



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique Et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère De L'enseignement Supérieur Et De La Recherche Scientifique



Université Constantine 1 Frères Mentouri
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

جامعة قسنطينة 1 الإخوة منتوري
كلية علوم الطبيعة والحياة

Département : Écologie et Environnement

قسم : علم البيئة و المحيط

Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Écologie et Environnement

Spécialité : Ecologie Fondamentale et Appliquée

N° d'ordre :

N° de série :

Intitulé :

Recueil des connaissances sur la biodiversité des gastéropodes pulmonés terrestres dans le nord-est de L'Algérie.

Présenté par : Boudiaf Meroua

Le 26/06/2025

Jury d'évaluation :

Président : Boughaba Rokia (MAA- UConstantine 1 Frères Mentouri).

Encadrant : Cheriti Oumnya (MCB- UConstantine 1 Frères Mentouri).

Examinateur(s) : Touati Laid (Prof- UConstantine 1 Frères Mentouri).

Année universitaire :

2024–2025

Remerciements

Louange à Allah qui a illuminé le chemin et inspiré la patience, louange à Allah qui nous a comblés de la bénédiction du savoir. Je remercie Allah, le Tout-Puissant, qui m'a aidée à surmonter les difficultés et m'a guidée pour accomplir ce travail dans les meilleures conditions. Louange à Allah qui m'a guidée vers cela, et nous n'aurions jamais été guidés si Allah ne nous avait pas guidés. Que la paix et les bénédictions soient sur le meilleur des hommes, le Messager d'Allah, Muhammad ﷺ.

Je suis heureuse d'exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à Madame **CHERITI Oumnya**, Docteur à l'Université de Constantine 1, pour sa bienveillance, la supervision de ce travail et ses efforts constants qui ont contribué à la réussite de cette recherche.

Je tiens également à remercier chaleureusement les membres du jury pour avoir accepté d'examiner cette mémoire, en particulier Monsieur l'examinateur **Touati Laid** et Madame la présidente du jury **Boughaba Rokia** pour l'attention qu'ils ont portée à ce travail et leurs évaluations constructives.

Je remercie aussi la Professeure **SAHLI Leila**, qui m'a toujours accompagnée depuis la troisième année jusqu'à aujourd'hui, et à qui je dois beaucoup. Son soutien a été précieux tout au long de mon parcours.

Enfin, je n'oublie pas de remercier tous les enseignants qui nous ont transmis leur savoir et leur expérience durant tout notre cursus universitaire, ce qui m'a permis d'atteindre le niveau scientifique nécessaire à la réalisation de ce travail.

Dédicace

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
فَلَمْ يَعْمَلُوا فَسِيرَةً لِّلَّهِ عَمَلَكُمْ وَرَسُولُهُ وَالْمُؤْمِنُونَ
صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

Ô Dieu, la nuit ne devient douce qu'en Te remerciant, le jour ne devient agréable qu'en T'obéissant, et les moments ne deviennent précieux qu'en Te rappelant.

À celui qui a transmis le message, accompli la mission, et conseillé la communauté — au Prophète de la miséricorde et lumière des mondes, notre maître Muhammad, que la paix et les bénédictions de Dieu soient sur lui.

Le voyage est terminé. Il n'a pas été facile, et il n'était pas censé l'être. Quoi qu'il dure, il passera avec ses douceurs et ses amertumes. Et me voici maintenant, par la grâce de Dieu Tout-Puissant, en train d'achever ce travail que je dédie à...

À celui qui m'a élevé, s'est battu pour moi et m'a appris les valeurs et les principes, à la lumière qui a éclairé mon chemin dans l'obscurité, à celui dont je porte le nom avec fierté. Je prie Dieu de te compter parmi les gens du paradis et de t'y accorder une demeure... mon père, que Dieu ait son âme.

À mon premier modèle et l'incarnation de l'amour... au sourire de la vie et au secret de mon existence, à celle dont les prières ont été la clé de ma réussite et dont la tendresse a apaisé mes blessures, à celle qui m'a guidé et accompagné dans chaque étape de ma vie et continue encore aujourd'hui. Ô Dieu, protège-la et accorde-lui pardon et santé... ma chère mère.

À mon frère et à mes chères sœurs, mon soutien inébranlable, et aux fleurs épanouies et aux parfums délicats, les enfants de mes sœurs (OKBA / JOUIRIYA / OUSSEID/ Hafsa), que Dieu les protège.

Et à ma famille, à mes amis, ainsi qu'à tous les honorables présents, que Dieu vous récompense et vous accorde le meilleur des bienfaits.

Liste d'abréviation :

- **UICN** : Union Internationale pour la Conservation de la Nature.
- **CO₂** : indice Dioxyde de Carbone.
- **O₂** : indice Dioxygène.
- **IPBES** : Plateforme Intergouvernementale scientifique et politique sur la Biodiversité et les Services Ecosystémique.
- **ADN** : Acide Désoxyribonucléique.
- **pH** : Potentiel Hydrogène.
- **Pb** : Plomb.
- **Cd** : Cadmium.
- **Ca** : Calcium.
- **Zn** : Zinc.
- **Cu** : Cuivre.
- **Fe** : Fer.
- **Mn** : Manganèse.
- **POP** : Polluants Organique Persistantes.
- **PCB** : Polychlorobiphényles.
- **HAP** : Hydrocarbures Aromatique Polycycliques.
- **(Ag-NPs)** : Nanoparticules d'Argent.
- **CAT** : enzyme Catalase.
- **SOD** : enzyme Superoxyde dismutase.
- **GST** : enzyme Glutathion s-transférase.
- **ACP** : Analyse composantes principales.
- **%** : Pourcentage.
- **SVM** : Support Vector Machine.
- **VNM** : Vietnam.
- **EC₅₀** : Concentration efficace 50 %.
- **ANOVA** : Analyse de la Variance.
- **m²** : mètre carré.

Liste des figures

Figure 1 : Aspect globale de l'escargot <i>Cornu aspersum</i> (Boudiaf, 2025).....	8
Figure 2 : Anatomie général de l'escargot (Zylberberg, 2021).....	9
Figure 3 : Anatomie de l'appareil digestif de l'escargot géant d'Afrique (<i>Achatina fulica</i>) (Cardoso et al. 2012).....	11
(A) Photographie de l'escargot géant d'Afrique (<i>Achatina fulica</i>).....	11
(B) Système digestif complet disséqué.....	11
(C) Système digestif étalé de l'escargot.....	11
Figure 4 : Image anatomique macroscopique d'un escargot terrestre africain géant (<i>Lissachatina fulica</i>) dont la coquille a été retirée (Schmidt-Ukaj et al. 2023).....	12
Figure 5 : Schéma de l'appareil circulatoire d'escargot (S. Ghesquiere, 2001).....	13
Figure 6 : Schéma de système nerveux central et les neurones individuels identifiés de <i>Lymnaea stagnalis</i> (Istvan Fodor et al. 2020).....	14
Figure 7 : Appareil génital de <i>Cantareus apertus</i> (Bouaziz-Yahyiatene et al. 2019).....	16
Figure 8 : Stades de développement d'un escargot.....	18
Figure 9 : Grandes étapes de l'embryogenèse d' <i>Helix aspersa</i> (d'après Druart et al. 2010).....	19
Figure 10 : Différents types d'habitats des escargots (Ahmed-Yahia, 2019).....	21
Figure 11 : Schéma conceptuel de la classification et de l'analyse des paramètres biologiques chez les escargots terrestres dans l'évaluation de la pollution.....	35
Figure 12 (A et B) : Application de l'Analyse morphométrique géométrique sur la coquille <i>Bostryx torallyi</i> (Miranda, 2020).....	43
(A) Vue ventrale des neuf points de repère (Landmarks) de la coquille de <i>Bostryx torallyi</i> (nord de l'Argentine).....	43
(B) Les différentes formes de coquilles présentes dans la même zone d'étude.....	43

Figure 13 : Les différentes espèces de coquille présente au Brésil (Almeida et al. 2021).....	44
Figure 14 : Analyse des différentes sexuelles chez l'escargot <i>Leptopoma perlucidum</i> (Phung et al. 2022).....	45
Figure 15 (A, B, C) : La diversité cryptique des escargots terrestres (<i>Cyclophorus spp.</i>) dans le nord du Vietnam (Katharina C. M. von Oheimb et al. 2019).....	46
(A) Spécimens de <i>Cyclophorus courbeti Ancey</i>	46
(B) Spécimens de <i>Cyclophorus jourdyi Morlet</i>	46
(C) Spécimens de <i>Cyclophorus paracucphuongensis</i>	46

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Liste d'abréviation

Liste des figures

Table des matières

Introduction	1
SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	3
Chapitre I : Notion de la biodiversité	
I.1. Définition de la biodiversité	5
I.2. Importance de la biodiversité	5
Chapitre II : Généralité sur les gastéropodes terrestres	
II.1. Classification des escargots terrestres.....	8
II.2. Biologie et écologie d'escargot	9
 II.2.1. Anatomie interne.....	9
II.2.1.1. L'appareil digestif.....	9
II.2.1.2. Appareil excréteur.....	11
II.2.1.3. Appareil circulatoire.....	12
II.2.1.4. Système nerveux.....	13
II.2.1.5. Appareil reproducteur	15
 II.2.2. Reproduction	16
 II.2.3. Croissance	17

II.2.4. Développement embryonnaire	18
II.2.5. Alimentation	20
II.2.6. Habitat.....	20
II.2.7. Rythme d'activité des gastéropodes terrestres.....	21
II.2.7.1. Activité saisonnière	21
II.2.7.2. Activité journalière	22
II.2.8. Importance des escargots sur les plans environnemental et économique	22
 Chapitre III : Les facteurs influençant la diversité des escargots	
III.1. Le climat	24
III.2. Le sol	24
III.3. Habitat	25
III.4. Les interactions biologique	25
III.4.1. Prédatation.....	25
III.4.2. Parasitisme	25
 Chapitre IV : Les menaces pesant sur les escargots	
IV.1. La pollution	28
IV.2. L'urbanisation.....	28
IV.3. Les changements climatique	28
IV.4. La résistance d'escargot	29
 Chapitre V : Utilisation escargots comme bioindicateur sur la pollution des écosystèmes	
V.1. Bioindicateurs : fondements conceptuels et utilité écologique.....	32

V.2. Utiliser les escargots terrestres comme bioindicateur pour suivre la pollution des écosystèmes..... 32

V.3. Les type des polluants détectés sur les escargots terrestres 33

V.4. Analyse des paramètres biologiques chez les escargots terrestres comme indicateurs de la pollution des écosystèmes..... 34

Chapitre VI : Utilisation des escargots terrestres en écotoxicologie

Chapitre VII : Les morphométries géométrie des coquilles des escargots

VII.1. Description de la morphométrie géométrie 40

VII.2. Les mesures morphométriques géométriques des coquilles d'escargots terrestres 40

VII.2.1. Points de repère (Landmarks)..... 41

VII.2.2. Analyse de Procrusté 41

VII.2.3. Analyse des déformations relatives (Relative Warps) 41

VII.2.4. Analyse en composantes principales (ACP/PCA) 41

VII.2.5. Logiciels d'analyse de la morphométrie géométrique (MorphoJ, Geomorph, tpsDig)..... 41

VII.2.6. Algorithmes d'apprentissage automatique (Machine Learning)..... 41

VII.2.7. Intégration des données génétiques et morphométriques (Morphométrie intégrative)..... 42

VII.2.8. Analyse morphométrique temporelle (Tendances morphométriques dans le temps)..... 42

VII.3. Les domaines d'utilisation de ces mesures..... 42

VII.3.1. Étude des dimensions et des formes..... 42

VII.3.2. Classification des espèces..... 43

VII.3.3. Analyse des différences sexuelles 44

VII.3.4. Détection de mutations et de la diversité cachée.....	45
VII.3.5. Applications évolutives et environnementales	46
Chapitre VIII : Les variations génétiques des gastéropodes terrestres des zones sèches par rapport zones humides : études écologique et moléculaire	
VIII.1. La biodiversité des escargots terrestres dans les régions sèches et humides.....	48
VIII.2. La variation génétique entre les populations d'escargots terrestres dans les deux milieux (humide et sec).....	48
Chapitre IX : Les études précédentes sur la diversité d'escargots	
CONCLUSION.....	55
Références bibliographiques	58

Introduction

Les mollusques constituent l'un des embranchements les plus diversifiés et ramifiés du règne animal. Se classant au deuxième rang après les arthropodes en ce qui concerne le nombre d'espèces décrites. Les données récentes indiquent que le nombre d'espèces connues de mollusques varie entre 85 000 et 100 000 espèces officiellement décrites tandis que le nombre d'espèces non décrites est estimé à plus de 100 000, portant le nombre total potentiel à plus de 200 000 espèces (**Cheriti, 2022**).

Les mollusques sont classés en plusieurs classes principales, parmi lesquelles on trouve : les gastéropodes (Gastropoda), les bivalves (Bivalvia), les céphalopodes (Cephalopoda), les polyplacophores (Polyplacophora), ainsi que d'autres classes moins courantes, chacune comprenant une grande diversité de genres et d'espèces. Cette classification taxonomique met en lumière la diversité structurelle au sein de cet embranchement animal (**Barroso et al. 2016 ; Shayanna et al. 2020**).

Les gastéropodes terrestres ont eu une histoire évolutive distincte de celle des gastéropodes marins car ils ont dû s'adapter aux conditions terrestres depuis un fond marin. Cela signifiant, que contrairement à d'autres espèces, elles ont dû évoluer pour résoudre de nouveaux problèmes tels que l'humidité, le type de nourriture disponible sur terre, et la pression de la sélection naturelle dans un nouvel environnement. Par conséquent, ces pressions sont probablement à l'origine de l'évolution et de l'adoption de plusieurs de ces caractéristiques adaptatives (**Vermeij et Watson-Zink, 2022**).

En outre, la répartition géographique actuelle des mollusques ne peut pas être dissociée de leur histoire. Les données montrent que certaines lignées ont vécu des vicissitudes de l'isolement et d'expansion due à des anciens phénomènes climatiques, certains enregistrent même des phases de contraction géographique dues à la variation des conditions climatiques actuelles (**Lawrie et al. 2025**). En même temps, l'activité anthropique joue un rôle dans la redéfinition de la cartographie de ces espèces, en introduisant des espèces exotiques perturbant l'équilibre particulier de l'écosystème (**Vendetti et al. 2018**).

D'un point de vue d'adaptation moléculaire, des études récentes ont découvert que la mutation de protéines telles que la métallothionéine a permis à ces espèces de survivre aux environnements pollués par les métaux lourds, démontrant la complexité de leur interaction avec le biotiques et les facteurs abiotiques de leur habitat (**Dallinger, 2024**).

Les gastéropodes pulmonés terrestres constituent un élément fondamental de l'équilibre écologique, car ils contribuent au recyclage de la matière organique et se distinguent par leur capacité à réagir rapidement aux changements climatiques et aux pressions

environnementales, ce qui en fait des bioindicateurs efficaces de l'état des écosystèmes (**Belhiouani et al.2019 ; Sahraoui et al. 2021 ; Cheriti, 2022**). Ces dernières années, une prise de conscience scientifique croissante s'est manifestée quant à l'importance d'étudier ces organismes dans le contexte écologique algérien, notamment face à l'intensification des défis liés au changement climatique et à la dégradation de la couverture végétale, des facteurs qui ont des répercussions directes sur la diversité et la répartition des mollusques (**Cheriti et al. 2021**). Malgré cette importance écologique, l'étude des mollusques terrestres reste confrontée à des défis en matière de couverture exhaustive et d'intégration des connaissances, en particulier en raison de la rareté des études de terrain et du manque de corrélation structurée avec les facteurs climatiques et environnementaux.

Dans le cadre de ce travail, nous avons abordé de manière structurée l'étude des gastéropodes terrestres à travers plusieurs axes complémentaires. Une première partie est consacrée à la biodiversité et à son importance, suivie d'un chapitre général sur les escargots, leur classification, leur biologie, leur écologie ainsi que leur rôle environnemental et économique. L'étude examine ensuite les facteurs influençant leur diversité, les menaces qui pèsent sur ces organismes, notamment la pollution et le changement climatique, et explore l'utilisation des escargots comme bioindicateurs dans les évaluations environnementales. Une attention particulière est accordée à l'approche écotoxicologique et à l'analyse morphométrique géométrique des coquilles, en intégrant des outils statistiques et informatiques modernes. Enfin, une étude comparative de la diversité génétique des escargots entre milieux secs et humides permet d'éclairer les variations écologiques et moléculaires observées. Ce travail s'appuie également sur une synthèse des études antérieures afin de situer les résultats dans leur contexte scientifique.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

"La terre est le probable paradis perdu."

Federico Garcia Lorca

Chapitre I : Notion de la biodiversité

I.1. Définition de la biodiversité

La biodiversité résulte de l'évolution biologique qui s'est déroulée sur des milliards d'années. Ce concept, relativement récent, a été introduit par l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN) au début des années 1970. Selon Wilson (1988), le terme « biodiversité » a été formalisé et s'est largement diffusé à l'occasion du Sommet de la Terre sur l'environnement et le développement durable, organisé par les Nations Unies en 1992 à Rio de Janeiro.

Plusieurs définitions ont été proposées afin de préciser le sens de ce terme (**DeLong, 1996**). Selon l'article 2 de la Convention sur la diversité biologique (1992), la biodiversité est définie comme « la variabilité des organismes vivants de toute origine, y compris, entre autres, les écosystèmes terrestres, marins et autres écosystèmes aquatiques, ainsi que les complexes écologiques dont ils font partie ; cela comprend la diversité au sein des espèces, entre les espèces et celle des écosystèmes ».

I.2. Importance de la biodiversité

La biodiversité constitue un pilier fondamental pour la stabilité et la durabilité de la vie sur Terre, en raison de ses multiples rôles aux niveaux écologique, sanitaire et économique (**Nouasria, 2022**). Elle joue un rôle central dans le maintien de l'équilibre des écosystèmes, chaque espèce occupant une fonction spécifique au sein des chaînes alimentaires. Ces interactions complexes permettent aux organismes de satisfaire leurs besoins nutritionnels mutuels, assurant ainsi la stabilité globale des systèmes écologiques (**Mulcahy, 2021**). La biodiversité contribue également à la régulation du climat par la séquestration et le stockage du carbone (**Cazaux-Debat et al., 2020**), à la purification de l'eau et de l'air par filtration des nutriments et des sédiments, à l'équilibre des gaz atmosphériques (notamment le dioxyde de carbone et le dioxygène), ainsi qu'à la protection des sols contre les rayonnements nocifs, les polluants et l'érosion, grâce notamment au reboisement et à la conservation des forêts (**Molnar et al., 2021**).

Par ailleurs, la biodiversité représente une source précieuse de ressources thérapeutiques et médicinales. De nombreux médicaments en sont issus, à l'instar de l'aspirine extraite de l'écorce de saule, ou encore de remèdes traditionnels à base de plantes, d'huiles végétales et essentielles (comme l'huile de coco) utilisées dans les domaines médical et cosmétique. Elle fournit également des colorants naturels provenant de végétaux (algues) ou d'insectes

(coléoptères), illustrant ainsi son apport vital à la santé humaine (**Adjano houn, 1995**). Sur le plan économique, la biodiversité enrichit les économies nationales par l'exploitation durable des ressources naturelles et la transmission intergénérationnelle de leurs valeurs d'usage et de non-usage (**Bernard, 2006**).

Selon le rapport d'évaluation mondiale sur la biodiversité et les services écosystémiques publié par l'IPBES (2019), les perturbations affectant les composantes de la biodiversité engendrent des altérations significatives du fonctionnement des écosystèmes. La disparition d'espèces, qu'elle résulte d'activités anthropiques ou de changements climatiques, provoque des ruptures dans les réseaux d'interactions écologiques, menaçant l'équilibre global de ces systèmes. Étant donné que les écosystèmes fournissent des services indispensables tels que la purification de l'eau, la pollinisation des cultures et la régulation des maladies, la préservation de la biodiversité s'avère essentielle pour garantir le bien-être humain et la durabilité des ressources naturelles, au bénéfice des générations présentes et futures.

