

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture

Laboratoire de physiologie animale appliquée

MEMOIRE

Présenté par

M. ELAKKERMI Mohammed

Pour l'obtention du diplôme de

MAGISTER

Option : Connaissance, Valorisation et Gestion de la Biodiversité Marine Côtière

Thème

**Etude de la biologie de reproduction d'*Arbacia lixula*
(Linnaeus, 1758) de la côte de Mostaganem**

La composition du jury de soutenance

Nom et Prénom	Grade	Qualité	Appartenance administrative
HALBOUCHE Miloud	Professeur	Président	Université de Mostaganem
BELHOCINE Mansouria	MCA	Encadrante	Université de Mostaganem
SOUALILI Dina Lila	MCA	Co-Encadrante	Université de Mostaganem
BOUDERBALA Mohamed	Professeur	Examineur	Université d'Oran
MEZALI Karim	Professeur	Examineur	Université de Mostaganem

Remerciements

Qu'il nous soit permis d'exprimer notre dévouement et gratitude à Dieu qui nous a inspiré volonté et foi durant l'élaboration de ce travail de mémoire.

Par le biais de cette thèse, ces quelques lignes vont me permettre de témoigner ma reconnaissance à toutes les personnes, qui m'ont entourées et encouragées à l'accomplissement de ce projet.

*J'adresse mes plus sincères remerciements à Mr **Halbouche Miloud**, Professeur au département d'Agronomie de l'Université de Mostaganem pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de mon mémoire. Qu'il trouve ici l'expression de ma plus profonde gratitude.*

*En premier lieu, je remercie Mlle **Belhocine Mansouria**, Maitre de conférences A au département de Biologie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université de Mostaganem, en tant que Directrice de mémoire, de bien vouloir promouvoir mon travail de recherche tout en exposant ses précieux conseils et orientations avec persévérance, elle m'a guidé dans mon travail et m'a aidé à trouver des solutions pour avancer. Qu'elle trouve dans cette reconnaissance l'expression de mon attentif respect.*

*Je remercie très chaleureusement Mme **Mezali-Soualili**, Maitre de conférences A au département des Sciences de la Mer et de l'aquaculture de l'Université de Mostaganem, pour avoir eu la gentillesse d'accepter le co-encadrement de ce travail. Pour sa disponibilité et sa compréhension, pour m'avoir orienté et enrichi par ses conseils. Son soutien moral et ses encouragements m'ont été d'un grand apport. Je la remercie vivement.*

*Tous mes sincères remerciements à Mr **Bouderbala Mohamed**, Professeur à l'Université d'Oran, Faculté des Sciences Es-Sénia, pour s'être intéressé à mon travail et pour avoir accepté pour sa part de l'examiner en siégeant au sein de ce jury. Qu'il me soit permis de lui exprimer ma sincère gratitude.*

*Mes plus vifs remerciements s'adressent aussi à Mr **Mezali karim**, Professeur au département des Sciences de la Mer et de l'aquaculture de l'Université de Mostaganem pour avoir accepté de juger ce travail. Qu'il trouve ici l'expression de ma sincère reconnaissance.*

*Je tiens aussi à adresser mes vifs remerciements à Mme **Kerfouf-Mokbi**. Médecin-chef du service d'Anatomie Pathologique de l'hôpital Che Guevara de Mostaganem pour son accueil a son laboratoire d'ana-pathologie, ainsi que pour son aide précieuse. Je remercie également très chaleureusement les techniciennes du laboratoire Anatomie Pathologique pour leurs aides, gentillesse et leurs bonnes humeurs, en particulier Mr **Nedjar Mohamed**.*

*Un grand merci aux techniciens du laboratoire d'halieutique, notamment Mr **kridech Morad**, pour son infini soutien.*

Enfin, mes remerciements les plus intenses vont à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail, J'espère n'avoir oublié personne, et si c'est le cas que j'en sois pardonné.

RESUME

Une étude de la reproduction de l'oursin noir *Arbacia lixula* a été réalisée à Mostaganem dans deux sites différents, l'un (**Salamandre**) rocheux, riche en algues photophiles mais perturbé par la pollution (rejets urbains et industriels) et une forte activité portuaire ; l'autre (**Stidia**) à substrat mixte, relativement sain et riche en algues photophiles. Ce travail, étalé sur 10 mois (décembre 2013-septembre 2014) et effectué sur 588 individus, a consisté à suivre l'évolution mensuelle des indices physiologiques (indice gonadique et indice de réplétion), du sex ratio et de l'histologie des gonades mâles et femelles. Les effets de la température et des saisons ainsi que les relations allométriques entre plusieurs paramètres morphologiques ont été également évalués.

Le **sex ratio**, quel que soit le biotope est légèrement en faveur des mâles avec une légère alternance mensuelle entre les sexes. Selon l'indice gonadique et l'histologie des gonades la période de ponte est située au printemps-été, allant du mois de mai jusqu'à septembre et dont le facteur déclencheur est possiblement les températures printanières (20-23°C).

Les relations allométriques entre les différents paramètres morphologiques, diamètre et hauteur du test sans piquants, hauteur et diamètre de la lanterne d'Aristote, diamètre du test sans piquants et diamètre de lanterne d'Aristote, diamètre du test sans piquants et poids humide, hauteur du test sans piquants et poids humide, démontrent l'existence d'une relation allométrique plus que moyenne entre ces différents paramètres de croissance et témoignent de l'aplatissement de l'oursin noir *A. lixula* pouvant être considéré comme une forme d'adaptation à son milieu.

Les images histologiques des gonades mâles et femelles de cet oursin des deux sites (salamandre et Stidia) concordent parfaitement avec les indices gonadiques et valident la prise en considération de ce paramètre (indice gonadique) dans l'évaluation de la croissance des gonades et la détermination des stades de leur maturation.

Mots clés : *Arbacia lixula*, Salamandre, Stidia, indices physiologiques, sex-ratio, ponte, relations allométriques, histologie, indice gonadique, indice de réplétion.

ABSTRACT

A study of the reproduction of the black sea urchin *Arbacia lixula* from Mostaganem coastline was conducted at two different sites, one (Salamander) rocky, rich in photophilous algae but disturbed by pollution (urban and industrial discharges) and high port activity ; the other (Stidia) with mixed substrate, relatively healthy and rich in photophilous algae. This work, spread over 10 months (December 2013-September 2014) and performed on 588 individuals, consisted to follow the monthly evolution of physiological indices (gonad index and index of repletion), the sex ratio and histology of the males and females gonads. The effects of temperature and seasons and allometric relationships between several morphological parameters were also evaluated.

The sex ratio, regardless of the biotope is slightly in favor of males with a slight monthly alternating between the sexes. According to the gonad index and gonad histology, the spawning period is located in the spring-summer, from May to September and is possibly trigger by spring temperatures (20-23 ° C).

Allometric relationships between different morphological parameters, diameter and height of the test without spines, height and diameter of Aristotle's lantern, diameter of the test without spines and diameter of Aristotle's lantern, test diameter without spines and wet weight, test height without spines and wet weight, demonstrate the existence of a more than average allometric relationship between these different growth parameters and reflect the flattening of the black sea urchin *A. lixula* that can be regarded as a form of adaptation to its middle.

Histological results of the male and female gonads of these sea urchins in these two contrasting sites (salamander and Stidia) correlate perfectly with gonadal indices and validate the consideration of this parameter (gonad index) in the evaluation of gonadal growth and determination of their maturation stages.

Keywords : *Arbacia lixula*, Salamander, Stidia, Physiological indices, sex ratio, spawning, allometric relationships, histology, gonad index, repletion index.

ملخص

دراسة التكاثر عند قنفذ البحر الأسود *A.lixula* قد أجريت في ولاية مستغانم في موقعين مختلفين "الأول" (سلامندر) صخري، غني بالطحالب photophiles ولكن متأثر بالتلوث (نفايات حضرية و صناعية) و نشاط مينائي قوي ; "الثاني" (ستيدية) بركيزة مختلطة وصحية نسبيا وغنية بالطحالب photophiles. هذا العمل، موزعا على 10 شهرا (ديسمبر 2013 سبتمبر 2014) أجري على 588 فرد، وكان لمتابعة التطور الشهري للمؤشرات الفسيولوجية (مؤشر الغدد التناسلية والمؤشر المعوي)، نسبة الجنس (sex ratio) وأنسجة الغدد التناسلية عند الذكور والإناث. آثار الحرارة والمواسم والعلاقات الألوومترية بين العديد من المعالم المورفولوجية تم تقييمها أيضا.

نسبة الجنس، بغض النظر عن مكان العيش كانت قليلا لصالح الذكور مع تناوب شهري طفيف بين الجنسين. وفقا لمؤشر الغدد التناسلية وأنسجة الغدد التناسلية، فان فترة الإباضة تقع ما بين فصلي الربيع والصيف، من شهر ماي إلى شهر سبتمبر، ومن المحتمل أن تكون درجات الحرارة في الربيع (20-23 درجة مئوية) هي الفاعل المحرك.

والعلاقات الألوومترية بين مختلف المعالم المورفولوجية: قطر وارتفاع القنفذ بدون أشواك، قطر وارتفاع فك القنفذ، قطر القنفذ بدون أشواك وقطر فك القنفذ، قطر القنفذ بدون أشواك والوزن الرطب، وارتفاع القنفذ بدون أشواك والوزن الرطب، تثبت وجود علاقة أكثر من المتوسط بين مختلف معالم النمو وتعكس تسطح قنفذ البحر الأسود *A.lixula* كشكل من أشكال التكيف مع بيئته.

الصور النسيجية للغدد التناسلية الذكرية والأنثوية لقنفذ البحر هذا من الموقعين (سلامندر وستيدية) متناسقة تماما مع مؤشرات الغدد التناسلية و تؤيد صحة الاخذ بعين الاعتبار هذا المعلم (مؤشر الغدد التناسلية) في تقييم نمو الغدد التناسلية و تحديد مراحل النضوج الخاصة بهم.

كلمات المفاتيح : *Arbacia lixula*، سلامندر، ستيدية، المؤشرات الفسيولوجية، نسبة الجنس، الإباضة، العلاقات الألوومترية، الأنسجة، مؤشر الغدد التناسلية، المؤشر المعوي.

Index des figures

N° Figure	Titre des figures	Page
1	<i>Arbacia lixula</i> (Linnaeus, 1758).	4
2	Distribution géographique d' <i>A. lixula</i> (Tortonese et Vadon, 1987).	5
3	Zones de distribution des cinq espèces existantes du genre <i>Arbacia</i> .	8
4	Photos montrant la morphologie externe de l'oursin <i>Arbacia lixula</i> .	10
5	Vue externe de la région aborale.	11
6	Test d' <i>Arbacia lixula</i> (vue dorsale).	12
7	Radioles lisses, denses, pointues à la partie aborale, peu aplaties sur la face orale.	13
8	Piquants (primaires et secondaires), podia et pédicellaires (globifères, ophiocéphales, tridentés et trifoliés) (DeRidder, 1986).	14
9	<i>Tubes ambulacraires</i> (cercles rouges).	15
10	Les Cinq dents visibles qui font partie d'un appareil masticateur complexe, la lanterne d'Aristote.	16
11	Schéma d'une coupe transversale du test d'un oursin régulier (Echinoidea), Tortonese (1965).	17
12	Disposition penta-radiale des gonades de l'oursin noir <i>A. lixula</i> .	18
13	Algues corallines encroûtantes.	19
14	<i>Arbacia lixula</i> fixé sur un substrat tombant vertical (port de Salamandre à 5 m de profondeur).	21
15	<i>Arbacia lixula</i> sur des substrats horizontaux.	21
16	Autres échinides coexistants avec <i>Arbacia lixula</i> .	29
17	Situation du bassin méditerranéen occidental et position des différents lieux cités. Schéma tracé à l'aide de Generic Mapping Tools (Wessel et Smith, 1995).	30
18	La Méditerranée occidentale : circulation des principales masses d'eau. Extrait de Millot (1999).	33
19	Baie d'Arzew et de Mostaganem, carte des fonds.	35
20	Carte de la wilaya de Mostaganem.	37
21	Localisation des sites de prélèvements (flèches blanches) dans la région de <i>Mostaganem</i> .	39
22	Localisation de la zone d'échantillonnage (étoile rouge) au niveau de la station de la <i>Salamandre</i> (extérieur du port).	40

23	Point d'échantillonnage à l'extérieur du port de Salamandre.	40
24	Localisation de la zone d'échantillonnage (étoile rouge) au niveau de Stidia plage.	41
25	Point d'échantillonnage à la plage de Stidia (flèche blanche).	42
26	Echantillonnage (A), Mesures: Pondérale (B), Linéaires (C, D, E, F), Séchage des gonades, contenus digestifs (mis dans des coupelles) et les lanternes d'Aristote à l'étuve (G) effectués au niveau du laboratoire.	45
27	Liquide grenat émet par les femelles (à droite) et blanchâtre produit par les mâles (à gauche) d' <i>Arbacia lixula</i> .	46
28	La déshydratation.	54
29	Imprégnation/ Inclusion.	54
30	Ruban de coupe sur microtome.	55
31	Pourcentage mensuel des mâles et des femelles au niveau de Salamandre.	60
32	Pourcentage mensuel des mâles et des femelles au niveau de Stidia.	61
33	Variations des indices physiologiques moyens (IGM, IRM) exprimés en mg/cm ³ Au niveau de Salamandre.	63
34	Variations des indices physiologiques moyens (IGM, IRM) exprimés en mg/cm ³ Au niveau de Stidia plage.	64
35	Evolution de l'indice gonadique moyen (IGM) en fonction de la taille des oursins chez <i>A. lixula</i> de la Salamandre.	69
36	Evolution de l'indice de réplétion moyen (IRM) en fonction de la taille des oursins chez <i>A. lixula</i> de Salamandre.	69
37	Evolution de l'indice gonadique moyen (IGM) en fonction de la taille des oursins chez <i>A. lixula</i> de Stidia.	71
38	Evolution de l'indice de réplétion moyen (IRM) en fonction de la taille des oursins chez <i>A. lixula</i> de Stidia.	71
39	Evolutions saisonnières des indices physiologiques (IGM et IRM) moyens de la population d' <i>A. lixula</i> au niveau de Salamandre.	75
40	Evolutions saisonnières des indices physiologiques moyens de la population d' <i>A. lixula</i> au niveau de Stidia .	76
41	Evolution de l'indice gonadique moyen (IGM) en fonction de la température chez la population <i>A. lixula</i> de Salamandre.	78
42	Evolution de l'indice gonadique moyen (IGM) en fonction de la température chez la population d' <i>A. lixula</i> de Stidia.	78

43	Relation allométrique entre la hauteur (mm) et le diamètre (mm) du test sans piquants des oursins noirs de la Salamandre.	82
44	Relation allométrique entre la hauteur (mm) et le diamètre (mm) du test sans piquants des oursins noirs de Stidia.	82
45	Relation allométrique entre la hauteur de la lanterne d'Aristote (mm) et le diamètre de la lanterne d'Aristote (mm) des oursins noirs de la Salamandre.	84
46	Relation allométrique entre la hauteur de la lanterne d'Aristote (mm) et le diamètre de la lanterne d'Aristote (mm) des oursins noirs de Stidia.	84
47	Relation allométrique entre le diamètre du test sans piquants (mm) et le diamètre de la lanterne d'Aristote (mm) des oursins noirs de la Salamandre.	85
48	Relation allométrique entre le diamètre du test sans piquants (mm) et le diamètre de la lanterne d'Aristote (mm) des oursins noirs de Stidia.	86
49	Relation allométrique entre le diamètre du test sans piquants (mm) et le poids humide (mg) des oursins noirs de la Salamandre.	87
50	Relation allométrique entre le diamètre du test sans piquants (mm) et le poids humide (mg) des oursins noirs de Stidia.	88
51	Relation allométrique entre la hauteur du test sans piquants (mm) et le poids humide (mg) des oursins noirs de Salamandre.	89
52	Relation allométrique entre la hauteur du test sans piquants (mm) et le poids humide (mg) des oursins noirs de Stidia.	90
53	Planche 1: Histologie des ovaires d' <i>Arbacia lixula</i> .	94
54	Planche 2: Histologie des testicules d' <i>Arbacia lixula</i> .	95

Index des tableaux

N° Tableau	Titre des tableaux	Page
1	Les différents stades de maturité sexuel proposés par Fuji (1960) .	57
2	Pourcentages des deux sexes de la population <i>A. lixula</i> dans les deux sites.	58
3	Pourcentages et Sex-ratio mensuels des femelles et des mâles des deux sites d'étude.	59
4	Evolution des indices physiologiques moyens exprimés en mg/cm ³ . Moyenne ± écart type pour l'ensemble des deux populations d' <i>A. lixula</i> .	62
5	Evolution des indices physiologiques moyens (IGM et IRM) exprimés en mg/cm ³ (±écart type) des différentes classes de taille d' <i>A. lixula</i> de Salamandre.	68
6	Evolution des indices physiologiques moyens (IGM et IRM) exprimés en mg/cm ³ (± écart type) des différentes classes de taille d' <i>A. lixula</i> de Stidia.	70
7	Moyennes ± écart type des indices physiologiques exprimés en mg/cm ³ par saisons d' <i>A. lixula</i> de Salamandre et Stidia.	74
8	Evolution de l'indice gonadique moyen en mg/cm ³ (±écart type) en fonction de la température pour l'ensemble de la population d' <i>A. lixula</i> au niveau des deux sites d'étude.	77
9	Equation liant la hauteur (H) et le diamètre (D) du test sans piquants chez <i>Arbacia lixula</i> dans les deux sites étudiés.	81
10	Equation liant la hauteur de la lanterne d'Aristote (h) et le diamètre de la lanterne d'Aristote (d) chez <i>Arbacia lixula</i> dans les deux sites étudiés.	83
11	Equation liant le diamètre de la lanterne d'Aristote (d) au diamètre du test sans piquants (D) chez <i>Arbacia lixula</i> dans les deux sites étudiés.	85
12	Equation liant le Diamètre du test sans piquants (D) et le poids humide (PH) chez <i>A. lixula</i> dans les deux sites étudiés.	86
13	Equation liant la hauteur (H) du test sans piquants et le poids humide (PH) chez <i>A. lixula</i> dans les deux sites étudiés.	88

Liste des abréviations

°C : Degré Celsius
A : Août, Avril
cm : Centimètre
Ca : Calcium
D : Décembre, diamètre du test sans piquants
d : Diamètre de la lanterne d'Aristote
E : Est
F : Février, Femelle, Frai
FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture
Fe : Fer
G : Gonade
H : Hauteur du test sans piquants
IGM : Indice gonadique moyen
IRM : Indice de réplétion moyen
J : Janvier, Juin, Juillet
K : Potassium
km : kilomètre
Lmck : Lamarck
M : Mars, Mai, Mer, Mâles
m : Mètre
mg : Milligramme
mg/l : Milligramme par litre
min : Minute
ml : Millilitre
mm : Millimètre
MAW : Modified Atlantic Water
LIW : Levantine Intermediate Water
WIW : Winter Intermediate Water
WMDW : Western Mediterranean Deep Water
N : Nord
NaCl : Chlorure de sodium
ng/l : Nanogramme par litre
O : Octobre, Ouest
PdCdF : Poids frais du contenu digestif
PdCdS : Poids sec du contenu digestif
PdGF : Poids frais des gonades
PdGS : Poids sec des gonades
PH : Poids humide de l'oursin
Ppm : Partie par million
Psu : Unité de salinité pratique
S : Septembre
SCIB : System Canadien d'Information sur la Biodiversité
UBIO : Universal Biological Indexer and Organizer
WoRMS : World Register of Marine Species
µg/l : Microgramme par litre
µm : Micromètre

SOMMAIRE

Introduction.....	1
-------------------	---

Partie I

Généralités sur l'espèce *Arbacia lixula*

1- Présentation de l'oursin noir <i>Arbacia lixula</i>.....	4
2- Systématique et distribution géographique de l'oursin noir <i>Arbacia lixula</i>.....	4
2-1- Systématique.....	4
2-2- Distribution géographique.....	5
3- Historique.....	6
4- Synonymes et noms vernaculaires.....	6
4-1- Synonyme.....	6
4-2- Noms vernaculaires.....	7
5- Origine et variabilité intra-spécifique du genre <i>Arbacia</i>.....	7
6- Caractères morphologiques.....	10
6-1- Morphologie externe.....	10
6-1-1- Test et structures associées.....	11
6-1-1-1- Le test	11
6-1-1-2- Les tubercules.....	12
6-1-1-3- Les piquants ou radioles	12
6-1-1-4- Les pédicellaires.....	13
6-1-1-5- Tubes ambulacraires ou podia.....	14
6-1-2- Coloration de l'oursin noir <i>Arbacia lixula</i>	15
6-2- Morphologie interne.....	16
6-2-1- Le tube digestif.....	16
6-2-2- L'appareil reproducteur.....	17
6-2-3- Système ambulacraire (aquifère).....	18
7- Biologie et écologie d'<i>Arbacia lixula</i>.....	18
7-1- Alimentation.....	18
7-2- Habitat.....	20
7-3- Reproduction et développement d' <i>Arbacia lixula</i>	22
7-4- Ethologie.....	24
8- Intérêts écologique et économique.....	25
8-1- Pêche et utilisation.....	25
8-2- Intérêt écologique.....	25
9- Effet d'<i>Arbacia lixula</i>.....	28

Partie II

Présentation de la zone d'étude

1- Description et caractéristiques de la Méditerranée occidentale.....	30
1-1- Description.....	30
1-2- Circulation dans la Méditerranée occidentale.....	31
2- Le bassin Algérien.....	34
3- La baie de Mostaganem.....	34

3-1- Description des Fonds.....	34
3-2- Caractéristiques hydrologique et hydrodynamique.....	35
3-3- Température et salinité.....	36
4- Données générales sur la wilaya de Mostaganem.....	37
5- Choix des stations d'étude.....	38
5-1- Le site de Salamandre (extérieur du port).....	39
5-2- Le site de Stidia.....	41

Partie III

Matériel et méthodes

1- Choix et intérêt du matériel biologique	43
2- Échantillonnage	43
3- Traitement au laboratoire.....	43
3-1- Mesures des indices biométriques.....	44
3-2- Dissection et pesées des oursins.....	44
4- Le sex-ratio.....	46
4-1- Rappels théoriques.....	46
4-2- Méthodes d'étude.....	47
5- Etude des indices physiologiques.....	47
3-3-1- Indice gonadique (IG).....	48
3-3-2- Indice de réplétion (IR).....	49
6- Traitement statistique des données.....	49
6-1- Calcul de la variance et d l'écart type.....	49
6-2- Analyse de la variance (ANOVA).....	50
6-3- Analyse de la variance pour un facteur.....	50
6-4- Le test de khi deux (χ^2).....	50
7- Relations allométriques.....	50
7-1- Relation entre le diamètre (D) et la hauteur (H) de test.....	52
7-2- Relation entre le diamètre (d) de la lanterne d'Aristote et la hauteur (h) de la lanterne d'Aristote	52
7-3- Relation entre le diamètre (D) du test et le diamètre (d) de la lanterne d'Aristote..	52
7-4- Relation entre le diamètre (D) du test sans piquants et le poids (PH) humide de l'oursin	52
7-5- Relation entre la hauteur (H) du test sans piquants et le poids (PH) humide de l'oursin	53
8- Etude histologique des gonades.....	53
8-1- La fixation.....	53
8-2- La déshydratation.....	54
8-3- L'imprégnation	54
8-4- L'inclusion dans la paraffine ou enrobage.....	54
8-5- L'étalement et le collage des coupes	55
8-6- La coloration des coupes.....	55
8-6-1- Le déparaffinage.....	55
8-6-2- La coloration proprement dite.....	55
8-7- Montage entre lame et lamelle.....	56
8-8- Observation microscopique et prise de photos.....	56

Partie IV

Résultats et discussion

1- Le sex-ratio	58
1-1- Sex-ratio global	58
1-2- Sex-ratio mensuel	59
2- Indices physiologiques	61
2-1- Evolution de l'indice gonadique moyen (IGM) et de l'indice de réplétion moyen (IRM) chez <i>A.lixula</i>	62
2-2- Variation des indices physiologiques en fonction de la taille des oursins.....	67
2-2-1- Evolution mensuelle des indices physiologiques moyens de la population d' <i>A.lixula</i> au niveau de Salamandre en fonction de la taille.....	67
• Indice gonadique (IG).....	67
• Indice de réplétion (IR).....	67
2-2-2- Evolution mensuelle des indices physiologiques moyens de la population d' <i>A.lixula</i> au niveau de Stidia en fonction de la taille	70
• Indice gonadique (IG).....	72
• Indice de réplétion (IR).....	72
2-3- Variation des indices physiologiques en fonction des saisons.....	74
3- Influence de la température sur la ponte des oursins dans les deux sites	77
4- Relation biométrique	80
4-1- Relation entre le diamètre (D) et la hauteur (H) du test sans piquants.....	80
4-2- Relation entre le diamètre (d) et la hauteur (h) de la lanterne d'Aristote	82
4-3- Relation entre le diamètre (D) du test sans piquants et le diamètre (d) de la lanterne d'Aristote	85
4-4- Relation entre le diamètre (D) du test sans piquants et le poids (PH) humide de l'oursin	86
4-5- Relation entre la hauteur (H) du test sans piquants et le poids (PH) humide de l'oursin	88
5- Etude histologique des gonades	91
5-1- Cycle de reproduction d' <i>Arbacia lixula</i>	91
Conclusion	96
Références bibliographiques	98

Annexes

Introduction

Introduction

L'oursin noir *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) fait partie des oursins les plus abondants dans les habitats rocheux peu profonds de la Méditerranée (Sala et al., 1998).

Il est retrouvé dans les écosystèmes côtiers peu profonds (de 0 à environ 50 m de profondeur), il est plus fréquemment rencontré sur les surfaces rocheuses verticales, exposé à un degré élevé d'hydrodynamisme, mais il peut aussi être retrouvé dans d'autres biotopes tels que les fonds rocheux plats et même les fonds sableux avec des blocs de roches épars (Wangensteen, 2013).

Arbacia lixula coexiste avec *Paracentrotus lividus* et a le potentiel d'influencer grandement les communautés benthiques par son activité de pâturage (Privitera et al., 2008 ; Agnetta et al., 2013 ; Agnetta et al., 2015). Malgré son importance écologique de plus en plus démontrée et admise (Bulleri et al., 1999 ; Privitera et al., 2011 ; Gianguzza et Bonaviri, 2013 ; Agnetta et al., 2015), il a été traditionnellement moins étudié dans la mer atlanto-méditerranéenne que l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Boudouresque et Verlaque, 2013).

En dépit d'être souvent considérée comme une espèce typiquement méditerranéenne, *Arbacia lixula* est en fait une espèce qui a une affinité tropicale (Stefanini, 1911 ; Mortensen, 1935 ; Tortonese, 1965) qui a été probablement répartie à travers la Méditerranée dans le Pléistocène¹ supérieur (Wangensteen et al., 2012). Il est actuellement réparti le long des rives de l'Atlantique tropical, dont le Brésil (Cordeiro et al., 2014), la côte africaine (Elmasry et al., 2013), les archipels de la Macaronésie et de la Méditerranée, où il peut atteindre des densités élevées de population de plus de 10 individus m⁻² (Guidetti et al., 2003).

La reproduction chez la plupart des échinodermes serait un phénomène cyclique (Chia, 1966a ; Giese, 1959 ; Thorson, 1949). On pourra parler de saison de reproduction ou de ponte comme d'une période où la majorité des individus libèrent le plus de gamètes, période qui est précédée par de grandes variations de l'état de développement des gonades (Fuji, 1960).

En raison de son importance économique et écologique connues, le cycle de reproduction de *P. lividus* a fait l'objet de nombreux travaux et il est actuellement bien acquis (Fenaux, 1968 ; Fernandez et Boudouresque, 1997 ; Soualili et al., 2009 ; Ouréns et al., 2011 ; Tenuzzo et al., 2012 ; Gianguzza et al., 2013 ; Ouréns et al., 2013). Cependant, très peu d'études ont été consacrées à l'étude de la reproduction de l'oursin noir (*Arbacia lixula*) en méditerranée, les

¹Pleistocène : qui appartient à la première période de l'ère quaternaire, la plus longue, comprise entre le pliocène (fin de l'ère tertiaire) et l'holocène (début du néolithique), qui est caractérisé par l'apparition de l'homme et les grandes glaciations et correspond au paléolithique.

seuls travaux de recherches sur la biologie de reproduction de cette espèce concernent essentiellement le bassin méditerranéen occidentale, on retrouve ceux de Fenaux (1968), de Régis (1979) ; de Pedrotti (1993), mis à part une étude très récente réalisée par Wangensteen et al. (2013) sur la côte méditerranéenne espagnole.

Les données sur la biologie de reproduction de l'oursin noir en Algérie sont quasi inexistantes. Afin de combler partiellement cette lacune, le présent travail de recherche a pour objectif principal de décrire certains aspects biologiques de la reproduction de l'espèce *Arbacia lixula*, en suivant son cycle annuel de reproduction. En réalisant le suivi mensuel des indices physiologiques avec l'identification des stades de maturité sexuelle ; pour de mieux cerner la période de ponte.

Ce suivi nous permettra d'une part, de dégager les aspects particuliers à la reproduction de notre espèce, de définir les différences entre les populations d'oursins d'un même biotope et d'autres part, de déterminer et de détecter de possibles adaptations ou modifications de comportement de cette espèce en fonction des variations des facteurs de l'environnement. En plus, cela va nous permettre de comparer nos données à celles obtenues chez la même espèce dans d'autres régions méditerranéennes.

Nous avons suivi une population d'*A.lixula* dans des conditions naturelles provenant de deux sites d'étude de la région de Mostaganem. Le premier site est situé à la Salamandre (extérieur du port), caractérisé par un biotope rocheux, riche en algues photophiles.

Le deuxième site choisi se situe à la plage de Stidia, caractérisé par un biotope mixte rocheux et sableux plus ou moins riche en algues photophiles.

L'observation consiste à suivre l'évolution des indices physiologiques (Indice Gonadique et Indice de Réplétion), révélateurs de la condition des individus, en fonction de la taille des individus, les saisons et la température de l'eau pour l'ensemble des prélèvements. Le sex-ratio de cette espèce a aussi été déterminée.

En parallèle, une étude histologique des gonades a été conduite pour permettre de suivre l'évolution des cellules germinales et du tissu de réserve, et de définir précisément la période de ponte ainsi que les stades de maturation des gonades.

Mis à part leur rôle écologique certain dans le fonctionnement des écosystèmes benthiques méditerranéens, les oursins constituent une ressource nutritionnelle incontestable compte tenu de

leurs richesses en protéines, lipides et glucides (Arafa et *al.*, 2012 ; Angioni et Addis, 2014). De plus, ils renferment des composés bioactifs de diverses natures, peptidique (peptides bioactifs) (Qin et *al.*, 2011 ; Lee et *al.*, 2012), glucidiques (Blunt et *al.*, 2014) tels que les saponines et lipidiques (lipides bioactifs) dont les effets thérapeutiques ont été démontrés sur un grand nombre de pathologies humaines. En effet, des activités antimicrobienne, antifongique, antivirale, anti-oxydante, anti-tumorale, anti-lipidique, hypocholestérolémiante, anti-thrombotique, immunomodulatrice, anticoagulante, anti-hypertensive leurs ont été attribuées en plus de leurs applications en cosmétique (Ahmed et *al.*, 2014).

Il s'avère donc important de les étudier pour une éventuelle exploitation artisanale de l'espèce ainsi qu'une utilisation dans les domaines nutritionnel, pharmaceutique et biotechnologique.

Ce manuscrit est présenté comme suit :

Une première partie : Présentation des caractères anatomiques, physiologiques et écologiques d'*Arbacia lixula*.

Une seconde partie : Résume les caractéristiques géographiques, océanographiques, météorologiques de nos deux zones d'étude.

Une troisième partie : Retracer la conduite expérimentale, les divers prélèvements, échantillonnages et les techniques analytiques utilisées ; qui se résume en deux parties :

- Une *première partie* concerne la détermination du sex-ratio, le suivi mensuel des indices physiologiques (reproduction, activité trophique), le suivi mensuel de la température et son influence sur le cycle de reproduction de l'oursin noir vivant de deux sites.
- Une *deuxième partie* complémentaire ; concerne l'étude histologique des gonades afin de suivre l'évolution des ovocytes et spermatozoïdes, et déterminer avec plus de précision l'existence d'une ou de plusieurs périodes de ponte de cet oursin au niveau des deux sites (Salamandre, Stidia).

Une quatrième partie : est consacrée à la présentation, interprétation et discussion des résultats obtenus qui seront comparés aux données antérieures. A la fin du chapitre, une conclusion et des perspectives seront présentés.

Première Partie

Généralités sur l'espèce

Arbacia lixula

1- Présentation de l'oursin noir *Arbacia lixula*

L'oursin noir *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) est actuellement l'un des macro-invertébrés les plus visibles dans les récifs peu profonds et rocheux de la Méditerranée (Gianguzza et Bonaviri, 2013). Il s'agit d'un oursin régulier de coloration noire, avec un épithélial uniforme, le test est relativement aplati, muni d'épines longues et dures (Figure1).



Figure 1. *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758). (Photo: M. ELAKKERMI).

2- Systématique et distribution géographique de l'oursin noir (*Arbacia lixula*)

2.1-Systématique

Selon le System Canadien d'Information sur la Biodiversité (**SCIB**), selon le Catalogue of life World Register of Marine Species (**WoRMS**) et selon Universal Biological Indexer and Organizer (**uBio**), la classification de l'espèce est comme suit :

D'après Fischer W., Bauchot M-L., Schneider M., 1987, la position Systématique de l'espèce est comme suit :

Embranchement : Echinodermata

Sous-embranchement : Echinozoa

Classe : Echinoidea

Sous-classe : Euechinoidea

Super-ordre : *Echinacea*

Ordre : *Arbacioida*

Famille : *Arbaciidae*

Genre : *Arbacia*

Espèce : *lixula*

2.2- Distribution géographique

L'oursin noir *Arbacia lixula* est généralement considéré comme une espèce indigène typique de la faune méditerranéenne (Riedl, 1983), car on le trouve actuellement dans les côtes rocheuses peu profondes tout au long de la Méditerranée, souvent à des densités élevées, et ce, depuis les temps historiques (Figures 2 et 3). On le trouve également dans la côte atlantique de l'Espagne, du Portugal et du Maroc ainsi que la côte atlantique africaine jusqu'au sud de l'Angola. On le rencontre aussi aux Açores, à Madère, aux îles du Cap Vert et les îles Canaries. Sur la côte atlantique ouest, on le trouve uniquement sur l'hémisphère sud, au large des côtes du Brésil (figure 3) (Lessios et *al.*, 2012).

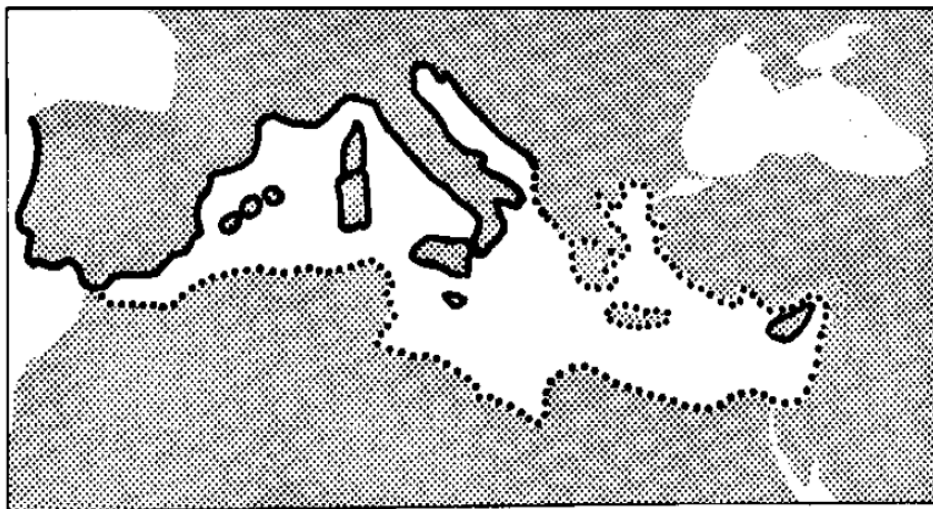


Figure 2. Distribution géographique d'*A.lixula* (Tortonese et Vadon, 1987)

3- Historique

Le chercheur Linné (1758) a nommé l'espèce *Arbacia lixula* par *Echinus lixula* dans la dixième édition de son *Systema Naturae* et il le décrit comme un oursin **continental** avec dix ambulacres en paires proches, avec des zones transversales ponctuées de courts points durs. Bien que cette description puisse se référer à presque n'importe quel oursin régulier, il est communément admis qu'il correspond plus à une espèce dans le genre *Arbacia*.

Cependant, le nom *Arbacia* a été donné par John Edward Gray (1835), qui a remplacé *Echinus lixula* par *Arbacia lixula*. L'espèce *lixula* qui était dans le genre *Echinus* se retrouve dans le genre *Arbacia*. Et depuis, l'oursin noir porte le nom d'*Arbacia lixula*.

La signification du nom *Arbacia* est particulièrement étrange. Agassiz (1842-1846) a écrit qu'il n'avait aucun changement spécial et Mortensen (1935) l'a appelé par un nom "absurde".

Harvey (1956) a donné l'explication la plus plausible pour le nom, le considérant comme un détournement d'*Arbacès*, un personnage secondaire dans le poème historique *Sardanapale* de Lord Byron, qui a été publié en 1821, quelques années avant le travail de Gray.

Le nom spécifique utilisé par Linné, *lixula* vient probablement du nom d'un biscuit rond aplati à base de farine et de fromage connu dans la Rome antique, tel que défini dans Matthias Martinius (1655), *lexique philologicum*, dérivé à son tour à partir du mot latin *lixare* (à bouillir dans l'eau).

4- Synonymes et noms vernaculaires

4-1- Synonyme

Selon Kroh et Hansson (2012) l'espèce *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) prend plusieurs synonymes à savoir :

Arbacia lixula (Linnaeus, 1758)

Arbacia aequituberculata (Blainville, 1825) (synonyme junior subjective)

Australis Arbacia (Lovén, 1887) (synonyme junior subjective)

Arbacia grandinosa (Valenciennes, 1846) (synonyme junior subjective)

Arbacia pustulosa (Leske, 1778) (synonyme junior subjective)

Cidaridaris pustulosa (Leske, 1778) (synonyme junior subjective)

Echinocidaridaris (Agarites) loculatus (Blainville, 1825) (synonyme junior subjective)

Echinocidaris (Tetrapygus) aequituberculatus (Blainville, 1825) (synonyme junior subjective)

Echinocidaris (Tetrapygus) grandinosa (Valenciennes, 1846) (synonyme junior subjective)

Echinocidaris (Tetrapygus) pustulosa (Leske, 1778) (synonyme junior subjective)

Echinocidaris aequituberculata (Blainville, 1825) (synonyme junior subjective)

Echinocidaris grandinosa (Valenciennes, 1846) (synonyme junior subjective)

Echinocidaris loculatua (Blainville, 1825) (synonyme junior subjective)

Echinocidaris pustulosa (Leske, 1778) (synonyme junior subjective)

Échinus aequituberculatus (Blainville, 1825) (synonyme junior subjective)

Échinus equituberculatus (Blainville, 1825) (faute d'orthographe pour *Echinus aequituberculatus*)

Échinus grandinosus (Valenciennes, 1846) (synonyme junior subjective)

Échinus lixula (Linnaeus, 1758) (transféré à *Arbacia*)

Échinus loculatus (Blainville, 1825) (synonyme junior subjective)

Échinus neapolitanus Delle (Chiaje, 1825) (synonyme junior subjective)

Échinus pustulosus (Leske, 1778) (synonyme junior subjective)

4-2- Noms vernaculaires

Parmi les noms vernaculaires de cette espèce d'après la FAO (Tortonese et Vadon, 1987), on retrouve:

Anglais – Black sea urchin;

Espagnole – Erizo negro ;

Français – oursin noir.

5- Origine et variabilité intra-spécifique du genre *Arbacia*

Le genre *Arbacia* a une origine néo-tropicale et comprend actuellement cinq espèces existantes valides, dont quatre ont une distribution exclusivement néo-tropicale (figure 3).

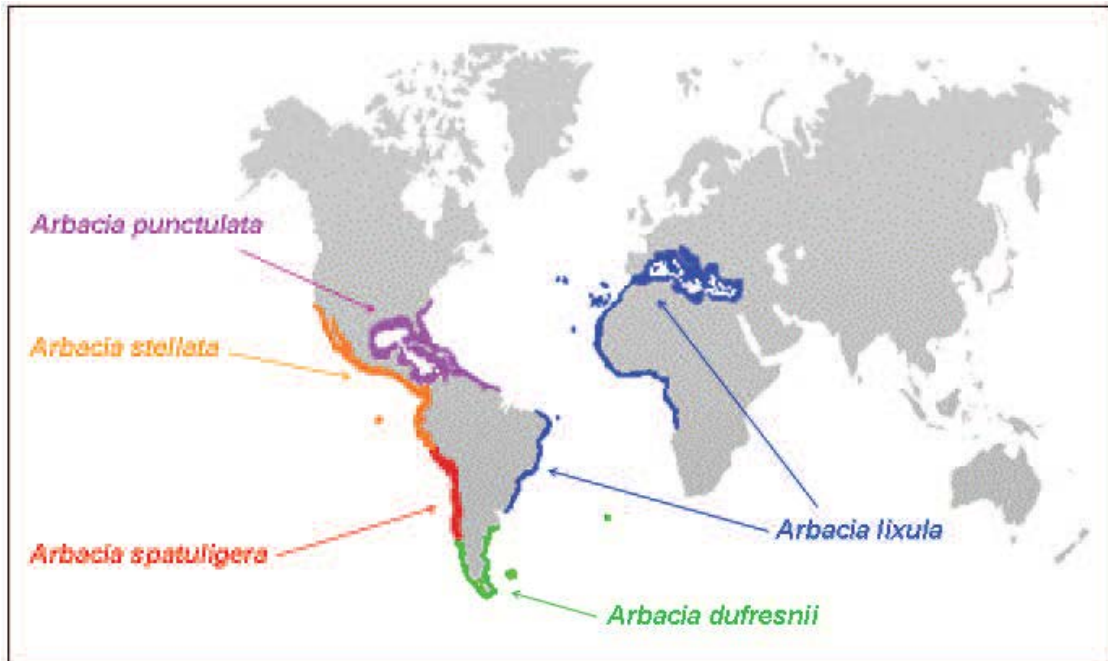


Figure 3. Zones de distribution des cinq espèces existantes du genre *Arbacia* (in Wangensteen, 2013)

La Phylogéographie basée sur des marqueurs mitochondriaux a été largement utilisée pour étudier la variabilité intra-spécifique des échinodermes et d'autres invertébrés marins (Dawson, 2001; Kelly et Palumbi, 2010).

L'étude phylogéographique intra-générique du genre *Arbacia* a été étudiée par Metz et *al.* (1998) et revisitée par Lessios et *al.* (2012). L'étude suggère que le genre est originaire de la côte pacifique de l'Amérique du sud, d'où il s'est étendu dans l'océan Atlantique le long de la voie maritime d'Amérique centrale avant la fermeture de l'isthme de Panama, qui séparait les espèces du Pacifique *A. stellata* du clade Atlantique (*A. punctulata* / *A. lixula*). Ainsi, *A. lixula* d'atlanto-méditerranéen et *A. punctulata* des Caraïbes sont des espèces sœurs, qui ont divergé peu de temps après la fermeture de l'isthme de Panama, quelque 2,6 Millions d'années.

