

République Algérienne Démocratique et Populaire

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 DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AQUACULTURE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

Meliani Wahiba et Benchaa Mechria

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN HYDROBIOLOGIE MARINE ET CONTINENTALE

Spécialité: Bio-Ressources Marines

THÈME

Etude de la diversité nucléotidique et haplotypique de quelques populations des deux espèces de patelles *Patella ferruginea* (Gmelin, 1791) et *Patella rustica* (Linnaeus, 1758) au niveau de la côte algérienne et Méditerranéenne.

Soutenue le 07/06/2023

DEVANT LE JURY

| | | | |
|--------------|------------------------------|------|---------------|
| Président | Bachir-Bouiadjra Benabdellah | Prof | U. Mostaganem |
| Encadreur | Bouzaza zoheir | MCA | U. Mostaganem |
| Examinatrice | Oulhiz Aicha | MCB | U. Mostaganem |

Année universitaire 2022/2023

Remerciements

Tout d'abord nous tenons à remercier le bon Dieu Tout puissant et miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

*Nous exprimons nos profondes gratitude et respectueuses reconnaissances à notre encadrant le Docteur **Bouzaza Zoheir**, Maître de conférences au département des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture, pour tous ses précieux conseils, pour son écoute active, sa disponibilité malgré toutes ses nombreuses occupations afin de donner le meilleur. Nous avons beaucoup appris avec lui et nous avons eu le plaisir de travailler sous sa direction. Nous espérons que la confiance que vous nous avez accordée et que ce mémoire est à la hauteur de vos espérances.*

*Nous tenons à remercier monsieur **Bachir-Bouiadjra Benabdellah**, Professeur au département des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture, qui nous a fait l'honneur d'accepter de présider la soutenance de ce modeste travail.*

*Aussi, nous tenons à remercier madame **Oulhiz Aicha**, Maître de conférences au département des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture, pour nous avoir honoré d'examiner ce travail, nous vous sommes très reconnaissantes de votre présence, et nous vous adressons nos vifs remerciements.*

*Nous adressons notre profonde gratitude à **Zerroual Hanane**, Doctorante en hydrobiologie marine et continentale-Ressources halieutiques au département des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture, pour son aide dans la réalisation de ce mémoire.*

*Nous adressons nos sincère remerciements à tous nos enseignants durant tout le parcours universitaire et spécialement au département « **Sciences de la Mer et de l'Aquaculture** » qui par leurs conseils et leurs efforts durant tous les années passées nous sommes là, vraiment un grand remerciement pour leurs qualité d'enseignement qui nous a été dispensé.*

Enfin, on tient également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

En premier lieu je remercie Allah le tout puissant de m'avoir donné la volonté, la Santé et le courage pour réaliser ce travail.

À mes chers parents, Je vous dédie ce travail en témoignages de mon profond amour. Que Dieu vous protège et que la réussite soit toujours à ma portée pour que je puisse vous combler de bonheur.

À mes frères (Abdelghani, Walid) et ainsi que mes sœurs (Zahira, Amina) pour leurs encouragements et leur soutien émotionnel.

À mon enseignant monsieur Bouguessa Ibrahim, Je suis fier d'avoir été votre étudiante. J'ai acquis de vous les disciplines du Noble Coran et les principes de valeurs, de tolérance et tout ce qui concerne la vraie religion islamique. Être mon enseignant me donne de l'espoir et me motive à travailler dur.

Aux étudiants du Club Al-Furqan pour l'enseignement du Noble Coran, d'avoir toujours été à mes côtés. Vous êtes le sucre qui chasse l'amertume de la vie, Je vous aime.

À tous ceux qui ont m'ont enseigné au long de ma vie scolaire. Pour tout leur amour, leur soutien, leur encouragement, leur assistance et leur présence dans ma vie.

À ma très chère amie Kheira Moghtit, les bons amis sont une bénédiction. Vous êtes la plus grande bénédiction de tous.

À notre ami Kharbiche Mohammed qui nous a aidés pendant le période de réalisation de ce mémoire.

Je dédie ce travail surtout à mon binôme Benchaa Mechria, avec laquelle j'ai réalisé ce travail et avec qui j'ai vécu toutes les difficultés et à toute sa famille.

A vous chers lecteurs.

Dédicace

À ma très chère mère

*Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit.
Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma
source de force pour affronter les différents obstacles.*

À mon très cher père

*Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et pour m'encourager.
Que ce travail traduise ma gratitude et mon affection.*

À mon très chère frère Amin et ma sœur Fatima

Puisse dieu vous donner santé, bonheur, courage et surtout réussite

*Je dédie ce travail surtout à mon binôme Meliani Wahiba, avec laquelle j'ai réalisé ce travail et
avec qui j'ai vécu toutes les difficultés et à toute sa famille.*

Avant-propos

Ce travail a été réalisé dans le cadre de l'obtention du diplôme de Master en Hydrobiologie Marine option Bio-Ressources Marines. Ayant comme objectif d'étudier la diversité génétique et haplotypique de quelques populations des deux espèces de patelles *Patella ferruginea* (Gmelin, 1791) et *Patella rustica* (Linnaeus, 1758) au niveau de la côte algérienne et Méditerranéenne, qui donne une suite au travail réalisé par Bettahar et Boumaza en 2020, basée sur les résultats des séquences de la portion Cytochrome Oxydase I (COI) du gène Mitochondrial réalisés par M BOUZAZA Z. au niveau du CIBIO de Porto-Portugal en 2011 dans le cadre de son Magister soutenu en 2012, et réalisés au niveau de l'ACUIGEN de Lugo-Espagne en 2019 dans le cadre de la recherche.

Le présent travail est donc basé sur la manipulation bioinformatique en utilisant plusieurs programmes dans le domaine moléculaire et génétique.

Nous espérons apporter une nouvelle contribution dans l'échelle des études phylogéographiques réalisées sur *P. ferruginea* et *P. rustica*.

Résumé

Le présent travail porte sur une étude de la diversité génétique et haplotypique de quelques populations des deux espèces de patelles *Patella ferruginea* (Gmelin, 1791) et *Patella rustica* (Linnaeus, 1758) réalisée au niveau de la côte algérienne, Méditerranéenne et Atlantique (*P.rustica*).

Afin trouver des modèles de structures génétiques des populations de *P. ferruginea* et *P.rustica* pouvant mettre en exergue des zones à hot-spot une étude phylogéographique a été réalisée en se basant sur 177 séquences de la portion du gène mitochondrial Cytochrome Oxydase I "COI" de *P.ferruginea* et 134 séquences du même gène pour *P.rustica* tirés d'études antérieures.

A ce propos, une régression entre la diversité nucléotidique/haplotypique et les coordonnées géographiques des différentes populations de patelles étudiées à l'échelle microgéographique (côte algérienne) et à l'échelle macrogéographique (Méditerranée/Atlantique) a été réalisée en considérant « l'effet longitude » et « l'effet latitude » pour les deux espèces étudiées. Afin d'avoir une idée sur les barrières génétiques et de déterminer les zones à hot-spots, des analyses phylogéographiques ont été réalisées à l'aide de plusieurs programmes de bioinformatique (BioEdit, DnaSp et Arlequin).

Les résultats ont montré la présence de quelques probables zones à hot-spot à l'échelle microgéographique tel que la station de Bérard (BE) et Figuiers plage (FP) qui pourraient limiter la diversité de *P. ferruginea* et *P. rustica* dans le centre de la côte algérienne d'après une analyse moléculaire de variance (AMOVA). Une zone à hot-spot a été détectée aussi à l'échelle macrogéographique autour des stations de la mer d'alboran tels que la station de Chafarinas (CHA) pour *P.ferruginea* et concernant *P.rustica* une zone d'hot-spot autour de quelques stations des îles Canaries (CIS) et de Madère (MD) a été trouvée.

Enfin, les différences environnementales causées par les courants marins frontaux peuvent affecter la survie et la reproduction des larves de patelles, ce qui peut entraîner une divergence génétique entre les populations situées de part et d'autre du courant frontal. En conséquence, les courants marins frontaux peuvent jouer un rôle important dans la formation de barrières génétiques invisibles entre les populations de patelles.

Mots clé: Bioinformatique, phylogéographie, haplotypes, hot-spot, côte algérienne, Barrière courantologie, Méditerranée/Atlantique.

ملخص

يتعلق العمل الحالي بدراسة التنوع الوراثي والنمط الفردي لبعض السكان لنوعي البطلينوس *Patella ferruginea* (Gmelin, 1791) و *Patella rustica* (Linnaeus, 1758) التي أجريت على مستوى الساحل الجزائري، المتوسطي والأطلسي.

من أجل إيجاد نماذج للتركيبات الجينية لمجموعات *P. ferruginea* و *P. rustica* التي يمكن أن تسلط الضوء على مناطق النقاط الساخنة، تم إجراء دراسة جغرافية جغرافية بناءً على 177 تسلسلاً لجزء من جين الميتوكوندريا Cytochrome Oxidase I "COI" من *P. ferruginea* و 134 تسلسلاً من نفس الجين لـ *P. rustica* من الدراسات السابقة.

في هذا الصدد، تم إجراء الانحدار بين النوكليوتيدات / التنوع الفردي والإحداثيات الجغرافية لمختلف مجموعات البطلينوس المدروسة على النطاق الجغرافي الدقيق (الساحل الجزائري) وعلى النطاق الجغرافي الواسع (البحر الأبيض المتوسط / الأطلسي) من خلال النظر في "تأثير خط الطول" و "تأثير خط العرض" لكلا النوعين المدروسين. من أجل الحصول على فكرة عن الحواجز الجينية وتحديد مناطق النقاط الساخنة، تم إجراء تحليلات علم الجغرافيا باستخدام العديد من برامج المعلوماتية الحيوية (BioEdit و DnaSp و Arlequin).

أظهرت النتائج وجود بعض المناطق الساخنة المحتملة على النطاق الجغرافي الدقيق مثل محطة Figuie Plage (FP) و Bérard (BE) والتي يمكن أن تحد من تنوع *P. ferruginea* و *P. rustica* في وسط الساحل الجزائري وفقاً لتحليل التباين الجزيئي (AMOVA). كما تم اكتشاف منطقة بقعة ساخنة على نطاق جغرافي كبير حول محطات بحر البوران مثل محطة Chafarinas (CHA) من أجل *P. ferruginea* وفيما يتعلق بـ *P. rustica* تم العثور على منطقة ساخنة حول بعض المحطات في جزر الكناري (CIS) وماديرا (MD).

أخيراً، يمكن أن تؤثر الاختلافات البيئية التي تسببها التيارات البحرية الأمامية على بقاء وتكاثر يرقات البطلينوس، مما قد يؤدي إلى تباعد وراثي بين السكان على جانبي التيار الأمامي. وبالتالي، قد تلعب التيارات المحيطية الأمامية دوراً مهماً في تكوين حواجز وراثية غير مرئية بين التجمعات السكانية.

الكلمات المفتاحية: المعلوماتية الحيوية، علم الجغرافيا، الأنماط الفردانية، النقاط الساخنة، الساحل الجزائري، تيار الحاجز، البحر الأبيض المتوسط / الأطلسي.

Abstract

The present work concerns a study of the genetic and haplotypic diversity of some populations of the two species of limpets *Patella ferruginea* (Gmelin, 1791) and *Patella rustica* (Linnaeus, 1758) carried out at the level of the Algerian, Mediterranean and Atlantic coast (*P. rustica*).

In order to find models of genetic structures of *P. ferruginea* and *P. rustica* populations which can highlight hot-spot zones, a phylogeographic study was carried out based on 177 sequences of the portion of the mitochondrial gene Cytochrome Oxidase I "COI" of *P. ferruginea* and 134 sequences of the same gene for *P. rustica* derived from previous studies.

In this regard, a regression between the nucleotide/haplotypic diversity and the geographical coordinates of the different populations of limpets studied at the microgeographical scale (Algerian coast) and at the macrogeographical scale (Mediterranean/Atlantic) was carried out by considering the "longitude effect" and the "latitude effect" for the two species studied. In order to have an idea on the genetic barriers and to determine the hot-spot zones, phylogeographic analyzes were carried out using several bioinformatics programs (BioEdit, DnaSp and Arlequin).

The results showed the presence of some probable hot-spot zones at the microgeographic scale such as the Bérard station (BE) and Figuiers plage (FP) which could limit the diversity of *P. ferruginea* and *P. rustica* in the center of the Algerian coast according to a molecular analysis of variance (AMOVA). A hot-spot zone was also detected at the macro-geographical scale around the stations of the Alboran Sea for *P. ferruginea* at the station of Chafarinas (CHA) and concerning *P. rustica* a hot-spot zone around some stations in the Canary Islands (CIS) and Madeira (MD) has been found.

Finally, environmental differences caused by frontal ocean currents can affect the survival and reproduction of limpet larvae, which can lead to genetic divergence between populations located on either side of the frontal current. Consequently, frontal ocean currents may play an important role in forming invisible genetic barriers between limpet populations.

Keywords: Bioinformatics, phylogeography, haplotypes, hot-spot, Algerian coast, Barrier currentology, Mediterranean/Atlantic.

Liste des abréviations

Liste des abréviations

ADN: Adénosine Désoxyribo Nucléique.

ADNmt: ADN mitochondrial.

AMOVA: Analysis of Molecular Variance (analyse de la variance moléculaire).

AOF: Almeria-Oran Front, (Front Almeria-Oran)

ARNr: Acide Ribonucléique ribosomique.

CIBIO: Center in Biodiversity and Genetic Resources (Centre de Biodiversité et des Ressources Génétique)

COI: Cytochrome Oxydase I.

ddl : degré de liberté

Fct: Indice de fixation à l'intérieur d'un groupe

Fsc: Indice de fixation entre groupes.

Fst: Indice de fixation intra-population.

H : Diversité haplotypique

NCBI : National Center for Biotechnology Information

NS: non significatif

Pb: Paire de bases. Unité de longueur pour les séquences d'acides nucléiques

PCR: Polymérase Chain Reaction (Réaction en Chaîne par Polymérase).

WoRMS: World Register of Marine Species.

π : Diversité nucléotidique

Liste des figures

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1. Schéma explicatif de concept biologique d'espèce. (Jeanet Meunie, 2015). | 3 |
| Figure 2. Schéma explicatif de concept phylogénétique. (Jean et Meunier, 2015). | 3 |
| Figure 3. Schéma explicatif de concept écologique. (Jean et Meunier, 2015)..... | 4 |
| Figure 4. Schéma explicatif de concept morphologique. (Jean et Meunier, 2015)..... | 5 |
| Figure 5. Schéma explicatif de différentes types de spéciations, A, spéciation allopatrique , B,spéciationpréipatrique, C, spéciation parapatrique, D, spéciation sympatryque..... | 6 |
| Figure 6. Représentation schématique des différents types de métapopulation définis par Harrison et Hastings (1996) d'après la définition du modèle initial de Levins (1969) (a) ; (b) le modèle 'continent-îles' ou 'source-puits' ; (c) le modèle 'population fragmentée' ; (d) le modèle des 'populations fragmentées en déséquilibre' ; (e) un modèle intermédiaire..... | 10 |
| Figure 7. Schéma d'un cycle de vie benthopélagique : la rétention des larves assure la pérennité des populations locales tandis que la dispersion assure la connectivité entre populations éloignées. Les larves peuvent être également recrutées dans un habitat défavorable et disparaître (D'après Thorson, 1950)..... | 11 |
| Figure 8. Carte de la Mer Méditerranée avec ses sous bassins (flèches = couloirs de vent) (d'après Bozec, 2006 in Mansouri, 2015)..... | 14 |
| Figure 9. La circulation des eaux de surface dans la mer Méditerranée, avec un détail du Front de l'Almeria-Oran. Les zones en orange indiquent les zones intermédiaires et la formation des eaux profondes. (D'après Rohling <i>et al.</i> 2009 in Bouzaza 2018)..... | 16 |
| Figure 10. Schéma représente le fonctionnement de la radula des <i>Patellidea</i> , d'après (Gérard, 2014). | 19 |
| Figure 11. Schéma représente la morphologie externe et interne des <i>Patellidea</i> (Ferhi et Boukhorissa, 2021) | 20 |
| Figure 12. Morphologie de la coquille de <i>Patella ferruginea</i> (Gmelin, 1791)..... | 21 |
| Figure 13. Microscopie électronique de la radula des patelles (Hakabe, 2010 in Nakhlé, 2003)..... | 23 |
| Figure 14. Le crabe verruqueux <i>Eriphia verrucosa</i> prédateur des patelles du genre <i>Patella</i> . [C]..... | 25 |
| Figure 15. Le Gastéropode <i>Stramonita haemastoma</i> prédatant la patelle <i>P.ferruginea</i> [D]..... | 25 |
| Figure 16. <i>Patella ferruginea</i> vivant en association avec <i>Patella rustica</i> sur les roches..... | 26 |
| Figure 17. Morphologie de la coquille de <i>Patella rustica</i> (Gmelin, 1790)..... | 27 |
| Figure 18. Le Gastéropode <i>Stramonita haemastoma</i> prédatant la patelle <i>P.rustica</i> [F]. | 30 |
| Figure 19. Carte géographique montrant les stations de prélèvement des espèces de patelles étudiées tout le long de la côte algérienne. Les abréviations et les stations de prélèvement sont | |

| | |
|---|----|
| mentionnées sur le tableau 3. •stations de prélèvement de <i>P.ferruginea</i> ; •stations de prélèvement de <i>P. rustica</i> | 31 |
| Figure 20. Carte géographique de la Méditerranée représentant les d'haplotypes de <i>P.ferruginea</i> existant sur chaque station d'étude. ●HAP1, ●HAP2, ●HAP3, ●HAP4, ●HAP5, ●HAP6, ●HAP7, ●HAP8, ●HAP9, ●HAP10, ●HAP11. A : Bassin algérien, B : mer d'Alboran, C : Corse et D : Sardaigne et détroit Siculo-tunisien. | 41 |
| Figure 21. Carte géographique de la Méditerranée représentant les d'haplotypes de <i>P.rustica</i> existant sur chaque station d'étude. ●HAP1, ●HAP2, ●HAP3, ●HAP4, ●HAP5, ●HAP6, ●HAP7, ●HAP8, ●HAP9, ●HAP10, ●HAP11, ●HAP12, ●HAP13, ●HAP14, ●HAP15, ●HAP16, ●HAP17, ●HAP18, ●HAP19, ●HAP20, ●HAP21, ●HAP22, ●HAP23, ●HAP24, ●HAP25, ●HAP26, ●HAP27, ●HAP28, ●HAP29, ●HAP30..... | 42 |
| Figure 22. Courbe représentant la corrélation entre la diversité haplotypique et nucléotidique de <i>Patella ferruginea</i> et les coordonnées de longitude..... | 44 |
| Figure 23. Courbe représentant la corrélation entre la diversité haplotypique et nucléotidique de <i>Patella ferruginea</i> et les coordonnées de latitude..... | 45 |
| Figure 24. Courbe représentant la corrélation entre la diversité haplotypique et nucléotidique de <i>Patella rustica</i> et les coordonnées de longitude..... | 45 |
| Figure 25. Courbe représentant la corrélation entre la diversité haplotypique et nucléotidique de <i>Patella rustica</i> et les coordonnées de latitude..... | 46 |

Liste des tableaux

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1. La systématique de <i>Patella ferruginea</i> selon le "WoRMS" (World Register Marine Species) [B]..... | 22 |
| Tableau 2. La position systématique <i>P.rustica</i> selon le "WoRMS" (World Register Marine Species) [E] | 27 |
| Tableau 3. Position géographique des sites de prélèvement et abréviations des stations étudiées pour <i>P.ferruginea</i> et <i>P.rustica</i> : | 32 |
| Tableau 4. Les différents haplotypes de l'espèce <i>Patella ferruginea</i> des stations choisies en se basant sur des séquences de 591 de la portion COI pour les individus algériennes et 572 pour les individus des pays étrangers. Abr, Abréviations..... | 38 |
| Tableau 5. Les différents haplotypes de l'espèce <i>Patella rustica</i> des stations choisies en se basant sur des séquences de 577 de la portion COI pour les individus algériennes et étrangères. | 40 |
| Tableau 6. La diversité haplotypique et nucléotidique de <i>P. ferruginea</i> et <i>P.rustica</i> | 43 |
| Tableau 7. Résultats des tests de neutralité de Tajima, de F de F_u et L_i (NS : valeur non-significative)..... | 44 |
| Tableau 8. Résultats de l'AMOVA des modèles de structures des populations de la côte algérienne pour <i>P.ferruginea</i> et <i>P.rustica</i> en utilisant F _Statistique (mesure de la différenciation génétique entre les populations) Φ _Statistique (calculer la distance de matrice selon Tamoura modèle), *: valeur significative de P ; NS: valeur non significative de P ; ddl: degré de liberté. | 47 |
| Tableau 9. Résultats de l'AMOVA des modèles de structures des populations Méditerranéens et nord-est atlantique pour <i>P.ferruginea</i> et <i>P.rustica</i> en utilisant F _Statistique (mesure de la différenciation génétique entre les populations) Φ _Statistique (calculer la distance de matrice selon Tamoura modèle), selon la longitude et latitude .*: valeur significative de P ; NS: valeur non significative de P ; ddl: degré de liberté. | 50 |

Sommaire

| | |
|---|----------|
| Introduction..... | 1 |
| Chapitre I : Revue bibliographique | 3 |
| 1. Notions et principes de base | 3 |
| 1.1. Le concept d'espèce | 3 |
| 1.1.1. Le concept biologique de l'espèce | 3 |
| 1.1.2. Le concept phylogénétique..... | 3 |
| 1.1.3. Le concept écologique..... | 4 |
| 1.1.4. Le concept morphologique..... | 4 |
| 1.2. La spéciation | 5 |
| 1.2.1. Les différents modes de spéciation | 6 |
| 1.3. Connectivité des populations | 8 |
| 1.3.1. Population..... | 8 |
| 1.3.2. Métapopulation..... | 8 |
| 1.3.3. La migration en milieu marin..... | 10 |
| 1.3.4. Phase larvaire | 11 |
| 1.4. Rôle des études Phylogéographiques :..... | 13 |
| 2. Les courants et fronts méditerranéens | 14 |
| 2.1. La mer Méditerranée | 14 |
| 2.2. Courantologie en Méditerranée..... | 14 |
| 3. Les patelles en tant que model d'études phylogéographique | 16 |
| 3.1. Généralités sur les patelles | 16 |
| 3.2. Morphologie des Patellidés..... | 16 |
| 3.2.1. La morphologie externe..... | 16 |
| 3.2.2. La morphologie interne | 18 |
| 3.3. Importance des patelles dans les études phylogéographique :..... | 20 |
| 3.4. Taxinomie des espèces ciblent..... | 21 |
| 3.4.1. <i>Patella ferruginea</i> (Gmelin, 1791)..... | 21 |

| | | |
|---|--|-----------|
| 3.4.1.1. | Synonymie de <i>Patella ferruginea</i> | 22 |
| 3.4.1.2. | Bio-écologie et exploitation de <i>Patella ferruginea</i> | 22 |
| 3.4.2. | <i>Patella rustica</i> (Gmelin, 1790)..... | 27 |
| 3.4.2.1. | Synonymie de <i>Patella rustica</i> :..... | 28 |
| 3.4.2.2. | Bio-écologie et exploitation de <i>Patella rustica</i> | 28 |
| Chapitre II : Matériel et méthodes | | 31 |
| 1. | Zone d'étude | 31 |
| 2. | Analyses Bio-informatique | 35 |
| 2.1. | Traitement des séquences d'ADNmt | 35 |
| 2.2. | Structures génétiques des populations | 35 |
| 2.2.1. | Calcul de la diversité haplotypique et nucléotidique..... | 35 |
| 2.2.2. | Relation entre la diversité nucléotidique/haplotypique et les coordonnées géographiques .. | 35 |
| 2.2.3. | Modèles de structures génétiques des populations..... | 36 |
| 2.2.3.1. | Modèle de structure génétique à l'échelle microgéographique | 36 |
| 2.2.3.2. | Modèle de structure génétique à l'échelle macrogéographique | 36 |
| Chapitre III : Résultats et discussion | | 38 |
| 1. | Résultats..... | 38 |
| 1.1. | Structures génétiques des populations | 38 |
| 1.1.1. | Analyse haplotypique | 38 |
| 1.1.2. | Calcul de la diversité haplotypique et nucléotidique..... | 43 |
| 1.1.3. | Rapport entre la diversité génétique/haplotypique avec les coordonnées géographiques... | 44 |
| 1.2. | Modèle de structure génétique des populations | 46 |
| 1.2.1. | Échelle microgéographique..... | 46 |
| 1.2.2. | Échelle macrogéographique | 47 |
| 2. | Discussion..... | 50 |
| a) | Échelle microgéographique | 50 |
| b) | Échelle macrogéographique..... | 51 |
| Conclusion | | 55 |

| Introduction

Introduction

Les patelles font parties des invertébrés marins les plus répandus des zones côtières rocheuses habitant les côtes rocheuses de la zone intertidale du supratidal au subtidal (**Ridgway et al. 1998, Henriquez et al. 2017**) de l'Atlantique Nord-est et de la mer Méditerranée.