Chapitre II : Généralité sur les gastéropodes terrestres

Les mollusques terrestres, communément appelés gastéropodes terrestres, constituent un groupe d'invertébrés appartenant au phylum *Mollusca* (**Sadouk et al. 2023**). Parmi eux, l'escargot se distingue par une coquille univalve généralement enroulée selon une spirale dextre. Cette coquille, formée par une structure glandulaire spécialisée enveloppant la masse viscérale, assure une protection permanente aux organes internes vitaux. L'individu peut toutefois extérioriser sa partie antérieure, appelée céphalopode, composée de la tête et du pied locomoteur (**Stiévenart & Hardouin, 1990**).

La tête de l'escargot est munie de deux paires de tentacules : la paire supérieure, plus longue, est dotée d'organes oculaires à son extrémité, tandis que la paire inférieure, plus courte, est impliquée dans les fonctions sensorielles du toucher et du goût. La cavité buccale se situe à la base de ces structures. Par ailleurs, l'orifice génital est localisé à la base de la tête, en position postérieure par rapport au tentacule supérieur droit (**Stiévenart & Hardouin, 1990**).

La coquille, constituée principalement de carbonate de calcium, présente un enroulement hélicoïdal autour d'un axe central appelé columelle. Les tissus viscéraux de l'animal sont fixés à cette columelle par l'intermédiaire de ligaments musculaires, assurant ainsi l'ancre structural interne de l'organisme (**Stiévenart & Hardouin, 1990**).



Figure 1: Aspect globale de l'escargot *Cornu aspersum* (**Boudiaf, 8/4/2025**).

II.1. Classification des escargots terrestres

Selon **Bouchet et al (2017)**, les mollusques terrestres représentent un groupe vaste et diversifié d'invertébrés vivant dans différents environnements terrestres, avec environ 25 000

espèces connues. Leur classification repose sur une combinaison d'analyse morphologique, qui étudie la forme et la structure des organes, et d'analyse moléculaire moderne, utilisant le séquençage de l'ADN (acide désoxyribonucléique) pour déterminer les relations évolutives entre les espèces. **Bouchet et al (2017)** rappellent que les gastéropodes sont classés comme suit : **Règne** : Animalia/ **Sous règne** : Métazoaires/ **Embranchement** : Mollusques/ **Classe** : Gastéropodes/ **Sous-classe** : Pulmonés/ **Ordre** : Stylommatophores (pulmonés terrestre).

II.2. Biologie et écologie d'escargot

II.2.1. Anatomie interne

La dissection de l'escargot est un champ d'étude essentiel à la connaissance de l'organisation interne et des fonctions physiologiques du mollusque est une classe des Gastéropodes. Elle satisfait à la description et à la reconnaissance de principales structures corporelles telles que la coquille, le pied musculaire, la tête, ainsi que la cavité viscérale et les organes internes vitaux (**Miranda, 2020**).

La figure suivant constitue une présentation anatomique intégrale de l'escargot :

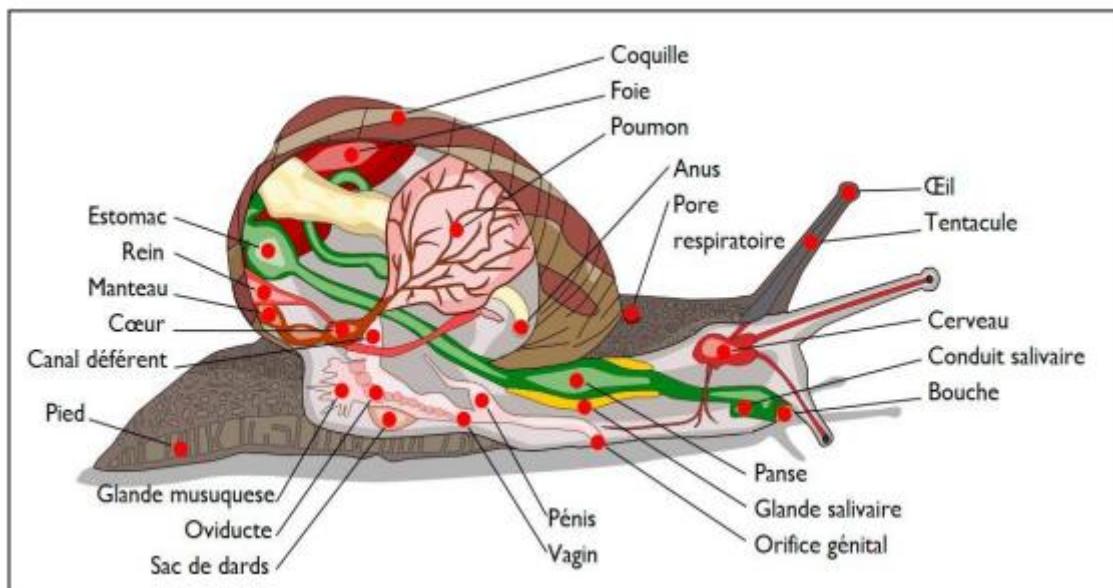


Figure 2: Anatomie général de l'escargot (**Zylberberg, 2021**).

II.2.1.1. L'appareil digestif

Le système digestif d'escargot est formé par un tube continu, qui s'allonge de la bouche à l'anus, chaque segment fonctionnant dans un système intégré responsable de la nutrition et de la continuité. Il commence par une bouche dotée d'un organe de râpage spécial, permettant

la manipulation de la matière alimentaire (**Escobar-Correas et al. 2022**). Il est précédé par un conduit musculaire qui constitue l'œsophage, s'étendant vers l'arrière pour former une cavité étendue servant de réservoir temporaire aux aliments (**Tybinka et al. 2020**). Le tube digestif continu ensuite vers l'estomac, siège de transformation chimique, où des éléments actifs comme les peptidases et les lipases interviennent dans la préparation des substances à leur absorption (**Mendoza-Porras et al. 2022**). L'intestin, qui se place à la suite de l'estomac, est caractérisé par sa structure tubulaire allongée s'enroulant enchevêtrée sur une masse glandulaire dense pour garantir des fonctions doubles d'excrétion enzymatique et de nutrition (**Castro-Vazquez et al. 2022**). Cette glande comporte une organisation interne complexe, avec une répartition spécialisée des cellules en fonction de leurs fonctions précises (**Colgrave et al. 2022**). L'ensemble de la structure met en évidence une intégration précise entre les composants, le tube digestif s'enroulant autour de cette masse glandulaire avant de se terminer par le rectum et l'anus, dans un agencement permettant un fonctionnement continu et équilibré (**Vega et al. 2022**).

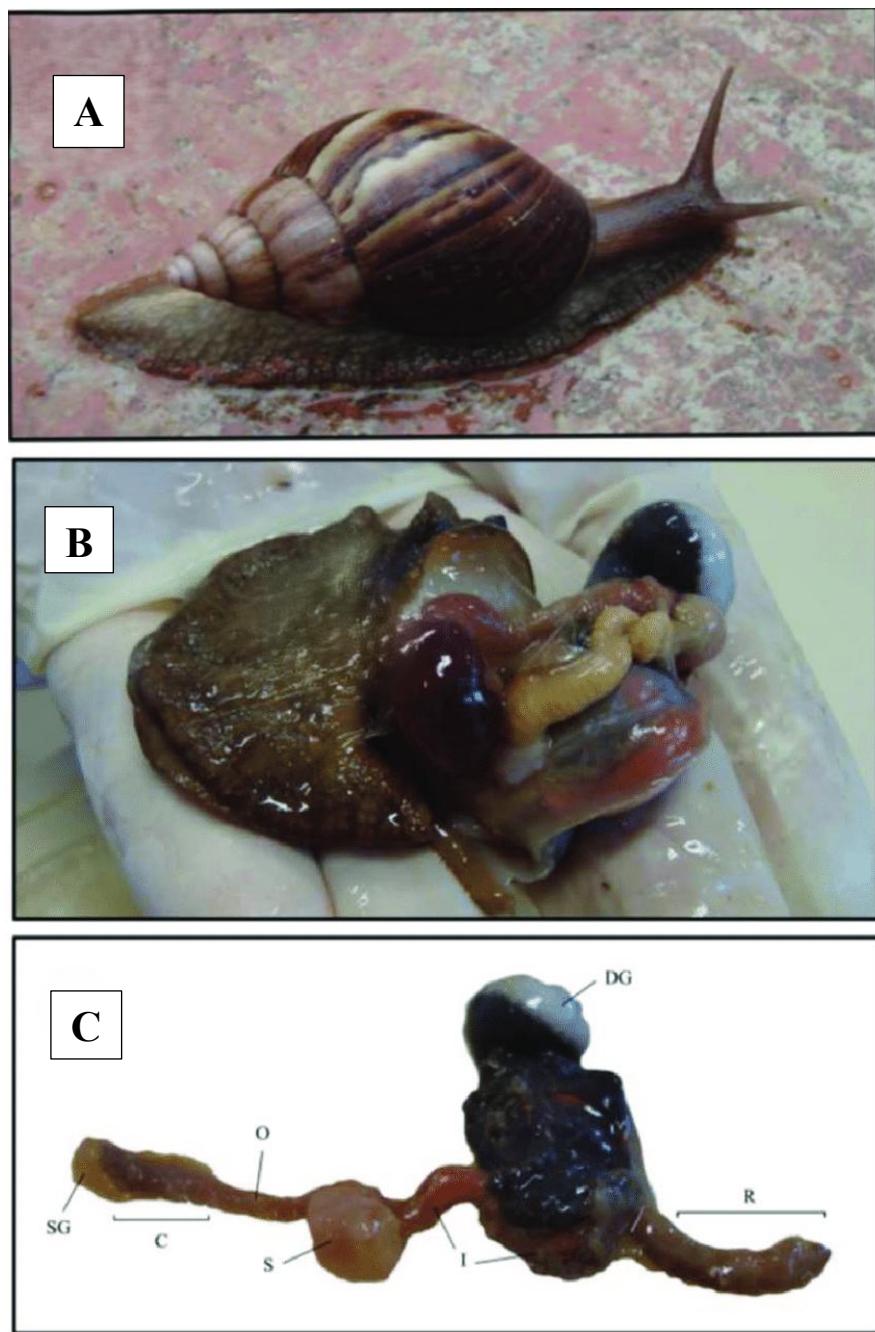


Figure 3: Anatomie de l'appareil digestif de l'escargot géant d'Afrique (*Achatina fulica*) (Cardoso et al. 2012). (A) Photographie de l'escargot géant d'Afrique (*Achatina fulica*). (B) Système digestif complet disséqué. (C) Système digestif étalé de l'escargot, montrant la glande salivaire (SG), la poche alimentaire (C), l'œsophage (O), l'estomac (S), l'intestin (I), la glande digestive (DG) et le rectum (R).

II.2.1.2. Appareil excréteur

L'appareil excréteur escargot consiste en une structure intégrée commençant par une unité de filtration principale de nature membranaire, appelée néphridium. Elle contribue à la

séparation des déchets liquides des fluides du corps, ce qui correspond à une coordination anatomique minutieuse entre le système excréteur et le système circulatoire (**Gumpenberger et al. 2023**). Cette unité est située en proche voisinage du cœur, ce qui évoque son lien direct avec la circulation sanguine et assure une fonction excrétrice optimale (**Schmidt-Ukaj et al. 2023**). D'une part, un canal excréteur tubulaire, venant du néphridium, se dirige vers une cavité corporelle et aboutit à un orifice réservé à l'évacuation, le canal est doté d'une adaptation à la variation de pression et à la mobilité des fluides (**Handschoen et al. 2023**). Les parois de cet organisme sont composées des cellules semi-perméables qui facilitent le passage sélectif des substances, ce qui donne à l'organisme la fonction de régulation d'équilibre hydrique et électrolytique (**Pathak et al. 2023**). Cet organisme encourage aussi une interaction dynamique avec les changements externes et internes par des mécanismes précis de réabsorption (**Luitel et al. 2023**). Ces processus sont régulés au niveau tissulaire par une organisation spécialisée garantissant la stabilité interne à travers des réponses physiologiques locales intégrées (**Selstad Utaaker et al. 2023**). Enfin, cette fonction s'achève par une étape d'élimination via un orifice spécifique, opérant selon un rythme biologique harmonisé avec l'activité de l'organisme et ses exigences environnementales (**Khanal et al. 2023**).



Figure 4: Image anatomique macroscopique d'un escargot terrestre africain géant (*Lissachatina fulica*) dont la coquille a été retirée. k = rein (néphridium), h = cœur, dg = glande digestive (**Schmidt-Ukaj et al. 2023**).

II.2.1.3. Appareil circulatoire

Le système circulatoire de l'escargot est un système ouvert où l'anatomie est simple et fonctionnellement efficace. Le cœur consiste dans une oreillette et un ventricule à l'intérieur de la cavité péricardique, juste en dessus du rein, pour permettre une proximité fonctionnelle étroite entre le système cardiaque et les organes environnants (**Gumpenberger et al. 2023**).

Le cœur pompe l'hémolymphé, un liquide vitale avec des fonctions de sang et de lymphé, à l'intérieur de sinus répartis à travers le corps, sans emprunter un réseau fermé de vaisseaux, pour permettre au système d'abreuver directement les tissus et rendre les échanges physiologiques plus simples à l'intérieur d'un environnement interne changeant (Pathak et al. 2023). Les cellules de l'hémolymphé présentent des propriétés régulatrices, ils se régulent aux fluctuations physiologiques que l'escargot traverse à l'aide de tissus élastiques et de cellules sanguines ciblées, ce qui sert à maintenir l'équilibre interne et à l'abriter des attaques externes (Rodriguez et al. 2023).

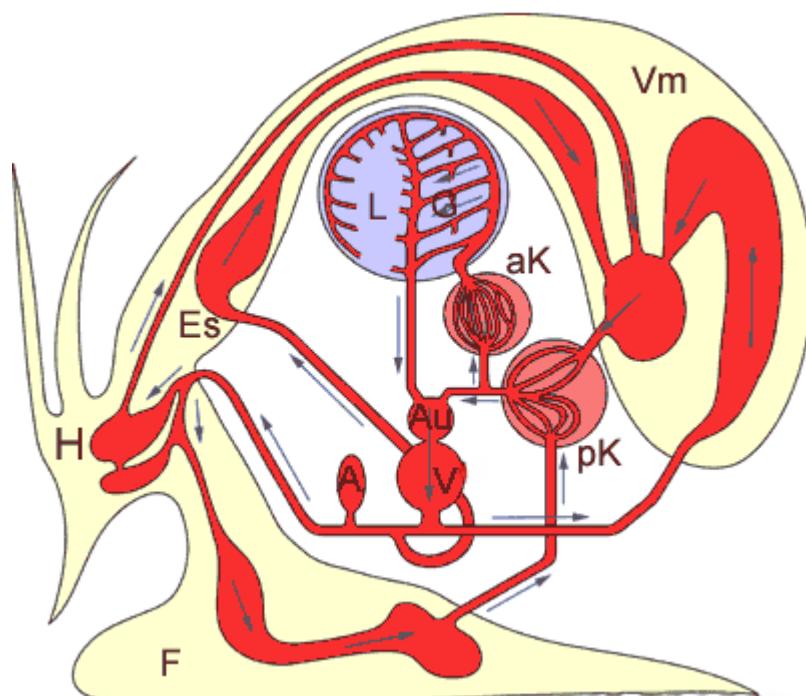


Figure 5: Schéma de l'appareil circulatoire d'escargot, H = Tête – hémocoele céphalique, F = Pied – hémocoele pédieux, Es = Œsophage, Vm = Masse viscérale (hémocoele), aK = Reins antérieurs (avant), pK = Reins postérieurs (arrière), A = Ampoule, Au = Oreillette, V = Ventricule, Aa = Aorte antérieure (sort du V vers le coin supérieur gauche de l'image), irrigue la tête et le pied. Ap = Aorte postérieure (sort du V vers la droite de l'image), irrigue la masse viscérale (Ghesquiere, 2001).

(Source : <http://www.applesnail.net>)

II.2.1.4. Système nerveux

Le système nerveux de l'escargot se compose de manière anatomique simple mais fonctionnellement efficace d'une chaîne de ganglions nerveux reliés entre eux par des fibres fines, ce qui permet de coordonner précisément le mouvement avec la sensation. Les ganglions cérébraux, qui occupent la cavité crânienne, sont reliés à d'autres ganglions étendus le long du corps, formant ainsi un réseau nerveux apte à transmettre aussi bien les signaux au différent organe, ce qui permet à l'escargot d'interagir facilement avec l'environnement (Zhao et al. 2017). Au sein de ces ganglions, les gènes du système nerveux sont systématiquement agencés, pour chaque zone à une fonction appartenant à l'un de ces domaines allant du contrôle moteur à la perception des stimuli externes (Stewart et al. 2017), les cellules du système nerveux sont plastiques face aux modifications rapides de l'environnement interne, et réagissent rapidement à l'arrivée de signaux chimiques (ce qui illustre la capacité du système nerveux à s'adapter à des influences extérieures) (Ierusalimsky et al. 2020), facilitant la modulation du comportement de l'escargot en fonction de son milieu environnant et tenant un rôle fondamental dans la préservation de son équilibre interne contextuel (Balaban et al. 2020).

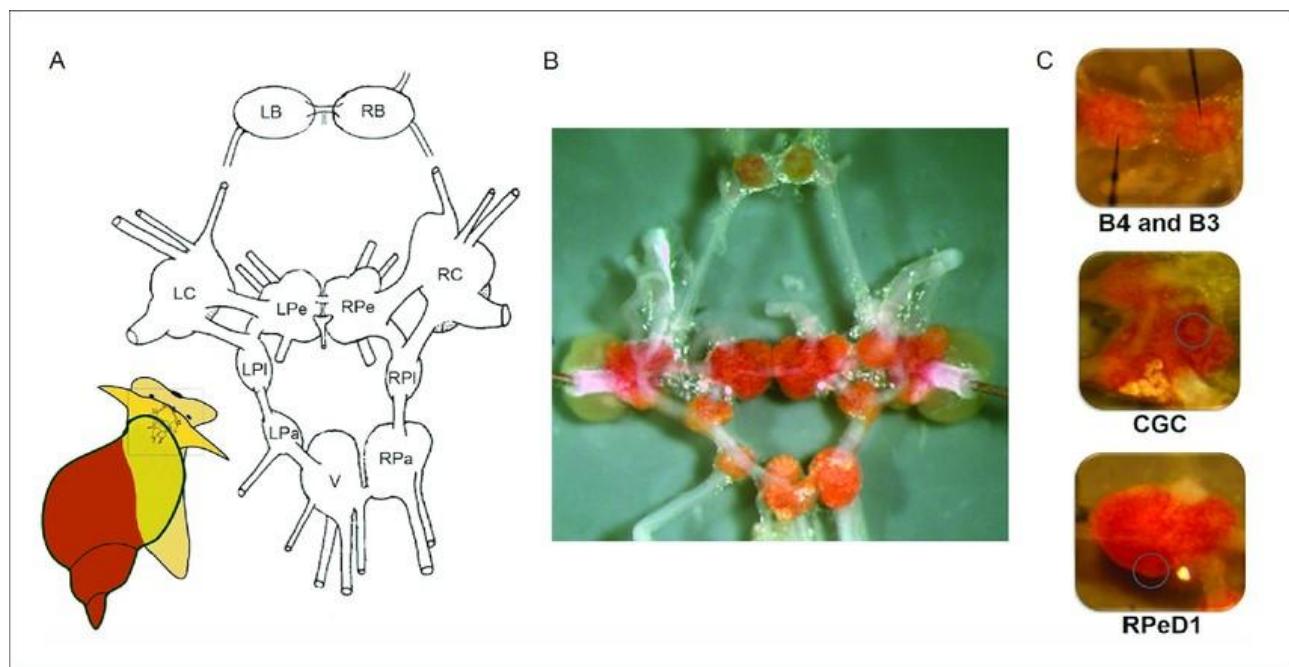


Figure 6: Schéma de système nerveux central et les neurones individuels identifiés de *Lymnaea stagnalis* :(A) Schéma (vue dorsale) du système nerveux central isolé complet, constitué de ganglions appariés (gauche et droit) : buccaux (LB, RB), cérébraux (LC, RC), pédieux (LPe, RPe), pleuraux (LPI, RPI), pariétaux (LPa, RPa), ainsi qu'un ganglion viscéral non apparié (V).(B) Système nerveux central isolé montrant l'agencement des 11 ganglions

interconnectés. Des neurones pigmentés de couleur orange vif sont localisés à la surface des ganglions. (C) Neurones individuels identifiés : B4 (gauche) et B3 (droite) : neurones moteurs responsables de l'exécution de l'alimentation. CGC : interneurone dans les ganglions cérébraux modulant l'alimentation et l'apprentissage. RPeD1 : interneurone dans les ganglions pédieux régulant la respiration et le rythme cardiaque (**Istvan Fodor et al. 2020**).

