



DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AQUACULTURE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

LAKEHALE Zahra et FERHAOUI El Batoul Amal

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN HYDROBIOLOGIE MARINE ET
CONTINENTALE**

Spécialité : Bio-Ressources Marines

THÈME

**Etude morphométrique géométrique sur l'oursin
Paracentrotus lividus (Lamarck, 1816) par la technique
des contours de Fourier au niveau de la côte de
Mostaganem**

Soutenue publiquement le 17/07/2019

DEVANT LE JURY :

Président	Mlle Oulhiz A	MCB
Encadreur	M. MEZALI K	Professeur
Co-Encadreur	M. BOUZAZA Z	MCB
Examineur	M. BELBACHIR N	MCB

*Thème réalisé au laboratoire de Protection, Valorisation des Ressources Marines et
Littorales
et Systématique Moléculaires de l'université de Mostaganem : 2018/2019*

Année Universitaire 2018-2019

Remerciement

Nous remercions tout d'abord Allah le tout puissant, pour m'avoir donnée la force et la patience, la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Nous remercions mes famille **Lakehal** et **Ferhaoui**

Nous adressons mes remerciements à Mr **Mezali. K** notre encadreur et Professeur au département des Sciences de la Mer et de l'aquaculture de l'Université de Mostaganem et responsable de laboratoire de Protection, Valorisation des Ressources Marines Littorales et Systématique Moléculaires de l'université de Mostaganem

Sans oublier, on tient à remercier sincèrement Mr **Bouzaza. Z** notre co-encadreur Assistant « MCB » à l'université *Abdelhamid Ibn Badis des Mostaganem*. Ses conseils et sa gentillesse au bon déroulement de ce travail.

On veut également remercier **Président Melle Oulhiz. A**

A l'examinateur Mr **Belabachir. N** : Assistant « MCB » à l'université *Abdelhamid Ibn Badis des Mostaganem* et chef département de science de la mer et l'aquaculture

Un grand merci particulier à nos collègues et nos amis **Aalaeddine et Mohamed**

Finalement, on est profondément reconnaissantes à toute personne qui j'ai aidé de pré ou de loi, directement ou indirectement durant ce passage.



Dédicace

Je dédie ce modeste travail à mon
Très chère *grande mère* qui m'a toujours soutenu, et
qu'a été Toujours présent pour Moi
A la plus chère au monde,
Aux personnes spéciales Ibrahim que dieu ait pitié
d'il, qui m'ont toujours aidé et qui m'ont encouragé,
qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont
accompagné durant mon chemin d'études, leurs
sacrifices, leur soutien moral, et leurs gentillesse ;
Mon grand père, que dieu ait pitié d'il
A mes sœurs et mes frères
A ma famille lakehale
A professeurs Bouzaza
A mon binôme et chère amie Amel merci
Beaucoup sœur
A toutes mes amies Fatima, Nassira
Zozo, Manel.
*A tous mes professeurs du cycle primaire jusqu'à
l'université*
A toute personne qui me connaît.

Zahra



Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à mon
Très chère père LAKHEDAR
qui m'a toujours soutenu, et qu'a été
toujours présent pour
moi*

*A la plus chère au monde,
ma mère, que dieu ait pitié d'elle*

*A la femme de mon père
toujours m'encouragé durant
mes études*

A mes sœurs et mes frères

A ma famille Ferhaoui

*A mon binôme et chère amie Zahra merci
beaucoup sœur*

*A toutes mes amies fatima, nassira
Zozo, manel et amel*

A toute personne qui me connaît

AMAL



Résumé

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une étude morphométrique basée sur analyse des contours par la transformée des ellipses de Fourier de l'oursin réguliers *Paracentrotus livides* (Lamarck, 1816).

Un échantillonnage de 164 individus a été réalisé dans quatre stations de la côte de Mostaganem (Stidia, Salamandre, Sidi Medjdoub et Sidi Lakhdar) en prélevant les spécimens d'oursins depuis les des deux étagements médiolittorale et infralittorale. Les individus ont été mesurés en considérant la longueur sans épines (L) et la hauteur (H). La gibbosité « H/L » a été calculé pour étudier les effets « stations », « étagement » et « dimorphisme sexuel » des individus de *P. lividus* échantillonnés sur ce paramètre grâce au test de Kruskal-Wallis. Chaque individu a été photographié en vue de profil et en vue dorsale dans le but de réaliser l'analyse des contours du test de *P. lividus* par la transformée des ellipses de Fourier. Les contours ont été normalisés puis analysés afin de réaliser une Analyse en Composantes Principales (ACP) sur les contours les plus pertinents.

Les résultats ont montré qu'il n'existe aucun effet « stations » ni effet « dimorphisme sexuel » des individus de *P. lividus* échantillonnés. Cependant, il existe un effet « étagement » entre les individus du médiolittorale et les individus de l'infralittorale sur le paramètre H/L des individus de *P. lividus* échantillonnés.

Les résultats de L'ACP des contours ont montré qu'il y a une dissimilarité morphométrique entre les individus des deux étagements médiolittoral et infralittoral. Les individus de l'étage médiolittorale possèdent des contours qui tendent vers forme de test gibbeuse à base convexe et circulaire, contrairement aux individus de l'étage infralittorale qui possèdent des contours qui tendent vers une forme de test plus aplatie à base concave et ovale.

Cette techniques morfo-géométrique n'est pas très couteuse et pourrait donner des résultats proches des études phylogénétiques fastidieuses et très couteuses.

Mots clés : morfo-géométrie, *Paracentrotus lividus*, points homologues, Côte de Mostaganem, ACV, spéciation.

Abstract

This work is part of a morphometric study based on outline shape analysis by the transform of the regular Fourier ellipses of the sea urchin *Paracentrotus livides* (Lamarck, 1816).

A sampling of 164 individuals was carried out at four stations on the coast of Mostaganem (Stidia, Salamandre, Sidi Medjdoub and Sidi Lakhdar) by taking specimens of sea urchins from both mediolittoral and infralittoral floors. Individuals were measured considering length without thorns (L) and height (H). The "H / L" gibbosity was calculated to study the "station", "staging" and "sexual dimorphism" effects of *P. lividus* individuals sampled on this parameter using the Kruskal-Wallis test. Each individual was photographed in profile and in dorsal view in order to perform the analysis of the contours of *P. lividus* test by the Fourier ellipses transform. The outlines were standardized and analyzed to perform Principal Component Analysis (PCA) on the most relevant contours.

The results showed that there were neither «station» effect nor "sexual dimorphism" effect of the sampled *P. lividus* individuals. However, there is a "staging" effect between the mediolittoral and infralittoral individuals on the H / L parameter of the sampled *P. lividus* individuals.

The results of the outline shape PCA showed that there is a morphometric dissimilarity between the individuals of both mediolittoral and infralittoral floors. Individuals in the mediolittoral stage have contours that tend towards a circular and gibbous test with a convex form at the base, in contrast to individuals in the infralittoral stage that have outlines that tend towards a more flattened, oval and concave test form.

This morpho-geometric method is not very expensive and could give results close to fastidious and very expensive phylogenetic studies.

Key words: morpho-geometry, *Paracentrotus lividus*, outline shape analysis, Mostaganem coast, PCA, speciation.

ملخص

يعد هذا العمل جزءاً من دراسة الهندسة مورفومترية تستند إلى تحليل الأكمة من خلال تحويل المرفومتري المنتظم لقفذ البحر *Paracentrotus livides* (Lamarck ، 1816).

تم إجراء عينة من 164 فرداً من أربعة محطات هي : ستيديا (ST) وصلا مند ر (SL) وسيدي مجدوب (SM) ،سيدي لخضر (SK). عن طريق أخذ عينات من قنفاذ البحر من مؤامري *infralittoral* و *mediolittoral*.

تم قياس الأفراد بالنظر إلى الطول بدون الشوك (L) والارتفاع (H). تم حساب جبانة "H/L" لدراسة تأثيرات "المحطة" و "التدرج" و "إزدواج الشكل الجنسي" لأفراد *P. lividus* الذين تم أخذ عينات منهم على هذه المعلمة باستخدام اختبار Kruskal-Wallis. تم تصوير كل فرد في صورة شخصية وفي عرض ظهري من أجل إجراء تحليل ملامح اختبار *P. lividus* من خلال تحويل Fourier ellipses. تم توحيد وتحليل الأكمة لإجراء تحليل المكونات الرئيسية (PCA) على الأكمة الأكثر صلة.

أظهرت النتائج أنه لم يكن هناك تأثيراً "محطة" أو تأثير "ازدواج الشكل الجنسي" لأفراد عينة *P. lividus*. ومع ذلك، هناك تأثير "التدرج" بين الأفراد *infralittoral* و *mediolittoral* على المعلمة *H/L* من العينات *P. lividus* الأفراد.

وأظهرت نتائج ACP كفاف أن هناك تباين المورفومتر بين الأفراد من التحولات *infralittoral* و *mediolittoral*. الأفراد في المرحلة المتوسطة الحجم لديهم ملامح تميل نحو نموذج اختبار مرتفع و محدب وذو قاعدة دائرية، على عكس الأفراد في المرحلة *infralittoral* التي لديها ملامح التي تميل نحو شكل اختبار مسطح من الناحية السفلية و بيضاوي مقعر.

هذه التقنية الهندسية المورفولوجية ليست باهظة الثمن ويمكن أن تعطي نتائج قريبة من الدراسات التطورية الوراثة والمكلفة للغاية.

الكلمات المفتاحية: هندسة مورفومترية Fourier ellipses ، *Paracentrotus lividus* ، نقاط متجانسة ، ساحل مستغانم ، ACP ، نوع.

*Liste des
abréviations*

Liste des abréviations

ACP : Analyse en Composantes Principales.

LIW: Levantine Intermediate Water (Eaux levantines intermédiaires).

P : probabilité du test (test probability).

Sv : Sverdrup = 1million de m³/seconde.

H : la hauteur.

L : la longueur.

H/L : la hauteur/ la longueur.

Liste des figures

Liste des figures

Figure 1: Modèles de spéciation basé sur des subdivisions géographiques [A]	4
Figure 2 : Cycle de vie benthopélagique des invertébrés marins (Ayata, 2010).	8
Figure 3: Présentation de la Méditerranée (Google Earth, 2019).	11
Figure 4 : Circulation générale de l'eau de surface en Méditerranée (D'après Millot et Taupier-Letage, 2005).....	11
Figure 5: A, Principe de la Transformée de Fourier ; B, Le contour externe de la vue occlusale d'un molaire bunodonte (ici première molaire inférieure de muriné) génère deux fonctions périodiques d'après l'abscisse curviligne (S) selon X et Y (Cucchi et al., 2015 in BOUZAZA, 2018).	18
Figure 6: Image d'origine d'une feuille de velours avant normalisation de son contour.....	19
Figure 7: Création d'une chaîne de code à partir d'une image fractionnée. A, Image fractionnée binarisée ; B, chaîne de code (à huit situations) commençant depuis le point noir à gauche (in BOUZAZA, 2018)	20
Figure 8: Approximation de la forme d'une feuille de velours par des ellipses de Fourier (EF) (en rouge). A, image d'origine ; b, premiers harmoniques de l'EF; c, quatrièmes harmoniques de l'EF; d, huitièmes harmoniques de l'EF; e, seizième harmoniques de l'EF; f, trentième harmoniques de l'EF.....	21
Figure 9: Corps physique après normalisation finale de son contour.	21
Figure 10 : Répartition géographique de <i>P. lividus</i> (Fredjg, 2002).....	23
Figure 11: Arbre phylogénétique du groupe des Echinodermata (Yokota, 2002).	23
Figure 12: Morphologie externe de l'oursin régulier <i>Paracentrotus lividus</i> . A, face orale; B, face aborale (Beaumont, 1998).	25
Figure 13: Piquant primaire de <i>Paracentrotus lividus</i> (DeRidder, 1986).	26
Figure 14: Morphologie générale d'un oursin actuel du genre Echinides. A droite, vue du côté de l'anus (dessus de l'animal); à gauche, vue du côté de la bouche (dessous de l'animal).....	26
Figure 15: Piquants (primaires et secondaires), podia et pédicellaires (globifères, otridentés et trifoliés) (De Ridder, 1986).	27
Figure 16: Schéma d'une coupe transversale du test d'un oursin régulier (Echinoidea) montrant la position des organes internes (Tortonese, 1965).	28
Figure 17: Lanterne d'Aristote d'un échinidé.	28

Figure 18: Chronologie du cycle de vie de l'oursin <i>Paracentrotus lividus</i> (Miard et Couvray, 2014).	30
Figure 19: Schéma d'un effet cascade impliquant des poissons prédateurs avec un contrôle direct négatif par prédation (p-), les oursins herbivores avec un effet direct négatif par broutage (b-), contrôlant les communautés algales à la base du réseau trophique. Les prédateurs ont une conséquence indirecte positive (+) sur les communautés algales. (D'après Menge, 1995; Pinnegar et al., 2000)......	31
Figure 20: Carte montrant les stations de prélèvement (En points rouges) (Google Earth, 2019). Stidia (ST), Salamandre (SL), Sidi Medjdoub (SM) et de Sidi Lakhedar (SK)......	34
Figure 21: Localisation du site de Stidia (point rouge) au niveau de Stidia-plage.) (Google Earth, 2019)......	35
Figure 22: Localisation du site de Salamandre (étoile rouge) à l'extérieur du port de Salamandre (Google Earth, 2019)......	35
Figure 23: Localisation du site de Sidi Mdjdoub (point rouge) à l'est du petit port de Sidi Medjdoub (Google Earth, 2019)......	36
Figure 24: Localisation du site de Sidi Lakhedar (point rouge) à du petit port de Sidi Lakhedar (Google Earth, 2019)......	37
Figure 25: Prélèvement des échantillons de l'infralittorale par plongée en apnée (Présent travail, 2019)......	37
Figure 26: Oursin conservés dans une glacière remplie d'eau de mer (Photo prise par Lakanal, 2019)......	38
Figure 27: Comparaison entre les périproctes de <i>A. lixula</i> et <i>P. lividus</i> . A, périprocte d' <i>A. lixula</i> ; B, périprocte de <i>P. lividus</i> (Demnard-Tellier, 2007).	39
Figure 28: Préparation des individus d'oursins échantillonnés sur la pailasse (Présent travaille, 2019)......	39
Figure 29: Différentes mesures du test des oursins au niveau du laboratoire. A, mesure de longueur (<i>L</i>); B, la hauteur (<i>H</i>) (Présent travail, 2019).	40
Figure 30: Prise de photo des tests d'oursin. A, face dorsal; B, vue de profil (Photo prise par Lakehal, 2019)......	41
Figure 31: Test d'un le <i>Paracentrotus lividus</i> femelle de Stidia ouvert latéralement. A, gonade femelle (couleur orangeâtre) (Photo prise par Lakehal, 2019)......	42
Figure 32: Corrélacion entre la longueur <i>L</i> et le rapport <i>H/L</i> pour un classement par stations. ●, Sidi Majdoub; □, Salamandre; ×, Stidia; +, Sidi Lakhedar.	44

Figure 33: Corrélacion entre la longueur L et le rapport H/L pour un classement par étagement. ●, Infralittoral; +, Médiolittoral.	44
Figure 34: Corrélacion entre la longueur L et le rapport H/L pour un classement par sexes. ●, femelle ; +, male.....	45
Figure 35: ACP des contours des teste de tous les individus des oursins étudiées en vue de profil réalisée par les programmes « Shape v 1.3» et « PAST v 2.17c» combinés. ●, individus de l'étage médiolittorale; +, individus de l'étage infralittorale.	47
Figure 36: ACP des contours (vies dorsal) des teste de tous les individus de oursins étudiées représentant 75% de l'information projetée sur les deux axes les plus représentatifs PC_d1 et PC_d2 réalisée par les programmes « Shape v 1.3» et « PAST v 2.17 c» combinés. ●, individus de l'étage médiolittorale ; +, individus de l'étage Infralittorale.	48
Figure 37: Régression linéaire entre l'axe PC_p1 et le rapport H/L de tous les groupes d'oursin étudiées réalisée par les programmes « Shape v 1.3» et « PAST v 2.17c» combinés. $N=164$ ($r = 0.67$; $P < 0.001$). ●, individus de l'étage médiolittorale ; +, individus de l'étage infralittorale.....	49
Figure 38 : Différence des formes des contours des tests des individus de <i>P. lividus</i> entre les deux étagements (infralittorale/médiolittorale) en considérant comme repère la grosse plaque madréporite. ⊙, position de la grosse plaque madréporite; ⊕, sens de la grosse plaque madréporite.....	50

Liste des tableaux

Liste des tableaux

Tableau 1 : Nombre d'individus de <i>P. lividus</i> des espèces échantillonnés au niveau des quatre stations d'échantillonnage. M, mâle; F, femelle (en gras les valeurs les plus élevées)	43
Tableau 2 : Les moyennes du paramètre H/L pour les populations de chaque station d'étude. En gras la moyenne la plus élevée	45
Tableau 3 : Les moyennes du paramètre <i>H/L</i> pour les deux populations des deux étagements. En gras la valeur la plus élevée	46

Sommaire

Sommaire

Introduction	1
I. Notions et principes de base	3
I.1 Le concept de l'espèce	3
I.2 Les modes de spéciation	3
I.2 Les modes de spéciation	3
I.2.2 Spéciation parapatrique	4
I.2.3 La spéciation sympatrique	4
I.2.4 La spéciation péripatrique	4
I.3. Connectivité des populations	5
I.3.1. Population	5
I.3.2. Métapopulation	5
I.4. La migration en milieu marin	6
I.5 La phase larvaire	6
II. La mer Méditerranée comme zone d'étude	6
II.1. Hydrodynamisme	7
II.2. Masses d'eau de surface	8
II.3. Masses d'eau Levantines Intermédiaire – L.I.W	10
II. 4. Masses d'eau profonde	11
II.5. Salinité	12
II.6. Température	12
II.7. Mouvement des eaux marines	13
II. 8. Les Houles	13
II.9. Caractéristique de la côte algérienne	13
III. La morphométrie géométrique	14
III.1 Les objectifs des études morphométriques	14

III.2. Principe de la morphométrie géométrique	14
III. 2. La méthode de la transformée des ellipses de Fourier	15
III.2.1. Principe de la transformée de Fourier	15
III.2.2. Analyse des contours (ellipses) par la transformée de Fourier	15
IV. Les oursins en tant que model d'études morpho-géométrique	15
IV.1. Taxinomie et répartition géographique	17
V.2- Biologie, écologie et exploitation de <i>Paracentrotus lividus</i>	21
V.2.1-Habitat	22
IV.2.2 -Caractères morphologique	24
IV.2.2.1-Morphologie externe	24
IV.2.2.1.1- Zones ambulacraires et inter-ambulacraires	24
IV.2.2.1.2-Les piquants	24
IV.2.2.1.3- Les podias	25
IV.2.2.1. 4-Les pédicellaires	26
IV.2.2.2 Morphologie interne	27
IV.2.3 Régime alimentaire	27
IV.2.4 La Reproduction	28
IV.2.5 Prédation	29
V. Contexte économique	30
I. Description de la zone d'étude	31
I.1 Description de la côte de Mostaganem	33
I.1.1 Caractéristiques physicochimiques de la côte de Mostaganem	33
I.2 Choix des stations de prélèvement	33
I.3 Description des zones d'échantillonnage	33
I.3.1 Description de la zone du Site de Stidia	34

I.3.2 Description la zone de salamandre	34
I.3.3 Description la zone de Sidi Mejdoub	35
I.3.4 Description la zone de Sidi Lakheder	35
II. Méthodologie	36
II.1 Collecte des échantillons	37
II.2 Etiquetage des échantillons	37
II.3 Etude taxinomique	38
II.4 Traitement au laboratoire	38
II.5 Mesures biométriques	39
II.6 Traitement statistique des données	39
II.6.1 Etude corrélative	40
II.6.2 Comparaison des moyennes	40
II.7 Etude morpho-géométrique	40
III. Détermination de sexe	40
I. Résultat	41
I.1 Résulta de Traitement statistique des données	43
I.1.1 Étude corrélative	43
I.1.2 Comparaison des moyennes	45
I.2 Morphométrie par la transformée des ellipses de Fourier	46
I.2.1 Etude de la transformée des ellipses de Fourier en vue de profile	46
I.2.2 Etude de la transformée des ellipses de Fourier en vue de dorsal	47
II. Discussion	51
Conclusion	52

INTRODUCTION

Les oursins sont d'étonnants Echinodermes présents dans toutes les mers du globe, de l'Arctique aux eaux australes. S'il existe un grand nombre d'espèces, seule une partie d'entre elles contribue à la pêche moderne (**Patrissi et al., 2014**). De par leur action de broutage, les oursins sont capables de faire basculer l'écosystème d'un état stable et complexe à un autre état stable plus simple, moins productif et moins diversifié, dominé par des algues incrustées (**Barnes et al., 2002; Eklöf et al., 2008**). Par conséquent, toute modification de densité ou de structuration démographique des communautés d'oursins peut avoir des conséquences sur l'ensemble de l'écosystème infralittoral (**Verlaque, 1984; Azzolina et al., 1987; Bonaviri et al., 2012**).

Depuis plusieurs dizaines d'années, l'importance accordée au rôle des Echinodermes, et en particulier des oursins réguliers, dans la structure et l'évolution des phytocénoses benthiques est grandissante. Les premières études ont décrit simplement des associations ou des « faciès » algue-oursins caractéristiques de différents biotopes. Peu à peu, les oursins ont été étudiés pour leur rôle et surtout leur impact sur l'établissement et la structure des biocénoses (**Kempf, 1962; Verlaque, 1987**).

L'oursin comestible ou l'oursin livide *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) constitue une source économique importante (**Kempf, 1962**). C'est une ressource alimentaire très appréciée, sa consommation et sa pêche dans le monde sont très anciennes. Son commerce en Méditerranée existait déjà dans l'antiquité grecque. Les oursins sont régulièrement présents dans les tas de débris de cuisine depuis le début du Néolithique (5000-2500 av J.C) (**Allain, 1972**). Sauf qu'en Algérie, sa consommation est très faible, elle concerne pratiquement les gens qui habitent au bord de la mer.

Paracentrotus lividus a fait l'objet de moult études sur son alimentation, sa biologie et son écologie (**Verlaque et Nedelec, 1983; Verlaque, 1984; Semroud et Kada, 1987; Soualili, 2008**). Cependant, les études portant sur sa morpho-géométrie sont rares, voir anecdotiques.

Récemment, **Benbachir (2017)** avait fait une analyse morphométrique sur *P. lividus* et *Arbacia lixula* de la côte de Mostaganem, sauf que cette étude était basée sur des paramètres biométriques (longueur, largeur et hauteur); les études traitant la morphométrie géométriques sont très rares en Algérie. Seuls les travaux de **Bouzaza (2018)** sur la dissimilarité morphologique des trois espèces de patelles (*Patella caerulea* Linnaeus, 1758 ; *Patella ferruginea* Gmelin, 1791 et *Cymbula safiana* Lamarck, 1819) par les nouvelles méthodes de morphométrie géométrique (points homologues et transformée des ellipses de Fourier) et les travaux de **Ameur et Belkheira (2018)** qui avaient trouvé une différence intra-spécifique entre quelques populations du crabe marbré *Pachygrapsus*

marmoratus au niveau de la côte de Mostaganem en utilisant la technique des points homologues, peuvent être répertoriés.