En raison de leur rôle fondamental dans l'écologie et la biodiversité de ces habitats (**Hawkins et Hartnoll 1983, Branch 1985, Menge et al. 1994, Espinosa et Rivera-Ingraham 2017**) ils sont considérés comme des espèces clés dans les écosystèmes côtiers rocheux.

Les Patellideae sont connues par leur plasticité morphologique, en Mer Méditerranée on trouve la présence de cinq espèces de patelles (**Cretella et al. 1994**) parmi lesquelles, *Patella ferruginea* considéré comme étant l'une des plus grandes patelles de Méditerranée (jusqu'à 8 cm de diamètre).

Les patelles ont un cycle de vie complexe incluant une phase larvaire pélagique au mouvement passif dans la colonne d'eau influencé par les différents courants marins permettant aux populations de se déplacer et migrer.

Cette phase est la clé de compréhension des modèles de connectivité marine entre les différents groupes de leurs populations et sur le rôle que peuvent avoir les courants marins et barrières qui sont la résultante d'une combinaison de facteurs à la fois historiques, écologiques, physiques et génétiques (**Bierne et al. 2011; Lemaire et al. 2005**).

Ces courants peuvent être des éléments importants dans la création de modèles de structures populations, ce qui amène à faire des études phylogéographiques pour mieux comprendre leur impact sur la connectivité entre les différentes populations des patelles.

La circulation de l'eau dans la zone étudiée, et notamment en mer Méditerranée, est très complexe. Au sein de la région étudiée, de multiples barrières biogéographiques ont été identifiées, sont considérés comme les principaux influençant la diversité génétique de divers organismes marins

Parmi lesquelles le Front Almería-Oran (FAO) à l'ouest (**Patarnello et al. 2007**) et le détroit Siculo Tunisien à l'est a été rapporté comme barrière génétique chez plusieurs espèces (**Bahri-Sfar et al. 2000; Ben Slimen et al. 2004; Gharbi et al. 2011; Zitari-Chatti et al. 2008 ; Borsa et al. 1997; Mejri et al. 2009; Stefanni et Thorley 2003; Zardoya et al. 2004**) et le front du golf de Bejaïa (**El Ayari, 2015**).

C'est dans ce sens que plusieurs travaux ont été réalisés en Méditerranée et en Atlantiques sur la génétique des populations des patelles. Nous pouvons citer les travaux de **Sá Pinto et al. (2008)** sur la phylogénie et la phylogéographie de quelques patelles de l'Est Atlantique et la Méditerranée et ceux de **Ribeiro et al. (2010)** qui ont étudié les récents changements dans la distribution et la diversité génétique de *P.rustica* des côtes atlantiques ibériques.

En Algérie, nous pouvons citer l'étude préliminaire de **Mezali (2007)** sur la phylogénie de *P. ferruginea* (Gmelin, 1791), **Bouzaza (2012)** sur la phylogénie et la phylogéographie de quelques patelles de la côte algérienne. Aussi les travaux de **Bouzaza et Mezali (2012)** consacrées à la contribution phylogénétique de quelques invertébrés benthiques de la côte algérienne, Récemment, **Kallouche et al. (2018)** avaient fait une étude sur la caractérisation moléculaire de quelques espèces du genre *Patella* montrant quelques structures génétiques des populations de trois espèces de patelles (*P. rustica*, *P. ferruginea* et *Patella caerulea*). **Bouzaza (2018)** dans sa thèse sur l'étude taxinomique, phylogénétique, phylogéographique et démographique de quelques espèces de patelles (*P. ferruginea*, *P. caerulea* et *Cymbulasafiana*), Enfin, **Bouzaza et al. (2021)** avaient étudié la structure génétique de la population de *P.ferruginea* en Méditerranée occidentale, indiquant des nouvelles preuves impliquant les effets des barrières marines afin d'étudier la présence de la structure génétique des populations dans la région algérienne et d'autres régions de la Méditerranée occidentale.

Notre étude est une analyse bioinformatique basé sur une investigation des zones à divergence génétique de quelques populations de patelles (*P.ferruginea* et *P.rustica*) pouvant faire l'objet de hot-spot au niveau de la côte algérienne, des côtes méditerranéennes et atlantique (*P.rustica*).

Chapitre I

Revue bibliographique

Chapitre I : Revue bibliographique

1. Notions et principes de base

1.1. Le concept d'espèce

Notre planète est extrêmement riche en biodiversité, les scientifiques estiment qu'il existe plus de 8,7 millions d'espèces d'êtres vivants sur Terre c'est pour ça ils ont trouvé que il est nécessaire de classer les organismes vivants en espèces pour bien distinguer les différents types d'organismes vivants. Il existe plusieurs concepts d'espèce.

1.1.1. Le concept biologique de l'espèce

Dans son ouvrage « Systematics and the origine of species », **Mayr (1942)** définit l'espèce comme étant «Les espèces sont des groupes de populations naturelles, effectivement ou potentiellement interfécondes, qui sont génétiquement isolées d'autres groupes similaires » (**Fig.1**).

Ce concept basé sur l'isolement reproductif (ou isolement génétique), c'est-à-dire l'ensemble des facteurs biologiques (barrières) qui empêchent les membres de deux espèces distinctes d'engendrer une progéniture viable et féconde.

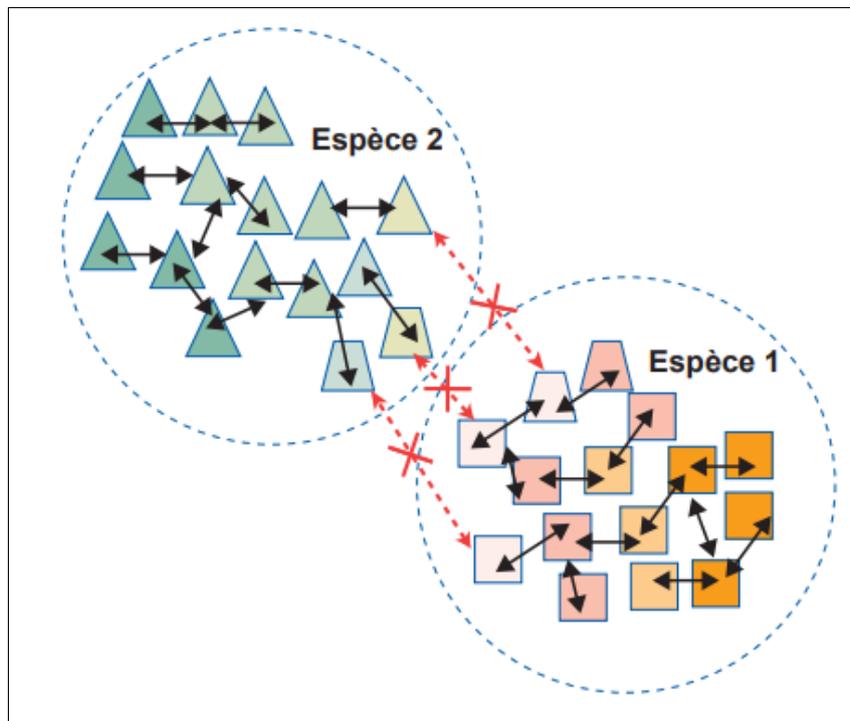


Figure 1. Schéma explicatif de concept biologique d'espèce. (Jeanet Meunie, 2015).

1.1.2. Le concept phylogénétique

Une espèce est le plus petite groupe monophylétique d'individus et de population dont les membres sont uniquement constitués de descendants d'un même ancêtre commun récent et formant une branche de l'arbre de la vie, **Cracraft (1983)** définit « une espèce est un groupe d'individus partageant une relation d'ascendance et de descendance ». Le principal critère retenu donc est le critère de descendance. C'est un concept intellectuel qui s'intègre bien dans la pensée phylogénétique moderne (**Fig.2**).

L'identification d'espèces phylogénétiques s'appuie sur la présence de caractères phénotypiques spécifiques chez les spécimens fossiles (**Cracraft, 1983**), tandis que le concept de l'espèce évolutionnaire repose sur le critère d'ancêtres et descendants partageant une histoire évolutive propre (**Simpson, 1951**). Lorsque l'information génétique est préservée (**p. ex., Krause et al. 2010**), l'espèce génétique peut également intervenir dans les discussions taxinomiques.

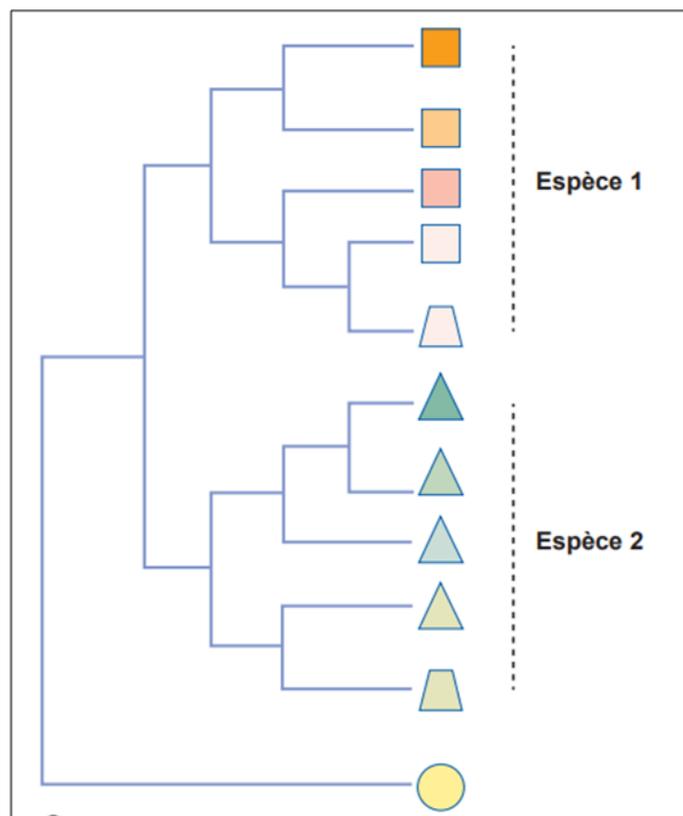


Figure 2. Schéma explicatif de concept phylogénétique. (Jean et Meunier, 2015).

1.1.3. Le concept écologique

Le concept écologique définit celle-ci comme un ensemble d'organismes adaptés à une niche écologique particulière (Van Valen, 1976; Haq *et al.* 1987; Marincovich et Gladenkov, 1999; McKenzie, 1999; Renssen et Vandenberghe, 2003; 2005; d'après les informations tirées de Brault *et al.* 2004) c'est -à- dire l'ensemble d'organismes occupant une place particulière dans une place particulière dans les écosystèmes et exploitant un ensemble précis de ressources. On parle parfois de critère de niche écologique (Fig. 3).

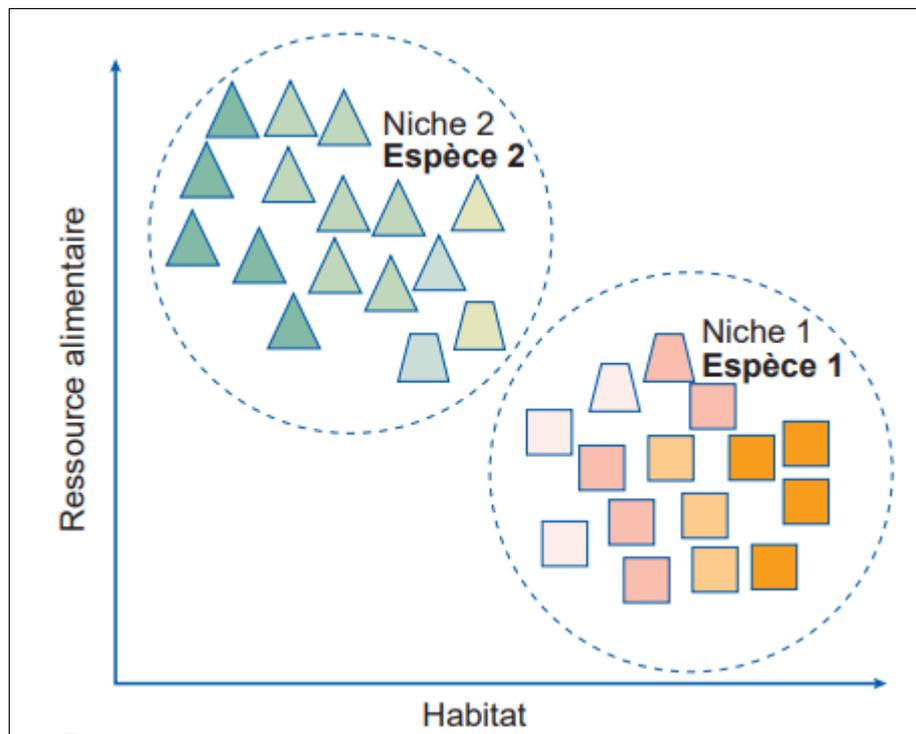


Figure 3. Schéma explicatif de concept écologique. (Jean et Meunier, 2015).

1.1.4. Le concept morphologique

Le concept morphologique de l'espèce définit comme suit : « une espèce rassemble tous les individus qui partagent un ensemble stable de caractéristiques morpho-anatomiques permettant leur identification et suffisamment distincts des caractères morpho-anatomiques des autres espèces de manière à permettre leur distinction ». Ce concept très opérationnel dans la pratique taxonomique (Fig. 4).

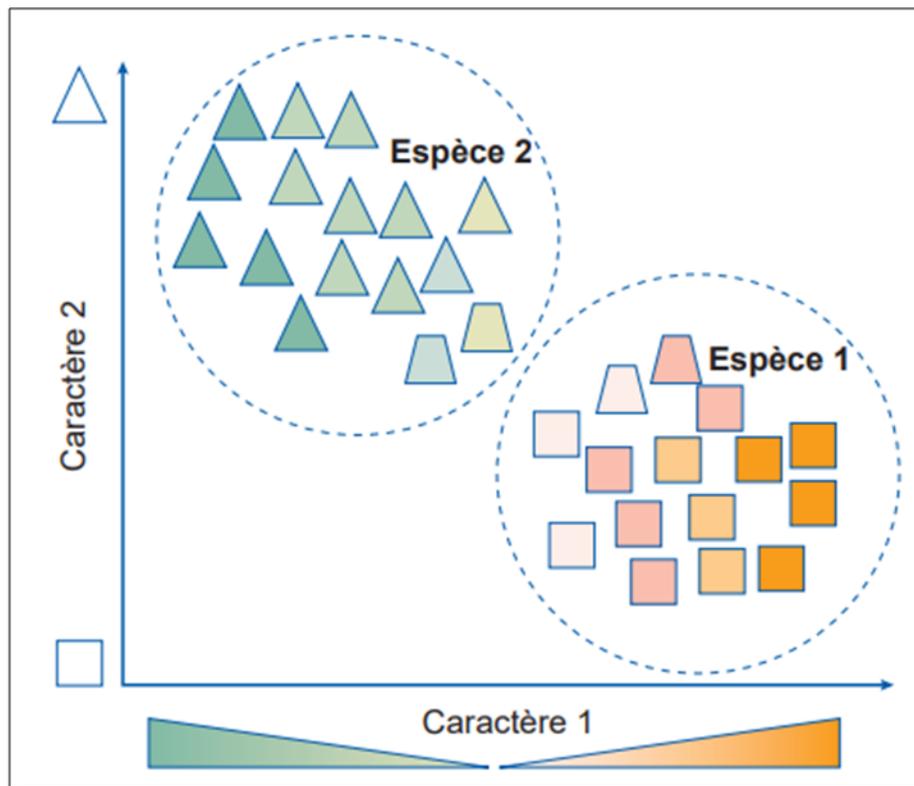


Figure 4. Schéma explicatif de concept morphologique. (Jean et Meunier, 2015).

1.2. La spéciation

La spéciation est la naissance à partir d'une seule espèce de deux espèces filles distinctes (Cornuet *et al.* 2010), Comme les espèces biologiques se distinguent par leur incompatibilité reproductive.

Le concept biologique de l'espèce s'appuie sur l'isolement reproductif, donc la mise en place de mécanisme d'isolement reproductif est l'événement le plus important dans l'apparition d'une nouvelle espèce, Cet isolement est la résultante de la mise en place de barrières aux flux géniques, ces barrières empêchant — ou limitant fortement — l'hybridation de deux espèces habitant la même région, même lorsqu'elles sont étroitement apparentées.

Les barrières peuvent être prézygotiques ou postzygotiques, selon qu'elles contribuent à l'isolement reproductif avant ou après la fécondation. Les barrières prézygotiques (avant le zygote) rendent impossible la fécondation de plusieurs façons. Elles peuvent empêcher les membres d'espèces différentes de tenter de s'accoupler, faire échouer une tentative d'accouplement avant qu'elle réussisse, ou encore bloquer la fécondation si l'accouplement a eu lieu, selon Mayr (1940) ces

barrières peuvent être d'ordre éthologique, géographique ou écologique. Si un spermatozoïde franchit une barrière prézygotique et féconde un ovule d'une autre espèce, diverses barrières postzygotiques (après le zygote) empêchent généralement le zygote hybride de devenir un adulte viable et fécond (isolement reproductif postzygotique). Ainsi, les hybrides peuvent avoir un taux de survie plus faible par suite d'erreurs survenues lors du développement embryonnaire ; ils peuvent également souffrir de problèmes postnatals qui les rendent infertiles ou incapables de vivre assez longtemps pour avoir le temps de se reproduire (Campbell et Reece, 1987 in Benbachir, 2017).

1.2.1. Les différents modes de spéciation

Pour décrire les différents modèles de spéciation (c'est-à-dire de formation de nouvelles espèces), on peut prendre en considération soit la nature des mécanismes impliqués, soit le statut géographique des populations concernées. Selon leurs aires de distribution, on distingue :

- des populations sympatriques, si elles partagent la même aire de distribution.
- des populations allopatriques, si elles occupent des aires de distribution différentes.
- des populations parapatriques, si leurs aires de distribution sont situées côte à côte.
- des populations péripatriques, si leurs aires de distribution sont situées en périphérie d'une autre.

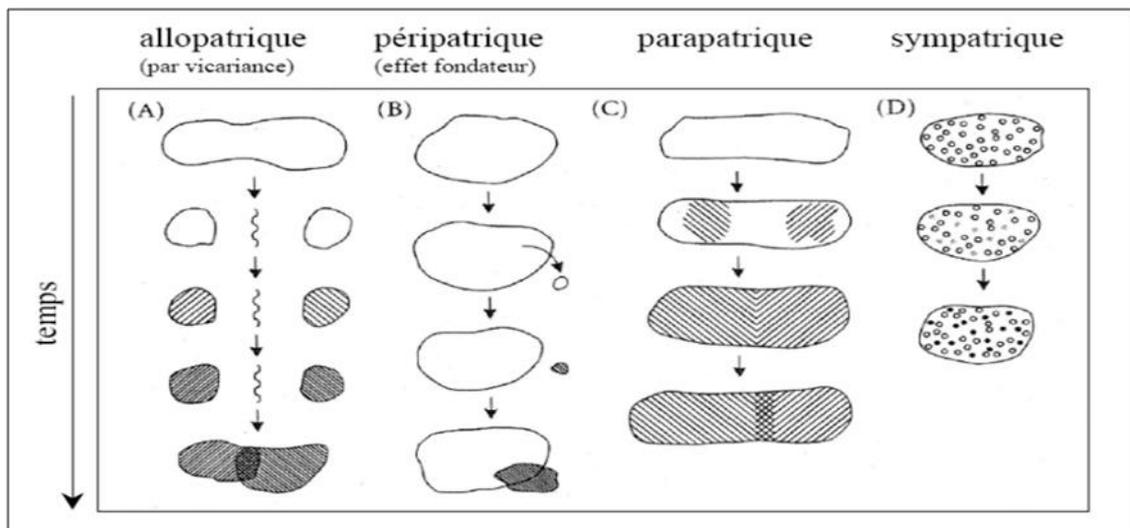


Figure 5. Schéma explicatif de différents types de spéciations, A, spéciation allopatrique, B, spéciation péripatrique, C, spéciation parapatrique, D, spéciation sympatryque.

1.2.1.1. La spéciation allopatrique (avec isolements géographiques)

Le mode de spéciation le plus couramment admis est le mode allopatrique (Turelli *et al.* 2001), quand une espèce à grande répartition géographique va se scinder en deux ensembles par création d'une barrière géographique. Les échanges de gènes vont être interrompus (Fig.5A). Si les conditions de milieu sont différentes pour les deux groupes les deux populations vont diverger graduellement en faisant une cladogenèse. On obtiendra alors des sous-espèces différentes (ou races géographiques) mais à la longue, on pourra obtenir des espèces différentes qui ne peuvent plus se croiser. Selon Mayer (1942), ce mode de spéciation est certainement très fréquent. Il serait le plus répandu chez les vertébrés et exclusif chez les oiseaux (*in* Dajoz, 2012).

1.2.1.2. La Spéciation péripatrique (ou spéciation par effet fondateur)

Ce type de spéciation se produit lorsque une petite partie de la population originelle se retrouve dans une nouvelle niche isolée. Ils procèdent donc à la reproduction entre eux (consanguinité) et au bout de quelques générations, s'ils reviennent dans leur population de base, ils ne pourront plus procréer, elle est appelée aussi "spéciation par bourgeonnement" (Fig.5B).

1.2.1.3. La Spéciation parapatrique

La spéciation parapatrique porte sur des populations dont les aires de répartition sont contigües, en conséquence partiellement isolées géographiquement (Fig.5C).

Cette spéciation se fait quand il y a une rupture de répartition : une nouvelle niche écologique en périphérie de l'aire de répartition (limite zone calcaire-argileuse ; limite plaine-forêt). Des individus en limite de leur aire de répartition vont soudainement rencontrer des conditions totalement différentes. Les espèces doivent aussi vouloir élargir leur territoire. Cette spéciation se fait donc seulement chez les populations abondantes, impliquant une compétition pour le territoire. Ce type de spéciation est donc assez rare.

1.2.1.4. Spéciation sympatrique

La spéciation sympatrique se produit quand la probabilité de croisement entre individus dépend seulement de leurs génotypes (Fig.5D) donc il n'existe pas des barrières extrinsèques aux flux de gène (Kondrashov, 1986).

La réalité de la spéciation sympatrique, en l'absence de barrières géographiques, a été un concept longtemps rejeté, surtout en raison de l'influence d'**Ernst Mayr**. Des cas indiscutables sont connus aujourd'hui. Pour se réaliser, cette spéciation exige des conditions spéciales telles que la polyploïdie, des réarrangements chromosomiques ou des modifications des comportements alimentaire ou reproducteur (**Dajoz, 2012**).

1.3. Connectivité des populations

1.3.1. Population

Le terme population est un ensemble d'individus d'une même espèce dont les individus occupent une aire géographique commune et se reproduisent entre eux d'une façon aléatoire (panmixie) (**Gadoud et Surdeau, 1975**).

Cette aire géographique commune étant définie par le fait que les individus en son sein ont plus d'interactions entre eux que les individus de même espèce qui seraient situés à une distance plus grande et qui auraient des liens exceptionnels avec ces premiers organismes donc par rapport à cette première population.

Ces populations sont donc naturellement le plus souvent fragmentées dans l'espace, ce qui nous amène à parler de métapopulation pour considérer des populations de populations qui vont être plus ou moins connectées par des flux de dispersion d'individus.

Le bien connaître des populations d'un écosystème à des avantages sont nombreux, il donne le possible de mieux comprendre la biodiversité d'un écosystème et aussi lutter contre certaines maladies (parasites, agents pathogènes) ou de contrôler la dynamique d'une population donnée.

1.3.2. Métapopulation

Le concept de métapopulation selon **Gill (1978)** est un ensemble de populations d'une même espèce réparties dans l'espace, entre lesquelles il existe des échanges plus ou moins réguliers et importants d'individus, c'est l'ensemble des populations échangeant des gènes entre elles qui a été défini comme une métapopulation.

Et selon **Levins (1969)**, qui a introduit le concept, il s'agit d'un groupe de populations d'un même organisme, séparées spatialement et qui interagissent via des échanges génétiques par dispersion.

Cette métapopulation a pour habitat une unité écologique correspondant au paysage, c'est-à-dire un ensemble de sites présentant divers stades de succession écologique et dont la géographie autorise des échanges géniques limités mais existant d'un site à l'autre (**Pomenteet Valdeyron, 1985**).

1.3.2.1. Les types de métapopulation

Plusieurs types de métapopulation ont été décrits par **Harrison et Hastings (1996)**, d'après la définition du modèle initial de **Levins (1969)** :

1. Le modèle « continent-îles » ou « source-puits » dans lequel la persistance de la métapopulation dépend de l'existence d'une ou plusieurs populations résistantes à l'extinction (**Fig.6B**).
2. Le modèle de « populations fragmentées » dans lequel la dispersion entre les sous-populations est si importante que le système fonctionne comme une unique population résistante à l'extinction (**Fig.6D**).
3. Le modèle des « populations fragmentées en déséquilibre » dans lequel les populations sont faiblement interconnectées et les extinctions locales ne sont pas contrebalancées par les recolonisations (**Fig. 6E**).
4. Les modèles intermédiaires qui combinent les structures du modèle 'continent-île' et le modèle de « populations fragmentées » : la dispersion s'effectue préférentiellement au niveau des zones centrales mais devient suffisamment faible avec les populations des zones périphériques pour autoriser des extinctions locales (**Fig.. 6C**).