II.2.1.5. Appareil reproducteur

Selon **Zajac et Kramarz (2017)**, L'appareil de reproduction de l'escargot est composé d'un ensemble d'organes intégrés qui sont spécialisés dans des fonctions à l'avenir pour assurer la réussite de la fonction de reproduction. L'appareil est initié par un organe externe de reproduction connu sous le nom de "pénis", un organe extensile utilitaire pour l'accouplement afin de transmettre les spermatozoïdes. Certaines d'entre elles ont même des flèches d'amour calcaires en stockage dans une poche particulière et dédiées au partenaire lors de l'accouplement afin d'induire des réponses physiologiques favorables à la fécondation.

Depuis la composante interne, l'escargot possède une glande hermaphrodite (ovotestis), qui produit les ovules et les spermatozoïdes ensemble, relativement à ce qu'il s'agit d'un être hermaphrodite. Ces gamètes sont transportés par des canaux communs appelés ductus hermaphroditicus, qui conduisent les cellules sexuelles vers les autres structures de l'appareil reproducteur. Ce dernier comprend également une spermathèque, utilisée pour stocker les spermatozoïdes reçus jusqu'au moment de la fécondation, ainsi qu'une glande muqueuse qui sécrète des substances facilitant la copulation et la formation des capsules d'œufs. Enfin, les œufs fécondés sont transférés dans le canal de l'œuf, où ils sont enveloppés avant la ponte (**Zajac et Kramarz, 2017**).

Selon **Arseniy A. Lobov et al (2021)**, les canaux des œufs sont remplis de protéines propres à chaque espèce, qui favorisent la satisfaction de la compatibilité des gamètes des partenaires et empêchent la fécondation inappropriée, représentant ainsi un système de reconnaissance reproductive précis au niveau moléculaire.

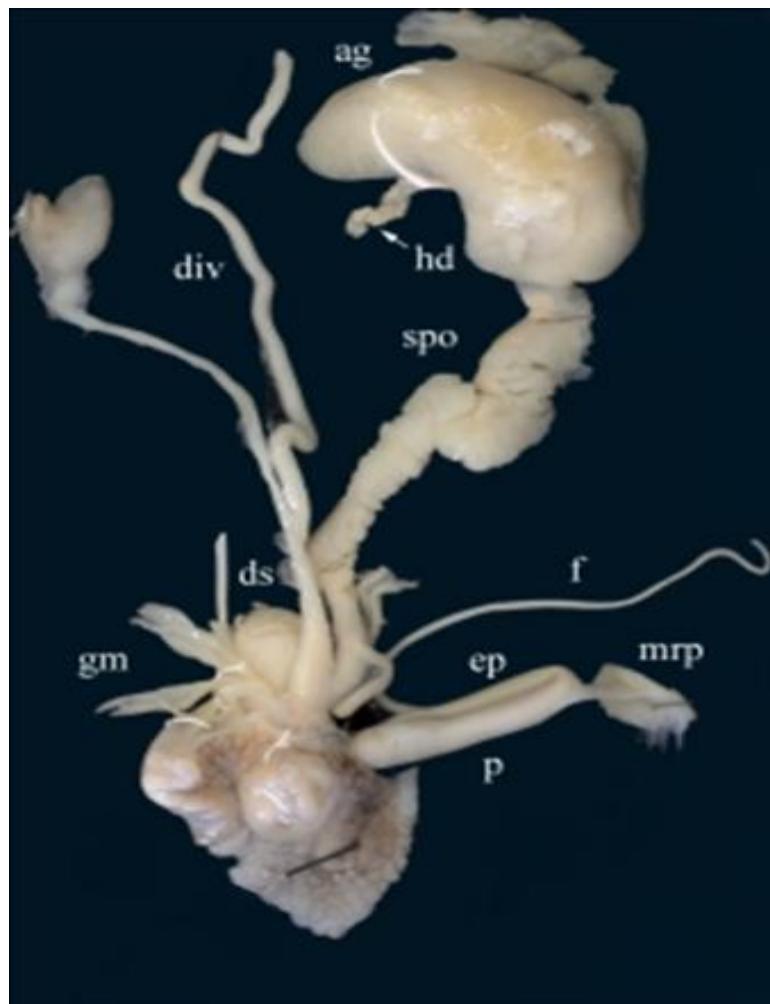


Figure 7: Appareil génital de *Cantareus subapertus* (Bouaziz-Yahyiatene et al. 2019). ag = glande d’albumine, div = diverticule, ds = sac à flèche, ep = épiphallus, f = flagelle, gm = glandes muqueuses, hd = canal hermaphrodite, mrp = muscle rétracteur du pénis, p = pénis, spo = spermoviducte

II.2.2. Reproduction

Selon Zajac et Kramarz (2017), la plupart des escargots terrestres sont hermaphrodites, ce qui signifie qu’ils possèdent à la fois des organes reproducteurs mâles et femelles dans le même individu, leur offrant ainsi une flexibilité dans la reproduction par accouplement mutuel ou autopollinisation. Le cycle de reproduction commence par un comportement de parade complexe incluant un contact physique et un échange de signaux chimiques, certaines espèces d’escargots utilisant des mécanismes de stimulation pour augmenter les chances de fertilisation. Après cette parade, l’accouplement proprement dit a lieu, où les partenaires échangent des spermatozoïdes via une ouverture génitale, ces derniers étant stockés dans une capsule appelée « spermatheca ».

Après cette phase, la fertilisation se produit de manière interne. Selon **Pizá et al (2025)**, certains escargots ont la capacité de se fertiliser eux-mêmes ou mutuellement, ce qui affecte directement leur capacité reproductive, l'accouplement mutuel produisant un plus grand nombre d'œufs comparé à l'autofécondation. Après la fertilisation, les escargots déposent leurs œufs dans un sol humide ou sous des feuilles, et le nombre d'œufs varie en fonction des conditions environnementales et des stratégies reproductives.

Selon **Banla et al (2022)**, la période d'incubation varie de 22 à 35 jours en fonction des conditions environnementales telles que la température et l'humidité. Les embryons commencent à se développer à l'intérieur des œufs. L'embryon se développe progressivement, et la coquille se forme comme une structure mince et transparente entourant le corps mou du jeune escargot. À la fin de la période d'incubation, l'embryon complètement développé commence à briser la coquille de l'œuf à l'aide d'une partie de son corps appelée "dent de l'élosion". Une fois éclos, les jeunes escargots sortent des œufs avec une coquille transparente et molle, qui durcit rapidement avec le temps grâce à l'absorption de calcium provenant des coquilles d'œufs ou de l'environnement environnant. Les jeunes commencent immédiatement à explorer leur environnement et à chercher des sources de nourriture, s'appuyant sur les matières organiques présentes dans leur habitat (**Banla et al. 2022**).

II.2.3. Croissance

Le développement des gastéropodes terrestres commence dès leur sortie de l'œuf, lorsque leur coquille commence à se former et à s'accroître progressivement avec la croissance de leur corps et de leur taille (**Hamidi et al. 2024**). Les conditions environnementales telles que la température et l'humidité jouent un rôle crucial dans l'accélération de cette croissance, notamment pendant les saisons tempérées et humides qui offrent aux escargots un milieu propice à l'activité et à la recherche de nourriture (**Hamidi et al. 2024**). Avec le temps, le poids de l'escargot augmente et sa coquille se renforce. Cette croissance est liée à la qualité de l'habitat et à la densité de la végétation environnante (**Rayeh et al. 2024**). Ont montré que les escargots vivant dans des environnements végétalisés denses bénéficient d'une meilleure croissance et d'une santé plus robuste. Le nombre de tours de la coquille est considéré comme un indicateur clair du développement de l'escargot (**Dich et al. 2024**).

L'activité nocturne est le moment optimal pour que les escargots se déplacent et se nourrissent, lorsque la température baisse et que l'humidité augmente, créant ainsi des

conditions favorables qui réduisent le risque de dessèchement (**Amer et al. 2024**). Grâce à leur flexibilité écologique, les escargots peuvent s'adapter à leur environnement, ce qui assure la continuité de leur croissance et leur équilibre (**Gaouar et al. 2024**).

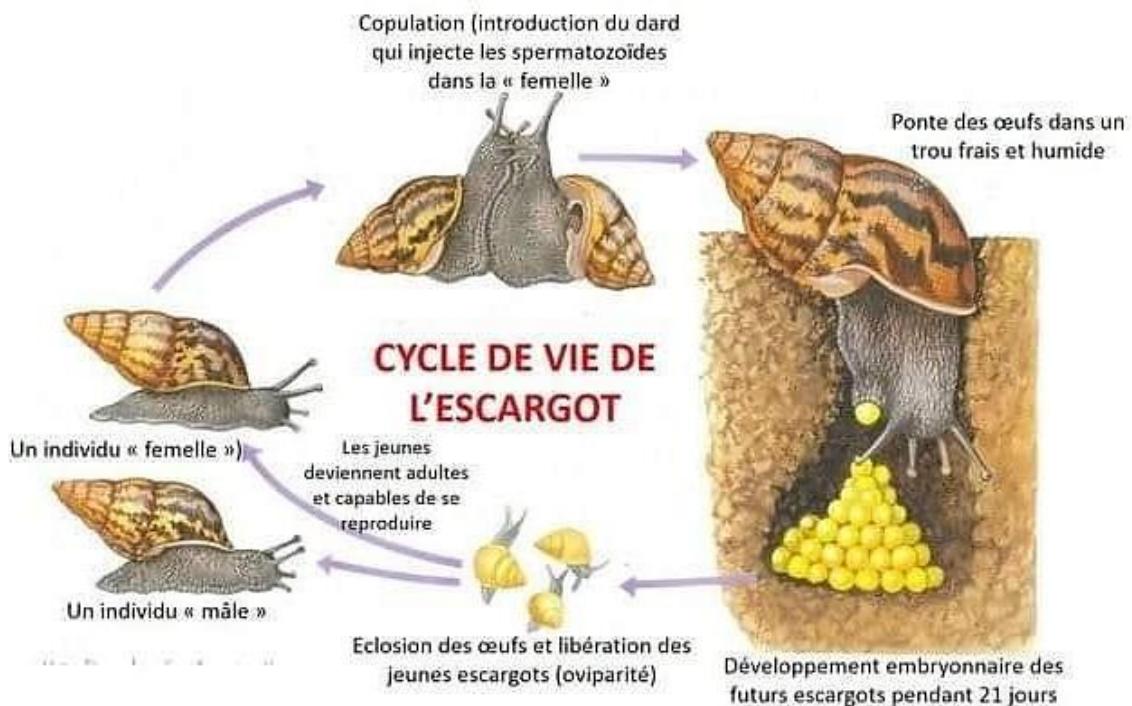


Figure 8: Stades de développement d'un escargot.

II.2.4. Développement embryonnaire

Solon Hussein Abd, Nasser Ghulam (2024), Dans les étapes préliminaires du développement embryonnaire, l'embryon plastique se forme à l'intérieur de l'œuf, les cellules qui le composent réalisent des divisions et leurs produits forment les couches germinales ou feuillets ectoderme, mésoderme et endoderme qui, sous l'influence de facteurs extérieurs tels que l'hygrométrie, la température, conditionnent la durée de l'incubation dont la durée moyenne est d'environ dix jours, favorisant la croissance progressive du petit corps. En parallèle, les traits anatomiques du corps du futur mollusque apparaissent, la morphogenèse de sa coquille (qui caractérise les escargots au même titre que leurs tentacules) se réalise, marquant un passage significatif de l'indifférencié au complet dans le processus d'individuation. Enfin, l'éclosion donne naissance à un embryon à l'échelle beaucoup plus réduite, dont l'apparence est proche de celle des parents et qui poursuivra l'énorme travail de croissance jusqu'à atteindre un stade de maturité sexuelle.

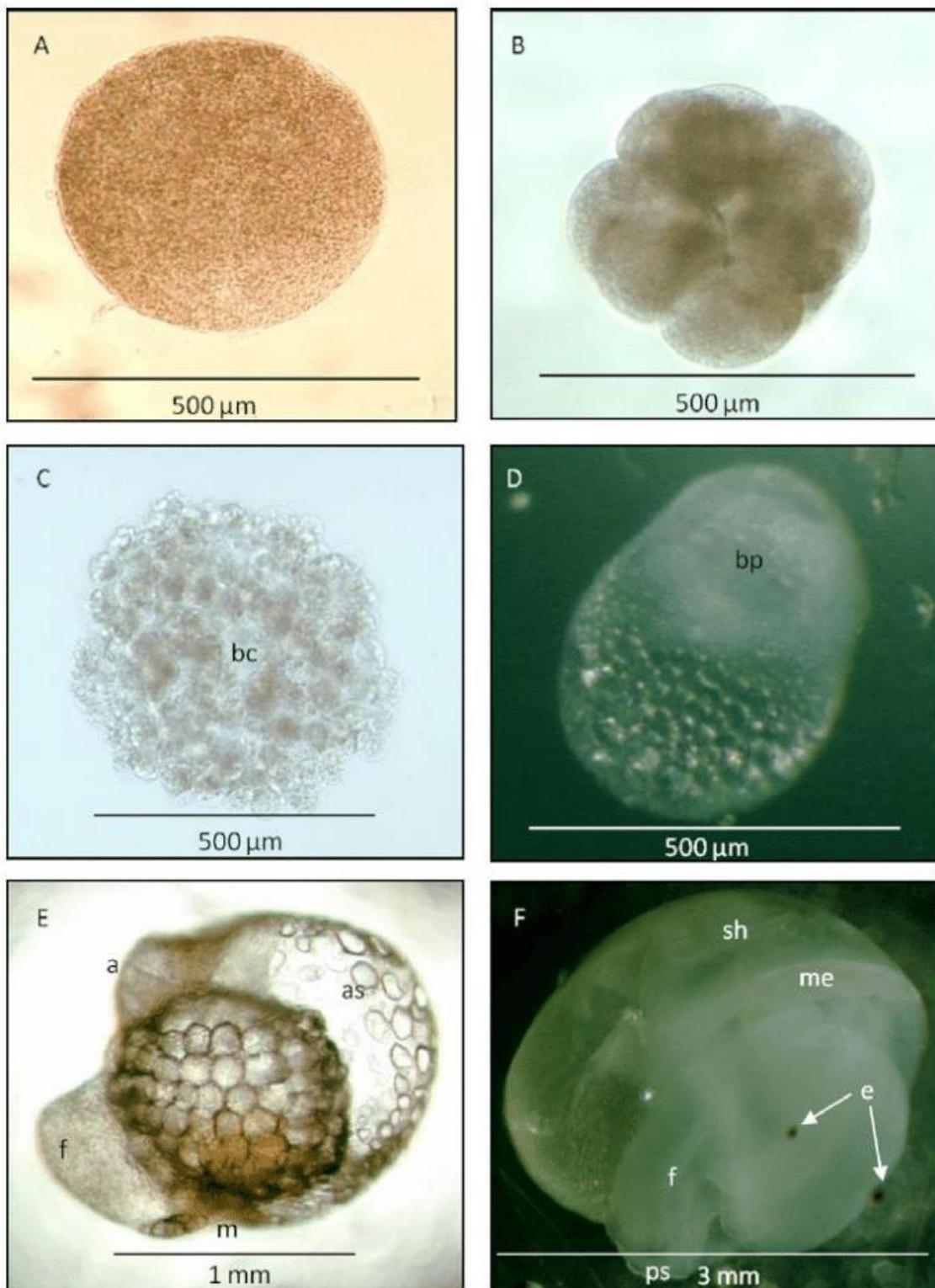


Figure 9: Grandes étapes de l'embryogenèse d'*Helix aspersa* (d'après Druart et al. 2010). Embryon au stade 1 cellule (A, 0-3 heures après fertilisation), 8 cellules (B, 8-12 heures après fertilisation), morula (C, 2-3 jours après fertilisation), gastrula (D, 4 jours après fertilisation) et au stade larvaire (E, 7 jours et F, 12 jours après fertilisation). Légende : a : anus ; as : sac

antérieur ; bc : blastocœle ; bp : blastopore ; e : yeux sur les tentacules ; f : pied ; m : bouche ; me : manteau ; ps : sinus pedieux ; sh : coquille.

II.2.5. Alimentation

Selon **Tibor Kiss (2017)**, Les gastéropodes terrestres montrent une capacité remarquable à utiliser les signaux olfactifs pour localiser les sources de nourriture dans leur environnement, ce qui reflète une forte dépendance à l'égard des sens chimiques dans leur comportement alimentaire. Ces organismes explorent leur environnement en suivant les molécules volatiles émises par les aliments, ce qui leur permet d'orienter activement leurs déplacements vers les sources de nourriture sans contact direct.

Les grandes espèces d'escargots se nourrissent de différentes plantes. Certaines espèces sont carnivores et se nourrissent de petits invertébrés au corps mou, comme les vers de terre et les nématodes. D'autres broutent les algues sur les troncs d'arbres ou les rochers (**Dozières et al. 2024**).

Selon **Sadouk et al (2023)**, les gastéropodes terrestres se nourrissent de sources végétales locales, ainsi que de matières organiques en décomposition présentes dans le sol et les forêts. Leur comportement alimentaire est directement influencé par plusieurs facteurs environnementaux, notamment l'altitude, le type de couverture végétale et le taux d'humidité.

II.2.6. Habitat

Selon **Schweizer et al (2019)**, Les gastéropodes terrestres se caractérisent par une grande capacité d'adaptation aux différentes conditions de leurs habitats naturels, y compris celles marquées par un climat rude et une sécheresse relative. Ces organismes ont recours à des microhabitats spécifiques tels que les zones ombragées et humides situées sous les roches, parmi les feuilles en décomposition ou dans les cavités des troncs d'arbres, qui leur offrent une protection contre la perte d'eau et le stress thermique causé par l'exposition directe au soleil. Ils se réfugient également dans des sols riches en humus ou dans des fissures rocheuses comme mécanisme de défense contre la sécheresse, illustrant ainsi une adaptation comportementale et physiologique leur permettant de survivre.

Par ailleurs, soulignent que les caractéristiques physiques et chimiques du sol, telles que la teneur en matière organique, le pH et la capacité de rétention en eau, jouent un rôle déterminant dans la qualité des habitats pour ces gastéropodes. Ces données mettent en

évidence la relation d'interdépendance entre l'organisme et son milieu, reflétant un équilibre écologique subtil (**Zaidi et al. 2021**).



Figure 10: Différents types d'habitats des escargots (**Belhocine- Zidemal, 2020**).

II.2.7. Rythme d'activité des gastéropodes terrestres

L'escargot terrestre synchronise son activité biologique aux deux rythmes suivants : une activité relative au changement de saison, et une activité relative au cycle jour-nuit. Cette synchronisation lui permet d'adapter son fonctionnement en fonction des changements environnementaux de température, d'humidité et de luminosité.

II.2.7.1. Activité saisonnière

Durant un hiver, l'activité de l'escargot ralentit de manière très nette en raison du froid et de la carence alimentaire, il entre en hibernation afin de réduire sa consommation d'énergie, ce qui concourt à une diminution de son activité métabolique et à ses déplacements pour se préserver des moyens pendant les périodes difficiles (**Cheriti, 2022 ; Lipińska et al. 2025**).

Entre le printemps et l'automne, l'escargot reprend une activité normale avec l'amélioration des conditions environnementales, entraînant une augmentation des déplacements, de la croissance et de la reproduction grâce à la hausse des températures et à la meilleure disponibilité de la nourriture et de l'humidité (**Esteves et al. 2025**).