Une controverse existe sur la synonymie d'*Arbacia lixula* avec *Arbaciella elegans* (Mortensen, 1910). La confusion se trouve entre les juvéniles d'*Arbacia lixula* et *Arbaciella elegans*. Cette petite espèce oursin d'arbaciidae a été décrite par Mortensen grâce au matériel trouvé sur la côte ouest de l'Afrique, et a été considérée comme une espèce différente car cet oursin est minuscule (le diamètre du test ne dépasse pas les 7 mm) et ses piquants sont aplatis. Une étude récente conduite par Korh et *al.* (2012) sur des bases moléculaires couplées à l'analyse de la plasticité morphologique considère que les *Arbacia elegans* de Méditerranée seraient des juvéniles de *Arbacia lixula*.

Une étude phylogéographique menée par Wangensteen et *al.* (2012) démontre que l'oursin *Arbacia lixula* est un récent colonisateur de la Méditerranée.

En dépit d'être souvent considérée comme une espèce typiquement méditerranéenne, *Arbacia lixula* est en fait une espèce d'affinités tropicales (Stefanini, 1911 ; Mortensen, 1935 ; Tortonese, 1965) qui est probablement répartie à travers la Méditerranée dans le Pléistocène supérieur (Wangensteen et *al.*, 2012).

En se basant sur l'absence de fossiles dans la Méditerranée, Stefanini (1911) et Mortensen (1935) ont déclaré qu'*A.lixula* est probablement originaire de la région d'Atlantique tropical, d'où il s'est répandu dans la Méditerranée. Kempf (1962), Tortonese (1965) et Fenaux (1968) ont également estimé qu'*A.lixula* était une espèce thermophile.

En Méditerranée nord-ouest, son abondance accentuée se fait ressentir de plus en plus au fil du temps. En 1950, Petit et *al* ont indiqué qu'*Arbacia lixula* était devenu abondant à Marseille au cours des 30 années précédentes, malgré que Marion l'avait décrit comme rare dans la même zone en 1883.

Plus récemment, Francour et *al.* (1994) ont confirmé une augmentation de 12 fois de l'abondance d'*A.lixula* en Corse sur une période de neuf ans (1983-1992) et ont suggéré que cette augmentation était due à une élévation de la température de l'eau à long terme. Dans la même période (1982 à 1995), une augmentation de 5 fois en densité d'*A.lixula* a été aussi signalée à la réserve marine de Port-Cros (France) (Harmelin et *al.*, 1995). En effet, il a été démontré que le développement larvaire d'*Arbacia lixula* préfère les températures élevées (22°C) à la différence de celui de *Paracentrotus lividus* qui ne tolère pas des températures supérieures à 18°C. De plus, l'indice gonadosomatique d'*Arbacia lixula* est maximum à 26°C et minimum à 23,5°C (Privitera et *al.*, 2011). Ce résultat permet d'accorder à *Arbacia lixula* un caractère thermophile et qu'à l'avenir le réchauffement climatique serait en faveur de cette espèce (Gianguzza et *al.*, 2011)

L'espèce *A.lixula* est actuellement répartie le long des rives de l'Atlantique tropical, dont le Brésil, la côte africaine, les archipels de la Macaronésie et de la Méditerranée, où il peut atteindre des densités de population élevées de plus de 10 individus m⁻² (Guidetti et *al.*, 2003 ; Lessios et *al.*, 2012; Cordeiro et *al.*, 2014).

6- Caractères morphologiques

6.1- Morphologie externe



Figure 4. Photos montrant la morphologie externe de l'oursin *Arbacia lixula*
Gauche : face orale, droite : face aborale. (Photos : M. ELAKKERMI).

Arbacia lixula possède un corps relativement déprimé ou subsonique. La bouche est en position ventrale sur la face orale (pôle inférieur dirigé vers le substrat) et est entourée par une membrane large de couleur verte et dépourvue de piquants appelée Péristome. Le pôle supérieur (aboral) comprend l'anus entouré d'une membrane, le périprocte couvert de 4 ou 5 grandes plaques subtriangulaires et entouré de plaques génitales et ocellaires. Les plaques génitales sont perforées par les orifices génitaux (figure 5).

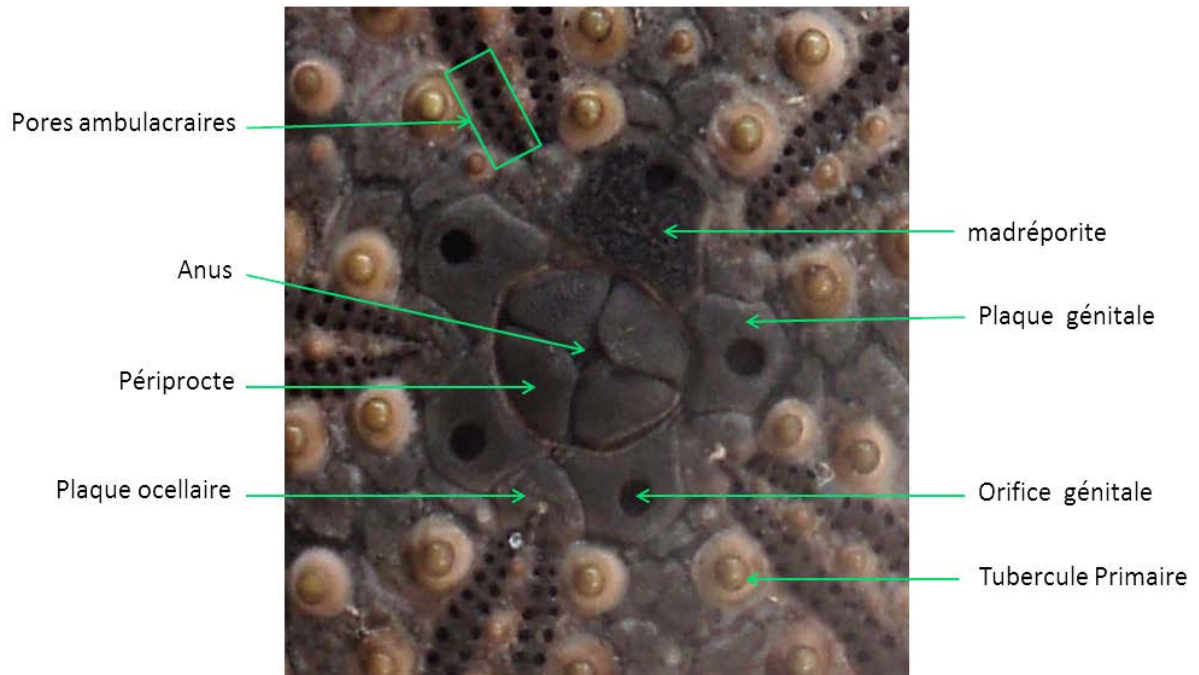


Figure 5. Vue externe de la région aborale (*Photo : M. ELAKKERMI*).

6.1.1- Test et structures associées

6.1.1.1- Le test

Le test est la paroi externe des oursins et est formé par l'assemblage de plaques calcaires étroitement juxtaposées assurant la rigidité du test. Ces plaques calcaires sont organisées en double rangée et sont de deux types délimitant des zones bien distinctes : les aires ambulacraires constituées de plaques perforées et les aires inter-ambulacraires formées de plaques imperforées. Sur les aires ambulacraires on observe les podias et les radioles, et les aires interambulacraires sont caractérisées uniquement par la présence de nombreux radioles ou piquants. Le test est divisé en dix secteurs, cinq aires ambulacraires en alternance avec cinq aires interambulacraires plus larges (figure 6).

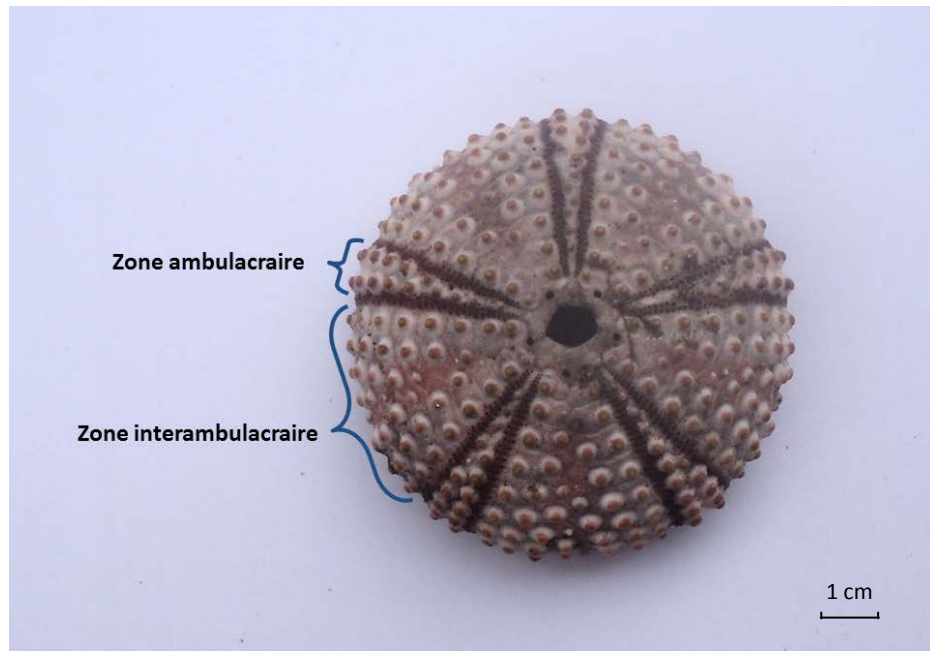


Figure 6 : Test d'*Arbacia lixula* (vue dorsale). (Photo : M. ELAKKERMI).

6.1.1.2- Les tubercules

Chaque plaque calcaire porte un tubercule primaire central où s'articule la radiole primaire. Les tubercules primaires sont nombreux, généralement non perforés et disposés en plusieurs rangées sur les zones interambulacraires et en 2 rangées sur les zones ambulacraires ; ces tubercules occupent toute la surface des zones interambulacraires (5 ou 6 sur chaque plaque dans la région équatoriale) ; les zones ambulacraires sont bien plus étroites et couvertes de petits tubercules, mais elles s'élargissent au voisinage du péristome (figure 5 et 6).

6.1.1.3- Les piquants ou radioles

Les piquants sont portés par les plaques squelettiques et s'insèrent sur les tubercules, chaque plaque calcaire porte en général au moins un piquant primaire et plusieurs piquants secondaires. Les piquants primaires, alignés en rangées méridiennes, sont puissants et pointus, leur longueur est supérieure à la moitié du diamètre du corps ; sur la face inférieure (orale), leur extrémité tend à s'aplatir ; ils sont entièrement ou partiellement recouverts d'une couche corticale ; les piquants secondaires sont peu développés et ont une distribution moins régulière (Figure 7 et 8). Les piquants servent à la locomotion et la défense en éloignant les prédateurs.



Figure 7. Radioles lisses, denses, pointues à la partie aborale, peu aplaties sur la face orale.
(Photo : M. ELAKKERMI).

6.1.1.4- Les pédicellaires

Les pédicellaires sont des petits appendices préhensiles « en forme de pince à sucre » dispersés entre les piquants. Ils s'articulent sur les petits tubercules du test.

On distingue 4 types fondamentaux :

- ✓ 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 ; Campbell, 1974 ; Boue et Chamton, 1978 ; Ghyoot, 1991). Les pédicellaires globuleux sont absents et les pédicellaires tridactyles et ophiocéphales sont de tailles diverses (Figure 8).

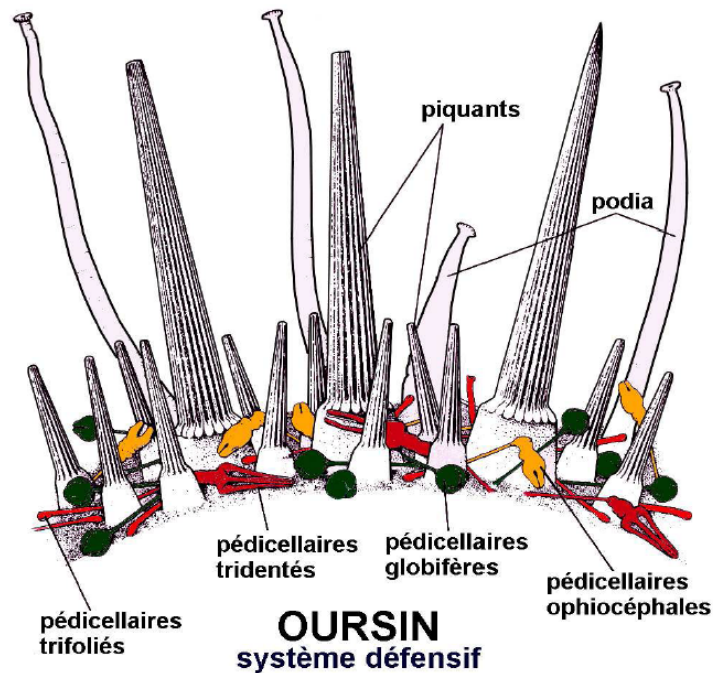


Figure 8. Piquants (primaires et secondaires), podia et pédicellaires (globifères, ophiocéphales, tridentés et trifoliés) (DeRidder, 1986).

6.1.1.5- Les tubes ambulacraires ou podia

Du test rayonnent latéralement plusieurs tubes ambulacraires noirs. Sur la face orale, ils sont nombreux et munis de ventouses et sur la face aborale, ils sont peu nombreux et sans ventouses (Figure 9). Ils sont portés par les aires ambulacraires. Ce sont des organes cylindriques et creux qui s'étirent et se rétractent sous l'effet de la pression hydraulique due au système aquifère. Ils servent à la locomotion, respiration, creusement et au transport de la nourriture ainsi qu'à la fixation de l'oursin à un support. Les podias sont en relation avec le système aquifère.

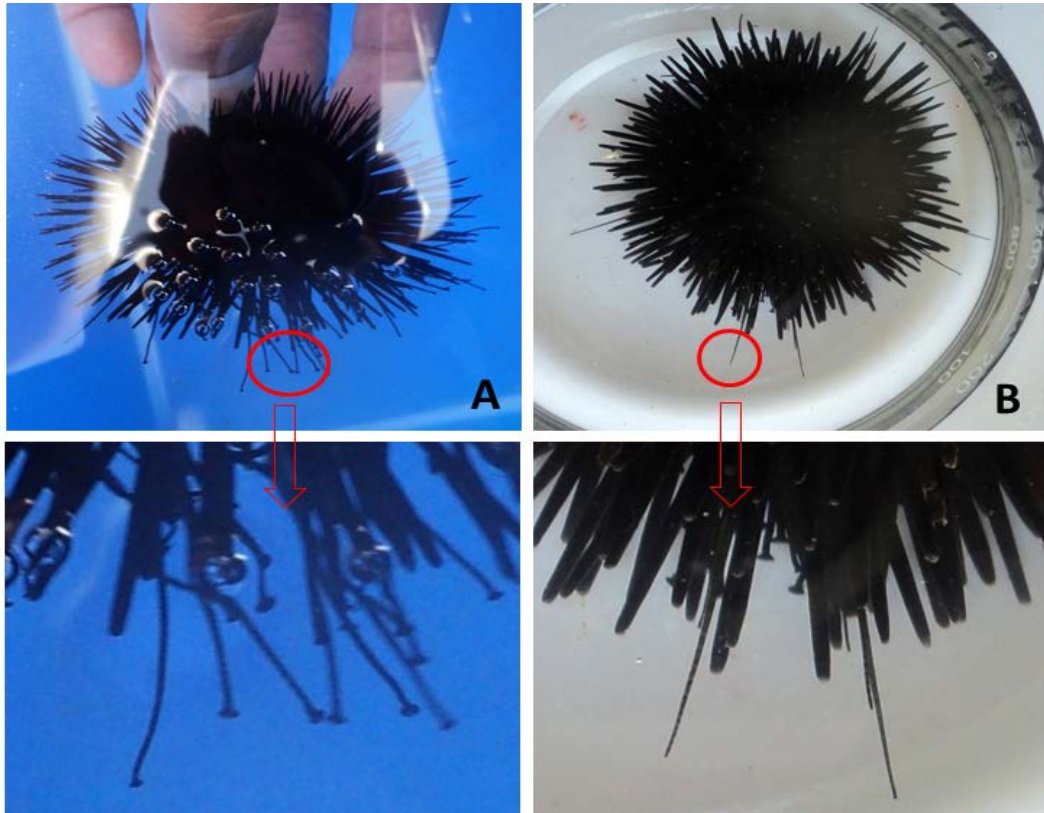


Figure 9. *Tubes ambulacraires* (cercles rouges) ; nombreux et munis de ventouse à la face orale (A), peu nombreux et dépourvus de ventouse à la face aborale (B).
(Photos : M. ELAKKERMI).

6.1.2- Coloration de l'oursin noir *Arbacia lixula*

Arbacia lixula est de couleur noire, parfois avec des reflets violacés ou brun chocolaté. Les piquants de la face inférieure (orale) sont souvent d'un brun clair. Le test nu est rose gris avec des lignes rouges marquant l'emplacement des pores. Les petits individus sont plus clairs, de couleur brunâtre (Figure 6).

Cette espèce qui peut être confondue avec *Paracentrotus lividus* s'en distingue, sur le vivant, par l'étendue de la membrane péristoméale qui entoure la bouche: bouche et membrane de grande taille chez *A.lixula*, ouverture buccale petite et membrane moins visible chez *P.lividus*.

6.2- Morphologie interne

6.2.1- le tube digestif

Le tube digestif commence par la bouche qui se trouve sur la face orale (au contact du substrat) et s'ouvre sur le péristome. Elle est armée d'un puissant appareil masticateur en forme de pyramide pentagonale, c'est la lanterne d'Aristote (figure 10). Cette dernière entoure l'œsophage et se compose de cinq mâchoires portant chacune une longue dent calcaire en forme de crochet. Les dents sont alternées avec une pièce squelettique, le compas qui assure la souplesse de l'ensemble. Les mâchoires sont articulées par des rotules.

L'œsophage situé dans la lanterne d'Aristote débouche dans l'estomac qui forme une boucle, suivi de l'intestin puis de l'anus en position dorsale (figure 11).

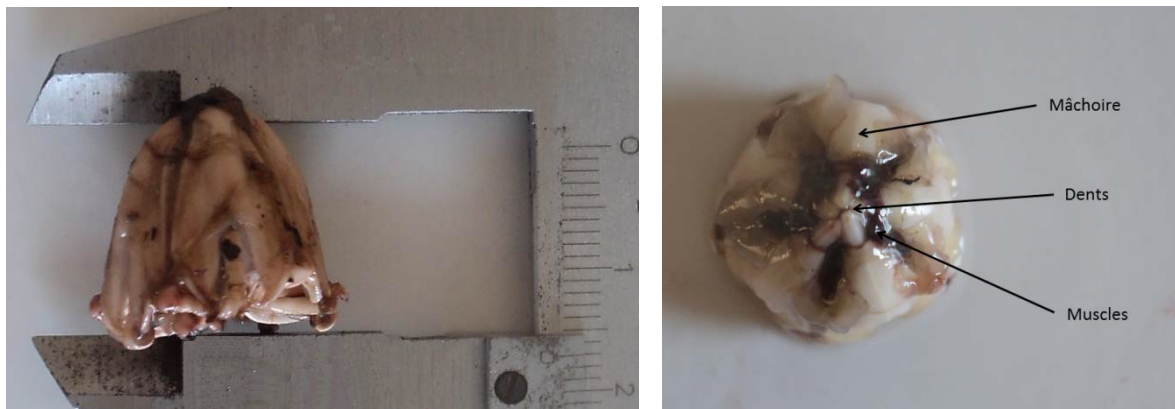


Figure 10. Les Cinq dents visibles qui font partie d'un appareil masticateur complexe, la lanterne d'Aristote. (Photos : M. ELAKKERMI).

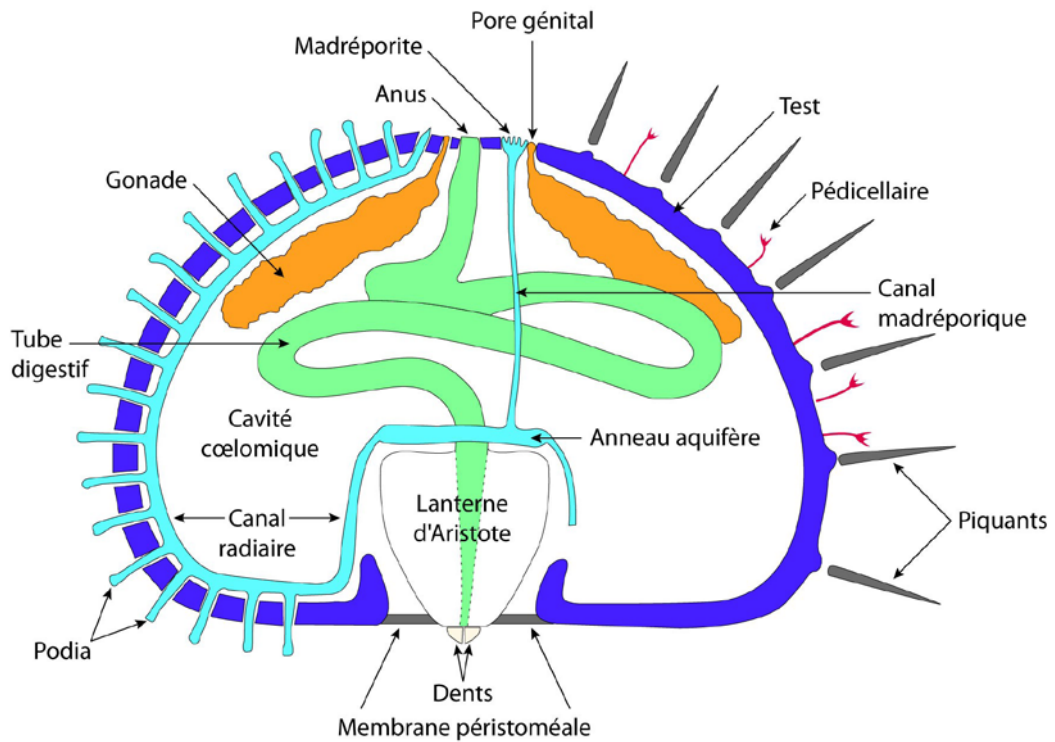


Figure 11. Schéma d'une coupe transversale du test d'un oursin régulier (Echinoidea), Tortonese (1965).

6.2.2- L'appareil reproducteur

Comme chez la plupart des oursins, chez *Arbacia lixula* les sexes sont séparés, sans dimorphisme sexuel et l'appareil génital est formé par cinq gonades reliées à cinq pores génitaux par un canal excréteur. Les pores génitaux perforent le test au niveau des 5 plaques génitales situées sur la face dorsale (aborale). Ces gonades sont disposées en cercle autour de l'anus et sont de couleur blanchâtre chez le mâle et grenat chez la femelle (figure 12). Les gamètes sont émis au niveau du pôle aboral et la fécondation est externe.

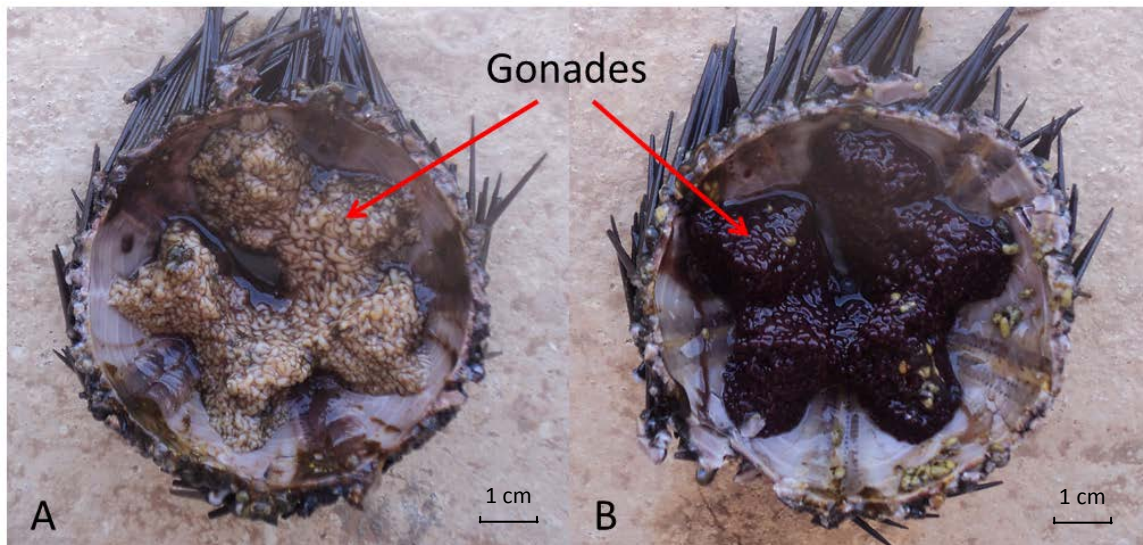


Figure 12. Disposition penta-radiale des gonades de l'oursin noir *A. lixula*. (A : Mâle) et (B : Femelle). (Photos : M. ELAKKERMI).

6.2.3- Système ambulacraire (aquifère)

Une autre caractéristique des Echinodermes est le système aquifère. C'est un réseau complexe de canaux remplis d'un liquide aqueux, de composition proche de celle de l'eau de mer, communiquant avec l'extérieur par le madréporite, plaque criblée située à la surface du corps ou dans la cavité cœlomique; le madréporite est connecté par le canal madréporique (à paroi souvent calcaire, d'où son nom de canal du sable) à l'anneau ambulacraire périoesophagien; ce dernier donne en général naissance à 5 canaux radiaires situés sous chaque zone radiaire. Les canaux radiaires envoient, à intervalles réguliers, des couples de petits canaux aboutissant à de petits diverticules ou ampoules communiquant avec les podia et les tentacules (figure 11). Ces doubles rangées d'ampoules peuvent être fortement dilatées ou contractées, modifiant ainsi la taille des appendices rétractiles.

Le système aquifère joue un triple rôle au niveau de l'alimentation, de la respiration et de la locomotion.

7- Biologie et écologie d'*Arbacia lixula*

7.1- Alimentation

Un ensemble complexe de facteurs physiques et biologiques influent sur l'activité de recherche de nourriture des oursins, notamment la disponibilité en nourriture, présence de prédateurs, mouvement de l'eau et la disponibilité des refuges (Vance et Schmitt, 1979;

Cowen *et al.*, 1982; Carpenter, 1984; Vadas *et al.*, 1986; Johnson et Mann, 1988; Scheibling et Hamm, 1991; Andrew, 1993; Benedetti-Cecchi et Cinelli, 1995; Sala et Zabala, 1996).

L'oursin comestible commun *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) et l'oursin noir *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) sont les deux espèces échinides dominantes dans les fonds rocheux peu profonds de la Méditerranée, où elles coexistent (Palacín *et al.*, 1998; Benedetti -Cecchi *et al.*, 1998 ; Bonaviri *et al.*, 2011 ; Agnetta *et al.*, 2013 ; Agnetta *et al.*, 2015).

Le point de vue global, c'est qu'ils sont des compétiteurs pour une alimentation d'algues, même si une telle concurrence présumée semble atténuée par une préférence sélective de *P. lividus* pour les algues dressées, tandis qu'*A. lixula* a une préférence pour les algues corallines encroûtantes (Kempf, 1962; Régis, 1978; Verlaque et Nédélec, 1983; Frantzis *et al.*, 1988; Bulleri *et al.*, 1999; Boudouresque et Verlaque, 2001; Privitera *et al.*, 2008) (figure 13).



Figure 13. Algues corallines encroûtantes. (Photo: Albert Kok à nl.wikipedia).

A. lixula a une souplesse trophique considérable, allant d'omnivore à une forte tendance carnivore strict. *A. lixula* est donc un omnivore qui tend à se convertir en carnivore (Wangensteen *et al.*, 2011) et dispose d'un fort potentiel d'avoir un impact sur les zones rocheuses peu profondes (Bonaviri *et al.*, 2011 ; Gianguzza et Bonaviri, 2013).

Il se comporte comme un prédateur, il gratte et peut raser totalement le substrat des structures et les algues encroûtantes, ainsi que les animaux sessiles. *A.lixula* recouvre largement son habitation avec l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* commun (Lamarck, 1816) (Agnetta et al., 2013, Agnetta et al., 2015). Il se nourrit d'algues calcaires qui se détachent du substrat (Barios et al, 2010).

Wangensteen et al. (2012) à fait allusion à un manque persistant de connaissances sur le régime alimentaire efficace d'*A.lixula*, essentielles pour la conception et l'interprétation des études écologiques.

7.2- Habitat

L'oursin noir habite les écosystèmes côtiers peu profonds (benthique sur le plateau continental, de 0 à environ 50 m de profondeur) et est plus fréquemment rencontré sur les surfaces rocheuses verticales (figure 14), exposé à un degré élevé d'hydrodynamisme, mais il peut aussi être trouvé dans d'autres habitats tels que les fonds rocheux plats et même les fonds de sable avec des blocs de roche épars.

Sur les rivages exposés, *A.lixula* se produit parfois dans la partie peu profonde des parois verticales, tandis que *P.lividus* se trouve à des profondeurs plus importantes (Chelazzi et al., 1997). Ce qui explique la grande résistance d'*A.lixula* à l'action des vagues.

P. lividus est généralement plus abondants sur les surfaces horizontales ou en pente douce, tandis que *A. lixula* est plus commun sur des substrats verticaux (Kempf, 1962; Regis, 1978).

Les observations dans ce domaine indiquent que *P.lividus* se produit principalement dans les crevasses au bas des parois verticales, tandis qu'*A.lixula* est plus abondante sur des substrats verticaux (Benedetti-Cecchi et al, 1998).

Bulleri et al. (1999) ont affirmé par l'expérimentation sur une étude réalisée sur les côtes rocheuses exposées au sud de Livourne (Italie) qu'*A.lixula* était toujours plus abondante que *P.lividus* sur des substrats verticaux. Les densités de l'oursin noir *A.lixula* sont aussi relativement élevées. En plus, un modèle d'alternance entre cette espèce et *P.lividus* semble évident, de telle sorte que si *P.lividus* est plus commun dès les fonds superficiels, *A.lixula* semble devenir plus abondante sur les communautés sciaphiles, comme le pré-coralligène et le coralligène. Il s'agit même en général d'une communauté photophile qui héberge aussi des

micro-habitats sciaphiles, comme les surplombs et les grands espaces ombragés entre les éboulis qui constituent un habitat de choix pour *A.lixula*.

L'oursin noir est l'un des oursins les plus communs sur les rochers littoraux et sublittoraux et sur les pierres recouvertes d'algues calcaires (figure15).

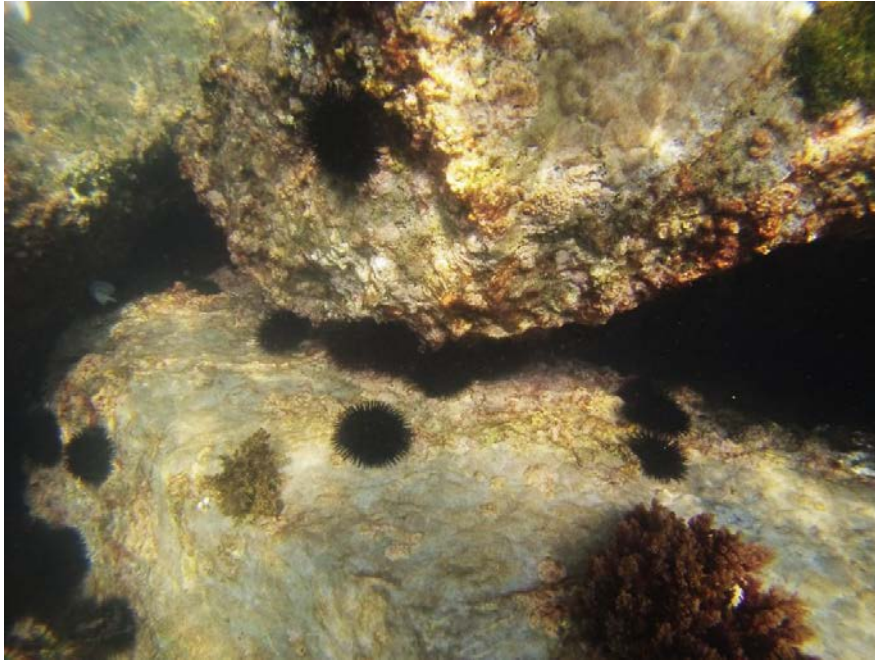


Figure 14. *Arbacia lixula* fixé sur un substrat tombant vertical (port de Salamandre à 5 m de profondeur) (Photo : M. ELAKKERMI).



Figure 15. *Arbacia lixula* sur des substrats horizontaux (Photo : R.MASSON à doris.ffessm.fr).

7.3- Reproduction et développement d'*Arbacia lixula*

Les oursins sont gonochoriques, sans qu'il existe un dimorphisme sexuel, ils possèdent cinq gonades qui s'ouvrent par un gonopore porté par cinq plaques génitales aborales. Les sexes sont séparés et la couleur des gonades diffère (Fenaux, 1968) (Figure 12).

Ces gonades sont situées au pôle apical sous les interradius, elles sont suspendues, par un repli de l'épithélium péri-viscérale sur les plaques inter-ambulacraires, dans la moitié apicale du cœlome. Elles s'ouvrent à l'extérieur par cinq pores génitaux surmontés d'une papille sur les plaques génitales (Grasse, 1948).

Les glandes génitales mâle et femelle, ont une même apparence ; elles se présentent sous la forme d'une poche (grappe) limitée par une paroi formée par un tissu de soutien et des fibres musculaires dont les contractions serviront à évacuer les produits génitaux lors de la ponte (Grasse et al., 1970; Boue et Chanton, 1978). Ces grappes sont constituées par des culs de sacs ou tubules distincts (acini), qui débouchent dans des canaux de second ordre, puis finissent dans le canal excréteur commun (gonoducte), s'ouvrant à l'extérieur par un pore génital.

Chaque gonade est divisée en deux zones cellulaires, les grosses cellules de réserves ou phagocytes nutritifs et les petites cellules à l'origine des gamètes mâles ou femelles qui sont les cellules germinales.

Le développement de ces organes reproducteurs est influencé principalement par la profondeur, la photopériode et la température hivernale (Byrne, 1990). En général, la taille des gonades et la quantité des gamètes produite sont fortement influencées par la quantité et la qualité de la nourriture (Ebert, 1968 ; Dix, 1970 ; Gonor, 1973; Vadas, 1977 ; Lawrence et Lane, 1982; Lawrence et al., 1987), dont les algues, nourriture souvent préférentielle (Fuji, 1967; Gonor 1972, Regis, 1980; Keats et al., 1984; Frantzis et Gremare 1992).

Le déclenchement de l'émission des gamètes dans le milieu est déterminé par la température de l'eau. La fécondation se fait au hasard dans l'eau de mer (in Boukhelf, 2010).

Chez l'oursin noir la reproduction a lieu selon la région de mars à juin, ou de septembre à octobre, et dans certaines zones elle a lieu toute l'année. Les oursins mâles et femelles émettent leurs gamètes en pleine eau et en très grand nombre. Après la fécondation, il y a un développement embryonnaire et la formation d'une larve nageuse planctonique Echinopluteus, très différente de l'adulte (Guettaf, 1997). Cette larve mène pendant quelques temps une vie pélagique au sein du plancton. Elle finit par tomber sur un substrat rocheux, puis subit une profonde métamorphose, avant de ressembler à un adulte en miniature.

Le cycle de reproduction d'*Arbacia lixula* dans le nord-ouest de la Méditerranée a été étudié par Fenaux (1968). Elle a étudié le cycle gonado-somatique et la présence de larves dans le plancton pendant trois ans à Villefranche-Sur-Mer (Côte d'Azur). Elle a conclu que le cycle gonadosomatique culminait chaque année de mai à Juin. Ce moment était cohérent avec l'apparition des larves pluteus dans le plancton de juillet à novembre, c'est à dire, pendant les mois les plus chauds de l'année. Fenaux a fait valoir que ce comportement était en accord avec la nature thermophile d'*Arbacia lixula*.

Pedrotti (1993) a étudié les caractéristiques spatio-temporelles de la distribution des larves de plusieurs espèces d'échinodermes, y compris *Arbacia lixula*, dans la mer de Ligure, près de Villefranche-Sur-Mer. Elle a aperçu une abondance de larves d'*A.lixula* en octobre et novembre, et un pic secondaire en juin-juillet.

L'absence de larves pendant les mois intermédiaires (d'août à septembre) (1993) est un résultat remarquable de Pedrotti, car il coïncide avec les mois les plus chauds et avec le frai prévu par la baisse de l'indice gonadosomatique signalé par Fenaux (1968). La possible interprétation de ces résultats est la faible densité de phytoplancton au cours de ces mois dans le nord-ouest de la Méditerranée, qui pourrait conduire à une massive mortalité des larves par manque de nourriture. L'autre interprétation doit être l'augmentation des densités de poissons planctonophages durant les mêmes mois, ce qui pourrait surpasser les larves des oursins.

Sala et al. (1998) et Hereu et al. (2012) ont étudié la distribution de la taille d'*A.lixula* dans la zone protégée des îles Mèdes Marine (côte catalane), et ils ont noté la prédominance des classes de taille de 4-5 cm et la rareté des individus de moins de 30 mm. Des distributions de taille similaires ont été signalées à Marseille par Kempf (1962) et dans la côte des Pouilles (Italie SE) par Guidetti et al. (2003). La conclusion était donc que le processus de recrutement d'*A.lixula* semble être très irrégulier en Méditerranée nord-occidentale, contrairement à la tendance annuelle régulière observée dans le règlement des *Paracentrotus lividus* (Lozano et al., 1995; López et al., 1998; Tomas et al., 2004).

Il est probable que le processus de recrutement est modulé par différents facteurs physiques ou biologiques (encore à étudier), et ne peut pas se produire chaque année. Ce fait est peut-être lié à des taux de mortalité élevés pendant le développement larvaire (Wangensteen, 2013).

7.4- Ethologie

Il est bien connu que la prédation est l'un des processus biologiques les plus importants qui affecte la structure des communautés et le fonctionnement des écosystèmes (Hairston et *al.*, 1960; Duffy et Hay, 2001).

Outre les effets directs sur leurs proies, les prédateurs peuvent aussi influencer sur la structure de la communauté indirectement lorsque leurs proies interagissent fortement avec d'autres espèces de la communauté (Power, 1992).

Les connaissances actuelles sur les prédateurs d'oursins en Méditerranée sont encore assez rares, et limitées à quelques zones dans le bassin (Sala, 1997).

Les prédateurs possibles des oursins dans les habitats rocheux de la Méditerranée comprennent les grands crustacés (*Eriphia spinifrons*, *Maja squinado*, *Palinurus elephas*), les astéroïdes (*Marthasterias glacialis*) et les poissons (par exemple *Diplodus spp*, *Coris julis*) (Sala et *al.*, 1998). Bien que Goñi et *al.* (2001) ont rapporté que les échinides peuvent être trouvé dans les estomacs des langoustes.

Les Poissons ont été rapportés par de nombreux auteurs comme le groupe le plus important consommateur diversifié d'oursins de la mer Méditerranée (Sala et *al.*, 1997).

Des études récentes ont mis en évidence que seulement peu de poisson, regroupés en deux principaux groupes, sont effectivement les prédateurs importants : (1) les prédateurs des oursins adultes et juvéniles (principalement *D. sargus* et *D. vulgaris*); et (2) les prédateurs des oursins juvéniles seulement (par exemple *Coris julis*). Ces deux groupes comprennent plusieurs espèces de poissons d'importance économique, principalement les deux *Diplodus spp* (Harmelin et *al.*, 1995).

Guidetti (2004) a mené une étude le long des réserves italiennes (Arenzano, Olbia, île de Lipari, Porto Cesareo, Torre Guaceto et îles Tremiti) pour estimer le nombre de prédateurs des deux espèces d'échinides les plus abondantes de la méditerranée *P. lividus* et *A.lixula*. L'étude a été effectuée sur un total de 300 oursins (150 *P. lividus* et 150 *A.lixula*) collectés en dehors de la zone d'étude et classés en trois classes de taille : petites, moyennes et grandes. Ces oursins ont été positionnés en cinq groupes de cinq spécimens chacun sur un substrat rocheux à environ 4-7 m de profondeur.

L'observateur, caché derrière un rocher, à une distance d'environ 5-10 m (en fonction de la clarté de l'eau) a noté pour une période d'environ 15 minutes que 37 *P. lividus* sur les 150 individus offerts aux poissons prédateurs ont été effectivement consommés, soit 24,7%. Tandis que le nombre d'*A. lixula* consommé par les poissons prédateurs n'était que de 13 sur 150 individus, soit 8,7%.

L'observateur a aussi enregistré que le sar commun (*Diplodus sargus*) était le prédateur le plus pertinent d'*Arbacia lixula* (en particulier les oursins de petite taille) malgré que ce poisson ait été observé en train de briser un gros spécimen d'*Arbacia lixula* dans un cas isolé. La girelle commune (*Coris julis*) et le sar à tête noire (*Diplodus vulgaris*) préfèrent plutôt les oursins de taille moyenne.

La prédation par les poissons diminue avec l'augmentation de la taille de l'oursin.

8- Intérêts écologique et économique

8.1- Pêche et utilisation

Surtout capturé à la main ou sur une embarcation en utilisant une "grappe" (perche terminée par un crochet à deux ou trois dents) ainsi qu'une "lunette Calfat" pour récolter l'oursin (in Soualili, 2008). La partie la plus comestible chez cet oursin est les gonades, dont le goût est bien de qualité moindre par rapport à celui de *P. lividus* (Tortonese et Vadon, 1987). La raréfaction de *P. lividus* le fait apparaître; très occasionnellement sur les marchés, car il est peu recherché.

8.2- Intérêt écologique

Les Communautés marines se trouvent dans des systèmes dynamiques qui peuvent se produire dans plusieurs états stables (Folke et *al.*, 2004; Knowlton, 2004; Petraitis et Dudgeon, 2004). Les processus écologiques qui favorisent le passage d'un état à un autre peuvent débiter par un déclenchement d'impulsion perturbatrice conduisant à un changement dans la composition des espèces et leur abondance relative. Le processus de rétroaction positive peut alors empêcher le retour de la communauté à des conditions antérieures (Petraitis et Dudgeon, 2004; Suding et *al.*, 2004).

Dans les systèmes tempérés, le pâturage des oursins exerce un contrôle important sur la composition et l'abondance des algues benthiques.

Des densités élevées d'oursins peuvent éliminer presque de grandes zones de macrophytes et induire la production du soi-disant «biotope dénudé» dominé par les algues corallines encroûtantes. La réduction de la prédation ou la récolte de ces oursins peut augmenter leur abondance et provoquer un changement dans les communautés d'algues conduisant ainsi à un biotope dénudé (Steneck et al., 2002; Gagnon et al., 2004; Knowlton, 2004; Wright et al., 2005; Ling et al., 2009).

L'état dénudé peut persister à moins que l'abondance des oursins baisse (Pearse et Hines, 1979; Scheibling et Stephenson, 1984).

