

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM



FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE  
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MER ET DE L'AQUACULTURE  
**Laboratoire de Protection, Valorisation des Ressources Marine Littoral et  
Systématique Moléculaire**

**THESE**

*En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en sciences*

*Filière : Hydrobiologie marine et continentale*

*Spécialité : Biodiversité marine côtière*

**Présenté par :**

M. ELAKKERMI Mohammed

**THEME**

---

**Analyse de l'état écologique de la baie de  
Mostaganem à travers la variabilité des traits de vie  
(biologie, croissance et écologie) des populations  
naturelles de l'oursin *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758)**

---

Soutenue publiquement le 20/11/2021

Devant le jury composé de :

<b>M. BACHIR BOUIADJRA B.</b>	<b>Professeur</b>	UMAB-Mostaganem	<b>Président</b>
<b>M. ROUANE-HACENE O.</b>	<b>Professeur</b>	Univ. Oran I	<b>Examineur</b>
<b>Mme. TALEB-BENDIAB A.A.</b>	<b>MCA</b>	Univ. Oran I	<b>Examinatrice</b>
<b>Mme. HEBBAR C.</b>	<b>Professeur</b>	Univ. Oran II	<b>Examinatrice</b>
<b>Mme. NEMCHI F.</b>	<b>MCA</b>	UMAB-Mostaganem	<b>Examinatrice</b>
<b>Mme. SOUALILI D.L.</b>	<b>Professeur</b>	UMAB-Mostaganem	<b>Directrice de thèse</b>

Année universitaire 2021 / 2022

# 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 thèse.*

*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 **BACHIR BOUIADJRA Benabdallah**, Professeur au département des Sciences de la Mer et de l'aquaculture de l'Université de Mostaganem d'avoir accepté d'examiner ce travail et de présider le jury de thèse. Je le remercie particulièrement pour son engagement auprès des doctorants et de son aide dans la valorisation de nos recherches.*

*En premier lieu, je tiens à témoigner toute ma reconnaissance au Professeur **Mme MEZALI-SOUALILI Dina Lila**, doyenne de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem en tant que Directrice de thèse malgré toutes ses préoccupations, de bien vouloir promouvoir mon travail de recherche. Elle a été à mes côtés depuis le début de cette thèse. Je la remercie vivement pour sa confiance, son encouragement et ces précieux conseils tout au long de cette « aventure ». Je ne saurais comment vous remercier de m'avoir transmis autant de Connaissances.*

*Mes sincères remerciements vont au Professeur **ROUANE HACEN Omar**, de l'Université d'Oran I Ahmed BENBELLA, Département de Biologie, 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 également au Docteur **TALEB BENDIAB Ahlem Amina**, Maître de Conférence "A" de l'Université de Ahmed BENBELLA, Oran I, et aussi membre actif au Laboratoire de recherche Réseau de Surveillance Environnementale (LRSE), Département de Biologie, pour avoir accepté de juger ce travail. Qu'elle trouve ici l'expression de ma sincère reconnaissance.*

Un grand "Merci" au Professeur **HEBBAR Chafika** de l'Université Mohamed BEN AHMED Oran II, pour avoir accepté d'examiner ce travail et me faire profiter de ces remarques constructives.

Je tiens aussi à adresser mes vifs remerciements au Docteur **BELHAKEM-NEMCHI Fadela**, Maître de conférences "A" au département des Sciences de la Mer et de l'aquaculture de l'Université de Mostaganem, pour avoir accepté de juger ce travail. Merci pour le temps considérable passé à la lecture du manuscrit.

Je suis particulièrement reconnaissant au Professeur **MEZALI Karim**, de l'Université Abdelhamid In Badis de Mostaganem, Directeur du Laboratoire de Protection, Valorisation des Ressources Marine et Littoral et Systématique Moléculaire, pour son implication, ses corrections approfondies et son investissement lors de la rédaction des articles. Merci pour ses conseils avisés et d'avoir toujours été là.

Mes remerciements vont au Docteur **BELBACHIR Noredine**, Maître de conférences "A" et membre du laboratoire LPVRML-SM, qui malgré sa responsabilité de Chef de Département des Sciences de la mer et de l'aquaculture, de l'Université de Mostaganem, d'être constamment disponible pour l'amélioration de cette thèse.

Je tiens aussi à remercier le Docteur **BOUZAZA Zoheir**, Maître de conférences "A", et Adjoint du Chef de Département des Sciences de la Mer et de l'Aquaculture, et membre du laboratoire LPVRML-SM, pour ces précieux conseils et astuces lors de la soumission de mon article.

Je remercie également le Docteur **BENZAÏT Hocine**, Maître de conférence "B" au département des Sciences de la Mer et de l'aquaculture de l'Université de Mostaganem pour m'avoir accompagné tout au long de la période d'échantillonnage et de sa disponibilité durant l'élaboration de cette thèse.

Mes remerciements vont également aux techniciennes du laboratoire Anatomie Pathologique de l'hôpital Che Guevara de Mostaganem pour leurs aides, gentillesse et leurs bonnes humeurs, en particulier Mr **NEDJAR Mohamed**.

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.

## ملخص

على مستوى منطقة مستغانم قمنا بمتابعة فصيلتين من قنفذ البحر الأسود *Arbacia lixula* وذلك بغرض دراسة تنوع السمات الحياتية الخاصة به. المتابعة كانت في موقعين مختلفين خلال فترة 24 شهرًا امتدت من يناير 2015 إلى غاية ديسمبر 2016. الموقع الأول الواقع في منطقة صلامندر والذي يتميز بأرضية سفلية صخرية كما أن له نشاط ميناء قوي وبالتالي يعتبر ملوثًا؛ الموقع الثاني الواقع في منطقة استديا يعتبر صحيا نسبيًا يتميز بأرضية سفلية مختلطة رملية وصخرية غنية بالطحالب. photophiles.

من إجمالي 1342 فردًا وبأحجام مختلفة (30-60 مم)، نسبة الجنس في كلا الموقعين كانت نوعا ما لصالح الذكور (55٪) للذكور مقابل 45٪ للإناث). أظهرت المتابعة الشهرية لمؤشر الغدد التناسلية قيم قصوى خلال شهر ماي وقيم دنيا في سبتمبر. الدراسة النسيجية لمناسل الذكور والإناث أكدت النتائج التي تم الحصول عليها من مؤشر الغدد التناسلية. فترة الراحة الجنسية تحدث خلال الشتاء، تليها مرحلة النضج في الربيع، وأخيرًا مرحلة التبويض ما بين فصلي الربيع والصيف. تؤكد النتائج التي تم الحصول عليها موسمية نشاط الغدد التناسلية لقنفذ *A. lixula* مع تبويض مكثف خلال شهر أوت في كلي الموقعين.

المتابعة الزمنية للتفضيلات الغذائية لفصيلتي *Arbacia lixula* لكلي الموقعين بينت أنها من الأنواع الانتهازية التي تكيف نظامها الغذائي وفقًا لنوعية وكمية الطعام المتاح لها. كما تشير الدراسة إلى أن قنفذ البحر هذا يتميز بنشاط غذائي مكثف خلال فصل الخريف مقارنة ببقية الفصول الأخرى. يفضل *Arbacia lixula* الطحالب المرجانية المغطاة مع جزء كبير من الأنواع الحيوانية. كما أظهرت النتائج أن النظام الغذائي لقنفذ البحر *A. lixula* شمل على أكثر من نوع من سلوك التغذية حيث يعتبر من الأنواع الأكلة للنبات والحيوان معا والتي لديها القدرة على التغذية على الجسيمات الملوثة.

يُظهر تحديد معاملات النمو لـ *A. lixula* وفق نموذج (Von Bertalanffy 1938) عن طريق تحليل تردد الأحجام اختلافًا طفيفًا بين فصيلتي كلي الموقعين. سجلت فصيلة موقع صلامندر فرقًا واضحًا في النمو بين الجنسين حيث أن الذكور تنمو بشكل أسرع من الإناث ( $K = 0.84$  مم / سنة للذكور مقابل  $K = 0.51$  مم / سنة للإناث). توضح علاقة الطول والوزن لقنفذ البحر *A. lixula* وجود علاقة أومترية سلبية وتشير إلى أن الوزن ينمو بسرعة أقل من مكعب القطر. كما تؤكد مقارنة مكونات القياسات الحيوية أن قنفاذ البحر هذه تتسم عمومًا بقوقعة خارجية وجهاز مضغ مسطح.

يتمتع قنفذ البحر الأسود في منطقة مستغانم بمعدل نمو جسدي أسرع مقارنةً بمناطق البحر الأبيض المتوسط الأخرى.

كلمات المفاتيح: *Arbacia lixula*، صلامندر، استيدية، التكاثر، النمو.

## RESUME

Ce travail de recherche vise la détermination de la variabilité des traits de vie de l'oursin noir *Arbacia lixula* dans la région de Mostaganem. A cet effet, nous avons suivi deux populations provenant de deux sites différents durant une période de 24 mois (s'étalant de Janvier 2015 à Décembre 2016). Le premier site situé à Salamandre caractérisé par un substrat rocheux marqué par une forte activité portuaire et est considéré de ce fait comme perturbé ; Le deuxième site situé à Stidia relativement sain et est caractérisé par un substrat sablo-rocheux, riche en algues photophiles.

Dans les deux sites et sur un total de 1342 individus de différentes tailles (30-60 mm), l'abondance des mâles par rapport aux femelles semble prédominée chez cette espèce (55% pour les mâles contre 45% pour les femelles). Le suivi mensuel de l'indice gonadique a montré des valeurs maximales durant le mois de Mai et des valeurs minimales en Septembre. L'étude histologique des gonades mâles et femelles a confirmé les résultats obtenus pour l'indice gonadique. La phase de repos sexuel a lieu en hiver, suivie d'une maturation gonadique au printemps, et enfin une ponte qui a lieu entre les saisons printemps-été. Les résultats obtenus indiquent la saisonnalité de l'activité gonadique d'*A.lixula* avec une ponte massive en Aout au niveau des deux sites.

Le suivi temporel des préférences alimentaires des deux populations d'*A. lixula* a montré qu'il s'agit d'une espèce opportuniste qui adapte son régime alimentaire selon la qualité et la quantité de nourriture disponible. Cet oursin se distingue par une phase d'activité trophique intense automnale par rapport au reste des saisons. *Arbacia lixula* préfère les algues corallines incrustées avec une importante fraction faunistique. Les résultats témoignent que cet espèce regroupe plus d'un type de comportement alimentaire en se classant comme une espèce omnivore qui a la capacité d'être sestonophage.

La détermination des paramètres de croissance d'*A.lixula* selon le modèle de Von Bertalanffy (1938) par analyse de fréquence de taille montre une légère différence entre les populations des deux sites. Les populations du site de Salamandre enregistrent une très nette différence de croissance entre les deux sexes où les mâles ont une croissance plus rapide que celle des femelles ( $K= 0.84$  mm/an pour les mâles contre  $K= 0.51$  mm/an pour les femelles). La relation taille-poids chez *A.lixula* démontre l'existence d'une relation allométrique minorante et indique que le poids croît moins vite que le cube du diamètre.

La comparaison des composantes biométriques attestent que ces oursins ont un test et une lanterne d'Aristote aplatis. L'oursin noir de la région de Mostaganem est doté d'une croissance somatique plus rapide contre ceux d'autres régions méditerranéennes.

**Mots clés :** *Arbacia lixula*, Salamandre, Stidia, reproduction, croissance.

## ABSTRACT

A study of the variability of life traits of the black sea urchin *Arbacia lixula* was carried out in the region of Mostaganem. We followed two populations from two different sites over a 24-month period (spanning January 2015 to December 2016). The first site located in Salamandre characterized by a rocky substratum has a strong port activity and is therefore considered to be polluted; the second site located at Stidia is relatively healthy and is characterized by a rocky bottom, rich in photophilic algae.

Out of a total of 1342 individuals collected in the two sites with different sizes (30-60 mm), the abundance of males compared to females seems predominant in this species (55% for males against 45% for females). Monthly monitoring of the gonad index showed maximum values during the month of May and minimum values in September. Histological study of male and female gonads confirmed the results obtained from the gonad index. The sexual resting stage takes place in winter, followed by maturation in spring, and finally the spawning phase occurs between spring and summer. The results obtained indicate the seasonality of the gonadal activity of *A.lixula* with massive spawning in August at both sites.

The temporal monitoring of the food preferences of the two populations of *A. lixula* shown that it is an opportunistic species which adapts its diet according to the quality and quantity of food available.

This sea urchin is distinguished by a phase of intense trophic activity in the fall compared to the rest of the seasons. *Arbacia lixula* prefers coral algae encrusted and a large faunal fraction. The results show that *A.lixula* regroup more than one type of feeding behavior by classifying it as an omnivorous species that has the ability to be sestonophagous.

Calculation of growth parameters of *A.lixula* according to the model of Von Bertalanffy (1938) by size frequency analysis shows a slight difference between the populations of the two sites. The populations of the Salamandre site record a very clear difference in growth between the two sexes where the males cross faster than the females ( $K = 0.84$  mm / year for males against  $K = 0.51$  mm / year for females). The length-weight relationship in *A.lixula* demonstrates the existence of an allometric lowering relationship and indicates that the weight grows less quickly than the cube of the diameter. The comparison of the biometric components confirms that these sea urchins generally acquire a flattening of the test and of the masticator apparatus.

The black sea urchin of the Mostaganem region has faster somatic growth compared to those of other Mediterranean regions.

**Keywords:** *Arbacia lixula*, Salamandre, Stidia, reproduction, growth.

## Index des figures

N° Figure	Titre des figures	Page
<b>1</b>	<i>Arbacia lixula</i> (Linnaeus, 1758).	<b>5</b>
<b>2</b>	Distribution géographique d' <i>A. lixula</i> (Tortonese et Vadon, 1987).	<b>6</b>
<b>3</b>	Photos montrant la morphologie externe de l'oursin <i>Arbacia lixula</i> Gauche : face orale, droite : face aborale.	<b>7</b>
<b>4</b>	Vue externe de la région aborale.	<b>8</b>
<b>5</b>	Test d' <i>Arbacia lixula</i> (vue dorsale).	<b>9</b>
<b>6</b>	Radioles lisses, denses, pointues à la partie aborale, peu aplaties sur la face orale.	<b>10</b>
<b>7</b>	Piquants (primaires et secondaires), podia et pédicellaires (globifères, ophiocéphales, tridentés et trifoliés)	<b>11</b>
<b>8</b>	Tubes ambulacraires : nombreux et munis de ventouse à la face orale, peu nombreux et dépourvus de ventouse à la face aborale.	<b>12</b>
<b>9</b>	Schéma d'une coupe transversale du test d'un oursin régulier (Echinoidea).	<b>13</b>
<b>10</b>	Disposition penta-radiaire des gonades de l'oursin noir <i>A. lixula</i> (A : Mâle) et (B : Femelle).	<b>13</b>
<b>11</b>	Situation du bassin méditerranéen occidental et position des différents lieux cités. Schéma tracé à l'aide de Generic Mapping Tools.	<b>21</b>
<b>12</b>	La Méditerranée occidentale : circulation des principales masses d'eau.	<b>24</b>
<b>13</b>	Baie d'Arzew et de Mostaganem, carte des fonds.	<b>26</b>
<b>14</b>	Carte de la wilaya de Mostaganem.	<b>28</b>
<b>15</b>	Localisation des sites de prélèvements dans la région de Mostaganem	<b>30</b>
<b>16</b>	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.	<b>34</b>
<b>17</b>	Liquide grenat émet par les <b>femelles</b> (à droite) et blanchâtre produit par les <b>mâles</b> (à gauche) d' <i>Arbacia lixula</i> .	<b>35</b>
<b>18</b>	La déshydratation.	<b>40</b>
<b>19</b>	Imprégnation/ Inclusion.	<b>40</b>
<b>20</b>	Ruban de coupe sur microtome.	<b>40</b>
<b>21</b>	Pourcentages mensuels des mâles et des femelles au niveau de la Salamandre durant la période de Janvier 2016 jusqu'à Décembre 2016	<b>59</b>
<b>22</b>	Pourcentages mensuels des mâles et des femelles au niveau de la Stidia durant la période de Janvier 2016 jusqu'à Décembre 2016.	<b>60</b>
<b>23</b>	Variations mensuelles de l'indice gonadique (IG) d' <i>Arbacia lixula</i> par sexe et dans les deux sites d'étude (IGM: Indice gonadique des Mâles; IGF: Indice gonadique des Femelles).	<b>64</b>
<b>24</b>	Variations mensuelles de l'indice gonadique (IG) d' <i>Arbacia lixula</i> tous sexes confondus dans les deux sites d'étude.	<b>65</b>
<b>25</b>	Variations saisonnière de l'indice gonadique (IG) d' <i>Arbacia lixula</i> tous sexes confondus dans les deux sites d'étude.	<b>65</b>
<b>26</b>	Evolutions mensuelles des stades macroscopiques de la maturité sexuelle de la population d' <i>Arbacia lixula</i> (sexes groupés) vivant sur le site de Salamandre	<b>69</b>

<b>27</b>	Evolutions mensuelles des stades macroscopiques de la maturité sexuelle de la population d' <i>Arbacia lixula</i> (sexes groupés) vivant sur le site de Stidia.	<b>70</b>
<b>28</b>	Histologie des ovaires d' <i>Arbacia lixula</i> .	<b>73</b>
<b>29</b>	Histologie des testicules d' <i>Arbacia lixula</i>	<b>74</b>
<b>30</b>	Variation mensuelle de l'indice gonadique d' <i>Arbacia lixula</i> (tous sexes confondus), de la température moyenne mensuelle et du pourcentage d'individus observés au stade V (ponte) des deux sites étudiés. GI: indice gonadique; T: température.	<b>76</b>
<b>31</b>	Variations mensuelles de l'indice de réplétion (IR) d' <i>Arbacia lixula</i> (tous sexes confondus) dans les deux sites d'étude.	<b>80</b>
<b>32</b>	Variations saisonnière de l'indice de réplétion (IR) d' <i>Arbacia lixula</i> (tous sexes confondus) dans les deux sites d'étude.	<b>81</b>
<b>33</b>	Principaux aliments consommés par les populations d' <i>A.lixula</i> des deux sites étudiés (Contributions moyennes exprimées en pourcentage).	<b>86</b>
<b>34</b>	Méthode Powell-Wetherall pour l'estimation de $D_{\infty}$ et Z/K chez <i>A. lixula</i> du site de Salamandre (a : femelles, b : males, c : tous sexes confondus).	<b>94</b>
<b>35</b>	Méthode Powell-Wetherall pour l'estimation de $D_{\infty}$ et Z/K chez <i>A. lixula</i> du site de Stidia (a : femelles, b : males, c : tous sexes confondus).	<b>94</b>
<b>36</b>	Méthode ELEFAN pour l'estimation de $D_{\infty}$ et K chez <i>A. lixula</i> du site de Salamandre (a : femelles, b : males, c : tous sexes confondus).	<b>95</b>
<b>37</b>	Méthode ELEFAN pour l'estimation de $D_{\infty}$ et K chez <i>A. lixula</i> du site de Stidia (a : femelles, b : males, c : tous sexes confondus).	<b>95</b>
<b>38</b>	Décomposition de la distribution de fréquence de taille des populations d' <i>A.lixula</i> du site de Salamandre par la méthode de Bhattacharya (1967) (a : femelles, b : males, c : tous sexes confondus).	<b>96</b>
<b>39</b>	Décomposition de la distribution de fréquence de taille des populations d' <i>A.lixula</i> du site de Stidia par la méthode de Bhattacharya (1967) (a : femelles, b : males, c : tous sexes confondus).	<b>96</b>
<b>40</b>	Corrélation entre la taille et le poids chez les femelles d' <i>A.lixula</i> du site de Salamandre.	<b>98</b>
<b>41</b>	Corrélation entre la taille et le poids chez les males d' <i>A.lixula</i> du site de Salamandre.	<b>98</b>
<b>42</b>	Corrélation entre la taille et le poids chez <i>A.lixula</i> tous sexes confondus du site de Salamandre.	<b>99</b>
<b>43</b>	Corrélation entre la taille et le poids chez les femelles d' <i>A.lixula</i> du site de Stidia.	<b>99</b>
<b>44</b>	Corrélation entre la taille et le poids chez les males d' <i>A.lixula</i> du site de Stidia	<b>100</b>
<b>45</b>	Corrélation entre la taille et le poids chez <i>A.lixula</i> tous sexes confondus du site de Stidia.	<b>100</b>
<b>46</b>	Courbe de croissance linéaire chez les populations d' <i>A.lixula</i> de la Salamandre.	<b>102</b>
<b>47</b>	Courbe de croissance pondérale chez les populations d' <i>A.lixula</i> de la Salamandre.	<b>103</b>
<b>48</b>	Courbe de croissance linéaire chez les populations d' <i>A.lixula</i> de Stidia.	<b>103</b>
<b>49</b>	Courbe de croissance pondérale chez les populations d' <i>A.lixula</i> de Stidia.	<b>104</b>
<b>50</b>	Relations allométriques entre la hauteur (H) et le diamètre du test (D) chez <i>A.</i>	<b>105</b>

	<i>lixula</i> tous sexes confondus dans le site de Salamandre.	
<b>51</b>	Relations allométriques entre la hauteur (H) et le diamètre du test (D) chez <i>A. lixula</i> tous sexes confondus dans le site de Stidia.	<b>106</b>
<b>52</b>	Relations allométriques entre le diamètre (d) et la hauteur (h) de la lanterne d'Aristote chez <i>A. lixula</i> tous sexes confondus dans le site de Salamandre.	<b>107</b>
<b>53</b>	Relations allométriques entre le diamètre (d) et la hauteur (h) de la lanterne d'Aristote chez <i>A. lixula</i> tous sexes confondus dans le site de Stidia.	<b>107</b>
<b>54</b>	Relations allométriques entre le diamètre (D) du test sans piquants et la hauteur (h) de la lanterne d'Aristote chez <i>A. lixula</i> tous sexes confondus dans le site de Salamandre.	<b>108</b>
<b>55</b>	Relations allométriques entre le diamètre (D) du test sans piquants et la hauteur (h) de la lanterne d'Aristote chez <i>A. lixula</i> tous sexes confondus dans le site de Stidia.	<b>108</b>

## Index des tableaux

N° Tableau	Titre des tableaux	Page
<b>1</b>	Les différents stades de maturité sexuelle proposée par <b>Fuji (1960)</b> .	<b>38</b>
<b>2</b>	Pourcentages des deux sexes de la population <i>A.lixula</i> dans les deux sites.	<b>57</b>
<b>3</b>	Les valeurs du Sex-ratio mensuel d' <i>Arbacia lixula</i> obtenues entre 2015 et 2016 au niveau des stations de Salamandre et Stidia.	<b>58</b>
<b>4</b>	Evolution mensuelle de l'indice gonadique moyen exprimé en mg/cm <sup>3</sup> . Moyenne ± écart type pour l'ensemble des deux populations d' <i>A.lixula</i> (Salamandre et Stidia).	<b>62</b>
<b>5</b>	Données bibliographiques sur la période de frai de certains échinidés.	<b>66</b>
<b>6</b>	Evolution mensuelle de l'indice de réplétion moyen exprimé en mg/cm <sup>3</sup> . Moyenne ± écart type pour l'ensemble des deux populations d' <i>A.lixula</i> (Salamandre et Stidia).	<b>79</b>
<b>7</b>	Variation saisonnière de la contribution moyenne (en pourcentage) d'items des contenus digestifs d' <i>A. lixula</i> dans les deux sites étudiés. (H: hiver; P: printemps; E: été; A: automne ; Ind : Indéterminée).	<b>82</b>
<b>8</b>	Variation saisonnière du poids de la matière particulaire (MP) (mg.ml <sup>-1</sup> ) et de la matière organique (MO) (mg.ml <sup>-1</sup> ) de l'eau de mer des deux sites d'études.	<b>86</b>
<b>9</b>	Valeurs moyennes (± ET) de la longueur des piquants primaires des deux sites d'études.	<b>87</b>
<b>10</b>	Résumé de la composition de taille de l'échantillonnage totale d' <i>A.lixula</i> .	<b>93</b>
<b>11</b>	Résultats des paramètres de croissance pour les femelles et males et tous sexes confondus chez <i>Arbacia lixula</i> des deux sites étudiés.	<b>97</b>
<b>12</b>	Equations de croissance linéaire de Von Bertalanffy (1938).	<b>97</b>
<b>13</b>	Relations biométriques d' <i>A. lixula</i> relations taille – poids.	<b>97</b>
<b>14</b>	Equation de croissance pondérale chez <i>A.lixula</i>	<b>101</b>
<b>15</b>	Correspondance des âges en longueur et en poids chez <i>A. lixula</i> de la Salamandre.	<b>101</b>

<b>16</b>	Correspondance des âges en longueur et en poids chez <i>A. lixula</i> de la Stidia.	<b>102</b>
<b>17</b>	Equations liant la hauteur ( <b>H</b> ) et le diamètre ( <b>D</b> ) du test sans les piquants chez <i>Arbacia lixula</i> dans les deux sites étudiés. <b>r</b> = coefficient de corrélation et <b>n</b> = taille de l'échantillon. Test t de Student (comparaison du coefficient de régression)	<b>104</b>
<b>18</b>	Equations liant la hauteur ( <b>h</b> ) de la lanterne d'Aristote et le diamètre ( <b>d</b> ) de la lanterne d'Aristote chez <i>Arbacia lixula</i> dans les deux sites étudiés. <b>r</b> = coefficient de corrélation et <b>n</b> = taille de l'échantillon. Test t de Student (comparaison des coefficients de régression).	<b>106</b>
<b>19</b>	Equation liant le diamètre ( <b>d</b> ) de la lanterne d'Aristote au diamètre ( <b>D</b> ) du test sans piquants chez <i>Arbacia lixula</i> dans les deux sites étudiés. <b>r</b> = coefficient de corrélation et <b>n</b> = taille de l'échantillon. Test t de Student (comparaison des coefficients de régression)	<b>108</b>

## Liste des abréviations

°C : Degré Celsius  
A : Août, Avril  
b : coefficient d'allométrie.  
Ca : Calcium  
cm : Centimètre  
D : Décembre, diamètre du test sans piquants  
d : Diamètre de la lanterne d'Aristote  
D<sub>∞</sub> : c'est le diamètre asymptotique  
E : Est  
F : Février, Femelle, Frai  
FAO: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture  
G : Gonade  
H : Hauteur du test sans piquants  
IG : Indice gonadique  
IR : Indice de réplétion  
J : Janvier, Juin, Juillet  
K : c'est le coefficient de croissance  
K : Potassium  
km : kilomètre  
LIW : Levantine Intermediate Water  
Lmck : Lamarck  
M : Mars, Mai, Mâles  
m: Mètre  
MAW: Modified Atlantic Water  
Mg : Magnésium  
mg : Milligramme  
mg/l : Milligramme par litre  
ml : Millilitre  
mm : Millimètre  
MO : matière organique  
MP : matière particulaire  
N : Nord  
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  
Psu : Unité de salinité pratique  
S : Septembre  
t<sub>0</sub> : c'est l'âge théorique pour lequel l'oursin a un diamètre nulle.  
V: Volume d'échantillon (ml).  
W<sub>∞</sub>: poids asymptotique de l'oursin (g).  
WIW : Winter Intermediate Water  
WMDW : Western Mediterranean Deep Water  
µm : Micromètre  
χ<sup>2</sup> : test Chi deux

# SOMMAIRE

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

## Chapitre I Généralités sur l'espèce *Arbacia lixula*

I.1. Présentation de l'oursin noir <i>Arbacia lixula</i> .....	5
I.2. Systématique et distribution géographique de l'oursin noir <i>Arbacia lixula</i> .....	5
I.2.1. Systématique.....	5
I.2.2. Distribution géographique.....	6
I.3. Origine et variabilité intra-spécifique du genre <i>Arbacia</i> .....	6
I.4. Caractères morphologiques.....	7
I.4.1. Morphologie externe.....	7
I.4.1.1. Test et structures associées.....	8
I.4.1.1.1. Le test.....	8
I.4.1.1.2. Les tubercules.....	9
I.4.1.1.3. Les piquants ou radioles.....	9
I.4.1.1.4. Les pédicellaires.....	10
I.4.1.1.5. Tubes ambulacraires ou podia.....	11
I.4.2. Morphologie interne.....	12
I.4.2.1. Le tube digestif.....	12
I.4.2.2. L'appareil reproducteur.....	13
I.4.2.3. Système ambulacraire (aquifère).....	14
I.5. Biologie et écologie d' <i>Arbacia lixula</i> .....	14
I.5.1. Alimentation.....	14
I.5.2. Habitat.....	15
I.5.3. Reproduction et développement d' <i>Arbacia lixula</i> .....	15
I.5.4. Ethologie.....	16
I.6. Intérêts écologique et économique.....	17
I.6.1. Pêche et utilisation.....	17
I.6.2. Intérêt écologique.....	17
I.7. Effet d' <i>Arbacia lixula</i> sur les écosystèmes marins.....	19

## Chapitre II Présentation de la zone d'étude

II.1. Description et caractéristiques de la Méditerranée occidentale.....	21
II.1.1. Description.....	21
II.1.2. Circulation dans la Méditerranée occidentale.....	22
II.2. Le bassin Algérien.....	25
II.3. La baie de Mostaganem.....	25
II.3.1. Description des Fonds.....	25
II.3.2. Caractéristiques hydrologique et hydrodynamique.....	27
II.3.3. Température et salinité.....	27
II.4. Données générales sur la wilaya de Mostaganem.....	28
II.5. Choix des stations d'étude.....	29

## Chapitre III

### Matériel et méthodes

III.1. Choix et intérêt du matériel biologique .....	32
III.2. Échantillonnage .....	32
III.3. Traitement au laboratoire.....	32
III.3.1. Mesures des indices biométriques.....	33
III.3.2. Dissection et pesées des oursins.....	33
III.4. Suivi de la reproduction.....	35
III.4.1. Le sex-ratio.....	35
III.4.1.1. Rappels théoriques.....	35
III.4.1.2. Méthodes d'étude.....	35
III.4.2. Suivi du développement gonadique.....	36
III.4.3. Suivi de la maturation.....	37
III.4.3.1. Prélèvement et traitement .....	38
III.4.3.1.1. Etude histologique des gonades.....	38
• La fixation .....	39
• La déshydratation .....	39
• L'imprégnation .....	39
• L'inclusion dans la paraffine ou enrobage .....	39
• L'étalement et le collage des coupes.....	40
• Le déparaffinage.....	40
• La coloration .....	40
• Montage entre lame et lamelle.....	41
• Observation microscopique et prise de photos .....	41
III.4.4. Analyses statistiques .....	41
III.4.4.1. Test de Khi deux ( $\chi^2$ ).....	42
III.4.4.2. Calcul de la variance et de l'écart-type.....	42
III.4.4.3. Analyse de la variance (ANOVA).....	42
III.4.4.4. Test de Student .....	43
III.4.4.5. Test de Pearson.....	43
III.5. Suivi de l'activité trophique.....	43
III.5.1. Indice de réplétion (IR).....	43
III.5.2. Analyse des contenus digestifs.....	44
III.5.3. Détermination du poids de la matière particulaire (MP) et de la matière organique (MO) .....	45
III.5.3.1. Méthodologie.....	45
III.5.3.1.1. Echantillonnage.....	45
III.5.3.1.2. Protocole analytique .....	45
III.5.4. Etude des piquants .....	46
III.5.5. Analyses statistiques.....	46
III.5.5.1. Test d'ANOVA .....	46
III.5.5.2. Test de Kruskal-Wallis.....	46
III.5.5.3. Test de Student.....	47
III.6. Suivi de la croissance.....	47
III.6.1. Méthodologie.....	48
III.6.1.1. Echantillonnage.....	49
III.6.1.2. Etude de la croissance.....	49
III.6.1.2.1. Croissance linéaire .....	49

III.6.1.2.2. Analyse de structure de taille .....	49
III.6.2. Modèle de croissance linéaire de Von Bertalanffy (1938).....	49
III.6.3. Croissance relative (Relation diamètre-poids).....	50
III.6.4. Model de croissance pondérale.....	51
III.6.5. Analyse de données.....	51
III.6.5.1. Détermination des paramètres de croissance de Von Bertalanffy (1938).....	51
III.6.5.1.1. Diamètre asymptotique $D_{\infty}$ .....	51
• Méthode de Pauly (1980).....	51
• Méthode de Powell-Wetherall (1987) ( <i>in</i> Gayanilo <i>et al.</i> , 2002).....	51
III.6.5.1.2. Coefficient de catabolisme K.....	52
• Méthode d'ELEFAN.....	52
III. 6.5.1.3. Expression de l'âge .....	53
• L'âge absolu.....	53
• L'âge relatif.....	53
• L'âge conventionnel.....	53
III.6.6. Analyses des structures d'âge.....	54
• Méthode de Bhattacharya, 1967 .....	54
III.6.7. Relations allométrique.....	54
III.6.7.1. Relation entre le diamètre (D) et la hauteur (H) de test.....	55
III.6.7.2. Relation entre le diamètre (d) et la hauteur (h) de la lanterne d'Aristote.....	56
III.6.7.3. Relation entre le diamètre (D) du test et le diamètre (d) de la lanterne d'Aristote.....	56

## **Chapitre IV**

### **Résultats et discussion**

IV.1. Suivi de la reproduction.....	57
IV.1.1. Sex-ratio.....	57
IV.1.1.1. Sex-ratio global.....	57
IV.1.1.2. Sex-ratio mensuel.....	58
• Discussion.....	60
IV.1.2. Suivi du développement gonadique.....	61
IV.1.2.1. Evolution de l'indice gonadique.....	61
• Discussion.....	66
IV.1.2.2. Etude macroscopique des gonades.....	68
➤ Salamandre.....	68
➤ Stidia.....	69
IV.1.2.3. Etude microscopique des gonades.....	70
• Discussion.....	72
IV.1.2.4. Impacte de la température sur la ponte .....	75
• Discussion.....	77
IV.2. Suivi de l'activité trophique.....	79
IV.2.1. Evolution de l'indice de réplétion.....	79
IV.2.1.1. Evolution mensuelles de l'indice de réplétion .....	79
IV.2.1.2. Evolution saisonnière de l'indice de réplétion .....	80
IV.2.2. Analyse des contenus digestifs.....	81
IV.2.3. Comportement Sestonophage et variation de la MO.....	86
IV.2.4. Etude des piquants.....	87
• Discussion.....	87

IV.3. Suivi de la croissance.....	93
IV.3.1. Démographie.....	93
IV.3.2. Etude de la croissance.....	93
IV.3.2.1. Calcule du diamètre asymptotique $D_{\infty}$ .....	93
IV.3.2.2. Calcule du coefficient de catabolisme $K$ .....	94
IV.3.2.3. Calcule de $t_0$ .....	95
✓ méthode de Bhattacharya (1967).....	95
IV.3.2.4. Croissance relative (Relation Diamètre-poids) .....	97
IV.3.2.5. Equation et courbe de croissance.....	100
IV.3.2.6. Relations allométriques.....	104
IV. 3.2.6.1. Relation entre le diamètre (D) et la hauteur (H) du test sans piquants des oursins noirs.....	104
IV.3.2.6.2. Relation entre le diamètre (d) et la hauteur (h) de la lanterne d'Aristote.....	106
IV.3.2.6.3. Relation entre le diamètre (D) du test sans piquants et le diamètre (d) de la lanterne d'Aristote .....	107
• Discussion.....	109
<b>Conclusion</b> .....	114
<b>Références bibliographiques</b> .....	118

## Annexes

# ***Introduction***

Le littoral méditerranéen représente un capital inestimable par la valeur de ses écosystèmes et de son patrimoine culturel et aussi par sa fonction sociale et son identité maritime (Coll *et al.*, 2010). Il représente la frontière maritime de 22 pays ou territoires riverains appartenant à trois continents différents (400 millions d'habitants) (UNEP/MAP, 2012).

La méditerranée est une mer particulière qui présente des caractéristiques très marquées. C'est une mer quasi fermée qui représente en surface moins de 1% de l'océan et sa position de liaison entre trois continents fait de cette « mer insulaire » un creuset de biodiversité avec plus de 17.000 espèces marines (de la Hoz *et al.*, 2018). Elle abrite 7.5% des taxa animaux du monde marin et 18% de la flore marine mondiale ; ce qui en fait une des mers les plus riches du monde du point de vue de la biodiversité. Ses eaux abritent une grande diversité biologique avec environ 30% d'espèces endémiques (Coll *et al.*, 2010).

Cependant, les spécialistes le rappellent à chaque fois ; sur les deux rives de la Méditerranée, derrière le bleu de la mer et la beauté des plages, la Méditerranée souffre (Moullec, 2019). C'est même l'une des régions du monde les plus impactées par le changement climatique (Cramer *et al.*, 2018). Ce bassin commun aux pays méditerranéens est soumis aux pressions considérables engendrées sur les milieux par les activités humaines, ainsi qu'aux conflits d'usage de ressources, menant à des dégradations continues des milieux ainsi qu'à des pertes de biodiversité et de ressources souvent irréversibles (Amara, 2010).

Dans les écosystèmes biologiques Méditerranéens, les migrants « lessepsiens »<sup>1</sup> et l'apparition de différentes faunes et flores opportunistes sont les signatures de changements rapides induits par des activités humaines (Courp, 2001). En effet, le nombre et le taux d'espèces non indigènes présentes en Méditerranée ont tous deux fortement augmenté ces dernières années : environ 1000 espèces non indigènes ont été identifiées, à raison d'une nouvelle espèce introduite tous les dix jours (UNEP/MAP, 2012). Le Canal de Suez (47 % des introductions), véritable corridor pour les espèces en provenance de la mer Rouge, le transport maritime via les eaux de ballast ou l'adhésion aux coques (28 % des introductions) et l'aquaculture par fuites intentionnelles ou non (10 % des introductions) (Katsanevakis *et al.*, 2014a). Ceci fait de la Méditerranée une zone idéale pour décrire, comprendre et surveiller en temps quasi-réel l'évolution d'une mer profonde soumise à des changements climatiques et environnementaux (Béthoux et Gentili, 1994).

---

<sup>1</sup> **Migrants lessepsiens** : espèces de la mer rouge qui ont pénétré, dans le bassin oriental de Méditerranée, après l'ouverture du canal de suez. Migration de Lesseps appelée ainsi d'après le fameux ingénieur du Canal, Ferdinand de Lesseps

Aussi, le bassin méditerranéen représente l'un des 34 « hotspots » (points chauds) de biodiversité identifiée dans le monde dont le littoral Algérien fait partie (Belhouari, 2018).

D'un point de vue écologique, le littoral Algérien est riche et diversifié, il s'étend sur 1622 kilomètres alternant rivages rocheux, plages sablonneuses et zones humides (Belhouari, 2018). L'infra-littoral Nord-Ouest Algérien présente un intérêt écologique majeure et occupe une importante place dans toute la méditerranée en générale et en Algérie en particulier. Il possède une richesse d'habitat et de paysages sous-marins très remarquable (Hussein, 2015).

Comme c'est le cas de tous les pays riverains de la Méditerranée, la population Algérienne est caractérisée par une répartition déséquilibrée sur le territoire national ; environ les deux tiers de la population sont concentrés sur le littoral qui représente 4% du territoire seulement, tandis que 8% de la population est dispersée à travers le Sahara qui s'étend sur 87% du territoire national. Ajouté à cela, des activités économiques et des infrastructures le long de la bande côtière qui sont implantés (Kacemi, 2013). Selon le MATE (2003), pas moins de 5242 unités industrielles y sont implantées soit 51% du parc national dont 60 unités industrielles à risque majeurs. En plus, l'activité pétrolière compte deux zones pétrochimiques importantes, la première située à Arzew à l'Ouest d'Algérie et la seconde à Skikda à l'Est.

Selon l'Union Internationale pour la Conservation de la Nature (UICN, 2015), il est essentiel d'utiliser et de développer des outils d'évaluation pour le suivi de la qualité et la préservation de l'environnement afin de parvenir à contrer la dégradation des milieux naturels marins.

L'emploi des structures des communautés macro benthiques de la zone intertidale pour l'évaluation de l'état du milieu marin est de plus en plus répandu au sein des organismes internationaux et comptent parmi les meilleurs outils mis à la disposition de l'homme pour faire face aux différents défis environnementaux présents et futurs auxquels doivent faire face les écosystèmes marins côtiers (Bélanger, 2009).

Les méthodes d'évaluation environnementale faisant appel aux indicateurs biologiques ont souvent l'avantage d'être peu coûteuses comparativement aux méthodes traditionnelles impliquant des mesures de polluants ou de composés chimiques. De plus, un autre aspect important de l'utilisation des indicateurs biologiques réside dans le fait qu'ils renferment de l'information sur l'exposition à l'ensemble des différents contaminants intégrée dans le temps contrairement aux mesures instrumentales qui ne peuvent offrir qu'une image ponctuelle et statique de la situation (Fränzle, 2003). Malgré leur popularité actuelle et le nombre sans cesse croissant de travaux et de publications qui leurs sont consacrés, l'utilisation des indicateurs

biologiques dans l'évaluation de la qualité de l'environnement est un phénomène relativement nouveau dans l'histoire des sciences environnementales (Bélanger, 2009).

L'oursin est un modèle très utilisé pour la recherche. Les oursins sont sessiles ou ne se déplacent que sur de courtes distances, vivant en étroite relation avec le substrat et la colonne d'eau, sont faciles à capturer et à identifier et comptent parmi les espèces prédominantes du macrofaune benthique de nombreux écosystèmes marins (Warnau *et al.*, 2006).

Notre choix s'est porté sur l'oursin noir *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) qui fait partie des échinoïdes les plus fréquents des habitats rocheux peu profonds de la Méditerranée (Sala *et al.*, 1998). L'étude est réalisée par le suivi des populations 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, moins riche en algues photophiles. Le deuxième site choisi se situe à la plage de Stidia, caractérisé par un biotope mixte rocheux et sableux et doté d'une richesse considérable en algues photophiles.

Le présent travail de recherche a pour objectifs principal ; i) 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 mieux cerner la période de ponte.

ii) La description de l'aspect qualitatif et quantitatif du comportement alimentaire d'*Arbacia lixula*, en analysant son régime alimentaire durant deux années, au niveau de deux sites différents de la côte de Mostaganem.

iii) La détermination de la structure de taille de la population, la croissance linéaire et pondérale, estimation de l'âge, la relation taille-poids d'*A.lixula* et définir les relations allométriques qui existe entre les différentes parties du corps. Pour y parvenir à cette tâche on a opté pour une méthode indirecte (statistique).

Ce suivi nous permettra d'une part, de dégager certains aspects des traits de vie 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.

Ce manuscrit est présenté comme suit :

**Une première partie** : réservée à la synthèse des connaissances sur les 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 plusieurs parties :

**Le suivi de la reproduction** ; qui traite plusieurs sous-parties à savoir ;

- La détermination du sex-ratio, le suivi mensuel de l'indice gonadique, le suivi mensuel de la température et son influence sur le cycle de reproduction de l'oursin noir des deux sites.
- Une 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).

**Le suivi de l'activité trophique** en appliquant ;

- Le suivi mensuel de l'indice de réplétion.
- L'étude du comportement alimentaire d'*A. lixula* en analysant son contenu digestive en utilisant la méthode des contacts de Jones (1968) modifiée par Nédélec (1982).
- Détermination du poids de la matière particulaire (MP) et de la matière organique (MO) contenu dans les eaux des deux sites d'étude.
- L'étude des piquants d'oursins d'*A. lixula* des deux sites pour déceler une possible adaptation morpho-fonctionnelle.

**Le suivi de la croissance** par ;

- Etude de la croissance linéaire par l'analyse des structures de taille et détermination des paramètres de croissance de Von Bertalanffy (1938).
- Etude de la croissance relative par l'analyse de la relation Diamètre-poids.
- Etude des relations allométriques qui existent entre les différentes parties du corps de l'oursin *A. lixula*.

**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***

## I.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).

## I.2. Systématique et distribution géographique de l'oursin noir *Arbacia lixula*

### I.2.1. Systématique

D'après Fischer *et al.*, (1987), Bergbauer et Humberg (2000), Weinberg (2007) la position Systématique de l'espèce *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) est comme suit :

Embranchement : Echinodermata

Sous-embranchement : Echinozoa

Classe : Echinoidea

Sous-classe : Euechinoidea

Super-ordre : *Echinacea*

Ordre : *Arbacioida*

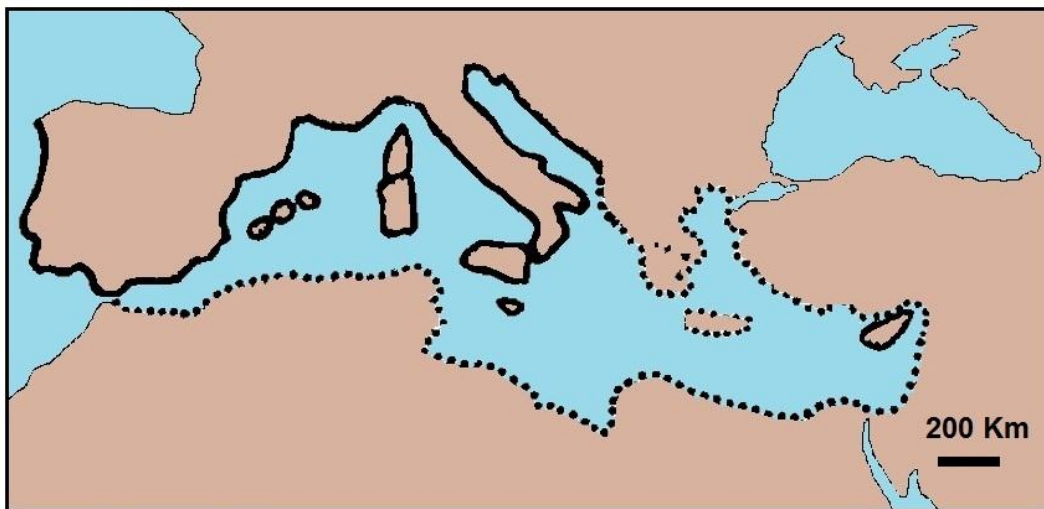
Famille : *Arbaciidae*

Genre : *Arbacia*

Espèce : *lixula*

### I.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). 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 (Lessios *et al.*, 2012).



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

### I.3. 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 qui ont une distribution exclusivement néo-tropicale (*in* Wangenstein, 2013).

L'étude phylo-géographique 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.

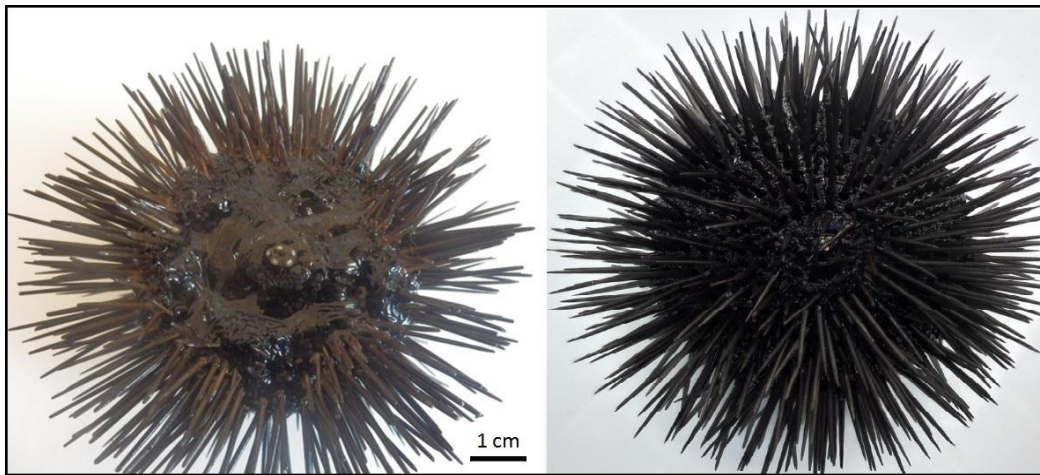
Une étude phylo-géographique menée par Wangensteen *et al.*, (2012) démontre que l'oursin *Arbacia lixula* est un récent colonisateur de la Méditerranée.

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).

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<sup>-2</sup> (Guidetti *et al.*, 2003 ; Lessios *et al.*, 2012 ; Cordeiro *et al.*, 2014).

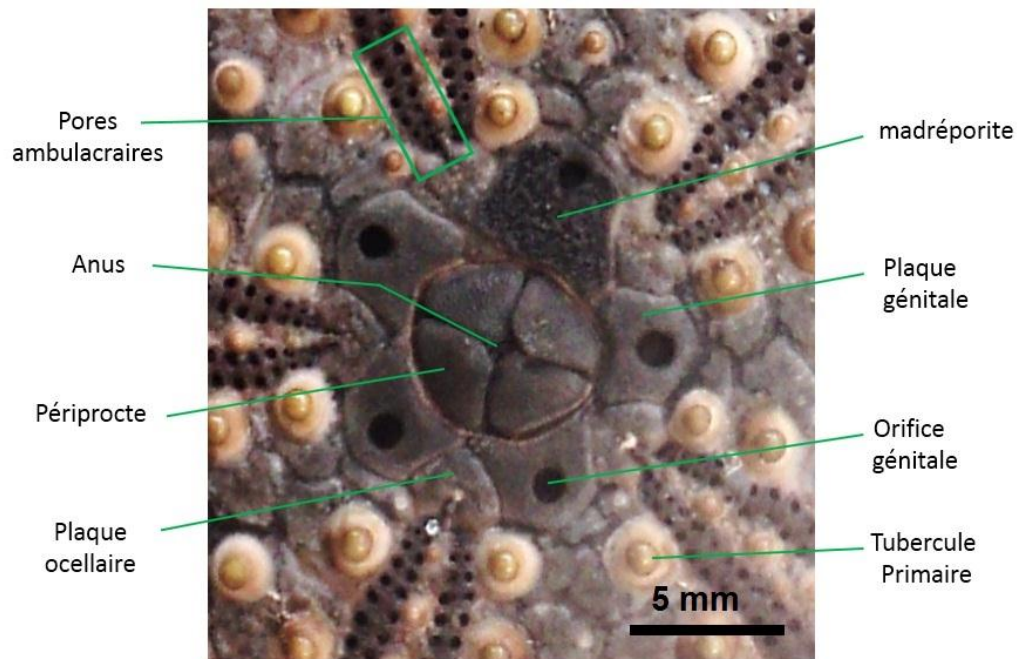
#### I.4. Caractères morphologiques

##### I.4.1. Morphologie externe



**Figure 3.** Photos montrant la morphologie externe de l'oursin *Arbacia lixula*  
Gauche : face orale, droite : face aborale. (Photo : M. ELAKKERMI).

*Arbacia lixula* possède un corps relativement déprimé ou subconique. 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 (Figure 3). Le pôle supérieur (aboral) comprend l'anus entouré d'une membrane, le périprocte couvert de 4 ou 5 grandes plaques sub-triangulaires et entouré de plaques génitales et ocellaires. Les plaques génitales sont perforées par les orifices génitaux (figure 4).

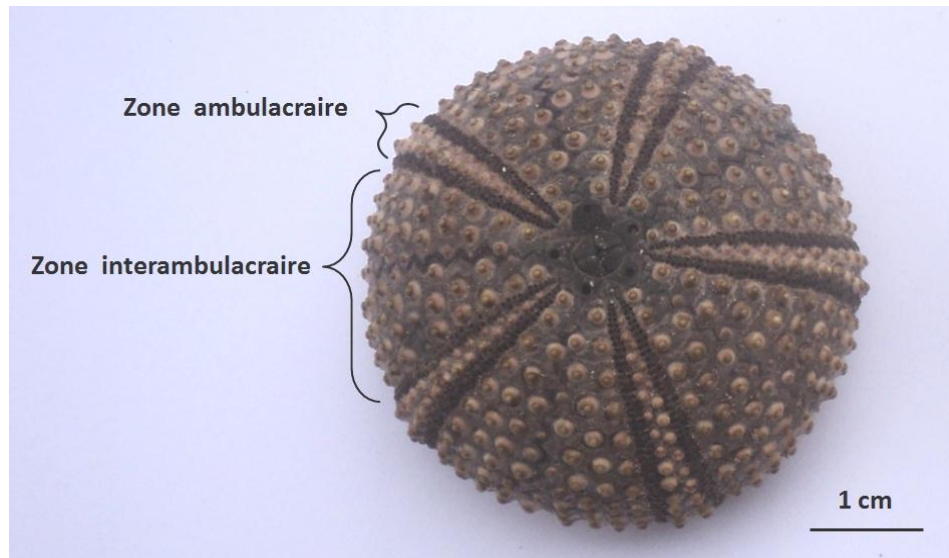


**Figure 4.** Vue externe de la région aborale (*Photo : M. ELAKKERMI*).

#### **I.4.1.1. Test et structures associées**

##### **I.4.1.1.1. 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 podia et les radioles, et les aires inter-ambulacraires 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 inter-ambulacraires plus larges (figure 5).



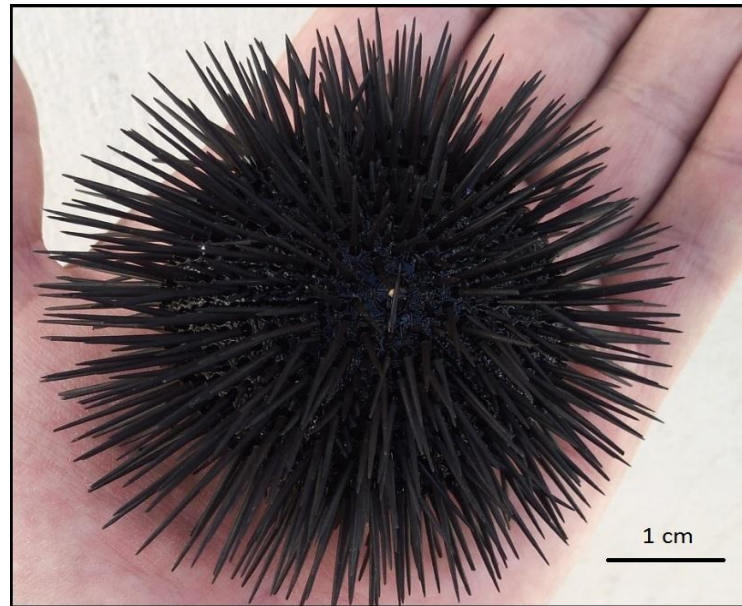
**Figure 5.** Test d'*Arbacia lixula* (vue dorsale). (Photo : M. ELAKKERMI).

#### **I.4.1.1.2. 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 inter-ambulacraires et en 2 rangées sur les zones ambulacraires (figure 5) ; ces tubercules occupent toute la surface des zones inter-ambulacraires (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.

#### **I.4.1.1.3. 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 (Figure 6), 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. Les piquants servent à la locomotion et la défense en éloignant les prédateurs.



**Figure 6.** Radioles d'*A. lixula*, denses et pointues orale. (Photo : M. ELAKKERMI).

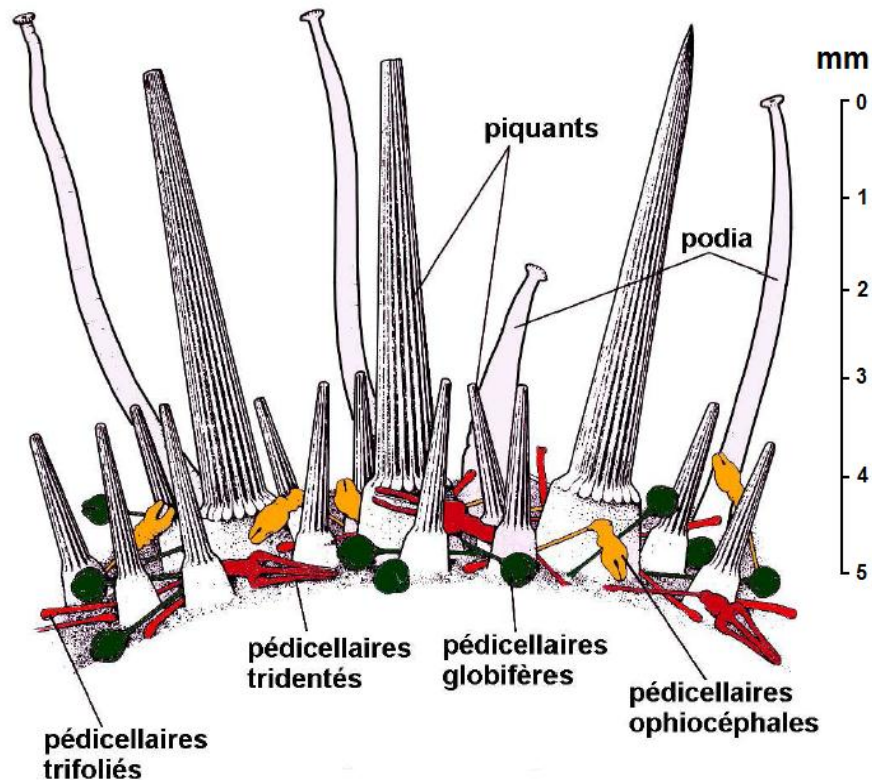
#### I.4.1.1.4. Les pédicellaires

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 ;

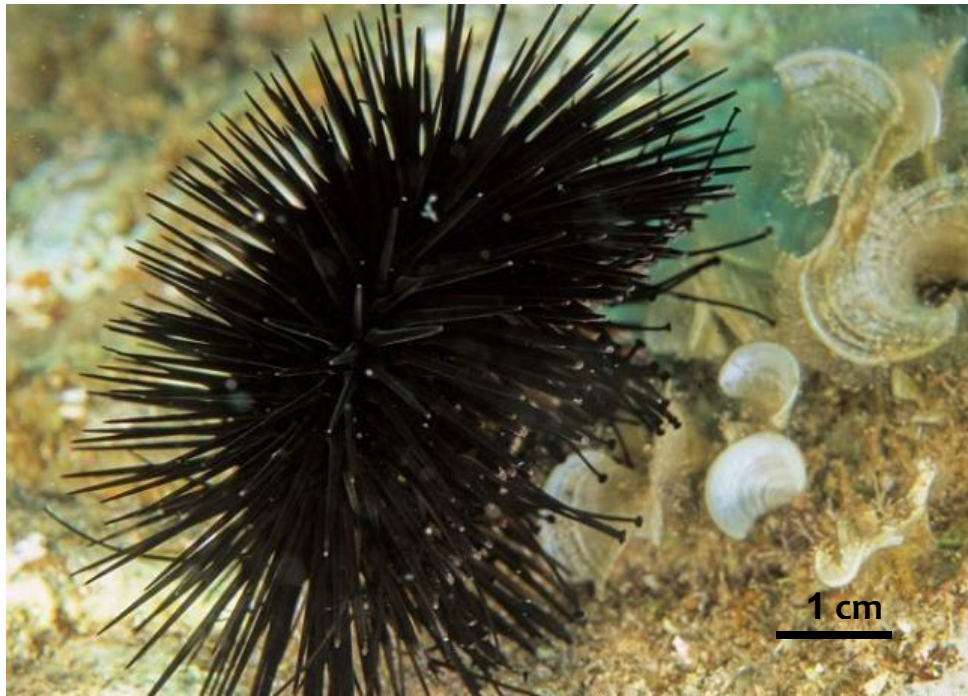
Ils ont des fonctions multiples : capture des proies, le nettoyage du test, la défense et empêche les petits organismes de s'y fixer (Hyman, 1955 ; Campbell, 1974 ; Boue et Chanton, 1978 ; Ghyoot, 1991). Les pédicellaires globuleux sont absents et les pédicellaires tridactyles et ophiocéphales sont de tailles diverses (Figure 7).



**Figure 7.** Piquants (primaires et secondaires), podia et pédicellaires (globifères, ophiocéphales, tridentés et trifoliés) (DeRidder, 1986).

#### I.4.1.1.5. 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 8). 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.



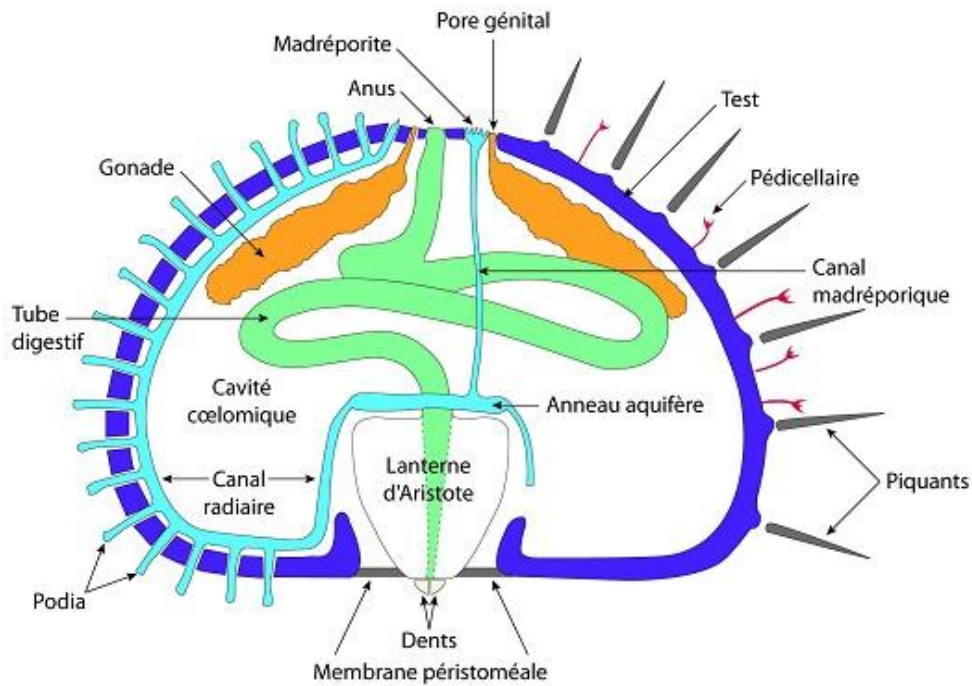
**Figure 8.** Tubes ambulacraires ; nombreux et munis de ventouse à la face orale, peu nombreux et dépourvus de ventouse à la face aborale. (Photo : Emmanuel SAPON).