Au cours des périodes de sécheresse et de chaleur intense, l'activité de l'escargot est réduite à court terme, il limite ses mouvements en secrétant une couche de mucus qui l'empêche de perdre de l'eau, ce qui est une réponse adaptative aux conditions climatiques hostiles (**Mohamed Issa et al. 2025**).

Le rythme saisonnier est influencé par la durée de la photopériode, le commencement et la cessation des phases de l'activité et de l'hibernation étant régulièrement liés aux variations

de la durée du jour, mettant en avant le besoin de la photopériode comme signe biologique principal (**Salvador et Tomotani, 2024**).

II.2.7.2. Activité journalière

L'escargot est pendant la majeure partie de la nuit désactivée, l'activité commence après le coucher du soleil et dure plusieurs heures avant d'être défaillant à l'aube, profitant de la fraîcheur et de l'humidité nocturne, craignant de se déplacer durant la journée pour éviter une perte maximale d'eau (**Salvador et Tomotani, 2024**).

La flexibilité de cette activité est sensible aux variations journalières de température et d'humidité, l'escargot étant très adaptable en modifiant son comportement en réponse aux conditions environnementales changeantes, modifiant le moment et la durée de son activité selon des facteurs immédiats comme une intensification d'humidité ou une détérioration de la température (**Yokomizo et Takahashi, 2024**).

II.2.8. Importance des escargots sur les plans environnemental et économique

D'après **Adewale et al (2022)**, le mode d'élevage d'escargots constitue une activité à la fois économique et écologique pleine de potentialité. En effet, du point de vue environnemental, il contribue à la durabilité des systèmes agricoles par son action de recyclage des déchets végétaux en matières organiques ultérieurement riches qui, une fois incorporés au sol, permettent d'augmenter sa fertilité, tout en soutenant la biodiversité et en limitant le recours à des engrains chimiques qui nuisent à l'environnement.

Du point de vue économique, **Algona et al (2025)** ont montré que l'escargot venait d'être reconnu comme une ressource biologique à potentiel qui pourrait être utilisée dans les industries cosmétiques ou médicales puisque sa bave, riche en substances antibactériennes et en produits régénérants cellulaires, est prometteuse en tant qu'élément de base à produit commercialisable. De même, la qualité minérale de ses coquilles calcaires pourrait être exploitée pour produire des matériaux de construction écologiques de coût modéré. Tout cela place l'élevage escargot dans un cadre de développement local durable (**Adewale, 2022**), et sa valorisation devrait pouvoir générer des emplois tout en contribuant à la dynamique de développement de l'économie locale.

Chapitre III : Les facteurs influençant la diversité des escargots

III.1. Le climat

Les facteurs climatiques jouent un rôle central dans la diversité des escargots terrestres. Selon **Teles et al (2022)**, les changements climatiques sont parmi les principaux déterminants de la répartition géographique des populations d'escargots, en montrant que l'augmentation des températures et la variabilité des précipitations entraînent une réduction des habitats favorables, ce qui nuit à la capacité de ces organismes à survivre et à s'adapter.

Les facteurs climatiques tels que l'humidité et les variations de température influencent précisément la distribution et la diversité des escargots dans les forêts. Ils ont souligné que la diversité des escargots est fortement affectée par les fluctuations de l'humidité et de la température (**Mohammadi et Ahmadzadeh, 2024**).

Selon **Wehner et al (2021)**, les escargots vivant dans les forêts et les prairies présentent une grande sensibilité aux changements climatiques, en particulier ceux possédant une niche écologique étroite. L'augmentation des températures ainsi que la modification de l'usage des terres notamment la conversion des forêts en zones industrielles, l'expansion urbaine et le développement des infrastructures, constituent une menace directe pour la diversité de ces espèces. Cela met en lumière le lien étroit entre la biodiversité et la stabilité écologique.

III.2. Le sol

Selon **Zaidi et al (2021)**, les caractéristiques du sol jouent un rôle déterminant et incontournable dans la répartition et la diversité des escargots terrestres, car le sol constitue l'environnement immédiat dont ces organismes dépendent pour leur alimentation, leur déplacement et leur abri. Les composantes physiques et chimiques du sol, telles que la teneur en matière organique, le taux d'humidité et la concentration en minéraux essentiels, sont des éléments fondamentaux pour créer un milieu favorable ou défavorable aux communautés d'escargots. Un sol riche en éléments nutritifs et équilibré dans sa structure contribue à la stabilité de ces communautés et favorise leur diversité. En revanche, une pauvreté minérale, une sécheresse ou des changements soudains dans les propriétés du sol peuvent entraîner une diminution significative de la biodiversité.

Par ailleurs, **Martinez-De Leon et al (2022)**, le pH du sol constitue l'un des facteurs régulateurs les plus importants de la répartition des escargots. Ces derniers sont plus abondants et diversifiés dans les sols au pH neutre ou légèrement alcalin, tandis que les sols

acides ou fortement alcalins représentent un environnement défavorable pour leur développement.

III.3. Habitat

Les diversités des escargots terrestres sont une image fidèle de la qualité des habitats et de la diversité de leurs caractéristiques structurels et écologiques. Le climat intervient en conjonction avec le plan des milieux pour organiser et stabiliser les communautés malacologiques. Cette diversité est étroitement liée à la caractéristique de la région écologique, dans la mesure où les conditions climatiques et la végétation permettent à des habitats tempérés de présenter des conditions plus favorables à l'existence et à la perpétuation de communautés d'escargots pluri diversifiées (**Neubert et al. 2018**).

Dans le même ordre d'idées, **Erika Schneider et al (2023)**, la structuration complexe des milieux comme est le cas de la présence de débris végétaux et de sols humides, a un rôle primordial dans le renforcement de la diversité biologique et fonctionnelle de l'escargot. La complexité telle que décrite crée des micro-milieux qui favorisent la complémentarité des fonctions écologiques et les possibilités de coexistence et d'adaptation augmentent l'aire compétitive.

III.4. Les interactions biologique

III.4.1. Prédation

La prédation est un facteur influent dans la détermination de la diversité des escargots terrestres, car la pression prédatrice entraîne une réduction sélective des populations de certaines espèces, modifiant ainsi la composition des communautés d'escargots et affectant leur équilibre écologique (**Baudry et al. 2024**). La présence de prédateurs envahissants peut également provoquer une diminution significative de la diversité des escargots locaux, par le biais d'une compétition supérieure et d'une prédation intensive (**Cowie et al. 2020**). Dans certains cas, l'impact de la prédation sur les escargots diminue lorsque des proies alternatives sont disponibles pour le prédateur, ce qui réduit la pression directe et influence la dynamique des populations (**Paul et al. 2021**). Bien que certains prédateurs locaux se nourrissent d'escargots, leur rôle dans la régulation des populations est limité et n'a pas d'effet majeur sur la diversité à long terme (**Murgia et al. 2024**).

III.4.2. Parasitisme

Le parasitisme contribue à façonner la dynamique des communautés d'escargots terrestres par son impact direct sur leur santé et leur survie. Il peut affaiblir le système immunitaire des escargots, réduisant ainsi leur capacité à croître et à se reproduire (**Megersa et al. 2024**). Le parasitisme peut également affecter l'équilibre écologique en provoquant des variations des taux d'infection entre les espèces, ce qui peut entraîner une diminution de la diversité des escargots dans les environnements infectés (**Zimmermann et al. 2017**). Par ailleurs, une grande diversité d'escargots peut atténuer la propagation de certains parasites et réduire les chances de complétion de leur cycle de vie (**Mudavanhu et al. 2024**).

Chapitre IV : Les menaces pesant sur les escargots

IV.1. La pollution

La pollution de l'environnement est l'une des menaces les plus graves pesant sur les escargots dans leurs différents habitats naturels. Ces créatures montrent une hypersensibilité biologique lorsqu'elles sont exposées à des changements dans la composition chimique de leur environnement, ce qui se manifeste par des altérations observables dans leurs réponses (**Baroudi et al. 2020**). Ces petits organismes possèdent la capacité d'absorber et de stocker les polluants dans leurs corps, ce qui les rend particulièrement vulnérables à chaque élément nocif auquel ils sont exposés (**Al Alam et al. 2020**). La pollution affecte leurs fonctions vitales de base, telles que la respiration et l'activité motrice, dont l'efficacité diminue, réduisant ainsi leur capacité à mener une vie normale (**Fajloun et al. 2020**). La situation s'aggrave lorsque leur système nerveux et leurs fonctions reproductives subissent des perturbations qui nuisent à leur équilibre interne et réduisent leurs chances de reproduction (**Millet et al. 2020**).

IV.2. L'urbanisation

L'expansion urbaine constitue une menace croissante pour l'équilibre écologique, car elle affecte directement les escargots terrestres, qui sont sensibles aux changements environnementaux. Elle entraîne la réduction des espaces verts et la dégradation des habitats naturels, ce qui met en danger la survie de ces espèces jouant un rôle crucial dans la chaîne alimentaire et le recyclage de la matière organique (**Garces-Restrepo et al. 2025**). La pression urbaine contribue également à la détérioration des habitats naturels, affaiblissant ainsi la capacité de ces espèces à s'adapter aux nouvelles conditions (**Glidden et al. 2024**).

Les transformations induites par l'urbanisation, telles que la perturbation de la répartition des escargots, peuvent entraîner des problèmes environnementaux et sanitaires, notamment la dégradation de la qualité des sols et des eaux, la transmission de maladies et les déséquilibres dans les réseaux trophiques (**Zhang et al. 2023**).

Ainsi que la perte d'habitats naturels ne menace pas uniquement les escargots, mais compromet aussi la capacité de l'écosystème dans son ensemble à se maintenir et à se régénérer (**Salmani et al. 2024**). En outre, les variations de température et d'humidité résultant des activités urbaines créent des conditions défavorables à certaines espèces d'escargot, accentuant ainsi la vulnérabilité de la biodiversité (**Čiliak et al. 2024**).

IV.3. Les changements climatique

Il est clair que le changement environnemental, en particulier climatique, constitue une menace pour la survie des escargots à l'échelle mondiale. La montée des températures (**Miyata et Nakatsubo, 2024**), les fluctuations climatiques extrêmes (**Teles et al. 2022**), et la remise en question de l'humidité du sol et les changements de température (**Zhang et al. 2025**) touchent directement l'équilibre écologique d'escargots, mettant en danger leur survie et leur diversité biologique. Ce fait est un exemple de la destruction de l'équilibre écologique, non pas seulement des grands organismes, mais également des micro-organismes qui font leur contribution vers la fertilité du sol (**van der Deure et al. 2024**). En outre, ces perturbations rendent les escargots davantage exposés aux maladies et à la prédation (**Cretini et Galloway, 2024**), mettant ainsi leur existence En danger.

Selon **Cretini et Galloway (2024)**, la gravité de cette transformation pour les êtres humains réside dans le fait qu'elle affecte l'escargot non seulement en tant qu'entité biologique, mais qu'elle a également le potentiel de déstabiliser l'équilibre écologique dont dépendent les sociétés humaines dans des domaines tels que l'alimentation, la santé publique et l'environnement. Les escargots sont inextricablement liés à l'agriculture, à l'eau et à la santé environnementale. Leur disparition ou adaptation dû à l'altération des conditions environnementales a donc un effet négatif sur la qualité de la vie humaine ainsi que les activités de préservation de la biodiversité.

IV.4. La résistance d'escargot

Selon **Matt J. Nimbs et al (2023)**, Il ressort que la capacité de l'escargot à résister aux pressions environnementales constitue un aspect fondamental de son interaction avec les changements rapides de l'environnement. La grande diversité génétique renforce la flexibilité de cet organisme à s'adapter aux conditions changeantes.

De plus, le flux génétique actif contribue de manière significative au maintien de la stabilité des caractéristiques biologiques essentielles (**Lobos et al. 2023**). Par ailleurs, la structure microbiologique interne de l'escargot joue un rôle clé dans l'ajustement de sa réponse aux pressions thermiques, comme le montre l'activité accrue des bactéries résistantes aux antibiotiques en situation de variation des températures (**Breed et al. 2025**).

Sur le plan comportemental, les variables environnementales telles que la structure de l'habitat et les fluctuations climatiques influencent les modes de reproduction, traduisant ainsi une capacité d'adaptation stratégique à la survie (**Garcés-Restrepo et al. 2025**).

Sur le plan biochimique, l'accumulation de métaux lourds et de polluants dans les tissus de l'escargot met en évidence son rôle en tant qu'indicateur biologique sensible, capable d'interagir avec la pollution. Ces mécanismes variés démontrent que la résistance de l'escargot aux pressions environnementales est un système complexe et intégré qui soutient sa survie et contribue à l'équilibre écologique (**Belhiouani et al. 2019 ; Sahraoui et al. 2021 ; Cheriti, 2022**).

Chapitre V : Utilisation escargots comme bioindicateur sur la pollution des écosystèmes

V.1. Bioindicateurs : fondements conceptuels et utilité écologique

Un bioindicateur est un organisme vivant, ou un ensemble d'organismes, dont les réponses physiologiques, biochimiques ou comportementales reflètent l'état de santé de l'environnement. Ces réponses mesurables sont déclenchées par les pressions environnementales telles que la pollution de l'air, de l'eau ou du sol, et sont utilisées dans le cadre du monitoring écologique pour évaluer les variations de la qualité environnementale (**Molnár et al. 2020**). En fonction de leur présence, de leur abondance ou de modifications de leur état biologique, les bioindicateurs constituent des outils biologiques fiables pour la détection des polluants et l'évaluation des effets écotoxiques (**Savoca et al. 2024**).

Grâce à leur sensibilité spécifique et à leurs réponses quantifiables, ils fournissent des informations directes sur les conditions écologiques, ce qui en fait des instruments précieux pour l'évaluation du statut des écosystèmes et l'aide à la prise de décision en matière de gestion et de protection environnementales (**Chowdhury et al. 2023**).

V.2. Utiliser les escargots terrestres comme bioindicateur pour suivre la pollution des écosystèmes

Selon **Mleiki et al (2017)**, la capacité des escargots terrestres à servir de bioindicateurs efficaces de la pollution provient de leur contact direct et permanent avec leur environnement, ainsi que de leur forte aptitude à absorber et accumuler les polluants, notamment les métaux lourds, dans leurs tissus. Cette caractéristique constitue un reflet silencieux de la dégradation de l'environnement environnant. L'intérieur de l'escargot est biologiquement répondu aux éléments métalliques toxiques du sol, et c'est ainsi qu'il est devenu une réalité vivante dévoilant les implications de la pollution chimique des régions touchées par les activités humaines.

L'interaction entre le corps de l'escargot et les éléments toxiques est la conséquence de son alimentation directe à partir des plantes et sols contaminés, qui permettent de mesurer l'accumulation interne des éléments métalliques comme une trace durable des activités industrielles et des décharges (**Guessasma et al. 2020**). Les polluants ont un effet sur les fonctions biologiques et comportementales des escargots, où les changements de comportement montrent un déséquilibre écologique par des perturbations de l'alimentation et la mobilité (**Sahraoui et al. 2021**). En cette perspective, Les transformations internes de l'escargot causées par la pollution sont une mémoire biologique définie de ce qui se produit

dans le milieu, rendant ces animaux des instruments biologiques pour repérer les métamorphoses écologiques cachées et inaudibles (**Habib et al. 2023**).

V.3. Les type des polluants détectés sur les escargots terrestres

L'escargot terrestre constitue un organisme modèle pour l'évaluation de l'environnemental changement, grâce à sa physiologie pour bioconcentration et déstockage de grandes quantités de polluants. Ces polluants se bioconcentrent en premier lieu sur les métaux lourds de plomb (Pb), le cadmium (Cd), le zinc (Zn) et le cuivre (Cu), des éléments provenant de diverses sources industrielles et agricoles. Il ne s'agit pas simplement d'un effet d'accumulation, mais d'une répartition sélective au sein des tissus de l'escargot, notamment dans la glande digestive, qui est la plus sujette à l'accumulation, en raison de la présence de mécanismes internes favorisant l'absorption de ces métaux (**Mahmoutovic et al. 2018**).

À ces métaux lourds s'ajoutent le fer (Fe) et le manganèse (Mn), qui apparaissent clairement dans les limites urbaines et industrielles, où leur concentration est due à la baisse de la qualité de l'environnement local. En effet, la corrélation de ces éléments à des taux élevés de pollution atmosphérique et solaire à des impacts directs sur la structure cellulaire des tissus vulnérables. Ce modèle d'accumulation n'est pas seulement causé par un effet direct, mais signalant une dynamique multifacette impliquant l'absorption, la fixation et la redistribution dans l'organisme (**Ćirić et al. 2018**).

Ainsi que la capacité d'accumuler à l'intérieur des grosses masses de pesticides tels que les herbicides et les insecticides, ce qui rend plus facile la détection de présence de telles substances dans les écosystèmes terrestres. Il est également capable de détecter les polluants organiques persistants (POP) tels que les dioxines, les polychlorobiphényles (PCB), ainsi que les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), des matières extrêmement toxiques et extrêmement résistantes à la dégradation (**Baroudi et al. 2020**).

En outre, les nanoparticules d'argent (Ag-NPs) semblent être une nouvelle forme de polluants, qui sont marquées par une excellente capacité de pénétration dans les cellules, induisant des altérations au niveau moléculaire, plus particulièrement dans les schémas d'expression génique en relation avec les fonctions de stress oxydatif et réponse immunitaire, ces particules agissent sur la structure nucléaire et les enzymes régulatrices au sein des cellules, induisant un déséquilibre dans les fonctions vitales fines (**F. Turki et al. 2022**).

Selon **Guesasama et al (2020)**, la relation entre la source de pollution, la structure du sol et le site d'accumulation dans les tissus du corps d'escargot convient à un modèle environnemental complexe dont la maîtrise intégrée conduit à soutenir la utilisation de l'escargot comme indicateur biologique reflet de la santé globale de l'écosystème environnant, ainsi qu'il est utilisé comme modèle biologique pour la détection de la pollution organique et minérale (**Ghannem et al. 2024**).

V.4. Analyse des paramètres biologiques chez les escargots terrestres comme indicateurs de la pollution des écosystèmes

Les paramètres biologiques chez les escargots terrestres sont des outils importants pour évaluer de la pollution sur l'écosystème. Le schéma suivant présente une classification et une analyse de ces paramètres selon (**Vranković et al. 2020 ; Douafer et al. 2020 ; Ndebele, 2023 ; Nadji et al. 2024 ; Louzon et al. 2023**) :

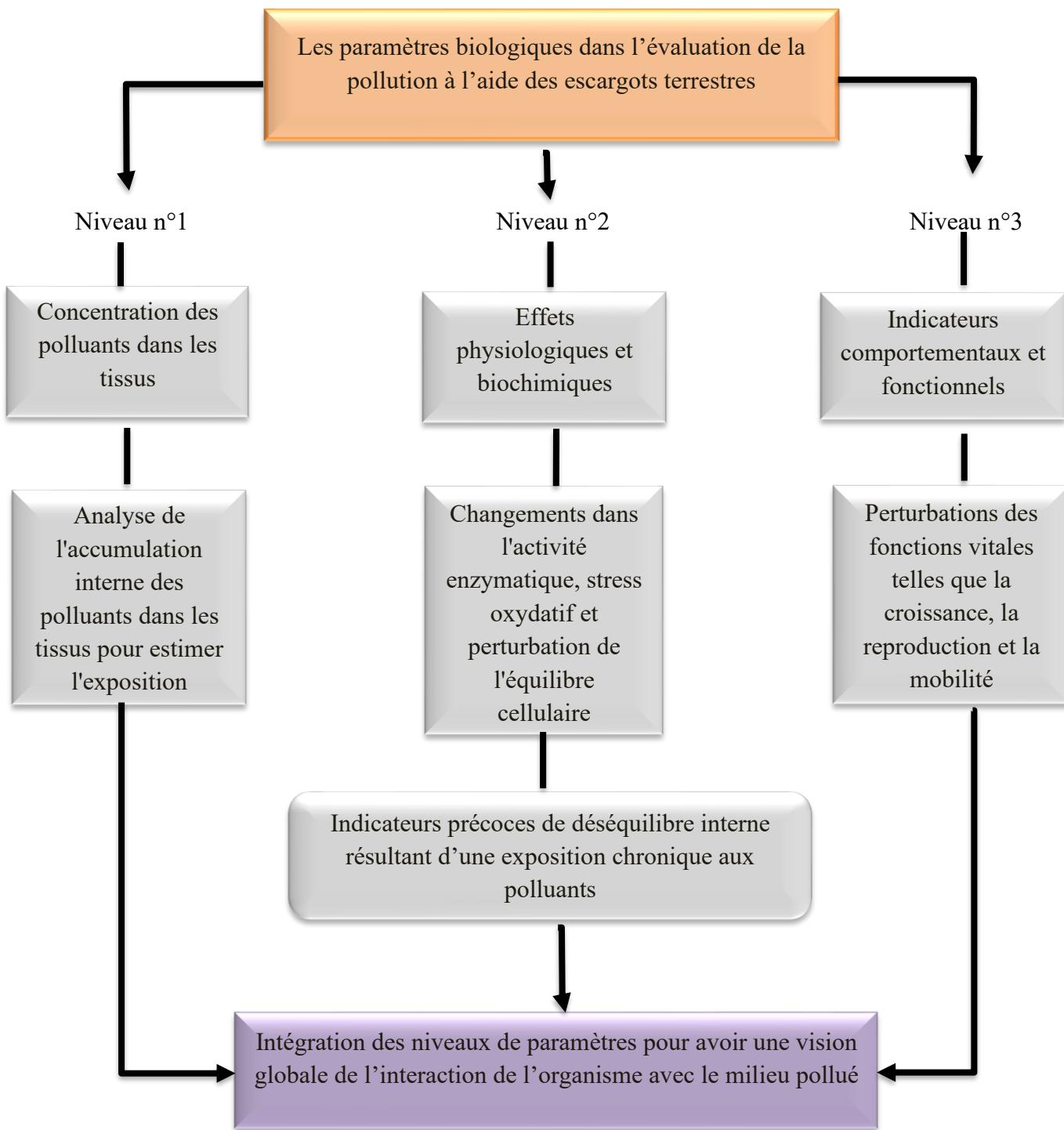


Figure 11 : Schéma conceptuel de la classification et de l'analyse des paramètres biologiques chez les escargots terrestres dans l'évaluation de la pollution.