Le but de cette étude est de mettre en évidence la dissimilarité morphologique de l'oursin *Paracentrotus lividus* par des nouvelles méthodes de morpho-géométriques (Transformée des ellipses de Fourier) afin de comprendre si il y a une relation entre la variabilité des formes du test de cet oursin et son habitat.

Chapitre I

I. Notions et principes de base

I.1. Le concept de l'espèce

Plusieurs concepts de l'espèce sont acceptés dans la littérature. Le concept d'espèce biologique est un concept classique et largement accepté (**Howard et Berlocher, 1999; Campbell et al., 1999**). Il définit une espèce comme un groupe d'individus ou de populations croisées qui sont reproductivement isolées d'autres groupes d'un même genre (c-à-d, des nouvelles espèces peuvent apparaître lorsque l'évolution des mécanismes d'isolement reproducteur empêche l'échange de gènes entre les différentes populations (**Turelli et al., 2001; Campbell et al., 1999**).

Les biologistes des populations découvrent de plus en plus de cas où le concept d'espèces biologiques n'est pas valide, par exemple, dans un organisme asexué où le concept de reproduction n'a aucun sens. Cela entraîne l'élaboration de plusieurs autres concepts d'espèces (**Campbell et al., 1994; Coyne et al., 2004 ; Grimaldi et Engel, 2005**).

D'autres concepts de l'espèce sont proposés par **Campbell et al., (1999), Coyne (1999) et Coyne et al. (2004) :**

- **Concept des espèces cohésives :** met l'accent sur les mécanismes des entités phénotypiques discrètes. Chaque espèce est définie par son complexe de gènes et d'ensemble.
- **Concept des espèces écologiques :** Définit les espèces en fonction de leur lieu de résidence et leur fonctionnalité.
- **Concept des espèces évolutives :** Une espèce est une lignée unique d'ancêtres et la population descendante qui évoluent indépendamment des autres groupes de ce genre.
- **Concept d'espèce de grappe génotypique :** Une espèce est (morphologiquement ou génétiquement) un groupe d'individus distinguables qui ont peu ou pas de contact intermédiaire avec d'autres groupes de ce genre.
- **Concept des espèces morphologiques :** Espèces définies de façon anatomique mesurable (critères morphologiques). Ce concept est pratiqué dans la taxinomie des fossiles.
- **Concept d'espèce phylogénétique :** L'espèce est le plus petit groupe monophylétique d'ascendance commune.
- **Concept d'espèces par reconnaissance :** met l'accent sur l'adaptation de l'accouplement qui se fixe dans une population en tant qu'individus «reconnaisant» certaines caractéristiques des compagnons appropriés.

I.2. La spéciation

I.2.1. Définition

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, c'est-à-dire sur l'existence de facteurs biologiques (barrières) qui empêchent les membres de deux espèces de produire des hybrides viables et féconds. De telles barrières bloquent le flux génétique entre les espèces et limitent la formation d'hybrides, c'est-à-dire de descendants issus d'un accouplement entre deux espèces.

Pour décrire les différents modèles de spéciation (c'est-à-dire la formation de nouvelles espèces), on peut prendre en considération soit la nature des mécanismes impliqués, soit le statut géographique des populations concernées (Myriam, 2001) (Fig.1).

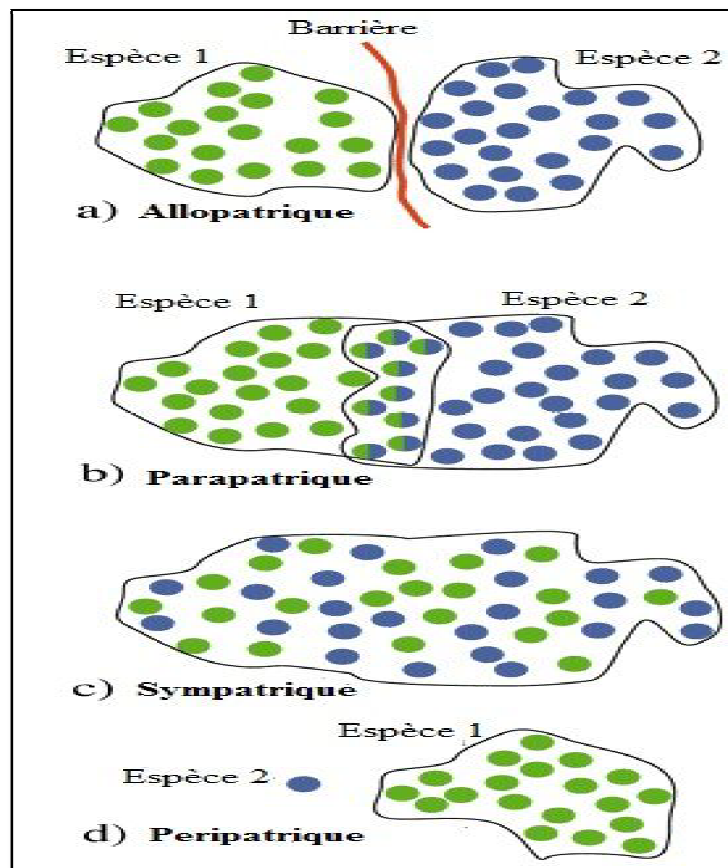


Figure 1: Modèles de spéciation basé sur des subdivisions géographiques [A]

I.2. 2. Les modes de spéciation

I.2.2.1. La spéciation allopatrique

Dans la spéciation allopatrique, les populations sont séparées par isolement géographique. Facteurs extrinsèques de spéciation – comme une grande distance ou une barrière physique – empêchant deux groupes ou plus de s'accoupler (**Campbell et al., 1999**). L'isolement physique est une barrière efficace au flux génétique et dans de nombreux cas, il est un déclencheur important pour la divergence entre les populations isolées (**Fig. 1a**). Les populations, après un certain temps, deviendront incompatible sexuellement (**Turelli et al., 2001**). La spéciation allopatrique est plus susceptible de se produire si une petite population à la périphérie de l'aire de répartition d'une espèce est isolée. Les individus en périphérie sont souvent extrêmes avec un bassin de gènes qui diffère de celui du reste de la population (**Campbell et al., 1999; Freeman et Herron, 2004**). Les combinaisons d'allèles existants avec une valeur adaptative neutre peuvent être fixées par hasard et l'évolution par sélection naturelle peut être différente de celle de la population mère (**Campbell et al., 1999**).

I.2.2.2. Spéciation parapatrique

A mi-chemin entre les spéciations allopatrique et sympatrique (voir plus bas), la spéciation parapatrique est une divergence entre populations qui échangent des migrants, mais avec des flux de gènes restreints (**Fig. 1b**).

I.2.2.3. La spéciation sympatrique

Une spéciation est dite sympatrique quand il n'existe pas des barrières extrinsèques aux flux de gènes, c'est-à-dire quand la probabilité de croisement entre individus dépend seulement de leurs génotypes (**Kondrashov, 1986**) (**Fig. 1c**). Cette spéciation exige des conditions spéciales telles que la polyploïdie, des réarrangements chromosomiques ou des modifications des comportements alimentaire ou reproducteur (**Dajoz, 2012**).

I.2.2.4. La spéciation péripatrique

Ce type de spéciation est semblable à la spéciation allopatrique, puisqu'une barrière géographique sépare la population en deux. Cependant, la taille (en nombre d'individus) d'une des deux populations est largement plus petite que l'autre (**Fig. 1d**). Ce détail, en apparence anodin, a des conséquences majeures sur l'évolution des populations (**Laporte, 2009**).

I.3. Connectivité entre populations

I.3.1. La notion de population

Dans le cadre de la biologie de la conservation et de la gestion des ressources biologiques naturelles, la notion de « population » fait référence à des notions qui relèvent à la fois de la biologie et de la génétique des populations. **Hartl (1994)** définit une population par l'ensemble des individus de la même espèce au sein d'une aire géographique restreinte, susceptibles de se reproduire entre eux.

Au sens génétique, la population est considérée comme un ensemble de sous populations, encore appelées « populations locales » ou « dèmes », génétiquement différenciées. Au sein d'une population, la distribution de diversité génétique n'est en effet généralement pas aléatoire et la différenciation génétique résulte essentiellement des échanges génétiques réduits entre les populations locales du fait de barrières aux flux de gènes, limitant par exemple la migration des reproducteurs ou de nouveaux individus (**Irwin, 2002; Hartl et Clark, 2007; Johansson et al., 2008; Puritz et Tooner, 2011; Miller et al., 2013**).

I.3.2. La métapopulation

La population générale, aussi appelée métapopulation, peut présenter différentes configurations en fonction de la taille des patches, de leur isolement relatif et des capacités de dispersion des individus (**Wilson, 1963, 1967 ; Hanski et Gilpin 1991**). L'entretien démographique, et même la persistance des populations locales dépend du rapport entre les taux de colonisation et d'extinction pour chaque patch. Ainsi, même si la métapopulation persiste dans le temps, des populations locales peuvent disparaître, alors que d'autres peuvent persister ou apparaître.

La population générale est par conséquent composée de populations locales (une population locale établie au sein de chaque patch) démographiquement connectées via l'échange de larves planctoniques (**Grosberg et Cunningham, 2001; Gaines, 2007; Lipcius et al., 2008; Pinsky et al., 2012**). La connectivité est réalisée lorsque des larves, produites à un site donné, ont pu recruter à distance de leur lieu de naissance, intégrer d'autres populations locales et survivre jusqu'à leur maturité sexuelle.

I.4. La migration en milieu marin

La migration, signifiant « changer de séjour », est un phénomène ubiquitaire, retrouvé chez un grand nombre d'espèces eucaryotes.

Elle se définit par un mouvement actif d'un organisme ou d'un groupe d'organismes, d'un habitat vers un autre. On exclut de cette définition la migration passive par le vent et l'eau ou par d'autres moyens de déplacements que ceux propres à l'animal (transport volontaire d'animaux par exemple) (**Immelmann et Beer, 1990**). Le trajet parcouru varie de quelques kilomètres à plusieurs milliers de kilomètres : on définit alors des migrations courtes distances, telles que les migrations altitudinales, et les migrations longues distances (**Mc Guire et Fraser, 2014**). Par ailleurs, la migration est un mouvement périodique ou saisonnier d'une population, à partir d'une aire, d'une strate ou d'un climat et atteignant respectivement un autre. Elle se résume à tout mouvement général d'une population ou d'un individu, qui affecte sa distribution géographique. La migration peut aussi bien être un aller simple qu'un aller-retour et ce dernier peut se faire sur plusieurs générations (**Immelmann et Beer, 1990; Liedvogel et al., 2011**).

La migration est à différencier de la dispersion, phénomène où les individus d'une même espèce s'éloignent les uns des autres, individuellement, sans direction particulière, à partir du site de reproduction, à la recherche de nourriture. La dispersion comprend en outre le phénomène d'exploration active de différents habitats afin d'y choisir le meilleur site en terme de qualité et de quantité de ressources (**Liedvogel et al., 2011**).

Les migrations ne s'effectuent pas toutes à la même période, bien qu'elles se produisent le plus souvent au printemps et en automne. Elles sont en relation avec le cycle de reproduction, qui se déroule principalement au printemps ou en été, et la période de croissance des individus juvéniles, qui nécessite une zone adaptée en termes d'alimentation. Ainsi, on retrouve sur certains cours d'eau, des migrations en continu tout au long de l'année (**Croze et Larinier, 2001**).

I.5. La phase larvaire

Une très grande diversité existe parmi les larves d'invertébrés marins, celles-ci se distinguant par leur morphologie, leur durée de vie larvaire, leur comportement natatoire, et leur mode de nutrition. Deux types de larves sont couramment définis selon ce dernier critère : les larves lécitotrophes, dont la croissance dépend des réserves maternelles contenues dans l'œuf, et les larves planctotrophes, qui se nourrissent d'organismes planctoniques. Au regard de leur durée de vie, **Levin et Bridges (1995)** ont proposé de distinguer trois catégories de larves : les larves anchiplaniques dont la durée de vie varie entre quelques heures et quelques jours, les larves actaeplaniques d'une durée de vie comprise entre une semaine et deux mois, les larves téléplaniques dont la durée de vie excède deux mois. Les larves planctoniques d'organismes à cycle benthopélagique constituent le microplancton (**Fig. 2**).

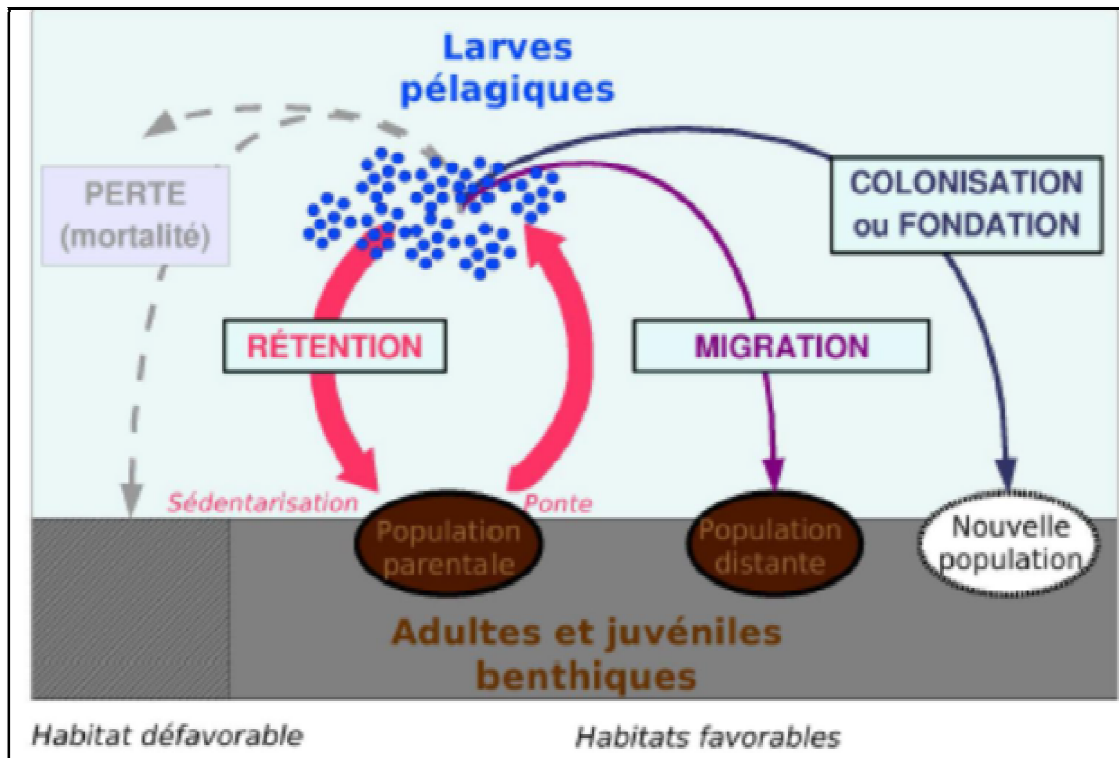


Figure 2 : Cycle de vie benthopélagique des invertébrés marins (Ayata, 2010).

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 (Eckman, 1996; Thorson, 1950). L'avantage évolutif de l'existence d'une phase larvaire planctonique a donc été discuté, en particulier par Pechenik (1999) et 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.

Ainsi, 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 valeur sélective du fait de croisements entre individus issus de populations très éloignées « *outbreeding depression* »,
- 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.

En revanche, les principaux avantages que confère l'existence d'une phase larvaire planctonique sont liés à son potentiel de dispersion loin des populations parentales (**Pechenik, 1999, Eckert, 2003; Ronce, 2007**). Ce qui permet ainsi :

- une réduction de la compétition pour la nourriture entre larves apparentées 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**).

II. La mer Méditerranée

Bien que notre étude se soit établie sur la côte algérienne, et plus précisément la région de Mostaganem (voir chapitre 2), nous décrivons brièvement les caractéristiques générales de la mer Méditerranée ainsi que sa courantologie.

La Méditerranée est située entre 30° et 44° Nord, excepté la mer Adriatique qui atteint 46° Nord. C'est une mer presque fermée qui communique avec l'océan Atlantique par le détroit de Gibraltar, large de 14Km et profonde de 286 m ; elle est en relation avec la mer Noire par les Dardanelles et le Détroit du Bosphore (*in Borsali, 2007*) (**Fig. 3**).

Traditionnellement, elle comporte deux régions ou Bassins, le bassin occidental et le Bassin oriental. Actuellement la Méditerranée est divisée en trois bassins.

- Le bassin Algéro-provençal et tyrrhénien, situé à l'Ouest.
- Le bassin Adriatico-Ionien, formé par la Mer adriatique et la Mer Ionien, situé au centre.
- Le bassin Egé-levantin constitué par la mer Egée et le bassin du levant à l'Est.

Chaque bassin est subdivisé en plusieurs régions ; chacune d'elles est caractérisée par son propre climat, son hydrologie et par diverses autres influences qui s'y ajoutent (*in Terbeche, 2007*).

La Méditerranée est une mer qui appartient à la zone aride des océans, c'est à-dire que les précipitations et les apports de bassins versants ne suffisent pas à compenser les pertes dues à l'évaporation. Des échanges avec la mer Noire et surtout avec l'Atlantique permettent de combler ce déficit. L'étroitesse des passages reliant la Méditerranée et la mer Noire, ainsi que leur faible profondeur, limitent considérablement les échanges. L'apport principal est dû à l'Atlantique (*in Boutiba et al., 2003*). Les échanges se font à l'aide d'un double courant :

- Un courant sortant situé entre 150 et 300m de profondeur (Méditerranée-Atlantique)
- Un courant entrant qui se situe entre la surface et une profondeur de 150m



Figure 03 : Présentation de la Méditerranée (Google Earth, 2019).

II.1. Hydrodynamisme

La circulation générale de la mer Méditerranée est soumise à l'influence de plusieurs courants, jets et méandres. Ainsi que des tourbillons qui sont des courants circulaires fermés ou quasi fermés de différents diamètres (Lascartos, 1998).

Les masses d'eau du bassin occidental sont bien spécifiques, 83% d'eau d'origine Atlantique passe par le détroit de Gibraltar et 27% provient des apports des grands fleuves (in Borsali, 2007) (Fig. 4). Millot (1985, 1987) a signalé l'existence de trois masses d'eau qui se superposent

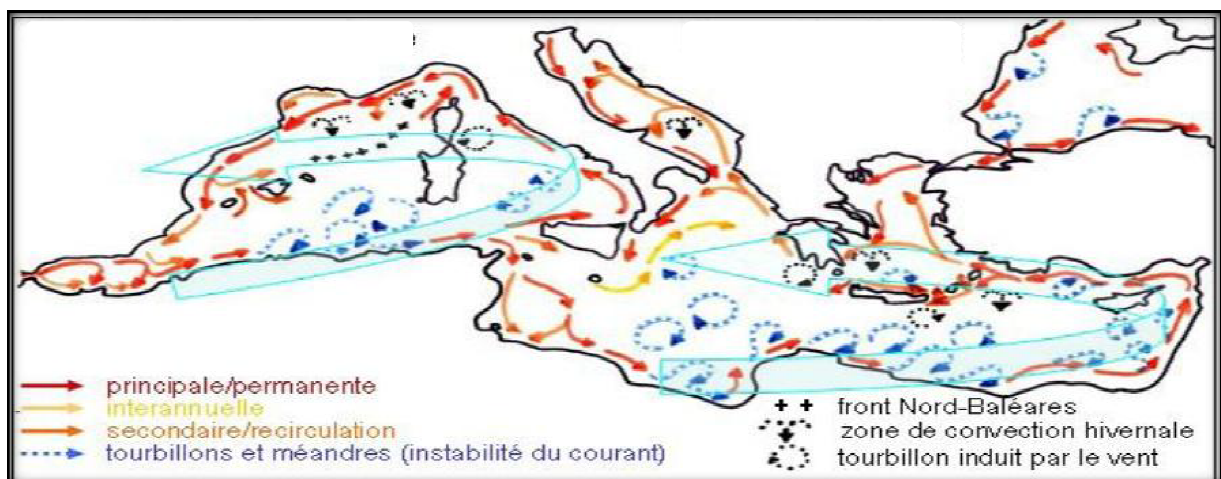


Figure 4 : Circulation générale de l'eau de surface en Méditerranée (D'après Millot et Taupier-Letage, 2005).

II.2. Masses d'eau de surface

C'est une couche superficielle d'une épaisseur de 50 à 200m, dont l'origine est l'eau atlantique pénètrent par le détroit de Gibraltar quittant les côtes espagnoles pour rejoindre les côtes algériennes (in **Boutiba, 1992**), où il prend le nom de « courant algérien », et dont les propriétés physiques évoluent au fur et à mesure de son parcours cyclonique dans le bassin, de 36.18 ‰ à Gibraltar, la salinité est croissante pour atteindre 38.04 ‰ au large de Nice (**Millot, 1985**). La quantité de ce flux est estimé à environ 1 Sv (Sverdrup = 1million de m³/seconde) (in **Borsali, 2007**).

Ce courant coule le long des côtes, mais des 1-2 E°, son caractère instable se manifeste en formant une puissante Gyre anticyclonique : des anticyclones jusqu'aux côtes françaises et espagnoles où il prend la dénomination du courant liguro-provençal (**Lascartos, 1998**).

Ces masses d'eau provoquent des résurgences d'eaux côtières ou upwelling, qui quittent la côte vers le bassin algérien qui devient alors réservoir d'eau atlantique et reviennent parfois vers la côte pour interagir avec le courant (**Taupier-Letage et Millot, 1988**).

II.3. Masses d'eau Levantines Intermédiaire – L.I.W

C'est une couche intermédiaire relativement chaude, 14.22°C à son origine et de salinité très élevée 38.74 ‰ au détroit de Sicile. Elle s'écoule par ce dernier et remonte le long des côtes de Sardaigne, ainsi cette eau se refroidit et s'adoucit au fur et à mesure de son parcours vers le Nord 38.55 ‰ et 13.4°C, où elle occupe normalement la strate de 200m à 500m de profondeurs, cette couche se trouve riche en sels nutritifs (**Terbeche, 2007**).

D'après **Millot (1987)**, les poches de L.I.W rencontrées dans le bassin algérien ont sans doute été entraînées là depuis les côtes de Sardaigne par les tourbillons de moyenne échelle ; il n'existe pas de circulation propre d'est en ouest de l'eau intermédiaire dans le bassin algérien (**Taupier-Letage et Millot, 1988**).

II.4. Masse d'eau profonde

Elle se forme en hiver. Dans le Nord du bassin occidental (Golf de lion et bassin liguro-provençal) : elle résulte des plongées d'eau superficielle et intermédiaires refroidies sous l'action des phénomènes atmosphériques (vents mistraux et tramontanes) qui sévissent pendant la saison d'hiver. C'est l'augmentation de sa densité qui lui permet de plonger et d'occuper ainsi le fond (**Millot, 1987**).

Les eaux présentent une homogénéisation extrême dans tous le bassin méditerranéen riche en sels nutritifs, assez salées 38.40 ‰, de température 12.7C° et de densité 29.11. Cette couche occupe la totalité du volume restant : au-delà de 500m dans le bassin occidental et de 700m dans le bassin oriental (**Taupier-Letage et Millot, 1988**).