La Stabilité de cet habitat stérile peut être améliorée par (1) la persistance de pâturage par les algues résistantes qui empêchent la recolonisation des espèces précédentes (par exemple, les algues incrustantes empêchent la formation d'un gazon d'algues (Bulleri et al., 2002); (2) par des effets démographiques positifs dans les populations d'oursins (par exemple, l'amélioration de la réussite de la fécondation dans les populations denses (Levitan et al., 1992); et (3) les changements dans le comportement alimentaire des oursins (par exemple, passer du mode alimentaire sédentaire vers un mode de pâturage libre (Johnson et Mann, 1988; Andrew et Underwood, 1993; Sala et Zabala, 1996; Dill et al., 2003; Lauzon-Guay et Scheibling, 2007).

Les oursins herbivores sont l'un des principaux facteurs qui déterminent l'abondance et la répartition des algues et herbiers dans les écosystèmes marins peu profonds. D'où l'importance cruciale des oursins dans la formation de communautés benthiques (Lawrence, 1975; Laurent et Sanmarco, 1982; Sala et al., 1998 ; Gianguzza et al., 2010).

Cette importance a été démontrée par de nombreuses expériences écologiques le long des côtes Méditerranéennes (Benedetti-Cecchi et Cinelli, 1995; Sala et Zabala, 1996; Benedetti-Cecchi et al., 1998; Palacín et al., 1998; Bulleri et al., 1999; Guidetti et al., 2004; Bonaviri et al., 2011).

Le rôle écologique d'*A.lixula* ne peut être pleinement compris, sauf dans le cadre de ses interactions avec l'oursin comestible *P.lividus*. Les oursins partagent largement leur habitat et distribution, de façon entrelacée de telle sorte que les pêcheurs Méditerranéen ont toujours pensé que c'est le mâle et la femelle d'une seule espèce (Tortonese, 1965; Corcoll, 2012).

Les noms italiens communs pour *A.lixula* et *P.lividus* (de Maschio Riccio et Riccio femina, respectivement) reflètent cette coexistence.

Les densités élevées, généralement obtenues par la coexistence de *P.lividus* par rapport à *A. lixula* ont souvent conduit les écologistes marins à axer la recherche écologique vers le plus abondant plutôt qu'au moins abondant. Ainsi, *P.lividus* est considéré comme une importante puissance qui structure les écosystèmes méditerranéens, non seulement dans les toundras avec des densités d'oursins élevées ou très élevées, mais aussi dans les communautés à faible densité d'oursins (Palacín et al., 1998a), plus représentatif sur de vastes zones à répartition géographique de l'espèce (Boudouresque et Verlaque, 2001). Inversement, *A.lixula* a été traditionnellement attribué seulement à un rôle écologique secondaire. Cependant, ce point de vue a changé ces dernières années, et l'importance écologique de cette espèce est de plus en plus reconnue (Bulleri et al., 1999; Guidetti et al., 2003; Guidetti et Dulcic, 2007; Bonaviri et al., 2011; Gianguzza et al., 2010, 2011; Privitera et al., 2011 ; Bulleri, 2013).

Les études trophiques basées sur les analyses des contenus stomacaux ont abouti à ce que l'alimentation principale de *A.lixula* sont les algues coralliennes incrustantes, alors que *P.lividus* à tendance à se nourrir de chair, érigée par les macroalgues, les feuilles de Posidonies et les épiphytes (Kempf, 1962; Régis, 1978; Verlaque et Nédélec, 1983; Frantzis et al., 1988; Bulleri et al., 1999; Boudouresque et Verlaque, 2001; Tomas et al., 2006).

Bien qu'*Arbacia lixula* a été traditionnellement considéré comme un brouteur d'algues coralliennes encroûtantes, d'autres espèces du genre *Arbacia* ont été signalées comme ayant un comportement omnivore ou carnivore sans ambiguïté.

En Amérique du Nord *A. punctulata* se nourrit sur les espèces d'invertébrés sessiles, dollars de sable et d'autres spécimens, ainsi que certaines algues (Harvey, 1956; Karlson, 1978; Cobb et Lawrence, 2005). Le régime d'*A. dufresnii* dans l'Atlantique sud est principalement carnivore (Penchaszadeh, 1979; Vasquez et al., 1984; Penchaszadeh et Lawrence, 1999; Zaixso, 2004). Dans le Pacifique *A. spatuligera* a montré une préférence pour les aliments des animaux et sur les espèces communes d'algues de son habitat (Silva et al., 2004). En outre, certaines observations indiquent un comportement omnivore ou carnivore d'*A.lixula* en dehors de la Méditerranée (Marques, 1984; Oliveira, 1991; Tavares et Borzone, 2005).

Les foyers des deux populations d'*A.lixula* et *P.lividus* ont été proposés pour être en mesure de créer des labyrinthes dans les substrats rocheux (Kempf, 1962; Verlaque, 1987; Hereu, 2004; Guidetti et Dulcic, 2007; Bulleri, 2013), en affectant à la fois la productivité et la diversité des assemblages benthiques (Bulleri et al., 2002; Sala, 2004; Privitera et al., 2008).

Les zones arides ne sont pas aussi dominantes dans le nord-ouest de la Méditerranée comme dans d'autres régions tempérées ou tropicales (par exemple: les landes étendues produites par *Diadema africanum* à Madère et les îles Canaries (Tuya et al., 2004; Hernández et al., 2008)). Mais elles sont de plus en plus communes dans le sud de la Méditerranée (Guidetti et al., 2003; Gianguzza et al., 2006; Privitera et al., 2008).

De nombreuses expériences écologiques précoces visant à tester les relations entre les oursins et les zones arides de la Méditerranée n'ont pas de discrimination entre *P. lividus* et *A.lixula* (par exemple Bulleri et al., 2002), et donc le rôle principal dans la création de terres arides a été attribué à *P. lividus* en raison de ses densités plus élevées. Cependant, certains travaux ont trouvé des associations significatives entre la densité d'*A.lixula* et l'extension de la toundra (Micheli et al., 2005; Guidetti et Dulciæ, 2007), de sorte que le rôle de *A.lixula* dans la création et le maintien des zones arides est de plus en plus prouvé (Gianguzza et al., 2011; Privitera et al., 2011 ; Bulleri, 2013). Toutefois, les travaux d'Agnetta et al. (2015) attribuent à *Arbacia lixula* un rôle secondaire dans la formation et le maintien des zones arides. Selon ces auteurs, c'est plutôt *Paracentrotus lividus* qui détient un rôle prépondérant. Cette hypothèse a été auparavant postulée par les mêmes auteurs (Agnetta et al., 2013).

Il existe de plus en plus de preuves que les populations d'*Arbacia lixula* de la Méditerranée nord-ouest ont connu une croissance démographique au cours des dernières décennies.

Boudouresque et al. (1989) ont enregistré une augmentation de 4 fois en Corse de 1980 à 1988. Hereu et al. (2012) n'ont pas trouvé de différences significatives dans la densité d'*A. lixula* dans la réserve marine des îles Medes (Catalogne). Malheureusement, il y a très peu d'études comparant les abondances des oursins à long terme.

9- Effet d'*Arbacia lixula* sur les écosystèmes marins

Qu'ils soit des prédateurs ou des charognards, végétariens, les échinodermes dominent fortement les écosystèmes dans lesquels ils sont subordonnés. Ils agissent directement sur le fonctionnement des écosystèmes marins (Allaili et Kerfouf, 2015).

Dans les récifs rocheux sublittoraux peu profonds de la mer Méditerranée, comme on le voit dans d'autres régions tempérées (Andrew et Underwood, 1993; Tegner et al., 1995; Scheibling, 1996), les oursins (*P.lividus* et *A.lixula*) peuvent influencer fortement les communautés benthiques, dans certains cas, en entraînant le passage d'assemblages de structure de macro-algues à des labyrinthes coralliennes (Sala et al., 1998 ; Guidetti et al.,

2003). Les oursins se nourrissent sur les algues pendant la nuit et peuvent transformer une flore riche en zones arides rapidement en se déplaçant dans les fronts.

Une diminution d'abondance des poissons prédateurs (par exemple due à la pêche) peut avoir des conséquences sur leurs proies (les oursins) et, à la fin, sur toute la communauté benthique dans les récifs peu profonds et rocheux.

L'abondance des algues va être affectée par le surpâturage des oursins mais que devient la diversité? L'oursin *Arbacia lixula* et *Paracentrotus lividus* sont considérés comme des espèces clés des côtes rocheuses infralittorales méditerranéennes. À des densités élevées, l'activité de pâturage des deux espèces peut produire et entretenir des terrains arides, une condition de l'habitat particulier caractérisé par des valeurs basses de couverture d'algues extrêmement dressées avec une forte présence de substrats nus et algues corallines incrustées, pauvres en qualité de biodiversité et des écosystèmes. Inversement leur absence entraîne également des pertes dramatiques dans la structure de la biodiversité et de l'écosystème.



Figure 16. Autres échinides coexistant avec *Arbacia lixula* (1) (*P. lividus* (2) et occasionnellement avec *S. granulata* (3)) (port de Salamandre) (Photo : M. ELAKKERMI).

Deuxième Partie

***Présentation de la zone
d'étude***

1- Description et caractéristiques de la Méditerranée occidentale

1.1- Description

La mer Méditerranée occidentale s'étend sur environ 2000 km d'est en ouest entre le détroit de Gibraltar à 5°O et le détroit de Sicile situé au-delà de 10°E. Du sud au nord, elle est comprise entre 35 et 45°N, soit une largeur maximale de 900 km entre la France et l'Algérie (figure 17). Ce bassin est couramment subdivisé en 5 sous bassins : à l'ouest la mer d'Alboran puis le bassin algérien avec plus au nord la mer des Baléares et le bassin nord, composé lui-même de la mer Ligure, du golfe du Lion et de la mer catalane. Enfin, à l'est de la Corse et de la Sardaigne, se trouve la mer Tyrrhénienne.

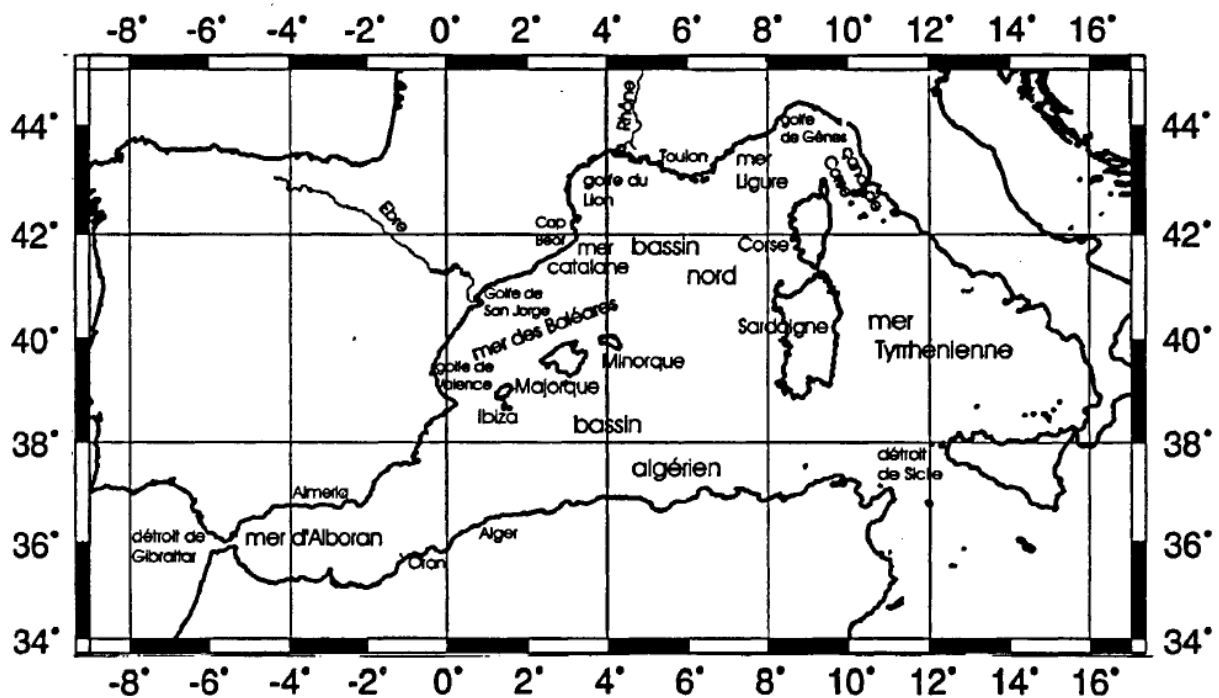


Figure 17. Situation du bassin méditerranéen occidental et position des différents lieux cités. Schéma tracé à l'aide de Generic Mapping Tools (Wessel et Smith, 1995)

1-2- Circulation dans la Méditerranée occidentale

Les échanges de masses d'eau de densités différentes aux niveaux des deux détroits (Gibraltar et Sicile) sont en effet à l'origine de la circulation cyclonique générale des masses d'eau superficielle et intermédiaire sur l'ensemble du bassin occidental (Lacombe et Tchernia, 1972; Millot, 1987, 1991).

L'eau atlantique plus légère que l'eau méditerranéenne s'écoule en surface d'ouest en est. Sa salinité est estimée à 36,15-36,18 psu ou mesurée d'environ 36,6 psu, sur une année, selon les auteurs (Lacombe et *al.*, 1981; Béthoux, 1980; Lacombe et Richez, 1982) tandis que sa température est comprise entre 17°C en mars et 21 °C en août (Lacombe et Richez, 1982).

En sens inverse, l'eau méditerranéenne sort du bassin ouest vers l'Atlantique en suivant le fond du détroit. La salinité de cette eau méditerranéenne est évaluée à 37,9 et 38,4 psu (Béthoux, 1980) et mesurée de l'ordre de 38,3 psu (Lacombe et *al.*, 1981), sa température est d'environ 13,3°C (Lacombe et Richez, 1982).

Une synthèse des connaissances de la circulation en Méditerranée est proposée par Obaton (1998). Les principales masses d'eau de la Méditerranée nord-occidentale sont l'eau atlantique modifiée (**MAW**, Modified Atlantic Water), l'eau levantine intermédiaire (**LIW**, Levantine Intermediate Water) et l'eau profonde de Méditerranée occidentale (**WMDW**, Western Mediterranean Deep Water). Nous dressons ici une description synthétique de la circulation générale dans le bassin ouest.

La **MAW** est formée par l'eau atlantique légère, peu salée et froide qui entre en surface au niveau du détroit de Gibraltar. Bryden et al. (1994) estiment à 0.72 ± 0.16 Sv le flux d'eau entrant à Gibraltar. La **MAW** effectue un parcours cyclonique en Méditerranée occidentale dans une couche d'une centaine de mètres d'épaisseur à partir de la surface (voir Figure 18.a), au cours duquel, soumise à l'évaporation et au mélange, elle gagne peu à peu en salinité et en densité. Sa salinité passe ainsi de 36.5 psu au niveau de Gibraltar à 38.0-38.3 psu en Méditerranée nord-occidentale, et sa température varie entre 14°C et 15°C.

En arrivant de l'Atlantique, la **MAW** longe d'abord la côte espagnole en mer d'Alboran puis rejoint, via le jet Almería-Oran, la côte africaine. Elle longe celle-ci jusqu'au détroit de Sicile par le courant Algérien, dont les instabilités engendrent des tourbillons cycloniques et anticycloniques qui transportent une partie de la **MAW** vers le nord (Taupier-Letage and Millot, 1998; Mortier, 1992).

Le refroidissement, donc la densification, d'une partie de la **MAW** en hiver en Méditerranée nord-occidentale produit l'eau hivernale intermédiaire (**WIW**, Winter Intermediate Water), avec des températures inférieures à 12.4 °C et une salinité de l'ordre de 38.3 psu. Cette eau s'écoule sous la **MAW** moins dense et plus chaude qui arrive des régions avoisinantes.

La **LIW**, masse d'eau chaude (13-14 °C) la plus salée (38.5-38.75 psu, Lacombe and Tchernia (1972)) de Méditerranée occidentale, est formée lors de la convection hivernale en mer Levantine, en Méditerranée orientale. Elle pénètre en Méditerranée occidentale par le détroit de Sicile, et effectue alors un parcours cyclonique en longeant les côtes entre 300 m et 800 m de profondeur (La Violette, 1994) (voir Figure 18.b).

Une petite partie de la **LIW** est entraînée en mer d'Alboran par la **MAW**, et s'écoule le long des côtes algériennes.

La **WMDW** ou L'eau méditerranéenne profonde se forme en hiver lors des épisodes de convection profonde induits par les forts coups de vent froids et secs du nord et du nord-ouest au large du golfe du Lion, ainsi qu'en Mer Ligure (Béthoux and Prieur, 1983). Formée à la surface par refroidissement et évaporation, elle plonge sous 800 m de fond.

La **WMDW** représente la plus grande quantité d'eau de l'ensemble de la Méditerranée occidentale (La Violette, 1994).

Une partie de la **WMDW** est exportée vers le sud-est par les tourbillons qui se forment pendant la convection profonde (Testor and Gascard, 2006). L'autre partie de cette masse d'eau froide (12.7-13°C) et relativement peu salée (38.4-38.48 psu) suit un parcours cyclonique en Méditerranée nord-occidentale (voir Figure 18.c), qui renforce le courant Nord. Elle franchit le détroit de Gibraltar en suivant le fond, et se stabilise en densité vers de 1000 m de profondeur (Tchernia, 1978).

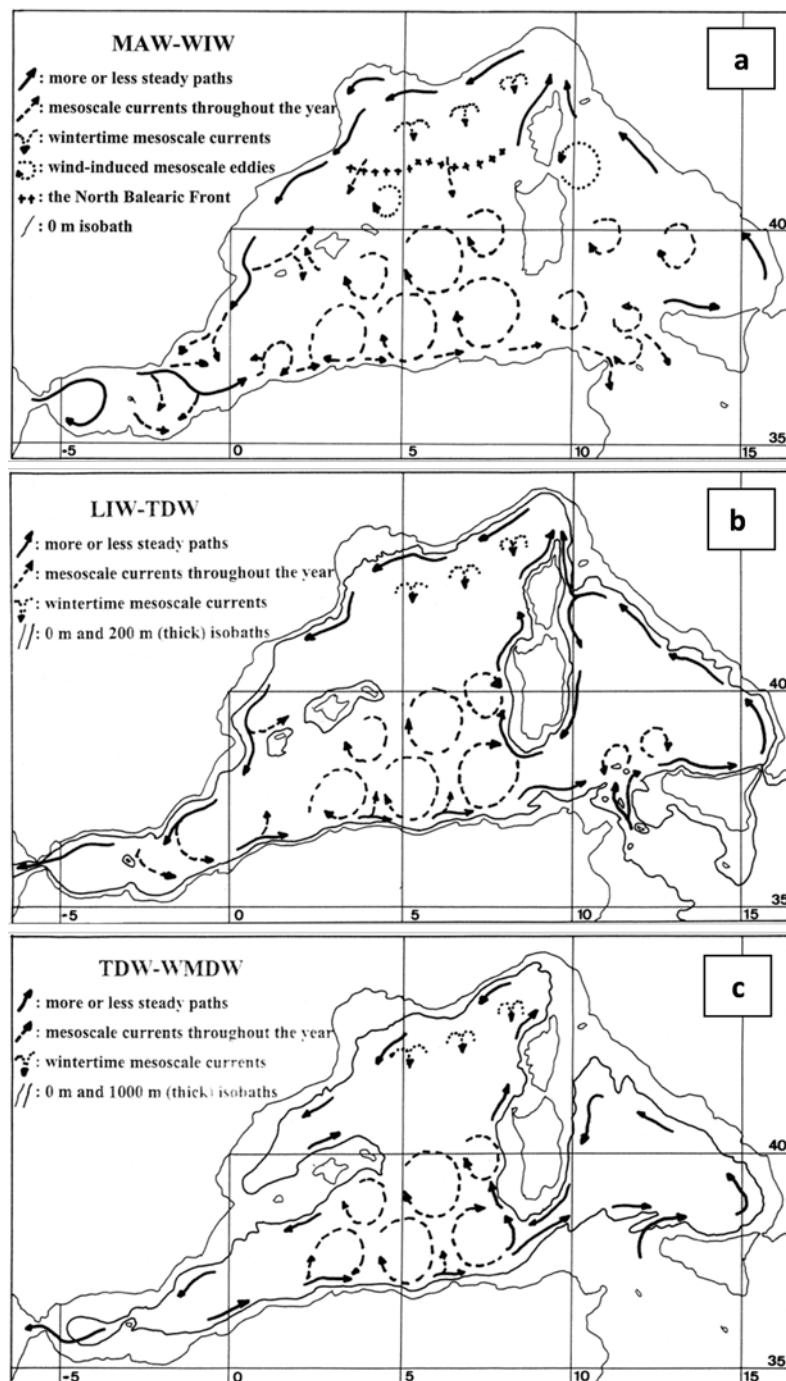


Figure 18. La Méditerranée occidentale : circulation des principales masses d'eau.
Extrait de Millot (1999)

2- Le bassin algérien

Le bassin algérien occupe la majeure partie du sud de la Méditerranée occidentale (figure 17). 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 (voir Millot, 1999). Le bassin algérien dépassant les 2600 m de profondeur est décrit selon Millot (1987) comme une zone d'accumulation de mélange, et de transformation des eaux atlantiques, et 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.

3- La baie de Mostaganem

La baie de Mostaganem est située dans le golf d'Arzew sur le méridien de Greenwich et 36° Nord. Il s'étend du Cap Ivi (36°37' N-0°13 O) au Cap Carbon (35°54' N- 0° 20W) (Sellem, 1990).

Le plateau continental s'élargit jusqu'au (27 à 28 Km au large, à une profondeur de 120 à 130 m) et se rétrécit jusqu'au 8 à 9 Km vers l'est.

3-1- Description des fonds

Au niveau de la baie de Mostaganem, on retrouve des fonds marins relativement plats, rocheux et surtout vaseux, qui sont considérés parmi les principaux fonds chalutables en Algérie. La présence de zones rocheuses se retrouve près de la côte au niveau des sites de Stidia, El Mactaa, la Salamandre et le golf d'Arzew.

Selon les campagnes des navires océanographiques «Président-Théodore-Tissier» 1957 à 1960 et «Thalassa» 1960 et 1961, la baie de Mostaganem est praticable entre 100 et 400 m pour les engins traînants depuis le cap Ivi jusqu'au cap Ferrât. Au-delà de 400 m elle n'est vraiment

chalutable qu'à partir de la longitude 0° 05 O jusqu'à celle du cap Ferrât ; en effet aux fonds accidentés situés au large du cap Ivi au-delà de 420 mètres succède une fosse profonde qui entaille le talus du plateau continental en suivant une direction nord ouest-sud est. Autour de 100 m, et au large de Mostaganem, les fonds chalutables sont recouverts d'une vase terrigène constituée par les alluvions de l'oued Cheliff ; un peu sableuse, de couleur beige pâle, elle renferme de nombreux débris coquilliers (figure 19). Les fonds de 220 à 400 mètres sont recouverts de vase très molle en surface, plus compacte en profondeur. Les fonds de 450 à 700 mètres caractérisent les vases fluides.



Figure 19. Baie d'Arzew et de Mostaganem, carte des fonds (MAURIN, 1962).

3-2- Caractéristiques hydrologiques et hydrodynamiques

Selon le plan national de développement de la pêche et de l'aquaculture 2003-2007, le littoral algérien, dans sa partie ouest, présente une richesse halieutique, grâce au courant atlantique. Ce hydrodynamisme crée les conditions naturelles favorables à une richesse halieutique forte estimable. Ainsi, cette partie occidentale abrite un grand gisement halieutique.

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) a décrit le courant Algérien comme un courant de gravité nettement instable, qui génère des tourbillons à méso-échelle qui contribuent tant à la propagation et le mélange des masses d'eau (Millot, 1987a, b, 1999).

Ce courant très turbulent se caractérise par des tourbillons cycloniques de 100 km de diamètre. Ces tourbillons cycloniques correspondant aux upwellings, induisent des zones de plus fortes productivités biologiques (MILLOT, 1987). Ces turbulences pénètrent dans les régions côtières et interfèrent avec la veine majeure du courant lui-même (MILLOT, 1987).

3-3- Température et salinité

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

Lalami-Taleb (1970) montre que les couches superficielles sont directement influençables par les températures externes en raison des échanges thermiques entre le milieu interne et l'air ambiant, elles varient entre 21 °C et 27°C en moyenne. Les maxima de températures se situent en été (au mois d'août) et se prolongent jusqu'au mois d'octobre, et les températures minimales se situent aux mois de février-mars.

Les mois les plus chauds en été, se caractérisent par une précipitation très faible, le pourcentage d'humidité est toujours supérieur à 60%. En profondeur, les températures sont plus basses et relativement stables, fluctuantes entre 13°C et 14°C en toute saison.

L'eau de mer de la région de Mostaganem contient 35 ‰ de sels minéraux, dont 27 ‰ de NaCl, les cations les plus abondants sont : Na⁺, K⁺, Mg²⁺ et Ca²⁺. Il y a 0,004 mg d'or/m³.

Selon Boudjellal (1989), la salinité estivale au niveau de cette zone est comprise entre (35,5-36) ‰, en surface, et (36,2-36,8) ‰ en profondeur. Tandis que la salinité hivernale est comprise entre (36-36,9) ‰ et une salinité superficielle qui est toujours supérieure à 37‰.

4- Données générales sur la wilaya de Mostaganem

Mostaganem est une wilaya côtière située au nord-ouest du territoire national, à environ 360 km à l'ouest d'Alger et à 80 km à l'est d'Oran.

La wilaya de Mostaganem est limitée à l'est par les wilayas de Chlef et Relizane ; au sud par les wilayas de Mascara et de Relizane ; à l'ouest par les wilayas d'Oran et de Mascara ; au nord par la mer Méditerranée.

La wilaya de Mostaganem appartient à la partie ouest de l'Atlas tellien et se caractérise par un climat semi-aride a été chaud (bioclimat méditerranéen) sur l'étroite bande côtière, et à hiver tempéré. Les précipitations étant faibles et irrégulières, et varient entre 350 mm sur le plateau et 400 mm sur les piémonts du Dahra. La température moyenne étant de 24°C

Le territoire de Mostaganem s'étend sur une superficie de 2.269 km² avec 124 km de côtes et la wilaya dispose d'un large littoral avec de merveilleuses plages et diverses potentialités touristiques et balnéaires.

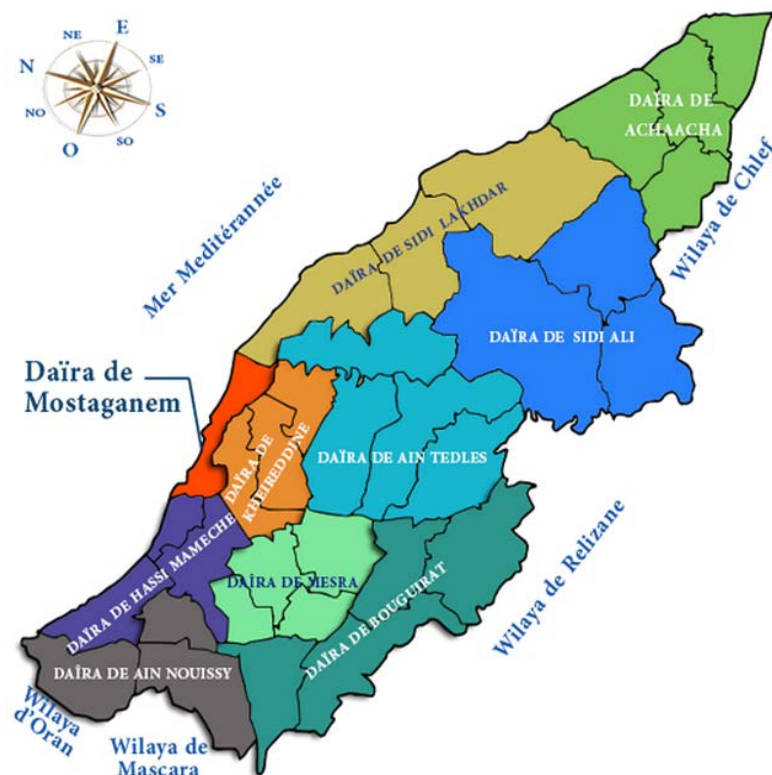


Figure 20. Carte de la wilaya de Mostaganem (<http://www.wilaya-mostaganem.dz/fr>)

Le littoral est limité à l'est par le cap "NAGRAWA" et la Macta à l'ouest. Cette position géographique, le place dans une zone riche en ce qui concerne la biomasse (stock halieutique pêché). Il s'étend sur une longueur de 124 km et traverse huit (08) communes (voir carte sur la figure 20), et le cordon littoral couvre une superficie de 27.043 hectares.

Le littoral est composé de plages, plus accessibles à l'ouest qu'à l'est, cela a incité les autorités à y identifier une quinzaine de zones d'expansions touristiques, dont certaines sont aujourd'hui en partie exploitées

Avec cette superficie, la wilaya occupe environ 13,075% de la superficie totale maritime nationale. Notons que les 2/3 sont rocheuses et plus de 30% sont des fonds chalutables.

5- Choix des stations d'étude

Deux sites ont été choisis pour la réalisation du présent travail. Le choix a été établi selon plusieurs critères ; notamment l'état de santé du site en matière de pollution, différences de localisation géographique et pour des raisons pratiques telles que la facilité d'accès aux sites sans avoir recours à une embarcation, ainsi que la nature du biotope des deux sites.

Les sites choisis sont respectivement la Salamandre (extérieur du port devenue opérationnel en 2012) localisé à la périphérie de Mostaganem et la plage de Stidia localisée au sud-ouest de Mostaganem (figure 21).



Figure 21. Localisation des sites de prélèvements (flèches blanches) dans la région de *Mostaganem* (Source : Google Earth, 2014 ; Modifiée).

5-1- Le site de Salamandre (extérieur du port)

La Salamandre se situe à ($35^{\circ} 55' 13.78''N$; $0^{\circ} 03'21.63''E$), a une distance de 2.81 Km de l'extérieur de la ville de Mostaganem (figure 22, 23).

Le site exposé aux vents dominants nord-ouest, se caractérise par un effet hydrodynamique continu par l'action des vagues et des houles. A des profondeurs qui dépassent les 10 mètres, le substrat composé de roches et de blocs formant des cavités hébergeant toutes formes d'espèces. C'est un habitat extrêmement riche et diversifié dominé par des peuplements d'algues

photophiles, dont la présence est conditionnée par la pénétration de la lumière. Il est, pour cette raison, très sensible à la turbidité de l'eau.

En vue de sa position géographique dans le golfe d'Arzew, le site s'expose à différentes formes de pollutions, urbaine, agricole et industrielle (cette forme de pollution est affaiblie après la fermeture de la société SOACHLORE et la papeterie SOGIPEC).

Une autre forme de pollution touchant ce site qui est biologique qui s'observe par la prolifération de l'espèce étudiée.



Figure 22. Localisation de la zone d'échantillonnage (étoile rouge) au niveau de la station de la *Salamandre* (extérieur du port)



Figure 23. Point d'échantillonnage à l'extérieur du port de *Salamandre* (Photo : M. ELAKKERMI).

5-2- Le site de Stidia

Le deuxième site est la plage de Stidia, situé à une distance d'environ 20 Km au sud-ouest de la ville de Mostaganem (Coordonnées géographiques : 35° 49' 51.54'' N / 0° 01' 07.09'' O). Il se localise à l'ouest de la commune de Stidia à 1.33 Km (figure 24).

Ce site se caractérise par une zone rocheuse interrompue par quelques criques, parfois sableuses, ouverte vers le nord-ouest mais sa géomorphologie (il n'est pas assez abrité), le laisse tout de même exposé au vent dominant (nord-est). Ce site est situé au pied d'une montagne et les quelques plages sableuses, qui y existent ont un linéaire côtier assez réduit et une largeur qui ne dépasse pas une quinzaine de mètres (figure 25). Globalement, l'aspect sous-marin du site de Stidia 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, occupation humaine (rejets et apports des zones habitées), agriculture, tourisme en période estivale (baignade, plongée) et pêche (ancrage, chalutage) ; c'est les raisons pour lesquelles notre choix s'est porté sur ce site, d'autant plus qu'il est aisément accessible.



Figure 24. Localisation de la zone d'échantillonnage (étoile rouge) au niveau de *Stidia* plage.



Figure 25. Point d'échantillonnage à la plage de *Stidia* (flèche blanche) (Photo : M. ELAKKERMI).

Troisième Partie

Matériel et méthodes

1- Choix et intérêt du matériel biologique

Notre choix s'est porté sur l'oursin noir *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) qui figure parmi les espèces d'oursins les plus communes de la Méditerranée.

Contrairement à l'espèce sympatrique *Paracentrotus lividus*, largement étudiée en Méditerranée, aux plans écologique, biologique, phylogénétique, reproducteur et toxicologique, les travaux entrepris sur *Arbacia lixula* sont très limités dans les aires géographiques où elle habite à travers le monde, à l'exception de l'Espagne où les chercheurs s'intéressent davantage à l'étude de cette espèce pour démontrer et prouver son rôle écologique dans les écosystèmes benthiques. En Algérie, les travaux consacrés à l'étude de cette espèce sont inexistant, malgré son importance écologique incontestable dans la structuration des communautés benthiques.

Ce constat nous a incités à nous intéresser à l'étude de la reproduction de cette espèce dans deux sites différents de la côte de Mostaganem.

2- Échantillonnage

Une cueillette mensuelle de quarante individus (40) a été réalisée en apnée (figure 26 A), durant la période allant de décembre 2013 à Septembre 2014, en zone intertidale, et à une profondeur comprise entre 1 et 5 mètres de profondeur, dans les deux sites choisis, Salamandre et Stidia. Nous rappelons que les deux sites se caractérisent par un substrat dur et riche en algues encroûtantes notamment *Lithophyllum incrustans* (l'aliment préféré d'*A.lixula*).

Le ramassage des oursins a été effectué entre 11h du matin et 15h de l'après-midi, les spécimens mesurant entre 30 et 60 mm de diamètre, ont été transportés au laboratoire dans une glacière à 4°C. Ils ont été soit traités le jour même ou après un séjour de 24 heures au laboratoire selon nos conditions.

En plus, une prospection du milieu au niveau des deux sites, a été réalisée avec prélèvement des températures de l'eau, conditions météorologiques, conditions trophiques et état de la mer suivie de prises de photos aériennes et sous-marines.

3- Traitement au laboratoire

Le travail expérimental proprement dit s'est déroulé en quatre parties, la première partie a été consacrée à l'étude biométrique avec réalisation d'une série de mesures linéaires. La seconde partie s'est résumée en pesées pondérales du corps, des gonades, du contenu digestif et des

lanternes d'Aristote. La troisième partie a consisté à accomplir l'étude des indices physiologiques (indice de réplétion et indice gonadosomatique) et la quatrième partie a comporté l'étude histologique des gonades mâles et femelles. Sur les 40 oursins collectés, 30 individus ont servi à l'étude biométrique, pondérale et des indices physiologiques. Les 10 individus restants ont servi à l'étude histologique des gonades.

3.1- Mesure des indices biométriques

Pour éviter toutes formes de contamination, les oursins ont été manipulés avec du matériel inoxydable propres. Les mensurations suivantes ont été réalisées à l'aide d'un pied à coulisse : Le diamètre (**D**) du test sans piquants, la hauteur (**H**) du test sans piquants, la hauteur (**h**) de la lanterne d'Aristote et le diamètre (**d**) de la lanterne d'Aristote (figure 26 C, D, E, F).

Au niveau du test, le diamètre a été évalué à l'ambitus et la hauteur dans le plan perpendiculaire, le long de l'axe oral-aboral. Pour la lanterne d'Aristote, nous avons mesurés le diamètre le plus large et la hauteur la plus grande dans le plan perpendiculaire jusqu'à l'extrémité des pyramides (à l'exclusion des dents).

3.2- Dissection et pesées des oursins

Les oursins ont été disséqués à l'aide de gros ciseaux propres. Pour cela, les tests ont été coupés selon le plan équatorial (l'ambitus) pour obtenir deux demi-oursins. Dans le demi-oursin supérieur (face aborale) on observe les 5 gonades permettant la détermination du sexe. Les gonades ont été prélevées puis placées dans des coupelles en papier d'aluminium préalablement pesé (**Alg**). Après prélèvement du poids frais des gonades (**PdGF**), l'ensemble a été placé dans une étuve à 70°C pendant 24 à 48 heures pour la détermination du poids sec des gonades et leur teneur en eau (figure 26 G).

La prise du poids des oursins a été effectuée avec une balance de précision au 1/10 de mg près (figure 26 B). Pour chaque individu, les poids humide et sec ont été calculés.

Le tube digestif a été aussi prélevé et vidé de son contenu par pression. Le contenu digestif a été récupéré puis déposé dans des coupelles en papier d'aluminium pesé préalablement (**AlCd**). Le poids frais du contenu digestif (**PdCdF**) a été connu en pesant les coupelles d'aluminium sur une balance de précision comme pour les gonades. Les coupelles d'aluminium ont été ensuite mises dans une étuve à 70 °C pendant 24 à 48 heures, pour la détermination du poids sec du contenu digestif (**PdCdS**). La même chose a été appliquée aux lanternes d'Aristote (figure 26 G).



Figure 26. Echantillonnage (A), Mesures: Pondérale (B), Linéaires (C, D, E, F), Séchage des gonades, contenus digestifs (mis dans des coupelles) et les lanternes d'Aristote à l'étuve (G) effectués au niveau du laboratoire. (Photos : M. ELAKKERMI).

La détermination du sexe des oursins est basée sur la couleur des gonades et leur laitance. Les **mâles** possèdent des **gonades** de couleur **blanche** si elles sont mûres et émettent un liquide blanchâtre, ou brun s'il y a eu émission de leurs contenus. Les **femelles**, par contre, présentent des **gonades** de couleur **Grenat** et elles émettent un liquide Grenat (figure 27).



Figure 27. Liquide grenat émet par les **femelles** (à gauche) et blanchâtre produit par les **mâles** (à droite) d'*Arbacia lixula*. (Photo : M. ELAKKERMI).

4- Le Sex-ratio

4.1- Rappel théorique :

Le sex-ratio est un indice représentant l'abondance d'un sexe par rapport à l'autre dans une population d'une espèce donnée (Kartas et Quignard, 1984).

Il est l'un des paramètres qui contribuent au maintien dans une certaine limite, de la capacité reproductrice de l'espèce ; et s'exprime sous différentes formes :

- Pourcentage de femelles ou taux de féminité.
- Pourcentage de mâles ou taux de masculinité.
- Rapport du nombre de mâles au nombre de femelles.

- Nombre de mâles pour 100 femelles.

4.2- Méthodes d'étude

La valeur du sex-ratio est donnée par l'expression :

$$\text{Taux de féminité} = \frac{\text{Effectif des femelles}}{\text{Effectif des femelles} + \text{effectif des mâles}} \times 100$$

Ou

$$\text{Taux de masculinité} = \frac{\text{Effectif des mâles}}{\text{Effectif des femelles} + \text{effectif des mâles}} \times 100$$

L'intervalle de confiance au risque de 5% est calculé à partir de la formule suivante (Schwartz, 1983).

$$IC = \pm 1.96 \sqrt{PQ/N}$$

P : pourcentage des femelles dans la population étudiée.

Q : pourcentage des mâles.

N : nombre total des mâles et des femelles.

5- Etude des indices physiologiques

Pour déterminer la ou les périodes de reproduction et les différentes étapes du cycle reproducteur de l'espèce, ainsi que la relation entre l'alimentation et le développement gonadique (Fenaux, 1968 ; Lawrence et *al.*, 1987; Lawrence 1975 ; Régis, 1978 ; Nichols et *al.*, 1985 ; Semroud et Kada, 1987; Semroud, 1993), deux indices physiologiques ont été calculés, à savoir l'indice gonadique (**IG**) et l'indice de réplétion (**IR**).

5.1- Indice gonadique (IG)

Selon Calow (1981), la méthode la plus satisfaisante pour estimer les besoins énergétiques de la reproduction est le calcul de la proportion d'énergie investie dans la reproduction par rapport à l'énergie absorbée. La partition des ressources dans les différents compartiments d'un organisme se mesure en unité d'énergie, en longueur, volume ou poids. Dans cette étude, la quantification de la reproduction est basée sur le calcul de l'indice gonadique, c'est-à-dire du rapport du poids sec de la gonade à celui du poids du corps. L'indice couramment utilisé est la masse des gonades sur celle du corps (Lasker et *al.*, 1954, Keats et *al.*, 1984 ; Nichols et *al.*, 1985; et Lumingas, 1994).

Divers auteurs ont utilisé pour calculer cet indice soit des volumes (Moore, 1934), soit des poids humides (Lawrence et *al.*, 1965), soit un rapport entre volume et poids humide (Booolootian et *al.*, 1959; Giese, 1961; Fugi, 1967; Fenaux, 1968). Nous avons estimé que le fait de prendre les volumes comme base de calcul de l'indice gonadique n'est pas une méthode fiable, et que le poids humide total est une donnée dont la précision est douteuse. En effet, ainsi que l'ont fait remarquer Sumich et McCauley (1973), la quantité de liquide coelomique contenu à l'intérieur du test est difficilement contrôlable et varie beaucoup dans le temps. Dès que les oursins sont retirés de leur milieu ils rejettent beaucoup d'eau et les conditions de ce rejet varient suivant les individus.

En ce qui concerne les gonades, dès qu'elles sont prélevées, la perte d'eau est importante, et leur volume -qui dépend de leur degré de « turgescence » - varie beaucoup dans le temps pour un même individu et également d'un individu à l'autre, même s'ils sont de taille identique.

En travaillant sur des poids secs, nous avons donc éliminé ces sources d'erreurs, tout en opérant dans des conditions aussi homogènes que possible.

Dans le cas présent, nous avons jugé plus aisé de remplacer le poids du corps par le diamètre du test au cube, paramètre testé chez les oursins par (Nédécel, 1983 et utilisé par Régis, 1979, Semroud et Kada, 1987 ; San Martin, 1990 ; Soualili, 2008 ; Sahnoun, 2009 ; Belkhedim, 2009 ; Dermeche, 2010).

Il s'exprime comme suit :

$$IG = \frac{\text{Poids sec des gonades (mg)}}{(\text{Diamètre horizontal du test})^3 (\text{cm}^3)}$$

5.2- Indice de réplétion (IR)

L'indice de réplétion représente l'intensité de collecte de la nourriture macroscopique (Regis, 1978). L'indice généralement utilisé correspond au poids du contenu digestif sur celui de l'animal (Regis, 1978 ; Lawrence et *al.*, 1982). Comme pour l'indice gonadique, nous avons remplacé par commodité, dans cette étude, le poids total par le diamètre du test au cube (Nedelec, 1983).

Il s'exprime comme suit :

$$IR = \frac{\text{Poids sec du contenu digestif (mg)}}{(\text{Diamètre horizontal du test})^3 (\text{cm}^3)}$$

6-Traitement statistiques des données

Le logiciel Microsoft Excel a été utilisé pour la saisie des données obtenue au cours de notre travail. Tandis que le traitement statistique des données a été réalisé avec le logiciel d'analyse de données Statistica V.6.1 (StatSoft France 2003).

6-1- Calcul de la variance et de l'écart-type

Le calcul de la variance d'une variable discrète composée de n observation est réalisé à partir de la formule suivante :

$$S^2 = \Sigma (xi - m)^2 / n$$

Avec: S^2 = variance.

m : moyenne

L'écart-type (ou paramètre de dispersion) permet de chiffrer la variation autour du paramètre de position qui est la moyenne (Dagnelie, 1973). L'écart-type est la racine carrée de la variance, sa formule est la suivante :

$$S = \sqrt{(xi - m)^2 / n}$$

Avec : S = écart-type.