Chapitre VI : Utilisation des escargots terrestres en écotoxicologie

Les escargots terrestres se révèlent d'excellents bioindicateurs en écotoxicologie grâce à plusieurs traits biologiques : contact direct et prolongé avec le sol, capacité d'absorption et d'accumulation des contaminants métalliques dans leurs tissus, cycle de vie court facilitant l'observation rapide des effets chroniques, et élevage aisément en laboratoire. **Carbone & Faggio (2019)**, ont montré que l'exposition cutanée et digestive de *C. aspersum* aux dépôts de métaux lourds se traduit par des réponses mesurables aux niveaux physiologique et cellulaire, tandis que **Saeed et al. (2021)**, soulignent sa valeur pour le suivi de la qualité des sols.

Les travaux menés en Algérie renforcent cette pertinence : **Belhiouani et al. (2019)**, ont appliqué une approche d'« intégration multi-sites » dans cinq zones industrielles et minières du Nord-Est algérien, montrant que les teneurs en Cd, Pb et Zn accumulées dans l'hépatopancréas de *C. aspersum* reflètent fidèlement les gradients de contamination mesurés dans les sols, validant ainsi l'espèce comme traceur spatial de pollution. **Sahraoui et al. (2021)**, ont établi, par des tests ex situ dose-réponse, que l' EC_{50} de croissance des juvéniles varie de façon marquée avec le pH, la capacité d'échange cationique et la teneur en matière organique du sol, ce qui souligne l'importance de caractériser le substrat avant toute interprétation toxicologique. Enfin, la **thèse de Cheriti (2022)**, centrée sur le bassin du Kébir-Rhumel, combine inventaire malacologique et bioindication ; elle démontre que les variations spatio-temporelles des charges corporelles en métaux lourds et oligo-éléments chez *C. aspersum*. Ce qui permet d'anticiper les pics de contamination et d'orienter les actions de remédiation.

Ainsi, sur le plan méthodologique, les approches modernes reposent sur des biomarqueurs biochimiques (activité de la CAT, SOD, GST) pour détecter le stress oxydatif, ainsi que sur la quantification directe des métaux accumulés, indicateur précoce d'exposition. D'autres études visent l'évaluation de réponses physiologiques (croissance, reproduction, anomalies coquillières) révélatrices d'effets sublétaux rapides. Encore d'autres, sur des tests comportementaux non invasifs (mobilité, prise alimentaire), sensibles aux déséquilibres neuro-hormonaux. En laboratoire, le contrôle strict des paramètres abiotiques permet de déterminer les seuils de toxicité, tandis que les déploiements in situ offrent une vision réaliste de la contamination et de la biodisponibilité des polluants dans les écosystèmes. Ensemble, ces études — et en particulier celles de **Belhiouani, Sahraoui et Cheriti** — confortent

l'usage de *C. aspersum* comme outil robuste, rapide et peu coûteux pour évaluer et suivre la qualité des sols, en appui aux programmes de gestion et de restauration environnementale.

Chapitre VII : Les morphométries géométrie des coquilles des escargots

VII.1. Description de la morphométrie géométrie

Solon Christian Peter Klingenberg (2016), les morphométries géométriques se soucient de l'analyse de la forme en laissant une représentation mathématique précise, fondée sur la localisation de points de repères utiles biologiquement (landmarks). Cela ouvre la possibilité à l'analyse des variations morphologiques sous une forme qui préserve les relations spatiales entre les parties. Les fondements théoriques de ce domaine reposent sur la distinction entre trois concepts étroitement liés : la taille, la forme et la conformation. La « forme » est définie comme l'ensemble des caractéristiques géométriques d'un organisme après correction de l'effet de la taille, tandis que la « conformation » fait référence à la combinaison de la forme et de la taille. La « taille » est alors généralement considérée comme référence pour la comparaison des formes, par l'entremise de méthodes statistiques telles que l'analyse en composantes principales (ACP) et la régression des moindres carrés, qui permettent d'isoler l'effet de la taille dans l'étude des variations morphologiques.

Le concept d'allométrie (Allometry) constitue une notion centrale en l'occurrence. Il décrit la relation mathématique entre variation de taille et variation de forme, en étudiant un modèle de métamorphose morphologique en fonction de la taille, soit au cours du développement, soit dans les comparaisons interspécifiques. Ce concept permet de dissocier les effets liés à la taille des autres facteurs influençant la forme, fournissant ainsi un cadre analytique pour comprendre les variations morphologiques indépendamment de la taille de référence (Klingenberg, 2016).

Ces principes sont appliqués dans des recherches récentes, selon Maté-González et al (2023), ils ont employé la morphométrie géométrique pour étudier des caractères morphologiques délicats sur des restes osseux, sur la base d'une identification de points de repère fixes (landmarks) et leur étude par des méthodes statistiques avancées en vue de décrire la forme comme une structure qui puisse être mesurée indépendamment de la taille.

VII.2. Les mesures morphométriques géométriques des coquilles d'escargots terrestres

Les mesures géométriques morphométriques jouent un rôle important dans l'analyse de la diversité morphologique des coquilles d'escargots terrestres, car des outils précis sont utilisés pour analyser les dimensions et les formes de manière quantitative et systématique, Parmi ces outils :

VII.2.1. Points de repère (Landmarks)

Ils constituent l'un des outils de base de l'analyse de la morphométrie géométrique. Ils se utilisent pour indiquer des caractéristiques précises sur la surface de la coquille, qui rend compte avec précision de sa structure géométrique, tel que l'apex de la coquille, l'ouverture ou la base (**Miranda, 2020**).

VII.2.2. Analyse de Procruste

Il est utilisé pour comparer les formes en éliminant les différences en fonction de la position, de la rotation et de la taille, pour comparer les formes dans un espace commun (**Phung et al. 2022**).

VII.2.3. Analyse des déformations relatives (Relative Warps)

Outil statistique dérivé de l'analyse de Procruste utilisé pour représenter les motifs de variation morphologique entre les échantillons et pour identifier les principales directions de variation de la forme de la coquille en relation avec des facteurs environnementaux ou évolutifs (**Ortega et al. 2022**).

VII.2.4. Analyse en composantes principales (ACP/PCA)

Utilisé pour réduire la dimensionnalité afin d'analyser les différences de morphologie, il permet ainsi de distinguer entre les espèces ou les groupes (**Maté-González et al. 2023**).

VII.2.5. Logiciels d'analyse de la morphométrie géométrique (MorphoJ, Geomorph, tpsDig)

Les logiciels sont employés pour l'extraction des points de repère, les analyses statistiques et la représentation des formes dans deux ou trois dimensions. Les logiciels favorisent une analyse détaillée des données morphologiques et l'implémentation facile des outils statistiques (**Shen et al. 2025**).

VII.2.6. Algorithmes d'apprentissage automatique (Machine Learning)

Ils sont appliqués pour classifier les espèces en fonction des données morphométriques sans intervention humaine directe, en analysant avec Random Forest et SVM (Support Vector Machine), une précision de 97,5 % a été obtenue (**Almeida et al. 2021**).

VII.2.7. Intégration des données génétiques et morphométriques (Morphométrie intégrative)

Il s'agit d'une approche nouvelle qui met en correspondance l'analyse morphologique et génétique afin d'identifier des espèces cryptiques (**Hobbs et al. 2021**).

VII.2.8. Analyse morphométrique temporelle (Tendances morphométriques dans le temps)

Utilisée dans les études paléontologiques pour suivre les changements de forme à travers le temps (**Albesa et Neubauer, 2023**).

VII.3. Les domaines d'utilisation de ces mesures

Les chercheurs ont mené des études sur les coquilles des escargots terrestres en ayant recours aux outils de la morphométrie géométrie pour :

VII.3.1. Étude des dimensions et des formes

L'étude des dimensions et des formes de la coquille constitue l'une des principales applications de la morphométrie géométrique sur le terrain. Cette méthodologie est utilisée pour déterminer avec précision la structure morphologique générale de la coquille à l'aide de données numériques, permettant de détecter de légères variations dans ses courbures et les proportions de ses dimensions. Ces analyses permettent de réaliser un modèle morphologique standard pour les espèces, qui servira ensuite de référence en études évolutives, écologiques ou taxonomiques. De tels usages sont pratiqués concrètement pour les déterminer des motifs morphologiques majoritaires dans telles régions géographiques ou au sein d'une population dispersée (**Miranda, 2020 ; López et al. 2020**).

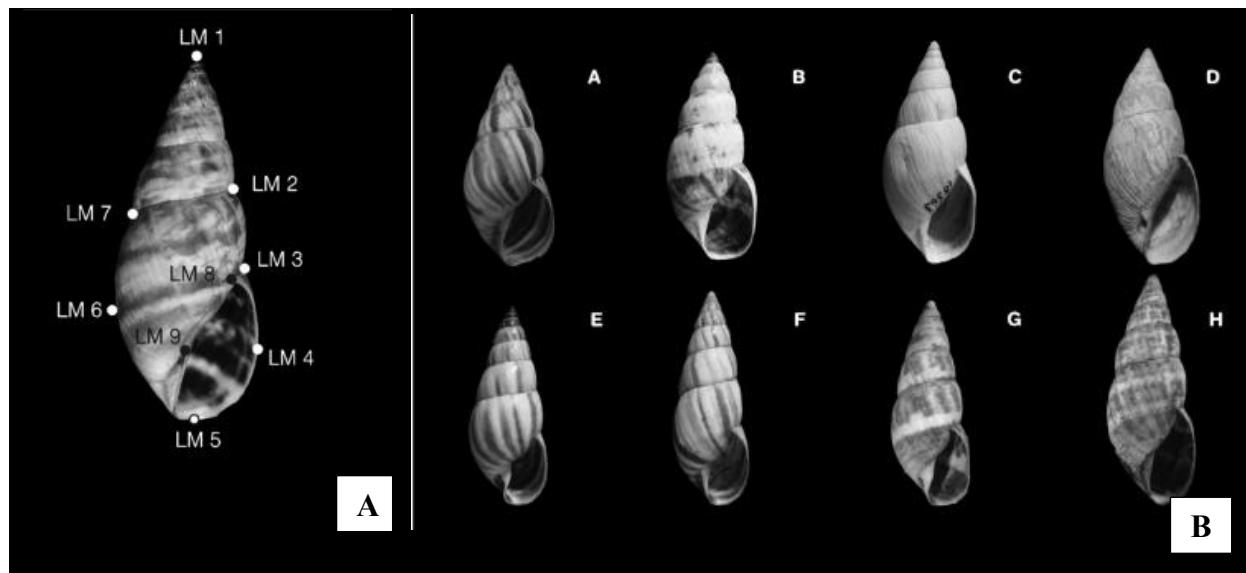


Figure 12 (A et B) : Application de l'Analyse morphométrique géométrique sur la coquille *Bostryx torallyi* (Miranda, 2020). **A :** Vue ventrale des neuf points de repère (Landmarks) de la coquille de *Bostryx torallyi* (nord de l'Argentine). **B :** Les différentes formes de coquilles présentes dans la même zone d'étude : (A) *Bostryx torallyi* ; (B) *Bulimulus (M.) climacographus* ; (C) *Peronaeus (L.) torallyi corrugatus* ; (D) *Peronaeus (L.) torallyi avus* ; (E) *B. nigroumbilicatus* ; (F) *B. nigroumbilicatus* ; (G) *Peronaeus birabeni* ; (H) *P. birabeni*.

VII.3.2. Classification des espèces

D'un point de vue taxonomique, cette technique est exploitée pour distinguer les espèces morphologiquement proches ou partageant des caractéristiques externes difficilement discernables visuellement. La méthodologie repose sur la variation fine dans la distribution géométrique des points de la coquille pour générer des matrices morphométriques permettant de construire un arbre taxonomique fondé sur la similarité structurelle plutôt que sur les traits traditionnels. Cette méthodologie s'est d'ailleurs prouvée efficace dans l'appui d'une classification numérique fondée sur les informations, par exemple, là où les tissus mous manquent ou dans l'étude de fossiles ou de juvéniles (Almeida et al. 2021 ; Hobbs et al. 2021).



Figure 13 : Les différentes espèces de coquille présente au Brésil : (a) *Allopeas gracilis*. (b) *Beckianum beckianum*. (c) *Dysopeas muibum*. (d) *Leptinaria unilamellata*. (e) *Subulina octona*. (Almeida et al. 2021).

VII.3.3. Analyse des différences sexuelles

L’analyse morphométrique est utilisée pour identifier les différences sexuelles subtiles, souvent invisibles en raison de la similarité externe générale entre mâles et femelles chez la plupart des espèces d’escargots. En mesurant quantitativement la distribution des proportions morphologiques, il est possible d’identifier des caractères liés au sexe, tels que la largeur de l’ouverture, la hauteur de la spire ou le degré de compression de la coquille, ce sont des facteurs qui indiquent généralement des adaptations fonctionnelles ou reproductive. Ce genre de l’analyse théorique permet de décrire les attributs sexuels sans intervention anatomique, ce qui est très pratique dans les études comportementales et reproductive (Phung et al. 2022 ; Ortega et al. 2022).

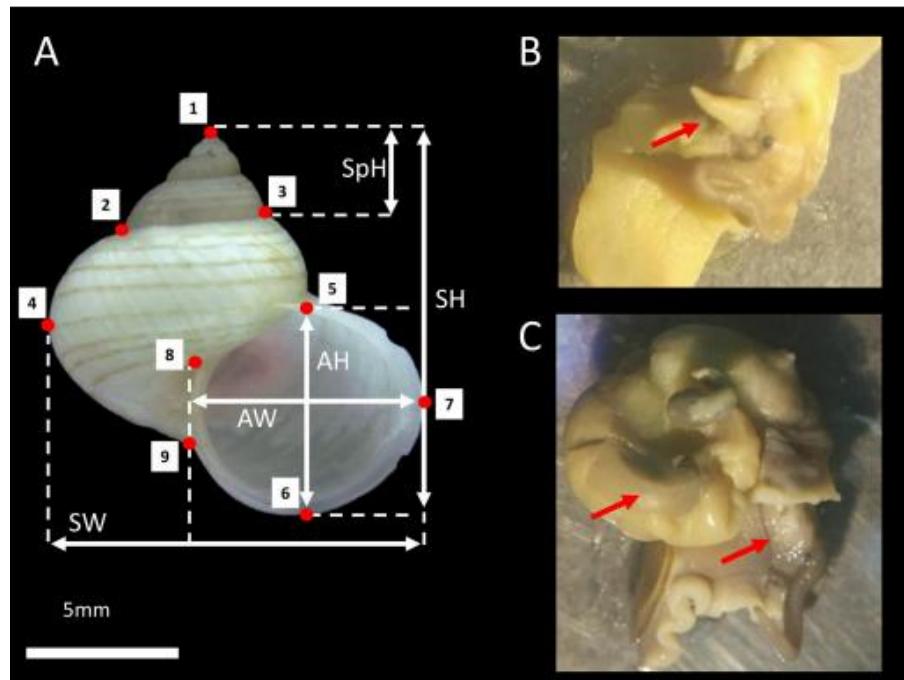


Figure 14 : Analyse des différentes sexuelles chez l'escargot *Leptopoma perlucidum*. (A) Mesures de la taille et de la forme de la coquille de *L. perlucidum*. La taille de la coquille a été mesurée de cinq manières à partir de la vue aperturale : SH : hauteur de la coquille, SpH : hauteur de la spire, SW : largeur de la coquille, AH : hauteur de l'ouverture, AW : largeur de l'ouverture. Les points rouges indiquent les neuf points de repère (landmarks) utilisés pour la morphométrie géométrique. (B) Spécimen mâle : la flèche rouge indique le pénis. (C) Spécimen femelle : le pénis n'est pas visible et l'organe reproducteur peut être observé (Phung et al. 2022).

VII.3.4. Détection de mutations et de la diversité cachée

La morphométrie prend son rôle fonctionnel en la détection des différences morphologiques engendrées par les mutations ou par la diversité génétique cachée, en déterminant des modèles de référence susceptibles de faire apparaître des variations morphologiques fines issues des déviations évolutives. Cette approche est utilisée pour identifier des espèces sœurs cryptiques ou pour indiquer la diversité au sein des populations sans données génétiques. Ce rôle a été décrit dans les modèles théoriques analytiques (Prokow et al. 2016 ; Hobbs et al. 2021).

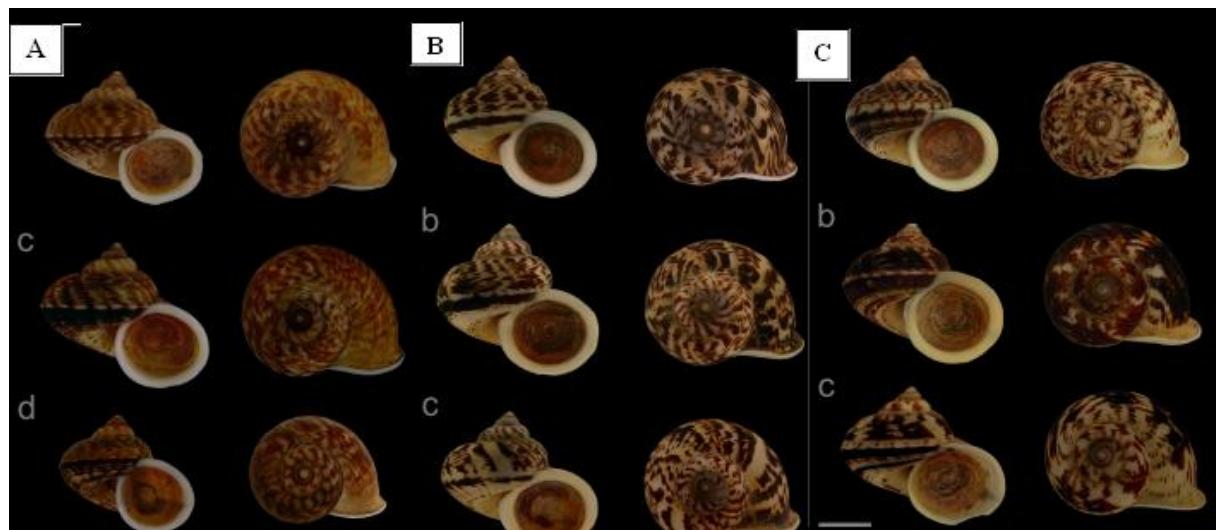


Figure 15 (A, B, C) : La diversité cryptique des escargots terrestres (*Cyclophorus spp.*) dans le nord du Vietnam (Katharina C. M. von Oheimb et al. 2019). **A** : Spécimens de *Cyclophorus courbeti* Ancey. Vues de face, du dessus et du dessous de :(b) VNM 019 (sous-groupe I), (c) VNM022 (sous-groupe II), (d) VNM021 (sous-groupe II). **B** : Spécimens de *Cyclophorus jourdyi* Morlet. Vues de face, du dessus et du dessous de :(a) VNM042 (sous-groupe I), (b) VNM043 (sous-groupe I), (c) VNM044 (sous-groupe I). **C** : Spécimens de *Cyclophorus paracucphuongensis*. Vues de face, du dessus et du dessous de :(a) VNM069 (holotype), (b) VNM071 (paratype), et (c) VNM070 (paratype).

