in monitoring low level in organophosphates in small streams: natural variability in three-spined stickleback (*Gasterosteus aculeatus*) and relation to pollution. *Environ. Toxicol. Chem.*, 18, 194-200.
- Sumpter J.P., & Jobling S., 1995.** Vitellogenesis as a biomarker for estrogenic contamination of the aquatic environment. *Environ. Health Perspect.*, 103: 173-178.
- Suna Y., Zhoua Q., Xiea X., & Liua R., 2010.** Spatial, sources and risk assessment of heavy metal contamination of urban soils in typical regions of Shenyang, China. *Journal of Hazardous Materials*, 174, 455-462.
- Talmage S., & Walton B., 1991.** Small mammals as monitors of environmental contaminants. *Review of Environmental Contaminants and Toxicology* 119, 47-145.
- Tannenbaum L.V., 2001.** What's so bad about weight loss, blood chemistry effects, kidney toxicity, etc. in a modeled ecological receptor? *Human and Ecological Risk Assessment*, 7, 1765-1767.
- Tannenbaum L.V., 2005.** A critical assessment of the ecological risk assessment process: a review of misapplied concepts. *Integrated environmental assessment and management*. 1, 66-72.
- Terver A.P., 1939.** *Catalogue des Mollusques terrestres et fluviatiles observés dans les possessions françaises au Nord de l'Afrique*. Paris-Lyon, 40 p.

- Tsai C.L., 2004.** Introduction of slugs in plant quarantine ; Council of Agriculture plant protection Series.5 :113-119.
- Van den Brink P.J., 2008.** Ecological risk assessment: from book-keeping to chemical stress ecology. *Environmental Science & Technology*, 42, 8999-9004.
- Van Straalen N.M., Donker M.H, Vijver MG, & Van Gestel C.A.M., 2005.** Bioavailability of contaminants estimated from uptake rates into soil invertebrates. *Environmental Pollution*, 136, 409–417. doi: 10.1016/j.envpol.2005.01.019.
- Van Straalen N.M., 2003.** Ecotoxicology becomes stress ecology. *Environmental Science and Technology*, 37, 233-234.
- Vander Oost, R., Beyer J., & Vermeulen N.P., 2003.** Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment. *Environ.Toxicol. Pharmacol*, 13, 57–149.
- Vaufleury A, Coeurdassier M, Pandard P, Scheifler R, Lovy C, & Crini N., 2006.** How terrestrial snails can be used in risk assessment of soils. *Environ, Toxicol, Chem*, 25, 797–806.
- Verlecar X.N., Jena K.B., & Chainy G.B., 2006.** Modulation of antioxidant defences in digestive gland of *Perna viridis* , on mercury exposures. *Chemosphere*, 71, 1977-1985.
- Viard-La rocca B., 2004.** Mise au point et validation, sur sites contaminés, (ETM-HAP) d'un test de biosurveillance en microcosme : Croissance et bioaccumulation par le gastéropode terrestre *hélix aspersa aspersa*. Thèse en Sciences de la Vie, Université de Metz, 266 p.
- Viard-La rocca B., Maul A., & Pihan J.C., 2004.** Standard use conditions of terrestrial gastéropods in active biomonitoring of soil contamination. *Journal of Environment Monitoring*, 6; 103-107.
- Walker C.H., Hopkin S.P., Sibly R.M., & Peakall D.B., 2006.** Principles of ecotoxicology, Third ed. CRC Press Taylor & Francis Group, Boca Raton, FL, USA.
- Wijnhoven S., Leuven R., van der Velde G., Jungheim G., Koelemij E., de Vries F., Eijsackers H., & Smits A., 2007.** Heavy-metal concentrations in small mammals from a diffusely polluted floodplain: importance of species- and location specific characteristics. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 52, 603-613.
- Williams P.H., & Humphries C.J., 1996.** Comparing character diversity among biotas," in K. J. Gaston (ed.), Biodiversity. A Biology of Numbers and Differences. London: Chapman and Hall, pp. 54-76.
- Wo k.T., Lm P.K.S. & Wu R.S.S., 1999.** A comparison of growth biomarkers for assessing sublethal effects of cadmium on marine gastropod. *Nassarius festivus*. *Mar. Poll. Bull.*, 39: 165-173.
- Wuddivira M.N., Stone R.J., & Ekwue E.I., 2009.** Clay, organic matter and wetting effects on splash detachment and aggregate breakdown under intense rainfall. *Soil Science Society of America Journal*, 73 (1), 226-232.
- Xu S., & Tao S., 2004.** Coregionalization analysis of heavy metals in the surface soil of Inner Mongolia. *Science of the Total Environment*, 320, 73-87.
- Yang Y., Wu Y., Chen S., Devine G.J., Denholin I., Jewess P., Moores G.J., Denholin I., Jewess P. & Moores G.D., 2004.** The involvement of microsomal Oxidases in pyrethroid resistance in *Helicoverpa armigera* from Asia. *Insec. Biochem. Mol. Biol*, 34: 763-773.