## I.4.2. Morphologie interne

### I.4.2.1. 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. 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.

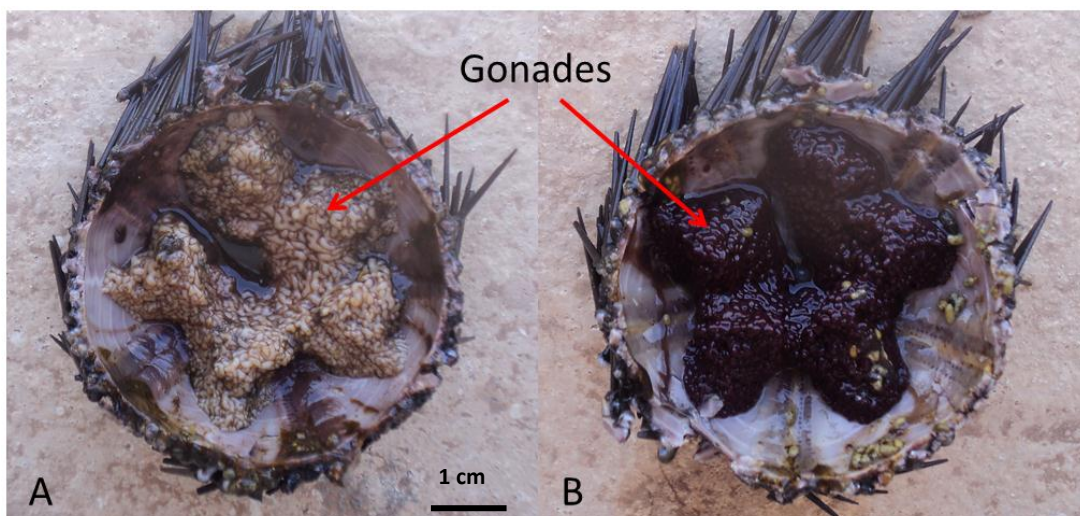
L'œsophage situé dans la lanterne d'Aristote débouche dans l'estomac qui forme une boucle, suivi de l'intestin puis de l'anus en position dorsale (figure 9).



**Figure 9.** Schéma d'une coupe transversale du test d'un oursin régulier (Echinoidea), Tortonese (1965).

#### I.4.2.2. 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 10). Les gamètes sont émis au niveau du pôle aboral et la fécondation est externe.



**Figure 10.** Disposition penta-radiaire des gonades de l'oursin noir *A. lixula*. (A : Mâle) et (B : Femelle). (Photos : M. ELAKKERMI).

### **I.4.2.3. Système ambulacraire (aquifère)**

Le système aquifère ou ambulacraire caractérise les échinodermes. 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 la madréporite (Figure 4 et 9), plaque criblée située à la surface du corps ou dans la cavité coelomique ; la madréporite est connectée par le canal madréporique (Figure 9) (à paroi souvent calcaire, d'où son nom de canal du sable) à l'anneau ambulacraire pério-esophagien ; 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. 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.

## **I.5. Biologie et écologie d'*Arbacia lixula***

### **I.5.1. 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 (Scheibling et Hamm, 1991 ; Andrew, 1993 ; Benedetti-Cecchi et Cinelli, 1995 ; Sala et Zabala, 1996).

Selon Wangensteen (2013), *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 encroustées, 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).

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

### **I.5.2. 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, 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 (Wangensteen, 2013).

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 abondant sur les surfaces horizontales ou en pente douce, tandis qu'*A. lixula* est plus commun sur des substrats verticaux (Régis, 1978 ; Benedetti-Cecchi *et al.*, 1998 ; Bulleri *et al.*, 1999).

D'après Bulleri *et al.*, (1999), un modèle d'alternance entre *A. lixula* 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.

### **I.5.3. 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 (Fénaux, 1968) (Figure 10).

Ces gonades sont situées au pôle apical sous les inter-radius, 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 mâles et femelles, 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 (Lawrence et Lane, 1982 ; Lawrence, 1987), dont les algues, nourriture souvent préférentielle des échinoïdes (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 et la fécondation se fait au hasard dans l'eau de mer (Fénaux, 1968).

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 (Wangensteen, 2013). 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 (Pressoir, 1959). 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 de *Paracentrotus lividus* (Lozano *et al.*, 1995 ; López *et al.*, 1998 ; Guidetti *et al.*, 2003 ; Tomas *et al.*, 2004). Ce processus 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).

#### **I.5.4. 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).

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 échinoïdes peuvent être trouvés 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, 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).

Selon l'étude de Guiddetti (2004) le long des réserves Italiennes (Arenzano, Olbia, île de Lipari, Porto Cesareo, Torre Guaceto et îles Tremiti), le sar commun (*Diplodus sargus*) était le prédateur le plus pertinent d'*Arbacia lixula* (en particulier les oursins de petite taille) bien 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.

## **I.6. Intérêts écologique et économique**

### **I.6.1. 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.

### **I.6.2. Intérêt écologique**

Les processus écologiques qui favorisent le passage d'un état à un autre peuvent débuter 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 incrustés. 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 (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).

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 des communautés benthiques (Lawrence, 1975 ; Sala *et al.*, 1998 ; Gianguzza *et al.*, 2010).

Le rôle écologique d'*A.lixula* ne peut être pleinement compris, sauf dans le cadre de ses interactions avec l'oursin comestible *P. lividus*. Ces 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 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. L'oursin *A. lixula* a été traditionnellement attribué à un rôle écologique secondaire. Tandis que, 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, 2013 ; Privitera *et al.*, 2011 ; Bulleri, 2013).

Les foyers des deux populations d'*A.lixula* et *P.lividus* ont été proposés pour être en mesure de créer des terrains stériles 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 stériles ne sont pas aussi dominantes dans le nord-ouest de la Méditerranée comme dans d'autres régions tempérées ou tropicales (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 stériles 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 des zones stériles 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 Dulčić, 2007), de sorte que le rôle d'*A. lixula* dans la création et le maintien des zones stériles 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 de ces zones. 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).

Toutes fois, Wangensteen *et al.*, (2012) dénote qu'il y a très peu d'études comparant les abondances des oursins à long terme.

### **I.7. Effet d'*Arbacia lixula* sur les écosystèmes marins**

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

Dans les récifs rocheux sublittoraux peu profonds de la mer Méditerranée, comme c'est le cas 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 macroalgues à des labyrinthes corallines (Sala *et al.*, 1998 ; Guidetti *et al.*, 2003). Les oursins se nourrissent sur les algues pendant la nuit (Tortonese et Vadon, 1987) et peuvent transformer une flore riche en zones stériles 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 (Sala et Zabala, 1996).

L'abondance des algues est affectée par le surpâturage des oursins mais que devient la diversité ? Les oursins *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 stériles, 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 (Wangensteen, 2013).

## *Deuxième Partie*

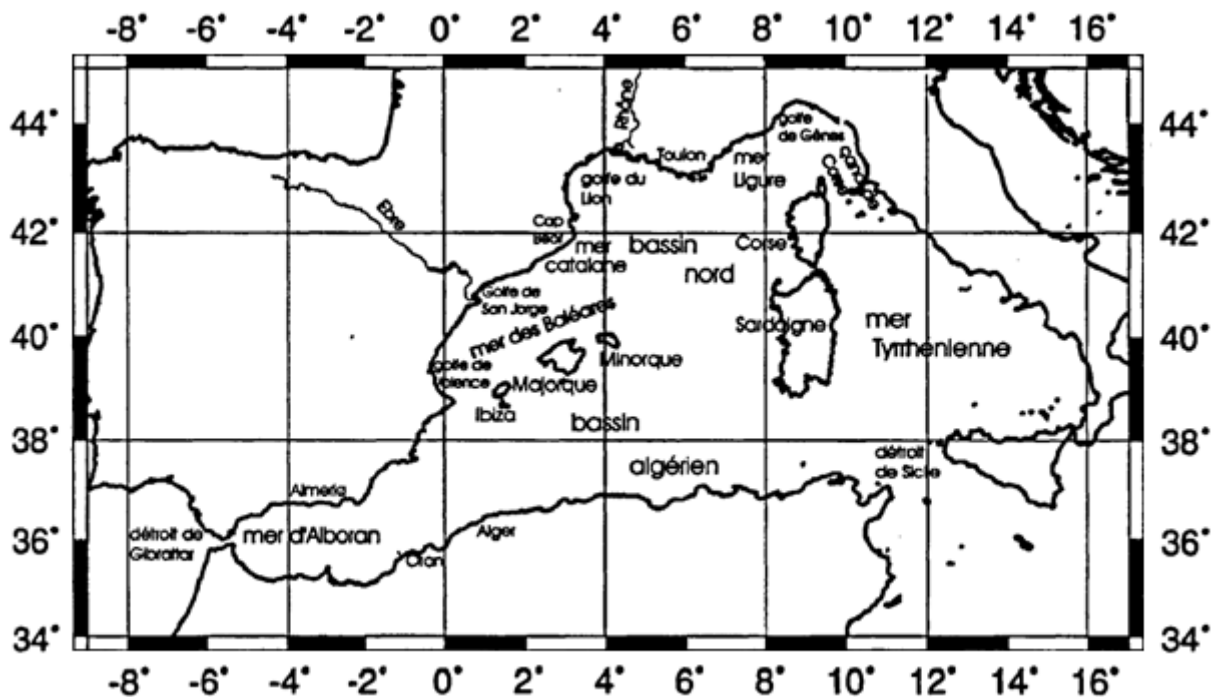
---

# *Présentation de la zone d'étude*

## II.1. Description et caractéristiques de la Méditerranée occidentale

### II.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 11). 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 11).



**Figure 11.** Situation du bassin méditerranéen occidental et position des différents lieux cités. Schéma tracé à l'aide de Generic Mapping Tools (Wessel et Smith, 1995)

### II.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  $0.72 \pm 0.16$  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 12.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 et Millot, 1988).

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.

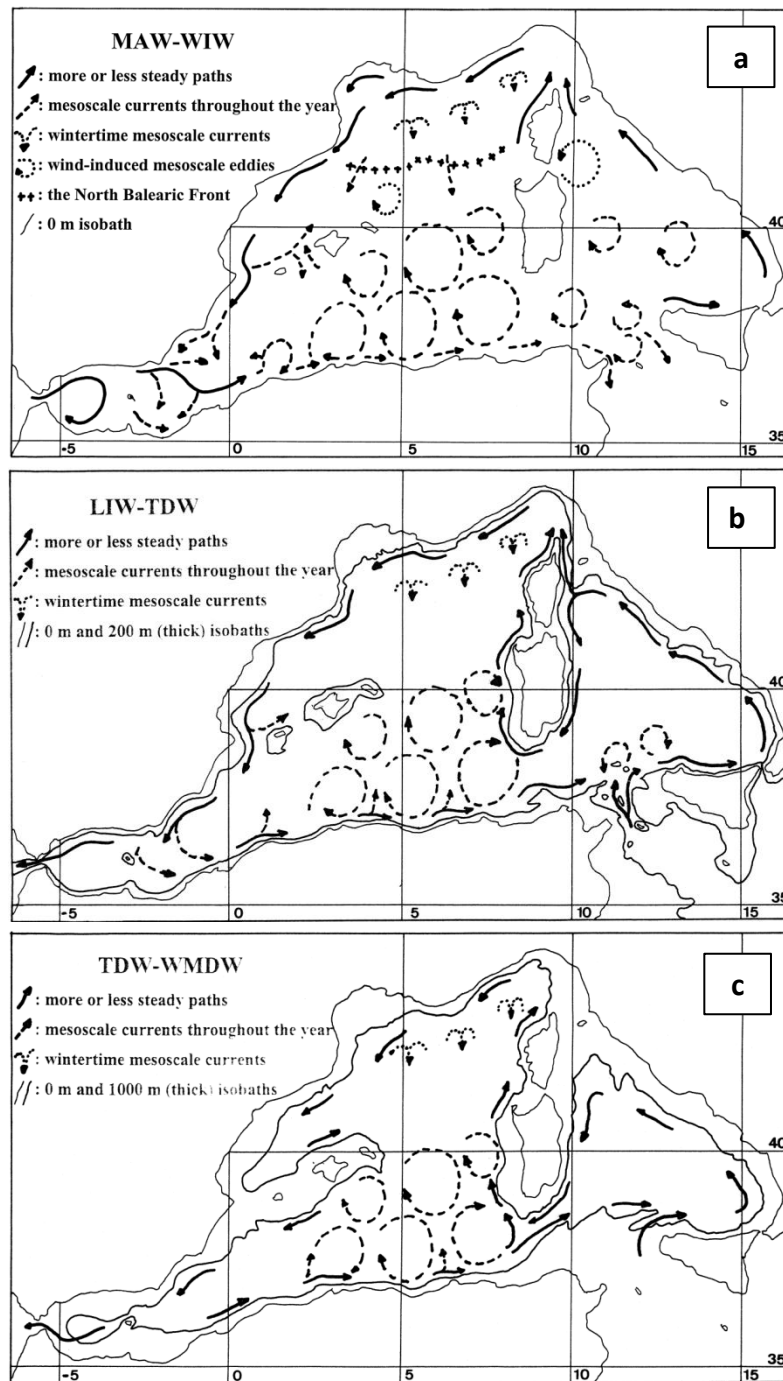
La **LIW**, masse d'eau chaude (13-14 °C) la plus salée (38.5-38.75 psu, Lacombe et Tchernia (1972)) de Méditerranée occidentale, est formée lors de la convection hivernale en mer Levantine, en Méditerranée orientale. Elle pénètre en Méditerranée occidentale par le détroit de Sicile, et effectue alors un parcours cyclonique en longeant les côtes entre 300 m et 800 m de profondeur (La Violette, 1994) (voir Figure 12.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 et 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 et 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 12.c), qui renforce le courant du 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 12.** La Méditerranée occidentale : circulation des principales masses d'eau.  
Extrait de Millot (1999)

## **II.2. Le bassin Algérien**

Le bassin Algérien occupe la majeure partie du Sud de la Méditerranée occidentale. Grâce à ses caractéristiques géographiques, ce bassin est un élément clé de la zone pour la circulation générale des masses d'eau dans la Méditerranée occidentale (voir Millot, 1999). Le bassin Algérien dépasse 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 (1992) a mesuré une température entre 13.08 et 14.24°C 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.

## **II.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).

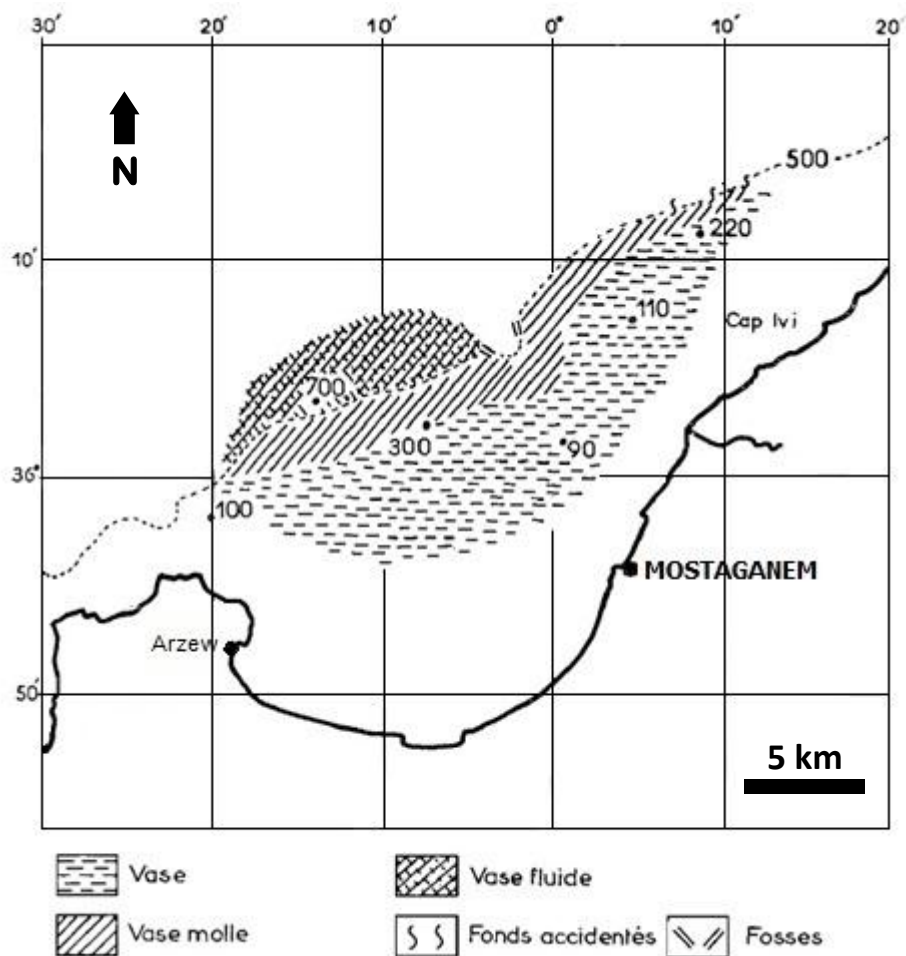
Le plateau continental s'élargit jusqu'au (27 à 28 Km au large, à une profondeur de 120 à 130 m) et se rétrécit jusqu'au 8 à 9 Km vers l'Est.

### **II.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 13). 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 13.** Baie d'Arzew et de Mostaganem, carte des fonds (Maurin, 1962).

### II.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, 1987, 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).

### II.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 et 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<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup> et Ca<sup>2+</sup>. Il y a 0,004 mg d'or/m<sup>3</sup>.

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‰.

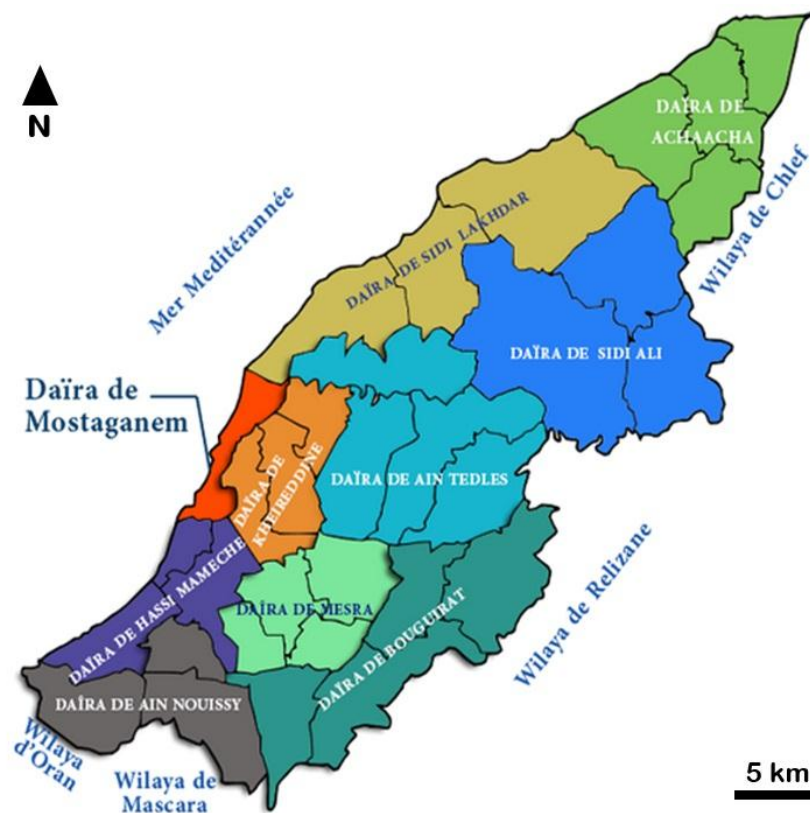
#### II.4. Données générales sur la wilaya de Mostaganem

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 (Figure 14).

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 km<sup>2</sup> avec 124 km de côtes et la wilaya dispose d'un large littoral avec de merveilleuses plages et diverses potentialités touristiques et balnéaires.



**Figure 14.** 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 14), 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

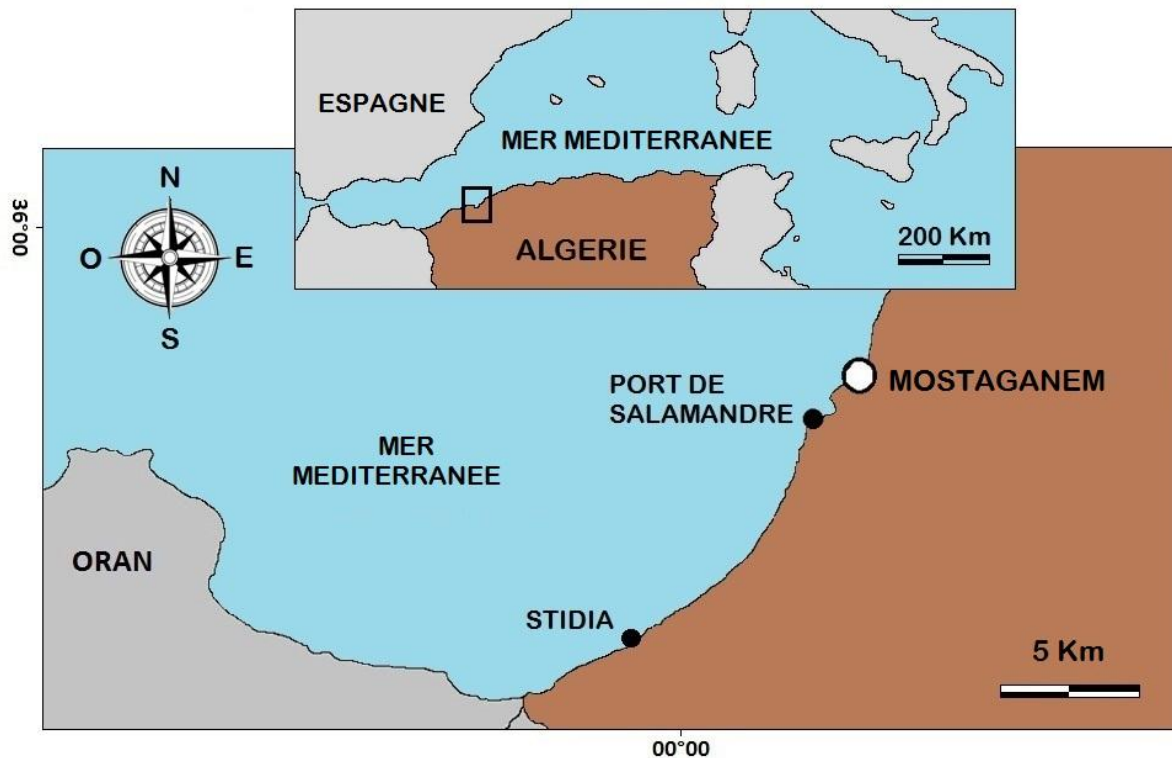
Avec cette superficie, la wilaya occupe environ 13.075% de la superficie totale maritime nationale. Notons que les 2/3 sont rocheuses et plus de 30% sont des fonds chalutables.

## **II.5. Choix des stations d'étude**

Ce travail a été réalisé au niveau de deux sites contrastés de la région de Mostaganem (Figure 15).

Le choix a été établi selon plusieurs critères ; notamment l'état de santé du site en matière de perturbation, 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 15).



**Figure 15.** Localisation des sites de prélèvements dans la région de Mostaganem.

**Le premier site (Salamandre, 35.92097° N, 0.05581° E)** est situé à l'extérieur du port de Salamandre. Il est exposé aux vents dominants du secteur Nord-Ouest et présente un substrat rocheux et une profondeur moyenne de 10 m. Ce site est caractérisé par une biodiversité réduite et des signes de dégradation (Belbachir, 2018). L'essentiel de la macrofaune benthique est représentée par les échinodermes [*P. lividus* et *A. lixula* ; les étoiles de mer [*Echinaster sepositus* (Reitzus) et *Coscinasterias tenuispina* (Lamarck)] ; les holothuries [*Holothuria (H.) tubulosa* Gmelin, et *Holothuria (R.) poli* Delle Chiaje] (Benzait, 2015 ; Belbachir, 2018). Le phytobenthos est composé de *Ellisolandia elongata* (J.Ellis & Solander) K.R.Hind & G.W.Saunders, *Ulva lactuca* (Linnaeus), *Caulerpa prolifera* (Forsskal) J.V. Lamouroux ; les taxons invasifs [*Caulerpa cylindracea* Sonder, *Aspargopsis armata* (Harvey), *Codium fragile* (Suringar) Hariot et *Lophocladia lallemandii* (Montagne) F. Schmitz ; les espèces indicatrices d'eutrophisation du milieu (*Chaetomorpha* spp., *Enteromorpha* spp. and *Ulva* spp.) (Bachir-Bouiadjra, 2012). On retrouve aussi la magnoliophyte *Posidonia oceanica* (Linnaeus) Delile qui se présente sous forme de touffes (ou taches) plus au moins circulaire et de petites dimensions. Ces feuilles sont nettement plus petites et leurs extrémités (ou apex) sont généralement brisées (Bachir-Bouiadjra *et al.*, 2010 ; Belbachir, 2012). La frange côtière de Salamandre est touchée par l'urbanisation croissante et les aménagements littoraux. Durant les deux dernières décennies, de nombreux bâtiments ont été édifiés à seulement quelques mètres du trait de côte et

un nouveau port de pêche et de plaisance fût également construit. En dépit de la forte densité de population, les eaux usées sont déversées librement en mer, depuis des années. D'autres sociétés comme SOACHLORE [spécialisée dans la production de l'hypochlorite de Sodium (eau de Javel) déverse pas moins de 2040 m<sup>3</sup>/j d'eau (mélangée avec du Chlore) en mer], le Groupe industriel des productions laitières (GIPLAIT) de Mostaganem, le complexe les Grands Moulins pôles de l'industrie agroalimentaire céréalière (GMD) et CALLIDERM Mostaganem spécialisé dans la production des produits cosmétiques s'installent dans cette zone (Belbachir, 2018).

**Le deuxième site (plage de Stidia, 35.83334° N, 0.01502° O)** est situé à une distance d'environ 20 Km au Sud-Ouest de la ville de Mostaganem (Figure 15). Le site est ouvert vers le Nord-Ouest, exposé au vent dominant (Nord-est). L'aspect sous-marin est constitué par une alternance de roches, d'éboulis et du sable, et les observations sous-marines témoignent d'une importante diversité biologique (Belbachir, 2012 ; Oulhiz, 2012). La macrofaune est représentée par différents groupes taxonomiques représentés par les mollusques [*Patella vulgata* (Linnaeus) et *Siphonaria pectinata* (Linnaeus)]; les arthropodes [*Clibanarius erythropus* (Latreille) et *Carcinus maenas* (Linnaeus)]; les cnidaires [(*Anemonia viridis* (Forsskal) et *Actinia equina* (Linnaeus)] et les échinodermes [*P. lividus* (Lamarck) et *A. lixula* (Linnaeus), *Holothuria poli* et *Ophioderma* sp.] (Oulhiz, 2012). Le phytobenthos est représenté par les macrophytes dominants [*Ulva* spp., *Corallina* sp., *Caulerpa* spp. et *Padina* sp. (Belbachir, 2018)]. L'herbier de posidonies se développe sur un substrat rocheux à partir de -1.5m jusqu'à -7m de profondeur (Belbachir, 2012). Il semble être en bon état de conservation et se présente sous la forme d'une prairie plus ou moins continue qui s'étend sur une surface d'environ 6000 m<sup>2</sup>. Néanmoins, le site de Stidia est soumis à de nombreuses activités anthropiques pouvant avoir un impact sur sa biodiversité marine: occupation humaine (pollution tellurique), agriculture, tourisme en période estivale (baignade, plongée) et pêche (ancrage, chalutage) (Belbachir, 2018). Cependant, la ville de Stidia a bénéficié récemment de la mise en service de la station d'épuration (STEP) d'une capacité de 6000 m<sup>3</sup>/j. Les deux points de rejet des eaux usées urbains sont actuellement raccordés à la station d'épuration avec un débit journalier de 2000 m<sup>3</sup>/j (CNL, 2020).

*Troisième Partie*

---

***Matériel et méthodes***

### III.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 inexistantes, malgré son importance écologique incontestable dans la structuration des communautés benthiques.

Ce constat nous a incités à nous intéresser à l'étude de quelques traits de vie de cette espèce à savoir : sa reproduction, son alimentation et sa croissance dans deux sites différents de la côte de Mostaganem.

### III.2. Échantillonnage

Une cueillette mensuelle de quarante-cinq individus (45) a été réalisée en apnée (figure 16 A), sur une période de deux (02) années durant la période allant de Janvier 2015 à Décembre 2016, en zone intertidale, et à une profondeur comprise entre 1 et 5 mètres de profondeur, dans les deux sites choisis, Salamandre et Stidia.

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. Ces oursins ont été traités le jour même au laboratoire.

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.

### III.3. Traitement au laboratoire

Le travail expérimental proprement dit s'est déroulé en plusieurs parties ;

- ✓ Etude biométrique avec réalisation d'une série de mesures linéaires.
- ✓ Pesées pondérales du corps, des gonades, du contenu digestif et des lanternes d'Aristote.
- ✓ Etude des indices physiologiques (indice de réplétion et indice gonadique).
- ✓ Etude histologique des gonades mâles et femelles.
- ✓ L'étude du comportement alimentaire par l'analyse des contenus digestifs.

Chaque mois et sur les quarante-cinq (45) oursins collectés, trente (30) individus ont servi à l'étude biométrique, pondérale et des indices physiologiques. Dix (10) individus ont servi à l'étude histologique des gonades et les cinq (05) individus restant ont servi à l'étude du comportement alimentaire.

On note que pour l'étude de la croissance on a utilisé que les mesures réalisées sur les individus échantillonner durant l'année 2016.

### III.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 16 C, D, E, F).

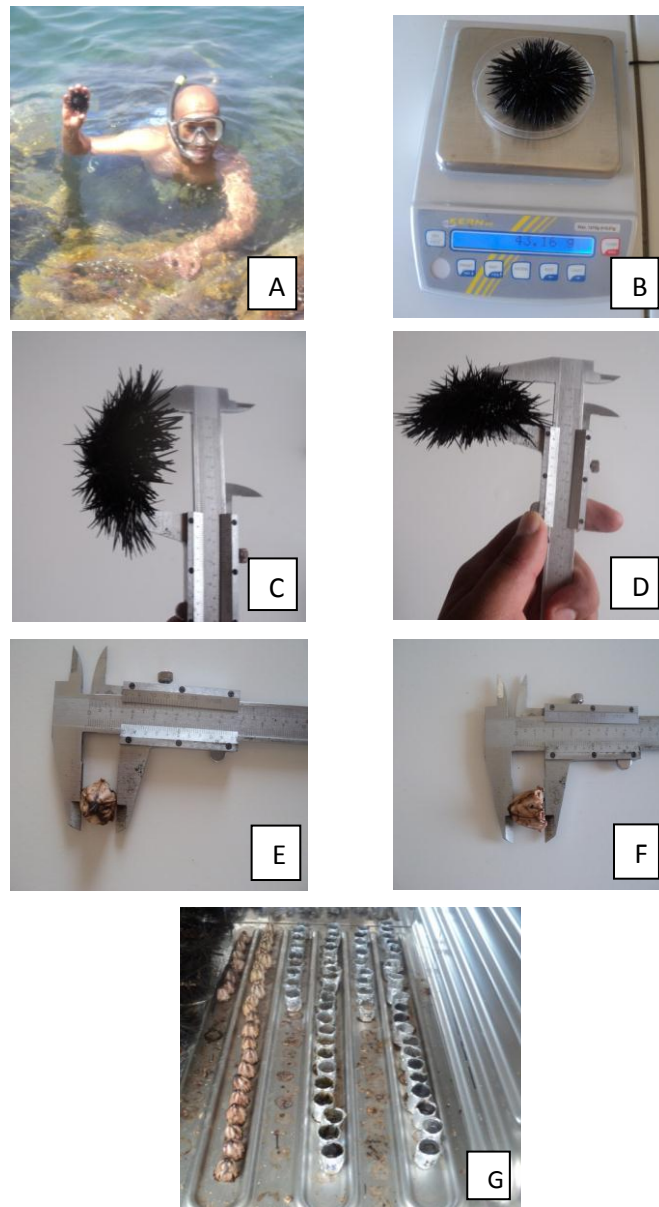
Au niveau du test, le diamètre a été évalué à l'ambitus et la hauteur dans le plan perpendiculaire, le long de l'axe oral-aboral. Pour la lanterne d'Aristote, nous avons mesurés le diamètre le plus large et la hauteur la plus grande dans le plan perpendiculaire jusqu'à l'extrémité des pyramides (à l'exclusion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

### III.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 16 G).

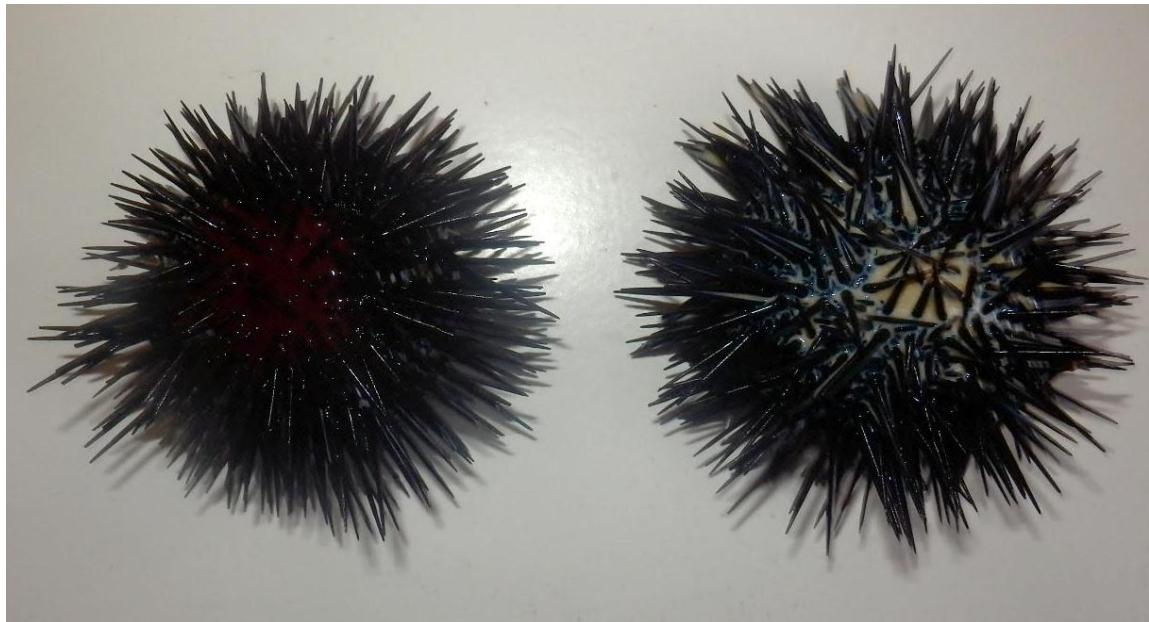
La prise du poids des oursins a été effectuée avec une balance de précision au 1/10 de mg près (figure 16 B). Pour chaque individu, les poids humides et sec ont été calculés.

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 16 G).



**Figure 16.** 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 17).



**Figure 17.** Liquide grenat émet par les **femelles** (à gauche) et blanchâtre produit par les **mâles** (à droite) d'*Arbacia lixula*. (Photo : M. ELAKKERMI).

### III.4. Suivi de la reproduction

#### III. 4.1. Le Sex-ratio

##### III.4.1.1. 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.

##### III.4.1.2. 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.

#### III.4.2. Suivie du développement gonadique

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 ; Lumingas, 1994).

Divers auteurs ont utilisé pour calculer cet indice soit des volumes (Moore, 1935), soit des poids humides (Lawrence *et al.*, 1975), soit un rapport entre volume et poids humide (Booolootian *et al.*, 1959 ; Giese, 1961 ; Fuji, 1967 ; Fénaux, 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 cœlomique 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 plusieurs chercheurs (Régis, 1979 ; Nédélec, 1983 ; Semroud et Kada, 1987 ; San Martin, 1990 ; Soualili, 2008 ; Sahnoun, 2009 ; Belkhedim, 2009 ; Dermeche, 2010).

Il s'exprime comme suit :

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

Le suivi temporel des indices gonadiques a été réalisé pour l'ensemble des échantillons prélevés, par sexe et par saison.

### III.4.3. Suivi de la maturation

Le développement gonadique qui tient compte à la fois du développement des gamètes et du tissu de réserves ne traduit pas nécessairement l'évolution de la gamétogenèse (Gonor, 1973). Le passage des réserves vers les gamètes ne fait augmenter que faiblement l'indice gonadique ; c'est l'accumulation des "phagocytes nutritifs" (trophocytes), cellules chargées de réserves, qui est responsable de l'augmentation de l'indice gonadique et non l'accumulation des gamètes eux mêmes (Régis, 1978). L'étude de la maturation, a été abordée en utilisant deux méthodes complémentaires : l'observation des variations mensuelles du pourcentage de maturité, et l'examen des coupes histologiques des gonades. Les stades de développement ont été différenciés macroscopiquement et microscopiquement en adaptant l'échelle de Fuji (1960), établie pour *Strongylocentrotus nudus* et *S. intermedius*, et adapté par Soualili (2008) pour l'espèce *Paracentrotus lividus* (Tableau 1).

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

<b>Stade 0</b>	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.
<b>Stade 1 (post-ponte)</b>	Observé chez les oursins qui ont déjà subi des maturations sexuelles. Les gonades sont petites. <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Chez les femelles</b> : 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.</li> <li>• <b>Chez les mâles</b> : les spermatogonies pariétales forment des ilots et dans le tissu nutritif qui remplit la glande, on observe encore quelques spermatozoïdes en voie de phagocytose.</li> </ul>
<b>Stade 2 (croissance)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Chez les femelles</b> : 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.</li> <li>• <b>Chez les mâles</b> : les spermatides différenciés forment des feuilles qui, en coupe, ont l'aspect de colonnettes pénétrant dans le tissu nutritif.</li> </ul>
<b>Stade 3 (pré-maturation)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Chez les femelles</b> : les ovocytes ont accumulé des substances de réserve et déjà quelques-uns ont subi la mitose réductionnelle.</li> <li>• <b>Chez les mâles</b> : la spermatogenèse est active. Au bout des colonnettes se détachent les premiers spermatozoïdes.</li> </ul>
<b>Stade 4 (maturation)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Les gonades <b>femelles</b> sont remplies d'ovules, on observe encore des ovogonies pariétales.</li> <li>• Les gonades <b>mâles</b> sont remplies de spermatozoïdes, mais sur les bords de la glande on observe une couche où la spermatogenèse est encore active.</li> </ul>
<b>Stade 5 (ponte)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Chez les femelles</b> : 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.</li> <li>• <b>Chez les mâles</b> : la quantité de spermatozoïdes résiduels, au début assez importante, diminue rapidement par phagocytose.</li> </ul>

### III.4.3.1. Prélèvement et traitement

#### III.4.3.1.1. Etude histologique des gonades

L'étude histologique des gonades a été réalisée sur 10 individus adultes, 5 oursins mâles 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 (Hémalun-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.

- **La fixation** : le liquide fixateur utilisé dans cette expérience est le formol dilué à 10%. La fixation est une étape essentielle qui permet la préservation des structures macroscopiques et microscopiques des gonades aussi proches 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).

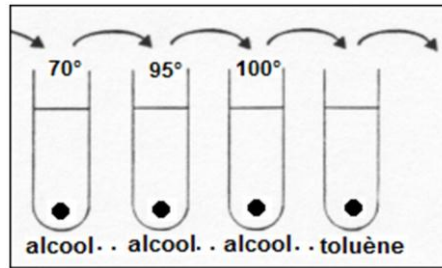
Après la fixation, les gonades fixées ont été lavées à l'eau courante pour éliminer le formol puis soumises à une série de traitements, pour les préparer à l'inclusion dans la paraffine.

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.

- **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 de blanchiment ou éclaircissement du protocole (figure 18).

- **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 19).

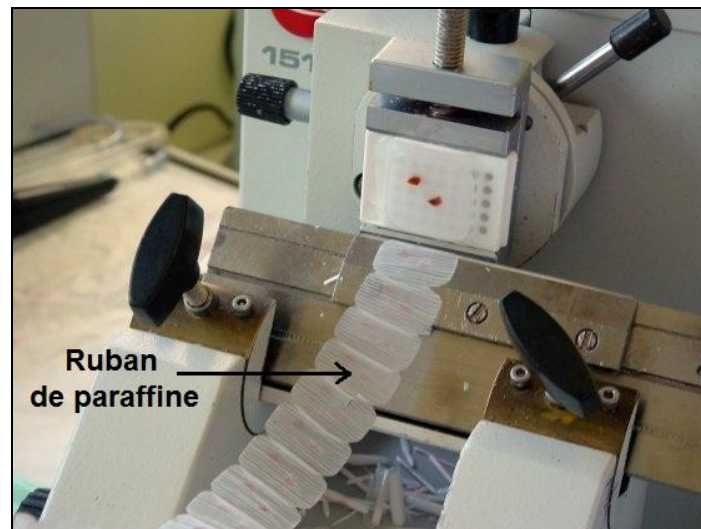
- **L'inclusion dans la paraffine ou enrobage** : permet de conférer à l'ensemble (la gonade et la paraffine), une consistance homogène avec une bonne adhérence. La mise en bloc se fait dans des moules spéciaux en acier, les moules d'inclusion qu'on remplit de paraffine liquide, pure et filtrée (figure 19). 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  $\mu\text{m}$  d'épaisseur sous forme d'un ruban, le ruban de paraffine (figure 20).



**Figure 18.** Déshydratation des gonades



**Figure 19.** Imprégnation et inclusion des gonades



**Figure 20.** Ruban de coupe sur microtome

- **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.

- **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. 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).

- **La coloration**

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.

- **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).

- **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.

### III.4.4. Analyses statistiques

Le tableur de feuille de calcul 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).

#### III.4.4.1. Test de Khi deux ( $\chi^2$ )

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 vérifier la distribution équilibrée entre les mâles et les femelles 1:1, nous avons utilisé le test Chi deux ( $\chi^2$ ).

#### III.4.4.2. 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.

#### III.4.4.3. 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 gonadiques moyens pour l'ensemble des prélèvements et, est entreprise pour préciser la différence significative ou pas des valeurs variances.

De nombreuses ANOVA ont été utilisées dans cette partie d'étude, à savoir ;

- Les différences de valeurs de l'IG entre les deux sites en fonction des saisons et des sexes ont été réalisées à l'aide d'une ANOVA à trois facteurs ( $p < 0.05$ ).

- Une ANOVA à un facteur a été également utilisée pour vérifier la variation mensuelle de l'IG ( $p < 0.05$ ).

#### **III.4.4.4. Test de Student**

Le test de Student est un test paramétrique qui compare la moyenne observée d'un échantillon statistique à une valeur fixée, ou encore la probabilité observée d'un caractère à une probabilité théorique. Il permet aussi de comparer les moyennes de deux échantillons statistiques (on parle alors de test de conformité).

Pour notre étude, on a utilisé ce test afin de comparer la variation de l'IG entre les deux années d'étude.

#### **III.4.4.5. Test de Pearson**

Le test de corrélation est utilisé pour évaluer une association (dépendance) entre deux variables ayant une distribution de type gaussien et ne comportant pas de valeur exceptionnelles. Il est appliqué dans notre étude pour analyser la corrélation existante entre l'IG et la température.

### **III.5. Suivi de l'activité trophique**

L'activité trophique de l'oursin est conditionnée par de nombreux facteurs dont la quantité et la qualité de la nourriture disponible, mais aussi par l'état physiologique de l'animal, (stade de maturité, stress, etc.). La qualité générale de l'environnement (facteurs abiotiques, pollution, ...), peut également influencer (Soualili, 2008).

#### **III.5.1. Indice de réplétion (IR)**

Selon Nédélec (1983), l'activité trophique peut être déterminée par les fluctuations du poids moyen des contenus digestifs. Dans le but de quantifier l'intensité de l'activité trophique des deux populations d'*A. lixula*, nous avons procédé au calcul de l'indice de réplétion.

L'indice de réplétion représente l'intensité de collecte de la nourriture macroscopique (Régis, 1978). L'indice généralement utilisé correspond au poids du contenu digestif sur celui de l'animal (Régis, 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 (Nédélec, 1983).

Les oursins utilisés pour le suivi de l'indice de réplétion sont les mêmes échantillons que ceux utilisés pour l'indice gonadique. Leurs protocoles de traitement et de suivi ont été décrits précédemment (paragraphe 3.2). L'analyse simultanée de ces deux paramètres, doit nous

permettre d'analyser l'influence dans le temps du milieu sur les deux fonctions, reproduction et alimentation, ainsi que leur éventuelle influence réciproque.

Il s'exprime comme suit :

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

Le suivi temporel des indices de réplétions a été réalisé pour l'ensemble des échantillons prélevés, mensuellement et en fonction des saisons.

### III.5.2. Analyse des contenus digestifs

Les oursins destinés à l'analyse du contenu digestive (au nombre de 05 individus) sont disséqués selon le plan équatorial à l'ambitus afin de récupérer le contenu digestif en suivant la technique utilisée par Soualili & Guillou (2009). Les contenus digestifs de ces individus (constitués de petite pelotes de taille et de formes diverses) ont été conservés dans de l'eau de mer formolée à 10%. L'analyse des contenus digestifs est effectuée par la méthode des contacts de Jones (1968) modifiée par Nédélec (1982). Cette méthode consiste à réaliser un déplacement aléatoire de la lame contenant un échantillon des contenus digestifs (prit au hasard) sous un microscope photonique (OPT-M100FX- Optika) au grossissement x40.

Dix (10) lames sont utilisées et dans chaque lame dix (10) observations (10 contacts) sont effectuées. Soit pour chaque oursin, cent (100) contacts sont accomplis, ce chiffre est assez représentatif pour avoir des résultats fiables (Fernandez et Caltagirone, 1998).

Sous l'objectif du microscope et, dans chaque position, l'item (aliment) situé exactement au centre du champ visuel est identifié ; il s'agit d'un contact.

Lorsque deux items sont superposés sous le réticule, un contact est compté pour chacune d'elles. La somme des contacts pour un item établit le pourcentage de sa présence dans le contenu digestif.

La contribution d'un aliment due à ces contacts s'évalue en pourcentage par le rapport entre le nombre de contacts obtenu pour cet aliment  $i$  et le nombre total de contacts réalisé.

$$\text{Cci} = (\text{Ci} / \text{Ct}) * 100$$

Cci : contribution d'un aliment.

Ci : nombre de contact pour l'aliment  $i$ .

Ct : nombre total de contacts.

La contribution moyenne de chaque item est calculée pour tous les individus.

### **III.5.3. Détermination du poids de la matière particulaire (MP) et de la matière organique (MO)**

Les zones soumises à une pollution complexe à dominance domestique sont considérées comme des milieux eutrophiés. Ces milieux sont caractérisés par une grande quantité de matière nutritive en suspension. Selon Péquignat (1972) et Delmas et Régis (1984), les oursins qui abritent ces milieux s'alimentent de l'abondante ressource en particules et en matières organiques présente en allongeant leurs piquants. Pour vérifier ce comportement, nous avons procédé aux calculs du taux de la matière particulaire dans l'eau de mer environnant des oursins à quelques centimètres, ainsi que la détermination de matière organique dans cette eau.

#### **III.5.3.1. Méthodologie**

##### **III.5.3.1.1. Echantillonnage**

Des prélèvements mensuels d'eau de mer environnant à quelques centimètres des oursins ont été effectués durant l'année 2016 dans des bouteilles en plastique de 1 litre.

Ces échantillons sont transportés au laboratoire dans une glacière à une température de 4 °C. La matière particulaire (MP) et la matière organique (MO) ont été déterminées en utilisant les filtres Whatman GF / C (porosité 0.45 µm) de 45 mm de diamètre (Kantin & Pergent-Martini, 2007).

##### **III. 5.3.1.2. Protocole analytique**

- Le filtre est déposé dans une nacelle d'aluminium, puis placé à l'étuve à 105 °C pendant 2 heures.
- Le filtre est refroidi dans un dessiccateur pendant 4 heures puis pesé à l'aide d'une balance (Denver Instrument®. M-220D) avec une précision de 0.1 mg (soit P1).
- Le filtre est placé sur l'entonnoir et on filtre un volume d'échantillon homogène (soit V) en utilisant une pompe à vide.
- Le filtre est placé dans un dessiccateur pendant 4 heures, ensuite pesé (P2).
- Ensuite, le filtre est replacé dans un creuset en porcelaine, puis pesé (soit P3)
- L'ensemble (filtre et creuset en porcelaine) est mis dans un four à moufle (Carbolite CWF 1200 ®) à 550 °C pendant 2 heures.
- Sortir l'ensemble du four et le laissé refroidir dans un dessiccateur durant 8 heures.
- Une fois refroidie, l'ensemble est pesé (soit P4).

$$[\text{MP}] \text{ mg. l}^{-1} = (\text{P2} - \text{P1}) / \text{V}$$

$$[\text{MO}] \text{ mg. l}^{-1} = (\text{P3} - \text{P4}) / \text{V}$$

P1 : poids du filtre vierge (g) (avant 105 °C).

P2 : poids du filtre + solides (g) (après 105 °C).

P3 : poids du filtre + solides avant calcination (g) (après 105 °C).

P4 : poids du filtre + solides après calcination (g) (après 550 °C).

V : Volume d'échantillon (ml).

#### III.5.4. Etude des piquants

Une analyse de la longueur des piquants primaires (les plus longs piquants qui s'articulent sur des grands tubercules) a été réalisée pour clarifier une éventuelle adaptation morpho-fonctionnelle d'*A. lixula* dans les deux sites étudiés.

L'étude de la longueur des piquants primaires a été effectuée sur un total de 246 oursins pour les deux sites d'étude à raison de 10 piquants primaires par individu soit 2460 piquants, ont été mesurés à l'aide d'un pied à coulisse aux 1/10 de mm près.

Le rapport longueur piquant sur le diamètre du test sans piquants établie par Régis (1986) est calculé pour la mise en évidence de l'allongement des piquants dans les milieux eutrophiés.

D'après Régis (1986), la longueur des piquants des oursins *P. lividus* (localisés dans une zone réputée non polluée) représentait le tiers du diamètre.

#### III.5.5. Analyses statistiques

Le traitement statistique des données a été réalisé avec le logiciel d'analyse de données Statistica V.6.1 (StatSoft France, 2003).

##### III.5.5.1. Test d'ANOVA

Des tests d'ANOVA à un seul critère de classification (à  $p < 0.05$ ) ont été utilisés pour tester la différence entre les variances de l'indice de réplétion (IR) en fonction des saisons, et entre les sites. Pour comparer la variation de l'IR entre les deux années d'études, un t-test de Student a été appliqué.

##### III.5.5.2. Test de Kruskal-Wallis

Le test non-paramétrique de Kruskal-Wallis (Kruskal et Wallis, 1952), est l'analogue de l'analyse de variance à un critère de classification destinée aux données quantitatives normales

(gaussiennes), avec l'avantage de ne pas tenir en compte de la loi de distribution de la variable étudiée ni de l'égalité des variances entre échantillons. Ce test est la généralisation de celui de Wilcoxon-Mann-Whitney et permet de déterminer si les  $k$  somme des rangs, se révèlent trop disparates pour que l'hypothèse nulle d'unicité de la population d'origine d'échantillons soit retenue (Scherrer, 1984). En d'autres termes, ce test permet de déterminer si les différents échantillons proviennent d'une même population ou si au moins un de ceux-ci provient d'une population différente. Dans cette partie de la thèse, le test de Kruskal-Wallis est utilisé pour vérifier la variation des différents groupes d'algues ( $p < 0.05$ ), en fonction des saisons et sites.

### III.5.5.3. Test de Student

Un autre t-test de Student a été utilisé pour comparer les différentes longueurs des piquants primaires d'*A. lixula* des deux populations.

### III.6. Suivi de la croissance

L'étude de la croissance est un paramètre fondamental pour toute approche structurale de la dynamique des populations d'une espèce.

Les données sur l'âge et la croissance des oursins sont essentielles à la compréhension des traits d'histoire de la vie des espèces et de populations. Elles constituent une base pour la connaissance de la longévité, l'âge au recrutement, l'âge de la maturité sexuelle, les périodes de reproduction, les migrations et la mortalité. Elles servent aussi à l'étude de la structure démographique des populations et de leur dynamique, par exemple dans des modèles d'estimation basé sur une structuration en âge (Panili *et al.*, 2002).

L'âge des échinoïdes pour une taille donnée et leur vitesse de croissance ont été déterminés selon diverses méthodes :

- l'analyse de la distribution des fréquences de tailles (Cripp et Willis, 1975 ; Keats *et al.*, 1985; Ebert *et al.*, 1993 ; Smith *et al.*, 1998). Elle permet de suivre l'évolution des cohortes qui représentent des ensembles d'animaux nés la même année (Laurec et Le Guen, 1981) au sein de la population.
- l'étude des stries d'accroissement dans certaines plaques du test (Jensen, 1969b ; Pearse et Pearse, 1975 ; Allain, 1978 ; Régis 1978 ; Sime, 1981 ; Azzolina, 1988 ; Gage, 1991, 1992 ; Lumingas et Guillou, 1994 ; Turon *et al.*, 1995; Soualili *et al.*, 1999 ; Sellem *et al.*, 2000)
- la mesure de la croissance *in situ* (Régis, 1978 ; Azzolina, 1988 ; Delmas, 1992)
- la mesure de la croissance *in vitro* (Fuji, 1967 ; Régis, 1978 ; Cellario et Fénaux, 1987 ; Fénaux *et al.*, 1992 ; Grosjean, 2001).

- Les techniques de marquage ont été développées qui permettent une estimation plus précise. Ces procédures de marquage varient de l'introduction dans la cavité coelomique de marqueurs internes (Hagen, 1996 ; Kalvas *et al.*, 1998), à l'ancrage sur le test de marqueurs externes (Neill, 1987 ; Clemente *et al.*, 2007) ou encore l'utilisation de marqueurs chimiques comme la calcéine ou les fluorochromes de tétracycline (Hagg *et al.*, 2013, Rodríguez *et al.*, 2015).

La croissance linéaire ou pondérale est exprimée en dynamique des populations sous forme de modèle mathématique à partir de la relation liant la taille ou le poids à l'âge. La détermination de la clé âge taille peut être obtenue de manière **directe**, par lecture des stries d'accroissement du test (par exemple), ou par analyse des méthodes **indirectes** statistiques.

**Les méthodes directes** font appel à l'analyse des stries d'accroissement, utilisée couramment en biologie des pêches, pour établir rapidement un modèle de croissance pour l'espèce considérée. En ce qui concerne les oursins, les plaques coronales génitales et inter-ambulacraires peuvent être utilisées à cet effet (Moore, 1935 ; Jensen, 1969a).

Les zones d'accroissement sont formées de façon saisonnière, les zones opaques résultant d'une croissance relativement rapide des plaques, les zones translucides résultant d'une croissance plus lente (Jensen, 1969a ; Dix, 1972 ; Pearse et Pearse, 1975). Une valeur annuelle ne peut être attribuée aux stries observées qu'après leur validation soit par des méthodes directes de marquage, soit par une approche indirecte du suivi de la progression de modes d'individus dont le nombre de stries est connu.

**Les méthodes indirectes** font appel à une estimation statistique de l'âge à partir des distributions de fréquences de tailles dans une population. La méthode la plus couramment utilisée est celle de Petersen (1892). Celle-ci a par la suite été améliorée par différentes techniques (Harding, 1949 ; Bhattacharya, 1967 ; Gheno et Leguen, 1968).

L'objectif de cette partie expérimentale est la détermination de la structure de taille de la population, la croissance linéaire et pondérale, estimation de l'âge et la relation taille-poids d'*A.lixula*. Pour la réalisation de cette tâche on a adopté la méthode indirecte

### III.6.1. Méthodologie

Ce travail se propose d'étudier la croissance d'*A.lixula* par l'analyse de la distribution des fréquences de taille. Nous nous sommes servis des logiciels FISAT II, LFDA, et Microsoft Office Excel 2010 pour l'exploitation de nos données.

### **III.6.1.1. Echantillonnage**

Les prélèvements ont été réalisés sur une période d'une année, de Janvier à Décembre 2016. La collecte des spécimens s'effectue par plonger à une profondeur de 3 m dans les deux sites d'études (Salamandre et Stidia). Un bon nombre d'oursins noirs à été récolté mensuellement. Le nombre d'individus recueillis chaque mois n'est pas le même. En essayant de couvrir toute la gamme de taille, les petits spécimens ayant un diamètre inférieur à trente (30) millimètre ont été mesurés *in situ*. On note que le diamètre horizontal du test sans les piquants a été défini comme étant la taille de l'oursin (en mm).

### **III.6.1.2. Etude de la croissance**

#### **III.6.1.2.1. Croissance linéaire**

Selon Laslett *et al.*, (2002), la croissance est un des processus majeurs de la biologie des êtres aquatiques et constitue un des paramètres clés des modèles structurés en longueur (Chen *et al.*, 2003). Les conditions de température et de nourriture paraissent intervenir essentiellement dans la croissance. Cette dernière est rapide à une température élevée ; elle peut même s'arrêter dans les zones où le refroidissement est important en hiver. L'expérience montre que ni la température, ni la salinité n'agissent séparément sur la physiologie de l'animal au cours du développement larvaire, c'est la combinaison des deux facteurs qui doit être considérée (Belhoucine, 2012).

#### **III.6.1.2.2. Analyse de structure de taille**

Elle est toujours délicate, même avec des techniques statistiques les plus élaborées, l'analyse visant à la séparation des différentes composantes d'une distribution de taille est souvent faite avec une interprétation plus ou moins subjective. Pour cette raison l'emploi des méthodes d'analyse des tailles a été souvent discuté. Cependant, ces méthodes restent, malgré tout, les plus employées, d'une part parce qu'elles constituent souvent le seul recours, d'autre part parce qu'elles sont plus faciles à mettre en évidence (Mouffok, 2006).

### **III.6.2. Modèle de croissance linéaire de Von Bertalanffy (1938)**

De nombreux modèles de croissance ont été développés. Pauly et Moreau (1997) ont réalisé une large revue. Néanmoins, un modèle prédomine largement pour décrire la croissance en diamètre et poids des oursins. Il s'agit de celui élaboré par Von Bertalanffy (1938).

Von Bertalanffy (1938) à base de ces deux processus différents : l'anabolisme qui génère une augmentation du poids de l'animal et du catabolisme par lequel le poids de l'animal diminue, a pu développer le modèle de croissance de Von Bertalanffy (1938), puisque les deux processus agissent simultanément et continuellement pendant toute la vie de l'individu. Selon Von Bertalanffy (1938), la croissance des animaux est proportionnelle au poids. Elle est très rapide chez les jeunes, elle devient de plus en plus lente avec l'âge. Le modèle de croissance linéaire de Von Bertalanffy (1938) est la forme qu'on rencontre le plus couramment en halieutique.

$$D_{(t)} = D_{\infty} [1 - \exp^{-K(t - t_0)}]$$

Bien que Von Bertalanffy (1938) ait justifié son modèle par des considérations métaboliques, il est préférable de le voir comme un modèle descriptif, et être prudent de ne pas attribuer trop de signification biologique aux paramètres  $D_{\infty}$ ,  $K$  et  $t_0$  qui ne font que résumer l'ensemble de données disponibles.

Les définitions actuelles que l'on peut en donner sont les suivantes :

$D_{\infty}$  : c'est le diamètre asymptotique. Théoriquement c'est le diamètre moyen qu'atteindra un oursin qui pourra vivre et grandir indéfiniment ;

$K$  : c'est le coefficient de croissance (ou paramètre de courbure). Il caractérise la rapidité avec laquelle l'oursin croît vers le diamètre asymptotique ;

$t_0$  : c'est l'âge théorique pour lequel l'oursin a un diamètre nul. Il désigne le point de départ de la courbure de croissance sur l'axe des temps si l'oursin avait grossi selon le modèle de croissance de Von Bertalanffy (1938).