VII.3.5. Applications évolutives et environnementales

La morphométrie géométrique est une méthode scientifique pratique pour reconnaître le changement évolutif et environnemental qui altère la morphologie de coquilles des escargots terrestres. Les différences morphologiques sont des marques déterminantes de pression sélective et d'adaptation écologique. En comparant entre les formes provenant de milieux différents, il est possible d'estimer le niveau de plasticité phénotypique et de le relier à des facteurs tels que l'humidité, la texture du sol ou l'altitude, qui aide à prédire les réponses des espèces aux modifications de l'habitat et aux changements climatiques (Albesa & Neubauer, 2023). En outre, ces méthodes sont utilisées en analyse de coquilles fossiles pour la reconstruction du climat ancien. Les changements de formes révèlent pendant des périodes longues des influences environnementales, attestant de leur utilisation comme un outil précis pour l'étude de la biodiversité et des adaptations évolutives (Shen et al. 2025).

Chapitre VIII : Les variations génétiques des gastéropodes terrestres des zones sèches par rapport zones humides : études écologique et moléculaire

VIII.1. La biodiversité des escargots terrestres dans les régions sèches et humides

Les escargots terrestres diffèrent considérablement les uns des autres, ce qui montre leur capacité à s'adapter à des environnements variés, notamment entre les régions à climats secs et humides. Les escargots vivent à la frontière de l'eau et de la chaleur intense dans les zones à climat sec. Cela les oblige à développer des mécanismes spécifiques pour maintenir leur équilibre écologique (**Zaidi et al. 2021**). Par ailleurs, la distribution de ces composants est manifestement affectée par les propriétés physiques du sol, comme son niveau d'humidité et sa consistance sableuse (**Guennoun et al. 2023**).

Cependant, dans les environnements très humides, on observe une plus grande diversité d'escargots et une structure écologique plus élaborée, et des habitats divers tels que les strates de feuilles mortes et les résidus de bois créent des conditions propices à leur développement et à leur reproduction (**Gheoca et al. 2023**). Les infimes fluctuations de niveaux d'humidité sont également au centre des régulations de leur répartition et de leur comportement (**Esteves et al. 2025**). Tandis que la qualité des habitats naturels et des forêts détermine leur aire géographique (**Mohammadi et Ahmadzadeh, 2024**). Simultanément, les escargots terrestres constituent activement une partie des améliorations du sol par le contrôle de la matière organique, capable d'entériner la permanence du cycle des nutriments dans les écosystèmes (**Sadouk et al. 2023**).

VIII.2. La variation génétique entre les populations d'escargots terrestres dans les deux milieux (humide et sec)

La diversité génétique est son adaptation et évolution d'après **Taylor et Roterman (2017)**, la diversité au sein d'une espèce est ce qui permet aux populations de faire face aux changements environnementaux et aux défis naturels. En outre, la diversité est tout aussi essentielle pour la survie d'espèces sur la durée dans le sens où cela soutient la dynamiques écosystémiques tout en permettant de comprendre les processus biologiques et génétiques tout en préservant la vie et la diversifiant.

Selon **Lawrie et al (2025)**, la variabilité génétique au sein des populations d'escargots dans les milieux humides et arides constitue un système d'adaptation élaboré des effets directs et indirects des climats sur la variabilité génétique. Dans les zones arides où les températures sont extrêmes et les ressources limitées, les populations subissent un intense stress environnemental qui transforme leur patrimoine génétique de manière importante, et les

conditions climatiques restreignent les migrations. D'une manière ou d'une autre, il y aurait alors isolement génétique qui déclenche des divergences évolutives indépendantes. En plus, l'isolement géographique favorise l'apparition de nouveaux gènes différents due à l'isolement prolongé de ces groupes (**Madeira et al. 2017**), ainsi que l'isolement génétique dont ces habitats font l'objet, qui s'accompagne d'une différenciation locale qui s'accroît progressivement du fait d'une évolution soutenue (**Gretgrix et al. 2023**).

Par contre, les milieux humides favorisent un certain degré de stabilité génétique grâce à des conditions climatiques plus modérées, bien que les relations entre le milieu et la structure génétique de la population demeurent fixes et que les différences dans l'abondance en humidité et la stabilité thermique entraînent des différences génétiques, en raison des changements qui sont très localisés (**Vinarski et al. 2023**). La variabilité génétique est attribuée aux effets cumulés des changements climatiques au fil du temps, qui ont restructuré les gènes au cours de nombreuses générations (**Collado et al. 2023**). La flexibilité d'un génome (sa capacité à s'ajuster aux changements environnementaux) se manifeste par un jeu écologique et génétique durable, qui crée une variabilité génétique comme preuve de la capacité des espèces à s'adapter aux changements répétés de la nature (**Greve et al. 2017**). Enfin, le mouvement et la répartition des espèces d'une région à une autre redessinent les gradients de variabilité génétique tant dans les habitats secs que humides, générant ainsi de nouveaux schémas de différenciation au sein des systèmes biologiques (**Castillo et al. 2025**).

Chapitre IX : Les études précédentes sur la diversité d'escargots

Les études scientifiques récentes montrent un intérêt croissant pour la faune d'escargots terrestres du nord-africain en raison de sa valeur écologique, éducative et agricole, par exemple devant les changements environnementaux et climatiques rapides. Nous retiendrons ; Les travaux menés par **Ezzine et Neubert** qui ont enrichi la connaissance taxonomique et biogéographique en combinant analyses morphologiques, anatomiques et phylogénétiques (COI, 16S, ITS2-28S), ils ont notamment clarifié la classification d'espèces traditionnellement mal assignées, en confirmant leur appartenance au genre *Xerocrassa* (**Ezzine et al. 2017**). Ils ont également documenté l'introduction en Tunisie de *Marmorana muralis*, une espèce sicilienne jusqu'alors absente de la région, et proposé la synonymie avec *Murella nicollei* (**Ezzine & Neubert, 2018**). Dans une autre étude, ils ont approfondi l'analyse de la diversité malacologique régionale en s'intéressant aux relations phylogénétiques au sein de la famille des *Geomitridae*, mettant en évidence une grande hétérogénéité spécifique et soulignant la complexité évolutive des taxons glabres du Maghreb. Plus récemment, une étude portant sur la phylogénie moléculaire des *Cernuellini* en Tunisie, laquelle a conduit à la description d'un nouveau genre, *Sabessebia*, renforçant ainsi la compréhension des relations évolutives au sein de ce groupe. Ces contributions s'inscrivent dans une démarche rigoureuse d'intégration entre données moléculaires et morphologiques.

Les recherches menées par **Sahli, El Hadef El Okki, Belhiouani, Sahraoui et Cheriti**, illustrent une avancée progressive dans l'étude de la malacofaune régionale, depuis les impacts environnementaux contemporains jusqu'aux perspectives écologiques intégrées : En **2019**, **Belhiouani et al.**, ont analysé la diversité spécifique des escargots dans des zones perturbées et non perturbées du Nord-Est algérien. Ils ont mis en évidence les effets négatifs de la pression anthropique sur la structure des communautés, marquée par une réduction de la richesse spécifique et une domination de *Massylaea vermiculata* dans les milieux altérés. Par la suite, **Sahraoui et al. (2021)**, ont approfondi cette approche en soulignant le rôle clé des paramètres édaphiques et climatiques (pH du sol, texture, teneur en matière organique, humidité) dans la distribution et la composition des communautés malacologiques. **En 2021 également, Cheriti et al.**, ont conduit un inventaire malacologique détaillé dans le bassin du Kebir Rhumel (Nord-Est algérien), identifiant 25 espèces sur 30 stations à partir de plus de 6 500 spécimens, et dressant ainsi une cartographie de la répartition des gastéropodes en lien avec les habitats naturels des oueds. En parallèle, des études paléoécologiques complémentaires (**ex. Padgett et al. 2019**) ont utilisé les coquilles d'escargots comme

archives environnementales pour reconstituer les variations climatiques et culturelles de l'Holocène, notamment en Tunisie et en Libye. Ces travaux attestent d'une approche de plus en plus intégrée dans la recherche malacologique nord-africaine, combinant inventaire taxonomique, analyse écologique et outils géochronologiques pour mieux comprendre la biodiversité et les dynamiques des écosystèmes terrestres.

Dans l'enquête menée par **Zaidi et al. (2021)** dans la région de Skikda, des données ont été recueillies auprès de trois stations avec des sols contrastés. Huit espèces provenant de quatre familles ont été enregistrées. L'espèce *Cornu aspersum* était l'espèce la plus abondante, représentant entre 38 % et 56 % des individus capturés sur les différents sites. La plus grande diversité spécifique et abondance ont été enregistrées à El-Hadaiek, un site avec des sols à haute teneur en matière organique et rétention d'humidité, tandis que la station d'Azzaba a montré les plus faibles densités. L'ANOVA et l'analyse de corrélation de Pearson ont montré des relations significatives entre l'abondance des escargots et certaines propriétés physico-chimiques des sols, telles que l'humidité et la teneur en matière organique. En revanche, le pH et le calcium (Ca) n'ont pas eu d'influence significative. Ces résultats soulignent l'importance des paramètres édaphiques dans l'explication de la structure des communautés malacologiques.

Dans l'étude de **Ramdini et al. (2021)** menée dans la région de Tizi-Ouzou, les escargots ont été collectés dans des sites ruraux et montagneux, révélant la présence de 22 espèces terrestres réparties en six familles, principalement *Helicidae* et *Subulinidae*. Il a été constaté que les zones soumises à des pressions anthropiques (pâturage intensif, déforestation) présentaient une nette diminution de la diversité. Certaines espèces rares ont même disparu localement. L'espèce *Massylaea vermiculata* dominait dans les milieux perturbés, traduisant sa tolérance aux altérations environnementales, tandis que *Eobania vermiculata* et *Rumina decollata* étaient plus fréquentes dans des habitats semi-naturels.

L'étude de **Sadouk et al. (2023)**, quant à elle, a porté sur les régions de Bouira et Tizi-Ouzou, en considérant trois niveaux d'altitude : bas, moyen et élevé. Un total de 5 111 individus, appartenant à 29 espèces, a été collecté. La répartition était inégale : 21 espèces dans les zones basses, 18 en moyenne altitude, et seulement 10 en altitude élevée. Les résultats ont montré une décroissance progressive de la diversité avec l'altitude, en lien avec la baisse des températures et la rareté du couvert végétal. Les densités les plus élevées (nombre escargots/m²) ont été observées dans les zones humides et riches en matière

organique. L'étude a également signalé, pour la première fois dans la région, la présence de *Leiostyla anglica*, suggérant un élargissement de son aire biogéographique vers le sud.

Dans une autre étude de **Ramdini et al. (2021)** centrée sur les wilayas d'Alger et de Boumerdès, 30 espèces d'escargots ont été recensées à travers des environnements urbains, ruraux et montagneux. Les zones rurales et montagnardes affichaient les indices de diversité les plus élevés (Shannon, Simpson), contrairement aux milieux urbains, dominés par un petit nombre d'espèces tolérantes à la pollution comme *Cochlicella acuta*. L'étude a également révélé une variabilité saisonnière marquée : les densités maximales ont été enregistrées au printemps et en automne, tandis qu'elles diminuaient fortement en été à cause de la sécheresse.

Sur la côte ouest, **Meziane et al. (2020)** ont réalisé un inventaire approfondi entre 2015 et 2019 pour 18 stations côtières. Ils ont identifié 28 espèces de mollusques, dont la plupart sont marines. Cependant, certaines espèces de zone de transition comme *Melampus* et *Truncatella* ont été trouvées dans des habitats d'eau saumâtre, qui sont un mélange d'océan et de terre, ce qui est prometteur pour la recherche sur les interfaces écologiques.

Finalement, L'étude de **Hamidi et al. (2024)**, examine la variabilité morphologique et la distribution spatiale des gastéropodes terrestres en relation avec le stress thermique. Entre novembre 2022 et juin 2023, l'équipe a mesuré quatre caractères quantitatifs (taille de la coquille, poids vif) et deux caractères qualitatifs (couleur de la coquille et de la chair) chez 211 escargots adultes provenant de quatre provinces algériennes aux climats contrastés. Des analyses statistiques (LS-means, modèles linéaires généralisés) ont révélé des variations significatives de ces traits entre zones phytogéographiques ($P < 0,05$). De plus, l'analyse de covariance a mis en évidence l'influence du mois d'échantillonnage sur le poids corporel, confirmant un effet du stress thermique. Un résultat notable est la taille réduite des coquilles et un poids inférieur observés chez les individus de la province d'Aïn Témouchent. Ces données apportent de nouveaux éléments attestant de l'existence d'une adaptabilité régionale des escargots terrestres aux conditions climatiques, et soulignent la nécessité d'approfondir la compréhension de cette biodiversité morphologique et de ses déterminants environnementaux.

Ce panorama révèle que les recherches en Afrique du Nord évoluent vers des approches plus holistiques, mêlant écologie contemporaine, bio-indication, et analyse paléoenvironnementale. Le défi pour l'avenir réside dans la standardisation des protocoles,

l’expansion des zones d’étude et le renforcement des bases de données génétiques et isotopiques pour soutenir la conservation et la gestion des écosystèmes terrestres.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

"La recherche comporte et comportera toujours une part importante d'activité créatrice."

Pierre Joliot

Ce travail a permis d'explorer les gastéropodes terrestres selon une approche multidimensionnelle, intégrant des études écologiques, anatomiques, génétiques, écotoxicologiques et morphométriques, appliquées à des milieux contrastés tels que les zones humides et arides. L'objectif principal était de mieux comprendre la sensibilité environnementale de ces organismes et leur rôle bioindicateur dans des écosystèmes en mutation. L'analyse a d'abord souligné l'importance de la biodiversité, tant sur les plans écologique qu'économique, en insistant sur les fonctions écosystémiques essentielles remplies par les escargots, notamment dans le recyclage de la matière organique et l'entretien de la fertilité des sols. L'étude anatomique des différents systèmes biologiques (digestif, nerveux, reproducteur, etc.) a permis de mettre en lumière leurs capacités d'adaptation aux conditions environnementales.

Sur le plan écologique, l'attention s'est portée sur les facteurs influençant la répartition des escargots terrestres : climat, structure du sol, densité végétale, perturbations anthropiques, ainsi que les gradients altitudinaux. Ces paramètres ont montré un effet déterminant sur la diversité spécifique et la structuration des communautés malacologiques. Les données ont également confirmé la vulnérabilité de ces mollusques face à la pollution environnementale. Leur capacité à accumuler des polluants, notamment les métaux lourds, dans leurs tissus en fait d'excellents bioaccumulateurs et bioindicateurs pour l'évaluation de la qualité des sols et des habitats.

L'analyse morphométrique géométrique, quant à elle, a démontré son efficacité dans la détection de modifications subtiles de la forme des coquilles, permettant de différencier les espèces sœurs, de caractériser le dimorphisme sexuel, et d'identifier des cas de diversité cryptique grâce à l'utilisation de logiciels spécialisés.

Sur le plan génétique, l'étude a révélé des différenciations importantes entre populations provenant de milieux arides et humides, montrant l'influence de l'isolement géographique et des conditions climatiques sur la structuration génétique et les trajectoires évolutives de ces espèces.

Malgré les avancées, la malacofaune terrestre algérienne reste sous-étudiée, en particulier du point de vue génétique. Le manque de bases de données locales, associé à une

dépendance excessive aux critères taxonomiques européens, nuit à la fiabilité des classifications. Le développement de programmes nationaux de référence et d'initiatives de révision taxonomique apparaît donc indispensable.

En somme, les escargots terrestres représentent un modèle biologique de grande valeur pour l'étude des interactions entre les organismes et leur environnement. Leur importance écologique, leur rôle dans les chaînes trophiques, leur utilité comme bioindicateurs, ainsi que l'accessibilité des méthodes de collecte et d'analyse, font de ce champ d'étude un domaine prometteur tant pour la recherche fondamentale que pour les applications agricoles et pédagogiques.

Les perspectives de ce travail s'articulent autour de plusieurs axes prioritaires. Il serait d'abord pertinent d'élargir les inventaires malacologiques à d'autres régions du territoire national, en particulier les zones à tendance aride encore peu explorées, afin d'établir une cartographie plus complète de la diversité et de la répartition des gastéropodes terrestres. Parallèlement, un approfondissement des recherches biologiques et moléculaires s'impose, en recourant aux outils de la phylogénie et de la génétique évolutive, pour mieux comprendre la variabilité intraspécifique et les trajectoires évolutives des espèces identifiées. Enfin, la mise en place d'un cadre réglementaire encadrant la collecte, l'étude et l'exploitation de ces mollusques apparaît essentielle pour assurer la conservation durable de la biodiversité locale et la préservation des écosystèmes naturels.

Références bibliographiques

*"La majorité des chercheurs ayant existé dans l'histoire
sont actuellement en activité."*

Pierre Joliot

Abd, Ahmed Hussein & Ghulam, Esraa Nasser, 2024. “Reproduction and Follow-up of Embryonic Development of *Achatina fulica*.” Journal of Advances in Biology & Biotechnology, vol. 27, no. 8, pp. 703–707, DOI: 10.9734/jabb/2024/v27i81187

Abed, M., Issa, M., El-Bakhshawngia, M. (2025). Seasonal variations in abundance and distribution of *Theba pisana* (Müller) snail on different citrus varieties in Sharkia Governorate, Egypt. Egyptian Journal of Agricultural Research, 103(1), 52-59. DOI: 10.21608/ejar.2025.353311.1633

Adewale, C. I. (2022). Economic analysis of snail production and its contribution to food security of farming households in Nigeria. Agricultura Tropica Et Subtropica, 55(1), 159–168. <https://doi.org/10.2478/ATS-2022-0017>

Adjanohoun, E. J. (1995). La biodiversité tropicale face au développement des industries pharmaceutiques. Pharmacie et Médecine Traditionnelle Africaine, numéro 1995, pp. 3–18.

Albesa, J., & Neubauer, T. A. (2023). Shifting shell morphology in a Late Miocene–Pliocene land snail species lineage (Gastropoda: Stylommatophora: Spiraxidae), with the description of a new species. Geodiversitas, 45(21), 643–657.

Almeida, M., de Oliveira, R., Olmes, L., Semaan, G., de Oliveira, D., Santos, L., & Bedo, M. (2021). HELIX: A data-driven characterization of Brazilian land snails. In Anais do XXXVI Simpósio Brasileiro de Bancos de Dados, (pp. 319-324). Porto Alegre: SBC. doi:10.5753/sbbd.2021.17892.