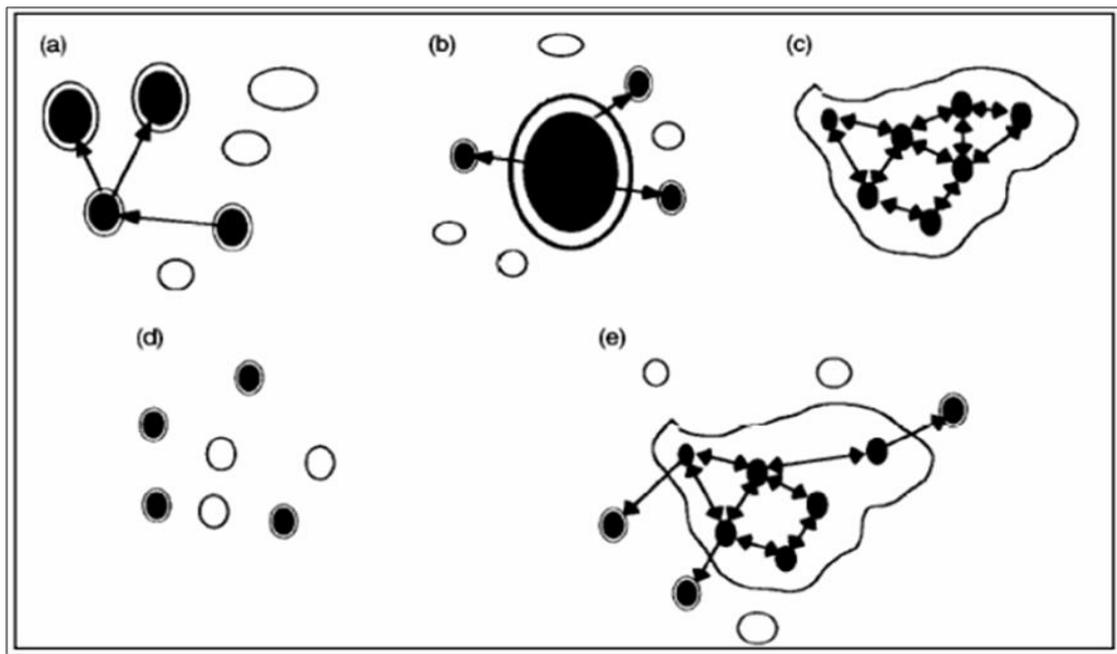


Figure 6. Représentation schématique des différents types de métapopulation définis par **Harrison et Hastings (1996)** d'après la définition du modèle initial de **Levins (1969)** (a) ; (b) le modèle 'continent-îles' ou 'source-puits' ; (c) le modèle 'population fragmentée' ; (d) le modèle des 'populations fragmentées en déséquilibre' ; (e) un modèle intermédiaire.

1.3.3. La migration en milieu marin

La migration se situe comme un écho des déplacements acycliques, «lorsque des individus ou des populations couvrent de longues distances sans jamais revenir à leur lieu d'origine». (**Dorst, 1996**) Selon cet auteur, seuls sont indépendantes des migrations, chez les animaux toujours, les déplacements cycliques, avec retour au point de départ. Il s'agit de déplacements réguliers entre une aire de reproduction (dénommée patrie) et une aire de séjour en dehors des périodes de reproduction.

Elle intervient dans le cycle de vie de l'animal et sa périodicité varie évidemment selon la durée de vie des différentes espèces (**Pailhé, 2002**).

La migration dans le milieu marin peut être subie ou passive ou active:

- Est subie lorsque certaines espèces sont emportées par leur hôte (rémora).
- Passive lorsque les espèces se laissent emportées par les courants d'eau (larves planctoniques).
- Elle est active lorsque les espèces se déplacent par leurs propres moyens physiques.

1.3.4. Phase larvaire

Le stade larvaire, qui implique une larve, est une phase animale où la forme juvénile est distincte avant la métamorphose en adulte.

Il existe une grande diversité parmi les larves, leur morphologie, leur durée de vie larvaire, leur comportement natatoire, et leur mode de nutrition.

Si on parle des invertébrés marins la plus part possèdent une phase larvaire planctonique tandis que les phases juvéniles et les adultes sont benthiques et plus ou moins sédentaires, inféodées au substrat. Alors leur cycle de vie est benthopélagique.

Les organismes à cycle de vie benthopélagique ont généralement une fécondité élevée, mais les œufs produits en très grand nombre sont le plus souvent de petite taille, fait interprété comme un compromis lié au coût d'une fécondité élevée. Cette fécondité élevée contrebalancerait les fortes pertes démographiques au cours de la phase larvaire. Si d'un point de vue écologique et évolutif, de telles pertes sont potentiellement désavantageuses de par le gaspillage qu'elles entraînent, le cycle de vie benthopélagique demeure prépondérant chez les organismes marins (Thorson, 1950; Eckman, 1996).

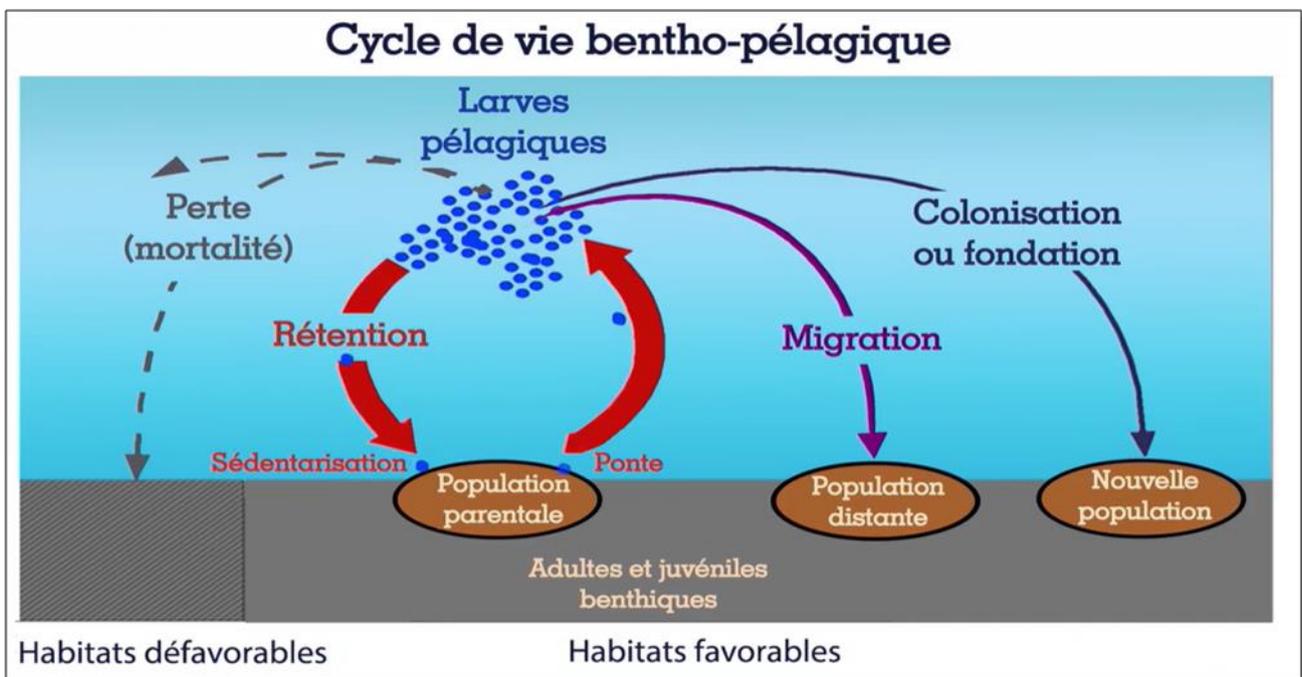


Figure 7. Schéma d'un cycle de vie benthopélagique : la rétention des larves assure la pérennité des populations locales tandis que la dispersion assure la connectivité entre populations éloignées. Les larves peuvent être également recrutées dans un habitat défavorable et disparaître (D'après Thorson, 1950).

1.3.4.1. Les avantages de la phase larvaire

L'avantage évolutif de l'existence d'une phase larvaire planctonique a été discuté, en particulier par **Pechenik(1999)**, **Bonhomme et Planes (2000)**, respectivement chez les invertébrés marins et les poissons récifaux.

Ces travaux ont souligné l'importance relative des forces sélectives agissant à court et à long terme pour expliquer le maintien d'une phase larvaire planctonique.

Les principaux avantages que confèrent l'existence d'une phase larvaire planctonique sont liés à son potentiel de dispersion loin des populations parentales (**Pechenik, 1999; Eckert, 2003; Ronce, 2007**), permettant ainsi dans le cas des larves planctotrophes:

- une réduction indirecte de la compétition entre les parents benthiques et leur progéniture planctonique.
- une augmentation de la probabilité que le juvénile occupe un habitat favorable dans le cas où la métamorphose est déclenchée par des molécules produites par des adultes conspécifiques.
- une réduction des risques liés à la dépression de consanguinité (croisements entre individus apparentés).
- le maintien d'une aire de répartition géographique étendue.
- une augmentation des probabilités de recolonisation après une extinction locale, et donc un avantage évolutif dans le cas où l'habitat est instable ou éphémère.
- une réduction du risque d'extinction et une augmentation de la persistance des espèces à l'échelle des temps géologiques (**Ayata, 2010**).

1.3.4.2. Les inconvénients de la phase larvaire :

Il existe de nombreux désavantages au maintien de la phase larvaire pélagique chez les invertébrés marins (**Pechenik, 1999**) :

- la dispersion peut entraîner la larve loin de l'habitat favorable de la population parentale.
- la dispersion augmente la vulnérabilité face aux prédateurs planctoniques.
- la dispersion pourrait entraîner d'importants flux géniques sur de grandes distances, ce qui réduit les possibilités d'adaptation locale et augmente la probabilité de perte de valeurs élective du fait de croisements entre individus issus de populations très éloignées « out breeding dépression ».
- étant donné la spécificité du substrat pour la sédentarisation et la métamorphose, la dispersion peut conduire la larve à se métamorphoser sur un substrat non-optimal ou dans des conditions désavantageuses, ce qui limiterait la capacité des adultes à se développer et à se reproduire dans des conditions optimales.

- le délai à la métamorphose observé chez certaines espèces en l'absence de substrat favorable peut réduire par la suite la survie des juvéniles et leur succès reproducteur.
- les stress subis par la larve au cours de sa vie planctonique peuvent réduire son succès post-métamorphose (**Pechenik, 1999 in Bouzaza, 2018**).

1.4. Rôle des études Phylogéographiques :

La phylogéographie vise à étudier la distribution des lignées génalogiques et comprendre comment la géographie pourrait affecter leur différenciation génétique, au sein d'une espèce et entre espèces proches (**Avisé, 2000**). Elle est divisée en cinq sous-disciplines : la biogéographie, la paléobiogéographie, la phylogéographie, la zoogéographie et la phytogéographie.

Le processus de subdivision phylogéographique le plus couramment admis peut ainsi se décliner en plusieurs étapes :

- un isolement géographique en allopatrie dépendant notamment du modèle de dispersion de l'espèce considérée et de la force de la barrière rencontrée ; pouvant engendrer, accumulation de mutations de part et d'autre de la barrière et dérive génétique, et/ou mal adaptation géographique.
- un isolement génétique correspondant à cette subdivision géographique. (**Mansouri, 2015**)

La phylogéographie permet d'inférer les processus historiques et contemporains ayant affecté les espèces en étudiant la distribution spatiale des allèles et en reconstruisant les relations phylogénétiques entre ceux-ci, L'analyse et l'interprétation des données nécessitent l'intégration des concepts de génétique des populations et de phylogénie mais également de données intrinsèques aux espèces (ex : capacité de dispersion, physiologie), et de connaissances sur leur histoire (paléontologie) et sur l'histoire de la région géographique étudiée (géographie historique et géologie). La phylogéographie permet ainsi d'étudier la spéciation dans un contexte géographique et temporel. Contrairement à l'approche classique de la phylogénie, la théorie de la coalescence utilise les généalogies de gènes pour remonter dans le temps et identifier l'ancêtre commun le plus récent. En traitant des attendus statistiques des relations historiques entre lignées de gènes en fonction des paramètres démographiques, la théorie de la coalescence permet de situer dans le temps les événements démographiques passés, comme par exemple des événements de vicariance ou une expansion démographique, et des événements plus récents, comme la présence de contacts secondaires après vicariance (**Tellier, 2009 in Bettahar et Boumaza 2020**)

2. Les courants et fronts méditerranéens

2.1. La mer Méditerranée

La mer Méditerranée est une mer intercontinentale (**Fig. 8**), située entre l'Europe, l'Afrique et l'Asie, est considérée comme un petit bassin semi fermé, il couvre une superficie d'environ 2,5 millions de Km² s'étendant d'est en ouest sur approximativement 3800 Km et relié à l'océan Atlantique par le détroit de Gibraltar dont la largeur est d'environ 15 Km et la profondeur est d'environ 250 à 300m au seuil (**Lascartos,1998**) et à la mer Noire par les Dardanelles et le détroit du Bosphore (**Ferdj et Memardi,2001**). Il est subdivisé en plusieurs sous-bassins profonds séparés par des seuils peu profonds.

La Méditerranée est située entre 30° et 44° Nord, excepté la mer Adriatique qui atteint 46° Nord.



Figure 8. Carte de la Mer Méditerranée avec ses sous bassins (flèches = couloirs de vent) (d'après **Bozec, 2006 in Mansouri, 2015**).

2.2. Courantologie en Méditerranée

La côte algérienne fait partie de la méditerranée occidentale, celle-ci est reliée à l'océan Atlantique par le détroit de Gibraltar, et à la Méditerranée orientale par le détroit de Sicile. La Méditerranée est soumise à un climat aride, avec de faibles précipitations (**Tchernia, 1978**).

Les données océanographique et génétique ont montré que la transition entre la Mer Méditerranée et l'Océan Atlantique se fait réellement au niveau du Front Almeria-Oran (**Patarnello et al. 2007**).

Le Front Almeria-Oran (**Fig.9**) est situé à environ 400 km à l'Est du détroit de Gibraltar, il forme une frontière semi-permanente, instable et peu forte entre les eaux Atlantique et Méditerranéenne

(**Galarza et al. 2009**). C'est un front de densité thermo-haline, confiné à la partie supérieure de la colonne d'eau (~300 m) (**Galarza et al. 2009**).

Le détroit Siculo-Tunisien sépare la Méditerranée Ouest de l'Est, il a été rapporté comme barrière génétique chez plusieurs espèces (**Bahri-Sfaret et al. 2000; Ben Slimen et al. 2004; Gharbi et al. 2011; Zitari-Chatti et al. 2008**).

L'histoire géographique de la Méditerranée a largement gouverné la répartition actuelle des espèces (**Domingues et al. 2005**). La dessiccation de cette Mer pendant la Crise de Salinité Messénienne a causée l'extinction de plusieurs espèces à l'exception de celles vivant dans les lagunes hyper-salines et dans les eaux saumâtres.

L'ouverture du détroit de Gibraltar à la fin du Miocène (il y a 6 à 5,5 Ma) a permis la colonisation à nouveau de la Mer Méditerranée par de nouvelles espèces d'origines Atlantiques (**Almada et al. 2001**).

Le retour des glaciations au quaternaire (il y a environ 2 Ma) a contribué aux changements des aires de répartition des espèces marines (**Palumbi, 1994**). Plusieurs espèces se sont concentrées dans des refuges glaciaires (**Wilson et al. 2009**). Actuellement, les expansions postglaciaires ont aussi fortement contribué aux changements des aires de répartition des espèces en leur permettant des recolonisations d'habitats redevenus favorables. Durant ces expansions, les espèces se sont retrouvées face à deux types de barrières; les barrières géographiques et les contacts entre populations issues d'autres refuges créant ainsi des zones hybrides ou points chauds de structure génétique ou encore zones de sutures (**Hewitt, 1996; Remington, 1968, in El Ayari, 2015**).

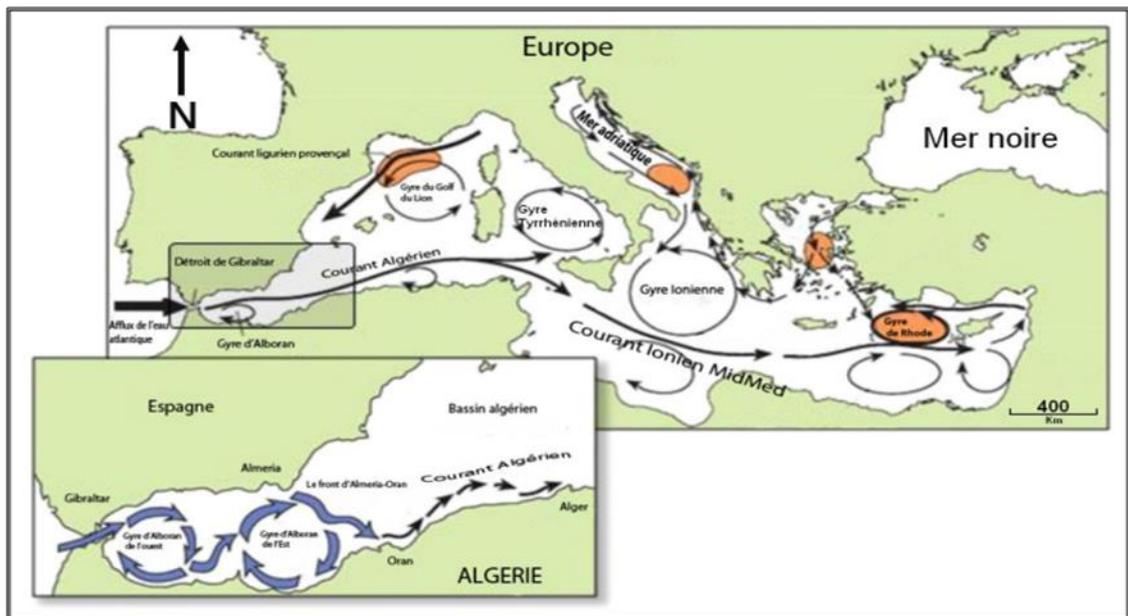


Figure 9. La circulation des eaux de surface dans la mer Méditerranée, avec un détail du Front de l'Almeria-Oran. Les zones en orange indiquent les zones intermédiaires et la formation des eaux profondes. (D'après **Rohling et al. 2009 in Bouzaza 2018**).

3. Les patelles en tant que model d'études phylogéographique

3.1. Généralités sur les patelles

Les Patelles, tel qu'elles ont été définies par **Ridgway et al. (1998)**, sont des Mollusques Gastéropodes Prosobranches de l'ordre des Patellostropoda généralement très abondantes et facilement repérables dans les côtes rocheuses, vivant dans la zone de balancement des marées, à coquille conique, sans opercule, qui vit fixé aux rochers. On l'appelle aussi bernicle ou bernique.

3.2. Morphologie des Patellidés

3.2.1. La morphologie externe

a) Le corps

Le corps est mou, présente une symétrie bilatérale, non segmenté qui se compose de :

- Partie dorsale viscérale enveloppé par une tunique ou manteau qui secrète la coquille.
- Région antérieure céphalique qui présente une tête bien définie renfermant la bouche et les tentacules sensoriels.

-Région ventrale musculaire qui présente un pied aplati servant à la reptation. **(Boue et Chanton 1978)**.

b) La coquille

Les patelles possèdent une coquille univalve conique et solide qui s'applique parfaitement sur les roches en les érodant, ce qui rend ces animaux difficiles à décoller ; leur coquille est en général plus haute et plus pointu dans la zone battue par les vagues et plus comprimée en profondeur, ou l'eau est moins agitée. **(Gerard, 2005)** La coquille est conique, bombée avec une sculpture de stries très fortes donnant au pourtour de la base une ligne dentelée. L'extérieur est gris, plus ou moins mêlé de blanchâtre, face intérieure luisante, blanche. **(Fisher, 1987)**.

c) La tête

Elle possède une tête bien distincte portant deux grands tentacules à fonction tactile Ces tentacules présentent, près de leur base, du côté externe, deux taches noires (les yeux).

d) Le pied

Le pied est musculieux et a contour arrondi qui sert à la reptation et à la fixation de l'animal sur son support. Le contact extrêmement étroit de cet organe avec la roche est rendu parfaitement étanche grâce à une couche de mucus qui participe à la remarquable solidité de l'adhérence. **(Fisher-Piette, 1948)**.

e) Le manteau

Le manteau ou pallium s'étale au-dessus de la tête à la manière d'un auvent et délimite ainsi une cavité appelée cavité palléale cette dernière est une formation caractéristique des mollusques qui contient des organes importants (orifice génital, orifice anal et les reins). De chaque côté de la cavité palléale on remarque sur le plancher, une tache rouge-orangée nommée osphradie.

Les deux osphradies sont des chimiorécepteurs, c'est-à-dire des organes qui détectent les substances chimiques dissoutes dans l'eau (ce qui correspond à notre sens du goût et de l'odorat). Tous ces éléments sont normalement situés à l'arrière du corps et leur position chez la patelle (les prosobranches d'une manière générale), presque au-dessus de la tête de l'animal, est la conséquence d'un avatar de son développement appelé torsion, dont les effets sont également très nets au niveau de l'anatomie du système nerveux **(Fretter et Garham, 1962)**.

3.2.2. La morphologie interne

a) Appareil respiratoire

Il est formé de branchies situées en avant du cœur, la branchie de la cavité palléale disparaît au profit des branchies secondaires qui bordent la gouttière palléale entourant le pied. **(Boue et Chanton ,1978).**

b) Système nerveux

La chaîne nerveuse de la patelle montre un croisement en X caractéristique, le système nerveux comporte :

- Des ganglions cérébraux ou cérébrosides, 1 paire.
- Des ganglions pédiéux.
- Des ganglions palléaux viscéraux et pleur viscéraux. **(Boue et Chanton 1978).**

c) Appareil circulatoire

Le cœur est situé au fond de la cavité palléale logé dans un péricarde mince et enveloppé par le coelome réno-péricardique, il a typiquement deux oreillettes latérales et un ventricule médian. **(Boue et Chanton 1978).**

d) Appareil digestif

La cavité buccale est munie d'un appareil masticateur comprenant la radula qui est un long ruban portant de nombreuses dents très dures, A cette cavité fait suite l'œsophage puis un estomac qui reçoit une glande volumineuse « l'hépatopancréas ». L'intestin prend la forme d'un « U », il traverse le ventricule du cœur et se termine par l'anus. **(Cuisin ,1977).**

Le schéma suivant résume les rapports anatomiques de la radula, dans une coupe verticale de la partie antérieure du corps d'un gastropode non enroulé, comme la patelle selon **(Gérard, 2014)** :

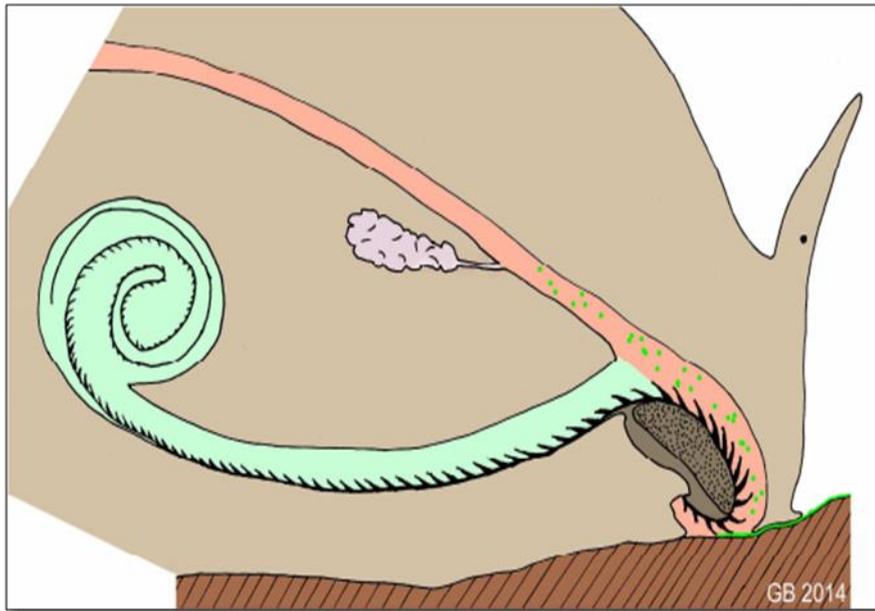


Figure 10. Schéma représente le fonctionnement de la radula des *Patellidea*, d'après (Gérard, 2014).

En brun hachuré, le substrat dur lequel le gastropode se déplace et se nourrit.

En beige, la partie antérieure du corps du gastropode ; un tentacule avec un œil à la base est représenté.

En vert, le sac radulaire. Remarquer que la partie postérieure de cette radula (taenioglosse comme exemple) est enroulée en double spirale.

En orange, la partie antérieure du tube digestif et en rose-mauve les glandes salivaires.

La radula est un long ruban, représentée ici en noir avec des dents triangulaires dirigées vers l'arrière.

En vert vif, le film de micro-algues qui est râpé par les mouvements alternatifs de la radula et envoyé dans le tube digestif (boulettes vertes). Les deux premières dents sont usées. A l'autre bout de la radula, les dents ne sont pas représentées parce qu'elles ne sont pas encore chitinisées.

