

Université Abdelhamid Ibn
Badis-Mostaganem
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس
مستغانم
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

ZIDANI Nadir

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN AGRONOMIE

Spécialité: GÉNÉTIQUE ET REPRODUCTION ANIMALE

THÈME

**L'effet de l'épigénétique et les caractères
morphométriques de l'escargot terrestre**

Helix aspersa aspersa

Soutenue publiquement le **08/06/2016**

DEVANT LE JURY

Président	Mr NEBBACHE Salim	MCB U. Mostaganem
Encadreur	Mme FASSIH Aicha	Docteur U. Mostaganem
Examineurs	Mr TAHRI Miloud	MCA U. Mostaganem

Dédicaces

Afin d'être reconnaissant envers ceux qui m'ont appuyé et encouragé à réaliser ce travail de recherche,

*Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect et la reconnaissance à mon épouse **BELAL Asmaa** qui a su m'épauler pendant les moments difficiles de ma vie, d'avoir été patiente et compréhensive, pour aboutir à cet événement marquant dans notre vie commune.*

Ainsi qu'à mes enfants qui font mon bonheur

Mohamed, Djawed et Rayane

*A ma tendre **mère** qui n'a jamais cessé de m'épauler et de me remonter le morale à chaque fois que j'en avais besoin*

*A mon défunt **père** Allah yerhemou*

*A ma cousine **Aicha Fassih** qui a toujours été là pour moi tout au long de mes études universitaires*

*A ma chère sœur **Saliha** et son époux **Fethi** qui n'ont cessé de me soutenir tout au long de ce cycle*

Et à tous ceux que ma réussite leur tient à cœur.

Remerciements

En tout premier lieu, je remercie Allah le **tout puissant, Le voyant 'Le Créateur, L'Omniscient, le Préserveur, le Tout-Clément et Le Très-Miséricordieux** de m'avoir donné la force et le courage pour dépasser toutes les difficultés afin de réaliser ce travail..

Comme le veut la tradition, je vais tenter de satisfaire au difficile exercice de la page de remerciements, peut-être la tâche la plus ardue de ces années de thèse.

Alors mes premiers remerciements vont à **Mme Fassih Aicha**, Directrice de cette thèse qui a su me transmettre avec compétence et pédagogie son enthousiasme pour la recherche. Ses qualités scientifiques mais également humaines ont été pour moi un exemple tout au long de ce parcours scientifique. Sa disponibilité, y compris les week-ends, et sa totale confiance en moi sont pour beaucoup dans la réussite de travail. elle a su très professionnellement concilier ses responsabilités au sein de l'Université Abdelhamid ibn Badis et l'encadrement de mon travail. Son implication scientifique dans la thèse et son expérience des relations humaines et de l'administration ont joué, de manière prépondérante, sur ma manière d'aborder certaines difficultés. Quelle I trouve dans ces quelques mots un témoignage de mon admiration, de mon respect et de mon amitié.

Je tiens à remercier tout particulièrement :

Guettaf Nadir et Mohamed Dalil Khairat pour leur soutien à la réalisation de ce modeste travail, les Professeurs du Département d'agronomie et spécialement les professeurs de ce master celui de génétique et reproduction animale et plus spécialement le PR **Halbouche Miloud** pour son soutien.

Je remercie également mes collègues de ce, master qui m'ont accueilli parmi eux comme quelqu'un qu'ils ont connu depuis toujours.

Je dis à tous les autres Merci

Résumé

Les escargots terrestres de l'espèce *Helixaspersa*, considérés comme bioindicateurs de la pollution du sol, sont utilisés pour vérifier la toxicité des métaux lourds. À cet égard, le début du mois de mai 2016, deux échantillons d'*Helixaspersa*, de cent individus chacun, ont été ramassés au niveau de deux sites.

Le premier *Hassasna* est considéré comme hautement pollué en raison de sa proximité du complexe cimentier de Saïda. Le second *GuerroudjZahzah*, non pollué, est situé à 22 Km dans une zone agricole connue pour ses oliviers, et ses vergers maraichers. Les paramètres morphométriques : largeur et hauteur de la coquille, poids total de l'escargot, poids de la coquille vide et poids de la masse vivante ont été mesurés sur l'ensemble des échantillons.

Les résultats obtenus montrent des différences remarquables respectives entre ces paramètres, avec une croissance plus accentuée au niveau du site *GuerroudjZahzah*.

L'échantillon de ce dernier indique un poids moyen de 15,30 g tandis que celui de *Hassasna* montre 10,60 g. L'application du Test *t* de Student montre des différences hautement significatives entre les variables morphométriques des individus provenant des deux sites ($P < 0,001$). La proximité du site *Hassasna* d'une source de pollution est un facteur limitant la croissance d'*Helixaspersa* ; et c'est là la preuve que l'effet du milieu peut influencer d'une manière directe la croissance des escargots.

C'est l'effet de l'**épigénétique**.

Mots clés : *Helixaspersa*-morphométrie -Biométrie -Croissance -Pollution -épigénétique.

Liste des figures

- Fig. 1 : Petit-Gris vu de haut (BugalloSánchez, 2006) 07
- Fig. 2 : Forme sénestre (à gauche) et dextre (à droite) du Petit-Gris (Descouens, 2012) 06
- Fig. 3 : Le paysage épigénétique de Waddington 09
- Fig. 4 : Les messagers de l'information épigénétique(Lovrecic *et al.* 2013) 11
- Fig. 5 : méthylation de la cytosine 13
- Fig. 6 : Différentes formes de la cytosine(Wojciechowski *et al.* 2014)18
- Fig. 7 : Représentation schématique des modifications d'histones les plus courantes (Wang *et al.* 2008)19
- Fig. 8 : La distribution des modifications des histones à l'échelle du génome, en corrélation avec la transcription des gènes(Barth & Imhof 2010)20
- Fig. 9 : La transition entre les deux états de la chromatine, euchromatine et hétérochromatine24
- Fig. 10 : Escargot Représentation schématique de la variabilité phénotypique selon les modèles théoriques proposés(Pal & Miklos 1999)26
- Fig. 11 : Petit-Gris vu de haut (BugalloSánchez, 2006)31
- Fig. 12 : Petit-Gris adulte bordé (Séquier-Blanc, 2014) 20
- Fig. 13 : Forme sénestre (à gauche) et dextre (à droite) du Petit-Gris (Descouens, 2012)32
- Fig. 14 : Les deux paires de tentacules d'un escargot (Dcschmidt, 2008)35
- Fig. 15 : Schéma en coupe de l'anatomie d'un escargot (Quibik, 2007)37
- Fig. 16 : Schéma de l'anatomie de l'escargot (Cazin, 2014) 38
- Fig. 17 : Orifice respiratoire chez l'escargot (Pol, 2006)38
- Fig. 18 : Ondes de contraction sur la face ventrale des pieds d'escargots (Pol, 2001)40
- Fig. 19 : Partie de la langue râpeuse de l'escargot, la radula, grossie 4000 fois à l'aide d'un microscope électronique à balayage (Sirtin, 2009)42
- Fig. 20 : Schéma du fonctionnement de la radula (Gireaud, 2008)44
- Fig. 21 : Escargot en hibernation avec son épiphragme (Grobe, 2006)45
- Fig. 22 : Hélix *aspersa* avec son épiphragme calcifié45
- Fig. 23 : Petit-Gris adulte bordé (Séquier-Blanc, 2014)46
- Fig. 24 : Stries de croissance de la coquille du Petit-Gris (Uldry, 2012)46
- Fig. 25 : Schéma de l'appareil génital de l'escargot (Guyard, 2009)47
- Fig. 26 : Accouplement de Petits-Gris (Buron-Mousseau, 2014)50
- Fig. 27 : Dard d'amour d'un escargot (Koene et Schulenburg, 2005)51
- Fig. 28 : Schéma d'un Petit-Gris en position de ponte (Piel, 2014)51
- Fig. 29 : Œufs d'escargot (Astrid, 2011)52
- Fig. 30 : Naissains escargots (Bacquet, 2012)53
- Fig. 31 : Bulime tronqué (Aviad, 2013) 54

- Fig. 32 : 32: Bulime tronqué ramassé à *Sidi Amar* 54
- Fig. 33 : Coquilles de Petits-gris (Sakho, 2013) 55
- Fig. 34 : Staphylins (Jeffdelonge, 2006) 61
- Fig. 35 : Khella, ou Noukha (Salguero, 2005) 62
- Fig. 36: Escargots en sauce (Aurita, 2008) 64
- Fig. 37 : Caviar d'escargot (de Jaeger, 2007) 65
- Fig. 38 : *Helix lucorum* (Lankov, 2007) 66
- Fig. 39 : *Helix pomatia* (Zeli, 2010) 66
- Fig. 40 : *H. aspersa* (Gbaiocco, 2009) 66
- Fig. 41 *H. aspersa maxima* (Nicobxl, 2013) 66
- Fig. 42 : *Helix aspersa aspersa* (Rasbak, 2008) 66
- Fig. 43 : Crème à la bave d'escargot (Toja, 2011) 68
- Fig. 44 : Bave d'escargot dans la cosmétique (Bintou, 2014) 69
- Fig. 45 : Situation géographique des sites de Hassasna et GuerroudjZahzah (google earth, 2016) 72
- Fig. 46 : Diagramme climatique de la région de Hassasna 73
- Fig. 47 : Courbe de température à Hassasna (Schwarz, 2014) 74
- Fig. 48 : Diagramme climatique à GuerroudjZahzah (Schwarz, 2014) 75
- Fig. 49 : Courbe de température à GuerroudjZahzah (Schwarz, 2014) 75
- Fig. 50: : Pesée d'un spécimen de Petit-Gris 81
- Fig. 51 : Mensurations de Petits-Gris. 81
- Fig. 52 : Libération du mucus suite à un stimulus avec une pince fine 82
- Fig. 53 : Coupure de la coquille d'*Hélix aspersa aspersa*, 83
- Fig. 54 : Opérations de décoquillage d'*Hélix aspersa aspersa*. 83
- Fig. 55 : Données morphométriques des spécimens d'escargots 94
- Fig. 56 : Moyennes des poids de la taille et des poids relatifs des escargots ramassés à Hassasna 95
- Fig. 57 : **Paramètres pondéraux des escargots du site de GuerroudjZahzah 97**

Liste des tableaux

- Tab. 1 : Comparaison de la méthylation des génomes entre invertébrés et vertébrés 16
- Tab. 2 : récapitulatif des résultats de mesures site Guerroudj Zahzah85
- Tab. 2 (suite 1) : :récapitulatif des résultats de mesures site GuerroudjZahzah 86
- Tab. 2 (suite et fin) : :récapitulatif des résultats de mesures site Guerroudj Zahzah88
- Tab. 3 : Récapitulatif des résultats de mesure à Hassasna 89
- Tab. 3 (suite 1) : Récapitulatif des résultats de mesure à Hassasna 90
- Tab. 3 (suite 2) : Récapitulatif des résultats de mesure à Hassasna 91
- Tab. 4 : Paramètres pondéraux des escargots du site de *Hassasna* 95
- Tab. 5 : Paramètres pondéraux des escargots du site de *GuerroudjZahzah* 96
- Tab. 6 : Paramètres pondéraux des escargots (*Hassasna et G.Zahzah*)97

Abstract :

Land snails of the species *Helix aspersa*, considered as bio-indicators of soil pollution, are used to test the toxicity of heavy metals. In this regard, the beginning of May 2016, two samples of *Helix aspersa*, a hundred individuals each, were collected at two sites.

The first one, Hassasna is considered highly polluted because of its proximity to the complex cement Sidon. The second one, Guerroudj Zahzah, unpolluted, is located 22 Km far from the first in an agricultural area known for its olive trees, orchards and market gardens. The morphometric parameters: width and height of the shell, the total weight of the snail, shell weight and weight of living mass were measured in all samples.

The results show significant differences between the respective these parameters, with a more pronounced growth at the site Guerroudj Zahzah.

The sample of the latter indicates an average weight of 10.87 g while that of Hassasna shows 7.7 g. The application of the Student t test showed highly significant differences between morphometric variables of individuals from both sites ($P < 0.001$). The proximity of the site Hassasna a source of pollution is a factor limiting the growth of *Helix aspersa*; and this is proof that the middle of the effect can influence in a direct manner the growth of snails.

This is the effect of epigenetics.

Annexes

Calcul du test de Student:

1/ Selon les tableaux 2 et 3; on dispose des données suivantes :

N1 = N2 = 100 ; tout en sachant que **N1** fait reference au site de Guerroudj Zahzah, et **N2** fait refference au site de Hassasna.

2/calculer les moyennes et les écarts types :

- Moyenne = $\frac{\sum xi}{N}$
- Ecart type = $\sqrt{\frac{\sum (xi-moyenne)^2}{N-1}}$

3/ calculer la variance totale :

$$S^2 = \frac{(N1 \times \sigma1) + (N2 \times \sigma2)}{(N1+N2)-2}$$

4/ calcul du t de Student

$$t = \frac{|moyenne1 - moyenne2|}{S \sqrt{\frac{1}{N1} + \frac{1}{N2}}}$$

5/ comparer les t calculés aux t de table.

Dans notre étude, cela nous a donné ce qui suit :

❖ Pour le site de Guerroudj Zahzah :

1/ Calcul des moyennes des

✓ Poids total :

- Moyenne₁ = $\frac{\sum xi}{N} = \frac{16+16+15+20+\dots\dots+13+12+12}{100}$

$$\text{Moyenne 1} = 15,30\text{g.}$$

✓ Poids vif :

- Moyenne₁ = $\frac{\sum xi}{N} = \frac{7.27+7.27+6.82+9.09+\dots\dots\dots+5.91+5.45+5.45}{100}$

$$\text{Moyenne 1} = 06,95\text{g}$$

✓ Poids relationnel :

$$\text{PR} = \text{PV/PT} = 06,95/15,30$$

$$PR = 0,45.$$

✓ Taille de la coquille :

$$\bullet \text{ Moyenne}_1 = \frac{\sum xi}{N} = \frac{14.19+14.28+11.47+13.2+\dots+10.64+8.41+9}{100}$$

$$\text{Moyenne 1} = 12,96 \text{ cm}^2$$

NB : les résultats des moyennes pour le site de Hassasna sont dans le tableau 4.

2/ calcul des écarts type :

Pour le poids total :

$$\bullet \text{ Ecart type} = \sqrt{\frac{\sum (xi - \text{moyenne})^2}{N-1}}$$
$$= \sqrt{\frac{(16-15.3)^2 + (16-15.3)^2 + \dots + (13-15.3)^2 + (13-15.3)^2 + (12-15.3)^2}{99}}$$

$$\text{Ecart type} = 02,61.$$

Pour le poids vif :

$$\text{Ecart type} = 1,19$$

Pour le poids relatif

$$\text{Ecart type} = 0.45$$

Pour la taille des coquilles

$$\text{Ecart type} = 01,61$$

NB les résultats des écarts type de la région de Hassasna sont dans le tableau 4.

3/ calculer la variance totale :

$$S^2 = \frac{(N1 \times \sigma 1) + (N2 \times \sigma 2)}{(N1 + N2) - 2} = \frac{(100 \times 6.81) + (100 \times 2.59)}{(100 + 100) - 2}$$

$$S^2 = 4.74$$

$$S = 2.17$$

4/ calculer t de Student :

$$t = \frac{|moyenne1 - moyenne2|}{S \sqrt{\frac{1}{N1} + \frac{1}{N2}}}$$

$$= \frac{|10.60 - 15.30|}{2.17 \sqrt{\frac{1}{100} + \frac{1}{100}}}$$

$$t = 15.39$$

NB : les résultats des t de Student de la région de Hassasna sont dans le tableau 6

En calculant les différents paramètres des deux régions nous aurons les résultats récapitulés dans le tableau n 06 en annexe. Et ce pour les poids vifs, totaux et la tailles des coquilles.

Introduction :

Prendre les mesures nécessaires pour identifier la mise en cause de l'épigénétique dans la modification du génome humain est un sujet d'actualité.

En effet, en 2012 a été créée au Collège de France la chaire « **Epigénétique et mémoire cellulaire** » qui a été confiée à Edith Heard. Dans sa leçon inaugurale, celle-ci précise qu'il s'agit d'un champ d'investigation nouveau et très riche de la biologie, qui touche aussi bien le développement des organismes et les variations normales ou pathologiques de celui-ci, notamment **en lien avec l'environnement**, que l'hérédité et l'évolution.

L'épigénétique modifie aussi la perception de la façon dont l'environnement interagit avec le génome pour déterminer le phénotype d'un organisme.

Un exemple quasi caricatural est celui de l'abeille. On sait que la larve d'abeille qui reçoit de la gelée royale acquiert un phénotype de reine, alors que sans gelée royale elle devient une ouvrière stérile et bien différente de la reine.

Un autre exemple, l'utilisation des escargots cas de l'espèce *Helix aspersa* par certains chercheurs pour prouver l'impacte d'un milieu pollué par rapport à un autre non pollué sur le comportement de leur génomes.

La présence d'un polluant dans le sol n'est pas en soi un danger. Le risque apparaît dès que ce polluant peut être mobilisé et agit sur l'environnement (flore et faune) ou sur l'Homme (Dubey *et al.*, 1993).

Un bioindicateur peut être défini comme une espèce animale, végétale ou fongique qui reflète l'état du milieu dans lequel il vit. Il doit pour cela répondre à un certain nombre de critères (Hopkin, 1989 ; Edward et Slingo, 1996) : participer activement au fonctionnement de l'écosystème, être sédentaire, largement distribué et facile à identifier, être bioaccumulateur, tolérant ...).

C'est la cas de l'*Helix aspersa aspersa*.

L'escargot terrestre appartenant à l'espèce *Helix aspersa* est un excellent bio-indicateur de pollution terrestre plus efficace que le Ver de terre *Lumbricus terrestris* (Gomot-de Vaufleury et Pihan, 2000). En raison de sa sédentarité sur les sols et de son régime herbivore, il est aisément contaminé par les divers polluants présents dans l'air, le sol et la flore, d'où l'intérêt de son utilisation comme *organisme test* pour étudier l'influence des éléments-traces métalliques sur sa croissance (Berger et Dallinger, 1993 ; Gomot, 1997 ; de Vaufleury et Gomot, 1998 ; Cortet *et al.*, 1999).

En effet, ce dernier génère par ces activités une quantité de plus en plus importante de déchets gazeux, solides et liquides. La pollution peut-être classée selon la nature et le type du polluant, on parle ainsi : de pollution physique, chimique, biologique et parfois de simples nuisances (Popescu et Tuffs, 2009).

Le sol, qui représente la couche superficielle de la croûte terrestre, est un écosystème qui englobe plusieurs organismes vivants qui remplissent des fonctions écologiques essentielles. Le sol est caractérisé par différents facteurs microbiologiques, physiques, chimiques et mécaniques, il est donc le support d'une activité biologique intense. Les polluants atmosphériques ne séjournent pas indéfiniment dans l'air car les précipitations liquides et solides les ramènent à la surface du sol.

L'utilisation des animaux invertébrés pour l'évaluation des écosystèmes a une longue histoire dans les milieux aquatiques et terrestres (Eijsackers, 2010). Les mollusques gastéropodes terrestres pulmonés sont reconnus comme indicateurs biologiques appropriés (Berger et Dallinger, 1993 ; Cortet *et al.*, 1999), par leur grande capacité d'accumulation des éléments-traces métalliques (ou ETM) dont les plus fréquents sont Cd, Cu, Pb et Zn.

Cette propriété a été mise à profit pour utiliser les escargots terrestres comme bioindicateurs de la pollution par les ETM (Coughtrey et Martin, 1976 ;

Berger et Dallinger, 1993 ; Gomot-de Vaufleury et Pihan, 2000 ; Beeby et Richmond, 2002 ; Viard *et al.*, 2004 ; Notten *et al.*, 2005). De plus, l'effet toxique des substances organiques et inorganiques sur les escargots a été évalué par plusieurs chercheurs (Viard *et al.*, 2004 ; Regoli *et al.*, 2006 ; Achuba, 2008 ; Godet, 2010 ; Beeby et Richmond, 2011).

En Algérie, des études liées à la pollution ont été réalisées sur *Helix aspersa*, que nous complétons par une étude morphométrique de la coquille, de la masse vivante et de la taille de la coquille du gastéropode objet de notre étude.

Dans ce travail, nous nous sommes proposé d'évaluer la croissance de l'escargot terrestre, connu sous le nom commun de Petit-Gris, *Helix aspersa aspersa* à travers une étude morphométrique sur des spécimens ramassés au niveau de deux sites : l'un très pollué situé à proximité du complexe cimentier de Hassasna, l'autre site non pollué, relativement éloigné des sources de pollution, localisé en zone agricole, en l'occurrence celle de *Guerroudj Zahzah*

Chapitre I

Bibliographie

Scientifique

Chapitre I : Bibliographie Scientifique

I.1. Quelques notions sur l'acclimatement

Par définition, l'acclimatement est le changement ou l'ajustement d'un caractère ou d'un comportement d'un individu pour qu'il soit en harmonie avec le milieu environnant. Cette définition pourrait aussi être attribuée à l'adaptation. Cependant, l'acclimatation est une modification ponctuelle et souvent réversible de l'individu, alors que l'adaptation est un processus évolutif sur plusieurs générations (Cuénot 1925). Le caractère adaptatif permettra à l'individu de survivre dans le nouvel environnement et transmettre cette information à sa descendance (Combres 1988 ; Thomas *et al.* 2010).

Etant donné que l'environnement est en perpétuelle variation, toutes les espèces sont soumises à des contraintes. Ces contraintes sont générées par d'autres individus de la même ou d'une autre espèce (biotiques), et / ou par des pressions physico-chimiques de l'environnement (abiotiques). En réponse à ces contraintes, le comportement, la physiologie et / ou la morphologie d'un individu sont modifiés afin d'accomplir leurs fonctions (Jablonka *et al.* 1995 ; Thomas *et al.* 2010).

Cette adaptation s'accompagne de changements phénotypiques de traits d'histoire de vie. L'individu doit être, en effet, capable d'exprimer différents variants phénotypiques. Parmi ces variants phénotypiques, le phénotype ayant la valeur sélective optimale sera sélectionné et transmis aux générations suivantes (Lachmann & Jablonka 1996 ; Agrawal 2001). La valeur sélective est définie classiquement par le nombre de descendants viables produits par un individu au cours de sa vie. Elle peut être estimée par le produit de la viabilité (survie), et du nombre de nouveau-nés (fécondité) (Thomas *et al.* 2010).

I.2. Variabilité phénotypique, conséquences de quoi ?

Un ou certains variants phénotypiques participent à l'expression d'un caractère particulier, sous une condition environnementale particulière. Le résultat immédiat d'expression de ces variants phénotypiques détermine le caractère acquis. Le caractère acquis est considéré comme un de la gamme des phénotypes qui pourraient être exprimés chez un individu suite à des conditions défavorables (Smith 1989).

Ainsi l'adaptation nécessite donc une production des variants phénotypiques. L'expression de ces variants chez un individu est influencée par l'environnement (Via & Lande 1985). Il est communément admis que le phénotype P est le résultat des interactions génotype G – environnement E ($P=G \times E$) (Comstock & Moll 1963).

I.2.1. Les théories de l'évolution adaptative

«Tous les individus d'une population pourraient acquérir une adaptation suite à un changement environnemental. Leurs descendants seront de plus en plus adaptés à cet environnement» (Lamarck 1815). Pour lui, l'héritabilité des caractères est directement influencée par les facteurs environnementaux. Contrairement à ce qui est couramment admis, Lamarck n'a pas inventé le concept de l'héritabilité des caractères acquis, mais ceci faisait partie de ses pensées (Jablonka & Lamb 1999).

Charles Darwin propose sa théorie de l'évolution basée sur la sélection naturelle. D'après lui : «Les individus sont différents entre eux, et l'individu ayant des caractéristiques appropriées à l'adaptation, survivra et se reproduira. Il transmettra par la suite ces caractères à la descendance» (Darwin 1859,1869).

Avant l'apparition de la génétique, Darwin avait proposé une théorie sur l'hérédité. Sa théorie est basée sur l'hypothèse de la «pangenèse». Pour lui, les différentes parties du corps émettent des particules, qu'il nomme «gemmes», tout au long de la vie de l'organisme. Ces gemmes s'agrègent dans les organes génitaux pour former les cellules germinales. Le matériel de l'hérédité sera transmis par les gemmes, des parents aux descendants (Darwin 1868).

Les règles de l'hérédité génétique ont été découvertes par Gregor Mendel (1822- 1884). Mendel était le premier à réaliser des expériences convaincantes dans le sens où certains caractères héréditaires se maintiennent à la descendance. Ses travaux ont été redécouverts et publiés en 1900 (De Vries 1904).

A la lumière de la génétique, la théorie darwinienne a été réinterprétée par le néo-darwinisme. Pour les néo-darwiniens, les individus portent des **bagages génétiques** différents. Le matériel héréditaire subit des modifications par des **mutations**. Ces mutations sont à l'origine des variations phénotypiques (Jablonka & Lamb 1999 ; Egloff & Fehr 2011).

I.2. 2. Les variant phénotypiques et leur origines :

L'origine et l'héritabilité des variants phénotypiques sont des concepts controversés depuis le XVIII^{ème} siècle. L'héritabilité des caractères soumis à la sélection est à la base de l'adaptation. Cette notion a été abordée depuis l'apparition des deux principales théories de l'évolution adaptative.

Il était couramment accepté que la diversité génétique soit la seule source de variabilité phénotypique. Cependant, certains cas de transmissions non mendéliennes sont observés (Frésard *et al.* 2013 ; Norouzitallab *et al.* 2014). Plus particulièrement, des caractères acquis montrent une héritabilité indépendante des mécanismes génétique, allant ainsi à l'encontre de la théorie néo-darwinienne. En effet, ces résultats suggèrent que les variations

phénotypiques héréditaires ne seraient pas toujours générées par des mutations génétiques (des exemples sont fournis plus tard).

Ceci a motivé la curiosité scientifique vers *au-delà des bagages héréditaires*.

En 1963, Ernest Mayr était le premier à populariser pour la première fois l'expression «hérédité des caractères acquis». Pour lui, «c'est un types d'hérédité ou le matériel héréditaire n'est pas constant d'une génération à l'autre, mais pourrait être modifié par les effets de l'environnement, l'utilisation et non utilisation ou d'autres facteurs» (Mayr 1963 ; Egloff & Fehr 2011).

Les investigations sur les différenciations cellulaires et le développement embryonnaire sont devenues de plus intenses à partir de 1960. En 1961,

L'inactivation du chromosome X ainsi que sa transmission à l'état inactif au cours de plusieurs divisions cellulaires a été démontrée (Lyon 1961). C'était une évidence de la transmission d'un phénotype cellulaire acquis durant le développement, au cours de divisions cellulaires.

Depuis cette période, d'autres études ont montré des *cas d'hérédité phénotypiques qui ne respectaient pas les lois mendéliennes*.

I.2.3. L'hérédité non mendélienne

Des études expérimentales montrent que l'introduction de prédateurs dans l'environnement pourrait provoquer une évolution rapide des mécanismes de défense transmis à la descendance, aussi bien chez des plantes que chez des métazoaires.

Figure 1 : Les différents phénotypes de *Mimulus guttatus* en fonction du stress environnemental. (A) La forme typique des mimules, et (B) la forme stressée d'une mimule d'après (Scoville *et al* 2011).