II.5. Salinité

La Méditerranée est connue, pour être un bassin de concentration où l'évaporation excède les apports fluviaux et les précipitations, est responsable d'une baisse de niveau de la mer estimée à 1m par an, ce qui implique une mer à bilan négatif (*in* **Boutiba, 1992**).

Ce déficit est compensé par un flux entrant d'eau atlantique par le détroit de Gibraltar, plus légère et plus mobile ayant une salinité de 36.2 ‰ (**Benzohra, 1993**). Les données de **Millot (1985)** ont montré d'importantes variations de la salinité entre les différentes masses d'eau qui se superposent, mais selon **Berenger (1955)**, elle augmente du détroit de Gibraltar au bassin oriental.

II.6. Température

La température de l'eau de surface est liée étroitement à la température atmosphérique, et varie en fonction des raisons que qu'elle résulte des mouvements antagonistes, les uns d'échauffement, d'autres de refroidissement. Les eaux de la Méditerranée sont relativement chaudes au dessus des 400m, la température ne décroît plus et reste inchangée 12.5C° (**Berenger, 1955**). A partir de ce niveau de profondeur la Méditerranée se retrouve être un véritable réservoir de chaleur (**Pagney, 1994**).

II.7. Mouvement des eaux marines

Le courant à l'origine entre par le détroit de Gibraltar et longe le bassin occidental formant un circuit complet : des côtes algériennes, il continue le long de la côte Nord de Sicile pour remonter vers le Nord Ouest en suivant les côtes italiennes, se dirige ensuite vers l'ouest dans le golfe de Gênes pour finir vers le Sud Ouest sur les côtes espagnoles (*in* **Borsali, 2007**). A ce mouvement d'eau d'importants impacts sur la distribution de nombreux organismes marins vu sa grande richesse en sels nutritifs.

II.8. Les Houles

Les houles existent au large et au niveau des côtes agissent parfois jusqu'à 200m de profondeur. En Méditerranée la houle est de petite amplitude, cependant parfois très violente dans certains cas extrêmes. Elle peut atteindre 9 mètres (1934 dans le port d'Alger) ou encore 14 mètres afin de

dévaster le littoral (1931, sur la côte de Bizerte). **Leclaire (1972)** a étudié les effets des houles le long du littoral algérien, et arriva à caractériser le régime saisonnier de ces houles avec deux directions principales :

- Une direction W.N.W (300°) dont 80% se produisent pendant l'été et durent en moyenne de 8 à 10 secondes.
- Une direction N.N.E (20 – 40°) dont la majorité se produit pendant l'hiver.

II.9. Caractéristique de la côte algérienne

Le bassin algérien occupe la majeure partie du sud de la Méditerranée occidentale. Grâce à ses caractéristiques géographiques, ce bassin est un élément clé de la zone pour la circulation générale des masses d'eau dans la Méditerranée occidentale (**Millot, 1999**). Selon **Millot (1987)**, le bassin algérien dépasse les 2600 m de profondeur et est décrit comme une zone d'accumulation de mélange et de transformation des eaux atlantiques. Sans cette couche superficielle, des veines d'eau intermédiaire s'écoulent vers le milieu du bassin Algéro-provençal. Le bassin est considéré comme un réservoir tampon pour l'eau atlantique modifiée entre les détroits de Gibraltar et de Sicile. Son dynamique est dominée par l'interaction entre les eaux Atlantique d'origine récente et les eaux plus denses résidents.

Selon **Pinardi et Navarra (1993)**, la circulation dans le bassin algérien, est cyclonique en hiver et anticyclonique durant l'été. Millot et al. (1977) ont mesuré une température entre 13.08 et 14.24°C mesuré au centre du bassin algérien. Tandis que **Benzohra et Millot (1995)** ont mesuré une température comprise entre 12,7 et 13,1°C dans la partie ouest du bassin algérien.

Long des côtes algériennes, la circulation de l'eau atlantique (Courant algérien) laisse une empreinte indélébile dans les eaux du littoral. Elle induit une dynamique côtière assez caractéristique qui assure le renouvellement des eaux des baies et contribue à la détermination incontestable des niveaux de fertilité trophique (**Grimes et al., 2004**).

Le réservoir aqueux est, en particulier, un des compartiments les plus difficiles à étudier en raison des fréquentes et surtout aléatoires fluctuations de ses caractéristiques (**Grimes et al, 2004**).

III. La morphométrie géométrique

III.1. Les objectifs des études morphométriques

Les objectifs sont d'une part, d'identifier les homologies ou les variations morphologiques entre différentes espèces, d'autre part de déterminer la phylogénie des espèces étudiées, c'est-à-dire d'établir les relations de parenté entre ces espèces. Leur connaissance permet de mieux comprendre l'évolution à partir d'un ancêtre commun (**Bookstein, 1991**).

III.2. Principe de la morphométrie géométrique

La morphométrie consiste à déterminer les données morphométriques par les mensurations d'un spécimen telles que la hauteur, la longueur ... Les valeurs étant souvent réduites en pourcentage d'une autre. La morphométrie est donc une partie de l'étude scientifique de la morphologie d'un organisme.

Deux approches sont utilisées en morphométrie géométrique :
L'étude par les contours de Fourier ou par les points homologues.

III. 2. La méthode de la transformée des ellipses de Fourier

III.2.1. Principe de la transformée de Fourier

Le son, la couleur et les autres éléments avec lesquels nous interagissons dans notre vie quotidienne sont caractérisés par des fonctions: À chaque point de l'espace et à chaque instant, les fonctions produisent des signaux que nous sommes en mesure de détecter. Le meilleur moyen d'analyser les caractéristiques d'un signal consiste à étudier ses fréquences. Dans un signal sonore, par exemple, les fréquences sont responsables de ce que nous sommes habitués à identifier comme un son aigu ou grave (**Gomes et Velho, 1999**). En outre, la distinction du rouge au vert est capturée dans la fréquence de l'onde électromagnétique associée. Pour analyser le contenu fréquentiel d'une fonction, nous devons d'abord répondre à la question suivante: Quelle est la fréquence d'une fonction? La réponse à cette question se trouve dans la « transformée de Fourier ».

Cette opération mathématique décompose une fonction complexe en une somme de fonctions trigonométriques simples. Méthode décrite par Joseph Fourier (1768-1830): une fonction périodique (le signal d'origine) va être approximée par une somme de fonctions trigonométriques de longueur d'onde décroissante (Harmoniques) qui décompose une fonction complexe en une somme de fonctions trigonométriques simples. Sous certaines conditions de continuité et de dérivation, tout signal périodique de pulsation ω (ou de fréquence $f = \frac{\omega}{2\pi}$) et de pas (t) peut s'écrire sous la forme d'une « série de Fourier » comme suit :

$$f(t) = A_0 + \sum_{n=1}^{+\infty} A_n \cos n \omega t + \sum_{n=1}^{+\infty} B_n \sin n \omega t$$

Le coefficient A_0 est la valeur moyenne de $f(t)$:

$$A_0 = \langle f(t) \rangle = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) dt$$

Sachant que $T=2\pi$, le coefficient A_n se calcule avec la formule :

$$A_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) \cos(n\omega t) dt$$

Et le coefficient B_n se calcule donc avec la formule :

$$B_n = \frac{2}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} f(t) \sin(n\omega t) dt$$

L'amplitude de rang n « H_n » s'écrit :

$$H_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}$$

III.2.2. Analyse des contours (ellipses) par la transformée de Fourier

L'analyse du contour (Outline Shape Analysis) fait appel soit à l'analyse par « Eigenshape, soit à l'analyse de Fourier (**Lohman, 1983; Granlund, 1986**). **Rholf (1986)** a réalisé une synthèse montrant le lien entre les différentes techniques et a démontré que les résultats obtenus par ces deux méthodes sont relativement semblables. C'est le cas également pour **Foster et Kaesler (1988)** qui ont conclu que l'une ou l'autre méthode peuvent apporter des résultats biologiquement raisonnables. Néanmoins, **Bookstein (1998)** a noté que la méthode « Eigenshape » pose de nombreuses difficultés d'interprétation.

Le choix de l'analyse de Fourier comme méthodologie appropriée repose sur le fait qu'elle possède une propriété importante, celle de la Transformée inverse de Fourier. Cette dernière permet de reconstruire la forme à partir du certain nombre de coefficients de Fourier. Elle permet également, non seulement de visualiser les ressemblances et dissemblances entre les différents taxa, mais aussi

de calculer la moyenne des coefficients de Fourier d'un grand nombre de contours et de produire une forme moyenne d'une population donnée (**Bachnou et Boughdiri, 2005**).

Les méthodes d'analyses de contour de Fourier doivent leur développement en partie aux nombreux cas d'organismes biologiques qui ne possèdent pas un nombre suffisant de points homologues mais aussi parce que des différences de forme peuvent se situer entre ces derniers. Dans ces cas nombreux, ce sont les structures biologiques elles-mêmes, telles que la surface occlusale d'une dent, une surface articulaire, le bord antérieur d'une scapula ou la coquille d'une patelle... qui sont considérés comme homologues d'un spécimen à l'autre (**Cucchi et al., 2015**).

Nous avons vu précédemment que les transformées de Fourier permettent de décrire une fonction périodique en la décomposant en une série infinie de fonctions trigonométriques de longueur d'onde décroissante (les harmoniques) définies par des termes sinus et cosinus, eux-mêmes pondérés par des coefficients a_n et b_n (les coefficients de Fourier) (**Fig. 5A**). Plus la longueur d'onde décroît, plus l'harmonique décrit un détail de cette fonction. Ainsi, plus on cumule d'harmoniques, plus on obtient une description précise de la fonction d'origine et donc de la forme de départ. Plusieurs fonctions ainsi décomposées peuvent donc être comparées.

L'objectif de la transformée elliptique de Fourier (TEF) est de normaliser les contours d'un corps physique précis (**Cucchi et al., 2015**). Pour un contour fermé en 2D on effectue tout d'abord une « paramétrisation » qui consiste à décomposer ce contour dans ses projections selon x et y (**Fig. 5B**).

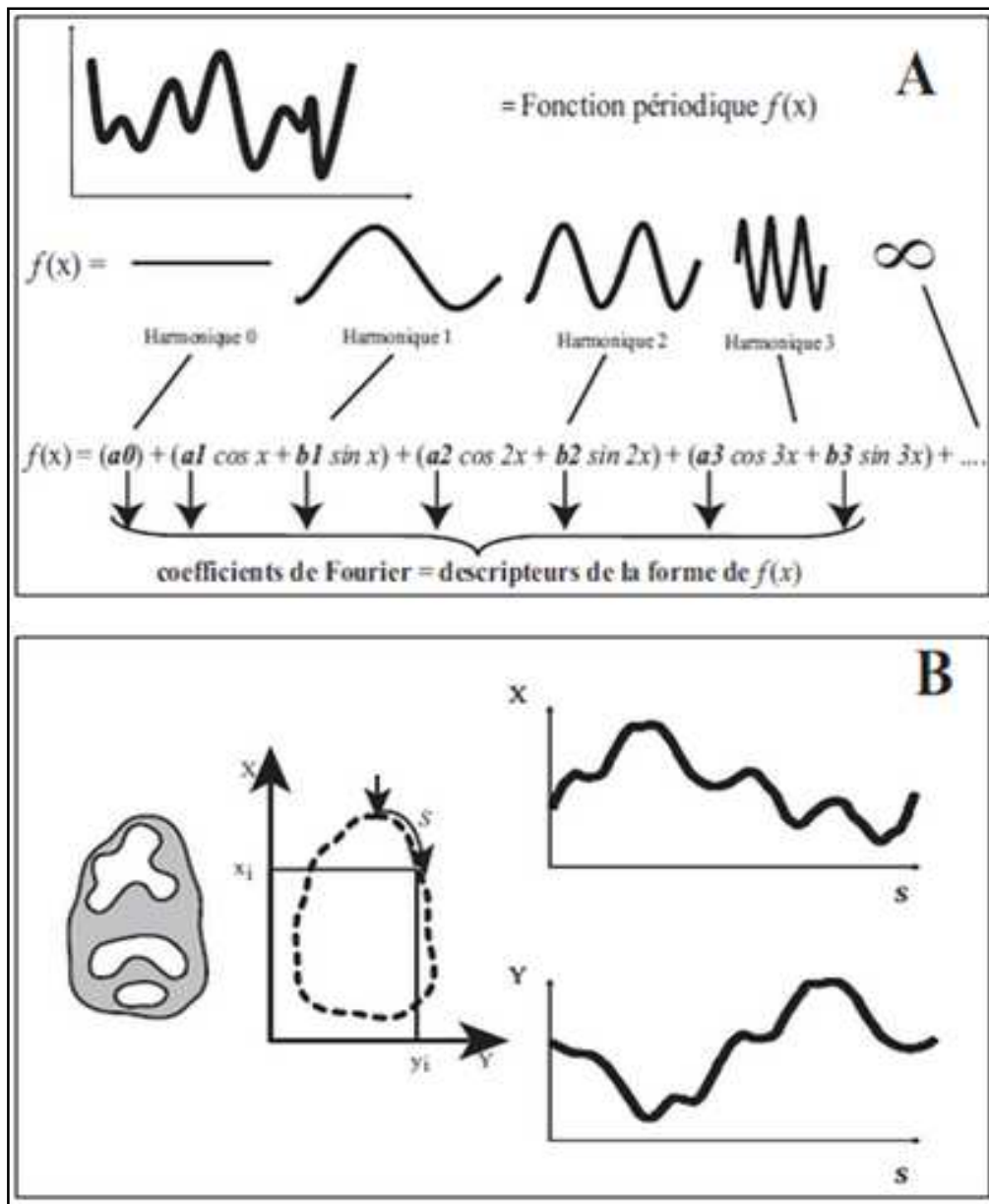


Figure 5: A, Principe de la Transformée de Fourier ; B, Le contour externe de la vue occlusale d'un molaire bunodonte (ici première molaire inférieure de muriné) génère deux fonctions périodiques d'après l'abscisse curviligne (S) selon X et Y (Cucchi et al., 2015 in BOUZAZA, 2018).

La variation de l'abscisse curviligne (S) (distance parcourue par un point le long du contour) selon x et y permet d'obtenir deux fonctions périodiques une fois S revenue à son point de départ :

$$x_N(t) = A_0 + \sum_{n=1}^N a_n \cos\left(\frac{2n\pi t}{T}\right) + b_n \sin\left(\frac{2n\pi t}{T}\right)$$

$$y_N(t) = C_0 + \sum_{n=1}^N c_n \cos\left(\frac{2n\pi t}{T}\right) + d_n \sin\left(\frac{2n\pi t}{T}\right)$$

Ces deux fonctions peuvent être alors décomposées en série de Fourier avec a_n et b_n les coefficients des harmoniques du contour selon x et c_n et d_n les coefficients des harmoniques du contour selon y comme suit :

$$a_n = \frac{T}{2n^2\pi^2} \sum_{p=1}^K \frac{\Delta x_p}{\Delta t_p} \left[\cos\left(\frac{2n\pi t_p}{T}\right) - \cos\left(\frac{2n\pi t_{p-1}}{T}\right) \right],$$

$$b_n = \frac{T}{2n^2\pi^2} \sum_{p=1}^K \frac{\Delta x_p}{\Delta t_p} \left[\sin\left(\frac{2n\pi t_p}{T}\right) - \sin\left(\frac{2n\pi t_{p-1}}{T}\right) \right],$$

$$c_n = \frac{T}{2n^2\pi^2} \sum_{p=1}^K \frac{\Delta y_p}{\Delta t_p} \left[\cos\left(\frac{2n\pi t_p}{T}\right) - \cos\left(\frac{2n\pi t_{p-1}}{T}\right) \right],$$

$$d_n = \frac{T}{2n^2\pi^2} \sum_{p=1}^K \frac{\Delta y_p}{\Delta t_p} \left[\sin\left(\frac{2n\pi t_p}{T}\right) - \sin\left(\frac{2n\pi t_{p-1}}{T}\right) \right],$$

D'après **Kuhl et Giardina (1982)**, la contribution de chaque harmonique, en prenant en compte à la fois la contribution selon x et selon y est une ellipse. Pour chaque harmonique, les quatre coefficients de Fourier a_n , b_n , c_n , et d_n contiennent donc l'information géométrique correspondant à cette ellipse (excepté l'harmonique 0 qui ne contient que deux coefficients). L'ellipse de l'harmonique 1 sera utilisée pour filtrer les effets de position, taille et orientation des configurations de points (**Ferson et al., 1985 ; Crampton, 1995**). Selon (**Kuhl et Giardina, 1982**), les coefficients de Fourier et les paramètres de tailles (périmètre ou racine carrée surface) de l'harmonique 1 seront utilisés respectivement comme variables de conformation et de taille pour des analyses statistiques. Prenons l'exemple d'une feuille de velours (**Fig. 6**).

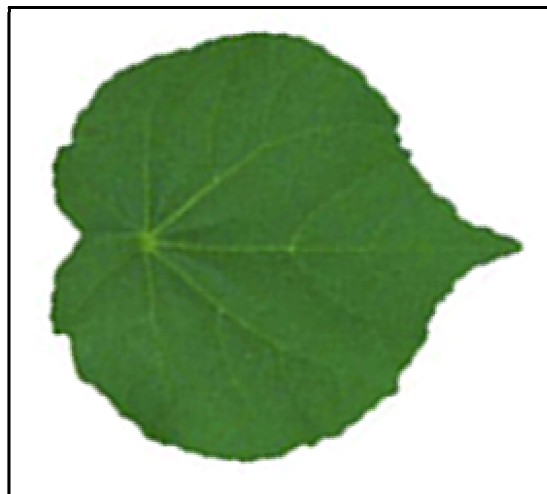


Figure 6: Image d'origine d'une feuille de velours avant normalisation de son contour.

Afin de normaliser un contour, son image doit être binarisées et fractionnées (**Fig. 7A**) suivant une chaîne de code (**Fig. 7B**) en utilisant une séquence de lignes droites d'une longueur et dans une

direction spécifiées (**Fig. 7A**). On utilise les notions de connectivités entre pixels à huit situations. La direction de la connexion entre pixels est codée par un schéma numérique (**Fig. 7B**).

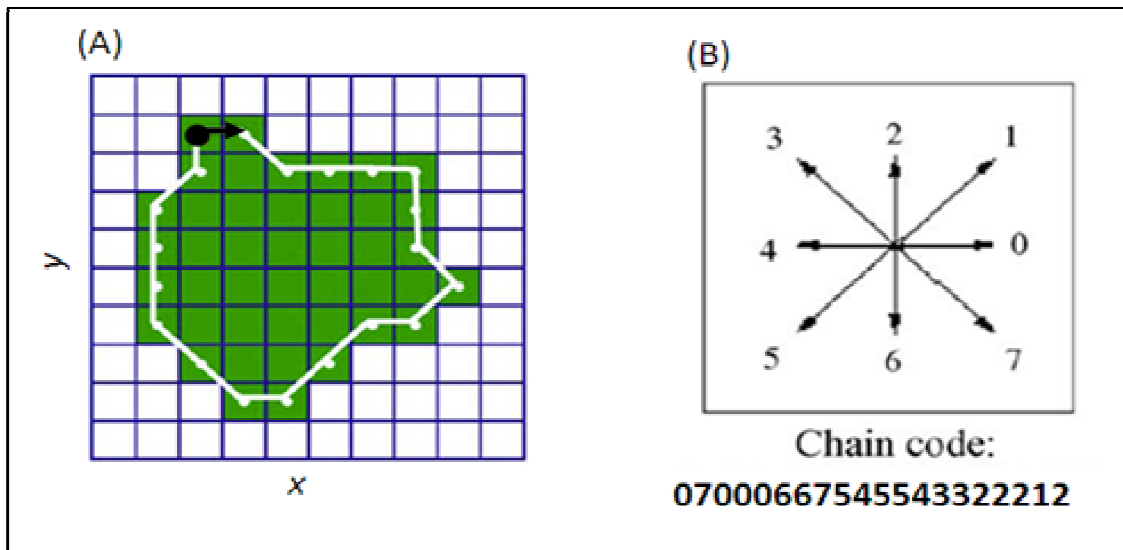


Figure 7: Création d'une chaîne de code à partir d'une image fractionnée. A, Image fractionnée binarisée ; B, chaîne de code (à huit situations) commençant depuis le point noir à gauche (*in* **BOUZAZA, 2018**)

En se basant sur la chaîne de code établit, on procède à la normalisation du contour le plus fidèle possible à l'image d'origine. Le détail du contour augmente avec l'augmentation des harmoniques pris en compte (**Fig. 8**).

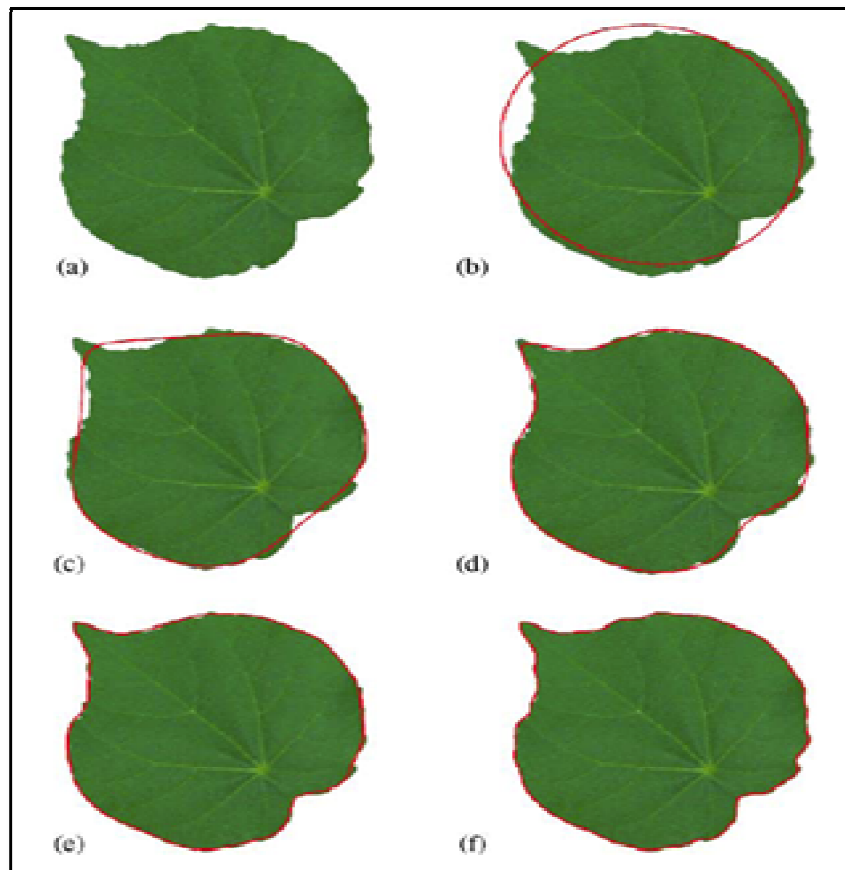


Figure 8: Approximation de la forme d'une feuille de velours par des ellipses de Fourier (EF) (en rouge). A, image d'origine ; b, premiers harmoniques de l'EF; c, quatrièmes harmoniques de l'EF; d, huitièmes harmoniques de l'EF; e, seizième harmoniques de l'EF; f, trentième harmoniques de l'EF.