La partie antérieure de la radula s'insère sur deux « ailes » latérales symbolisées en beige gris plus sombre (bien qu'elles ne soient pas dans le plan de symétrie, bien sûr). Sous ces « ailes », une masse arme le bulbe buccal (en pointillé) : c'est sur cette masse que s'insèrent les muscles qui vont

mouvoir la radula vers l'avant ou vers l'arrière et ouvrir et rendre convexe le ruban radulaire lors du mouvement vers l'avant. Cette musculature, relativement complexe, n'a pas été représentée.

e) Appareil excréteur

Constitué de deux reins situés à gauche du péricarde, le rein droit débouche à l'extérieur par un canal assez court à droite du rectum (Grasse et Doumenc, 1995).

f) Appareil génital-les gonades

Logée dans une cavité génitale, la gonade occupe la face ventrale de la masse viscérale. L'appareil génital femelle des patellidés présente un ovaire impair et médian. Sa taille et sa forme varient avec son état de maturité : Il est très petit à la fin de la ponte, moyen en période d'activité et très grand au terme de sa maturité cachant complètement la masse viscérale. (Boue et Chanton, 1978).

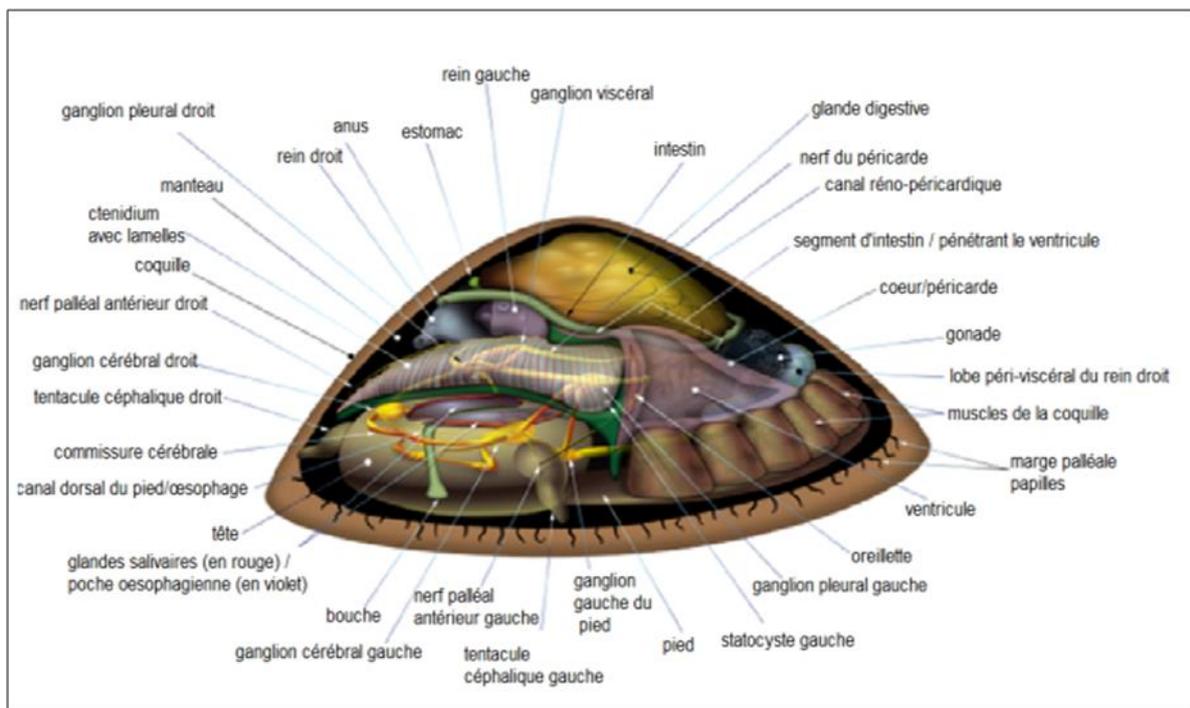


Figure 11. Schéma représente la morphologie externe et interne des *Patellidea* (Ferhi et Boukhorissa, 2021)

3.3. Importance des patelles dans les études phylogéographique :

Les patelles (Mollusquegastéropodes) très communes des côtes méditerranéennes et algériennes en particulier, représentant des éléments-clés de la composante zoologique des écosystèmes médiolittoraux de la méditerranée algérienne (Kallouche, 2018).

Le taxon idéal choisi pour réaliser une étude phylogéographique dans une région donnée devrait être:

- Endémique de cette région, pour éviter les effets confondants la migration et la spéciation.
- Généralisé, non seulement dans les rivages continentaux, mais aussi dans les îles.
- Avoir une fécondation externe et un stade larvaire pélagique.
- Être abondants et visible pour permettre un prélèvement facile.

Les patelles regroupent ces critères et pour cette raison notre choix s'est porté sur *P.ferruginea* (Gmelin, 1791) et *P.rustica* (Linnaeus, 1758). De plus, beaucoup d'études antérieures ont été réalisées sur ces deux d'espèces (Sá Pinto, 2008, 2010, 2012; Bouzaza, 2012; Bouzaza et Mezali, 2013 ; Bouzaza, 2018, Bouzaza et al.2021).

3.4. Taxinomie des espèces ciblent

3.4.1. *Patella ferruginea* (Gmelin, 1791)

Patella ferruginea le nom scientifique *Patella* vient du latin [patella] = petit plat et *ferruginea*, du latin [ferrum] = fer, appelée aussi « Patelle géante », puisque c'est l'une des plus grosses patelles de la méditerranée (Louisy et Maître-Allain, 2000). Elle est rencontrée sur les rivages rocheux de la zone intertidale (Aversano, 1986 ; Ramos, 1998). Endémique à la Méditerranée occidentale, c'est probablement l'espèce la plus menacée d'extinction dans cette mer (Templado et Moreno, 1997). De plus, sa zone de répartition s'est considérablement réduite à quelques zones restreintes (Fischer-Piette 1959 ; Cretella et al. 1994).



Figure 12. Morphologie de la coquille de *Patella ferruginea* (Gmelin, 1791).

Tableau 1. La systématique de *Patella ferruginea* selon le "WoRMS" (World Register Marine Species) [B].

| Rang taxinomiques | Termes scientifiques |
|-------------------|--|
| Règne | <i>Animalia</i> (Linnaeus, 1758) |
| Phylum | <i>Mollusca</i> (Cuvier, 1795) |
| Classe | <i>Gastropoda</i> (Cuvier, 1795) |
| Sous-classe | <i>Prosobranchia</i> (Milne Edwards, 1848) |
| Ordre | <i>Archaeogastropoda</i> (Thiele, 1925) |
| Famille | <i>Patellidae</i> (Rafinesque, 1815) |
| Genre | <i>Patella</i> (Linnaeus, 1758) |
| Espèce | <i>Patella ferruginea</i> (Gmelin, 1791) |

3.4.1.1. Synonymie de *Patella ferruginea*

Selon le WoRMS (World Register Marine Species), la synonymie de *P.ferruginea* est comme suit:

Patella cypria Gmelin, 1791 ·

Patella medusa Röding, 1798 ·

Patella luteola Lamarck, 1819 ·

Patella pyramidata Lamarck, 1819 ·

Patella lamarckii Payraudeau, 1826 ·

Patella turtonia Risso, 1826 ·

Patella vespertina Risso, 1826 ·

Patella rouxii Payraudeau, 1826 ·

Patella ferruginea f. *ficarazzensis* De Gregorio, 1884 ·

Patella ferruginea f. *percostata* De Gregorio, 1884 ·

Patella ferruginea var. *imperatoria* De Gregorio, 1884 ·

Patella lampedusensis De Gregorio, 1884 ·

Patella ferruginea var. *sitta* De Gregorio, 1884 ·

Patella costosoplicata Mörch, 1853 ·

3.4.1.2. Bio-écologie et exploitation de *Patella ferruginea*

a) Biotope

Les patelles géantes habitent dans la zone intertidale, cette espèce que la mer couvre et découvre sans cesse. (Culioli, 2003). Elle vit fixée sur les rochers ou est solidement fixée au support grâce à son pied « ventouse » et il est difficile de la détacher de son support. Elle occupe toujours la même

place sur la roche, où elle crée un creux selon la forme de sa coquille et préfère les substrats accidentés et hétérogènes favorisant les processus de recrutement (**Rivera-Ingraham et al. 2011c, d**), C'est un gastéropode benthique sédentaire on ne la trouve qu'en Méditerranée occidentale. Sur les rivages français, elle est très rare en Provence (l'île de Port-Cros), mais encore présente en Corse (**Meinezet Dominici, 2015**). Cependant, on peut la retrouver sur les côtes Algérienne surtout dans les endroits à faible présence humaine [Ex : les îles Habibas (Oran), l'île Rechgoune (BéniSaf), Stidia et Cap Ivi (Mostaganem)] (**Mezali, 2007, Bouzaza, 2012**). Elle a été également observée à Figuiers plage (Boumerdès), à Bérard (Tipasa) et au Rocher noir (Jijel) (**Bouzaza, 2012**). Aujourd'hui, les sites les plus remarquables de sa présence sont les îles Habibas et Plane, au nord-ouest de l'Algérie (**Mezali, 2005**).

b) Alimentation

Le régime alimentaire de *P. ferruginea* est peu connu, mais il semble être constitué principalement par le "biofilm" cyanobactéries épineuses et endolytiques et dans une moindre mesure, de diatomées et de petites propagules (**Bendoula, 2020**) donc est un brouteur herbivore.

Elle quitte sa place en rampant sur le rocher, généralement la nuit, pour brouter des algues qu'elle racle grâce à sa radula (**Fig.13**) composée de rangées de dents symétriques (**Bouzaza, 2018**). Cependant, elle ne parcourt que quelques mètres, restant éloignée dix jours au maximum. A cette occasion, elle emmagasine de l'eau, ce qui lui permettra de résister à une période à l'air (**Fricket et al. 1986**).

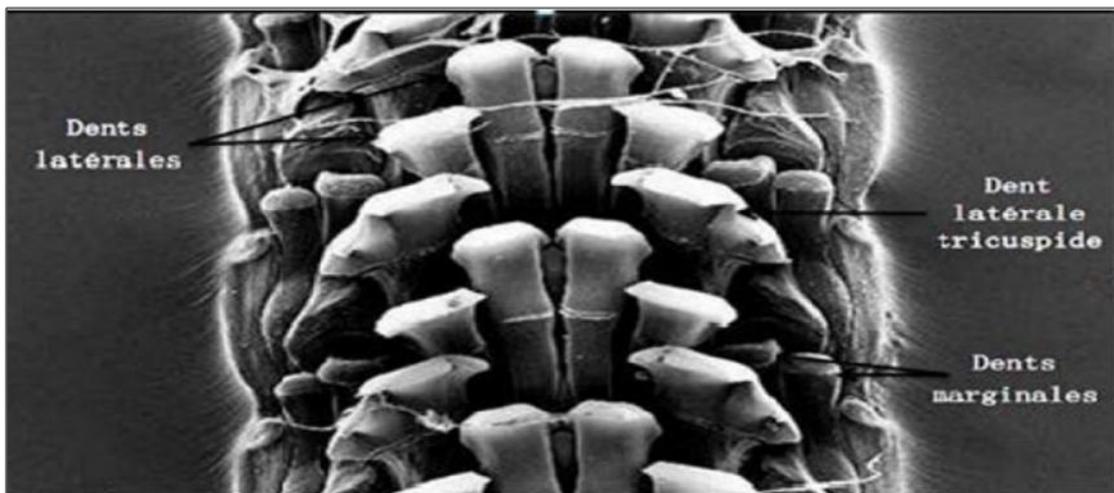


Figure 13. Microscopie électronique de la radula des patelles (**Hakabe, 2010 in Nakhlé, 2003**).

c) Reproduction

La patelle ferrugineuse est hermaphrodite protandre, c'est-à-dire d'abord mâle (à partir de 28 mm environ) puis femelle (à environ 40 mm). La maturité sexuelle mâle est atteinte quand la coquille atteint 2 à 3 cm ; l'animal devient femelle lorsque la coquille atteint 6 cm, les facteurs déterminants ce changement de sexe sont inconnus, mais on pense qu'ils dérivent de la structure de la population (**Guallart et al. 2012**).

La période de reproduction a lieu entre septembre et décembre (en Corse), sans doute liée à une modification brutale de température, comme c'est souvent le cas chez les mollusques (**Frenkiel, 1975 ; Guallart et al. 2013a ; Meinesz et Dominici, 2015**).

La fécondation est externe, les œufs lourds ne se dispersent pratiquement pas. Les larves ciliées sont planctoniques, sans doute avec une dispersion limitée. Cependant, elles peuvent se déposer 15 jours après la fertilisation des œufs (**Guallart et al. 2013b**). Après la métamorphose, elles se fixent sur la roche et parfois sur une femelle adulte (**Bouchet et Von Cosel, 2001**). Les stades larvaires et évolution post-larve n'ont pas encore été bien étudiés. Les jeunes spécimens sont parfois observés accrochés sur les coquilles adultes ou sous le corps de la femelle (**Laborel-Deguen et Laborel, 1990 ; 1991**).

d) Prédation et vie associée

Les prédateurs des petites patelles ferrugineuses sont les crabes (en particulier le crabe verruqueux *Eriphia verrucosa* qui se nourrit des patelles du genre *Patella*) (**Fig.14**) et les goélands, mais aussi le coquillage bouche de sang *Stramonita haemastoma* (**Fig.15**) qui peut les décoller quand elles se déplacent. Les gros spécimens n'ont d'autres prédateurs que l'homme. Les espèces associées sur les roches sont : la patelle pointue *P.rustica*) (**Fig. 16**), la patelle moussue (*Patella ulyssiponensis*), la patelle plate (*Patella caerulea*), la littorine bleue (*Melarhapheneritoides*), l'algue calcaire (*Lithophyllum lichenoides*) et la chthamale étoilée (*Chthamalusstellatus*) (**Bouzaza, 2018**).



Figure 14. Le crabe verruqueux *Eriphia verrucosa* prédateur des patelles du genre *Patella*. [C]



Figure 15. Le Gastéropode *Stramonita haemastoma* prédatant la patelle *P.ferruginea* [D].

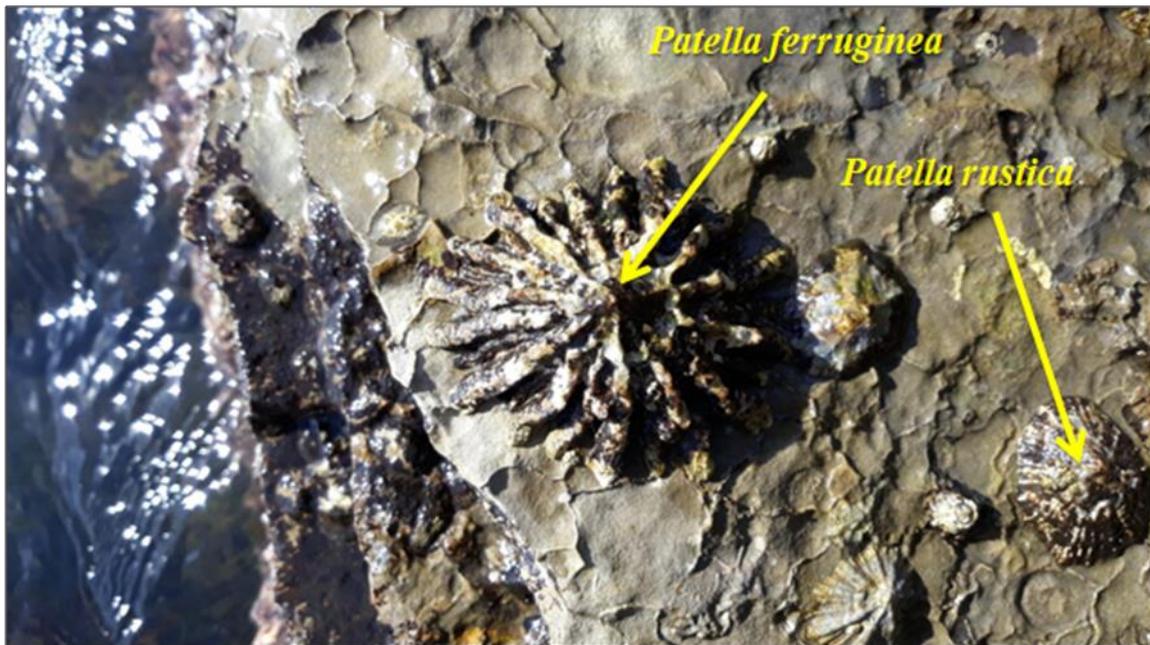


Figure 16. *Patella ferruginea* vivant en association avec *Patella rustica* sur les roches.

e) Exploitation et protection

Chamorro-Moreno (1988) a démontré l'utilisation de *Patella ferruginea* comme ressource nutritionnelle dans certaines zones telles que Ceuta, dans le détroit de Gibraltar, sur plusieurs gisements datant du 10^{ème} au 16^{ème} siècle de notre aire et a suggéré que la diminution de la taille observée était une conséquence de la récolte sélective par les humains au fil des siècles.

-De nos jours, un ramassage excessif (comme appât de pêche) et la pollution littorale sont les causes de son déclin.

-La collecte par l'homme a été citée comme la cause principale du déclin et/ou de l'extinction des populations de patelles géantes, telles que *P.ferruginea* en mer Méditerranée (**Coppa et al. 2012; Espinosa et al. 2009**).

- l'espèce *Patella ferruginea* a toujours été recherchée pour sa chair et pour la fabrication de souvenir décoratif (**Culioli, 2002**). Elle a même été commercialisée au marché couvert de Mostaganem en 2005 (**Mezali, 2005**).

Cette espèce est protégée au titre de l'annexe IV de la directive européenne « Habitats ». Elle figure également à l'annexe II de la convention de Barcelone et à l'annexe II de la convention de Berne.

Il s'agit de l'une des espèces marines les plus menacées de disparition en Méditerranée selon les conventions citées (**Bouzaza, 2018**).

3.4.2. *Patella rustica* (Gmelin, 1790)

Patella rustica aussi appelé « patelle pointu » ou « patelle ponctué » car elle possède une coquille épaisse, en forme de cône haut et pointu. La Coquille est striée, Cette espèce est répartie en Méditerranée et au Nord-est de l'Atlantique (**Hamelin et Bassemayousse, 2008**).Le nom scientifique *Patella* vient du latin [patella] qui veut dire « petit plat » et *rustica* du latin [rusticus] qui est relatif à la campagne.

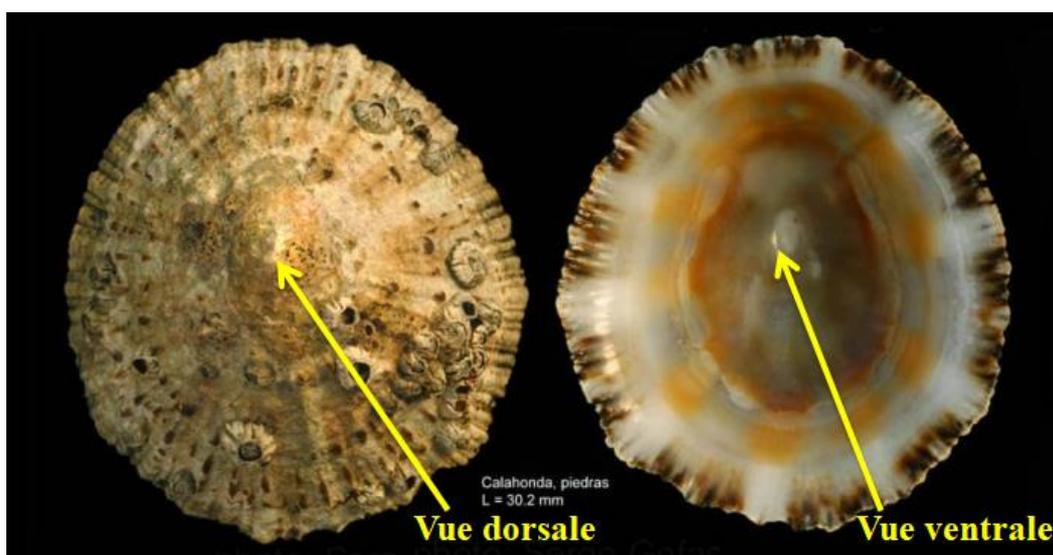


Figure 17. Morphologie de la coquille de *Patella rustica* (Gmelin, 1790)

Tableau 2.La position systématique *P.rustica* selon le "WoRMS" (World Register Marine Species) [E]

| Rang taxinomiques | Termes scientifiques |
|-------------------|--|
| Règne | <i>Animalia</i> (Linnaeus, 1758) |
| Phylum | <i>Mollusca</i> (Cuvier, 1795) |
| Classe | <i>Gastropoda</i> (Cuvier, 1795) |
| Sous-classe | <i>Prosobranchia</i> (Milne Edwards, 1848) |
| Ordre | <i>Archaeogastropoda</i> (Thiele, 1925) |
| Famille | <i>Patellidae</i> (Rafinesque, 1815) |
| Genre | <i>Patella</i> (Linnaeus, 1758) |
| Espèce | <i>Patella rustica</i> (Linnaeus, 1758) |

3.4.2.1. Synonymie de *Patella rustica*:

- Patella gorgonica* da Costa, 1771 ·
Patella lusitanica Gmelin, 1791 ·
Patella punctulata Gmelin, 1791 ·
Patella squamata Röding, 1798 ·
Patella punctata Lamarck, 1819 ·
Patella subgranularis Blainville, 1825 ·
Patella variabilis Risso, 1826 ·
Patella polita Risso, 1826 . ·
Patella nigropunctata Reeve, 1854 ·
Patella lusitanica var. *minor* Marion, 1883
Patella rustica var. *maroccana* Pallary, 1920 ·
Patella rustica var. *orientalis* Pallary, 1938 ·

3.4.2.2. Bio-écologie et exploitation de *Patella rustica*

a) Biotope

Patella rustica vit fixé sur les roches battus et éclairés de l'étage médiolittoral (**Neal et Skewes, 2004**). Elle se fixe très solidement à la manière d'une ventouse très puissante pour résister à la dessiccation et aux chocs des vagues (**Boudouresque, 2005**).

b) Alimentation

Brouteur herbivore, la patelle consomme des micro-algues (Cyanobactéries) qu'elle racle sur les rochers avec sa radula.

Elle pratique le « retour au gîte » ou "homing" c'est à dire qu'elle quitte sa logette creusée dans le support pendant 5 ou 6 heures pour racler de tous petits végétaux, généralement quand la mer est agitée et mouille le substrat, de jour comme de nuit. Elle ne s'éloigne que de 10 à 30 cm et revient au même emplacement (**Frick et al. 1986**). Elle peut effectuer deux déplacements par jour si les conditions hydrodynamiques sont favorables. En automne, elle ne bouge qu'une fois par jour ; en été, elle ne bouge presque plus. Dans une même population, les déplacements paraissent simultanés. Pour respirer, elle soulève sa coquille. Ses branchies se trouvent autour du pied (**Frick et al. 1986**). Cette radula dont sont dotés tous les mollusques gastéropodes, est composée de dents disposées symétriquement par rangées, et actionnées par les muscles. Et d'après **Christiaens (1973)**, elle est

caractérisée par trois dents latérales, dont une, la plus extérieure, est tricuspide, et par trois dents marginales.

c) Reproduction

Patella rustica est hermaphrodite. La jeune patelle est en générale de sexe mâle, mais elle deviendra femelle dès sa deuxième année (**Fretter et Graham, 1962**).

Patella rustica a une période prolongée de développement des gamètes à partir de février et jusqu'en septembre lorsque la majorité des patelles (70% des femelles et 100% des mâles) contiennent des gonades en stade de développement tardif.

La libération des gamètes est stimulée par le choc mécanique dû aux fortes vagues déferlantes.

Orton et al. (1956) constatent qu'elle coïncide avec des vents supérieurs à 20 nœuds. Les œufs planctoniques donnent naissance à des larves ciliées planctoniques (Larve lecithotrophiques) qui après métamorphoses commence leur vie benthique à la fin de l'hiver ou au début du printemps. À ce moment, la jeune patelle ne mesure que 0,20 mm, elle atteint déjà une taille de 3 cm lors de sa première année et est déjà sexuellement mature. Après la première année, la croissance se ralentit (**Orton et al. 1956 in Zegaoula, 2018**).

d) Prédation et vie associée

Différentes espèces d'algues épi-symbiotique, et parfois des balanes, peuvent se fixer sur la coquille des patelles. Sur les rochers, il convient de signaler également les autres espèces épisymbiotique de la biocénose de la roche médiolittorale supérieure comme la littorine bleue (*Melarhapheneritoides*), lemonodonte (*Osilinus turbinatus*), et les algues (*Porphyra leucosticta*, *Rissoellaverruculosa*, *Bangia atropurpurea* et *Lithophyllum papillosum*) (**Hayward et al. 1998**).



Figure 18. Le Gastéropode *Stramonita haemastoma* prédatant la patelle *P.rustica*[F].

e) Exploitation

Les patelles récoltées dans des zones réputées salubres sont comestibles à l'état cru toute l'année. Elles sont également cuites en les accommodant de manières diverses : ragoûts, pâtés, grillades.... Les patelles constituent une valeur énergétique moyenne de 92 calories au 100 grammes soit 17 g de protides, 2 g de lipides et 1.5 g de glucides. Facilement accessible et gratuite, elles sont souvent méprisée de nos jours. (Bettahar et Boumaza, 2020).