Chez les plantes, de tels cas ont été observés par exemple chez *Mimulus guttatus* (la mimule), qui est une espèce de plante sauvage à fleur jaune des zones humides. Lorsque la mimule est attaquée par des herbivores, les dégâts provoqués dans ses tissus conduisent à l'expression d'un phénotype à « trichome plus dense » (figure 1). Les trichomes chez les plantes sont des excroissances épidermiques ressemblant aux poils, ils servent à la défense de la plante contre les herbivores. Ce phénotype est transmis à plusieurs générations même quand elles ne sont pas confrontées aux prédateurs, laissant la séquence d'ADN intacte (Scoville *et al* 2011).

Parmi les métazoaires, un exemple est observé aussi chez le petit crustacé d'eau douce *Daphnia cucullata* (la daphnie). Dans un environnement serein, la daphnie montre une tête arrondie. Cependant en présence de prédateurs, elle réagit à un signal chimique en s'allongeant et développant un appendice en forme de casque pointu (figure 2), la rendant moins accessible pour ces prédateurs. Ce phénotype est retrouvé dans les générations issues de ces crustacés même en l'absence des prédateurs (Agrawal *et al.* 1999).



Figure 2 : Les différents phénotypes de *Daphnia cucullata* en fonction du stress environnemental. Microscopie électronique d'une daphnie typique (à droite) et d'une daphnie induite (à gauche) (Agrawal *et al.* 1999).

Il est important de noter que chez les animaux aussi bien que chez les plantes, les descendants de la population gardent à leur tour le phénotype « défense contre les prédateurs » sur certaines générations. Egalement, d'autres exemples d'héritabilité des caractères acquis sont cités aussi, tels que les effets parentaux sur la descendance. Les effets parentaux sont définis par les effets que les parents apportent sur le phénotype de leur descendance indépendamment du génotype (Danchin *et al.* 2011). Ceci a été montré chez les mammifères par l'influence de la nutrition et des soins maternels sur le comportement des descendants aux générations suivantes (Champagne 2008; Burdge & Lillycrop 2010; Dias & Ressler 2014).

De nos jours, il n'existe toujours pas d'idées tranchées sur l'origine de l'héritabilité de la variabilité phénotypique. Le caractère acquis pourrait être héréditaire ou pas en fonction de son importance à la survie et à la reproduction des individus.

Certaines variations phénotypiques sont transmises telles que les exemples cités précédemment (Bossdorf *et al.* 2008; Herrera & Bazaga 2010). Cependant d'autres variations ne sont pas sélectionnées et transmises aux générations suivantes, telles que le bronzage de la peau et la musculature du cycliste. Clairement ces phénotypes ne semblent pas être indispensables à la survie de l'individu ou bien à ses descendants.

I.2.4. Les systèmes d'héritabilité «*Dual inheritance system*»

Il a été longtemps admis que l'information génétique codée par la séquence de l'ADN est responsable de la diversité et la variabilité des espèces. Cependant, il est récurrent que la diversité génétique reste insuffisante pour expliquer toutes les diversités entre les espèces, les individus d'une même espèce et au sein de l'individu lui-même possédant différents organes avec un bagage génétique identique dans toutes ses cellules somatiques.

Avec le développement de la biologie moléculaire, des mécanismes visant à expliquer l'hérédité non génétique ont émergé. La modification chimique de la séquence de l'ADN par méthylation des cytosines, en est l'exemple le mieux documenté. La méthylation de l'ADN a permis de montrer à la fois l'hérédité non génétique et la modification de l'expression des gènes (Sager & Kitchin 1975). Cette hérédité est décrite à l'heure actuelle comme « épigénétique », terme inventé par Conrad Waddington (1905-1975) en 1942 (voir 1.3. Notion d'épigénétique) (Waddington 1942; Jablonka *et al* 1992).

La vision de l'hérédité stricte aux gènes était prépondérante jusqu'à l'émergence de la théorie du «*Dual inheritance system*», par John Maynard Smith en 1990. Pour lui, « le caractère acquis c'est que des facteurs environnementaux affectent directement des protéines ou autres structures sans impliquer les acides nucléiques, et cette information sera transmise d'une génération à l'autre, mais la stabilité de ces états transmis reste faible pour avoir

une importance évolutive » (Maynard Smith 1990). Cette théorie est devenue répandue à nos jours, évoquant l'existence de deux systèmes d'héritabilité (Maynard Smith 1990; Danchin *et al* 2011) :

- L'héritabilité de la séquence de l'ADN : hérabilité génétique.
- L'héritabilité de l'état des gènes incluant l'activation et la différenciation au cours du développement : hérabilité épigénétique.

A l'heure actuelle, l'hérabilité épigénétique est démontrée chez plus d'une centaine d'espèces incluant les bactéries, les protistes, les champignons, les plantes et les animaux. La plupart de ces caractères restent stables au cours des générations. Certains de ces changements épigénétiques, mais pas tous, sont associés à des phénotypes hérables et adaptatifs (Jablonka & Lamb 1995). Ces variations épigénétiques peuvent conduire à l'hérabilité de certains caractères acquis, et peuvent ainsi être considérées comme la base de certains changements évolutifs (Jablonka *et al* 1992).

En conclusion, non seulement les mécanismes génétiques, mais aussi d'autres mécanismes tels que les mécanismes épigénétiques peuvent être une source des variants phénotypiques.

1.3. Qu'est ce que l'épigénétique ?

Entre le génotype et le phénotype existe des mécanismes complexes de développement», disait Conrad Waddington (1905-1975) en 1942 (Waddington 1942). Waddington, généticien et embryologiste est à l'origine du terme « épigénétique ». Il l'avait proposé pour nommer la discipline qui étudie l'interaction entre les gènes et leur environnement faisant apparaître le phénotype (figure 3).

D'après ses expériences sur *Drosophila melanogaster*, il montra que des stress environnementaux, plus particulièrement le choc thermique, induisent des variations phénotypiques et le caractère acquis est transmis à certains

descendants (Waddington 1942). Waddington a appelé ce phénomène « assimilation génétique » (Waddington 1953). Le phénotype apparaît initialement en réponse à un environnement différent ; la sélection le convertit en caractère génétique permanent. La théorie de Waddington représente une réapparition de la théorie lamarckienne sur l'héritabilité des caractères acquis tout en restant compatible avec l'implication des mécanismes génétiques et la théorie néo-darwinienne (Thomas *et al* 2010).

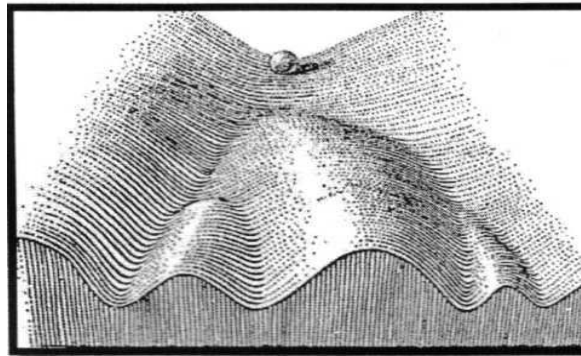


Figure 3 : Le paysage épigénétique de Waddington. Les différents chemins parcourus par la bille, vers la gauche, la droite, le haut ou le bas, correspondent à l'histoire du développement d'un embryon. Chacun de ces chemins correspond à une partie développementale de cet embryon (Waddington 1957).

A cette époque, les bases moléculaires de l'épigénétique étaient inconnues. C'est à la fin du XX^{ème} siècle que le terme épigénétique s'est répandu notamment dans les sciences médicales où l'on commence à développer les notions **d'épiallèles** et **d'épimutation** (définition plus tard).

Actuellement, l'épigénétique est définie par l'étude des changements héréditaires et réversibles dans la régulation de l'expression des gènes sans faire appel à des modifications de la séquence de l'ADN (Richards 2006; Bird 2007). C'est l'ensemble des processus qui expliquent la plasticité développementale aussi bien chez les procaryotes que chez les eucaryotes (Jablonka & Raz 2009).

L'exemple le plus classique c'est le développement et la différenciation des cellules de l'organisme. Toutes nos cellules possèdent le même bagage génétique, pourtant elles se développent et se différencient de différentes manières, établissant des organes différents au niveau morphologique aussi bien que fonctionnel.

L'expression différentielle des gènes dépend de différents facteurs, parmi lesquels leur état chromatinien. L'épiallèle est un allèle qui peut exister sous différents états épigénétiques, résultant différents phénotypes (Rakyanet *al.* 2002). La séquence nucléotidique des différents épiallèles est invariable. Les épimutations consistent en des modifications des états épigénétiques des allèles, générant donc les épiallèles (Horsthemke 2006).

La chromatine est la structure nucléo-protéique sous laquelle se présente l'ADN. Elle a été mise en évidence par Walther Flemming (1843-1905) en 1882 (Flemming 1882). Le nucléosome constitue l'unité de base de la chromatine, qui à son tour est composé d'un octamère d'histones (2 histones H2A, 2 histones H2B, 2 histones H3 et 2 histones H4). L'ADN s'enroule autour des nucléosomes sur une longueur de 147 pb environ, pour former le « collier de perles ». Les nucléosomes sont reliés entre eux par une séquence d'ADN sur laquelle se fixe l'histone H1 dite « protéine de liaison » (Olivier & Oudet 1974).

Le nucléosome constitue une barrière physique et chimique qui contrôle l'accessibilité de différents facteurs à la séquence d'ADN. Toutes les fonctions de l'ADN : transcription, replication et réparation sont déterminées par la dynamique des nucléosomes. Ces derniers constituent donc le premier niveau de compaction de l'ADN, par conséquent le degré de compaction de l'ADN joue un rôle primordial dans la régulation de l'expression génique. Cette compaction est surtout contrôlée par les porteurs de l'information épigénétique (Strahl & Allis 2000; Luger 2006).

1.3.1. Les messagers de l'information épigénétique

Quatre supports de l'information épigénétique sont décrits jusqu'à présent, intervenant surtout dans la régulation de la structure chromatinienne et les modifications chimiques de l'ADN. Les deux bases moléculaires les plus étudiées sont : la modification covalente de l'ADN via la méthylation de l'ADN et les modifications des histones incluant les modifications post-traductionnelles et les variants d'histones. Les autres bases moléculaires correspondent aux ARN non codants et la localisation nucléaire des loci (figure 4).

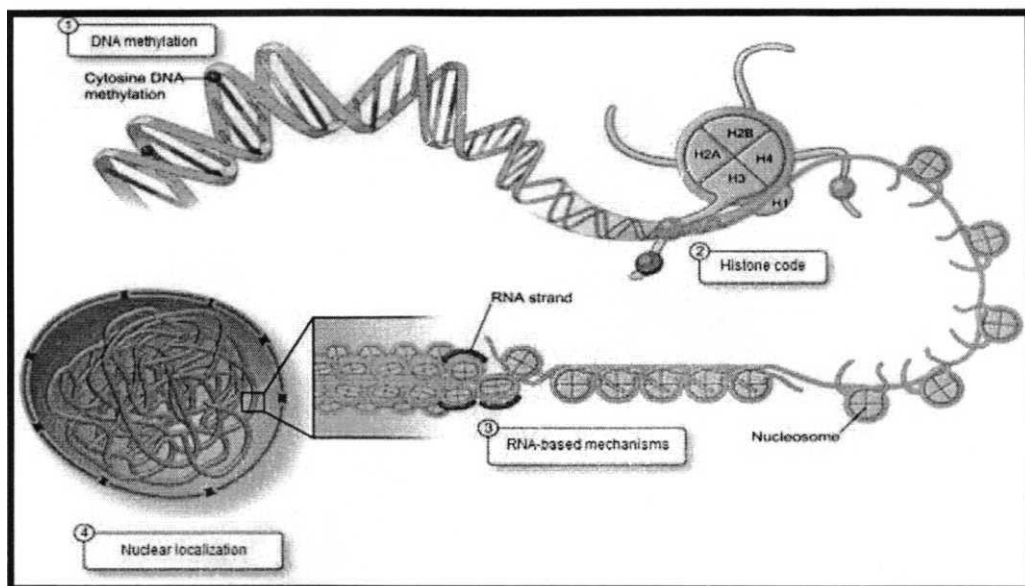


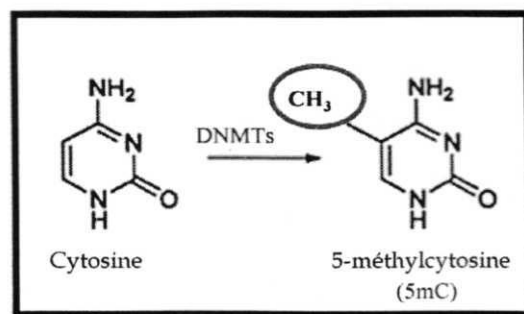
Figure4 : Les messagers de l'information épigénétique. La méthylation de l'ADN, les modifications des histones, les ARN non codants et la localisation nucléaire, figure modifiée à partir de (Lovrecic *et al.* 2013).

1.3.1.1 Méthylation de l'ADN a) La 5-méthylcytosine (5mC)

La méthylation de l'ADN est la marque épigénétique la plus étudiée, un mécanisme fondamental présent dans les génomes des animaux, végétaux, champignons et des bactéries (Heithoff *et al* 1999). C'est une modification chimique qui consiste en l'ajout d'un groupement méthyle (**CH₃**) sur le carbone en position 5 d'une cytosine à la place d'un atome d'hydrogène pour former la 5-méthylcytosine (5mC), considérée comme la cinquième base de l'ADN' (figure 5). La 5-méthylcytosine a été mise en évidence dans les années 1950 chez les animaux et chez au moins une plante supérieure (Wyatt 1951).

Cette modification ne s'effectue pas d'une façon uniforme sur le génome, elle est surtout dépendante de la fonction qu'elle va accomplir (Suzuki & Bird 2008). La méthylation de l'ADN intervient surtout dans la régulation de la transcription des gènes, associée au développement, à la différenciation et la viabilité, à la stabilité du génome en inhibant les éléments transposables et à la régulation différentielle des allèles connue par l'empreinte parentale (Li *et al.* 1992; Zilberman *et al.* 2006; Lister & Ecker 2009).

Figure 5 : La méthylation de la cytosine. 5mC est formée par l'addition



d'un groupement méthyl à la cytosine via l'action des DNMTs.

b) Méthylation de l'ADN chez les vertébrés vs les invertébrés

Chez les vertébrés, la méthylation s'effectue surtout sur les cytosines des dinucléotides CpG d'une façon symétrique. Environ 70 des CpG sont méthylés dans les génomes des mammifères (Strichman-Almashanuet *al.* 2002; Hallgrimsson & Hall 2011). Les CpG non méthylés quant à eux, sont regroupés pour former les « îlots CpG » principalement au niveau des régions 5' des gènes (Bird 1985).

Bien que la méthylation de l'ADN soit spécifique aux dinucléotides CpG chez les vertébrés ; chez les invertébrés, elle n'est pas limitée aux CpG, elle s'effectue également au niveau des autres dinucléotides CpA, CpT et CpG (Salzberger *al.* 2004).

La réaction de la méthylation est assurée par des ADN méthyltransférases DNMTs. Chez les mammifères, trois classes de DNMTs aux fonctions différentes ont été caractérisées jusqu'à présent. La DNMT1 intervient dans la maintenance de la méthylation de l'ADN, méthylant l'ADN hémiméthylé (Cheng & Blumenthal 2008). La DNMT2 possède une activité de méthylation des ARNt (Gollet *al.* 2006). Elle possède par ailleurs de fortes similarités de séquence avec la DNMT1 au niveau d'un domaine catalytique. Cependant son activité d'ADN méthyltransférase n'a encore jamais été montrée sans ambiguïté et son rôle reste énigmatique (Gollet *al.* 2006).

Finalement, les DNMT3 sont responsables de la méthylation « *de novo* », et sont essentielles au développement et à la viabilité des mammifères (Okano *et al.* 1999).

D'une manière générale, le rôle de la méthylation de l'ADN a été bien caractérisé chez les vertébrés. Il a été démontré que cette modification a lieu essentiellement dans les régions inter-géniques, au niveau des promoteurs, dans

les éléments transposables et les séquences répétées. La méthylation de l'ADN est impliquée essentiellement dans la régulation de l'expression des gènes chez les vertébrés et dans la défense des génomes contre les éléments mobiles. En effet, la méthylation des éléments transposables les empêchent de s'exprimer et de se déplacer dans le génome (Li *et al* 1992; Pedersen *et al* 1999; Elango 2008; Zemachet *al* 2010).

Chez les invertébrés, la méthylation de l'ADN montre des degrés d'importance variables en fonction des espèces. D'ailleurs, le taux de méthylation de l'ADN est extrêmement variable au sein des invertébrés. L'ADN peut soit être peu ou pas méthylé comme chez *Drosophila melanogaster* (Urieli-Shovalet *al* 1982), *Tribolhtmcastaneum* (Zemachet *al* 2010) et *Caenorabditis elegans* (Simpson *et al* 1986), alors qu'elle est très présente chez d'autres espèces comme chez *Apis mellifera*, *Crassostrea gigas* et *Acyrthosiphonpisum* (Gavery & Roberts 2010; Lyko *et al* 2010; Walsh *et al* 2010).

Bien que le génome d'*A. mellifera* contient les gènes DNMT1, DNMT2 et DNMT3 (Kucharski *et al* 2008), celui de *C. gigas* par exemple, a DNMT1 et DNMT3, mais pas DNMT2 (Gavery & Roberts 2010). D'autres génomes ne codent que pour DNMT1 et DNMT2 comme celui de *Bombyx mori* (Mita *et al* 2004). Nous retrouvons également des génomes avec uniquement DNMT2, comme ceux de *Drosophila pseudoobscura* et *Anophèles gambiae* (Marhold *et al* 2004), ils sont qualifiés « *DNMT2-only* » organismes (Krauss & Reuter 2010). D'ailleurs, des études effectuées chez *Drosophila* ont montré que l'inhibition de la DNMT2 n'affecte pas le développement embryonnaire et la viabilité des drosophiles, sachant que la drosophile fait partie des « *DNMT2-only* » organismes (Kunert *et al.* 2003). Dans d'autres génomes, comme celui de *C. elegans* (Gutierrez & Sommer 2004), les DNMTs sont complètement absentes.

Contrairement aux vertébrés, la méthylation de l'ADN chez les invertébrés s'effectue plutôt dans les régions intra-géniques et particulièrement au niveau

des unités transcriptionnelles (Suzuki *et al* 2007). En ce qui concerne les éléments transposables et les séquences répétées, leur méthylation n'est pas consensuelle comme chez les vertébrés. Chez *B. mon* et *C. intestinalis*, la 5mC est faible voire absente au niveau de la plupart des transposons (Zemachet *al.* 2010).

Ces observations permettent de suggérer que le faible taux de méthylation pourrait faciliter la régulation de la transcription de certains gènes (Roberts & Gavery 2011). Cependant, son rôle reste moins clair chez les invertébrés que chez les vertébrés.

La méthylation des gènes chez les invertébrés n'est pas uniforme. La plupart des espèces invertébrés possède un génome méthylé de type « mosaïque » caractérisé par la présence de deux lots de gènes : les gènes fortement méthylés qui sont souvent liés à des gènes de ménage et les gènes faiblement méthylés souvent liés à des gènes impliqués dans les réponses immunitaires (Suzuki *et al* 2007; Nantyet *al* 2011) (Lykoet *al* 2010; Walsh *et al.* 2010). Ainsi, le taux de méthylation chez les invertébrés est relativement plus faible par rapport à celui des vertébrés (tableau 1) (Tweedie *et al* 1997).

Les cytosines méthylées sont des bases hypermutables, et sont donc spontanément transformées en thymine par désamination, ce qui conduit à une perte progressive des sites CpG dans les génomes (Coulondreet *al.* 1978; Fryxell & Zuckerkandl 2000). Lorsque les sites CpG sont sous-représentés sur une séquence déterminée (le ratio : CpG/GpC < 1), ceci montre que cette séquence est méthylée ou bien a été méthylée chez les ancêtres de l'espèce en question (Antequera & Bird 1993).

Par conséquent, les régions méthylées de l'ADN possèdent des ratios CpG/GpC plus faibles que les ratios des régions non méthylées. Ce ratio CpG/GpC peut être utilisé pour prédire la méthylation à partir de données de transcriptomiques. Il est couramment calculé sur les transcrits issus d'approche

RNA-Seq chez les invertébrés, chez qui la méthylation a lieu préférentiellement dans les régions codantes. Une bonne corrélation entre les données expérimentales et ces prédictions a été montrée sur plusieurs modèles, notamment chez le mollusque *C. gigas* (Gavery & Roberts 2013). En étudiant la méthylation de l'ADN à l'échelle du génome entier chez ce mollusque, ils ont démontré que les gènes méthylés (dans leurs régions intra-géniques) sont associés à des états transcriptionnels élevés (Gavery & Roberts 2013).

Par ailleurs, la distribution de ces ratios CpG/GpC sur les transcriptomes de différentes espèces a fait également l'objet d'études intéressantes donnant lieu à des différences de profils entre les vertébrés et les invertébrés.

	Invertébrés	Vertébrés
Méthylation de l'ADN	Non ubiquitaires (incluant les cnidaires, mollusques et échinodermes)	Tous (incluant les poissons, amphibiens, reptiles, oiseaux et mammifères)
Le génome	Méthylés de façon mosaïque (une fraction méthylée et une fraction non méthylée)	Globalement méthylés (la majorité de types cellulaires)
Localisation principale de la méthylation	Régions intra-géniques et unités transcriptionnelles	Régions inter-géniques, promoteurs
Les éléments répétés	Différences entre espèces et entre types de séquences répétées	Tous méthylés
Le ratio CpG/GpC	Bimodale/unimodale suivant les espèces	unimodale
CpG contenant 5mC	10 à 40 % de la fraction méthylée	60 à 90

Tableau 1 : Comparaison de la méthylation des génomes entre invertébrés et vertébrés. Les principales différences de la méthylation de l'ADN entre les invertébrés et les vertébrés (Tweedie *et al.* 1997; Suzuki *et al.* 2007; Elango 2008; Zemach *et al.* 2010).

Chez les vertébrés, la distribution des ratios CpG est généralement unimodale au niveau des régions intra-géniques (Elango 2008). En revanche, chez les invertébrés, la distribution des ratios CpG/GpC peut être unimodale ou bimodale en fonction des espèces. La distribution bimodale est observée chez plusieurs espèces d'invertébrées, dont le mollusque *C. gigas* (Gavery & Roberts 2010). Cette bimodalité est traduite par la présence de deux lots de gènes dans le génome : (i) des gènes fortement méthylés, présentant un faible ratio CpG/GpC, et (ii) des gènes faiblement méthylés présentant un ratio CpG/GpC qui est élevé (Suzuki *et al.* 2007; Feng *et al.* 2010; Zemach *et al.* 2010).

Ces différences remarquables de la méthylation de l'ADN entre invertébrés et vertébrés, ainsi que toutes les fonctions assurées par cette modification chimique, rendent ce processus essentiel dans la régulation de l'expression des gènes et les phénotypes associés.

c) La 5-hydroxyméthylcytosine (5hmC)

La 5 méthylcytosine (5mC) est une base dynamique, qui pourrait être convertie en une autre forme de la cytosine. La 5-hydroxyméthylcytosine (5hmC), forme modifiée de la 5mC, a été décrite dans l'ADN des mammifères dans les années 1970 (Penn *et al.* 1972). Les enzymes Ten-Eleven Translocation (TETs) catalysent la conversion de 5mC en 5hmC en incorporant un groupement hydroxyle (figure 6) (Tahiliani *et al.* 2009; Ito *et al.* 2010). Bien que sa fonction ne soit pas encore claire, la 5hmC est considérée récemment comme la sixième base de l'ADN. Les études récentes montrent que cette base est associée à des unités transcriptionnelles et par conséquent, serait impliquée dans la régulation de la méthylation de l'ADN dans ces régions.

Il a été montré que l'interaction entre l'ADN méthyltransférase DNMT1 et la 5hmC est faible. Cette observation permet de suggérer que la 5hmC empêche l'activité de méthylation de la DNMT1 sur sa cytosine cible. Ceci attribuerait à

la 5hmC un rôle potentiel dans la déméthylation de l'ADN (Valinluck&Sowers 2007).

Chez les mammifères, les études montrent que le taux de 5hmC est variable et spécifique en fonction des tissus. La 5hmC est très élevée au niveau des cellules embryonnaires souches et du système nerveux central, notamment au niveau des neurones de Purkinje (Kriaucionis&Heintz2009;Tahilianiet al 2009). Ces observations suggèrent que la 5hmC intervient dans les stades précoces du développement embryonnaire et de différenciation cellulaire (Fiez et al 2011; Tan &Shi 2012).

Chez les invertébrés, la présence et la fonction de la 5-hydroxyméthylcytosine (5hmC) sont en cours d'étude. Une famille d'enzymes TETs, catalysant la conversion de 5mC en 5hmC, est présente dans la majorité des génomes d'invertébrés séquences (Pastoret al 2013).

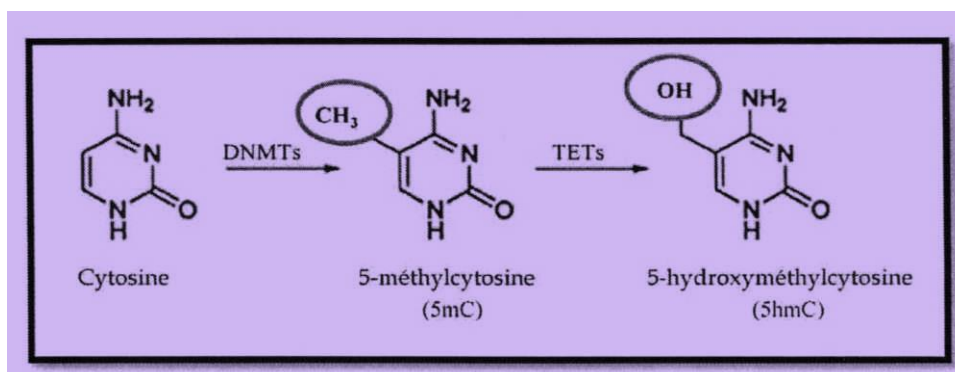


Figure 6 : Différentes formes de la cytosine. La 5mC est formée par l'addition d'un groupement méthyl à la cytosine via l'action des DNMTs. La 5hmC est formée par les TETs protéines, en transférant un groupement hydroxyle à la 5mC.

Une étude très récente a révélé la présence de la 5hmC dans le génome de l'abeille *A. mellifera*, durant la phase de développement. L'unique TET codée par le génome de l'abeille possède la capacité d'oxyder la 5mC en 5hmC (Wojciechowskiet al 2014).

Il est évident que la 5hmC et sa machinerie sont présentes chez certains invertébrés. Cependant, comme chez les mammifères, le rôle de cette base reste encore à éclaircir.

1.3.1.2. Les modifications des histones

Les histones, protéines constituant le nucléosome, sont soumises à des modifications post-traductionnelles au niveau des résidus de leurs queues N-terminal sortantes. L'acétylation des lysines, la méthylation des lysines et des arginines (mono, di ou tri), la phosphorylation des sérines et des thréonines, l'ubiquitylation, la sumoylation, l'ADP ribosylation, et la déimination sont les différentes classes de modifications des histones identifiées jusqu'à présent (figure 7) (Kouzarides 2007).