Le contour correspondant aux harmoniques les plus pertinentes sera utilisé pour la normalisation finale (**Fig. 9**).

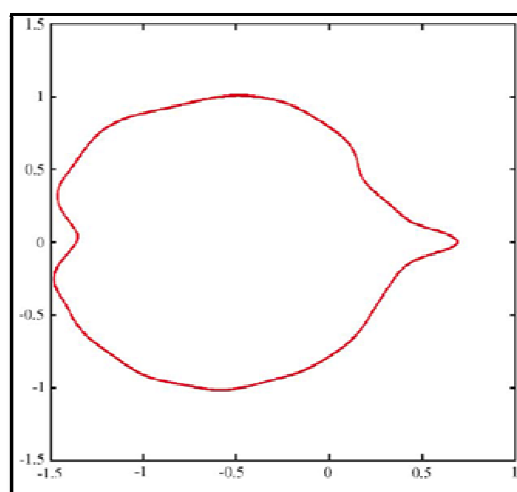


Figure 9: Corps physique après normalisation finale de son contour.

IV. Les oursins en tant que model d'études morpho-géométrique

Les oursins sont de parfaits modèles pour une étude morphométrique, grâce au fait de leur déplacement lent, ce qui permet de faire une étude comparative que ce soit entre espèces, entre sites ou même entre étagements. La forme sphérique du test de l'oursin régulier, son volume ainsi que sa gibbosité facilitent les mesures biométriques.

Notre choix s'est porté sur une espèce d'oursins réguliers *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816). L'espèce est commune et disponible même à de faibles profondeurs en Méditerranée. La disponibilité des échantillons est très importante dans les études morphométriques, car ça donne plus de valeur au travail réalisé.

IV.1. Taxinomie et répartition géographique de *Paracentrotus lividus*

La position systématique de l'oursin *Paracentrotus lividus* selon le "WoRMS" (World Register Marine Species) [B] est la suivante:

- * Règne : *Animalia*
- * Sous-Règne : *Eumetazoa* (Bütschli, 1910)
- * Infra-Règne : *Bilateria* (Haeckel, 1874)
- * Infra-Règne : *Deuterostomia* (Grobber, 1908)
- * Phylum : *Echinodermata* (Bruguière, 1791)
- * Sous-Phylum : *Echinozoa* (Haeckel, 1895)
- * Classe : *Echinoidea* (Leske, 1778)
- * Sous-Classe : *Euechinoidea* (Bronn, 1860)
- * Infra-classe : *Carinacea* (Kroh & Smith, 2010)
- * Super-Ordre : *Echinacea* (Claus, 1876)
- * Ordre : *Camarodonta* (Jackson, 1912)
- * Infra-Ordre : *Echinidea* (Kroh & Smith, 2010)
- * Famille : *Parechinidae* (Mortensen, 1903)
- * Genre : *Paracentrotus* (Mortensen, 1903)
- * Espèce : *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816)

L'oursin comestible *P. lividus* est une espèce des mers épicontinentales, à large répartition géographique, connu dans l'Atlantique de l'Irlande jusqu'aux Açores, Canaris et au Maroc, mais aussi dans toute la Méditerranée (Regis, 1987; Tortonese & Vadon, 1987) (Fig. 10).

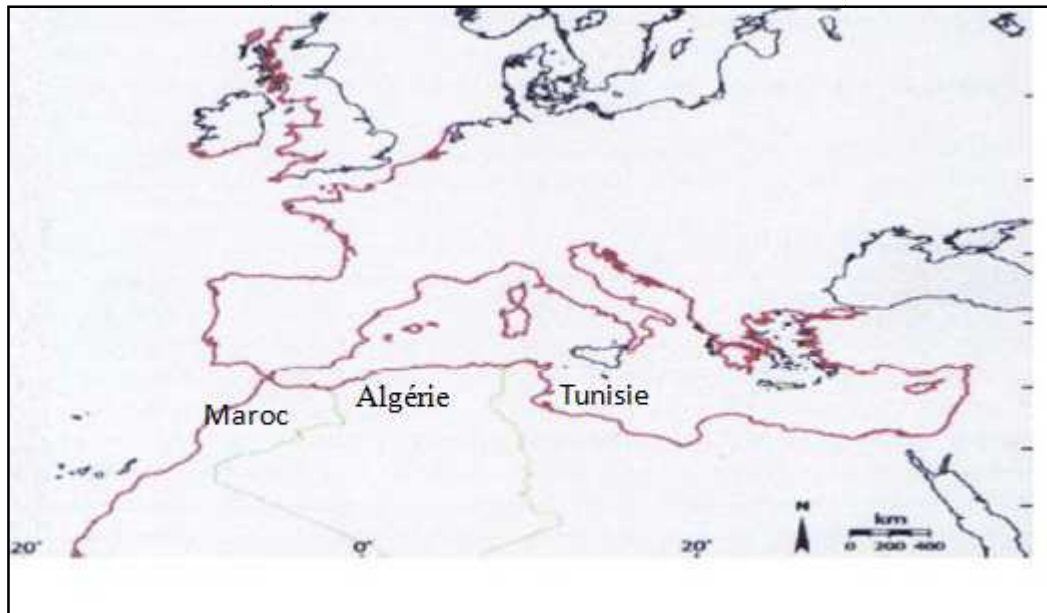


Figure10 : Répartition géographique de *P. lividus* (Fredig, 2002).

Les oursins appartiennent au phylum des Echinodermes qui comprend cinq classes : les Crinoidea, les Asteroidea, les Holothuroidea, les Echinoidea (dont les oursins en font partie) et les Ophiuroidea (Fig. 11).

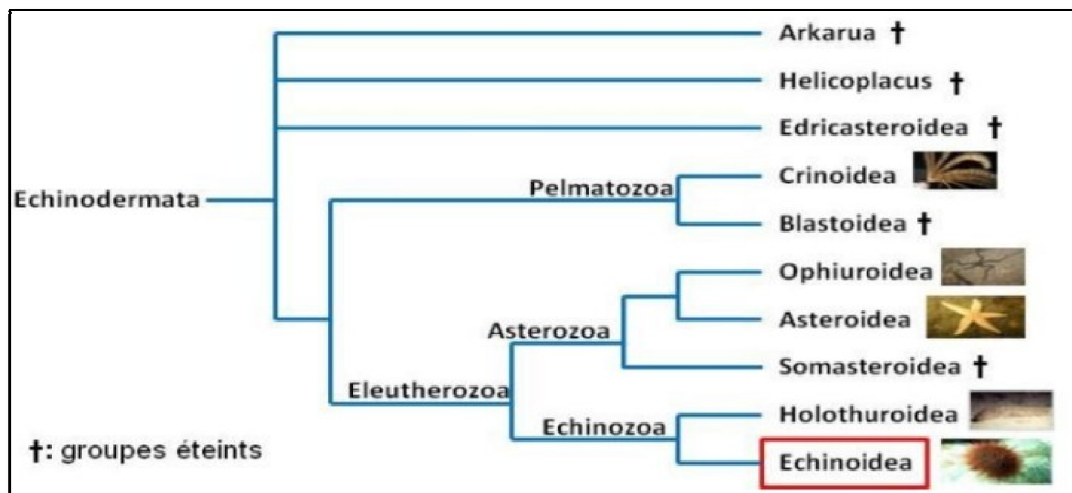


Figure 11: Arbre phylogénétique du groupe des Echinodermata (Yokota, 2002).

V.2. Biologie, écologie et exploitation de *Paracentrotus lividus*

V.2.1. Habitat

Paracentrotus lividus se rencontre surtout dans l'étage infralittoral entre 0m et 30m de profondeur (Mortensen, 1927). Il a été signalé jusqu'à -80 m (Tortonese, 1965; Fenaux, 1968; Munar et Moreno, 1987).

Il se trouve surtout dans des habitats à substrat dur (roche ou gravier avec peuplement d'algues photophiles) et dans l'herbier à *Posidonia oceanica*. Par ailleurs, *P. lividus* a été signalé aussi sur des substrats meubles tels que le sable et les fonds détritiques (**Zovodnik, 1987**).

L'intensité de l'hydrodynamisme et l'action des surfaces sont des facteurs qui conditionnent la distribution de *P. lividus* sur le substrat (**Soualili, 2008**).

En Méditerranée, *P. lividus* se trouve sur substrat dur, généralement en groupe, associé à un autre Echinoderme *Arbacia lixula* préférant les peuplements d'algues denses dont il se nourrit et souvent localisé dans les fissures et en dessous des blocs rocheux et les pentes douces (**Kempf, 1962**).

Dans les zones intertidales, *Paracentratus lividus* vit souvent dans des cavités qu'il creuse lui-même dans les roches à l'aide de ses piquants et ses dents (**Verlaque et Nedelec, 1983**). Il se tient généralement entre les rhizomes de l'herbier à *Posidonia océanica* (**Kempf, 1962; Semroud, 1993; Guettaf, 1997**) et monte sur les feuilles la nuit (**Kempf, 1962**) et parfois le jour (**Azzolina, 1988**).

IV.2.2. Caractères morphologique

IV.2.2.1. Morphologie externe

Corps légèrement déprimé. Membrane péristoméale avec un petit nombre de plaques éparses; incisions péristoméales peu marquées. Un seul tubercule et un seul piquant primaire sur chaque plaque ambulacraire et interambulacraire; tubercules et piquants secondaires bien développés sur les plaques interambulacraires; plaques ambulacraires à 5 paires de pores, exceptionnellement 4 ou 6. Piquants robustes et pointus; mâchoires des pédicellaires globuleux munies de dents latérales et d'une seule glande, pédoncule sans glande; pédicellaires tridactyles à mors longs et étroits, au bord crénelé (**Fig. 12**). Coloration : piquants violets, verts, olives, rougeâtres ou bruns; test nu vert, à périprocte violet (**Tortonese et Vadon, 1987**).

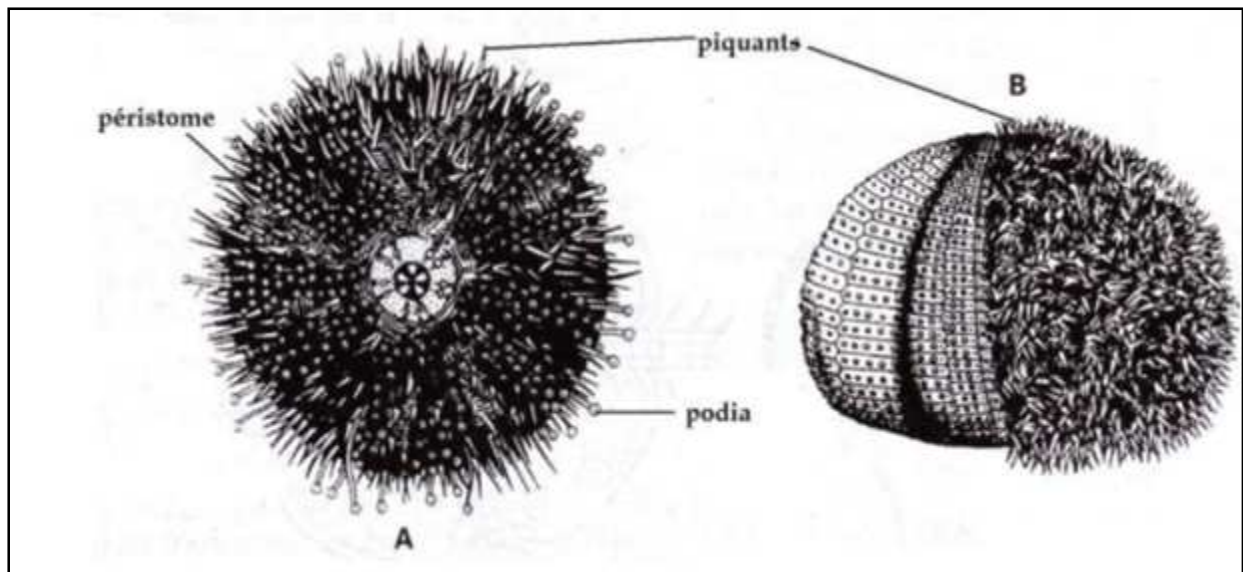


Figure 12 : Morphologie externe de l'oursin régulier *Paracentrotus lividus*. A, face orale; B, face aborale (Beaumont, 1998).

IV.2.2.1.1. Zones ambulacraires et inter-ambulacraires

Le test est divisé en dix régions méridiennes, chacune est formée d'une double série de plaques, cinq régions ambulacraires qui alternent avec cinq régions inter-ambulacraires. Il présente une symétrie pentaradiée superposée à une symétrie bilatérale (Regis, 1987).

IV.2.2.1.2. Les piquants

Ce sont des appendices calcifiés répartis sur toute la surface du test particulièrement dans les zones interambulacraires de la couronne. Ils jouent un rôle dans la protection, la défense et la locomotion (Regis, 1987). Selon leur taille, les piquants et les tubercules, sur lesquels ils s'articulent, sont appelés primaires (grands), secondaires (petits), tertiaires ou miliaires (très petits). Le piquant comprend, du sommet Vers la base, une hampe (formant la majeure partie du piquant), un bourrelet strié, et une base dont la partie inférieure est déprimée (Smith, 1980; De Ridder, 1986). Le tubercule comprend un mamelon sur lequel s'ajuste la partie concave de la base du piquant, et une zone annulaire périphérique légèrement déprimée, l'aréole (Fig. 13).

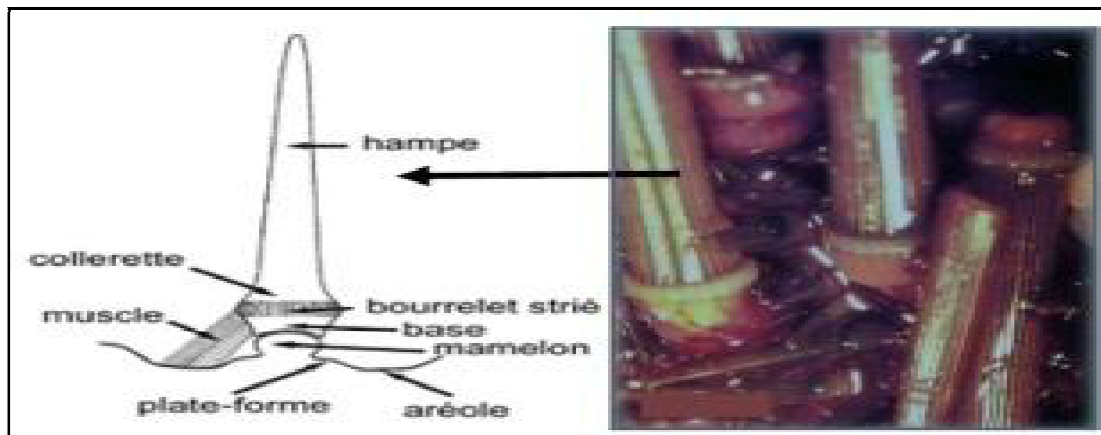


Figure 13: Piquant primaire de *Paracentrotus lividus* (DeRidder, 1986).

IV.2.2.1.3. Les podia

Les oursins peuvent se déplacer grâce à des pieds à ventouses ou pieds ambulacraires. Les pieds ambulacraires de la face dorsale sont dépourvus de ventouse. Appelés également pieds ambulacraires qui peuvent s'allonger ou se rétracter, et se terminent généralement par une ventouse. Leurs fonctions principales sont la locomotion, la respiration, la fixation et retiennent la nourriture (Fig. 13, 14).

Les piquants participent avec les podia à la locomotion et à l'ancrage des échinides sur leur substrat. Ils ont également une fonction défensive vis-à-vis des prédateurs (Strathmann, 1981; Lawrence, 1987).

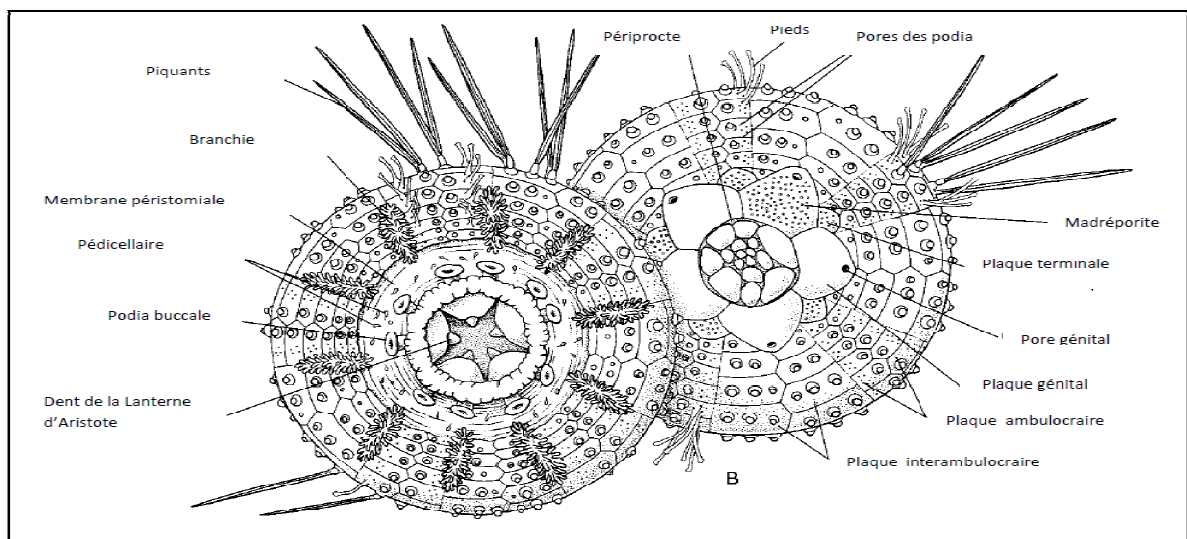


Figure14: Morphologie générale d'un oursin actuel du genre Echinides. A droite, vue du côté de l'anus (dessus de l'animal); à gauche, vue du côté de la bouche (dessous de l'animal) (Fisher, 1987).

IV.2.2.1.4. Les pédicellaires

Sont des petits organes calcifiés fixés sur le test entre les piquants. On distingue 4 types :

- Pédicellaires tridactyles ou tridentés.
- Pédicellaires ophiocéphales
- Pédicellaires trifoliés.
- Pédicellaires glandulaires.

Ils ont des fonctions multiples : capture des proies, le nettoyage du test, la défense et empêche les petits organismes de s'y fixer (Hyman, 1955; Ghyoot, 1991) (Fig.15).

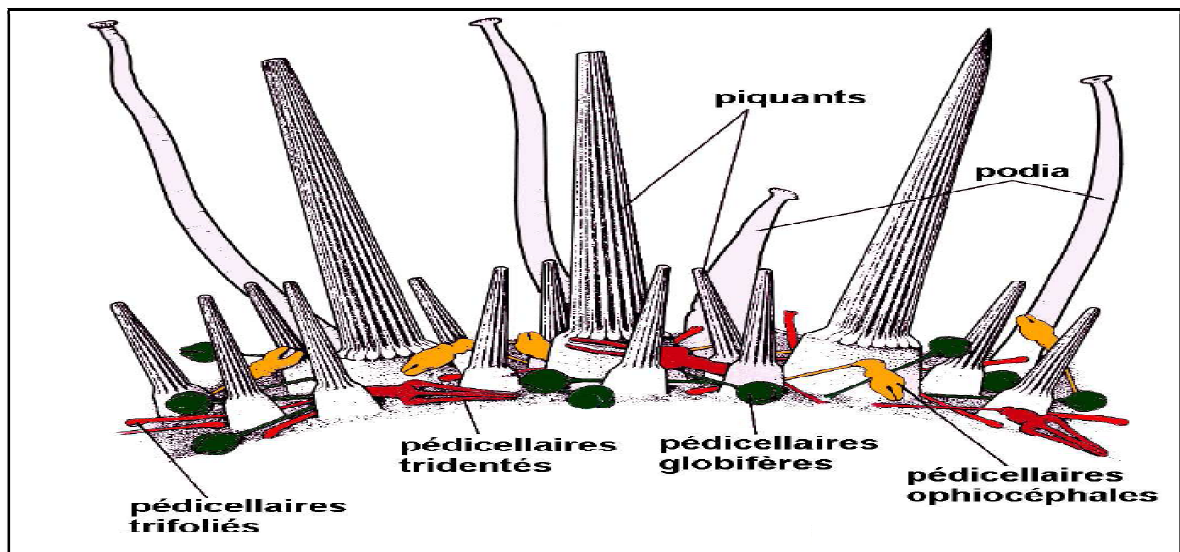


Figure15 : Piquants (primaires et secondaires), podia et pédicellaires (globifères, otridentés et trifoliés)
(De Ridder, 1986).

IV.2.2.2. Morphologie interne

Intérieurement, il y a présence d'un tube digestif qui comprend la bouche au centre de la face intérieure du test, suivi de l'œsophage entouré d'un puissant appareil appelé la lanterne d'Aristote, formé de cinq ensembles complexes ou mâchoires, l'intestin est tapissé par un épithélium cylindrique (Soualili, 2008) (Fig. 16).

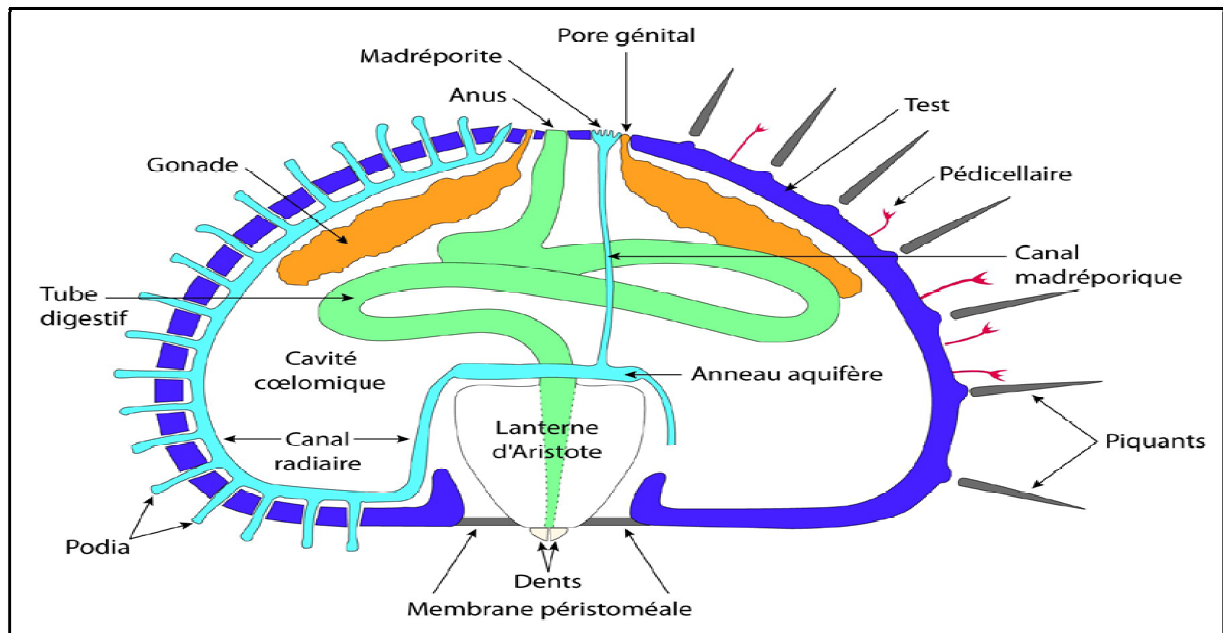


Figure 16: Schéma d'une coupe transversale du test d'un oursin régulier (Echinoidea) montrant la position des organes internes (Tortonese, 1965).