Elles ont cependant constitué dans un passé encore récent (au moins jusqu'aux années 1950) une part non-négligeable de l'alimentation des populations du littoral et ont souvent permis aux plus démunis d'échapper à la famine (Fischer-Piette, 1948 in Bouzaza, 2012).

Chapitre II

Matériel et méthodes

Chapitre II : Matériel et méthodes

Notre étude s'est basée essentiellement sur le traitement bioinformatique et biogéographique des données moléculaires de l'ADNmt (la portion Cytochrome Oxydase I "COI") de *Patella ferruginea* et *Patella rustica*.

1. Zone d'étude

L'échantillonnage est constitué de 51 individus de *P.ferruginea* et 25 individus de *P.rustica* collectés depuis des stations situées sur la côte algérienne (**Fig.19 ; Tab.3**).

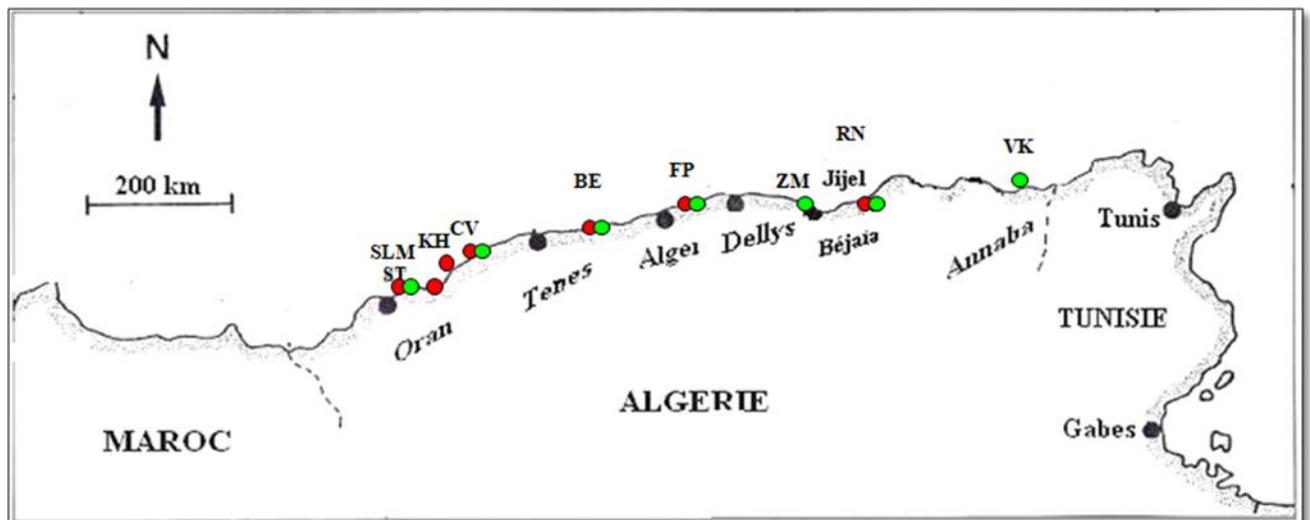


Figure 19. Carte géographique montrant les stations de prélèvement des espèces de patelles étudiées tout le long de la côte algérienne. Les abréviations et les stations de prélèvement sont mentionnées sur le tableau 3. • stations de prélèvement de *P.ferruginea*; • stations de prélèvement de *P. rustica*.

Les individus de patelles algériennes ont été comparés avec ceux tirés des études antérieures. Concernant *P.ferruginea*, 177 séquences d'individus méditerranéens tirées d'études antérieures (Sá-Pinto *et al.* 2005; Espinosa et Ozawa, 2006; Casuet *et al.* 2011) ont été comparées avec 51 séquences d'individus algériens [Bouzaza, 2012, 2018 ; Bouzaza *et al.* (2021)] (Tab.3). Par ailleurs, 134 séquences d'individus de *P.rustica* méditerranéens et nord-est atlantiques tirés des études antérieures (Sá Pinto *et al.* 2005, 2008, 2010 et 2012) ont été comparées à 25 séquences d'individus algériens (Bouzaza, 2012 ; Boumaza et Bettahar, 2020) (Tab.3).

Tableau 3. Position géographique des sites de prélèvement et abréviations des stations étudiées pour *P.ferruginea* et *P.rustica* :

| Pays | Station | Abréviation | Coordonnées | Nombre d'individus de <i>P.ferruginea</i> | Nombre d'individus de <i>P.rustica</i> |
|------------------------------|-----------------------------|-------------|-------------------------------------|---|--|
| Algérie ^{1,5} | Stidia | ST | 35° 49' 51.54'' N 0° 01' 07.09'' O | 15 | 7 |
| | Salamandre | SLM | 35° 54' 37.38'' N 0° 03' 14.78'' E | 5 | - |
| | Kharouba | KH | 35°58'02,04''N 0°05'29,04''E | 12 | - |
| | Cap Ivi | CV | 36°06'46'' N 0°13'37''E | 7 | 2 |
| | Bérard | BE | 36°36'13'' N 2°36'34''E | 2 | 1 |
| | Figuier Plage | FP | 36°70'3.346''N 3°53'10.441''E | 9 | 5 |
| | Rocher Noir | RN | 36°46'22'' N 5°36'36''E | 1 | 3 |
| | Vieille Calle (El Kala) | VK | 36°54'58.0284'' N 8°21'42.8076'' E | - | 5 |
| | ZiamaMensouria | ZM | 36°39'40.1904'' N 5°26'19.0752'' E | - | 2 |
| | Habibaisland | HAB | 35°43' 09.69'' N 01°08' 16.33'' O | 4 | - |
| Tunisie ^{2,3,5} | Plane island | PLA | 35°19' 08.48'' N 01°28' 45.00'' O | 4 | - |
| | Korbus | KOR | 36° 48' 59'' N 10° 34' 07'' E | 1 | - |
| | Zembraisland | ZEM | 37° 07' 44.65'' N 10° 47' 32.70'' E | 4 | - |
| Maroc ⁶ | Cap Bon | CAP | 36° 27' 12.19'' N 10° 47' 29.90'' E | 9 | - |
| | Agadir | AGA | 30°25'39.918'' N 9°35'53.1852'' O | - | 14 |
| Espagne ^{2,3,4,5,6} | Estepona | EST | 36°25'32.284''N 5°9'3.694''O | 1 | 10 |
| | Malaga | MAL | 36°43'16.54''N 4°25'16.556''O | 1 | - |
| | Ceuta Outlyer of the Harbor | DIQ | 35° 53' 53.61''N 05° 19' 06.02''O | 6 | - |
| | Mellila | MEL | 35° 19' 28.23'' N 02°57' 21.16'' O | 5 | - |
| | Ceuta Inside of the Harbor | PAR | 35°53' 23.89''N 05°18' 37.60''O | 4 | - |
| | Gibraltar | GIB | 36°07'13.10''N 05°21'09.38''O | 4 | - |

| | | | | | |
|------------------------|-----------------------------|-----|------------------------------------|---|---|
| | Chafarinas | CHA | 35°10' 54.04'' N 02°25' 54.18''O | 8 | - |
| | Alboran | ALB | 35°54' 02.59'' N 03° 02' 01.45''O | 4 | - |
| | Chorrillo | CRL | 35° 52' 52.84''N 05° 19' 25.62''O | 5 | - |
| | Desnarigado | DES | 35° 53' 38.57''N 05° 16' 52.34''O | 3 | - |
| | Cabo Prior | CPR | 43°56'7.61" N 8°31'45.3 " O | - | 4 |
| | Valencia | VAL | 39°28'11.6652" N0°22'34.6368" O | - | 9 |
| | Arrifana | ARI | 37°17'31.8408" N 8°51'53.4528" O | - | 6 |
| | | ODA | 37°06'05.0076" N 8°11'04.2036" O | - | 6 |
| | Sao Bernardino | SBR | 39°18'32.5656" N 9°20'29.1264" O | - | 9 |
| | CanaryIslands and Selvagens | CIS | 28°17'29.6304" N 16°37'44.868" O | - | 8 |
| | Madère et Desertas | MD | 32°30'46.4436" N 16°30'08.7624 W | - | 3 |
| Italie ^{5, 6} | Coscia di Donna | CDN | 40° 54' 00.83'' N 08° 13' 09.85''E | 8 | - |
| | Punta Sabina | APS | 41° 05' 21.35'' N 08° 21' 03.07''E | 8 | - |
| | Pedra Bianca | APB | 41° 00' 09.00'' N 08° 12' 34.44''E | 8 | - |
| | Nido d'Aquila | NAQ | 41° 12' 52.84'' N 09° 22' 47.56''E | 2 | - |
| | Cala Greca | CGR | 40° 59' 14.72'' N 09° 39' 12.99''E | 8 | - |
| | Pantelleria | PAN | 36° 50' 22.32'' N 11° 57' 14.26''E | 1 | - |
| | Marettimo | MAR | 37° 58' 14.41'' N 12° 04' 15.90''E | 2 | - |
| | Isola dei Porri | IPO | 40° 52' 53.61'' N 08° 12' 52.04''E | 4 | - |
| | Pittulongu | PIT | 40° 57' 06.31'' N 09° 34' 40.81''E | 6 | - |
| | Molara | MLA | 40° 52' 35.66'' N 09° 43' 48.04''E | 7 | - |
| | Molarotto | MLT | 40° 52' 27.52'' N 09° 46' 43.64''E | 7 | - |
| | Favignana | FAV | 37° 57' 08.48'' N 12° 18' 12.73''E | 2 | - |
| | Madonna | MAD | 41° 13' 50.30'' N 09° 22' 34.28''E | 8 | - |

| | | | | | |
|-----------------------|-------------------|-----|------------------------------------|---|----|
| | Punta li Francesi | PLF | 41° 08' 09.56'' N 09° 03' 09.44''E | 7 | - |
| | Argentiera | ARG | 40° 43' 30.69'' N 08° 08' 50.30''E | 9 | - |
| | Cala Sant'Andrea | ACS | 41° 0' 52.17'' N 08° 15' 08.65''E | 7 | - |
| | Mal di Ventre | MVE | 39° 59' 23.75'' N 08° 17' 52.32''E | 8 | - |
| | Savelletri | SAV | 40°52'31.7136" N 17°24'24.9984" E | - | 5 |
| | Peschici | PES | 41°56'48.84"N 16°00'45.9936" E | - | 5 |
| | Crotone | CRT | 39°04'50.8548"N 17°07'37.596" E | - | 10 |
| | Vibro Valentia | VIV | 38°40'32.7972N"16°05'54.0564" E | - | 9 |
| France ^{5,6} | Tizzano | TIZ | 41° 32' 19.26'' N 08° 51' 03.41''E | 1 | - |
| | Bonifacio | BOF | 41° 23' 14.17'' N 09° 08' 37.96''E | 1 | - |
| | Cargese | CAR | 42° 07' 44.24'' N 08° 35' 13.82''E | 5 | - |
| | Galeria | GAL | 42° 24' 55.70'' N 08° 39' 08.29''E | 5 | - |
| | Biarritz | BIA | 43°28'59.3472" N 1°33'31.0536"O | - | 6 |

¹Bouzaza *et al.* (2012, 2018,2021)²Sá-Pinto *et al.*(2005,2008)³Espinosa et Ozawa.2006⁴Sá Pinto *et al.*2010⁵Casu *et al.* 2011⁶Sá Pinto *et al.*2012

2. Analyses Bio-informatique

Les séquences de la portion Cytochrome Oxydase I "COI" pour l'ADNmt de *P.ferruginea* et de *P.rustica* ont fait l'objet d'un traitement bio-informatique et biogéographique à l'aide de plusieurs programmes informatiques.

2.1. Traitement des séquences d'ADNmt

Les séquences d'ADNmt des individus de *P. ferruginea* et *P.rustica* ont été corrigés en utilisant le programme FinchTV(Patterson *et al.* 2006). Ensuite, les séquences ont été classées grâce au logiciel « BioEdit » (Hall, 1999) puis alignées en utilisant un sous-programme le «CLUSTAL W» (Higgins *et al.* 1992 ; Thompson *et al.* 1994) contenu dans le « BioEdit ».

2.2. Structures génétiques des populations

2.2.1. Calcule de la diversité haplotypique et nucléotidique

Les diversités haplotypique et nucléotidique sont estimées pour les populations de chaque espèce grâce au programme DNAsp 5.0 qui est un logiciel d'analyse génétique des populations spécialement conçu pour l'analyse des séquences d'ADN (Rozaset *al.* 2010).

La diversité haplotypique(Hd) définit la probabilité que deux gènes tirés au hasard dans un échantillon soient différents (Nei, 1987) et prend en compte le nombre d'individus ainsi que la fréquence des haplotypes. La diversité nucléotidique (p) mesure la divergence nucléotidique moyenne entre toutes les paires de séquences d'un même échantillon (Tajima, 1983). Elle définit la probabilité que deux gènes tirés au hasard dans un échantillon soient différents au niveau d'un nucléotide donné.

Pour mieux comprendre la cinétique d'expansion de *P. ferruginea* et *P. rustica* des tests de neutralité ont été fait grâce au DNAsp5.10 (Rozaset *al.* 2010) notamment les valeurs de D de Tajima (1989) et F de Li et Fu (1993). Les réseaux d'haplotypes de chaque espèce (*P. ferruginea* et *P. rustica*) ont été générés et cartographiés sur une carte géographique de la Méditerranée et nord-est Atlantique.

2.2.2. Relation entre la diversité nucléotidique/haplotypique et les coordonnées géographiques

Cette étude consiste en l'élaboration d'une régression entre la diversité nucléotidique/haplotypique et les coordonnées géographiques (longitude et latitude) des différentes populations de *P. ferruginea* et *P. rustica*.

2.2.3. Modèles de structures génétiques des populations

Cette étude est principalement établie sur la réalisation d'AMOVA (Analyses MOléculaire de VAriance) afin d'avoir une idée sur la robustesse de ces structures en utilisant le programme « Arlequin v3.52 » (Excoffier et Lischer, 2010).

2.2.3.1. Modèle de structure génétique à l'échelle microgéographique

Pour *Patella ferruginea*, deux modèles de structure génétique des populations ont été considérés (Voir **Tableau 3** pour les abréviations):

a) Le modèle Est/ Ouest sachant que

- Le groupe **Est** formé des populations des stations RN, FP et BE.
- Le groupe **Ouest** formé des populations des stations ST, CV, KH et SLM.

b) Le modèle Est, Centre et Ouest sachant que :

- Le groupe **Est** formé des populations des stations RN.
- Le groupe **Ouest** formé des populations des stations ST, CV, KH et SLM.
- Le groupe du **Centre** formé des populations des stations BE et FP.

Pour *Patella rustica*, deux modèles de structure génétique des populations ont été considérés (Voir **Tableau 3** pour les abréviations):

a) Le modèle Est/ Ouest sachant que :

- Le groupe **Est** formé des populations des stations VK, RN, ZM et FP.
- Le groupe **Ouest** formé des populations des stations BE, ST et CV.

b) Le modèle Est, Centre et Ouest sachant que :

- Le groupe **Est** formé des populations des stations VK, RN et ZM.
- Le groupe **Ouest** formé des populations des stations ST et CV.
- Le groupe du **Centre** formé des populations des stations BE et FP.

2.2.3.2. Modèle de structure génétique à l'échelle macrogéographique

Les modèles de structure génétique des populations à l'échelle macrogéographique ont été établis en considérant « l'effet longitude » et « l'effet latitude » pour les deux espèces étudiées. A partir des résultats de la régression entre la diversité nucléotidique/haplotypique et les coordonnées géographiques des différentes populations de patelles étudiées à l'échelle macrogéographique, une

AMOVA (Analyses MOléculaire de VAriance) a été établis afin d'avoir une idée sur la robustesse de ces structures en utilisant le programme « Arlequin v3.52» (**Excoffier et Lischer, 2010**).

Chapitre III

Résultats et discussion

Chapitre III : Résultats et discussion

1. Résultats

1.1. Structures génétiques des populations

1.1.1. Analyse haplotypique

Les haplotypes de chaque espèce (*P.ferruginea* et *P. rustica*) ont été classés sur les **tableaux 4 et 5** et mentionnées sur les **figures 20 et 21**.

Tableau 4. Les différents haplotypes de l'espèce *Patella ferruginea* des stations choisies en se basant sur des séquences de 591 de la portion COI pour les individus algériennes et 572 pour les individus des pays étrangers. Abr, Abréviations.

| Station | Abr | N | Les haplotypes | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-----|----|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---|
| | | | HAP 1 | HAP 2 | HAP 3 | HAP 4 | HAP 5 | HAP 6 | HAP 7 | HAP 8 | HAP 9 | HAP 10 | HAP 11 | |
| Cap ivi | CV | 7 | 7 | | | | | | | | | | | |
| Kharouba | KH | 12 | 11 | | | | | 1 | | | | | | |
| Stidia | ST | 15 | 14 | | | | | | | | 1 | | | |
| FiguierPlage | FP | 9 | 6 | | 1 | 1 | | | | | | | | 1 |
| Rocher Noir | RN | 1 | 1 | | | | | | | | | | | |
| Bérard | BE | 2 | 1 | | | | | | | | | | 1 | |
| Salamandre | SLM | 5 | 5 | | | | | | | | | | | |
| Habibas Island | HAB | 4 | 4 | | | | | | | | | | | |
| Plane Island | PLA | 4 | 4 | | | | | | | | | | | |
| Estepona | EST | 1 | | | 1 | | | | | | | | | |
| Korbus | KOR | 1 | 1 | | | | | | | | | | | |
| Malaga | MAL | 1 | 1 | | | | | | | | | | | |
| Cap Bon | CAP | 9 | 9 | | | | | | | | | | | |
| Dique de Poniente | DIQ | 6 | 6 | | | | | | | | | | | |
| Mellila | MEL | 5 | 5 | | | | | | | | | | | |
| Parque Mediterraneo | PAR | 4 | 3 | | | | 1 | | | | | | | |
| Gibraltar | GIB | 4 | 3 | | | | | 1 | | | | | | |
| Chafarinas | CHA | 8 | 6 | | | | | | 1 | 1 | | | | |
| Alboran | ALB | 4 | 3 | | | | | | 1 | | | | | |
| Cosica di donna | CDN | 8 | 7 | 1 | | | | | | | | | | |
| Punta Sabina | APS | 8 | 8 | | | | | | | | | | | |
| Pedra Bianca | APB | 8 | 8 | | | | | | | | | | | |
| Nido d'Aquila | NAQ | 2 | 2 | | | | | | | | | | | |
| Cala Greca | CGR | 8 | 8 | | | | | | | | | | | |
| Pantelleria | PAN | 1 | 1 | | | | | | | | | | | |
| Marettimo | MAR | 2 | 2 | | | | | | | | | | | |
| Isola dei Porri | IPO | 4 | 4 | | | | | | | | | | | |
| Pittulongu | PIT | 6 | 6 | | | | | | | | | | | |
| Molara | MLA | 7 | 7 | | | | | | | | | | | |
| Molaratto | MLT | 7 | 7 | | | | | | | | | | | |
| Favignana | FAV | 2 | 2 | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-----|---|---|--|--|--|--|--|---|---|--|--|--|
| Madonneta | MAD | 8 | 8 | | | | | | | | | | |
| Punta li Francesi | PLF | 7 | 7 | | | | | | | | | | |
| Argentiera | ARG | 9 | 8 | | | | | | 1 | | | | |
| Cala Sant'Andrea | ACS | 7 | 7 | | | | | | | | | | |
| Mal di ventre | MVE | 8 | 7 | | | | | | | 1 | | | |
| Chorrillo | CRL | 5 | 5 | | | | | | | | | | |
| Desnarigado | DES | 3 | 3 | | | | | | | | | | |
| Zembra | ZEM | 4 | 4 | | | | | | | | | | |
| Tizzano | TIZ | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| Bonifacio | BOF | 1 | 1 | | | | | | | | | | |
| Cargese | CAR | 5 | 5 | | | | | | | | | | |
| Galeria | GAL | 5 | 5 | | | | | | | | | | |

Tableau 5. Les différents haplotypes de l'espèce *Patella rustica* des stations choisies en se basant sur des séquences de 577 de la portion COI pour les individus algériennes et étrangères.

| Stations | Abr | N | Les haplotypes | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----|----|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|---|--|
| | | | H 1 | H 2 | H 3 | H 4 | H 5 | H 6 | H 7 | H 8 | H 9 | H 10 | H 11 | H 12 | H 13 | H 14 | H 15 | H 16 | H 17 | H 18 | H 19 | H 20 | H 21 | H 22 | H 23 | H 24 | H 25 | H 26 | H 27 | H 28 | H 29 | H 30 | | | |
| Vieille Calle (El Kala) | VK | 5 | 3 | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rocher Noir | RN | 3 | 1 | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ZiamaMensouria | ZM | 2 | 1 | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Figuier Plage | FP | 5 | 1 | 2 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Bérard | BE | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cap Ivi | CV | 2 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Stidia | ST | 7 | 6 | | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CanaryIslands and Selvagens | CIS | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 3 | | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| Madeira andDesertas | MD | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Estepona | EST | 10 | 6 | 1 | | | | | 1 | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | |
| Cabo Prior | CPR | 4 | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Valencia | VAL | 9 | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| Arrifana | ARI | 6 | 4 | | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Olhos de Agua | ODA | 6 | 4 | | 1 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sao Bernardino | SBR | 9 | 5 | | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Biarritz | BIA | 6 | 5 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Taranto | TNT | 6 | | | | | | | | 1 | 4 | | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Savelletri | SAV | 5 | | | | | | | | | | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peschici | PES | 5 | | | | | | | | | | 4 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Crotone | CRT | 10 | 2 | | | | | | | 2 | | 4 | | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vibro Valentia | VIV | 9 | 6 | | | | | | | | | | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Agadir | AGA | 14 | 10 | 1 | | | | 1 | 1 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

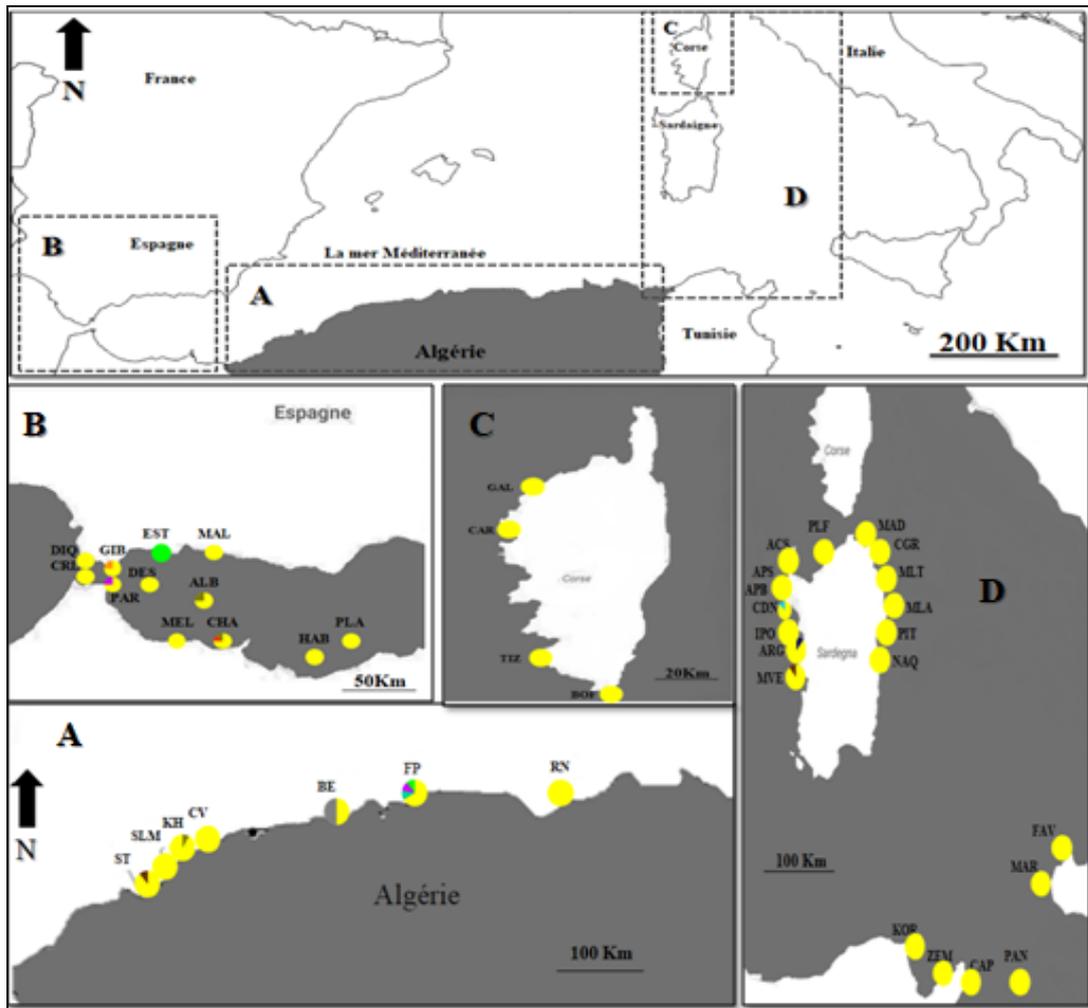


Figure 20. Carte géographique de la Méditerranée représentant les d'haplotypes de *P.ferruginea* existant sur chaque station d'étude. ●HAP1, ●HAP2, ●HAP3, ●HAP4, ●HAP5, ●HAP6, ●HAP7, ●HAP8, ●HAP9, ●HAP10, ●HAP11. A : Bassin algérien, B : mer d'Alboran, C : Corse et D : Sardaigne et détroit Siculo-tunisien.