Ces modifications peuvent jouer un rôle « d'activation » ou bien « de répression » en fonction de (i) leur localisation sur un acide aminé particulier et de (ii) l'emplacement des histones mêmes sur la séquence d'ADN.

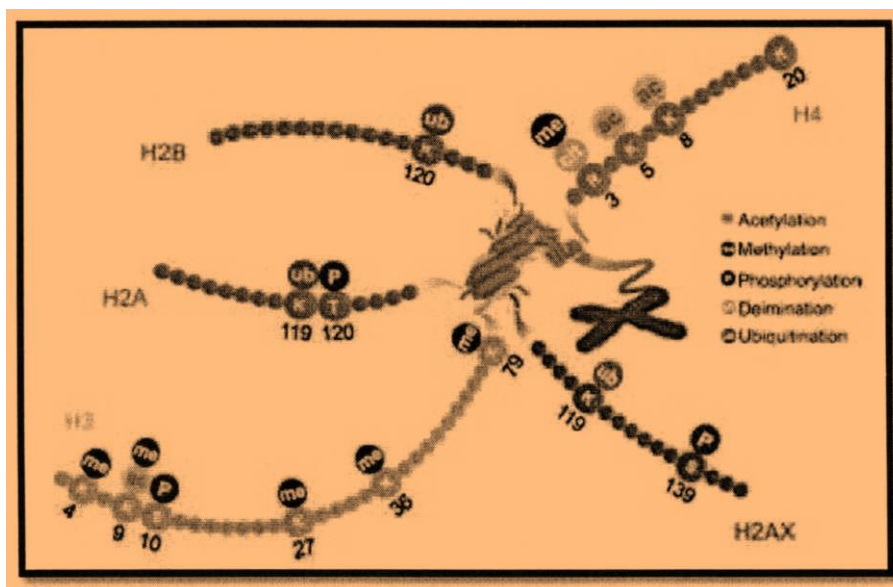


Figure 7 : Représentation schématique des modifications d'histones les plus courantes. Les différentes modifications chimiques des queues des histones canoniques (H2A, H2B, H3 et H4) et non canoniques H2A.X (issu d'Abcam).

L'acétylation de la lysine K9 de l'histone 3 (H3K9Ac) est une marque associée plutôt au point +1 de la transcription *Transcription Start Site* (TSS) et aux régions promotrices du gène jouant un rôle dans l'activation de la transcription (Wang *et al* 2008). Cependant, elle devient une marque fortement répressive de la transcription du gène, lorsque la lysine k9 est tri-méthylée (H3K9me3). H3K9me3 est associée aux gènes silencieux, localisée dans une région de 10 kb avoisinant le TSS (Berger 2007; Wang *et al* 2008).

En termes d'exemple, La méthylation de la lysine 36 de l'histone 3 (H3K36) joue deux rôles différents en fonction de sa localisation dans les gènes. Dans la région codante du gène, la méthylation de H3K36 « active » l'expression, tandis qu'elle « l'inhibe » une fois localisée dans le promoteur (Li *et al* 2007).

D'autres exemples de corrélation entre les modifications des histones et la transcription des gènes sont illustrés dans la figure 8.

Ces modifications chimiques sont catalysées par différentes enzymes relativement conservées chez les eucaryotes, telles que les histones méthyltransférases (HMTs), les

histonesacetyltransférases (HATs) et les histonesdesacetylases (HDACs) (Zhang & Reinberg 2001; Peserico & Simone 2010).

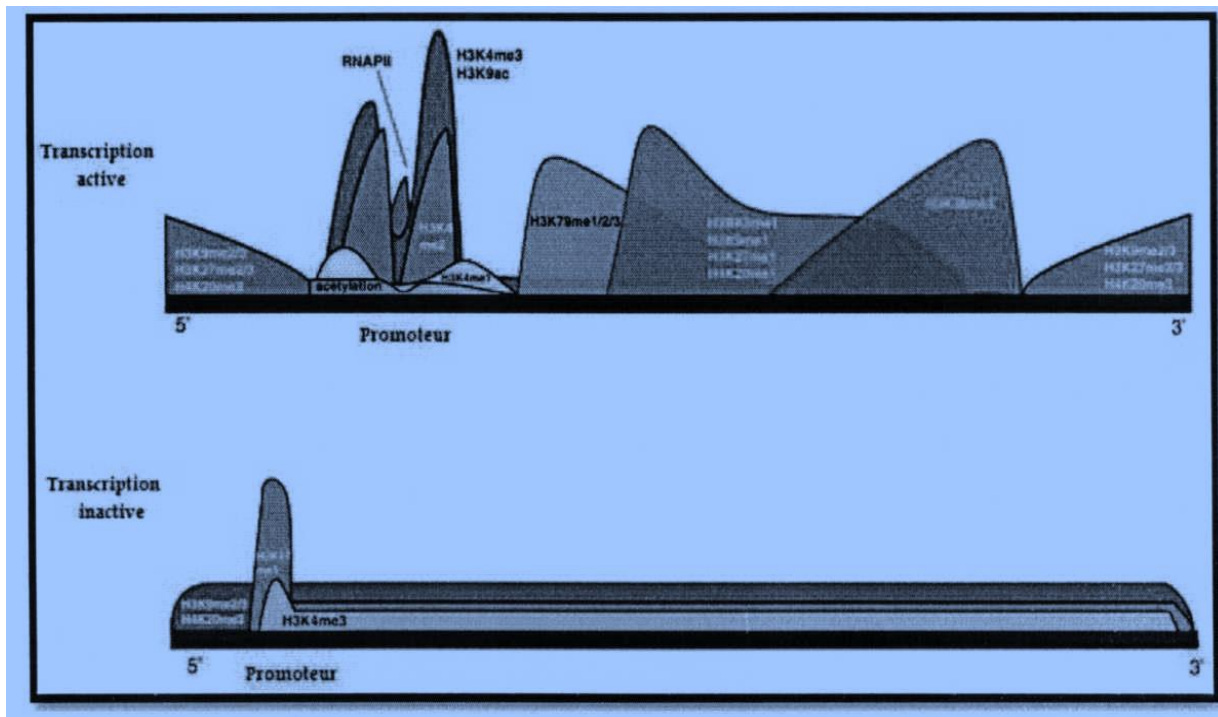


Figure 8 : La distribution des modifications des histones à l'échelle du génome, en corrélation avec la transcription des gènes. Cette figure représente la répartition des modifications des histones sur des gènes quelconques des eucaryotes par rapport à au promoteur, d'après (Barth & Imhof 2010).

Les différentes combinaisons de ces modifications forment le « code des histones », qui à son tour, déterminera l'état chromatinien autour d'un locus ou d'un gène (Wang *et al* 2009). Un locus peut avoir un état chromatinien allant de « ouvert et permissif à la transcription » jusqu'à « fermé et non permissif à la transcription ». Par conséquent, l'état chromatinien d'un locus module l'accessibilité des facteurs de transcription et d'autres protéines régulatrices à la séquence de l'ADN (Narlikar *et al* 2002).

En plus des modifications post-traductionnelles que peuvent subir les histones, ces derniers peuvent être remplacés par des variants d'histones non canoniques. Les variants d'histones s'incorporent dans le nucléosome à la place d'une histone canonique. Les histones H3 et H2A possèdent des variants d'histones très conservés chez les eucaryotes (Redon *et al* 2002). Par exemple, H2A.X est un variant d'histone H2A possédant une région C-terminale plus longue que celle de H2A (figure 7 et 8).

H2A.X intervient principalement dans la réparation des cassures de l'ADN double brin (Srivastava *et al* 2009). Ces variants d'histones assurent au nucléosome une nouvelle organisation accompagnée de nouvelles caractéristiques fonctionnelles (Mizuguchi *et al* 2004).

1.3.1.3. Les ARN non codants

Les ARN non codants constituent le troisième support de l'information épigénétique. Les études des ARN non codants deviennent de plus en plus massives à nos jours. Ces ARN ne sont pas traduits en protéines, mais la majorité des études montrent qu'ils jouent un rôle essentiel dans la régulation de l'expression des gènes (Mattick&Makunin 2006). Parmi les ARN non codants décrits à l'heure actuelle, nous distinguons les siRNA (small interfering RNA), les miRNA (micro RNA), les piRNA (PIWI-interacting), les lncRNA (long non coding ARN) (Costa 2008), et finalement les snoRNA (small nucleolar RNA) (Bachellerie *et al* 2002).

Ces différents ARN non codants peuvent diriger les mécanismes de méthylation de l'ADN et les modifications des histones (Bernstein&Allis 2005; Costa 2008; Groszmann *et al* 2013). D'autres fonctions très importantes leur sont associées, telles que l'inactivation du chromosome X, l'activation /inactivation des éléments transposables et les paramutations (Costa 2005; Greaves *et al* 2012). Il est important de noter que leurs effets pourraient être héréditaires au cours des générations (Gappet *et al* 2014) et ils interviennent dans l'héritabilité des phénotypes acquis aussi bien chez les vertébrés (Rassoulzadegan *et al.* 2006) que chez les invertébrés (Guet *et al.* 2012).

1.3.1.4. La localisation nucléaire des loci

Dans le noyau des eucaryotes, les chromosomes ne sont pas positionnés aléatoirement. Ces positions sont définies en fonction de la dynamique des cellules (division cellulaire, différentiation...), et en fonction de l'activité des gènes également. Certaines études montrent que la position du gène dans le noyau influence son état transcriptionnel (Tanabe *et al.* 2002; Mehta *et al.* 2010). En étudiant certaines espèces vertébrés, Tanabe et ses collaborateurs ont montré que les

chromosomes riches en gènes actifs sont localisés au centre nucléaire alors que ceux qui sont pauvres en gènes actifs, sont localisés vers les périphéries du noyau (Tanabe *et al.* 2002).

Par conséquent, la localisation des gènes dans le noyau est considérée comme un support épigénétique qui régule l'expression des gènes, cependant il reste le moins caractérisé à ce jour.

1.3.2. Etat chromatinien : Euchromatine / Hétérochromatine

Un état chromatinien d'un locus ou d'un gène n'est pas déterminé par un seul des quatre supports de l'information épigénétique, c'est le résultat des combinaisons de différentes marques épigénétiques au niveau des nucléosomes. La modification chimique de l'ADN associée à certaines modifications d'histones, ainsi qu'une variation du taux de certains ARN non codants (augmentation ou baisse), conduisent ensemble à former un état chromatinien, contrôlant l'accessibilité des facteurs de transcription du gène (Devaskar & Raychaudhuri 2007).

Nous distinguons deux types d'états chromatiniens les plus extrêmes : « hétérochromatine » pour désigner l'état de la chromatine fermé, compact et non

permissif à la transcription et « euchromatine » quant à elle, désigne l'état chromatinien ouvert, relâché et permissif à la transcription (figure 9). Il existe différents niveaux d'hétérochromatisation et d'euchromatisation (Berger 2007; Mikkelsen *et al* 2007; Roudier *et al* 2011).

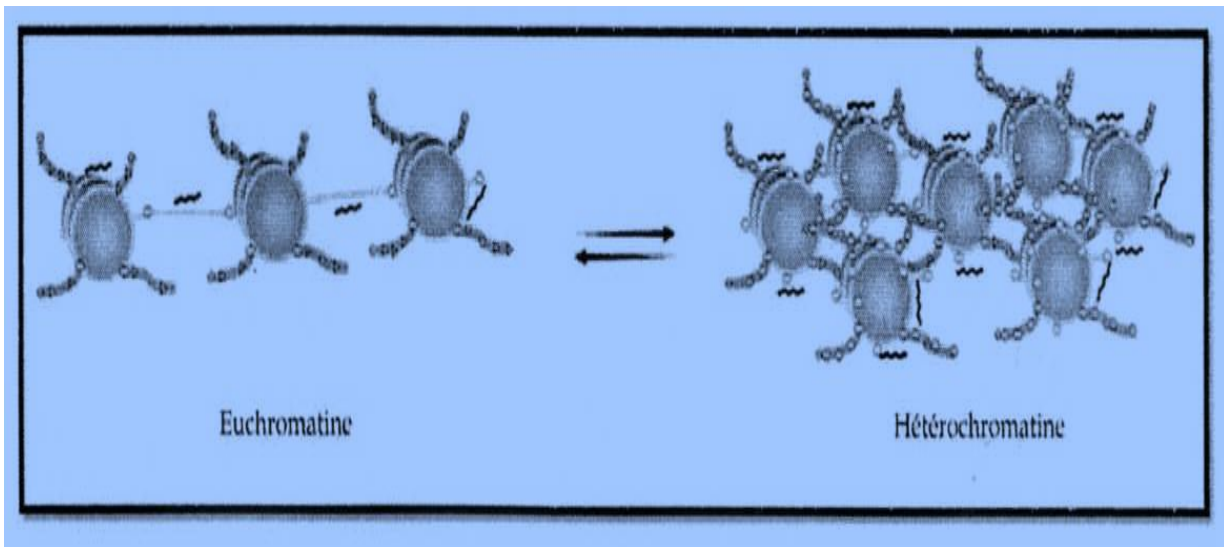


Figure 9 : La transition entre les deux états de la chromatine, euchromatine et hétérochromatine. Ce schéma représente la structure de l'euchromatine permissive à la transcription et l'hétérochromatine non permissive à la transcription.

Bien que les quatre bases porteuses de l'information épigénétique soient décrites, tous les mécanismes épigénétiques moléculaires ne sont pas encore étudiés à l'heure actuelle.

1.4. Modèle théorique : génétique/ épigénétique/variabilité phénotypique

Dans des conditions environnementales particulières, des individus expriment de nouveaux phénotypes ($P=G \times E$) (Comstock & Moll 1963). La capacité des individus à produire différents phénotypes pourrait être expliquée par des mécanismes génétiques, ou autrement dit un phénotype différent correspond à une variation dans la séquence nucléotidique d'un gène. En revanche, des études et observations effectuées chez un bon nombre d'espèces

telles que les mammifères et les plantes montrent que des mécanismes épigénétiques pourraient être aussi à la base de ces variations phénotypiques.

De leur côté, les mécanismes épigénétiques peuvent conférer aux génomes une plasticité phénotypique traduite par la capacité d'un seul génotype à exprimer un certain nombre de phénotypes en fonction des conditions environnementales (Godfrey *et al* 2007). Les investigations moléculaires ont démontré que ces mécanismes épigénétiques sont basés globalement sur des modifications chimiques de la séquence de l'ADN et/ou des protéines histones qui induisent des changements dans la configuration des nucléosomes. La configuration des nucléosomes à son tour, affecte l'accessibilité de différents facteurs vers l'ADN et par conséquent, l'état chromatinien obtenu sera essentiel et déterminant de la transcription du gène. Donc, ces mécanismes épigénétiques seront à la base de l'expression de certains phénotypes sans altérer la séquence de l'ADN.

D'une manière générale, la mise en place d'un état chromatinien et son effet sur le phénotype semble être plus rapide, moins coûteuse et moins risqué qu'une mutation compte tenu de la réversibilité des marques épigénétiques.

Dans le but de mieux comprendre l'implication de répigénétiq ue dans l'évolution adaptative, Pal et Miklos ont proposé un modèle théorique en 1999 (Pal & Miklos 1999). Ils suggèrent que dans les conditions normales, un caractère phénotypique X, pourrait varier dans une population autour d'une valeur maximale tout en restant entre deux limites bien définies. En revanche, dans un environnement stressant, le spectre de la variabilité phénotypique augmente dans la population. Cela est traduit par un élargissement des intervalles des limites supérieures et inférieures (figure 10).

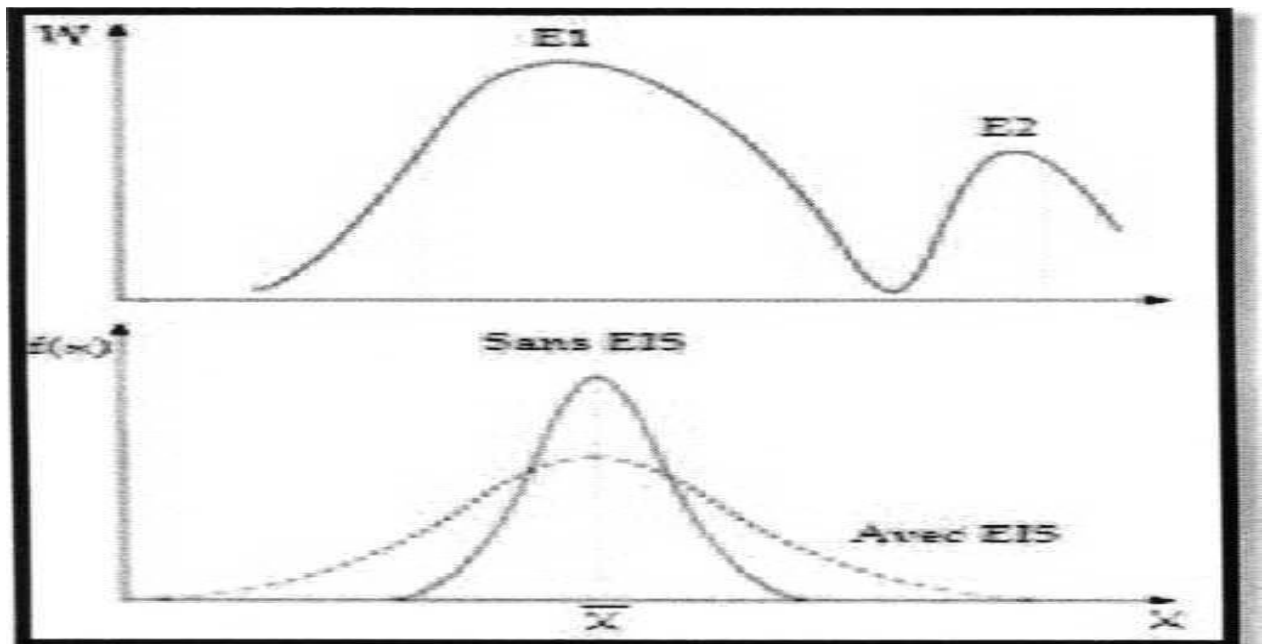


Figure 10 : Représentation schématique de la variabilité phénotypique selon les modèles théoriques proposés. La représentation de la fitness W (axe des ordonnées du haut), et de la fréquence du caractère phénotypique X (axe des ordonnées du bas) en fonction du caractère X dans une population (axe des abscisses). Les axes du haut : les deux différents environnements $E1$ et $E2$. Axes du bas : avec EIS, la variabilité phénotypique s'élargit suffisamment pour que des individus puissent survivre au nouvel environnement (EIS : Epigenetic Inheritance System). Adaptée à partir du modèle de Pal et Miklos (Pal & Miklos 1999).

Leur modèle est supporté très récemment par Klironomos et ses collègues (Klironomos *et al* 2013). Selon les deux équipes (Pal & Miklos 1999; Klironomos *et al* 2013):

- a) Dans un premier temps, des variations épigénétiques pourraient être à l'origine d'une variabilité phénotypique. Cette variabilité pourrait être transmise à la descendance sans changement génétique.
- b) Au cours du temps, la sélection naturelle pourrait agir sur le phénotype ayant la meilleure valeur sélective.
- c) L'étape finale sera la mise en place des changements génétiques.

Par conclusion, la génération de variants phénotypiques d'origine épigénétique, serait la première étape dans l'évolution adaptative, évoquant dès

lors le phénomène d'assimilation génétique proposé par Waddington (Waddington 1953). /(

1.5. Interactions hôtes / parasites : bon modèle pour la biologie évolutive

Tous les êtres vivants sont concernés par des interactions hôte / parasite, en tant qu'hôte ou bien parasite (Thomas *et al.* 2010). L'interaction du parasite avec son hôte est obligatoire pendant l'intégralité ou bien une partie de son cycle de vie.

Les interactions hôte / parasite se caractérisent par un équilibre dynamique. En effet, au cours de certaines interactions, des molécules de surveillance de l'hôte pourraient reconnaître des protéines de surface du parasite. Cette reconnaissance permettrait l'hôte de se débarrasser du parasite. A son tour, le parasite va générer de nouvelles molécules afin d'éviter la défense de l'hôte jusqu'à ce que l'hôte, lui aussi générerait de nouvelles molécules de reconnaissance (Frank 2000).

Ces interactions constituent de bons modèles de coévolution où chacun des deux partenaires s'adapte continuellement aux conditions que lui impose l'autre. Dans de telles interactions, les pressions sélectives sont fortes conduisant à des évolutions qui seraient relativement rapides.

1.5.1. Modèle d'étude : *Biomphalariaglabrata*/ *Schistosomamansoni*

Dans notre laboratoire, nous disposons d'un modèle hôte / parasite. Le trématode parasite *Schistosomamansoni* qui est responsable de la maladie de la bilharziose intestinale, avec son hôte intermédiaire le mollusque invertébré *Biomphalariaglabrata*.

1.5.1.1. La bilharziose : Deuxième endémie parasitaire mondiale

La bilharziose ou schistosomiase est une maladie parasitaire due à des vers plathelminthes, du genre *Schistosoma*. Cette maladie est classée comme deuxième endémie parasitaire mondiale après la malaria. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), environ 200 millions de personnes réparties dans 74 pays des régions

Terminologie

Le terme escargot, du latin *scarabaeuset* du provençal *escaragol*, de Majorque (en Espagne), désigne un mollusque gastropode pulmoné terrestre, végétarien, caractérisé par sa tête munie de deux paires de tentacules, dont les plus longs portent les yeux, par sa longue sole ventrale (ou pied), par sa coquille en spirale globuleuse dont le sommet surplombe le flanc droit, enfin par son orifice pulmonaire dorsal

- Une escargotière peut désigner :

un lieu où l'on stocke et nourrit des escargots,

un plat spécial doté de petites alvéoles, dans lesquelles on place les escargots avant de les passer au four,

ou encore, un amas de coquilles d'escargots dans un gisement préhistorique.

Un **mollusque** (embranchement des **Mollusca**), du latin scientifique *molluscum* et du latin classique *mollusca*, noix à écorce molle, est un animal invertébré, à corps mou, comme un Escargot, une Huître, un Poulpe.

Un **gastéropode** ou **gastropode**, (classe des **Gastropoda**), du grec *gastêr*, ventre et *pous*, *podos*, pied, est un mollusque rampant sur un large pied central

musculeux, souvent pourvu d'une coquille dorsale spiralée et vivant dans les mers (Buccin), en eau douce (Limnée) ou dans les lieux humides (Escargot, Limace).

Un **pulmoné** (sous-classe des **Pulmonata**) est un mollusque gastéropode terrestre ou en eau douce respirant par un poumon, tel que, l'Escargot, la Limace et la Limnée.

L'**héliculture**, du grec **Hélix**, spirale, est l'élevage des escargots comestibles.

La coquille, du latin *Conchylum*, est une enveloppe dure, calcaire, constituant le squelette externe de la plupart des Mollusques et des Brachiopodes (Brachiopoda). Elle est sécrétée par une partie du tégument, le

manteau.

Chez les mollusques, le manteau (du latin *mantellum*, diminutif de *mantum*, manteau), est un repli du tégument qui recouvre la masse viscérale et dont la face externe sécrète souvent une coquille qui n'y reste pas adhérente.

L'escargotage est la destruction des escargots dans les vergers ou les vignobles.

Hélix ("Hélice" ou "spirale" en grec) est le nom générique d'un genre d'escargot devant son nom à sa coquille enroulée. Certains sont bien connus des gourmets comme l'Escargot de Bourgogne (*Hélix pomatia*) et le Petit-gris

(*Hélix aspersa aspersa*).

Naissain (du verbe naître) : jeune mollusque (escargots, huîtres ou moules) qui vient d'éclore.

Hélix aspersa aspersa, plus connu sous le nom commun du Petit-Gris (**Fig11**), appelé communément en Algérie «Z'gargou» ou «Boujaghlel», « Boujaghlelou» est un escargot très répandu sur la façade méditerranéenne algérienne. Son aire

de répartition écobiogéographique s'étend à toute l'Afrique du Nord et en Europe. L'espèce a été décrite par le zoologue danois Otto Friedrich Müller en 1774.

Noms communs et vernaculaires de l'Escargot Petit-Gris :

«Z'gargou» j^j, «S'gargou» jS^SL«Babbouch» LAfcW, «Boujaghlel» «Boujaghlelou» J^+Ji et «Boukrar» 'Jj^ji(en arabe dialectal algérien et langage populaire),

«Avellarousse», «Aarousse», «Averjeghlellou» ou «Ajaghlel», nom de la coquille et, par extension celui de l'escargot (en kabyle),

«Ajoughlel» ou «Bouchkham» (en chaoui)

«Al-halazoune» ûjj^Jt, «Al-bazzague» jO^t (en arabe littéraire),

Escargot Petit-Gris, Escargot des jardins, Cagouille ou Luma (en français littéraire et langage populaire),

Brown GardenSnail(en anglais),

Caracolcomûn de jardin (en espagnol),

Braun garten Schnecke(en allemand),

Grigiolina dei giardini(en italien).



Figure 11 : Petit-Gris vu de haut (BugalloSánchez, 2006).

1.2. Zoologie

Hélix aspersa aspersa est une sous-espèce circumméditerranéenne ubiquiste dont le polymorphisme se traduit par une variation de la taille, de la coloration, de la forme, de l'épaisseur et de la sculpture de la coquille. La coloration et le système de bandes de la coquille sont d'origine génétique mais le biotope a peut-être une action secondaire sur leur variation. Ce polymorphisme a donné apparemment, en grande partie, à la race sa potentialité d'adaptation et d'acclimation (Chevallier, 1977).

1.2.1. Description morphologique

L'escargot Petit-Gris *Hélix aspersa aspersa* est un mollusque sourd et quasiment aveugle mais ses tentacules sont équipés de deux épithéliums olfactifs très puissants. Simplement en balançant ses tentacules pour détecter les odeurs qui l'entourent, l'escargot peut repérer une cible à plus d'une centaine de mètres. Il est adulte à deux ans mais peut vivre plus de cinq ans. 99% de l'activité de l'escargot, y compris ses "repas", a lieu de nuit avec un pic de 2 à 3 heures après la tombée de la nuit. La fraîcheur nocturne et la rosée facilitent ses déplacements (Chase, 1986).

Cet auteur indique que le Petit-Gris mesure entre 2,8 et 3,5 cm pour un poids adulte compris entre 7 et 15 g. Il porte une coquille calcaire à motifs variables mais le plus souvent brune rayée de noir. Sa spirale tourne généralement dans le sens des aiguilles d'une montre. La coquille de *Hélix aspersa aspersa* est gris jaunâtre souvent ornée de 1 à 5 bandes interrompues, brun violacé.

La bordure située à l'ouverture de la coquille est appelée péristome. La forme, l'épaisseur et la couleur du péristome ont une grande importance dans

l'identification des espèces des gastéropodes. La coquille est toujours hélicoïdale. La plupart du temps, l'hélice s'enroule vers la droite, et on parle alors d'escargot à coquille *dextre*. Il existe également, mais de manière plus rare et anormale, des escargots à coquille *sénestre*, c'est-à-dire dont la coquille tourne vers la gauche, « à l'envers » (Fig.13).