6-2- Analyse de la variance (ANOVA)

L'analyse de la variance a pour but de comparer les moyennes de plusieurs populations supposées normales et de même variance, à partir d'échantillons aléatoires, simples et indépendants (Dagnelie, 1975 ; Underwood, 1981). Cette analyse permet de vérifier si la source de variation est liée uniquement à la variabilité à l'intérieur des échantillons, ou bien si le facteur contrôlé introduit une variation entre les échantillons (Dodge, 1993 ; *In* Mezali, 2008).

Une analyse de la variance sur les indices physiologiques moyens pour l'ensemble des prélèvements et, est entreprise pour préciser la différence significative ou pas des valeurs variances.

6-3- Analyse de la variance pour un facteur

Des tests d'ANOVA à un seul critère de classification (ANOVA a un facteur, à $P < 0.05$) ont été utilisés pour tester la différence entre les variances des IG et IR entre les mois et entre les sites (Salamandre et Stidia) d'une façon global, en fonction de la taille et en fonction des saisons.

6-4- Le test de Khi deux (χ^2)

C'est un test d'indépendance, de conformité ou de concordance, d'homogénéité ou d'ajustement. Il s'agit d'un test d'indépendance entre deux variables. Autrement dit, celui-ci va nous permettre de déterminer si oui ou non il y a un lien entre nos variables.

Dans notre travail on a recours à ce test pour déterminer s'il y'a un lien entre les variables sexe et mois.

7- Relations allométriques

L'allométrie est l'étude des échelles de relations entre une partie du corps et le corps dans son ensemble. Elle s'applique à presque toutes les mesures biologiques qui co-évoluent, caractères morphologiques, physiologiques et écologiques.

Chez l'oursin, les paramètres morphologiques susceptibles de se modifier sous la pression du milieu, sont la forme du test (la relation diamètre-hauteur ou taux d'aplatissement), la relation diamètre-poids total du test, l'épaisseur du test, le nombre et la taille des piquants, le nombre de plaques par zone inter-ambulacraire, la taille du système apical, la couleur et le poids relatif de la mâchoire ou lanterne d'Aristote (Thompson, 1917; Moore, 1935; Hagstrom et

Lonning, 1964; Régis, 1978, 1981; McPherson, 1965, 1968; Swan, 1966; Dix, 1970; Marcus, 1980, 1983; Allain, 1972, 1975; Ebert, 1980, 1988; Dafni, 1980, 1983; Black et *al.*, 1982, 1984; Telford, 1985; Russell, 1987; Edwards et Ebert, 1991; Levitan, 1991 ; Sellem, 1995a ; Hernández et Russell, 2010 ; Hughes et *al.*, 2012 ; Ebert et *al.*, 2014).

La comparaison de la croissance entre deux variables peut être effectuée à l'aide d'équations mathématiques. Si x et y sont deux grandeurs mesurées sur un même animal, la relation d'allométrie peut s'exprimer sous la forme suivante (Huxley, 1932).

$$y = b x^a \text{ Ou } a \text{ (coefficient de régression) et } b \text{ sont des paramètres de croissance.}$$

Le coefficient de corrélation (r) exprime la dépendance entre deux variables. La précision du modèle d'allométrie est déterminée par ce coefficient, dont la corrélation est d'autant plus forte qu'il est proche de **1**.

Pour estimer l'allure de l'allométrie, la valeur du coefficient de régression a est comparée à une valeur théorique **1** ou **3** (elle est égale à **1** lorsqu'il s'agit d'une *allométrie simple*; avec des *variables de même dimensions* tels que la hauteur et le diamètre, et elle est égale à **3** lorsqu'il s'agit d'une *allométrie cubique*, les *variables sont de dimensions différentes* tels que le poids frais et la hauteur), à l'aide du test (t) de Student ($P < 0,05$).

Si a n'est pas différent de 1 ou 3, on parle d'allométrie simple ou isométrie. Les deux variables x et y croissent à la même vitesse. Si $a < 1$ ou 3, on parle d'allométrie minorante ou négative, c'est-à-dire que la variable y croît moins vite que la variable x , quand $a > 1$ ou 3, il s'agit d'une allométrie majorante ou positive, la variable y croît plus vite que la variable x .

Pour comparer, les allométries entre les différents sites, les valeurs des coefficients de régression sont comparées 2 à 2 avec le test (t) de Student ($P < 0,05$) ; Le calcul des différents paramètres des relations allométriques étudiées dans le présent travail, a été effectué à l'aide du programme (STATGRAPHICS, 2001).

Cette étude est basée sur les relations entre plusieurs paramètres biologiques, tels que le poids, le diamètre et la hauteur de l'oursin ou le diamètre et la hauteur de la lanterne d'Aristote.

Dans ce présent travail, on s'est focalisé sur la relation entre :

Le diamètre (**D**) du test et la hauteur (**H**) du test, le diamètre (**d**) de la lanterne d'Aristote et la hauteur (**h**) de la lanterne d'Aristote, Le diamètre (**D**) du test et le diamètre (**d**) de la lanterne d'Aristote, Le diamètre (**D**) du test et le poids (**PH**) humide de l'oursin, la hauteur (**H**) du test et le poids (**PH**) humide de l'oursin.

7.1- Relation entre le diamètre (**D**) et la hauteur (**H**) de test

L'équation utilisée est :

$$H = b D^a$$

D : Diamètre du test sans piquants (mm).

H : Hauteur du test sans piquants (mm).

a : Coefficient de régression.

b : paramètre de croissance.

7.2- Relation entre le diamètre (**d**) et la hauteur (**h**) de la lanterne d'Aristote

$$h = b d^a$$

h : Hauteur de la lanterne d'Aristote (mm).

d : Diamètre de la lanterne d'Aristote (mm).

a : Coefficient de régression.

b : paramètre de croissance.

7.3- Relation entre le diamètre (**D**) du test et le diamètre(**d**) de la lanterne d'Aristote

$$d = b D^a$$

D : Diamètre du test sans piquants (mm).

d : Diamètre de la lanterne d'Aristote (mm).

a : Coefficient de régression.

b : paramètre de croissance.

7.4- Relation entre le diamètre (**D**) du test sans piquants et le poids (**PH**) humide de l'oursin

$$PH = b D^a$$

D: Diamètre du test sans piquants (mm).

PH : Poids humide de l'oursin (mg).

a : Coefficient de régression.

b : paramètre de croissance.

7.5- Relation entre la hauteur (H) du test sans piquants et le poids (PH) humide de l'oursin

$$\mathbf{PH = b H^a}$$

H: Hauteur du test sans piquants (mm).

PH : Poids humide de l'oursin (mg).

a : Coefficient de régression.

b : paramètre de croissance.

8- Etude histologique des gonades

L'étude histologique des gonades a été réalisée sur 10 individus adultes, 5 oursins males et 5 oursins femelles. Les méthodes histologiques utilisées pour l'analyse microscopique des gonades sont les méthodes d'histologie classique, en utilisant la coloration topographique la plus courante (Hémalum-éosine) (Exbrayat, 2000, 2013 ; Martoja et Martoja, 1967).

Au laboratoire, ces 10 individus ont été traités comme les 30 autres oursins. Après dissection, les 5 gonades ont été prélevées, pesées puis immergées dans de piluliers étiquetés et remplis du liquide fixateur.

8-1- La fixation : le liquide fixateur utilisé dans cette expérience est le formol dilué à 10% (Annexes : fiche technique n°1). La fixation est une étape essentielle qui permet la préservation des structures macroscopiques et microscopiques des gonades aussi proche que possible de l'état initial. La durée de fixation n'est pas limitée et les organes peuvent aussi être fixés indéfiniment dans le formol à 10% (Exbrayat, 2000, 2013).

Après la fixation, les gonades fixées ont été lavées à l'eau courante pour éliminer le formol puis soumises à **une série de traitements**, pour les préparer à **l'inclusion dans la paraffine**.

Les étapes qui suivent la fixation sont : la déshydratation, le blanchiment, l'imprégnation des pièces déshydratées dans la paraffine fondue et l'inclusion proprement dite ou coulage des blocs de paraffine.

8-2- La déshydratation : a été effectuée dans des bains d'alcool (éthanol) de titre croissant (70°, 80°, 90° et 100°). Cette série d'éthanol à degré croissant jusqu'à l'éthanol absolu (100%) permet une élimination totale de l'eau contenue dans les échantillons. Par la suite, l'éthanol n'étant pas miscible à la paraffine, il est remplacé par un solvant: le toluène (liquide intermédiaire). C'est l'étape blanchiment ou éclaircissement du protocole (figure 28).

8-3- L'imprégnation : Les gonades ont été ensuite imprégnées à chaud dans une étuve réglée à 60°C dans la paraffine liquide. Cette imprégnation a été réalisée en plaçant les gonades dans deux bains successifs de paraffine d'une heure chacun (figure 29).

8-4- L'inclusion dans la paraffine ou enrobage : permet de conférer à l'ensemble (la gonade et la paraffine), une consistance homogène avec une bonne adhérence. La mise en bloc se fait dans des moules spéciaux en acier, les moules d'inclusion qu'on remplit de paraffine liquide, pure et filtrée (figure 29). La pièce considérée (la gonade) est orientée selon le plan de coupe désiré, tout en éliminant les bulles d'air pouvant se former. Après refroidissement de la paraffine, nous obtenons un bloc où la pièce fait partie intégrante du milieu d'inclusion. Avant d'être coupé, **le bloc est taillé**, en forme de trapèze avec deux cotés parallèles. Le bloc est alors fixé à chaud sur un porte-bloc d'un microtome du type Minot, modèle "American Optical" et les pièces incluses sont débitées en coupes de 5 à 7 µm d'épaisseur sous forme d'un ruban, le ruban de paraffine (figure 30).

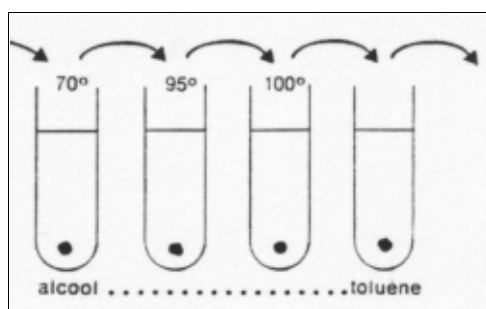


Figure 28. Déshydratation des gonades

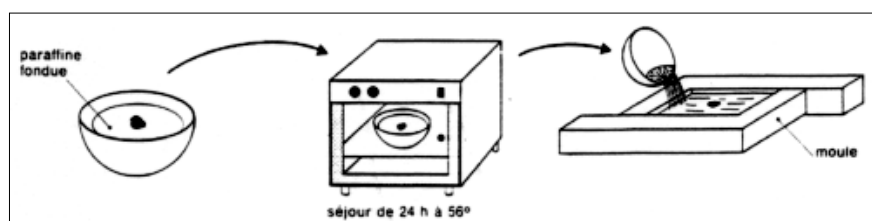


Figure 29. Imprégnation et inclusion des gonades

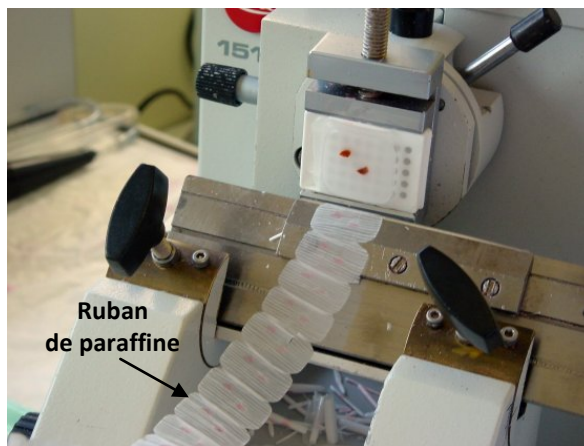


Figure 30. Ruban de coupe sur microtome

8-5- L'étalement et le collage des coupes : ont été accomplies à l'aide d'eau gélatinée à 4 %, sur des lames de verre propres (lames histologiques). Celles-ci sont ensuite entreposées sur une plaque à rainures et mises à l'étuve à 45°C pour leur séchage pendant environ 12 heures.

8-6- Coloration des coupes

8-6-1- Le déparaffinage

Cette opération précède la coloration, c'est une opération qui consiste à éliminer le milieu d'inclusion (paraffine dure autour de la pièce) et permet aussi de réhydrater les tissus. Les lames séchées ont été déposées sur une plaque chauffante, afin que la paraffine atteigne sa température de fusion. Celle-ci est ensuite éliminée par un traitement au toluène (ou xylène de préférence) qui est lui-même remplacé progressivement par de l'alcool éthylique à degré décroissant et enfin l'eau; les coupes se réhydratent progressivement (Annexes: fiche technique n°3). L'étape du chauffage des lames sur une platine chauffante pour faire fondre la mince couche de paraffine entourant la pièce peut être facultative et les lames peuvent être directement immergées deux fois dans du cyclohexane pendant 10 mn (Exbrayat, 2000, 2013).

8-6-2- La coloration proprement dite

Les tissus animaux étant transparents, ce qui rend difficile leur observation au microscope photonique. La coloration permettra d'obtenir des préparations colorées facilement visualisables et les différentes teintes des tissus obtenues dépendent de l'affinité tinctoriale du

tissu et de la coloration choisie. Les **colorations topographiques** (ici Hémalum éosine) permettent d'étudier la **morphologie** et l'**anatomie microscopique des tissus** et de reconnaître facilement les **structures tissulaires** (tissus conjonctifs, muscles et fibres conjonctives) et cellulaires (noyaux, membranes, etc....) au niveau de la coupe (Annexes : fiche technique n°4).

8-7- Montage entre lame et lamelle

Après coloration, les coupes ont été déshydratées dans une série d'alcool éthylique à degré croissant jusqu'à l'alcool absolu (100°) en commençant par l'alcool 70° puis traitées avec du butanol pendant 5 mn et du cyclohexane pendant 10 mn par immersion des lames dans des piluliers contenant ces solvants.

Les lames ont été ensuite montées entre lames et lamelles à l'aide d'une résine neutre (Eukitt ou baume de Canada).

8-8- Observation microscopique et prise de photos

L'observation microscopique et la prise des photos ont été réalisées sur un photo-microscope Nikon Eclipse E400 doté d'une caméra numérique Nikon DXM1200.

Tableau 1: Les différents stades de maturation des gonades proposés par **Fuji (1960)**.

Stade 0	Stade qui n'existe que chez les très jeunes individus dont les gonades sont formées d'un tissu ou la différence sexuelle n'est pas visible même après un examen microscopique, ce stade n'a pas été observé.
Stade 1 (post-ponte)	<p>Observé chez les oursins qui ont déjà subi des maturations sexuelles. Les gonades sont petites.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Chez les femelles: les ovogonies sont pariétales. Il existe parfois quelques ovocytes déjà différenciés, tout le reste de la gonade est envahi par un tissu nutritif riche en inclusions. • Chez les mâles: les spermatogonies pariétales forment des ilots et dans le tissu nutritif qui remplit la glande, on observe encore quelques spermatozoïdes en voie de phagocytose.
Stade 2 (croissance)	<ul style="list-style-type: none"> • Chez les femelles: les ovocytes sont plus nombreux et commencent leur phase de croissance. Ceux qui sont près de la paroi s'allongent vers le centre de la gonade. Le tissu nutritif est encore bien développé. A la fin de ce stade, quelques ovocytes ont migré jusqu'au centre de la gonade, ils sont de forme elliptique ou arrondie. Le tissu nutritif est moins dense et des vides apparaissent. • Chez les mâles: les spermatides différenciés forment des feuilles qui, en coupe, ont l'aspect de colonnettes pénétrant dans le tissu nutritif.
Stade 3 (pré-maturation)	<ul style="list-style-type: none"> • Chez les femelles: les ovocytes ont accumulé des substances de réserve et déjà quelques-uns ont subi la mitose réductionnelle. • Chez les mâles: la spermatogenèse est active. Au bout des colonnettes se détachent les premiers spermatozoïdes.
Stade 4 (maturation)	<ul style="list-style-type: none"> • Les gonades femelles sont remplies d'ovules, on observe encore des ovogonies pariétales. • Les gonades mâles sont remplies de spermatozoïdes, mais sur les bords de la glande on observe une couche où la spermatogenèse est encore active.
Stade 5 (ponte)	<ul style="list-style-type: none"> • Chez les femelles: le centre, peu après la ponte, montre encore quelques ovules, mais le tissu phagocytaire nutritif est plus développé et tend à remplir la gonade. Les ovocytes résiduels ont tous été phagocytés. • Chez les mâles: la quantité de spermatozoïdes résiduels, au début assez importante, diminue rapidement par phagocytose.

Quatrième Partie

Résultats et discussion

1- Sex-ratio

1-1-Sex-ratio global

Le sex-ratio a été déterminée sur une cueillette de **298** oursins noirs récoltés du site de Salamandre et **290** oursins noirs collectés du site de Stidia, soit un total de **588** individus. La répartition des sexes de la population d'*Arbacia lixula* est mentionnée sur le tableau 2.

Tableau 2. Pourcentages des deux sexes de la population *A.lixula* dans les deux sites.

	SALAMANDRE		STIDIA	
	Sexe		Sexe	
	M	F	M	F
Effectifs	170	128	162	128
Total	298		290	
Pourcentage %	57,05	42,95	55,86	44,14
Intervalle de Confiance (IC)	5,62		5,72	
Sex-ratio global (rapport M/F)	1,33		1,27	

Le taux de masculinité total dans le site de Salamandre est de **57,05 %**, les mâles sont donc plus nombreux que les femelles dont le pourcentage est de **42,95%**. La même chose a été constatée pour le site de Stidia où le taux de masculinité total est de **55,86 %** et le taux de féminité est de **44,14%**. Les mâles sont donc plus nombreux que les femelles. Quel que soit le biotope étudié le sex-ratio a été signalée en faveur des mâles. Le contraire a été mentionné chez *Paracentrotus lividus* qui a montré un taux de féminité plus élevé que le taux de masculinité à Mostaganem (Salamandre et Sidi Lakhdar) (Boukhelf, 2012) et dans différentes régions de la côte algérienne (Guettaf, 1993 ; Soualili, 2008 ; Sahnoun, 2009 ; Belkhedim, 2009 ; Dermeche, 2010 ; Kouadri Mostefai, 2014).

1-2-Sex-ratio mensuel

Tableau 3. Pourcentages et Sex-ratio mensuels des populations d'oursins noirs des deux sites d'étude (Salamandre et Stidia).

Mois	SALAMANDRE					STIDIA				
	Sexe		pourcentage		sex-ratio mensuel	Sexe		pourcentage		sex-ratio mensuel
	M	F	M	F		M	F	M	F	
D	15	15	50,00	50,00	1,00	16	14	53,33	46,67	1,14
J	13	8	61,90	38,10	1,63	13	7	65,00	35,00	1,86
F	22	15	59,46	40,54	1,47	14	16	46,67	53,33	0,88
M	14	16	46,67	53,33	0,88	18	12	60,00	40,00	1,50
A	17	13	56,67	43,33	1,31	19	11	63,33	36,67	1,73
M	20	10	66,67	33,33	2,00	18	12	60,00	40,00	1,50
J	19	11	63,33	36,67	1,73	17	13	56,67	43,33	1,31
J	13	17	43,33	56,67	0,76	16	14	53,33	46,67	1,14
A	20	10	66,67	33,33	2,00	16	14	53,33	46,67	1,14
S	17	13	56,67	43,33	1,31	15	15	50,00	50,00	1,00

Pour déterminer s'il y'a une liaison entre les variables sexe et mois on a utilisé le test d'indépendance du khi deux. Ce dernier nous a révélé qu'avec un seuil de signification à 5% (soit 0,05) il n'y a pas de lien entre les deux variables, donc les variables **sexe** et **mois** sont **indépendantes** (valeur du khi deux égale à **7,27** pour Salamandre et **3,46** pour Stidia). La même conclusion a été énoncée avec un seuil de signification à 1% (soit 0,01).

Dans le présent travail, le sex-ratio mensuelle présente une légère différence entre les taux de féminité et de masculinité (tableau 3).

En effet, à la Salamandre le taux de féminité est élevé durant les deux mois de mars et juillet avec des valeurs respectives de **53,33 %** et **56,67 %** par rapport aux taux de masculinité, et le taux de féminité est égal au taux de masculinité au mois de décembre (tableau 3, figure 31). Pour le reste des mois, le pourcentage est en faveur des mâles par rapport aux femelles, donc le taux de masculinité est plus élevé.

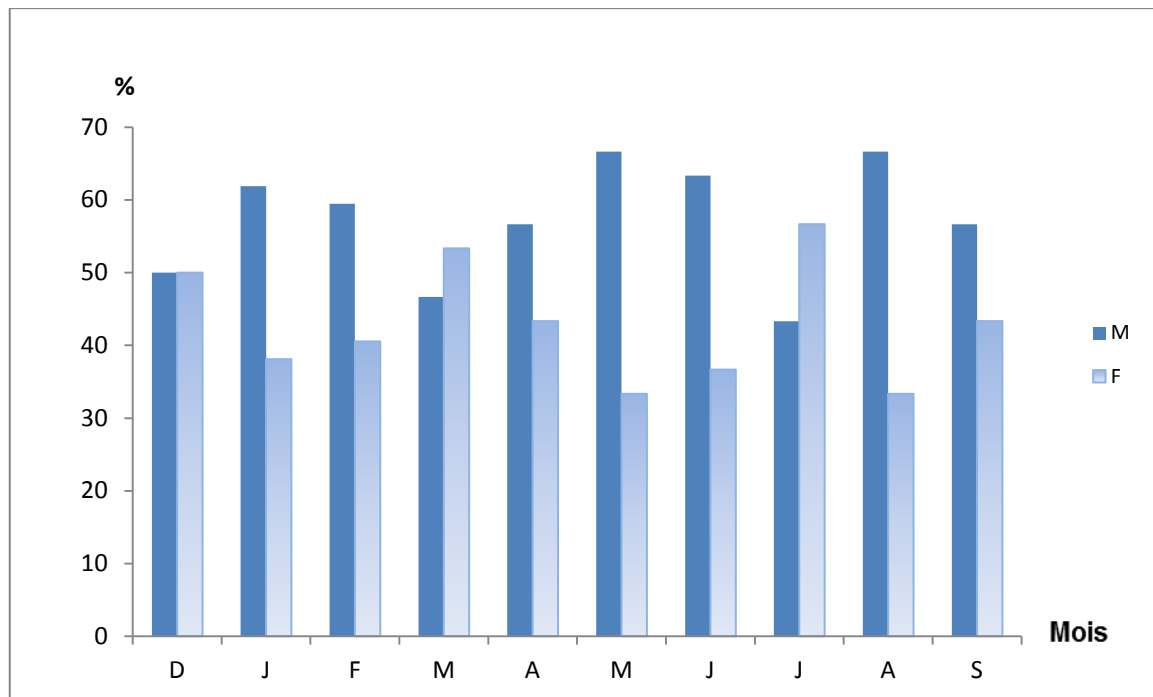


Figure 31. Pourcentages mensuels des mâles et des femelles au niveau de la Salamandre.

Concernant le site de Stidia, le taux de féminité est supérieur au taux de masculinité qu'une seule fois au mois de février avec la valeur de **53,33 %**, et les deux taux sont égaux au mois de septembre. Pour le reste des mois le pourcentage des mâles est supérieur à celui des femelles. Le sex ratio est aussi en faveur des mâles par rapport aux femelles à Stidia (tableau 3, fig. 32).

Concernant *Paracentrotus lividus* étudié à la Salamandre le sex ratio montre une large dominance des femelles par rapport aux mâles (Sahnoun, 2010). Ces observations concordent avec celles mentionnées par Soualili (2008) dans la baie d'Alger, Belkhedim (2009) à Oran, Boukhelf (2012) à Mostaganem et Kouadri Mostefai (2014) à Arzew. Chez *Paracentrotus lividus* étudié dans la côte atlantique sud du Maroc à El Jadida-Safi montre un rapport sex ratio de 1:1 (El Jouhari et al., 2014). Allain (1975) décrit aussi une irrégularité dans le rapport des mâles par rapport aux femelles chez *Paracentrotus lividus* des côtes nord de Bretagne, le nombre de mâles est dominant à partir du mois d'août et en janvier le nombre de mâles commence à décroître. De mars à juillet (pendant la ponte) les pourcentages des deux sexes ne sont pas différents. Une dominance d'un sexe par rapport à un autre a été aussi signalée par Neefs (1952) chez l'oursin granuleux (*Sphaerechinus granularis*) en France dans la région de Brest et a été attribuée à une alternance sexuelle pouvant exister chez cette espèce. Au contraire, chez l'oursin perforant (*Echinometra lucunter*) étudié au Brésil (État de Pernambouco) sur la côte ouest de l'atlantique le sex ration global et mensuel est égal à 1 et aucune différence entre les sexes n'a été relevée (Lima et al., 2009).

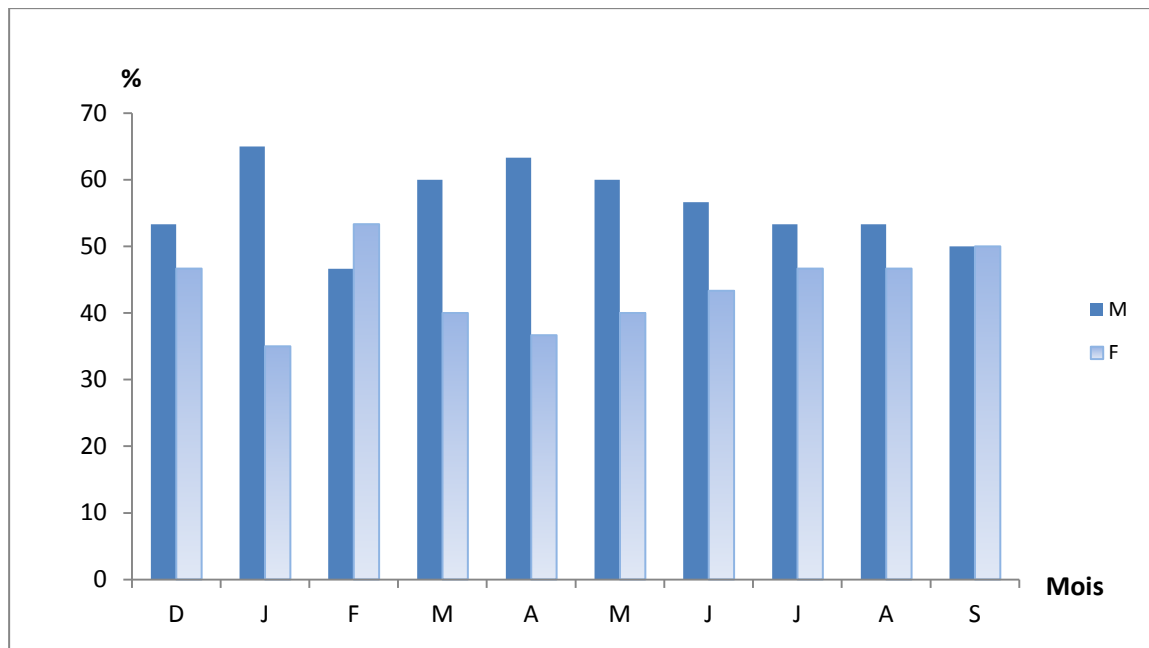


Figure 32. Pourcentages mensuels des mâles et des femelles au niveau de *Stidia*.

La différence dans la croissance et la mortalité pourraient être à l'origine de la dominance d'un sexe par rapport à l'autre (Mc Pherson, 1965). Ainsi, Brookbank (1968) suggère que les mâles ont une maturité plus rapide que celle des femelles après la ponte, ce qui fait qu'à un moment donné, la population serait constituée par des oursins mâles mûrs plus nombreux que les femelles.

2 – Indices physiologiques

Pour estimer l'activité trophique et les modalités de la reproduction d '*Arbacia lixula* dans le littoral Mostaganémois, nous avons étudié les variations annuelles, mensuelles et saisonnières de l'indice de réplétion (IR) et de l'indice gonadique (IG). Le premier est défini comme le rapport de la masse du tube digestif sec sur le diamètre du test au cube, le deuxième indice est égal au rapport de la masse de la gonade sèche sur le diamètre du test au cube. L'interférence de ces deux phénomènes permet de déterminer la période de ponte, les stades de maturation des gonades et les rythmes d'alimentation (Sellem, 1995).

Notre étude s'est déroulée sur 588 spécimens d'oursins noirs, pendant une période de dix (10) mois de décembre 2013 à septembre 2014, et dont le but était de rechercher la relation qui existe entre les deux indices physiologiques (IG et IR) au niveau de deux biotopes différents du point de vue position géographique, composition florale et faunistique, et pollution.

2-1- Evolution de l'indice gonadique moyen (IGM) et de l'indice de réplétion moyen (IRM) chez *A.lixula*

Tableau 4: Evolution des indices physiologiques moyens exprimés en mg/cm³. Moyenne \pm écart type pour l'ensemble des deux populations d'*A.lixula* (Salamandre et Stidia).

Mois	SALAMANDRE		STIDIA	
	IGM \pm ET	IRM \pm ET	IGM \pm ET	IRM \pm ET
Décembre 2013	1,56 \pm 1,03	4,75 \pm 1,52	1,69 \pm 1,20	10,79 \pm 5,58
Janvier 2014	2,34 \pm 1,22	8,07 \pm 2,64	2,71 \pm 1,59	11,39 \pm 5,05
Février 2014	3,87 \pm 2,64	5,95 \pm 1,85	2,60 \pm 1,35	14,83 \pm 6,19
Mars 2014	4,85 \pm 2,70	8,24 \pm 2,61	4,27 \pm 2,12	11,20 \pm 4,50
Avril 2014	8,74 \pm 4,68	7,27 \pm 3,63	3,37 \pm 2,30	9,60 \pm 4,18
Mai 2014	9,80 \pm 5,12	4,94 \pm 1,52	7,45 \pm 3,43	10,51 \pm 4,61
Juin 2014	4,61 \pm 2,99	7,42 \pm 4,32	4,55 \pm 1,43	12,77 \pm 4,66
Juillet 2014	3,92 \pm 1,52	2,30 \pm 1,00	2,83 \pm 1,04	10,88 \pm 6,43
Aout 2014	2,46 \pm 1,22	3,28 \pm 1,14	3,91 \pm 3,61	10,35 \pm 4,41
Septembre 2014	3,08 \pm 1,54	4,59 \pm 1,61	2,72 \pm 1,88	19,50 \pm 4,36
Moyenne globale	4.52 \pm 2.72	5.68 \pm 2.05	3.61 \pm 1.60	12.18 \pm 2.96
Variance	7,38	4,19	2,57	8,77

Les valeurs des IGM et IRM sont comparées entre elles globalement par **mois** et ensuite par **site** avec le test ANOVA à un seul facteur et un seuil de probabilité de 0,05.

Le test d'ANOVA des IGM entre les mois (mois, à $p < 0,05$) montre une différence significative avec la valeur de $p = 0,019$, tandis que ce test d'ANOVA des IGM entre les sites (site, à $p < 0,05$) révèle une différence non significative ($p = 0,37$).

Le test d'ANOVA des IRM entre les mois (mois, à $p < 0,05$) illustre une différence non significative ($p = 0,98$). Ce test d'ANOVA des IRM entre les sites (site, à $p < 0,05$) montre une différence hautement significatif ($p = 0,000020$). En récapitulatif :

- La différence des IGM entre les mois est significative ($p = 0,019$) pour les deux sites tandis que la différence des IGM entre les sites est non significative ($p = 0,37$).
- La différence des IRM entre les mois est statistiquement non significative ($p = 0,98$) pour les deux sites alors que la différence des IRM entre les sites est hautement significative ($p = 0,000020$).

Le suivi mensuel de l'indice gonadique moyen (IGM) de la Salamandre a montré une augmentation progressive continue dès l'hiver au mois de décembre qui a marqué la valeur la plus minime de $1,56 \pm 1,03 \text{ mg/cm}^3$ jusqu'à atteindre le pic d'accroissement au printemps au mois de mai avec une valeur maximale de $9,80 \pm 5,12 \text{ mg/cm}^3$. Au mois de juin l'IGM diminue de moitié et atteint une valeur de $4,61 \pm 2,99 \text{ mg/cm}^3$; l'IG continue à décroître jusqu'au mois de décembre et se stabilise à une valeur minimale égale à $1,56 \pm 1,03 \text{ mg/cm}^3$ (tableau 4, fig. 33).

Quant au suivi mensuel de l'indice de Réplétion moyen (IRM), les valeurs fluctuent (augmentent et diminuent) depuis le mois de décembre et atteignent le maximum ($8,24 \pm 2,61 \text{ mg/cm}^3$) au mois de mars. Un premier pic d'accroissement d'une valeur très proche de la valeur maximale a été noté en janvier ($8,07 \pm 2,64 \text{ mg/cm}^3$). L'IRM diminue ensuite et arrive à une valeur faible égale à $4,94 \pm 1,52 \text{ mg/cm}^3$ au mois de mai puis remonte au mois de juin jusqu'à atteindre une valeur de $7,42 \pm 4,32 \text{ mg/cm}^3$ qui s'affiche sur le graphe comme un deuxième pic après le pic maximal. Au-delà du mois de juin, les valeurs de l'IRM deviennent plus faibles et le minimum est observé au mois de juillet avec une valeur égale à $2,30 \pm 1,00 \text{ mg/cm}^3$ (tableau 4, fig. 34).

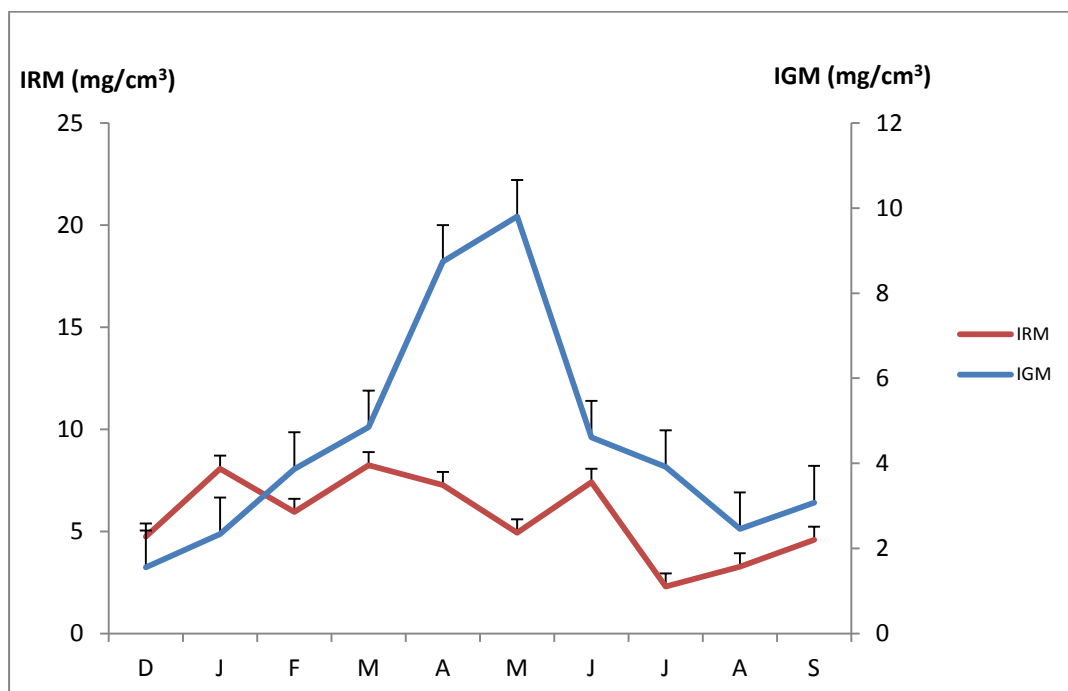


Figure 33. Variations des indices physiologiques moyens (IGM, IRM) exprimés en mg/cm^3 au niveau de l'extérieur du port de Salamandre.

Concernant le deuxième site de Stidia, le suivi mensuel de l'indice gonadique moyen (IGM) montre un accroissement continu dès le mois de décembre qui enregistre la valeur la plus faible de $1,69 \pm 1,20 \text{ mg/cm}^3$ jusqu'au printemps au mois de mai qui marque la valeur la plus élevée

de cet indice, $7,45 \pm 3,43 \text{ mg/cm}^3$. Cette valeur diminue depuis le mois de juin et atteint sa valeur minimale ($1,69 \pm 1,20 \text{ mg/cm}^3$) en décembre (tableau 4, fig. 34).

Le suivi de l'indice de Réplétion moyen, a montré un premier pic au mois de février, sa valeur est de $14,83 \pm 6,19 \text{ mg/cm}^3$, qui diminue et atteint le minimum en avril, $9,60 \pm 4,18 \text{ mg/cm}^3$. L'IRM augmente après et montre un pic moyen avec une valeur de $12,77 \pm 4,66 \text{ mg/cm}^3$ en juin puis diminue le mois d'après et remonte sensiblement pour atteindre sa valeur maximale en automne (septembre) de $19,50 \pm 4,36 \text{ mg/cm}^3$ (tableau 4, fig. 34).

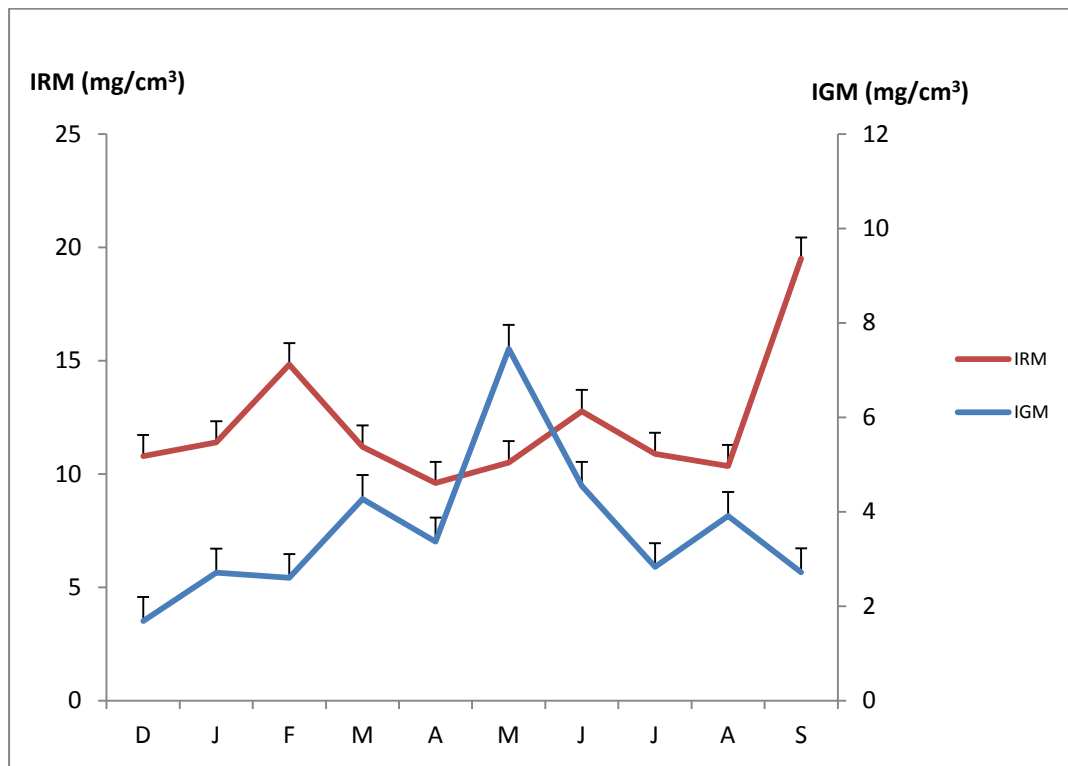


Figure 34. Variations des indices physiologiques moyens (IGM, IRM) exprimés en mg/cm^3 au niveau de Stidia plage.

L'évolution mensuelle des IGM des deux populations d'*Arbacia lixula* des deux sites (Salamandre et Stidia) est identique et les deux pics se situent à la même période (printemps) et au même mois (mai). La valeur du pic de Stidia ($7,45 \pm 3,43 \text{ mg/cm}^3$) est légèrement plus faible que celle de Salamandre ($8,24 \pm 2,61 \text{ mg/cm}^3$), cette différence est sans signification statistique. Cette valeur pic suivie d'une régression exprime bien la croissance ultime des gonades et donc la phase finale de la maturation gonadique qui précédera de toute évidence la ponte. Les valeurs minimales des IGM sont observées en hiver pour les deux sites et sont de $1,56 \pm 1,03 \text{ mg/cm}^3$ pour le site de Salamandre et de $1,69 \pm 1,20 \text{ mg/cm}^3$ pour le site de Stidia. Ces deux valeurs sont analogues et reflètent le stade final post-ponte des gonades. Ces oscillations traduisent bien la saisonnalité de l'activité gonadique d'*Arbacia lixula* au niveau des deux sites et démontrent le

positionnement de la période de ponte en période printanière et estivale, débutant en mai et se poursuivant jusqu'au mois de septembre. En Tunisie, Sellem (1995) a obtenu des résultats comparables avec une période de ponte allant de mai à juillet et dans le nord de l'Espagne, une étude de quatre années réalisée par Wangensteen et al. (2013) sur *Arbacia lixula* a localisé la période de ponte dans le même intervalle de temps (mai-juillet). En France à Ville-franche, le cycle d'*Arbacia lixula* comporte une période de repos sexuel (octobre-novembre), une phase d'accroissement lent (décembre-février), une phase de grand accroissement (mars-juin), une première ponte annuelle à la mi-juin et une ponte secondaire en octobre (Fenaux, 1968). En Espagne, sur la côte basque (sud-est du golfe de Gascogne) et sur la côte de Galice, une activité gonadique saisonnière avec un IG maximum en phase printanière (avril-mai) ont été également observés chez *Paracentrotus lividus*, une espèce voisine et partageant le même biotope et les mêmes ressources trophiques avec des stratégies alimentaires différentes (Frantzis et al., 1988 ; Garmendia et al., 2010 ; Ouréns et al., 2011 ; Ouréns et al., 2013 ; Agnetta et al., 2015) alors que dans la Mer Cantabrique au nord de l'Espagne et à Grenade au sud de l'Espagne, la période de ponte de cette espèce est située entre mars-septembre (González-Irusta et al., 2010 ; Murillo-Navarro et Jiménez-Guirado, 2012). Dans la côte ouest de l'Irlande *Paracentrotus lividus* commencent à libérer ses gamètes en juin et termine à la fin de l'été ou au début de l'automne (Byrne, 1990) et en Croatie, dans la Mer adriatique (baie de Bistrina) le pic de reproduction a lieu en avril (Tomsic et al., 2010). Dans le golfe de Tunis en Tunisie, chez *Paracentrotus lividus* l'IG atteint sa valeur maximale en mars (16,71%) et la période de ponte s'étale entre avril et juillet et coïncide avec la régression de l'IG (Sellem et Guillou, 2007; Arafa et al., 2012). Au Maroc sur la côte atlantique nord, *Paracentrotus lividus* montre un accroissement gonadique entre janvier et mars, corrélé avec une forte production algale, une augmentation de la température de l'eau et un taux de consommation élevé ; la période de ponte est printanière (mars-juin) (Bayed et al., 2005) alors que sur la côte atlantique sud à El jadida-Safi, la ponte débute en mai et se prolonge jusqu'au début août avec un indice gonadique maximal entre la fin de l'hiver et le début du printemps (El Jouhari et al., 2014). A Alger et ses alentours ainsi qu'à Oran, *Paracentrotus lividus* se reproduit selon un cycle saisonnier avec un IG maximal au printemps suivi de la période de ponte qui coïncide avec la température et la disponibilité alimentaire (Belkhedim, 2009 ; Soualili et Guillou, 2009), alors que dans la Mer Ionienne en Italie cette espèce d'oursin se reproduit toute l'année (Tenuzzo et al., 2012). Nos résultats sur *Arbacia lixula* concordent avec ceux obtenus chez *Paracentrotus lividus* par Boukhelf (2012) à Mostaganem dans deux sites différents d'un point de vue alimentaire et pollution, Salamandre et Sidi Lakhdar. Au Canada sur la côte atlantique, l'oursin vert (*Strongylocentrotus droebachiensis*)

est en pleine phase de ponte en mars-avril (Meidel et Scheibling, 1998 ; MPO, 2000, Pelletier et *al.*, 2001). Dans le golfe d'Aqaba (Mer rouge) *Echinometra mathaei*, une espèce d'oursin pantropicale, démarre sa gamétogenèse en juin et expulse ses gamètes entre septembre et octobre (Bronstein et Loya, 2015). Un autre oursin tropical très répandu sur les côtes ouest de l'océan atlantique, *Echinometra lucunter* ou oursin perforant montre une période de ponte située entre octobre et février (Lima et *al.*, 2009).