Ces paramètres sont donc des valeurs mathématiques et n'ont pas de significations biologiques précises dans le sens strict du terme. Les courbes de croissance ne sont valables en toute rigueur que dans l'intervalle d'âge ou de diamètre correspondant aux données observées.

### III.6.3. Croissance relative (Relation diamètre-poids)

La croissance relative ou allométrique permet de comparer la croissance des différentes parties du corps chez un individu et de suivre l'évolution de sa forme. Pendant toute la vie de l'oursin, son diamètre et son poids sont fortement corrélés.

La relation Diamètre-poids se traduit par la formule de type :  $W = aD^b$ .

Dans notre étude on va utiliser le poids total ( $W_t$ ) et le Diamètre totale ( $D_t$ ). Les paramètres  $a$  et  $b$  sont estimés en définissant  $b$  comme coefficient d'allométrie

La valeur que prendra le coefficient  $b$  définira le type de croissance relative :

$b > 3$  : l'allométrie dite majorante ou positive, c'est-à-dire que le poids de l'individu croît plus vite que le cube du diamètre.

$b < 3$  : l'allométrie dite minorante ou négative, c'est-à-dire que le poids de l'individu croît relativement moins vite que le cube du diamètre.

$b = 3$  : la croissance est dite isométrique ou nulle, cela signifie que le poids et le cube du diamètre croît de la même manière.

### III.6.4. Model de croissance pondérale

A partir de l'équation de Von Bertalanffy (1938) :  $D_{(t)} = D_{\infty} (1 - \exp^{-K [t - t_0]})$

Et l'équation de la relation Diamètre / poids :  $W_{\infty} = a D_{\infty}^b$

On peut établir la relation pondérale :  $W_{(t)} = W_{\infty} (1 - \exp^{-K [t - t_0]})^b$

$W_{(t)}$  : poids à l'instant t (en g).

$W_{\infty}$  : poids asymptotique de l'oursin (g).

$b$  : coefficient d'allométrie.

$t_0$  : âge auquel le diamètre est théoriquement nul.

$K$  : coefficient de croissance.

### III.6.5. Analyse de données

#### III.6.5.1. Détermination des paramètres de croissance de Von Bertalanffy (1938)

##### III.6.5.1.1. Diamètre asymptotique $D_{\infty}$

L'estimation de ce paramètre se fait par plusieurs méthodes :

##### ✓ Méthode de Pauly (1980)

Dans cette méthode  $D_{\infty}$  dépend de  $D_{\max}$ , le diamètre le plus grand de l'oursin mesuré dans l'échantillon.

$$D_{\infty} = D_{\max} / 0.95$$

##### ✓ Méthode de Powell-Wetherall (1987) (in Gayanilo et al., 2002)

Cette méthode est une application spéciale de l'équation de Von Bertalanffy (1938) permettant la détermination du paramètre  $D_{\infty}$  et du rapport  $Z / K$  à partir de l'équation linéaire suivante :

$$D_m - D' = a + b D'$$

$D_m$  : diamètre moyen (cm), calculé à partir de  $D'$

$D'$  : limite inférieure de chaque classe de taille (cm)

$a$  : ordonné à l'origine

$b$  : pente de la droite de régression.

Les résultats sont cumulés du bas vers le haut de la distribution de fréquence de taille.

$$D_\infty = -a / b$$

$$Z / K = -(1 + b) / b$$

### III.6.5.1.2. Coefficient de catabolisme K

La variable K peut être estimée à partir de la relation empirique de Pauly et Munro (1984). Ces auteurs ont montré que pour les espèces dont la croissance suit l'équation de Von Bertalanffy (1938), les paramètres de croissance  $D_\infty$  et K sont liés par l'indice de performance ( $\emptyset'$ ) :

$$\emptyset' = \log K + 2 \log D_\infty$$

Toujours, selon ces auteurs  $\emptyset'$  est caractéristique de l'espèce et les valeurs de  $\emptyset'$  d'une espèce donnée suivent une distribution normale, ce qui implique que leur moyenne permet d'estimer K. Par ailleurs, quelle que soit la méthode utilisée pour estimer  $D_\infty$  et K, les valeurs de  $\emptyset'$  d'une espèce donnée devraient être voisines. Le calcul de l'indice de performance  $\emptyset'$  pour l'espèce *A. lixula* est réalisé à travers la méthode de Pauly et Munro (1984).

#### ✓ Méthode d'ELEFAN

C'est une méthode non paramétrique qui utilise un ou plusieurs échantillons collectés à des dates différentes. Pour chaque couple de valeurs exploratoires des paramètres de l'équation de Von Bertalanffy (1938) et pour chaque date correspondant à une distribution en taille, les modes théoriques aux âges sont calculés. Certains modes théoriques coïncident avec les modes observés. La technique consiste à déterminer les paramètres  $D_\infty$  et K qui maximisent le nombre de modes expliqués. L'ajustement est réalisé par l'intermédiaire d'un coefficient R égale au rapport du nombre de modes expliqués (Explained Sum of Peaks, ESP) sur le nombre de modes disponibles ou modes observés (Available Sum of Peaks, ASP) :  $R = (ESP/ASP) * 1000$ . Le meilleur ajustement est celui présentant le rapport le plus élevé (Pauly et Moreau, 1997)

### III.6.5.1.3. Expression de l'âge

Il existe trois façons d'exprimer l'âge d'un oursin, considéré de manière individuelle, ou l'âge moyen d'une cohorte. Ce sont :

- **L'âge absolu** : il est défini par rapport à la date exacte de naissance de l'espèce ou à la date moyenne de naissance de la cohorte ;
- **L'âge relatif** : il est fixé en référence à un événement remarquable dans la vie de l'oursin ou de la cohorte. Le plus souvent on se réfère au recrutement, et l'âge est alors compté à partir de la date ou (la date moyenne) de recrutement, auquel est associée un diamètre (moyenne) de recrutement ;
- **L'âge conventionnel** : il est compté en référence à une date choisie de manière conventionnelle ou arbitraire. Le plus souvent cette date est fixée au 1er janvier ; l'âge conventionnel est alors égal au nombre de 1er janvier que l'espèce a connu dans sa vie.

Quelle que soit l'expression de l'âge utilisé, l'équation du modèle de Von Bertalanffy (1938) reste naturellement inchangée. En outre, la valeur des paramètres  $K$  et  $D_{\infty}$ , qui déterminent la vitesse de croissance et le diamètre asymptotique sont également indépendantes de la manière dont l'âge est compté. En revanche, le paramètre de  $t_0$ , qui fixe l'âge théorique de diamètre nulle diffère selon cette expression de l'âge. A ce propos, Sparre (1987) conclut que "mathématiquement il n'y a aucune différence entre un modèle de croissance basé sur l'âge absolue et celui basé sur la taille associée à un âge conventionnel (ou arbitraire) d'une cohorte. Ces deux modèles ne diffèrent que dans l'interprétation du paramètre de condition initiale  $t_0$  et du concept d'âge.

Dans notre cas, compte tenu des difficultés à déterminer la date moyenne de naissance des cohortes ou de recrutement, on utilisera un âge conventionnel. Dès lors, le paramètre  $t_0$  est déterminé à partir de la taille moyenne du premier mode observé par la relation suivante :

$$t_0 = 1 + \frac{\text{Ln} \left( 1 - \frac{D_1}{D_{\infty}} \right)}{K}$$

Où :  $t_0$  = âge conventionnel théorique pour lequel l'oursin a un diamètre nul.

$D(1)$  = taille moyenne du premier mode correspondant au premier groupe d'âge.

$K$  et  $D_{\infty}$  = paramètres de croissance de l'équation de Von Bertalanffy (1938).

### III. 6.6. Analyses des structures d'âge

#### ✓ Méthode de Bhattacharya, 1967

Cette méthode se base sur le fait d'une distribution, ne comportant pas de classe vide, peut être transformé en droite de pente négative, en portant en ordonnée, pour chaque abscisse les centres de classes. La quantité  $\Delta \text{Ln} N$  étant la différence des logarithmes népériens de fréquences consécutives dans la distribution (Olivier *et al.*, 1992).

L'équation s'écrit comme suit :

$$\Delta \text{Ln} N = \text{Ln} N_{(x+h)} - \text{Ln} N_{(x)}.$$

$N_{(x+h)}$  et  $N_{(x)}$  sont respectivement les effectifs des centres de classe  $(x+h)$  et  $(x)$ .

$h$  : intervalle de classe

$X$  : centre de classe

On recherche sur le graphique les régions ou plusieurs points consécutifs sont alignés, sur des droites de pente négatives. Le nombre de droites obtenues constitue le nombre de sous-populations. On suppose que chaque sous-population correspond à une classe d'âge. Elle nous permet la détermination des différents groupes d'âge et les tailles moyennes des différents âges.

### III.6.7. Relations allométrique

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 (Allain, 1975 ; Régis, 1981 ; Dafni, 1983 ; Marcus, 1983 ; Black *et al.*, 1984 ; Telford, 1985 ; Russell, 1987 ; Ebert, 1988 ; 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).

$y = b x^a$  Où  $a$  (coefficient de régression) et  $b$  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, à l'aide du test (t) de Student ( $p < 0.05$ ) :

- ✓ Si  $a$  n'est pas différent de 1, on parle d'allométrie simple ou isométrie. Les deux variables  $x$  et  $y$  croissent à la même vitesse.
- ✓ Si  $a < 1$ , on parle d'allométrie minorante ou négative, c'est-à-dire que la variable  $y$  croît moins vite que la variable  $x$ .
- ✓ Si  $a > 1$ , 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 allométrique étudiées dans le présent travail, a été effectuée à l'aide du logiciel d'analyse de données Statistica V.6.1 (StatSoft France, 2003).

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

### III.6.7.1. 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.

### **III.6.7.2. 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.

### **III.6.7.3. 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.

*Quatrième Partie*

---

***Résultats et discussion***

## IV.1. Suivi de la reproduction

### IV.1.1. Sex-ratio

Le sex-ratio se définit comme étant le rapport existant entre l'abondance d'un sexe par rapport à l'autre dans une population. L'analyse de ce paramètre cité ci-dessus nous permet de dégager les grands traits de la répartition des mâles et des femelles au sein des deux populations étudiées de l'oursin noir vivant respectivement dans les sites de Salamandre et Stidia.

#### IV.1.1.1. Sex-ratio global

Le sex-ratio a été déterminée sur la base des données recueillies durant 24 mois de prélèvements (de Janvier 2015 à Décembre 2016) et sur une cueillette de 662 oursins noirs récoltés du site de Salamandre et 680 oursins noirs collectés du site de Stidia, soit un total de 1342 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.

Site	<i>Salamandre</i>		<i>Stidia</i>	
	M	F	M	F
<b>Effectifs</b>	358	304	368	312
<b>Total</b>	662		680	
<b>Pourcentage %</b>	54.08	45.92	54.12	45.88
<b>Intervalle de Confiance (IC)</b>	3,80		3,75	
<b>Sex-ratio global (rapport M/F)</b>	1.177		1.179	

Le taux de masculinité total dans le site de Salamandre est de 54.08 %, les mâles sont donc plus nombreux que les femelles dont le pourcentage est de 45.92%. La même chose a été constatée pour le site de Stidia où le taux de masculinité total est de 54.12 % et le taux de féminité est de 45,88%. 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*, où le taux de femelles est plus élevé que le taux de mâles à Mostaganem (Salamandre et Sidi Lakhdar) (Boukhelf, 2012 ; Boukhelf *et al.*, 2018) et dans différentes régions de la côte Algérienne (Guettaf, 1997 ; Soualili, 2008 ; Sahnoun, 2009 ; Belkhedim, 2009 ; Dermeche, 2010 ; Kouadri Mostefai, 2014).

### IV.1.1.2. Sex-ratio mensuel

La répartition des sexes des deux populations provenant des deux sites, est mentionnée dans le Tableau 3.

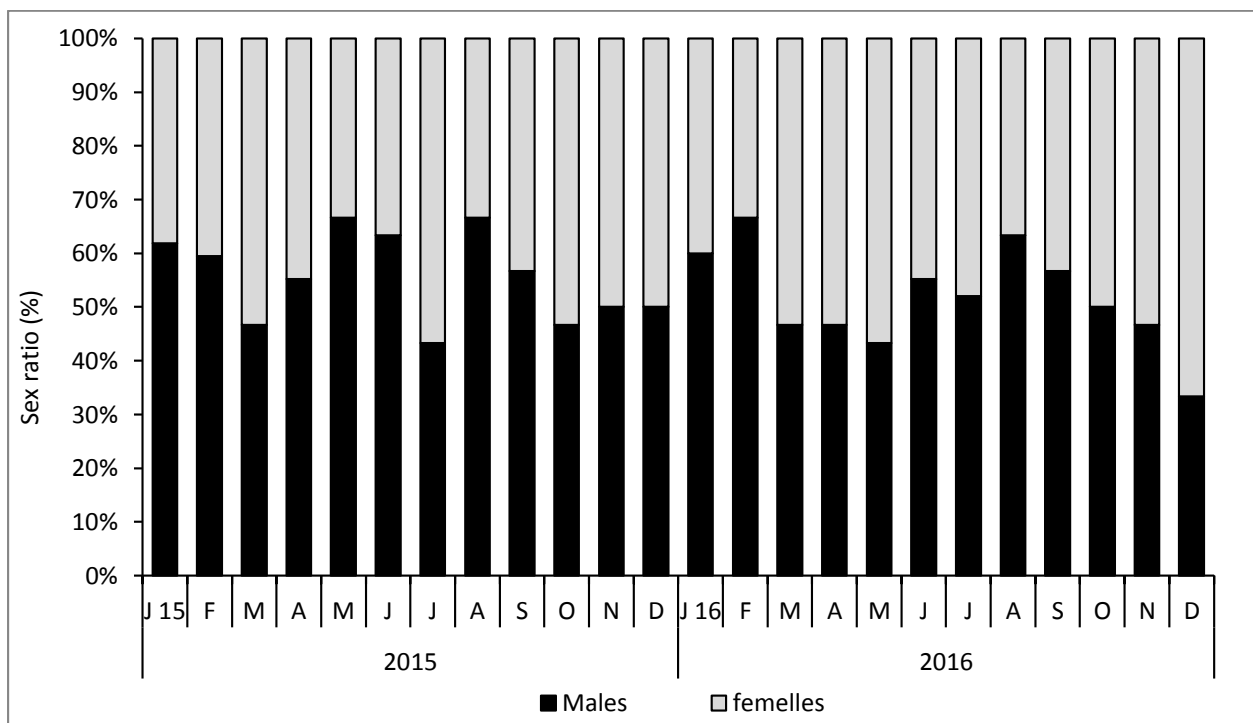
**Tableau 3.** Les valeurs du Sex-ratio mensuel d'*Arbacia lixula* obtenues entre 2015 et 2016 au niveau des stations de Salamandre et Stidia. Nm - effectif des mâles ; Nf - effectif des femelles ; Nt - nombre total des mâles et des femelles ; pourcentage des mâles (% m = [Nm / Nt] \* 100) ; pourcentage de femelles (% f = [Nf / Nt] \* 100) ; rapport mâles / femelles (m / f) ; Test d'adéquation du chi deux ( $\chi^2$ ). Aucun mois n'a montré d'écart par rapport au rapport attendu (1: 1) avec des valeurs  $p > 0.05$ .

Année	Mois	Salamandre								Stidia							
		Nm	Nf	Nt	%m	%f	m/f	$\chi^2$	p	Nm	Nf	Nt	%m	%f	m/f	$\chi^2$	p
2015	J	13	8	21	61.90	38.10	1.63	1.19	0.28	13	7	20	65.00	35.00	1.86	1.80	0.18
	F	22	15	37	59.46	40.54	1.47	1.32	0.25	14	16	30	46.67	53.33	0.88	0.13	0.72
	M	14	16	30	46.67	53.33	0.88	0.13	0.72	18	12	30	60.00	40.00	1.50	1.20	0.27
	A	16	13	29	55.17	44.83	1.23	0.31	0.58	19	11	30	63.33	36.67	1.73	2.13	0.27
	M	20	10	30	66.67	33.33	2.00	3.33	0.07	18	12	30	60.00	40.00	1.50	1.20	0.27
	J	19	11	30	63.33	36.67	1.73	2.13	0.14	17	13	30	56.67	43.33	1.31	0.53	0.47
	J	13	17	30	43.33	56.67	0.76	0.53	0.47	16	14	30	53.33	46.67	1.14	0.13	0.72
	A	20	10	30	66.67	33.33	2.00	3.33	0.07	16	14	30	53.33	46.67	1.14	0.13	0.72
	S	17	13	30	56.67	43.33	1.31	0.53	0.47	15	15	30	50.00	50.00	1.00	0.00	1.00
	O	14	16	30	46.67	53.33	0.88	0.13	0.72	18	12	30	60.00	40.00	1.50	1.20	0.27
	N	10	10	20	50.00	50.00	1.00	0.00	1.00	15	15	30	50.00	50.00	1.00	0.00	1.00
D	15	15	30	50.00	50.00	1.00	0.00	1.00	16	14	30	53.33	46.67	1.14	0.13	0.72	
2016	J	18	12	30	60.00	40.00	1.50	1.20	0.27	15	15	30	50.00	50.00	1.00	0.00	1.00
	F	14	7	21	66.67	33.33	2.00	2.33	0.13	16	14	30	53.33	46.67	1.14	0.13	0.72
	M	14	16	30	46.67	53.33	0.88	0.13	0.72	19	11	30	63.33	36.67	1.73	2.13	0.14
	A	14	16	30	46.67	53.33	0.88	0.13	0.72	16	14	30	53.33	46.67	1.14	0.13	0.72
	M	13	17	30	43.33	56.67	0.76	0.53	0.47	13	17	30	43.33	56.67	0.76	0.53	0.47
	J	16	13	29	55.17	44.83	1.23	0.31	0.58	13	17	30	43.33	56.67	0.76	0.53	0.47
	J	13	12	25	52.00	48.00	1.08	0.04	0.84	17	13	30	56.67	43.33	1.31	0.53	0.47
	A	19	11	30	63.33	36.67	1.73	2.13	0.14	15	15	30	50.00	50.00	1.00	0.00	1.00
	S	17	13	30	56.67	43.33	1.31	0.53	0.47	19	11	30	63.33	36.67	1.73	2.13	0.14
	O	15	15	30	50.00	50.00	1.00	0.00	1.00	13	17	30	43.33	56.67	0.76	0.53	0.47
	N	7	8	15	46.67	53.33	0.88	0.07	0.80	6	9	15	40.00	60.00	0.67	0.6	0.44
	D	5	10	15	33.33	66.67	0.50	1.67	0.20	11	4	15	73.33	26.67	2.75	3.27	0.07

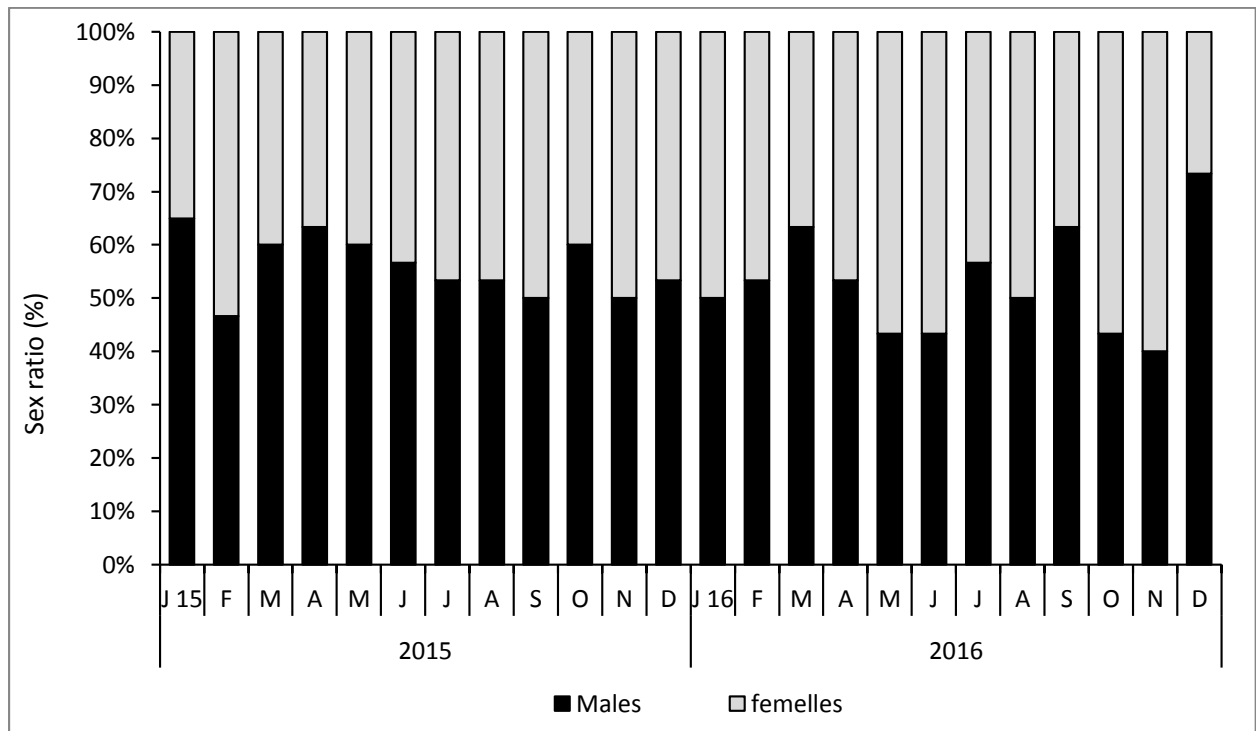
Le sex-ratio total obtenu ne diffère pas de manière significative de 1:1 (Salamandre : m/f = 1.177,  $\chi^2 = 22.04$  ( $p > 0.05$ ) ; Stidia : m/f = 1.179  $\chi^2 = 19.13$  ( $p > 0.05$ ). On remarque aussi qu'aucun sex-ratio mensuel ne différait significativement d'une proportion de 1: 1 ( $\chi^2, p > 0.05$ ).

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

En effet, à la Salamandre le taux de femelles est élevé durant les deux mois de Mars, Juillet et Octobre 2015 avec des valeurs respectives de 53.33 %, 56.67 % et 53.33 % par rapport aux taux de mâles. Tandis que le taux de femelles devance celui des mâles durant les mois Mars, Avril, Mai et Décembre 2016 par les valeurs respectives 53.33 %, 53.33 %, 56.67 % et 66.67 %. Le taux de femelles est égal au taux de mâles au mois de Novembre et Décembre de l'année 2015 (Tableau 3, Figure 21) et en Octobre 2016. Pour le reste des mois, et durant les deux années de l'étude, le pourcentage est en faveur des mâles par rapport aux femelles, donc le taux de masculinité est plus élevé.



**Figure 21.** Pourcentages mensuels des mâles et des femelles au niveau de la Salamandre durant la période de Janvier 2016 jusqu'à Décembre 2016.



**Figure 22.** Pourcentages mensuels des mâles et des femelles au niveau de la *Stidia* durant la période de Janvier 2016 jusqu'à Décembre 2016.

Concernant le site de *Stidia*, durant la première année 2015, les femelles ont enregistré une supériorité aux mâles seulement au mois de Février par un taux de 53.33%. Par ailleurs, le taux de mâles est semblable à celui des femelles durant les mois de Septembre et Novembre 2015. Au cours de la deuxième année de l'étude (2016), le nombre de femelles était supérieur à celui des mâles durant les mois de [Mai, Juin, Octobre et Novembre 2016] avec des taux respectifs de 56.67 %, 56.67 %, 56.67 % et 60 %. Pour le reste des mois le pourcentage des mâles est supérieur à celui des femelles. Ce qui explique que le sex ratio est aussi en faveur des mâles par rapport aux femelles à *Stidia* (Tableau 3, Figure 22).

- **Discussion**

Les résultats du Sex ratio obtenus pour l'espèce *Arbacia lixula* des côtes de Mostaganem, ont montré une dominance des mâles par rapport aux femelles et cela dans les deux sites étudiés. Ce résultat est à l'inverse de la répartition des sexes chez l'espèce *Paracentrotus lividus* étudié dans le même site de Salamandre, où les travaux de Sahnoun (2009) et Boukhelf (2012) ont rapporté une large dominance des femelles par rapport aux mâles. Ces observations pour *P. lividus* concordent avec celles mentionnées par Soualili (2008) dans la baie d'Alger, Belkhedim (2009) à Oran, Kouadri Mostefai (2014) à Arzew. Cependant, 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 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 ratio global et mensuel est égal à 1 et aucune différence entre les sexes n'a été relevée (Lima *et al.*, 2009).

Selon Mc Pherson (1965), la différence dans la croissance et la mortalité pourraient être à l'origine de la dominance d'un sexe par rapport à l'autre. 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.

#### **IV.1.2. Suivi du développement gonadique**

##### **IV.1.2.1. Evolution de l'indice gonadique**

Notre étude s'est déroulée sur 1342 spécimens d'oursins noirs (voir Tableau 2, partie Sex-ratio global), pendant une période de vingt-quatre (24) mois de Janvier 2015 à Décembre 2016, et dont le but était évaluer les modalités de la reproduction d'*Arbacia lixula* dans le littoral Mostaganémois au niveau de deux biotopes différents du point de vue position géographique, composition florale et faunistique, et pollution, nous avons étudié les variations annuelles, mensuelles et saisonnières de l'indice gonadique (IG). Cet indice est défini comme le rapport de la masse de la gonade sèche sur le diamètre du test au cube.

**Tableau 4.** Evolution mensuelle de l'indice gonadique moyen exprimé en  $\text{mg}/\text{cm}^3$ . Moyenne  $\pm$  écart type pour l'ensemble des deux populations d'*A.lixula* (Salamandre et Stidia).

Mois	Salamandre		Stidia	
	2015	2016	2015	2016
Janvier	2.34 $\pm$ 1.22	5.61 $\pm$ 4.33	2.71 $\pm$ 1.59	4.13 $\pm$ 1.77
Février	3.87 $\pm$ 2.64	6.06 $\pm$ 4.62	2.60 $\pm$ 1.35	6.21 $\pm$ 3.17
Mars	4.85 $\pm$ 2.70	7.93 $\pm$ 3.28	4.27 $\pm$ 2.12	6.25 $\pm$ 2.65
Avril	8.83 $\pm$ 4.74	8.49 $\pm$ 6.15	3.37 $\pm$ 2.30	7.89 $\pm$ 3.02
Mai	9.80 $\pm$ 5.12	11.11 $\pm$ 5.62	7.45 $\pm$ 3.43	9.30 $\pm$ 5.41
Juin	4.61 $\pm$ 2.99	10.40 $\pm$ 5.46	4.55 $\pm$ 1.43	9.77 $\pm$ 7.15
Juillet	3.92 $\pm$ 1.52	1.75 $\pm$ 0.91	2.83 $\pm$ 1.04	3.53 $\pm$ 3.96
Aout	2.46 $\pm$ 1.22	1.11 $\pm$ 0.39	3.91 $\pm$ 3.61	1.37 $\pm$ 0.64
Septembre	3.08 $\pm$ 1.54	0.89 $\pm$ 0.30	2.72 $\pm$ 1.88	1.25 $\pm$ 0.41
Octobre	4.66 $\pm$ 3.26	2.90 $\pm$ 1.67	4.47 $\pm$ 2.53	3.54 $\pm$ 0.99
Novembre	2.84 $\pm$ 1.35	3.45 $\pm$ 2.56	2.85 $\pm$ 1.69	3.77 $\pm$ 1.65
Décembre	1.56 $\pm$ 1.03	4.23 $\pm$ 3.97	1.69 $\pm$ 1.20	5.23 $\pm$ 2.04

Durant la première année (2015), le suivi mensuel de l'IG d'*A.lixula* réalisé à Stidia montre une période d'accroissement du volume des gonades allant de Janvier à Mai (Figure 24). Le volume maximal des gonades est atteint en Mai 2015 pour les deux sexes par  $7.45 \pm 3.43 \text{ mg}/\text{cm}^3$  (Tableau 4, Figure 24), pendant la saison printanière (Figure 25). A partir de Mai, cet indice chute brutalement chez les deux sexes et atteint des valeurs minimales en été (Juillet) par  $2.83 \pm 1.04 \text{ mg}/\text{cm}^3$ . Puis un autre pic de moindre importance est observé pour les deux sexes en Octobre ( $2.53 \pm 4.47 \text{ mg}/\text{cm}^3$ ) qui chute et atteint des valeurs minimales jusqu'en Janvier (Tableau 4, Figure 23 et 24).

Dans le site de Salamandre, la période d'accroissement des gonades est printanière avec un maximum de croissance  $11.11 \pm 5.62 \text{ mg}/\text{cm}^3$  en mois de Mai (tous sexes confondus) (Tableau 4, Figure 24). Ce pic est atteint par les femelles en Avril et en Mai par les mâles (Figure 23), visible sur la figure 25 durant la saison printanière. Ceci montre que les femelles du site de Salamandre ont débuté l'émission des gamètes un peu plus tôt au mois d'Avril par rapport aux mâles.

Dans les deux sites, un deuxième pic de faible amplitude est observé au mois d'Octobre pour les deux sexes (Figure 23 et 24) par la valeur de  $4.66 \pm 3.26 \text{ mg/cm}^3$ . Les valeurs minimales de l'IG des deux sexes sont obtenues durant la saison hivernale (Décembre 2015) (Figure 23, 24 et 25) avec la valeur de  $1.56 \pm 1.03 \text{ mg/cm}^3$ .

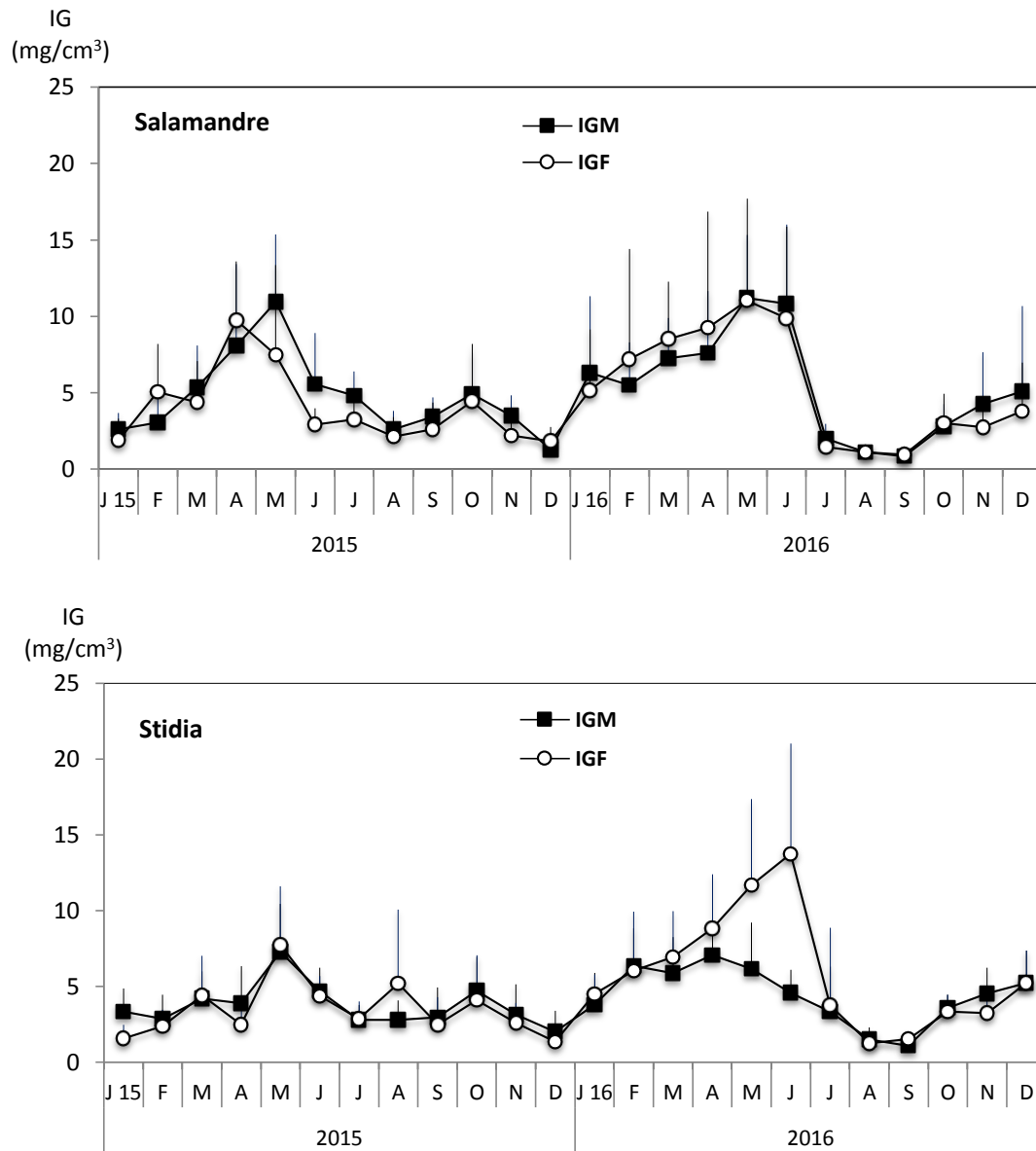
Pour la deuxième année 2016, l'indice gonadique montre une évolution mensuelle similaire avec celle de l'année 2015 dans les deux sites avec cependant une différence à Stidia où le pic d'accroissement des gonades est observé en Juin chez les femelles, et en Avril pour les mâles (Figure 23).

A la fin de la saison estivale (Figure 25), et plus précisément au début de l'Automne (Septembre 2016), les valeurs minimales de l'IG des deux sexes dans les deux sites ont été enregistrés (Figure 24) avec une valeur de  $0.89 \pm 0.30 \text{ mg/cm}^3$ .

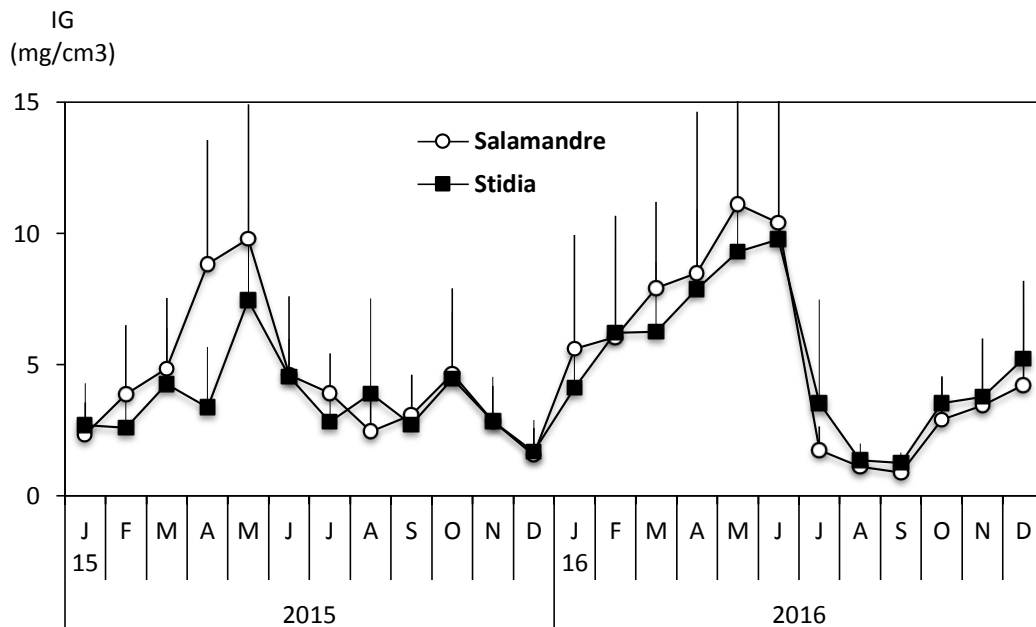
On a remarqué qu'il n'y a pas de significativité entre les valeurs d'IG entre les des deux années (t-test de Student,  $p = 0.46$  à Salamandre et  $p = 0.10$  à Stidia). Par contre, la variation de l'IG en fonction des mois a montré une différence hautement significative (ANOVA à un seul facteur ;  $F = 54.66$ ,  $p < 0.05$ ).

Selon les résultats obtenus par l'ANOVA à trois facteurs (Annexe 1), l'IG n'a pas montré une différence significative entre les deux sexes des deux sites ( $F = 2.33$ ,  $p = 0.12$ ). En effet, les femelles et les mâles d'*Arbacia lixula* dans les deux sites ont les mêmes attitudes reproductives, leurs gonades se développent en même temps.

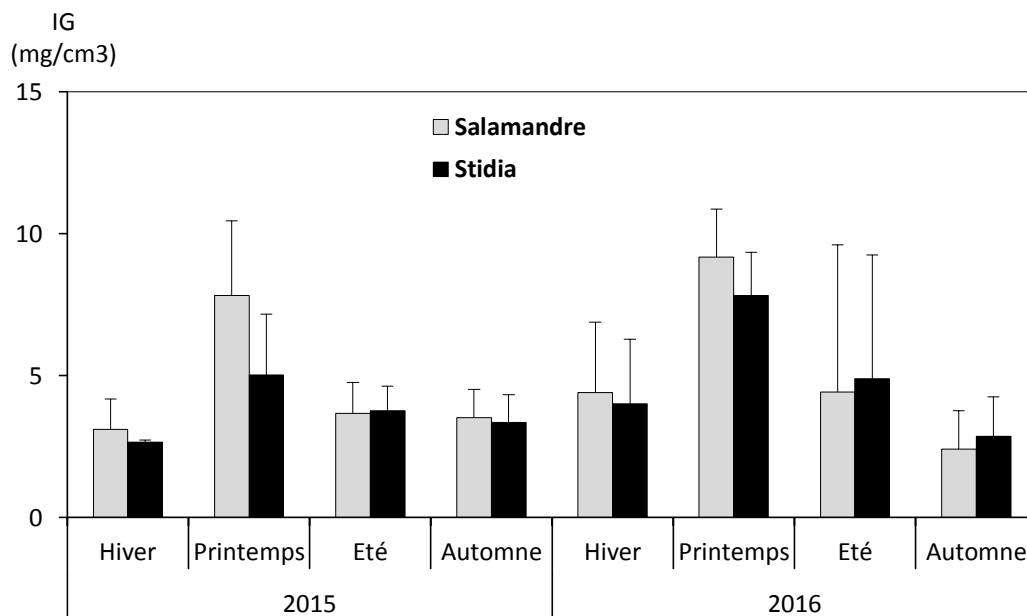
La variation de l'IG (tous sexes confondus) entre les saisons est très significative et est confirmé par l'ANOVA à trois facteurs ( $F = 104.11$ ,  $p < 0.05$ ). En revanche, les valeurs de l'IG (tous sexes confondus) entre les deux sites sont légèrement différents ( $F = 4.06$ ,  $p = 0.044$ ).



**Figure 23.** Variations mensuelles de l'indice gonadique (IG) d'*Arbacia lixula* par sexe et dans les deux sites d'étude (IGM: Indice gonadique des Mâles; IGF: Indice gonadique des Femelles).



**Figure 24.** Variations mensuelles de l'indice gonadique (IG) d'*Arbacia lixula* tous sexes confondus dans les deux sites d'étude.



**Figure 25.** Variations saisonnière de l'indice gonadique (IG) d'*Arbacia lixula* tous sexes confondus dans les deux sites d'étude.

- **Discussion**

Le suivi de l'évolution de l'indice gonadique d'*Arbacia lixula*, nous a montré qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux sexes (ANOVA,  $F = 2.33$ ,  $p = 0.12$ ). Au niveau des deux sites (Salamandre, Stidia), **le cycle de reproduction de cette espèce est annuel marqué par deux pontes dont la première massive qui se déroule en Printemps - Été et la deuxième de moindre importance en Automne.** Cette deuxième ponte discrète, ne correspond pas à un nouveau cycle de la gamétogénèse, mais à une courte période d'inactivité du premier cycle de la gamétogénèse.

Les résultats obtenus pour la première ponte concordent avec les travaux réalisés sur la même espèce par : 1) Fénaux (1968) à Ville-franche-sur mer (France) où une première ponte annuelle est signalée à la mi-Juin ; 2) Sellem (1995a) au niveau du Golf de Tunis (Tunisie), où la période de ponte se déroule entre Mai et Juillet (Tableau 5) et 3) Wangenstein (2013) sur le littoral de Tossa de Mar (Espagne), a signalé une ponte étalée de Mai à Juillet. Cependant, la ponte d'Automne de faible importance observée durant ce travail est corroborée par les résultats de Fénaux à Ville-franche-sur mer où elle signale une ponte secondaire pour la même espèce en Octobre.

**Tableau 5.** Données bibliographiques sur la période de frai de certains échinidés.

Espèces	Localité	Période de ponte	Références
<i>A.lixula</i>	Salamandre (Algérie) Stidia (Algérie)	• Mai à Septembre	Présente étude
<i>A.lixula</i>	Villefranche-sur-Mer (France)	• Juin à Octobre	Fénaux, 1968
<i>A.lixula</i>	Golf de Tunis (Tunisie)	• Mai à Juillet	Sellem, 1995a
<i>A.lixula</i>	Tossa de Mar (Espagne)	• Mai à Juillet	Wangenstein, 2013
<i>P. lividus</i>	Côte nord atlantique (Maroc)	• Mars à Juin	Bayed <i>et al.</i> , 2005
<i>P. lividus</i>	Golf de Tunis (Tunisie)	• Avril à Juillet	Sellem et Guillou 2007
<i>P. lividus</i>	Plage d'Alger (Algérie) Tamentefoust (Algérie) Sidi Fredj (Algérie)	• Juin à Septembre • Juin à Novembre • Juillet à Décembre	Soualili et Guillou 2009
<i>P. lividus</i>	Baie de Bistrina (Croatie)	• Avril	Tomsic <i>et al.</i> , 2010
<i>P. lividus</i>	Côte de Galice (Espagne)	• Mai	Ouréns <i>et al.</i> , 2013 Agnetta <i>et al.</i> , 2015
<i>P. lividus</i>	Golfe de Pagasitikos (Mer Égée, Grèce)	• Mars et Avril • Octobre et Novembre	Vafidis <i>et al.</i> , 2019
<i>Sphærechinus granularis</i> (Lamarck, 1816)	Tamentefoust (Algérie)	• Mai à Juillet • Septembre	Soualili, 1998
<i>Pseudechinus magellanicus</i> (Philippi, 1857)	New Gulf, Patagonie (Argentine)	• Hiver • Été	Marzinelli <i>et al.</i> , (2006)
<i>Echinometra lucunter</i> (Linnaeus, 1758)	Praia da Costa Vila Velha - Espírito Santo (Brésil)	• Été-Automne	Mariente <i>et al.</i> , (2009)
<i>Arbacia dufresnii</i> (Blainville, 1825)	New Gulf, Patagonie (Argentine)	• Printemps • Été	Brogger <i>et al.</i> (2010)
<i>Echinometra mathaei</i> (Blainville, 1825)	Bandar Lengeh dans le golfe Persique (Iran)	• Mars à Aout	Keshavarz <i>et al.</i> , (2017)

Les mêmes résultats ont été retrouvés pour l'espèce voisine *P. lividus* par : 1) Soualili (2008) et Soualili et Guillou (2009) à Alger et ses alentours où *P. lividus* se reproduit selon un cycle saisonnier avec un IG maximal au printemps suivi par une période de ponte qui coïncide avec l'augmentation de la température et la disponibilité de la nourriture ; 2) Sellem et Guillou (2007) dans le golfe de Tunis où l'IG atteint sa valeur maximale en Mars et la période de ponte s'étale entre Avril et Juillet et coïncide avec la régression de l'IG. 3) Bayed *et al.*, (2005) dans la côte atlantique Nord du Maroc, où la période de ponte est printanière et se situe entre Mars et Juin ; 4) Ouréns *et al.*, (2013) et Agnetta *et al.*, (2015) sur la côte basque (Sud-Est du golfe de Gascogne) et sur la côte de Galice (Portugal), où une activité gonadique saisonnière avec un IG maximum en phase printanière (Avril-Mai) ont été également observés chez *P. lividus*; 5) Tomsic *et al.*, (2010) dans la baie de Bistrina (Mer adriatique, Croatie) où le pic de reproduction de *P. lividus* a lieu en Avril ; 6) Vafidis *et al.*, (2019) dans le golfe de Pagasitikos en mer Égée (Grèce) où une ponte principale a été signalée en printemps (Mars et Avril) et une deuxième émission gamétique moins importante en automne (Octobre et Novembre). Nos résultats concordent aussi avec les travaux de : 1) Soualili (1998) réalisés sur les populations d'oursin granuleux *S. granularis* sur les côtes de Tamentefoust (Algérie) où une première ponte principale a été réalisée entre les saisons printemps-été (de Mai à Juillet) et une deuxième de faible intensité en fin d'été (fin mois d'Aout) ; 2) Martinez *et al.*, (2008) dans le sud-est de l'Espagne où une seule ponte annuelle a été signalée entre juin et août et qui correspond à la régression de l'IG.

Au-delà de la région méditerranéenne, nos résultats concordent aussi avec des travaux réalisés sur d'autres échinides par : Marzinelli *et al.*, (2006) dans les côtes Argentines, ont signalé pour l'oursin *Pseudechinus magellanicus* deux pontes dans l'année ; une première ponte plus importante en hiver et une deuxième de faible ampleur en été ; ainsi que Brogger *et al.*, (2010) sur ces mêmes côtes Argentines, où l'oursin *Arbacia dufresnii* en Golfo Nuevo, en Patagonie se caractérise par deux pontes dans l'année ; une première ponte printanière moins importante et une deuxième plus importante durant la saison estivale. Par ailleurs, Keshavarz *et al.*, (2017) ont signalé pour l'oursin *Echinometra mathaei* de Bandar Lengeh dans le golfe Persique en Iran, une ponte annuelle étalée entre Mars et Aout. De même Mariente *et al.*, (2009) au niveau des côtes de Praia da Costa Vila Velha - Espírito Santo (Brésil) pour l'oursin *Echinometra lucunter* où une seule ponte a été observée entre les saisons Eté-Automne (Tableau 5).

Les valeurs maximales de l'IG (sexes confondus) en fonction des sites ont montré une différence significative (ANOVA,  $F = 4.06$ ,  $p = 0.04$ ). En effet les IG maximales, dans le site de Salamandre sont supérieures à ceux trouvés dans le site de Stidia.

Dans les deux sites, les valeurs maximales des IG exprime bien la croissance ultime des gonades et donc la phase finale de la maturation gonadique qui précédera de toute évidence la ponte, qui est traduite dans notre étude par la régression de cet indice. Les valeurs minimales de l'IG sont observées en Hiver (Décembre 2015) et en Automne (Septembre 2016) dans les deux sites. Ces valeurs reflètent le stade final post-ponte des gonades.

Les oscillations des valeurs de l'IG, 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. Chez la plupart des oursins, la reproduction est généralement saisonnière, et la période de ponte se déroule durant les saisons : Printemps, et/ou Eté et parfois peut se prolonger jusqu'en Automne. Ceci dépend bien sûr de l'influence et de la variabilité des facteurs exogènes, vraisemblablement la température sur la ponte des oursins comme cela a été suggéré par plusieurs auteurs (Epherra *et al.*, 2015).

#### **IV.1.2.2. Etude macroscopique des gonades**

Les stades macroscopiques de maturité sont déterminés à partir d'un frottis effectué au niveau de chaque gonade et observé entre lame et lamelle sous un microscope photonique. Les différents stades de maturité sexuelle ont été étudiés en se basant sur l'échelle de Fuji (1960). Cinq stades de maturité (stade post ponte I, stade de croissance II, stade de pré-maturation III, stade maturation IV et stade de ponte V) ont été différenciés dans les gonades mâle et femelle des populations d'*A. lixula* de chaque site étudié. Le suivi de l'évolution mensuelle des stades macroscopiques de tous les individus utilisés en parallèles avec le suivi des indices physiologiques, permet de faire une étude quantitative de la maturité de cette espèce au niveau de chaque station et par année (Figures 26, 27).

##### **➤ Salamandre**

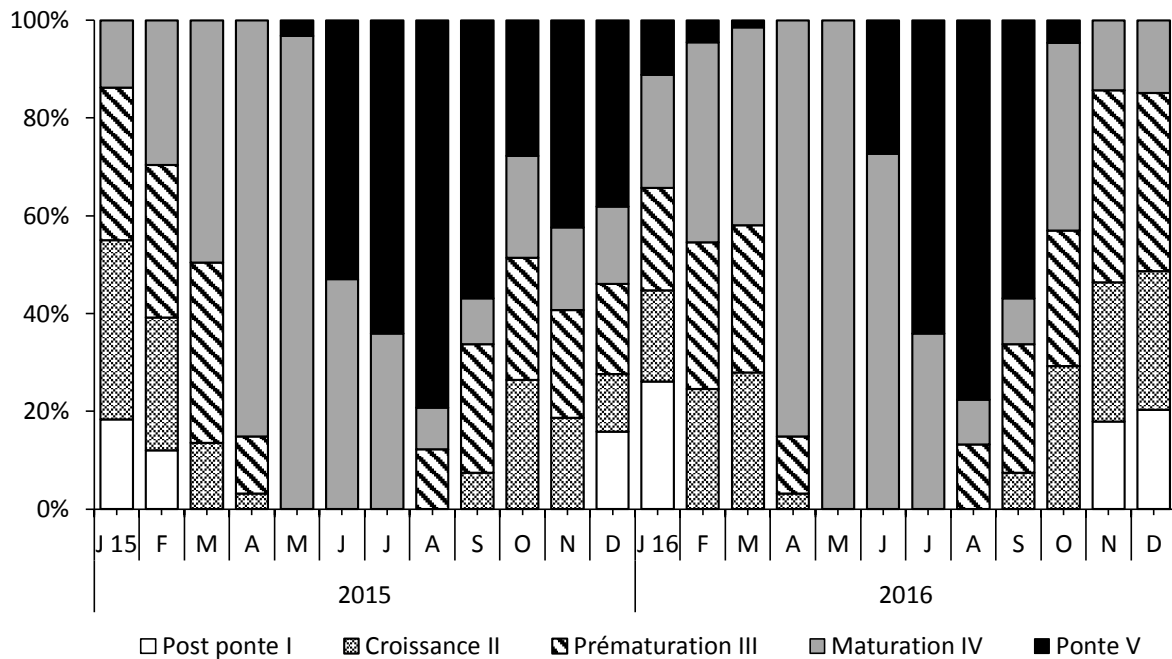
Le Stade I de post ponte est perçue dans les gonades durant la saison hivernale au cours des deux années 2015 et 2016. Toutefois sa plus grande apparition est pendant les mois Janvier et Décembre 2016 avec les pourcentages respectifs de 26% et 20%.

La proportion d'individus observés au stade II est à son maximum en Janvier 2015 et Octobre 2016 (plus de 36% et 29% respectivement).

Les mois de Mars 2015 et Novembre 2016 illustrent une présence importante d'individus en stade III avec des pourcentages aux alentours des 40% (Figure 26).

Le stade IV se manifeste à son plus haut niveau en mois de Mai durant les années 2015 et 2016 avec des pourcentages respectifs de 96% et 100%.

La saison estivale est caractérisée par le déclenchement de la ponte (stade V). En effet, le pourcentage le plus élevé est obtenu en mois d'Aout (plus de 66%) (Figure 26).



**Figure 26.** Evolutions mensuelles des stades macroscopiques de la maturité sexuelle de la population d'*Arbacia lixula* (sexes groupés) vivant sur le site de Salamandre.

### ➤ **Stidia**

Le Stade I s'exprime avec 22% de présence pendant les mois de Janvier 2015, Novembre et Décembre 2016.

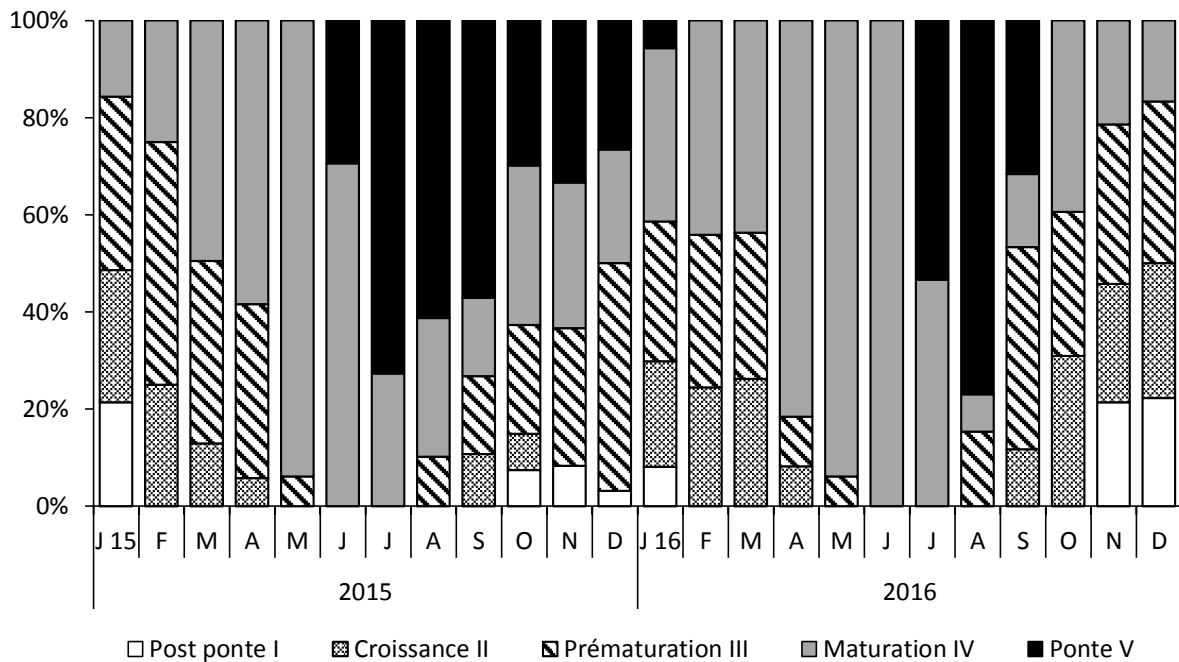
Le stade II a marqué son pourcentage le plus élevé durant la saison hivernale en Mars et Octobre 2016 avec plus de 26% et 32% d'individus respectivement pour ces deux mois.

Les mois de Juin et de Juillet 2015 et 2016 ont marqué l'absence du stade III qui est présent dans tous les autres mois de l'année, tandis que sa présence la plus importante est signalée durant les mois de Février et Décembre 2015 (entre 50% et 48%) (Figure 27).

Le stade IV de maturation a été observé durant toutes les saisons. Toutefois, sa forte apparition est remarquée durant les mois de Mai 2015 et Juin 2016 respectivement avec des pourcentages de 94% et 100% (Figure 27).

Le stade V de l'année 2016 est moins étalé dans le temps, il est limité entre les mois de Juin et Septembre 2016. Par contre, durant l'année 2015, il est étendu entre les mois Juin jusqu'à Décembre. Cependant, la phase d'émission des gamètes mâles et femelles se déclenche en intensité

durant la saison estivale et plus précisément durant les mois de Juillet 2015 et d'Aout 2016 (Figure 27).



**Figure 27.** Evolutions mensuelles des stades macroscopiques de la maturité sexuelle de la population d'*Arbacia lixula* (sexes groupés) vivant sur le site de Stidia.

#### IV.1.2.3. Etude microscopique des gonades

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) (Fénaux, 1980 ; Dummond, 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 gamétogenèse (Walker *et al.*, 2005 ; Unuma *et al.*, 2011 ; Walker *et al.*, 2013).

L'étude histologique des gonades, permet une estimation qualitative de leur maturation. En raison du faible taux d'individus examinés mensuellement (cinq individus par mois et par sexe), cette analyse n'est pas quantitative.

En se basant sur l'échelle de Fuji (1960) et en se référant aussi à la description de Byrne (1990), nous avons pu observer les cinq stades de la gamétogénèse pour les deux populations d'*A. lixula* de Salamandre et de Stidia : le stade I (post-ponte), stade II (croissance), stade III (pré-maturation), stade IV (maturation) et le stade V (ponte).

**Stade I (post-ponte) :** Au cours du stade I juste après l'expulsion totale des gamètes mures, les ovogonies et spermatogonies sont pariétales. Le tissu nutritif riche en inclusions remplit la gonade (Figure 28 A, Figure 29 A). Ce stade est entamé entre les mois de Septembre et Octobre des années 2015 et 2016.

**Stade II (croissance) :** Le stade II est nettement observé durant les mois d'Octobre et Décembre 2016 dans les deux populations, les ovogonies se transforment en ovocytes primaires en restant attachés à la paroi gonadique et entourés par le tissu nutritif, encore bien développé, mais moins dense (Figure 28 B). Les spermatogonies se différencient en spermatocytes et forment des petits allongements pénétrant dans le tissu nutritif (Figure 29 B).

**Stade III (pré-maturation) :** Dès le mois de Janvier de chaque année débute le Stade III qui s'étale jusqu'au mois de Mars (2015 et 2016). Durant ce stade on observe une croissance progressive de cellules le long de la paroi acineuse (ovogonies, ovocytes primaires et ovocytes pédonculés). Les ovocytes pédonculés sont retenus à la paroi acineuse par un pédoncule. Les ovocytes et spermatocytes migrent vers le centre des acini en subissant une maturation. Le tissu nutritif diminue et est poussé à la périphérie du testicule (Figure 28 C, Figure 29 E).

**Stade IV (maturation) :** Au Stade IV (de Mars à Mai 2015 et 2016 pour les individus de Salamandre et de Mars à Juin 2016 pour ceux de Stidia), les acini sont pleins avec des ovules et des spermatozoïdes murs qui sont prêts à être pondus (Figure 28 D-E, Figure 29 F). Cependant, chez les mâles, sur les bords de la gonade, on observe une couche de cellules (spermatocytes) qui n'ont pas encore achevés leurs développements en spermatozoïdes.

**Stade V (ponte) :** Le stade V de la ponte s'entame au printemps et débute plus précisément en mois de Mai 2015 et 2016 dans les gonades des deux populations (sauf pour la population de Stidia en 2016 ou ce stade prend du retard pour qu'il se d'éclanche un mois plus tard en Juin). Ce stade se caractérise par l'évacuation de tous les gamètes mûrs, le tissu phagocytaire nutritif est plus développé autour de la périphérie des gonades (Figure 28 F, Figure 29 F). Ce stade s'étale jusqu'au mois de Septembre (2015 et 2016).

- **Discussion**

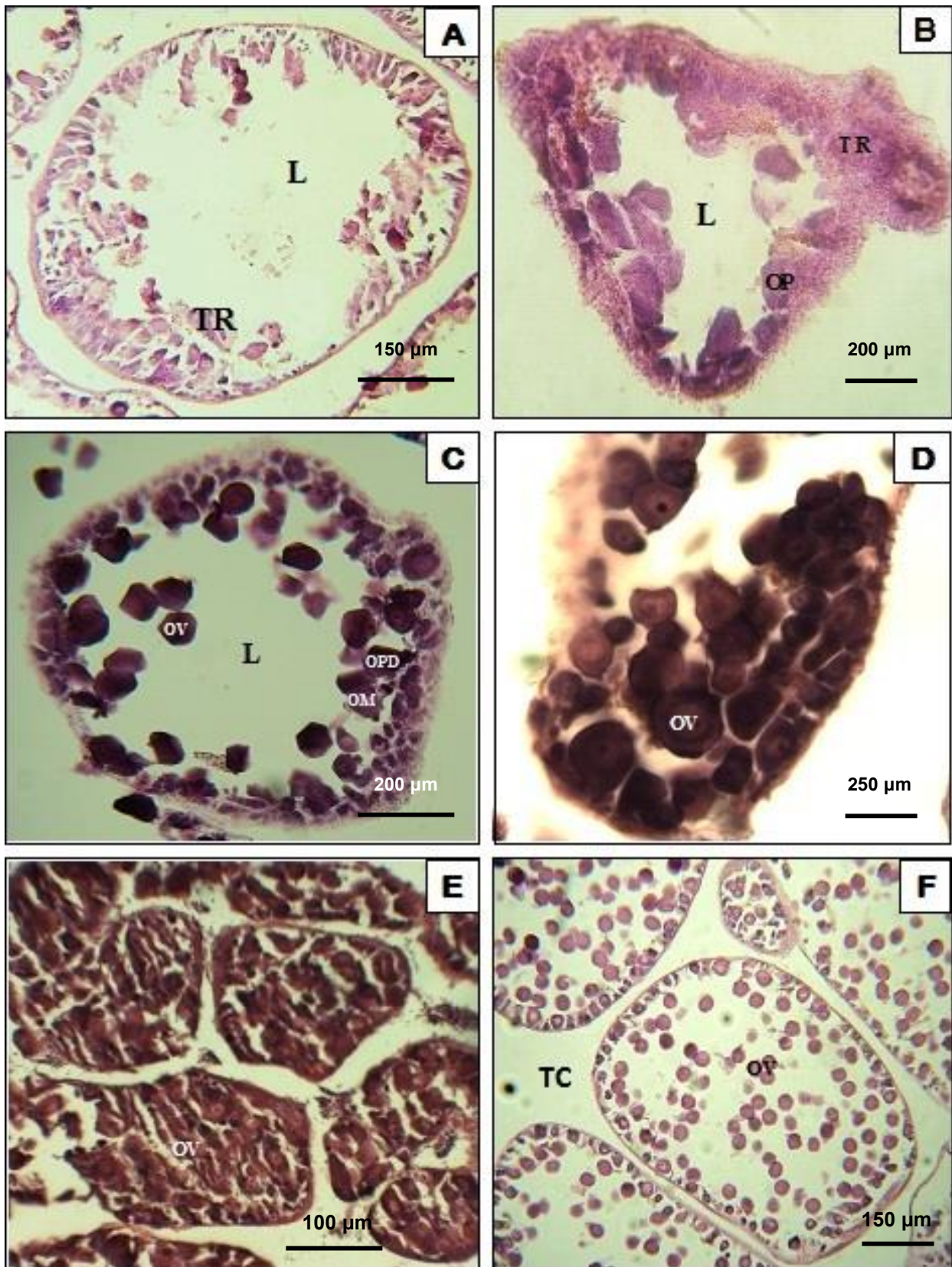
L'oursin noir *Arbacia lixula* montre une hétérogénéité intra-individuelle dans la maturation des gonades, de telle sorte que dans la plupart des individus, les différents stades de maturation se trouvent dans les acini de la même gonade.