Alogna, A., Liboni, A., & Rizzo, R. (2025). Evaluation of Biological Properties and Beneficial Effects for a Sustainable and Conscious Exploitation of *Achatina fulica* Snails. Biology, 14(2), 190. <https://doi.org/10.3390/biology14020190>

Amr, Z. S., Najajreh, M. H., Zawahrah, M., Neubert, E., Handal, E. N., Abu Baker, M. A., & Qumsiyeh, M. B. (2018). Diversity and ecology of the land snails of the Palestinian Territories of the West Bank. Zoology and Ecology, 28(1), 25–35. <https://doi.org/10.1080/21658005.2017.1419107>

Banla, N. R., Niba, A. T., Tuncha, P., & Guiekep, N. A. J. (2022). Factors affecting the hatchability of snail eggs (*Archachatina marginata*) in the Western Highlands of Cameroon. International Journal of Livestock Production, 13(3), 56–65. <https://doi.org/10.5897/IJLP2021.0785>

Baroudi, F., Al Alam, J., Fajloun, Z., & Millet, M. (2020). Snails as sentinel organisms for monitoring environmental pollution: a review. Ecological Indicators, 113, 106240. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106240>

Barroso, C. X., Domaneschi, O., & Passos, F. D. (2016). *Septibranchia* (Mollusca: Bivalvia) from the north and northeast coasts of Brazil. Marine Biodiversity Records, 9, 65. <https://doi.org/10.1186/s41200-016-0068-y>

Baudry, T., Millet, L., Jarne, P., David, P., & Grandjean, F. (2024). Multiple invasions and predation: The impact of the crayfish *Cherax quadricarinatus* on invasive and native snails. *Ecology and Evolution*, 14, e11191. <https://doi.org/10.1002/ece3.11191>

Baurand, P.-E. (2014). Embryotoxicité de contaminants métalliques et organiques chez l'escargot *Helix aspersa* (Thèse de doctorat, Université de Franche-Comté, Besançon). Laboratoire Chrono-Environnement. <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01227992>

Belhiouani, H., El-Hadef El-Okki, M., Afri-Mehennaoui, F. Z., & Sahli, L. (2019). Terrestrial gastropod diversity, distribution and abundance in areas with and without anthropogenic disturbances, Northeast Algeria. *Biodiversitas*, 20(1), 243–249. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200128>

Belhocine, A. A., & Zidemal, Y. (2020). Synthèse des travaux antérieurs portant sur la diversité des gastéropodes terrestres dans trois stations de la région de Tizi-Ouzou (Mémoire de Master, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou,).

Bernard Sinclair-Desgagné, 2006 « Analyse économique et préservation de la biodiversité », Économie publique/Public economics [En ligne].
<https://doi.org/10.4000/economiepublique.1703>

Bouaziz-Yahiatene, H., Boudjemaa, M., Colomba, M. S., & Sparacio, I. (2019). Revisited – the species of Tweeting vineyard snails, genus *Cantareus Risso*, 1826 (Stylommatophora, Helicidae, Helicinae, Otalini). *ZooKeys*, 876, 1–26.
<https://doi.org/10.3897/zookeys.876.36472>

Bouchet, P., Rocroi, J.-P., Hausdorf, B., Kaim, A., Kano, Y., Nützel, A., Parkhaev, P., Schrödl, M., & Strong, E. E. (2017). Revised classification, nomenclator and typification of gastropod and monoplacophoran families. *Malacologia*, 61(1–2), 1–526.
<https://doi.org/10.4002/040.061.0201>

Carbone, D., & Faggio, C. (2019). *Helix aspersa* as sentinel of development damage for biomonitoring purpose: A validation study. *Molecular Reproduction and Development*, 86(10), 1283–1291. <https://doi.org/10.1002/mrd.23117>

Cardoso, A. M., Cavalcante, J. J. V., Cantão, M. E., Thompson, C. E., Flatschart, R. B., Glogauer, A., Scapin, S. M. N., Sade, Y. B., Beltrão, P. J. M. S. I., Gerber, A. L., Martins, O. B., Garcia, E. S., de Souza, W., & Vasconcelos, A. T. R. (2012). Metagenomic analysis of the microbiota from the crop of an invasive snail reveals a rich reservoir of novel genes. *PLOS ONE*, 7(11), e48505. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0048505>

Castillo, A., Rodríguez, M. C., Franco, C. M., & Giraldo, A. (2025). The Genetic Diversity of the Invasive Species *Lissachatina fulica* in the Urban Area of Cali, Colombia. *Diversity*, 17(3), 177. <https://doi.org/10.3390/d17030177>

Cazaux-Debat, E. et al (2020). Biodiversité et services écosystémiques. Fondation pour la recherche sur la biodiversité. Consulté sur : <https://www.fondationbiodiversite.fr/biodiversite-et-services-ecosystemiques/>

Cheriti, O. (2022). Utilisation des gastéropodes pulmonés terrestres comme traceurs de la pollution métallique des sols dans le bassin du Kebir Rhumel : de l'inventaire à la bioindication [Thèse de doctorat, Université Frères Mentouri – Constantine 1]. Université Constantine 1.

Cheriti, O., Belhiouani, H., El-Hadef-El-Okki, M., Neubert, E., & Sahli, L. (2021). Inventory of land snails from the Kebir Rhumel basin, northeast of Algeria. *Biodiversity*, 22(3–4), 110–130. <https://doi.org/10.1080/14888386.2021.2003722>

Chowdhury, S., Dubey, V. K., Choudhury, S., Das, A., Jeengar, D., Sujatha, B., Kumar, A., Kumar, N., Semwal, A., & Kumar, V. (2023). Insects as bioindicator: A hidden gem for environmental monitoring. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 1146052. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2023.1146052>

Čiliak, M., Čejka, T., Tej, B. et al. (2024). Species richness patterns and community structure of land snail communities along an urban-rural gradient in river floodplains. *Urban Ecosyst* 27, 953–963. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-01501-1>

Ćirić, J., Ceric, O., Marković, R. et al. (2018). Seasonal distributions of heavy metal concentrations in different snail (*Helix pomatia*) tissues from an urban environment in Serbia. *Environ Sci Pollut Res* 25, 33415–33422. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3295-1>

Collado, G. A., Torres-Díaz, C., Vidal, M. A., & Valladares, M. A. (2023). Genetic Diversity, Morphometric Characterization, and Conservation Reassessment of the Critically Endangered Freshwater Snail, *Heleobia atacamensis*, in the Atacama Saltpan, Northern Chile. *Biology*, 12(6), 791. <https://doi.org/10.3390/biology12060791>

Convention sur la diversité biologique. 1992. Nations Unies. Rio De Janeiro. 32 p.

Cowie, R. H., Gerlach, J. C., Barker, G. M., Brodie, G. D., Christensen, C. C., Collins, T. M., Coote, T., Fiedler, G. C., Florens, F. B. V., Griffiths, O. L., Hayes, K. A., Kim, J., Meyer, J.-Y., Meyer III, W. M., Richling, I., Slapcinsky, J. D., Winsor, L., & Yeung, N. W. (2021). Negative impacts of invasive predators used as biological control agents against the pest snail *Lissachatina fulica*: the snail *Euglandina 'rosea'* and the flatworm *Platydemus manokwari*. *Biological Invasions*, 23(4), 997–1031. <https://doi.org/10.1007/s10530-020-02436-w>

Cretini, C. P., & Galloway, K. A. (2024). Acidic apple snails: Effects of climate change on the mechanical properties of an invasive gastropod. *Integrative and Comparative Biology*, 64(2), 270–278. <https://doi.org/10.1093/icb/icae013>

Dallinger, R. (2024). Metals and metallothionein evolution in snails: a contribution to the concept of metal-specific functionality from an animal model group. *Biometals* 37, 671–696.<https://doi.org/10.1007/s10534-024-00584-3>

DeLong, D. C. (1996). Defining Biodiversity. *Wildlife Society Bulletin (1973-2006)*, 24(4), 738–749. <http://www.jstor.org/stable/3783168>

Díaz, S et al (2019). Résumé à l'intention des décideurs du rapport d'évaluation mondiale sur la biodiversité et les services écosystémiques. Plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (56 p.) (IPBES). <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>

Douafer, L., Zaidi, N. & Soltani, N. (2020). Seasonal variation of biomarker responses in *Cantareus aspersus* and physic-chemical properties of soils from Northeast Algeria. *Environ Sci Pollut Res* 27, 24145–24161.<https://doi.org/10.1007/s11356-020-08694-4>

Dozières, A., et al. (2024). Coquilles et Mucus : Guide de terrain des escargots et limaces pour les sciences participatives [Guide en ligne, PDF]. Muséum national d'Histoire naturelle / Noé / Vigie-Nature / QUBS. https://www.qubs.fr/upload/pages/guideescargot_202081005-667d2e7a7998d.pdf

Escobar-Correas, S., Mendoza-Porras, O., Castro-Vázquez, A. J., Vega, I. A., & Colgrave, M. L. (2022). Proteomic analysis of digestive tract peptidases and lipases from the invasive gastropod *Pomacea canaliculata*. *Pest Management Science*, 79(4), 1420–1430. <https://doi.org/10.1002/ps.7311>

Esteves, F. D., Silva, R. G., & Nascimento, L. V. (2025). Seasonal variation and patterns in the land snail community along a fine-scale humidity gradient in an Atlantic Rain Forest remnant, Southeastern Brazil. *Brazilian Journal of Biology*, 85, Article e25912.<https://doi.org/10.1590/1519-6984.287884>

Ezzine, I. K., Dimassi, N., Pfarrer, B., Said, K., & Neubert, E. (2018). New records of the endemic Sicilian land snail species *Marmorana* (*Murella*) *muralis* (O. F. Müller, 1774) from the north of Tunisia (Pulmonata, Gastropoda). *ZooKeys*, 775, 101–120. <https://doi.org/10.3897/zookeys.775.25284>

Ezzine, I. K., Pfarrer, B., Dimassi, N., Said, K., & Neubert, E. (2017). At home at least: the taxonomic position of some north African *Xerocrassa* species (Pulmonata,). *ZooKeys*, (712), 1–27. <https://doi.org/10.3897/zookeys.712.13066>

Fodor, I., Hussein, A. A., Benjamin, P. R., Koene, J. M., Pirger, Z., & Kemenes, G. (2020). The unlimited potential of the great pond snail *Lymnaea stagnalis*. *eLife*, 9, e56962. <https://doi.org/10.7554/eLife.56962>

Garces-Restrepo, M. F., Vega, M. E. de la, & Giraldo, A. (2025). Impact of urban habitat structure and weather variables on reproduction of giant African snail (Lissachatina

fulica). Journal of Animal Behaviour and Biometeorology, 13(2), 2025013. <https://doi.org/10.31893/jabb.2025013>

Ghannem, S., Bacha, O., Fkiri, S., Kanzari, S., Aydi, A., & Touaylia, S. (2024). Soil and Sediment Organisms as Bioindicators of Pollution. Ecologies, 5(4), 679-696. <https://doi.org/10.3390/ecologies5040040>

Gheoca, V., Benedek, A.M. & Schneider, E.(2023). Taxonomic and functional diversity of land snails reflects habitat complexity in riparian forests. Sci Rep 13, 9808 <https://doi.org/10.1038/s41598-023-36896-6>

Glidden, C.K., Singleton, A.L., Chamberlin, A. et al. (2024), Climate and urbanization drive changes in the habitat suitability of Schistosoma mansoni competent snails in Brazil. Nat Commun 15, 4838. <https://doi.org/10.1038/s41467-024-48335-9>

Gretgrix, L. J., Decker, O., Green, P. T., Köhler, F., Moussalli, A., & Murphy, N. P. (2023). Genetic diversity of a short-ranged endemic terrestrial snail. Ecology and evolution, 13(11), e10785. <https://doi.org/10.1002/ece3.10785>

Greve, C., Haase, M., Hutterer, R., Rödder, D., Ihlow, F., & Misof, B. (2017). Snails in the desert: Species diversification of *Theba* (Gastropoda: Helicidae) along the Atlantic coast of NW Africa. Ecology and evolution, 7(14), 5524–5538. <https://doi.org/10.1002/ece3.3138>

Guennoun, F. Z., Mostakim, L., & Ghamizi, M. (2023). Biodiversity assessment of terrestrial snails of Essaouira dunes of Morocco: testing factors affecting the distribution of terrestrial molluscs. Applied Ecology and Environmental Research, 21(3), 1957–1978.http://www.aloki.hu/pdf/2103_19571978.pdf

Guessasma, Z., Khaldi, F., Grara, N., Agouni, M., Sleimi, N., & Benslama, M. (2020). Assessment of trace metallic elements soil contamination in some Northeastern Algerian biotopes by using the terrestrial snail *Helix aspersa*. Studia Universitatis Vasile Goldiș, Seria Științele Vieții (Life Sciences Series), 30(2), 55–63. <https://www.researchgate.net/publication/344848996>

Guessasma, Z., Khaldi, F., Grara, N., Agouni, M., Sleimi, N., & Benslama, M. (2020). Assessment of heavy metal soil contamination in some Northeastern Algerian biotopes by using the terrestrial snail, *Helix aspersa*. Studia Universitatis “Vasile Goldiș”, Life Sciences Series, 30(3), 76–85.

Gumpenberger, M., Schmidt-Ukaj, S., & Handschuh, S. (2023). Comparative diagnostic imaging in giant African land snails (*Achatinidae*). Frontiers in Veterinary Science, 10, Article 1223784.<https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1223784>

Habib et al., U. (2023). Biological Indicators for Pollution Detection Using Two Freshwater Snails, *Biomphalaria alexandrina* and *Lanistes carinatus* in Egypt. Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries, 27(6), 525-541. doi: 10.21608/ejabf.2023.329314

Hobbs, C.S., Vega, R., Rahman, F. et al. (2021). Population genetics and geometric morphometrics of the freshwater snail *Segmentina nitida* reveal cryptic sympatric species of conservation value in Europe. *Conserv Genet* 22, 855–871.<https://doi.org/10.1007/s10592-021-01369-8>

Ierusalimsky, V.N., Roshchin, M.V. & Balaban, P.M.(2020). Immediate-Early Genes Detection in the CNS of Terrestrial Snail. *Cell Mol Neurobiol* 40, 1395–140.<https://doi.org/10.1007/s10571-020-00825-2>

Jann E. Vendetti, Cedric Lee, and Pat LaFollette (2018). "Five New Records of Introduced Terrestrial Gastropods in Southern California Discovered by Citizen Science," *American Malacological Bulletin* 36(2), 232-247.

Kiss, Tibor. (2017). Do terrestrial gastropods use olfactory cues to locate and select food actively?. *Invertebrate Neuroscience*. 17. 10.1007/s10158-017-0202-2.

Klingenberg, C.P. (2016). Size, shape, and form: concepts of allometry in geometric morphometrics. *Dev Genes Evol* 226, 113–137.<https://doi.org/10.1007/s00427-016-0539-2>

L., HAMIDI & A., RAYEH & Abdelkader, Ameur Ameur & Gaouar, Semir Bechir Suheil &I., DICH. (2024). Heat stress and new evidence on land snails' biodiversity in Algeria. 10.46325/gabj.v8i1.389.

Lawrie, A.D., Chaplin, J., Rahman, M. et al. (2025). Insights into the recent evolutionary history of salt lake gastropods (*Coxiella*) in Australia. *Hydrobiologia* 852, 3309–3325.<https://doi.org/10.1007/s10750-025-05813-5>

Lipińska,A.M., Książkiewicz, Z., Ćmiel, A. M., Hnatyna, O., Laskowska, P.,& Halabowsk i, D. (2025). Winter activity and dormancy of snails: Freezing and food shortage avoidance strategy facing snow-cover shortage. *Animals*, 15(3), 348. <https://doi.org/10.3390/ani15030348>

Lobov, A. A, Babkina, I. Y, Danilov, L. G, Masharskiy, A. E, Predeus, A. V, Mikhailova, N. A, Granovitch, A. I, & Maltseva, A. L. (2021). Species-specific proteins in the oviducts of snail sibling species: Proteotranscriptomic study of *Littorina fabalis* and *L. obtusata*. *Biology*, 10(11), Article 1087. <https://doi.org/10.3390/biology10111087>

López B, Mejía O, Zúñiga G. (2020). The effect of landscape on functional connectivity and shell shape in the land snail *Humboldtiana durangoensis*. *PeerJ* 8:e9177.<https://doi.org/10.7717/peerj.9177>

Louzon, M., de Vaufleury, A., & Capelli, N. (2023). Ecogenotoxicity assessment with land snails: A mini-review. *Mutation Research – Reviews in Mutation Research*, 792, 108472. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2023.108472>

Madeira, P. M., Chefaoui, R. M., Cunha, R. L., Moreira, F., Dias, S., Calado, G., & Castilho, R. (2017). High unexpected genetic diversity of a narrow endemic terrestrial mollusc. *PeerJ*, 5, e3069. <https://doi.org/10.7717/peerj.3069>

Mahmutović, H., Marković, R., Janjić, J., Glamoclija, N., Baltic, B., Katanić, N., & Ćirić, J. (2018). Concentration of arsenic and heavy metals in snail tissues. *Meat Technology*, 59(2), 75–79. <https://doi.org/10.18485/meattech.2018.59.2.1>

Martínez-De León, G., Dani, L., Hayoz-Andrey, A. et al.(2022). Mid- and long-term responses of land snail communities to the intensification of mountain hay meadows management. *BMC Ecol Evo* 22, 19.<https://doi.org/10.1186/s12862-022-01972-4>

Maté-González, M. Á., Estaca-Gómez, V., Aramendi, J., Sáez Blázquez, C., Rodríguez-Hernández, J., Yravedra Sainz de los Terreros, J., Ruiz-Zapatero, G., & Álvarez-Sanchís, J. R. (2023). Geometric Morphometrics and Machine Learning Models Applied to the Study of Late Iron Age Cut Marks from Central Spain. *Applied Sciences*, 13(6), 3967. <https://doi.org/10.3390/app13063967>

Megersa, B., Hussein, B., Shemsu, J. et al. (2024). Trematode infection in ruminants and diversity of snail hosts across three agro-ecological zones in Ethiopia. *BMC Vet Res* 20, 197.<https://doi.org/10.1186/s12917-024-04049-0>

Meziane, K., Kerfouf, A., & Baaloudj, A. (2020). Checklist of gastropod molluscs in west coast of Algeria. *International Journal of Aquatic Biology*, 8(3), 213–220. http://ij-aquaticbiology.com/article_114594.html

Miranda, M. J. (2020). Anatomy and shell shape variability in a land snail *Bostryx torallyi* (Stylommatophora: Bulimulidae). *Revista de Biología Tropical*, 68(1), 218–229.<https://www.redalyc.org/journal/449/44965893017/html/?utm>

Miyata, Y., Nakatsubo, T.(2024). Temperature dependence of feeding activity in the invasive freshwater snail *Pomacea canaliculata*: implications for its response to climate warming. *Landscape Ecol Eng* 20, 589–594.<https://doi.org/10.1007/s11355-024-00619-4>

Mleiki, A., Marigómez, I. & El Menif, N.T.(2017). Green garden snail, *Cantareus apertus*, as biomonitor and sentinel for integrative metal pollution assessment in roadside soils. *Environ Sci Pollut Res* 24, 24644–24656. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0091-2>

Mohammadi, S., & Ahmadzadeh, F. (2024). Revealing hidden diversity and community dynamics of land snails through DNA barcoding: implications for conservation and ecological studies. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 12, Article 1329581. <https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1329581>

Molnar, M., Olmsted, P., Mitchell, M., Raudsepp-Hearne, C., & Anielski, M. (2021). Ecosystem Services (Chap. 5). Dans F. J. Warren & N. Lulham (Éds.), *Canada in a Changing Climate: National Issues Report* (p. 277–356). Government of Canada. Consulté sur :https://changingclimate.ca/site/assets/uploads/sites/3/2020/05/Chapter-5_Ecosystem-Services_Final_EN-1.pdf

Molnár, V. É, Tőzsér, D., Szabó, S., Tóthmérész, B., & Simon, E. (2020). Use of Leaves as Bioindicator to Assess Air Pollution Based on Composite Proxy Measure (APTI), Dust

Amount and Elemental Concentration of Metals. Plants, 9(12), 1743. <https://doi.org/10.3390/plants9121743>

Mudavanhu, A., Schols, R., Goossens, E. et al. (2024). One Health monitoring reveals invasive freshwater snail species, new records, and undescribed parasite diversity in Zimbabwe. Parasites Vectors 17, 234. <https://doi.org/10.1186/s13071-024-06307-4>

Mulcahy, M. (2021). Biodiversity, Food Chains and Food Webs. Missionary Sisters of Our Lady of Apostles.