La lanterne d'Aristote est attachée au corps par une série de fibres conjonctives et des muscles, elle entoure l'œsophage, et le tube digestif, l'œsophage et le rectum sont axiaux et linéaires, mais l'estomac et l'intestin décrivent cinq boucles superposées, l'estomac est accompagnée d'un siphon ou circule l'eau et les aliments (Fig.17).

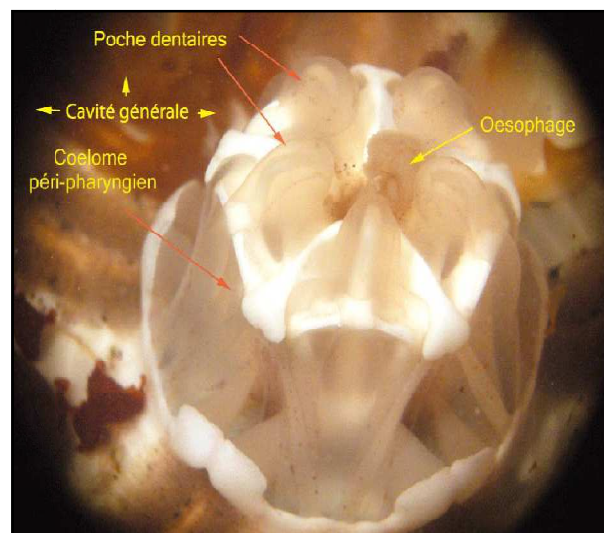


Figure 17 : Lanterne d'Aristote d'un échinidé. [C]

IV.2.3. Régime alimentaire

Paracentratus lividus est essentiellement herbivore mais dans certaines conditions, il peut être omnivore (Neill et Postor, 1973; Regis, 1978 ; Cheikh, 2017). On peut retrouver dans son contenu

digestif une fraction animale constituée de Foraminifères, de Bryozoaires et de Spongiaires (**Traer, 1980; Verlaque, 1987**).

L'analyse des contenus digestifs de cet oursin suggère que c'est un brouteur opportuniste comme le sont de nombreux Echinoides réguliers (**DeRidder et Lawrence, 1982**). *Paracentratus lividus* consomme principalement des algues photophiles (**Regis, 1978**). L'oursin livide fait preuve d'une certaine sélectivité dans l'herbier à Posidonies (**Verlaque, 1987**). Cette sélectivité dans l'alimentation varie avec sa taille. Ainsi, il passe de la consommation d'organismes de la strate encroûtante épiphyte des rhizomes et des feuilles (faune sessile) chez les juvéniles aux feuilles et à leurs épiphyte chez les individus de plus 20 mm de diamètre sans les radioles, pour enfin, consommer préférentiellement la partie la plus épiphyte de la feuille (**Traer, 1980; Nedelec et Verlaque, 1984; Verlaque, 1987**).

IV.2.4. La Reproduction

Les oursins sont des organismes ovipares gonochoriques, le cycle de reproduction commence avec l'émission des gamètes dans la colonne d'eau souvent synchrone au sein d'une population, probablement déterminée par des signaux chimiques propres aux oursins (**Pennigton, 1985**).

La reproduction peut aussi être induite par un bloom phyto-planctonique, une élévation de la température ou des contraintes hydrodynamiques (**Mcedward et Miner, 2007**).

Le long des côtes méditerranéennes, deux épisodes reproductifs ont lieu chaque année, le plus important au printemps, le second (à moindre importance) à l'automne (**Fenaux, 1994; Lopez et al., 1998; Tomas et al., 2004**). L'œuf fertilisé se développe rapidement en un échino-pluteus, larve nageuse, environ 48 heures après la fertilisation (**Fig. 18**). Le développement se poursuit pendant environ 3 à 4 semaines dans la colonne d'eau. Vers la fin du développement larvaire, un groupe de cellules situé sur la partie gauche de la larve se différencie rapidement pour donner le rudiment qui constituera le futur petit oursin.

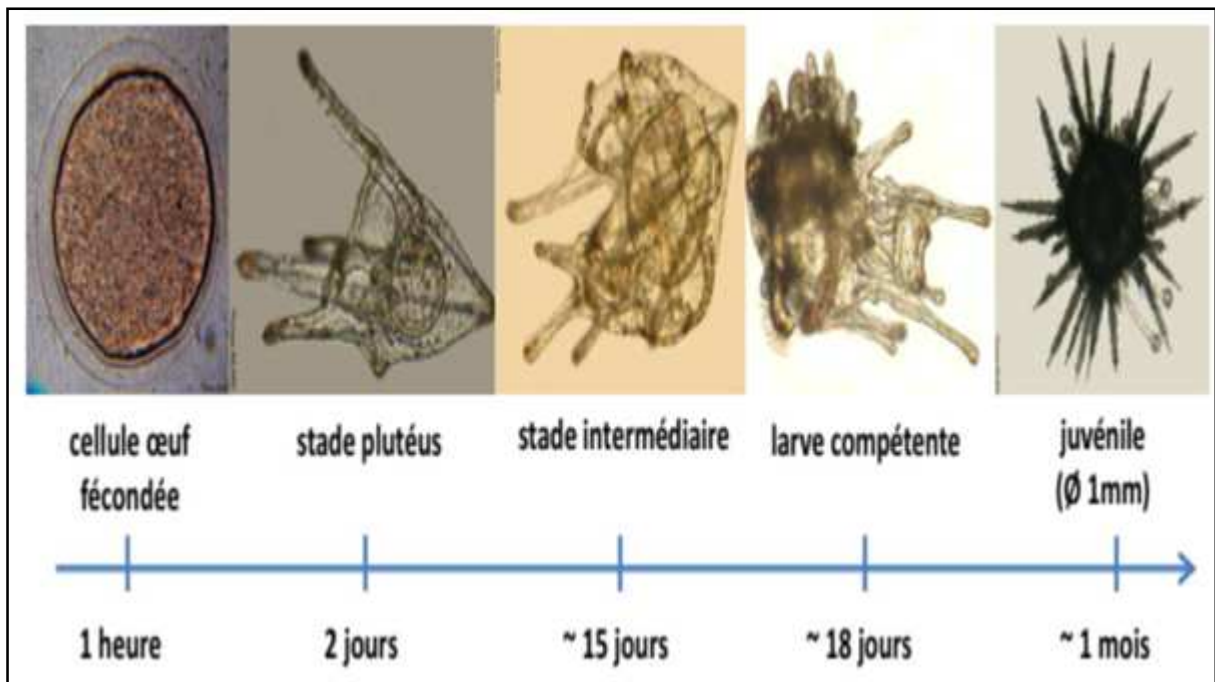


Figure 18: Chronologie du cycle de vie de l'oursin *Paracentrotus lividus* (Miard et Couvray, 2014).

IV.2.5. Prédation

En Méditerranée, les principaux prédateurs de *P. lividus* sont les poissons, et particulièrement les Sparidae *Diplodus sargus* et *Diplodus vulgaris*, capables de consommer des oursins de plus de 5 cm de diamètre, ainsi que le Labridae *Coris julis* qui est le principal prédateur des juvéniles d'oursins (Sala, 1997). Par ailleurs, il a été montré que les crustacés pouvaient avoir un rôle de micro-prédateurs de jeunes recrues d'oursins, particulièrement dans les zones à peuplement algues dressés (Bonaviri et al., 2012). En plus des prédateurs directs (ceux qui arrivent à ouvrir les oursins), plus d'une dizaine d'espèces de poissons charognards, particulièrement des labridés, consomment les restes d'oursins laissés par les prédateurs directs (Sala, 1997).

L'augmentation de la prédation des oursins dans les aires marines protégées peut avoir des conséquences importantes à l'échelle des communautés. En contrôlant les abondances de *P. lividus*, les prédateurs jouent indirectement un rôle par effet de cascade topdown sur les assemblages benthiques dominés par des organismes photosynthétiques (Sala et Zabala, 1996; Pinnegar et al., 2000; Hereu, 2004; Hereu et al., 2008) (Fig. 19).

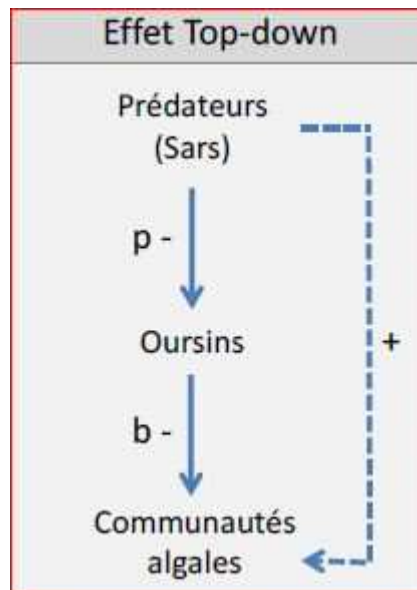


Figure 19 : Schéma d'un effet cascade impliquant des poissons prédateurs avec un contrôle direct négatif par prédation (p-), les oursins herbivores avec un effet direct négatif par broutage (b-), contrôlant les communautés algales à la base du réseau trophique. Les prédateurs ont une conséquence indirecte positive (+) sur les communautés algales. (D'après Menge, 1995; Pinnegar et al., 2000).

Cet effet est particulièrement marqué dans les eaux peu profondes (0 à 5 m), où les oursins sont couramment plus abondants et où les interactions prédateurs-oursins sont importantes (Vergés et al., 2012).

IV.3. Contexte économique

L'oursin comestible *Paracentrotus lividus* est très prisé en Europe et surtout en France. Ce produit de la mer a une haute valeur gustative, économique et traditionnelle.

En Méditerranée, la France est le deuxième consommateur mondial d'oursins, loin derrière le Japon. La production annuelle française d'oursins, essentiellement méditerranéenne et artisanale, est difficilement quantifiable. Les débarquements n'étant pas systématiquement déclarés. La tendance générale est à une diminution forte des débarquements, et à titre indicatif, seulement 28 tonnes ont été débarquées en 2012 contre près de 470 tonnes en 1975 (donnée de débarquement FAO 2012). Par conséquent, la quasi-totalité des oursins consommés en France (*Paracentrotus lividus*, *Psammechinus miliaris*, *Sphaerechinus granularis*, *Strongylocentrotus sp*) est importée, essentiellement d'Espagne, d'Italie, de Grèce et du Chili (Guidetti et Mlkjhgcvl. 2004; Boudouresque et Verlaque, 2007).

De façon similaire, le Japon, premier consommateur d'oursins au monde avec environ 60 000 tonnes d'oursins consommés par an (frais ou transformés), est devenu le premier importateur mondial après l'effondrement de sa production à partir des années 70 (**Andrew et al., 2002; Yokota, 2002**). Depuis, de nombreux pays se sont lancés dans l'exploitation de leurs ressources oursinières.

La consommation des oursins en Algérie était liée à la population d'origine européenne, notamment à l'époque de la colonisation. Aujourd'hui, leur exploitation est très faible. Il s'agit principalement d'une pratique touristique et parfois traditionnelle pour les gens qui habitent au bord de la mer (**Ouendi, 2006**).

Par ailleurs, cette espèce est considérée comme bioindicatrice de pollution. Cela a conduit divers chercheurs à faire des études sur son écologie (**Kempf, 1962; Soualili, 2008**).

Chapitre II

I. Description de la zone d'étude

I.1. Description de la côte de Mostaganem

La wilaya de Mostaganem est située au Nord-Ouest de l'Algérie et couvre une superficie de 2269 Km² avec une façade maritime de l'ordre de 120 km.

I.1.1. Caractéristiques physicochimiques de la côte de Mostaganem

I.1.1.1. Données hydrologiques et hydrodynamiques

Au niveau de la baie de Mostaganem, le courant dominant au large est d'origine atlantique. Le courant atlantique franchissant le détroit de Gibraltar est permanent au niveau des côtes algériennes, appelé courant Algérien (Millot, 1985). Le courant algérien est un courant de gravité nettement instable, qui génère des tourbillons à méso-échelle contribuant tant à la propagation et le mélange des masses d'eau (Millot, 1987; 1999).

I.1.1.2. La Salinité

La salinité de l'eau de la région de Mostaganem est de 35 ‰ dont 27‰ de NaCl, les cations les plus abondants sont : Na, k, Mg et Ca (in Benghali, 2015).

I.1.1.3. La Température

La température moyenne ne descend jamais en-dessous de 10.5°C, et ne dépasse guère les 30°C (Sellem, 1990). Par ailleurs, les jours de Sirocco (vent très chauds et secs) y sont très rares, en raison de la barrière montagneuse de l'Atlas tellien, la durée de ces vents est de 9 jours (Semroud, 1993).

La température des eaux est liée étroitement à la température atmosphérique et, ainsi, elle varie en fonction des saisons (Sellem, 1990).

I.2. Choix des stations de prélèvement

Notre étude s'est établie sur quatre sites de la côte de Mostaganem : Stidia (ST), Salamandre (SL), Sidi Mejdoub (SM) et Sidi Lakhedar (SK) (Fig. 20). Ces sites ont été choisis pour leur accès facile, pour leur abondance en oursins mais aussi pour comparer nos résultats avec d'autres études ultérieures réalisées sur ces mêmes sites.

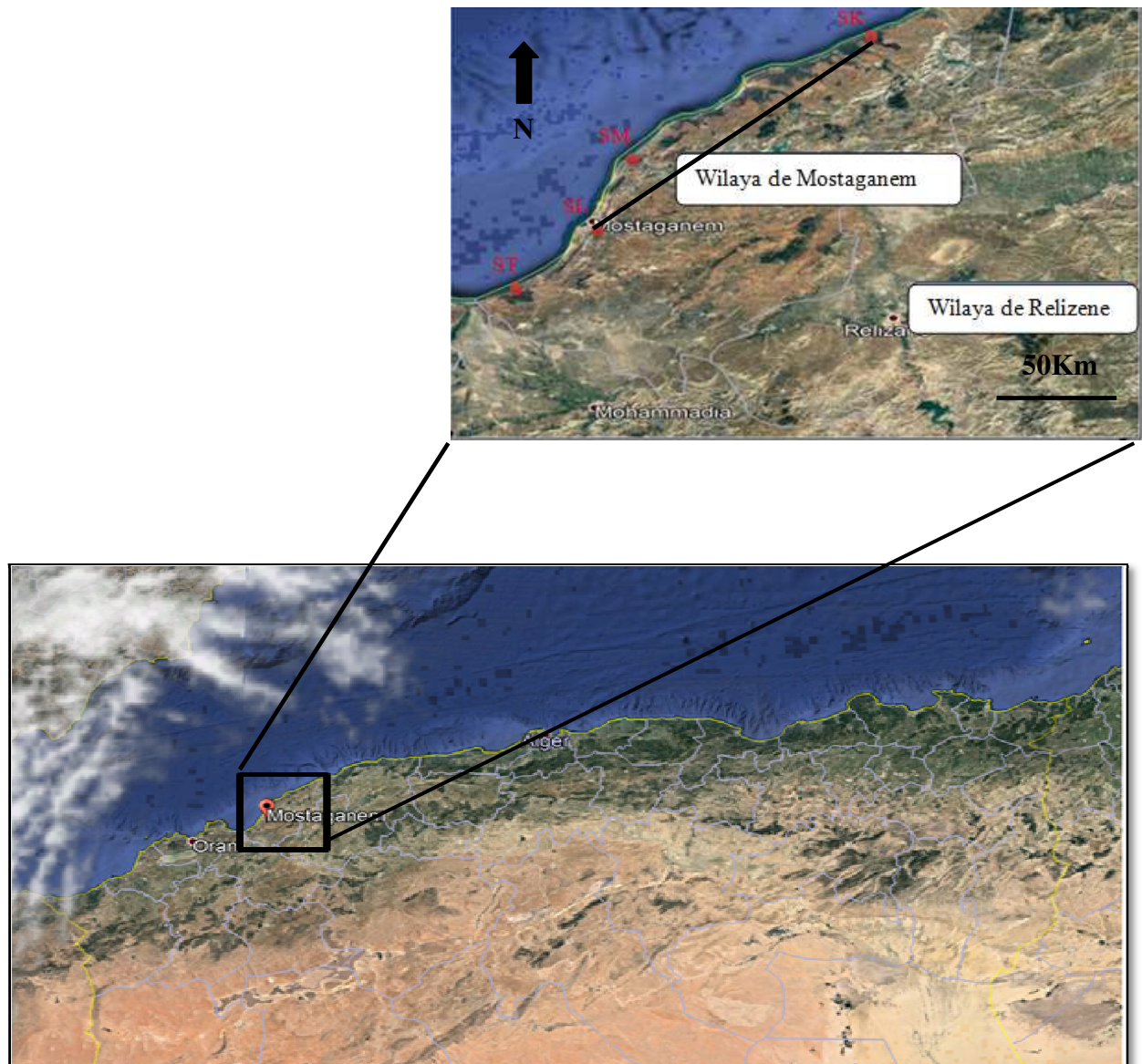


Figure 20: Carte montrant les stations de prélèvement (En points rouges) (Google Earth, 2019). Stidia (ST), Salamandre (SL), Sidi Medjdoub (SM) et de Sidi Lakhedar (SK).

I.3. Description des zones d'étude

I.3.1. Description de la zone du Site de Stidia

Le site de Stidia est situé, à une distance d'environ 20 Km, au sud-ouest de la ville de Mostaganem (Coordonnées géographiques : $35^{\circ} 49' 51.54''$ N / $0^{\circ} 01' 07.09''$ O). Ce site se caractérise par une zone rocheuse interrompue par quelques criques, ouverte vers le Nord-Ouest. Il est exposé aux

vents dominants (Nord-Est). Globalement, l'aspect sous-marin de ce site est principalement constitué par une alternance de substrats rocheux, d'éboulis et de substrats sableux. Le site de Stidia est soumis à de nombreuses activités anthropiques, occupations humaines (rejets et apports des zones habitées), agriculture, tourisme en période estivale (baignade, plongée) et pêche (ancrage, chalutage) (Fig. 21) (Belbachir, 2012).



Figure 21: Localisation du site de Stidia (point rouge) au niveau de Stidia-plage.)
(Google Earth, 2019).

I.3.2. Description la zone de Salamandre

Le site d'étude de la Salamandre (Fig. 22) est situé à 5 Km à l'ouest du chef-lieu de la wilaya de Mostaganem. Salamandre est une plage à caractère rocheux, qui a une orientation vers l'ouest (Coordonnées géographiques : $35^{\circ} 55' N / 0^{\circ} 03'$ (Benhamidi, 2002).



Figure 22: Localisation du site de Salamandre (étoile rouge) à l'extérieur du port de Salamandre (Google Earth, 2019).

I.3.3. Description la zone de Sidi Mejdoub

Le site d'étude de Sidi Mejdoub est située à 4km du Nord et de Mostaganem position GPS latitude ($35^{\circ}58'02,04$ N) et de longitude ($0^{\circ}05'29,04$ E). Cette zone côtière est caractérisée par un substrat rocheux qui abrite une certaine diversité benthique (Oulhiz, 2012) au niveau de l'étage médiolittorale, ainsi que par une urbanisation développée (Fig.23).

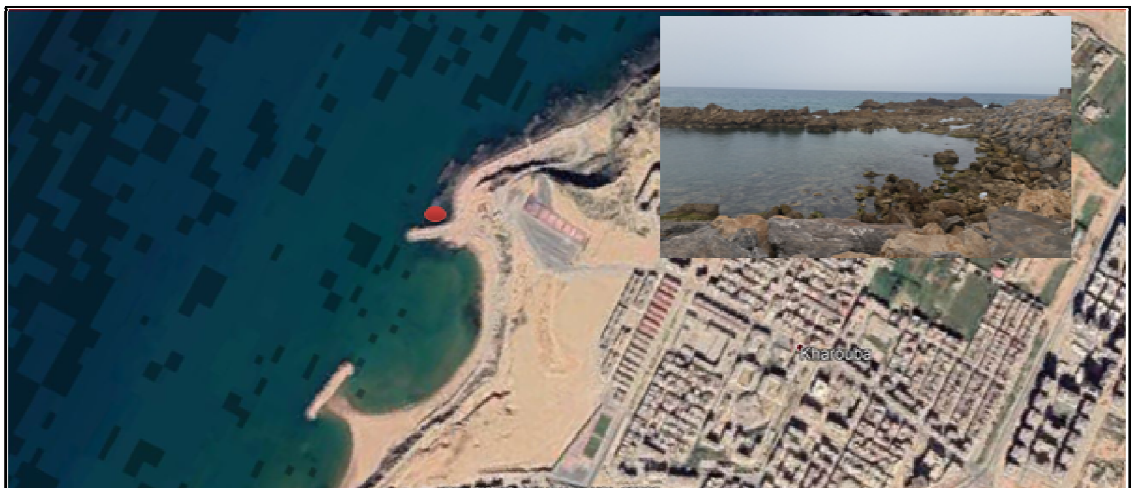


Figure 23: Localisation du site de Sidi Mjdoub (point rouge) à l'est du petit port de Sidi Medjdoub (Google Earth, 2019).

I.3.4. Description de la zone de Sidi Lakheder

Le site d'étude de Sidi Lakhedar est situé à 42 km à l'Est de la ville de Mostaganem, a une position GPS de latitude ($36^{\circ} 12'$ Nord) et de longitude ($0^{\circ} 22'$ Est). Cette zone côtière est caractérisée par

la présence d'une plage entièrement sableuse, assez étroite disposant d'un petit système dunaires (Fig. 24).

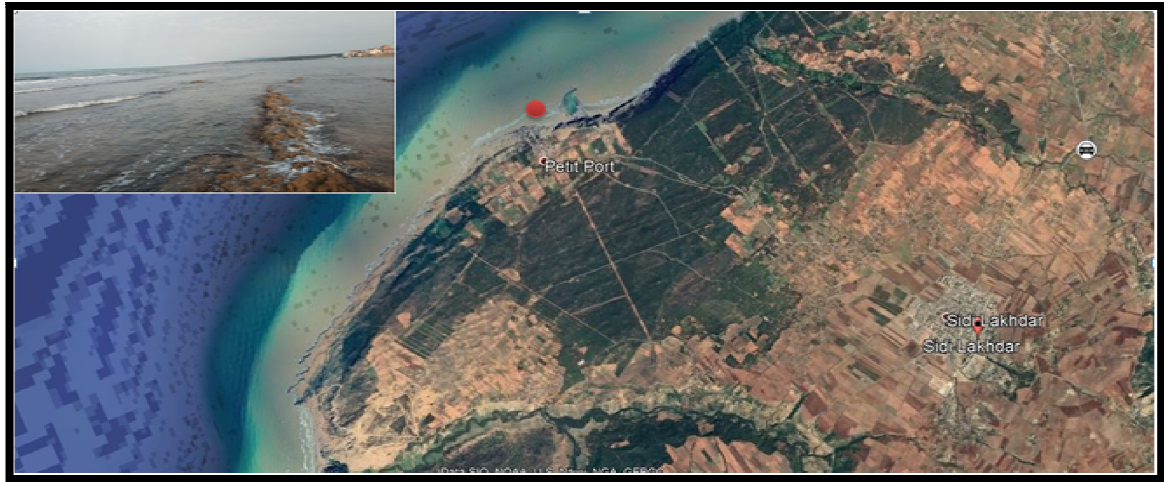


Figure 24 : Localisation du site de Sidi Lakhedar (point rouge) à du petit port de Sidi Lakhedar (Google Earth, 2019).