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.

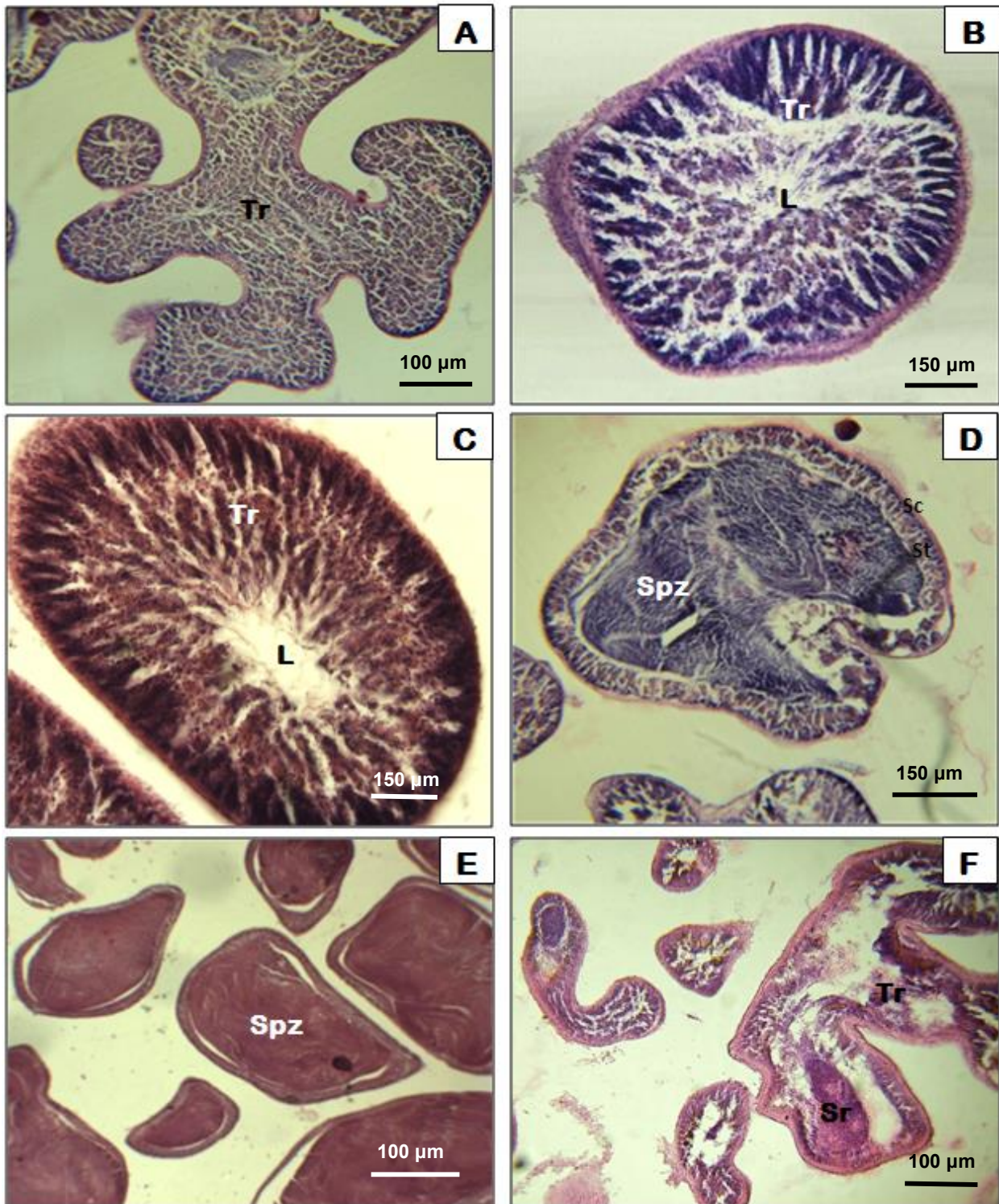
Cette description histologique avec ces cinq stades de maturation des gonades mâles et femelles et les mêmes caractéristiques ont été aussi observées chez *Arbacia lixula* en Espagne, côte Nord-Ouest de la méditerranée (Wangensteen *et al.*, 2013) et chez *Arbacia dufresnii* de l'Argentine (golfe Nuevo) (Brogger *et al.*, 2010). A Alger comme à Oran chez *Paracentrotus lividus* des stades gamétogénétiques similaires ont été observés dans les gonades mâles et femelles au cours du cycle reproducteur (Soualili, 2008 ; Soualili et Guillou, 2009 ; Belkhedim, 2009 ; Belkhedim *et al.*, 2014 ; Kouadri Mostefai, 2014). Lozano *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 (poste ponte, croissance, prématuration, maturation, ponte partiel, ponte final) 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* (Vaïtilingon *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).



**Figure 28.** 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 I ; B: stade II; C: stade III ; D: stade IV ; E: stade IV ; F: stade V.



**Figure 29.** Histologie des testicules d'*Arbacia lixula*

**Légende :** **Tr** : Tissu de réserves, **L** : Lumière, **Spz** : Spermatozoïdes, **Sr** : spermatozoïdes résiduels, **Sc** : Spermatocyte, **St** : Spermatide. **A** : stade I, **B** : stade II, **C** : stade II, **D** : stade III, **E** : stade IV, **F** : stade V.

#### IV.1.2.4. Impact de la température sur la ponte

Pour mieux comprendre la variabilité du cycle de reproduction des deux populations d'*A. lixula* des deux sites étudiés, nous avons examiné l'évolution des valeurs de l'IG des deux sexes confondus et les pourcentages d'individus au stade V par site avec l'évolution de la température (Figure 30).

Les gonades des deux populations d'oursins des deux sites ont connues une phase de croissance et de pré-maturation rapide et assez courte entre les mois Février et Mars avec des températures qui se situent entre 11 et 12 °C durant les deux années d'études.

Ensuite l'IG progresse rapidement en parallèle avec l'augmentation rapide de la température qui s'élève entre les mois de Mars et Mai (12 à 20°C) de chaque année. Le réchauffement progressif de l'eau semble induire le développement et la maturation des gonades. Durant cette période printanière, l'IG et la température enregistrent une corrélation significative (Pearson,  $p < 0.05$ ) dans les deux sites. Aussi pendant cette période, les gonades deviennent mures, et elles sont en pleine maturité. Les gamètes mâles et femelles sont prêts à être expulsés.

Une émission massive des gamètes est observée à la fin de la saison printanière (fin du mois de Mai des années 2015 et 2016) dans les deux sites, et ceci se traduit par une baisse soudaine de l'IG (Figure 30) ; cette émission de gamètes à partir du mois de Mai en 2015, coïncide avec les valeurs élevées de températures supérieures à 20°C. Après cette émission gonadique, la température de l'eau, a continué à augmenter et atteint son maximum en mois de Juillet (2015 et 2016).

Dès le mois de Septembre, jusqu'au mois de Décembre, les faibles valeurs de l'IG témoignent de la présence de la phase d'un repos sexuel confirmée par le faible pourcentage d'individus au stade V ( $< 10\%$ ) jusqu'au début de l'hiver coïncidant avec les faibles valeurs des températures (Figure 30).

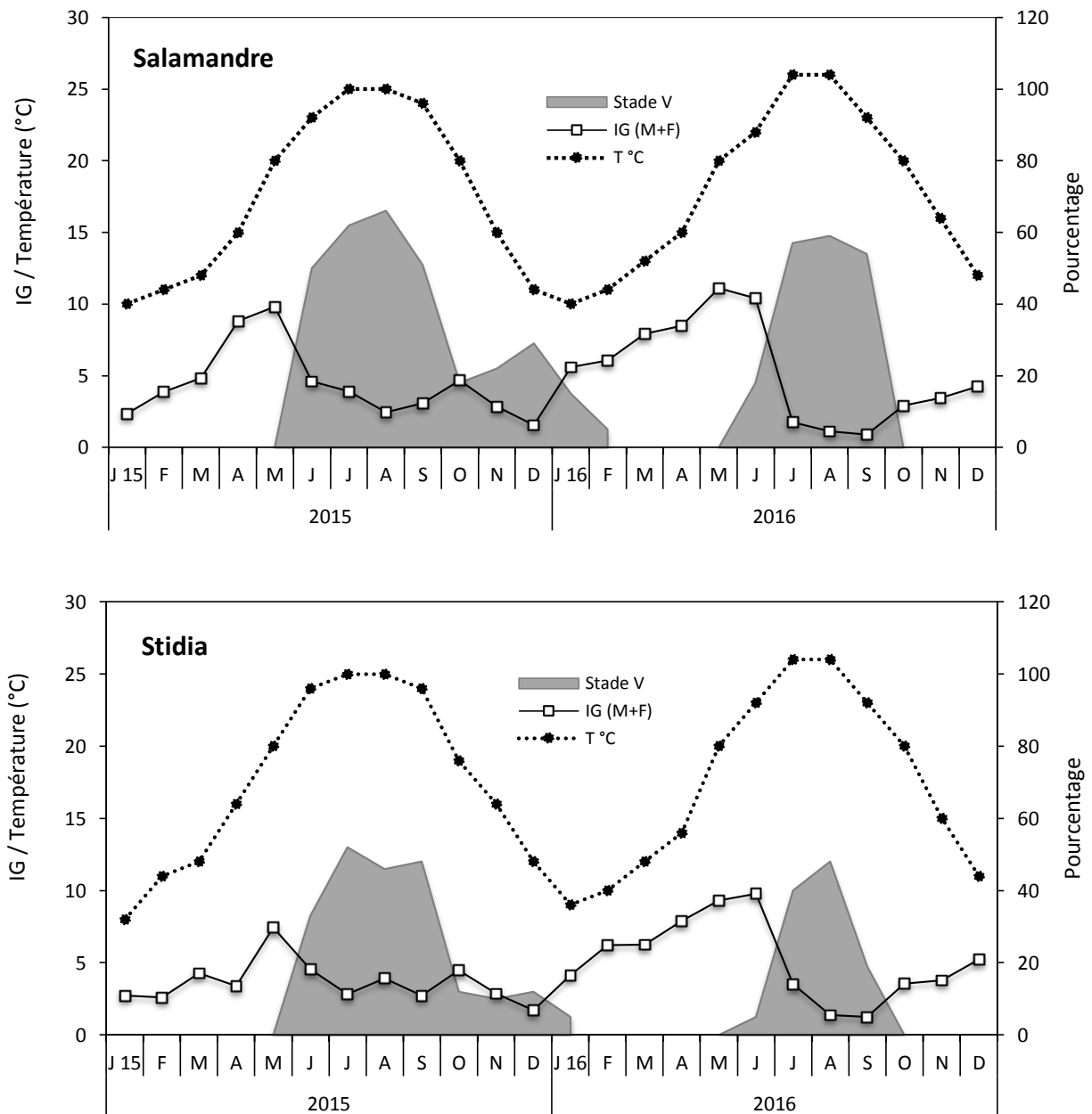
En 2016, une nouvelle phase de croissance, puis de pré-maturation des gonades se met en place. Ce n'est qu'au mois de Mai que les gonades atteignent le maximum de leur volume et à partir de ce mois, l'émission massive débute et synchronise avec l'élévation de la température qui atteint les 20°C. La ponte atteint son point culminant entre les mois Juillet-Aout avec la participation de la majorité de la population échantillonnée des deux sites.

D'après la Figure 30, durant la première année 2015 et dans les deux sites, une autre émission gamétique plus discrète et de faible intensité est observée en Automne (d'Octobre à Décembre).

Par ailleurs, une ponte est considérée comme efficace que si le stade V est visible sur plus de 20% d'individus.

La présence d'un important nombre [66% et 59% entre 2015 et 2016 à Salamandre et avec 52% et 48% entre 2015 et 2016 à Stidia] d'individus au stade V (ponte) au cours de la saison estivale en

parallèle avec des faibles valeurs de l'IG explique bien et confirme que cette période est propre à l'émission massive des gamètes, qui se déroule dans un intervalle de forte élévation de la température (20 à 23 °C entre Mai et Juin 2015 et 23 à 26 °C entre Juin et Juillet 2016) notée dans les deux sites étudiés (Figure 30). La corrélation entre la variation d'IG et la température est significative ( $p < 0.05$ ).



**Figure 30.** Variation mensuelle de l'indice gonadique d'*Arbacia lixula* (tous sexes confondus), de la température moyenne mensuelle et du pourcentage d'individus observés au stade V (ponte) des deux sites étudiés. IG: indice gonadique; T: température.

- **Discussion**

L'espèce *Arbacia lixula* présente un déroulement du cycle presque identique dans les deux sites avec cependant des différences d'une année à l'autre au niveau de la durée et de l'intensité de la ponte. L'augmentation de température d'une année à l'autre peut expliquer aussi la limitation et la diminution du stade V durant l'année 2016, de telles façons que les oursins émettent leurs gamètes en intensité et en un temps réduit, sachant que ce stade a été plus étalé durant l'année précédente (2015) dans les deux sites (Figure 30). Tout ceci montre la sensibilité des gonades vis à vis la variation de température. Plusieurs auteurs affirment que le réchauffement climatique continu de la méditerranée crée un environnement de plus en plus favorable à la reproduction et au développement d'*A. lixula* (Gianguzza *et al.*, 2011; Privitera *et al.*, 2011; Wangensteen, 2013). Nos résultats sont similaires avec ceux trouvés par Gianguzza *et al.*, (2011) sur l'île d'Ustica (Mer Tyrrhénienne), où une corrélation positive a été observée entre l'évolution des valeurs de l'IG d'*A. lixula* et la variation de température de l'eau de surface en été, suggérant une capacité accru de reproduction avec l'élévation de la température. Par ailleurs, selon Wangensteen (2013), les valeurs annuelles maximales de l'IG correspondraient aux années où la température en hiver et au printemps était exceptionnellement chaude. Des études précédentes sur *P. lividus* ont montré que l'élévation de la température de l'eau de mer pouvait servir de repère immédiat pour le déclenchement de la ponte (Fénaux, 1968 ; Byrne, 1990). Par contre, et selon Gianguzza (2020), les données sur l'impact de l'élévation de la température sur les différents stades de vie des espèces du genre *Arbacia* font généralement défaut.

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.*, 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 aux alentours de 20°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. Nos résultats rejoignent ceux obtenus auparavant par Young (1945) 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). 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 ; Wangenstein, 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.*, (2015), 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 associé 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).

## IV.2. Suivi de l'activité trophique

### IV.2.1. Evolution de l'indice de réplétion

Comme c'est déjà mentionné dans le chapitre matériel et méthodes (protocole de traitement de l'indice de réplétion), les oursins utilisés pour le suivi de l'indice de réplétion sont les mêmes utilisés pour le traitement de l'indice gonadique.

#### IV.2.1.1. Evolution mensuelles de l'indice de réplétion

D'après le Tableau 6 et la Figure 31, l'indice de réplétion montre une variabilité toute l'année dans les deux sites.

**Tableau 6.** Evolution mensuelle de l'indice de réplétion moyen exprimé en  $\text{mg}/\text{cm}^3$ . Moyenne  $\pm$  écart type pour l'ensemble des deux populations d'*A.lixula* (Salamandre et Stidia).

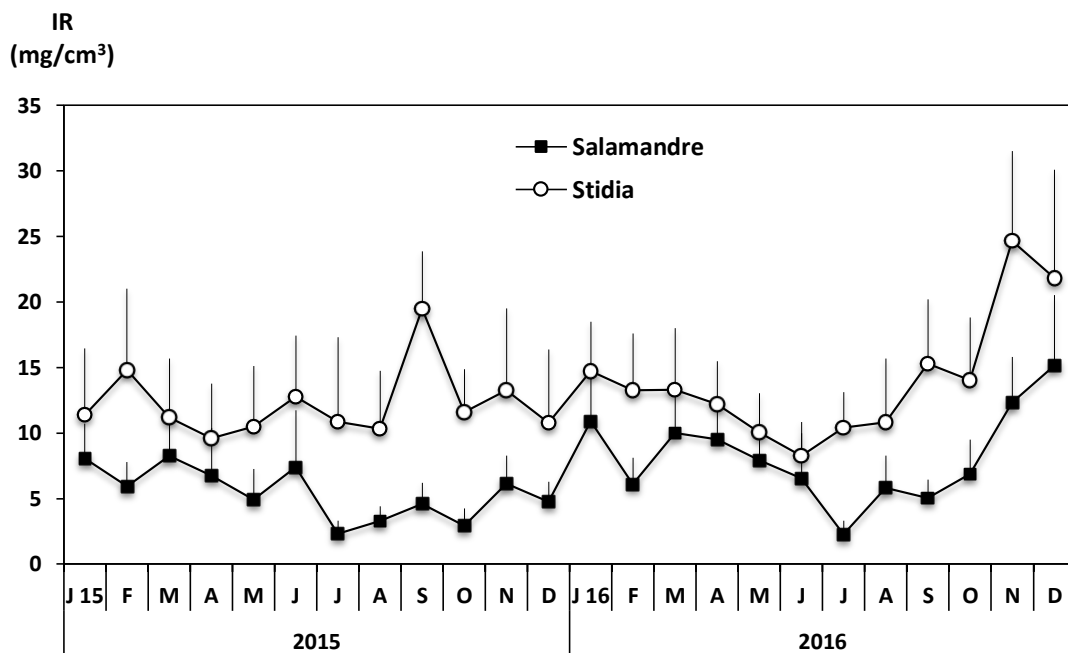
Mois	Salamandre		Stidia	
	2015	2016	2015	2016
<b>Janvier</b>	8.07 $\pm$ 2.64	10.91 $\pm$ 3.41	11.39 $\pm$ 5.05	14.72 $\pm$ 3.76
<b>Février</b>	5.95 $\pm$ 1.85	6.10 $\pm$ 2.02	14.83 $\pm$ 6.19	13.25 $\pm$ 4.36
<b>Mars</b>	8.24 $\pm$ 2.61	10.01 $\pm$ 3.54	11.20 $\pm$ 4.50	13.29 $\pm$ 4.73
<b>Avril</b>	6.75 $\pm$ 3.63	9.54 $\pm$ 3.01	9.60 $\pm$ 4.18	12.22 $\pm$ 3.26
<b>Mai</b>	4.94 $\pm$ 2.32	7.94 $\pm$ 3.25	10.51 $\pm$ 4.61	10.07 $\pm$ 2.97
<b>Juin</b>	7.42 $\pm$ 4.32	6.56 $\pm$ 3.41	12.77 $\pm$ 4.66	8.26 $\pm$ 2.59
<b>Juillet</b>	2.30 $\pm$ 1.00	2.29 $\pm$ 1.03	10.88 $\pm$ 6.43	10.43 $\pm$ 2.70
<b>Aout</b>	3.28 $\pm$ 1.14	5.80 $\pm$ 2.48	10.35 $\pm$ 4.41	10.84 $\pm$ 4.84
<b>Septembre</b>	4.59 $\pm$ 1.61	5.05 $\pm$ 1.38	19.50 $\pm$ 4.36	15.29 $\pm$ 4.93
<b>Octobre</b>	2.94 $\pm$ 1.30	6.86 $\pm$ 2.63	11.61 $\pm$ 3.27	14.04 $\pm$ 4.79
<b>Novembre</b>	6.14 $\pm$ 2.14	12.31 $\pm$ 3.49	13.25 $\pm$ 6.28	24.64 $\pm$ 6.89
<b>Décembre</b>	4.75 $\pm$ 1.52	15.16 $\pm$ 5.38	10.79 $\pm$ 5.58	21.80 $\pm$ 8.27

- Salamandre

Les pics les plus significatifs sont enregistrés durant l'année 2016, en Janvier ( $10.91 \pm 3.41 \text{ mg/cm}^3$ ) et en Décembre ( $15.16 \pm 5.38 \text{ mg/cm}^3$ ). Il est à noter, que durant les deux années d'étude ; c'est au mois de Juillet que la valeur la plus faible de l'IR, a été enregistrée ( $2.29 \pm 1.03 \text{ mg/cm}^3$ ).

- Stidia

Deux pics de l'IR significatifs ont été observés durant l'année 2015 en Février ( $14.83 \pm 6.19 \text{ mg/cm}^3$ ) et en Septembre ( $19.50 \pm 4.36 \text{ mg/cm}^3$ ). En 2016 une valeur minimale a été enregistrée en Juin ( $8.26 \pm 2.59 \text{ mg/cm}^3$ ) et un pic très significatif en mois de Novembre ( $24.64 \pm 6.89 \text{ mg/cm}^3$ ).



**Figure 31.** Variations mensuelles de l'indice de réplétion (IR) d'*Arbacia lixula* (tous sexes confondus) dans les deux sites d'étude.

#### IV.2.1.2. Evolution saisonnière de l'indice de réplétion

- Salamandre

Le suivi saisonnier de l'indice de réplétion montre que pendant l'année 2015, l'IR enregistre une valeur maximale ( $7.01 \pm 1.50 \text{ mg/cm}^3$ ) durant la saison hivernale. Ensuite, l'IR diminue jusqu'à atteindre la valeur la plus faible ( $4.33 \pm 2.72 \text{ mg/cm}^3$ ) en saison estivale (Figure 32).

Au cours de l'année 2016, les valeurs importantes et faibles de l'IR à Salamandre sont signalées respectivement durant les saisons Printemps-Eté ( $9.16 \pm 1.09 \text{ mg/cm}^3$  et  $4.88 \pm 2.28 \text{ mg/cm}^3$  respectivement) (Figure 32).

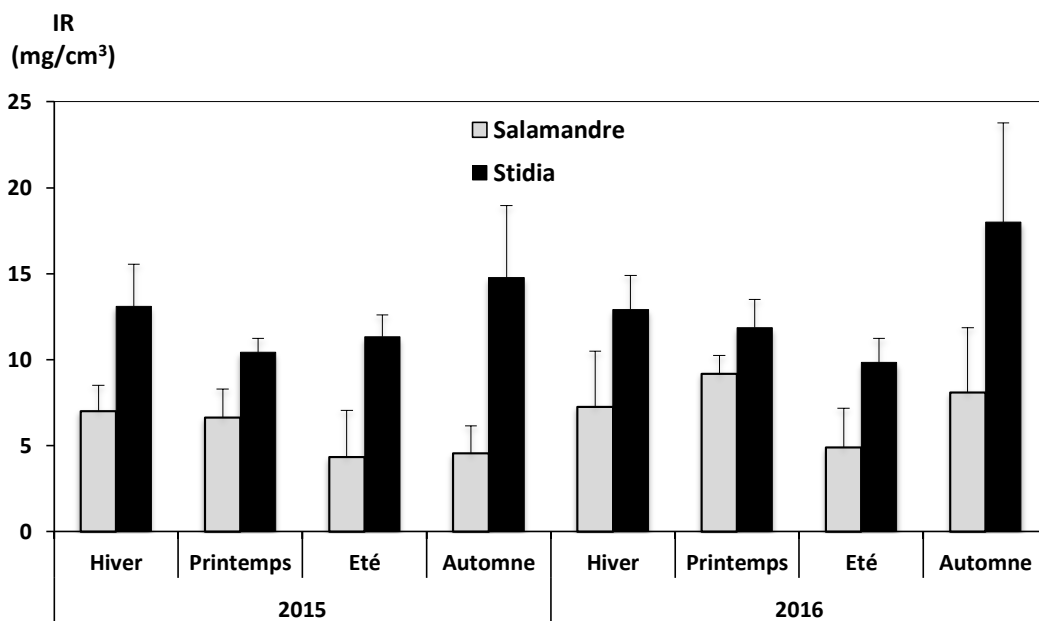
- **Stidia**

En 2015, l'IR enregistre son minimum à la saison printanière ( $10.44 \pm 0.80 \text{ mg/cm}^3$ ) pour ensuite progresser jusqu'à marquer son maximum en Automne ( $14.79 \pm 4.16 \text{ mg/cm}^3$ ) (Figure 32).

Durant l'année 2016, l'IR diminue progressivement au fil des saisons jusqu'à atteindre son minimum durant la saison estivale ( $9.84 \pm 1,39 \text{ mg/cm}^3$ ), pour ensuite augmenter pendant la saison automnale où il enregistre son maximum ( $17.99 \pm 5.79 \text{ mg/cm}^3$ ).

L'analyse statistique montre que l'évolution de l'IR présente une différence hautement significative en fonction des saisons (ANOVA à un seul facteur,  $p < 0.05$ ).

D'après les Figures 31 et 32, on remarque que les valeurs mensuelles et saisonnières de l'IR sont plus fortes dans le site de Stidia par rapport à l'IR de l'oursin vivant à Salamandre. Les deux sites présentent une différence hautement significative vis-à-vis du facteur site (ANOVA à un seul facteur,  $p < 0.05$ ).



**Figure 32.** Variations saisonnière de l'indice de réplétion (IR) d'*Arbacia lixula* (tous sexes confondus) dans les deux sites d'étude.

#### IV.2.2. Analyse des contenus digestifs

L'analyse du Tableau 7 et de la Figure 33 montre qu'*A.lixula* se nourrit fréquemment de manière similaire dans les deux sites et pendant les quatre saisons étudiées.

**Tableau 7.** Variation saisonnière de la contribution moyenne (en pourcentage) d'items des contenus digestifs d'*A. lixula* dans les deux sites étudiés. (H: hiver; P: printemps; E: été; A: automne ; Ind : Indéterminée).

Items	Salamandre 2015				Stidia 2015				Salamandre 2016				Stidia 2016			
	H	P	E	A	H	P	E	A	H	P	E	A	H	P	E	A
<i>Anotrichium tenue</i>	0.33	1.33	0.33	1.03	0.00	2.09	0.00	1.72	0.21	0.33	0.00	1.22	0.47	0.00	1.50	0.00
<i>Aspargopsis armata</i>	0.25	1.00	0.26	0.00	0.00	0.00	0.23	5.98	2.42	0.00	2.41	0.78	0.00	0.00	2.53	1.50
<i>Bangia fuscopurpurea</i>	1.66	10.0	0.00	0.00	0.00	0.00	3.11	0.00	0.12	0.51	0.31	1.15	0.00	3.01	0.00	0.00
<i>Callithamniella tingitana</i>	0.33	3.50	0.00	4.72	0.00	1.33	0.31	0.00	0.00	4.11	7.23	0.00	0.00	0.00	2.33	0.00
<i>Centroceras clavulatum</i>	0.00	0.33	0.19	0.00	1.51	0.00	1.05	0.00	0.38	0.00	0.45	0.34	0.00	1.51	0.00	1.33
<i>Centroceras sp.</i>	5.22	1.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.33	0.18	2.05	0.00	15.0	0.00	0.00	0.75	1.16
<i>Ceramiales</i>	0.13	0.75	0.21	0.00	0.33	0.00	0.10	0.00	3.49	0.00	0.00	0.50	0.34	0.00	0.00	0.00
<i>Ceramium ordinatum</i>	0.23	0.66	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.51	0.00	5.17	0.21	0.51	0.00	0.00	1.66	0.00
<i>Ceramium sp.</i>	0.36	0.22	0.16	0.59	1.33	1.75	0.00	0.00	2.21	0.00	0.19	2.25	0.00	3.66	2.84	0.00
<i>Chondria coerulescens</i>	0.00	0.00	0.29	0.36	0.00	1.09	0.31	0.00	0.00	0.00	0.50	0.12	0.00	0.00	1.33	0.00
<i>Corallinales</i>	5.12	3.12	0.33	0.98	4.66	14.0	8.33	0.00	5.08	5.27	3.11	3.34	2.67	4.75	2.33	4.50
<i>Ellisolandia elongata</i>	3.28	4.50	0.00	0.00	1.33	1.51	0.00	0.00	2.01	2.11	0.22	0.00	2.88	4.11	0.00	0.00
<i>Erythrotrichia carnea</i>	0.11	0.88	1.25	0.00	0.00	0.00	3.03	0.00	0.00	2.13	8.05	0.00	0.66	4.80	0.00	0.00
<i>Hydrolithon farinosum</i>	0.00	0.21	0.31	0.81	0.00	1.66	0.00	1.33	0.00	0.00	0.22	1.34	0.00	4.21	2.16	0.00
<i>Gelidiales Ind</i>	8.11	0.66	0.00	0.86	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.07	0.00	0.00	0.00	0.00	2.19	0.00
<i>Gelidiella sp.</i>	0.33	0.31	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.51	0.00	0.12	0.00	1.75	0.00	0.00	0.50
<i>Gelidium sp.</i>	1.69	1.12	1.66	0.00	2.23	1.12	0.00	0.00	2.71	0.00	1.02	0.31	5.12	0.30	1.01	0.00
<i>Heterosiphonia crispella</i>	1.22	1.03	0.25	1.77	2.03	2.82	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	1.05	0.00	0.00	0.00	1.45
<i>Herposiphonia secunda</i>	0.28	0.21	0.31	0.88	0.00	1.06	0.66	0.00	0.00	0.61	0.00	0.12	0.33	0.00	1.50	1.33
<i>Herposiphonia sp.</i>	0.16	2.74	4.13	5.97	4.03	0.33	0.00	1.93	5.51	0.88	14.7	1.66	0.00	7.66	0.00	0.00
<i>Herposiphonia tenella</i>	0.00	0.75	0.00	1.33	0.00	0.00	0.00	1.33	0.00	0.81	0.00	0.41	0.00	0.00	1.03	1.50
<i>Jania rubens</i>	2.11	0.00	0.86	1.05	4.00	0.00	1.30	7.53	2.34	0.00	0.33	11.1	4.35	12.5	2.66	7.16
<i>Laurencia sensu lato</i>	8.12	1.88	0.00	5.98	5.11	1.00	0.00	0.00	0.00	5.76	0.00	1.47	6.05	2.05	3.11	0.00
<i>Lophosiphonia cristata</i>	0.22	0.00	0.31	0.66	1.16	0.00	0.00	0.00	0.38	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.16
<i>Porphyra sp.</i>	0.00	0.33	1.13	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.37	0.00	0.00	0.41	1.50	0.30	0.00	0.00
<i>Protofloridae</i>	1.74	1.55	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.11	0.00	0.00	0.34	0.00	0.00	2.11

<i>Rhodomelaceae</i>	0.00	0.00	0.81	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.05	0.00	0.00	0.00	1.50	0.00	0.00
<i>Taenioma</i> sp.	0.00	0.79	0.25	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	2.77	0.00	0.50	0.00	0.00	2.20	0.00	0.00
<i>Titanoderma</i> sp.	0.13	0.12	0.00	0.75	2.12	0.00	0.51	4.36	2.85	2.73	0.00	0.51	0.00	0.00	9.51	0.00
<i>Rhodophyceae</i> Ind	14.2	2.48	4.22	1.30	0.00	2.33	3.56	0.00	0.34	6.28	1.16	2.11	0.66	7.82	3.50	0.00
<b>Total Rhodophyta</b>	55.3	41.8	17.4	29.3	32.1	32.1	22.5	30.0	33.8	44.9	40.8	45.7	27.1	60.4	41.9	23.7
<i>Cladostephus</i> sp.	0.00	0.16	0.00	0.13	3.66	2.34	0.00	0.00	5.33	0.33	0.34	0.00	3.11	0.00	0.00	0.00
<i>Dictyota dichotoma</i>	0.35	0.25	0.33	0.25	4.66	0.00	0.00	0.00	2.19	0.00	0.57	0.75	6.16	0.00	0.00	0.00
<i>Ectocarpaceae</i> Ind	5.65	7.43	9.88	20.8	5.88	10.6	2.34	6.34	7.02	8.06	5.18	2.91	4.68	0.34	0.50	0.33
<i>Phaeophyceae</i> Ind	1.98	5.22	6.22	0.25	1.50	1.33	2.16	0.00	3.33	4.95	3.86	0.35	4.11	1.50	1.47	0.00
<b>Total Phaeophyta</b>	7.98	13.0	16.4	21.5	16.7	14.3	4.50	6.34	17.8	13.3	9.95	4.01	18.0	1.84	1.97	0.33
<i>Blindingia marginata</i>	0.21	1.50	0.19	0.25	1.50	0.00	0.00	0.00	1.05	0.31	0.00	0.16	1.12	0.00	0.00	0.00
<i>Enteromorpha</i> sp.	0.19	0.75	1.55	1.35	3.45	0.00	0.00	0.00	1.78	0.00	0.28	0.00	1.66	0.00	0.00	0.00
<i>Chaetomorpha linum</i>	1.55	1.22	0.13	0.33	0.00	1.26	0.00	1.45	2.06	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.43
<i>Chaetomorpha aerea</i>	0.11	0.23	0.50	0.18	0.00	1.33	1.50	0.00	1.66	0.00	0.00	0.31	0.00	0.00	0.50	0.00
<i>Cladophora</i> sp.	6.75	8.64	2.64	1.50	2.20	8.33	10.3	6.21	4.77	3.77	9.52	3.05	4.71	1.13	1.50	9.54
<i>Ulva prolifera</i>	0.33	0.00	1.44	0.00	1.66	0.00	0.00	0.00	1.42	0.00	0.00	0.00	7.44	0.00	0.00	2.50
<i>Ulva clathrata</i>	3.11	2.67	2.61	8.75	1.14	1.50	1.02	0.00	0.00	2.05	0.39	0.00	1.03	0.00	0.00	0.33
<i>Ulva</i> sp.	0.00	15.0	13.4	3.56	4.00	5.00	3.11	0.00	5.28	5.18	7.88	0.51	5.77	0.00	0.50	1.85
<i>Chlorophyceae</i> Ind	1.98	0.00	2.88	0.14	1.05	0.00	1.12	0.00	0.00	1.03	0.88	0.00	1.12	1.12	0.00	0.00
<b>Total Chlorophycophyta</b>	14.2	30.0	25.3	16.0	15.0	17.4	17.1	7.66	18.0	12.3	18.9	4.03	22.8	2.25	2.50	14.6
<i>Diatomophyceae</i>	2.48	0.00	0.00	0.33	0.00	4.67	5.00	2.00	0.51	8.71	0.86	0.27	0.00	0.00	4.30	3.09
<b>Total Algues</b>	80.0	84.9	59.2	67.2	63.8	68.5	49.0	46.0	70.2	81.3	70.5	54.0	68.0	64.5	50.7	41.7
<i>Cyanobacteria</i>	0.00	2.22	8.71	0.91	3.37	6.12	5.32	9.50	15.0	0.76	3.29	1.52	4.12	1.12	3.76	5.06
<i>Posidonia oceanica</i>	0.00	0.74	3.69	3.51	7.66	6.41	1.18	6.50	3.32	3.73	2.87	13.5	6.85	10.5	2.37	2.02
<b>Total Flore</b>	80.0	87.8	71.6	71.7	74.8	81.0	55.6	62.0	88.6	85.8	76.7	69.0	79.0	76.1	56.8	48.8
<i>Crustaceans</i>	1.98	3.66	3.86	2.69	3.10	0.00	0.51	3.33	2.67	2.05	4.05	5.19	2.16	0.33	1.51	7.78
<i>Foraminifera</i>	2.74	0.68	5.58	1.88	4.51	0.00	3.61	2.15	0.41	3.76	2.69	2.34	2.33	2.50	7.33	10.4
<i>Hydrozoa</i>	2.56	1.12	3.29	0.56	3.45	1.16	1.47	2.64	2.19	2.45	2.23	4.45	3.75	0.00	0.50	5.44
<i>Porifera</i>	3.71	2.85	8.01	5.58	1.62	3.41	10.4	2.85	2.29	2.08	1.04	6.18	1.03	2.34	8.66	4.33
<i>Faune</i> Ind	3.38	0.75	2.11	17.6	1.00	4.36	8.50	1.50	0.00	1.47	2.18	7.07	1.50	10.3	10.5	8.66
<b>Total Faune</b>	14.3	9.06	22.8	28.3	13.7	8.93	24.5	12.4	7.56	11.8	12.2	25.2	10.7	15.5	28.5	36.6
<i>Fraction</i> Ind	5.58	3.08	5.56	0.00	11.5	10.0	19.8	25.5	3.77	4.28	11.1	5.71	10.2	8.36	14.6	14.5

L'essentiel du bol alimentaire d'*A. lixula* se compose de forte proportion en flore algale suivi des fractions faunistiques et enfin les fragments de feuilles de posidonie.

En favorisant les algues macrophytes dans leurs nourritures, les oursins noirs, optent pour les Rhodophytes, qui prennent le dessus en matière de contribution (Figure 33). En effet, ce taxon participe avec des proportions allant de plus de 55 % à Salamandre et plus de 60% à Stidia (Tableau 7).

La variation de ce groupe d'algues ne présentait aucune différence significative en fonction des saisons, sites et années (test de Kruskal-Wallis,  $p > 0.05$ ). Ce qui signifie que la contribution de ce groupe d'algues dans le contenu digestif reste similaire et régulier tout au long des saisons, sites et pendant les deux années d'études.

Les valeurs pics des algues rouges ont été enregistrées durant la saison hivernale de l'année 2015 à Salamandre avec 55.3% et durant la saison printanière de l'année 2016 à Stidia avec 60.4%.

La saison estivale de l'année 2015 a marqué les pourcentages les moins importants de ce type d'aliments avec 17.3% à Salamandre et 22.5% à Stidia (Tableau 7).

Les corralinacées encroustées et les algues *Herposiphonia* sp., *Laurencia* sp., *Callithamniella tingitana*, constituent la majorité des Rhodophycées contenues dans le tractus digestif d'*Arbacia lixula* des deux sites (Tableau 7).

Les corralinacées notent leurs meilleures contributions (14%) durant la saison printanière de l'année 2015 à Stidia, tandis que le pic de l'algue *Herposiphonia* sp. est enregistré à Salamandre pendant la saison estivale de l'année 2016 (14.7%).

L'algue *Jania rubens* enregistre son pic avec 12.5% à Stidia en Printemps 2016 (Tableau 7).

On note aussi, le fort pourcentage de l'algue *Centroceras* sp., avec 15% à Salamandre en Automne 2016, ainsi que l'algue *Bangia fuscopurpurea* avec 10% en Printemps 2015.

L'algue *Titanoderma* sp., à Stidia se manifeste avec 9.5% en Été 2016. Les Rhodophycées indéterminées marquent leurs pics en Hiver 2015 à Salamandre par 14% de contribution (Tableau 7).

Les algues *Ulva* sp. et *Cladophora* sp., ont présenté le groupe des chlorophycées. Le pic est enregistré en Printemps 2015 à Salamandre pour l'algue *Ulva* sp. avec 15% de présence, alors que l'algue *Cladophora* sp. présente un maximum de contribution en Été 2015 à Stidia avec 10.3% de contribution.

Les phéophycées occupent la troisième position dans l'alimentation d'*A. lixula*, et se manifestent par la présence des algues *Ectocarpaceae* indéterminées, *Dictyota dichotoma* et *Cladostephus* sp. Le pourcentage 20.8% signalé en Automne 2015 à Salamandre attribué aux algues *Ectocarpaceae* indéterminées, constitue la meilleure contribution des phéophycées (Tableau 7).

Une différence significative en fonction des sites a été signalée pour ce groupe (test de Kruskal-Wallis,  $p < 0.05$ ). Par contre, aucune différence n'a été marquée en fonction des saisons (test de Kruskal-Wallis,  $p > 0.05$ ).

La fraction animale occupe une place importante dans le contenu digestif d'*A.lixula*. En effet, cette fraction s'annonce par l'apport le plus important avec 28.3%, en Automne 2015 à Salamandre et pendant la saison Automnale de l'année 2016 à Stidia par 36.6% de contribution. Tandis que les valeurs minimales de ce type d'aliments sont signalées en Hiver 2016 par 7.5% à Salamandre et par 8.93% en Printemps 2015 à Stidia.

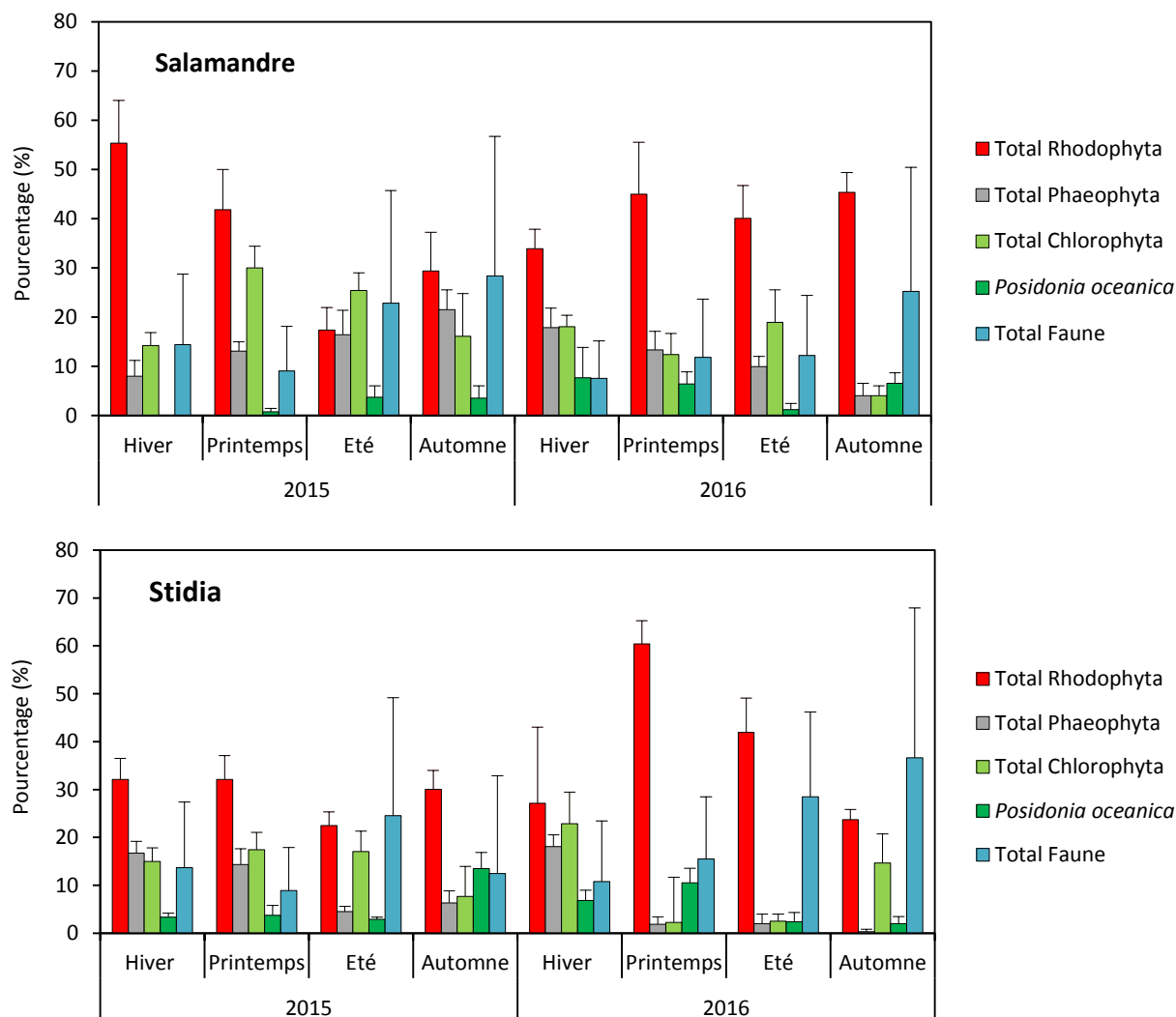
Aucune différence significative n'a été enregistrée pour ce groupe à travers les saisons, années et sites (test de Kruskal-Wallis,  $p > 0.05$ ).

L'ensemble de la faune présente les groupes faunistiques suivants : Crustacés, Eponges, Foraminifères et les Hydrozoaires. On note que la faune indéterminée marque le pic le plus élevé avec un pourcentage de 17.6% en Automne 2015 à Salamandre contre 10.5% en été 2016 à Stidia (Tableau 7).

Les Eponges ont signalé leur pic pendant la saison estivale de l'année 2015 par 10.4% à Stidia. Tandis que les Foraminifères, les Crustacés et les Hydrozoaires enregistrent leurs valeurs maximales à Stidia en Automne 2016 par les pourcentages respectifs de 10.4%, 7.78% et 5.44% (Tableau 7).

La phanérogame marine *Posidonia oceanica* a marqué sa forte participation dans les contenus digestifs des oursins noirs du site de Salamandre en Automne 2016 par 13.5% contre 10.5% en Printemps 2016 à Stidia (Tableau 7, Figure 33).

Toutefois, la différence qui existe reste non significative durant les saisons, années et sites (test Kruskal-Wallis,  $p > 0.05$ ).



**Figure 33.** Principaux aliments consommés par les populations d'*A. lixula* des deux sites étudiés (Contributions moyennes exprimées en pourcentage).

#### IV.2.3. Comportement Sestonophage et variation de la MO

Le Tableau 8 représente les résultats de l'évolution saisonnière du poids de la matière particulaire (MP) et celui de la matière organique (MO) des deux sites d'études.

**Tableau 8.** Variation saisonnière du poids de la matière particulaire (MP) ( $\text{mg.ml}^{-1}$ ) et de la matière organique (MO) ( $\text{mg.ml}^{-1}$ ) de l'eau de mer des deux sites d'études.

Saisons	Stidia		Salamandre	
	MP	MO	MP	MO
Hiver	16.31	3.89	19.08	5.89
Printemps	13.55	2.05	14.11	4.27
Été	12.27	1.85	12.36	3.66
Automne	13.22	2.36	13.59	5.07

D'après le Tableau 8, l'évolution de la matière particulaire (MP) à travers les saisons enregistre un changement significatif important ( $p < 0.05$ ). En effet, les valeurs moyennes de la saison hivernale ont été nettement meilleures par rapport aux autres saisons dans les deux sites étudiés (19.08 mg/l Salamandre et 16.31 mg/l à Stidia).

En comparant la variation de la MP en fonction des deux sites, le changement se révèle non significatif ( $p > 0.05$ ).

L'évolution de la matière organique (MO) en fonction des saisons n'a pas montré une différence marquante ( $p > 0.05$ ). Les valeurs moyennes de la MO restent généralement identiques durant toutes les saisons de l'année pour les deux sites. Par contre, l'évolution de la MO en fonction des deux sites a été significativement différente ( $p < 0.05$ ).

En conséquence, le site de Salamandre affiche les seuils les plus importants par rapport à Stidia et paraît de ce fait plus riche en MO qui est disponible toute l'année.

#### IV.2.4. Etude des piquants

D'après l'analyse du Tableau 9, les piquants primaires des oursins du site de Salamandre sont significativement plus longs ( $p < 0.05$ ) avec une moyenne  $19.2 \pm 3.18$  mm et d'aspect plus fragile que ceux du site de Stidia qui sont plus courts avec une moyenne de  $15.16 \pm 2.41$  mm et d'aspect plus dur et plus solide (Table 8).

**Tableau 9.** Valeurs moyennes ( $\pm$  ET) de la longueur des piquants primaires (LP) des deux sites d'études. D : diamètre du test.

Sites	Nombre d'oursins	Diamètre moyenne (mm)	Nombre piquants	Langueur moyenne (mm)	LP / D
Salamandre	123	$42.54 \pm 9.45$	1230	$19.2 \pm 3.18$	0.45
Stidia	123	$36.98 \pm 6.83$	1230	$15.16 \pm 2.41$	0.41

En ce qui concerne le rapport longueur piquant sur le diamètre, cette relation montre des valeurs importantes pour les oursins provenant du site de Salamandre contre ceux du site de Stidia (Tableau 9).

- **Discussion**

Les valeurs saisonnières de l'indice de réplétion obtenues dans les deux sites ont été en faveur des populations d'oursins du site de Stidia par rapport à ceux de Salamandre.

En effet, les valeurs de l'IR diffèrent significativement en fonction des sites ( $p < 0.05$ ). Cela témoigne que le site de Stidia est doté d'une richesse floristique plus importante est plus favorable

à l'épanouissement des populations d'*Arbacia lixula* par rapport à ceux qui vivent à Salamandre qui est moins riche en algues photophiles. L'indice de réplétion est le reflet des conditions alimentaires. En conséquence, plus les ressources trophiques sont réduites plus l'indice de réplétion est faible. La période de forte consommation chez les oursins de *Stidia* se concentre durant la saison Automnale (Figure 32).

D'après Bayed *et al.*, (2005) et Sellem & Guillou (2007) des valeurs élevées de l'indice de réplétion (c'est-à-dire de l'indice de remplissage du tube digestif) sont généralement observés chez *P. lividus*, durant la phase de gamétogenèse, ce qui laisserait supposer un besoin accru de réserves pour la reproduction.

Les valeurs saisonnières les plus basses de l'indice de réplétion pendant l'année 2016 sont signalées durant la saison estivale à Salamandre et *Stidia* respectivement ( $4.88 \pm 2.28 \text{ mg/cm}^3$  et  $9.84 \pm 1.39 \text{ mg/cm}^3$ ) (Figure 32).

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.

D'après Soualili & Guillou (2009) et Wangenstein (2013), la saison estivale est propre à la période de ponte. Les gonades en cette phase n'ont pas encore terminé leurs expulsions gamétiques, à cet égard l'indice de réplétion durant cette période enregistre les valeurs les plus basses.

D'après Leighton (1968), Siikavuopio *et al.*, (2007) cette évolution inverse serait due à une diminution de l'espace dans la cavité coelomique lorsque les gonades sont très développées qui peuvent aussi exercer une compression sur le tractus digestif et entraver la digestion. Par contre, et selon Buckle *et al.*, (1977), Nichols *et al.*, (1985), Zanoun (1987), Semroud (1993), un stress physiologique et un besoin moins accru de nourriture s'observent également durant la période de ponte.

Le suivi de l'indice de réplétion et l'analyse du contenu stomacal, nous ont permis de déceler une activité trophique saisonnière chez *A. lixula*. Cela a été plus visible en 2016 où l'IR, a signalé deux périodes claires de faible et une forte activité trophique qui est en relation direct avec la gamétogénèse (Nédélec, 1982 ; Semroud & Kada, 1987 ; Fernandez & Boudouresque, 1997).

La saison hivernal se manifeste par une forte activité trophique avec une durée variable selon les sites (Lozano *et al.*, 1995 ; Spirlet *et al.*, 1998; Bayed *et al.*, 2005; Sellem & Guillou, 2007). Cette période s'achève avant ou au début de la période de ponte (Soualili, 2008). L'absence d'une variabilité de l'activité trophique saisonnière pourrait s'expliquer par le fait que le milieu est suffisamment riche pour assurer la reproduction et que des périodes d'intensification de la recherche de nourriture ne sont pas nécessaires (Soualili, 2008).

Des résultats similaires ont été obtenus sur les populations de *Paracentrotus lividus* qui présentaient une évolution saisonnière de l'indice de réplétion plus ou moins marquée selon les sites, allant d'une saisonnalité très nette en Tunisie (Sud de la baie de Tunis) (Sellem et Guillou, 2007) à de très faibles variations annuelles dans les autres sites de la région centrent Algérienne (Alger plage, Tamentefoust et Sidi-Fredj) (Soualili et Guillou, 2009) ou la lagune d'Urbinu en Corse (Fernandez, 1996).

Selon Sadoud (1988), Fernandez (1996) et Kouadri Mostefai (2014), l'IR évolue inversement à l'IG, et les valeurs élevées de l'IR est attribuées principalement aux individus de petite taille et qui proportionnellement consommeraient bien plus que les individus de grande taille.

D'après Lawrence (1975) et Lumingas (1994), la 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).

D'autres part, chez les oursins, il a été démontré (*in vitro*) que la production somatique et gonadique est élevée lorsqu'ils sont en présence d'une forte disponibilité de nourriture (Lawrence *et al.*, 1992). De nombreux auteurs ont signalé l'étroite relation entre la croissance gonadique; et la disponibilité de la nourriture dans le milieu (Fuji, 1960; Ebert, 1968; Gonor, 1973; Pearse, 1981), et la qualité de nourriture telles que: les algues photophiles, la richesse en matières organiques (Régis, 1979; Lawrence & Lane, 1982; Keats *et al.*, 1984; Fernandez, 1989; Lozano *et al.*, 1995; Guettaf, 1997).

Les aliments ingérés par *A. lixula* peuvent changer en fonction du biotope, de la saison et des ressources disponibles. Les deux sites choisis pour notre étude présentent une différence dans leurs biotopes ; le premier site situé à Salamandre est caractérisé par un substrat rocheux et à forte activité portuaire et est considéré comme perturbé, l'autre site de Stidia caractérisé par un substrat mixte sablo-rocheux, riche en algues photophiles.

L'aspect différent des biotopes, des deux sites n'a pas influencé le régime alimentaire des populations d'*A. lixula*. En effet ces oursins, durant les quatre saisons des deux années, ont présenté un régime alimentaire diversifiée et rationnelle. Le facteur saisonnier est généralement distinctif pour la mobilité du régime alimentaire (Lawrence, 1975 ; Nédélec, 1982 ; Verlaque, 1987) et son action fait que les pics des différents types de végétations se réfléchissent nettement dans la composition des contenus digestifs des échinoïdes.

En visualisant la composition intestinal tout au long des deux années, *A. lixula* a présenté une souplesse trophique considérable. Le comportement alimentaire via le caractère herbivore est très net. En effet des proportions très élevées sont signalés pour la flore totale comprise dans l'intervalle 48.8 et 88.6%. L'avantage très net des Rhodophycées perçues dans les contenus digestifs ne peut être expliqué que par la préférence des oursins de ce genre d'algue par rapport aux autres taxa.

Powis de Tenbosche (1978) conçoivent que la structure de la lanterne d'Aristote a également des conséquences au niveau du comportement trophique. L'efficacité de l'appareil masticateur d'*A. lixula* lui permet de s'attaquer à des aliments plus durs. Ce qui dégage que le genre d'algues calcaires très dur est facilement arraché des roches par ces oursins. Ceci, est aussi, confirmé par la présence de fragments de roches ou/et du sédiment dans les contenus digestifs des oursins. Nos résultats sont comparables à ceux obtenus par Frantzis *et al.*, (1988), qui ont montré qu'*A. lixula* a une grande affinité pour les Corallinacées encrustantes durant toutes les saisons étudiées (Octobre, Mars et Juillet 1988) dans l'île de Port-Cros (Var, France).

La présence élevée de la fraction animale dans les contenus digestifs des oursins noirs, laisse supposer que cet item n'est pas présent accidentellement, d'autant plus que l'apport de cet aliment soit mieux présenté dans les intestins des populations du site de Stidia. Ce dernier supposé être riche en algue photophile, les oursins de ce site marque les valeurs les plus fortes de la faune. De ce fait, *A. lixula* cible ce type d'aliment.

L'élasticité d'*A. lixula* vers une provision faunistique est précisée par les travaux de Wangenstein *et al.*, (2011) et Agnetta *et al.*, (2013), où ils ont justifié une proportion systématiquement plus élevée d'aliments d'origine animale ingérés chez *A. lixula* par rapport à *P. lividus*. Ces auteurs ont même conclu que les niveaux trophiques estimés indiquent qu'*A. lixula* est une espèce omnivore qui a tendance à devenir carnivore. Cette capacité à apprécier de tels aliments est soutenu par les travaux de Trenzado *et al.*, (2012) sur le profil enzymatique digestif (amylase, lipase, protéases, trypsine, chymotrypsine et cellulases) chez les trois espèces d'oursins méditerranéens (*Arbacia lixula*, *Sphaerechinus granularis* (Lamarck, 1816) et *Paracentrotus lividus*). A l'issue de cette étude, ces auteurs concluent que l'oursin noir *A. lixula* serait l'espèce ayant la capacité digestive totale la plus élevée avec des teneurs élevées en enzymes digestives telle la lipase, des protéases et la trypsine qui lui permettrait de se nourrir d'une grande variété d'aliments, y compris d'origine animale. De ce fait *A. lixula* présente le mécanisme enzymatique le plus appropriée pour digérer les nutriments d'origine animale comme cela a été établi pour d'autres animaux (Hidalgo *et al.*, 1999 ; Agustí & Cohen, 2000 ; Cohen, 2000 ; Furné *et al.*, 2005).

Les fragments de la posidonie présentait les apports les plus faibles dans les contenus digestifs de d'*A. lixula*. Ce dernier ne semble pas favoriser cette phanérogamme dans son régime alimentaire. En effet, selon Piovetti *et al.*, (1984), la production primaire issue de *P. oceanica* est riche en composés phénoliques, dont l'un des rôles est de dissuader les consommateurs potentiels tels les herbivores. Ces oursins n'ont recours à ce type d'alimentation telle la posidonie que si la nourriture préférentielle fait défaut. Boudouresque et Verlaque (2001) précisent que même si les oursins ingèrent simultanément des feuilles de posidonie et des épiphytes, la flore épiphyte des feuilles de *P. oceanica* semble être la cible privilégiée.

Le site de Salamandre est caractérisé par une pollution domestique et industrielle (Boukhelf, 2012), nos résultats le confirment avec des valeurs importantes en matière organique durant toutes les saisons. Bien que ce site soit moins riche en algues photophiles, les oursins de ce site sont caractérisés par des piquants qui apparaissent plus longs et plus pointus. En plus, le test de ces oursins paraît plus large avec un diamètre plus important contrairement à ceux de *Stidia*.

Régis (1986) a montré dans ces études que la longueur des piquants représentait le tiers du diamètre du test pour les populations de *P. lividus* dans le golfe de Marseille (France), qui vivent dans des zones réputées non polluées. Dans notre étude, les piquants d'oursins du site de Salamandre atteignaient presque la moitié du test (avec un meilleur allongement), et un peu moins pour les piquants du site de *Stidia*.

Gotsis et Panyotidis (1988) relient également la longueur des piquants à leur rôle dans la collecte du matériel organique nécessaire pour la nutrition et le succès de la reproduction. Dans de tels milieux où la matière organique soit disponible toute l'année, cela peut pousser les oursins à une production gonadique optimale (Semroud et Kada, 1987 ; Guettaf, 1997 ; Soualili, 2008). De telle sorte que cette disponibilité favorise la restauration rapide des gonades (Mezali *et al.*, 2014) et aussi elle a un impact direct sur la croissance générale du test. Ainsi, selon Hermas *et al.*, (2018) l'allongement important des piquants dans un site pollué est lié à la présence de matières organiques qui augmente l'acidité de l'eau et soutiendrait à la friabilité de la roche encaissante.

Pancucci *et al.*, (1993), considère l'allongement des piquants comme une adaptation morphofonctionnelle à une prise plus active et plus efficace du matériel organique abondant dissous ou en suspension dans la colonne d'eau. Les oursins du site de Salamandre semblent puiser dans ces ressources et profitent pleinement de la disponibilité de la matière organique en témoignant ainsi l'emploi d'un régime sestonophage en absorbant la matière organique dans l'eau de mer par les piquants. La capacité d'absorber directement la matière organique particulaire à travers l'épiderme a été décrite pour diverses espèces d'échinodermes (Péquignat, 1972).

Au terme de cette partie de notre étude, on pourra dire sans ambiguïté que l'oursin noir des côtes de Mostaganem se caractérise par un comportement alimentaire beaucoup plus important et développé en une gamme alimentaire très diversifiée pour répondre à ces besoins énergétiques. Les besoins énergétiques accrus d'*A. lixula* sont associés à une plus grande résistance manifestée à l'action des vagues (Trenzado *et al.*, 2012).

Bien que l'essentiel de son alimentation soit composée par des algues macrophytes. La faune occupe un espace très important dans son régime alimentaire. De plus, quand il est confronté à des conditions plus ou moins extrême tels les milieux pollués moins riches en algues photophiles, il peut s'adapter d'une façon morpho-fonctionnelle en allongeant ces piquants. Ces derniers deviennent des capteurs d'autres sources trophiques en suspension. En ce sens, les habitudes alimentaires peuvent être associées à l'habitat, aux changements saisonniers ou à d'autres paramètres environnementaux spécifiques (Lawrence *et al.*, 2007). Le system digestif d'*A. lixula* est beaucoup plus efficace que celui d'autres échinoïdes lui permettant de se nourrir d'une grande variété d'aliments. En regroupant plus d'un type de comportement alimentaire ; L'omnivorie et la Sestonophagie.