Toutes ces données démontrent la saisonnalité de la reproduction chez la plupart des oursins et l'emplacement de la période de ponte généralement en période printanière, estivale et pouvant se prolonger jusqu'en automne ainsi que l'impact des facteurs exogènes, vraisemblablement la température sur la ponte des oursins comme cela a été suggéré par plusieurs auteurs (Epherra et *al.*, 2014).

Le suivi mensuel de l'IRM pour l'ensemble des deux populations d'oursins noirs des deux sites montre une évolution irrégulière pour les deux sites. En effet, les valeurs de l'IRM augmentent ou diminuent d'un prélèvement à un autre. Pour le site de Salamandre, les valeurs de l'IRM sont élevées en janvier, mars et juin et sont respectivement de $8,07 \pm 2,64 \text{ mg/cm}^3$, $8,24 \pm 2,61 \text{ mg/cm}^3$ et $7,42 \pm 4,32 \text{ mg/cm}^3$, le minimum est observé en juillet ($2,30 \pm 1,00 \text{ mg/cm}^3$) tandis que pour le site de Stidia, les valeurs augmentent en février et septembre et sont respectivement de $14,83 \pm 6,19 \text{ mg/cm}^3$ et $19,50 \pm 4,36 \text{ mg/cm}^3$ avec un minimum en avril ($9,60 \pm 4,18 \text{ mg/cm}^3$). Nous constatons que les valeurs des IRM sont plus fortes dans le site de Stidia et la différence des IRM entre les deux sites est hautement significative d'après le test ANOVA. Cela démontre clairement l'abondance de nourriture dans ce site. En effet, l'indice de réplétion est le reflet des conditions alimentaires aux plans quantitative et qualitative, plus les ressources trophiques sont réduites plus l'indice de réplétion est faible.

D'après nos résultats et globalement, un IR faible coïncide avec un IG élevé et l'IR augmente en période de ponte, ce qui montre l'allocation énergétique au profit de la croissance et maturation gonadique. Des résultats comparables ont été notés chez l'oursin livide (*Paracentrotus lividus*) étudié à Mostaganem dans deux biotopes différents (Salamandre et Sidi Lakhdar) (Boukhelf, 2012) et à Arzew (Cap Carbon) ainsi qu'à Oran (Ain Franin) (Kouadri Mostefai, 2014). Nos résultats sont également en corrélation avec ceux obtenus par El Jouhari et *al.* (2014) dans la côte atlantique sud à El Jadida-Safi au Maroc chez l'oursin livide où une chute de l'indice gonadique coïncidant avec la phase de ponte des individus a été décelée avec une augmentation de l'IR.

2-2-Variations des indices physiologiques en fonction de la taille des oursins

Les valeurs des indices physiologiques moyens (IGM et IRM) obtenues en fonction de la taille des oursins pour les deux sites sont consignées sur les tableaux 5 et 6, et ont été comparées entre elles avec le test ANOVA à un seul facteur et un seuil de probabilité de 0,05.

2-2-1- Evolution mensuelle des indices physiologiques moyens de la population d'*A.lixula* au niveau de Salamandre en fonction de la taille des oursins.

➤ Indice gonadique (IG)

L'indice gonadique affiche deux pics (un pic par classe de taille) au mois de mai pour les deux classe de taille 30-40 mm et 40-50 mm avec les valeurs de **13,78 ± 00 mg/cm³** et **10,15 ± 5,04 mg/cm³**. La classe de taille 50-60 mm affiche son pic au mois d'avril avec la valeur de **8,79 ± 2,72 mg/cm³**. Les valeurs de l'IG les plus basses sont signalées en hiver au mois de décembre pour les trois classes de taille (tableau 5, fig. 35).

- La comparaison avec le test d'ANOVA des IGM en fonction de la taille des oursins des trois classes de taille regroupées (taille, à $p < 0.05$) révèle que la différence observée entre les trois classes de taille n'est pas significative ($p = 0,601361$).
- La comparaison des IGM avec le test d'ANOVA entre la classe de taille 30-40 et la classe de taille 40-50 (taille, à $p < 0.05$) dévoile que la différence n'est pas significative ($P = 0.821641$).
- Entre la classe de taille 30-40 et la classe de taille 50-60 (taille, à $p < 0.05$) la différence n'est pas significative ($P = 0.345190$).
- Entre la classe de taille 40-50 et la classe de taille 50-60 (taille, à $p < 0.05$) la différence n'est pas significative ($P = 0.441682$).

➤ Indice de réplétion (IR)

Le suivi mensuel de l'IRM au niveau du site de la Salamandre montre que les valeurs évoluent de manière non progressive, mais dans l'ensemble l'IRM augmente avec la diminution de la taille de l'oursin donc avec l'âge des individus. L'indice le plus élevé, **11,09 ± 2,65 mg/cm³** est enregistré au mois de janvier pour les individus de taille 30-40mm, donc plus la taille des oursins est grande, plus l'IRM est faible. En parallèle, la valeur la plus infime est signalée dans cette même classe de taille avec la valeur **1,66 ± 00 mg/cm³** au mois de mai correspondant à un IGM maximal (tableau 5, fig. 36).

- Le test d'ANOVA des IRM en fonction de la taille des oursins des trois classes de taille regroupées (taille, à $p < 0.05$) révèle que la différence observée n'est pas significative ($p = 0,147567$).
- La comparaison des IRM avec le test d'ANOVA entre la classe de taille 30-40 et la classe de taille 40-50 (taille, à $p < 0.05$) dévoile que la différence n'est pas significative ($P = 0.612849$).
- Entre la classe de taille 30-40 et la classe de taille 50-60 (taille, à $p < 0.05$) la différence n'est pas significative ($P = 0.086551$).
- Entre la classe de taille 40-50 et la classe de taille 50-60 (taille, à $p < 0.05$) la différence est significative ($P = 0.055192$).

Tableau 5. Evolution des indices physiologiques moyens (IGM et IRM) exprimés en mg/cm^3 (\pm écart type) des différentes classes de taille d'*A. lixula* de Salamandre.

Mois	[30-40[mm		[40-50[mm		[50-60[mm	
	IGM \pm ET	IRM \pm ET	IGM \pm ET	IRM \pm ET	IGM \pm ET	IRM \pm ET
D	2,08 \pm 0,19	5,36 \pm 1,39	1,73 \pm 1,11	5,17 \pm 1,37	0,99 \pm 0,72	3,53 \pm 1,35
J	3,74 \pm 0,38	11,09 \pm 2,65	2,30 \pm 1,15	8,00 \pm 2,39	1,41 \pm 0,99	6,06 \pm 1,51
F	3,06 \pm 2,11	6,34 \pm 1,53	4,19 \pm 3,03	6,16 \pm 2,03	3,86 \pm 1,76	4,61 \pm 0,97
M	5,98 \pm 1,44	10,93 \pm 1,50	4,81 \pm 2,81	8,19 \pm 2,53	3,63 \pm 00	4,47 \pm 00
A	4,54 \pm 4,42	8,87 \pm 3,00	9,48 \pm 5,07	6,80 \pm 2,18	8,79 \pm 2,72	5,53 \pm 2,00
M	13,78 \pm 00	1,66 \pm 00	10,15 \pm 5,04	5,19 \pm 1,41	7,79 \pm 5,60	4,54 \pm 1,44
J	3,40 \pm 1,12	9,08 \pm 3,27	4,87 \pm 3,27	7,30 \pm 4,62	3,83 \pm 0,26	5,50 \pm 0,13
J	5,24 \pm 00	2,71 \pm 00	4,26 \pm 1,59	2,52 \pm 1,06	3,25 \pm 1,26	1,90 \pm 0,84
A	3,34 \pm 1,72	2,63 \pm 0,76	2,38 \pm 1,11	3,46 \pm 1,05	1,89 \pm 0,54	3,40 \pm 1,52
S	5,27 \pm 00	5,27 \pm 00	3,10 \pm 1,51	4,73 \pm 1,60	2,13 \pm 1,38	3,21 \pm 1,42
Moyenne	5,04 \pm 3,29	6,39 \pm 3,47	4,73 \pm 2,90	5,75 \pm 1,89	3,76 \pm 2,61	4,28 \pm 1,27
Variance	10,83	12,04	8,40	3,56	6,80	1,62

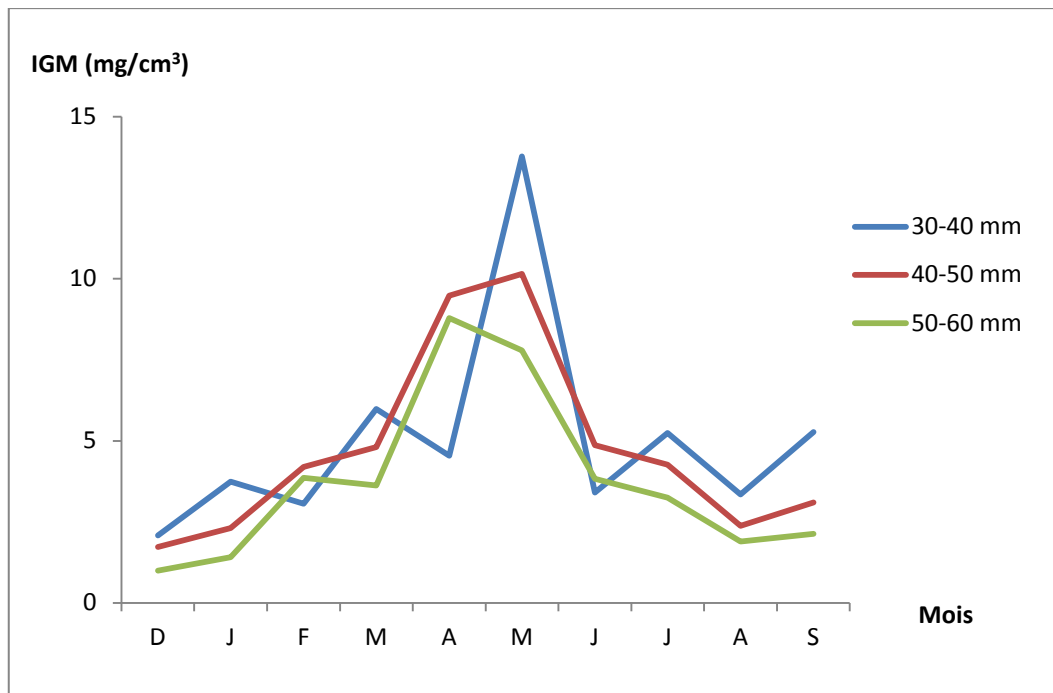


Figure 35. Evolution de l'indice gonadique moyen (IGM) en fonction de la taille des oursins chez *A. lixula* de la Salamandre.

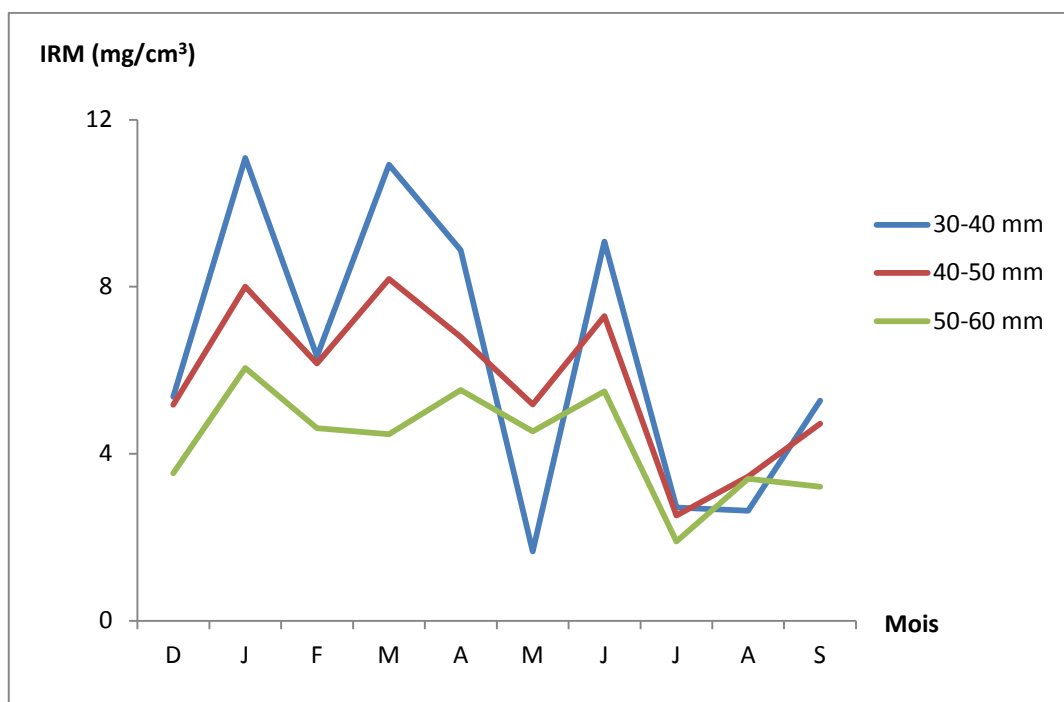


Figure 36. Evolution de l'indice de réplétion moyen (IRM) en fonction de la taille des oursins chez *A. lixula* de Salamandre.

2-2-2- Evolution mensuelle des indices physiologiques moyens de la population d'*A.lixula* au niveau de Stidia en fonction de la taille des oursins.

La population des oursins noirs échantillonnée dans le site de Stidia est formée uniquement de deux classes de taille, faible de 30-40 mm et moyenne de 40-50 mm, tandis que la classe de taille supérieure 50-60 mm est presque absente (tableau 6). Pour cette raison, on s'est contenté de faire le test d'ANOVA des IGM et des IRM en fonction de la taille des oursins des deux classes de taille 30-40 et 40-50 (taille, à $p < 0.05$), à un seul facteur et un seuil de probabilité de 0.05, et d'exclure de nos tests la classe de taille 50-60 mm.

Tableau 6. Evolution des indices physiologiques moyens (IGM et IRM) exprimés en mg/cm^3 (\pm écart type) des différentes classes de taille d'*A.lixula* de Stidia.

mois	[30-40[mm		[40-50[mm		[50-60[mm	
	IGM \pm ET	IRM \pm ET	IGM \pm ET	IRM \pm ET	IGM \pm ET	IRM \pm ET
D	1,66 \pm 1.34	12,41 \pm 6.63	1,71 \pm 1.14	9,71 \pm 4.64	0,00	0,00
J	4,57 \pm 2.02	13,34 \pm 6.27	2,24 \pm 1.11	10,91 \pm 4.81	0,00	0,00
F	2,60 \pm 1.41	17,00 \pm 8.46	2,60 \pm 1.35	13,57 \pm 4.16	0,00	0,00
M	5,06 \pm 1.28	15,59 \pm 4.76	4,23 \pm 2.23	10,95 \pm 4.19	3,02 \pm 0.0	4,57 \pm 0.0
A	3,72 \pm 2.61	9,65 \pm 4.81	2,55 \pm 1.01	9,48 \pm 2.32	0,00	0,00
M	8,85 \pm 2.06	14,51 \pm 2.26	7,35 \pm 3.51	10,22 \pm 4.62	0,00	0,00
J	4,19 \pm 1.26	14,71 \pm 6.95	4,69 \pm 1.42	12,61 \pm 4.37	2,36 \pm 0.0	9,19 \pm 0.0
J	3,07 \pm 0.98	12,47 \pm 7.02	2,35 \pm 1.03	7,69 \pm 3.50	0,00	0,00
A	2,49 \pm 0.0	6,81 \pm 0.0	3,96 \pm 3.66	10,47 \pm 4.44	0,00	0,00
S	2,81 \pm 0.62	18,20 \pm 4.18	2,71 \pm 1.98	19,65 \pm 4.43	0,00	0,00
Moyenne	3,90 \pm 2,03	13,47 \pm 3,38	3,44 \pm 1,68	11,53 \pm 3,28	0,54 \pm 1,14	1,38 \pm 3,10
Variance	4,11	11,45	2,82	10,79	1,31	9,60

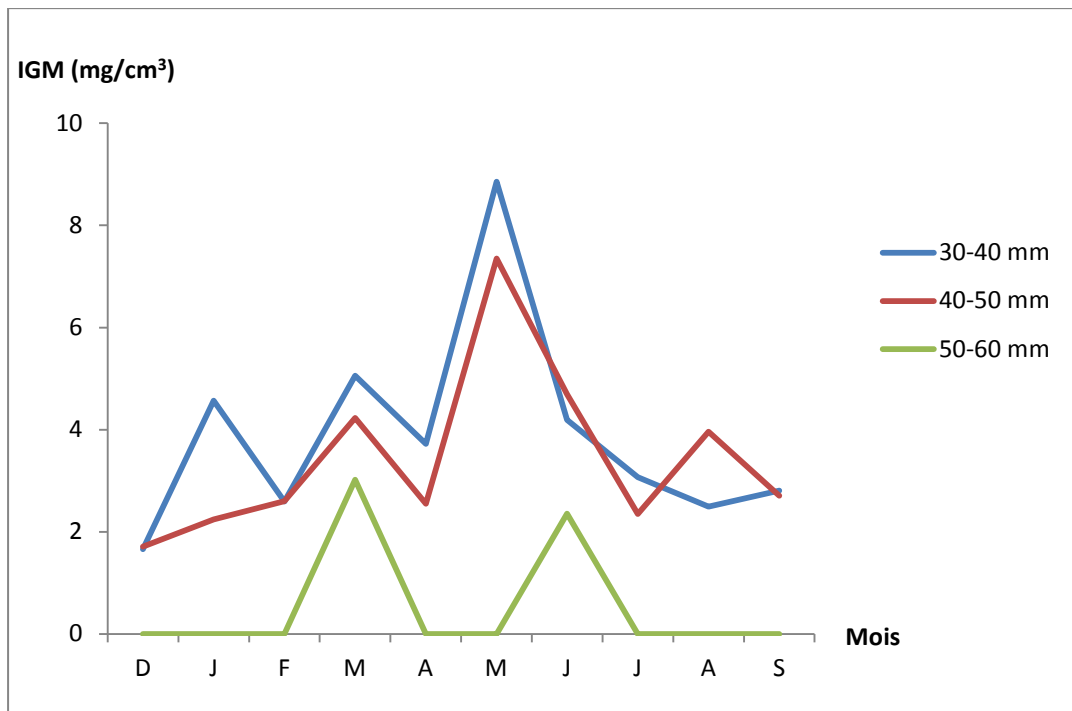


Figure 37. Evolution de l'indice gonadique moyen (IGM) en fonction de la taille des oursins chez *A.lixula* de Stidia.

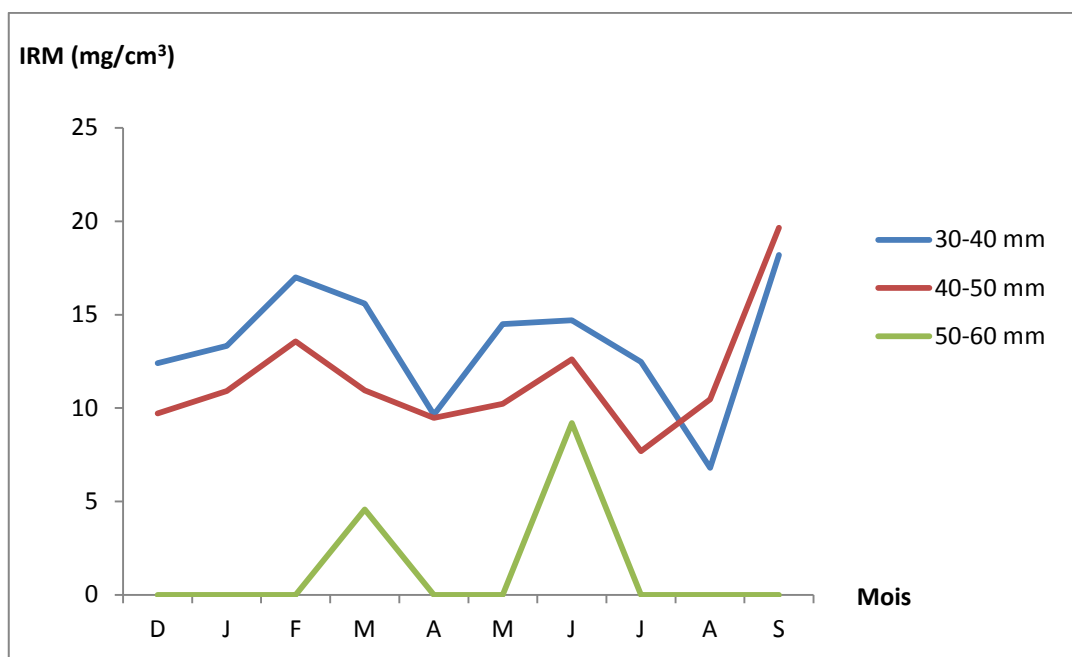


Figure 38. Evolution de l'indice de réplétion moyen (IRM) en fonction de la taille des oursins chez *A.lixula* de Stidia.

➤ **Indice gonadique (IG)**

Comme pour le site de Salamandre, l'évolution mensuelle des indices gonadiques moyens de ce site (Stidia) montre que les valeurs les plus élevées de l'IGM concernent les individus de taille faible de 30-40 mm suivi de la classe de taille moyenne de 40-50 mm, tandis que les individus de taille supérieure de 50-60 mm sont presque inexistantes sauf pour les mois de mars et juin où on a enregistré des valeurs faibles de l'IGM. Le mois de mai affiche deux pics ; le pic le plus important avec une valeur de $8,85 \pm 2,06 \text{ mg/cm}^3$ correspond à la classe de taille de 30-40 mm suivi du pic de la classe de taille de 40-50 mm avec une valeur de $7,35 \pm 3,51 \text{ mg/cm}^3$ (tableau 6, fig. 37).

Le test d'ANOVA des IGM en fonction de la taille des oursins des deux classes de taille 30-40 et 40-50 (taille, à $p < 0.05$), à un seul facteur et un seuil de probabilité de 0.05 ne montre pas une différence significative ($P = 0.586929$).

➤ **Indice de réplétion (IR)**

L'IRM suit le même schéma que l'IGM, cet indice dépend aussi de la classe de taille des oursins, les valeurs sont importantes pour les classes de taille inférieure (30-40mm) et moyenne (40-50mm), dès qu'on passe aux tailles supérieures les valeurs de l'IRM diminuent. Dans ce site l'IGM maximal ne correspond pas à des valeurs faibles de l'IRM (tableau 6, fig. 38).

Le test d'ANOVA des IRM en fonction de la taille des oursins des deux classes de taille 30-40 et 40-50 (taille, à $p < 0.05$) à un seul facteur et un seuil de probabilité de 0.05 ne montre pas de différence significative ($P = 0.208974$).

Ce phénomène pourrait s'expliquer par le fait que les individus appartenant à la classe de taille de 30-40 mm sont jeunes, leurs besoins énergétiques sont élevés et ont de ce fait une activité trophique élevée et les classes de taille supérieure consomment moins, leurs besoins énergétiques sont diminués, ils n'ont que des besoins de maintien, mais leurs gonades sont développées, donc une activité reproductrice maintenue.

Pour le site de Salamandre, les figures 35 et 36 montrent que la valeur la plus haute de l'IGM coïncide avec la valeur la plus infime de l'IRM (mois de mai) pour la classe de taille de 30-40mm. Pour la classe de taille de 40-50mm l'IGM atteint son maximum en mai et coïncide avec une valeur réduite ($5,19 \pm 1,41 \text{ mg/cm}^3$) de l'IRM mais qui n'est pas la valeur la plus faible ($2,52 \pm 1,06 \text{ mg/cm}^3$) notée en juillet. La classe de taille supérieure de 50-60mm manifeste un accroissement gonadique au mois d'avril et correspond à un IRM de faible valeur. D'après ces résultats nous constatons que l'ampleur de la croissance gonadique et l'activité trophique diminuent avec l'âge des oursins, en plus la maturation extrême des gonades est en avance d'un

mois ce qui fait avancer aussi la période de ponte. De nombreux auteurs observent une diminution de la ponte, voire même une baisse notable de l'indice gonadique avec l'accroissement de la taille (Semroud, 1993; Fuji, 1967; Gonor, 1972). Chez les jeunes, l'activité trophique et l'accroissement des gonades sont importants. Etant donné que l'**IR** diminue au fur et à mesure que la gonade s'accroît, les réserves énergétiques ont peut-être été mobilisées vers la gonade pour la gamétogenèse ; cette réduction peut aussi être expliquée par une perte d'espace dans la cavité coelomique quand la gonade est développée ou par un taux d'ingestion faible (Fernandez et Boudouresque, 1997). Selon Zanoun (1987), Semroud (1993) et Nichols et *al.* (1985) les valeurs élevées correspondent à une activité trophique accrue et à la maturation des gonades, et les faibles valeurs indiquent une absence de consommation et une ponte. Chez les échinodermes le taux d'alimentation est bas, autrement dit les oursins s'alimentent moins lorsque les gonades sont très développées selon Leighton (1968). Fernandez (1996) a observé des résultats tout à fait semblables, l'**IG** évolue inversement à l'**IR**, et stipule que les individus de petite taille consommeraient donc proportionnellement plus que les individus de grande taille. Les travaux de Sadoud (1988) ont également mis en évidence chez des populations de *Paracentrotus lividus* du port d'Alger et D'Ain Chorb une diminution de l'indice de réplétion lorsque l'on passe des plus petits individus aux plus grands. Aussi, en travaillant sur l'oursin livide *P. lividus* dans les côtes Orano-Mostaganémoises, Belkhedim (2009) et Dermeche (2010) ont observé la dominance des classes de taille réduite de 30-40 mm pour l'**IR**. Nos résultats vont dans le même sens que ceux obtenus par Kouadri Mostefai (2014) chez *Paracentrotus lividus* étudié à Oran (Ain Franin) et Arzew (Cap Carbon).

D'après Lawrence (1975) et Lumingas (1994), cette décroissance de l'indice de réplétion en fonction de la taille peut-être due à une diminution de la demande métabolique et/ou à un abaissement de la capacité des individus à acquérir de la nourriture, ou à la baisse de la croissance lorsque les individus acquièrent leur taille maximale. En effet, le besoin de nourriture s'amenuise puisque les oursins ne sont plus en phase de croissance ; le pouvoir reproducteur est néanmoins maintenu chez ces individus (Fernandez, 1996).

2-3- Variations des indices physiologiques des oursins noirs en fonction des saisons

Tableau 7. Moyennes \pm écart type des indices physiologiques exprimés en mg/cm^3 par saisons d'*A.lixula* de Salamandre et Stidia.

Saisons	SALAMANDRE		STIDIA	
	IGM \pm ET	IRM \pm ET	IGM \pm ET	IRM \pm ET
Hiver	2,59 \pm 1,63	6,26 \pm 2,00	2,33 \pm 1,38	12,34 \pm 5,61
Printemps	7,80 \pm 4,17	6,82 \pm 2,59	5,03 \pm 2,62	10,44 \pm 4,43
Eté	3,66 \pm 1,91	4,33 \pm 2,15	2,72 \pm 1,88	11,33 \pm 5,17
Automne	3,08 \pm 1,54	4,59 \pm 1,61	2,72 \pm 1,88	19,50 \pm 4,36
Moyenne globale	4,28 \pm 2,38	5,50 \pm 1,23	3,46 \pm 1,21	13,40 \pm 4,14
Variance	5,69	1,51	1,46	17,13

Les valeurs des indices physiologiques (IGM et IRM) obtenues ont été comparées **globalement** par saison avec le test ANOVA à un seul facteur et au seuil de probabilité de 0.05.

Le test ANOVA des IGM entre les saisons (saison, à $p < 0.05$) montre une différence significative avec la valeur de **$p = 0.05$** , tandis que le test ANOVA des IRM entre les saisons (saison, à $p < 0.05$) révèle une différence non significative (**$p = 0.91$**).

Chez *Arbacia lixula* étudié à Mostaganem (Salamandre et Stidia) La différence des IGM entre les saisons est significative ($p = 0,05$) et la différence des IRM entre les saisons est par contre non significative ($p = 0,91$) pour les deux sites.

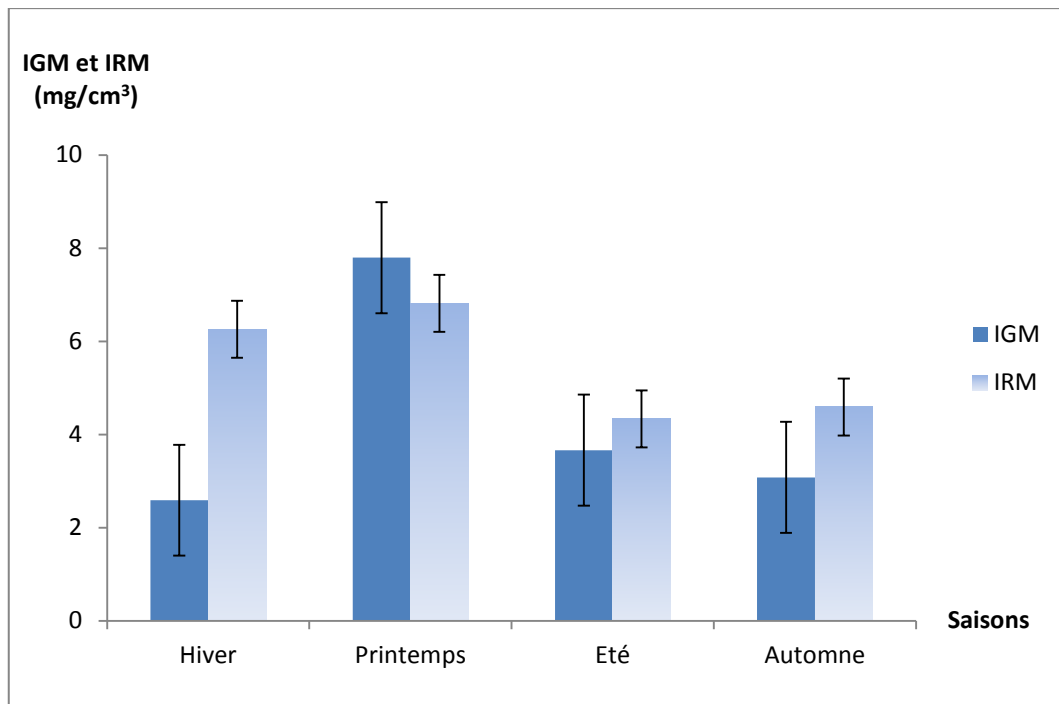


Figure 39. Evolutions saisonnières des indices physiologiques (IGM et IR) moyens de la population d'*A. lixula* au niveau de Salamandre.

L'étude du comportement trophique de l'oursin noir par le suivi des indices physiologiques dans le site de Salamandre montre des observations qui mettent en évidence une phase d'activité trophique intense au printemps avec une forte valeur enregistrée pour l'IRM de $6,82 \pm 2,59 \text{ mg/cm}^3$ correspondant à une croissance gonadique importante et un IGM le plus élevé de $7,80 \pm 4,17 \text{ mg/cm}^3$. Par contre, pour le site de Stidia l'IRM maximal a été signalé en automne $19,50 \pm 4,36 \text{ mg/cm}^3$, tandis que l'IGM maximal a été enregistré au printemps comme pour la Salamandre. En été l'IRM est à sa plus faible valeur ($4,33 \pm 2,15 \text{ mg/cm}^3$) et coïncide avec la période de ponte (tableau 7, fig. 39).

Dans le site de Stidia, l'indice gonadique moyen montre un pic égal à $5,03 \pm 2,62 \text{ mg/cm}^3$ correspondant à la valeur la plus faible de l'indice de réplétion, $10,44 \pm 4,43 \text{ mg/cm}^3$. Ce résultat traduit une relation entre les deux indices physiologique, à mesure que l'IGM augmente l'IRM diminue (tableau 7, fig. 40). Cette logique n'est pas respectée dans le site de Salamandre, les valeurs les plus élevées des deux indices ont été enregistrées à la même saison printanière (tableau 7, fig. 39).

Les fluctuations enregistrées pour l'indice de réplétion dans les deux sites, ainsi que les valeurs élevées de cet indice signalées à Stidia (tableau 7) traduisent la différence des deux biotopes en matière des ressources de nourriture. Effectivement, le site de Stidia se caractérise par un biotope

de forte abondance en algues photophiles, qui se répercute sur les individus par un IRM élevé par rapport à l'IRM calculé à la Salamandre, site pollué du fait des rejets urbains et industriels et d'une intense activité portuaire (Dermeche, 2010 ; Remili et Kerfouf, 2013). L'importance de la qualité de l'habitat des oursins d'un point de vue alimentaire et de la pollution a été aussi soulignée par Rouane-Hacene (2013) en étudiant l'impact de ces facteurs de pollution sur les indices biologiques de *Paracentrotus lividus* dans trois sites différents (Oran, Ain Defla et Hadjdj) du littoral occidental algérien. En raison de cette abondance alimentaire, le taux de consommation est important. L'activité trophique est étroitement liée au cycle reproducteur et il a été démontré que cette fonction est inversement proportionnelle à l'indice gonadique en raison de l'occupation de l'espace cœlomique par les gonades qui peuvent aussi exercer une compression sur le tractus digestif et entraver la digestion (Siikavuopio *et al.*, 2007).

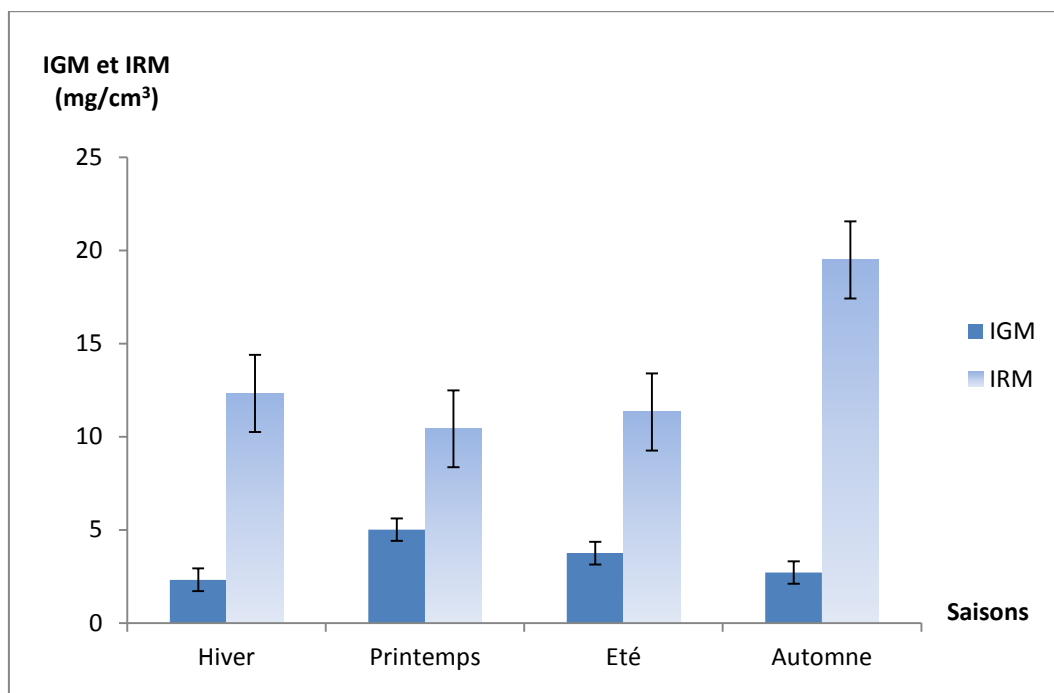


Figure 40. Evolution saisonnières des indices physiologiques moyens de la population d'*A. lixula* au niveau de Stidia.

3- Influence de la température sur la ponte des oursins noirs dans les deux sites

Tableau 8. Evolution de l'indice gonadique moyen en ($\text{mg}/\text{cm}^3 \pm \text{écart type}$) en fonction de la température pour l'ensemble de la population d'*A.lixula* au niveau des deux sites d'étude.

Mois	SALAMANDRE		STIDIA	
	IGM \pm ET	T°(C)	IGM \pm ET	T°(C)
D	1.56 \pm 1.03	10	1.69 \pm 1.20	10
J	2.34 \pm 1.22	8	2.71 \pm 1.59	8
F	3.87 \pm 2.64	14	2.60 \pm 1.35	12
M	4.85 \pm 2.70	12	4.27 \pm 2.12	12
A	8.74 \pm 4.68	15	3.37 \pm 2.30	17
M	9.80 \pm 5.12	20	7.45 \pm 3.43	23
J	4.61 \pm 2.99	25	4.55 \pm 1.43	28
J	3.92 \pm 1.52	28	2.83 \pm 1.04	28
A	2.46 \pm 1.22	28	3.91 \pm 3.61	29
S	3.08 \pm 1.54	28	2.72 \pm 1.88	28

L'évolution de la température dans le site de Salamandre au cours la période d'échantillonnage suit une évolution irrégulière dans les premiers mois à partir de décembre avec la température de **10 °C** jusqu'au mois de mars ou la température est de **12°C**. Au-delà du mois de mars, la température augmente progressivement jusqu'à atteindre le maximum (**28°C**) au mois de septembre. Parallèlement à la température, l'indice gonadique moyen affiche son minimum **1.56 \pm 1.03 mg/cm^3** avec les températures basses de l'année **10°C** et **8°C** enregistrées en décembre et janvier. L'indice gonadique augmente après avec la température jusqu'au mois de mai ou il enregistre un pic de **9.80 \pm 5.12 mg/cm^3** à la température de **20°C**, pour ensuite décroître dès ce mois jusqu'à la fin de l'étude même après que la température poursuit sa remonté (tableau 8, fig.41).

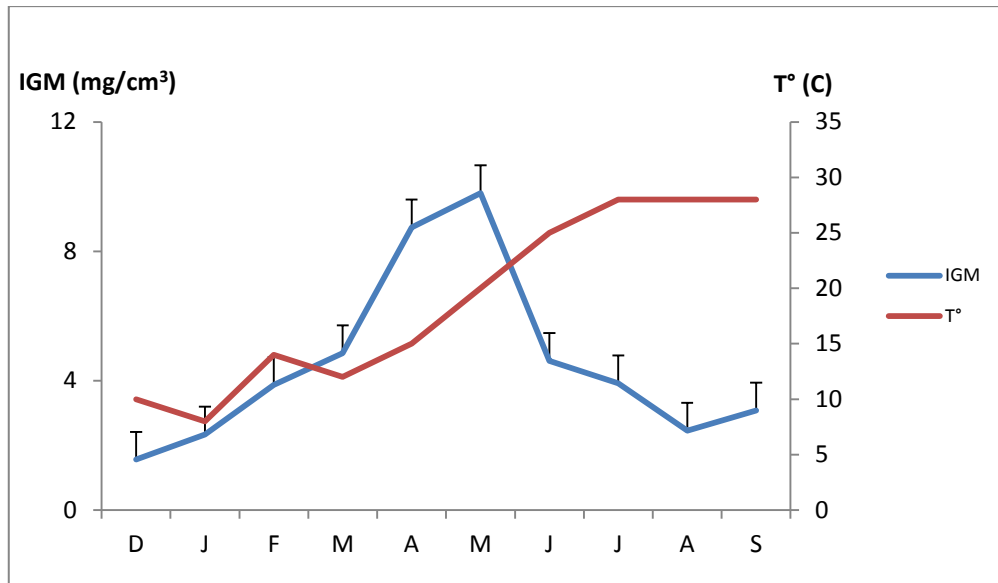


Figure 41. Evolution de l'indice gonadique moyen (IGM) en fonction de la température chez la population *A. lixula* de Salamandre.

L'évolution de la température dans le site de Stidia ressemble à celle de la Salamandre; une irrégularité des valeurs au début puis une progression régulière jusqu'à la stabilité dès le mois de Juin à la température de **28 °C**. Comme pour la Salamandre, l'IGM enregistre son minimum de **1.69 ± 1.20 mg/cm³** en parallèle avec les températures les plus basses en décembre et janvier. L'IGM augmente et atteint sa valeur pic de **7.45 ± 3.43 mg/cm³** au mois de mai quand la température est de **23 °C**. L'IGM décroît quand la température augmente (tableau 8, fig. 42).

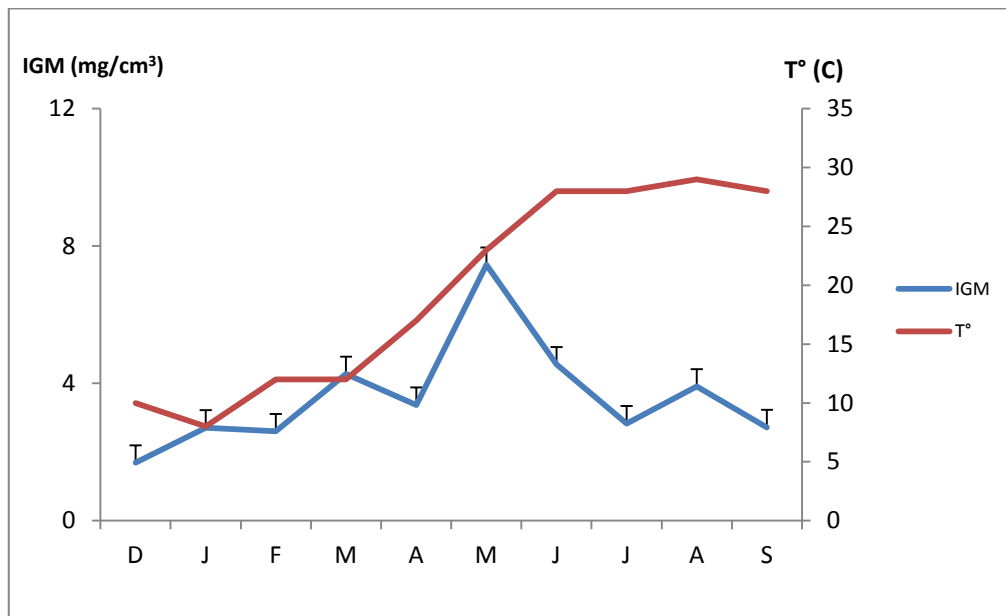


Figure 42. Evolution de l'indice gonadique moyen (IGM) en fonction de la température chez la population d'*A. lixula* de Stidia.