- Yang K., Wang X.H., Yang G.J., Wu X.H., Qi Y.L., Li H.J., & Zhou X.N., 2008.** An integrated approach to identify distribution of *Oncomelania hupensis*, the intermediate host of *Schistosoma japonicum*, in a mountainous region in China. *International Journal for Parasitology*, 38, 1007-1016.
- Zaidi N., & Soltani N., 2010.** Chronic toxicity of flucycloxuron in the mosquitofish, *Gambusia affinis*: acetylcholinesterase and catalase activities and pattern of recovery. *Annals of Biological Research*, 1 (4), 210-217.
- Zaidi N., & Soltani N., 2011.** Environmental risks of two chitin synthesis inhibitors on *Gambusia affinis*: chronic effects on growth and recovery of biological responses. *Biological Control*, 59 (2), 106-113.
- Zaidi N., Farine JP., & Soltani N., 2013.** Experimental Study on Diflubenzuron: Degradation in Freshwater and Bioconcentration in Mosquitofish Following Chronic Exposure. *Journal of Environmental Protection*, 4 (2), 188-194. doi: 10.4236/jep.2013.42022

## 8. ANNEXES

## Annexe 1

Tableau 1 : Corrélations : Fer, Manganèse, Plomb, Cadmium, Température, pHeau, MO; Humidité; ...

	FER	MANG	PLOMB	CADMIUM	Temp	PHeau	MO
MANG	0,719 0,000						
PLOMB	0,344 0,100	0,798 0,000					
CADMIUM	0,986 0,000	0,722 0,000	0,348 0,096				
Temp	0,531 0,008	0,684 0,000	0,500 0,013	0,572 0,003			
PHeau	-0,050 0,818	-0,483 0,017	-0,406 0,049	-0,123 0,568	0,762 0,000		
MO	-0,107 0,618	-0,196 0,359	-0,080 0,709	-0,085 0,692	0,521 0,009	0,601 0,002	
Humidité	0,878 0,000	0,388 0,061	0,058 0,787	0,851 0,000	0,140 0,514	0,385 0,063	-0,380 0,067
Porosité	-0,776 0,000	-0,472 0,020	-0,248 0,243	-0,769 0,000	0,180 0,399	0,246 0,247	0,325 0,121
Calcaire	0,072 0,740	0,414 0,044	0,289 0,171	0,091 0,673	0,525 0,008	0,644 0,001	0,591 0,002

**Tableau 2 : Corrélations : AChE, FER, MANG; PLOMB; CADMIUM; Temp; PHeau; MO; Humidité ;**

	AChE	FER	MANG	PLOMB	CADMIUM	Temp	PHeau
FER	-0,339 0,105						
MANG	-0,137 0,524	0,719 0,000					
PLOMB	-0,194 0,364	0,344 0,100	0,798 0,000				
CADMIUM	-0,275 0,193	0,986 0,000	0,722 0,000	0,348 0,096			
Temp	-0,559 0,005	0,531 0,008	0,684 0,000	0,500 0,013	0,572 0,003		
PHeau	-0,873 0,000	-0,050 0,818	-0,483 0,017	-0,406 0,049	-0,123 0,568	-0,762 0,000	
MO	0,701 0,000	-0,107 0,618	0,196 0,359	0,080 0,709	-0,085 0,692	0,521 0,009	-0,601 0,002
Humidité	-0,710 0,000	0,878 0,000	0,388 0,061	0,058 0,787	0,851 0,000	0,140 0,514	0,385 0,063
Porosité	0,582 0,003	-0,776 0,000	-0,472 0,020	-0,248 0,243	-0,769 0,000	-0,180 0,399	-0,246 0,247
Calcaire	0,609 0,002	0,072 0,740	0,414 0,044	0,289 0,171	0,091 0,673	0,525 0,008	-0,644 0,001