### IV.3. Suivi de la croissance

#### IV.3.1. Démographie

L'ensemble des prélèvements mensuels réalisés est illustré dans le Tableau 10, le diamètre des oursins noirs du site de Salamandre oscille entre 20.4 mm et 63.1 mm, tandis que pour les spécimens du site de Stidia, le diamètre de ces oursins varie entre 20.0 mm et 56.1 mm.

**Tableau 10.** Résumé de la composition de taille de l'échantillonnage totale d'*A.lixula*.

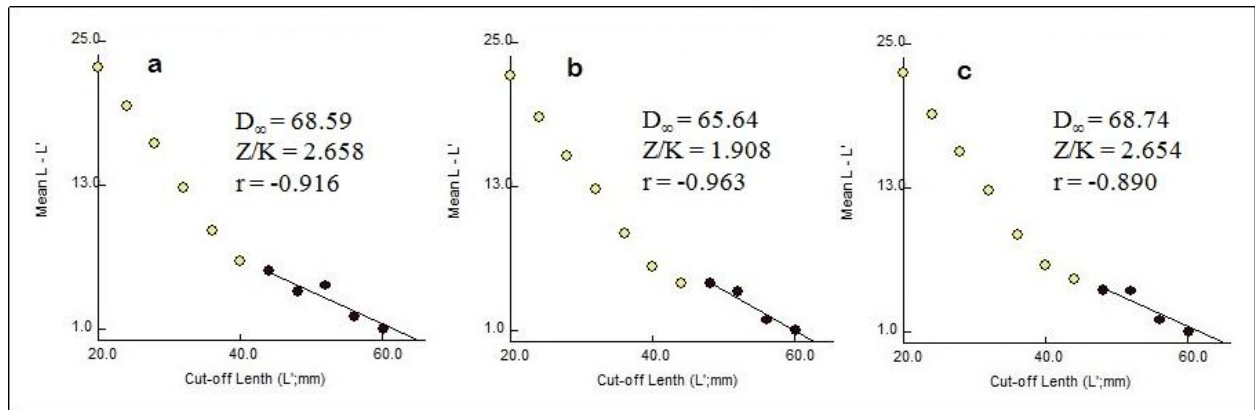
	Salamandre			Stidia		
	Femelles	Mâles	Sexes confondus	Femelles	Mâles	Sexes confondus
Nombre d'individus	446	474	920	395	459	854
Diamètre maximale $D_t$ (mm)	63.1	62.8	63.1	51.5	56.1	56.1
Diamètre minimale $D_t$ (mm)	21.1	20.4	20.4	20.0	20.4	20.0
Diamètre moyen $D_t$ (mm)	42.1	41.6	41.75	35.75	38.25	38.05

La distribution de fréquence de taille a été établie avec des classes de tailles de 4 millimètre de diamètre. Ainsi pour notre espèce, des structures de fréquence en taille et par sexe sont établies mensuellement allant de Janvier à décembre 2016. L'analyse du Tableau 10, montre que le diamètre moyen des oursins vivants à Salamandre est supérieur à celui des oursins vivants à Stidia.

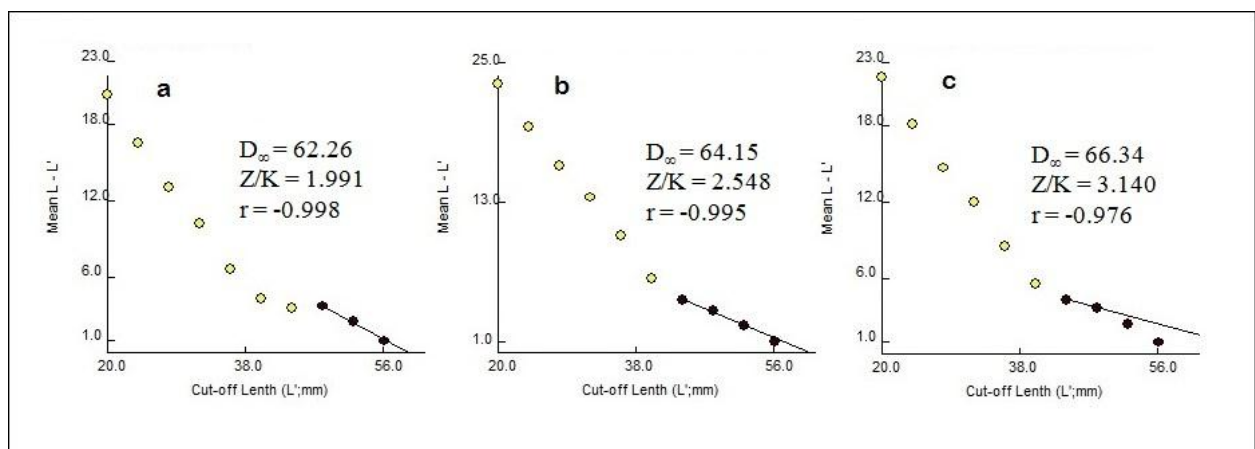
#### IV.3.2. Etude de la croissance

##### IV.3.2.1. Calcul du diamètre asymptotique $D_\infty$

Pour la détermination de ce paramètre, on à utiliser la méthode Powell-Wetherall précédemment décrite dans la partie méthodologie. Les valeurs de  $D_\infty$  et de  $Z/K$  des femelles (a), mâles (b) et tous sexes confondus (c) des populations d'oursins récoltés dans les deux sites sont illustrées dans les Figures 34 et 35.



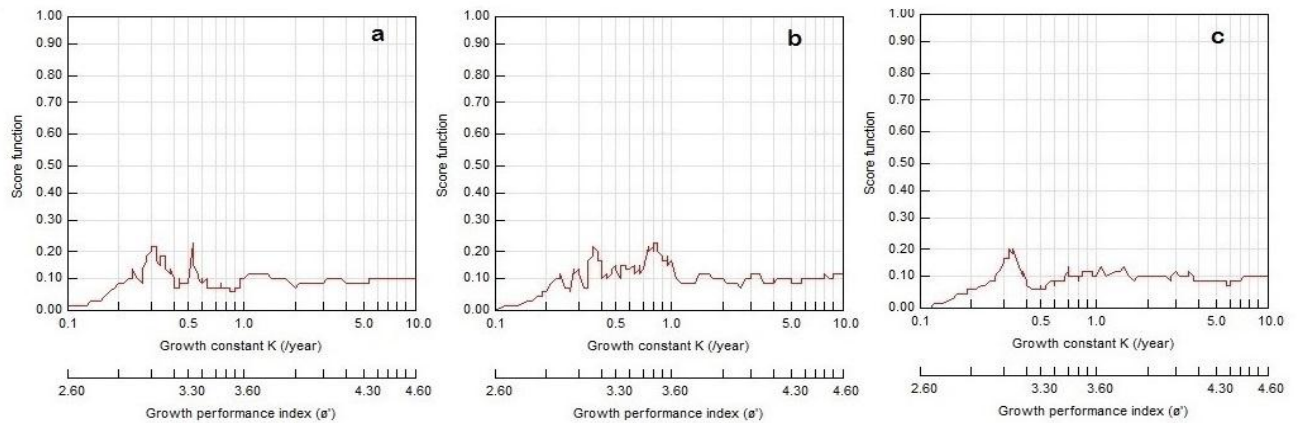
**Figure 34.** Méthode Powell-Wetherall pour l'estimation de  $D_{\infty}$  et  $Z/K$  chez *A. lixula* du site de Salamandre (a : femelles, b : mâles, c : tous sexes confondus)



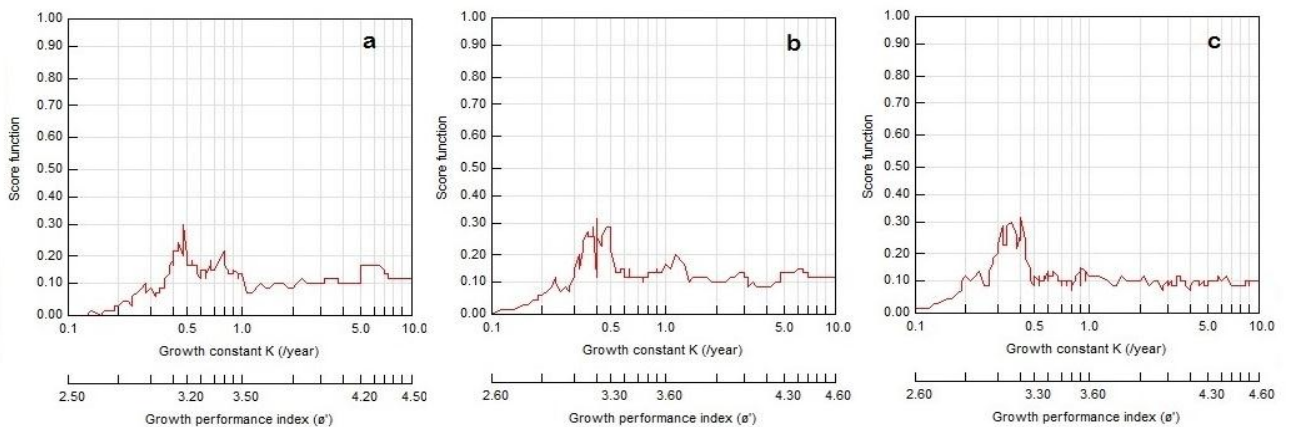
**Figure 35.** Méthode Powell-Wetherall pour l'estimation de  $D_{\infty}$  et  $Z/K$  chez *A. lixula* du site de Stidia (a : femelles, b : mâles, c : tous sexes confondus)

#### IV.3.2.2. Calcul du coefficient de catabolisme K

Les Figures 36 et 37 montrent respectivement les résultats de la méthode de ELEFAN utilisée pour la détermination du paramètre K des femelles (a), mâles (b) et tous sexes confondus (c) des individus d'*A. lixula* récoltés dans les deux sites étudiées.



**Figure 36.** Méthode ELEFAN pour l'estimation de  $D_{\infty}$  et  $K$  chez *A. lixula* du site de Salamandre (a : femelles, b : mâles, c : tous sexes confondus)



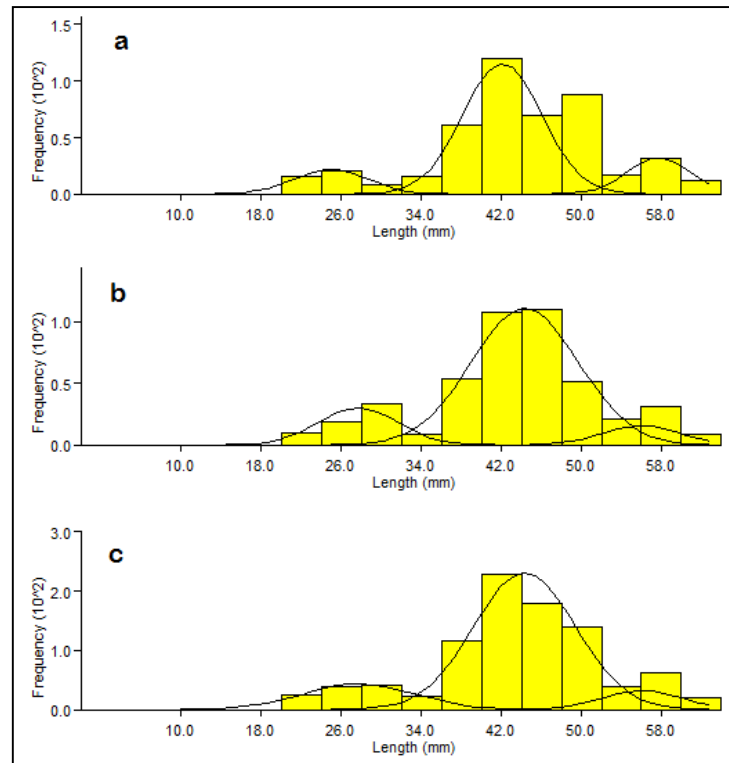
**Figure 37.** Méthode ELEFAN pour l'estimation de  $D_{\infty}$  et  $K$  chez *A. lixula* du site de Stidia (a : femelles, b : mâles, c : tous sexes confondus)

#### IV.3.2.3. Calcul de $t_0$

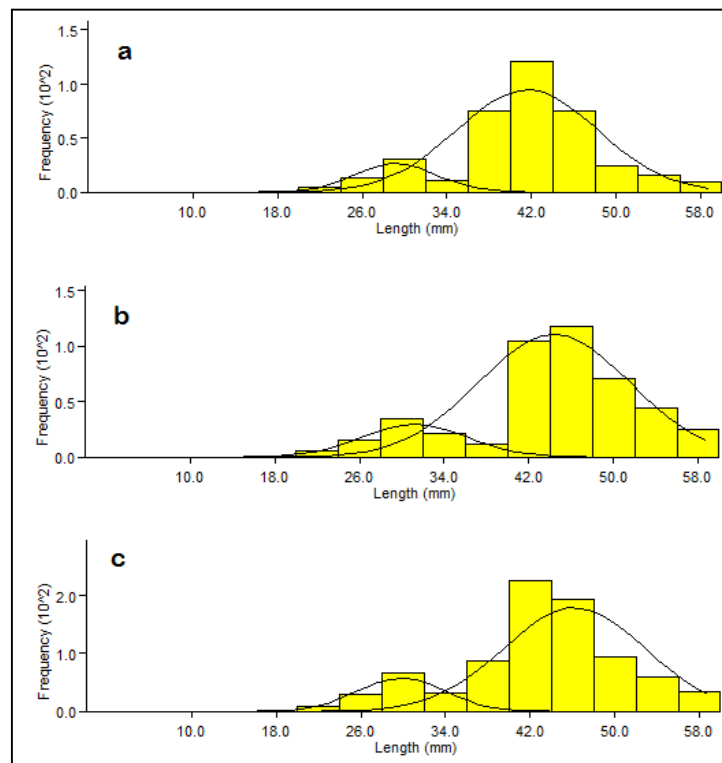
Pour la détermination du paramètre  $t_0$  on a utilisé le diamètre moyen correspondant à la première cohorte d'*A. lixula* observé dans les fréquences de tailles collectées, à l'aide de la méthode de Bhattacharya (1967).

##### ✓ Méthode de Bhattacharya (1967)

La répartition en sous-population réalisée par la méthode de Bhattacharya (1967) (Figures 38 et 39) nous a amené à définir 3 sous-populations pour les femelles, mâles et tous sexes confondus des populations d'oursins du site de Salamandre, tandis que pour le site de Stidia, la répartition nous a donnée deux sous-populations pour les deux sexes femelles et mâles ainsi que les deux sexes réunies.



**Figure 38.** Décomposition de la distribution de fréquence de taille des populations d'*A. lixula* du site de Salamandre par la méthode de Bhattacharya (1967) (a : femelles, b : mâles, c : tous sexes confondus)



**Figure 39.** Décomposition de la distribution de fréquence de taille des populations d'*A. lixula* du site de Stidia par la méthode de Bhattacharya (1967) (a : femelles, b : mâles, c : tous sexes confondus)

Le Tableau 11 illustre les valeurs de  $D_{\infty}$ ,  $K$  et  $t_0$  estimés pour les deux sexes. Ces valeurs sont ensuite remplacées dans l'équation de la croissance linéaire de Von Bertalanffy (1938) figurées dans le Tableau 12.

**Tableau 11.** Résultats des paramètres de croissance pour les femelles et mâles et tous sexes confondus chez *Arbacia lixula* des deux sites étudiés

Paramètres	Femelles				Mâles				Sexes confondus			
	K	$D_{\infty}$	$t_0$	$\hat{\phi}$	K	$D_{\infty}$	$t_0$	$\hat{\phi}$	K	$D_{\infty}$	$t_0$	$\hat{\phi}$
Salamandre	0.51	68.59	0.11	3.38	0.84	65.64	0.35	3.56	0.35	68.74	-0.48	3.22
Stidia	0.47	62.26	-0.35	3.26	0.41	64.15	-0.62	3.23	0.43	66.30	-0.39	3.28

**Tableau 12.** Equations de croissance linéaire de Von Bertalanffy (1938)

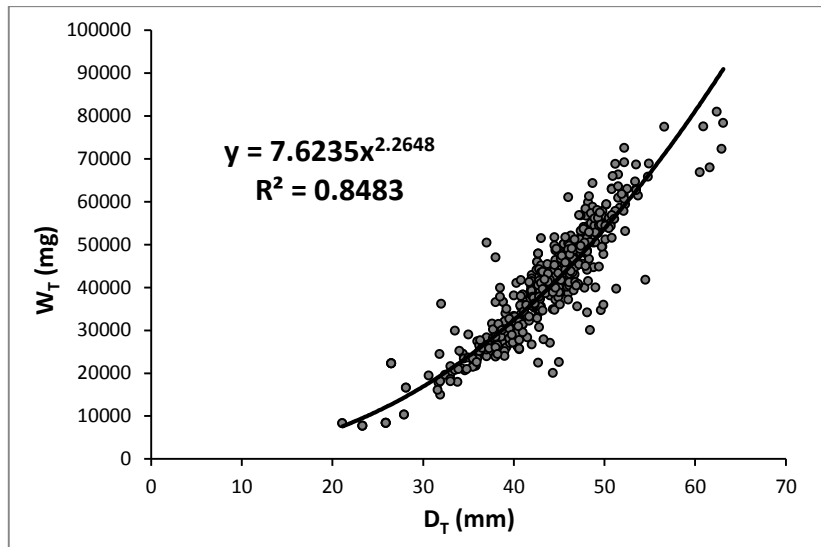
	Salamandre	Stidia
Femelles	$D(t) = 68.59 (1 - e^{-0.51(t-0.11)})$	$D(t) = 62.26 (1 - e^{-0.47(t+0.35)})$
Mâles	$D(t) = 65.64 (1 - e^{-0.84(t-0.35)})$	$D(t) = 64.15 (1 - e^{-0.41(t+0.62)})$
Sexes confondus	$D(t) = 68.74 (1 - e^{-0.35(t+0.48)})$	$D(t) = 66.30 (1 - e^{-0.43(t+0.39)})$

#### IV.3.2.4. Croissance relative (Relation Diamètre-poids)

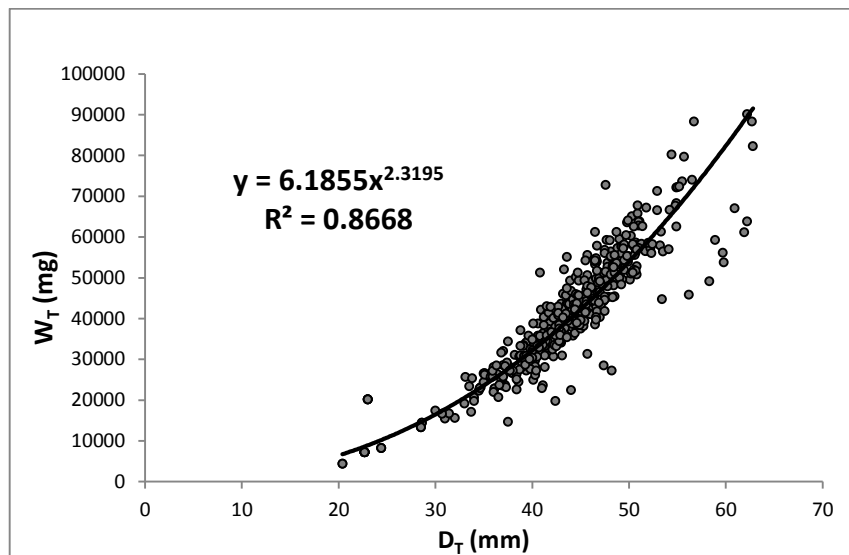
Les relations biométriques obtenus sont consignées dans le Tableau 13, et présentées dans les Figures 40, 41, 42, 43, 44 et 45. Cette relation reliant le diamètre au poids total indique une allométrie minorante inférieure à 3 pour les deux sexes dans chaque site.

**Tableau 13.** Relations biométriques d'*A. lixula* relations taille - poids

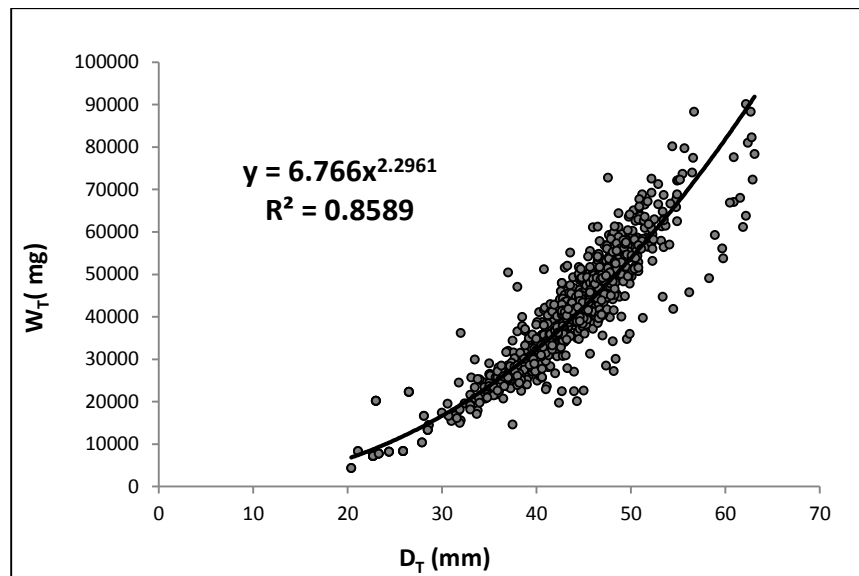
	Salamandre	Stidia
Femelles	$W_{\infty} = 7.6235 D_{\infty}^{2.2648}$	$W_{\infty} = 19.51 D_{\infty}^{2.0193}$
Mâles	$W_{\infty} = 6.1855 D_{\infty}^{2.3195}$	$W_{\infty} = 3.6752 D_{\infty}^{2.4701}$
Sexes confondus	$W_{\infty} = 6.766 D_{\infty}^{2.2961}$	$W_{\infty} = 8.2682 D_{\infty}^{2.2517}$



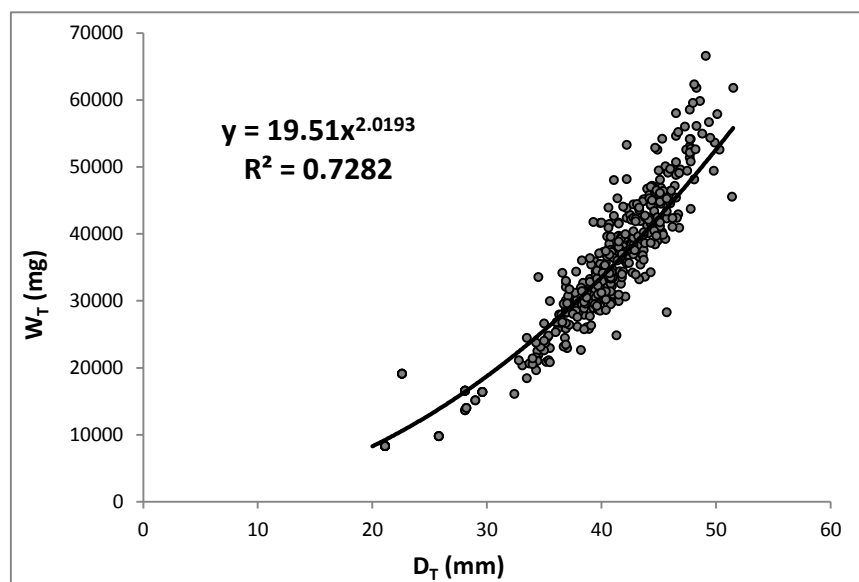
**Figure 40.** Corrélation entre la taille et le poids chez les femelles d'*A. lixula* du site de Salamandre



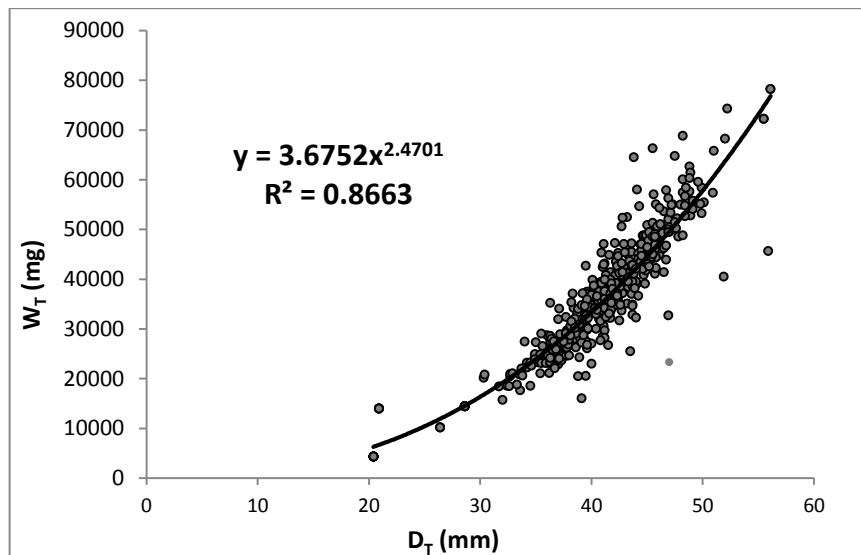
**Figure 41.** Corrélation entre la taille et le poids chez les mâles d'*A. lixula* du site de Salamandre



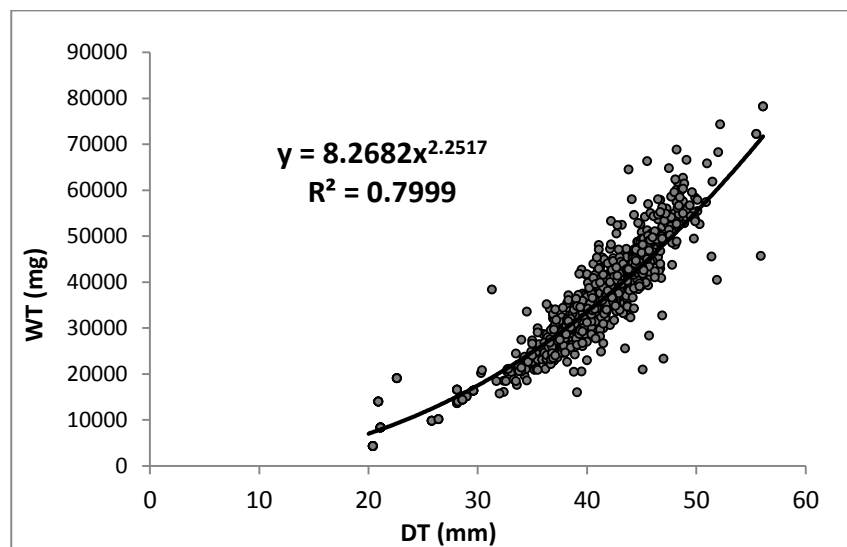
**Figure 42.** Corrélation entre la taille et le poids chez *A. lixula* tous sexes confondus du site de Salamandre



**Figure 43.** Corrélation entre la taille et le poids chez les femelles d'*A. lixula* du site de Stidia



**Figure 44.** Corrélation entre la taille et le poids chez les mâles d'*A.lixula* du site de Stidia



**Figure 45.** Corrélation entre la taille et le poids chez *A.lixula* tous sexes confondus du site de Stidia

#### IV.3.2.5. Equation et courbe de croissance

A partir de l'équation de croissance linéaire  $D(t) = D_{\infty} (1 - \exp^{-K [t - t_0]})$ , et de la relation taille-poids  $W_{\infty} = aD_{\infty}^b$ , l'équation de croissance de Von Bertalanffy (1938) qui apparaît sous la forme :  $W(t) = aD_{\infty}^b (1 - \exp^{-K [t - t_0]})^b$ . Les équations obtenues pour les populations d'oursins d'*A.lixula* des deux sites figurent sur le Tableau 14.

**Tableau 14.** Equation de croissance pondérale chez *A.lixula*

	Salamandre	Stidia
Femelles	$W_t = 109879.80 (1-e^{-0.51(t-0.11)})^{2.2648}$	$W_t = 81903.74 (1-e^{-0.47(t+0.35)})^{2.0193}$
Mâles	$W_t = 125048.05 (1-e^{-0.84(t-0.35)})^{2.3195}$	$W_t = 106963.95 (1-e^{-0.41(t+0.62)})^{2.4701}$
Sexes confondus	$W_t = 111879.06 (1-e^{-0.35(t+0.48)})^{2.2961}$	$W_t = 104451.09 (1-e^{-0.43(t+0.39)})^{2.2517}$

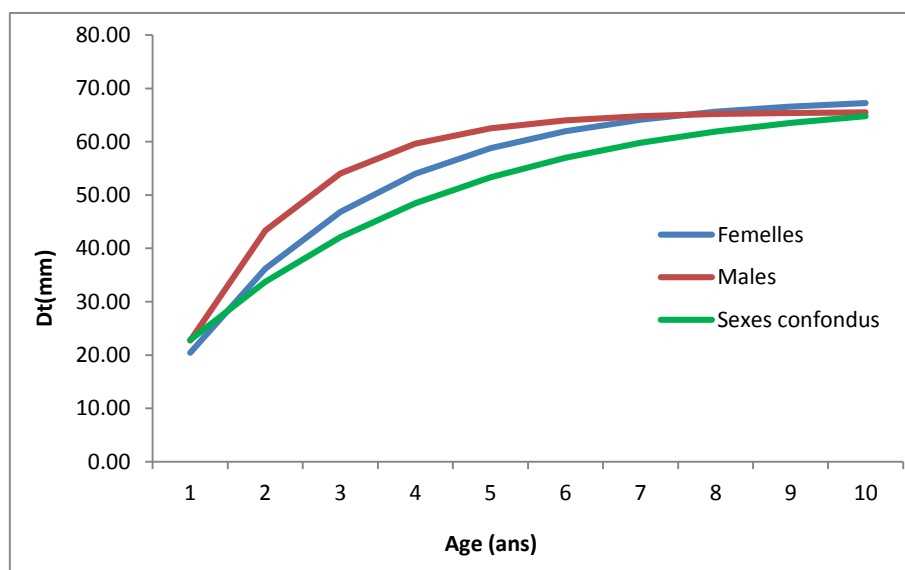
De plus, avec les relations obtenues des relations taille-poids, celle de la croissance pondérale et des résultats de la croissance linéaire nous avons dressé deux tableaux de correspondance (Tableau 15 et 16) Age-Diamètre  $D_{(t)}$  et Age-Poids total  $W_{(t)}$ . Les courbes de croissance résultante d'*A.lixula* des deux sites étudiés sont représentées respectivement sur les Figures 46, 47, 48 et 49.

**Tableau 15.** Correspondance des Ages en longueur et en poids chez *A. lixula* de la Salamandre

Ages (ans)	Femelles		Mâles		Sexes confondus	
	$D_{(t)}$ (mm)	$W_{(t)}$ (mg)	$D_{(t)}$ (mm)	$W_{(t)}$ (mg)	$D_{(t)}$ (mm)	$W_{(t)}$ (mg)
1	20.42	32709.91	22.73	35134.08	22.81	37130.01
2	36.20	57998.64	43.33	66972.32	33.77	54958.95
3	46.82	75000.20	54.04	83527.47	42.11	68535.37
4	53.95	86430.32	59.61	92135.77	48.46	78873.59
5	58.75	94114.76	62.50	96611.89	53.30	86745.97
6	61.97	99280.99	64.01	98939.37	56.98	92740.64
7	64.14	102754.24	64.79	100149.60	59.79	97305.49
8	65.60	105089.30	65.20	100778.90	61.92	100781.53
9	66.58	106659.16	65.41	101106.12	63.55	103428.49
10	67.24	107714.57	65.52	101276.26	64.79	105444.09

**Tableau 16.** Correspondance des Ages en longueur et en poids chez *A. lixula* de la Stidia

Ages (ans)	Femelles		Mâles		Sexes confondus	
	$D_{(t)}$ (mm)	$W_{(t)}$ (mg)	$D_{(t)}$ (mm)	$W_{(t)}$ (mg)	$D_{(t)}$ (mm)	$W_{(t)}$ (mg)
1	24.27	31926.72	25.90	43187.25	24.68	38916.24
2	35.91	47241.49	36.35	60615.49	36.53	57601.15
3	43.99	57863.26	43.95	73281.13	45.01	70970.24
4	49.59	65230.14	49.47	82485.62	51.08	80535.86
5	53.47	70339.53	53.48	89174.81	55.42	87380.07
6	56.16	73883.23	56.40	94036.05	58.53	92277.13
7	58.03	76341.00	58.52	97568.85	60.75	95780.98
8	59.33	78045.63	60.06	100136.25	62.34	98287.99
9	60.23	79227.89	61.17	102002.05	63.48	100081.76
10	60.85	80047.87	61.99	103357.99	64.29	101365.21

**Figure 46.** Courbe de croissance linéaire chez les populations d'*A. lixula* de la Salamandre

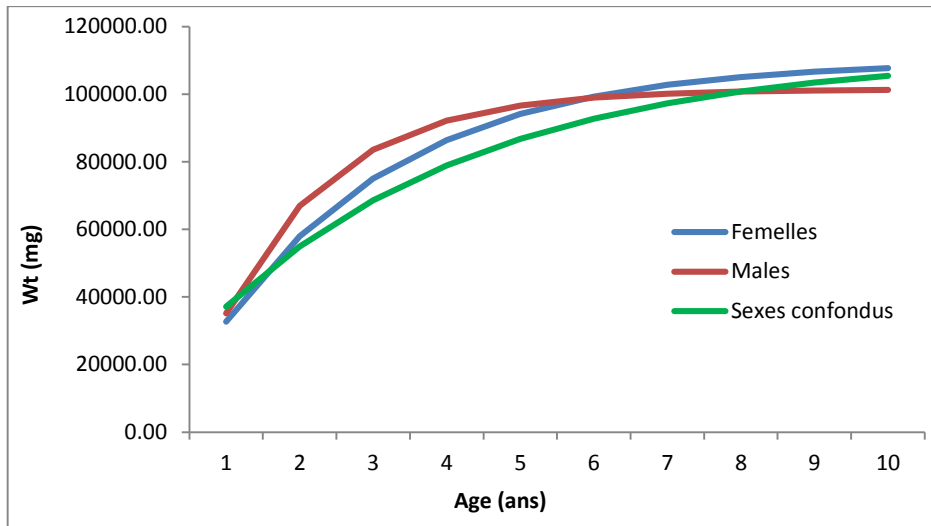


Figure 47. Courbe de croissance pondérale chez les populations d'*A. lixula* de la Salamandre

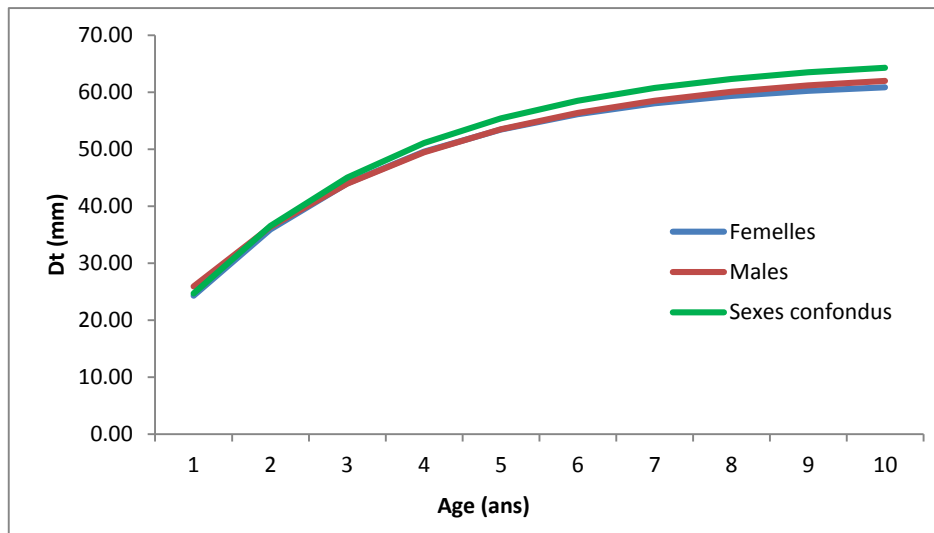
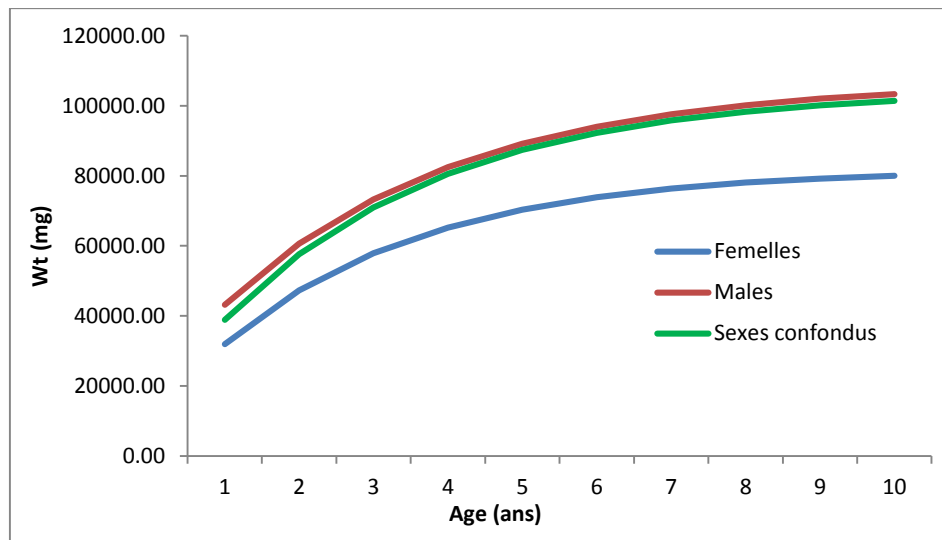


Figure 48. Courbe de croissance linéaire chez les populations d'*A. lixula* de Stidia



**Figure 49.** Courbe de croissance pondérale chez les populations d'*A.lixula* de Stidia

#### IV.3.2.6. Relations allométriques

##### IV.3.2.6.1. 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, 761 individus ont été utilisés pour réaliser ces mensurations. Les données relevées ont été ajustées à la courbe de puissance (Figure 50 et 51).

$H = bD^a$  où, **H** est la hauteur du test et **D** le diamètre du test. Les paramètres (**a** et **b**) ont été estimés (Tableau 17).

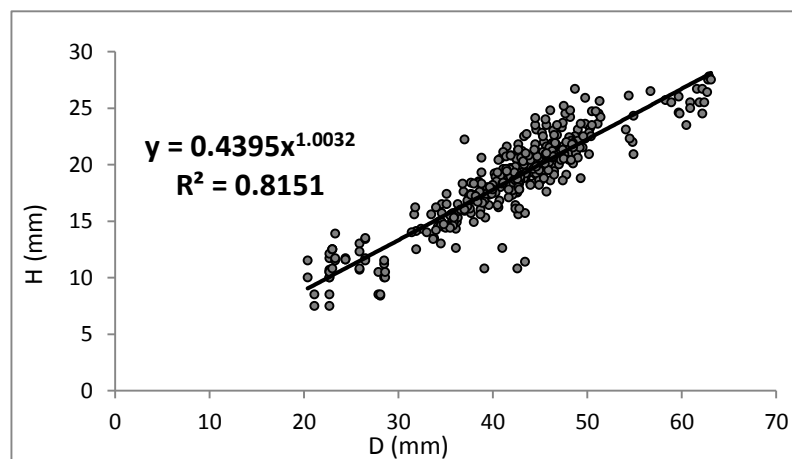
**Tableau 17.** Equations liant la hauteur (**H**) et le diamètre (**D**) du test sans les piquants chez *Arbacia lixula* dans les deux sites étudiés. **r** = coefficient de corrélation et **n** = taille de l'échantillon. Test t de Student (comparaison du coefficient de régression)

Sites	Equations	Comparaison des coefficients de régression avec le test "t"
SALAMANDRE	$H = 0.44 D^{1.00}$ <b>r = 0.90</b> <b>n = 362</b>	t observé = 46.29 > t théorique = 1.96 ( $p < 0.05$ ) Allométrie isométrique entre D et H
STIDIA	$H = 1.07 D^{0.76}$ <b>r = 0.86</b> <b>n = 399</b>	t observé = 56.97 > t théorique = 1.96 ( $p < 0.05$ ) Allométrie minorante entre D et H

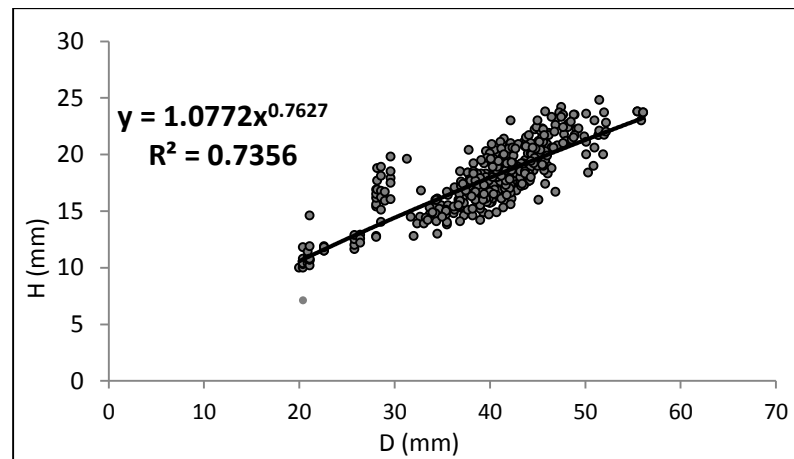
La relation entre la hauteur et le diamètre du test sans piquants pour les oursins de Salamandre affiche une très forte valeur de  $r$  qui est égale à **0.90** montrant une solide corrélation entre les deux variables. Le coefficient de régression  $a$  égale à 1, pour la population de Salamandre ; la croissance présente une allométrie isométrique, ce qui fait que pour l'ensemble de la population de Salamandre, la hauteur et le diamètre des oursins croissent à une vitesse similaire.

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 **0.86** et  $a$  égale à **0.76** qui est inférieure à 1 ; la croissance est minorante entre ces deux variables. Ainsi la hauteur et le diamètre croissent à une vitesse différente, avec une allométrie minorante dans le site de Stidia, l'ensemble des oursins de ce site (*A. lixula*) présente une croissance moins rapide de la hauteur par rapport au diamètre.

La comparaison des allométries entre les deux sites montre une différence significative entre Salamandre et Stidia ( $p < 0.05$ ). L'oursin de Stidia est significativement plus aplati que celui de Salamandre.



**Figure 50.** Relations allométriques entre la hauteur (H) et le diamètre du test (D) chez *A. lixula* tous sexes confondus dans le site de Salamandre.



**Figure 51.** Relations allométriques entre la hauteur (H) et le diamètre du test (D) chez *A. lixula* tous sexes confondus dans le site de Stidia.

#### IV.3.2.6.2. 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 52 et 53). Dans l'ensemble des sites, 635 individus ont été utilisés pour réaliser ces mensurations. Les paramètres ont été calculés et les valeurs ont été transcrites sur le tableau 18.

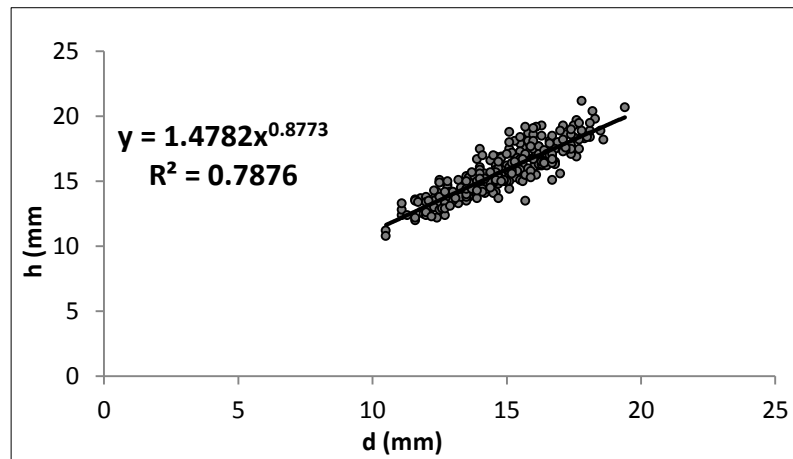
La relation entre **d** et **h** affiche des valeurs de **r** assez fortes, et le coefficient de régression inférieur à 1, met en évidence une relation d'allométrie minorante entre les deux variables **h** et **d** pour l'ensemble de la population. Ce qui signifie que la vitesse de croissance de la hauteur de la lanterne d'Aristote est inférieure à celle du diamètre pour tous les individus étudiés.

**Tableau 18.** 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).

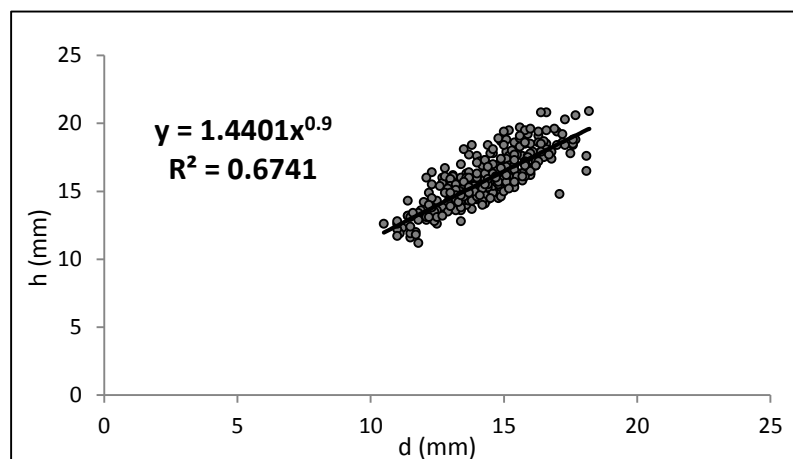
Sites	Equations	Comparaison des coefficients de régression avec le test "t"
<b>SALAMANDRE</b>	$h = 1.47 d^{0.88}$ <b>r = 0.89    n = 305</b>	t observé = -6.24 < t théorique = 1.96 ( $p < 0.05$ ) Allométrie minorante entre d et h
<b>STIDIA</b>	$h = 1.44 d^{0.90}$ <b>r = 0.82    n = 330</b>	t observé = -11.33 < t théorique = 1.96 ( $p < 0.05$ ) Allométrie minorante entre d et h

La comparaison des allométries ne montre aucune différence significative entre Salamandre et Stidia ( $p > 0.05$ ).

La vitesse de croissance du diamètre de la lanterne est supérieure à celui de hauteur de la lanterne d'Aristote de l'oursin dans l'ensemble des deux sites. Dans l'ensemble, les oursins des deux sites (Salamandre et Stidia) présentent un léger aplatissement de la mâchoire.



**Figure 52.** Relations allométriques entre le diamètre (d) et la hauteur (h) de la lanterne d'Aristote chez *A. lixula* tous sexes confondus dans le site de Salamandre.



**Figure 53.** Relations allométriques entre le diamètre (d) et la hauteur (h) de la lanterne d'Aristote chez *A. lixula* tous sexes confondus dans le site de Stidia.

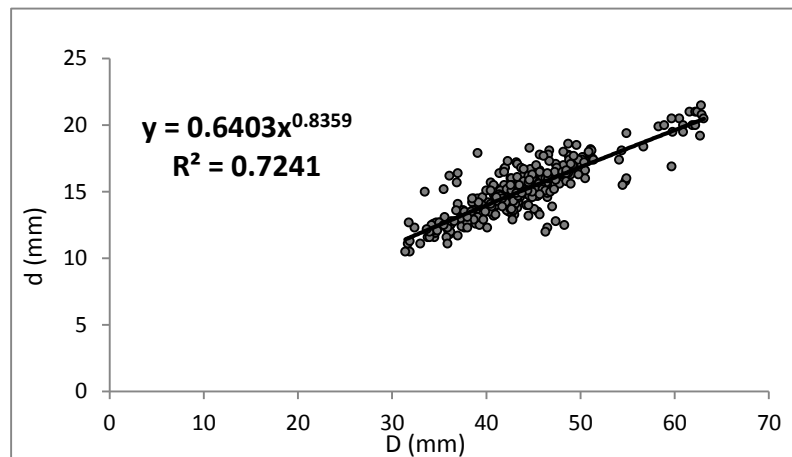
#### IV.3.2.6.3. Relation entre le diamètre (D) du test sans piquants et le diamètre (d) de la lanterne d'Aristote

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 54 et 55) et les paramètres ont été évalués et présentés sur le Tableau 19.

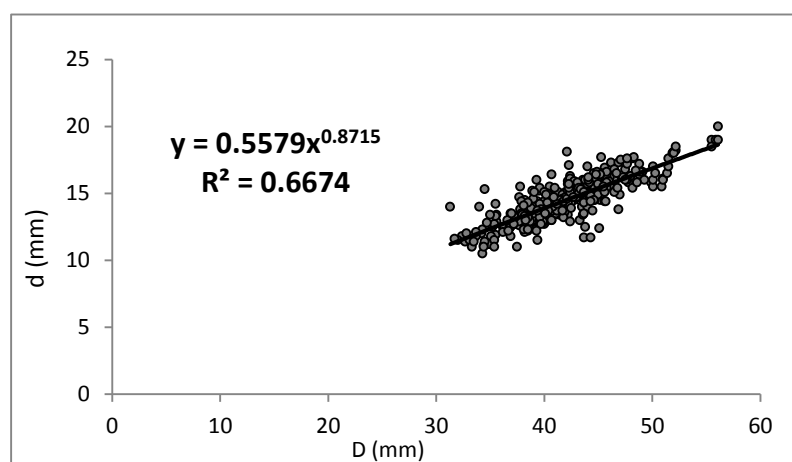
**Tableau 19.** Equation liant le diamètre (d) de la lanterne d'Aristote au diamètre (D) du test sans piquants chez *Arbacia lixula* dans les deux sites étudiés. **r** = coefficient de corrélation et **n** = taille de l'échantillon. Test t de Student (comparaison des coefficients de régression)

Sites	Equations	Comparaison des coefficients de régression avec le test "t"
<b>SALAMANDRE</b>	$d = 0.64 D^{0.83}$ $r = 0.85 \quad n = 305$	$t_{\text{observé}} = 73.74 > t_{\text{théorique}} = 1.96 (p < 0.05)$ Allométrie minorante entre D et d
<b>STIDIA</b>	$d = 0.56 D^{0.87}$ $r = 0.82 \quad n = 345$	$t_{\text{observé}} = 105.24 > t_{\text{théorique}} = 1.96 (p < 0.05)$ 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 comparaison des allométries entre les deux sites ne montre aucune différence significative ( $p > 0.05$ ).



**Figure 54.** Relations allométriques entre le diamètre (D) du test sans piquants et la hauteur (h) de la lanterne d'Aristote chez *A. lixula* tous sexes confondus dans le site de Salamandre.



**Figure 55.** Relations allométriques entre le diamètre (D) du test sans piquants et la hauteur (h) de la lanterne d'Aristote chez *A. lixula* tous sexes confondus dans le site de Stidia.

- **Discussion**

Pour l'étude de croissance de l'espèce *Arbacia lixula* on a pu estimer les paramètres de croissance avec le concours des techniques reposant essentiellement sur l'étude de la structure en diamètre de la population.

En utilisant le logiciel FISAT II (sous-programme ELEFAN) nous avons pu analyser les fréquences de taille de cet échinoïde peu étudié en Algérie (voire pas étudié), et calculer pour la première fois ses paramètres de croissance au niveau du littoral Nord-Ouest Algérien.

Le modèle de croissance utilisé est celui de Von Bertalanffy (1938). Il s'adapte bien aux cas étudiés. Il reste le modèle le plus utilisé par les chercheurs en halieutique.

Cette étude a révélé que le taux de croissance correspondant à chaque sexe diminue avec l'âge. Ce taux est maximal chez les petites tailles à cause de la croissance rapide des jeunes individus par rapport aux plus âgés, ensuite le taux de croissance chute au fur et à mesure que le diamètre des oursins s'approche du diamètre et du poids asymptotique. Ce même constat élaboré par Barrera (2018) où elle a signalé que le taux de croissance d'*A. lixula* des îles Canaries de l'océan Atlantique est beaucoup plus élevé dans la phase juvénile.

L'ajustement des paramètres de croissance au modèle de Von Bertalanffy montre que les valeurs diffèrent légèrement entre les populations des deux sites et entre les deux sexes au sein du même site.

Dans le site de Salamandre, la différence de croissance entre les deux sexes s'avère très flagrante. En effet, le coefficient de croissance chez les mâles (0.84 mm/an) est plus élevé que chez les femelles (0.51 mm/an), tandis que dans le site de Stidia, les deux sexes croient presque par la même vitesse en ne soulignant aucune différence significative du coefficient de croissance (0.47 mm/an pour les femelles et 0.41 mm/an pour les mâles).

Selon les graphiques, les mâles de Salamandre croit plus vite que les femelles et atteint leur diamètre asymptotique 65.64 mm avant les femelles. Ces dernières, ont une vitesse de croissance moins rapide mais presque constante tout au long de leur vie, et le diamètre maximale 68.59 mm est atteint très tardivement, cependant il est plus importante que celui des mâles.

D'après la méthode de Powell-Wetherall (1987), les oursins de Salamandre (tous sexes confondus) semblent acquérir un diamètre asymptotique (68.74 mm) plus important que leurs semblables de Stidia (66.34 mm).

Ce résultat semble un peu contradictoire toutefois, et en même temps témoigne et appui ce que nous avons déjà énoncé un peu plus précédemment (dans la partie suivi de l'activité trophique) ; bien que les valeurs saisonnières de l'indice de réplétion obtenues ont été en faveur des populations d'oursins du site de Stidia (site doté d'une richesse floristique plus importante est plus favorable à

l'épanouissement des populations d'*Arbacia lixula* par rapport à ceux de Salamandre), les populations de Salamandre présentent une taille significativement supérieure à celles des oursins de Stidia. Ceci est relié à la plus grande disponibilité de matière organique absorbée par les oursins. La taille des populations d'oursins de Salamandre est sans doute le résultat en grande partie d'une quantité plus élevée de matière organique absorbée.

Malgré les légères différences en vitesse de croissance, *Arbacia lixula* des côtes de Mostaganem semble doter d'une croissance plus au moins rapide par rapport aux échinoïdes d'autres régions méditerranéenne.

Selon Sellem *et al.*, (2000), les oursins de la méditerranée Sud-occidentale se caractérisent par une croissance plus rapide avec un coefficient de croissance plus élevés que celui obtenu pour les oursins de la méditerranée Nord-occidentale et de l'Atlantique. En effet, selon Allain (1978) et Azzolina (1988), un diamètre de test (sans les piquants) de 40 mm, à titre d'exemple, est atteint en Méditerranée Sud-occidentale au bout de deux années et demie, alors qu'en Méditerranée Nord-occidentale et en Atlantique cette même taille serait atteinte au bout de 4 années. Également, des tailles maximales de 85 à 90 mm pour *P.lividus* sur les côtes Danoises et de la Norvège contre respectivement seulement 65 mm en Méditerrané et 62 mm en Atlantique.

D'après Cayre et Fontana (1977), on peut soumettre l'hypothèse, selon laquelle les oursins pourraient se trouver dans des conditions où les dépenses énergétiques sont faibles, avec un apport optimal de nourriture (apport nutritif du courant Algérien), et des températures dépassant les 26°C, soit un ensemble d'éléments qui favorise une croissance plus ou moins rapide. L'équipe de Sellem *et al.*, (2000), attribuent aussi cette plus grande vitesse de croissance d'une part aux températures moyennes annuelles, plus élevées en Méditerranée Sud-occidentale qu'en Méditerranée Nord-occidentale et en Atlantique, et d'autre part aux conditions trophiques du milieu qui font que selon l'aire de répartition, chaque oursin présente son propre modèle de croissance.

D'autres part, dans les zones où les ressources sont limitées, la taille des oursins est moins important voire plus faible (Turon *et al.*, 1995). Les oursins de ces zones allouent plus d'énergie à la production gonadique qu'à la croissance somatique (Lozano *et al.*, 1995). Ce fait a été aussi constaté par Fernandez (1996) dans la lagune d'Urbino, dans une zone à galets où les ressources sont très faibles. Lumingas (1994) et Turon *et al.*, (1995) signalent que dans les sites limités en nourriture, non seulement la croissance somatique est faible mais aussi la longévité.

D'ailleurs, comme beaucoup de chercheurs l'on signalée, la variabilité de la croissance est généralement fonction du milieu (Moore, 1935; Swan, 1961; McPhearson, 1969; Allain, 1978; Ebert, 1983, 1988) et les différences géographiques existent mais ne sont pas une règle générale. La variabilité dans la croissance est donc liée à plusieurs facteurs tels que la qualité et quantité de

la nourriture disponible (Fuji, 1967; Ebert, 1968; Lawrence, 1975; Buckle *et al.*, 1977; Vadas, 1977; Greenwood, 1980; Larson *et al.*, 1980; Lawrence et Lane, 1982; White *et al.*, 1985; Caltagirone *et al.*, 1990; Rowley, 1990; Levitan, 1991; Frantzis, 1992; Gonzales *et al.*, 1993), la salinité (Kempf, 1962), la température (Le Gall *et al.*, 1990; Lares & McClintock, 1991b; Guillou & Michel, 1994), le cycle de reproduction (Calow, 1981; Guillou & Michel, 1994) et divers stress (dont l'hydrodynamisme, les maladies) (Ebert, 1967; Lawrence, 1975; Mottet, 1976; Turon *et al.*, 1995).

De toute façon, les paramètres de croissance estimés (qui peuvent surestimer ou sous-estimer les paramètres du model utilisé) au niveau de notre zone d'étude sont en accord avec une croissance rapide et une longévité importante dépassant les dix années. Barrera (2018), à noter que si nous trouvons un spécimen d'*A.lixula* avec un diamètre du test supérieur à 60 mm, nous parlons ici d'un spécimen longévif, âgé de plus de 20 ans. Ce même auteur a précisé aussi que les spécimens d'*A.lixula* à partir de 55 mm de diamètre, la croissance du diamètre est presque nulles et de ce fait l'avantage d'une croissance rapide pendant les premières années de vie peut être inversé en désavantage en présentant ultérieurement une survie plus faible de l'espèce.

De plus, selon Basilone *et al.*, (2004), les paramètres de croissance  $K$  et  $D_{\infty}$ , sont influencé directement par les fluctuations des conditions du milieu tel la température et la salinité, donc la croissance, ainsi le diamètre asymptotique ( $D_{\infty}$ ) augmente en présence d'une température optimale. Selon Spirlet *et al.*, (2000) et Fernandez (1996), une augmentation de température peut augmenter l'efficacité de l'ingestion et de l'absorption et donc au final la croissance. A l'opposé de trop fortes températures peuvent entrainer un ralentissement de cette fonction en agissant directement sur le métabolisme de l'animal (Le Gall *et al.*, 1990). Cependant, l'étude effectuée sur les populations d'oursins dans notre étude ne montre pas de relation directe entre le gradient de température et la croissance chez *Arbacia lixula* semblable à celui mis en évidence avec le phénomène de la reproduction. Des facteurs locaux sont donc à l'origine des variations observées, facteurs environnementaux dont ceux cités précédemment, mais aussi des facteurs génétiques.

En Algérie, et selon l'étude menée par Soualili (2008), les populations d'oursins de *P.lividus* de Sidi Fredj et d'Alger Plage présentent une taille significativement supérieure à celles de Tamentfoust. Dans le cas de Sidi Fredj, ceci est à relier à la plus grande disponibilité de nourriture, résultat renforcée par un important indice trophique (Indice de réplétion). L'avantage en taille des populations d'oursins d'Alger plage à ceux de Tamentfoust est influencé par les apports en matière organique provenant des deux oueds (El Harrach et El Hamiz) favorisant ainsi une meilleure croissance.

La différence de croissance entre les sexes étant confirmée (du moins pour les individus du site de Salamandre), nous soulignons que les paramètres estimés sont des données ajustées et une plage de valeur pour le couple  $(K, D_{\infty})$  valide mais à utiliser avec précaution dans les calculs de production qui seront utilisés comme données d'entrée dans les modèles d'évaluation des stocks, et qui feront l'objet de futurs travaux.

L'étude des relations Diamètre-Poids d'*Arbacia lixula* montre une allométrie minorante chez les deux sexes et dans les deux sites étudiés, c'est-à-dire que le poids croît moins vite que le cube du diamètre. Les ajustés de **a** et **b** ( $W=aD^b$ ) serviront de données d'entrée dans les modèles d'évaluation des stocks. Le coefficient de corrélation obtenue est aux alentours de 0.80 montrant une bonne dépendance entre les deux variables mesurés.

L'étude de la relation Diamètre-Poids, répond généralement en halieutique à deux objectifs : la détermination du poids des individus dont nous connaissons leur diamètre ou inversement et la description des formes, de l'embonpoint et de ses variations au cours de la croissance. Ces paramètres présentent un intérêt pratique dans les problèmes d'exploitation raisonnée des populations animales où il importe, pour obtenir un rendement maximum, de savoir traduire le diamètre en poids ou le poids en diamètre et de disposer d'un paramètre aisément calculable qui caractérise l'embonpoint des spécimens et son évolution au cours de l'année ou de leur vie.