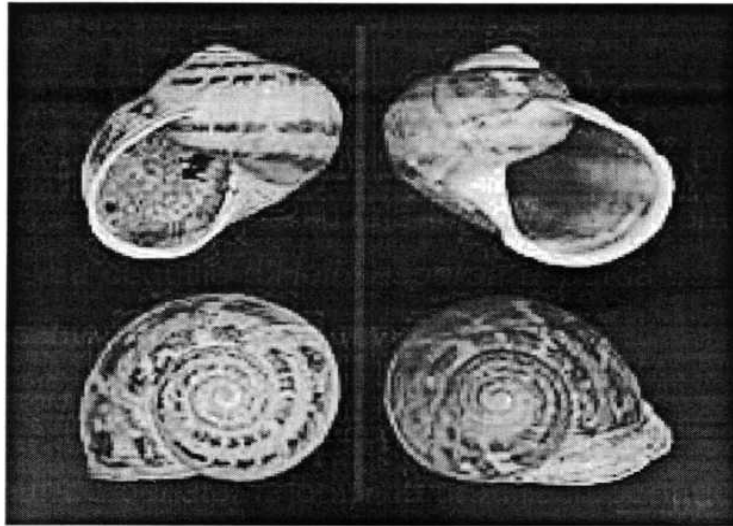


Figure 13 : Forme *sénestre* (à gauche) et *dextre* (à droite) du Petit-Gris (Descouens, 2012).

Les Petits-Gris adultes ont un *péristome* (blanc, gris ou noir) réfléchi composant la partie inférieure de la coquille, on dit alors qu'ils sont "bordés". Chez les Gros-Gris (*Hélix aspersa maxima*) d'élevage, le *péristome* est le plus souvent noir. On rencontre 1 sénestre sur environ 20 000 escargots. Le terme *péristome*, vient directement de la langue grecque et veut dire « autour de la bouche », est employé pour décrire diverses structures entourant l'ouverture d'un organe chez certains invertébrés comme les mollusques.

Chez les escargots et les autres gastéropodes pourvus d'une coquille spiralée, il s'agit du rebord de l'ouverture de la coquille entourant le *manteau*. Le *péristome* est composé des dernières spires d'accroissement de la coquille. Un

escargot est dit "bordé" lorsqu'il a le *péristome* réfléchi. Ses dernières spires sont alors concentrées et forment une bordure coquillière épaisse et légèrement relevée à la perpendiculaire des spires d'accroissement de coquille dite « juvénile ». La forme, l'épaisseur et la couleur du *péristome* ont souvent une grande importance dans l'identification des espèces de gastéropodes. Le bourrelet palléal (avec lequel on confond parfois le *péristome*) est ce qui reste visible à l'intérieur du *péristome* quand l'escargot est rentré dans sa coquille.

L'importance du *manteau* est considérable, son rôle est double : en premier lieu il intervient dans la fabrication de la coquille ; en effet sa face externe est recouverte d'un tissu sécrétant différentes couches d'une substance organique: la *conchyoline*¹(Bellonoet ai, 1971) ou *perlucine*(Grégoire, 1961), abondamment imprégnée de sels calcaires. En second lieu, la surface interne du *manteau* délimite, avec la surface contiguë du corps, une cavité : la cavité palléale (du latin *pallium*, manteau) que l'on dénomme aussi parfois : cavité respiratoire.

La *coquille* est conoïde globuleuse, ventrue, très convexe en dessus, bien obliquement bombée en dessous, sans ombilic. Son coloris est fauve brun, jaunâtre ou grisâtre orné de zigzags plus clairs que le fond, sans bandes ou avec 1 à 4 bandes sombres. Spire un peu haute, de 4 à 5 tours très convexes à croissance rapide ; *test*²solide, un peu mince (Chase, 1986).

La coquille se compose à 99 % de matière minérale. Elle grossit avec l'escargot durant toute sa croissance. Lorsqu'il est devenu adulte le bord de la coquille durcit et l'escargot est alors "bordé". Il est à signaler que la coquille représente le tiers du poids d'un escargot adulte (APIA, 2004).

Une torsion de 180° (en sens inverse des aiguilles d'une montre) a ramené la cavité palléale en avant (juste en arrière de la tête). Conséquence de cette torsion

: ploiement en "U" du tube digestif, anus rapproché de la bouche, poumons en avant du cœur, organes de droite passés à gauche et inversement, système nerveux croisé en "8". La symétrie bilatérale est inversée, mais non détruite. Conséquence de cet enroulement : atrophie, puis disparition de l'oreillette et du rein du côté droit. L'animal devient asymétrique (Thompson D'Arcy, 2005).

La *coquille*³ est sécrétée par un épais pli de peau, appelé le *manteau*⁴. Elle est composée principalement de carbonate de calcium (CaCO₃). Les gastéropodes ont donc besoin d'une alimentation riche en calcium (Ca). À la naissance, *Hélix aspersaaspersaa* une coquille qui constituera l'apex de la coquille adulte. (*Apex* est à l'origine un mot latin signifiant « sommet » ou « pointe ». L'adjectif correspondant est apical : qui se trouve près du sommet, ou de l'extrémité. Le pluriel est *apices*. *Apex*, le point de départ, et donc le sommet, de la coquille des mollusques en malacologie et en conchyliologie.

À partir de ce point, la croissance n'est ni continue, ni régulière. Elle peut ralentir voire s'interrompre lors des périodes d'inactivité et de jeûne de l'animal, notamment en hiver ou en cas de sécheresse prolongée : estivation. Ces irrégularités se manifestent par la formation de stries de croissance souvent visibles en surface. Le muscle columellaire maintient le gastéropode dans la coquille (Thierry, 2006).

Hélix aspersaaspersa dispose de deux paires de tentacules retréctiles, appelés «*cornes*» ou «*antennes*» dans le langage familier. Dans la partie supérieure de la tête la première paire de «*cornes*» abrite les yeux mais la vue est un sens peu utilisé. Ils possèdent surtout un bulbe olfactif sous l'œil et la deuxième paire de tentacules est un organe olfactif et tactile (épithélium) qui est en revanche très utilisé



Figure 14 : Les deux paires de tentacules d'un escargot (Dcschmidt, 2008).

Le Petit-Gris, comme de nombreux autres mollusques, dispose de neurones géants permettant l'implantation d'électrodes intracellulaires largement utilisées en recherches neurologiques pour mieux comprendre le mode de fonctionnement des neurones humains (Sejnowski et Delbruck, 2013).

Principales caractéristiques de l'escargot Petit-Gris : coquille conoïde globuleuse, ventrue, très convexe en dessus, bien obliquement bombée en dessous, sans ombilic ; spire un peu haute, de 4 à 5 tours très convexes à croissance rapide ; test solide, un peu mince, fauve brun, jaunâtre ou grisâtre orné de zigzags plus clairs que le fond, sans bandes ou avec 1 à 4 bandes sombres. Longueur : 20 à 40 mm ; Diamètre : 25 à 45 mm. Longévité : 5 ans.

1.2.2. Description anatomique

Le corps d'un escargot consiste en un pied unique, une tête et une masse viscérale enroulée qui est placée dans la coquille. Le mouvement a lieu grâce à l'expansion et l'extraction de muscles dans le pied. Des glandes placées dans ia

partie antérieure du pied sécrètent le mucus. Il y a aussi des glandes de mucus sur le reste du corps protégeant l'escargot contre la perte d'eau.

Deux paires de tentacules sont placées sur la tête. La paire supérieure porte les yeux. La coquille est sécrétée par un épais pli de peau, appelé le manteau. La coquille est reliée au corps par un puissant muscle qui est attaché à la columelle (ou axe d'enroulement des coquilles de mollusques gastéropodes). Il a des "ramifications" à la tête et aux tentacules. La contraction de ce muscle permet à l'escargot de se retirer dans sa coquille. À l'intérieur de la coquille, se trouve la cavité du manteau, qui contient le cœur, le rein et le poumon (Fig.15 et 16).

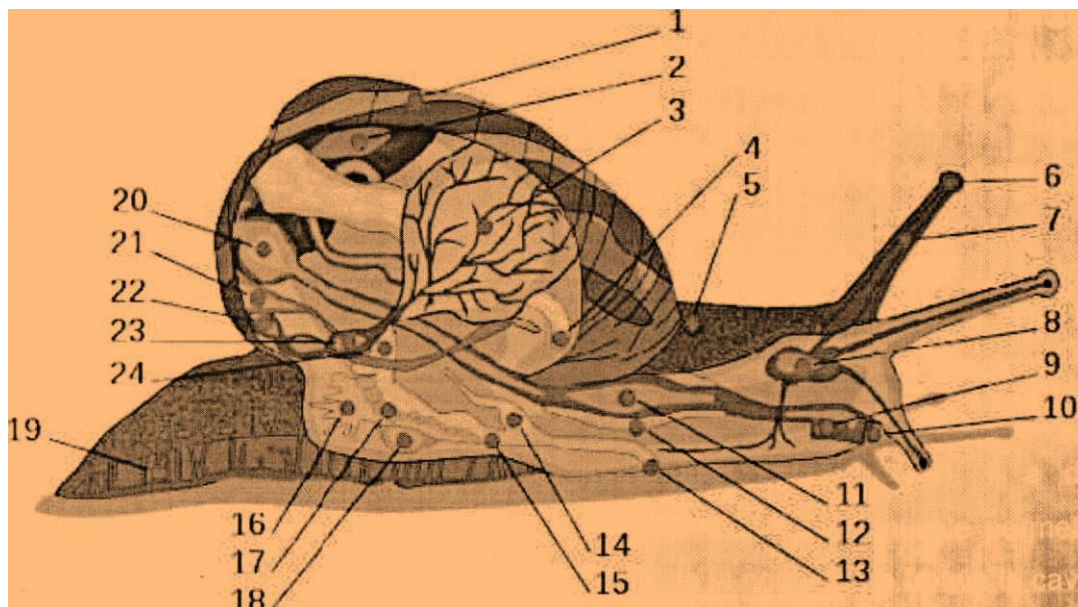


Figure 15 : Schéma en coupe de l'anatomie d'un escargot (Quibik, 2007).

- 1:**Coquille. **2:**Foie. **3:**Poumon. **4:**Anus. **5:**Pore respiratoire. **6:**Œil. **7:**Tentacule.
8:Cerveau. **9:**Conduit salivaire. **10:**Bouche. **11:**Panse. **12:**Glande salivaire.
13:Orifice génital. **14:**Pénis. **15:**Vagin. **16:**Glande muqueuse. **17:**Oviducte.
18:Sac de dards. **19:**Pied. **20:**Estomac. **21:**Rein. **22:**Manteau. **23:**Cœur.
24:Canal déférent.

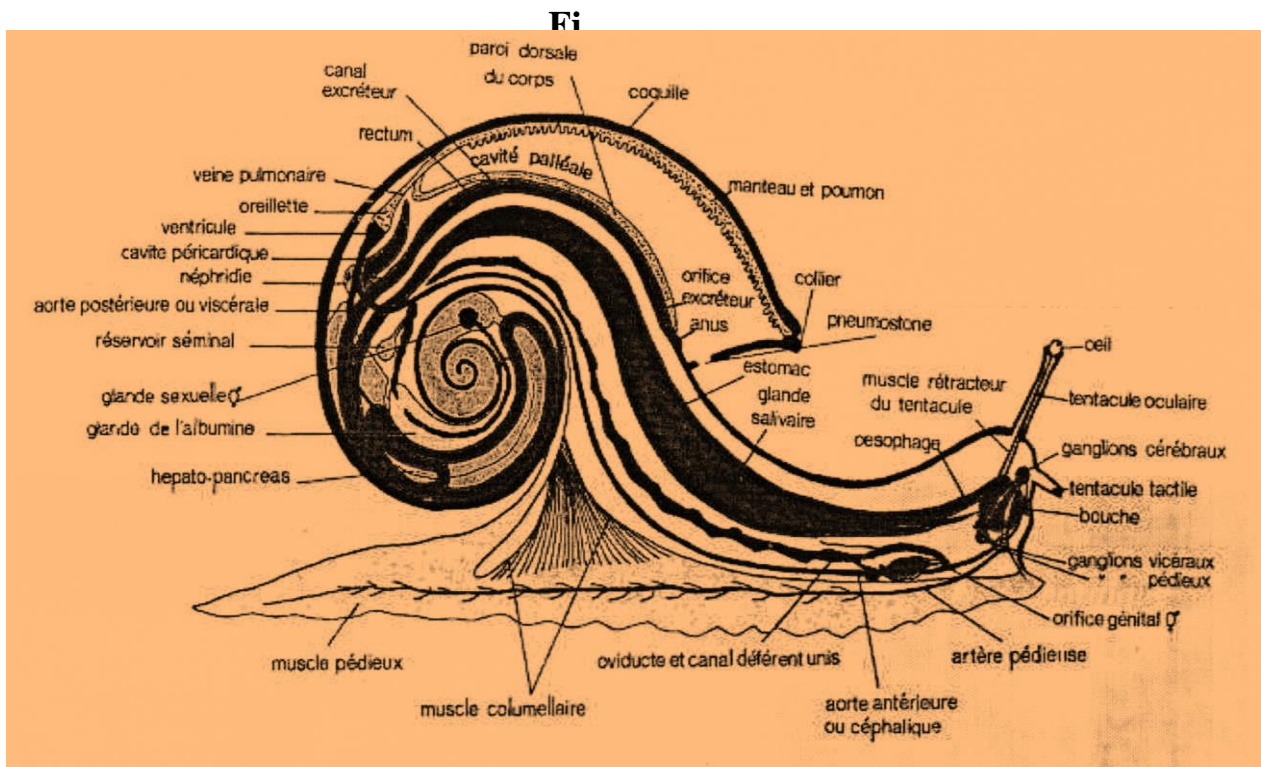


Figure 16 : Schéma de l'anatomie de l'escargot (Cazin, 2014).

L'escargot possède une respiration pulmonaire. Le poumon est formé par la cavité palléale, espace situé entre la masse viscérale et le manteau qui recouvre l'intérieur de la coquille. Il s'ouvre à l'extérieur par l'orifice respiratoire dont on

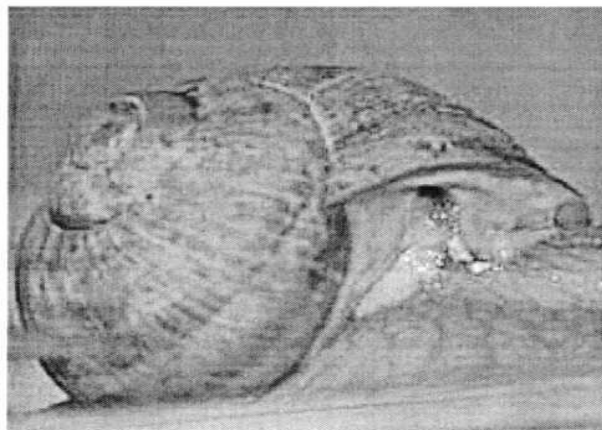


Figure 17 : Orifice respiratoire chez l'escargot (Pol, 2006). peut observer aisément les mouvements rythmiques d'ouverture et de fermeture (Fig.17).

1.3. Déplacement

Hélix aspersa déplace, seulement vers l'avant, grâce à son pied, qui est en fait un gigantesque muscle qui se contracte et s'allonge alternativement. Sa vitesse moyenne pour un adulte est d'un 1 mm/s soit 3,6 m/h. L'escargot arrive à déplacer 170 fois son poids, autrement dit un escargot qui pèse 10 g par exemple peut déplacer un poids d'environ 1,5 kg.

Ses glandes sécrètent différents types de mucus (la « bave ») contenant de nombreux composés (allantôme, collagène, élastine) qui lui permettent à la fois d'avancer plus facilement en glissant sur les obstacles et de se fixer même verticalement sur certaines parois. Le mucus sert aussi à se débarrasser de certaines substances, comme les métaux lourds, et entre aussi dans la composition de la coquille.

Le mucus est épais, il durcit et sèche au contact de l'air en laissant une traînée brillante à la lumière (Fig.18). Les mucus sont différentes sécrétions visqueuses et translucides, produites par divers organismes, et chez ceux-ci par diverses organes ou muqueuses. Les escargots produisent des mucus externes ayant des fonctions de protection et parfois de facilité de déplacement, voire de communication.

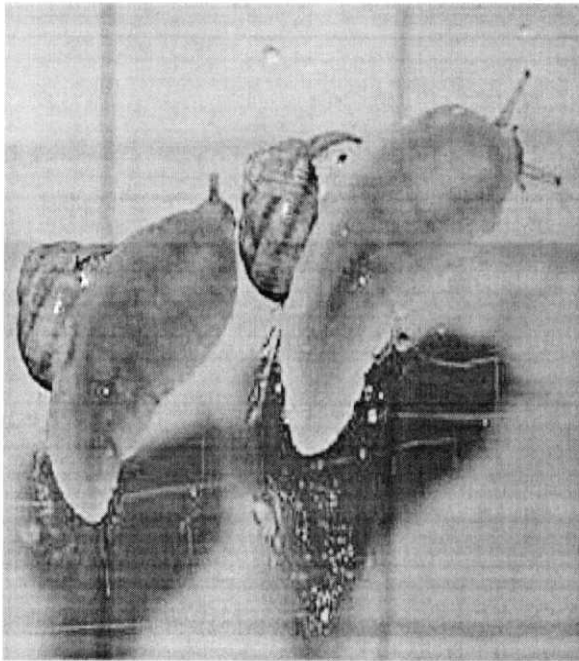


Figure 18 : Ondes de contraction sur la face ventrale des pieds d'escargots (Pol, 2001).

L'allantoïne est un composé chimique azoté, de formule $C_4H_6N_4O_3$, découvert par le pharmacien et chimiste français Vauquelin dans le liquide amniotique de la vache ; il a été trouvé également dans l'urine du veau (Wöhler, chimiste allemand). L'industrie cosmétique utilise l'allantoïne extraite du mucus de certains gastéropodes, dont les escargots.

L'allantoïne est le produit de l'oxydation de l'acide urique. Accélérateur la cicatrisation de la peau et la régénération des cellules. Elle est utilisée en cas de plaie ou brûlure aussi bien en médecine qu'en cosmétique (allantôme extraite de la bave d'escargot). On en trouve dans les dentifrices, shampooing, rouge à lèvres, produit anti-acné, crème solaire, etc. L'allantoïne n'est pas antiseptique. En raison de possibles interactions, les préparations contenant de l'allantoïne ne doivent pas être stockées dans des récipients de métal. Synonymes : Ureidohydantoïn, Glyoxyldiureide, Hemocane, 5-ureidohydantoin.

Le collagène est une glycoprotéine fibreuse dont le rôle peut être comparé à une armature. Il s'agit de la protéine la plus abondante de l'organisme et représente le quart de toutes les protéines de l'organisme. Il est sécrété par les cellules des tissus conjonctifs.

Contrairement à l'élastine, le collagène est inextensible et résiste bien à la traction. Il est constitué de différents types selon leur localisation. Il est notamment indispensable aux processus de cicatrisation. Après certaines transformations, on peut en faire de la colle (Ward, 2006).

L'élastine est une protéine fibreuse de type structural. Sécrétée par les fibroblastes essentiellement durant la période de croissance, elle possède des propriétés élastiques. Sa synthèse diminue avec l'âge et l'élastine se trouve remplacée par du collagène inextensible. Les vergetures sont un exemple visible de ce processus, qui est lié à des contraintes mécaniques. Le vieillissement cutané en est un deuxième exemple (Albretset *al.*, 2002).

1.4. Alimentation

Hélix aspersa aspersa, à l'image de tous les escargots, s'alimente grâce à une langue dentée nommée *radula* formée de 1 500 à 2 500 dents. Sa langue est couverte d'aspérités très dures, disposées en rangées régulières, comme la râpe du menuisier (Fig.19). La bouche a une langue appelée *radula*. Au dessus de la bouche, il y a une arête dure et la nourriture est écrasée entre la *radula* et cette arête (Beazley, 2000).

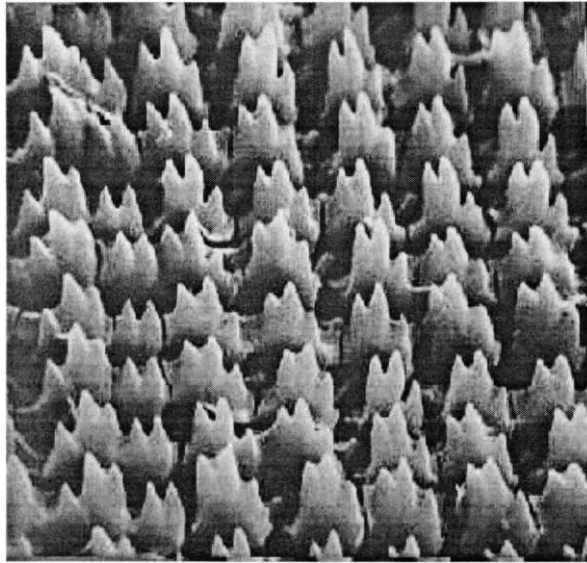


Figure 19 : Partie de la langue râpeuse de l'escargot, *laradula*, grossie 4000 fois à l'aide d'un microscope électronique à balayage (Sirtin, 2009).

La radula (du latin *radula*, "grattoir") est la langue munie de nombreuses dents chitineuses, formant une râpe, que l'on trouve dans la cavité buccale des mollusques. La disposition des dents est suffisamment spécifique pour servir à l'identification de l'espèce.

Les dents qui s'usent à l'avant sont remplacées par de nouvelles dents à l'arrière de la *radula* (fonctionnement en tapis roulant). Au-delà de l'intérêt taxonomique, l'observation radulaire permet de reconnaître le type de nutrition du gastéropode. La *radula* fonctionne en faisant des mouvements de va-et-vient grâce aux muscles qui s'attachent à l'odontophore, sorte de plaque rigide qui supporte la *radula* (Fig.20).

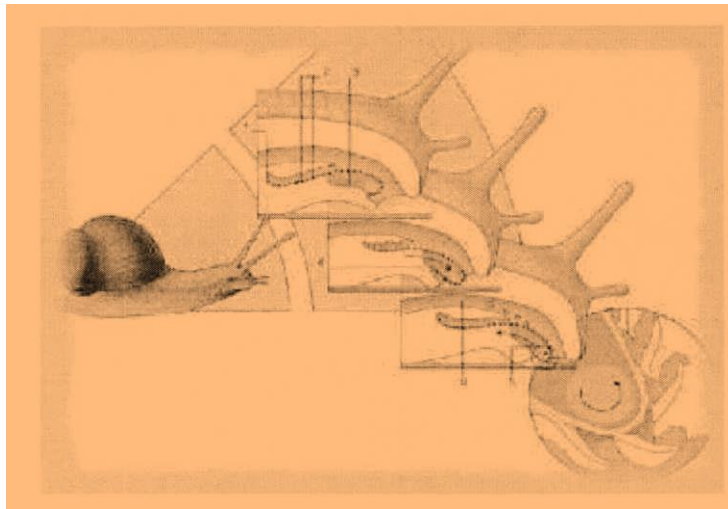


Figure 20 : Schéma du fonctionnement de la *radula* (Gireaud, 2008).

1:Langue râpeuse. **2:**Minuscules dents. **3:**Cartilage. **4:**Sortie de la *radula*. **5:**Les minuscules dents sont retirées. **6:**Les particules de nourriture sont avalées.

Hélix aspersa est phytophage (phyllophage et succivore), carpophage (ou frugivore), détritivore et parfois cannibale. Il peut s'attaquer aux plantes cultivées des jardins, causant parfois de gros dégâts aux récoltes. Il héberge dans son intestin une flore bactérienne qui participe à la digestion des végétaux. Les bactéries se maintiennent en vie durant l'estivation ou l'hibernation, en se nourrissant du mucus qui est sécrété par l'épithélium intestinal (Charrier *et al.*, 2006).

Selon Iglesias et Castillejo, 1998, le Petit-Gris s'alimente la nuit, se nourrit tout particulièrement de feuilles de la Grande Ortie (*Urtica dioica* L. 1753 - *Urticaceae.*), appelée encore Ortie dioïque ou Ortie commune « *Houraïga* [traduire urticante]^> ». Parmi leurs plantes préférées on recense le Lierre grimpant : *Hedera hélix* L. *Araliaceae* « *Qessous, Fettana, Mahboula* [trad. la folle car son feuillage est emberlificoté]^<^ » ; le Grand Plantain ou Plantain officinal : *Plantago major* L. - *Plantaginaceae* «

Meçaiça, Sif el maâ [trad. épée de l'eau] fUJiuLu-*<i**^uu>* ; la Centaurée rude : *Centaureaaspera*L. - *Asteracea* « *Ain el bouma* [trad. œil du hibou] VjJiùfi , *Charebnecib* [trad. lèvre du gendre] w-^i » ; la Grande Bardane : *Arctiumlappa*L. - *Asteraceae* « *Hebni b'zef* ["aime-moi plus fort"] <^ tilj^ » ; mais aussi la Laitue cultivée ou Salade : *Lactuca sativa*L. - *Asteracea*Sjki ; le Chou commun : *Brassicaoleracea*L. - *Brassicaceae*; etc..

1.5. Longévité

Hélix aspersaaspersa est adulte à deux (02) ans mais peut vivre plus de cinq (05) ans. Dans la nature, il dépasse rarement l'âge de trois (03) ans. Sa mort est souvent due à des prédateurs ou à des parasites. En captivité, sa longévité est bien plus longue et va de 10 à 15 ans. Certains individus ont vécu plus de trente (30) ans (Taylor, 1883)

Hibernation et estivation

Hélix aspersaaspersa, escargot terrestre, n'est actif que lorsque l'humidité est suffisamment élevée. Dans le cas contraire, l'animal se rétracte à l'intérieur de sa coquille qu'il obture par un voile muqueux (courte inactivité) ou par un *épiphragme*, ce qui lui évite la déshydratation. La photopériode et la température sont des variables saisonnières qui induisent les états d'inactivité. Hibernation et estivation sont donc des réponses à des *stress* environnementaux prévisibles (Bailey, 1981 ; Aupinel et Daguzan, 1989 ; Aupinel et Bonner, 1996 ; Ansart et Vernon, 2003),

La photopériode est le principal facteur qui déclenche l'activité ou l'inactivité des escargots, selon qu'ils sont soumis à des régimes lumineux mimant des jours longs (plus de 15 h de lumière) ou courts. La connaissance de ce phénomène est primordiale pour une exploitation rationnelle de l'animal, permettant ainsi, en jouant sur les durées d'éclairement journalier, de stimuler la croissance et la

reproduction ou, au contraire, l'entrée en hibernation (Le Guhenec, 1985 ; Lorvellec, 1988 ; Gomot, 1990 ; Buser et Combes, 2009).

L'épiphragme est un bouchon de mucus, plus ou moins imprégné de calcaire, qui durcit en séchant (Fig.21 et 22).



Figure 21 : Escargot en hibernation avec son épiphragme (Grobe, 2006).

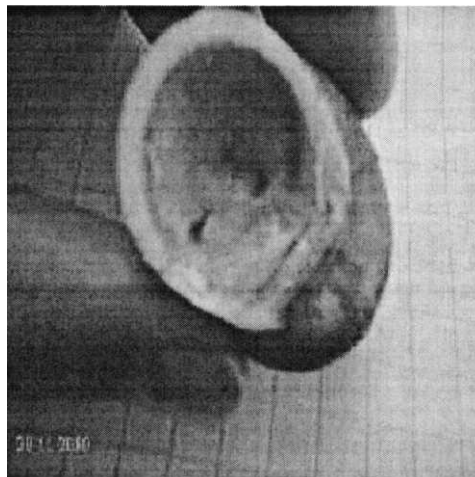


Figure 22 : *Hélix aspersa* avec son épiphragme calcifié (Sidi Amar).