Murgia, G., Coroneo, V., Zuddas, C., Pani, S. M., & Cogoni, M. P. (2024). Garden Snail Predatory Insects' Modus Operandi Under Laboratory Conditions. Insects, 15(11), 865. <https://doi.org/10.3390/insects15110865>

Nadji S., Boulkenafet F., Benzazia S., Mellah L., Bououza F., Al-Mekhlafi F.A., Al-Khalifa M.S., Lambiase S. (2024). Comprehensive Assessment of Lead Bioaccumulation in *Helix aspersa* (Muller, 1774), Snails: A Study of Histopathological and Biochemical Impacts . Indian Journal of Animal Research. 58(10): 1706-1712. doi: 10.18805/IJAR.BF-1740.

Ndebele, D. (2023). Trace metal levels and oxidative stress biomarkers in land snails (*Achatina fulica*) exposed to soils from a coal mining area in Zimbabwe. International Journal of Plant Biology & Mycology, 9(4), Article 035.

Nimbs, M. J., Champion, C., Lobos, S. E., Malcolm, H. A., Miller, A. D., Seinor, K., Smith, S. D. A., Knott, N., Wheeler, D., & Coleman, M. A. (2023). Genomic analyses indicate resilience of a commercially and culturally important marine gastropod snail to climate change. PeerJ, 11, e16498. <https://doi.org/10.7717/peerj.16498>

Nouasria, D. (2022). Étude De La Biodiversité Floristique De La Région De Guelma [Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar - Annaba].

Ortega, R. C. M. H., Padasas, C. S., Alsonado, G. P., Eza, N. D., Taotao, A. U., & Torres, M. A. (2022). Evolutionary perspectives for analyzing shell shape changes in golden apple snail (*Pomacea canaliculata*) using landmark-based geometric morphometrics. International Journal of Biosciences, 21(1), 102–114.

Padgett, A., Yanes, Y., Lubell, D., & Faber, M. L. (2019). Holocene cultural and climate shifts in NW Africa as inferred from stable isotopes of archeological land snail shells. The Holocene, 29(6), 1078-1093. <https://doi.org/10.1177/0959683619831424> (Original work published 2019).

Pathak, C.R., Luitel, H., Utaaker, K.S. et al. (2023). One-health approach on the future application of snails: a focus on snail-transmitted parasitic diseases. Parasitol Res 123, 28.<https://doi.org/10.1007/s00436-023-08021-z>

Paul, P., Karmakar, R., Chatterjee, S., Barua, A., Banerjee, S., & Aditya, G. (2021). Predation of *Glossiphonia weberi* (Blanchard, 1897) on the Invasive Snail *Physella acuta*

(Draparnaud, 1805) in the Presence of an Alternative Prey. Limnological Review, 21(4), 201-208. <https://doi.org/10.2478/limre-2021-0019>

Phung C, Choo M, Liew T. (2022). Sexual dimorphism in shell size of the land snail *Leptopoma perlucidum* (Caenogastropoda: Cyclophoridae) PeerJ 10:e13501. <https://doi.org/10.7717/peerj.13501>

Pizá, Julia & Cifola, Lara & Perl, Melisa & Abafatori, Matías & Bonel, Nicolás. (2025). Impact of mating strategies on life-history traits in the alien land snail *Rumina decollata*. 10.1101/2025.01.31.635896.

Pro'kow, M., Kuźnik-Kowalska, E., & Mackiewicz, P. (2016). Phenotypic plasticity can explain evolution of sympatric polymorphism in the hairy snail *Trochulus hispidus* (Linnaeus, 1758). Current Zoology, 63(4), 389–402. <https://doi.org/10.1093/cz/zow082>

Ramdini, R., Fathey, R., Sadouk, G., & Medjdoub-Bensaad, F. (2021). Diversity of terrestrial gastropods in Kabylia region (Tizi-Ouzou, Northern Algeria). Folia Malacologica, 29(4), 212–221. <https://doi.org/10.12657/folmal.029.025>

Ramdini, R., Bouaziz-Yahiatene, H., & Medjdoub-Bensaad, F. (2021). Diversity of terrestrial gastropods in central-northern Algeria (Algiers and Boumerdes). Folia Conchyliologica, 60, 25–33.

Rodriguez, C., Campoy-Diaz, A. D, & Giraud-Billoud, M. (2023). Short-term estivation and hibernation induce changes in the blood and circulating hemocytes of the apple snail *Pomacea canaliculata*. Metabolites, 13(2), 289. <https://doi.org/10.3390/metabo13020289>

Sadouk, G., Ramdini, R., Ferroudja, M.-B., & Bouaziz-Yahiatene, H. (2023). Diversity and ecology of terrestrial gastropods of the Kabylia region (northern Algeria). Ekológia (Bratislava), 42(3), 248–256. <https://doi.org/10.2478/EKO-2023-0028>

Sahraoui, A.S., Verweij, R.A., Belhiouani, H. et al. (2021). Dose-dependent effects of lead and cadmium and the influence of soil properties on their uptake by *Helix aspersa*: an ecotoxicity test approach. Ecotoxicology 30, 331–342 <https://doi.org/10.1007/s10646-020-02331-z>

Salih, A. H. S. H., Hama, A. A., Hawrami, K. A. M., & Ditta, A. (2021). The Land Snail, *Eobania vermiculata*, as a Bioindicator of the Heavy Metal Pollution in the Urban Areas of Sulaimani, Iraq. Sustainability, 13(24), 13719. <https://doi.org/10.3390/su132413719>

Salmani, Y., Shen, Z., & Wang, H. (2024). From habitat decline to collapse: A spatially explicit approach connecting habitat degradation to destruction, 29 p (arXiv:2403.11200v2). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2403.11200>

Salvador, R. B.,& Tomotani, B. M. (2024). Clocks at a snail pace: biological rhythms in terrestrial gastropods. PeerJ, 12, e18318. <https://doi.org/10.7717/peerj.18318>

Savoca, M. S., Abreo, N. A., Arias, A. H., Baes, L., Baini, M., Bergami, E., Santos, R. G. (2024). Monitoring plastic pollution using bioindicators: a global review and recommendations for marine environments. *Environmental Science: Advances*, 4, 10–32. <https://doi.org/10.1039/D4VA00174E48>

Schmidt-Ukaj, S., Gumpenberger, M., Mutschmann, F., & Richter, B. (2023). Case report: Four cases of kidney disease in Giant African Land Snails (*Lissachatina fulica*). *Frontiers in Veterinary Science*, 10, 1152281. <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1152281>

Schweizer, M., Triebeskorn, R., & Köhler, H.-R. (2019). Snails in the sun: Strategies of terrestrial gastropods to cope with hot and dry conditions. *Ecology and Evolution*, 9(22), 12940–12960. <https://doi.org/10.1002/ece3.5607>

Shen, H., Bao, R., Li, C., Sheng, X., Wu, M., Xu, Y., Tan, H., & Li, Y. (2025). Land snail shell morphology as a new Paleomonsoon proxy. *Scientific Reports*, 15(1), 9749. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-91903-2>

Souza, S. M. A. da R., Matthews-Cascon, H., & Couto, E. da C. G. (2020). Taxonomic and functional diversity of mollusk assemblages in a tropical rocky intertidal zone. *Iheringia, Série Zoologia*, 110, e2020027, 1–10. <https://doi.org/10.1590/1678-4766e2020027>

Stievenart, Corinne & Hardouin, J. (1990). Manuel d'élevage des escargots géants africains sous les tropiques. Technical Centre for Agricultural and Rural Cooperation, 38 p. ACP-EEC Ed. (Wageningen, the Netherlands).

Taylor, M. L., & Roterman, C. N. (2017). Invertebrate population genetics across Earth's largest habitat: The deep-sea floor. *Molecular ecology*, 26(19), 4872–4896. <https://doi.org/10.1111/mec.14237>

Teles, W. S., Silva, D. P., Vilela, B., Lima-Junior, D. P., Pires-Oliveira, J. C., & Miranda, M. S. (2022). How will the distributions of native and invasive species be affected by climate change? Insights from Giant South American land snails. *Diversity*, 14(6), 467. <https://doi.org/10.3390/d14060467>

Turki, F., Ben Younes, R., Sakly, M. et al. (2022). Effect of silver nanoparticles on gene transcription of land snail *Helix aspersa*. *Sci Rep* 12, 2078. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06090-1>

Tybinka, A. M., Zaitsev, O. O., Zakrevska, M. V., Blishch, H. I., Shchebentovska, O. M. (2020). Morphometry Of The Digestive Gland Of Terrestrial Mollusks *Cornu Aspersum* (Gastropoda, Helicidae). *Zoodiversity* 54 (1): 75-88, DOI: 10.15407/zoo2020.01.075, URL: <http://dx.doi.org/10.15407/zoo2020.01.075>

UICN, 2008. Lignes directrices pour l'application des catégories de gestion aux aires protégées. Nigel Dudley Ed. Gland. Suisse. 116 p.

Van der Deure, T., Maes, T., Huyse, T., & Stensgaard, A.-S. (2024). Climate change could fuel urinary schistosomiasis transmission in Africa and Europe. *Global Change Biology*, 30(8), 1–12. <https://doi.org/10.1111/gcb.174340>

Vermeij, G. J.,& Watson-Zink, V. M. (2022). Terrestrialization in gastropods: *Lineages*, ecological constraints and comparisons with other animals. *Biological Journal of the Linnean Society*, 136(3), 393–404. <https://doi.org/10.1093/biolinnean/blac053>

Vinarski, M. V., Aksanova, O. V., Bespalaya, Y. V., Gofarov, M. Y., Kondakov, A. V., Khrebtova, I. S., Makhrov, A. A., & Bolotov, I. N. (2023). How an Ecological Race Is Forming: Morphological and Genetic Disparity among Thermal and Non-Thermal Populations of Aquatic Lymnaeid Snails (Gastropoda: *Lymnaeidae*). *Diversity*, 15(4), 548. <https://doi.org/10.3390/d15040548>

von Oheimb, Katharina C. M., Albrecht, Christian, von Rintelen, Thomas, Bui, Thanh Vu, Hunyadi, András, & Glaubrecht, Matthias. (2019). Cryptic diversity of limestone karst inhabiting land snails (*Cyclophorus spp.*) in northern Vietnam, their evolutionary history and the description of four new species. *PLOS ONE*, 14(10), e0222163. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222163>

Vranković, J., Janković-Tomanić, M., & Vukov, T. (2020). Comparative assessment of biomarker response to tissue metal concentrations in urban populations of the land snail *Helix pomatia* (Pulmonata: Helicidae). Comparative biochemistry and physiology. Part B, Biochemistry & molecular biology, 245, 110448. <https://doi.org/10.1016/j.cbpb.2020.110448>

Wehner, K., Renker, C., Simons, N.K. et al.(2021). Narrow environmental niches predict land-use responses and vulnerability of land snail assemblages. *BMC Ecol Evo* 21, 15. <https://doi.org/10.1186/s12862-020-01741-1>

Yokomizo, T., Takahashi, Y. (2024). Plasticity of circadian and circatidal rhythms in activity and transcriptomic dynamics in a freshwater snail. *Heredity* 132, 267–274. <https://doi.org/10.1038/s41437-024-00680-7>

Zaidi, N., Douafer, L. & Hamdani, A.(2021). Diversity and abundance of terrestrial gastropods in Skikda region (North-East Algeria): correlation with soil physicochemical factors. *JoBAZ* 82, 41. <https://doi.org/10.1186/s41936-021-00239-6>

Zając, K. S., & Kramarz, P. E. (2017). Terrestrial gastropods – how do they reproduce? *Invertebrate Survival Journal*, 14(1), 199–209. <https://doi.org/10.25431/1824-307X/isj.v14i1.199-209>

Zhang, Y., Li, H.-Z., Breed, M., Tang, Z., Cui, L., Zhu, Y.-G., & Sun, X. (2025). Soil warming increases the active antibiotic resistome in the gut of invasive giant African snails. *Microbiome*, 13, Article 42. <https://doi.org/10.1186/s40168-025-02044-7>

Zhang, Y., Su, J.-Q., Liao, H.-J., Breed, M. F., Yao, H., Shangguan, H., Li, H.-Z., Sun, X., & Zhu, Y.-G. (2023). Increasing Antimicrobial Resistance and Potential Human Bacterial

Pathogens in an Invasive Land Snail Driven by Urbanization. Environmental Science & Technology, 57(18), 7273–7284. <https://doi.org/10.1021/acs.est.3c01233>

Zhao, M., Wang, T., Stewart, M. J., Bose, U., Suwansa-Ard, S., Storey, K. B., & Cummins, S. F. (2018). eSnail: A transcriptome-based molecular resource of the central nervous system for terrestrial gastropods. Molecular Ecology Resources, 18(1), 147–158. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12722>

Zimmermann, M., Luth, K. & Esch, G. (2017). Snail species diversity impacts the infection patterns of *Echinostoma spp.*: Examples from field collected data. Acta Parasitologica, 62(3), 493-501. <https://doi.org/10.1515/ap-2017-0059>

Zylberberg, S. (2021, août 24). Anatomie de l'escargot. JeRetiens.net. <https://jeretiens.net/comment-les-escargots-se-reproduisent-ils/anatomie-de-lescargot/>

Webographie

<http://www.applesnail.net>

Abstract:

This work offers a multidimensional and in-depth synthesis of current knowledge on the biodiversity of terrestrial pulmonate gastropods in Algeria, combining ecological, anatomical, genetic, ecotoxicological, and morphometric approaches. Following an introduction to the theoretical foundations of biodiversity and its ecological and economic significance, the study examines the biological and ecological characteristics of land snails, including anatomy, reproduction, growth, habitat, and activity patterns. Particular attention is given to abiotic factors (climate, soil type, altitude) and biotic factors (interspecific interactions) that influence their diversity, as well as anthropogenic pressures such as pollution, urbanization, and climate change.

Snails are analyzed as sensitive bioindicators capable of bioaccumulating pollutants in their tissues, making them valuable tools for assessing soil quality. The study also explores their role in ecotoxicology through enzymatic markers (CAT, SOD, GST) and behavioral observations. Geometric morphometric analysis, supported by specialized statistical tools (landmarks, PCA, Procrustes analysis, etc.), proved effective in detecting sexual dimorphism, cryptic species, and morphological variability.

In parallel, a genetic approach revealed differentiation between populations from humid and arid environments, highlighting the influence of geographic isolation and climatic conditions on evolutionary structuring. The work also underscores the lack of local, particularly genetic, data and the necessity of developing Algerian-specific databases independent of European taxonomic standards, which are often not representative of the Maghreb context. Finally, the study emphasizes the importance of snails as ecological models with strong potential for scientific research, sustainable agriculture, and environmental education. It recommends expanding malacological inventories at the national level, reinforcing the use of molecular and phylogenetic tools, and establishing a regulatory framework for their sustainable conservation.

ملخص:

يقترح هذا العمل تركيباً متعدد الأبعاد وعميقاً للمعارف الحالية حول التنوع البيولوجي للرخويات البرية في الجزائر، من خلال نقاط مقاربات بيئية وتشريحية وجينية وسمية بيئية ومورفومترية. بعد تقديم للأسس النظرية للتنوع البيولوجي وأهميته البيئية والاقتصادية، تستعرض الدراسة الخصائص البيولوجية والإيكولوجية للرخويات البرية، مثل التشريح، التكاثر، النمو، الموارد، وأنماط النشاط. وقد أولى اهتمام خاص للعوامل غير الحية (مثل المناخ، نوع التربة، والارتفاع) والعامل الحي (مثل التفاعلات بين الأنواع) التي تؤثر على هذا التنوع، إلى جانب الضغوطات البشرية مثل التلوث، التوسيع الحضري، والتغيرات المناخية.

تُحلل الرخويات ككائنات حساسة تستخدم كمؤشرات حيوية قادرة على التراكم الحيوي للملوثات في أنسجتها، مما يجعلها أدوات فعالة لتقدير جودة التربة. كما تستعرض الدراسة دورها في علم السموم البيئية من خلال مؤشرات إنزيمية (CAT, SOD, GST, landmarks)، وملاحظات سلوكية. وتُظهر التحليلات المورفومترية الهندسية، المدعمة بأدوات إحصائية متخصصة، التحليل المكون الرئيسي، تحليل بروكرست، فعاليتها في كشف ثنائية الشكل الجنسي، الأنواع المستترة، والتنوع الشكلي.

في الوقت ذاته، سمحت المقاربة الجينية برصد الفروق بين جماعات تتبع إلى بيئات رطبة وجافة، مما يُبرز تأثير العزلة الجغرافية والظروف المناخية في الهيكلة التطورية. ويسلط هذا العمل الضوء أيضاً على نقص البيانات المحلية، خصوصاً الجينية، وال الحاجة إلى تطوير قواعد بيانات جزائرية مستقلة عن المعايير التصنيفية الأوروبية غير الملائمة للسياق المغاربي. وفي الختام، تُبرز الدراسة أهمية الرخويات كنمذج بيئية ذات إمكانيات عالية في البحث العلمي، الزراعة المستدامة، وال التربية البيئية، مع التوصية بتوسيع الجرد الملاكي على المستوى الوطني، وتعزيز استخدام الأدوات الجزيئية فيليوجينية، ووضع إطار تنظيمي للحفاظ عليها بطريقة مستدامة.

Année universitaire : 2024-2025	Présenté par : Boudiaf Meroua
<u>Intitulé :</u>	
Recueil des connaissances sur la biodiversité des gastéropodes pulmonés terrestre en Algérie.	
Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master en Ecologie Fondamentale et appliquée	
<p>Résumé :</p> <p>Ce travail propose une synthèse multidimensionnelle et approfondie des connaissances actuelles sur la biodiversité des gastéropodes pulmonés terrestres en Algérie, en croisant des approches écologiques, anatomiques, génétiques, écotoxicologiques et morphométriques. Après une introduction aux fondements théoriques de la biodiversité et à ses enjeux écologiques et économiques, l'étude examine les caractéristiques biologiques et écologiques des escargots terrestres : anatomie, reproduction, croissance, habitat et rythmes d'activité. Une attention particulière est portée aux facteurs abiotiques (climat, type de sol, altitude) et biotiques (interactions interspécifiques) influençant leur diversité, ainsi qu'aux pressions anthropiques telles que la pollution, l'urbanisation et les changements climatiques. Les escargots sont analysés en tant que bioindicateurs sensibles, capables de bioaccumuler des polluants dans leurs tissus, ce qui les rend utiles pour l'évaluation de la qualité des sols. L'étude explore également leur rôle en écotoxicologie, à travers des marqueurs enzymatiques (CAT, SOD, GST) et des observations comportementales. L'analyse morphométrique géométrique, appuyée par des outils statistiques spécialisés (landmarks, ACP, Procrusté, etc.), s'est révélée pertinente pour détecter le dimorphisme sexuel, les espèces cryptiques et la variabilité morphologique. Parallèlement, une approche génétique a permis d'observer les différenciations entre populations issues de milieux humides et arides, mettant en évidence l'influence de l'isolement géographique et des conditions climatiques sur la structuration évolutive. Ce travail souligne également le déficit de données locales, notamment génétiques, et la nécessité de développer des bases de données algériennes adaptées, indépendantes des standards taxonomiques européens peu représentatifs du contexte maghrébin. Enfin, cette étude met en lumière l'importance des escargots comme modèles écologiques à fort potentiel pour la recherche scientifique, l'agriculture durable et l'éducation à l'environnement. Elle recommande d'élargir les inventaires malacologiques à l'échelle nationale, de renforcer l'usage des outils moléculaires et phylogénétiques, et d'instaurer un cadre réglementaire pour leur conservation durable.</p>	
Mots-clefs : Biodiversité, Gastéropodes pulmonés, Pollution, Bioindicateur, Algérie.	
Laboratoires de recherche : laboratoire de Biologie et Environnement (LBE) (U Constantine 1 Frères Mentouri).	
Président du jury : Boughaba Rokia (MAA- U Constantine 1 Frères Mentouri).	
Encadrant : Cheriti Oumnya (MCB- U Constantine 1 Frères Mentouri).	
Examinateur(s) : Touati Laid (Prof- U Constantine 1 Frères Mentouri).	