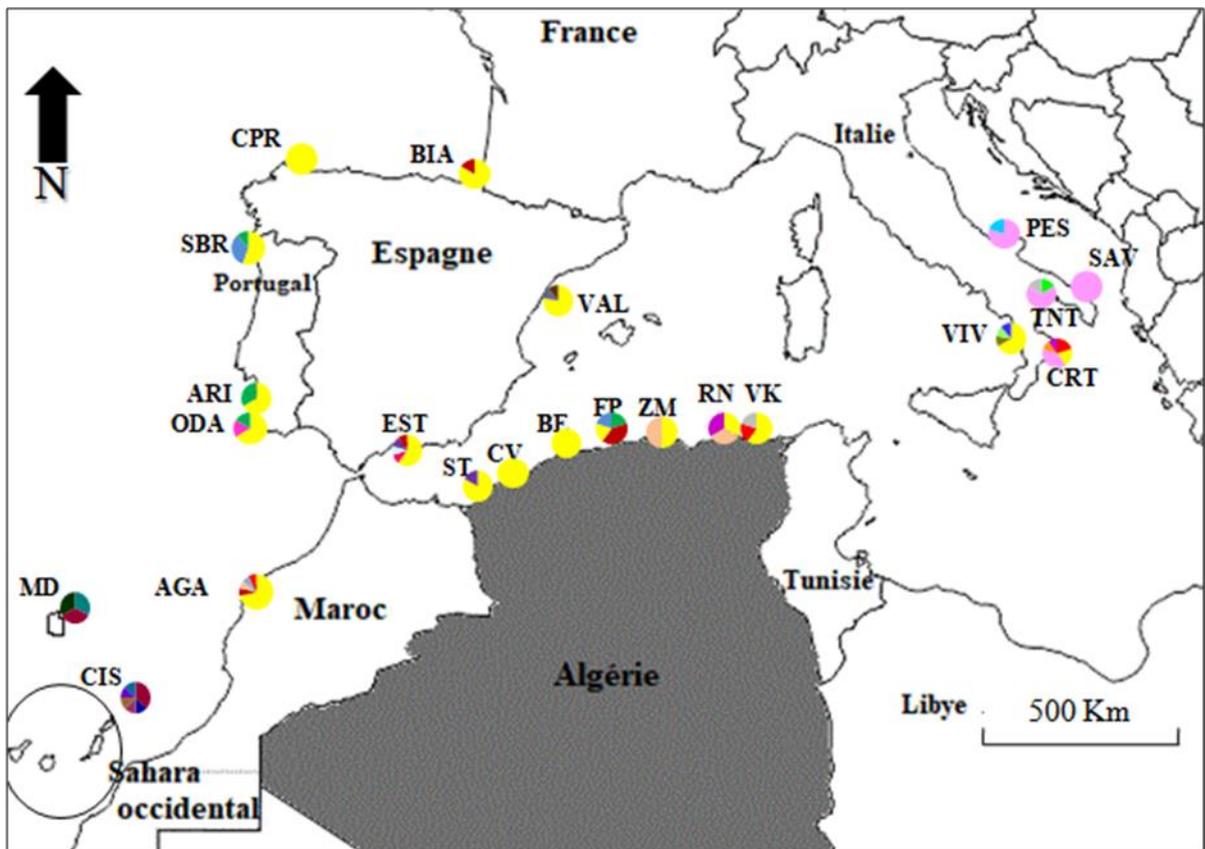


Figure 21. Carte géographique de la Méditerranée représentant les d'haplotypes de *P.rustica* existant sur chaque station d'étude. ● HAP1, ● HAP2, ● HAP3, ● HAP4, ● HAP5, ● HAP6, ● HAP7, ● HAP8, ● HAP9, ● HAP10, ● HAP11, ● HAP12, ● HAP13, ● HAP14, ● HAP15, ● HAP16, ● HAP17, ● HAP18, ● HAP19, ● HAP20, ● HAP21, ● HAP22, ● HAP23, ● HAP24, ● HAP25, ● HAP26, ● HAP27, ● HAP28, ● HAP29, ● HAP30.

1.1.2. Calcule de la diversité haplotypique et nucléotidique

Grace au programme DNAsp5.10 (Rozas *et al.* 2010) une analyse haplotypique et nucléotidique pour chaque espèce (*P.ferruginea* et *P. rustica*) a été réalisées et ordonnés sur **Tableau 6**.

Tableau 6. La diversité haplotypique et nucléotidique de *P. ferrugina* et *P.rustica*

| <i>P.ferruginea</i> | <i>H</i> | Π | <i>P.rustica</i> | <i>H</i> | Π |
|---------------------|----------|---------|------------------|----------|---------|
| ST | 0,133 | 0,00023 | ST | 0 | 0 |
| SLM | 0 | 0 | CV | 0 | 0 |
| KH | 0,167 | 0,00028 | BE | 0 | 0 |
| CV | 0 | 0 | FP | 1 | 0,00277 |
| BE | 1 | 0,00169 | ZM | 0 | 0 |
| FP | 0,583 | 0,00113 | RN | 0,667 | 0,00116 |
| RN | 0 | 0 | VK | 0,6 | 0,00173 |
| HAB | 0 | 0 | CIS | 1 | 0,00402 |
| PLA | 0 | 0 | MD | 1 | 0,00231 |
| EST | 0 | 0 | EST | 0,778 | 0,00173 |
| KOR | 0 | 0 | CPR | 0,5 | 0,00087 |
| MAL | 0 | 0 | VAL | 0,583 | 0,00154 |
| CAP | 0 | 0 | ARI | 0,733 | 0,00150 |
| DIQ | 0 | 0 | ODA | 0,6 | 0,00116 |
| MEL | 0 | 0 | SBR | 0,639 | 0,00125 |
| PAR | 0,5 | 0,00087 | BIA | 0,6 | 0,00116 |
| GIB | 0,5 | 0,00087 | TNT | 0,8 | 0,00404 |
| CHA | 0,464 | 0,00087 | SAV | 0,9 | 0,00347 |
| ALB | 0,5 | 0,00087 | PES | 0,7 | 0,00208 |
| CDN | 0,25 | 0,00044 | CRT | 0,822 | 0,01356 |
| APS | 0 | 0 | VIV | 0,583 | 0,00193 |
| APB | 0 | 0 | AGA | 0,505 | 0,00099 |
| NAQ | 0 | 0 | - | - | - |
| CGR | 0 | 0 | - | - | - |
| PAN | 0 | 0 | - | - | - |
| MAR | 0 | 0 | - | - | - |
| IPO | 0 | 0 | - | - | - |
| PIT | 0 | 0 | - | - | - |
| MLA | 0 | 0 | - | - | - |
| MLT | 0 | 0 | - | - | - |
| FAV | 0 | 0 | - | - | - |
| MAD | 0 | 0 | - | - | - |
| PLF | 0 | 0 | - | - | - |
| ARG | 0,222 | 0,00039 | - | - | - |
| ACS | 0 | 0 | - | - | - |
| MVE | 0,25 | 0,00044 | - | - | - |
| CRL | 0 | 0 | - | - | - |
| DES | 0 | 0 | - | - | - |
| ZEM | 0 | 0 | - | - | - |
| TIZ | 0 | 0 | - | - | - |
| BOF | 0 | 0 | - | - | - |
| CAR | 0 | 0 | - | - | - |
| GAL | 0 | 0 | - | - | - |

Les résultats du **tableau 7** montrent l'analyse de neutralité de Tajima (D) et de Fu et Li (F) réalisée par DNAsp 5.10 (Rozaset al. 2010).

Tableau 7. Résultats des tests de neutralité de Tajima, de F de Fu et Li (NS : valeur non-significative)

| | L'échelle microgéographique | | L'échelle macrogéographique | |
|----------------------|-----------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|
| | D de Tajima | F de Fu etLi | D de Tajima | F de Fu etLi |
| <i>P. ferruginea</i> | -2,08833; $P < 0.05$ | -3,98276; $P < 0.02$ | -2,10696; $P < 0.05$ | -5,07613; $P < 0.02$ |
| <i>P. rustica</i> | -2,03576; $P < 0.05$ | -2,91699; $P < 0.05$ | -1,22188 ; NS | -1,69847 ; NS |

1.1.3. Rapport entre la diversité génétique/haplotypique avec les coordonnées géographiques

Après avoir calculera diversité haplotypique nucléotidique pour chaque espèce (*P.ferruginea* et *P. rustica*) une corrélation entre la diversité haplotypique/nucléotidique avec les coordonnées de longitude a été fait (Fig.22; 23; 24; 25).

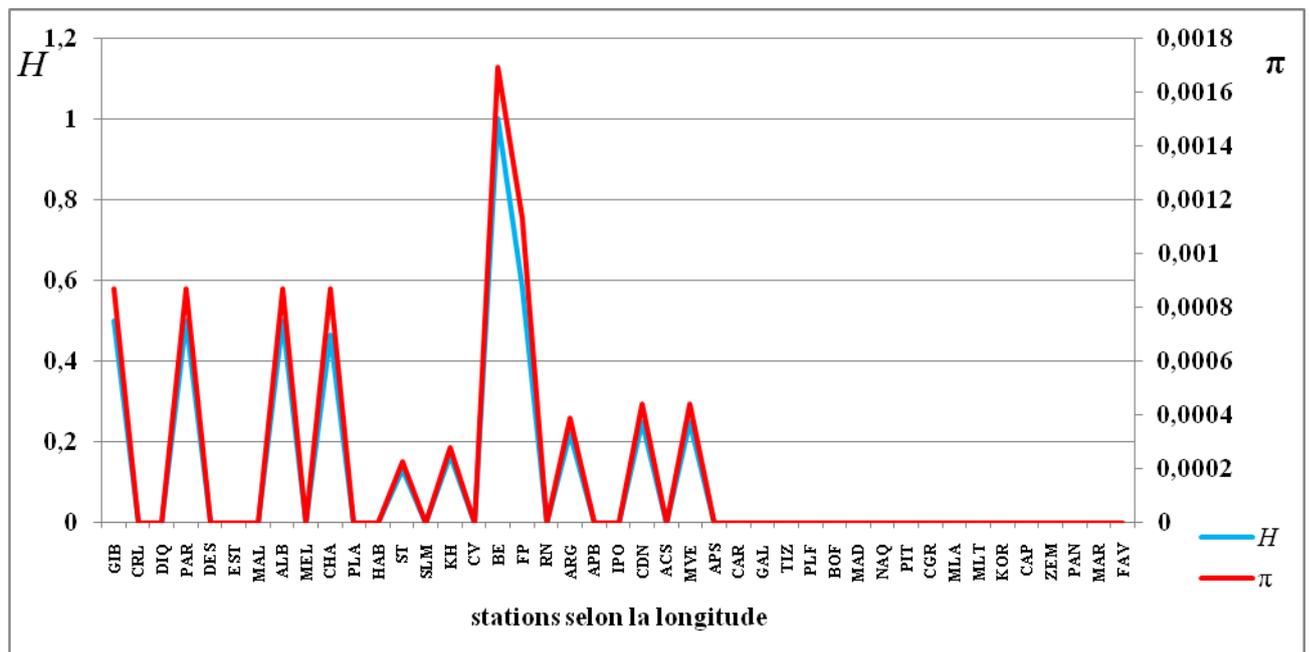


Figure 22. Courbe représentant la corrélation entre la diversité haplotypique et nucléotidique de *Patella ferruginea* et les coordonnées de longitude.

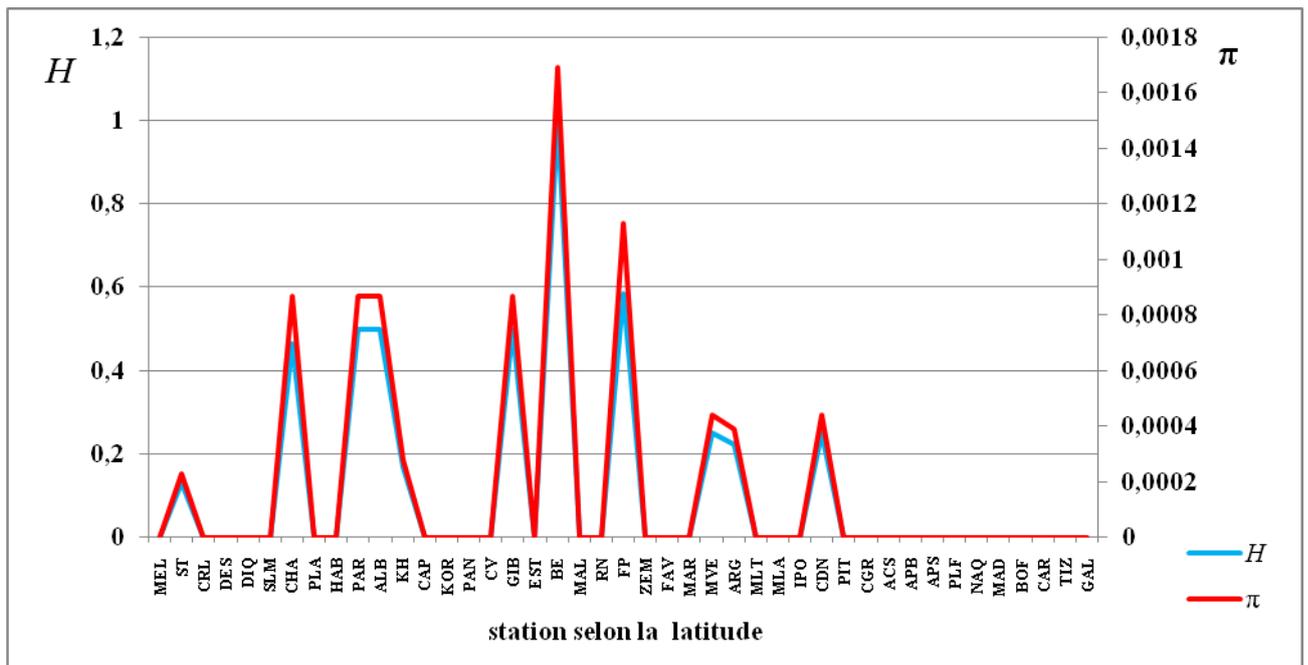


Figure 23. Courbe représentant la corrélation entre la diversité haplotypique et nucléotidique de *Patella ferruginea* et les coordonnées de latitude.

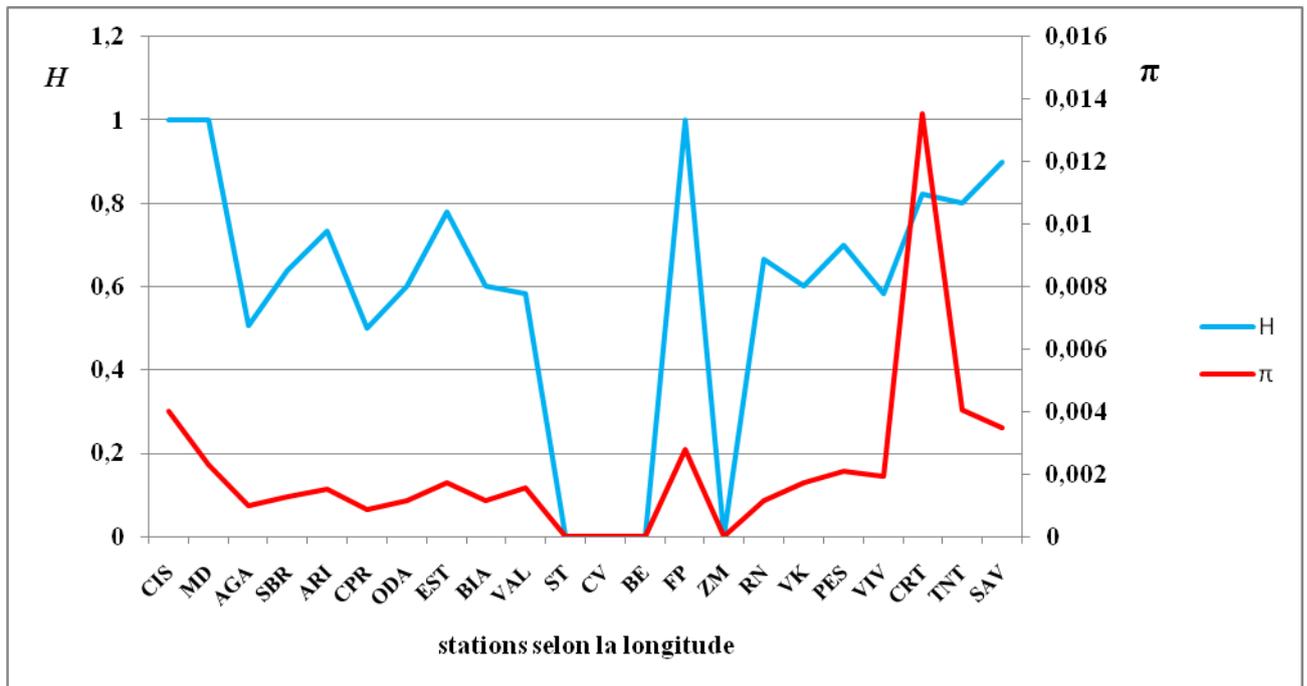


Figure 24. Courbe représentant la corrélation entre la diversité haplotypique et nucléotidique de *Patella rustica* et les coordonnées de longitude.

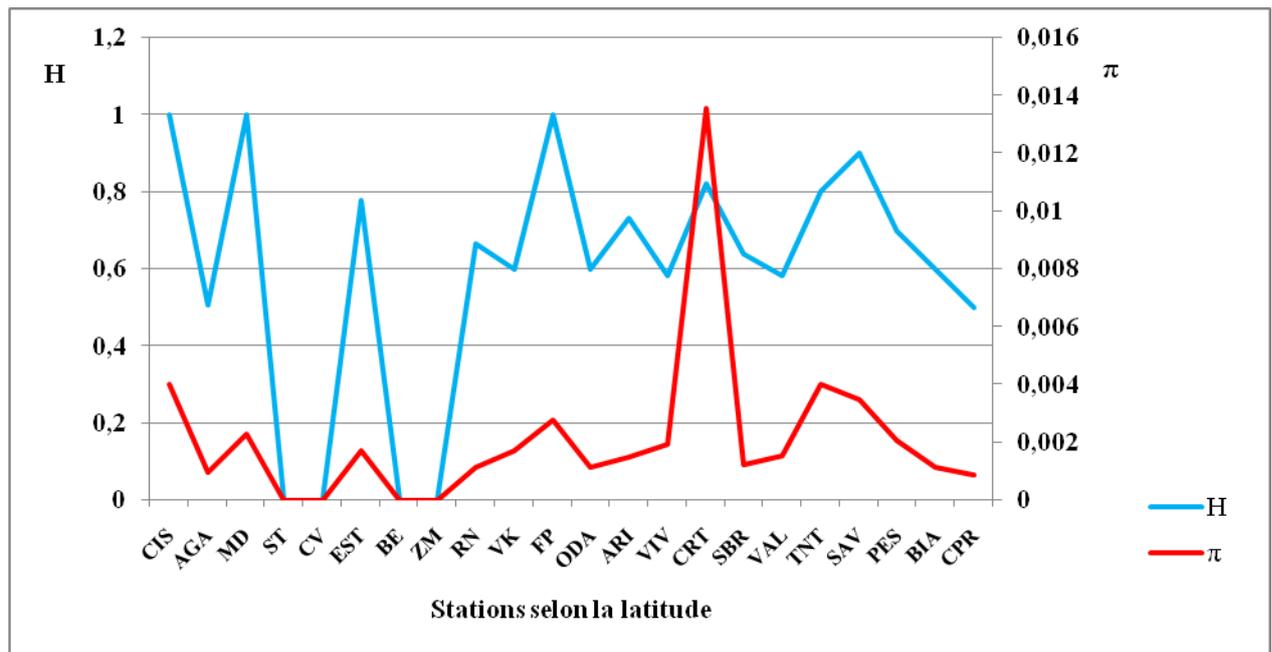


Figure 25. Courbe représentant la corrélation entre la diversité haplotypique et nucléotidique de *Patella rustica* et les coordonnées de latitude.

1.2. Modèle de structure génétique des populations

1.2.1. Échelle microgéographique

Les résultats de l'AMOVA (Analyses de MOléculaire de VARIance) des deux modèles de structure des populations algériennes de *P.ferruginea* montrent que le modèle EO est bien établis marqué par une valeur $F_{ct} = 0.167$ ($P < 0,05$) et des valeurs de $F_{sc} = -0.029$ et $F_{st} = 0.142$ (tous deux $P > 0,05$), Donc présence d'une diversité génétique entre les groupes (F_{ct}) qui est supérieure que intra-groupes (F_{st}). Les mêmes valeurs ont été trouvés concernant le modèle ECO (**Tab.8**). Pour les résultats de Φ _Statistique est pareille pour le modèle EO mais pour le modèle ECO une structure non significative a été trouvé (Valeurs non-significatives de F_{ct} , F_{sc} et F_{st}) (**Tab.8**)

Concernant *P.rustica* les résultats de l'AMOVA des deux modèles de structure des populations algériennes montrent que le modèle EO représente une structure non significative car les valeurs des F_{ct} , F_{st} et F_{cs} sont non significatives. En revanche, Le modèle ECO est bien établis marqué par une valeur de $F_{ct} = 0.132$ ($P < 0,05$) et des valeurs de $F_{sc} = -0.242$ et $F_{st} = 0.106$ (tous deux $P > 0,05$), avec une présence d'une diversité génétique entre les groupes (F_{ct}) supérieure que intra-groupes (F_{st}) (**Tab.8**), Pareille pour les résultats de Φ _Statistique (**Tab.8**).

Tableau 8. Résultats de l'AMOVA des modèles de structures des populations de la côte algérienne pour *P.ferruginea* et *P.rustica* en utilisant F_Statistique (mesure de la différenciation génétique entre les populations) Φ _Statistique (calculer la distance de matrice selon Tamoura modèle), *: valeur significative de *P*; NS: valeur non significative de *P*; ddl: degré de liberté.

| | Modèles de structure des populations Côte algérienne | ddl | F_Statistique | | Φ _Statistique | |
|---------------------------|--|-----|---------------|---------|---------------------|----------|
| | | | F_values | P_Value | Φ _values | P_Values |
| <i>Patella ferruginea</i> | EO | | | | | |
| | Fct | 2 | Fct= 0.167 | * | Φ ct=0.064 | * |
| | Fsc | 4 | Fsc=-0.029 | NS | Φ sc=0.007 | NS |
| | Fst | 44 | Fst= 0.142 | NS | Φ st=0.071 | NS |
| | ECO | | | | | |
| | Fct | 2 | Fct= 0.16771 | * | Φ ct=0.014 | NS |
| | Fsc | 4 | Fsc=-0.02976 | NS | Φ sc=0.031 | NS |
| | Fst | 44 | Fst= 0.14294 | NS | Φ st=0.045 | NS |
| <i>Patella rustica</i> | EO | | | | | |
| | Fct | 1 | Fct=0.19706 | NS | Φ ct=0.049 | NS |
| | Fsc | 5 | Fsc=-0.08085 | NS | Φ sc=-0.179 | NS |
| | Fst | 18 | Fst=0.13214 | NS | Φ st=-0.121 | NS |
| | ECO | | | | | |
| | Fct | 1 | Fct=0.28071 | * | Φ ct=0.222 | * |
| | Fsc | 5 | Fsc=-0.24213 | NS | Φ sc=-0.410 | NS |
| | Fst | 18 | Fst=0.10654 | NS | Φ st=-0.096 | NS |

1.2.2. Échelle macrogéographique

Les résultats de l'AMOVA des deux modèles de structure des populations Méditerranéens pour *P.ferruginea* montrent que :

a) Modèle des structures génétiques des populations en considérant « l'effet de longitude »

La limite a été définie selon la pic remarquable d'après la régression entre les stations de la mer d'alboran avec le reste de la Méditerranée (voir Fig.22). Ce modèle est solidement structuré marqué par des valeurs Fct = 0.05730 ($P < 0,05$), Fsc=-0,10200 ($P > 0,05$) et Fst =0,15345 ($P < 0,05$) pour H et des valeurs Fct=0.04148($P < 0,05$), Fsc= -0,11089 ($P >0,05$) et Fst =0,14777($P >0,05$) pour π . Pour la Φ _Statistique, le même phénomène que pour la F_Statistique est (Tab.9). De ce fait, une structure significative a été trouvée dans le modèle « A » qui est constitué des populations (GIB, CRL, DIQ, PAR, DES, EST, MAL, ALB, MEL, CHA, PLA, HAB) et (ST, SLM, KH, CV, BE, FP, RN, ARG, APB, IPO, CDN, ACS, MVE, APS, CAR, GAL, TIZ, PLF, BOF, MAD, NAQ, PIT, CGR, MLA, MLT, KOR, CAP, ZEM, PAN, MAR et FAV) avec la station de HAB qui est située à la limite des deux groupes en se basant sur la diversité haplotypique. Par ailleurs, une structure significative a été trouvée dans le modèle « B » constitué des populations (GIB, CRL, DIQ, PAR, DES, EST, MAL, ALB, MEL et CHA) et (PLA, HAB, ST, SLM, KH, CV, BE, FP, RN, ARG,

APB, IPO, CDN, ACS, MVE, APS, CAR, GAL, TIZ, PLF, BOF, MAD, NAQ, PIT, CGR, MLA, MLT, KOR, CAP, ZEM, PAN, MAR et FAV) avec la station de CHA qui est située à la limite des deux groupes en se basant sur la diversité nucléotidique.

b) Modèle des structures génétiques des populations en considérant « l'effet latitude »

La limite est définie selon le pic remarquable d'après la régression entre les stations de l'est et de l'ouest de la Méditerranée (**voir Fig.23**). Ce modèle est solidement structuré marqué par des valeurs $F_{ct}= 0,00931 (P < 0,05)$, $F_{sc}=0,11644 (P > 0,05)$ et $F_{st}= 0,12466 (P > 0,05)$ pour H et des valeurs $F_{ct}= 0,00952 (P < 0,05)$, $F_{sc}= 0,11644 (P > 0,05)$ et $F_{st}= 0,12466 (P > 0,05)$ pour π . Pour $F_{\text{Statistique}}$. De ce fait, une structure significative a été trouvée dans le modèle « **C** » qui constitue des populations (MEL, ST, CRL, DES, DIQ, SLM, CHA, PLA, HAB, PAR, ALB, KH, CAP, KOR, PAN, CV, GIB, EST, BE, MAL, RN, FP, ZEM, FAV, MAR, MVE, ARG) et (MLT, MLA, IPO, CDN, PIT, CGR, ACS, APB, APS, PLF, NAQ, MAD, BOF, CAR, TIZ, GAL) avec la station de ARG qui est située à la limite des deux groupes, en se basant sur la diversité haplotypique. Par ailleurs, une structure significative a été trouvée dans le modèle « **D** » qui constitue des populations (MEL, ST, CRL, DES, DIQ, SLM, CHA, PLA, HAB, PAR, ALB, KH, CAP, KOR, PAN, CV, GIB, EST, BE, MAL, RN, FP, ZEM, FAV, MAR, MVE, ARG, MLT, MLA, IPO et CDN) et (PIT, CGR, ACS, APB, APS, PLF, NAQ, MAD, BOF, CAR, TIZ et GAL) avec la station de CDN qui est située à la limite des deux groupes en se basant sur la diversité nucléotidique. En revanche les résultats de $\Phi_{\text{Statistique}}$ donne une valeur non significative concernant la diversité haplotypique et nucléotidique (**Tab.9**).