Bien que le phénomène de la ponte des oursins fait intervenir un bon nombre de facteurs interne et externe ; notamment la turbulence (Pedrotti, 1993 ; Soualili, 2008), les blooms phytoplanctoniques (Himmelman, 1975 ; Starr et *al.*, 1990, 1993 ; Pedrotti, 1993 ; Delvil, 2009), l'hydrodynamisme (Soualili, 2008 ; Ouréns et *al.*, 2011 ; Gianguzza et *al.*, 2013) et la photopériode (Spirlet et *al.*, 1998). Plusieurs auteurs soulignent que la température est le facteur déterminant dans l'initiation de la gamétogenèse chez les oursins (Byrne, 1990 ; Mespoulhé, 2004 ; Gianguzza et *al.*, 2011 ; Wangensteen, 2013). Barbaglio et *al.* (2007) mettent l'accent sur le contrôle hormonal de la reproduction chez les oursins (testostérone et estradiol) et stipulent que l'indice gonadique ne suffit pas pour une estimation exacte de la reproduction chez les oursins. Lafont et Mathieu (2007) relatent clairement le rôle des stéroïdes dans la reproduction des invertébrés dont les échinodermes et Wasson et Watts (2013) suggèrent la présence d'un mécanisme cellulaire et moléculaire dans la transduction et l'intégration des signaux environnementaux.

L'effet du facteur température dans notre étude est très visible, la période de ponte est synchronisée avec des températures élevées printanières au alentour de 20 et 23°C. Ces résultats sont en corrélation avec ceux obtenus chez *Paracentrotus lividus* à Oran (port d'Oran et Ain Franin) par Belkhedim (2009) et à Alger par Soualili (2008). Au Maroc, à EL Jadida-Safi (côte atlantique sud) l'impact de la température sur l'activité reproductrice de *Paracentrotus lividus* a été déterminant en plus de la nourriture (El Jouhari et *al.*, 2014). Selon Cochran et Engelmann (1975) et Fujisawa et Shigei (1990) le démarrage de la reproduction chez les oursins est étroitement lié à la température et demeure le facteur environnemental dominant.

D'après nos résultats, l'association entre le facteur température et le déclenchement de la ponte est bien mis en évidence pour l'ensemble des deux populations d'oursins noirs des deux sites, Salamandre et Stidia du littoral Mostaganémois. Le développement maximal des gonades est atteint à une température printanière pour les deux sites et la fraie à lieu au-delà de cette température, supérieure à 20°C pour le site de Salamandre et à 23°C pour le site de Stidia. Ces résultats rejoignent ceux obtenus auparavant par Young (1945), De Wilde et Berghuis (1978) et Starr et *al.* (1993). Siikavuopio et *al.* (2006, 2008) démontrent que les températures estivales sont plus propices au succès de la reproduction chez les oursins. Toutefois, Azad et *al.* (2011) soulignent que la température seule n'a aucun effet sur la reproduction mais il faut que ce facteur soit associé à d'autres facteurs telle que la nourriture et des stimuli endogènes (Mercier et Hamel, 2009). Dans un article très récent, Zhadan et *al.* (2015) décrivent plusieurs facteurs déclencheurs de la ponte telles que la température, la concentration en chlorophylle, la salinité de

l'eau de Mer, le phytoplancton et la présence des spermatozoïdes qui induiraient la ponte des femelles. La photopériode compte également parmi les facteurs régulateurs de l'activité reproductrice chez les oursins, elle a été relatée et ses effets ont été étudiés par plusieurs auteurs, elle initie la gamétogenèse et gouverne la progression des différents stades du cycle gamétogénétique (Kelly, 2001 ; Siikavuopio et *al.*, 2007 ; James et Heath, 2008 ; Mirad et *al.*, 2013 ; Wangensteen, 2013). En revanche, pour González-Irusta et *al.* (2010), la température, la photopériode et la nourriture sont des facteurs importants dans le cycle gonadique des oursins. Les travaux de Reuter et Levitan (2010) soulignent l'implication du cycle lunaire saisonnier, le phytoplancton et la présence des spermatozoïdes dans l'eau dans l'induction de l'émission des gamètes. Selon Epherra et *al.* (2014), les températures élevées sont en faveur de la croissance gonadique et de l'expulsion des gamètes. Des travaux réalisés sur *Echinometra sp* à El Aqaba dans la Mer Rouge ont associé significativement la température à l'indice gonadosomatique et non à la photopériode (Bronstein et Loya, 2015) et Walker et *al.* (2013) stipulent la combinaison entre plusieurs facteurs endogènes et exogènes dans le dialogue engagé entre les phagocytes nutritifs et les cellules germinales puisque ces deux types cellulaires sont étroitement liés. La température demeure le facteur stimulant dominant et le plus influant de la ponte chez les oursins pour beaucoup d'auteurs mais certains ont associés la période de ponte à une concentration élevée en chlorophylle a en Méditerranée étant donné son caractère oligotrophe (Egea et *al.*, 2011) et d'autres ont plutôt lié cette activité au cycle lunaire (Mercier et Hamel, 2014).

4- Relations biométriques

4-1- Relation entre le diamètre (D) et la hauteur (H) du test sans piquants des oursins noirs

La relation entre le diamètre et la hauteur du test décrit les variations de la forme du corps durant la croissance.

Dans l'ensemble des sites, 588 individus ont été utilisés pour réaliser ces mensurations. Les données relevées ont été ajustées à la courbe de puissance (Figure 43 et 44).

$H = bD^a$ où, **H** est la hauteur du test et **D** le diamètre du test. Les paramètres (**a** et **b**) ont été estimés (Tableau 9).

Tableau 9. Equations liant la hauteur (**H**) et le diamètre (**D**) du test sans les piquants chez *Arbacia lixula* dans les deux sites étudiés. **r** = coefficient de corrélation et **n** = taille de l'échantillon. Test t de Student (comparaison du coefficient de régression)

Sites	Equations	Comparaison des coefficients de régression avec le test "t"
SALAMANDRE	$H = 1,55 D^{0,69}$ r = 0,59 n = 298	t observé = 1,95 < t théorique = 1,96 (P < 0,05) Allométrie minorante entre D et H
STIDIA	$H = 0,87 D^{0,84}$ r = 0,62 n = 290	t observé = 2,60 > t théorique = 1,96 (P < 0,05) Allométrie minorante entre D et H

La relation entre la hauteur et le diamètre du test sans piquants pour les oursins de Salamandre affiche une modeste valeur de **r** qui est égale à **0,59** montrant une corrélation moyenne. Le coefficient de régression **a** (**0,69**) est significativement inférieur à 1, pour la population de Salamandre; la croissance présente une allométrie minorante.

La relation entre la hauteur et le diamètre du test sans piquants pour les oursins noirs de Stidia affiche une valeur de **r** égale à **0,62** et **a** égale à **0,84** qui est inférieure à 1 ; la croissance est minorante entre ces deux variables. Ainsi la hauteur et le diamètre croissent à une vitesse différente (Figures 43 et 44). Avec une allométrie minorante dans les deux sites, l'ensemble des oursins présente une croissance moins rapide de la hauteur par rapport au diamètre.

La comparaison entre les deux allométries minorantes des deux sites montre que les oursins de la Salamandre sont légèrement plus aplatis que ceux de Stidia, en raison du coefficient de régression légèrement plus important à Stidia (0,84) que celui de la Salamandre (0,69). Ces résultats concordent avec ceux obtenus à Mostaganem (Salamandre et Sidi Lakhdar) chez *Paracentrotus lividus* par Boukhelf (2012) avec les oursins de la Salamandre plus plats que ceux de Sidi Lakhdar. A la Salamandre, Sahnoun (2010) avait aussi trouvé chez l'oursin livide *Paracentrotus lividus* une croissance plus rapide du diamètre du test par rapport à sa hauteur. Au contraire, à Oran et à Arzew (Cap Carbon) *Paracentrotus lividus* montre une croissance majorante entre ces deux variables ; la hauteur et le diamètre du test croissent à la même vitesse (Belkhedim, 2009 ; Kouadri Mostefai, 2014).

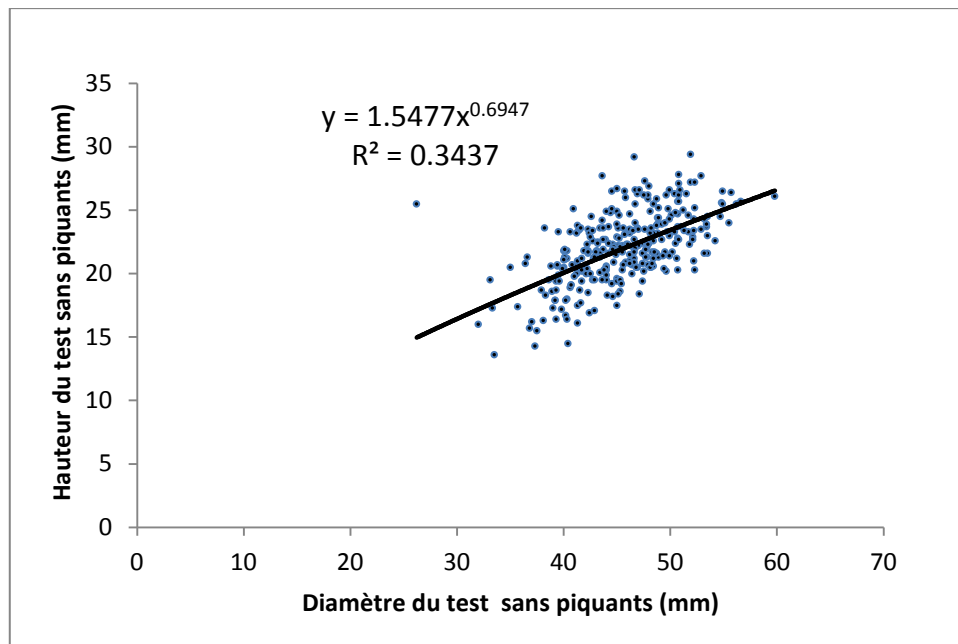


Figure 43: Relation allométrique entre la hauteur (mm) et le diamètre (mm) du test sans piquants des oursins noirs de la Salamandre.

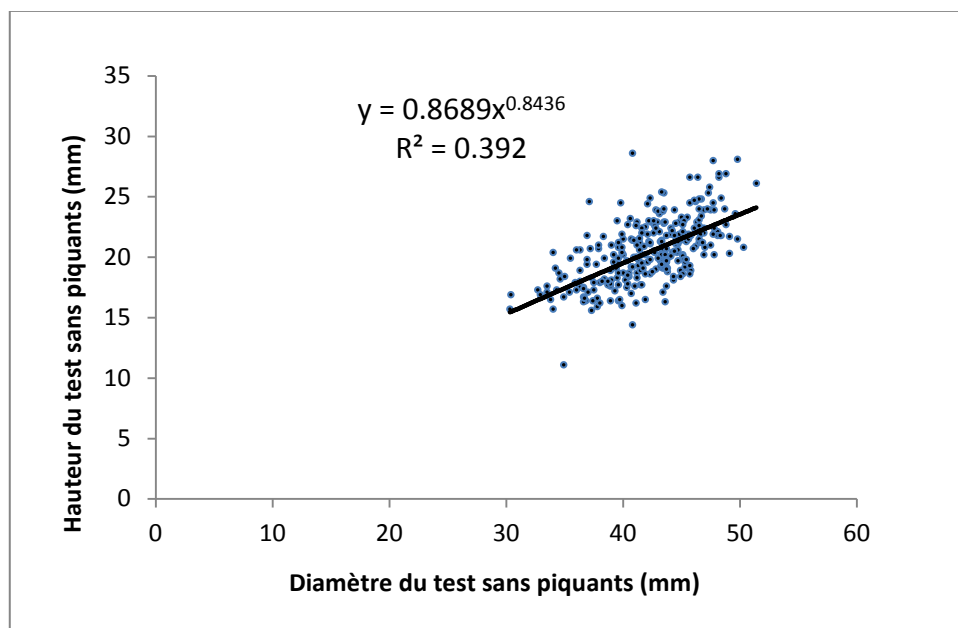


Figure 44: Relation allométrique entre la hauteur (mm) et le diamètre (mm) du test sans piquants des oursins noirs de Stidia.

4-2- Relation entre le diamètre (d) et la hauteur (h) de la lanterne d'Aristote

Les données de diamètre (d)-hauteur (h) ont été ajustées aux courbes de puissance pour étudier la croissance relative de cet organe (Figure 45 et 46). Les paramètres ont été calculés et les valeurs ont été transcrites sur le tableau 10.

La relation entre **d** et **h** affiche des valeurs de **r** assez bonnes, et le coefficient de régression inférieur à 1, met en évidence une relation d'allométrie minorante entre les deux variables **h** et **d**

pour l'ensemble de la population. Ce qui signifie que la vitesse de croissance de la hauteur de la lanterne d'Aristote est inférieure à celle du diamètre pour tous les individus étudiés. La comparaison des allométries des deux sites montre que l'ensemble des oursins des deux sites (Salamandre et Stidia) présente un léger aplatissement de la mâchoire. Le même constat a été noté chez *Paracentrotus lividus* du port de Salamandre de Mostaganem. Quant à la population de Sidi Lakhdar la relation allométrique entre les deux paramètres morphologiques est majorante ce qui veut dire que la vitesse de croissance de la hauteur est supérieure à celle du diamètre, l'oursin livide de Salamandre a donc une mâchoire plus aplatie que celle de Sidi Lakhdar (Boukhelf, 2012). Chez *Paracentrotus lividus* d'Ain Franin (Oran) la relation entre ces deux paramètres est isométrique, ce qui revient à dire que la vitesse de croissance du diamètre de la lanterne d'Aristote est aussi rapide que celle de la hauteur. Par contre, chez la population du port d'Oran, la relation allométrique est minorante entre les deux variables, ce qui signifie que la vitesse de croissance de la hauteur de la lanterne d'Aristote est inférieure à celle de son diamètre ; chez l'oursin du port d'Oran la mâchoire est plus aplatie que celle d'Ain Franin (Belkhedim, 2009). Des résultats identiques ont été mentionnés chez *Paracentrotus lividus* étudié à Tamenfoust (Alger) (Soualili, 2008). Généralement les oursins sont doués d'une plasticité phénotypique affectant la lanterne d'Aristote en fonction des conditions trophiques de leur milieu (Hughes et al., 2012). La lanterne d'Aristote a tendance à devenir plus large que haute quand les ressources alimentaires sont limitées (Ebert et al., 2014) et cette stratégie adaptative leur permet de puiser davantage la nourriture (Hernandez et Russell, 2010).

Tableau 10. Equations liant la hauteur (**h**) de la lanterne d'Aristote et le diamètre (**d**) de la lanterne d'Aristote chez *Arbacia lixula* dans les deux sites étudiés. **r** = coefficient de corrélation et **n** = taille de l'échantillon. Test t de Student (comparaison des coefficients de régression).

Sites	Equations	Comparaison des coefficients de régression avec le test "t"
SALAMANDRE	$h = 2,35 d^{0,72}$ r = 0,80 n = 298	t observé = 2,99 > t théorique = 1,96 (P < 0,05) Allométrie minorant entre d et h
STIDIA	$h = 2,62 d^{0,70}$ r = 0,78 n = 290	t observé = 1,57 < t théorique = 1,96 (P < 0,05) Allométrie minorante entre d et h

La comparaison des allométrie des oursins vivants dans les deux sites montre que l'ensemble des oursins présente un léger aplatissement de la mâchoire.

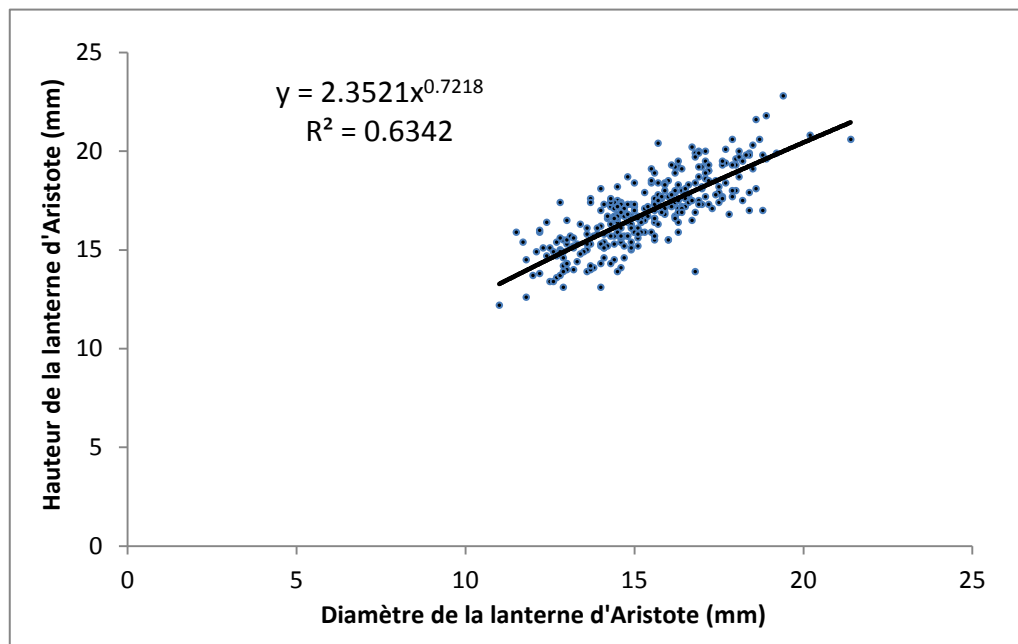


Figure 45: Relation allométrique entre la hauteur de la lanterne d'Aristote (mm) et le diamètre de la lanterne d'Aristote (mm) des oursins noirs de la Salamandre.

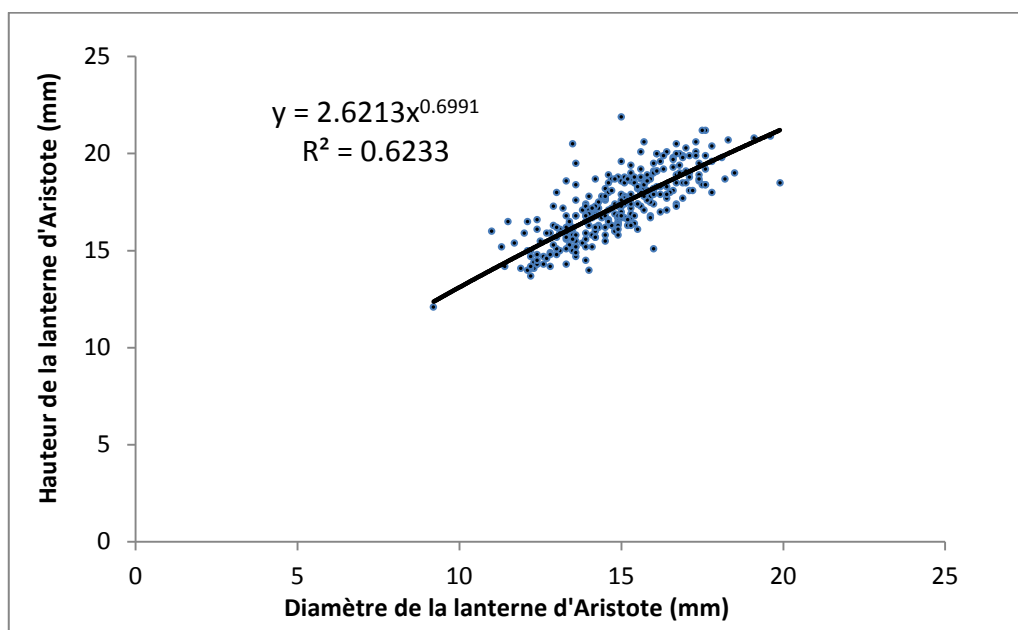


Figure 46: Relation allométrique entre la hauteur de la lanterne d'Aristote (mm) et le diamètre de la lanterne d'Aristote (mm) des oursins noirs de Stidia.

4-3- Relation entre le diamètre (D) du test sans piquants et le diamètre (d) de la lanterne d'Aristote

Les données correspondant à la relation entre le diamètre (d) de la lanterne d'Aristote et le diamètre (D) du test sans piquants des oursins noirs ont été ajustés aux courbes de puissance (Figure 47 et 48) et les paramètres ont été évalués et présentés sur le tableau 11.

Tableau 11. Equation liant le diamètre (d) de la lanterne d'Aristote au diamètre (D) du test sans piquants chez *Arbacia lixula* dans les deux sites étudiés. r = coefficient de corrélation et n = taille de l'échantillon. Test t de Student (comparaison des coefficients de régression)

Sites	Equations	Comparaison des coefficients de régression avec le test "t"
SALAMANDRE	$d = 1,01 D^{0,71}$ $r = 0,68 \quad n = 298$	$t_{\text{observé}} = 1,32 < t_{\text{théorique}} = 1,96 (P < 0,05)$ Allométrie minorante entre D et d
STIDIA	$d = 0,97 D^{0,73}$ $r = 0,63 \quad n = 290$	$t_{\text{observé}} = 2,39 > t_{\text{théorique}} = 1,96 (P < 0,05)$ Allométrie minorante entre D et d

Le coefficient de régression a significativement inférieur à 1, met en évidence une relation d'allométrie minorante entre d et D, dans les deux sites. *A.lixula* présente une vitesse de croissance du diamètre de la lanterne d'Aristote plus lente que celle du diamètre du test sans piquants. La différence entre les deux sites n'est pas significative (P > 0,05).

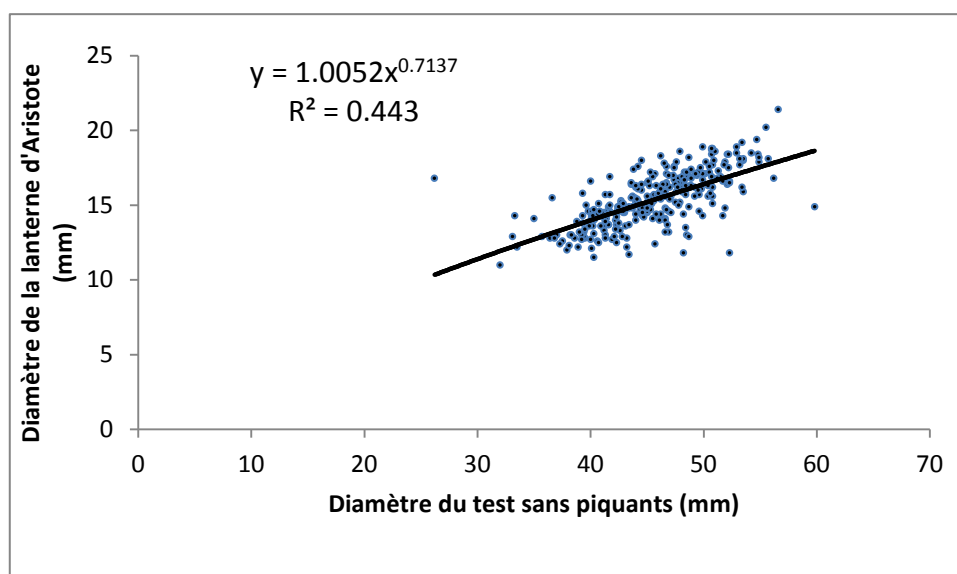


Figure 47: Relation allométrique entre le diamètre du test sans piquants (mm) et le diamètre de la lanterne d'Aristote (mm) des oursins noirs de la Salamandre.

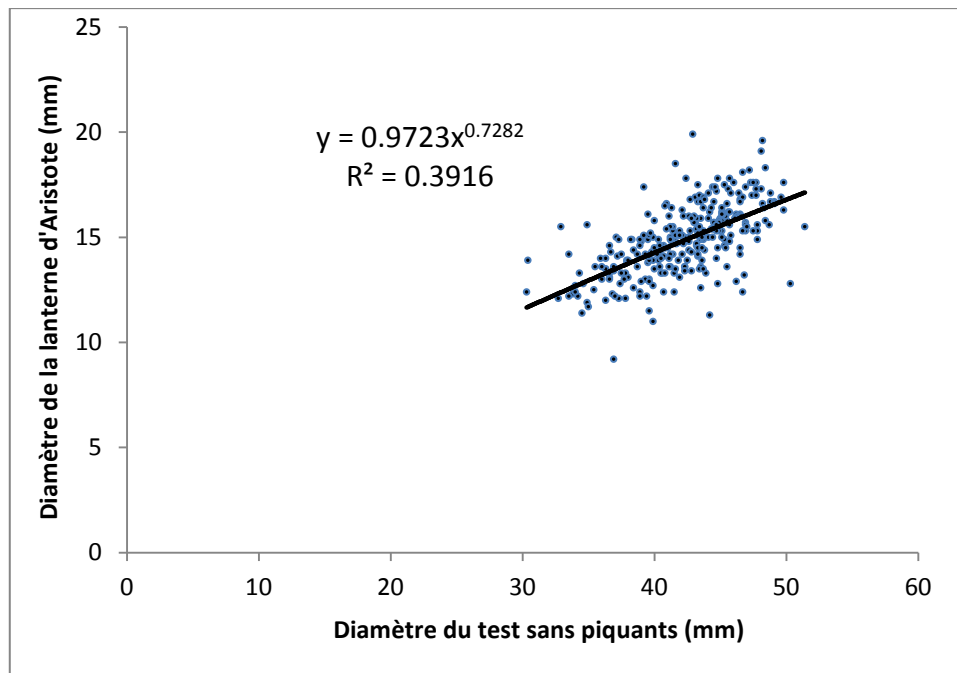


Figure 48: Relation allométrique entre le diamètre du test sans piquants (mm) et le diamètre de la lanterne d’Aristote (mm) des oursins noirs de *Stidia*.

4-4- Relation entre le diamètre (D) du test sans piquants et le poids humide (PH) de l’oursin noir

Les données correspondant à la relation entre le poids humide de l’oursin (PH) et diamètre (D) du test sans piquants ont été ajustés aux courbes de puissance (Figure 49 et 50), et les paramètres ont été calculés et portés sur le tableau 12.

Tableau 12. Equation liant le Diamètre (D) du test sans piquants et le poids (PH) humide chez *A.lixula* dans les deux sites étudiés (r= coefficient de corrélation et n= nombre d’individus).

Sites	Equations	Comparaison des coefficients de régression avec le test "t"
SALAMANDRE	$PH = 10,975 D^{2,1695}$ r = 0,86 n = 298	t observé = 1,44 < t théorique = 1,96 (P < 0,05) Allométrie minorante entre D et PH
STIDIA	$PH = 6,7451 D^{2,31}$ r = 0,63 n = 290	t observé = 1,59 < t théorique = 1,96 (P < 0,05) Allométrie minorante entre D et PH

Le coefficient de régression $a < 3$ ($p < 0,05$) et la lecture des courbes aux puissances met en évidence une relation d'allométrie minorante entre les deux variables **D** et **PH** pour l'ensemble de la population d'oursins des deux sites. Le poids croît moins vite que le diamètre du test sans piquants chez l'oursin noir *Arbacia lixula*. Ces résultats rejoignent ceux obtenus par Belkhedim (2009) et Boukhelf (2012) chez *Paracentrotus lividus* étudié respectivement à Oran (port d'Oran et Ain Franin) et sur le littoral Mostaganémois (Salamandre et Sidi Lakhdar). Une étude similaire sur *Paracentrotus lividus* réalisée par Sahnoun en 2009 à la Salamandre avait noté que le poids croît plus rapidement que le diamètre du test. Selon Dermeche (2010) il existe une forte relation d'allométrie entre les différents paramètres de croissance chez *Paracentrotus lividus* de la côte oranaise. Ce qui traduit une ressemblance entre la croissance de l'oursin noir et l'oursin livide puisqu'ils partagent les mêmes biotopes dans la plupart des cas.

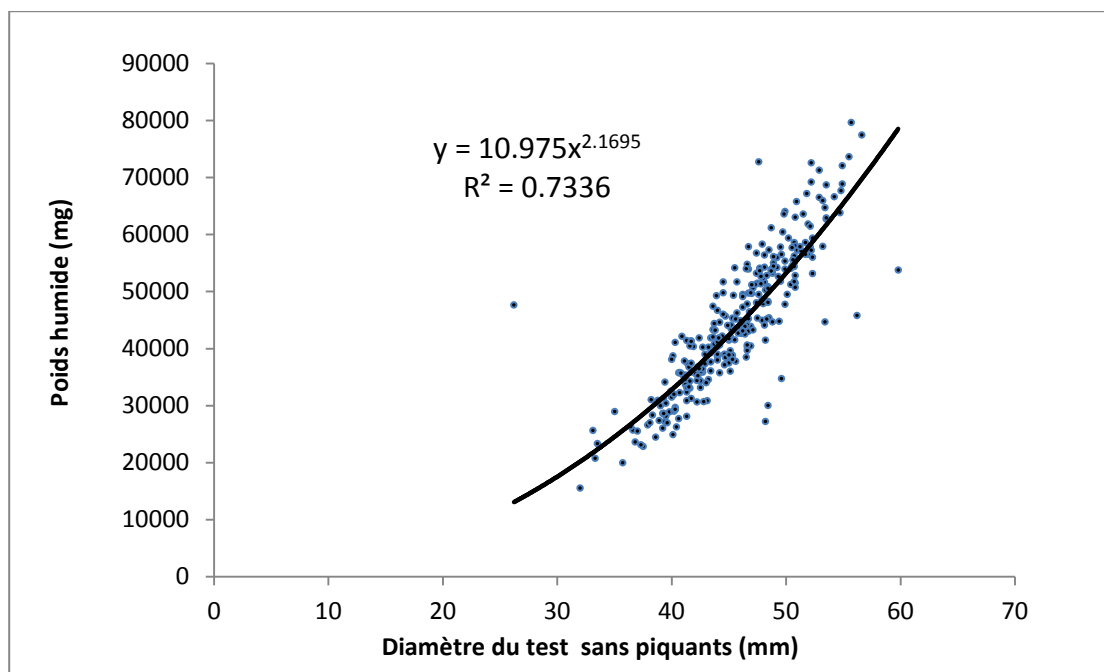


Figure 49: Relation allométrique entre le diamètre du test sans piquants (mm) et le poids humide (mg) des oursins noirs de la Salamandre.

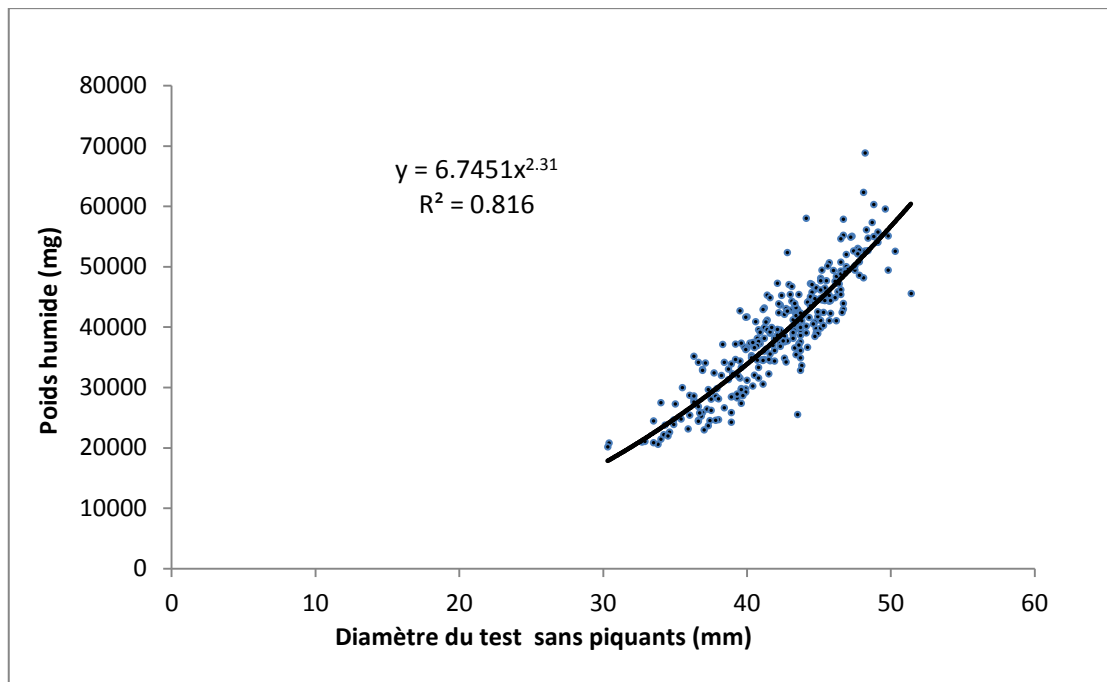


Figure 50: Relation allométrique entre le diamètre du test sans piquants (mm) et le poids humide (mg) des oursins noirs de Stidia.

4-5- Relation entre la hauteur (H) du test sans piquants et le poids humide (PH) de l’oursin noir

Les données correspondant à la relation entre le poids (PH) humide de l’oursin et la hauteur (H) du test sans piquants ont été ajustés aux courbes de puissance (Figure 51 et 52), et les paramètres ont été évalués et consignés sur le tableau 13.

Tableau 13. Equation liant la hauteur (H) du test sans piquants et le poids humide (PH) chez *A.lixula* dans les deux sites étudiés (r= coefficient de corrélation et n= nombre d’individus).

Sites	Equations	Comparaison des coefficients de régression avec le test "t"
SALAMANDRE	$PH = 506,81 H^{1,4381}$ $r = 0,64 \quad n = 298$	$t \text{ observé} = 1,31 < t_{\text{théorique}} = 1,96 (P < 0,05)$ Allométrie minorante entre H et PH
STIDIA	$PH = 637,85 H^{1,3563}$ $r = 0,63 \quad n = 290$	$t \text{ observé} = 1,05 < t_{\text{théorique}} = 1,96 (P < 0,05)$ Allométrie minorante entre H et PH

Le coefficient de régression a significativement inférieur à 3 met en évidence une relation d'allométrie minorante entre PH et H dans les deux sites. *A.lixula* présente donc une vitesse de croissance pondérale moins vite que celle de la hauteur du test. Il n'y a aucune différence significative entre les deux sites ($P > 0,05$). Chez l'oursin noir *Arbacia lixula* La hauteur croît plus vite que le poids. Les mêmes résultats ont été enregistrés chez l'oursin livide *Paracentrotus lividus* étudié à Oran, ces deux paramètres présentent une relation d'allométrie minorante et le poids présente une vitesse de croissance moins importante que celle de la hauteur (Belkhedim, 2009). Au contraire, cette même espèce étudiée à Mostaganem (Salamandre et Sidi Lakhdar) et à Arzew (Cap Carbon) se caractérise par une croissance pondérale importante par rapport à la hauteur (Boukhelf, 2012 ; Kouadri Mostefai, 2014).

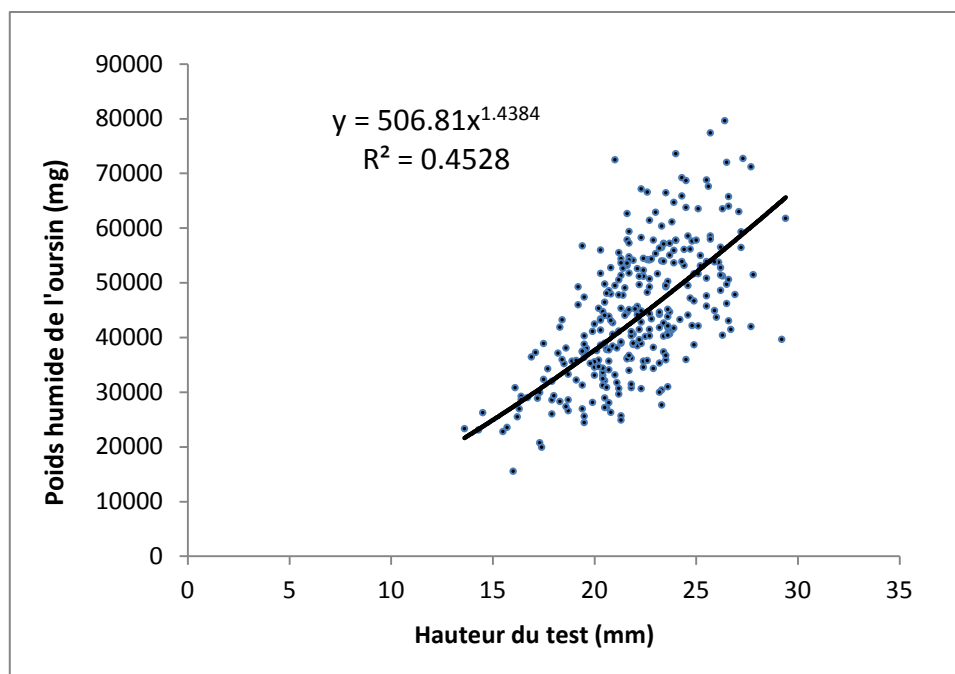


Figure 51: Relation allométrique entre la hauteur du test sans piquants (mm) et le poids humide (mg) des oursins noirs de Salamandre.

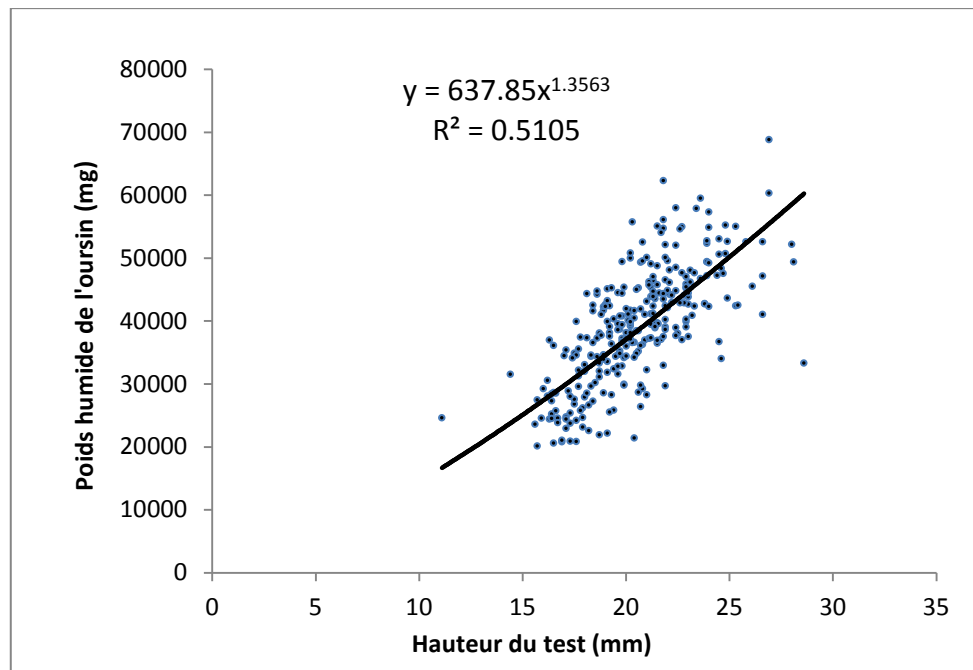


Figure 52: Relation allométrique entre la hauteur du test sans piquants (mm) et le poids humide (mg) des oursins noirs de Stidia.

5- Etude histologique et suivi de la maturation des gonades de l'oursin noir *Arbacia lixula*

5-1- Cycle de reproduction d'*Arbacia lixula*:

L'étude histologique des gonades mâles et femelles de l'oursin noir *Arbacia lixula* a été réalisée pour compléter l'étude de l'indice gonadique. Nous avons constaté à travers cette analyse que le cycle de reproduction de l'oursin noir est semblable à celui des autres échinodermes gonochoriques. Les cellules germinales seraient originaires des cellules de l'épithélium cœlomique (paroi externe de la gonade) (Fenaux, 1980 ; Drummond, 1991). Gonor (1973) a constaté dans les gonades de l'oursin pourpre *Strongylocentrotus purpuratus* la présence de spermatogonies et d'ovogonies, regroupées en petits amas espacés le long de la paroi gonadique, et suppose que quelques gonies de l'épithélium gonadique doivent se différencier en gamètes à chaque cycle de reproduction. Tout comme les autres oursins, les gonades sont formées par deux types cellulaires, les cellules germinales (ovogonies ou spermatogonies selon le sexe) et les cellules nutritives ou phagocytes nutritifs ou encore cellules somatiques. Les phagocytes nutritifs jouent un rôle structural et nourricier pour la lignée germinale ; ils fournissent les molécules nutritives indispensables à la gamétogénèse (Walker et al., 2005 ; Unuma et al., 2011 ; Walker et al., 2013).

L'étude histologique des gonades (5 gonades mâles et 5 gonades femelles/ mois) permet une estimation qualitative de la maturation des gonades et permet aussi de définir les différents stades de leur développement. Chez *A.lixula* cet examen histologique montre que cette espèce possède un cycle de reproduction avec une seule période de ponte étalée dans le temps, depuis le mois de mai jusqu'au mois de septembre. Nous avons pu observer les cinq stades de la gamétogénèse, en se basant sur l'échelle de Fuji (1960) et en se référant aussi à la description de Byrne (1990).

Les cinq stades microscopiques observés de la gamétogénèse sont les suivants :

Sade 1 (post-ponte) : le début du cycle chez les **femelles**, il se caractérise par une accumulation de substances de réserve dans le tissu nutritif où sont observées des inclusions (gouttelettes), et par la présence d'une basophilie des ovogonies collées à la paroi acineuse. Dans la lumière des acini on observe des ovocytes résiduels (Planche 1A, B). Chez les **mâles**, ce stade est caractérisé par un tissu nutritif développé marqué par la présence d'une petite quantité de spermatozoïdes résiduels dans le testicule (Planche 2A).

Stade 2 (croissance) : chez les **femelles**, les ovogonies se transforment en ovocytes primaires, ceux-ci restent attachés à la paroi gonadique et sont entourés par le tissu nutritif, encore bien développé, mais moins dense qu'au stade 1 (Planche 1C).

Chez les **mâles**, les spermatogonies se différencient en spermatocytes et forment des colonnettes pénétrant dans le tissu nutritif (Planche 2B).

Stade 3 (pré-maturation) : les **femelles**, montrent une croissance progressive de cellules le long de la paroi acineuse (ovogonies, ovocytes primaires, ovocytes pédonculés). Les ovocytes pédonculés ne sont retenus à la paroi acineuse que par un pédoncule, les ovocytes migrent vers le centre en subissant une maturation et en accumulant des réserves nutritives, le tissu nutritif diminue peu à peu au cours de la maturation des cellules germinales (Planche 1D).

Chez les **mâles**, au bout des colonnettes se détachent les premiers spermatozoïdes qui s'accumulent au centre de la gonade et le tissu nutritif est poussé à la périphérie du testicule (planche 2C).

Stade 4 (maturation) : chez les femelles les gonades deviennent mûres. Les ovules occupent entièrement la lumière des acini avec très peu de tissu nutritif. Les ovules de grande taille qui ont terminé leur accroissement, sont généralement de forme plus ou moins polygonale. Ces ovules sont prêts à être pondus (Planche 1E).

Chez les **mâles**, les gonades sont remplies de spermatozoïdes, mais sur les bords de la gonade, on observe une couche où la spermatogenèse est encore active (Planche 2D).