II. Méthodologie

II.1. Collecte des échantillons

La collecte des échantillons a été réalisée entre les mois de Mars et de Mai 2019 dans les stations citées plus haut [Stidia (ST), Salamandre (SL), Sidi Medjdoub (MD) et Sidi Lakhedar (SK)] en prélevant les individus depuis les deux étagements infralittorale et médiolittorale pour les stations ST, SL et MD, mais seulement du médiolittoral pour la station SK. L'échantillonnage des individus du médiolittorale a été réalisé à l'aide d'une louche et d'une cuirasse. Pour les individus de l'infaunal, une tenue de plongée avec palmes, masque et tubas ont été utilisés pour leur prélèvement en faisant des plongées en apnée (Fig. 25).



Figure 25 : Prélèvement des échantillons de l'infralittorale par plongée en apnée (Présent travail, 2019).

Les échantillons ont été transportés au laboratoire dans une glacière remplie d'eau de mer (**Fig. 26**).



Figure 26 : Oursin conservés dans une glacière remplie d'eau de mer (Photo prise par Lakehal, 2019)

II.2. Etiquetage des échantillons

Il est essentiel de bien étiqueter les échantillons. L'information sur les étiquettes doit être assez complète pour permettre d'identifier les échantillons avec certitude (numéro de sortie, date de prélèvement, heure et abréviation de la station...). D'autres informations cruciales telles que l'étagement de prélèvement et le numéro de l'individu échantillonné sont aussi mentionnées. Par exemple, pour le 3eme individu *Paracentrotus lividus* de la station de Sidi Madjedoub prélevé dans le médiolittoral, on note :

❖ Médiolittoral « MD m 03 »

II.3. Etude taxinomique

Les espèces prélevées ont été identifiées par les critères morphologiques bien définis et cités dans le chapitre précédent. A première vue la couleur est le premier critère d'identification de *P. lividus*. *Paracentrotus lividus* est caractérisé par ses piquants violets, verts olives, rougeâtres ou bruns; son test nu vert à périprocte violet (**Tortonese & Vadon, 1987**).

Dans le cas où l'éclairage nous fait défaut, nous procédons à la deuxième méthode d'identification. En effet, il est possible de reconnaître *P. lividus* par la forme de son du périprocte. A l'aide d'une loupe binoculaire, on peut remarquer que *P. lividus* possède un périprocte fragmenté et composé de plusieurs plaques de différentes tailles et formes disposées anarchiquement. Ce qui permet de le différencier d'une autre espèce d'oursin "*Arbacia lixula*" (espèce confondue avec *P. lividus*)

possédant un périprocte formé de 4 plaques triangulaires (parfois 5) disposées l'une à côté de l'autre formant ainsi les deux rayons du périprocte (**Fig. 27**).

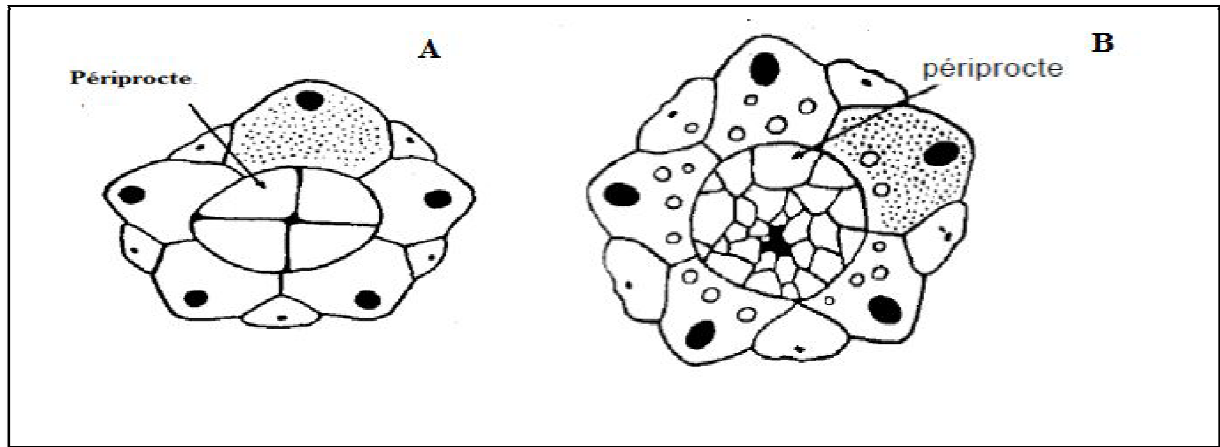


Figure 27 : Comparaison entre les périproctes de *A. lixula* et *P. lividus*. **A**, périprocte d'*A. lixula*; **B**, périprocte de *P. lividus* (Demnard-Tellier, 2007).

II.4. Traitement au laboratoire

II.4.1. Préparation des échantillons

Au laboratoire les échantillons sont nettoyés et lavés à l'eau du robinet puis regroupés sur la pailasse (**Fig. 28**). Des codes numérotés ont été attribués pour chaque individu (voir plus haut).



Figure 28: Préparation des individus d'oursins échantillonnés sur la pailasse (Présent travaille, 2019).

II.4.2. Mesures biométriques

Après avoir retiré les épines des individus échantillonnés, nous avons mesuré la longueur du test (L) et la hauteur de test (H) de chaque individu à l'aide d'un pied à coulisse de précision ± 0.1 mm (**Fig. 29**).

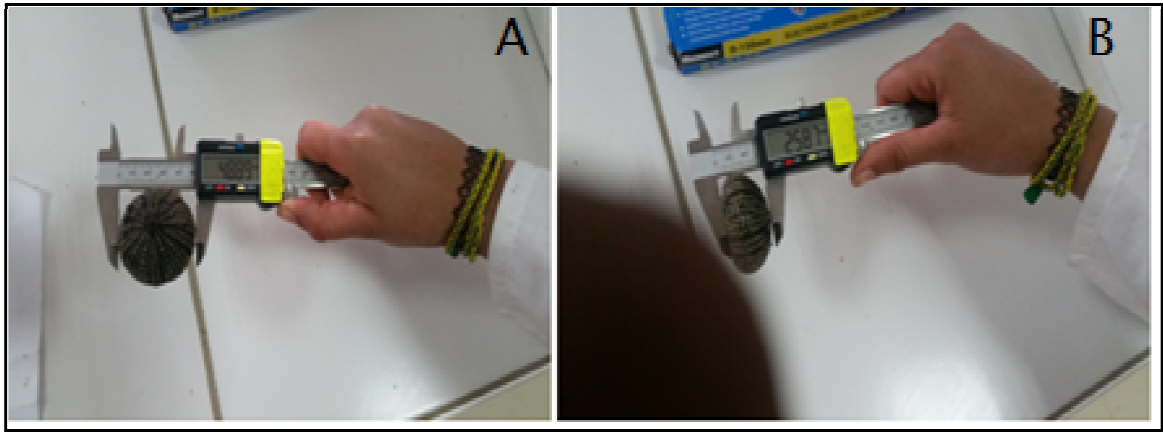


Figure 29: Différentes mesures du test des oursins au niveau du laboratoire.

A, mesure de longueur (L); B, la hauteur (H) (Présent travail, 2019).

Le ratio H/L a été calculé pour chaque individu pour l'étude statistique (voir plus bas). Ensuite, le sexe de chaque individu a été identifié afin d'étudier le dimorphisme chez *P. lividus* (voir plus bas).

II.4.3. Traitement statistique des données biométrique

II.4.3.1. Etude corrélative

Après avoir pris toutes les mesures (L et H) de tous les individus échantillonnés, une régression a été réalisée entre la longueur (L) et le paramètre de gibbosité (H/L) afin d'étudier les relations qui existent entre les différentes stations considérés, les différents étagements et les deux sexes.

II.4.3.2. Comparaison des moyennes

Afin de vérifier s'il y a un effet "stations" et un effet "étagements" (méditerranéenne/infralittorale) sur la variable H/L , un test de Kruskal-Wallis et un test- t ont été réalisés respectivement.

Pour ce faire l'homoscédasticité doit d'abord être vérifié (Normalité des échantillons et égalité des variances).

II.4.3.3. Etude morpho-géométrique

Afin de réaliser l'étude morphométrique par analyse des contours par la transformée des ellipses de Fourier, la face dorsale et de profil du test de chaque individu de *P. lividus* échantillonné a été

photographié dans un environnement sombre de façon à créer un bon contraste entre la lumière et la couleur du test (**Fig.30**).

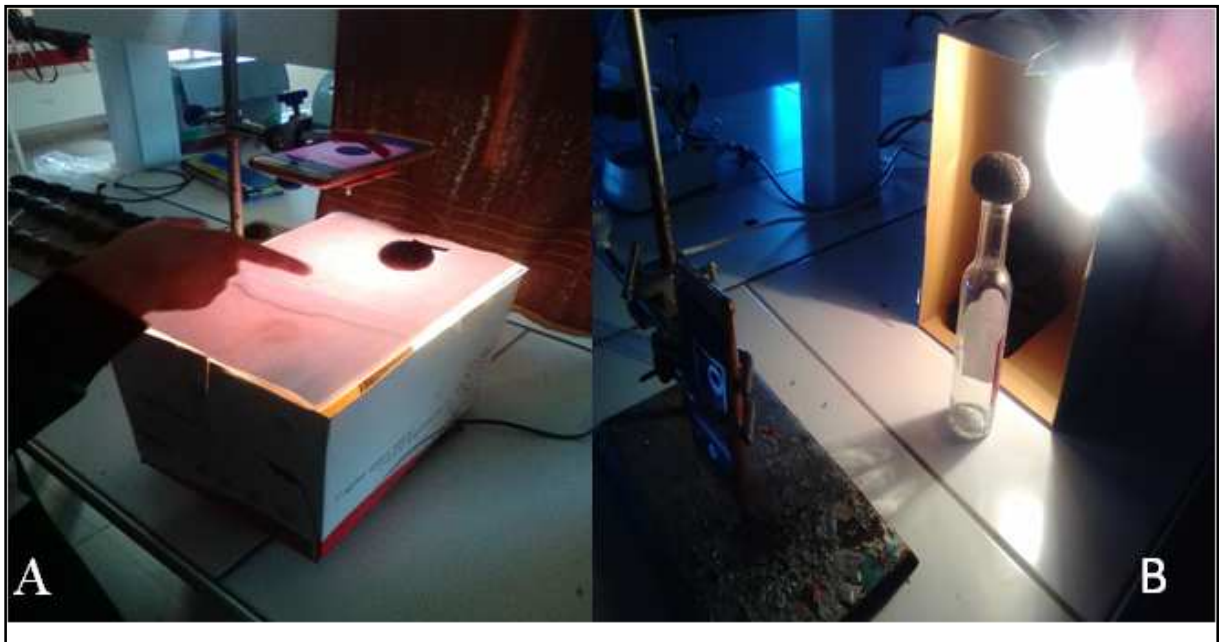


Figure 30 : Prise de photo des tests d'oursin. **A**, face dorsale; **B**, vue de profil (Photo prise par Lakehal, 2019).

Les photos sont prises sous format « .JPEG » à l'aide d'un appareil photo « Condor P6 Pro LTE ». Il est à noter que pour les individus photographiés en vue de profile, l'objectif de l'appareil à photo a été orientés vers leur grosse plaque madréporite. Les photos en vue dorsale ont été réalisées en orientant la grosse plaque madréporite vers l'avant. Les photos sont ensuite transférées sur un micro-ordinateur sous format bitmap. Les contours du test de chaque individu sont réalisés à l'aide du logiciel « Shape v1.3 » (**Iwata & Ukai, 2002**).

Après avoir capturé tous les contours en face dorsale et en vue de profil de chaque individu, ils ont été normalisés par la transformée des ellipses de Fourier en prenant les 20 premiers harmoniques de Fourier grâce au programme « Shape v1.3 » (**Iwata et Ukai, 2002**). Notons que pour cette analyse, la taille a été normalisée et les échantillons ont été alignés en fonction de la longueur maximale de test.

Afin de mettre en évidence les principales variations des forme des contours des tests, une Analyse en Composantes Principales (ACP) a été réalisée à partir de la matrice Variance/Covariance des coefficients de Fourier normalisés pour chaque vue en considérant l'effet "étalement" en utilisant le logiciel « SHAPE v1.3 » (**Iwata et Ukai, 2002**). L'axe représentant le contour le plus pertinent sera comparé au paramètre morphométrique H/L .

II.4.3.4. Déterminisme du sexe

La dernière étape consiste à la détermination du sexe de tous les individus, pour cela il faut pratiquer une incision horizontale complète sur le test de l'oursin avec des ciseaux pointus en inox pour ensuite l'ouvrir (**Fig. 31**).

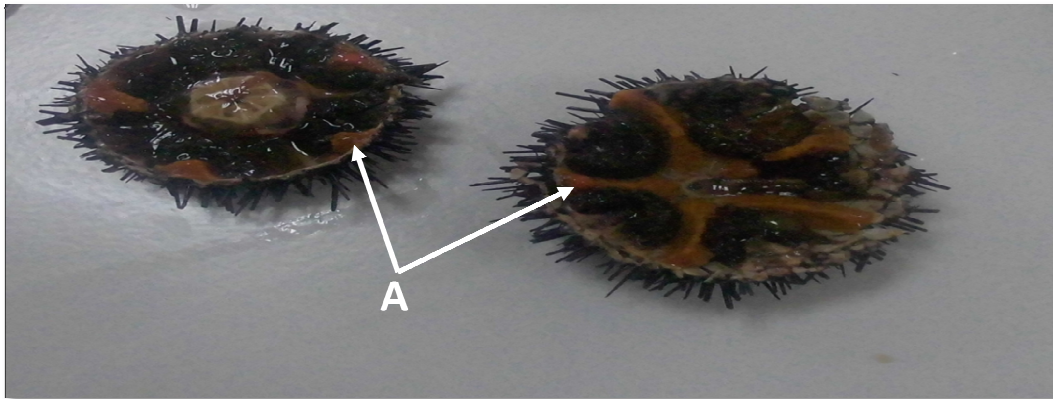


Figure 31 : Test d'un le *Paracentrotus lividus* femelle de Stidia ouvert latéralement. A, gonade femelle (couleur orangeâtre) (Photo prise par Lakehal, 2019).

Le sexe de chaque individu a été déterminées suivant des critères spécifiques : les mâles possèdent des gonades allongées qui émettent un liquide blanchâtre lorsqu'elles sont matures; les femelles possèdent des gonades de couleur orange et émettent un liquide orangé.

Chapitre III

I. Résultats

Un échantillonnage de 164 individus répartis sur les quatre stations de prélèvement a été réalisé (Tab. 1).

Tableau 1 : Nombre d'individus de *P. lividus* des espèces échantillonnées au niveau des quatre stations d'échantillonnage. M, mâle; F, femelle (en gras les valeurs les plus élevées).

Station	Étage	Sexe	Effectif
Stidia	Médiolittorale	F	17
		M	15
	Infralittorale	F	06
		M	05
Salamandre	Médiolittorale	F	19
		M	13
	Infralittorale	F	06
		M	08
Sidi Majedoub	Médiolittorale	F	22
		M	10
	Infralittorale	F	07
		M	08
Sidi Lakhedar	Médiolittorale	F	22
		M	10
	Infralittorale	F	0
		M	0

Notons que le nombre des femelles est supérieur à celui des mâles (65 mâles pour 99 femelles).

II.1. Traitement statistique des données

II.1.1. Étude corrélative

Les résultats de la corrélation entre L et la gibbosité H/L concernant les relations qui existent entre les différentes stations considérées, les différents étages et les deux sexes respectivement sont mentionnées dans les **figures 32, 34 et 35** respectivement.

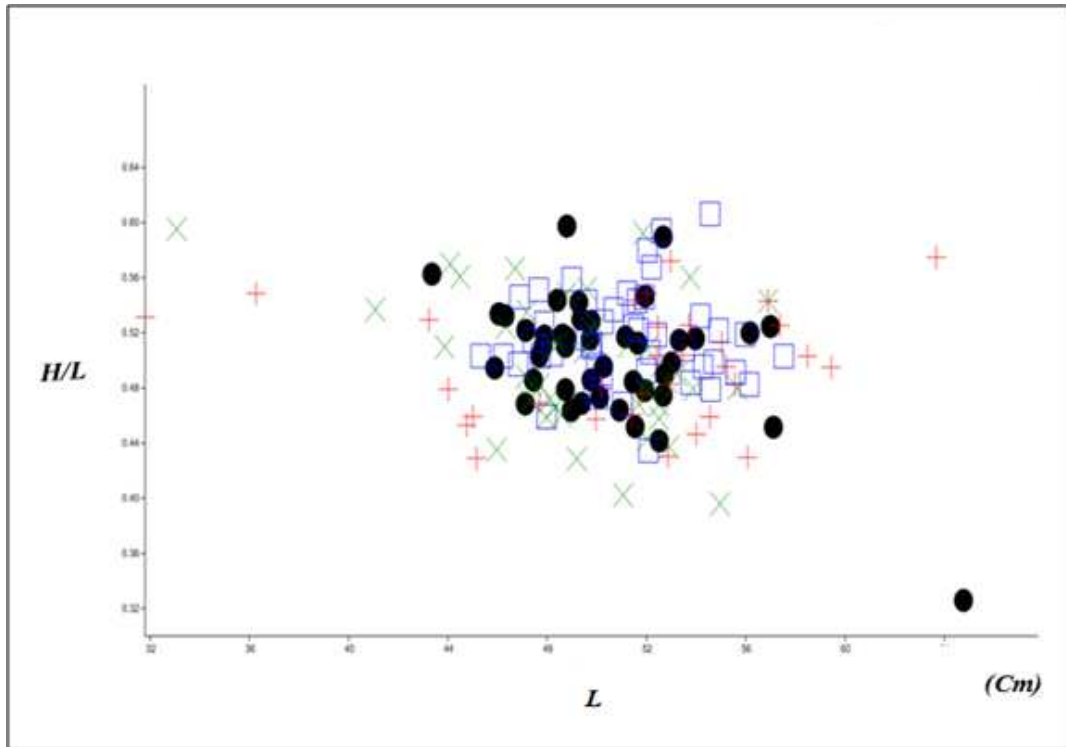


Figure 32: Corrélation entre la longueur L et le rapport H/L pour un classement par stations.
 ●, Sidi Majdoub; □, Salamendre; ×, Stidia; +, Sidi Lakhedar.

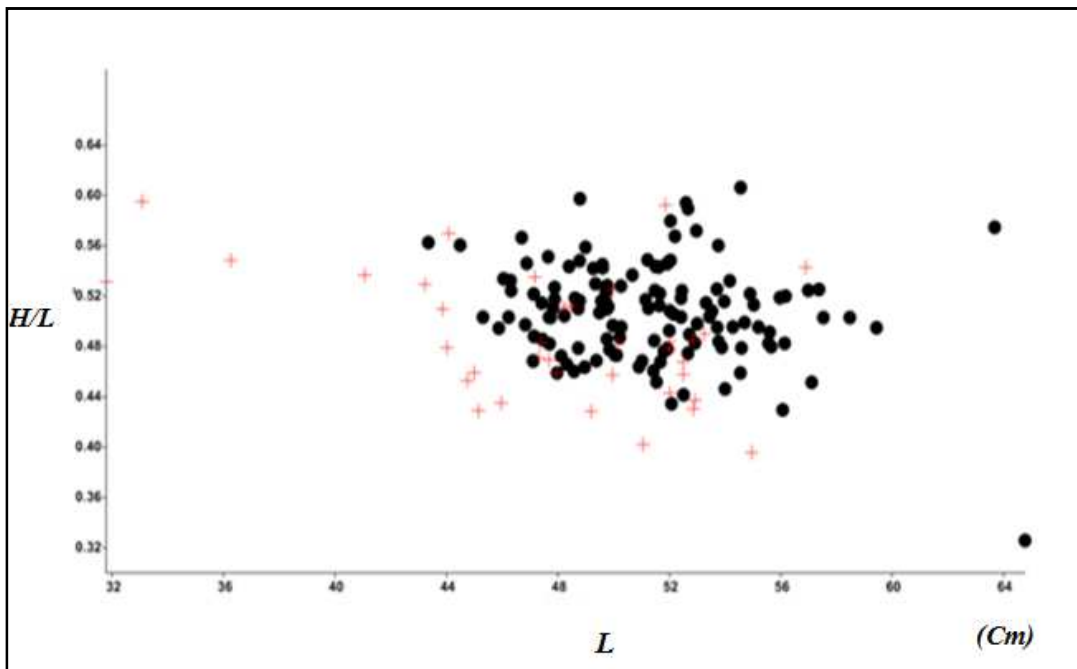


Figure 33 : Corrélation entre la longueur L et le rapport H/L pour un classement par étage.
 ●, Infralittoral; +, Médiolittoral.

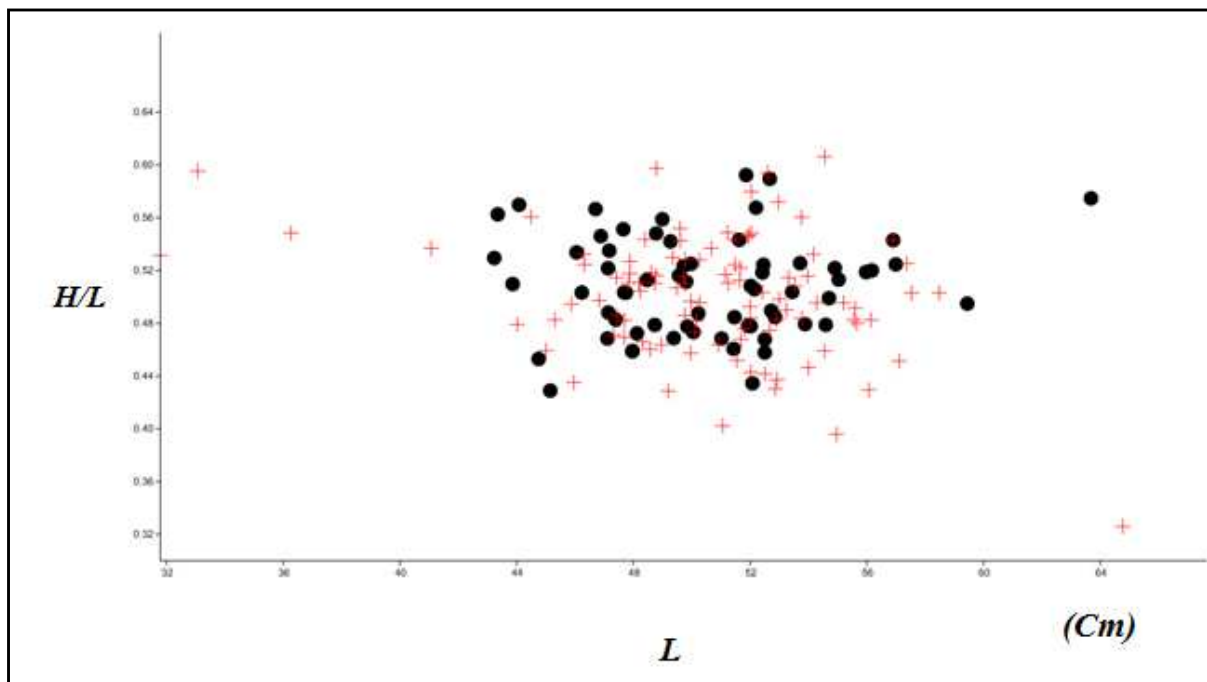


Figure 34 : Corrélation entre la longueur L et le rapport H/L pour un classement par sexes. ●, femelle ; +, male.