La comparaison des composantes biométriques ; diamètre et la hauteur du test, est bien corrélé et elle est de l'ordre de 86% à 90%. Une relation isométrique a été enregistrée entre ces deux variables pour les populations d'oursins du site de Salamandre, tandis que la relation est minorante pour les populations d'oursins de Stidia.

Même constat a été noté lors de la comparaison entre les variables ; diamètre du test et le diamètre de la lanterne d'Aristote avec des corrélations de l'ordre de 85% et 82%. Cependant, l'aspect de l'allométrie entre ces différentes composantes biométriques a présenté des allures minorantes.

D'après les résultats de Belkhedim (2009) et Kouadri Mostefai (2014, pour l'oursin *Paracentrotus lividus* à Oran et à Arzew (Cap Carbon), une croissance isométrique entre les deux variables a été observée ; la hauteur et le diamètre du test croissent à la même vitesse. Tandis que, suivant les travaux de Boukhelf (2012) et Sahnoun (2009) l'oursin *Paracentrotus lividus* de Salamandre a présenté une croissance plus rapide du diamètre du test par rapport à sa hauteur.

Selon notre étude, l'appareil masticateur de l'oursin (ou lanterne d'Aristote), présente une croissance parfaitement minorante entre sa longueur et son diamètre avec une corrélation comprise entre 89% et 82 % respectivement pour les populations d'oursins de Salamandre et Stidia.

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 dotés 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).

L'étude de la dynamique des populations d'*A. lixula* a permis pour la première fois, à notre connaissance dans cette région de côte Nord-Ouest Algérienne de calculer les paramètres de croissance de cette espèce par analyse des fréquences de taille. Ces derniers diffèrent légèrement entre les sexes et entre les sites.

Les résultats que nous avons présenté pourrait être plus précis si nous réalisons une étude plus élaborée, sur le plan biologique, il est suggéré d'étendre la durée de l'étude sur plusieurs cycles biologiques en abordant différents aspects en plus de ceux déjà étudiés, tel que l'estimation de l'âge par des méthodes directes comme : la lecture des stries d'accroissement sur les plaques interambulacraires du test de l'oursin *A. lixula*. Nous comptons aussi cibler d'autres sites, le long du littoral Algérien de façon à pouvoir établir une étude comparative des résultats obtenus d'une région à une autre et mettre en relief des différences d'exploitations qui pourrait exister.

# ***Conclusion***

L'objectif principal de ce travail vise la détermination de la variabilité des traits de vie chez l'oursin noir *Arbacia lixula* vivant dans deux sites contrastés de la côte de Mostaganem, une espèce très abondante dans les zones peu profondes de la méditerranée, à savoir ; sa modalité reproductrice, son comportement alimentaire et sa croissance par une approche spatio-temporelle.

Notre étude étalée sur une période de 24 mois a permis de décrire la variabilité des paramètres biologiques pour la première fois dans cette région, chez *Arbacia lixula* : (i) la description de certains aspects biologiques de la reproduction, (ii) la description de l'aspect qualitatif et quantitatif du comportement alimentaire, ainsi que (iii) la détermination des paramètres de croissance linéaire, pondérale, l'estimation de l'âge, la relation taille-poids et la définition des relations allométriques qui existe entre les différentes parties du corps de l'espèce *Arbacia lixula*.

Dans un premier temps, on note que l'espèce *Arbacia lixula*, dans les deux sites présente une **dominance globale significative des mâles par rapport aux femelles** ; nous avons retenus le pourcentage 55% des mâles contre 45% pour les femelles durant toute la période de l'étude.

Dans un second temps, la variation spatio-temporelle de l'indice gonadique montre que le cycle de reproduction de l'espèce *Arbacia lixula* de la baie de Mostaganem est généralement annuel **marqué par deux pontes dont la première massive qui se déroule dans l'intervalle de temps Printemps-Eté, et la deuxième de moindre importance en Automne** correspondant à une période d'inactivité du premier cycle de la gamétogenèse.

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.

Cette étude nous a permis également de souligner l'importance des températures printanières dans l'induction de la ponte chez cet oursin et donc dans tous les processus métaboliques qui lui sont étroitement liés. Elle pourrait permettre notamment d'adapter l'émission des gamètes à la production phytoplanctonique nécessaire à la survie des larves.

La température demeure ainsi, le facteur environnemental le plus dominant dans l'accroissement de la capacité reproductrice de ces échinoïdes. Tout ceci, sans écarter l'implication d'autres facteurs endogènes et exogènes dans cette activité.

La différence spatiale est mise en évidence pour l'approvisionnement des oursins. En effet, la variation de l'indice de réplétion enregistre une différence très significative entre les deux sites d'étude. Dans le site de Stidia, la richesse trophique du milieu et la meilleure santé des oursins se traduisent par des piquants moins courts que ceux de Salamandre, toutefois avec un aspect plus dur et plus solide, tandis que l'hydrodynamisme et le substrat entraînent un aplatissement du test permettant une meilleure adhérence.

La comparaison des variations de l'indice de réplétion nous a permis de préciser que les populations d'oursins de notre étude se distinguent par une phase d'activité trophique intense au printemps par rapport au reste des saisons et présente les indices de réplétion les plus élevés quelque soit le milieu environnant. Cette intensification en nourriture pour les oursins est accordée aux activités gonadiques les plus basses, représentées par les valeurs de l'indice gonadique les plus infimes.

Un développement gonadique plus fort chez les populations d'oursins de Salamandre contre ceux de Stidia où les conditions trophiques sont meilleures, témoigne que les oursins de Salamandre utilisent une stratégie différente de reproduction. La richesse en matière organique de ce site est l'explication de ce meilleur rendement gamétogénique, et la conséquence directe d'une croissance somatique plus importante, où les oursins acquièrent des tailles meilleures avec un allongement avantageux des piquants.

L'analyse des contenus digestifs d'*A. lixula* a permis d'identifier les aliments ingérés par ces espèces considérées depuis longtemps comme totalement herbivores et de montrer certaines différences dans leurs habitudes alimentaires. Le régime alimentaire d'*A. lixula* est beaucoup plus intéressant, car cet échinoïde ayant la capacité digestive totale la plus élevée, présente le mécanisme enzymatique le plus appropriée pour digérer différentes sources d'aliments d'origine végétale et animale, et muni d'un appareil masticateur très robuste plus efficace que celui d'autres échinoïdes qui lui permet de s'approvisionner d'une vaste source d'aliments (même les plus durs) et d'ajuster ces habitudes alimentaires selon le biotope où il se trouve. Ayant la possibilité d'utiliser l'excès en matière organique de son environnement, cette espèce est munie d'une souplesse trophique étendue. *A. lixula* regroupe plus d'un type de comportement alimentaire en se plaçant comme **une espèce omnivore qui a tendance à être sestonophage**.

La détermination des paramètres de croissance selon le modèle de Von Bertalanffy (1938) de cette espèce par analyse de fréquence de taille montre que les valeurs diffèrent légèrement entre les populations des deux sites et entre les deux sexes au sein du même site. Pour les populations

d'oursins du site de Salamandre, une très nette différence de croissance est perçue entre les deux sexes où la croissance des mâles est plus rapide que celles des femelles. En raison de la disponibilité en matière organique dans ce site, les oursins acquièrent une meilleure taille.

En ce qui concerne la relation taille-poids chez *A. lixula*, l'évolution du poids en fonction du diamètre indique que le poids croît moins vite que le cube du diamètre reflétant une allométrie minorante.

La comparaison des composantes biométriques témoigne des oursins légèrement plus aplati dans le site de Stidia que ceux de Salamandre. Tandis que, la mâchoire des deux populations représente un aplatissement significatif de l'appareil masticateur. Certifiant ainsi une adaptation morpho-métrique qui a des conséquences au niveau du comportement trophique. En lui permettant une meilleure adhérence à la roche et de s'attaquer à des aliments plus durs, à de petites espèces ou des germinations d'espèces pionnières (Verlaque, communication personnel).

Les échinoïdes de la région de Mostaganem s'installent dans des conditions favorables où les dépenses énergétiques sont moins importantes, et avec un apport optimal de nourriture et des températures idéales. Soit un ensemble d'éléments qui favorise **une croissance somatique plus rapide** contre ceux d'autres régions méditerranéennes, ce qui peut également expliquer en partie la prolifération et l'abondance de ces oursins dans les côtes Mostaganémoises.

Au terme de ce travail, nous soulignons que l'approche spatio-temporelle élaborée dans notre étude certifie donc le rôle de la qualité du milieu, du substrat et de la nourriture potentielle qu'*A. lixula* potentialise dans les stratégies d'allocation d'énergie conçue pour le bon fonctionnement de ces différents traits de vie (alimentation, reproduction, croissance et maintenance).

Enfin, cette étude nous a permis de nous familiariser avec cet échinoderme très peu connu et étudié dans la partie Sud-Ouest de la méditerranée en Algérie. A cet effet, ce travail mérite d'être poursuivi étant donné que cette espèce est utilisée comme indicateur des modifications climatiques et notamment dans le réchauffement climatique. Aussi, les travaux futurs sur *Arbacia lixula* permettront une meilleure compréhension de la biologie de cette espèce en Algérie pour dégager son rôle écologique adaptative et une possible utilisation en biotechnologie (sources précieuses de composés bioactifs et des gonades qui contiennent des antioxydants), puisqu'il commence à coloniser une grande partie du littoral Algérien.

Il convient donc d'étudier :

- Les différents paramètres influençant les conditions de vie de cet oursin.
- La dynamique des populations sur une période plus étalée et à une plus large échelle bathymétrique et d'une manière générale la prise en compte de l'ensemble des paramètres physiques mesurables dans chaque site (T°C, S‰, O<sub>2</sub>, ...).
- 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.
- Le cycle saisonnier des larves planctoniques.
- Des analyses des nutriments dans l'eau et les sédiments s'avèrent impératifs et aussi des tests de bioessais *in vitro*.
- Suivi et évaluation de la contamination microbiologique, physicochimique et métallique dans différentes stations.

***Références  
bibliographiques***

- Agnetta D., Badalamenti F., Ceccherelli G., Di Trapani F., Bonaviri C., 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., Gianguzza P., (2013).** Functional traits of two co-occurring sea urchins across a barren/forest patch system. *Journal of sea research*, 76: 170-177.
- Agustí N., Cohen A.C., (2000).** *Lygus hesperus* and *L. lineolaris* (Hemiptera: Miridae), phytophages, zoophages, or omnivores: evidence of feeding adaptations suggested by the salivary and midgut digestive enzymes. *Journal of Entomological Science*, 35: 176-186.
- Allaili H., Kerfouf A., (2015).** Biodiversity of Echinogical Fauna of Hard Substrates of the Algerian West Coast. *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR)*, 19 (1): 81-87.
- Allain J.Y., (1975).** Structure des populations de *Paracentrotus lividus* (Lamarck) (Echinodermata, Echinoidea) soumises à la pêche sur la côte Nord de Bretagne. *Revue des travaux de l'Institut des pêches maritimes*, 39 : 171-209.
- Allain J.Y., (1978).** Age et croissance de *Paracentrotus lividus* (Lmk) et de *Psammechinus miliaris* (Gmelin) des côtes nord de Bretagne (Echinoidea). *Cahiers de Biologie Marine*, 19(1): 11-21.
- Amara R., (2010).** Impact de l'anthropisation sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes marins. Exemple de la Manche-mer du nord », *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement* [En ligne], Hors-série 8 | octobre 2010, mis en ligne le 04 octobre 2010. DOI : <https://doi.org/10.4000/vertigo.10129>.
- Andrew N.L., Underwood A.J., (1993).** Density-dependent foraging in the sea urchin *Centrostephanus rodgersii* on shallow subtidal reefs in New South Wales, Australia. *Marine Ecology Progress Series*, 99: 89-98.
- Azad A.K., Christopher M., Pearce M.P., R.Scott McKinley RS., (2011).** Effects of diet and temperature on ingestion, absorption, assimilation, gonadyield, and gonad quality of the purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus*). *Aquaculture*, 317 :187–196.
- Azzolina J.F., (1988).** Contribution à l'étude de la dynamique de populations de l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lmk). Croissance, recrutement, mortalité, migrations. *Thèse Doct 3<sup>ème</sup> cycle*, Univ Aix-Marseille II, 225p.
- Bachir-Bouiadja B., (2012).** L'étude de la flore algale benthique et les impacts de ses espèces invasives devant la côte Mostaganémoise. *Thèse de Doctorat*. Université Abdelhamid Ibn Badis (Mostaganem), 182 p.
- Bachir-Bouiadjra B., Belbachir N., Youcef-Benkada M., Maarouf A., Riadi H., (2010).** Sur la présence de l'algue marine *Caulerpa racemosa* (Forsskall) J. Agardh (Caulerpales, Chlorophyta) devant la cote Mostaganémoise (ouest Algérie). *Acta botanica Malacitana*, 35 : 148-150.
- Barbaglio A., Sugni M., Di Benedetto C., Bonasoro F., Schnell S., Lavado R., Porte C., Candia Carnevali D.M., (2007).** Gametogenesis correlated with steroid levels during the gonadal cycle of the sea urchin *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 147(2):466-74.

- Barrera A.M., Hernández J.C., (2018).** Estimación del crecimiento del erizo de mar *Arbacia lixula*. Tesis de la Universidad de La Laguna.
- Barrios A., Powell K., Nehmens M., (2010).** Habitat Association of *Arbacia lixula* in the Ligurian Sea. *Marine Ecology Field Quarter 2010*, University of California, Santa Cruz.
- Basilone G., Guisande C., Patti B., Mazzola S., Cuttitta A., Bonanno A., Kallianiotis A., (2004).** Linking habitat conditions and growth in the european anchovy (*Engraulis encrasicolus*). *Fisheries Research*, 68 (1-3): 9-19.
- Bayed A., Quiniou F., Benrha A., Guillou M., (2005).** The *Paracentrotus lividus* populations from the northern Moroccan Atlantic coast: growth, reproduction and health condition. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 85: 999-1007.
- Bélanger D., (2009).** Utilisation de la faune macrobenthique comme bioindicateur de la qualité de l'environnement marin côtier. Essai présenté au Département de biologie en vue de l'obtention du grade de maître en écologie internationale. UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE, Québec, Canada, 74 p.
- Belbachir N., (2012).** 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 Abdelhamid Ibn Badis (Mostaganem), 211 p.
- Belbachir N., (2018).** Rôle des holothuries Aspidochirotés dans le fonctionnement du réseau trophique de l'écosystème à *Posidonia oceanica* (L.) Delile (1813) de la frange côtière de Mostaganem. Thèse de Doctorat, Université Abdelhamid Ibn Badis (Mostaganem), 196 p.
- Belhouari B., (2018).** Evaluation de l'état des eaux littorales en Algérie : Orientations et recommandations. *EWASH & TI Journal*, 2 (1): 41-44.
- Belhoucine F., (2012).** Etude de la biologie, de la croissance et de la reproduction d'un poisson téléostéen le merlu (*Merluccius merluccius* L., 1758) et son utilisation comme indicateur biologique de la pollution par les métaux lourds (Zn, Pb, Cd) dans la baie d'Oran, Algérie. Thèse de Doctorat, Université d'Oran, 275 p.
- 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, Université d'Oran, 130 p.
- Belkhedim L., (2015).** Etude de la reproduction et de la contamination métallique chez l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lmck, 1816) de la Méditerranée sud occidentale (Algérie). Thèse de Doctorat, Université d'Oran, 210 p.
- Belkhedim L., Dermeche S., Chahrour F., 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., Bulleri F., Cinelli F., (1998).** Density dependent foraging of sea urchins in shallow subtidal reefs on the west coast of Italy (western Mediterranean). *Marine Ecology Progress Series*, 163: 203-211.
- Benedetti-Cecchi L., 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). *Marine Ecology Progress Series*, 126 : 203-212.

- Benzait H., (2015).** Contribution à l'évaluation de la Biodiversité des Echinodermes de la région côtière de Mostaganem. Mémoire de Magister, Université Abdelhamid Ibn Badis (Mostaganem), 136 p.
- Benzohra M., Millot C., (1995).** Characteristics and circulation of the surface and intermediate water masses off Algeria. *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers*, 42(10) :1803–1830.
- Bergbauer M., Humberg B., (2000).** La vie sous-marine en méditerranée, guide Vigot, ed. Vigot, 318p.
- 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.
- Béthoux J.P., Gentili B., (1994).** The Mediterranean deep water Sea, a test area for marine and climatic interactions. In : Malanotte-Rizzoli P., Robinson A.R., (eds), "*Ocean Processes in climate Dynamics: Global and Mediterranean Examples*", Kluwer Acad. Pub., C419: 239-254.
- Béthoux J.P., Prieur L., (1983).** Hydrologie et circulation en Méditerranée Nord-occidentale. *AFTP, Pétrole et Technique*, 299 : 25-34.
- Bhattacharya C.G., (1967).** A simple method of resolution of distribution into Gaussian components. *Biometrics*, 115-135.
- Black R., Codd C., Hebbert D., Vink S., Burt J., (1984).** The functional significance of the relative size of Aristotle's lantern in the sea urchin *Echinometra mathaei*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 77: 81-97.
- Bonaviri C., Vega-Fernandez T., Fanelli G., Badalamenti F., Giangyza P., (2011).** Leading role of the sea urchin *Arbacia lixula* in maintaining the barren state in southwestern Mediterranean. *Marine Biology*, 158 : 2505-2513.
- Booolootian R.A., Giese A.C., Tucker J.S., Farmanfarmaian A., (1959).** A contribution to the biology of a deep sea echinoid *Allocentrotus fragilis* (Jackson). *Biological Bulletin of the Marine Biological Laboratory, Woods Hole Mass*, 116: 362-372.
- Boudjellal B., (1989).** Sels nutritifs et matière en suspension dans le golfe d'Arzew. Contribution à l'étude de la pollution. Mémoire de Technicien supérieur en Biologie des pêches, École Nationale Supérieure des Sciences de la Mer et de l'Aménagement du Littoral (Alger), 266p.
- Boudouresque C.F., Verlaque M., (2001).** The ecology of *Paracentrotus lividus*. In: *Edible sea urchins: Biology and Ecology*. Lawrence, J.M. (Ed). Developments in aquaculture and fisheries science. Elsevier, Amsterdam. 177-216
- Boue H., Chanton R., (1978).** Zoologie I, 2, Invertébrés. Edit. Doin, Paris, 713 pp.
- 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, Université d'Oran, 166p.
- Boukhelf K., Dermeche S., Chahrour F., Haddad F.Z., Bouderbela M., (2018).** Evaluation of the metallic contamination in seawater and in the common sea urchin gonads *Paracentrotus lividus* (Lamarck 1816) of Mostaganem region. *Journal of Science*, 8(1):32-41.

- Brogger M.I., Martínez M.I., 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*, 90(7): 1405-1409.
- Bronstein O., 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. *Quarterly Journal of the Florida Academy of Science*, 30: 177-183.
- Bryden H.L., Candela J., Kinder T.H., 1994.** Exchange through the Strait of Gibraltar, Progress in Oceanography, 33(3): 201– 248.
- Buckle F., Guisado C., Serrano C., Cordova L., Peña L., Vasquez E., (1977).** Estudio crecimiento ne cautiverio del erizo *Loxechinus albus* (Molina) en las costas de Valparaiso y Chiloe, Chile. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 4(1) : 141-152.
- Bulleri F., (2013).** Grazing by sea urchins at the margins of barren patches on Mediterranean rocky reefs. *Marine Biology*, 160: 2493-2501.
- Bulleri F., Benedetti-Cecchi L., 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., 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. *Marine Biology*, 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.
- Caltagirone A., Boudouresque C.F., Knoepffler–Peguy M., (1990).** Croissance de l'oursin *Paracentrotus lividus* en fonction de l'algue consommée. *Rapports et Procès-verbaux des Réunions de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, 32 (1) : 37.
- Campbell A.C., (1974).** Observations on the activity of Echinoid pedicellariae. *Marine behaviour and physiology*, 3: 17-34.
- Cayré P., Fontana A., (1977).** Pêche maritime et marché du poisson en République Populaire du Congo. *Doc. O.R.S.T.O.M. Pointe Noire*, N.S., 50, 36 p.
- Cellario C., Fénaux L., (1987).** Croissance des juvéniles de *Paracentrotus lividus* (Lamarck) au cours de l'année qui suit la métamorphose, étude expérimentale. In : Boudouresque, C.F. (Ed.), GIS Posidonie Publ., Colloque international sur *Paracentrotus lividus* et les oursins comestibles, Marseille, France.

- Chelazzi G., Serra G., 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.
- Chen Y., Hunter M., Vadas R., Beal B., (2003).** Developing a growth-transition matrix for the stock assessment of the green Sea Urchin (*Strongylocentrotus droebachiensis*) off Maine. *Fichery Bulletin*, 101: 737-744.
- Clemente S., Hernández J.C., Brito A., (2007).** An external tagging technique for the long-spined sea urchin *Diadema aff antillarum*. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87:777-779.
- CNL (Commissariat National du Littoral), (2019).** Plan d'aménagement côtier (PAC) (wilaya de Mostaganem) ; p.1-101.
- Cochran R.C., Engelman F., (1975).** Environmental regulation of the annual reproductive season of *Stongylocentotus purpuratus* (Stimpson). *Biological Bulletin*, 148: 393-401.
- Cohen A.C., (2000).** How carnivorous bugs feed. In: Schaefer, C.W., Panizzi, A.R. (Eds). Heteroptera of economic importance. CRC press, Boca Raton, FL. 563–570.
- Coll M., Piroddi C., Steenbeek J., Kaschner K., Ben Rais Lasram F., Aguzzi J., Ballesteros E., Bianchi C.N., Corbera J., Dailianis T., Danovaro R., Estrada M., Froglia C., Galil B.S., Gasol J.M., Gertwagen R., Gil J., Guilhaumon F., Kesner-Reyes K., Kitsos M.S., Koukouras A., Lampadariou N., Laxamana E., López Fé De La Cuadra C.M., Lotze H.K., Martín D., Mouillot D., Oro D., Raicevich S., Rius-Barile J., Saiz-Salinas J.I., San Vicente C., Somot S., Templado J., Turon X., Vafidis D., Villanueva R., Voultziadou E., (2010).** The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats. *PloS One*. 5 (8), 1-334 (e11842).
- 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., Ferreira C.E.L., (2014).** Patterns of distribution and composition of sea urchin assemblages on Brazilian subtropical rocky reefs. *Marine Biology*, 161: 2221-2232.
- Courp T., (2001).** La Méditerranée : diagnostic d'une mer en péril. *IEEE*, 7803-7117.
- Cramer W, Guiot J, Fader M, Garrabou J, Gattuso J-P, Iglesias A, Lange MA, Lionello P, Llasat MC, Paz S, Peñuelas J, Snoussi M, Toreti A, Tsimplis MN, Xoplaki E., (2018).** Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change* 8, 972-980, doi: 10.1038/ s41558-018-0299-2.
- Crapp G.B., Willis M.E., (1975).** Age determination of the sea Urchin *Paracentrotus lividus* (Lmk), with notes on the reproductive cycle. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 20 : 157–178.
- Dafni J., 1983.** Aboral depressions in the tests of the sea urchin *Tripneustes cf. gratilla* (L.) in the Gulf of Eilat, Red Sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 67: 1-15.
- Dagnelie P., (1973).** Théorie et méthodes statistiques. Vol. 2, *Presses agronomiques de GEMBLOUX, publ.*, 378p.

- Dagnelie P., (1975).** Théorie et méthodes statistiques (applications agronomiques). Vol. II, (2ème éd.), *Presses agronomiques de GEMBLOUX, publ.*, 427p.
- de la Hoz C. F., Ramos E., Puente A., Méndez F., Menéndez M., Juanes J. A., et al., (2018).** Ecological typologies of large areas. An application in the Mediterranean Sea. *Journal of Environmental Management*, 205, 59–72. doi:10.1016/j.jenvman.2017.09.058.
- De Ridder C., (1986).** Les échinides. In : Guile A., Laboute P., Menou J.L., (eds) . Guide des étoiles de mer, oursins et autres échinodermes du lagon de Nouvelle - Calédonie, Coll, Faune tropicale, ORSTOM, Paris.
- Delmas P., (1992).** Etude des populations de *Paracentrotus lividus* (Lam.) (Echinodermata : Echinoidea) soumises à une pollution complexe en Provence nord-occidentale : densités, structures, processus de détoxification (Zn, Cu, Pb, Cd, Fe). Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille III.
- Delmas P., Regis M.B., (1984).** Influence d'une pollution complexe à dominante domestique sur les populations d'Echinoïde comestible *Paracentrotus lividus*. *Vie marine*, 6 : 63-72.
- Delvil M., (2009).** L'oursin comestible *Paracentrotus lividus* : optimisation des conditions de production de larves et de juvéniles benthiques en écloserie en vue d'opérations de réintroduction après état des lieux de la ressource sur plusieurs sites tests varois. Mémoire Pour l'obtention du Diplôme d'Agronomie Approfondie (DAA), Institut océanographique Paul Ricard, 75 p.
- Dermeche S., (2010).** Indices physiologiques, bioessais et dosage des métaux lourds chez l'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) de la côte oranaise (ouest Algérie). Thèse de Doctorat, Université d'Oran, 137p.
- Dix T.G., (1972).** Biology of *Evechinus chloroticus* (Echinoidea: Echi-nometridae) from different localities. 4. Age, growth, and size. Reproduction. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 6:48-68.
- Dodge Y., (1993).** Statistique : Dictionnaire encyclopédique. DUNOD Edit, Paris: 11-144.
- Duffy J.E., Hay M.E., (2001).** The ecology and evolution of marine consumer-prey interactions. In: Bertness M.D., Gaines S.D., Hay M.E., (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., (1967).** Negative growth and longevity in the purple sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson). *Science*, 157: 557-558.
- 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., (1983).** Recruitment in Echinoderm. In: Jangoux M., Lawrence J., (eds). *Echinoderm Study 1*. Balkema, Rotterdam. 169-203.
- Ebert T.A., (1988).** Calibration of natural growth lines in ossicles of two sea urchins, *Strongylocentrotus purpuratus* and *Echnometra mathaei*, using tetracycline. In: Burke R.D., Mladenov P.D., Lambert P., Parsley R.L., (eds). *Echinoderm biology*. Balkema, Rotterdam. 435-443.

- Ebert T.A., Dixon J.D., Schroeter S.C., Kalvass P.E., Richmond N.T., Bradbury W.A., Woodby D.A., (1999).** Growth and mortality of red sea urchins *Strongylo-centrotus franciscanus* across a latitudinal gradient. *Marine Ecology Progress Series*, 190:189–209.
- Ebert T.A., Hernández J.C., Clemente S., (2014).** Annual reversible plasticity of feeding structures: cyclical changes of jaw allometry in a sea urchin. *Proceedings Biological sciences*, 281(1779):2013-2284.
- Edwards P.B., Ebert T.A., (1991).** Plastic responses to limited food availability and spine damage in the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 145(2): 205-220.
- Egea E., Mérigot B., Mahé-Bézac C., Féral J.P., Chenuil A., (2011).** Differential reproductive timing in *Echinocardium* spp.: The first Mediterranean survey allows interoceanic and interspecific comparisons. *Comptes Rendus. Biologies*, 334 (2011) : 13–23
- El Jouhari S., Rharbi N., Halla M.I., 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). *Journal of Marine Biology & Oceanography*, 3:4.
- Epherra L., Gil DG., Rubilar T., Perez-Gallo S., Reartes M.B., Tolosano J.A., (2015).** Temporal and spatial differences in the reproductive biology of the sea urchin *Arbacia dufresnii*. *Marine and Freshwater Research*, 66 : 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.
- Fénaux 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.
- Fénaux L., (1980).** Cycles saisonniers de reproduction et croissance larvaire chez les Echinodermes. *Oceanis*, 6: 277–307.
- Fénaux L., George S.B., Pedrotti M.L., Corre M.C., (1992).** Différences dans la succession des stades morphologiques du développement larvaire des échinides en relation avec l'environnement trophique des adultes et des larves. *In: Scalera-Liaci L., Canicatti C., (eds). Echinoderm Research*. Balkema publ, Rotterdam. 173-180.
- 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 (France), 278p.
- Fernandez C., (1989).** *Contribution à l'élaboration des bases scientifiques de l'aquaculture de l'oursin Paracentrotus lividus*. Mem. Maitrise. Sci. Techn, Univ. Corse.
- Fernandez C., Boudouresque C.F., (1997).** Nutrition of the sea urchin *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) fed different artificial food. *Marine Ecology Progress Series*, 204 : 131-141.

- Fernandez C., Caltagirone A., (1998).** Comportement alimentaire de *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) en milieu lagunaire. *Rapports et Procès-verbaux des Réunions Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, 35 : 538-539.
- Fischer W., Bauchot M.L., 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.
- Frantzis A., (1992).** Etude expérimentales des niveaux de consommation et d'utilisation des macrophytes et des détritiques dérivés par deux invertébrés benthiques : *Paracentrotus lividus* (Echinoïde, herbivore) et *Abra ovata* (Bivalve, dépositivore). Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille II, 319p.
- Frantzis A., Berthon J.F., Maggiore F., (1988).** Relation trophique entre les oursins *Arbacia lixula* et *Paracentrotus lividus* (Echinoïdearegularia) et le Phytobenthos infralittoral superficiel de la baie de Port-Cros (Var, France). *Scientific Reports of the Port-Cros National Park Fr*, 14: 81-140.
- Frantzis A., Gremare A., (1992).** Ingestion, absorption and growth rates of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) fed different macrophytes. *Marine Ecology Progress Series*, 95: 169-183.
- Fränzle O., (2003).** Bioindicators and environmental stress assessment. Bioindicators and biomonitors: principles, concepts and applications, Market B.A., Breure A.M., Zechmeister H.G., (eds). *Elsevier Science Ltd*. Amsterdam : 41-84.
- 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. *Bulletin of the Faculty of Fisheries Hokkaido University*, 11: 49-57.
- Fuji A., (1967).** Ecological studies on growth and food consumption of Japanese common littoral sea urchin, *Strongylocentrotus intermedius* (A. agassiz). *Memory of the Faculty of Fisheries, Hokkaido University*, 15 (2): 83-160.
- Fujisawa H., Shigei M., (1990).** Correlation of embryonic temperature sensitivity of sea urchins with spawning season. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 136: 123-139.
- Furné M., Hidalgo M.C., López A., García-Gallego M., Morales A.E., Domezain A., Domezainé J., Sanz A., (2005).** Digestive enzyme activities in Adriatic sturgeon *Acipenser naccarii* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. A comparative study. *Aquaculture*, 250: 391-398.
- Gage J.D., (1991).** Skeletal growth zones as age-markers in the sea urchin *Psammechinus miliaris*. *Marine Biology*, 110:217-228.
- Gage J.D., (1992).** Natural growth bands in the sea urchin *Echinus esculentus*: result from tetracycline tagging. *Marine Biology*, 114:607-616.
- Gagnon P., Himmelman J.H., Johnson L.E., (2004).** Temporal variation in community interfaces: kelp-bed boundary dynamics adjacent to persistent urchin barrens. *Marine Biology*, 144:1191-1203.
- Gayanilo F.C., Sparre p., Pauly D., (2002).** The FAO-ICLARM Stock Assessment Tools (FISAT-II) User's Guide. Computerized Information Series, FAO Rome, Italy.

- Gheno Y., Le Guen J.C., (1968).** Détermination de l'âge et croissance de *sardinella eda* dans la région de pointe Noire. Cahiers Orstom Océanographie, 6(2) : 69-82 p.
- Ghyoot M., (1991).** Les pédicellaires globifères de *Sphaerechinus granularis*, morphologie et comportement d'un appendice défensif. Thèse de Doctorat, Université de Bruxelles.
- Gianguzza P., (2020).** *Arbacia*. In : Lawrence J.M., (Ed). *Sea Urchins: Biology and Ecology*. Amsterdam: Elsevier. Chapter 24 ; p. 419-429.
- Gianguzza P., Agnetta D., Bonaviri C., Di Trapani F., Visconti G., Gianguzza F., 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., (2013).** *Arbacia*. In: Lawrence J.M., (Ed). *Sea Urchins: Biology and Ecology*. Developments in Aquaculture and Fisheries Science, Amsterdam. 275–283.
- Gianguzza P., Bonaviri C., Milisenda G., Barcellona A., Agnetta D., Vega-Fernández T., 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., Agnetta D., (2013).** Hydrodynamism and its influence on the reproductive condition of the edible sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Marine Environmental Research*, 85: 29-33.
- Gianguzza P., Chiantore M., Bonaviri C., Cattaneo-Vietti R., Vielmini I., 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.
- Goñi R., Quetglas A., Reñones O., (2001).** Diet of the spiny lobster *Palinurus elephas* (Decapoda: Palinuridae) from the Columbretes Islands Marine Reserve (north-western Mediterranean). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 81:347-348.
- Gonor J.J., (1973).** Reproduction cycles in Oregon populations of the echinoid *Strongylocentrotus purpuratus* (Stompsen). Annual gonad growth and ovarian gametogenic cycles. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 12:45-64.
- Gonzalez M.L., Perez M.C., Lopez D.A., Pino C.A., (1993).** Effect of algal diet on the energy available for growth of juvenile sea urchin *Loxechinus albus* (Molina, 1782). *Aquaculture*, 115 : 87–95.
- González-Irusta J.M., Goñi de Cerio F., 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.
- Gotsis O., Panayotidis P., (1988).** Phytoplankton composition and abundance and Chlorophyll-a concentration in Amvrakikos Gulf. In: Tziavos C., (Ed). *Study of Amvrakikos Gulf, Technical Report*. National Centre for Marine Research, Athens. 2-21.
- Grasse P., (1948).** Traité de zoologie : Anatomie, Systématique, Biologie. T. XI. Echinodermes – Stomocordés- Procordés. Edit. Masson, Paris, 1077p.
- Grasse P., Poisson R.A., Tuzet O., (1970).** Zoologie I. Invertébrés. Edit. Masson, Paris, 935p.

- Greenwood P.J., (1980).** Growth, respiration and tentative energy budget for two populations of the sea urchins *Parechinus angulosus* (Leske). *Estuarine and Coastal Marine Science*, 10: 347-367.
- Grosjean P., (2001).** *Growth model of the reared sea urchin Paracentrotus lividus (Lamarck, 1816)*. PhD Thesis, Université Libre de Bruxelles, Belgique.
- 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, Université Aix-Marseille 2, France. 132p.
- Guettaf M., San Martin G.A., 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.
- 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., 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., 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.
- Guillou M., Michel C., (1994).** The influence of environmental factors on the growth of *Sphaerechinus granularis* (Lamarck) (Echinodermata: Echinoidea). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 178: 97-111.
- Haag N., Russell M.P., Hernández J.C., Dollahon N., (2013).** Assessing fluorochrome-staining efficacy in the green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis* (Müller, 1776). *Cahiers de Biologie Marine*. 54:625- 631.
- Hagen N.T., (1996).** Tagging sea urchins: a new technique for individual identification. *Aquaculture*, 139(3-4):271-284.
- Hairston N.G., Smith F.E., Slobodkin L.B., (1960).** Community structure population control and competition. *The American Naturalist*, 94:421-425.
- Harding J.F., (1949).** The use of probability paper for the graphical analysis of polymodal frequency distribution. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 28: 141-153 p.
- Harmelin J.G., Hereu B., De Maissonave L.M., Teixidor N., Domínguez L., 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.
- Hereu B., (2004).** The role of trophic interactions between fishes, sea urchins and algae in the northwestern Mediterranean rocky infralittoral. PhD Thesis, Université de Barcelone (Espagne).

- Hermas J., Ouchene H., Elouizgani H., Hafidi N., (2018).** L'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lamarck.1816) au niveau de la baie d'Agadir : Biotopes et Biométrie. *SMETox*, 1 (2), 100-107.
- Hernández J.C., Clemente S., Sangil C., 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.
- Hernández J.C., Russell M.P., (2010).** Substratum cavities affect growth-plasticity, allometry, movement and feeding rates in the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus*. *The Journal of Experimental Biology*, 213(3): 520-525.
- Hidalgo M.C., Urea E., Sanz A., (1999).** Comparative study of digestive enzymes in fish with different nutritional habits. Proteolytic and amylase activities. *Aquaculture*, 170, 267–283.
- Himmelman J.H., (1975).** Phytoplankton as a stimulus for spawning in three marine invertebrates. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 20: 199-214.
- Hughes A.D., Brunner L., Cook E.J., Kelly M.S., Wilson B., (2012).** Echinoderms display morphological and behavioural phenotypic plasticity in response to their trophic environment. *PLoS One*. 8. Volume 7.
- Hussein K.B., (2015).** Suivi et évaluation de la structure écologique et biodiversitaire infralittorale de la zone côtière oranaise. Thèse de Doctorat, Université d'Oran 1, 252 p.
- 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., Heath P.L., (2008).** The effects of season, temperature and photoperiod on the gonad development of *Evechinus chloroticus*. *Aquaculture*, 285: 67-77.
- Jensen M., (1969).** Breeding and growth of *Psammechinus miliaris* (Gmelin). *Ophelia*, 7: 65-78.
- Jones R.S., (1968).** A Suggested Method for Quantifying Gut Contents in Herbivorous Fishes. *Micronesica*, 4 (2): 369-371.
- Kacemi M., (2013).** Protection et valorisation du littoral en Algérie : législation et instruments : Le cas des communes littorales d'Oran, *Études caribéennes* [En ligne], 20 | Décembre 2011, mis en ligne le 01 juillet 2013. DOI : 10.4000/etudescaribeennes.5959.
- Kalvas P.E., Henrix J.M., Law P.M., (1998).** Experimental analysis of 3 internal marking method for red sea urchins. *California Fish and Game*, 84 :88-99.
- Kantin R., Pergent-Martini C., (2007).** Monitoring de la qualité des eaux et de l'environnement marin - Rapport final - Région Corse. *Ifremer publication*, 1 -222.
- Kartas F., Quignard J.P., (1984).** La fécondité des Poissons Téléostéens. Masson. Ed. Paris. 117p.
- Katsanevakis S., Coll M., Piroddi C., Steenbeek J., Ben Rais Lasram F., Zenetos A., et al., (2014a).** Invading the Mediterranean Sea: biodiversity patterns shaped by human activities. *Frontiers in Marine Science*. 1. doi:10.3389/fmars.2014.00032.

- Keats D.W., South G.R., Steele D.H., (1985).** Algal biomass and diversity in the upper subtidal at a pack-ice disturbed site in eastern Newfoundland. *Marine Ecology Progress Series*, 25: 151-158.
- Keats D.W., Steele D.H., 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. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 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.
- 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.
- Keshavarz M., Kamrani E., Biuki N.A., Zamani H., (2017).** Study on the Gonadosomatic indices of sea urchin *Echinometra mathaei* in Persian Gulf, Iran. *Pakistan Journal of Zoology*, 49:923-933.
- Knowlton N., (2004).** Multiple "stable" states and the conservation of marine ecosystems. *Progress in Oceanography*, 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, Université d'Oran (Algérie), 90p
- Kruskal W.H., Wallis W.A., (1952).** Use of ranks in one criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association*, 47: 583-621.
- La Violette P. E., (1994).** Overview of the major forcings and water masses of the Western Mediterranean Sea. Seasonal and interannual variability of the Western Mediterranean Sea (éd. par: P. E. La Violette), American Geophysical Union, 1-11.
- Lacombe H., Gascard J.C., Gonella J., 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.
- Lacombe H., 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., 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.
- Lafont R., 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. Université d'Alger. 168p.
- Lares M.T., McClintock J.B., (1991b).** The effects of temperature on the survival, organismal activity, nutrition, growth, and reproduction of the carnivorous sea urchin *Eucidaris tribuloides*. *Marine Behaviour and Physiology*, 19(2): 75-96.
- Larson B.R., Vadas R.L., Keser M., (1980).** Feeding and nutritional ecology of *Strongylocentrotus droehachiensis* in Maine, USA. *Marine Biology*, 59: 49-62.

- Lasker R., Giese A.C., (1954).** Nutrition of the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus*. *Biological Bulletin*, 106: 328-340.
- Laslett G.M., Eveson J.P., Polacheck T., (2002).** A flexible maximum likelihood approach for fitting growth curves to tag-recapture data. *Canadian Journal of Fisheries Aquatic Sciences*, 59: 976-986.
- Laurec A., Le Guen J.C., (1981).** Dynamique des populations marines exploitées, Tome 1 : Concepts et modèles. *Rapports scientifiques et techniques CNEEXO*. IFREMER. Brest, 45p.
- 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., Fénaux L., Corre M.C., Lawrence A., (1992).** The effect of quantity and quality of prepared diets on production in *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea). In, Scalera-Liaci L., Canicatti C., (eds), *Echinoderm Research*. Balkema, Rotterdam, 107-110.
- Lawrence J.M., 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., Watts S.A., (2007).** Feeding, digestion, and digestibility. p. 135-158. In: *Edible Sea Urchins: Biology and Ecology*. Lawrence J.M., (Ed). Elsevier Science, Amsterdam.
- Lawrence, J.M., (1975).** On the relationships between marine plants and sea urchins. *Oceanography and Marine Biology*, 13: 213-286.
- Le Gall P., Bucaille D., Grassin J.B., (1990).** Influence de la température sur la croissance de deux oursins comestibles, *Paracentrotus Lividus* et *Psammechinus miliaris*. In, De Ridder C., Dubois Ph., Lahaye M.C., Jangoux M., (eds), *Echinoderm Research*. Balkema publ, Rotterdam, 183-188.
- Leighton D.L., (1968).** A comparative study of food selection and nutrition in the abalone, *Haliotis rufescens* (Swainson) and the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson). PhD Thesis, University of California, San Diego, 197 pp.
- 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., Kessing B.D., (2012).** Phylogeography and binding 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. *Marine Biology*, 11: 431-435.
- Lima E.J.B., Gomes P.B., Souza J.R.B., (2009).** Reproductive biology of *Echinometra lucunter* (Echinodermata: Echinoidea) in a northeast Brazilian sandstone reef. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*, 81(1):51-59.
- Ling S.D., Johnson C.R., Frusher S.D., 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.
- López S., Turon X., Montero E., Palacín C., Duarte C.M., 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.

- Lozano J., Galera J., Lopez S., Turon X., Palacin C., Morera G., (1995).** Biological cycles and recruitment of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) in two contrasting habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 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.
- Lumingas L.J.L., Guillou M., (1994).** Growth zones and back-calculation for the sea urchin, *Sphaerechinus granularis*, from the bay of Brest, France. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 74: 671-686.
- 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.
- Mariente F.L., Lemos G.B., Eutropio F.J, Gomes L.C., (2009).** Biología reproductiva de *Echinometra lucunter* (Echinodermata : Echinoidea) na Praia da Costa, Vila Velha, Espírito Santo. *Zoologia*, 26 : 641-646.
- Martínez I., Sánchez A.I., 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.
- Martínez M.L., Intralawan A., Vázquez G., Pérez-Maqueo O. Sutton P., Landgrave, R., (2007).** The coasts of our world: Ecological, economic and social importance. *Ecological Economics*, 63 (2-3): 254- 272.
- Martoja R., Martoja M., (1967).** Initiation aux techniques de l'histologie animale. Masson Paris, 345p.
- Marzinelli E.M., Bigatti G., Giménez J., Penchaszadeh P.E., (2006).** Reproduction of the sea urchin *Pseudechinus magellanicus* (Echinoidea : Temnopleuridae) from Golfo Nuevo, Argentina. *Bulletin of Marine Science*, 79: 127-136.
- MATE (Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement), (2003).** *Rapport sur l'état et l'avenir de l'environnement*, Alger, MATE, 118 p.
- Maurin C.I., (1962).** Etude des fonds chalutables de la méditerranée occidentale (écologie et pêche) «Président-Théodore-Tissier » 1957 à 1960 et « Thalassa » 1960 et 1961. Revue des travaux de l'Institut des pêches maritimes, 26 (2).
- McPherson B.F., (1969).** Studies on the biology of the tropical sea urchins *Echinometra lucunter* and *Echinometra viridis*. *Bulletin of Marine Science*, 19: 194-213.
- McPherson, B.F., (1965).** Contributions to the biology of the sea urchin, *Tripneustes ventricosus*. *Bulletin of Marine Science*, 15: 228-244.
- Meidel S.K., 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., Hamel J.F., (2009).** Endogenous and exogenous control of gametogenesis and spawning in echinoderms. *Advances in Marine Biology*, 55: 1-291.
- Mercier A., Hamel J.F., (2014).** Lunar Periods in the Annual Reproductive Cycles of Marine Invertebrates from Cold Subtidal and Deep-Sea Environments. Hideharu Numata and Barbara

- Helm. 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.
- Metz E.C., Gómez-Gutiérrez G., 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 aspidochirotes (Holothuroidea: Echinodermata) inféodées aux herbiers de Posidonies de la côte algéroise. Thèse de Doctorat, Institut des Sciences Biologiques / Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene, Alger, Algérie, 208p.
- Mezali K., Soualili D.L., Neghli L., Conand C., (2014).** Reproductive cycle of the sea cucumber *Holothuria (Platyperona) sanctori* (Holothuroidea: Echinodermata) in the southwestern Mediterranean Sea: Interpopulation variability. *Invertebrate Reproduction and Development*, 58(3), 179–89.
- Miard T., Couvray S., Aublanc P., Maire E., Dehail M., Kirchhofer D., Bonnefont J.L., (2013).** Projet oursins du soleil - Bilan expérimental. *Institut Océanographique Paul Ricard*, 29p.
- Micheli F., Benedetti-Cecchi L., Gambaccini S., Bertocci I., Borsini C., Chato Osio G., Romano F., (2005).** Cascading human impacts, marine protected areas, and the structure of Mediterranean reef assemblages. *Ecological Monographs*, 75: 81-102.
- Millot C., (1985).** Some features of the Algerian Current. *Journal of Geophysical Research*, 90: 7169-7176.
- 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., (1992).** Are there major differences between the largest Mediterranean seas? A preliminary investigation. *Bulletin de l'Institut Océanographique*, 11: 3-25.
- Millot C., (1999).** Circulation in the Western Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems*, 20: 423–442.
- Moore H.B., (1935).** A comparison of the biology of *Echinus esculentus* in different habitats. Part II. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 20: 109-128.
- Mortensen T., (1935).** A monograph of the Echinoidea. II. Bothriocidaroida, Melonechinoida, lepidocentroida, and Stirodonta. Reitzel & Oxford Univ. Press, Copenhagen & London.
- Mottet M.G., (1976).** The fishery biology of sea urchin in the family *Strongylocentrotidae*. *Wash. Dept. Fish. Teck. Rep*, 20: 1-66.
- Mouffok S., Bekrattou D., Kherraz A., Boutiba Z., (2006).** Estimation de la croissance par analyse de structure de taille de la crevette rouge *Aristeus antennatus* de la région oranaise. Workshop International. Gestion intégrée des zones côtières-problèmes et perspectives, 11,12, et 13 Déc. 2006, ISMAL-Alger.

- Moullec F., (2019).** Impacts du changement global sur la biodiversité en mer Méditerranée Une approche par modélisation End-to-End. *Thèse de Doctorat*. Université de Montpellier (France), 346 p.
- Nédélec H., (1982).** Ethologie alimentaire de *Paracentrotus lividus* dans la baie de Galoria (Corse) et son impact sur les peuplements benthiques. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille 2 (France), 175 p.
- Nédélec H., (1983).** Sur un nouvel indice de réplétion pour les oursins réguliers. *Rapports et Procès-verbaux des Réunions Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, 28 (3) : 149-151.
- Neefs Y., (1952).** Sur le cycle sexuel de *Sphaerichinus granularis* (Lmk). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Paris France*, 234 : 2233-2235.
- Neill J.B., (1987).** A novel technique for tagging sea urchins. *Bulletin of Marine Science*, 41(1):92-94.
- Nichols D., Bishop G.M., Sime A.A.T., (1985).** Reproductive and nutritional periodicities in populations of the european sea urchin, *Echinus esculentus* (Echinodermata: Echinoidea) from the English Channel. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 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.
- Oulhiz A., (2012).** Contribution à l'évaluation de la qualité des milieux marins côtiers de Mostaganem à travers les bio-indicateurs de la Macrofaune benthique. Mémoire de Magister, Université Abdelhamid Ibn Badis (Mostaganem), 97 p.
- Ouréns R., Fernández L., Fernández-Boán M., Naya I., Freire J., (2013).** Reproductive dynamics of the sea urchin *Paracentrotus lividus* on the Galicia coast (NW Spain): effects of habitat and population density. *Marine Biology*, 160: 2413-2423.
- Pancucci M.A., Panayotidis P., Zenetos A., (1993).** Morphological changes in sea-urchin populations as a response to environmental stress. In: Aldrich J.C., (Ed). *Quantified phenotypic responses in morphology and physiology*. Japaga :Ashford. 247-257.
- Panili J., Pontual H., Troadec H., Wright P.J., (2002).** Manuel de sclérochronologie des poisons. *Coédition Ifremer-IRD*. 454 p
- Pauly D., (1980).** On the interrelationship between natural mortality, growth parameters and mean environmental temperature in 175 fish stocks. *J. Cons. CIEM*, 39(3) :175-192.
- Pauly D., Moreau J., (1997).** Méthodes pour l'évaluation des ressources halieutiques. Collection Polytech de l'IN.P. de Toulouse, Cépaduès-Editions, France. 288 p.
- Pauly D., Munro J.L., (1984).** Once More on the Comparison of Growth in Fish and Invertebrates. *ICLARM Fishbyte*, 2: 21.
- Pearse J.S., (1981).** Synchronization of gametogenesis in the sea urchins *Strongylocentrotus purpuratus* and *S. franciscanus*. In, Clark W.H.Jr., Adams T.S., (Eds). *Advances in Invertebrate Reproduction*. Elsevier North Holland, Amsterdam. 53- 68.

- Pearse J.S., Hines A.H., (1979).** Expansion of a central California kelp forest following the mass mortality of sea urchins. *Marine Biology*, 51: 83-91.
- Pearse J.S., Pearse V.B., 1975.** Growth zones in the echinoid skeleton. *American Natural*, 15:731-753.
- Pedrotti M.L., (1993).** Spatial and temporal distribution and recruitment of echinoderm larvae in the Ligurian Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 73: 513-530.
- Péquignat E., (1972).** Some new data on skin-digestion and absorption in urchins and sea stars (*Asterias* and *Henricia*). *Marine Biology*, 12(1) : 28-41.
- Petersen C.G.G., (1892).** Fiskens biologiske forhold i Holbock Fjord, 1890-1891. *Beretning fra de Danske Biologiske station 1*: 121-183.
- Petratits P.S., Dudgeon S.R., (2004a).** Detection of alternative stable states in marine communities. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 300:343–371
- Pinardi N., Navarra A., (1993).** Baroclinic wind adjustment processes in the Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research part II*, 40(6): 1299-1326.
- Piovetti L., Serve L., Combaut G., Gadel F., (1984).** Analyse des substances phénoliques des restes de *Posidonia oceanica* (L.) Delile provenant de sédiments holocènes et de dépôts actuels. In: Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A., Olivier J. (Eds). *International Workshop on Posidonia oceanica beds*. GIS Posidonie publ, France. 137-134.
- PNUE/PAM., (2012).** *Initial integrated assessment of the Mediterranean Sea: Fulfilling step 3 of the ecosystem approach process*. United Nations Environment Programme, Mediterranean Action Plan publ., Athens. 24 pp.
- Powis de Tenbossche T., (1978).** Food behavior and digestive structures of *Paracentrotus lividus* (Lamarck) (Echinodermata, Echinodea). B.Sc Thesis. Libre University of Brussels, Belgium, 82 pp.
- Pressoir L., (1959).** Contribution à la connaissance des échinopluteus de *Paracentrotus lividus* Lmck., et *Psammechinus microtuberculatus* Blainv. *Bull. Inst. Oceanogr., Monaco*, 56 : 1-22.
- Privitera D., Chiantore M., Mangialajo L., Glavic N., Kozul W., 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: 184e192.
- Privitera D., Noli M., Falugi C., 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.
- 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., (1979).** Analyse des fluctuations des indices physiologiques chez deux échinoides (*Paracentrotus lividus* (Lmk) et *Arbacia lixula* (L.)) du golfe de Marseille. *Téthys*, 9 (2): 167-181.

- Régis M.B., (1981).** Aspects morphométriques de la croissance de deux échinides du Golfe de Marseille, *Paracentrotus lividus* (Lmk.) et *Arbacia lixula* (L). *Cahiers de Biologie Marine*, 22: 349-370.
- Régis M.B., (1986).** Microstructure adaptative des radioles de *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) en milieu eutrophisés par des eaux usées. *Marine Biology*, 90, 271-276.
- Reuter K.E., Levitan D.R., (2010).** Influence of sperm and phytoplankton on spawning in the echinoid *Lytechinus variegatus*. *Biological Bulletin*, 219: 198-206.
- Riedl R., (1983).** Fauna and Flora des Mittelmeeres. Verlag Paul Parey, Hamburg & Berlin.
- Rodríguez A., Hernández J.C., Clemente S., (2015).** Efficiency of calcein tagging on juveniles of the sea urchins *Diadema africanum* and *Paracentrotus lividus*. *Marine Ecology*, 1-7.
- Rowley R.J., (1990).** Newly settled sea urchins in a kelp bed and urchin barren ground: a comparison of growth and mortality. *Marine Ecology Progress Series*, 62: 229-240.
- Russell M.P., (1987).** Life history traits and resource allocation in the purple sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 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, Université d'Oran, 135p.
- Sala E., (1997).** Fish predators and scavengers of the sea urchin *Paracentrotus lividus* in protected areas of the north-western Mediterranean Sea. *Marine Biology*, 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., Boudouresque C.F., Harmelin-Vivien M., (1998).** Fishing trophic cascades and the structure of algal assemblages: evaluation of an old but untested paradigm. *Oikos*, 82:425-439.
- Sala E., Zabala M., (1996).** Fish predation and the structure of the sea urchin *Paracentrotus lividus* populations in the NW Mediterranean. *Marine Ecology Progress Series*, 140:71-81.
- San Martin G.A., (1990).** Suivi d'une opération de Transplantation de *Paracentrotus lividus* Echinodermata Echinoidea dans la région Marseillaise. *GIS Posidonie publ, France*, 16p.
- Sanchez-España A.I., Martinez-Pita I., Garcia 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., Hamm J., (1991).** Interactions between sea urchins (*Strongylocentrotus droebachiensis*) and their predators in field and laboratory experiments. *Marine Biology*, 110: 105-116.
- Scheibling R.E., Stephenson R.L., (1984).** Mass mortality of *Strongylocentrotus droebachiensis* (Echinodermata: Echinoidea) of Nova Scotia, Canada. *Marine Biology*, 78: 153-164.
- Scherrer B., (1984).** Biostatistique. *Gaetan morin éditeur*, Chicoutimi, Québec, 1-850.
- Sellem F., (1990).** Données sur la biométrie de *Paracentrotus lividus*, *Arbacia lixula* et *Sphaerechinus grnularis* et sur la biologie de *Paracentrotus lividus* dans le golfe de Tunisie. Rapport DEA, Université de Tunis II (Tunis). 158 p.
- Sellem F., (1995a).** Données sur l'indice gonadique et l'indice de réplétion d'*Arbacia lixula* (Linnaeus) dans le golfe de Tunis. *Rapp Comm int Mer Medit.* 34:44. French.
- Sellem F., 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*, 87 (03), 763-767.
- Sellem F., Langar H., Pesando D., (2000).** Âge et croissance de l'oursin *Paracentrotus lividus* Lamarck, 1816 (Echinodermata-Echinoidea) dans le golfe de Tunis (Méditerranée). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87: 763-767.
- 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, Université des Sciences et Technologie Houari Boumediene (USTHB), Alger, 129p.
- Semroud R., Kada H., (1987).** Contribution à l'étude de l'oursin *Paracentrotus lividus* (Lamarck) dans la région d'Alger (Algérie) : indice de réplétion et indice gonadique. In : Boudouresque, C.F. (Ed). *Colloque international sur Paracentrotus lividus et les oursins comestibles*. GIS Posidonie Publ, Marseille. 117-124.
- Siikavuopio S.I., Christiansen J.S., 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., 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., 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.
- Sime A.A.T., (1981).** Growth ring analyses in regular echinoids. *Progress in Underwater Science*, 7:7-14.
- Smith B.D., Botsford L.W., Wing S.R., (1998).** Estimation of growth and mortality parameters from size frequency distributions lacking age patterns: the red sea urchin *Strongylocentrotus franciscanus* as an example. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 55:1236-1247.

- Soualili D.L., (1998).** Contribution à l'étude de la biologie et la dynamique de la population de *Sphaerechinus granularis* (Lmk), dans la baie d'Alger (Tamentefoust). Mémoire de Magister, Université Houari Boumediene (Alger), 123p.
- 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, Université Houari Boumedienne (USTHB), Alger, 147p
- Soualili D.L., 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.
- Soualili D.L., Guillou M., Semroud R., (1999).** Growth of the echinoid *Sphaerechinus granularis* (Lamarck) from the Algerian coasts. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 79: 1139-1140.
- Sparre P., (1987).** A method for estimation of growth, mortality and gear selection/recruitment parameters for multiple c.p.u.e. length frequency data. In: Pauly D., Morgan G.R., (Eds). *Length-based methods in fisheries research*. ICLARM Conf. Proc. 13 p.
- Spirlet C., Grosjean P., Jangoux M., (1998).** Reproductive cycle of the echinoid *Paracentrotus lividus*: analysis by means of the maturity index. *Invertebrate Reproduction and Development*, 34, 69-81.
- Spirlet C., Grosjean P., Jangoux M., (2000).** Optimization of gonad growth by manipulation of temperature and photoperiod in cultivated sea urchins, *Paracentrotus lividus* (Lamarck) (Echinodermata). *Aquaculture*, 185: 85-99.
- Starr M., Himmelman J.H., Therriault J.C., (1993).** Environmental control of green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis* spawning in the Lawrence Estuary. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science*, 50: 894-901.
- Stefanini G., (1911).** Di alcune *Arbacia* fossili. *Rivista Italiana di Paleontologia* 17, 51-52.
- Suding K.N., Gross K.L., Houseman G.R., (2004).** Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology. *Trends in Ecology & Evolution*, 19:46-53.
- Sumich J.L., McCuley J.E., (1973).** Growth of a sea urchin, *Allocentrotus fragilis*, off the Oregon Coast. *Pacific Sei Hawaii*, 27: 156-167.
- Swan E.F., (1961).** Some observations on the growth rate of sea urchins in the genus *Strogylocentrotus*. *The Biological Bulletin*, 120: 420-427.
- Taupier-Letage I., Millot C., (1988).** Surface circulation in the Algerian Basin during 1984. *Oceanologica Acta*, 9: 119-131.
- Tchernia P., (1978).** Océanographie régionale, description physique des océans et des mers, centre d'édition et de documentation de l'ensta ed., France, 1978.
- Tegner M.J., Dayton P.K., Edwards P.B., 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. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 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., 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.
- Testor P., Gascard J.C., (2006).** Post-convection spreading phase in the Northwestern Mediterranean Sea. *Deep-Sea Research Part I-Oceanographic Research Papers*, 53(5) :869-893.
- Tomas F., Romero J., 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., Glamuzina B., (2010).** Growth, size class frequency and reproduction of purple sea urchin, *Paracentrotus lividus* (Lamarck 1816) in Bistrina Bay (Adriatic Sea, Croatia). *Acta Adriatica*, 51(1): 67-77.
- Tortonese E., (1965).** Echinodermata. Fauna d'Italia vol. VI. Calderini, Bologna.
- Tortonese E., Vadon C., (1987).** Oursin et holothuries (ECHINODERMES) in fiche FAO identification des espèces pour les besoins de pêche Révision I, Méditerranée, Mer noire zone de pêche 37 vol I, végétaux et invertébrés : 715-739.
- Trenzado C.E., Hidalgo F., Villanueva D., Furné M., Díaz-Casado M.E., Merino R., Sanz A., (2012).** Study of the enzymatic digestive profile in three species of Mediterranean Sea urchins. *Aquaculture*, 344, 174-180.
- Turon X., Gibiret G., Lopez S., Palacin C., (1995).** Growth and population structure of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) in two contrasting habitats. *Marine Ecology Progress Series*, 122: 193-204.
- Tuya F., Boyra A., Sanchez-Jerez P., Barbera C., 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.
- UICN France., (2015).** Des solutions fondées sur la nature pour lutter contre les changements climatiques. Paris, France.
- Underwood A.J., (1981).** Techniques of analysis of variance in experimental marine biology and ecology. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 19 : 513-605.
- UNEP/MAP., (2012).** State of the Mediterranean Marine and Coastal Environment , UNEP/MAP - Barcelona Convention, Athens, 201.
- Unuma T., Sawaguchi S., Yamano K., Ohta H., (2011).** Accumulation of the major yolk protein and zinc in the agametogenic sea urchin gonad. *The Biological Bulletin*, 221: 227-237.
- Vadas R.L., (1977).** Preferential feeding: an optimization strategy in sea urchins. *Ecological Monographs*, 47: 337-371.
- Vafidis D., Antoniadou C., Kyriakouli K., (2019).** Reproductive Cycle of the Edible Sea Urchin *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) in the Aegean Sea. *Water*. 11(5): 1029.