Stade 5 (ponte) : c'est la période de ponte : tous les gamètes mûrs sont évacués. Les ovules comme les spermatozoïdes résiduels non évacués seront phagocytés par les phagocytes nutritifs. Le tissu nutritif redevient important et recommence à occuper la majeure partie des gonades (Planche 1F et 2F).

L'oursin noir *Arbacia lixula* montre une hétérogénéité intra-individuelle dans la maturation des gonades, de telle sorte que dans la plupart des individus, les différents stades de maturation se trouvent dans les acini de la même gonade.

Ces résultats histologiques concordent parfaitement avec les résultats obtenus sur l'indice gonadique. En effet, nous avons pu observer au mois de mai où l'indice gonadique est à son maximum, des gonades mâles et femelles remplies de gamètes mûres, essentiellement la gonade mâle qui montre une abondance en spermatozoïdes. La période de ponte, à l'échelle histologique coïncide bien avec les données sur l'indice gonadique.

Les résultats histologiques corroborent bien les résultats de l'indice gonadique et valident l'utilisation de cet indice comme descripteur du cycle de la reproduction chez les oursins.

Cette description histologique avec ces cinq stades de maturation des gonades mâles et femelles et les mêmes caractéristiques ont été aussi observés chez *Arbacia lixula* en Espagne, côte nord-ouest de la méditerranée (Wangensteen et al., 2013) et chez *Arbacia dufresnii* de l'Argentine (golfe Nuevo) (Brogger et al., 2010). A Alger comme à Oran chez *Paracentrotus lividus* des stades gamétogénétiques similaires ont été observés dans les gonades mâle et femelle au cours du cycle reproducteur (Soualili, 2008 ; Soualili et Guillou, 2009 ; Belkhedim, 2009 ; Belkhedim et al., 2014 ; Kouadri Mostefai, 2014). Lozan et al. (1995) décrivent également les mêmes stades chez cette espèce dans la côte nord-ouest de l'Espagne. Par contre, au Maroc dans la côte sud de l'atlantique à El Jadida-Safi, El Jouhari et al. (2014) décrivent 6 stades de maturation des gonades chez les mâles et les femelles de *Paracentrotus lividus* alors qu'au sud de l'Espagne et dans la Mer ionienne en Italie, Sanchez -España et al. (2004) et Tenuzzo et al. (2012) ne démontrent que 4 stades de maturation chez les femelles.

D'autres espèces d'oursins étudiées dans d'autres régions du monde montrent également des variations saisonnières histologiques de la spermatogenèse et l'ovogenèse telles que, *Echinometra sp* dans la Mer rouge (Bronstein et Loya, 2015), *Tripneustes gratilla* (Väitilingon et al., 2005), *Holopneustes purpurascens* (Williamson et Steinberg, 2002), *Psammechinus miliaris* (Kelly, 2001), *Strongylocentrotus droebachiensis* (Meidel et Scheibling, 1998), *Sphaerechinus granularis* (Martínez-Pita et al., 2008), *Echinometra lucunter* (Lima et al., 2009).

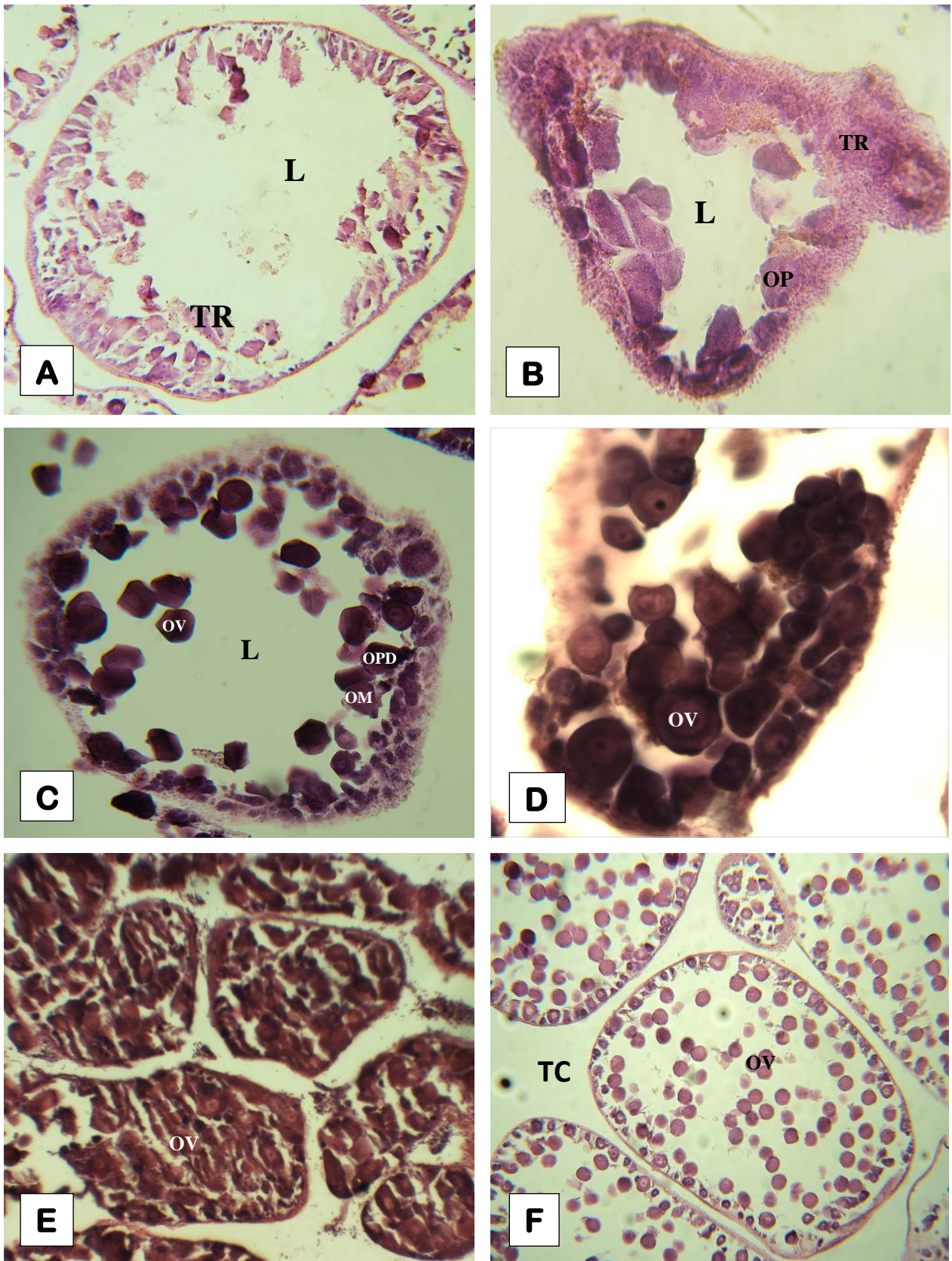


Planche 1: Histologie des ovaires d'*Arbacia lixula*

Légendes: TR: Tissu de réserves; L: Lumière acineuse; TC: Tissu conjonctif; OP: Ovocyte primaire; OV: Ovule; OM: Ovocyte mûr; OPd: Ovocyte pédonculé développé. **A:** stade 1 (x10) ; **B:** stade 2, (x10); **C:** stade 3 (x 40); **D:** stade 4 (x 40); **E:** stade 4 (x 10); **F:** stade 5 (x10).

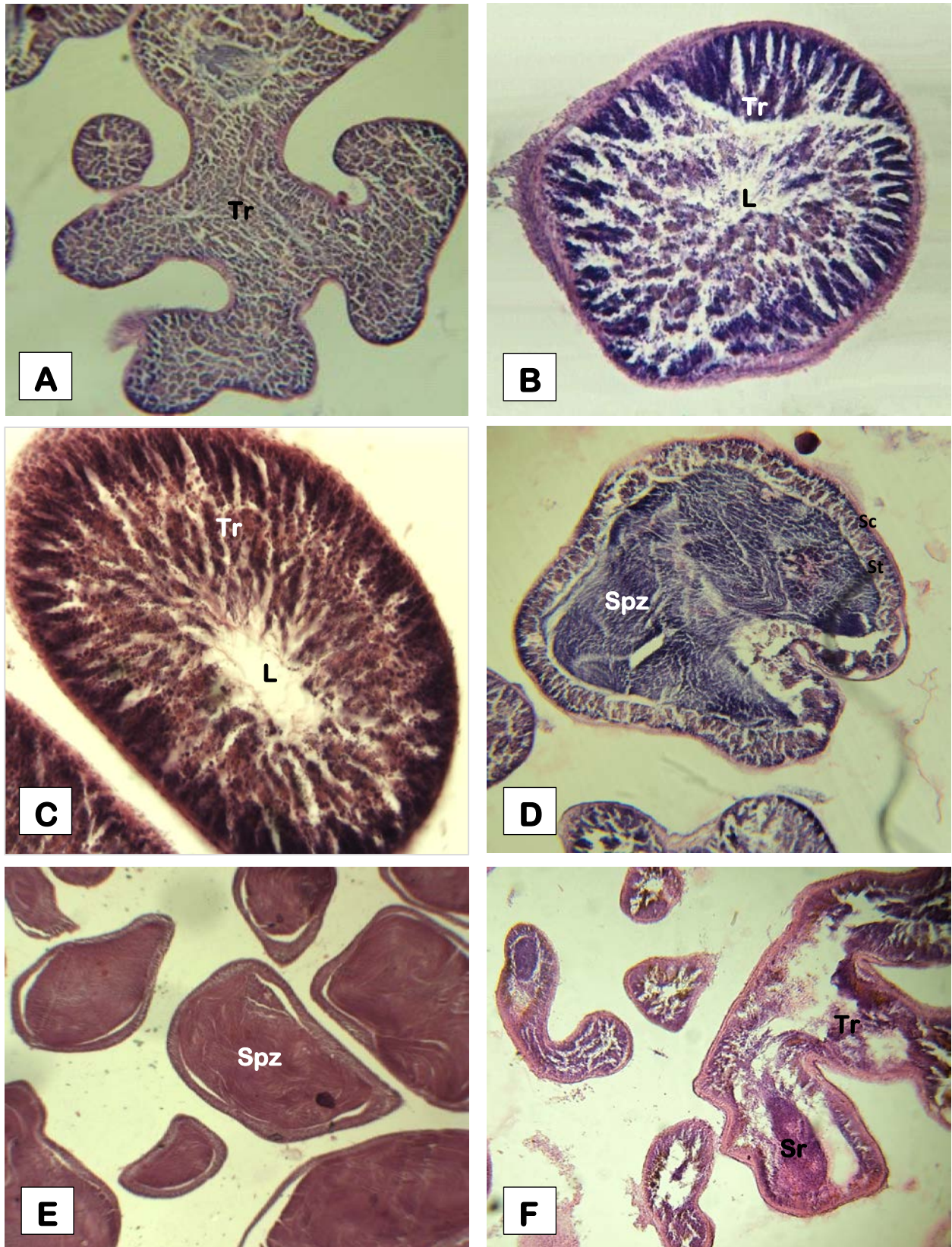


Planche 2 : Histologie des testicules d'*Arbacia lixula*

Légende : **Tr** : Tissu de réserves, **L** : Lumière, **Spz** : Spermatozoïdes, **Sr** : spermatozoïdes résiduels, **Sc** : Spermatocyte, **St** : Spermatide. **A** : stade 1 (x10), **B** : stade 2 (x40), **C** : stade 2 (x40), **D** : stade 3 : (x10), **E** : stade 4 (x10), **F** : stade 5 (x10).

Conclusion

L'oursin noir *Arbacia lixula* étudié à la Salamandre et Stidia, deux sites du littoral Mostaganémois différents d'un point de vue ressources trophiques et pollution, par l'évaluation des indices physiologiques (indice gonadique et indice de réplétion) et l'étude histologique des gonades, montre une activité reproductrice saisonnière avec une seule période de ponte localisée dans l'intervalle de temps printemps-été, commençant au printemps au mois de mai et se poursuivant jusqu'à la fin de l'été (septembre). L'étude histologique confirme les résultats de l'indice gonadique et ce paramètre, souvent contesté dans l'évaluation de la maturation gonadique des oursins, peut compter parmi les paramètres appréciables de l'état des gonades.

Le sex ratio des deux populations est légèrement en faveur des mâles mais les mois où cette légère dominance des mâles n'a pas été observée pourrait signifier une alternance de sexe chez cet échinoderme. Le suivi des indices physiologiques nous a aussi permis d'observer que la croissance gonadique et l'activité trophique diminuent avec l'âge des oursins. Le taux d'alimentation est élevé chez les jeunes oursins et la superposition des indices gonadiques et des indices de réplétion indiquent que la phase de maturation maximale des gonades est en coïncidence avec une activité trophique réduite, en raison probablement de l'occupation de l'espace coelomique par les gonades développés. Cependant, les raisons exactes de cette incapacité de s'alimenter au fur et à mesure du développement gonadique et la reprise de ce pouvoir avec la période de ponte suite à la libération de cet espace, demeurent inexplicables et méritent d'être élucidées.

Cette étude nous a permis également de souligner l'importance des températures printanières dans l'induction de la ponte chez cet oursin sans écarter l'implication d'autres facteurs endogènes et exogènes dans cette activité.

En raison des IRM significativement élevés dans le site de Stidia, celui-ci est donc le site où les conditions alimentaires sont abondantes et disponibles, et où les oursins évoluent sans contraintes nutritives ni le stress de la pollution. A la différence du site de Salamandre qui reste un milieu pollué du fait des rejets urbains et industriels, et d'une forte activité portuaire pouvant se répercuter négativement sur l'état des oursins et sur leur faculté reproductrice.

Les relations allométriques entre la hauteur du test et son diamètre, la hauteur de la lanterne d'Aristote et son diamètre ainsi que le diamètre du test et le poids frais corporel démontrent bien une croissance en hauteur faible par rapport au diamètre de ces caractères morphologiques et une croissance corporelle moins rapide que le diamètre du test. Ceci signifie

l'aplatissement de cet échinidés pouvant être une adaptation de cet animal à son milieu et essentiellement aux conditions alimentaires.

Enfin, cette étude nous a permis de nous familiariser avec cet échinoderme très peu connu et étudié, et ce travail mérite d'être poursuivi et mené sur plusieurs années avec un effectif plus élevé et représentatif.

Les travaux futurs sur *Arbacia lixula* permettront une meilleure compréhension de la biologie de cette espèce en Algérie pour dégager son rôle écologique et une possible utilisation biotechnologique. Il convient d'étudier :

- Les différents paramètres influençant les conditions de vie de cet oursin.
- La dynamique des populations sur une période étalée et à une plus large échelle bathymétrique.
- L'influence de divers paramètres écologique, trophique et anthropique sur l'évolution de l'espèce qui serait souhaitable dans un but organoleptique en vue d'une éventuelle exploitation de cette ressource.
- La biochimie des gonades pour les valoriser d'un point de vue nutritionnel et aussi pour les intestins dans le but de quantifier l'activité trophique et le régime alimentaire.
- Le cycle saisonnier des larves planctoniques.
- L'évolution des indices physiologiques tout au long d'une année d'échantillonnage, avec un plus grand nombre d'individus par classe de taille.

***Références
bibliographiques***

- Agassiz L. 1842.** Nomenclator zoologicus, continens nomina systematica generum animalium tam viventium quam fossilium. Soloduri: Jent & Gassmann.
- Agnetta D., Badalamenti F., Ceccherelli G., Di Trapani F., Bonaviri C. et Gianguzza P. 2015.** Role of two co-occurring Mediterranean sea urchins in the formation of barren from *Cystoseira* canopy. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 152: 73-77.
- Agnetta D., Bonaviri C., Badalamenti F., Scianna C., Vizzini S. et Gianguzza P. 2013.** Functional traits of two co-occurring sea urchins across a barren/forest patch system. Journal of Sea Research, 76: 170-177.
- Ahmed A.B., Adel M., Karimi P. et Peidayesh M. 2014.** Pharmaceutical, cosmeceutical, and traditional applications of marine carbohydrates. Adv Food Nutr Res, 73:197-220.
- Allaili H et Kerfouf A. 2015.** Biodiversity of Echinogical Fauna of Hard Substrates of the Algerian West Coast. International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR). Volume 19, No 1, pp 81-87.
- Allain J.Y. 1972.** La pêche aux oursins dans le monde. Pêche Marit, 74: 625-630.
- Allain J.Y. 1975.** Structure des populations de *Paracentrotus lividus* (Lamarck) (Echinodermata, Echinoidea) soumises à la pêche sur la côte Nord de Bretagne. Rev Trav Inst Pêches Marit, 39: 171-209.
- Allesteros E. 1981.** Some biometric data from *Paracentrotus lividus* (Lmk.), *Arbacia lixula* (L.) and *Sphaerechinus granularis* (Lmk.) (Echinodermata Echinoidea). Oecologia aquatica, 5: 227-23.
- Andrew N.L et Underwood A.J. 1993.** Density-dependent foraging in the sea urchin *Centrostephanus rodgersii* on shallow subtidal reefs in New South Wales, Australia. Mar Ecol Prog Ser, 99: 89-98.
- Andrew N.L. 1993.** Spatial heterogeneity, sea urchin grazing, and habitat structure on reefs in temperate Australia. Ecology, 74: 292-302.
- Angioni A. et Addis P. 2014.** Characterization of the lipid fraction of wild sea urchin from the Sardinian Sea (western Mediterranean). J Food Sci, 79(2): C155-C162.
- Arafa S., Chouaibi M., Sadok S. et El Abed A. 2012.** The influence of season on the gonad index and biochemical composition of the sea urchin *Paracentrotus lividus* from the Gulf of Tunis. Scientific World Journal, 2012: 815-935.
- Azad A.K., Christopher M., Pearce M.P. et R. Scott McKinley R.S. 2011.** Effects of diet and temperature on ingestion, absorption, assimilation, gonad yield, and gonad quality of the purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus*). Aquaculture, 317:187-196.
- Barbaglio A., Sugni M., Di Benedetto C., Bonasoro F., Schnell S., Lavado R., Porte C. et Candia Carnevali DM. 2007.** Gametogenesis correlated with steroid levels during the gonadal cycle of the sea urchin *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea). Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol, 147(2):466-74.
- Barrios A., Powell K. et Nehmens M. 2010.** Habitat Association of *Arbacia lixula* in the Ligurian Sea. Marine Ecology Field Quarter 2010, University of California, Santa Cruz.
- Bayed A., Quiniou F., Benrha A. et Guillou M. 2005.** The *Paracentrotus lividus* populations from the northern Moroccan Atlantic coast: growth, reproduction and health condition. J. Mar. Biol. Ass. U.K, 85 : 999-1007

- Belbachir N. 2010.** 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. Mémoire de Magister, Université de Mostaganem, 58p.
- Belkhedim L. 2009.** Contribution à l'étude de la biologie de l'oursin régulier *Paracentrotus lividus* (Lmck, 1816) du Port d'Oran et d'Ain franin. Mémoire de Magister en Sciences de l'Environnement, option : Biologie et Pollution Marines, 130p, Université d'Oran.
- Belkhedim L., Dermeche S., Chahrour F. et Boutiba Z. 2014.** Physiological indices and reproduction in the sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) *echinodermata echinoïdae* in the west coast of Algeria. International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences (IJRRAS), 18 (2) :173-181.
- Benedetti-Cecchi L. et Cinelli F. 1995.** Habitat heterogeneity, sea urchin grazing and the distribution of algae in littoral rock pools on the west coast of Italy (western Mediterranean). Mar Ecol Prog Ser, 126: 203-212.
- Benedetti-Cecchi L., Bulleri F. et Cinelli F. 1998.** Density dependent foraging of sea urchins in shallow subtidal reefs on the west coast of Italy (western Mediterranean). Mar Ecol Prog Ser, 163: 203-211.
- Benzohra M. et Millot C. 1995.** Characteristics and circulation of the surface and intermediate water masses of the Algerian coast. Deep-Sea Research, 42: 1803- 1830.
- Béthoux J.P. 1980.** Mean water fluxes across sections in the Mediterranean Sea, evaluated on the basis of water and salt budgets and of observed salinities. Oceanologica Acta, 3: 79-88.
- Black R., Codd C., Hebbert D., Vink S. et Burt J. 1984.** The functional significance of the relative size of Aristotle's lantern in the sea urchin *Echinometra mathaei*. J Exp Mar Biol Ecol, 77: 81-97.
- Black R., Johnson M.S. et Trendall J.T. 1982.** Relative size of Aristotle's lantern in *Echinometra mathaei* occurring at different densities. Mar Biol, 71: 101-106.
- Blainville H.M.D. 1825.** Manuel de malacologie et de conchyliologie. F. G. Levrault, Paris.
- Blunt J.W., Copp B.R., Keyzers R.A., Munro M.H. et Prinsep M.R. 2014.** Marine natural products. Nat Prod Rep, 31(2):160-258.
- Bonaviri C., Vega Fernandez T., Fanelli G., Badalamenti F et Giangyza P. 2011.** Leading role of the sea urchin *Arbacia lixula* in maintaining the barren state in southwestern Mediterranean. Mar Biol, 158: 2505-2513.
- Booolootian R.A., Giese A.C., Tucker J.S. et Farmanfarmaian A. 1959.** A contribution to the biology of a deep sea echinoid *Allocentrotus fragilis* (Jackson). Biol Bull Woods Hole Mass, 116: 362-372.
- Boudouresque C.F. et Verlaque M. 2001.** Ecology of *Paracentrotus lividus*. In Lawrence J.M. ed: Edible sea urchins: biology and ecology, Amsterdam: Elsevier Sciences, 177-216.
- Boudouresque C.F. et Verlaque M. 2013.** *Paracentrotus lividus*. In Sea Urchins: Biology and Ecology, chapter 21, Developments in Aquaculture and Fisheries Science, 38: 297-327.
- Boudouresque C.F., Verlaque M., Azzolina J.F., Meinesz A., Nédélec H. et Rico V. 1989.** Evolution des populations de *Paracentrotus lividus* et d'*Arbacia lixula* (Echinoidea) le long d'un transect permanent à Galeria (Corse). Travaux scientifiques, Parc naturel régional et réserves naturelles de Corse, 22 : 65-82.
- Boue H. et Chanton R. 1978.** Zoologie I, 2, Invertébrés. Edit. Doin, Paris, 713 pp.

- Boukhelf K. 2007.** Etude de l'écosystème marin d'oued Sadaoua Sidi Lakhdar Mostaganem. (Étude hydrologique, bactériologique et physicochimique). Mém. Ingénieur. d'Etat. Ressources Halieutiques. Université de Mostaganem. Fac. des. Sciences et Sciences de l'Ingénieur. Dép. des Scie. De la Mer et des Ressources Halieutiques.
- Boukhelf K. 2012.** Données biométriques, indices physiologiques et dosage des métaux lourds chez l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) dans la région de Mostaganem (Algérie). Mémoire de Magister en sciences de l'environnement, option : Biologie et pollution marines, Université d'Oran, Algérie, 166p.
- Boutiba Z. 1992.** Les mammifères marins d'Algérie Statut, Répartition, Biologie et Ecologie. Thèse de Doctorat d'Etat, Université d'Oran, Algérie, 575p.
- Brogger M.I., Martinez M.I. et Penchaszadeh P.E. 2010.** Reproduction of the sea urchin *Arbacia dufresnii* (Echinoidea: Arbaciidae) from Golfo Nuevo, Argentina. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 1-5.
- Bronstein O. et Loya Y. 2015.** Photoperiod, temperature, and food availability as drivers of the annual reproductive cycle of the sea urchin *Echinometra* sp. from the Gulf of Aqaba (Red Sea). Coral Reefs, 34:275–289.
- Brookbank J. W. 1968.** Spawning season and sex ratio of echinoids. Q. Jl Fla Acad. Sci, 30 : 177-183.
- Bulleri F. 2013.** Grazing by sea urchins at the margins of barren patches on Mediterranean rocky reefs. Mar Biol, 160: 2493-2501.
- Bulleri F., Benedetti-Cecchi L. et Cinelli F. 1999.** Grazing by the sea urchins *Arbacia lixula* L. and *Paracentrotus lividus* Lam. in the Northwest Mediterranean. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 241: 81-95.
- Bulleri F., Bertocci I. et Micheli F. 2002.** Interplay of encrusting coralline algae and sea urchins in maintaining alternative habitats. Marine Ecology Progress Series, 243: 101–109.
- Byrne M. 1990.** Annual reproductive cycles of the commercial sea urchin *Paracentrotus lividus* from an exposed intertidal and a sheltered subtidal habitat on the west coast of Ireland. Mar Biol, 104 (2): 275-289.
- Calow P. 1981.** Resource utilization and reproduction. In Townsend C.R., Calow P., (eds), Physiological ecology: an evolutionary approach to resource use, Blackwell. Sci. Publ, Oxford, 245-270.
- Carpenter R.C. 1984.** Predator and population density control of homing and behavior in the Caribbean echinoid *Diadema antillarum*. Mar Biol, 82: 101-108.
- Chelazzi G., Serra G. et Bucciarelli G. 1997.** Zonal recovery after experimental displacement in two sea urchins co-occurring in the Mediterranean. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 212: 1-7.
- Chia F.S. 1966.** Brooding behavior of a six-rayed starfish, *Leptasterias hexactis*. Biol Bull, 130: 304-315.
- Cobb J. et Lawrence J.M. 2005.** Diets and coexistence of the sea urchins *Lytechinus variegatus* and *Arbacia punctulata* (Echinodermata) along the central Florida gulf coast. Marine Ecology Progress Series, 295: 171-182.
- Cochran R.C. et Engelman F. 1975.** Environmental regulation of the annual reproductive season of *Stongylocentotus purpuratus* (Stimpson). Biol Bull, 148: 393-401.
- Conan P. et Millet C. 1995.** Variability of the Northern current of Marseille, Western Mediterranean sea, from February to June 1992. Oceanologica Acta, 18 (2): 193-205.

- Corcoll A. 2012.** Eriçó de mar: estudi antropològic, geolingüístic i etimològic. PhD Thesis. University of Barcelona. Spain.
- Cordeiro C.A.M.M., Harborne A.R. et Ferreira C.E.L. 2014.** Patterns of distribution and composition of sea urchin assemblages on Brazilian subtropical rocky reefs. *Mar Biol*, 161:2221-2232.
- Cowen R.K., Agegian C.R. et Foster M.S. 1982.** The maintenance of community structure in a Central California giant kelp forest. *J Exp Mar Biol Ecol*, 64: 189-201.
- Dafni J. 1980.** Abnormal growth patterns in the sea urchin *Tripneustes CT. gratilla (L.)* under pollution (Echinodermata, Echinoidea). *J Exp Mar Biol Ecol*, 47: 259-279.
- Dafni J. 1983.** Aboral depressions in the tests of the sea urchin *Tripneustes cf. gratilla (L.)* in the Gulf of Eilat, Red Sea. *J Exp Mar Biol Ecol*, 67: 1-15.
- Dagnelie P. 1973.** Théorie et méthodes statistiques. Vol. 2, *Presses agronomiques de GEMBLoux*, publ., 378p.
- Dawson M.N. 2001.** Phylogeography in coastal marine animals: a solution from California? *Journal of Biogeography*, 28: 723-736.
- De Ridder C. et Lawrence J.M. 1982.** Food and feeding mechanisms: Echinoidea. In Jangoux M., Lawrence J.M, (eds), *Echinoderm nutrition*, Balkema publ, Rotterdam, 57-116.
- Delvil M. 2009.** L'oursin comestible *Paracentrotus lividus* : optimisation des conditions de production de larves et de juvéniles benthiques en éclosérie en vue d'opérations de réintroduction après état des lieux de la ressource sur plusieurs sites tests varois. Mémoire de fin d'études, Diplôme d'Agronomie Approfondie (DAA), Spécialité Halieutique. Institut océanographique Paul Ricard, AgroCampus ouest. France, 1-35p.
- Dermeche S. 2010.** Indices physiologiques, bioessais et dosage des métaux lourds chez l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) de la côte oranaise (ouest Algérien). Thèse de Doctorat, LRSE, 137p. Université d'Oran.
- Dill L.M., Heithaus M.R. et Walters C.J. 2003.** Behaviorally mediated indirect interactions in marine communities and their conservation implications. *Ecology*, 84:1151-1157.
- Dix T.G. 1970.** Biology of *Evechinus chloroticus* (Echinoidea: Echinometridae) from different localities. 3 Reproduction. *N. Z. J. Mar. Freshw. Res.*, 4: 385-405.
- Dromard C.R. 2013.** Niches trophiques des poissons herbivores des Antilles : apports des isotopes stables. Thèse de Doctorat en physiologie et biologie des organismes, 306p. Université des Antilles et de la Guyane, France.
- Duffy J.E. et Hay M.E. 2001 .**The ecology and evolution of marine consumer-prey interactions. In: Bertness MD, Gaines SD, Hay ME (eds) *Marine community ecology*. Sinauer Sunderland Mass, 131-157.
- Dummond A. E. 1991.** Reproduction of the sea urchin *Stomopneustes variolaris* (Lam) on the east coast of South Africa. *Invert Reprod Develop*, 20(3) : 259-266.
- Ebert T.A. 1968.** Growth rates of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* related to food availability and spine abration. *Ecology*, 49:1075-1091.
- Ebert T.A. 1980.** Relative growth of sea urchin jaws: an example of plastic resource allocation. *Bull Mar Sci*, 30: 467-474.

- Ebert T.A. 1988.** Calibration of natural growth lines in ossicles of two sea urchins, *Strongylocentrotus purpuratus* and *Echinometra mathaei*, using tetracycline. In, Burke R.D., Mladenov P.V., Lambert P., Parsley R.L., (eds), Echinoderm biology. Balkema, Rotterdam, 435-443.
- Ebert T.A., Hernández J.C. et Clemente S. 2014.** Annual reversible plasticity of feeding structures: cyclical changes of jaw allometry in a sea urchin. *Proc Biol Sci*, 281(1779):2013-2284.
- Edwards P.B. et Ebert T.A. 1991.** Plastic responses to limited food availability and spine damage in the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson). *J Exp Mar Biol Ecol*, 145(2): 205-220.
- Egea E., Mérigot B., Mahé-Bézac C., Féral J.P. et Chenuil A. 2011.** Differential reproductive timing in Echinocardium spp.: The first Mediterranean survey allows interoceanic and interspecific comparisons. *C. R. Biologies* 334 (2011) 13–23
- El Jouhari S., Rharbi N., Halla M.I et Belhsen O.K. 2014.** Reproductive Cycle of the Edible Sea Urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) (Echinodermata: Echinoidea) in the Coastal Region El Jadida-Safi (Atlantic Ocean, Morocco). *J Mar Biol Oceanogr* 3:4.
- Elmasry E., Omar H.A., Abdel Razek F.A. et El Magd M.A. 2013.** Preliminary studies on habitat and diversity of some sea urchin species (Echinodermata: Echinoidea) on the southern Levantine basin of Egypt. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 39 (4):303-311.
- Epherra L., Gil D.G., Rubilar T., Perez-Gallo S., Reartes M.B. et Tolosano J.A. 2014.** Temporal and spatial differences in the reproductive biology of the sea urchin *Arbacia dufresnii*. *Marine and freshwater Research*, 66(4): 329-342.
- Exbrayat J.M. 2000.** Méthodes classiques de visualisation du génome en microscopie photonique. Editions TEC et DOC-Editions EMInter. 182p.
- Exbrayat J.M. 2013.** Histochemical and cytochemical methods of visualization. CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton, London, New York. Collection: Methods in Visualization Series.
- Fenaux L. 1968.** Maturation des gonades et cycle saisonnier des larves chez *A. lixula*, *P. lividus* et *P. microtuberculatus* à Villefranche-sur-Mer. *Vie et Milieu, Série A, Biologie Marine*, 19 : 1-52.
- Fenaux L. 1980.** Cycles saisonniers de reproduction et croissance larvaire chez les Echinodermes. *Océanis*, 6(3) : 277-307.
- Fernandez C. 1996.** Croissance et nutrition de *Paracentrotus lividus* dans le cadre d'un projet aquacole avec alimentation artificielle. Thèse de Doctorat. Université de Corse. Faculté des Sciences et Techniques. 277p.
- Fernandez C. et Boudouresque C.F. 1997.** Phenotypic plasticity of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata : Echinoidea) in a lagounal environment. *Mar Ecol Prog Ser*, 152 : 145-154.
- Fischer W., Bauchot M.L. et Schneider M. 1987.** Fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche (révision 1). Méditerranée et mer noire, zone de pêche 37. Volume 1. Végétaux et invertébrés, CEE, FAO, ed. FAO, Rome, 760p.
- Folke C., Carpenter S., Walker B., Scheffer M., Elmqvist T., Gunderson L. et Holling C.S. 2004.** Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. *Annu Rev Ecol Evol Syst*, 35:557-581.
- Francour P., Boudouresque C.F., Harmelin J.G., Harmelin-Vivien M.L. et Quignard J.P. 1994.** Are the Mediterranean waters becoming warmer? Information from biological indicators. *Marine Pollution Bulletin* 28, 523-526.

- Frantzis A. et Gremare A. 1992.** Ingestion, absorption and growth rates of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) fed different macrophytes. *Mar Ecol Prog Ser*, 95: 169-183.
- Frantzis A., Berthon J.F. et Maggiore F. 1988.** Relation trophique entre les oursins *Arbacia lixula* et *Paracentrotus lividus* (Echinoïdea regularia) et le phytobenthos infralittoral superficiel de la baie de Port-Cros (Var, France). *Sci Rep Port-Cros Natl Park Fr*, 14: 81-140.
- Fuji A. 1960.** Studies on the biology of the sea urchin III. Reproductive cycle of two sea urchins, *Strongylocentrotus nudus* and *S. intermedius*, in Southern Hokkaido. *Bull Fac Fish Hokkaido Univ*, 11:49-57.
- Fuji A. 1967.** Ecological studies on growth and food consumption of Japanese common littoral sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius* (*A. agassiz*). *Memoir of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University*, 15 (2): 83-160.
- Fujiswa H. et Sheigei M. 1990.** Correlation of embryonic temperature sensitivity of sea urchins with spawning season. *J Exp Mar biol Ecol*, 136: 123-139.
- Gagnon P., Himmelman J.H. et Johnson L.E. 2004.** Temporal variation in community interfaces: kelp-bed boundary dynamics adjacent to persistent urchin barrens. *Mar Biol*, 144:1191-1203.
- Garmendia J.M., Menchaca I., Belzunce M.J., Franco J. et Revilla M. 2010.** Seasonal variability in gonad development in the sea urchin (*Paracentrotus lividus*) on the Basque coast (southeastern Bay of Biscay). *Mar Pollut Bull*. 61(4-6):259-66.
- Ghyoot M. 1991.** Les pédicellaires globifères de *Sphaerechinus granularis*, morphologie et comportement d'un appendice défensif. *Thèse Doct, Univ, Bruxelles*.
- Gianguzza P. et Bonaviri C. 2013.** *Arbacia*. In *Sea Urchins: Biology and Ecology*, chapter 19, *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*, 38: 275-283.
- Gianguzza P., Agnetta D., Bonaviri C., Di Trapani F., Visconti G., Gianguzza F. et Riggio S. 2011.** The rise of thermophilic sea urchins and the expansion of barren grounds in the Mediterranean Sea. *Chemistry and Ecology*, 27: 129-134.
- Gianguzza P., Bonaviri C., Milisenda G., Barcellona A., Agnetta D., Vega-Fernández T. et Badalamenti F. 2010.** Macroalgal assemblage type affects predation pressure on sea urchins by altering adhesion strength. *Marine Environmental Research*, 70: 82-86.
- Gianguzza P., Bonaviri C., Prato E., Fanelli G., Chiantore M., Privitera D., Luzzu F. et Agnetta D. 2013.** Hydrodynamism and its influence on the reproductive condition of the edible sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Mar Environ Res*, 85:29-33.
- Gianguzza P., Chiantore M., Bonaviri C., Cattaneo-Vietti R., Vielmini I. et Riggio S. 2006.** The effects of recreational *Paracentrotus lividus* fishing on distribution patterns of sea urchins at Ustica Island MPA (Western Mediterranean, Italy). *Fisheries Research*, 81: 37-44.
- Giese A. 1959.** Comparative physiology: annual reproductive cycles of marine invertebrates. *A Rev Physiol*, 21:547-577.
- Giese A.C. 1961.** Further studies on *Alloccentrotus fragilis*, a deep-sea echinoid. *Biol Bull Woods Hole Mass*, 121:141-150.
- Goñi R., Quetglas A. et Reñones O. 2001.** Diet of the spiny lobster *Palinurus elephas* (Decapoda: Palinuridae) from the Columbretes Islands Marine Reserve (north-western Mediterranean). *J Mar Biol Assoc UK*, 81:347-348.

- Gonor J. 1972.** Gonad growth in the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson) (Echinodermata: Echinoïda) and the assumption of gonad index method. *J exp mar Biol Ecol*, 10: 89-103.
- Gonor J.J. 1973.** Reproduction cycles in Oregon populations of the echinoid *Strongylocentrotus purpuratus* (Stompson). Annual gonad growth and ovarian gametogenic cycles. *J exp mar Biol Ecol*, 12:45-64.
- González-Irusta J.M., Goñi de Cerio F. et Canteras J.C. 2010.** Reproductive cycle of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in the Cantabrian Sea (northern Spain): environmental effects. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90(4) : 699-709.
- Gras G. 1987.** Evolution des stocks de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* dans le quartier maritime de Marseille (France), soumis à une pêche intensive, entre les campagnes 1984–1985 et 1986–1987. In: Boudouresque, C.F. (ed.). Colloque International sur *Paracentrotus lividus* et les Oursins Comestibles. Marseille : GIS Posidonie. 363–370.
- Grasse P. 1948.** Traité de zoologie : Anatomie, Systématique, Biologie. T. XI. Echinodermes – Stomocordés- Procordés. Edit. Masson, Paris, 1077p.
- Grasse P. 1987.** Evolution des stocks de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* dans le quartier maritime de Marseille (France), soumis à une pêche intensive, entre les campagnes 1984-1985 et 1986-1987. In Colloque international sur *Paracentrotus lividus* et les oursins comestibles, Boudouresque C.F.Edit. Gis Posidonie publ. Marseille, : 363-370.
- Gray J.E. 1835.** On the genera distinguishable in Echinus. *Proceedings of the Zoological Society of London*, 3: 57-60.
- Guettaf M. 1997.** Contribution à l'étude de la variabilité du cycle reproductif (indice gonadique et histologie des gonades) chez *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinidae) en Méditerranée sud occidentale (Algérie). Thèse de Doctorat en Océanologie, Université Méditerranéenne d'Aix-Marseille II, France, 132p.
- Guettaf M., San Martin G.A. et Francfour P. 2000.** Interpopulation variability of the reproductive cycle of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata : Echinoidea) in the South-western Mediterranean. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 80 : 899-907.
- Guibout P. 1986.** Atlas hydrologique de la Méditerranée. IFREMER et SHOM, Brest, 174 p.
- Guidetti P. 2004.** Consumers of sea urchins, *Paracentrotus lividus* and *Arbacia lixula*, in shallow Mediterranean rocky reefs. *Helgoland Marine Research*, 58:110-116.
- Guidetti P. et Dulčić J. 2007.** Relationships among predatory fish, sea urchins and barrens in Mediterranean rocky reefs across a latitudinal gradient. *Marine environmental research*, 63: 168-84.
- Guidetti P., Frascchetti S., Terlizzi A. et Boero F. 2003.** Distribution patterns of sea urchins and barrens in shallow Mediterranean rocky reefs impacted by the illegal fishery of the rock-boring mollusk *Lithophaga lithophaga*. *Marine Biology*, 143: 1135-1142.
- Hagström B.E. et Lonning S. 1973.** The sea urchin egg as testing object in toxicology. *Acta Pharmacol Toxicol*, 13: 7-49.
- Hairston N.G., Smith F.E. et Slobodkin L.B. 1960.** Community structure population control and competition. *Am Nat*, 94:421-425.

- Harmelin J.G., Hereu B., De Maisonnave L.M., Teixidor N., Domínguez L. et Zabala M. 1995.** Indicateurs de biodiversité en milieu marin: les échinodermes. Fluctuations temporelles des peuplements d'échinodermes à Port-Cros. Comparaison entre les années 1982-84 et 1993-95. Internal Report. Port Cros National Park.
- Harvey E.B. 1956.** The American *Arbacia* and Other Sea Urchins. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Hereu B. 2004.** The role of trophic interactions between fishes, sea urchins and algae in the northwestern Mediterranean rocky infralittoral. Thèse PhD. Université de Barcelone. Espagne.
- Hereu B., Linares C., Diaz D., Teixidor N. et Zabala M. 2005.** Diversité d'échinodermes dans les fonds marins de Porquerolles. Parc national de Port-cros – Contrat n° 05-018. Inventaire et densité des échinodermes de Porquerolles, avec taille moyenne de l'oursin *Paracentrotus lividus* dans les secteurs clés.
- Hereu B., Linares C., Sala E., Garrabou J., Garcia-Rubies A., Diaz D. et Zabala M. 2012.** Multiple Processes Regulate Long-Term Population Dynamics of Sea Urchins on Mediterranean Rocky Reefs. PLoS ONE 7, e36901.
- Hernández J.C et Russell M.P. 2010.** Substratum cavities affect growth-plasticity, allometry, movement and feeding rates in the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus*. J Exp Biol, 213(3): 520-525.
- Hernández J.C., Clemente S., Sangil C. et Brito A. 2008.** The key role of the sea urchin *Diadema* aff. *antillarum* in controlling macroalgae assemblages throughout the Canary Islands (eastern subtropical Atlantic): an spatio-temporal approach. Marine Environmental Research, 66: 259-70.
- Herrmann M. 2007.** Formation et devenir des masses d'eau en Méditerranée nord-occidentale, Influence sur l'écosystème planctonique pélagique, Variabilité interannuelle et changement climatique. *Thèse. Doct. Océanographie.* Université Toulouse III - Paul Sabatier.
- Himmelman J.H. 1975.** Phytoplankton as a stimulus for spawning in three marine invertebrates. J Exp Mar Biol Ecol, 20: 199-214.
- Hughes A.D., Brunner L., Cook E.J., Kelly M.S. et Wilson B. 2012.** Echinoderms display morphological and behavioural phenotypic plasticity in response to their trophic environment. PLoS One, 7(8): e41243.
- Huxley J.S. 1932.** Problems of relative growth. Metuen and Co, London.
- Hyman L.H. 1955.** The Invertebrates. Vol 4. Echinodermata. Mc Craw-Hill: New York.
- James P.J. et Heath P.L. 2008.** The effects of season, temperature and photoperiod on the gonad development of *Evechinus chloroticus*. Aquaculture 285 : 67–77.
- Johnson C.R. et Mann K.H. 1988.** Diversity, patterns of adaptation, and stability of Nova Scotia kelp beds. Ecol Monogr, 58:129-154.
- Jordi Grinyó J., López-Sanz Á. et Orejas C. 2010.** Reproductive cycle of the sea urchins *Paracentrotus lividus* and *Arbacia lixula* in Cap de Creus (NW Mediterranean): a study along a protection gradient. XVI Simposio Ibérico de Estudios de Biología Marina. Alicante (España), 6-10 Septiembre 2010.
- Karlson R. 1978.** Predation and space utilization patterns in a marine epifaunal community. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 31: 225–239.
- Kartas F. et Quignard J.P. 1984.** La fécondité des Poissons Téléostéens. Masson. Ed. Paris. 117p.