1.7. Reproduction et cycle biologique

Évidemment pour pouvoir se reproduire, l'escargot doit être adulte. Quand le bord de la coquille est dur et forme une petite visière, on dit qu'il est bordé,

autrement dit un individu adulte. Par contre, quand le bord de la coquille est fin et n'est pas retroussé, la croissance se poursuit (Fig.23 et 24).

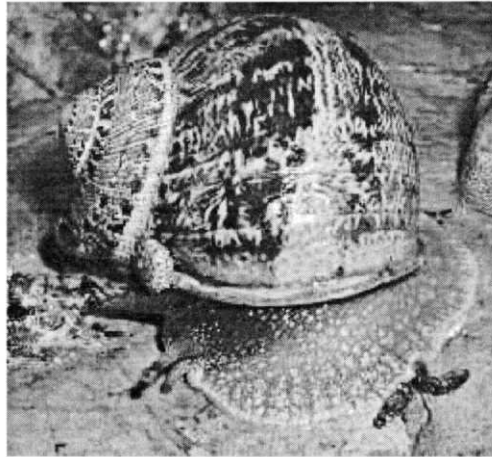


Figure23 : Petit-Gris adulte bordé (Séquier-Blanc, 2014).

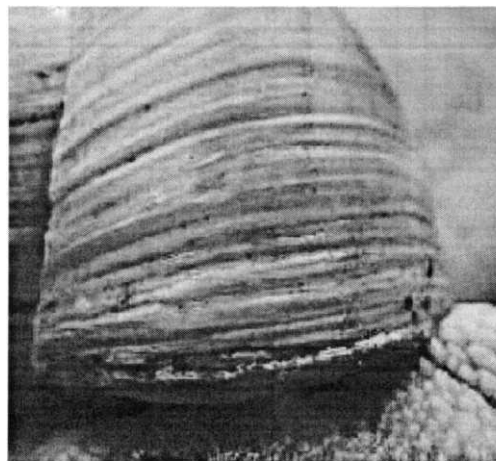


Figure 24 : Stries de croissance de la coquille du Petit-Gris (Uldry, 2012).

L'escargot est hermaphrodite. Cette particularité explique la complexité de l'appareil génital composé d'organes à la fois mâle et femelle ainsi que d'organes uniquement mâle ou femelle (Fig.25). Il comporte :

- une gonade appelée glande génitale, ou *ovotestis*, dans laquelle se forment les spermatozoïdes et les ovules, située à l'extrémité postérieure de l'hépatopancréas ;
- un canal hermaphrodite servant à l'évacuation des gamètes ;
- une glande de l'albumine qui fabrique les réserves vitellines de l'œuf ;
- un *ovispermiducte*, où cheminent d'une part les spermatozoïdes et d'autre part les ovules.

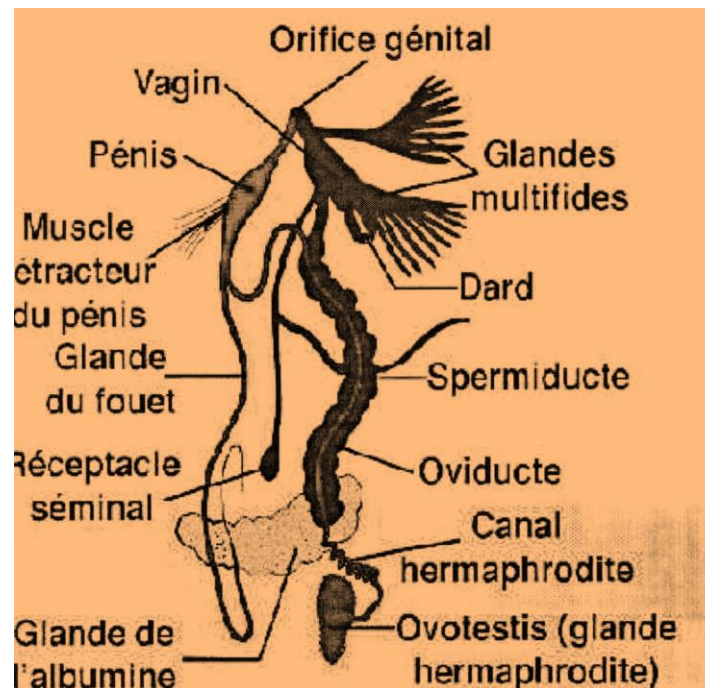


Figure 25 : Schéma de l'appareil génital de l'escargot (Guyard, 2009).

À l'issue de ce canal, l'appareil génital se divise en deux (02) voies :

- la voie mâle comprend le *spermiducte* aboutissant à l'organe copulateur, le pénis. Ce *spermiducte* possède un très long flagelle dans lequel

s'accumulent, avant leur émission, les spermatozoïdes. Ceux-ci s'agglomèrent en un long filament : le *spermatophore* ;

- la voie femelle comprend la poche qui sécrète le dard calcaire lors de l'accouplement, le vagin et l'orifice génital.

L'oviducte reçoit, en amont de la poche du dard, le canal du réceptacle séminal qui possède à son extrémité distale le réceptacle et, dans sa partie médiane, un long diverticule (petit sac ou poche). De part et d'autre de l'oviducte on trouve deux glandes annexes, les glandes multifides qui aboutissent sur le vagin. La physiologie de l'ensemble de cet appareil est encore mal connue selon Aupinelet *al.*, (1990).

Helix aspersaaspersa est un escargot terrestre simultanément hermaphrodite (morphologiquement mâle et femelle) qui produit des spermatozoïdes et des ovules. Avant la reproduction, les Petits-Gris pratiquent une cour rituelle de 2 à 12 heures

avant l'accouplement. Ce sont des pulmonates, prolifiques reproducteurs, qui s'inséminent réciproquement par paires afin de fertiliser leurs ovules. Chaque portée peut contenir jusqu'à cent (100) œufs. Les Petits-Gris, parmi d'autres escargots, possèdent une *spermathèque*⁵. Lorsqu'une nouvelle portée d'œufs arrive, ceux-ci sont donc fécondés par un mélange de spermatozoïdes provenant de différents mâles. Cela favorise le brassage génétique indispensable à toute population animale.

Ils possèdent une ouverture de reproduction d'un côté du corps, près de l'avant, à travers laquelle l'organe reproducteur externe est extrudé afin que les échanges de spermes puissent avoir lieu. La fécondation peut alors avoir lieu et les œufs se développer.

Hélix aspersaaspersa est à la fois mâle et femelle (hermaphrodite). Mais la rencontre entre deux individus et l'accouplement sont tout de même nécessaires pour la reproduction. Le printemps est la saison des accouplements et lorsque deux individus se rencontrent, ils commencent par s'enlacer : ce sont les préludes.

Lors de l'accouplement, chaque escargot connecte son organe reproducteur situé à droite de sa tête à l'organe de son partenaire (Fig.26). C'est par là que vont s'échanger les *spermatophores*. Les spermatozoïdes ainsi collectés peuvent être conservés plusieurs mois ou années avant d'être utilisés pour fertiliser des ovaires. Pendant la copulation, l'escargot plante un dard calcaire dans son partenaire afin de favoriser la survie des millions de spermatozoïdes transmis. En effet, seuls 0,025 % de ceux-ci survivent. Le dard calcaire contient un mucus contractant temporairement le système reproductif mâle de l'escargot récepteur qui peut ainsi stocker un plus grand nombre de spermatozoïdes dans sa zone de stockage (Pople et Tribune, 2002).



Figure 26 : Accouplement de Petits-Gris (Buron-Mousseau, 2014).

À côté de la tête, les escargots ont une poche musculaire contenant un dard d'amour (Fig.27). Pendant les préludes, la poche musculaire s'ouvre et éjecte le dard d'amour qui va aller se planter entre la tête et la coquille chez le partenaire. Le fait d'être piqué par ce dard va stimuler les escargots qui pourront ensuite copuler. Leur pénis blanc sortira de sous le tentacule droit. Les deux partenaires s'échangeront leurs spermatozoïdes dans des petits sacs, appelés *spermatophores*. L'accouplement peut durer de 10 à 15 heures. Les deux escargots vont alors produire des ovules, qui seront fécondés par les spermatozoïdes du partenaire.

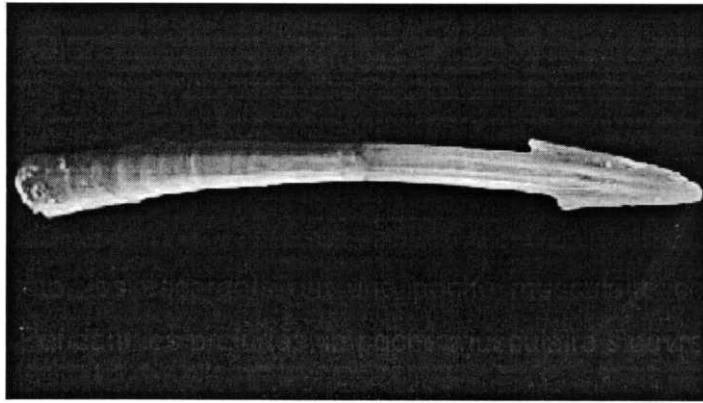


Figure 27 : Dard d'amour d'un escargot (Koene et Schulenburg, 2005).



Figure 28 : Schéma d'un Petit-Gris en position de ponte (Piel, 2014).

escargots enterrent leurs œufs à la limite de la surface, de 5 à 10cm de profondeur, principalement lorsque le temps est tiède et légèrement humide, creusant avec leur «pied» ou plus exactement l'arrière de leur queue (Fig. 28). La taille des œufs est d'environ 3 mm de diamètre. Les escargots peuvent pondre des œufs une fois par mois. Après 2 à 4 semaines de climat

favorable, les œufs éclosent et les naissains apparaissent (Fig.29).

Hélix aspersa pond en moyenne 85 œufs dans un petit trou creusé sous terre (4 à 8 cm). En climat chaud et humide (idéalement 20°C et 90 %), *Hélix aspersa* peut pondre jusqu'à trois (03) fois entre mars et octobre.

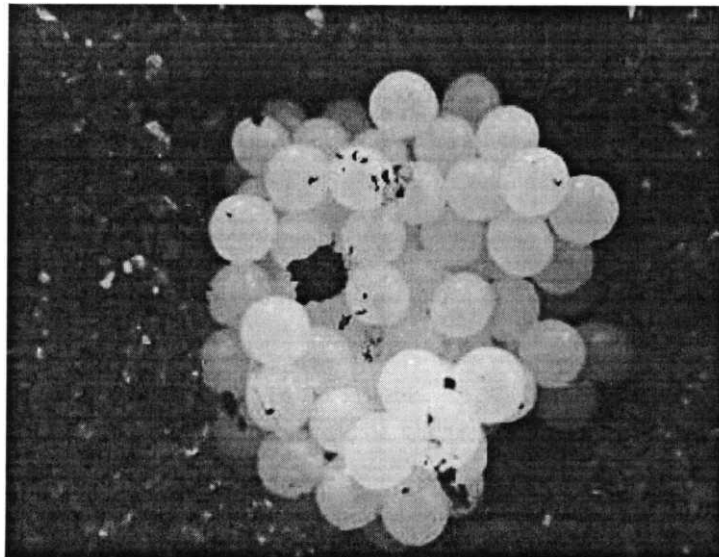


Figure 29 Œufs d'escargot (Astrid, 2011).

L'accouplement et la ponte sont très dépendants de la photopériode. L'accouplement débute lorsqu'il y a au moins dix (10) heures de lumière par

jour, soit vers la mi-février dans l'hémisphère nord et, s'arrête dès que la durée du jour repasse sous dix (10) heures, soit vers la mi-novembre. Les zones où les journées dépassent dix (10) heures mais avec des températures froides peuvent perturber la reproduction (Bailey, 1981).

La gestation dure une vingtaine de jours. Après la ponte, l'incubation dure 12 à 25 jours en moyenne en fonction du climat et de l'humidité là où les escargots évoluent. Les œufs d'*Hélix aspersa aspersa* sont de couleur blanche, sphériques et mesurent 3 mm de diamètre. Les *naissains* (ou "bébés escargots") ont besoin de plusieurs jours pour percer la protection du nid et remonter à la surface (Fig.30).

Sous un climat de type méditerranéen, *Hélix aspersa aspersa* arrive à maturité en deux (02) ans. Il éclot en automne et s'il est bien nourri et pas en situation de surpeuplement, il arrive à maturité dès le mois de juin suivant. Dans des conditions idéales créées en laboratoire, certains Petits-Gris sont arrivés à

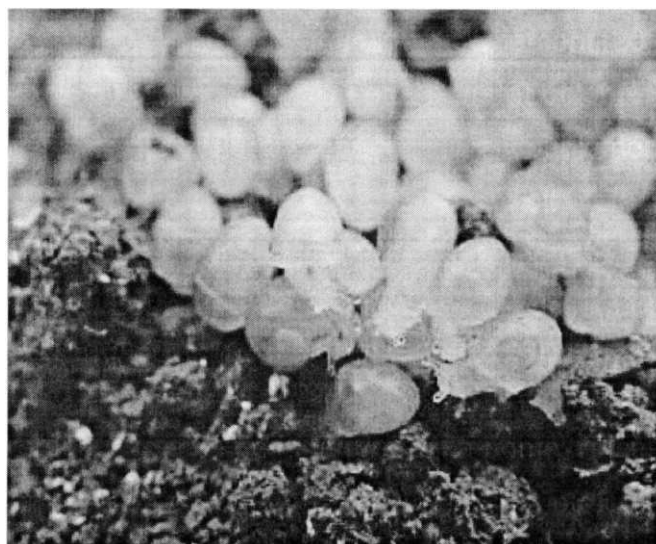


Figure 30 : Naissains escargots (Bacquet, 2012).

maturité en 6 à 8 mois. La meilleure période de reproduction du Petit-Gris est lors de sa troisième année (Flari et Edwards, 2003).

1.8. Environnement

Les escargots peuvent pour partie refléter la qualité de leur environnement en accumulant dans leur tortillon ou masse viscérale et/ou dans leur coquille certains polluants toxiques présents dans leur biotope. Leur mucus les protège des agressions extérieures, bactériennes et fongiques notamment. Il contribue à leur régulation thermique. Comme ce mucus est riche en acide sialique, la cible du virus grippal, la question a été posée de leur capacité à abriter une partie du cycle du virus grippal.

Les escargots terrestres sont très sensibles aux paramètres thermohygrométriques et semblent également sensibles à la pollution lumineuse

qui peut dérégler leur système chronobiologique et perturber les phases d'hibernation et d'estivation. Les escargots ont disparu d'une grande partie des territoires agricoles cultivés à cause des pesticides.

Possédant un régime alimentaire varié, *Hélix aspersaaspersa* est considéré comme un nuisible par les agriculteurs et arboriculteurs. Dans certains pays, on utilise le Bulime tronqué (*Rumina decollata*), représenté par les figures 31 et 32, qui est un escargot omnivore, originaire du bassin méditerranéen, qui n'est pas

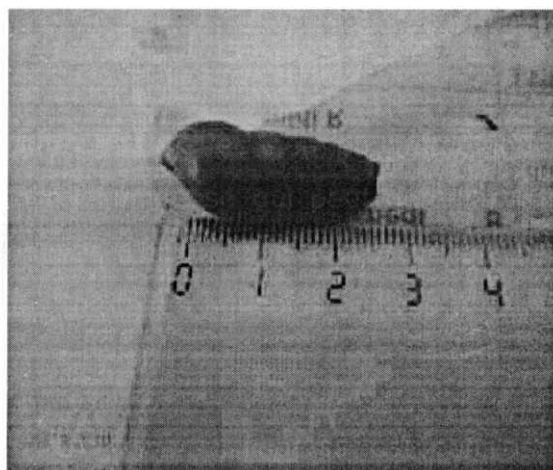


Fig. 31: Bulime tronqué (Aviad, comestible, comme moyen de lutte biologique contre l'escargot Petit-Gris.

Fig. 32: Bulime tronqué ramassé à Sidi Amar

Certaines bandes sur les coquilles des escargots, dont le Petit-Gris (*Hélix aspersaaspersa*), sont de couleur sombre, d'autres de couleur claire. Les coquilles majoritairement sombres absorbent en effet plus d'énergie solaire que les claires : ces escargots sont avantagés dans les microclimats frais et ombrés, en revanche, ils risquent la mort par choc thermique dans les endroits chauds et ensoleillés (Fig.33).

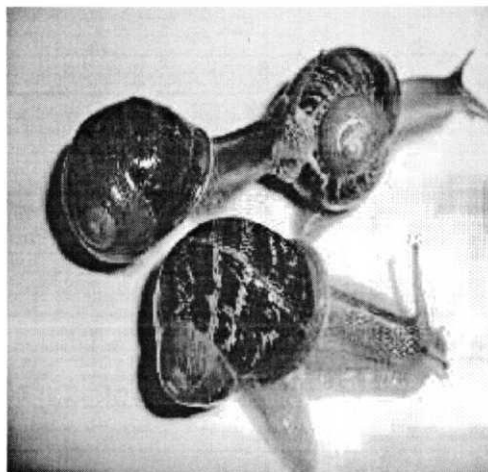


Figure 33 : Coquilles de Petits-gris (Sakho, 2013).

Les escargots sont menacés par la disparition des milieux abiotiques naturels, trouvant de moins en moins de milieux favorables pour s'alimenter, se reproduire ou simplement trouver refuge. En milieux agricoles, l'utilisation des pesticides leur est particulièrement néfaste, ainsi que la disparition des haies et des prairies naturelles. Les escargots sont des éléments biotiques importants de l'équilibre écologique car ils constituent la nourriture de certains oiseaux (grives, hiboux, ...) et autres petits mammifères (hérissons, blaireaux, ...) Ils participent également à la décomposition des plantes et des feuilles mortes, contribuant ainsi à la formation de l'humus et au maintien de la qualité du sol.

Les escargots vivant sur la terre sont uricotélique, ceci signifie que pour conserver de l'eau, ils produisent de l'acide urique, alors que ceux qui vivent dans l'eau produisent de l'ammoniaque, et ne sont pas uricotélique (Stiévenart et Hardouin, 1990).

L'escargot présente plusieurs intérêts, notamment :

- écobioologique (chaînes alimentaires et réseaux trophiques),
- édaphique et écopédologique,
- gastronomique et culinaire,

- socio-économique,
- médicinal: cicatrisation des plaies et des blessures, traitement de l'acné, dermatologique (cor, cal et œil de perdrix),
- cosmétique,

- bioindicateur et bioaccumulateur de la pollution du sol et de l'air.

1.9. L'escargot comme bioindicateur pour l'écotoxicologie

L'écotoxicologie revêt une importance primordiale pour l'évaluation de la qualité des écosystèmes et des biomes : elle s'intéresse particulièrement aux interactions entre les produits chimiques présents dans l'environnement et le biotope en englobant plusieurs domaines dont la mise au point de bioindicateurs tel que l'escargot *Hélix aspersa*Müller, 1774 ; (Zoohomonymes : *Cantareusaspersus*Müller, 1774 ; *Cornu aspersum*Müller, 1774 ; *Cryptomphalusaspersus*Charpentier 1837).

Plusieurs espèces d'escargot sont faciles à collecter, à élever, à identifier, et peuvent être trouvées presque partout. À travers la pluie et la rosée, les végétaux et le contact avec le sol superficiel, l'escargot est en contact avec divers contaminants qu'il absorbe par voie transcutanée, par voie digestive ou respiratoire (Gomot-de Vaufleury et Pihan, 2000).

Il peut accumuler dans sa coquille des minéraux : magnésium par exemple, des métaux toxiques: plomb par exemple (Beeby et Richmond, 2011) ou des radionucléides qui «*mémorisent*» ainsi une partie de son exposition passée à certains contaminants. L'escargot terrestre se déplace relativement peu et *bioaccumule* au cours de sa croissance de nombreux contaminants (Meech et Standen, 1975 ; Coeurdassieret *al.*,2000 ; Coeurdassieret *al.*, 2002 ; Gimbert *et al.*, 2006 ; Achuba, 2008 ; Gimbert *et al.*, 2008 ; Abdel Halimet *al.*, 2013).

La physiologie de l'escargot, son écologie et sa variabilité sont maintenant connues et il est facile à élever en condition normalisée de laboratoire. Il est sensible à de nombreux contaminants (Chevallier, 1977 ; Gomot *et al.*, 1989 ; Gomot-de Vaufleury, 2000 ; Gomot-de Vaufleury et Bispo, 2000 ; Gomot-de Vaufleury et Kerhoas, 2000 ; Gomot-de Vaufleury et Pihan, 2000 ; Gomot-de Vaufleury, 2001 ; Gomot-de Vaufleury et Coeurdassier, 2001 ; Gomot-de Vaufleury et Pihan, 2002 ; Van der Oost *et al.*, 2003).

La qualité de la croissance et de la reproduction de certains escargots donnent des indices de degré de pollution du sol, par exemple par des pesticides ou certains éléments-trace métalliques. Il permet par exemple l'évaluation de la teneur en chrome *bioassimilable* d'un sol ou de pesticides organophosphorés ou encore d'étudier la *bioaccumulation* de métaux lourds dans la partie du réseau trophique qui le concerne (Russell *et al.*, 1981 ; Gomot *et al.*, 1989 ; Berger et Dallinger, 1993 ; Rabitsch, 1996 ; Heim *et al.*, 2000 ; Ismert *et al.*, 2000 ; Coeurdassier *et al.*, 2001 ; Notten *et al.*, 2005 ; Lee *et al.*, 2010 ; Belhaouchet *et al.*, 2012).

Comme il est saprophage (se nourrit de matière en décomposition) et phytophage, qu'il pond et hiverne dans le sol, il semble pertinent de le considérer comme une «*espèce sentinelle*» qui permet de tester ses "vertus" *bioindicatrices* (Ledergerber *et al.*, 1999 ; Gomot-de Vaufleury et Pihan, 2000 ; Dallinger *et al.*, 2001).

L'accumulation des métaux est influencée par les facteurs environnementaux : saison, type de sol, ...) et les paramètres biologiques des escargots : espèce, âge, ... (Marigomez *et al.*, 1986).

L'Association Française de Normalisation (AFNOR), membre de l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) en 2010-2011 a parrainé

plusieurs projets de normes, dont le PR NF EN ISO 15952 /Qualité du sol - Effets des polluants vis-à-vis des escargots juvéniles - Détermination des effets sur la croissance par contamination du sol. L'AFNOR considère que l'espèce qui se prête la mieux à ce travail est le Petit-Gris (*Hélix aspersaaspersa*), car le plus commun et facile à trouver. De plus, bien que d'origine européenne, il a été introduit dans le monde entier (Chevalier *et ai*, 2003).

Au même titre que le Ver de terre commun (*Lumbricusterrestris*) ou le Ver de rosé (*Lumbricusrubellus*), l'escargot a la particularité de concentrer dans ses tissus les substances chimiques présentes dans le sol, l'air et les plantes de son environnement: Cd, Pb, Zn, Cu, Hg et As. En observant ce qui est accumulé dans l'organisme du gastéropode, on peut donc savoir si un sol est pollué mais également évaluer la quantité de polluants susceptible de se disperser dans la nature et de contaminer les êtres vivants.

Ceci donne des informations très utiles pour tester des pesticides par exemple et qu'il serait impossible d'obtenir avec une méthode classique d'analyse du sol (Schuytemaet *al.*, 1994 ; Swaileh et Ezzughayyar, 2001 ; Scheifleret *al.*) 2002 ; Scheifleret *al.*, 2003 ; Scheifleret *al.*, 2006).

Les escargots du genre *Hélix*, élevés dans des conditions standardisées, peuvent être utilisés aussi bien comme *organismes tests* pour étudier la toxicité des métaux que comme *bioindicateurs* de pollutions terrestres (Gomotet *al.*, 1997 ; de Vaufleury et Gomot, 1998 ; Kramarzet *al.* 2009 ; Druartet *al.*, 2012).

L'escargot est non seulement herbivore, donc renseigne sur la qualité du sol et de la flore, mais il possède aussi des poumons. Ainsi, en respirant, il absorbe les polluants atmosphériques et permet donc de mesurer la pollution de l'air. De plus, la particularité de l'escargot, bien connue des biologistes, consiste à

pouvoir accumuler de grandes quantités de polluants dans son organisme sans que cela lui soit nuisible. Ainsi, au contact d'échantillons de sols pollués par des éléments-traces métalliques, la croissance de l'escargot diminue mais il n'en meurt pas pour autant, tandis qu'une quantité moins importante de métaux polluants serait fatale à l'Homme (de Vaufleury *et al.*, 2009).

En effet, ces gastéropodes sont d'excellents indicateurs biologiques. Ils rejoignent les *mytiloïdes*, plus communément appelées *moules* qui sont des mollusques bivalves, les *vers de terre*, animaux fouisseurs qui contribuent au mélange permanent des couches du sol ou des *abeilles* dans la famille des «*sentinelles naturelles de la pollution*». C'est ce qu'ont révélé des études réalisées par l'université de Franche-Comté en France. Ils ont utilisé y *Hélix aspersa*, le Petit-Gris, comme modèle animal et présenté leurs travaux lors d'un colloque national français sur les sites et les sols pollués organisé par l'ADEME (Agence française De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) en octobre 2009.

1.10. Écologie

Les escargots Petits-Gris sont des éléments importants des chaînes alimentaires et qui forment des réseaux trophiques. Ils ont de nombreux prédateurs tels que des mammifères, rongeurs ou hérissons notamment, ou des oiseaux, mais aussi parfois d'autres mollusques gastéropodes tel que le Bulime tronqué : *Rumina decollata*(Fig. 20 et 21).

Prédateurs de l'escargot dans le sous-embranchement des vertébrés :

- Les rongeurs : souris, rats et mulots.
- Les insectivores: taupes, musaraignes et hérissons.
- Les oiseaux: pies, geais et corbeaux.

- Les batraciens: grenouilles et crapauds.

Prédateurs de l'escargot dans le sous-embranchement des invertébrés :

- Les insectes: les coléoptères. Le Staphylin du littoral : *Paederus littoralis* qui se caractérise par un corps allongé : c'est une espèce pratiquant la digestion extraorale (Fig.23).
- La Lampyre ou Ver luisant : *Lampyris noctiluca*(Fig.24) : ce sont des carnassiers et la plupart d'entre eux se nourrissent de gastéropodes vivants, d'abord paralysés puis prédigérés grâce à la salive protéolytique.
- Les diptères : attirés par les escargots morts ou affaiblis. Les femelles pondent et les jeunes larves pénètrent dans le corps de l'escargot où elles se développent aux dépens des tissus, entraînant la mort de l'escargot.
- Les acariens : le *Riccardoella limacum*(Fig.25). Ce petit animal blanc de 0,4mm vit sur le pied de l'escargot et en on retrouve en grand nombre au niveau du poumon.