L'étude corrélative a montré qu'il y a une corrélation significativement mauvaise entre L et H/L ($r = -0,18$; $P < 0,05$).

II.1.2. Comparaison des moyennes

II.1.2.1. Etude de l'effet « stations »

Le résultat du test de Kruskal-Wallis a révélé qu'il y a un effet « stations » significatif sur la variable H/L ($P < 0,05$). Les valeurs des moyennes du paramètre H/L pour les populations des stations de Stidia, de Salamandre, de Sidi Medjdoub et de Sidi Lakhdar sont mentionnées dans le **tableau 2**.

Tableau 2 : Les moyennes du paramètre H/L pour les populations de chaque station d'étude. En gras la moyenne la plus élevée.

Station	La moyenne	Ecart-type
Stidia	0.4653	± 0.1114
Salamandre	0.5264	± 0.0384
Sidi Medjdoub	0.45957	± 0.0461
Sidi Lakhdar	0.5062	± 0.0363

La moyenne d' H/L des individus de salamandre est la plus élevée des autres stations (**Tab. 2**).

II.1.2.2. Etude de l'effet "étalement" (médiolittorale/infralittorale)

Les résultats du test de Kruskal-Wallis nous ont révélé qu'il y avait un effet « étagements » significative sur la variable H/L ($P < 0.05$). Les valeurs des moyennes du paramètre H/L pour les deux populations des deux étagements sont mentionnées dans le **Tableau 3**.

Tableau 3: Les moyennes du paramètre H/L pour les deux populations des deux étagements. En gras la valeur la plus élevée.

	Médiolittorale	Infralittorale
Moyenne/Ecart-type	0.5043 ± 0.0584	0.4697 ± 0.1204

II.3. Morphométrie par la transformée des ellipses de Fourier

Les contours des tests des 164 individus par les ellipses de Fourier en vue de profil et en vue dorsale.

II.3.1. Etude de la transformée des ellipses de Fourier en vue de profil

L'ACP des contours de Fourier en vue de profil a été réalisée en prenant les deux axes « PC_p1 et PC_p2 » projetant le maximum d'information avec 81.7% de la variance totale [PC_p1 (48.4%; $P < 0.05$) et PC_p2 (33.3% ; $P < 0.05$)] (**Fig. 35**).

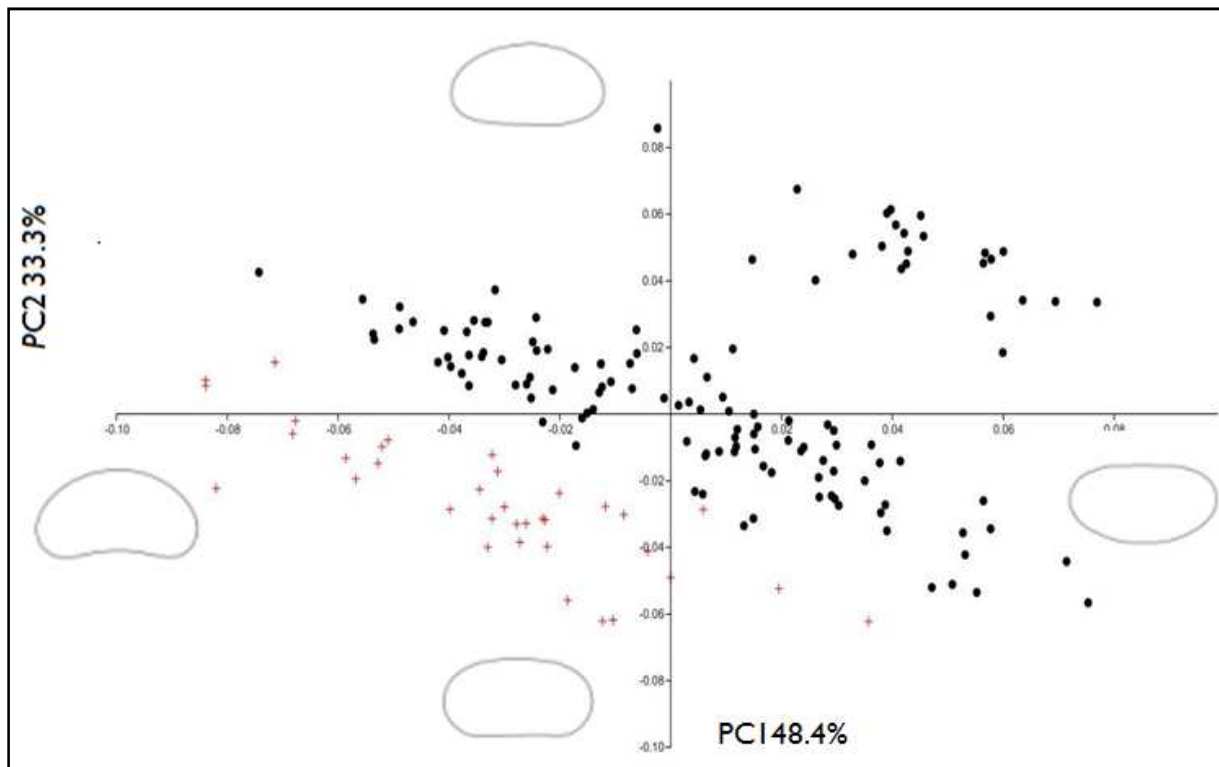


Figure 35: ACP des contours des teste de tous les individus des oursins étudiés en vue de profil réalisée par les programmes « Shape v 1.3 » et « PAST v 2.17c » combinés. ●, individus de l'étage médiolittorale; +, individus de l'étage infralittorale.

La figure 35 montre que les individus *P. lividus* de l'étage médiolittorale sont plus situés sur la partie positive de l'axe PC_p1 (où les tests tendent vers une forme de contour à base convexe et plate depuis la partie supérieur) et la partie positive de l'axe PC_p2 (où les tests tendent vers une forme de contour gibbeuse à base plate). Par ailleurs, les individus de l'infralittorale sont situés dans la partie négative de PC_p1 (où les tests tendent vers une forme de contour à base concave et bossue depuis la partie supérieur) et la partie négative de l'axe PC_p2 (où les tests tendent vers une forme de contour ovale et étirée sur les cotés à base plate et assez lisse depuis la partie supérieur).

II.3.2. Etude de la transformée des ellipses de Fourier en vue de dorsal

L'ACP des contours de Fourier en vue dorsal a été réalisée en prenant les deux axes « PC_d1 et PC_d2 » qui projettent le plus d'information avec 75% de la variance totale [PC_d1 (58% ; $P < 0.05$) et PC_d2 (16% ; $P < 0.05$)] (Fig. 36).

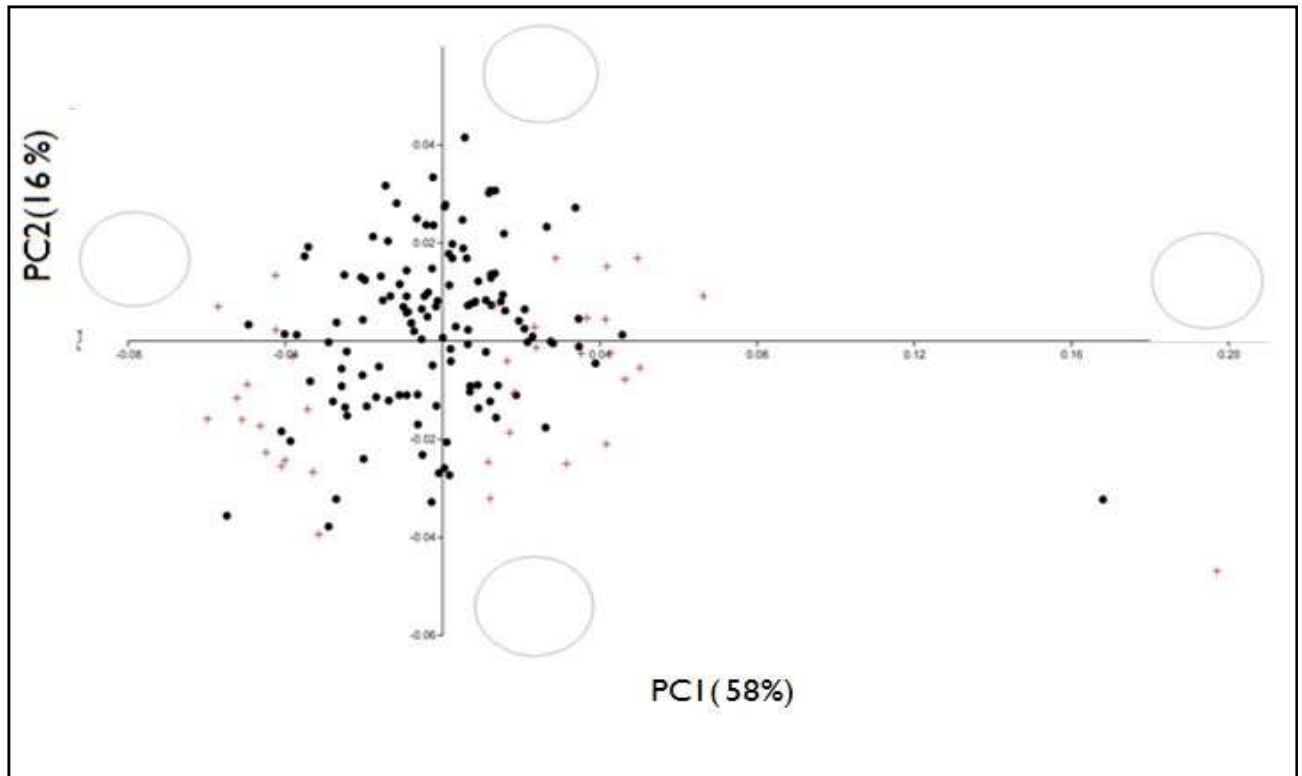


Figure 36: ACP des contours (vies dorsal) des teste de tous les individus de oursins étudiées représentant 75% de l'information projetée sur les deux axes les plus représentatifs PC_{d1} et PC_{d2} réalisée par les programmes « Shape v 1.3 » et « PAST v 2.17 c » combinés. ●, individus de l'étage médiolittorale ; +, individus de l'étage Infralittorale.

La figure 36 montre que les individus du médiolittorale sont plus situés sur la partie central des deux axes PC_{d1} et PC_{d2} (ou les contours tendent vers une forme circulaire). Par ailleurs, les individus de l'infralittorale sont situés de part et d'autre l'axe PC_{d1} (côté positif et négatif) et surtout au niveau de la partie négative de l'axe PC_{d2} (où les contours tendent vers une forme elliptique). Notons que les individus de l'infralittorale possèdent des contours de test elliptiques plus étirés sur le côté gauche au niveau de la partie positive de PC_{d1} et étirés sur le côté droit au niveau de la partie négative du même axe.

La régression linéaire entre PC_{p1} et le paramètre H/L calculé pour tous les individus des oursins étudiés est mentionnée dans la (**Fig. 37**).

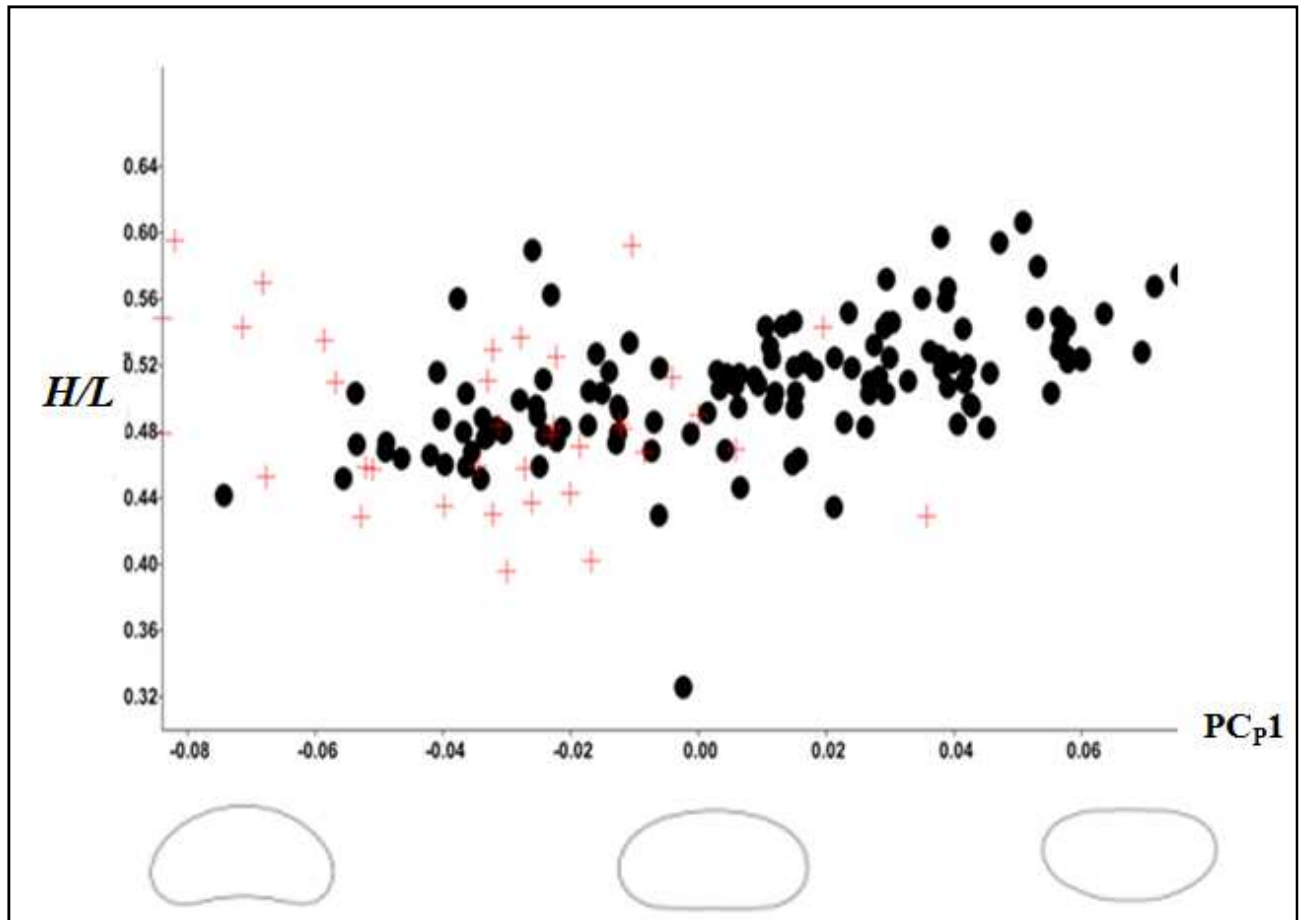


Figure 37 : Régression linéaire entre l'axe PC_{p1} et le rapport H/L de tous les groupes d'oursin étudiés réalisée par les programmes « Shape v 1.3 » et « PAST v 2.17c » combinés. $N=164$ ($r = 0.67$; $P < 0.001$). ●, individus de l'étage médiolittorale ; +, individus de l'étage infralittorale.

La **figure 37** montre que chez les individus du médiolittorale, plus H/L est élevé et plus les contours des tests sont convexes à la base. Cependant, chez les individus de l'infralittorale ils possèdent en moyennes des valeurs de H/L assez basses se situant dans la partie de l'axe PC_{p1} où les contours sont concaves à la base.

Enfin, une compilation des tendances des formes du test des individus des deux étagements est mentionnée dans la **figure 38**.

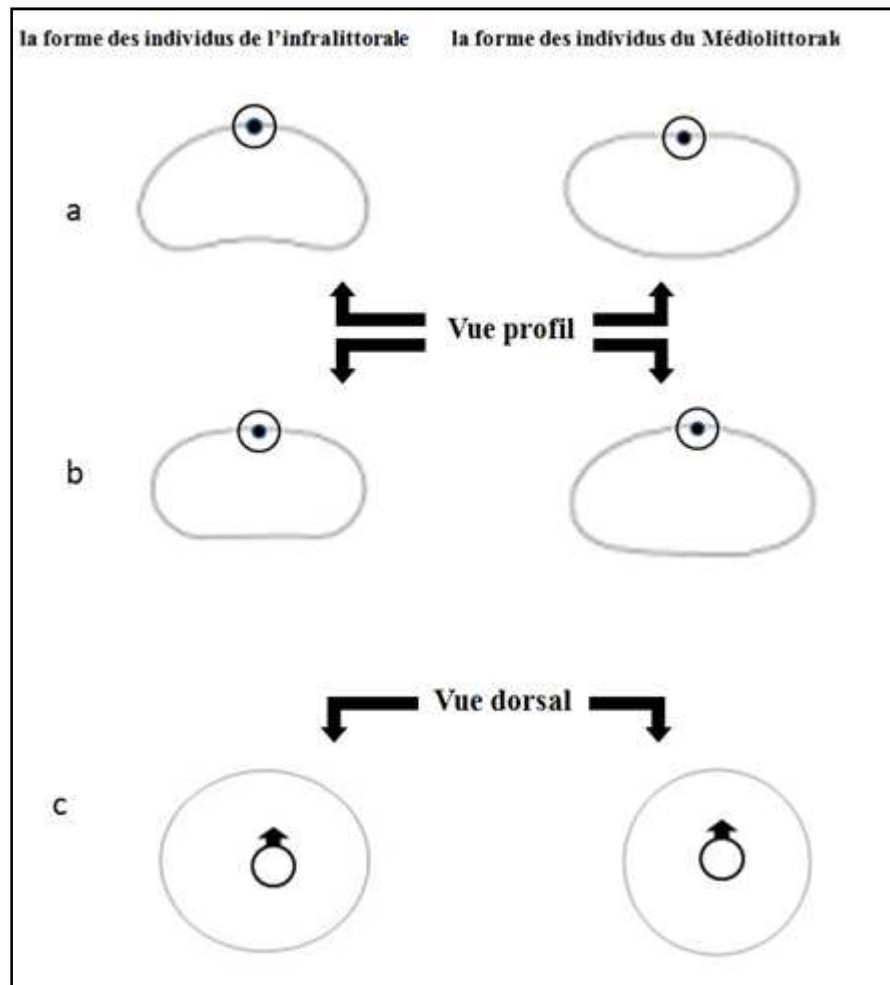


Figure 38 : Différence des formes des contours des tests des individus de *P. lividus* entre les deux étagements (infralittorale/médiolittorale) en considérant comme repère la grosse plaque madreporite. \odot , position de la grosse plaque madreporite; \odot , sens de la grosse plaque madreporite.

La figure 38 montre que la forme globale du contour des individus de l'infralittorale est ellipsoïde aplatie à base concave en vue de profile et ovale en vue dorsale. Contrairement aux individus du médiolittorale qui possèdent des contours de test à base convexe et gibbeux en vue de profile et circulaire en vue dorsale.

II. Discussion

Cette étude a montré des nouvelles perspectives dans les études sur la morphologie de l'oursin *P. lividus* en donnant des nouvelles réponses sur son interaction avec son milieu.

En effet, l'étude corrélative a montré qu'il y a, certes, une mauvaise corrélation entre L et H/L mais celle-ci est significative ($r = -0.18$, $P < 0.05$) montrant que les deux groupes d'individus de *P. lividus* des deux étagements sont séparés. Ajouté à cela, les individus du médiolittorale sont plus gibbeux que ceux de l'infralittorale (**Tab. 3**). Ce qui pourrait être expliqué par l'effet de pression de l'eau sur la forme du test des individus de l'infralittorale qui sont plus aplaties. En effet, **Benbachir (2017)** a montré que les individus de l'infralittorale sont plus aplaties que ceux du médiolittorale en estimant que ce phénomène est dû à la pression de l'eau et l'hydrodynamisme sur le test des oursins.

Par ailleurs, l'étude morphométrique basée sur l'ACP des contours des tests par la transformée de Fourier a montré qu'il y a une dissimilarité morphométrique entre les individus des deux étagements médiolittoral et infralittoral liés aux résultats sus mentionnés (**Fig. 33, 34**).

En effet, les individus de l'infralittorale possèdent une forme de test est ellipsoïde aplatie à base concave en vue de profile et ovale en vue dorsale, contrairement aux individus du médiolittorale qui possèdent des contours de test à base convexe et gibbeux en vue de profile et circulaire en vue dorsale (**Fig. 36**). Ces différentes formes pourraient aider *P. lividus* à se mouvoir plus facilement dans chaque étagement. Il est à penser aussi que cette différence de forme est une conséquence de l'effet des pressions environnementales sur cet oursin.

CONCLUSION

Conclusion

L'objectif principal de cette étude était d'essayer de trouver s'il y avait une relation entre la variabilité des formes du test de *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) et de son habitat en utilisant une méthode morphométrique basée sur une analyse des contours par la transformée des ellipses de Fourier.

Notre travail s'est basé sur un lot de 164 individus de *P. lividus* échantillonnés dans quatre stations de la côte de Mostaganem : Salamandre (SL), Stidia (ST), Sidi Mejdoub (SM) et Sidi Lakhedar (SK) et prélevés depuis les deux étagements médiolittorale et infralittorale.

L'étude biométrique a montré que les individus du médiolittorale sont plus gibbeux que ceux de l'infralittorale. Ce qui pourrait être expliqué par l'effet de la pression de l'eau sur la forme du test des individus de l'infralittorale qui sont plus aplaties. Par ailleurs, les individus de la station de Salamandre sont les plus gibbeux comparés aux trois autres stations.

L'étude morphométrique basée sur l'étude de l'analyse des contours par la transformée des ellipses de Fourier nous a montré que *Paracentrotus lividus* pouvait avoir deux formes de test chacune spécifique à chaque étage : Pour l'infralittorale, une forme de test ellipsoïde aplatie à base concave en vue de profile et ovale en vue dorsale; pour le médiolittorale, une forme de test à base convexe et gibbeux en vue de profile et circulaire en vue dorsale.

Les deux formes précitées pourraient être une adaptation de *P. lividus* aux différentes conditions du milieu des deux étagements. Cette adaptation pourrait être la prémisse d'une future spéciation parapatrique. Les différentes formes précitées pourraient aider *P. lividus* à se mouvoir plus facilement dans chaque étage.