- Vaitilingon D., Rasolofonirina R., Jangoux M., (2005).** Reproductive cycle of edible echinoderms from the southwestern Indian Ocean. I. *Tripneustes gratilla* L. (Echinoidea: Echinodermata). *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 4:47-60.
- Verlaque M., (1987).** Contribution à l'étude du phytobenthos d'un écosystème photophile thermophile marin en Méditerranée Occidentale. Etude structurale et dynamique du phytobenthos et analyse des relations faune-flore. Thèse de Doctorat, Université Aix-Marseille 2, France, 389 pp.
- Von Bertalanffy L., (1938).** A quantitative theory of organic growth. *Human biology*, 10(2):181-213.
- Walker C.V., Lesser M.P., Unuma T., (2013).** Sea Urchin Gametogenesis – Structural, Functional and Molecular/ Genomic Biology. In: Lawrence J.M., (Ed). *Sea Urchins: Biology and Ecology, Chapter 3*. Developments in Aquaculture and Fisheries Science, 38 :25-43.
- Walker C.W., Harrington L.M., Lesser M.P., Fagerberg W.R., (2005).** Nutritive Phagocyte Incubation Chambers Provide a Structural and Nutritive Microenvironment for Germ Cells of *Strongylocentrotus droebachiensis*, the Green Sea Urchin. *The Biological Bulletin*, 209: 31–48.
- Wangensteen O.S., (2013).** Biology and phylogeography of the black sea urchin *Arbacia lixula* (Echinoidea: Arbacioida). PhD Thesis, University of Barcelona (Spain), 315p.
- Wangensteen O.S., Turon X., Casso M., Palacín C., (2013).** The reproductive cycle of the sea urchin *Arbacia lixula* in Northwest Mediterranean: potential influence of temperature and photoperiod. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87: 763-767.
- Wangensteen O.S., Turon X., García-Cisneros A., Recasens M., Romero J., 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., 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.
- Warnau M., Dutrieux S., Ledent G., Rodriguez y Baena A. M. et Dúbois P., (2006).** Heavy metals in sea cucumber *Holothuria tubulosa* (Echinodermata) from the Mediterranean *Posidonia oceanica* ecosystem: body compartment, seasonal, geographical and bathymetric variations. *Environmental bioindicators*, 1 : 268-285.
- Wasson K.M., Watts S.A., (2013).** Endocrine Regulation of Echinoid Reproduction. In: Lawrence J.M., (Ed). *Sea Urchins: Biology and Ecology, Chapter 5*. Developments in Aquaculture and Fisheries Science, 38 : 59-67.
- Weinberg S., (2007).** Découvrir la méditerranée, ed. Nathan nature. 352p.
- Wessel P., Smith W.H.F., (1995).** New version of the Generic Mapping Tools released. American Geophysical Union.
- Wetherall J.A., Polovina J.J., Ralston S., (1987).** Estimating growth and mortality in steady-state fish stocks from length-frequency data In: Pauly D., Morgan G.R., (Eds). *Length-based methods in fisheries research*, ICLARM Conf Proc, 13:53-74.

- White M., Keegan B.F., Leahy Y., (1985).** Growth retardation in the regular echinoid *Echinus esculentus* Linnaeus. In: Keegan B.F., O'Connor B.D.F., (Eds). *Proc. Fifth. Inter. Echin. Conf. Galway*, Balkema publ, Rotterdam. 369-375.
- 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., Poore A.G.B., (2005).** Density-dependent sea urchin grazing: differential removal of species, changes in community composition and alternative community states. *Marine Ecology Progress Series*, 298: 143-156.
- Young R.T., (1945).** Stimulation of spawning in the mussel (*Mytilus californianus*). *Ecology*, 26: 58-69.
- 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, Université des Sciences et de la Technologie Houari Boumediene (Alger). 26P + Annexes.
- Zhadan P.M., Vaschenko M.A., 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.

# ***Annexes***

**Annexe 1.** Résultats de l'ANOVA à trois facteurs pour tester les différences dans les variations de l'indice gonadique d'*Arbacia lixula* par saisons, sites et sexe.

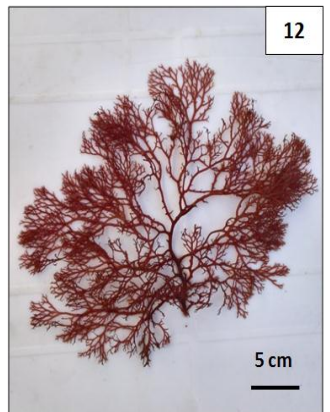
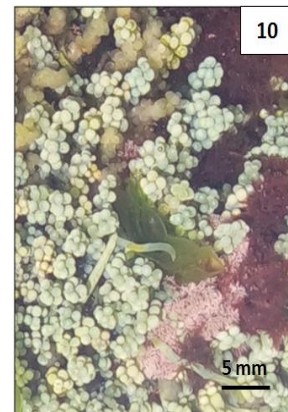
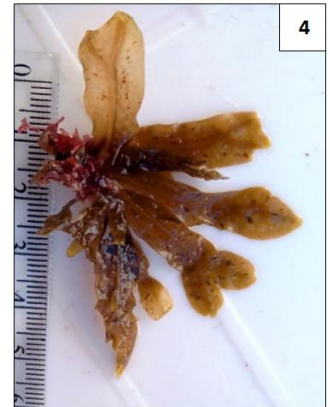
<b>Facteurs</b>	<b>SC</b>	<b>ddl</b>	<b>MC</b>	<b>F</b>	<b>p-value</b>
<b>Saisons</b>	4161.13	3	1387.04	104.111	0.0000
<b>Sites</b>	54.11	1	54.11	4.062	0.044066
<b>Sexes</b>	31.04	1	31.04	2.330	0.127179
<b>Saisons * Sites</b>	288.89	3	96.30	7.228	0.00082
<b>Saisons * Sexes</b>	73.38	3	24.46	1.836	0.138742
<b>Sites * Sexes</b>	82.38	1	82.38	6.183	0.013019
<b>Saisons * Sites * Sexes</b>	188.07	3	62.69	4.706	0.002842
<b>Résiduelle (interclasse)</b>	17532.66	1316	13.32		

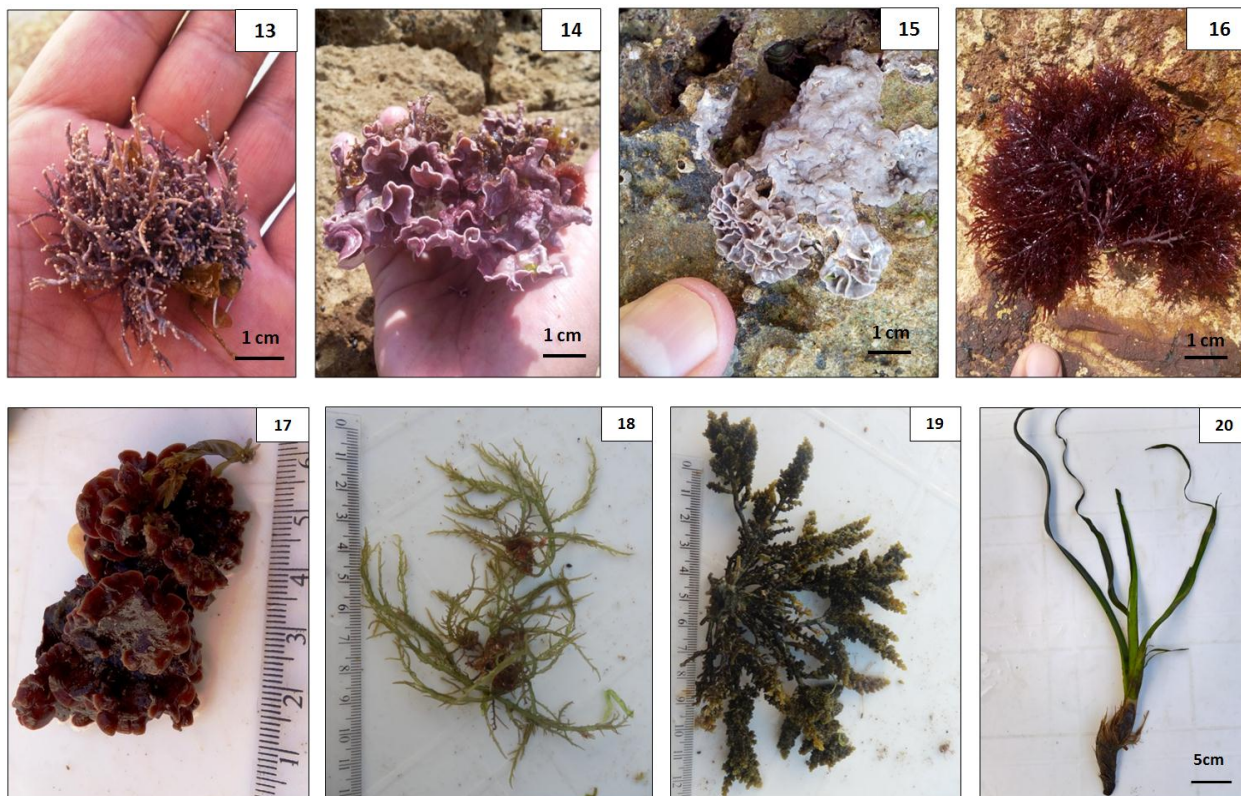
**Annexe 2.** Test de t de Student pour comparer la variation de l'Indice gonadique entre les deux années et dans chaque site.

<b>Site</b>	<b>Moyenne 2015</b>	<b>Moyenne 2016</b>	<b>Valeur t</b>	<b>ddl</b>	<b>p</b>
Salamandre	4.401667	5.327500	-0.738758	22	0.467863
Stidia	3.618333	5.186667	-1.71410	22	0.100566

**Annexe 3.** Exemples d'espèces floristiques associées à l'oursin *A. lixula*.

**Algue brunes :** 1. *Cladostephus spongiosum* ; 2. *Cystoceira* sp1. ; 3. *Cystoceira* sp2. ; 4. *Dictyopteris polypodioides* ; 5. *Taonia atomaria* ; 6. *Colpomenia sinuosa* ; 7. *Dictyota dichotoma* ; **Algues vertes :** 8. *Flabellia petiolata* ; 9. *Codium decorticatum* ; 10. *Caulerpa racemosa* ; 11. *Ulva* sp. **Algues rouges :** 12. *Sphaerococcus coronopifolius* ; 13. *Amphiora rigida* ; 14. *Mesophyllum* sp. ; 15. *Lithophyllum byssoides* en bas et *L. incrustans* en haut ; 16. *Pterocliadiella capillacea* ; 17. *Peyssonnelia squamaria* ; 18. *Hypnea musciformis* ; 19. *Palisada* sp. ; **Phanérogame :** 20. *Posidonia oceanica*.





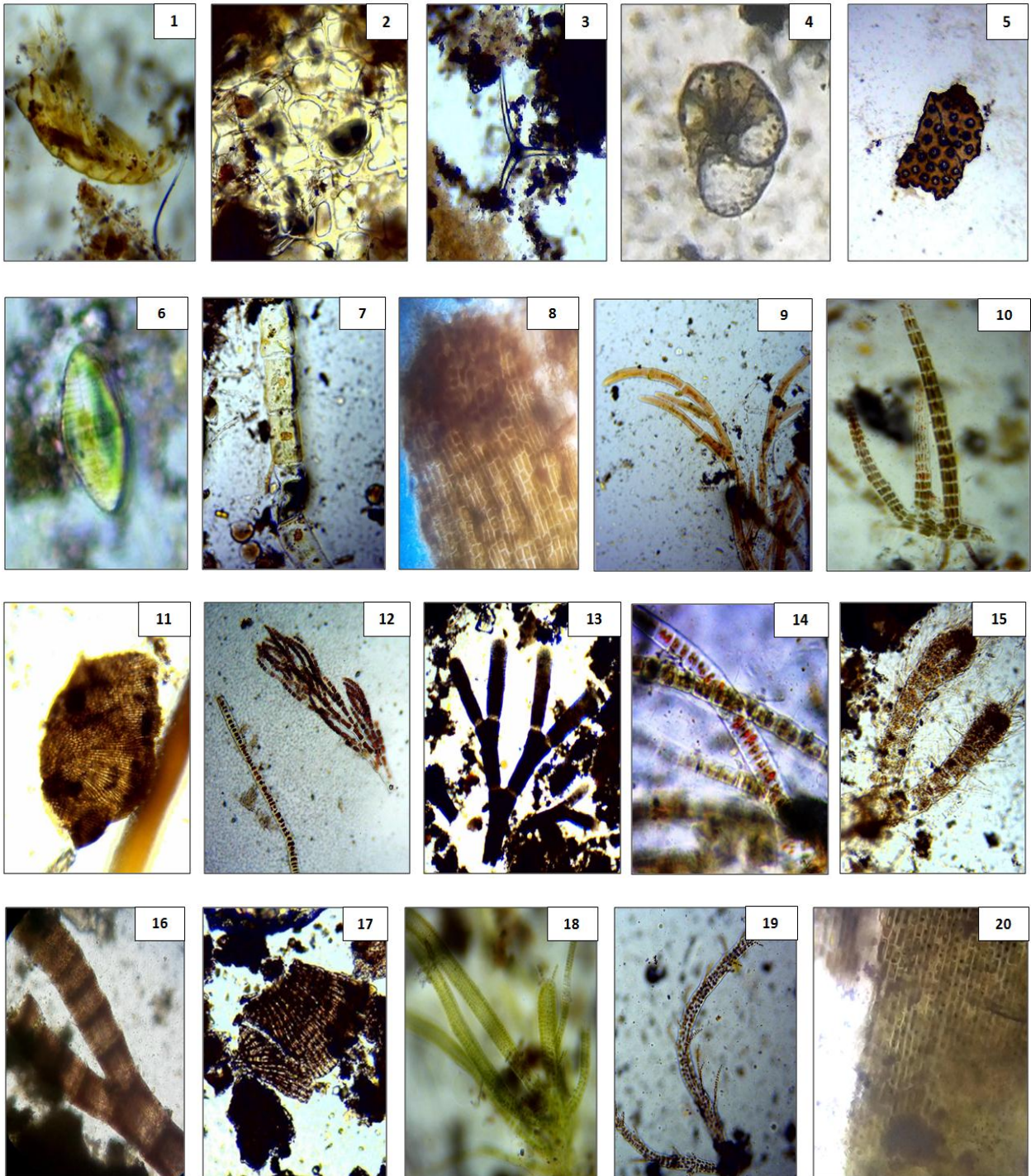
**Annexe 4.** Exemples d'espèces faunistiques associées à l'oursin *A. lixula*.

1. *Coscinasterias tenuispina* ; 2. Mollusque gastéropode ; 3. *Nereididae* ; 4. *Actinia equina* ; 5. *Balanus perforatus* ; 6. *Cymbula safiana* ; 7. *Patella ferruginea* ; 8. *Carcinus* sp.



**Annexe 5.** Exemple d'Items identifiés lors de l'analyse du contenu digestif de l'oursin *A. lixula* (agrandissement : x 40).

1. Crustaceans ; 2. Squelette d'éponge ; 3. Spicule d'éponge ; 4. Foraminifera ; 5. Faune indéterminé ; 6. Diatomée ; **Algues brunes** : 7. *Ectocarpaceae* Indéterminé ; 8. *Dictyota dichotoma* ; 9. *Cladophora* sp. ; **Algues rouges** : 10. *Herposiphonia* sp. ; 11. *Titanoderma* sp. ; 12. *Protofloridae* (a gauche) et *Callithamniella tingitana* (a droite) ; 13. *Jania rubens* ; 14. *Bangia fuscopurpurea* ; 15. *Ceramium* sp. ; 16. *Centroceras* sp. ; 17. *Corallinaceae* ; **Algues vertes** : 18. *Ulva* sp. ; 19. *Ulva clathrata* ; **Phanérogame** : 20. *Posidonia oceanica*.



## I. Publication internationale

Regional Studies in Marine Science 45 (2021) 101810



Contents lists available at ScienceDirect

Regional Studies in Marine Science

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/rsma](http://www.elsevier.com/locate/rsma)



### Interpopulation variability of the reproductive cycle of *Arbacia lixula* (Echinodermata: Echinoidea) in the Mostaganem shallow-water area (south-western Mediterranean)



Mohammed Elakkermi\*, Karim Mezali, Dina Lila Soualili

Protection, Valorization of Coastal Marine Resources and Molecular Systematic Laboratory, Department of Marine Science and Aquaculture, Faculty of Natural Sciences and Life, Abdelhamid Ibn Badis University - Mostaganem, P.O. Box 227, Route nationale N° 11, Kharrouba, 27000, Mostaganem, Algeria

#### ARTICLE INFO

**Article history:**  
Received 8 June 2020  
Received in revised form 2 March 2021  
Accepted 25 April 2021  
Available online 26 April 2021

**Keywords:**  
*Arbacia lixula*  
Spawning  
Gonad index  
Histology  
Maturation stages  
Pollution  
Mostaganem coast

#### ABSTRACT

The study on the reproductive biology of the black sea urchin *Arbacia lixula* was carried out at two different sites on the west coast of Algeria (Mostaganem) (one located at Salamandre considered polluted and the other at Stidia is relatively healthy). A monthly sampling was carried out from January 2015 to December 2016. The sex ratio at the two sites is slightly in favour of males. Monthly monitoring of the gonad index showed maximum values during the month of May, and minimum values in September. The gonad index for both male and female evolves in the same way. Histological study of the male and the female gonads confirmed the results obtained for the gonad index. The sexual resting stage takes place in winter, followed by maturation in spring. Finally, the spawning phase occurs between spring and summer. The variability of the seasonal temperature values appears to influence the maturation of the gonads and the spawning process in *A. lixula*. The results obtained in this study show the existence of an annual cycle in *A. lixula* with the presence of a massive spawning in July, the duration of which depends on the combined effect of stress factors (increase in temperature and presence of pollution).

© 2021 Elsevier B.V. All rights reserved.

#### 1. Introduction

The black sea urchin *Arbacia lixula* (Lamarck, 1816) is found on the coast of the Mediterranean Sea and Macaronesian Islands (Azores, Madeira, Canary Islands), and less commonly, on the Atlantic coast of Western Africa and the Brazilian coast. *Arbacia lixula* lives in shallow coastal ecosystems (from 0 to around 50 m depth) and is more commonly found on vertical rocky surfaces, exposed to a high hydrodynamism, flat rocky bottoms and even in sandy bottoms with scattered rock boulders (Wangenstein, 2013). Several works have been devoted to *A. lixula* in the Mediterranean region [Phylogeography (Wangenstein, 2013); abundance and size structure (Sala et al., 1998); Biometrics (Sellem, 1990); the microstructure of spines (Régis, 1982) and population growth (Régis, 1981; Sellem, 1990; Francour et al., 1994; Hereu et al., 2012); the inter and intra-specific relationship (Privitera et al., 2008); the feeding behaviour and relationship with phytobentos (Frantzis et al., 1988; Bonaviri et al., 2011; Gianguzza and Bonaviri, 2013); the effect of climate change on the recruitment of juveniles (Privitera et al., 2011)]. Regarding

the study of reproduction, little information exists in the Mediterranean (Fenaux, 1968; Régis, 1979; Pedrotti, 1993; Wangenstein, 2013), though Tavares (2004) studied its reproductive biology in Brazil. Moreover, the majority of studies, focused on European coasts, thus covering only a limited part of the species distribution area.

In this paper, research continues on the reproductive cycle of *A. lixula* from North African coasts where no data exist on the reproductive biology of this species, in a context of climatic modification marked by the increase in the disturbance of the environment and the variation of the seasonal temperature.

For this purpose, the present study was carried out in Mostaganem Bay, where the densities of this species are high. Two sites in this area were chosen for their contrasting situations along a pollution gradient (Belbachir, 2018) and studied over two years with differing seawater temperature patterns. The reproductive strategy of *Arbacia lixula* was investigated through gonad index and histological examinations. The aim of this study was to compare the *Arbacia lixula* reproductive cycle from the Algerian coast to the reproduction of other populations of the same species from the Mediterranean and the Atlantic. The study aims to locally assess the combined effects of pollution and seawater temperature on the species' reproduction model.

\* Corresponding author.  
E-mail address: [mohammed.elakkermi@univ-mosta.dz](mailto:mohammed.elakkermi@univ-mosta.dz) (M. Elakkermi).

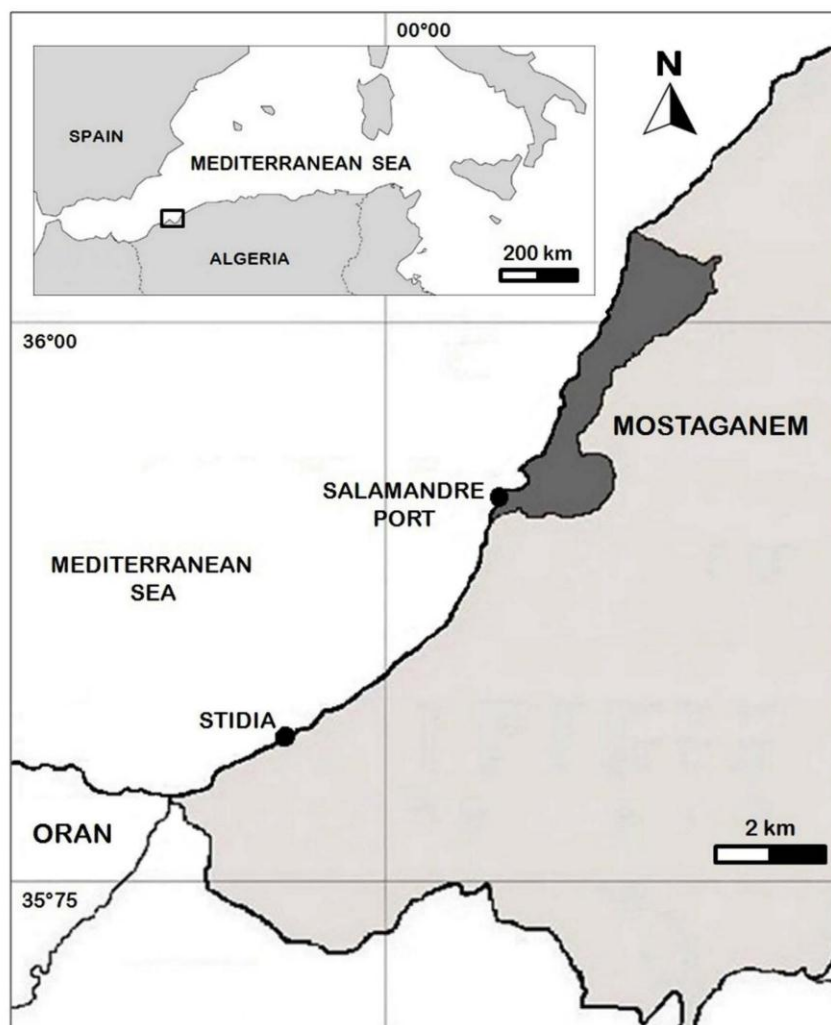


Fig. 1. Location of sampling sites in the Mostaganem region.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Choice of study stations

Two sites were selected, the first is located outside the port of Salamandre ( $35^{\circ}55'15.4''\text{N } 0^{\circ}03'21.2''\text{E}$ ), and the second is located in Stidia beach ( $35^{\circ}49'57.1''\text{N } 0^{\circ}00'57.4''\text{W}$ ) (Fig. 1).

The Salamandre site, is located at a distance of 2.81 km exterior the city of Mostaganem, it is exposed to the prevailing winds from the northwest sector and has a rocky substrate and an average depth of 10 m. This site is characterized by reduced biodiversity and signs of degradation (Belbachir, 2018). Most of the benthic macrofauna is represented by the echinoderms [*Paracentrotus lividus* (Lamarck)] and *A. lixula*; starfish [*Echinaster sepositus* (Reitzus)] and *Coscinasterias tenuispina* (Lamarck); holothurians (*Holothuria tubulosa* Gmelin and *Holothuria poli* Delle Chiaje)

(Benzait, 2015; Belbachir, 2018). The phyto-benthos is composed of *Ellisolandia elongata* (J.Ellis & Solander) K.R.Hind & G.W. Saunders, *Ulva lactuca* Linnaeus, *Caulerpa prolifera* (Forsskal) J.V. Lamouroux; invasive taxa [*Caulerpa cylindracea* Sonder, *Asparagopsis armata* Harvey, *Codium fragile* (Suringar) Hariot and *Lophocladia lallemandii* (Montagne) F. Schmitz; indicator species of eutrophication (*Chaetomorpha* spp., *Enteromorpha* spp. and *Ulva* spp.) (Bachir-Bouiadja, 2012). The coastal fringe of Salamandre is affected by growing urbanization and different anthropogenic activities that can have an impact on its marine biodiversity (Belbachir, 2018).

The second site (Stidia beach) is located about 20 km southwest of the town of Mostaganem. The site is open to the northwest, exposed to the prevailing wind (northeast). The seabed aspect is mixed with an alternating rock and sand. The underwater observations testify to an important biological diversity (Belbachir, 2012; Oulhiz, 2012). The macrofauna is represented by

**Table 1**

Biometry and global sex ratio of *Arbacia lixula* obtained between 2015 and 2016 in Salamandre and Stidia sites. Mean: mean diameter; Min: minimum diameter; Max: maximum diameter. The differences between the mean diameters of *A. lixula* from the two sites (Salamandre and Stidia) were tested by the Student's t-test at 95% confidence. SD: standard deviation. Mn – Males number; Fn – females number; Tn – Total number of males and females; percentage of males (%m = [Mn/Tn] \* 100); percentage of females (%f = [Fn/Tn] \* 100); males/females (m/f) ratio; Chi-square goodness of fit test ( $\chi^2$ ).

	Mean $\pm$ SD	Min	Max	Mn	Fn	Tn	%m	%f	m/f	$\chi^2$	p
Salamandre	44.23 $\pm$ 5.49	30.00	63.10	451	429	880	51.25	48.75	1.05	22.04	12.06
Stidia	41.77 $\pm$ 4.12	30.30	56.10	438	362	800	54.75	45.25	1.21	19.13	12.56

different taxonomic groups represented by the Molluscs [*Patella vulgata* Linnaeus and *Siphonaria pectinata* (Linnaeus)]; Arthropods [*Clibanarius erythropus* (Latreille) and *Carcinus maenas* (Linnaeus)]; Cnidaria [(*Anemonia viridis* (Forsskal) and *Actinia equina* (Linnaeus))] and echinoderms [*P. lividus* (Lamarck) and *A. lixula* (Linnaeus), *Holothuria poli* and *Ophioderma* sp.] (Oulhiz, 2012). The phytobenthos is composed of the dominant macrophytes [*Ulva* spp., *Corallina* sp., *Caulerpa* spp. and *Padina* sp. (Belbachir, 2018)].

## 2.2. Sample collection and processing

At each site, approximately 40 individuals of *A. lixula* were collected monthly during two years from January 2015 to December 2016. The samples were taken at 1–5 m depth by free diving. For each site, ten urchins (5 males and 5 females) were selected for gonad histology. The other 30 individuals were used for the study of the gonad index. On each sampled individual, the diameter (D) of the test without spines to the ambitus was measured using a calliper to the nearest 1/10 mm (Soualili, 2008). Each sea urchin is then dissected according to the equatorial plane to the ambitus, in order to recover the gonads by following the technique used by Soualili and Guillou (2009). To detect a possible association between temperature and spawning induction in *A. lixula*, seawater temperature was measured at each sampling using a Computer Apnea Watch Seac Sub Partner.

## 2.3. Sex ratio

The sex ratio was calculated globally and monthly. Sexes were determined according to the colour of the gonads. Males have white gonads and emit a whitish liquid. However, the females have garnet-coloured gonads. To determine the reproductive cycle of *A. lixula*, two approaches were used; (1) Following the evolution of the gonad index (GI) by sex and by site and (2) following microscopic stages of gonad maturity. The gonads are taken, then marked and weighed (wet and dry weight) [after passage in the oven (at 70°C for 48 h)] (Guettaf et al., 2000; Soualili, 2008; Soualili and Guillou, 2009).

## 2.4. Gonad index

The gonad index (GI) is expressed as the ratio of the gonad dry weight (GDW in mg) over the horizontal test diameter cubed without spines (D in cm) according to the formula ( $GI = \frac{GDW}{D^3}$ ) (Nédélec, 1982; Guettaf et al., 2000; Soualili, 2008).

## 2.5. Histology of gonads

Microscopic analysis of the gonads was performed using standard histology methods, by topographic colouring. Gonads removed from the freshly dissected urchins were fixed in 10% formalin. Preserved gonads were washed in 70% ethanol and dehydrated in increasing concentrations ethanol series. After, gonads were embedded in paraffin (using LEUKART bars) and cut into ultra-thin sections 5 to 7  $\mu$ m thick using a manual rotary microtome (LEICA RM2145). Afterwards, gonad tissues

were rehydrated, stained with Haematoxylin and Eosin (H&E), and mounted between a glass slide and cover slip. The use of Haematoxylin and Eosin (H&E) was preferred for viewing cellular and tissue structure detail. Microscopic observations and pictures were taken on a Nikon Eclipse E400 photo-microscope equipped with a Nikon DXM1200 digital camera. The microscopic stages of sexual maturity are determined from a smear performed at each gonad and observed under a microscope at magnification x 40.

## 2.6. Statistical analysis

Once the homogeneity of variances is verified, differences in the values of the GI between the two sites by seasons and sexes were conducted using a three-factor ANOVA ( $p < 0.05$ ). A one-factor ANOVA was also used to check the monthly change in GI ( $p < 0.05$ ). To compare the variation of the GI between the two years of study, a Student's t-test is used. The differences in mean GI values by sex were analysed by a Mann and Whitney test. To check the balanced distribution between males and females 1:1, we used a Chi-square test ( $\chi^2$ ). A Pearson test was also used to analyse the correlation between GI and temperature. All statistical analyses were performed using Statistica V.6.1.

## 3. Results

### 3.1. Biometry and sex ratio

Biometrics and the sex ratio were studied over the entire two years 2015 and 2016. The results are shown in Table 1.

The individuals of *A. lixula* collected [1680 individuals in total (880 individuals of Salamandre and 800 individuals of Stidia)] are generally adults whose D (diameter of the test without spines) is between 30.00 and 63.10 mm at Salamandre (44.23  $\pm$  5.49 mm mean size) and between 30.30 and 56.10 mm in Stidia (41.77  $\pm$  4.12 mm mean size).

Student's mean diameter comparison test showed a very significant difference between the populations of Salamandre and those of Stidia ( $p < 0.05$ ).

The total sex ratio obtained does not differ significantly from 1: 1 (Salamandre: m/f = 1.05,  $\chi^2 = 22.04$  ( $p > 0.05$ ); Stidia: m/f = 1.21,  $\chi^2 = 19.13$  ( $p > 0.05$ ). Also, no monthly sex ratio differed significantly by a proportion of 1:1 ( $\chi^2$ ,  $p > 0.05$ ).

### 3.2. Evolution of the gonad index

The result of the three-factor ANOVA test that includes the effects of GI values interactions between independent variables; Seasons, Sites and Sex are collected in Table 2.

During the first year (2015), the monthly monitoring of GI of *A. lixula* produced at Stidia shows a period of increase in gonad volume from January to May. In both sexes, the maximum gonad volume was completed in May 2015. From May, an abrupt decrease in GI for both sexes leads to minimum values in summer (July). Another low intensity peak was observed for both sexes of *A. lixula* in October which decrease and reaches minimum values until January. In the Salamandre site, a period of gonadal growth in spring with maximum evolution reached by females in April

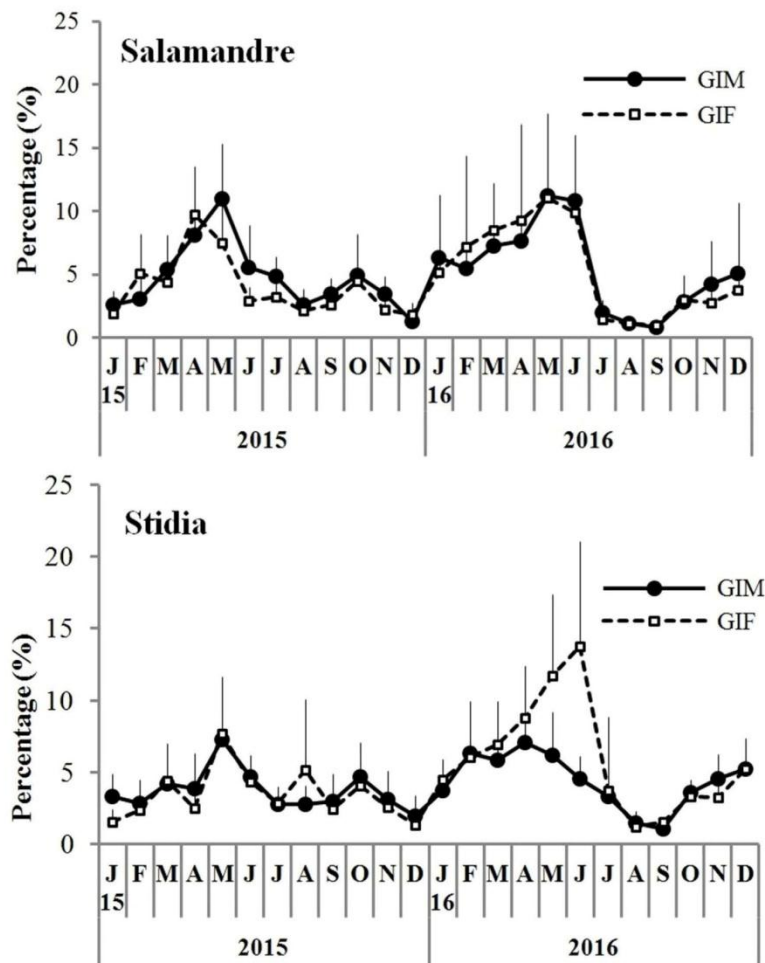


Fig. 2. Temporal variations of the gonad index (GI) of *Arbacia lixula* by sex and in the two study sites (GIM: Gonad Index Male; GIF: Gonad Index Female).

**Table 2**  
Results of the ANOVA three factors to test differences in gonad index of *Arbacia lixula* by seasons, Sites and Sex. SS: Sum of Squares; DF: Degree of Freedom; MS: Mean Square. F: measure the separation between all classes.

Factors	SS	DF	MS	F	p-value
Seasons	4161.13	3	1387.04	104.111	0.0000
Sites	54.11	1	54.11	4.062	0.044066
Sex	31.04	1	31.04	2.330	0.127179
Seasons * Sites	288.89	3	96.30	7.228	0.00082
Seasons * Sex	73.38	3	24.46	1.836	0.138742
Sites * Sex	82.38	1	82.38	6.183	0.013019
Seasons * Sites * Sex	188.07	3	62.69	4.706	0.002842
Résidual	17532.66	1316	13.32		

and in May by males (Fig. 2). From this period, the females of Salamandre site began releasing gametes earlier in the month of April compared to males. At both sites, a second small peak was observed in October for both sexes. During the winter season (December 2015), the GI reached its minimum value for both sexes (Fig. 2).

In 2016, the monthly evolution of the GI was similar to that of the year 2015 in the two sites. However, with a difference at Stidia, where the peak of gonad growth was observed in June for females, and in April for males (Fig. 2). The minimum GI values of both sexes at the two sites were observed at the end of the summer season, and precisely at the beginning of autumn (September 2016) (Fig. 2). No significant difference between years was reported (Student's t-test,  $p = 0.46$  at Salamandre and  $p = 0.10$  at Stidia). However, highly significant monthly differences in GI were detected throughout the study period (One-factor ANOVA;  $F = 54.66$ ,  $p < 0.05$ ). According to the three-factor ANOVA (Table 2), the GI showed non-significant differences between males and females at the two sites ( $p > 0.05$ ) ( $F = 2.33$ ,  $p = 0.12$ ). In fact, both sexes of the two sites have the same reproductive attitudes, their gonads develop simultaneously. On the other hand, relevant seasonal differences (pooled sex) were very important and was confirmed by the ANOVA to three factors ( $F = 104.11$ ,  $p < 0.05$ ). While the evolution of the GI (pooled sex) between the two sites was slightly significant ( $F = 4.06$ ,  $p = 0.044$ ).

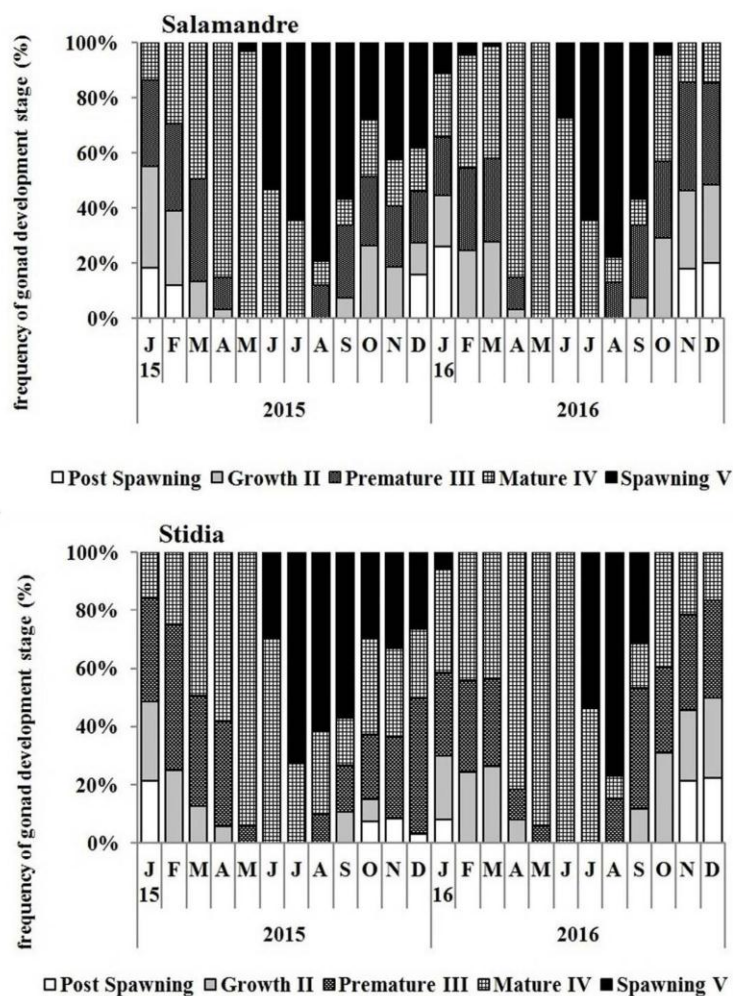


Fig. 3. Monthly frequencies of gonad development stages of *Arbacia lixula* (Pooled sexes) at the two studied sites from January 2015 to December 2016.

3.3. Macroscopic study of gonads

Stages of Sexual maturity were evaluated using the Fuji scale (1960b). Five stages of maturity (Post Spawning stage I, Growth stage II, Premature stage III, Mature stage IV and Spawning stage V) were differentiated in the male and female gonads of *A. lixula* populations at each site studied.

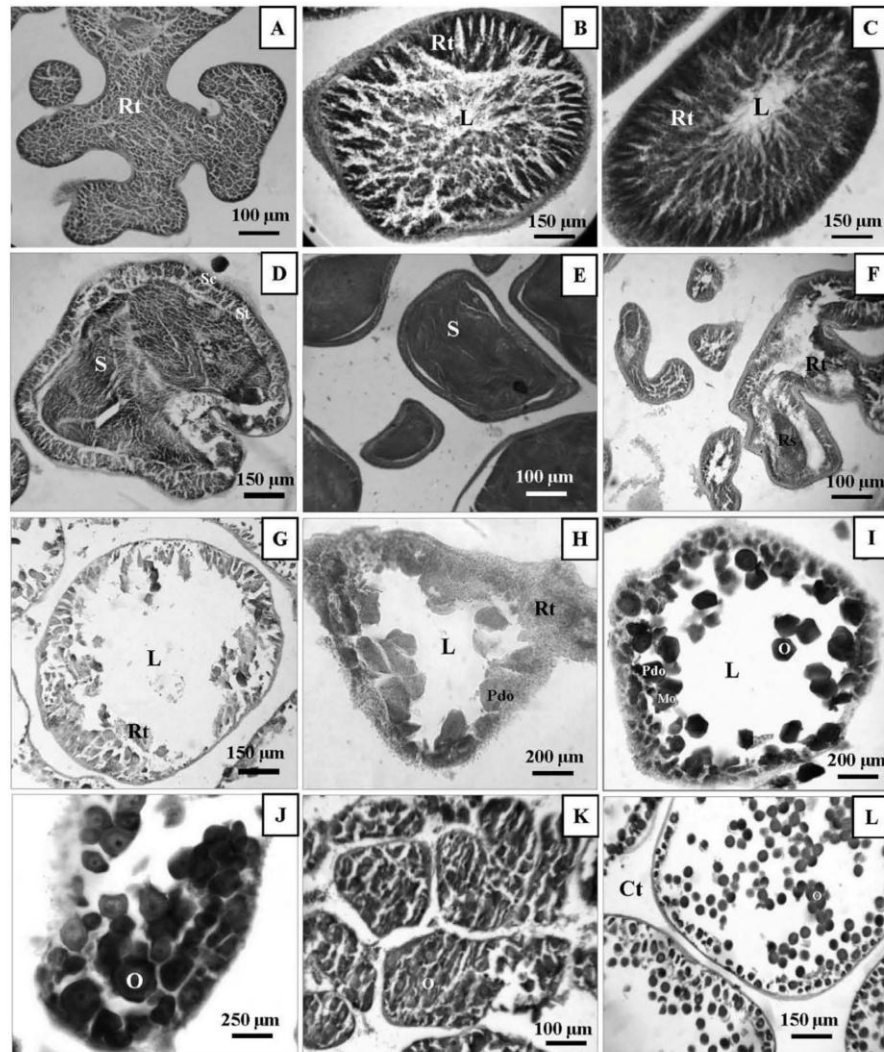
**Salamandre**

During the two years 2015 and 2016, the Post-Spawning stage was seen in the gonads during the winter season. However, it is most important appearance was during January and December 2016 with the respective percentages of 26% and 20%. Stage II was marked by the presence of a maximum number of individuals at this stage in January 2015 and October 2016 (more than 36% and 29% respectively). In March 2015 and November 2016, the Premature stage (Stage III) was observed at frequencies around 40% (Fig. 3). Stage IV was at its highest level in May during

the years 2015 and 2016 with respective percentages of 96% and 100%. The summer season was characterized by the start of Spawning (stage V). Indeed, the highest percentage was obtained in August (over 66%) (Fig. 3).

**Stidia**

The stage I occurred in January 2015, November and December 2016 (22%). During the winter period, the proportion of individuals observed in stage II was at its peak in March and October 2016 with 26% and 32% of individuals respectively for these two months. Stage III was seen during all months except June 2015 and July 2016, marked by a maximum of individuals observed in stage III in February and December 2015 (between 50% and 48%) (Fig. 3). Stage IV was observed during all the period of sampling. However, the maximum number of individuals at stage IV was observed in May 2015 and June 2016 with respectively percentages of 94% and 100% (Fig. 3). Stage V of 2016 was less spread out in time, it was located between June and September 2016.



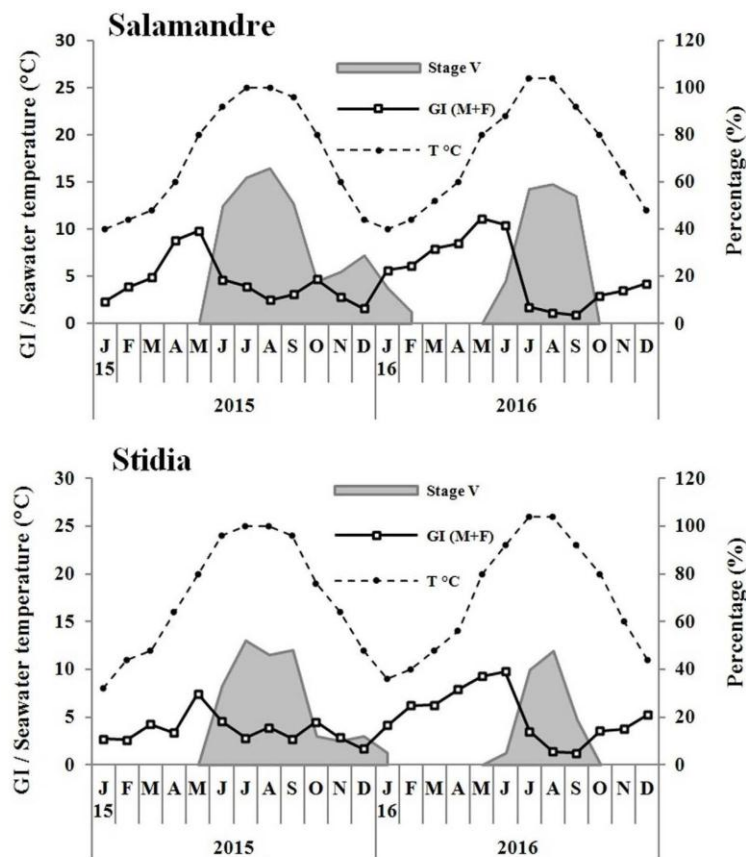
**Fig. 4.** Histology of testes (A–F) and ovaries (G–L) of *Arbacia lixula* sampled at Salamandre and Stidia sites. **Rt:** Reserve tissue; **L:** Lumen; **Ct:** connective tissue; **Po:** Primary oocyte; **O:** Ova; **Mo:** Mature oocyte; **Pdo:** Pedunculated oocyte; **S:** Spermatozoa; **Rs:** residual spermatozoa; **Sc:** Spermatocyt; **St:** Spermatid. **A.** Stage I, Post-Spawning. **B** and **C.** Stage II, Growth. **D.** Stage III, Premature. **E.** Stage IV, Mature. **F.** Stage V, Spawning. **G.** Stage I, Post-Spawning. **H.** Stage II, Growth. **I.** Stage III, Premature. **J** and **K.** Stage IV, Mature. **L.** Stage V, Spawning.

However, in 2015 it was more extensive and limited between June and December. However, the emission of male and female gametes was intense in summer during the months of July 2015 and August 2016 (Fig. 3).

### 3.4. Microscopic study of gonads

For the two populations of *A. lixula* from Salamandre and Stidia, five stages of microscopic maturity were differentiated: stage I (Post Spawning), stage II (Growth), stage III (Premature), stage IV (Mature) and stage V (Spawning). During Stage I, the oogonia and spermatogonia are parietal after the expulsion of the mature

gametes. The gonad was filled with a nutritive tissue rich in inclusions (Fig. 4 A–F). This stage was started between September and October of the years 2015 and 2016. Stage II was clearly observed during the months of October and December 2016 in both populations, oogonia form primary oocytes by attaching to the gonad wall and surrounded by nutrient tissue, less dense but well developed (Fig. 4 G). Spermatogonia develop into spermatocytes and form small elongations penetrating the nutritive tissue (Fig. 4 B). Stage III starts with the month of January of each year and continues until March. Progressive cell growth along the acinal wall was observed during this stage (oogonia, primary oocytes and pedunculated oocytes). Pedunculated oocytes are connected at the acinal wall by a peduncle. Oocytes and spermatocytes get



**Fig. 5.** Monthly variation in the gonad index of *Arbacia lixula* (Pooled sexes), monthly mean temperature and the percentage of individuals observed in stage V (Spawning) at the two study sites. GI: Gonad Index; T: Temperature.

detach from the acinal wall to migrate in the centre of the acini, undergoing maturation. Nutrient tissue was reduced and pushed to the periphery of the testicle (Fig. 4 C–H). At Stage IV (from March to May 2015 and 2016 for those of Salamandre and from March to June 2016 for those of Stidia), the acini are filled with ova and spermatozoa that are ready to be expelled (Fig. 4 D–I). However, in males on the edges of the gonads a thin peripheral spermatocyte layer is observed. Stage V of Spawning begins in spring in May 2015 and 2016 for the gonads of both populations (except for the population of Stidia in 2016 where this stage starts late in June). This stage marks the release of all mature gametes; the phagocytic nutritive tissue develops lining the acinal walls (Fig. 4 E–J). This stage lasts until September (2015 and 2016).

### 3.5. Influence of temperature variations on spawning

To understand the variability of the reproductive cycle of the two populations of *A. lixula* of the two sites studied, the evolution of the GI values was followed of the two sexes combined and the percentages of individuals in stage V by site with the evolution of the temperature (Fig. 5). The gonads of both populations of sea urchins at both sites experienced a rapid and short growth and prematurity phase between February and March with temperatures between 11°C and 12°C during the two years of study.

Thereafter, the GI progresses rapidly with the rapid increase in temperature which increases between March and May (12°C to 20°C) each year. During this period, the gonads become mature, and they are in full maturity. The male and female gametes are ready to be expelled. In both sites, a massive gametic emission was observed at the end of the spring season (end of May in the years 2015 and 2016), and this results in a rapid drop in GI (Fig. 5); the expulsion of gametes from May in 2015, corresponds with the high temperature values above 20°C. From September, until December, the slight GI values affirm the presence of the period of sexual rest confirmed by a small percentage of individuals in stage V (< 10%) until the beginning of winter coinciding with low temperature values (Fig. 5). In 2016, another phase of growth, then of pre-maturation of the gonads takes place. It is only in May that the gonads reach their maximum volume. From this month, the massive emission of gametes begins and coincides with the rise in temperature (20°C). The Spawning peaks between July–August with the participation of the majority of the sampled population from both sites. According to Fig. 5, during the first year of 2015 and at both sites, another low intensity gamete show begins in fall (October to December). In addition, spawning was considered effective only if stage V was seen on more than 20% of individuals. The presence of a large number

[66% and 59% between 2015 and 2016 in Salamandre and 52% and 48% between 2015 and 2016 in Stidia] of individuals at stage V (Spawning) during the summer season with minimal values of the GI explains and confirms that this period corresponds to the massive emission of gametes, which takes place in an interval of high temperature rise (20°C to 23°C between May and June 2015 and 23°C to 26°C between June and July 2016) noted in the two sites studied (Fig. 5). The correlation between the variation in GI and the temperature is significant ( $p < 0.05$ ).

From the results obtained, temperature appears to be the most important factor in the development of gonads and the trigger to release of gametes. To better interpret the results, it was suggested that continuous temperature data should be obtained, at different depths, especially during the critical periods from March to May.

#### 4. Discussion

Table 3 represents previous work on the physicochemical parameters of seawater at the two sites studied during 2016. Analysis of these results shows that the Salamandre site was classified as disturbed. This site was characterized by industrial pollution (Boukhef, 2012; Tahlaiti and Aissaoui, 2016). In fact, it houses several industrial unit facilities [CELPAP (National Cellulose and Paper Company), SOACHLORE (Algerian Chlorine Society)]. The waters of this site constitute an outlet in the absence of an urban and industrial wastewater treatment plant, and several outlets of urban and industrial wastewater from the agglomeration of the city of Mostaganem receive all these domestic tributaries (Belbachir, 2018).

The average SS concentrations (Table 3), at both sites are far from the limit value imposed by current legislation. Stidia's seawater seems slightly more turbid, due to the coastal developments that Stidia experienced for the construction of the new pleasure and fishing port. The amount of biodegradable organic matter was higher in Salamandre due to the high biological demand for oxygen (BOD<sub>5</sub>) by bacteria, and also the high chemical oxygen demand (COD) necessary to oxidize (clean up) all the organic matter present in this water. Stidia site was considered a reference area (Bouchher, 2015; Belbachir, 2018), Table 3 results confirm their marine water was relatively of good quality.

Monitoring the variation of the gonad index of *A. lixula* showed that there was no difference was detected between both sexes (ANOVA,  $F = 2.33$ ,  $p = 0.12$ ). In two of the studied sites (Salamandre, Stidia), the reproductive cycle of this species was annual marked by two spawning periods; the first (massive) which takes place between spring–summer, and the second (less intense) in autumn. This discrete second spawning does not correspond to a new cycle of gametogenesis, but to a short period of inactivity in the first cycle of gametogenesis due to the rising temperatures. The results of the first Spawning agree with the work carried out on the same species by: (1) Fenaux (1968) in Ville-franche-sur-mer (France) where the first annual Spawning was reported in mid-June; (2) Sellem (1995) at the Golf of Tunis (Tunisia), where the Spawning period takes place between May and July (Table 4) and (3) Wangenstein (2013) on the coast of Tossa de Mar (Spain), reported spawning from May to July. However, the late autumn spawning (less intense) observed in this work is corroborated by the results of Fenaux (1968) at Ville-franche-sur-mer which reports a secondary spawning for the same species in October.

Similar observations were also reported for sea urchin populations of *P. lividus* by: (1) Soualili (2008) and Soualili and Guillou (2009) in and around Algiers, the reproduction of *P. lividus* was seasonal with a maximum GI in spring followed by a spawning period and synchronized with the rise in temperature and the

availability of food; (2) Sellem and Guillou (2007) in the Gulf of Tunis where the GI reaches its peak in March and the spawning period was between April and July and coincides with the decrease in the GI; (3) Bayed et al. (2005) in the north Atlantic coast of Morocco, the spawning period occur in spring between March and June; (4) Agnetta et al. (2015) on the Basque coast (southeast of the Bay of Biscay) and on the coast of Galicia (Portugal), a GI peak observed in *P. lividus* in spring between April and May; (5) Tomsic et al. (2010) in Bistrina Bay (Adriatic Sea, Croatia) where the peak of *P. lividus* reproduction was noted in April; (6) Vafidis et al. (2019) in the Gulf of Pagasitikos in the Aegean Sea (Greece) where a main spring spawning was reported in March and April and a less intense second one in autumn (October and November). Our results are also consistent with the work of: (1) Soualili (1998) carried out on the populations of sea urchin of *S. granularis* on the coasts of Tamentefoust in Algeria with a main spawning occurring between spring–summer (from May to July) and a second one of weak intensity at the end of summer (late August); (2) Martínez et al. (2008) in south-eastern Spain where only one annual spawning was reported between June and August and which corresponds with the regression of the GI (Table 4).

Beyond the Mediterranean region, our results also agree with work carried out on other echinoids by: Mariante et al. (2009) at the Brazilian coast of Praia da Costa Vila Velha – Espírito Santo for the sea urchin *Echinometra lucunter* where only one spawning was observed between the Summer–Autumn seasons (Table 4) and Brogger et al. (2010) where the sea urchin *Arbacia dufresnii* in the Argentinian coasts, in Golfo Nuevo, in Patagonia was characterized by two spawning in the year; a less important first spawning and a second more important during the summer season; as well as Marzinelli et al. (2006) on these same Argentinian coasts, reported for the sea urchin *Pseudechinus magellanicus* two spawning in the year; a first larger spawning in winter and a small second in summer. In addition, Keshavarz et al. (2017) reported for the sea urchin *Echinometra mathaei* from Bandar Lengeh in the Persian Gulf in Iran, an annual spawning spread between March and August.

The maximum GI values (both sexes) according to the sites showed a significant difference (ANOVA,  $F = 4.06$ ,  $p = 0.04$ ). In fact, the maximum GI values in Salamandre site are higher than those found in Stidia site (Fig. 5).

With regard to the impact of temperature, in both sites, variations in GI values coincide with changes in seawater's temperature. Indeed, the GI recorded low values [1.56 ( $\pm 1.03$ ) and 6.06 ( $\pm 4.62$ ) in Salamandre and 1.69 ( $\pm 1.20$ ) and 6.21 ( $\pm 3.17$ ) in Stidia] in winter reflecting a period of sexual rest in parallel with the decrease in temperature (11°C). Then, with the continuous rise in temperature (between 12°C and 13°C), a new phase of growth and then prematurity of the gonads takes place. After that, it was found that the GI values increase with the rise in temperature until the end of the spring season when the spawning begins. The gradual warming of water seems to induce the development and maturation of gonads. At both sites in spring, the GI and the temperature recorded a significant correlation (Pearson,  $p < 0.05$ ). After reaching its peak, the GI rapidly decreases, indicating a release of the gametes. Meanwhile, the water temperature continued to rise until it peaked in July of years 2015 and 2016. In 2016, a slight rise in temperature was recorded (from 26°C in 2016 against 25°C in 2015) in both sites (Fig. 5). In addition, there was an interval of high temperature rise between June and July 2016 (from 22°C to 26°C in Salamandre and from 23°C to 26°C in Stidia) compared to June and July of 2015 (23°C to 25°C in Salamandre and 24°C to 25°C in Stidia) (Fig. 5). This could explain the massive emission of gametes throughout the spring–summer period. The course of the gametogenesis cycle in *Arbacia lixula* was almost identical

**Table 3**

Average values of the physico-chemical parameters measured in the sea waters of the Salamandre and Stidia sites during 2016. DO: Dissolved Oxygen; SS: Suspended solids; OM: Organic Matter; COD: Chemical Oxygen demand; BOD<sub>5</sub>: Biological Oxygen Demand in 5 days.

Parameters	Salamandre	Stidia	Normative limits	Sources
Temperature (°C)	19,37 ± 3,04	18,87 ± 2,95	30	Present study
pH	8,18 ± 0,58	7,97 ± 0,19	6,5–8,5	Tahlaiti and Aissaoui (2016)
SS (mg/l)	14,84 ± 1,75	16,26 ± 4,31	35	Elakkeri (unpublished result)
OM (mg/l)	4,72 ± 0,97	2,53 ± 0,92	–	Elakkeri (unpublished result)
COD (mg/l)	29 ± 4,25	21 ± 5,66	>20	Tahlaiti and Aissaoui (2016)
BOD <sub>5</sub> (mg/l)	23,3 ± 0,28	7,5 ± 1,41	10	Tahlaiti and Aissaoui (2016)

**Table 4**

Bibliographical data for the spawning period of some echinids.