Concernant *P.rustica* les résultats de l'AMOVA des deux modèles de structure des populations algériennes montrent que :

a) Modèle des structures génétiques des populations en considérant « l'effet longitude »

La limite est définie selon le pic remarquable d'après la régression entre les stations de Est-ouest de la Méditerranée et Nord-est atlantique et le détroit Sicile-Tunisie (**modèle E**), entre les stations de La Méditerranée orientale et le Méditerranée occidentale plus le Nord-est Atlantique (**modèle F**) (**voir Fig.24**). Ce modèle est solidement structuré marqué par des valeurs $F_{ct}=0,136 (P < 0,05)$, $F_{sc}= 0,098$ et $F_{st}= 0,222$ (les deux $P < 0,05$) pour H et $F_{ct}= 0,189 (P < 0,05)$ pour π] et des valeurs $F_{sc}= 0,064$ et $F_{st}= 0,239$ (les deux $P > 0,05$) pour π , Pour la $\Phi_{\text{Statistique}}$, le même phénomène que pour la $F_{\text{Statistique}}$ est observé (**Tab.9**). De ce fait, une structure significative a été trouvée dans le modèle « **E** » qui constitue des populations (AGA, SBR, ARI, CPR, ODA, EST, BIA, VAL, ST,

CV, BE, FP, ZM, RN, VK, PES, VIV, CRT, TNT et SAV) et (CIS et MD) avec la station de MD qui est située à la limite des deux groupes en se basant sur la diversité haplotypique. Par ailleurs, une structure significative a été trouvée dans le modèle « F » constituée des populations (CIS, MD, AGA, SBR, ARI, CPR, ODA, EST, BIA, VAL, VK, ZM, FP, ST, RN, CV, BE, PES, VIV) et (CRT, TNT, SAV) de diversité nucléotidique, avec la station CRT de qui est située à la limite des deux groupes en se basant sur la diversité nucléotidique.

b) Modèle des structures génétiques des populations en considérant « l'effet de latitude »

La limite a été définie selon le pic remarquable d'après la régression entre les stations de l'est-ouest de la Méditerranée et Nord Est de l'atlantique (**voir Fig.25**). Ce modèle est pas solide structuré par des valeurs $F_{ct} = 0,116$ ($P > 0,05$), $F_{sc} = 0,107$ et $F_{st} = 0,211$ (les deux $< P 0,05$) de diversité haplotypique et nucléotidique. Pour la Φ Statistique, le même phénomène que pour la F Statistique est observé (**Tab.9**). De ce fait, une structure non significative a été trouvée dans le modèle G qui constituée des populations (AGA, MD, ST, CV, EST, BE, ZM, RN, VK, FP, ODA, ARI, VIV, CRT, SBR, VAL, TNT, SAV, PES, BIA, CPR) et (CIS) avec la station de CIS qui est située à la limite des deux groupes en se basant sur la diversité haplotypique et nucléotidique.

Tableau 9. Résultats de l'AMOVA des modèles de structures des populations Méditerranéens et nord-est atlantique pour *P.ferruginea* et *P.rustica* en utilisant F_Statistique (mesure de la différenciation génétique entre les populations) Φ _Statistique (calculer la distance de matrice selon Tamoura modèle), selon la longitude et latitude .*: valeur significative de *P*; NS: valeur non significative de *P*; ddl: degré de liberté.

| Modèles de structure des populations Méditerranéens et nord-est atlantique | ddl | La diversité Haplotypique (<i>H</i>) | | | | La diversité Nucléotidique (π) | | | | |
|--|-----|--|-----------|---------------------|-------------------|--------------------------------------|------------|---------------------|--------------------|----|
| | | F_Statistique | | Φ _Statistique | | F_Statistique | | Φ _Statistique | | |
| | | F_values | P_Value | Φ _values | P_Value | F_values | P_Value | Φ _values | P_Value | |
| <i>Patella ferruginea</i> Selon la longitude | A | | | | | B | | | | |
| | Fct | 1 | Fct=0.057 | * | Φ ct=0.019 | * | Fct=0.041 | * | Φ ct=0.014 | * |
| | Fsc | 41 | Fsc=0.102 | NS | Φ sc=0.116 | NS | Fsc=0.110 | NS | Φ sc=0.119 | NS |
| | Fst | 185 | Fst=0.153 | * | Φ st=0.133 | * | Fst=0.147 | NS | Φ st =0.131 | * |
| <i>Patella ferruginea</i> Selon la latitude | C | | | | | D | | | | |
| | Fct | 1 | Fct=0.009 | * | Φ ct= -0.008 | NS | Fct=0.009 | * | Φ ct = -0.013 | NS |
| | Fsc | 41 | Fsc=0.116 | NS | Φ sc=0.125 | NS | Fsc=0.116 | NS | Φ sc=0.127 | * |
| | Fst | 185 | Fst=0.124 | NS | Φ st =0.118 | * | Fst=0.125 | * | Φ st =0.115 | * |
| <i>Patella rustica</i> Selon la longitude | E | | | | | F | | | | |
| | Fct | 1 | Fct=0.136 | * | Φ ct=0.748 | * | Fct=0,186 | * | Φ ct =0,429 | * |
| | Fsc | 20 | Fsc=0.098 | * | Φ sc =0.661 | * | Fsc=0,064 | NS | Φ sc =0,721 | * |
| | Fst | 112 | Fst=0.222 | * | Φ st=0.914 | * | Fst=0 ,239 | NS | Φ st =0,841 | * |
| <i>Patella rustica</i> Selon la latitude | G | | | | | G | | | | |
| | Fct | 1 | Fct=0.116 | NS | Φ ct=0.695 | NS | Fct=0,116 | NS | Φ ct =0,695 | NS |
| | Fsc | 20 | Fsc=0.107 | * | Φ sc=0.707 | * | Fsc=0,107 | * | Φ sc =0,707 | * |
| | Fst | 112 | Fst=0.211 | * | Φ st =0.910 | * | Fst=0,211 | * | Φ st =0,910 | * |

2. Discussion

L'analyse des structures génétiques des populations de *Patella ferruginea* et *Patella rustica* basée sur la portion du gène mitochondrial "COI" a montré des résultats conséquents, que ça soit au niveau de la côte algérienne (L'échelle microgéographique) ou au niveau élargie entre la Méditerranée et le nord-est Atlantique (L'échelle macrogéographique).

a) Échelle microgéographique

Les résultats de l'AMOVA pour *P.ferruginea* ont montré selon la F-statistique et la Φ _Statistique(modèle de Tamoura) que le modèle EO montre qu'il y a une divergence génétique significative entre le groupe de l'Est (RN, FP et BE) et le groupe de l'Ouest (ST, CV, KH et SLM) [valeurs de $F_{ct} > F_{sc}$ ($P < 0,05$ pour la Fct)][valeurs de $\Phi_{ct} > \Phi_{sc}$ ($P < 0,05$ pour la Φ_{ct})](Tab.8).Ceci est valable pour le modèle ECO selon la F_Statistique (l'Est =RN.; L'Ouest =ST, CV, KH et SLM et Centre= BE et FP). (Tab.8). Par ailleurs, pour la Φ _Statistique une diversité génétique non significatives entre les 03 groupes (l'Est =RN.; L'Ouest =ST, CV, KH et SLM et Centre= BE et FP) a été remarquée (Tab.8).

Donc, la divergence génétique entre les groupes ouest et est de la côte algérienne pourrait s'expliquer par la diminution de l'intensité du flux des eaux Atlantique modifiées "Modified Atlantic Water" vers l'est de la côte algérienne (Durrieu de Madronet *et al.* 2011 in Bouzaza *et al.*), créant une divergence génétique entre les deux groupes de *P. ferruginea* (RN, FP et BE) et (ST, CV, KH et SLM). En effet, l'influence des courants côtiers et des fronts océaniques dans l'agencement des structures génétiques des populations a été suggéré pour plusieurs espèces de gastéropodes marins (Couceiro *et al.* 2013 ; Almeida *et al.* 2017 ; ElAyari *et al.* 2017 in Bouzaza *et al.* 2021).

Concernant *P. rustica* les résultats de l'AMOVA ont montré que le modèle **EO** selon la F- statistique et Φ _Statistique marque une divergence génétique significative entre le groupe de l'Est (VK, RN, ZM et FP) et l'Ouest (BE, ST et CV) mais non-significatives aussi pour la diversité génétique à l'intérieur de chaque groupe [valeurs de $F_{ct} > F_{sc}$ ($P < 0,05$ pour la F_{ct})] [valeurs de $\Phi_{ct} > \Phi_{sc}$ ($P < 0,05$ pour la Φ_{ct}). Ceci est valable aussi pour le modèle ECO qui montre une divergence génétique significative selon la F-Statistique entre les 03 groupes Est (VK, RN et ZM), Ouest (ST et CV) et Centre (BE et FP), le Φ _Statistique donne une diversité génétique non significatives entre les 03 groupes (Tab.8).

Ces résultats pourraient être expliqués par la présence d'un hot-spot au niveau du centre de la côte algérienne qui est la station de Figuiers Plage (FP) et la station de Bérard (BE) (Fig. 22, 24).

b) Échelle macrogéographique

Les résultats de l'AMOVA pour *P. ferruginea* ont montré que les modèles « **A** » et « **B** » séparant les populations de la mer d'Alboran (ayant une limite est la station HAB pour A et la station CHA pour B) et le reste de la Méditerranée (ayant une limite ouest la station ST pour A et la Station PLA) montrent une divergence génétique significative [$F_{ct} = 0.05730$ ($P < 0,05$), $F_{ct} = 0.04148$ ($P < 0,05$)] en considérant « l'effet longitude » et pourrait considérer les stations (HAB et CHA) une limite de séparation. Le même phénomène est remarqué pour le modèle « **C** » et « **D** » qui sépare du nord au sud la Méditerranée au niveau de la station (ARG) pour « **C** » et la station (CDN) pour « **D** » une limite de séparation en considérant « l'effet latitude » [$F_{ct} = 0,009$ ($P < 0,05$)] (Tab.9). Ces résultats pourraient être expliqués par la présence d'une zone d'hot-spot autour des stations de la mer d'Alboran telle que la station Chafarinas (CHA), sans oublier la station de Bérard (BE) et Figuiers Plage (FP) au niveau de la côte algérienne.

La diversité haplotypique et nucléotidique significative pour *P. ferruginea* considérant « l'effet longitude » et « l'effet latitude » peut être expliquée par plusieurs facteurs. En effet, les populations

de *P.ferruginea* peuvent être divisées en sous-populations qui ont des caractéristiques génétiques uniques en raison de la distance géographique, des barrières géographiques, des conditions environnementales et des pressions sélectives. Les différences de longitude et de latitude peuvent aussi influencer les caractéristiques environnementales, telles que la température, la salinité, la qualité de l'eau et la disponibilité de la nourriture, ce qui peut avoir un impact sur la diversité génétique des populations. En outre, les différences de longitude et de latitude peuvent influencer les modèles de dispersion et de migration des populations de *P.ferruginea*. Ces populations peuvent se déplacer le long des courants océaniques ou être isolées dans des zones côtières en raison de barrières géographiques telles que des falaises côtières qui peuvent constituer une barrière physique pour la dispersion des populations de *P.ferruginea*. Par exemple, **les falaises escarpées** qui bordent **la côte de la Sardaigne en Italie** peuvent isoler ces populations dans d'autres régions de la Méditerranée (**Pala et al.2010**), **les récifs ou les estuaires** peuvent également constituer une barrière géographique pour la dispersion des populations de *P.ferruginea*, comme **l'embouchure de la rivière Ebro en Espagne** forme un estuaire qui peut isoler ces populations dans d'autres régions de la Méditerranée (**Pérez-Ruzafa et al.2013**). La présence **des îles** peuvent également jouer un rôle important dans la diversité génétique des populations de *P.ferruginea*. En effet, les populations insulaires peuvent être isolées des populations continentales en raison de la distance géographique et de la difficulté d'inter connexion. Les populations de *P.ferruginea* sur **l'île de Sardaigne** peuvent être isolées des populations continentales européennes en raison de la distance géographique et de la difficulté de connexion (**Marchi et al.2016**).

Les résultats de l'AMOVA pour *P.rustica* ont montré que le modèle « **E** » sépare les populations de l'Est-ouest de la Méditerranée et Nord-est atlantique (ayan une limite est la station MD) et le modèle « **F** » sépare les populations de Nord-est de l'atlantique, est de la Méditerranée et ouest de la Méditerranée (ayan une limite est la station CRT), montrent une divergence génétique significative [$F_{ct} = 0.136 (P < 0,05)$, $F_{ct}=0.186 (P < 0,05)$] (**Tab.9**) en considérant « l'effet longitude » et pourrait considérer les stations (MD et CRT) une limite de séparation. ces résultats pourraient être expliqués par la présence d'une zone d'hot-spot autour les stations de la Nord-est de l'Atlantique [La station des îles Canaries et des Selvègues (CIS) et Madeira and Désertas (MD)] sans oublier la station de Figuier Plage (FP) au niveau de la cote algérienne et aussi la station de Crotona (CRT) à l'extrême est de la Méditerranée. La présence d'une sous- espèce de *P. rustica* appelée *Patella rustica orientalis* qui semble existée sur les côtes de la Méditerranée orientale pourrait être la cause dans cette importante divergence génétique (**Sá Pinto et al. 2012**).

Les diversités nucléotidique et haplotypique significatives selon en considérant « l'effet longitude » de *P.rustica* peuvent être expliquées aussi par plusieurs facteurs. Tout d'abord, les conditions environnementales peuvent varier selon la longitude, créant ainsi des différences dans les pressions de sélection environnementale et dans les adaptations génétiques des populations. De plus, **les conditions environnementales** les différences de température, de salinité et de courants marins entre les eaux de l'Atlantique et de la Méditerranée créent des conditions environnementales différentes qui peuvent influencer la diversité génétique de *P.rustica*. Comme les eaux plus chaudes de la Méditerranée qui peuvent favoriser la diversité génétique de *P.rustica* en Méditerranée par rapport à l'Atlantique. De plus, les courants océaniques, peuvent empêcher la dispersion des individus entre les zones géographiques, conduisant ainsi à une divergence génétique entre les populations (**Macgado-Schiaffino et al.2007**). Par ailleurs, **les détroits** peuvent également limiter la dispersion des populations de *P.rustica*. Par exemple, **le détroit de Gibraltar** sépare les populations de *P.rustica* de la Méditerranée et de l'Atlantique, limitant ainsi l'échange génétique entre ces populations. (**Guerra-Garcia et al .2019**). De plus, **Les zones de forte turbulence**, telles que les zones de confluence entre les courants océaniques, peuvent également constituer une barrière géographique pour la dispersion des populations de *P. rustica*. Par exemple, **la confluence des courants atlantiques et méditerranéens près du détroit de Gibraltar** peut isoler ces populations dans d'autres régions de la Méditerranée (**Abello et al. 2015**).

Les résultats non significatifs de modèle « G » (**Tab.9**) pourraient être expliquée par des exemples montrent que la diversité génétique et haplotypique de *P.rustica* peut varier selon les populations et les régions géographiques étudiées. Par exemple **Cherif et al. (2016)**, ont analysé la diversité génétique et haplotypique de *P.rustica* dans des populations situées le long de la côte atlantique du Maroc, en utilisant des marqueurs moléculaires basés sur l'amplification de fragments de longueur polymorphose (AFLP), ont montré une faible diversité génétique et haplotypique dans l'ensemble des populations étudiées, avec peu de différences entre les populations situées à différentes latitudes.

D'autre part, **González-Wangüemert et al. (2016)** ont montré une faible diversité génétique dans l'ensemble des populations de *P.rustica* provenant de neuf sites différents le long de la cote atlantique espagnole étudiées, mais avec des différences significatives entre les populations situées à différentes latitudes. Les auteurs ont suggéré que les différences dans les conditions environnementales et climatiques entre les différentes régions pourraient expliquer ces différences.

Par ailleurs, **González-Wangüemert *et al.* (2018)**, ont analysé la diversité génétique et haplotypique de *P.rustica* dans des populations de la côte nord-ouest de l'Espagne, Les résultats ont montré une forte diversité génétique et haplotypique dans l'ensemble des populations étudiées, avec peu de différences entre les populations situées à différentes latitudes. Les auteurs ont suggéré que les processus de migration et de flux génétique entre les populations pourraient expliquer cette homogénéité génétique.

| Conclusion

Conclusion

L'objectif de notre étude était de réaliser une étude des structures génétiques des populations de *Patella ferruginea* (Gmelin, 1791) et *Patella rustica* (Linnaeus, 1758) au niveau de la côte algérienne principalement et sur une zone élargie entre la Méditerranée et l'Atlantique dans le but d'avoir une idée sur l'existence de plusieurs barrières physiques qui peuvent jouer un rôle dans la divergence génétique de *P. ferruginea* et *P. rustica* selon les zones Méditerranée et Atlantique.

Ces barrières peuvent nous donner une idée sur les zones à hot-spot là où la diversité génétique et haplotypique est hautement significative.

En effet, cette étude phylogéographique a révélé la présence de quelques probables zones à hot-spot sur la côte algérienne telle que la station de Bérard (BE) et Figuiér plage (FP) qui pourraient cerner la diversité génétique de *P. ferruginea* et *P. rustica* dans le centre de la côte algérienne d'après une analyse moléculaire de variance (AMOVA). A l'échelle macrogéographique, une zone à hot-spot a été considérée pour *P. ferruginea* autour des stations de la mer d'Alboran tels que la station Chafarinas (CHA), Concernant *P. rustica*, quelques stations ont été considérées comme zones à hot-spot au niveau de quelques stations dans le Nord-est de l'Atlantique [La station des îles Canaries et des Selvègues (CIS) et dans Madère et Désertas (MD)] sans oublier la station de Figuiér Plage (FP) au niveau de la côte algérienne et aussi la station de Crotone (CRT) à l'Est de la Méditerranée.

Le front d'Almeria Oran à l'ouest du littoral algérien ainsi que le détroit de Gibraltar peuvent influencer la diversité génétique des populations de *P. rustica* qui habitent les côtes atlantiques et méditerranéennes. Les différences de température, de salinité et de courants océaniques entre les eaux atlantiques et méditerranéennes peuvent créer des conditions environnementales uniques qui peuvent favoriser la divergence génétique aussi la présence d'une sous-espèce de *P. rustica* appelée *Patella rustica orientalis* qui semble exister sur les côtes de la Méditerranée orientale pourrait être la cause de cette divergence génétique (Sá Pinto *et al.* 2012).

A l'avenir, il faudrait travailler sur plusieurs autres espèces appartenant à différents groupes taxinomiques, sur une zone plus large avec plusieurs nouvelles stations en réalisant d'autres études écologiques afin d'être plus ou moins sûr de la présence des hot-spots sur la côte algérienne.

Références

bibliographiques

A

Abelló, P., Valladares, F. J., et Castellón, A. (2015). Phylogeography of *Patella ferruginea* in the Strait of Gibraltar: evidence of a glacial refugium in the western Mediterranean. *Marine Biology*, 162(11), 2153-2163.

Almada, V. C., Oliveira, R. F., Gonçalves, E. J., Almeida, A. J., Santo, R. S., et Wirts, P. (2001). Patterns of diversity of the northeastern Atlantic blennid fish fauna (Pisces: Blenniidae). *Global Ecology and Biogeography* 10, 411-422.

Almeida, S.C., Nicastro, K.R., Zardi, G.I., Pearson, G.A., Valero, M. et Serrão, E.A. (2017) Reproductive strategies and population genetic structure of *Fucus* spp. across a northeast Atlantic biogeographic transition. *Aquatic Living Resources* 30, 16.

Aversano F. R. (1986) Esperimento di insediamento artificiale di *Patella ferruginea* (Gmelin, 1791) nelle acque del Golfo di Arzachena (Sardegna settentrionale). *Bollettino Malacologico*, 22, 169-170.

Avise, J.C. (2000). *Phylogeography: The History and Formation of Species*. Harvard University Press, Cambridge, MA, 447 pp.

Ayata, S. D., (2010). Importance relative des facteurs hydroclimatiques et des traits d'histoire de vie sur la dispersion larvaire et la connectivité à différentes échelles spatiales (Manche, Golfe Gascogne). *Ecologie, Environnement*. Thèse de doctorat 3e cycle, Université Pierre et Marie Curie - Paris VI, France, 390 p.

B

Bahri-Sfar, L., Lemaire, C., Ben Hassine, OK, et Bonhomme, F. (2000). Fragmentation of sea bass populations in the western and eastern Mediterranean as revealed by microsatellite polymorphism. *Proceedings- Royal Society of London. Biological sciences* 267, 929- 935.

Bahri-Sfar, L., Christophe, L., Béatrice, Ch., Divanach, P., BenHassine, K. et François, B. (2000). Fragmentation of sea bass populations in the western and eastern Mediterranean as revealed by microsatellite polymorphism *B (2000) 267, 929-935.*

- BenSlimen, H., Guerbej, H., ET Ben Othmen, A., Guerbej. H., Ouldbrahim. I, Blél, H., Chatti, N., Elabed, A. et Said, K. (2004).** (2004) Genetic differentiation between populations of gilthead sea bream (*Sparus aurata*) along the Tunisian coast, *Cybio* 28, 45-50.
- Benbachir, M. (2017).** Etude morphométrique de deux espèces d'oursins réguliers *Paracentrotus lividus* (Lamarck 1816) et *Arbacia lixula* (Linnaeus 1758), prélevées dans deux étagements paraliques de la côte de Mostaganem. 4P. Mémoire de Master. Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie, 4-5p.
- Bendoula, M. (2020)** .Etude et conservation des espèces de gastéropodes d'une partie du littoral Centre et Ouest algérien. Thèse de Doctorat. Université Aboubekr, Tlemcen, Algérie, 33-35.
- Bettaher, Z et Boumaza, N . (2020).** Contribution à l'étude des structures génétiques des populations de *Patella rustica* (Linnaeus, 1758) (Gastropoda : Prosobranchia) au niveau de la côte algérienne. Mémoire de fin d'études, Université Abdelhamid Ibn Badis– Mostaganem, Algérie .
- Bierne, N., Welch, J., Loire, E., Bonhomme, F et David, P. (2011)** The coupling hypothesis: why genome scans may fail to map local adaptation genes. *Molecular Ecology* 20, 2044– 2072.
- Bonhomme et Planes, (2000).** Some evolutionary arguments about what maintains the pelagic interval in reef fishes. *Environmental Biology of Fishes*, 59: 365–383.
- Borsa P, Naciri, M et Bahri, L. (1997).** Zoogéographie infra-spécifique de la mer Méditerranée. *Vie Milieu* 47, 295-305.
- Bouchra ZGAOULA Ép. MECHENTEL. (2018).** Croissance, reproduction et structure des patelles du golfe d'Annaba : impacts de la pollution, thèse doctorat. Université Badji Mokhtar – Annaba, 34-35.
- Boudouresque C. (2005).** Excursion au cap-croisette (Marseille) : le milieu marin. 12eme Ed. GIS posidonie publ, Marseille, France 1-48.
- Boue, H. et Chanton, R. (1978).** Zoologie 1-2. Doin éditeurs, Paris , 9-78.
- Bouzaza, Z. (2012)** .Contribution à l'étude systématique, phylogénétique et phylogéographique de quelques espèces de patelles (Gastropoda : Patellidae) de la zone intertidale de la côte algérienne. Mémoire de Magister. Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie, 136p.
- Bouzaza, Z. (2018).** Etude systématique, phylogénétique, phylogéographique et démographique de *Patella ferruginea* (Gmelin, 1791), *Patella caerulea* (Linnaeus, 1758) et *Cymbulasafiana* (Lamarck,

1819) de la frange côtière algérienne. Thèse de doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis–Mostaganem, Algérie, 267p.