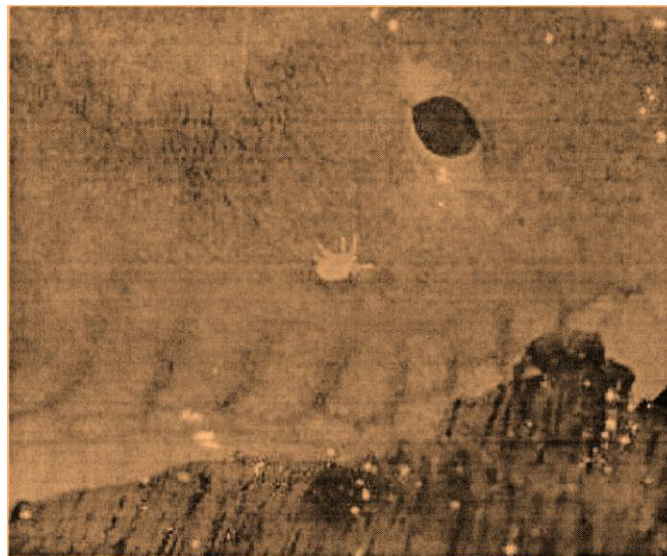


Fig. 34: Staphylins (Jeffdelonae. 2006)

1.11. Utilisation par l'Homme 1.11.1.

Gastronomie et art culinaire

Pour le ramassage ou «*la cueillette*», il faut veiller à ne pas marcher dans les herbes ou les petits fourrés, afin d'éviter d'écraser les escargots. Par exemple, dans le cas de ramassage dans les dunes de sable, suivre les chemins, et ne pas entrer dans les fourrés. Veiller aussi à respecter une discipline par rapport à la grosseur de l'escargot : dans le cas du Petit-Gris, il est important qu'il soit bien bordé, et pèse plus de 8 g, c'est-à-dire que sa longueur (coquille) atteigne 3 cm hors bordé. Le mieux est de prélever seulement ceux qui atteignent 3,5 cm bordé compris, ainsi ils pèsent plus de 11 g, et ont atteint l'âge adulte, ce qui leur a permis de se reproduire.

La «cueillette» effectuée en ligne par une famille, fouillant les fourrés est à proscrire sous peine de voir disparaître cette espèce, qui malgré tout est appréciée des gourmets. Ainsi, on parle de «*cueillettes durables et intelligentes*» des Petits-Gris.

Dans certaines régions de l'Algérie, deux sous-espèces sont ordinairement consommées sous l'appellation vernaculaire de « *Babbouch* » <A*# ou « *Boujaghlel* » J&iÿè :

- le Petit-Gris (*Hélix aspersaaspersa*), avec des recettes plus diverses que variées et souvent locales, une taille de 28 à 35 mm pour un poids adulte de 7 à 15 g.
- le Gros-Gris(*Hélix aspersa maxima*), taille de 40 à 45 mm pour un poids adulte de 20 à 30 g.

Les deux races ou sous-espèces d'escargots qui vivent communément en Algérie, à savoir le Petit-Gris (*Hélix aspersaaspersa*) et le Gros-Gris(*Hélix aspersa maxima*), aux fines herbes sont devenues des plats que se disputent les fins gourmets en Europe. La demande du marché européen est devenue forte au point de pousser bon nombre d'exportateurs de la région Ouest de l'Algérie à recourir aux bras de plusieurs ouvriers pour la collecte appelée localement « *Tegchir El-Bebouch* ».

La ruée vers l'escargot de l'Oranie a été surtout encouragée par les nationaux émigrés, originaires de la région, qui ont initié les européens à la texture et à la saveur d'un plat de « *Bebouch* » parfumé à « *Ras el hanout* » ^>>bJl o-ij, littéralement «*tête de l'épicerie*» car constitué de 14 épices ou plongé dans un bouillon fait de Thym commun (*Thymus vulgaris*), de Laurier noble ou Lauriersauce (*Laurusnobilis*), de poireaux (*Allium porrum*), d'Oignons ou Oignons (*Allium cepa*) et de Khella, ou Noukha dans le Maghreb Arabe, également nommée Ammi visnage :



Figure 35 : Khella, ou Noukha (Salguero, 2005).

La première opération d'exportation en direction de l'Europe, à partir du port d'Oran, a été réalisée au mois de décembre 2005. La Chambre de commerce et d'industrie de l'Oranie indique qu'une quantité de près de 4 tonnes d'escargots, dont 1,9 pour l'Italie, a été exportée vers l'Europe (Sabaou, 2006).

Les consommateurs européens habitués à la texture de l'escargot de Bourgogne, très répandu en France et en Espagne, qu'ils trouvent gras, se sont

rabattus sur le Gros-Gris oranais ou le « *Boukrar*» **جياح** comme appelé localement. Son poids, le faible taux en matières grasses de sa chair et sa coquille solide, font de lui un produit très recherché par les gastéropophages européens.

La demande grandissante des marchés européens a poussé les exportateurs à aller s'approvisionner dans les wilayas de l'Est du pays, humides par rapport à l'Oranie. Les habitants de ces régions n'ont pas pris l'habitude de consommer ce produit, selon le quotidien national Algérie Actualité, paru le 20 mai 2006, qui a cité le cas d'un commerçant qui a exporté vers l'Europe près de cinq (05) quintaux de « *Boukrars*» dont le prix de vente au marché local a atteint 150 DA le kilogramme.

Dans la région de Blida, les escargots sont préparés avec une friture de tomates fraîches et d'oignons, une « *ch'tithaharra*», bien relevée. Béchiques selon certains médecins, autrement dit qui guérissent la toux (Boumlih, communication personnelle, 2012). Une farce composée de beurre et de fines herbes ainsi que de l'ail à introduire dans la coquille, puis l'escargot est préparé avec une sauce blanche (Fig.36). À l'entrée des souks, des étalages à même le sol laisse voir les lentes avancées de ces escargots des deux espèces différentes, vendues à 100 et 150 DA le kilo. Petit-Gris - Escargot de Bourgogne - ou natif d'Algérie, du côté de Mouzaïa et de Oued El Alleug, l'animal est très apprécié par une frange d'algériens.



Figure 36 : Escargots en sauce (Aurita, 2008).

Vivant dans les herbes, les grandes feuilles, les troncs d'arbres, il est ramassé par les enfants pour être ramené au marché de Blida où il est mis au sec afin de le vider de toutes les substances ingurgitées. Pour le dégorger, on lui donne même à manger de la farine afin qu'il sèche plus vite. Selon des informations recueillies sur divers sites, on peut compter sur un rendement de 70 naissains par reproducteur en deux mois. Un mètre carré d'espace permet d'élever deux kilos de cette espèce que

beaucoup disent succulente (Mekhfouldji, 2009). En Europe, on consomme également les œufs d'escargot sous la forme de caviar (Fig.37).



Figure 37 : Caviar d'escargot (de Jaeger, 2007).

1.11.2. Héliciculture

Depuis les temps les plus anciens l'Homme consomme des escargots. Au départ, ils étaient ramassés dans la nature et mangés rapidement, ensuite les êtres humains voulurent avoir des stocks dans lesquels ils peuvent se servir selon leurs besoins et leurs envies. De l'idée de parcs de réserves au temps des romains on passa progressivement aux parcs d'élevages à la fin du 19^{ème} siècle.

L'héliciculture prend son essor dans les années soixante-dix suite à la raréfaction de certains taxons d'escargots dans la nature et à l'augmentation de la population humaine. Les escargots les plus couramment consommés sont :

l'escargot de Turquie (*Hélix lucorum*), originaire des Balkans (Fig.38) ;

- l'escargot de Bourgogne (*Hélix pomatia*), zone continentale de l'Europe (Fig.39) ;
- *Hélix aspersa*(Fig.40) avec deux sous-espèces, à savoir le Gros-Gris : *Hélix aspersa maxima* (Fig.41) et le Petit-Gris : *Hélix aspersa aspersa*(Fig.42), zone méditerranéenne.

Seuls ces deux derniers taxons sont élevés car leur valeur culinaire est supérieure aux autres.

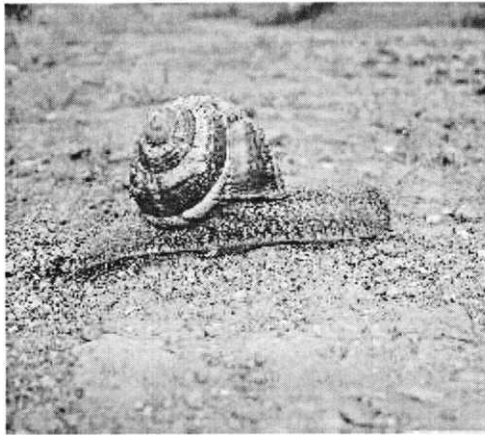


Figure 38: *Helix lucorum* (Iankov, 2007)



Figure 39 : *Helix pomatia* (Zeli, 2010)

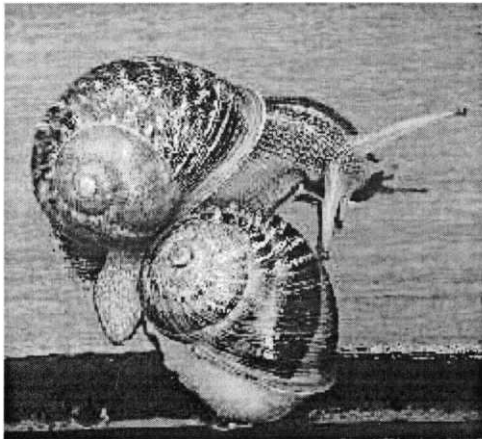


Fig.40 : *H. aspersa* (Gbaiocco, 2009)

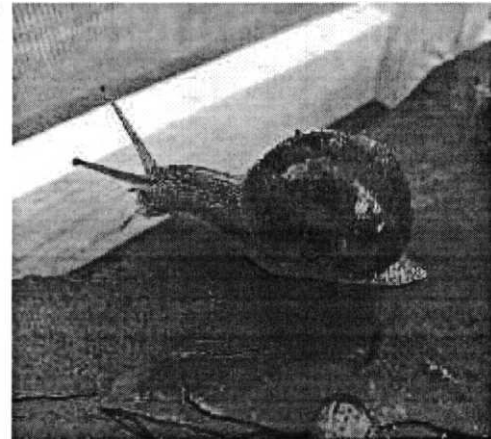


Fig. 41 : *H. aspersa maxima* (Nicobxl, 2013)

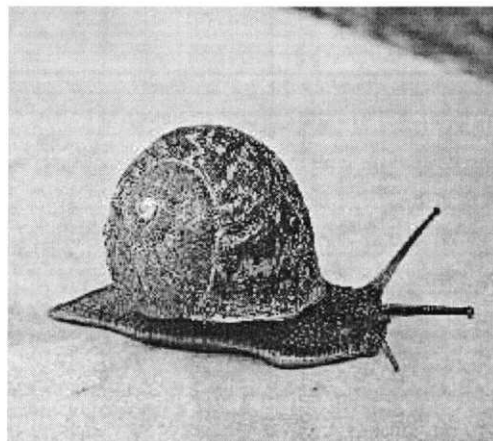


Figure 42 : *Helix aspersa aspersa* (Rasbak, 2008).

Hélix aspersa est une des espèces les plus faciles à élever en héliciculture. Elle s'adapte facilement à différents types de climat et d'environnement. Les fermes à escargots permettent d'élever jusqu'à 400 Petits-Gris au m². Seules les sous-espèces (Petit-Gris et Gros-Gris) peuvent être élevées de façon rentable.

L'héliciculture donne des résultats acceptables dans les conditions économiques actuelles. Elle concerne principalement *Hélix aspersa*. Le lieu où s'élèvent les escargots est appelé une *escargotière*, mais c'est aussi le nom du plat spécifique, creusé de petites cavités pour mettre les escargots au four et les servir. Les textes réglementaires ne considèrent pas l'escargot terrestre comme un mollusque. Il ne rentre pas non plus dans la définition juridique de "*viande maigre*".

Les escargots issus d'élevage ne sont jamais toxiques car leur alimentation est contrôlée. En revanche, il est recommandé de faire jeûner une quinzaine de jours les escargots sauvages pour éviter de consommer, indirectement, des plantes toxiques ou éléments-traces métalliques qu'ils auraient pu ingurgiter juste avant le ramassage.

1.12. Cosmétique

Les Petits-Gris sont parfois élevés pour récupérer leur mucus qui est utilisé dans l'industrie cosmétique. La bave d'escargot est une crème "B/o" (Fig.43 et 44). Le fabricant de la marque "Elicina" indique que cette crème permet de :

- lutter contre l'acné,
- contre la peau vieillie et/ou fatiguée,
- contre les rides,

- contre les vergetures,
- les marques de brûlures,
- les blessures de la peau,
- elle a aussi un pouvoir cicatrisant.

Cette bave, comme nous l'avons signalé dans le paragraphe 1.3-, contient des substances très efficaces et reconnues pour leurs propriétés de régénération, guérison et de protection de la peau. Les sécrétions de l'escargot, contiennent de l'allantoïne, du collagène, de l'elastine, de l'acide glycolique, des peptides qui sont des antibiotiques naturels et des vitamines (A, C et E).

Une crème biologique cosmétique est fabriquée à partir de la bave d'escargots. Elle permet d'embellir l'apparence de la peau, les soins du visage et du corps (Toja, 2011).



Figure 43 : Crème à la bave d'escargot (Toja, 2011)



Figure 44 : Bave d'escargot dans la cosmétique (Bintou, 2014).

Les agents présents dans la bave d'escargots sont utilisés dans le monde de la cosmétique. L'acide glycolique nettoie les imperfections de la peau en la rendant plus élastique. L'allantoïne aide à éliminer les acnés en régénérant et en apaisant la peau. La bave d'escargots est également riche en collagène et en élastine, qui assouplissent l'épiderme et réduisent les rides. La vitamine A qu'elle contient donnent également un aspect éclatant à la peau grâce à ses bienfaits hydratants, tandis que la vitamine C lui procure un aspect jeune avec le collagène et la vitamine E aux vertus anti-inflammatoires et antioxydantes. La bave d'escargots regorge aussi des exfoliants et des antiseptiques naturels.

-Une crème régénératrice à base d'extrait de bave d'escargots et d'*Woevera*> vient d'être mise sur le marché. Avec ses vertus anti-rides, anti-tâches, et réparatrices, ce nouveau produit cosmétique donne un éclat à la peau du visage. Par sa composition riche en collagène, élastine, acide glycolique, allantoïne, la bave d'escargots associée, à *Y Aloe vera*>, hydrate la peau en fournissant à celle-ci une régénération en profondeur.

1.13. Consommation

Les gastéropodes (classe Gastropoda) constituent le plus grand groupe animal après les insectes : on en dénombre environ 40 000 espèces vivantes. Ils sont apparus voici 600 Ma et sont les seuls mollusques à avoir conquis la terre ferme.

L'archéologie a démontré que les escargots ont été consommés vers 10 000 ans avant J.-C. La «chasse» aux escargots était pratiquée à cheval avec des chiens au XVI^{ème} siècle. Au XVI^{ème} les escargots étaient considérés comme une «viande maigre», telles les grenouilles et les tortues.

L'escargot aurait été dégusté par l'Homme dès la préhistoire, de nombreuses coquilles auraient été retrouvées dans les grottes de résidence des premiers hommes. On retrouve ensuite l'Escargot dans l'alimentation des romains et des grecs dès le IV^{ème} siècle avant J.-C. Apicius Marcus engraisait les escargots au lait pour les faire frire par la suite dans l'huile de table.

Aujourd'hui les espèces les plus consommés à travers le monde sont :

- L'Escargot de Bourgogne (*Hélix pomatia*) qui est le plus connu. Sa coquille est de couleur crème et on ne consomme que le pied de ce gros escargot (20 à 40 g).
- L'Escargot des Balkans ou de Turquie (*Hélix lucorum*) qui est un gros escargot de 20 à 40 g dont le tortillon doit être enlevé, sa chair est peu savoureuse et sa coquille est beaucoup utilisée en étant farcie de chairs d'Achatine (= Escargot géant africain).
- Le Gros-Gris(*Hélix aspersa maxima*) qui est un gros escargot de la taille du Bourgogne (20 à 40 g), originaire d'Afrique du Nord dont le tortillon doit être également enlevé. Ce qui le différencie du Petits-Gris c'est que le

Chapitre II

Matériel et

méthodes

manteau est noir, détail qui se remarque vivant mais également dans l'assiette après cuisson.

- le Petit-Gris (*Hélix aspersaaspersa*) à coquille rayée de brun gris pèse de 5 à 15. Il apprécie les climats maritimes humides et vit à l'état naturel en Algérie et sur les côtes méditerranéennes. Il peut se consommer entier avec son tortillon. C'est l'escargot le plus tendre, le plus savoureux et le plus recherché des gastronomes.

Hélix aspersa a fait l'objet d'une cueillette active pour consommation. Sa récolte n'obéit à aucune réglementation en Algérie. Par exemple, on ne doit pas ramasser un escargot non bordé, c'est-à-dire dont la coquille n'a pas encore de repli épais à l'ouverture. L'escargot est très peu sensible à la pollution. Il mange tout ce qu'il trouve, bon ou mauvais, et ne s'en porte pas plus mal. Le consommateur doit veiller à ne pas manger des escargots récoltés en terrain potentiellement pollué car dans ce cas, ces escargots normalement comestibles pourraient devenir toxiques.

La dégradation de la faune du fait du ramassage excessif des escargots à des fins de commercialisation constitue, d'après des pédologues, une atteinte nuisible à l'ensemble des processus bio-physico-chimiques qui, en interaction les uns avec les autres, aboutissent à la formation, la transformation ou la différenciation des sols (Boumelih, 2009).

Chapitre II : Matériel et méthodes

II.1. points de collecte :

Le premier site de ramassage *Hassasna* (Lat. 34°47'40.3" N. 0°20'05.0" E) se situe à proximité du complexe de cimenterie de Saïda qui est qualifié de très pollué (Ferhat *et al.*, 2004; Guaouar, 2015). Le second site de ramassage *Guerroudj Zahzah* (Lat. 34°56'09.5" N ; Long. 0°18'45.3" E), à quinze (22) Km à l'Est de la cimenterie, se localise tout près d'un verger d'oliviers relativement éloigné de sources de pollution (Fig.45).

Notre choix du site de ramassage s'est porté sur la wilaya de Saïda par la diversité des zones d'études (polluée et non polluée) ainsi que la différence très remarquables entre les individus de la même espèce que l'on va utiliser dans notre étude.



Figure 45 : Situation géographique des sites de *Hassasna* et *Guerroudj Zahzah* (google earth, 2016)

II.2. paramètres climatiques des sites *HASSASNA* et *GUERROUDJ ZAHZAH*

Les zones de *Hassasna* et *Guerroudj Zahzah* font partie d'un même étage bioclimatique. La classification de Köppen prend en considération les deux paramètres climatiques température et pluviométrie. Le climat de *Hassasna* est de type semi-aride sec et froid. La température moyenne annuelle est de 16,9°C. Les précipitations y sont plus importantes en hiver qu'en été avec une moyenne annuelle de 494 mm.

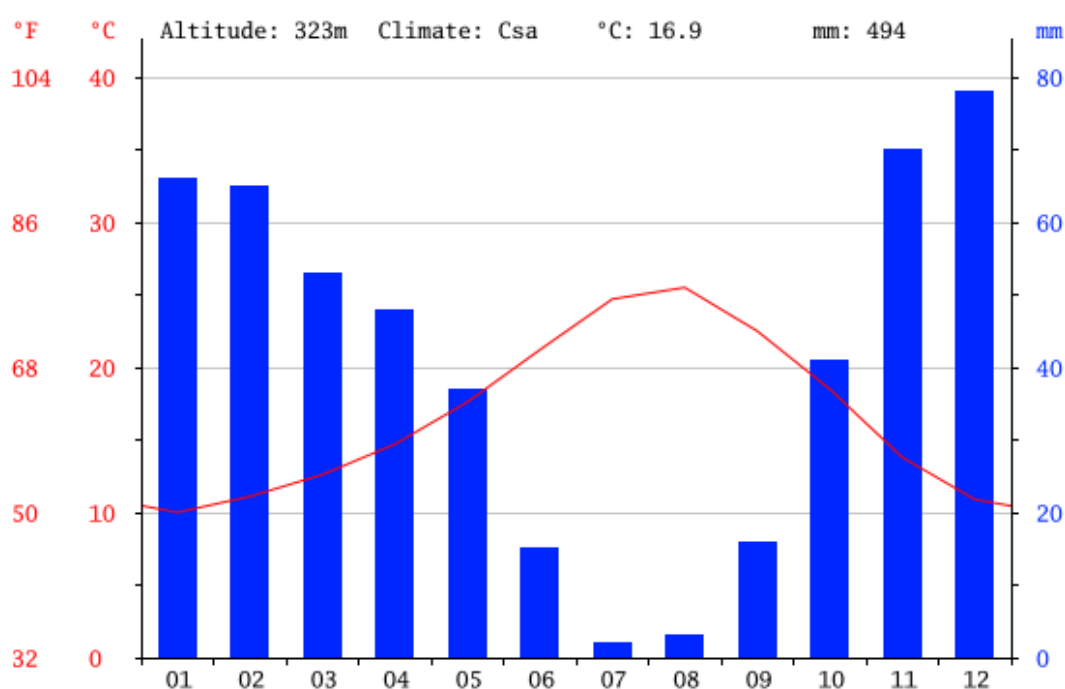


Figure 46 :Diagramme climatique de la région de Hassasna.

Aout est le mois le plus sec de l'année. La température moyenne est de 25,5°C à cette période. Janvier est le mois le plus froid avec une température moyenne de 10°C. Une différence de 80 mm est enregistrée entre le mois le plus sec et le mois le plus humide. Sur l'année, la température varie de 15,5°C (Fig.46 et 47).

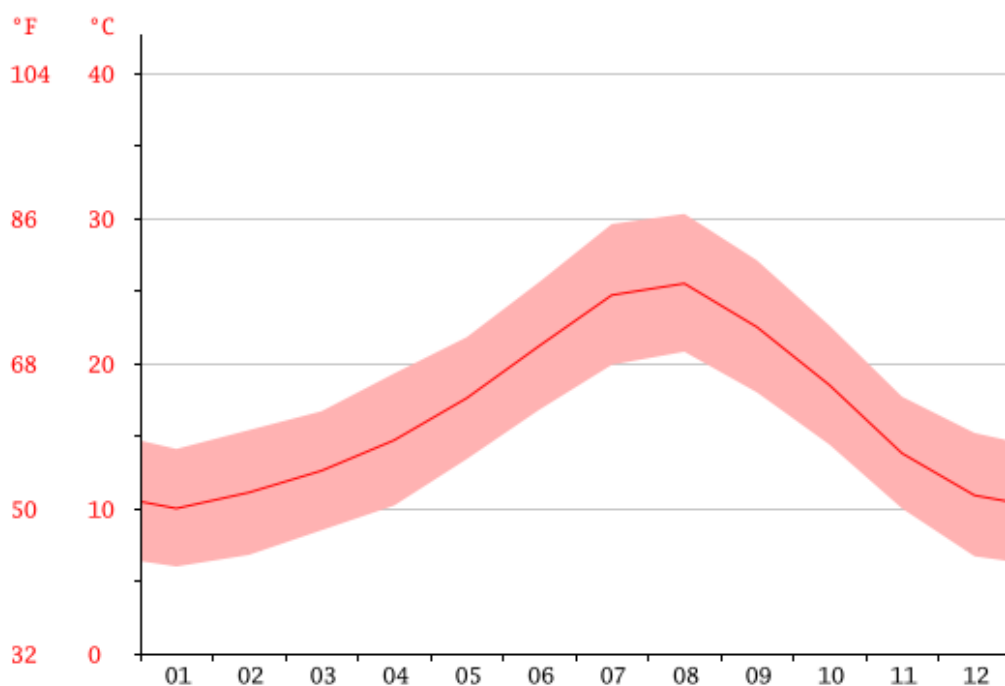


Figure 47 : Courbe de température à *Hassasna*(Schwarz, 2014).

Le climat de *Guerroudj Zahzah* est de type semi-aride, Les précipitations sont plus importantes en hiver qu'en été. La température moyenne annuelle est de 17°C. La moyenne des précipitations annuelles atteint 500 mm. Avec 3 mm, le mois de juillet est le plus sec. En décembre, les précipitations sont les plus importantes avec une moyenne de 80 mm.

Août est le mois le plus chaud de l'année. La température moyenne est de 25,7°C à cette période. Janvier est le mois le plus froid de l'année. La température moyenne est de 12 °C à cette période. Une différence de 77 mm est enregistrée entre le mois le plus sec et le mois le plus humide. Sur l'année, la température varie de 14,6°C (figures 48 et 49).

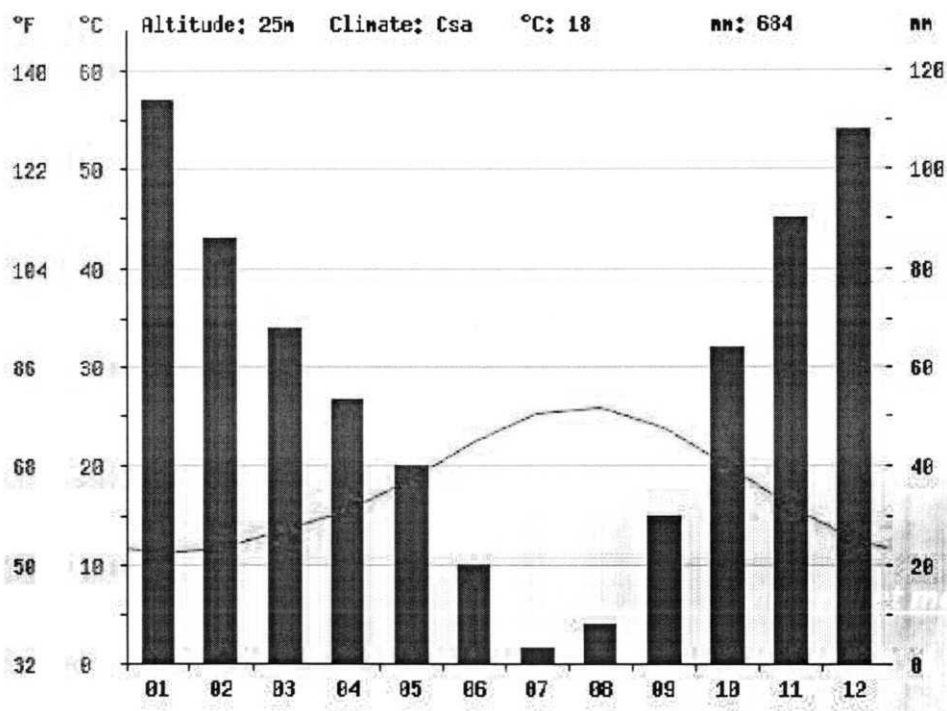


Figure48: Diagramme climatique à Guerroudj Zahzah(Schwarz,

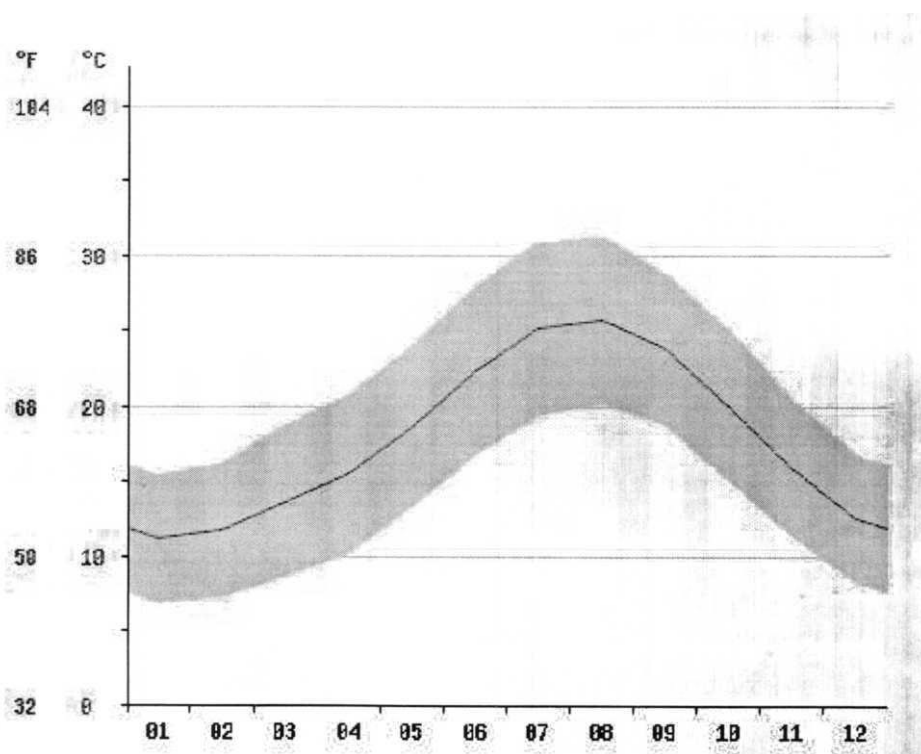


Figure 49 : Courbe de température à Guerroudj Zahzah(Schwarz,

Nous constatons que les deux régions de *Hassasna* et de *Guerroudj Zahzah* appartiennent au même étage bioclimatique qui est du type semi aride et chaud (Csa), ce qui nous permet de comparer les échantillons de populations d'escargots ramassés dans les deux sites, à savoir ceux de *Guerroudj Zahzah* et *Hassasna*.