Les techniques morfo-géométriques par la transformées de Fourier pourrait être un nouvel outil pour connaître la dissimilarité morphologique entre différentes population d'une même espèce. Elles peuvent aussi donner des informations cruciales sur les phénomènes de spéciation. Ces méthodes ne sont pas très coûteuses et pourraient remplacer d'autres méthodes phylogénétiques exhaustives et inaccessibles.

Un nombre plus élevé d'échantillon aurait pu rendre cette étude plus robuste en prélevant les individus de l'infralittorale d'une profondeur plus importante. Une étude génétique aurait pu aussi rendre cette étude plus précise.

REFERENCE

BIBLIOGRAPHIQUE

Références

A

Allain, J.Y., (1972). Structure des populations de *Paracentrotus lividus* et de *Psammechinus miliaris* de Bretagne Nord. Bull. Mus. Nation .His, Paris, Fr. 26: pp305-315.

Ameur, A, et Belkheira, M ,2018. Étude morphométrique basée sur les points homologues du crabe marbré *Pachygrabsus marmoratus* (Fabricius, 1787) au niveau de la côte de Mostaganem

Andrew NL, Agatsuma Y, Ballesteros E, Bazhin AH, Creaser EP, Barnes DKA, et al. (2002) Statut and management of world sea urchin fisheries. *Oceanogr Mar Biol* **40**: 343-425.

Ayata, S. D. (2010). Importance relative des facteurs hydroclimatiques et des traits

Azzolina, J.F., 1988. Contribution à l'étude de la dynamique des populations de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lmk). Croissance, recrutement, mortalité, migration. Thèse de doctorat Ecologie, Univ .Aix –Marseille II, Marseille, Fr. 242pp.

Bachnou, A, Et Boughdiri,M,(2005). Morphométrie des brachiopodes par modélisation mathématique combinée des tracés ouvert et fermé. Exemple d'application parmi les Terebratulidae du Jurassique moyen. *Revue de Paléobiologie, Genève* (décembre 2005) **24** (2) : 789-802.

B

Belbachir N.,(2012) mémoire (Contribution à l'étude écologique de l'herbier à *Posidonia oceanica* (L.) Delile (1813) de la frange côtière de Mostaganem : Etat de santé et relation entre plante et échinoderme).

Beaumont, A, (1978) - Biologie animale des Protozoaires au Métazoaires Epithélioneuriens to387. An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution* 17, 373–

Benjamin /Cummings, California. USA. COYNE, JA. 1994. Ernst Mayr and the origin of species. *Evolution.* **48**(1):19-30.

Benzohra, M .M, (1993)- Les structures hydrodynamiques le long des cotes méditerranéennes des pays du Maghreb, Rabat, 1992.

Berlocher, Sh. (1998). Origins. A brief history of research on speciation, pp. 470, *In* Howard besoins de la pêche (révision 1) —Méditerranée et Mer Noire. Zone de pêche 37 vol I, biogeographic barrier. Ecol. Evol. 3, 1248–1261. *Biological Review*, **25**:1–45. Biology. Princeton Univ *Boeck*. 961 p.

Borsali,S. (2007)- Contamination du rouget de roche *Mulus Surmutelus L.* 1758 dans les organes (foie , muscle et gonades) par trois métaux lourds (Cadmium, Plomb et zinc pêché dans la baie d’Oran. Mémoire de Magister, Université d’Oran 118p.

Bouchon M.L. et Schneider M. Fiches FAO d’identification des espèces pour les Oursins Et Holothuries. In Fischer W.,

Boudouresque CF, Verlaque M (2007). Ecology of *Paracentrotus lividus*. In: Lawrence.JM, editor. Edible Sea Urchins: Biology and Ecology. Oxford, UK: Elsevier. pp. 243-285.

Boutiba,Z , (1992)- Les mammifères marins d’Algérie .Statut , Répartition, biologie et Ecologie. Thèse Doctorat : 575 p.

Boutiba,Z ; Taleb Z ; Abi-Ayad S.M.E.A , (2003) – Etat de la pollution marine de la cote oranaise. Edit: Dar ElGharb , 69p

Bouzaza, Z, (2018). **Memoires** (Discriminant-based study of the shell morphometric relationships of *Patella caerulea* (Gastropoda: Prosobranchia) of the western Mediterranean Sea).

C

Campbell, N., Reece, J., And Mitchell, L. 1999b. The origin of species, pp. 445-463,

Cornuet, J. M., Ravigne, V., Et Estoup, A. (2010). *Inference on population history*

Coyne, Ja. And Orr, Ah. 2004. Speciation. Sinauer Associates. Massachusetts. USA. 545 p.

Crampton J.S. (1995). Elliptic Fourier shape analysis of fossil bivalves: some practical considerations. *Lethaia*, **28**: 179-186.

Croze O. et Larinier M. (2001) Guide technique n°4 : libre circulation des poissons migrateurs et seuils en rivière. D’histoire de vie sur la dispersion larvaire et la connectivité à différentes échelles spatiales

Cucchi T., Baylac M., Evin A., Bignon-Lau O. et Vigne J-D. (2015). Morphométrie géométrique et archéozoologie : Concepts, méthodes et applications. Sciences Archéologiques. *Archives Contemporaines (eds)*: 197-216.

Cheikh H.,(2017). Mémoire (Contribution à l'étude du régime alimentaire de deux oursins *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) et *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) vivants au niveau de la côte de Mostaganem).

D

Dajoz, R. (2012). L'évolution biologique au XXI^e siècle: les faits, les théories. *Eds Darwinian view of life in Biology in Biology*. Benjamin/Cummings. California. USA.

De Ridder C. (1986). Les échinides ; in Guille, A., Laboute, P., Menou, J. L., (eds).Guide des étoiles de mer, oursins et autres échinodermes du lagon de Nouvelle-Caledonie, Coll, Faune tropicale, *ORSTOM*, Paris.

De Ridder, C. et Lawrence, J.M., (1982). Food and feeding mechanisms: Echinoidea. In : Jangoux, M., Lawrence, J.M. (Eds), *Echinoderm Nutrition*, Balkema, Rotterdam, pp. 57- 116.

DeRidder, C., (1986) - Les échinides ; in Guille, A., Laboute, P., Menou, J. L., (eds).Guide des étoiles de mer, oursins et autres échinodermes du lagon de Nouvelle- Caledonie, Coll, Faune tropicale, *ORSTOM*, Paris.

Howard D.J. et Berlocher S.H. (1999). Endless forms. Species and speciation. Oxford University *dynamics of marine benthic invertebrates*.482p.

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* Ecol. Prog. Ser. **33**, 295–306.

F

Fenaux L., (1968) Maturation des gonades et cycle saisonnier des larves chez *A. lixula* , *P.lividus* et *Psammechinus microtuberculatus* (Echinides) à Villefranche –sur-Mer.Vie et milieu , 19(1-A),1-52.

Fenaux, L., (1994) five tests of food-limited growth of larvae in coastal waters by comparisons of rates of development and form of echinoplutei. *Limnol Ocean.* 39, 84–98.

Ferson S., Rohlf F.J. et Koehn R.K. (1985). Measuring shape variation of two dimensional outlines. *Systematic Zoology*, **34**: 59-68.

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

Fredig G. (2002). *Paracentrotus lividus* .MEDIFAUNE.

FREEMAN, S. and HERRON, J.(2004). Evolutionary analysis. Pearson Prentic Hall. Upper

G

Gaines, S.D., (2007). Connecting Places The Ecological Consequences of Dispersal in the Sea. genetic structure of copper rockfish (*Sebastes caurinus*). *Mol. Ecol.* 3051-61

Ghyoot M.(1991). *Les pédicellaires globifères de Sphaerechinus granularis, morphologie et comportement d'un appendice défensif.* Thèse Doct,Univ, Bruxelles

Gomes J. et Velho L. (1999). From Fourier analysis to Wavelets. Cours de l'Institut de Mathématiques Pures et Appliquées, Rio de Janeiro, Brasil

Gosselin, P., Jangoux, M., (1998) -From competent larva to exotrophic juvenile: a morphofunctional study of the perimetamorphic period of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata, Echinoidea). *Zoomorphology* 118, 31–43.

Grimaldi, D. And Engel, M.(2005). Evolution of the insects. Cambridge university press.
Grimes.S, Boutiba.Z , Belkalem. A, Benderbalia. M, Bovdiillal.B, Boumaza.S, Bovtiba. M, Guediova.A , Hafferssas. A, Hemipo. F, Kaidi.N, KHelifi.H, Kerzabi.F , Merzovg. A, Noura.A , Sellai.B, Sellali-Merabtine. H, Seridi .H, Taleb. MZ et Touabria.T. – La biodiversité marine et le littoral algerien. 2004 Ed. Sonatrach, Editeur Diwan, Alger. 13.23.25.27.29. pp.

Grosberg, R.K., Cunningham, C.W, (2001). Genetic structure in the sea: from populations to habitat patchiness create populations with high fractions of self-recruitment? *Ecol. Appl.* 22

Guettaf, M. (1997). Contribution à l'étude de la variabilité du cycle reproductive (indice gonadique et histologie des gonades) chez *Paracentrotud lividus* (Echinodermata ; Echinidae)

en Méditerranée sud (Algérie). Thèse Doct. Océanologie, Univ, Médit,Aix-Marseille II, France , 123p.

Guidetti, P., Terlizzi, A., Boero, F, (2004). Effects of the edible sea urchin, *Paracentrotus lividus*, fishery along the Apulian rocky coast (SE Italy, Mediterranean Sea). Fish. Res. 66, 287–297.

H

Hanski, I., Gilpin, M., (1991). Metapopulation dynamics: brief history and conceptual domain. Biol. J.

Hartl, D.L., (1994). Génétique des populations, Flammarion-Médecine-Sciences. ed. Paris. 305 pp.

Hartl, D.L., Clark, A.G., (2007). Principles of population genetics, Fourth edition, Sinauer Associates. ed.Sunderland, MA. 565 pp.

Himmelman, J.H., (1986) - Population biology of green sea urchins on rocky barrens. Mar.

Hyman L.H. (1955). The Invertebrates. Vol 4. Echinodermata. Mc Craw-Hill: New York

I

Immelmann K. et Beer C. (1990) *A dictionary of ethology*. Pergamum. Implications for predicting the movement of passive dispersers across a marine influence the genetic structure of an intertidal mollusc in southeastern Australia -

Immelmann,(1986) ; Turon et al., (1995) ; Fernandez, (1996) ; Boudouresque et Verlaque , 2007. L'oursin comestible *P. lividus* atteindra une taille commercialisable au bout de 4 à 5 ans, soit 5 cm de diamètre hors piquants **Grosjean et al. (2003); Ouréns et al. (2013).**

Irwin, D.E., 2002. Phylogeographic breaks without geographic barriers to gene flow. Evolution 56,

J

Johansson, M.L., Banks, M.A., Glunt, K.D., Hassel-Finnegan, H.M., Buonaccorsi, V.P., 2008. Influence

K

Kempf, M., (1962). Recherche d'écologie comparée sur *Paracentrotus lividus* (Lamarck.) et *Arbacia lixula* (L.). Rec. Trav. Stnmar. Endoume. Fr. 25. (39).47-116.

Kenpf M ; (1962).recherche d'écologie compare sur paracentrotus lividus et arbacia lixula (L...) Rec. Trav. Stanmar .Endoume .Fr.25 (39). 47-11.

Kouadri, S ; (2014)-Contribution à l'étude de la biologie de l'oursin comestible paracentrotus lividus (Lamarck , 1816) de la côte occidentale algérienne (Cap Carbon et Ain franin), 4 et 6p.

Kuhl F.P.et Giardina C.R. (1982). Elliptic Fourier features of a closed contour. *Computer Graphics and Image Processing*, **18**: 259-278,

L

LAPORTE, J. (2009). *Natural kinds and conceptual change*. Cambridge University Press. Lavoisier. 326 p.

Lawrence J.M. (1987). Echinodermata. In, Pandian T.J., Vernberg F.J., (eds), Animal energetic. Academic Press, Inc., San Diego, 2: 29-321

Levin, L. Et Bridges, T. (1995). *Ecology of marine invertebrate larvae*. Chapitre: Linn. Soc. 42, 3–16

Liedvogel M., Åkesson S. et Bensch S. (2011) the genetics of migration on the move. *Trends in Ecology & Evolution* **26** (11), 561–569. Linn. Soc. 42, 3–16.

Lipcius, R.N., Eggleston, D.B., Schreiber, S.J., Seitz, R.D., Shen, J., Sisson, M., Stockhausen, W.T.,

Lopez, S., Turon, X., Montero, E., Palacin, C, Duarte, C.M., Tarjuelo, I, 1998. - Larval abundance, recruitment and early mortality in *Paracentrotus lividus* (Echinoidea). Interannual variability and plankton-benthos coupling. Mar. Ecol. Prog. Ser. 172, 239–251.

M

- Macarthur, R., Wilson, E.O., (1963).** An equilibrium theory of insular zoogeography. *Evolution* 17, 373p
- Macarthur, R.H., Wilson, E.O., (1967).** The theory of island biogeography. Monographs in Population marine invertebrate life cycles. *Marine Ecology Progress Series*, **177**: 269–297.
- Manche, Golfe Gascogne. Ecologie, Environnement.** Thèse de doctorat 3e cycle, Université Sunderland, MA., pp. 61–84.
- Mcedward, L., Miner, and B.G., (2007)** - Echinoid larval ecology, in: Edible Sea Urchins: Biology and Ecology. Second Edition. Developments in Aquaculture and Fisheries Science. John M. Lawrence, U.S.A., pp. 71–93.
- McGuire L.P. ET Fraser E.E. (2014)** Taxonomic diversity in the biology of migration. *Canadian Journal of Zoology* **92** (6), 463–465.
- Miard .T., Couvray. S, (2012)** - Affinage d'oursins : synthèse bibliographique. Comité Local des Pêches Maritimes et des Elevages Marins du Var / Fonds Européen pour la pêche – Institut Océanographique Paul Ricard. 19 pp.
- Miard .T., Couvray. S.,-(2012)** - Affinage d'oursins : synthèse bibliographique. Comité Local des Pêches Maritimes et des Elevages Marins du Var / Fonds Européen pour la pêche – Institut Océanographique Paul Ricard. 19 pp.
- Miller, A.D., Versace, V.L., Matthews, T.G., Montgomery, S., Bowie, K.C., (2013).** Ocean currents Millot C, 1985- Some features of the Algerian Current .J. geophy. Res, Vol. 90, n°4: pp. 7169-7176.
- Millot C, 1987- The circulation of the levantine intermediate Water in the algerian bassi .Jour. Geoph , Vol. 92, n°8 , pp. 8265-8276.
- Millot C., Taupier-Letage I., (2005) -,** Additional evidence of LIW entrainment across the Algerian subbasin by mesoscale eddies and not by a permanent westward flow.
- Mortensen T, (1927).** Handbook of the Echinoderms of the British, *Strongylocentrotus purpuratus*, Edit nature: 205-497.
- Munar, J., Moreno, I.(1987).** Echinodermos de las islas Baleares (Espana). In, boudouresque C.F (ed), Colloque international sur Paracentrotus lividus et les oursins comestibles. GIS posidonie publ., Marseille, 241-253.
- Myriam,H. (2001)** Génétique moléculaire et évolutive .Ed.Paris.326p.

N

Nedelec, H., Verlaque, M., (1984). Alimentation de l'oursin *Paracentrotus lividus* (Lamarck) dans un herbier à *Posidonia oceanica* (L) Delile en Corse (Méditerranée – France

Neill, F. X., Pastor, R., (1973). Relaciones Troficas de *Paracentrotus lividus* (Lmk) en la zona litoral. Investigaci6n Pesquera., 37(1) :1-7.

Neill, F. X., Pastor, R., (1973). Relaciones Troficas de *Paracentrotus lividus* (Lmk) en la zona litoral. Investigaci6n Pesquera., 37(1) :1-7.

O

Ouendi, Menda.t, (2006).biométreie et indices physiologique de deux population a paracentrotus lividus dans la région d'Alger men Ing USTHB. Alger .40+ Annexes.

Ouréns, R., Flores, L., Fernández, L., Freire, J., (2013) - Habitat and density-dependent growth of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in Galicia (NW Spain). J. Sea Res. 76, 50–60.

Oulhiz A., (2012) Mémoire (Contribution à l'évaluation de la qualité des milieux marins côtiers de Mostaganem à travers les bioindicateurs de la Macrofaune benthique).

P

Patrissi M., Astrou A., Pere A., Pelaprat C., (2014). Réalisation d'une étude biologique et halieutique sur l'oursin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) en Corse. STARESO, 75 p.
Pattern and diversity in reproduction and development. Editor Larry McEdward, 1–48.

Pechenik, J. (1999). On the advantages and disadvantages of larval stages in benthic New York. USA. 755 Oceanography 20, 90–99.p

Pennigton, J.T., (1985) - The ecology of fertilization of echinoid eggs: the consequences of sperm dilution, adult aggregation and synchronous spawning. Biol. Bull. 169, 417–430.
Pierre et Marie Curie - Paris VI, France. 390 p.

Pinsky, M.L., Palumbi, S.R., Andréfouët, S., Purkis, S., (2012). Open and closed seascapes: Where does Press, Oxford. Zeitlinger . Lisse , The Netherland. 231 pp.

Puritz, J.B., Tooner, R.J., (2011). Coastal pollution limits pelagic larval dispersal. *Nat. Commun.* 2.

R

Regis M.B. (1987) - L'oursin comestible *Paracentrotus lividus*, une ressource en danger dans le Quartier maritime de Marseille, France. In : Boudouresque C-F. Ed, Colloque international sur *Paracentrotus lividus* et les oursins comestibles, GIS.me I 2eme Edition, Dunod, Univ, 447 p.

Regis, M .B., (1978). Croissance de deux Echinoides du Golfe de Marseille (*Paracentrotus lividus* (Lmk) et *Arbacia lixula* L.) Aspects écologiques de la microstructure du squelette et de l'évolution des indices physiologiques. Thèse Doct d'état, Univ. Aix-Marseille III, 221p.

Regis, M .B., (1978). Croissance de deux Echinoides du Golfe de Marseille (*Paracentrotus lividus* (Lmk) et *Arbacia lixula* L.) Aspects écologiques de la microstructure du squelette et de l'évolution des indices physiologiques. Thèse Doct d'état, Univ. Aix-Marseille III, 221p.

Renard A. (2015) CONSEQUENCES DES CHANGEMENTS GLOBAUX SUR LA MIGRATION ANIMALE. This n ° 73. 19-22 pp.

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

S

Saucède,T, (2013). A Revision of the Rare Genus *Cyclolampas* (Echinoidea) Using Morphometrics with Description of a New Species from the Upper Callovian of Burgundy

Semroud R.,(1993) –Contribution a la connaissance de l'écosystème à *Posidonie oceanica* (L.) dellile dans la région d'Algerie. Thèse Doct. Science. Ecol. Mar., U.S.T.H.B., Alger., 1-219.

Soualili D.L.(2008). *Les populations naturelles d'oursins : un outil évaluateur de l'état de santé de la baie d'Alger.* Thèse de Doctorat en Océanographie, option Ecologie marine. Université Houari Boumedienne (USTHB), Alger. Pp 147+annexes.

Soualili, D.L., (2008). Les populations naturelles d'oursins : un outil évaluateur de l'état de santé de la baie d'Alger. Thèse.Doct.Océan . Univ . U .S.T.H.B. pp 147+annexes.

Soualili;d.l ;(2008). Les populations naturelles d'oursins : un outil évaluateur de l'état de santé d'Alger .thèse Doct. .océan univ.U.S.T.H.B. pp 147 + annexes.

Souidi, H, (2008) – Evaluation du niveau de la pollution bactériologique chez un échinoderme l'oursin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) dans la cote oranaise orientale. Mémoire de Magister, université d'Oran , 111p .

T

Terbeche.M, (2006)- tendances de la contamination bactériologique et métallique chez la crevette rouge *Aristeus antennatus* (Risso, 1816) exploitée dans la baie d'Oran. Mémoire de Magister, Université d'Oran, 129p.

Thomas, F., Lefevre, T., Et Raymond, M. (2010). Biologie évolutive. Eds *De Boeck*. 961 p.

Thorson, G. (1950). *Reproduction and larvale cology of marine bottom invertebrates. Biological Review, 25:1–45.*

Tortonese E.' 1965). Tortonese E. & Vadon C. (1987) Echinodermata. Fauna d'Italia vol. VI. Calderini, Bologna.

Tortonese, E., (1965). Fauna d'halia. Vol. Echinodermata. Calderini édit ., Bologna . 1-422.

Tortonese, E., Et Vadon, C., (1987). Oursin et Holothuries (Echinodermes) in fiche FAO didification des espèces pour les besoins de pêche Révidion I, Méditerranée, Mer noire zone de pêche 37 vol I, végétaux et invertébrés : 715-739.

TRAER, K, (1980). The consumption of *Posidonia oceanica* Delile by echinoids at the isle of Ischia. In, Jangoux M., (ed), Echinoderm: present and past. Balkema Publ., Rotterdam, 241-244. Université d'Oran, pp 31-32.

Traer, K. (1980). The consumption of *Posidonia oceanica* Delile by echinoids at the isle of Ischia. In, Jangoux M., (ed), Echinoderm: present and past. Balkema Publ., Rotterdam, 241-244. Université d'Oran, pp 31-32.

Turelli, M., Barton, Nh., and COYNE, JA. (2001). Theory and speciation. *Trends in v.l. 0. BMC Bioinformatics*, 11(1), 401 p.

V

Verlaque, M, (1987). Contribution à l'étude du phytobenthos d'un écosystème photophile thermophile marin en Méditerranée Occidentale. Etude structurale et dynamique du

phytobenthos et l'analyse des relations faune –flore. Thèse Doct d'Etat, Univ, Aix-Marseille II, Marseille, 389p

Verlaque, M., Nedelec H., (1983) –Note préliminaire sur les relations biotiques *Paracentrotus lividus* (LmK) et herbien de Posidonies. Rapp. Comm.int. Mer Medit . , 28 (3), 157-158.

W

Wang, H.V.,(2008). Importance of metapopulation connectivity to restocking and restoration végétaux et invertébrés : 715-739.

Y

Yokota, Y.(2002). Fishery and consumption of the sea urchin in Japan. *In* The sea urchin: from basic biology to aquaculture, pp. 129-138. Ed. by Yukio Yokota, Matranga, and Zuzana Smolenicka, Swets ET 1257–1267. 221 p.

Yokota, Y. (2002). Fishery and consumption of the sea urchin in Japan. *In* The sea urchin: from basic biology to aquaculture, pp. 129-138. Ed. by Yukio Yokota, Matranga, and Zuzana Smolenicka, Swets & Zeitlinger. Lisse, The Netherland. 231 pp.

Z

Zavodniak D.,(1987). Synopsis on the sea urchin *Paracentrotus lividus* (**LmK, 1816**) in the Adreatic Sea. In : colloque international sur *Paracentrotus lividus* et les oursins comestibles, C.F.Boudouresque édit ., GIS Posidonie publ, Marseille, Fr ., 221-240.

Autre Références

[A] : <http://www.maxicours.com>

[B]: **Catalogue of life World Register of Marine Species (WoRMS) 2019** of *Paracentrotus lividus* .<http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=570964>.

[C] :<http://www.snv.jussieu.fr/bmedia/aimar2/IMAGES/ARI/ARI21.gif>