- Keats D.W., Steele D.H. et South G.R. 1984.** Depth-dependent reproductive output of the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis* (O. F. Muller), in relation to the nature and availability of food. *J Exp Mar Biol Ecol*, 80: 77-91.
- Kelly M.S. 2001.** Environmental parameters controlling gametogenesis in the echinoid *Psammechinus miliaris*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 266 :67-80.
- Kelly R.P. et Palumbi S.R. 2010.** Genetic structure among 50 species of the northeastern Pacific rocky intertidal community. *PloS ONE*, 5: e8594.
- Kempf M. 1962.** Recherches d'écologie comparée sur *Paracentrotus lividus* (Lmk.) et *Arbacia lixula* (L.). *Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume*, 25 (39) : 47-116.
- Knowlton N. 2004.** Multiple "stable" states and the conservation of marine ecosystems. *Progr Oceanogr*, 60:387-396.
- Kouadri Mostefai S. 2014.** Contribution à l'étude de la biologie de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) de la côte algérienne occidentale (Cap Carbon et Ain Franin). Mémoire de Magister en Sciences de l'Environnement, option : Ecologie Marine, 90p, Université d'Oran.
- Kroh A. et Hansson H. 2012.** *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758), in: Kroh, A., Mooi, R. (Eds.), *World Echinoidea Database*. Accessed Through: *World Register of Marine Species* at [Http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=124249](http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=124249) on 2013-05-04.
- Kroh A., Madeira P. et Haring E. 2012.** Species distributions: virtual or real – the case of *Arbaciella elegans* (Echinoidea: Arbaciidae). *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 50 (2): 99-105.
- La Violette P.E. 1994.** Seasonal interannual variability of the western Mediterranean sea., volume 46 of coastal and estuarine studies. *American geophysical union*, Washington D.C 373 pp.
- Lacombe H. et Richez C. 1982.** The regime of the strait of Gibraltar. *Hydrodynamics of semi-enclosed seas* (éd. par: J. C. J. Nihoul), Elsevier, 13-74.
- Lacombe H. et Tchernia P. 1972.** Caractères hydrologiques et circulation des eaux en Méditerranée. *The Mediterranean Sea* (éd. par : D. J. Stanley), Dowden, Hutchinson and Ross, 26-36.
- Lacombe H., Gascard J.C., Gonella J. et Béthoux J.P. 1981.** Response of the Mediterranean to the water and energy fluxes across its surface, on seasonal and interannual scales. *Oceanologica Acta*, 4 (2) : 247-255.
- Lafont R. et Mathieu M. 2007.** Steroids in aquatic invertebrates. *Ecotoxicology*, 16:109-130.
- Lalami-Taleb R. 1970.** Facteurs de répartition verticale du phytoplancton au large d'Alger. Thèse de Doctorat 3ème cycle en biologie. Université d'Alger, 168p.
- Lasker R. et Giese A.C. 1954.** Nutrition of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus*. *Biol Bull*, 106: 328-340.
- Lauzon-Guay J.S. et Scheibling R.E. 2007.** Behaviour of sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*) grazing fronts: food-mediated aggregation and density-dependent facilitation. *Mar Ecol Prog Ser*, 329:191-204.
- Lawrence J.M. 1975.** On the relationships between marine plants and sea urchins. *Oceanogr Mar Biol*, 13: 213-286.

- Lawrence J.M. 1987.** Echinodermata. In, Pandian T.J., Vernberg F.J., (eds), Animal energetic. Academic Press, Inc., San Diego, 2 : 29-321.
- Lawrence J.M. et Lane P. 1982.** The utilization of nutrients by postmetamorphic echinoderms. In, Jangoux M et al., Echinoderm nutrition. Balkema, Rotterdam, 331-372.
- Lawrence J.M., Lawrence A.L. et Rolland M.O. 1965.** Annual cycle in the size of the gut of the purple sea urchin, *Strongylocentrotus purpurulus* (Stimpson). Nature, 205 (4977): 1338-1339.
- Lee J.K., Jeon J.K., Kim S.K. et Byun H.G. 2012.** Characterization of bioactive peptides obtained from marine invertebrates. Adv Food Nutr Res, 65:47-72.
- Leighton D.L. 1968.** A comparative study of food selection and nutrition in the abalone *haliotis roiescens* (Swainson) and the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson). Thèse Phd. Univ California, San Diego, 197P.
- Lessios H.A., Lockhart S., Collin R., Sotil G., Sánchez-Jérez P., Zigler K.S., Pérez A.F., Garrido M.J., Geyer L.B., Bernardi G., Vacquier V.D., Haroun R.J. et Kessing B.D. 2012.** Phylogeography and bindin evolution in *Arbacia*, a sea urchin genus with an unusual distribution. Molecular Ecology, 21: 130-144.
- Levitan D.R., 1991.** Skeletal changes in the test and jaws of the sea-urchin *Diadema antillarum* in response to food limitation. Mar Biol, 11: 431-435.
- Levitan D.R., Sewell M.A. et Chia F.S. 1992.** How distribution and abundance influence fertilization success in the sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus*. Ecology, 13:248-254.
- Lima E.J.B., Gomes P.B. et Souza J.R.B. 2009.** Reproductive biology of *Echinometra lucunter* (Echinodermata: Echinoidea) in a northeast Brazilian sandstone reef. An Acad Bras Cienc, 81(1):51-59.
- Ling S.D., Johnson C.R., Frusher S.D. et Ridgway K.R. 2009.** Overfishing reduces resilience of kelp beds to climate-driven catastrophic phase shift. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 106: 22341-5.
- Linnaeus C. 1758.** Systema naturae. Regnum animale: Editio decima. Laurentius Salvius, Holmiae (Stockholm).
- López S., Turon X., Montero E., Palacín C., Duarte C.M. et Tarjuelo I. 1998.** Larval abundance, recruitment and early mortality in *Paracentrotus lividus* (Echinoidea). Interannual variability and plankton-benthos coupling. Marine Ecology Progress Series, 172: 239-251.
- Lovén S. 1887.** On the species of Echinoidea described by Linnaeus in his work Museum Ludovicae Ulrica. Bihang till Kungliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar, 13(4): 1-185.
- Lozano J., Galera J., Lopez S., Turon X., Palacin C. et Morera G. 1995.** Biological cycles and recruitment of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) in two contrasting habitats. Mar Ecol Prog Ser, 122: 179-191.
- Lumingas L. 1994.** La plasticité chez l'oursin *Sphaerechinus granularis* en rade de Brest (Bretagne, France). Thèse de Doctorat, U.B.O., Brest, 193p.
- Marcon N., Bressenot A., Montagne K., Bastien C., Champigneulle J., Albuissou E. et Plénat F. 2008.** Etude comparative des propriétés fixatrices du formol et du glyoxal en pratique anatomopathologique. Univ nancy.

- Marcos S.A. 1972.** Sources of the Mediterranean intermediate water in the Levantine sea. Studies in the physical oceanography, a tribute to Georg Wüst on his 80th birthday (éd. par: A. L. Gordon), Gordon and Breach Science, 185-206.
- Marcus N.H. 1980.** Genetics of morphological variation in geographically distant populations of the sea urchin, *Arbacia punctulata*. J Exp Mar Biol Ecol, 43:121-130.
- Marcus N.H. 1983.** Phenotypic variability in echinoderms. In, Jangoux M., Lawrence J.M., (eds), Echinoderm Studies. Vol 1. Balkema A.A., Rotterdam, 19-38.
- Marques V. 1984.** Effects of *Arbacia lixula* (L.) (Echinoidea) on the algal communities of Sao Miguel and Graciosa Islands (Azores Archipelago, Portugal). Arquivos do Museu Bocage, Serie B, Notas e Suplementos 2, 103-108.
- Martínez-Pita I., Sánchez-España A.I. et García F.J. 2008.** Gonadal growth and reproduction in the sea urchin *Sphaerechinus granularis* (Lamarck 1816) (Echinodermata: Echinoidea) in southern Spain. Scientia Marina, 72(3) : 603-611.
- Martinius M. 1655.** Lexicon Philologicum. Villerian, Bremen.
- Martoja R. et Martoja M. 1967.** Initiation aux techniques de l'histologie animale. Masson Paris, 345p.
- Maurin Cl. 1962.** Etude des fonds chalutables de la méditerranée occidentale (écologie et pêche) «Président-Théodore-Tissier » 1957 à 1960 et « Thalassa » 1960 et 1961. Rev. Tcav. Inst. Pêches marit. 26 (2).
- McPherson B.F. 1968.** Contributions to the biology of the sea urchin *Eucidaris tribuloides* (Lamarck). Bull Mar Sci, 18: 400-443.
- McPherson, B.F. 1965.** Contributions to the biology of the sea urchin, *Tripneustes ventricosus*. Bulletin of Marine Science, 15: 228-244.
- Meidel S.K. et Scheibling R.E. 1998.** Annual reproductive cycle of the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*, in differing habitats in Nova Scotia, Canada. Marine Biology, 131: 461-478.
- Mercier A. et Hamel J.F. 2009.** Endogenous and exogenous control of gametogenesis and spawning in echinoderms. In Advances in Marine Biology. Volume 55, Editor : Annie Mercier & Jean-Francois Hamel, Series editor D W Sims. Pp 320.
- Mercier A. et Hamel J.F. 2014.** Lunar Periods in the Annual Reproductive Cycles of Marine Invertebrates from Cold Subtidal and Deep-Sea Environments. Annual, Lunar, and Tidal Clocks. Patterns and Mechanisms of Nature's Enigmatic Rhythms. Springer Japan 2014. Pp 90-120. Editors: Hideharu Numata and Barbara Helm.
- Mespoulhé P. 2004.** Les échinodermes, de l'étoile de mer aux oursins. Futura-Sciences. 1-20.
- Metz E.C., Gómez-Gutiérrez G. et Vacquier V.D. 1998.** Mitochondrial DNA and bindin gene sequence evolution among allopatric species of the sea urchin genus *Arbacia*. Molecular Biology and Evolution, 15: 185-195.
- Mezali K. 2008.** Phylogénie, Systématique, dynamique des populations et nutrition de quelques espèces d'holothuries aspidochirotés (Holothuroidea: Echinodermata) inféodées aux herbiers de Posidonies de la côte algéroise. Thèse de Doctorat d'état. Institut des Sciences Biologiques / Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, Algérie. 1-208.

- Miard T., Couvray S., Aublanc P., Maire E., Dehail M., Kirchhofer D. et Bonnefont J.L. 2013.** Projet oursins du soleil - Bilan expérimental. Institut Océanographique Paul Ricard. 29pp.
- Micheli F., Benedetti-Cecchi L., Gambaccini S., Bertocci I., Borsini C., Chato Osio G. et Romano F. 2005.** Cascading human impacts, marine protected areas, and the structure of Mediterranean reef assemblages. *Ecological Monographs*, 75: 81-102.
- Miller A.R. 1983.** The Mediterranean Sea: a physical/aspect. *Estuaries and enclosed seas* (éd. par: B. H. Ketchum), Elsevier, New-York, 219-283.
- Millot C. 1987.** Circulation in the Western Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta*, 10 (2): 143-149.
- Millot C. 1991.** Mesoscale and seasonal variabilities of the circulation in the Western Mediterranean. *Dynamics of Atmospheres and Oceans*, 15: 179-214.
- Millot C. 1994.** Models and data : a synergetic approach in the Western Mediterranean sea. *Ocean processes in climate dynamics : global and Mediterranean examples* (éd. par: P. Malanotte-Rizzoli and A. R. Robinson), Kluwer Academie, 407-425.
- Millot C. et Taupier-Letage I. 2005.** Circulation in the Mediterranean Sea. *Hdb Env Chem*, Vol. 5, n° Part K, 29-66.
- Monot J. 2011.** Récit 1. La pêche à l'oursin : de la crampe à la grappe, 12-21. Dans : *Les pêches méditerranéennes. Voyage dans les traditions*. Editions Quae, collections: Beaux livres, 256 pages.
- Mooke E.B. 1934.** A comparaison of the biologie of *Echinocardium cordatum*. *J mar boil Ass UK*, 20(3): 655-671.
- Moore H.B. 1935.** A comparison of the biology of *Echinus esculentus* in different habitats. Part II. *J Mar Biol Ass UK*, 20: 109-128.
- Mortensen T. 1910.** *Arbaciella elegans*. Eine neue Echiniden-Gattung aus der Familie Arbaciidae. *Mitteilungen aus dem Naturhistorischen Museum in Hamburg*, 27: 327-334.
- Mortensen T. 1935.** A monograph of the Echinoidea. II. Bothriocidaroida, Melonechinoida, lepidocentroida, and Stirodonta. Reitzel & Oxford Univ. Press, Copenhagen & London.
- MPO. 2000.** L'oursin vert des eaux côtières du Quebec. MPO-Sciences, Rapport sur l'état des stocks C4-13 (2000).
- Murillo-Navarro R. et Jiménez-Guirado D. 2012.** Relationships between algal food and gut and gonad conditions in the Mediterranean sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lam.). *Medit Mar Sci*, 13(2) : 227-238.
- Nédélec H. 1982.** Ethologie alimentaire de *Paracentrotus lividus* dans la baie de Galoria (Corse) et son impact sur les peuplements benthiques. Thèse de Doctorat 3ème cycle en Océanographie Biologique, Université Pierre et Marie Curie et Université Aix-Marseille II, 175p, France.
- Neefs Y. 1952.** Sur le cycle sexuel de *Sphaerichinus granularis* (LmK). *C. R. Acad. Sci, Paris France*, 234 : 2233-2235.
- Nichols D., Bishop G. M. et Sime A.A.T. 1985.** Reproductive and nutritional periodicities in populations of the european sea urchin, *Echinus esculentus* (Echinodermata: Echinoidea) from the English Channel. *J Mar Biol Ass UK*, 65: 203-220.
- Obaton D. 1998.** Circulation et modélisation de la Méditerranée occidentale et du golfe du Lion. Synthèse des connaissances et des travaux existants. Tech. rep., Ifremer, Brest, 1998.

- Oliveira M. 1991.** Survival of seaweeds ingested by three species of tropical sea urchins from Brazil. *Hydrobiologia*, 222: 13-17.
- Ouréns R., Fernández L. et Freire J. 2011.** Geographic, population, and seasonal patterns in the reproductive parameters of the sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Mar Biol*, 158:793-804.
- Ouréns R., Fernández L., Fernández-Boán M., Naya I. et Freire J. 2013.** Reproductive dynamics of the sea urchin *Paracentrotus lividus* on the Galicia coast (NW Spain): effects of habitat and population density. *Mar Biol*, 160:2413-2423.
- Palacín C., Giribet G., Carner S., Dantart L. et Turon X. 1998.** Low densities of sea urchins influence the structure of algal assemblages in the western Mediterranean. *Journal of Sea Research*, 39: 281-290.
- Pearse J.S. et Hines A.H. 1979.** Expansion of a central California kelp forest following the mass mortality of sea urchins. *Mar Biol*, 51: 83-91.
- Pedrotti M.L. 1993.** Spatial and temporal distribution and recruitment of echinoderm larvae in the Ligurian Sea. *J mar biol Ass UK*, 73: 513-530.
- Pelletier L., Gauthier P. et Nadeau M. 2001.** L'oursin vert (*Strongylocentrotus droebachiensis*) des Îles-de-la-Madeleine: description des agrégations et potentiel d'exploitation. Rapport technique canadien des sciences
- Penchaszadeh P.E. 1979.** Estructura de la comunidad y procesos que la determinan en bancos circalitorales de mejillón *Mytilus platensis*, in: Memorias del Seminario Sobre Ecología Bentónica y Sedimentación de la Plataforma Continental del Atlántico Sur. UNESCO, Montevideo, 131-145.
- Penchaszadeh P.E. et Lawrence J.M. 1999.** *Arbacia dufresnei* (Echinodermata: Echinoidea): a carnivore in Argentinian waters, in: Candia Carnevali, M.D., Bonasoro, F. (Eds.), *Echinoderms Research*. Balkema, Rotterdam, 525-530.
- Perkins H. et Pistek P. 1990.** Circulation in the Algerian basin during June 1986. *Journal of Geophysical Research*, 95 (C2) : 1577-1585.
- Petit G., Delamare-Deboutteville C. et Bougis P. 1950.** Le fichier faunistique du laboratoire Arago. *Vie et Milieu, Série A, Biologie Marine*, 1 : 356-360.
- Petratits P.S. et Dudgeon S.R. 2004.** Detection of alternative stable states in marine communities. *J Exp Mar Biol Ecol*, 300: 343-371.
- Power M.E. 1992.** Top-down and bottom-up forces in food webs: do plants have primacy? *Ecology*, 73:733-746.
- Privitera D., Chiantore M., Mangialajo L., Glavic N., Kozul W. et Cattaneo-Vietti R. 2008.** Inter- and intra-specific competition between *Paracentrotus lividus* and *Arbacia lixula* in resource limited barren areas. *Journal of Sea Research*, 60: 184-192.
- Privitera D., Noli M., Falugi C. et Chiantore M. 2011.** Benthic assemblages and temperature effects on *Paracentrotus lividus* and *Arbacia lixula* larvae and settlement. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 407: 6-11.
- Privitera D., Noli M., Falugi C. et Chiantore M. 2012.** *Paracentrotus lividus* and *Arbacia lixula* recruitment: substrate effects in a global change scenario. *Dip Te Ris, University of Genoa, Italy*.
- Qin L., Zhu B.W., Zhou D.Y., Wu H.T., Tan H., Yang J.F., Li D.M., Dong X.P. et Murata Y. 2011.** Preparation and antioxidant activity of enzymatic hydrolysates from purple sea urchin (*Strongylocentrotus nudus*) gonad. *LWT - Food Science and Technology*, 44 : 1113-1118.

- Régis M.B. 1978.** Croissance de deux échinides 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 de doctorat d'Etat en Sciences Naturelles, Université Saint Jérôme, Aix-Marseille III, France, 221 p.
- Régis M.B. 1980.** Etude des possibilités d'élevage des oursins réguliers en fonction de la valeur de certains indices physiologiques. *Oceanologica Acta*, 3: 7-15.
- Régis M.B. 1981.** Aspects morphométriques de la croissance de deux échinoides du Golfe de Marseille, *Paracentrotus lividus* (Lmk.) et *Arbacia lixula* (L.). *Cah. Biol. Mar.*, 22: 349-370.
- Remili S. et Kerfouf A. 2013.** Évaluation de la qualité physico-chimique et du niveau de contamination métallique (Cd, Pb, Zn) des rejets d'eaux usées d'Oran et de Mostaganem (littoral Ouest algérien). *Physio-Géo*, 7 : 165-182.
- Reuter K.E. et Levitan D.R. 2010.** Influence of Sperm and Phytoplankton on Spawning in the Echinoid *Lytechinus variegatus*. *Biol Bull*, 219: 198–206.
- Riedl R. 1983.** Fauna and Flora des Mittelmeeres. Verlag Paul Parey, Hamburg & Berlin.
- Rouane-Hacene M.O. 2013.** Biosurveillance de la qualité des eaux côtières du littoral occidental algérien, par le suivi des indices biologiques, de la biodisponibilité et la bioaccumulation des métaux lourds (Zn, Cu, Pb et Cd) chez la moule *Mytilus galloprovincialis* et l'oursin *Paracentrotus lividus*. Doctorat en Biologie, option: Sciences de l'Environnement, Université d'Oran, 249p.
- Russell M.P. 1987.** Life history traits and resource allocation in the purple sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson). *J Exp Mar Biol Ecol*, 108:199-216.
- Sadoud L. 1988.** Contribution à l'étude de la biologie de l'oursin *Paracentrotus lividus* des régions d'Ain Chorb et du port d'Alger. Mémoire de D.E.S en Biologie Marine, FSB, USTHB, Alger, 74p.
- Sahnoun Z. 2009.** Etude préliminaire des indices physiologiques (Indice de Réplétion, Indice Gonadique) et dosage des métaux lourds chez l'oursin commun *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) dans la région de Mostaganem. Mémoire de Magister en Sciences de l'Environnement, option : Biologie et Pollution marines, université d'Oran.
- Sala E. 1997.** Fish predators and scavengers of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in protected areas of the north-western Mediterranean Sea. *Mar Biol*, 129:531-539.
- Sala E. 2004.** The Past and Present Topology and Structure of Mediterranean Subtidal Rocky-shore Food Webs. *Ecosystems*, 7: 333-340.
- Sala E. et Zabala M. 1996.** Fish predation and the structure of the sea urchin *Paracentrotus lividus* populations in the NW Mediterranean. *Mar Ecol Prog Ser*, 140:71-81.
- Sala E., Boudouresque C.F. et Harmelin-Vivien M. 1998.** Fishing trophic cascades and the structure of algal assemblages: evaluation of an old but untested paradigm. *Oikos*, 82:425-439.
- San Martín G.A. 1990.** Suivi d'une opération de Transplantation de *Paracentrotus lividus* Echinodermata Echinidea dans la région Marseillaise. Contrat N°87 34 00 66 IFREMER /GIS Posidonie. France. 16p
- Sanchez-España A.I., Martínez-Pita I. et García F.J. 2004.** Gonadal growth and reproduction in the commercial sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) (Echinodermata: Echinoidea) from southern Spain. *Hydrobiologia*, 519: 61–72.

- Scheibling R.E. 1996.** The role of predation in regulating sea urchin populations in eastern Canada. *Oceanol Acta*, 19:421-430.
- Scheibling R.E. et Hamm J. 1991.** Interactions between sea urchins (*Strongylocentrotus droebachiensis*) and their predators in field and laboratory experiments. *Mar Biol*, 110: 105-116.
- Scheibling R.E. et Stephenson R.L. 1984.** Mass mortality of *Strongylocentrotus droebachiensis* (Echinodermata: Echinoidea) of Nova Scotia, Canada. *Mar Biol*, 78: 153-164.
- Schwartz D. 1983.** Méthodes statistiques à l'usage des médecins et des biologistes, Ed. Flammarion Médecine/ Sciences (Paris), France, 1-318.
- Sellem F. 1990.** Données sur la biométrie de *Paracentrotus lividus*, *Arbacia lixula* et *Sphaerechinus grularis* et sur la biologie de *Paracentrotus lividus* dans le golfe de Tunisie. Rapp. DEA. Biol mar. oceanol, Univ. Tunis II, Faculté des Sciences de Tunis, 158p + Annexes
- Sellem F. 1995a.** Croissance linéaire relative d'*Arbacia lixula* (Linnaeus) dans le golfe de Tunis. Rapp. Comm. int. Mer Médit, 34.
- Sellem F. 1995b.** Données sur l'indice gonadique et l'indice de réplétion d'*Arbacia lixula* (Linnaeus) dans le golfe de Tunis. Rapp. Comm. int. Mer Médit, 34.
- Sellem F. et Guillou M. 2007.** Reproductive biology of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata, Echinoidea) in two contrasting habitats of northern Tunisia (southeast Mediterranean). *Journal of The Marine Biological Association of The United Kingdom - J MAR BIOL ASSN UK* , 87 (03) : 763-767.
- Sellem F., Langar H. et Pesando D. 2000.** Âge et croissance de l'oursin *Paracentrotus lividus* Lamarck, 1816 (Echinodermata-Echinoidea) dans le golfe de Tunis (Méditerranée). *J Mar Biol Asso UK*, 87: 763-767.
- Sellem F., Langar H. et El Abed A. 2001.** Eléments de reproduction de l'oursin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) dans le golfe de tunis. Rapp Comm int Mer Médit, 36.
- Semroud R. 1993.** Contribution à la connaissance de l'écosystème à *Posidonia oceanica* (L). *Delile* dans la région d'Alger (Algérie) : Etude de quelques compartiments. Thèse de Doctorat Sciences en écologie marine. Université des Sciences et Technologie Houari Boumediene (USTHB), Alger, 129p.
- Semroud R. et Kada H. 1987.** Contribution à l'étude de l'oursin *Paracentrotus lividus* (Lmk) dans la région d'Alger (Algérie) : indice de réplétion et indice gonadique. Colloque international sur *Paracentrotus lividus* et les oursins comestibles, C.F. Boudouresque édit. GIS Posidonie publications. Marseille, France, 117-124.
- Siikavuopio S.I., Christiansen J.S. et Dale T. 2006.** Effects of temperature and season on gonad growth and feed intake in the green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*). *Aquaculture*, 255 : 389-394.
- Siikavuopio S.I., Christiansen J.S., Sæther J.S. et Dale T. 2007.** Seasonal variation in feed intake under constant temperature and natural photoperiod in the green sea urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*). *Aquaculture*, 272 : 328-334.
- Siikavuopio S.I., Mortensen A. et Christiansen J.S. 2008.** Effects of body weight and temperature on feed intake, gonad growth and oxygen consumption in green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Aquaculture*, 281 :77-82.
- Silva J., Larrain A., Bay-Schmith E. et Roa R. 2004.** Feeding-regime experiments to enhance gamete production in the carnivorous Sea Urchin *Arbacia spatuligera*. *Aquaculture*, 231 : 279-291.
- Sittler A.P. 2007-2012.** Les Echinodermes - Plongeur Bio niveau 2.

- 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. et Guillou M. 2009.** Variation in the reproductive cycle of the sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck) in three differently polluted locations near Algiers (Algeria). *Marine Biodiversity Records*, 2 : 1-6.
- Spirlet C., Grosjean P. et Jangoux M. 1998.** Reproductive cycle of the echinoid *Paracentrotus lividus*: analysis by means of the maturity index. *Invertebr Reprod Dev*, 34:69-81.
- Starr M., Himmelman J.H. et Therriault J.C. 1993.** Environmental control of green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis* spawning in the Lawrence Estuary. *Canadian J Fish Aquat*, 50: 894-901.
- Steneck R.S., Graham M.H., Bourque B.J., Corbett D., Erlandson J.M., Estes J.A. et Tegner M.J. 2002.** Kelp forest ecosystems: biodiversity, stability, resilience and future. *Environ Conserv*, 29:436-459.
- Stommel H. 1972.** Deep winter-time convection in the Western Mediterranean sea. *Studies in the physical oceanography, a tribute to Georg Wüst on his 80th birthday* (éd. par: A. L. Gordon), Gordon and Breach Science, 207-218.
- Suding K.N., Gross K.L. et Houseman G.R. 2004.** Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. *Trends Ecol Evol*, 19:46-53.
- Sumich J.L. et McCuley J.E. 1973.** Growth of a sea urchin, *Allocentrotus fragilis*, off the Oregon Coast. *Pacific Sei Hawaii*, 27: 156-167.
- Swan E.F. 1966.** Growth, autotomy and regeneration. In Boolootian R.A., (ed), *Physiology of Echinodermata*. Wiley, NewYork, 397-434.
- Taupier-Letage I. et Millot C. 1988.** Surface circulation in the Algerian Basin during 1984. *Oceanol Acta*, 9: 119-131.
- Tavares Y.A.G. et Borzone C.A. 2005.** Aspectos ecológicos de *Echinometra lucunter* (Linnaeus, 1758) e *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) (Echinodermata: Echinoidea) no sul do Brasil, in: XI Congreso Latinoamericano de Ciencias del Mar, Exposiciones orales, 1-3.
- Tegner M.J., Dayton P.K., Edwards P.B. et Riser K.L. 1995.** Sea urchin cavitation of giant kelp (*Macrocystis pyrifera* C Agardh) holdfasts and its effects on kelp mortality across a large California forest. *J Exp Mar Biol Ecol*, 191:83-99.
- Telford M. 1985.** Domes arches and urchins the skeletal architecture of echinoids (Echinodermata). *Zoomorphology*, 105:114-124.
- Tenuzzo B.A., Zaccarelli N. et Dini L. 2012.** The reproductive cycle of the commercial sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) (Echinodermata: Echinoidea) in the Ionian Sea. *Italian Journal of Zoology*, 79(2): 200-211.
- Thompson D.A. 1917.** On growth and form. Cambridge Univ. press, Cambridge.
- Thorson G. 1949.** Reproductive and larval ecology of marine bottom invertebrates. *Biol Review*, 25:1-45.
- Tintoré J.D., La Violette P.E., Blade L. et Cruzado A. 1988.** A study of an intense density front in the Eastern Alboran sea : the Almeria-Oran front. *Journal of Physical Oceanography*, 18: 1384-1397.

- Tomas F., Romero J. et Turon X. 2004.** Settlement and recruitment of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in two contrasting habitats in the Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, 282: 173-184.
- Tomšić S., Conides A., Dupčić Radić I. et Glamuzina B. 2010.** Growth, size class frequency and reproduction of purple sea urchin, *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) in Bistrina Bay (Adriatic Sea, Croatia). *Acta Adriat*, 51(1): 67-77.
- Tortonese E. 1965.** Echinodermata. Fauna d'Italia vol. VI. Calderini, Bologna.
- Tortonese E. et Vadon C. 1987.** Oursin et holothuries (ECHINODERMES) in fiche FAO didification des espèces pour les besoins de pêche Révision I, Méditerranée, Mer noire zone de pêche 37 vol I, végétaux et invertébrés : 715-739.
- Tuya F., Boyra A., Sanchez-Jerez P., Barbera C. et Haroun R. 2004.** Can one species determine the structure of the benthic community on a temperate rocky reef? The case of the long-spined sea-urchin *Diadema antillarum* (Echinodermata: Echinoidea) in the eastern Atlantic. *Hydrobiologia*, 519: 211-214.
- Underwood A.J. 1981.** Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology. *Oceanogr. mar. Biol. Annu. Rev.*, U.K., 19: 513-605.
- Unuma T., Sawaguchi S., Yamano K. et Ohta H., 2011.** Accumulation of the major yolk protein and zinc in the agamotogenic sea urchin gonad. *Biol Bull*, (Woods Hole, MA, USA) 221 : 227–237.
- Vadas R.L. 1977.** Preferential feeding: an optimization strategy in sea urchins. *Ecol Monogr*, 47: 337-371.
- Vadas R.L., Elner R.W., Garwood P.E. et Babb G. 1986.** Experimental evaluation of aggregation behaviour in the sea urchin *Strongylocentrotus droebachiensis*. *Mar Biol*, 90: 433-448.
- Vaïtilingon D., Rasolofonirina R. et Jangoux M. 2005.** Reproductive Cycle of Edible Echinoderms from the Southwestern Indian Ocean. I. *Tripneustes gratilla* L. (Echinoidea, Echinodermatata). *Western Indian Ocean J. Mar. Sci*, 4 (1) : 47–60.
- Vance R.R. et Schmitt R.J. 1979.** The effect of predator-avoidance behaviour of the sea urchin *Centrostephanus coronatus*, on the breadth of its diet. *Oecologia*, 44: 21-25.
- Vasquez J.A., Castilla J.C. et Santelices B. 1984.** Distributional patterns and diets of four species of sea urchins in giant kelp forest (*Macrocystis pyrifera*) of Puerto Toro, Navarino Island, Chile. *Marine Ecology Progress Series*, 19: 55-63.
- Verlaque M. 1984.** Biologie des juvéniles de l'oursin herbivore *Paracentrotus lividus* (Lamarck): sélectivité du broutage et impact de l'espèce sur les communautés algales de substrat rocheux en Corse (Méditerranée, France). *Botanica Marina*, 27: 401-424.
- Verlaque M. 1987.** Relations entre *Paracentrotus lividus* (Lamarck) et le phytobenthos de Méditerranée occidentale in: Colloque International Sur *Paracentrotus Lividus* Et Les Oursins Comestibles. GIS Posidonie Publ, Marseille, pp 5-36.
- Verlaque M. et Nedelec H. 1983.** Biologie de *Paracentrotus lividus* (Lamarck) sur substratum rocheux en Corse (Méditerranée, France): alimentation des adultes. *Vie et Milieu*, 33: 191-202.
- Walker C.V., Lesser M.P. et Unuma T. 2013.** Sea Urchin Gametogenesis – Structural, Functional and Molecular/ Genomic Biology. In *Sea Urchins: Biology and Ecology*, Chapter 3. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*. Editor: John Miller Lawrence, 38 :25-43.

- Walker C.W., Harrington L.M., Lesser M.P. et Fagerberg W.R. 2005.** Nutritive Phagocyte Incubation Chambers Provide a Structural and Nutritive Microenvironment for Germ Cells of *Strongylocentrotus droebachiensis*, the Green Sea Urchin. *Biol Bull*, 209: 31–48.
- Wangensteen O.S. 2013.** Biology and phylogeography of the black sea urchin *Arbacia lixula* (Echinoidea: Arbacioidea). Thèse de Doctorat, Université de Barcelone, Espagne.
- Wangensteen O.S., Turon X., Casso M. et Palacín C. 2013.** The reproductive cycle of the sea urchin *Arbacia lixula* in Northwest Mediterranean: potential influence of temperature and photoperiod. *J Mar Biol Asso UK*, 87: 763-767.
- Wangensteen O.S., Turon X., García-Cisneros A., Recasens M., Romero J. et Palacín C. 2011.** A wolf in sheep's clothing: carnivory in dominant sea urchins in the Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, 441: 117-128.
- Wangensteen O.S., Turon X., Pérez-Portela R. et Palacín C. 2012.** Natural or naturalized? Phylogeography suggests that the abundant sea urchin *Arbacia lixula* is a recent colonizer of the Mediterranean. *PLoS ONE*, 7: e45067.
- Wasson K.M. et Watts S.A. 2013.** Endocrine Regulation of Echinoid Reproduction. In *Sea Urchins: Biology and Ecology*, Chapter 5. *Developments in Aquaculture and Fisheries Science*. Editor: John Miller Lawrence, 38 : 59-67.
- Wessel P. et Smith W.H.F. 1995.** New version of the Generic Mapping Tools released. American Geophysical Union.
- Wilde P.A.W.J. et Berghuis E.M. 1978.** Laboratory experiments on the spawning of *Macoma balthica*; its implication for production research. *Proceeding of 12th Europ mar Biol Symp*, O.S. McLUSKY & A.J. BERRY Ed. Pergamon Press, Oxford: 375-384.
- Williamson J.E Steinberg P.D. 2002.** Reproductive cycle of the sea urchin *Holopneustes purpurascens* (Temnopleuridae: Echinodermata). *Marine Biology*, 140: 519–532.
- Wright J.T., Dworjanyn S.A., Rogers C.N., Steinberg P.D., Williamson J.E. et Poore A.G.B 2005.** Density-dependent sea urchin grazing: differential removal of species, changes in community composition and alternative community states. *Mar Ecol Prog Ser*, 298: 143-156.
- Young R.T. 1945.** Stimulation of spawning in the mussel (*Mytilus californianus*). *Ecology*, 26: 58-69.
- Zaixso H.E. 2004.** Bancos de cholga *Aulacomya atra atra* (Molina) (Bivalvia: Mytilidae) del golfo San José (Chubut, Argentina): Diversidad y relaciones con facies afines. *Revista de biología marina y oceanografía*, 39 : 61-78.
- Zanoun H. 1987.** Etude des variations de l'indice de réplétion et de l'indice gonadique chez l'oursin comestible (*P. lividus* « Lmk ») de la région d'Ain Chorb. Mémoire de DES en Océanographie, ISN, USTHB, Alger, 26P + Annexes.
- Zhadan P.M., Vaschenko M.A. et Almyashova T.N. 2015.** Spawning failure in the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* in the northwestern Sea of Japan: Potential environmental causes. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 465 : 11–23.

Site internet:

Catalogue of life World Register of Marine Species (WoRMS). 2014. *Arbacia lixula*. En ligne <http://www.catalogueoflife.org/col/details/species/id/18420494>, Consulté le 04 Septembre 2014.

Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales (CNRTL). 2012. PLEISTOCENE. En ligne <http://www.cnrtl.fr/definition/pleistocene>, consulté le 05 octobre 2014.

Données d'Observations pour la Reconnaissance et l'Identification de la faune et de la flore Subaquatiques (DORIS). 2012. *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758). En ligne http://doris.ffessm.fr/fiche2.asp?fiche_numero=1025, consulté le 17 aout 2014.

Le system canadien d'information sur la biodiversité (SCIB). 2014. *Arbacia lixula*. En ligne <http://www.cbif.gc.ca/acp/fra/siti/regarder?tsn=157908>, Consulté le 04 septembre 2014.

Portail Officiel de la Wilaya de Mostaganem. 2013. Daïras et Communes. En ligne <http://www.wilaya-mostaganem.dz/>, consulté le 15 aout 2014.

Portail Officiel de la Wilaya de Mostaganem. 2013. Géographie. En ligne <http://www.wilaya-mostaganem.dz/fr/mostaganem/presentation/geographie>, consulté le 17 aout 2014.

Ras M. 2008. Littoral de Mostaganem. En ligne <http://www.mostaganem-aujourd'hui.com/pages/tourisme/littoral-de-mostaganem.html>), consulté le 14 aout 2014.

Universal Biological Indexer and Organizer (uBio). 2014. *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758). En ligne <http://www.ubio.org/browser/details.php?namebankID=7187545>, consulté le 04 septembre 2014.

UVED. 2008. Circulation océanique en Méditerranée. En ligne <http://e-cours.univ-paris1.fr/modules/ued/envcal/html/oceans/2-exemples-phenomenes-physiques/tsm-courants-marins-surface/2-2-circulation-oceanique-mediterranee.html>, consulté le 26 aout 2014.

WIKIPEDIA. 2014. *Arbacia lixula*. En ligne http://fr.wikipedia.org/wiki/Arbacia_lixula, consulté le 17 aout 2014.

FUTURA SCIENCES. 2014. Les échinodermes, de l'étoile de mer aux oursins. En ligne <http://www.futura-sciences.com/magazines/nature/infos/dossiers/d/zoologieechinodermes-etoile-mer-oursins-330/>, consulté le 17 juin 2014.

Annexes

Fiche technique n° 1

Fiche technique Formol

Le formol (le méthanal ou formaldéhyde ou aldéhyde formique ou formol est un composé organique de la famille des aldéhydes, de formule chimique (CH₂O). C'est un agent de fixation le plus utilisé depuis plus d'un siècle (1893), sous forme de solutions diluées ou de liquides composés. Le formol est un fixateur et conservateur polyvalent permettant de nombreuses techniques complémentaires in situ et ex situ.

Numéro UN : UN1198

Principaux synonymes

Noms français :

- Formaldéhyde 37% en solution aqueuse
- Formaldéhyde en solution aqueuse 37%
- Formaline
- Solution de formaldéhyde 37%
- Solution de formaldéhyde 40%

Noms anglais :

- Formaldehyde solution 37%
- Formaldehyde solution 40%
- Formol

Autres noms :

- Formaldehyde 40%

Composition

Nom de l'ingrédient	No CAS	Concentration
<u>Alcool méthylique</u>	67-56-1	9-16 % P/P
<u>Formaldéhyde</u>	50-00-0	33-49 % P/P
<u>Eau</u>	7732-18-5	50-64 % P/P

Fiche technique n° 2

1. Déshydratation des pièces après fixation :

01 bain d'alcool 70° pendant 10 minutes.

02 bains d'alcool 90° pendant 10 minutes (chacun).

03 bains d'alcool 100° pendant 10 minutes (chacun).

03 bains de toluène pendant 5 minutes (chacun).

2 .Pénétration des pièces par la paraffine :

02 bains de 1 heure chacun dans la paraffine fondue. De la paraffine mise à fondre dans l'étuve à 60 °C, puis collage des blocs.

Fiche technique n° 3

Déparaffinage et hydratation des coupes :

02 bains de toluène (trempier la lame 1 à 2 minutes)

01 bain d'alcool 100° (trempier la lame 1 à 2 minutes)

01 bain d'alcool 96° (trempier la lame 1 à 2 minutes)

01 bain d'alcool 75° (trempier la lame 1 à 2 minutes)

01 bain d'eau distillée (hydratation)

Fiche technique n° 4

Coloration topographique

Mann Dominici

1. Sans oxydation

-Coupes déparaffinées, hydratées

-Colorer pendant 7mn par la solution :

Erythrosine - Orange G : Erythrosine : 0,2ml

Orange G : 0,6ml

Eau distillée : 100ml

Acide acétique : 1goutte

*Rincer à l'eau distillée

*Colorer pendant 30 secondes par une solution aqueuse de bleu de toluidine à 0,5 %

Les coupes doivent avoir une teinte bleue uniforme.

*Rincer sommairement à l'eau distillée.

*Immerger les lames dans l'eau acétifiée à 0,2 % jusqu'à ce qu'elles prennent une teinte rougeâtre.

*Déshydrater et monter au baume du canada.

2. Avec oxydation :

*Coupes déparaffinées, hydratées.

* Oxyder par la solution aqueuse à 0,25 % de permanganate de potassium, préparée au moment de l'emploi à partir d'une solution de réserve à 2,5 pendant 30s jusqu'à :

*Obtention d'une teinte jaune foncée.

*Laver rapidement

*Décolorer par la solution aqueuse à 2 % de bisulfate de Na pendant 1mn environ.

*Laver soigneusement à l'eau pour éliminer la totalité du bisulfate.

*Colorer par l'Erythrosine-Orange G pendant 7 mn.

*Rincer à l'eau distillée.

*Colorer par le bleu de toluidine pendant 30 s.

*Rincer à l'eau distillée.

*Traiter par l'eau acétifiée à 0,5 % jusqu'à obtention d'une teinte générale pourpre.

*Continuer la différenciation par l'alcool 95°.

*Arrêter la différenciation par l'alcool absolu.

*Poursuivre la déshydratation.

*Monter au baume de canada.

Résultats :

Le noyau : la chromatine est bleu foncé, le nucléole est rouge.

Les cytoplasmes acidophiles sont roses à rouges et les basophiles sont bleus plus accentués.

Excellente méthode pour la mise en évidence fine des cellules en particulier dans les tissus conjonctifs, organes hématopoïétiques ; met en évidence la basophilie et l'acidophilie des cytoplasmes ainsi que les granulations des cellules sanguines.

Fiche technique n° 5 **Coloration topographique**

Variante de l'Azan de Heidenhain

Pour la coloration nucléaire, l'Azocamin-G est remplacé par le rouge nucléaire solide

1) Préparation des réactifs :

A) Rouge nucléaire solide (préparation à chaud)

- Rouge nucléaire solide : 0,1 g
- Sulfate d'aluminium : 5 g
- Eau distillée : 100 ml

Porter à ébullition puis laisser refroidir et filtrer. Cette solution se conserve pendant plusieurs semaines.

B) Bleu de Heidenhain dilué (préparation à froid)

- Bleu d'aniline : 0,2g
- Orange G : 0,5g
- Eau distillée : 100 ml
- Acide acétique 1 ml

Conservation illimitée, cette solution est utilisée après dilution.

Solution mère : 1 vol

Eau distillée : 2 vol

C) Solution aqueuse à 0,5 % d'acide phosphotungstique

- Acide phosphotungstique : 0,5 g
- Eau distillée : 100 ml

2) Mode opératoire

*Coupes déparaffinée, hydratées.

*Colorer au rouge nucléaire solide pendant 5mn.

*Rincer à l'eau phosphotungstique pendant 7 mn, ce mordantage prépare la coloration par le bleu de Heidenhain mais continue à différencier le rouge nucléaire solide.

*Colorer par le bleu de Heidenhain pendant 7 mn.

*Déshydrater par l'alcool absolu et monter au baume de Canada

3) résultats :

- les noyaux et certains cytoplasmes sont rouges, d'autres cytoplasmes sont jaunes ou gris.
- le collagène et les fibres réticulaires sont bleus foncés.
- le mucus est bleu.
- les fibres musculaires sont orangées.
- les fibroglyes sont rouges, ainsi que les hématies.
- les grains de sécrétion sont bleus ou rouges, selon leur nature.
- En général, les mucopolysaccharides acides sont bleus.