**Tableau 3 : Corrélations : GST; FER; MANG; PLOMB; CADMIUM; Temp; PHeau; MO; ...**

	GST	FER	MANG	PLOMB	CADMIUM	Temp	PHeau
FER	-0,544 0,006						
MANG	-0,067 0,756	0,719 0,000					
PLOMB	-0,061 0,775	0,344 0,100	0,798 0,000				
CADMIUM	-0,483 0,017	0,986 0,000	0,722 0,000	0,348 0,096			
Temp	-0,336 0,108	0,531 0,008	0,684 0,000	0,500 0,013	0,572 0,003		
PHeau	-0,718 0,000	-0,050 0,818	-0,483 0,017	-0,406 0,049	-0,123 0,568	-0,762 0,000	
MO	0,637 0,001	-0,107 0,618	0,196 0,359	0,080 0,709	-0,085 0,692	0,521 0,009	-0,601 0,002
Humidité	-0,840 0,000	0,878 0,000	0,388 0,061	0,058 0,787	0,851 0,000	0,140 0,514	0,385 0,063
Porosité	0,711 0,000	-0,776 0,000	-0,472 0,020	-0,248 0,243	-0,769 0,000	-0,180 0,399	-0,246 0,247
Calcaire	0,550 0,005	0,072 0,740	0,414 0,044	0,289 0,171	0,091 0,673	0,525 0,008	-0,644 0,001

## Annexe 2

### *Production scientifique*

#### ➤ Publications internationales

**Larba, R., & Soltani, N. 2013.** Diversity of terrestrial Gastropods in the Northeast Algeria : Spatial and temporal distribution. *European Journal of Experimental Biology*, 3(4), 209-215.

**Larba, R., & Soltani, N. 2014.** Use of the land snail *Helix aspersa* (Pulmonata, Helicidae) as bioindicator for monitoring heavy metal contamination of soils from the North-East of Algeria. *Environmental Monitoring and Assessment*. [Online](#).

#### ➤ Communications orales

**Soltani, N., Larhem, A.B., Nadji, N., Larba, R., & Djemai, R. 2009.** Evaluation de la pollution des sols dans le Nord-est Algérien par l'utilisation d'une espèce bioindicatrice *Helix aspersa*. Colloque International de Biologie Environnementale (CIBE'2009), 08-10 novembre 2009, Skikda (Algérie).

**Soltani, N., & Larba, R. 2010.** Evaluation de la qualité des sols dans le Nord-est Algérien par l'utilisation d'une espèce bioindicatrice de la pollution *Helix aspersa*. Le 2<sup>ème</sup> Congrès Franco-Maghrébin de Zoologie & Les 4<sup>èmes</sup> Journées Franco-Tunisiennes de Zoologie, 04-09 novembre 2010, Zarzis (Tunisie).

**Larba, R., & Soltani, N. 2012.** Biosurveillance de la qualité des sols au niveau de l'est Algérien par l'utilisation d'une espèce bioindicatrice *Helix aspersa*. Les 3<sup>èmes</sup> journées Scientifiques de l'Association Tunisienne de Toxicologie (ATT) « Toxicologie-environnement-santé », 03-05 Février 2012, Tabarka (Tunisie).

➤ **Communications affichées**

**Larba, R., & Soltani, N. 2011.** Utilisation d'*Helix aspersa* dans la biosurveillance de la qualité des sols. 3<sup>ème</sup> Séminaire International de Biologie Animale (SIBA), 09-11 Mai 2011, Constantine (Algérie).

**Larba, R., Ouarefalla, A., & Soltani, N. 2011.** Mesure de biomarqueurs du stress environnemental chez *Helix aspersa* dans quelques biotopes de l'est Algérien durant la période hivernale. 1<sup>ère</sup> Congrès Méditerranéen de Biodiversité Animale et Écologie de la santé, 15-18 octobre 2011, Annaba (Algérie).

**Douafer, N., Larba, R., & Soltani, N. 2011.** Biodiversité des Gastéropodes terrestres dans le Nord-Est Algerien (El-Kala, Annaba, Guelma. 1<sup>ère</sup> Congrès Méditerranéen de Biodiversité Animale et Écologie de la santé, 15-18 octobre 2011, Annaba (Algérie).

**Larba, R., & Soltani, N. 2014.** Evaluation de la pollution des sols dans le Nord-est Algérien par l'utilisation d'une espèce bioindicatrice *helix aspersa*. II<sup>ème</sup> Congrès de l'Association Tunisienne de Biotechnologie et Valorisation de Bio-Ressources, 21-23 Mars 2014, Tabarka (Tunisie).

**Zegaoula, B., Larba, R., & Soltani, N., 2013.** Qualité des sols (Annaba, Guelma, El-Tarf) : variation saisonnière des marqueurs biochimiques du stress environnemental chez *Helix aspersa*. Congrès International sur: 50 ans de Formation et de Recherche et les Défis Scientifiques, ENSA, Alger 22-24 Avril 2013.