II.3. Matériel biologique

Helix aspersa aspersa (Gastropoda : Stylommatophora ; Helicidae), connu sous le nom vernaculaire d'escargot Petis-Gris, a été choisi en raison de sa sédentarité, de son abondance dans la région d'étude et surtout en tant que *bio indicateur* et *bio accumulateur de* polluants des sols.

Cela s'est passé le samedi 07 mai 2016, une collecte a été effectuée sur les deux sites avec une centaine d'individus pour chaque site, et de manière anarchique exprès histoire de ne pas seulement faussant l'objet de l'étude en se focalisant sur les meilleurs sujets.

II.3.1. Rang taxonomique d'*Helix aspersa*

Il s'agit là de classer scientifiquement ou si l'on veut biologiquement l'escargot *Helix aspersa*, cela correspond autant à la systématique, qui est la méthode ou ensemble de méthodes pour classer le vivant, qu'à la taxinomie ou taxonomie, qui est la classification elle-même, issue de l'application de certaines méthodes. Les méthodes de la «*classification dite classique*» ou «*traditionnelle*» ont été dominantes jusqu'à la seconde moitié du XX^e siècle, marquée par l'apparition en 1950 de la *systématique phylogénétique* ou *cladistique* (Henning, 1950).

II.3.1.1. Classification classique

La classification classique ou «*classification dite traditionnelle*» de l'escargot terrestre Petit-Gris est comme suit :

Règne	Animalia Linnaeus, 1758 Synonyme = Metazoa Haeckel, 1874
Embranchement	Mollusca Cuvier, 1795
Classe	Gastropoda Cuvier, 1797
Ordre	Stylommatophora Schmidt, 1856
Famille	Helicidae Rafinesque, 1815
Genre	Helix Linnaeus, 1758
Espèce	Helix aspersa Müller, 1774 Synonyme = Cornu aspersum aspersum Müller, 1774
Sous-espèce	Helix aspersa aspersa Müller, 1774

II.3.1.2. Classification phylogénétique

La classification phylogénétique ou «*classification dite moderne*» du Petit-Gris est comme suit :

Domaine (ou Empire)	Eukaryota Whittaker & Margulis, 1978
Sous-domaine	Unikonta Cavalier-Smith, 1987
Super-règne	Opisthokonta Adl & al., 2005
Règne	Animalia Linnaeus, 1758 Zoohomonyme = Metazoa Haeckel, 1874
Sous-règne	Eumetazoa Bütschli, 1910
Embranchement	Mollusca Cuvier, 1795
Classe	Gastropoda Cuvier, 1797
Sous-classe	Orthogastropoda Ponder & Lindberg, 1996
Ordre	Pulmonata Cuvier, 1814
Sous-ordre	Eupulmonata Haszprunar & Huber, 1990
Infra-ordre	Stylommatophora Schmidt, 1856
Super-famille	Helicoidea Rafinesque, 1815
Famille	Helicidae Rafinesque, 1815
Genre	Helix Linnaeus, 1758

Espèce	Helix aspersa Müller, 1774
(Zoohomonymes)	Cantareus aspersus Muller, 1774, Cornu aspersum Muller, 1774, Cryptomphalus aspersus Charpentier, 1837
Sous-espèce	Hélix aspersa aspersa Muller, 1774 Synonyme = Cornu aspersum aspersum Muller, 1774

II.3.2. Étymologie et définitions

- *Hélix*, en grec, signifie "hélice", "spirale" ou "vrille", désigne le nom du genre en raison de sa coquille enroulée en hélice.

- *Hélix aspersa* est le nom d'une espèce d'escargot comestible dont il existe deux formes: *Hélix aspersa aspersa* Muller, 1774 (Petit-Gris) et *Hélix aspersa maxima* Taylor, 1883 (Gros-Gris).

- *aspersa*, *adpersa*, en latin signifie "dispersé" ou "se réfère à la pigmentation".

- Le terme classification classique désigne, en Sciences Naturelles, une méthode historiquement utilisée pour classifier les espèces vivantes. Dans le sens général, les termes suivants sont synonymes : classification traditionnelle, systématique classique, systématique traditionnelle, taxinomie classique, classification linnéenne, systématique linnéenne ou taxinomie linnéenne. En biologie, d'une manière générale, la classification classique désigne la classification scientifique traditionnelle, fondée sur une analyse comparée des caractères morphologiques des espèces. Le botaniste suédois Carl von Linné (1707-1778) en fut l'initiateur, en l'appliquant à tous les êtres vivants qu'il connaissait.

- La classification phylogénétique (de génétique avec le préfixe phylo-, issu du grec, phylon, «tribu, race»), est un système de classification des êtres vivants qui a pour objectif de rendre compte des degrés de parenté entre les espèces, et qui permet donc de comprendre leur histoire évolutive (ou phylogénie). Elle ne reconnaît pas certains groupes comme les *reptiles* ou les *poissons* contrairement à la classification classique. La *classification phylogénétique* a remplacé la classification traditionnelle

dans les milieux scientifiques à travers le monde. Elle se base principalement sur les méthodes de la cladistique, méthode établie par Hennig (1950). Cette méthode révolutionna ainsi toute la systématique à partir de la fin des années 1960 et se base également sur les comparaisons de molécules (ADN, protéines) dites homologues, appartenant à *différentes espèces*.

■ La cladistique, du grec *klados*, signifiant «branche», aussi appelée systématique phylogénétique, est une théorie concernant la classification phylogénétique, qui est l'étude de la classification des êtres vivants selon leurs relations de parenté, dans un cadre évolutionniste. Elle repose sur la construction de groupes monophylétiques (ou clades), c'est-à-dire des groupes incluant un ancêtre et l'ensemble de sa descendance.

■ ^b Apparaît, en 1813, sous la forme taxinomie («théorie des classifications appliquée au règne végétal» — (de Candolle, *Théorie Élémentaire de la botanique*, p.19, 1813), la forme actuelle date de 1868 et correspond un peu mieux au grec ancien *taxis* «rangement, ordre», la seconde partie du mot dérivant de *nômos* «ce qui est attribué en partage, part». En biologie, c'est une méthode cohérente et complète de classification des êtres vivants dans un système déterminé. La taxinomie des animaux et la taxinomie des végétaux. Le terme taxonomie est une variante de taxinomie.

■ Les eupulmonés ou Eupulmonata (mot construit à partir du préfixe eu-emprunté au grec, eu-, et du latin, *pulmonem*, «poumon», ce qui signifie donc littéralement «poumon vrai», est un clade taxonomique des escargots terrestres. La grande majorité de ce groupe sont des escargots et des limaces. Les nouvelles recherches phylogénétiques et moléculaires ont aboutit à des taxinomies différentes. Actuellement, la plus à jour des systématiques des Gastropoda est celle de Bouchet et al., (2005).

■ Les **stylommatophores** ou **Stylommatophora** (du grec, *stylos* «colonne, pilier» et *-foros*, de *ferrein* «porter» des yeux), sont un groupe rassemblant les *gastéropodes*

connus sous les noms *d'escargots* et de *limaces*. Il s'agit par conséquent de mollusques presque exclusivement terrestres par opposition

aux *basommatophores* (les *lymnées* et *planorbes*).

- Les helicoidés ou Helicoidea forment le taxon de la super-famille des escargots terrestres respirant de l'air et qui sont des mollusques gastéropodes pulmones dans le clade des Stylommatophores,

II.4. Paramètres morphométriques :

Conformément aux indications présentes dans la littérature (Stiévenari 1990 ; Stiévenart et Hardouin, 1990), les mensurations morphométriques sur des escargots vivants, faites à l'aide d'un pied à coulisse $\pm 0,02\text{cm}$ et d'une balance de précision $\pm 0,1\text{g}$ (Fig.50 et 51), ont concerné les variables suivantes :

- diamètre de la coquille,
- hauteur de la coquille,
- poids total de l'individu,
- poids de la masse vivante,
- et poids de la coquille vide.

Parallèlement, une densité moyenne de population *d'Hélix aspersa aspersa* au lieu de ramassage a été évaluée à 7 spécimens/m² à *Hessasna* et à 23 spécimens/m² à *Guerroudj*

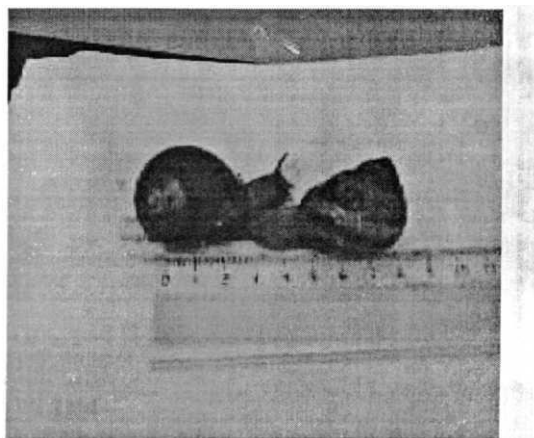


Fig. 50: Pesée d'un spécimen de Petit-Gris. Fig. 51: Mensurations de Petits-Gris. *Zahzah* et ce, pour une surface prospectée égale à 100 m² dans les deux sites.

II.4.1. Matériel utilisé au laboratoire

- une balance de précision,
- Un pied à coulisse,
- une cuvette à dissection,
- une paire de ciseaux vague fins,
- des pinces fines droites,
- des épingles à dissection pour la fixation,
- des verres de montre de forme concave,
- et un stéréomicroscope, appelé couramment « *loupe binoculaire* ».

Les échantillons sont rincés abondamment pour les débarrasser de leur mucus et autres impuretés (Fig.52).

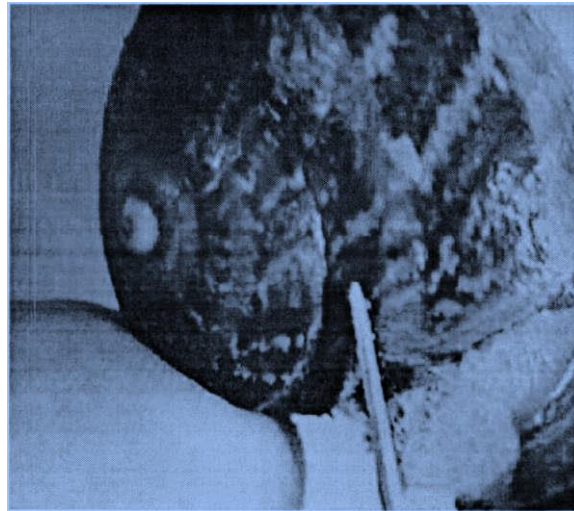


Figure 52 : Libération du mucus suite à un stimulus avec une pince fine,

- Protocole expérimental

On commence par le pesage des sujets un à un puis on prend leur mensurations et après dessiccation, on repese les sujets mais cette fois sans leur coquille.

On note les résultats sur un tableau récapitulatif.

NB : on a remarqué à notre manipulation la libération d'un mucus qui a été due à une réaction tout à fait normal de protection.

II.4.2.Pesage du petit gris :

Les résultats son récapitulé dans le **tableau n 02 et 03**. On a pesé deux fois chaque sujet et pour chaque site, avant et après dessiccation.

II.4.3.longueur et hauteur du petit gris :

Grace au pied à coulisse nous avons pu mesurer la longueur et la hauteur des spécimens et ainsi avons pu desseller des différences entre les espèces des deux sites.



Figure 53 : Coupure de la coquille d'*Helix aspersa aspersa*,

Comme nous l'avons déjà signalé, après avoir découpé lentement la coquille par petits morceaux et avoir enlevé délicatement les morceaux éclatés ou cassés avec des pinces fines droites en évitant de crever les autres organes internes (Fig.53 et 54).

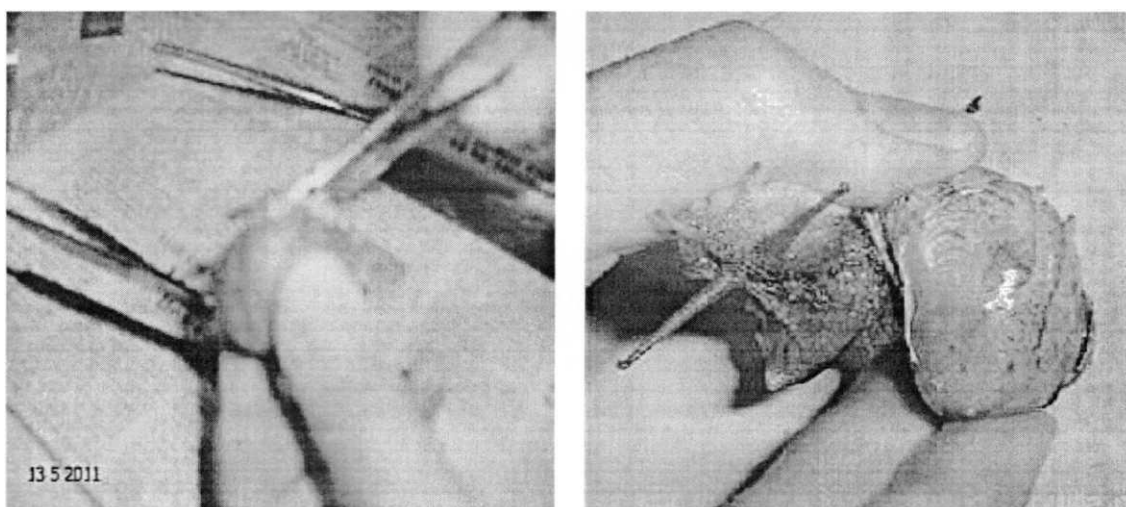


Figure 54 : Opérations de décoquillage d'*Helix aspersa aspersa*.

II.4.4. Étude statistique

Pour mieux décrire les différentes variables morphométriques mesurées sur la taille des individus ainsi que les poids net et les poids vifs, nous avons calculé certains paramètres statistiques de base tels que la moyenne arithmétique (\bar{x}), qui est un

paramètre de position et de tendance centrale, ainsi que l'écart-type (s) qui mesure la dispersion des données autour de la moyenne, les valeurs minimales (x_{\min}) et maximales (x_{\max}) qui donnent toutes les deux une idée sur l'étendue des données, et *in fine* l'effectif (n) qui nous renseigne sur l'importance des données traitées.

Ces paramètres ont été calculés à l'aide du logiciel d'analyse et de traitement statistique des données MINITAB version 15.0 pour chacune des caractéristiques étudiées sur les coquilles et sur les tortillons et ceci pour les deux sites d'étude (*Hassasna et Gerroudj Zahzah*).

- Comparaison entre les deux impacts de prélèvement, des caractéristiques moyennes : test t de Student

Pour comparer les moyennes de deux échantillons indépendants, l'analyse statistique par le test t de Student a été appliquée aux valeurs moyennes des mensurations morphométriques des populations *d'Hélix aspersa aspersa* provenant des deux sites et ce. Conformément aux méthodes préconisées par Huberty (1994) et Dagnelie(2006).

Chapitre III

Résultats et

discussions

Chapitre III : Résultats et discussions

Cette modeste «étude a été effectuée pour démontrer la différence qui existe entre les individus d'une même espèce suite aux conditions externes qui entourent ces derniers, les uns soumis à des conditions de pollution accentuée et les autres à un milieu plus ou moins sain et complètement éloigné des sources de pollution.

III.1. densité du petit gris au ramassage et son association à la végétation locale :

Lors du ramassage nous avons constaté au site de Hassasna une densité de **7 spécimens/m²** largement inférieure à celle de l'autre site avec **23 spécimens/m²** et ce sur une surface moyenne de 100 m².

Cette constatation est frappante puisque les deux sites ne sont pas vraiment loin et ce qui a été remarquable c'est que **plus on s'éloignait du complexe de ciment plus la densité devenait plus importante.**

En plus, et par ce que la végétation au niveau de Guerroudj Zahzah est variée (branches, troncs d'arbres, feuilles des oliviers, ..., etc.), la densité a été plus importante que celle à Hassasna qui elle est dépourvue de presque tout type de végétation.

Par ailleurs, possédant un régime alimentaire varié (phyllophage et frugivore), *Helix aspersa aspersa* se nourrit tout particulièrement des feuilles de la grande Ortie : *Urtica dioica urticaceae* (Iglesias et Castillejo, 1998) et les fines herbes. L'association d'*Helix aspersa aspersa* au Romarin officinal a été signalé par Damerdj et al en 2005.

Nous allons à travers les autres résultats obtenus au laboratoire essayer de vérifier l'authenticité de cette théorie.

III.2. Résultats morphométriques du petit gris :

L'échantillon dans la zone de Hassasna (n=100) présente un poids total de **481,82g** avec un poids vif moyen de **48,18 g** sans disque celui de Guerroudj Zehzah (n=100) cumule un poids total de **695,45 g** pour un poids total moyen de **69,54 g**.

D'un autre côté, les poids vifs des escargots PV (exprimé en gramme) ramassé à Guerroudj Zahzah et Hassasna le **05/05/2016**, la largeur **L** ainsi que la hauteur **H** exprimé en cm, et la taille **T** en cm² sont respectivement sur les **tableaux 01 et 02**.

Tableau 02 : récapitulatif des résultats de mesures site Guerroudj Zahzah.

N	PT(g)	L(cm)	H(cm)	T=L*H(cm²)	PV(g)
1	16	4,3	3,3	14,19	7,27
2	16	4,2	3,4	14,28	7,27
3	15	3,7	3,1	11,47	6,82
4	20	4	3,3	13,2	9,09
5	14	3,8	3,3	12,54	6,36
6	18	3,6	3,2	11,52	8,18
7	17	4,2	3,3	13,86	7,73
8	19	4,3	3,5	15,05	8,64
9	15	4,2	3,3	13,86	6,82
10	12	3,8	3	11,4	5,45
11	15	4,1	3,5	14,35	6,82
12	19	4,4	3,3	14,52	8,64
13	14	3,9	3	11,7	6,36
14	10	3,8	3,2	12,16	4,55
15	15	4	3,5	14	6,82
16	20	4,5	3,2	14,4	9,09
17	15	4,1	3	12,3	6,82
18	17	4,1	3,3	13,53	7,73
19	17	4	3,4	13,6	7,73
20	16	4,3	3,1	13,33	7,27
21	12	3,9	3,4	13,26	5,45
22	16	4,2	3,2	13,44	7,27
23	16	4,2	3,4	14,28	7,27
24	17	4,3	3,2	13,76	7,73
25	16	4,1	3,5	14,35	7,27
26	19	4,4	3,2	14,08	8,64
27	15	4	3,3	13,2	6,82
28	16	4,2	3,4	14,28	7,27
29	15	4,4	3,2	14,08	6,82
30	16	4,1	3,2	13,12	7,27
31	16	4,1	3,4	13,94	7,27
32	18	4,2	3,6	15,12	8,18
33	19	4,5	3,2	14,4	8,64
34	16	4,1	3,1	12,71	7,27
35	14	3,8	3,7	14,06	6,36

36	22	4,5	3,2	14,4	10,00
37	14	3,7	3,4	12,58	6,36
38	16	4,2	3,1	13,02	7,27
39	15	4,1	3,4	13,94	6,82
40	16	4	3,3	13,2	7,27

Tableau 02 : (Suite)

41	15	4,2	3,4	14,28	6,82
42	20	4,3	3,2	13,76	9,09
43	17	4,2	3,3	13,86	7,73
44	15	3,9	3,2	12,48	6,82
45	15	4	3,5	14	6,82
46	18	4,5	3,2	14,4	8,18
47	12	4	3,6	14,4	5,45
48	13	4,4	3,3	14,52	5,91
49	18	4,2	3,3	13,86	8,18
50	15	3,9	2,9	11,31	6,82
51	12	3,6	3,4	12,24	5,45
52	14	4,2	3,4	14,28	6,36
53	17	4,3	3,7	15,91	7,73
54	22	4,6	3,2	14,72	10,00
55	15	4	3,5	14	6,82
56	16	4,3	3,1	13,33	7,27
57	16	4	3	12	7,27
58	12	3,9	3,3	12,87	5,45
59	16	4,3	3,1	13,33	7,27
60	14	4	3,3	13,2	6,36
61	15	4,2	3,2	13,44	6,82
62	16	4	3,4	13,6	7,27
63	17	4,2	3,4	14,28	7,73
64	19	4,2	3,6	15,12	8,64
65	20	4,4	3,3	14,52	9,09
66	19	4,4	3,4	14,96	8,64
67	16	4,2	3,1	13,02	7,27
68	12	4	3,5	14	5,45
69	17	4,3	2,9	12,47	7,73
70	12	3,2	3,2	10,24	5,45
71	14	4	3,3	13,2	6,36
72	18	4,3	3,3	14,19	8,18
73	16	4,2	3,2	13,44	7,27
74	14	4	3,2	12,8	6,36
75	13	3,9	3,1	12,09	5,91
76	16	4	3,4	13,6	7,27

77	15	4,4	3,6	15,84	6,82
78	22	4,6	2,3	10,58	10,00
79	13	3,8	3,3	12,54	5,91
80	14	4,3	3,1	13,33	6,36
81	11	3,2	3,2	10,24	5,00
82	15	4	3	12	6,82
83	13	3,9	3,1	12,09	5,91
84	14	3,8	3,2	12,16	6,36
85	15	3,7	3,4	12,58	6,82
86	13	3,8	3,2	12,16	5,91
87	11	3,2	3,1	9,92	5,00
88	14	4,2	3,2	13,44	6,36
89	16	4	3,3	13,2	7,27
90	11	3,1	3	9,3	5,00
91	12	3,3	3,1	10,23	5,45
92	14	3,5	3,2	11,2	6,36
93	13	3,2	3,2	10,24	5,91
94	11	3,2	3,3	10,56	5,00
95	12	3,1	3	9,3	5,45
96	13	3,8	3,1	11,78	5,91
97	11	2,9	2,7	7,83	5,00
98	13	3,8	2,8	10,64	5,91
99	12	2,9	2,9	8,41	5,45
100	12	3	3	9	5,45

Tableau 02 : (suite et fin)

Tableau 03 : Récapitulatif des résultats de mesure à Hassasna

N	PT(g)	L(cm)	H(cm)	T=L*H(cm ²)	PV(g)
1	12	3,1	2,3	7,13	5,45
2	11	2,9	2,5	7,25	5,00
3	13	2,9	2,4	6,96	5,91
4	11	3,1	2,5	7,75	5,00
5	10	2,9	2,3	6,67	4,55
6	9	3	2,5	7,5	4,09
7	9,5	3,2	2,7	8,64	4,32
8	10	3,2	2,1	6,72	4,55
9	9	3,3	2,6	8,58	4,09
10	8,9	3	2,4	7,2	4,05
11	9,3	3,1	2,4	7,44	4,23
12	10	3,1	2,5	7,75	4,55
13	11	3,3	2,7	8,91	5,00
14	12,5	3	2,4	7,2	5,68
15	13	3,3	2,7	8,91	5,91
16	12,6	3,2	2,5	8	5,73
17	12,6	3,3	2,6	8,58	5,73
18	13	3,3	2,8	9,24	5,91
19	11	3,3	2,6	8,58	5,00
20	10,2	3,2	2,5	8	4,64
21	15	3,1	2,5	7,75	6,82
22	10,2	3,1	2,6	8,06	4,64
23	12,3	2,7	2,3	6,21	5,59
24	11,1	3	2,4	7,2	5,05
25	11,3	3,3	2,2	7,26	5,14
26	12,3	3,1	2,4	7,44	5,59
27	11,5	2,7	2,4	6,48	5,23
28	11	3,2	2,5	8	5,00
29	13	3,1	2,6	8,06	5,91
30	12,3	3,1	2,5	7,75	5,59
31	11,3	2,6	2,4	6,24	5,14
32	10,3	3,3	2,6	8,58	4,68
33	9	3,1	2,5	7,75	4,09
34	8,9	2,7	2,3	6,21	4,05
35	8,7	2,9	2,3	6,67	3,95
36	7,8	3,1	2,6	8,06	3,55
37	7,6	3,2	2,5	8	3,45
38	8	3,2	2,6	8,32	3,64
39	9,7	2,8	2,3	6,44	4,41
40	10,6	3,3	2,6	8,58	4,82

Tableau 03 : (suite)

41	11	2,9	2,4	6,96	5,00
42	12	3,1	2,5	7,75	5,45
43	13,1	3	2,4	7,2	5,95
44	11,4	2,9	2,3	6,67	5,18
45	10,2	2,9	2,4	6,96	4,64
46	11,2	2,8	2,3	6,44	5,09
47	11,2	3	2,5	7,5	5,09
48	11,6	3	2,3	6,9	5,27
49	10,3	3,4	2,8	9,52	4,68
50	10,4	3,4	2,7	9,18	4,73
51	10,5	3,3	2,1	6,93	4,77
52	11,2	3	2,6	7,8	5,09
53	11,3	3,2	2,7	8,64	5,14
54	14	3,4	2,7	9,18	6,36
55	13,5	3,3	2,5	8,25	6,14
56	13,2	3,3	2,5	8,25	6,00
57	10,6	3,1	2,4	7,44	4,82
58	9,8	3,1	2,4	7,44	4,45
59	9,7	3,1	2,6	8,06	4,41
60	10,2	2,6	2,4	6,24	4,64
61	10,3	3,3	2,5	8,25	4,68
62	11,2	3,1	2,4	7,44	5,09
63	11,6	2,7	2,2	5,94	5,27
64	11,5	2,9	2,6	7,54	5,23
65	10,5	3,1	2,5	7,75	4,77
66	10,3	3,2	2,6	8,32	4,68
67	11,3	3,2	2,3	7,36	5,14
68	11,4	2,8	2,6	7,28	5,18
69	9,7	3,3	2,4	7,92	4,41
70	7,8	2,9	2,5	7,25	3,55
71	8,1	3,1	2,4	7,44	3,68
72	9,9	3	2,3	6,9	4,50
73	9,8	2,9	2,4	6,96	4,45
74	10,2	2,8	2,3	6,44	4,64
75	10,5	3	2,3	6,9	4,77
76	10,6	3	2,5	7,5	4,82
77	11,2	3,4	2,3	7,82	5,09
78	11,5	3,4	2,8	9,52	5,23
79	11,5	3,3	2,7	8,91	5,23
80	10,5	3,2	2,1	6,72	4,77

Tableau 03 :(suite et fin)

81	10,2	3,2	2,6	8,32	4,64
82	11,5	3,4	2,7	9,18	5,23
83	11,5	3,3	2,7	8,91	5,23
84	10,9	3,3	2,5	8,25	4,95
85	10,7	3,1	2,5	7,75	4,86
86	9,9	3,1	2,4	7,44	4,50
87	9,8	3,1	2,4	7,44	4,45
88	10,2	2,8	2,6	7,28	4,64
89	10,5	2,9	2,6	7,54	4,77
90	11,3	3,1	2,5	7,75	5,14
91	12,3	3,3	2,4	7,92	5,59
92	9,3	3,5	2,6	9,1	4,23
93	9,2	3,2	2,5	8	4,18
94	8,7	3,2	2,3	7,36	3,95
95	8,8	3,1	2,3	7,13	4,00
96	9,8	3,8	2,6	9,88	4,45
97	7,2	2,9	2,7	7,83	3,27
98	5,6	3,8	2,8	10,64	2,55
99	5,3	2,9	2,9	8,41	2,41
100	11	3	2,6	7,8	5,00

Significations des acronymes et symboles :

PT : poids total de l'escargot (exprimé en centimètres).