Bouzaza, Z., Vera, M. ET Mezali, K. (2021) .Population genetic structure of the endangered limpet *Patella ferruginea* (Gastropoda: Patellidae) in the western Mediterranean: new evidence implicating marine barriers' effects. *MolluscanResearch* 41, 32–40.

Bozec,A.(2006). La Circulation Thermohaline de la Mer Méditerranée sous des Climats Présent et Futur. Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie -Paris VI-, Paris, France, 213p.

Branch, G. M. (1985). Limpets: their role in littoral and sublittoral community dynamics. In: Moore P.G. & Seed R. (Ed.). *The ecology of rocky coast*. New York: Columbia University Press, 97–116.

Brault, N., Bourquin, S., Guillocheau, F., Dabard, M. P., Bonnet, S., Courville, P., Estéoule-Choux, J. et Stepanoff, F.(2004). Mio–Pliocene to Pleistocene paleotopographic evolution of Brittany (France) from a sequence stratigraphic analysis: relative influence of tectonics and climate. *Sedimentary Geology*, 163, 175-210.

C

Campbell, N. A. et Reece, J. B. (1987). *Biology*. Ed LG Mitchell, 1458 p.

Chamorro-Moreno, S. (1988).Conchas de moluscos y otros restos asociados a yacimientosarqueológicos de Ceuta y sus alrededores. In: Ripoll, E. (Ed.), *Actas del 1º CongresoInternacional del estrecho de Gibraltar*, Tomo 4. UNED, Madrid.

Cherif, M., González-Wangüemert, M., et El Ayoubi, S. (2016). Genetic diversity of *Patella rustica* (Gastropoda: Patellidae) in Atlantic Moroccan populations. *AquaticBiology*, 25(1), 59-67. doi: 10.3354/ab00652.

Christiaens, J. (1973). Révision du genre *Patella* (Mollusca, Gastropoda). *Bulletin du Museum National d'Histoire Naturelle*, 182, 1305-1392.

Coleman, R.A., Underwood, A.J., Benedetti-Cecchi, L., Åberg, P., Arensa, F. et al., 2006. A continental scale evaluation of the role of limpet grazing on rocky shores. *Oecologia*, 147, 556-564.

Coppa S., De Lucia A., Massaro G. et Magni P. (2012). Density and distribution of *Patella ferruginea* in a marine protected area (western Sardinia, Italy): constraint analysis for population conservation. *Mediterranean Marine Science*, 13, 108-117.

Cornuet, J. M., Ravigne, V. et Estoup, A. (2010). Inference on population history and model checking using DNA sequence and microsatellite data with the software DIYABC (v1. 0). *Bmc Bioinformatics*, 11(1), 401.

Couceiro, L., Robuchon, M., Destombe, C. et Valero, M. (2013) Management and conservation of the kelp species *Laminaria digitata*: using genetic tools to explore the potential exporting role of the MPA "Parc naturel marin d'Iroise". *Aquatic Living Resources* 26, 197–205.

Cracraft, J. (1983). Species concept and speciation analysis. In: *Current ornithology*. Ed. Johnston RF, Plenum press, New York, 159-187.

Cretella M., Scillitani G., Toscano F., Turella P., Picariello O. et Cataudo A. (1994). Relationships between *Patella ferruginea* Gmelin, 1791 and the other Tyrrhenian species of *Patella* (Gastropoda: Patellidae). *Journal of Molluscan Studies*, 60, 9-17.

Cretella M., Scillitani G., Toscano F., Turella P., Picariello O. et Cataudo A. (1994). Relationships between *Patella ferruginea* Gmelin, 1791 and the other Tyrrhenian species of *Patella* (Gastropoda: Patellidae). *J. Mollusc. Stud.*, 60, 9-17.

Cuisin M, (1977). *Le monde de la nature*. Larousse édition, Paris, 246p.

Culioli J. M. (2002). L'actualité de la pointe ! Pointe du Cap Corse. Association Finocchiarola pour la gestion des espaces naturels de la Pointe du Cap Corse, 2, 12-13.

Culioli, J.M. (2003). L'actualité à la pointe-point du Cap Corse. Dossier n°02 : la patelle géante. 09.

D

Dajoz, R. (2012). L'évolution biologique au XXI^e siècle: les faits, les théories. Eds Lavoisier. 326 p.

De Marchi, L., Di Franco, A., Fanelli, G., Guidetti, P., et Lombardi, C. (2016). Genetic diversity and connectivity patterns in two brooding octocorals in the Mediterranean. *Marine Biology*, 163(5), 1-13.

Domingues, V. S., Bucciarelli, G., Almada, V. C. et Bernardi, G. (2005). Historical colonization and demography of the Mediterranean damselfish, *Chromis chromis*. *Molecular Ecology* 14, 4051 – 4063.

Dorst J (1996). Les migrations des oiseaux.

Durrieu de Madron, X., Guieu, C., Sempere, R., Conan, P., Cossa, D. et D’Ortenzio, F. (2011). Marine ecosystems’ responses to climatic and anthropogenic forcings in the Mediterranean. *Progress in Oceanography* 91, 97–166.

E

Eckert, G. (2003). Effects of the planktonic period on marine population fluctuations. *Ecology*, 84,372–383.

Eckman, J. (1996). Closing the larval loop : linking larval ecology to the population dynamics of marine benthic invertebrates. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 200,207–237.

El Ayari, T. (2015). Barrières au flux génique en Méditerranée Occidentale : étude de la différenciation génétique chez deux mollusques marins, *Mytilus galloprovincialis* et *Stramonitahaemastoma*, these de docto Université de Carthage Faculté des Sciences de Bizerte – Tunisie ,14P.

Espinosa F. et Rivera-Ingraham G. (2017). Biological Conservation of Giant Limpets: The Implications of Large Size. *Advances in Marine Biology* 76, 105–155.

Espinosa.F, Rivera-Ingraham G. A., Fa D. et Garcia-Gomez J. C. (2009). Effect of human pressure on population size structures of the endangered ferruginean Limpet: Toward future management measures. *Journal of Coastal Research*, 25, 857-863.

Excoffier, L. et Lischer, H. E. L. (2010). Arlequin suite ver 3.5: a new series of programs to perform population genetics analyses under Linux and Windows. *Molecular Ecology Research*, 10, 564-567.

F

Ferdj et Menadi. (2001). Manuel de description des données Medifaune.

Ferhi, B et Boukhorissa, H. (2021). Etude biométrique comparative de deux espèces de gastéropodes marins (*Siphonariapectinata*) (Linnaeus, 1758) et (*Patella rustica*) (Linnaeus, 1758) issues de deux sites contrastés de la côte Mostaganémoise. . Mémoire de fin d'études, Université Abdelhamid Ibn Badis– Mostaganem, Algérie.

Fischer-Piette E. (1948). Sur les éléments de prospérité des patelles et sur leur spécificité. *Journal de Conchyliologie*. 88: 45-96.

Fisher W. (1987). Fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche, Vol 1, 760 pp.

Frenkiel L. (1975). Contribution à l'étude des cycles de reproduction des Patellidae en Algérie. *Pubblicazione de la Stazione Zoologica di Napoli*, 39,153-189.

Fretter V. et Graham A. (1962). British Prosobranch Molluscs, their functional anatomy and ecology. Ray Society, London 755pp.

Frick, H. M., Halttonen P., Himanen, P., Huttunen, M., Porsti, P., Pitkajarvi, T., Poyhonen, L., Pyykonen, M-L., Reinikainen P., Salmela, P. et Saraste, M. (1986). A long term double-blind comparison of doxazosin and atenolol in patients with mild to moderate essential hypertension. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 21, 55-62.

G

Gadoud, R et Surdeau, P. (1975) Génétique et sélection animale .J.B.Baillieres (eds).Paris.55 p.

Galarza, J. A., Carreras-Carbonell, J., Macpherson, E., Pascual, M., Roques, S., George, F. T., et Ciro, R. (2009). The influence of oceanographic fronts and early-life-history traits on connectivity among littoral fish species. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 106, 1473-1478.

Gerard, (2005). Pêche a pied en bord de la mer. Edit. Artemis. Pp 201-212.

Gharbi, A., Zitari-Chatti, R., Wormhoudt, A. V., Dhrief, M. N., Said, K., Denis. F. et Chatti. N. (2011). Allozyme Variation and Population Genetic Structure in the Carpet Shell Clam *Ruditapes decussatus* Across the Siculo-Tunisian Strait. *Biochemical Genetics*.

Gil, D.E. (1978). The metapopulation ecology of the red-spotted newt, *Notophtalmus viridescens* (Rafinesque). *Ecological monographs*, 48, 145-166.

Golubić, S., Schneider, J. (2003). Microbial endoliths as internal biofilms.. In: Fossil and Recent Biofilms. Krumbein, W.E., Dornieden, T., Volkmann, M. (Eds). Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 249-263.

González-Wangüemert, M., Cabezas, M.P., et Pérez-Ruzafa, Á. (2016). Genetic diversity and population structure of the intertidal limpet *Patella rustica* along the Atlantic Iberian Peninsula coast. *Marine Biology*, 163(9), 1-14. doi: 10.1007/s00227-016-2968-6.

González-Wangüemert, M., Cabezas, M.P., e Pérez-Ruzafa, Á. (2018). Genetic diversity and structure of the intertidal limpet *Patella rustica* in the northwestern coast of the Iberian Peninsula. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 98(6), 1415-1426. doi: 10.1017/S0025315417001914.

Grass P.P, Doumenc. (1995). Zoologie 1. Invertébrés. Edit. Masson. Paris. 126-136.

Guallart J., Calvo M., Acevedo I. et Templado J. (2013b). Two-way sex change in the endangered limpet *Patella ferruginea* (Mollusca: Gastropoda). *InvertebrateReproduction &Development*, 57,247-253.

Guallart J., PeHa J. B. et Pérez-Larruscain J. (2013a). Primeras imágenes de una forma juvenil de lapa ferruginosa. *Quercus*, 325, 52-53.

Guerra-García, J. M., Cabezas, M. P., et García-Gómez, J. C. (2019). Genetic differentiation and connectivity among populations of the intertidal limpet *Patella rustica* in the Gibraltar Strait and adjacent Atlantic regions. *Marine Biology*, 166(3), 24.

H

Hall T. A. (1999). BioEdit: a user-friendly biological sequence alignment editor and analysis program for windows 95/98/NT. *Nucl. Acids. Symp. Ser.* 41, 95-98.

Haq, B. U., Hardenbol J. etVail, P. R. (1987). Chronology of fluctuating sea levels since the Triassic. *Science*, 235, 1156-1166.

Harmelin J. et Bassemayousse F. (2008). Méditerranée, à la découverte des paysages sousmarins. Glénat Ed., 192p.

Harrison S. et Hastings A. (1996). Genetic and evolutionary consequences of metapopulation structure. *Trends in Ecology & Evolution*, 11, 180-183.

Hawkins S. et Hartnoll R. 1983. Grazing of intertidal algae by marine invertebrates. *Oceanography and Marine Biology* 21, 195–282.

Hayward, P. J., Nelson-Smith, T. et Shields, C. (1998). Guide des bords de mer, mer du nord, manche, atlantique, méditerranée. Delachaux et Niestlé Ed., Paris, 351.

Henriques P., Delgado J. et Sousa R. (2017). Patellid Limpets: An Overview of the Biology and Conservation of Keystone Species of the Rocky Shores. In: Ray S. (Ed.). *Organismal and Molecular Malacology*. Croatia: InTech, 71–95.

Hewitt, G. M. (1996). Some genetic consequences of ice ages, and their role in divergence and speciation. *Biological Journal of the Linnean Society* 58, 247-276.

Higgins, D. G., Bleasby, A. J. et Fuchs, R. (1992). CLUSTAL V: improved software for multiple sequence alignment. *CABIOS*, 8:189-191.

J

Jean, T. et C. meunier. (2015). Fig.10.12. In J. SEGARRA, E. PIÈTRE (dir.) et al. *Biologie BCPST 2e année*. Ellipses, Paris, 634-635.

Jenkins, S.R., Coleman, R.A., Burrows, M.T., Hartnoll, R.G., Hawkins, S.J. (2005). Regional scale differences in determinism of limpet grazing effects. *Marine Ecology Progress Series*, 287, 77-8.

K

Kallouche M.E.M. (2008). Répartition et aspect écologique de la patelle commune méditerranéenne *Patella caerulea* (Linnaeus, 1758) (Côte oranaise, Algérie nord occidentale), *Mémoire de Magister, Univ. Es Sénia, Oran, Algérie*, 100pp. - Köhler A. 1894. Beiträge zur Anatomie der Gattung Siphonaria. *Zool. Jahrb. Abt. Anat.* 7, 1–92.

Kondrashov, A. S., et Mina, M. V. (1986). Sympatric speciation: when is it possible? *Biological Journal of the Linnean society*, 27(3), 201-223.

L

Laborel-Deguen et F. Laborel J. (1990). Nouvelles données sur la patelle géante *Patella ferruginea*, Gmelin en Méditerranée. II. Ecologie, biologie, reproduction. *Haliotis, Fr.*, 10,55-62.

Laborel-Deguen F. et Laborel J. (1991). Nouvelles observations sur la population de *Patella ferruginea* de Corse. In: Boudouresque, C.F., Avon, M., Gravez, V. (Eds.), *Les espèces marines à protéger en Méditerranée*. GIS Posidonie Publishers, Marseille, 119–128.

Lascartos, A., (1998). La Méditerranée : un Océan miniature fascinant : pp7-9. (in PAM., 1998).

Lemaire C, Versini JJ et Bonhomme F. (2005). Maintenance of genetic differentiation across a transition zone in the sea: discordance between nuclear and cytoplasmic markers. *Journal of Evolutionary Biology* 18, 70-80.

Levins R. (1969). Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. *Bulletin of the entomological society of America* 15 ,237-240.

M

Machado-Schiaffino, G., Juanes, F., et García-Vázquez, E. (2007). Genetic structure of *Patella rustica* populations from the Atlantic and Mediterranean: a preliminary study. *Scientia Marina*, 71(4), 723-729.

Mansouri, T. (2015). Phylogénie et phylogéographie de quelques espèces d'holothuries aspidochirotés de la côte algérienne (Ouest et centre). Mémoire de Magister. Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem, Algérie. 7 P.

Marincovich, L. et Gladenkov, A. (1999). Evidence for an early opening of the Bering Strait. *Nature*, 397 : 149-151.

Mayr, E. (1942). Systematics and the origin of species, from the viewpoint of a zoologist. Harvard University Press, 315.

McKenzie, J. A. (1999). From desert to deluge in the Mediterranean. *Nature*, 400,613-614.

Meinesz A. et Dominici J-M. (2015). Etude de la croissance, de la longévité et du comportement de *Patella ferruginea* dans la réserve naturelle de Scandola, Mission 2014. Convention GIS Posidonie/ Parc Naturel Régional de la Corse (Lettre de commande PNR/JMC/N°343/2014). 34p.

Mejri R, Lo Brutto s, Ben Hassine OK et Arculeo M. (2009). A study on *Pomatoschistus tortonesei* Miller 1968 (Perciformes, Gobiidae) reveals the Siculo-Tunisian Strait (STS) as a breakpoint to gene flow in the Mediterranean basin *Molecular Phylogenetics and Evolution* 53, 596–601.

Menge B. A., Berlow E. L., Blanchette C. A., Navarrete S. A. et Yamada S. B. (1994). The keystone species concept: variation in interaction strength in a rocky intertidal habitat. *Ecological Monographs* 64 (3), 249–286.

Mezali K. (2005). On the presence of *Patella ferruginea* (Gmelin, 1791) in the western Algerian coast (Stidia, Algeria). *Proceeding of 40th European Marine Biology Symposium, Vienna, Austria, 21-25 august 2005*, 43 P.

Mezali K. (2007). Etude de la pollution de la côte de Mostaganem et étude systématique et écologique de la patelle *Patella ferruginea* (Gmelin, 1791) dans la zone de Stidia, Algérie. 7eme Congrès Maghrébin des Sciences de Mer & 1er Congrès Franco - Maghrébin de Zoologie et d'Ichtyologie sous le thème : Environnement aquatique et ses ressources, Connaissances, gestion et valorisation - El Djadida (Maroc) du 4 au 7 novembre 2007, 130 P.

Muths, D. (2006). Structures génétique et démographique des populations de deux espèces d'ophiures aux caractéristiques biologiques contrastées, *Acrocnidabrachiata* et *Ophiothrix fragilis*, en Atlantique Nord-Est. Thèse en vue de l'obtention du diplôme de doctorat de l'Université de ParisVI, 256 P.

N

Neal K J et Skewes M. (2004). *Patella ulyssiponensis*. Chine arapédes. Marine Life Information Network Ocana T.M.J (1997). An investigation into the ecology and life history dynamics of the pulmonate *Siphonaria pectinata* (L) at Gibraltar. Unpublished PhD Thesis, King's College, London.

Nei, M. (1987). *Molecular Evolutionary Genetics*, Columbia University Press, New York, 512 P.

O

Orton, J. H., South-ward, A. J. et Dood, J. M.(1956). Studies on the biology of limpets. II. Thebreeding of *Patella vulgate* L. in Britain. *J.Mar. Biol. Ass. U K.*, 35, 149-176.

P

Pailhe, J.(2002). Migration, migrant, géographie de la population. In: Espace populations, sociétés. *Géographie et population*, 73-82.

Pala, C., Casu, M., Lai, T., Dedola, G. L., etCurini-Galletti, M. (2010).Genetic diversity and phylogeography of the Mediterranean endemic gastropod *Patella ferruginea*: patterns of microevolution in a sea basin. *Marine Biology*, 157(10), 2131-2144.

Palumbi, S. R. (1994). Genetic divergence, reproductive isolation, and marine speciation. *Annual Review of Ecology and Systematics* 25, 547-572.

Patarnello. T., Volckaert, F. A. et Castilho. R. (2007). Pillars of Hercules: is the Atlantic-Mediterranean transition a phylogeographical break? *Molecular Ecology* 16, 4426-444.

Patterson, J., Chamberlain, B. et Thayer, D. (2006). Finch TV Version 1.4.0. Geospiza Inc. Disponible sur : <http://www.geospiza.com/Products/finchtv.shtml> .

Pechenik, J. (1999). On the advantages and disadvantages of larval stages in benthic marine invertebrate life cycles. *Marine Ecology Progress Series*, 177,269–297.

Pérez-Ruzafa, Á., Marcos, C., Oliva-Paterna, F. J., & GarcíaCharton, J. A. (2013). Genetic diversity and population structure of the endangered limpet *Patella ferruginea* in the western Mediterranean. *Marine Biology*, 160(2), 295-305.

Pomente, D., &Valdeyron, G. (1985) De la métapopulation au voisinage : la génétique des populations en déséquilibre. *Genet. Sel. Evol.*, 17, 407 – 414.

R

Ramos M.A. (1998). Implementing the Habitats Directive for mollusc species in Spain. *Journal of Conchology*, 2, 125-132.

Remington, C. L. (1968). Suture-zones of hybrid interaction between recently joined biotas. In: Evolutionary Biology (eds. Dobzhansky T, Hecht MK, Steere WC) Plenum Press, New York., 321-428.

Renssen, H. et Vandenberghe, J. (2003). Investigation of the relationship between permafrost distribution in the NW Europe and extensive winter sea-ice cover in the North Atlantic Ocean during the cold phases of the Last Glaciation, Quaternary Science Review 22,209-223.

Ridgway S. A., Reid D. G., Taylor J. D., Branch G. M. et Hodgson A. N. (1998). A cladistic phylogeny of the family Patellidae: (Mollusca: Gastropoda). Philosophical Transactions of the Royal Society of London B, 353, 1645-1671.

Rivera-Ingraham G. A., Espinosa F. et García-Gómez J. C. (2011d). Conservation status and updated census of *Patella ferruginea* (Gastropoda, Patellidae) in Ceuta: distribution patterns and new evidence of the effects of environmental parameters on population structure. Animal Biodiversity and Conservation, 34,83-99.

Ronce, O. (2007). How does it feel to be like a rolling stone? Ten questions about dispersal evolution. Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics. 38,231-253.

Rozas, J., Librado, P., Sánchez-DelBarrio, J. C., Messeguer, X. et Rozas, R. (2010). DNA SP (DNA Sequence Polymorphism v5.10.01). Departement de Genetica, Universitat de Barcelona, Spain.

S

Sà-Pinto, A., Baird, S. J. E., Pinho, C., Alexandrino, P. et Branco, M. S. (2010). A threeway contact zone between forms of *Patella rustica* (Mollusca: Patellidae) in the central Mediterranean Sea. Biological Journal of the Linnean Society 100,154–169.

Sà-Pinto, A., Branco, M., Sayanda, D. et Alexandrino, P. (2008). Patterns of colonization, evolution and gene flow in species of the genus *Patella* in the Macaronesian Islands. Molecular Ecology 17, 519-532.

Sà-Pinto, A., Branco, S. M., Alexandrino, P. B., Fontaine, M. C. et Baird, S. J. E. (2012). Barriers to gene flow in the marine environment: insights from two common intertidal limpet species of the Atlantic and Mediterranean. – PLoS ONE.

Simpson, (1951). The species concept. George gaylord simpson.

Stefanni S, Thorley JL. (2003). Mitochondrial DNA phylogeography reveals the existence of an Evolutionary Significant Unit of the sand goby *Pomatoschistus minutus* in the Adriatic (Eastern Mediterranean). *Molecular Phylogenetics and Evolution* 28, 601– 609.

T

Tajima, F. (1983). Evolutionary relationship of DNA sequences in finite populations. *Genetics*, **105** : 437-460.

Tchernia P. (1978). Océanographie régionale, description physique des océans et des mers. Centre d'édition et de documentation de l'enstaed, France, 257 pp.

Tellier, F. (2009). Etude des processus de spéciation associés à une zone de transition biogéographique : exemple de l'algue brune *Lessonianigrescens*. Thèse de Doctorat de l'Université Pierre et Marie Curie, France, p 21.22.

Templado J. et Moreno D. (1997). La lapa ferruginea. *Biologica*, 6, 80-81.

Thorson, G. (1950). Reproduction and larval ecology of marine bottom invertebrates. *Biological Review* .25,1-45.

Turelli M., Barton N. H. et Coyne J. A. (2001). Theory and speciation *Trends in Ecology and Evolution*, 16(7),330- 343.

V

VanValen, L. M. (1976). Ecological species, multispecies and oaks. *Taxon*, 25, 233-239.

Vidal, M., Fornós, J.J., Gómez-Pujol, L., Palmer, M., Pons, G.X. et al. (2013). Exploring rock coast bioerosion: rock fragment intestine transit time and erosion rates computation of the gastropod *Monodonta articulata* (Lamarck, 1822). *Journal of Coastal Research*, Special Issue No. 65

W

Wilson, J. R. U., Dormontt, E. E., Prentis, P. J., Lowe, A. J. et Richardson, D. M. (2009). Something in the way you move: dispersal pathways affect invasion success. *Trends in Ecology et Evolution* 24, 136-144.

Z

Zardoya R, Castilho R et Grande C. (2004). Differential population structuring of two closely related fish species, the mackerel (*Scomber scombrus*) and the chub mackerel (*Scomber japonicus*), in the Mediterranean Sea. *Molecular Ecology* 13, 1785 – 1798.

Zitari-Chatti, R., Chatti, N., Elouaer, A. et Said, K. (2008). Genetic variation and population structure of the caramote prawn *Penaeus kerathurus* from the eastern and western Mediterranean coasts in Tunisia. *Aquaculture Research* 39, 70–76.

Autres références bibliographiques

[A]<https://gisposidonie.osupytheas.fr/?p=113> .

[B]<https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=140679> .

[C]https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/18574/tab/fiche .

[D]<https://litoraldegranada.ugr.es/el-litoral/el-litoral-sumergido/fauna/moluscos/gasteropodos/subclase-caenogastropoda/stramonita-haemastoma/>

[E]<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=140683> .

[F]<https://litoraldegranada.ugr.es/el-litoral/el-litoral-sumergido/fauna/moluscos/gasteropodos/subclase-patello-gastropoda/patella-rustica>