PV : Poids Vif d'escargot (exprimé en grammes).

L : Largeur de la coquille d'escargot (exprimé en centimètres).

H : Hauteur de la coquille d'escargot (exprimé en centimètres).

T=L x H : Taille de la coquille d'escargot (exprimé en centimètres carrés).

NB : Les Poids vif d'escargots (en g) [PV=PT/2.2]

3.3. Analyse préliminaire comparative des résultats :

La somme totale des poids vifs des escargots ramassés à *Hassasna* (de 1 à 100) est de **481,82 g**, ce qui correspond à **~ 0,48 Kg**,

Le poids vif moyen des escargots ramassés à *Hassana* est d'environ **04,81 g**.

La moyenne des largeurs des coquilles des escargots ramassés à *Hassasna* est égale à **03,10 cm**, tandis que la moyenne des hauteurs des coquilles est égale à **02,48 cm**.

La moyenne des tailles des coquilles des escargots ramassés à *Hassasna* est égale à **07,73 cm²**.

La somme totale des poids des coquilles des escargots ramassés à *Hassasna* est égale à **578,18 g** ou **0,57 Kg**.

Le poids moyen des coquilles des escargots ramassés à *Hassasna* est de **05,78 g**.

La somme totale des poids vifs des escargots ramassés à *Guerroudj Zahzah* (de 1 à 100) est égale à **695,45 g**, ce qui correspond à **« 0,695 Kg**.

Le poids vif moyen des escargots ramassés à *Guerroudj Zahzah* (1086,73/100) est d'environ **06,95 g**.

La moyenne des largeurs des coquilles des escargots ramassés à *Guerroudj Zahzah* est égale à **03,99 cm**, tandis que la moyenne des hauteurs des coquilles est égale à **03,24 cm**.

La moyenne des tailles des coquilles des escargots ramassés à *Guerroudj Zahzah* est égale à **12,96 cm²**.

La somme totale des poids des coquilles des escargots ramassés à *Guerroudj Zahzah* est égale à **834,50 g** ou **(0,8345 Kg)**.

Le poids moyen des coquilles des escargots ramassés à *Guerroudj Zahzah* est de **08,34 g**.

L'analyse préliminaire comparative des résultats obtenus entre les échantillons ramassés à *Hassasna* et ceux ramassés à *Guerroudj Zahzah* fait ressortir des différences nettes entre les deux sites. En effet, tous les paramètres obtenus pour le site *Guerroudj Zahzah* sont supérieurs à ceux du site *Hassasna*.

La différence entre les sommes totales des poids vifs des escargots est égale à **213,64 g**, ce qui correspond à environ **0,213 Kg**.

La différence entre les poids moyens vifs des escargots est égale à **2,13 g**.

La différence entre les moyennes des largeurs des coquilles des escargots est égale à **0,86 cm**, tandis que l'écart entre les moyennes des hauteurs des coquilles est égal à **0,76 cm**.

La différence entre les moyennes des tailles des coquilles est égale à **05,23 cm²**.

La différence entre les sommes totales des poids des coquilles est égale à **256,32 g (0,25 Kg)**.

La différence entre les poids moyens des coquilles est de **02,56 g**.

La somme totale des poids corporels ou poids totaux des escargots ramassés à *Hassasna* est égale à **1060,00 g**.

Le poids moyen corporel des escargots ramassés à *Hassasna* est égal à **10,60 g**.

La somme totale des poids corporels ou poids totaux des escargots ramassés à *Guerroudj Zahzah* est égale à **1530 g**.

Le poids moyen corporel des escargots ramassés à *Guerroudj Zahzah* est égal à **15,30 g**.

3.4. Étude morphométrique

La figure suivante illustre les mensurations morphométriques moyennes pour les sites de *Hassasna* et *Guerroudj Zahzah*.

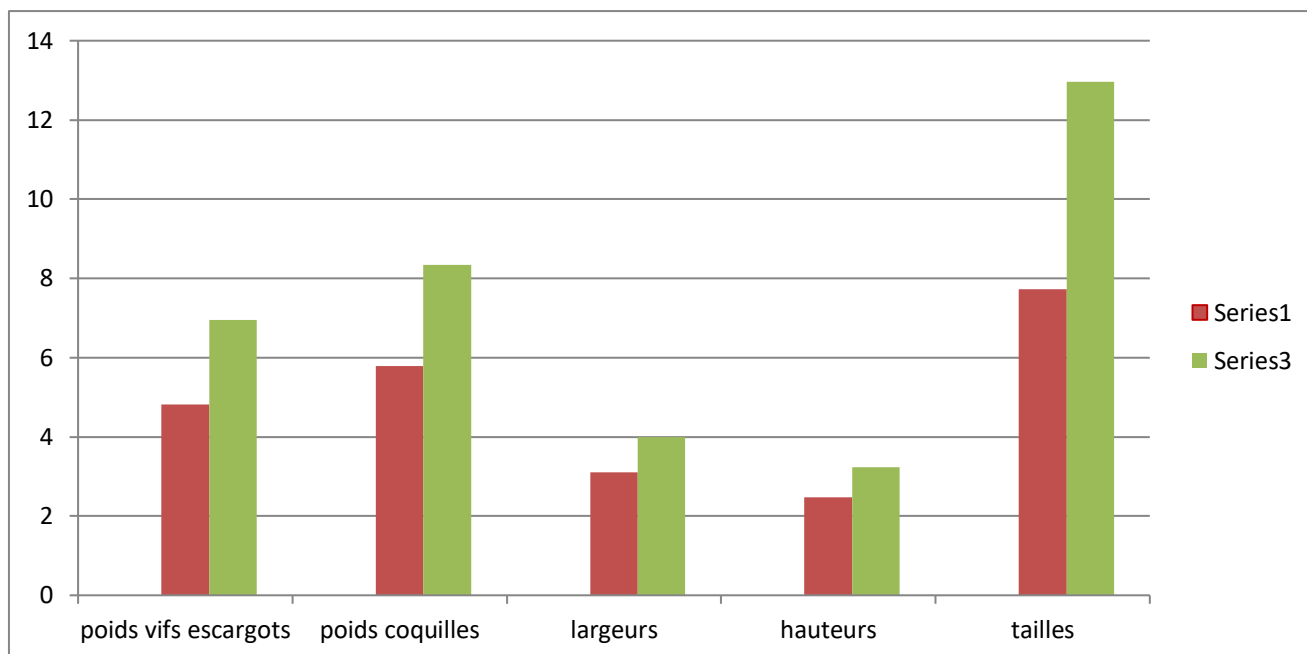


Figure 54 : Données morphométriques des spécimens d'escargots (n=100 pour chaque site).

Nous remarquons que les paramètres mesurés pour les échantillons du site *Guerroudj Zahzah* (en S3) sont nettement supérieurs à ceux de *Hassasna* (en S1). De plus, nous constatons que les moyennes des largeurs, des hauteurs des coquilles, des poids totaux, des poids des coquilles vides sont également supérieures chez les spécimens *H. aspersa aspersa* ramassés au niveau de la station de *Guerroudj Zahzah*.

- Site de *Hassasna*

Les caractères pondéraux des escargots ramassés dans le site de *Hassasna* (Tab. 2), révèlent que la valeur moyenne du Poids Total (PT) est égale à **10,60 g** avec un écart-type mesurant la dispersion de la série de valeurs des Poids Corporels autour de leur moyenne de **1,62** pour une valeur minimale de **05,30 g** et une valeur maximale de **13,10 g**. Quant au Poids vif (PV), la moyenne se situe autour de **4,82 g** avec un écart-type

de **0,73** et des valeurs comprises entre **2,41** et **6,82 g**. Tandis que la moyenne de la taille est de **07,73 g**, avec un écart-type de **0,89** et des valeurs comprise entre **5,94** et **10,64** cm² (Tab.4 fig 55).

Il en ressort une moyenne de 0,45 g pour le Poids Relatif (**PR=PV/PT**) avec une valeur égale pour l'écart-type.

Tableau 4 : Paramètres pondéraux des escargots du site de *Hassasna* (n=100).

Variable s	n	Y	S	Xmin-Xmax
PT	100	10,60	01,62	05,30-13,10
PV	100	04,82	0,73	02,41-06,82
PR	100	0,45	0,45	/
T	100	07,73	0,89	05,94 – 10,64

Significations des acronymes :

PT : Poids Corporel(g) **PV** : Poids de la Vif(g)

T:Taille de la coquille (cm²) **PR** : Poids relatif= **PV/PT**

Ce tableau présente les résultats de la description des données pour chacune des 4 variables (PT, PV, PR et T) mesurées sur les escargots de la région de *Hassasna*.

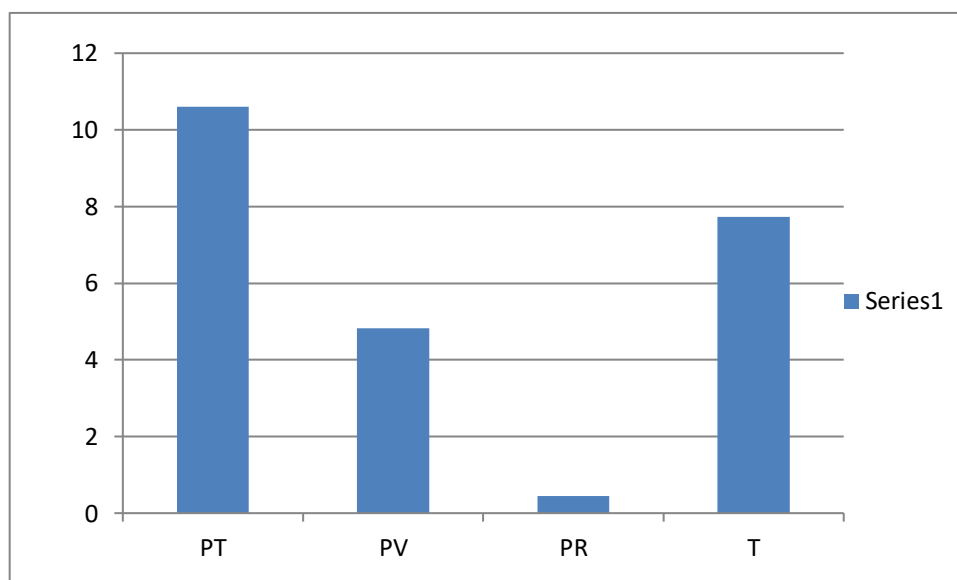


Figure 55 : Moyennes des poids de la taille et des poids relatifs des escargots ramassés à *HAssasna* (n=100).

- Site de Guerrouj Zahzah

Le tableau 01 regroupe les caractères pondéraux des escargots ramassés à *Guerroudj Zahzah* ainsi que la taille des coquilles.

. La valeur moyenne du Poids Total (**PT**) est égale à **15,30 g** avec un écart-type de **2,61**, et avec une valeur minimale et une valeur maximale respectives de l'ordre de **10,00g** et **22,00g**.

Une valeur moyenne de **06,95 g** et un écart-type de **01,19** caractérisent le Poids vif (**PV**) pour des poids compris entre **04,55** et **10,00 g** (Tab.05 ; Fig.56). Il en découle alors une moyenne de **0,45 g** pour le Poids Relatif (**PR=PV/PT**) avec une valeur identique pour l'écart-type .

La taille moyenne des coquilles est de 12,96 cm², un écart-type (s) de 01,61 et des valeurs comprises entre 07,83 et 15,91 cm².

Tableau 05 : Paramètres pondéraux des escargots du site de *Guerroudj Zahzah* (n=100).

Variable s	n	X	S	Xmin-Xmax
PT	100	15,30	02,61	10,00 – 22,00
PV	100	06,95	01,19	04,55 – 10,00
PR	100	0,45	0,45	/
T	100	12,96	01,61	07,83 – 15,91

Significations des acronymes :

PT : Poids Total (g) . **PV** : Poids Vif(g)
PR : Poids relatif= **PV/PT** **T** : Taille (cm²).

Ce tableau illustre les résultats de la description des données pour chacune des 4 variables (PT, PV, PR et T) mesurées sur les escargots de la région de *Guerroudj Zahzah*.

- Comparaison des paramètres pondéraux entre les deux sites

Le tableau 06 illustre les résultats de l'étude comparative des différents paramètres pondéraux ainsi que la taille des escargots des deux sites d'étude *Hassasna et Guerroudj Zahzah*. Les valeurs observées de t sont considérablement significatives pour les trois variables Poids Total (PT) et le Poids de la Masse Vivante (PV) et celui de la taille des coquilles (T).

La moyenne du Poids Corporel (PT) des escargots récoltés à *Guerroudj Zahzah* est supérieure à celle de ceux récoltés à *Hassasna* avec une différence de l'ordre de 04.70 g. même chose pour les moyennes des Poids des Masses Vivantes (PV) à environs 02,13 g d'intervalles.

Tableau 06 : Paramètres pondéraux des escargots (*Hassasna et G.Zahzah*).

Variables	Moyennes		t obs	P
	Hassasna	Guerroudj Z		
Poids total	10.60	15.30	15,39	03,46
Poids Vif	04.82	06.95	15.36	03.33
Taille	07.73	12.96	28.73	03.13

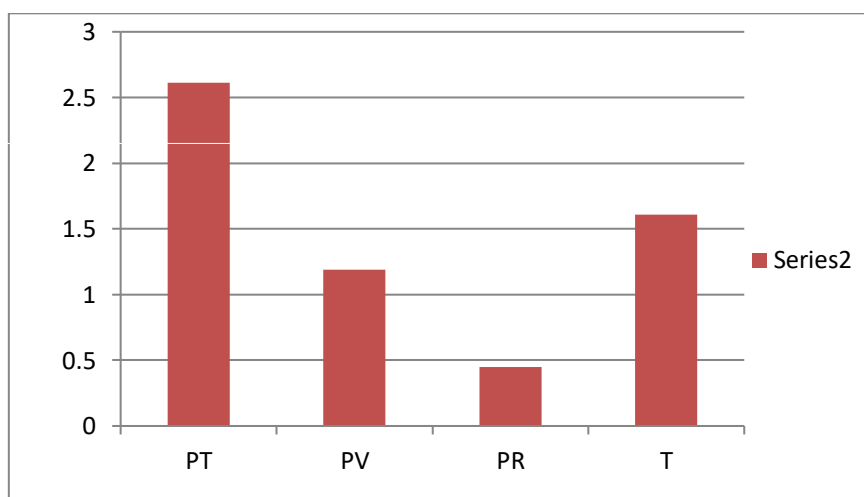


Figure 56 : Paramètres pondéraux des escargots du site de *Guerroudj Zahzah* (n=100).

Au vu des résultats auxquels nous avons abouti et aux différentes analyses biostatistiques réalisées, nous pouvons dire que la moyenne des poids corporels du site de *Guerroudj Zahzah* est supérieure à celle de *Hassasna*, *meme chose pour* les moyennes des poids des masses vivantes, ainsi que les tailles des coquilles des sujets ; et par conséquents, les poids relatifs sont presque identiques entre les deux sites.

La différence entre les moyennes des poids corporels peut s'expliquer par les écarts entre la croissance des coquilles qui penche en faveur du site de *Guerroudj Zahzah* dont les coquilles sont plus volumineuses. Le régime alimentaire et une pollution moindre peuvent expliquer ce développement des coquilles des escargots ramassés à *Guerroudj Zahzah*.

3.6. Discussion

L'abondance de la population *d'Hélix aspersa aspersa* est bien nette entre les deux sites *Hassasna* et *Guerroudj Zahzah* en faveur de ce dernier où la densité de population, nettement supérieure, caractérise une très faible incidence de la pollution de la cimenterie qui se trouve à seulement quelques kilometres de là sur la présence et la croissance de ce gastéropode.

Selon plusieurs études effectuées dans ce domaine, l'effet de la pollution est nettement lié au fait de la diminution de la densité des escargots dans une région donnée.

Selon l'étude menée par le dr MOUNCEF Zaafour, après avoir fait des prélèvement sur les viscères des escargots, il a déduit ce qui suit : « Bien que le poids moyen des hépatopancreas des spécimens ramassés à Dréan (qui est un site non pollué) soit légèrement supérieur à celui du lot du site Sidi Amar (qui est un site pollué), les concentrations en glutathion et en protéines dans les hépatopancreas d'*Hélix aspersa aspersa* sont plus importantes dans les échantillons provenant du site de Sidi Amar Ces résultats sont révélateurs d'une forte incidence de la pollution sur la croissance du Petit-Gris à Sidi Amar ».(Dr Zaafour Mouncef, 2013), et il a ajouté : « Les résultats, auxquels

nous avons abouti, montrent que la concentration moyenne en protéines dans les hépatopancreas est plus élevée chez les individus provenant du site Sidi Amar où l'on note la présence quotidienne de poussières métalliques émises par le complexe sidérurgique d'Arcelor-Mittal d'EI Hadjar (Grara N., 2011; Belhaouchet N. et al., 2012). (Dr Zaafour Mouncef, 2013)

Sur le plan biométrique, les résultats obtenus marquent une nette différence entre les mensurations morphométriques des échantillons d'escargots provenant des deux sites avec une croissance plus élevée chez les spécimens *H. aspersa aspersa* ramassés à Guerroudj Zahzah.

De plus, le test t de student, appliqué aux valeurs des paramètres liés à la croissance d'*Hélix aspersa aspersa*, montre que ces différences sont hautement significatives ($P < 0,001$).

D'autre part, les poussières métalliques émises par les sources polluantes affectent fortement la plupart des fonctions vitales des végétaux et des animaux (Cooke M. et al., 1979 ; Oosthoek A.J.P. et al., 2005 ; IN RA, 2007 ; Le Bras G.J., 2007) dont les lichens et les gastéropodes terrestres. L'escargot Petit-Gris est considéré comme l'un des bio-accumulateurs d'éléments-traces métalliques les plus efficaces caractérisant les biotopes pollués (De Vaufleury A. et Gomot A., 1997).

La résistance d'*Hélix aspersa aspersa* dans ce type de biotope résulte de sa capacité à retenir et à inactiver les éléments-traces métalliques (ou ETM) soit par compartimentation intracellulaire ou excrétion, soit par liaison avec des protéines dont les métallothionéines qui ont un rôle protecteur des cellules contre les ETM en se liant

fortement aux métaux lourds. Ce qui permet leur neutralisation et leur stockage durant de longues périodes (Le Bras G.J., 2007).

La différence remarquable de densité moyenne de population d'*Hélix aspersa aspersa* entre le site de Hassasna (7 spécimens/m²) et celui de Guerroudj Zahzah (23 individus/m²) est certainement le résultat d'une plus abondante végétation et de meilleures conditions de croissance et reproduction en zone agricole et ce, nonobstant les mesures phytosanitaires appliquées dans la protection des vergers à oliviers. En effet, il est indiqué que les mauvaises herbes constituent le principal réservoir d'hélicidés dans les vergers (INRA, 2007).

D'autre part, les différences morphométriques relevées entre les deux sites sont aussi la conséquence de la nature des sols, de la végétation et des effets toxiques des éléments-traces métalliques sur les organismes vivants comme indiqué par plusieurs auteurs (Gomot A., 1997 ; Odendaal J. P. et Reinecke A. J., 2004). Il faut souligner qu'au niveau du site de Hassasna, l'environnement est continuellement soumis à des dépôts de poussières polluantes provenant du complexe cimentier de HASSASNA et ce, depuis des décennies (Ali-Khodja H. et Kebabi B., 1998 ; Marzouki L. et al., 2005 ; Grara N., 2011; Belhaouchet N. et al., 2012).

Pour Oosthoek et al. (2005), les escargots, vivants dans des zones à pollution chronique par les éléments-traces métalliques (ou ETM), ne pondent pas d'œufs. Une exposition chronique se traduit par la concentration des ETM au niveau de la coquille, des muscles, du tube digestif et peut avoir des conséquences négatives sur la croissance. Ce qui peut parfois entraîner la mort des escargots par famine (Laskowski R. et Hopkin S.P., 1996).

Ces données sont essentielles pour comprendre la faible densité de population enregistrée dans le site de Hassasna. En conséquence, le site de Guerroudj Zahzah, localisé en zone agricole et à environ 22 km du complexe cimentier de Hassasna, conserve son caractère de zone non polluée.

Nous pouvons confirmer, à travers l'ensemble de nos résultats, que le gastéropode *Hélix aspersa aspersa* connaît une profusion, une croissance et un cycle de reproduction plus importants dans la site de Guerroudj Zahzah qu'au niveau de celui de Hassasna où sa croissance et son abondance sont fortement compromises en raison de la proximité du complexe cimentier de Hassasna et de ses émissions polluantes.

Les rejets industriels dans la région de Saïda au même titre que dans grandes villes industrielles, mènent à une kyrielle d'expositions aux contaminants physicochimiques. Les conséquences de ces émanations sur la santé humaine et animale sont parfois difficilement quantifiables. Elles restent très variables selon la nature des polluants, l'intensité, la durée de l'exposition, les facteurs abiotiques et biotiques qui influent indubitablement sur la qualité de l'air et du sol.

De ce fait, ce type d'études écotoxicologiques utilisant des bioindicateurs tels le Petit-Gris *Hélix aspersa aspersa* ou le Ver de terre *Lumbricus terrestris*, considérés comme de véritables thermomètres de la pollution des milieux aériens et édaphiques, seraient d'un grand apport pour la compréhension de la relation entre l'exposition aux polluants et la survenue marquante et quantifiable de leurs d'effets.

Conclusion

L'étude biométrique d'*Hélix aspersa aspersa* fait ressortir une différence nette entre les résultats des mensurations des échantillons provenant des deux sites (Hassasna et de Guerroudj Zahzah) avec un avantage de croissance en faveur du site de Guerroudj Zahzah

A ce stade Il serait gageur de notre part d'affirmer que les perturbations métaboliques survenues soient directement liées à une exposition prolongée aux différents polluants, car en effet, d'autres facteurs peuvent y intervenir tels que la variabilité intra-spécifique, la nourriture des escargots ainsi que les facteurs climatiques qui sont prépondérants.

Mais cependant nier complètement que l'épigénétique ne soit pas un facteur directe lié à ces changement serait de nier en bloc toute la science de la génétique, ce qui serait un grave détour et une grosse perte de temps.

Les résultats nous montrent de façon scientifique et mathématique que la pollution a affecté la croissance des escargots se trouvant au niveau du site de Hassasna et donc nous ont permis de rejoindre les théorie des chercheurs qui nous ont précédé.

Cette étude n'est que la suite d'une série d'études qui ont déjà prouvé l'effet de l'épigénétique sur les caractères morphométriques des individus.

Table des matières

Chapitre I : Bibliographie scientifique

I.1. Quelques notions sur l'acclimatement	1
I.2. Variabilité phénotypique, conséquences de quoi ?.....	2
I.2.1. Les théories de l'évolution adaptative.....	2
I.2. 2. Les variant phénotypique et leurs origines.....	3
I.2.3. L'héritabilité non mendélienne.....	4
I.2.4. Les systèmes d'héritabilité « <i>Dual inheritance system</i> ».....	7
I.3. Qu'es ce que l'épigénétique ?.....	8
I.3.1 Les messagers de l'information épigénétique.....	11
I.3.1.1. Méthylation de l'ADN.....	12
a) La 5-méthylation (5mC).....	12
b) Méthylation de l'ADN chez les vertébrés vs les invertébrés.....	13
c) La 5-hydroxyméthylcytosine (5hmC).....	17
I.3.1. 2. Les modification des histones.....	18
I.3.1. 3. Les ARN non codants.....	22
I.3.1.4. La localisation nucléaire des loci.....	23
I.3.5. Modèle théorique : génétique/ épigénétique/ variabilité phénotypique.....	23
I.4. Modèle de l'étude : Hélix aspers aspersa.....	24
1.4.1 a)Terminologie	28
b) zoologie.....	31
c)Description Anatomique.....	31
1.4.2 Déplacements	39

1.4.3	alimentation	41
1.4.4	longévité.....	44
1.4.5	Hibernation et estivation	45
1.4.6	Reproduction et cycle biologique	45
1.4.7	Environnement	53
1.4.8	L'escargot comme bio indicateur pour l'éco toxicologie.....	57
1.4.9	Écologie	59
1.4.10	Utilisation par l'Homme	61
1.4.10.1	Dans la gastronomie et l'art culinaire	64
1.4.10.2	Dans l'héliciculture	65
1.4.11	Dans la cosmétique	67
1.4.12	Dans la consommation.....	70

Chapitre II : Matériel et méthodes

II.1.	Points de collecte	72
II.2.	Paramètres climatiques des sites <i>Hassasna et Guerroudj Zahzah</i>	73
II.3.	Matériel biologique	76
II.3.1.	Rang taxonomique D' <i>Helix aspersa</i>	76
II.3.1.1.	Classification classique	77
II.3.1.2.	Classification phylogénétique	77
II.3.2	Étymologie et définitions.....	78
II.4.	Paramètres morphométriques	80
II.4.1.	Matériel utilisé au laboratoire.....	81
II.4.2	Pesage du petit gris.....	82
II.4.3	Longueur et hauteur du petit gris.....	82
II.4.4.	Etude statistique.....	83
II.4.4.1.	comparaison entre les sites des caractéristiques moyennes. Test de Student.....	84

Chapitre III : Résultats et discussion

III.1. densité du petit gris au ramassage et son association à la végétation locale..	85
III.2. résultats morphométriques du petit gris	85
III.3. Analyse des résultats.....	92
III.4. étude morphométrique.....	94
III.4. Discussion.....	98

Conclusion

Références bibliographiques