Species	Locality	Spawning period	Reference
<i>A. lixula</i>	Salamandre (Algeria)	• May to September	Present study
<i>A. lixula</i>	Stidia (Algeria)		
<i>A. lixula</i>	Villefranche-sur-Mer (France)	• June to October	Fenaux (1968)
<i>A. lixula</i>	Gulf of Tunis (Tunisia)	• May to July	Sellem (1995)
<i>A. lixula</i>	Tossa de Mar (Spain)	• May to July	Wangensteen (2013)
<i>P. lividus</i>	North Atlantic coast (Morocco)	• March to June	Bayed et al. (2005)
<i>P. lividus</i>	Gulf of Tunis (Tunisia)	• April to July	Sellem and Guillou (2007)
<i>P. lividus</i>	Algiers beach (Algeria)	• June to September	
<i>P. lividus</i>	Tamentfoust (Algeria)	• June to November	Soualili and Guillou (2009)
<i>P. lividus</i>	Sidi Fredj (Algeria)	• July to December	
<i>P. lividus</i>	Bayof Bistrina (Croatia)	• April	Tomsic et al. (2010)
<i>P. lividus</i>	Coast of Galicia (Spain)	• May	Agnetta et al. (2015)
<i>P. lividus</i>	Gulf of Pagasitikos (Aegean sea, Greece)	• March and April • October and November	Vafidis et al. (2019)
<i>Sphaerechinus granularis</i> (Lamarck, 1816)	Tamentfoust (Algeria)	• May to July • September	Soualili (1998)
<i>S. granularis</i>	South eastern Spain	• June to August	Martínez et al. (2008)
<i>Echinometra lucunter</i> (Linnaeus, 1758)	Praia da Costa Vila Velha - Espírito Santo (Brazil)	• Summer–Autumn	Mariante et al. (2009)
<i>Arbacia dufresnii</i> (Blainville, 1825)	Golfo Nuevo, Patagonia (Argentina)	• Spring • Summer	Brogger et al. (2010)
<i>Pseudochinus magellanicus</i> (Philippi, 1857)	Golfo Nuevo, Patagonia (Argentina)	• Winter • Summer	Marzinelli et al. (2006)
<i>Echinometra mathaei</i> (Blainville, 1825)	Bandar Lengeh in the Persian Gulf (Iran)	• March to August	Keshavarz et al. (2017)

in both locations, but there are year-to-year differences in the duration and intensity of spawning. The increase in temperature from one year to another can also explain the limitation and reduction of stage V during 2016, and the sea urchins emit their gametes in intensity and in a short time, knowing that this stage there was more spread over the previous year (2015) in both sites (Fig. 5). All this shows the sensitivity of the gonads to this physical stimulus (temperature). Several authors affirm that the continuing global warming of the Mediterranean creates an environment more and more favourable to the reproduction and the development of *A. lixula* (Gianguzza et al., 2011; Privitera et al., 2011; Wangenstein, 2013). Our results are similar to those found by Gianguzza et al. (2011) on the island of Ustica (Tyrrhenian Sea), where a positive correlation has been reported between the variation in surface water temperature and the change in GI values of *A. lixula* in summer, suggesting a high reproductive capacity with increasing temperature. Furthermore, according to Wangenstein (2013), the maximum annual GI values would correspond to the years when the sea surface temperature in winter and spring was exceptionally warm. Our results also corroborate with the work of Siikavuopio et al. (2007), which has shown that summer temperatures are beneficial to successful sea urchin reproduction. The studies of Fenaux (1968) and Byrne (1990) on *P. lividus* have shown that the rise in seawater temperature could serve as an immediate marker for the spawning. On the other hand, and according to Gianguzza (2020), data on the impact of the rise in temperature on the different life stages of species of

the genus *Arbacia* are generally lacking. It should be noted that the trophic aspect is an important parameter in the process of gametogenesis. According to Pearse and Cameron (1991), the food richness can be explained also the prolongation of spawning, and explains the absence of a food cycle. As a result, a good gonads production was the equivalent of a rich food throughout the year to allow gametogenesis. In addition, Soualili and Guillou (2009) noted that the trophic factor can be associated with temperature and can affect the duration of spawning by acting immediately on the growth of gonads of *P. lividus* by the accumulation of nutrients which allow the gametogenesis. An increase in temperature can increase the efficiency of ingestion and absorption and therefore ultimately growth (Fernandez, 1996; Spirlet et al., 2000). Indeed, according to Frey and Gagnon (2015) and Mertens et al. (2015), the continued warming of the water surface is considered a stress which can have direct consequences on the metabolism of grazers, increasing their consumption rates and thus creating grazing pressure on primary producers. The richness of the Stidia site in photophilic algae may explain the spread of spawning, while in Salamandre, it was the richness of the medium in DOM (Table 3), which seems to act on the maximum GI values and on the intensity of the spawning, which was more important in Salamandre than in Stidia. The photophilic algae deficiency in Salamandre site induced the sea urchins of this site to adopt a sestonophage diet in the sense of Régis (1986), where sea urchins would feed in abundance on the available resources characterized by the abundance of DOM. Indeed, the Salamandre site was characterized by a large amount of organic matter. The presence of

organic matter throughout the year dispersed by hydrodynamic action seems to favour the rapid restoration of gonads (Mezali et al., 2014). A high GI index suggests that an important stock of reserves has accumulated in the gonad during the growth phase to ensure effective gametogenesis capable of giving annual and sufficiently intense spawning. Our results coincide with those found by Soualili (2008) for the populations of *P. lividus* of Sidi Fredj in Algeria, where the environments are rich in suspended solid (SS) and where the average annual repletion index are high, presenting a spawning spread between July and December. Similar results obtained by Lozano et al. (1995) for the populations of *P. lividus* on the coasts of Cubelles of the province of Barcelona in Spain where these sea urchins are in a polluted environment and with a spawning period spread between April and July. This growth was driven by temperature. Sea urchins drew on their resources to guarantee a pronounced spawning in a minimum of time by a large number of individuals in stage V. Furthermore, other endogenous or exogenous factors can accelerate gametogenesis as reported by Azad et al. (2011) and Mercier and Hamel (2009) who point out the associated effects of temperature with other factors such as the availability of food and other endogenous stimuli. Also, some authors describe other factors initiating the spawning. These factors include: chlorophyll concentration, seawater salinity, phytoplankton availability and the presence of spermatozoa in sufficient quality and quantity that would induce spawning of females (Zhadan et al., 2015); photoperiod, which is a regulating factor in the reproductive activity of sea urchins (Siikavuopio et al., 2007; James and Heath, 2008; Wangenstein, 2013); hydrodynamism (Soualili, 2008; Gianguzza et al., 2013); phytoplankton blooms (Himmelman, 1975; Pedrotti, 1993; Starr et al., 1993). In this study, microscopic analysis of gonads corroborates the results obtained by the gonad index. Monitoring of the stages of sexual maturity (particularly stages IV and V) of the species has shown that *A. lixula* spawn from late spring until early autumn but with greater intensity in summer (Fig. 4).

The interaction of stress ; temperature rise (illustrated in our study) combined with that of pollution, seems to affect sea urchins at the Salamandre site much more than those at Stidia, more precisely during 2016. Indeed, our results show that the sea urchins on this site seem to have responded to these pressures in different ways; (i) hypertrophy of gonads with a more pronounced GI and a high percentage of individuals in the spawning phase; (ii) continuous use of abundant organic material dissolved or suspended in the water column as a source of energy for reproductive needs by storing it in the gonads, (iii) by adaptation mechanisms: by adapting their growth and by adjusting their morphologies in several ways: a larger test allowing better adhesion to a rocky substrate and to resist the continuous hydrodynamic action of waves and swells characterizing the site of Salamandre. Indeed, the sea urchins of this site are characterized by a more important test than those of Stidia; a large and flattened jaw like those found for populations of *P. lividus* of the same site according to the work of Boukhelf (2012). According to Ebert et al. (2014), Aristotle's lantern tends to become large than it is tall when food resources are limited; Spines that become more elongated and sharper (Elakkermi, unpublished result) adequate for a more active and efficient use of the organic material available in the water column (Régis, 1986; Pancucci et al., 1993).

In conclusion of this study, the reproductive cycle of *A. lixula* was determined from two different sites on the coast of Mostaganem by monitoring the evolution of the GI and that of the microscopic stages of gonads maturity.

The cycle begins with a gonad growth phase that took place in winter, followed by accelerated maturation of the gonads in spring, and finally a spawning between May and September of each year. Finally, the *A. lixula* species shows remarkable plasticity in the face of stressors linked to climate change by adapting

physiologically and morphologically. The potential effects of climate change on the reproductive cycle of *A. lixula* seem to favour the dissemination and propagation of this species on the west Algerian coast.

#### CRedit authorship contribution statement

**Mohammed Elakkermi:** Conception and design of study, Writing - original draft, Acquisition of data, Analysis and/or interpretation of data. **Karim Mezali:** Conception and design of study, Acquisition of data, Analysis and/or interpretation of data, Revising the manuscript critically for improvement intellectual content. **Dina Lila Soualili:** Conception and design of study, Acquisition of data, Analysis and/or interpretation of data, Revising the manuscript critically for improvement intellectual content.

#### Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

#### Acknowledgements

The first author would like to thank the staff of the Pathological Anatomy Department at Che Guevara Hospital in Mostaganem for their help in carrying out the histology part in the anapathology laboratory. The first author also thanks T. Mansouri and Z. Bouzaza for their help in statistical data processing, and H. Benzait for his assistance in sampling and field surveys.

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors. Approval of the version of the manuscript to be published: Mohammed Elakkermi, Karim Mezali, Dina Lila Soualili.

#### References

- Agnetta, D., Badalamenti, F., Ceccherelli, G., Trapani, F.Di., Bonaviri, C., Gianguzza, P., 2015. Role of two co-occurring Mediterranean Sea urchins in the formation of barren from *Cystoseira* canopy. *Estuar., Coast. Shelf Sci.* 152, 73–77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2014.11.023>.
- Azad, A.K., Pearce, C.P., McKinley, R.S., 2011. Effects of diet and temperature on ingestion, absorption, assimilation, gonadyield, and gonad quality of the purple sea urchin (*Strongylocentrotus purpuratus*). *Aquaculture* 317, 187–196. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.03.019>.
- Bachir-Bouiadja, B., 2012. The Study of Benthic Algal Flora and the Impacts of Its Invasive Species in Front of the Mostaganémoise Coast (Ph.D. thesis). Abdelhamid Ibn Badis University, Mostaganem, Algeria, p. 182 (in French).
- Bayed, A., Quiniou, F., Benrha, A., Guillou, M., 2005. The *Paracentrotus lividus* populations from the northern Moroccan Atlantic coast: growth, reproduction and health condition. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 85, 999–1007. <http://dx.doi.org/10.1017/S0025315405012026>.
- Belbachir, N., 2012. Contribution To the Ecological Study of the *Posidonia Oceanica* (L.) Delile (1813) Seagrass on the Coastal Fringe of Mostaganem: State of Health and Relationship Between Plant and Echinoderm (Magister thesis). Abdelhamid Ibn Badis University, Mostaganem, Algeria, (in French).
- Belbachir, N., 2018. Role of Aspidochirete Sea Cucumbers in the Functioning of the Trophic Network of the *Posidonia Oceanica* (L.) Delile (1813) Ecosystem of the Coastal Fringe of Mostaganem (Ph.D. thesis). Abdelhamid Ibn Badis University, Mostaganem, Algeria, p. 196 (in French).
- Benzait, H., 2015. Contribution To the Evaluation of the Biodiversity of Echinoderms in the Coastal Region of Mostaganem (Magister thesis). Abdelhamid Ibn Badis University, Mostaganem, Algeria, p. 211 (in French).
- Bonaviri, C., Vega-Fernandez, T., Fanelli, G., Badalamenti, F., Gianguzza, P., 2011. Leading role of the sea urchin *Arbacia lixula* in maintaining the barren state in southwestern Mediterranean. *Mar. Biol.* 158, 2505–2513. <http://dx.doi.org/10.1007/s00227-011-1751-2>.
- Bouchher, A., 2015. Contribution of the Biomass of *Posidonia Oceanica* (L.) Delile Epiphytes (1813) To the Supply of Organic Matter To the Substrate of the Herbarium, Mostaganem Coast (Magister thesis). Abdelhamid Ibn Badis University, Mostaganem, Algeria, p. 158 (in French).

- Boukhelf, K., 2012. Biometric Data, Physiological Indices and Determination of Heavy Metals in the Edible Sea Urchin *Paracentrotus Lividus* (Lamarck, 1816) in the Region of Mostaganem (Algeria) (Magister thesis), University of Oran, Algeria, p. 166 (in French).
- Brogger, M.I., Martínez, M.I., Penchaszadeh, P.E., 2010. Reproduction of the sea urchin *Arbacia dufresnii* (Echinoidea: Arbaciidae) from Golfo Nuevo, Argentina. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 90 (7), 1405–1409. <http://dx.doi.org/10.1017/S0025315410000445>.
- 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.
- Ebert, T.A., Hernández, J.C., Clemente, S., 2014. Annual reversible plasticity of feeding structures: cyclical changes of jaw allometry in a sea urchin. *Proc. Royal Soc. B* 281 (1779), 2013–2284. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2013.2284>.
- 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* 19, 1–52.
- Fernandez, C., 1996. Growth and Nutrition of *Paracentrotus Lividus* As Part of an Aquaculture Project with Artificial Feeding (Ph.D. thesis), University of Corsica, France, p. 278 (in French).
- Francoeur, P., Boudouresque, C.F., Harmelin, J.G., Harmelin-Vivien, M.L., Quignard, J.P., 1994. Are the Mediterranean waters becoming warmer? Information from biological indicators. *Mar. Pollut. Bull.* 28, 523–526. [http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X\(94\)90071-X](http://dx.doi.org/10.1016/0025-326X(94)90071-X).
- Frantzis, A., Berthon, J.F., Maggiore, F., 1988. Relation trophique entre les oursins *Arbacia lixula* et *Paracentrotus lividus* (Echinoidea:regularia) et le phytobenthos infralittoral superficiel de la baie de Port-Cros (var, France). *Sci. Rep. Port-Cros natl. Park, Fr.* 14, 81–140.
- Frey, D.L., Gagnon, P., 2015. Thermal and hydrodynamic environments mediate individual and aggregate feeding of a functionally important omnivore in reef communities. *Plos One* 10 (3), e0118583. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0118583>.
- Fuji, A., 1960b. 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. Sci. Hokkaido Univ.* 11, 49–57.
- Gianguzza, P., 2020. *Arbacia*. In: Lawrence, J.M. (Ed.), *Sea Urchins: Biology and Ecology*. Elsevier, Amsterdam, pp. 419–429.
- Gianguzza, P., Agnetta, D., Bonaviri, C., Di Trapani, F., Visconti, G., Gianguzza, F., Riggio, S., 2011. The rise of thermophilic sea urchins and the expansion of barren grounds in the Mediterranean Sea. *Chem. Ecol.* 27, 129–134. <http://dx.doi.org/10.1080/02757540.2010.547484>.
- Gianguzza, P., Bonaviri, C., 2013. *Arbacia*. In: Lawrence, J.M. (Ed.), *Sea Urchins: Biology and Ecology*, third ed. Developments in Aquaculture and Fisheries Science, Amsterdam, pp. 275–283. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-396491-5.00019-8>.
- Gianguzza, P., Bonaviri, C., Prato, E., Fanelli, G., Chiantore, M., Privitera, D., Luzzu, F., Agnetta, D., 2013. Hydrodynamism and its influence on the reproductive condition of the edible sea urchin *Paracentrotus lividus*. *Mar. Environ. Res.* 85, 29–33. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2012.12.007>.
- Guettaf, M., San Martin, G.A., Francoeur, P., 2000. Interpopulation variability of the reproductive cycle of *Paracentrotus lividus* (Echinoidea: Echinoidea) in the South-western Mediterranean. *J. Mar. Biol. UK* 80, 899–907. <http://dx.doi.org/10.1017/S002531540000288>.
- Hereu, B., Linares, C., Sala, E., Garrabou, J., García-Rubies, A., Diaz, D., Zabala, M., 2012. Multiple processes regulate long-term population dynamics of sea urchins on Mediterranean rocky reefs. *PLoS One* 7 (5), e36901. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0036901>.
- Himmelman, J.H., 1975. Phytoplankton as a stimulus for spawning in three marine invertebrates. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 20, 199–214. [http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981\(75\)90024-6](http://dx.doi.org/10.1016/0022-0981(75)90024-6).
- James, P.J., Heath, P.L., 2008. The effects of season, temperature and photoperiod on the gonad development of *Evechinus chloroticus*. *Aquaculture* 285, 67–77. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.07.058>.
- Keshavarz, M., Kamrani, E., Biuki, N.A., Zamani, H., 2017. Study on the gonadosomatic indices of sea urchin *Echinometra mathaei* in Persian Gulf. *Iran. Pak. J. Zool.* 49, 923–933. <http://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/2017.49.3.923.933>.
- Lozano, J., Galera, J., Lopez, S., Turon, X., Palacin, C., Morera, G., 1995. Biological cycles and recruitment of *Paracentrotus lividus* (Echinoidea: Echinoidea) in two contrasting habitats. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 122, 179–191. <http://dx.doi.org/10.3354/meps122179>.
- Mariante, F.L., Lemos, G.B., Eutropio, F.J., Gomes, L.C., 2009. Biologia reproductiva de *Echinometra lucunter* (Echinoidea: Echinoidea) na Praia da Costa, Vila Velha, Espírito Santo. *Zoologia* 26, 641–646. <http://dx.doi.org/10.1590/S1984-46702009000400008>.
- Martínez, I., Sánchez, A.I., García, F.J., 2008. Gonadal growth and reproduction in the sea urchin *Sphaerechinus granularis* (Lamarck 1816) (Echinoidea: Echinoidea) in southern Spain. *Sci. Mar* 72 (3), 603–611. <http://dx.doi.org/10.3989/scimar.72n3603>.
- Marzinelli, E.M., Bigatti, G., Giménez, J., Penchaszadeh, P.E., 2006. Reproduction of the sea urchin *Pseudechinus magellanicus* (Echinoidea: Temnopleuridae) from Golfo Nuevo, Argentina. *Bull. Mar. Sci.* 79, 127–136.
- Mercier, A., Hamel, J.F., 2009. Endogenous and exogenous control of gametogenesis and spawning in Echinoderms. *Adv. Mar. Biol.* 55, 1–291. [http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2881\(09\)55001-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2881(09)55001-8).
- Mertens, N.L., Russell, B.D., Connell, S.D., 2015. Escaping herbivory: Ocean warming as a refuge for primary producers where consumer metabolism and consumption cannot pursue. *Oecologia* 179, 1223–1229. <http://dx.doi.org/10.1007/s00442-015-3438-8>.
- Mezali, K., Soualili, D.L., Neghli, L., Conand, C., 2014. Reproductive cycle of the sea cucumber *Holothuria (Platyperona) sanctori* (Holotheuroidea: Echinodermata) in the southwestern Mediterranean Sea: Interpopulation variability. *Invertebr. Reprod. Dev.* 58 (3), 179–189. <http://dx.doi.org/10.1080/07924259.2014.883337>.
- Nédélec, H., 1982. Food Ethology of *Paracentrotus Lividus* in the Bay of Galéria (Corsica) and Its Impact on Benthic Stands (Ph.D. thesis), Aix-Marseille 2 University, France, p. 175 (in French).
- Oulhiz, A., 2012. Contribution To the Assessment of the Quality of the Coastal Marine Environments of Mostaganem Through Bioindicators of the Benthic Macrofauna (Magister thesis), Abdelhamid Ibn Badis University, Mostaganem, Algeria, p. 97 (in French).
- Pancucci, M.A., Panayotidis, P., Zenetos, A., 1993. Morphological changes in sea-urchin populations as a response to environmental stress. In: Aldrich, J.C. (Ed.), *Quantified Phenotypic Responses in Morphology and Physiology*. JAPAGA, Ashford, Ireland, pp. 247–257.
- Pearse, J.S., Cameron, R., 1991. Echinodermata: Echinoidea. In: Giese, A.C., Pearse, J.S., Pearse, V.B. (Eds.), *Reproduction of Marine Invertebrates*, Vol. 6, Echinoderms and Lophophorates. The Boxwood Press, Pacific Grove, California, pp. 514–663.
- Pedrotti, M.L., 1993. Spatial and temporal distribution and recruitment of echinoderm larvae in the Ligurian Sea. *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 73, 513–530. <http://dx.doi.org/10.1017/S0025315400033075>.
- Privitera, D., Chiantore, M., Mangialajo, L., Glavic, N., Kozul, V., Cattaneo-Vietti, R., 2008. Inter- and intra-specific competition between *Paracentrotus lividus* and *Arbacia lixula* in resource limited barren areas. *J. Sea. Res.* 60, 184–192. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2008.07.001>.
- Privitera, D., Noli, M., Falugi, C., Chiantore, M., 2011. Benthic assemblages and temperature effects on *Paracentrotus lividus* and *Arbacia lixula* larvae and settlement. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 407, 6–11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2011.06.030>.
- Régis, M.B., 1979. Analyse des fluctuations des indices physiologiques chez deux échinoides (*Paracentrotus lividus* (Lmk) et *Arbacia lixula* (L.)) du golfe de Marseille. *Téthys* 9 (2), 167–181.
- 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.
- Régis, M.B., 1982. Données microstructurales et validité du genre *Arbaciella* mrtsn (Echinoidea: Echinoidea). *Mem. Biol. Mar. Oceanogr.* 12, 5–26.
- Régis, M.B., 1986. Microstructure adaptative des radioles de *Paracentrotus lividus* (Echinoidea: Echinoidea) en milieu eutrophisé par des eaux usées. *Mar Biol* 90, 271–276.
- Sala, E., Boudouresque, C.F., Harmelin-Vivien, M., 1998. Fishing trophic cascades and the structure of algal assemblages: evaluation of an old but untested paradigm. *Oikos* 82, 425–439. <http://dx.doi.org/10.2307/3546364>.
- Sellem, F., 1990. Data on the Biometry of *Paracentrotus Lividus*, *Arbacia Lixula* and *Sphaerechinus Granularis* and on the Biology of *Paracentrotus Lividus* in the Gulf of Tunisia (DEA Report). University of Tunis II, Tunis, p. 158 (in French).
- Sellem, F., 1995. Données sur l'indice gonadique et l'indice de réplétion de *Arbacia lixula* (Linnaeus) dans le golfe de Tunis. *Rapp. Comm. int. Mer Médit.* 34 (44).
- Sellem, F., Guillou, M., 2007. Reproductive biology of *Paracentrotus lividus* (Echinoidea: Echinoidea) in two contrasting habitats of northern Tunisia (southeast Mediterranean). *J. Mar. Biol. Assoc. UK* 87 (03), 763–767. <http://dx.doi.org/10.1017/S002531540705521X>.
- Siikavuopio, S.L., Christiansen, J.S., Sæther, J.S., 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.09.003>.
- Soualili, D.L., 1998. Contribution To the Study of the Biology and Population Dynamics of *Sphaerechinus Granularis* (Lmk) in Algiers Bay (Tamentouf) (Magister thesis), Houari Boumediene University, Algiers, Algeria, p. 123 (in French).
- Soualili, D.L., 2008. Natural Populations of Sea Urchins: A Tool To Assess the State of Health of Algiers Bay (Ph.D. thesis), Houari Boumediene University, Algiers, Algeria, p. 147 (in French).
- Soualili, D.L., Guillou, M., 2009. Variation in the reproductive cycle of the sea urchin *Paracentrotus lividus* (Lamarck) in three differently polluted locations near Algiers (Algeria). *Mar. Biodivers. Rec.* 2, 1–6. <http://dx.doi.org/10.1017/S175526720900092X>.

- Spirlet, C., Grosjean, P., Jangoux, M., 2000. Optimization of gonad growth by manipulation of temperature and photoperiod in cultivated sea urchins, *Paracentrotus lividus* (Lamarck) (Echinodermata). *Aquaculture* 185, 85–99. [http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00340-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00340-3).
- Starr, M., Himmelman, J.H., Therriault, J.C., 1993. Environmental control of green sea urchin, *Strongylocentrotus droebachiensis* spawning in the Lawrence Estuary. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50, 894–901. <http://dx.doi.org/10.1139/f93-103>.
- Tahlaiti, A., Aissaoui, A., 2016. Eco Toxicology of a Marine Environment (Salamandre Cove) (Master memory). Abdelhamid Ibn Badis University, Mostaganem, Algeria, p. 124 (in French).
- Tavares, Y.A.G., 2004. Reproductive Biology of the Echinoids *Echinometra Lucunter* (Linnaeus, 1758) and *Arbacia Liuala* (Linnaeus, 1758) (Echinodermata; Echinoidea) on Galheta Island, Paraná Coast, Brazil (Ph.D. thesis). Federal University of Paraná, Brazil, p. 196 (in Portuguese).
- Tomsic, S., Conides, A., Dupčić Radić, I., 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.
- Vafidis, D., Antoniadou, C., Kyriakouli, K., 2019. Reproductive cycle of the edible sea urchin *Paracentrotus lividus* (Echinodermata; Echinoidea) in the Aegean Sea. *Water* 11 (5), 1029. <http://dx.doi.org/10.3390/w11051029>.
- Wangensteen, O.S., 2013. Biology and Phylogeography of the Black Sea Urchin *Arbacia lixula* (Echinoidea; Arbacioidea) (Ph.D. thesis). University of Barcelona, Spain, p. 315.
- Zhadan, P.M., Vaschenko, M.A., Almyashova, T.N., 2015. Spawning failure in the sea urchin *Strongylocentrotus intermedius* in the north western Sea of Japan: Potential environmental causes. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 465, 11–23. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2014.12.017>.

Elakkermi M, Soualili DL (2020) Temporal and spatial variability in the feeding behavior of the black sea urchin *Arbacia lixula* (Echinodermata: Echinoidea) from the north-western Algerian coast. South Asian Journal of Experimental Biology. 10 (6): 480-490; 2020. Doi: 10.38150 / sajeb. 10(6). p 480-490.

South Asian J Exp Biol; 10 (6): 480-490; 2020 [DOI: 10.38150/sajeb.10(6).p480-490]



South Asian Journal  
of Experimental Biology



ISSN: 2230-9799

Vol. 10, Issue 6, Page 480-490

<http://www.sajeb.org>

REGULAR ARTICLE

## Temporal and spatial variability in the feeding behavior of the black sea urchin *Arbacia lixula* (Echinodermata: Echinoidea) from the north-western Algerian coast

Mohammed Elakkermi\* and Dina Lila Soualili

Protection, Valorization of Coastal Marine Resources and Molecular Systematic Laboratory, Department of Marine Science and Aquaculture, Faculty of Natural Sciences and Life, Abdelhamid Ibn Badis University - Mostaganem, P.O. Box 227, Route nationale N° 11, Kharrouba, 27000, Mostaganem, Algeria

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received: 13 Sep 2020

Revised: 30 Oct 2020

Accepted: 2 Nov 2020

#### \*Corresponding Author:

Email: mohammed.elakkermi@univ-

-mosta.dz

Telephone: +213561824792

**Keywords:** *Arbacia lixula*, Salamandre, Stidia, digestive contents, pollution, algae, coast of Mostaganem

### ABSTRACT

The black sea urchin *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) is one of the most dominant echinoids in the sublittoral communities of the Mediterranean Sea, where it is considered an essential structuring species by its grazing activity. The present work is considered to be the first study to address the diet of the species *A. lixula* in Algeria. This study aims to perform on the one hand; a temporal monitoring of the food preferences of two populations of *A. lixula* living in two different sites in shallow water (port of Salamandre, Stidia) on the coast of Mostaganem (Algeria) during the years 2015 and 2016, and on the other hand; get an idea of the variations of the different trophic sources used and appreciated by this echinoid. The quantitative and qualitative aspect is achieved by monitoring the evolution of the repletion index as well as the identification of the items present in the digestive contents by the contact method of Jones (1968). The results of this monitoring showed that it is an opportunistic species which adapts its diet according to the quality and quantity of food available. *Arbacia lixula* prefers encrusted coralline algae with a large faunal fraction. In areas rich in nutrients, the spines of these sea urchins may elongate to half the diameter of the test. Based on the results, *A. lixula* can be associated with habitat, seasonal changes or other specific environmental parameters that merit further development in order to fully understand its functioning in marine ecosystems.

### 1. Introduction

*Arbacia lixula* is one of the most abundant echinoids in shallow rocky habitats of the Mediterranean (Sala et al., 1998). It is more commonly found on vertical rocky surfaces, exposed to a high degree of hydrodynamic effect, and it can also be found in other biotopes such as: flat rocky bottoms and even sandy bottoms with scattered blocks of rock (Wangensteen, 2013). The modification of an eco-

system characterized by a stable and complex state with macrophyte communities to another stable state (less productive and less diversified, dominated by encrusting algae) is attributed to *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) (Bonaviri et al., 2011; Gianguzza et al., 2011; Privitera et al., 2011; Bulleri, 2013). As for *A. lixula*, it has the potential to maintain these desert habitats (Agnetta et al., 2015), while adopting a scraping behavior in search of sessile prey (Privitera et al., 2008). Indeed, according

to Agnetta et al., (2015), the sea urchin *P.lividus* is responsible for the initial barren patch formation as a direct consequence of its local grazing. Then, *Arbacia lixula* settles voluntarily colonizes and maintains these desert lands (Bonaviri et al., 2011; Privitera et al., 2011) to exploit the encrusted coralline algae that have settled. These two sea urchins therefore play complementary roles in the maintenance of desert lands (Privitera et al., 2008).

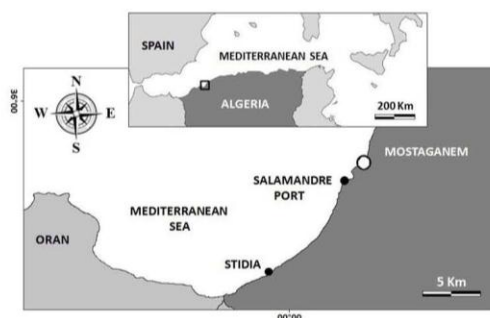
Even if it is not involved in the formation of barren state, *A.lixula* is considered to be a main determinant of the persistence of this state (Bonaviri et al., 2011; Bulleri, 2013; Piazzini and Ceccherelli, 2017).

The trophic activity of this echinoid has been the subject of several studies, particularly in the western Mediterranean basin (Frantzis et al., 1988; Bonaviri et al., 2011; Gianguzza & Bonaviri, 2013; Wangensteen, 2013). According to Wangensteen et al., (2011) and Agnetta et al., (2013), *A. lixula* has considerable trophic flexibility, it is a herbivore which tends to convert into an omnivore. According to Péquignat (1972), the individuals of *A.lixula* in polluted habitats lengthen their spines to collect dissolved or fine particulate material available in seawater. In the southern shore of the Mediterranean Sea, especially in Algeria, data on the feeding behavior of this species are lacking. The objective of our work is to describe the qualitative and quantitative aspect of the feeding behavior of *Arbacia lixula*, by analyzing its diet during two years, at two different sites on the coast of Mostaganem (Algeria).

## 2. Material and methods

### 2.1. Sites studied

This work was carried out at two contrasting sites in the Mostaganem region (Figure 1).



**Figure 1:** Location of the two sampling sites (black filled circles).

The first site (Salamandre port, 35.92097° N, 0.05581° E) is located outside the port of Salamandre. It is exposed to the prevailing winds from the northwest sector and has a rocky substrate and an average depth of 10 m. This site is characterized by reduced biodiversity and signs of degradation (Belbachir, 2018). The second site (Stidia, 35.83334° N, 0.01502° W) is located at a distance of approximately 20 km southwest of the town of Mostaganem (Figure 1). The site is open to the northwest, exposed to the prevailing wind (northeast). The seabed aspect is mixed with an alternating rock and sand. The underwater observations testify to an important biological diversity (Belbachir, 2012; Oulhiz, 2012).

### 2.2. Sampling

At each site, a monthly sampling of thirty-five (35) individuals of *A. lixula* was carried out by free diving, during the period from January 2015 to December 2016, and at a depth of between 1 and 5 m. Specimens measuring between 30 and 60 mm in diameter were transported to the laboratory in a cooler water (4 °C). Thirty (30) individuals were used for the study of the physiological repletion index (IR), and the five (05) remaining individuals were used for the analysis of digestive contents. The measurement of the diameter (D) of the test without spines to the ambitus was carried out on each individual sampled using a caliper to the nearest 1/10 mm (Soualili, 2008). To recover the intestinal contents, each sea urchin is then dissected according to the equatorial plane with the ambitus following the technique used by Soualili & Guillou (2009). The water temperature was obtained using a Computer Apnea Watch Seac Sub Partner.

### 2.3. Repletion index (RI) determination

According to Soualili (2008), the variability of the nutrition process generally depends on the amount of food available in the environment. Trophic activity can be determined by fluctuations in the average weight of the digestive contents (Nédélec, 1983). To quantify the intensity of the trophic activity of the two populations of *A. lixula*, we proceeded to calculate the repletion index. Each month, the digestive contents of the sampled individuals are collected separately and are weighed [wet weight and dry weight (in g) after passage in the oven (at 70 °C for 48 h) (Guettaf et al., 2000; Soualili, 2008; Soualili & Guillou, 2009). The repletion index was calculated as the ratio of the dry weight of the digestive contents (PSCD in mg) to the cube of the

diameter of the test without spines (D in cm) [RI =  $PSCD / D^3$ ] (Nédélec, 1982; San Martin, 1990; Guettaf et al., 2000; Soualili, 2008). The average RI was calculated for each season (n = 120 individuals).

#### 2.4. Digestive content analysis

The sea urchins were dissected according to the equatorial plane with the ambitus to recover the digested content according to the technique used by Soualili & Guillou (2009). The digestive contents of these individuals (composed of small balls of various sizes and shapes) were fixed in a 10 % formal-seawater. The analysis of the digestive contents is carried out by the method of contacts of Jones (1968) modified by Nédélec (1982). This method consists in performing a random movement of the slide containing a sample of the digestive contents under a photonic microscope (OPT-M100FX- Optika) at 40x magnification. Ten (10) slides were used and in each slide ten (10) observations (10 contacts) are performed. For each sea urchin, one hundred (100) contacts are performed; this number is representative enough to obtain credible results (Fernandez & Caltagirone, 1998). Under the microscope objective and, in each position, the item (food) located exactly in the center of the visual field is identified; it's a contact. The sum of the contacts for an item determines the percentage of its presence in the digestive content. The contribution of each food (Cci) is evaluated in percentage by the ratio between the number of contacts obtained for this food i (Ci) and the total number of contacts performed (Ct) [ $Cci = (Ci / Ct) * 100$ ]. The average contribution of each constituent is calculated for all individuals.

#### 2.5. Determination of Particulate matter weight (PM), organic matter (OM) and study of spines

Eutrophied environments characterize areas subject to domestic pollution. These environments are characterized by a large amount of nutrient in suspension. Sea urchins that live in these environments feed on the abundant resource of particles and organic matter present by lengthening their spines (Péquignat, 1972; Delmas & Régis, 1984). To examine this behavior, we carried out calculations of the rate of PM in seawater surrounding sea urchins a few centimetres away, as well as the determination of OM in this water. To verify a possible morpho-functional adaptation of *A. lixula* in the two sites studied, an analysis of the length of the primary spines (the longest spines which are articu-

lated on large tubercle) was carried out. Monthly samples of seawater surrounding a few centimetres from sea urchins were taken in 2016 in 1-liter plastic bottles. These samples are transported to the laboratory in cooler sea water (4 °C). The particulate matter (PM) and the organic matter (OM) were determined using Whatman GF/C filters (porosity 0.45 µm) 45 mm in diameter (Kantin & Pergent-Martini, 2007) according to the following formulas:

$$[PM] \text{ mg. l}^{-1} = (P2 - P1) / V$$

$$[OM] \text{ mg. l}^{-1} = (P3 - P4) / V$$

P1: weight of the empty filter (g) (before 105 °C); P2: weight of filter + solids (g) (after 105 °C); P3: weight of the filter + solids before calcinations (g) (after 105 °C); P4: weight of the filter + solids after calcinations (g) (after 550 °C); V: Sample volume (ml).

The study of the length of primary spines was carried out on a total of 246 sea urchins for the two study sites. Ten (10) primary spines per individual, or 2460 spines, were measured using a caliper to the nearest 1/10 mm. The ratio of spines length of the diameter of the test without spines established by Régis (1986) is calculated to demonstrate the lengthening of spines in eutrophied environments. Régis (1986) reported that the spines of sea urchins *P. lividus* (located in an area known to be unpolluted) were one-third the diameter.

#### 2.6. Statistical analysis

Single-factor ANOVA tests (at  $p < 0.05$ ) were used to test the difference between the variances of the physiological repletion index (RI) according to the seasons, and between the sites. To compare the variation in IR between the two years of study, a Student's t-test was applied. A Kruskal-Wallis test was also used to check the variation of the different groups of algae ( $p < 0.05$ ), according to the seasons and the sites. A Kruskal-Wallis test was also used to check the variation of the different groups of algae ( $p < 0.05$ ), according to the seasons and the sites. Another Student's t-test was used to compare the different lengths of primary *A. lixula* spines in the two populations. All statistical analyses were performed using Statistica V.6.1.

### 3. Results

#### 3.1. Seasonal evolution of the repletion index

At Salamandre, seasonal monitoring of the reple-

tion index shows that during 2015, the RI recorded a maximum value ( $7.01 \pm 1.50$ ) during the winter season. Then, the RI declines until reaching the lowest value ( $4.33 \pm 2.72$ ) in the summer season (Figure 2). For the Stidia site, the RI records its minimum in the spring season ( $10.44 \pm 0.80$ ) and then progresses until it reaches its maximum in autumn ( $14.79 \pm 4.16$ ) (Figure 2). The important and low values of the RI at Salamandre during the year 2016 are reported respectively, during the spring-summer seasons ( $9.16 \pm 1.09$  and  $4.88 \pm 2.28$  respectively). The RI at Stidia gradually declines over the seasons until it reaches its minimum during the summer season ( $9.84 \pm 1.39$ ), then increases during the autumn season when it registers its maximum ( $17.99 \pm 5.79$ ). According to the statistical analysis, the evolution of the RI presents a highly significant difference, according to the seasons (ANOVA with a single factor,  $p < 0.05$ ). The Figure 2 shows that seasonal RI values are higher at the Stidia site versus those at Salamandre. The two sites show a highly significant difference with respect to the site factor (single-factor ANOVA,  $p < 0.05$ ).

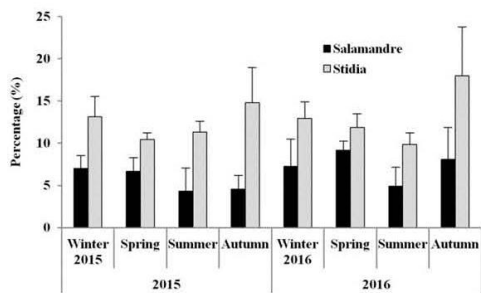


Figure 2: Seasonal variations in the Repletion Index (RI) of *A. lixula* in the two study sites (Salamandre and Stidia).

### 3.2. Digestive content analysis

Based on the analysis in Figure 3, Figure 4 and Figure 5, *A. lixula* frequently fed similarly at the two sites and during the four seasons studied.

The main diet of *A. lixula* is essentially composed of a high proportion of the algal flora, followed by faunal fractions and finally the fragments of *Posidonia oceanica* leaves. Black sea urchins favor macrophyte algae in their food and opt for Rhodophyta, which take first place in terms of contribution (Figure 5). Indeed, this taxon participates with proportions reaching more than 55 % in Salamandre and more than 60 % in Stidia (Figure 3, Figure 4). The variation in this group of algae showed no significant difference, according to the seasons,

sites and years (Kruskal-Wallis test,  $p > 0.05$ ). The contribution of this group of algae in the digestive content remains similar and regular throughout the seasons, sites and during the two years of study. The Rhodophyta recorded their peak values during the winter season of the year 2015 in Salamandre (Figure 3) with 55.36 % and during the spring season of the year 2016 in Stidia (Figure 4) with 60.43 %. The summer season 2015 marked the lowest percentages of this type of food with 17.38 % in Salamandre and 22.5 % in Stidia (Figure 3, Figure 4). The encrusting Corallinaceae and the algae *Herposiphonia* sp., *Laurencia* sp. and *Callithamniella tingitana* constitute the main part of the Rhodophyta contained in the digestive tract of *A. lixula* of the two sites (Figure 3, Figure 4). The best contribution of encrusting Corallinaceae is recorded during the spring season 2015 in Stidia (14.03 %), while the peak of the seaweed *Herposiphonia* sp. is reported in Salamandre during the summer season 2016 (14.77 %). The *Jania rubens* algae recorded its peak with 12.55 % at Stidia in spring 2016 (Figure 4). We also note the high percentage of the *Centroceras* sp. alga (15 % in Salamandre in autumn 2016), and the *Bangia fuscopurpurea* alga (10 % in spring 2015). During summer 2016 at Stidia, the alga *Titanoderma* sp. contributes by 9.51 %. The undeterminate Rhodophyceae marked its highest contribution in winter 2015 to Salamandre by 14 % of contribution (Figure 3). The Chlorophycophyta taxon is represented by the species *Ulva* sp. and *Cladophora* sp. The peak was recorded in spring 2015 in Salamandre for *Ulva* sp. (15 %), while *Cladophora* sp. marked its maximum in summer 2015 in Stidia with 10.33 % of its contribution. The third position is occupied by the taxa of Phaeophyta in the diet of *A. lixula*, and manifest by the presence of the brown algae undeterminate *Ectocarpaceae*, *Dictyota dichotoma* and *Cladostephus* sp. The best contribution of the Phaeophyceae is attributed to the undeterminate *Ectocarpaceae* by 20.85% during the autumn 2015 in Salamandre (Figure 3). A significant difference, according to the sites was reported for this group (Kruskal-Wallis test,  $p < 0.05$ ), and no difference was marked according to the seasons (Kruskal-Wallis test,  $p > 0.05$ ). We note an important place attributed to the animal fraction in the digestive content of *A. lixula*. Indeed, this fraction marks its presence with 28.32 % in autumn 2015 in Salamandre and during autumn season 2016 in Stidia with 36.65 % of its contribution. While the minimum values of this type of food are reported in winter 2016 by 7.56 % in Salamandre

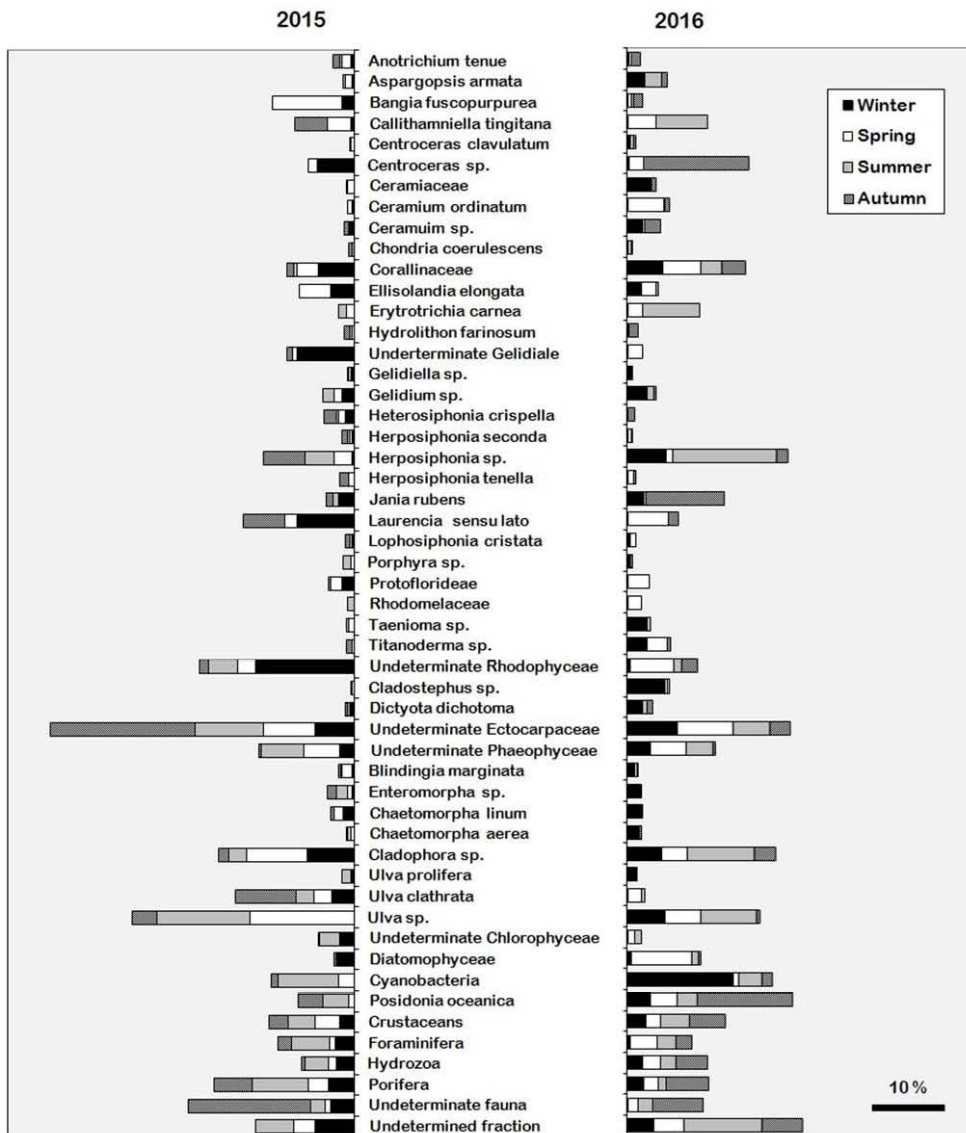


Figure 3: Seasonal variation of the average contribution (in percentage) of items of the digestive contents of *A. lixula* in the Salamandre site.

and 8.93 % in spring 2015 in Stidia. For this group, no significant difference was recorded according to seasons, years and sites (Kruskal-Wallis test,  $p > 0.05$ ). All the following faunal groups are represented: Crustaceans, Porifera, Foraminifera and Hydrozoans. The undeterminate fauna marks the highest peak with a percentage of 17.61 % in autumn 2015 in Salamandre against 10.5 % in summer 2016 in Stidia (Figure 3, Figure 4). Sponges reported their maximum value (10.48 %) during the summer 2015

in Stidia. While foraminifera, crustaceans and hydrozoans record their maximum values at Stidia in autumn 2016 with 10.44 %, 7.78 % and 5.44 % respectively (Figure 4). The phanerogam *Posidonia oceanica* recorded its best participation in the digestive contents of black sea urchins at the Salamandre site in autumn 2016 by 13.50 % against 10.50 % in spring 2016 in Stidia (Figure 3, Figure 4 and Figure 5). However, no significant difference was recorded according to seasons, years and sites

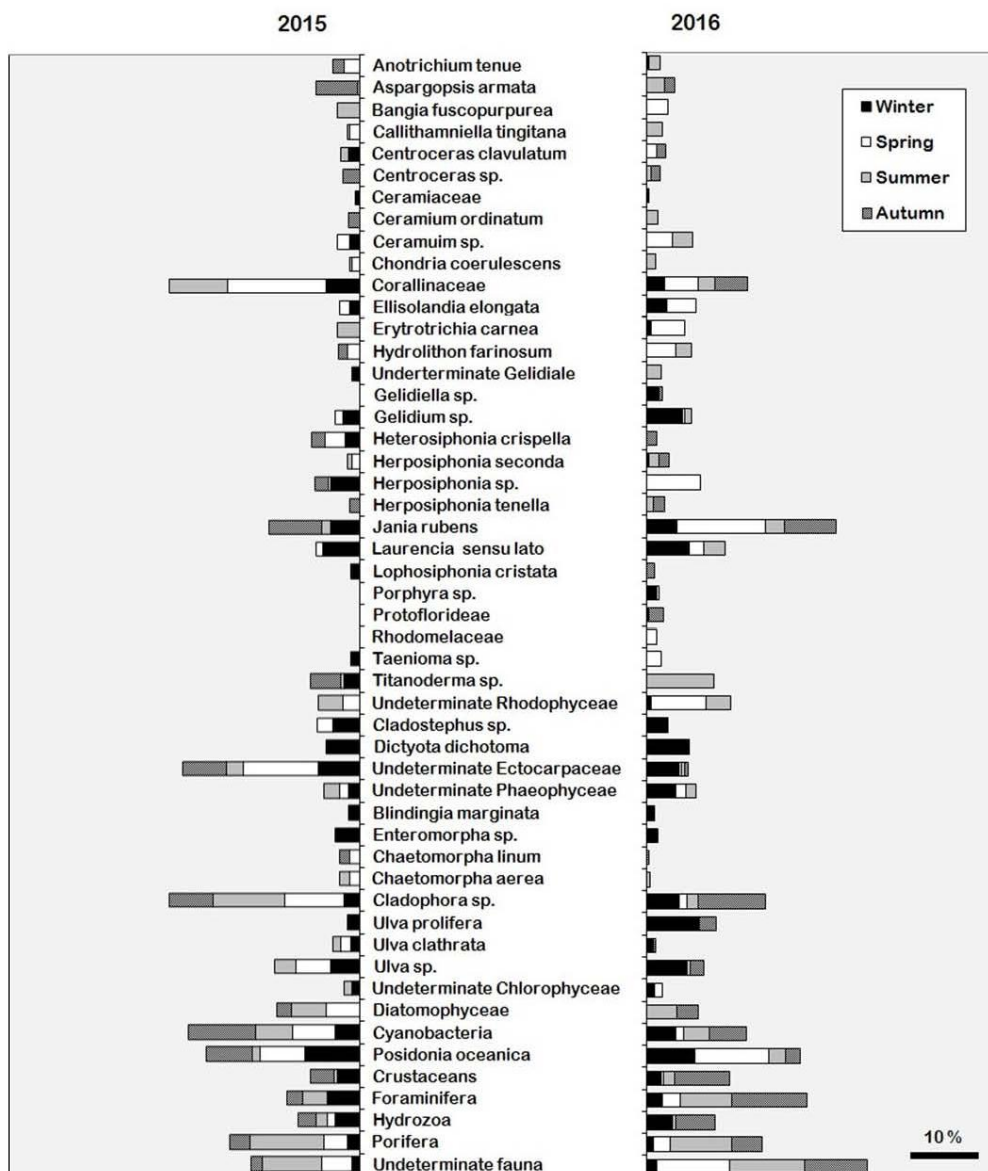


Figure 4: Seasonal variation of the average contribution (in percentage) of items of the digestive contents of *A. lixula* in the Stidia site.

(Kruskal-Wallis test,  $p > 0.05$ ).

### 3.3. Sestonophagous behavior and OM variation

The following Table 1 represents the results of the seasonal evolution of Particulate Matter (PM) and that of the Organic Matter (OM) of the two study sites.

According to Table 1, the evolution of PM accord-

ing to the seasons is very significant ( $p < 0.05$ ). Indeed, the average values of the winter season were significantly better by the contribution of the other seasons at both sites studied (19.08 mg/l at Salamandre and 16.31 mg/l at Stidia). The variation in PM depending on the site did not show a significant difference ( $p > 0.05$ ). The evolution of the OM according to the seasons did not show a significant difference ( $p > 0.05$ ). The average OM values gen-

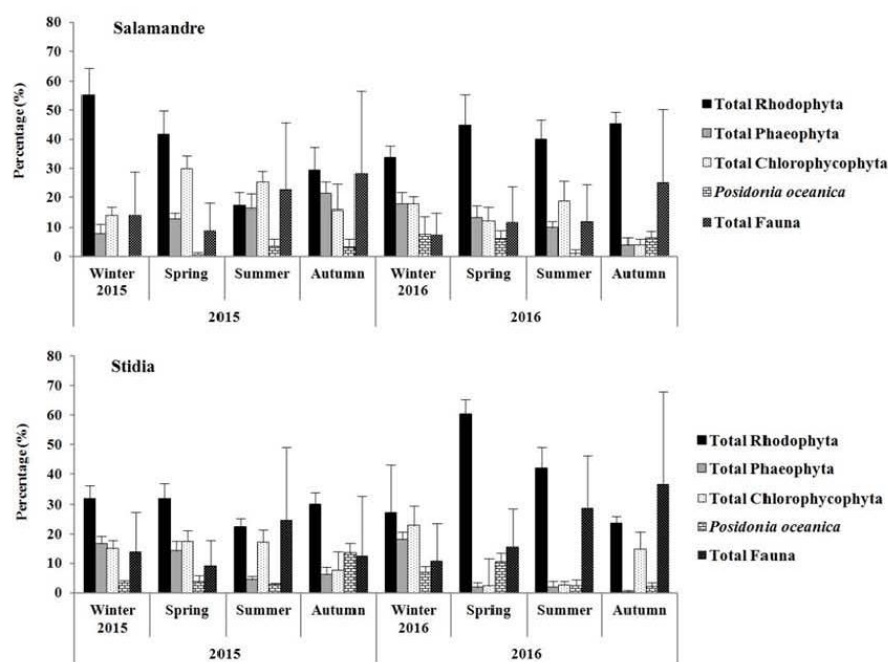


Figure 5: Main foods consumed by *A.lixula* of the two sites studied (Average contributions expressed as a percentage).

Seasons	Stidia		Salamandre	
	PM	OM	PM	OM
Winter	16,31	3,89	19,08	5,89
Spring	13,55	2,05	14,11	4,27
Summer	12,27	1,85	12,36	3,66
Autumn	13,22	2,36	13,59	5,07

Table 1: Seasonal variation in Particulate Matter (PM) ( $\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$ ) and Organic Matter (OM) ( $\text{mg}\cdot\text{ml}^{-1}$ ) in seawater from the two study sites.

erally remain the same during all seasons of the year for the two sites. However, the evolution of the OM according to the two sites was significantly different ( $p < 0.05$ ). In addition the Salamandre site displays the most important values and therefore appears to be richer in OM which is available all over the year.

### 3.4. Study of Spines

Based on the analysis of Table 2, the primary spines of sea urchins at the Salamandre site are significantly longer ( $p < 0.05$ ) with an average of  $19.2 \pm 3.18$  mm and more fragile in appearance than those at the Stidia site. The latter have shorter primary spines with an average of  $15.16 \pm 2.41$  mm and a harder and more solid appearance (Table 2).

Sites	Number of sea urchins	Average diameter (mm)	Number of spines	Average length (mm)	SL/D
Salamandre	123	$42.54 \pm 9.45$	1230	$19.2 \pm 3.18$	0.45
Stidia	123	$36.98 \pm 6.83$	1230	$15.16 \pm 2.41$	0.41

Table 2. Average values ( $\pm$  SD) of the length of the primary spines of the two study sites (SL: Spines Length, D: diameter).

Regarding the spines length to diameter ratio, more important values are recorded for sea urchins from the Salamandre site against those from the Stidia site ( $p < 0.05$ ).

### 4. Discussion

The seasonal values of the depletion index obtained at both sites were in favor of the sea urchin populations of the Stidia site compared to those of Salamandre. This shows that the Stidia site is characterized by a greater floristic richness more favorable to the development of *Arbacia lixula* population compared to the one which lives in Salamandre less

rich in photophilic algae. The RI is a reflection of food availability. Indeed, the RI is low, especially as the trophic resources are reduced. The period of high consumption in *Stidia* sea urchins is observed during the fall season (Figure 2). According to Bayed et al., (2005) and Sellem & Guillou (2007), high values of the repletion index are generally observed in *P. lividus*, during the gametogenesis phase, which suggests an increased need for reserves for the reproduction. The lowest seasonal values of the repletion index during 2016 are reported respectively, during the summer season at Salamandre and *Stidia* ( $4.88 \pm 2.28$  and  $9.84 \pm 1.39$  respectively) (Figure 2). According to Soualili & Guillou (2009) and Wangensteen (2013), the summer season is specific to the spawning period. The gonads in this phase have not yet completed their gametic expulsions, while the repletion index registers the lowest values during this period. According to Leighton (1968), this is due to the decrease in space in the coelomic cavity when the gonads are very developed. On the other hand and according to Buckle et al., (1977), physiological stress and less demand for food are also observed during the spawning period. By monitoring the repletion index and analyzing the stomach contents, we detected seasonal trophic activity. Indeed, the RI reports two periods of low and high trophic activity more visible in 2016 which are directly related to gametogenesis (Nédélec, 1982; Semroud & Kada, 1987; Fernandez & Boudouresque, 1997). A high trophic activity with a variable duration according to the sites characterizes the winter season (Lozano et al., 1995; Spirlet et al., 1998; Bayed et al., 2005; Sellem & Guillou, 2007). According to Soualili (2008), this period ends before or at the start of the spawning period. The absence of seasonal trophic activity can be explained by the availability of nutrients in the environment, necessary for reproduction and therefore intense periods of food collection are not necessary (Soualili, 2008). Similar results were obtained on populations of *P. lividus* where the seasonal evolution of the repletion index is marked according to the sites, with a very clear seasonal activity in Tunisia (South of the bay of Tunis) (Sellem & Guillou, 2007) to very small annual variations in other sites in the central Algerian region (Algiers beach, Tamentefoust and Sidi-Fredj) (Soualili & Guillou, 2009) or the Urbinu lagoon in Corsica (Fernandez, 1996).

The foods ingested by *A. lixula* may change depending on the biotope, the season and the resources available. The two studied sites have a

difference in their biotopes; the first located in Salamandre is characterized by a rocky substrate and with an important port activity and is considered as polluted, the other site of *Stidia* characterized by a mixed sandy-rocky substrate, rich in photophilic algae. The diet of *A. lixula* populations was not influenced by the different appearance of the biotopes at both sites. Indeed, during the four seasons of the two years, these sea urchins presented a diversified and rational diet. Generally, the seasonal factor is characteristic for the variability of the diet (Lawrence, 1975; Nédélec, 1982; Verlaque, 1987). Its effect is reflected in the composition of the digestive contents of echinids by the presence of the important values of the different types of vegetation. By visualizing the intestinal composition during the two years, *A. lixula* presented considerable trophic flexibility. The herbivorous character is very visible in feeding behavior. Indeed, very high proportions are reported for the total flora comprised between 48.85 and 88.67 %. The clear advantage of the Rhodophyceae seen in the digestive contents can only be explained by the preference of sea urchins of this type of algae over other taxa. According to Powis de Tenbosche (1978), the structure of Aristotle's lantern also has consequences for trophic behavior. The power of *A. lixula*'s chewing system allows it to attack harder foods. This shows that this kind of very hard calcareous algae is easily pulled from rocks by these sea urchins. This is also confirmed by the presence of rock fragments and/or sediment in the digestive contents of the studied sea urchins. Our results are in accordance to those obtained by Frantzis et al., (1988), who showed that *A. lixula* had a great affinity for the encrusting Corallinaceae during all the seasons studied (October, March and July 1988) in Port-Cros (Var, France). The high presence of the animal fraction in the digestive contents of *A. lixula*, suggests that this item is not accidentally present, especially that this food is better presented in the guts of the populations of *Stidia*. This site supposed to be rich in photophilic algae; the sea urchins of this site mark the most important values of the fauna. As a result, *A. lixula* seems to choose this type of food. The elasticity of *A. lixula* to a fauna diet is mentioned in the work carried out by Wangensteen et al., (2011) and Agnetta et al., (2013) where they justified a higher proportion of food of animal origin ingested in *A. lixula* compared to *P. lividus*. These authors even concluded that *A. lixula* is an omnivorous species which tends to become carnivorous. This ability to appreciate such foods is supported by the work of

Trenzado et al., (2012) on the digestive enzyme profile (amylase, lipase, proteases, trypsin, chymotrypsin and cellulases) in the three species of Mediterranean sea urchins (*Arbacia lixula*, *Sphaerechinus granularis* (Lamarck, 1816) and *Paracentrotus lividus*). We conclude that the black sea urchin *A. lixula* would be the species with the most significant digestive capacity and with a high level of digestive enzymes such as lipase, proteases and trypsin which would allow it to consume a wide variety of foods, including the one of animal origin. As a result, *A. lixula* presents the most practical enzymatic mechanism for digesting nutrients of animal origin as has been established for other animals (Hidalgo et al., 1999; Agustí & Cohen, 2000; Cohen, 2000; Furné et al., 2005). The *Posidonia oceanica* fragments had the lowest contributions to the digestive contents of *A. lixula*. This sea urchin does not seem to favor *P. oceanica* in its diet. Indeed, according to Piovetti et al., (1984), the primary production from *P. oceanica* is rich in phenolic compounds. Among the roles of these compounds is to keep potential consumers such as herbivores away. These sea urchins only use this type of food such as *P. oceanica* if the preferred food is lacking. Boudouresque & Verlaque (2001) specify that even if sea urchins ingest *Posidonia* leaves provided with epiphytes, the epiphytic flora of *P. oceanica* leaves seems to be the preferred target. Domestic and industrial pollution characterizes the Salamandre site (Boukhelf, 2012), our results confirm it with significant values in organic matter during all seasons. Although this site is less rich in photophilic algae, the urchins of this site stand out by spines that appear longer and sharper. In addition, the test of these sea urchins seems wider with an important diameter than those of *Stidia*. Régis (1986) in his studies on the populations of *P. lividus* from the Gulf of Marseille (France), who live in areas considered to be unpolluted, showed that the length of the spines represented one third of the diameter of the test. In our study, the spines of sea urchins at the Salamandre site reached almost half the test (with better elongation), and a little less for the spines from the *Stidia* site. According to Gotsis & Panyotidis (1988), the length of spines is useful in collecting the organic material necessary for nutrition and successful reproduction. In environments where organic matter is available along all the seasons of the years, this can push sea urchins to optimal gonadal production (Semroud & Kada, 1987; Guettaf, 1997; Soualili, 2008). So this availability of organic matter favors the rapid restoration of the

gonads (Mezali et al., 2014) and also it has a direct impact on the general growth of the test. According to Hermas et al., (2018) the most important lengthening of the spines in a polluted site is linked to the presence of organic matter which increases the acidity of the water and causes the friability of the rock. The lengthening of the spines is considered by Pancucci et al., (1993), as a morphofunctional adaptation to a more active and efficient capture of abundant organic material dissolved or suspended in the water column. Sea urchins at the Salamandre site seem to exploit on these resources and take full advantage of the availability of organic matter and thus testify to the use of a sestonophagous diet by absorbing the organic matter in sea water by the spines. The ability to directly absorb particulate organic matter through the epidermis has been described for various species of echinoderms (Péquignat, 1972).

## 5. Conclusion

In terms of our study, we can specify that the feeding behavior of the black sea urchin *A. lixula* on the coast of Mostaganem is much more important and developed by a much diversified food range to satisfy these energy needs. According to Trenzado et al., (2012), these increased energy needs are associated with greater resistance by the action of waves. Though most of its food is made up of macrophyte algae, the fauna occupy a very important space in its diet. In addition, faced with more or less extreme conditions such as polluted environments less rich in photophilic algae, this sea urchin can adapt in a morphofunctional way by lengthening these spines. These become sensors of other suspended trophic sources. In this sense, feeding habits could be associated with habitat, seasonal changes or other specific environmental parameters (Lawrence et al., 2007). *Arbacia lixula* has a more efficient digestive system than that of other echinoids, which allows it to feed on a wide variety of foods by grouping together more than one type of feeding behavior; Omnivory and Sestonophagia.

## Acknowledgments

The first author warmly thanks Prof. Marc Verlaque, a researcher at the National Center for Scientific Research (CNRS) of the Mediterranean Institute of Oceanology (MIO) for his help in identifying the various food items from a distance. The first author also thanks T. Benkorich for his assistance and availability during sampling.

## References

- Agnetta D, Bonaviri C, Badalamenti F, Scianna C, Vizzini S, Gianguzza P (2013) Functional traits of two co-occurring sea urchins across a barren/forest patch system. *Journal of Sea Research* 76: 170-177. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2012.08.009>.
- Agnetta D, Badalamenti F, Ceccherelli G, Di Trapani F, Bonaviri C, 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. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eccs.2014.11.023>.
- Agustí N, Cohen AC (2000) *Lygus hesperus* and *L. lineolaris* (Hemiptera: Miridae), phytophages, zoophages, or omnivores: evidence of feeding adaptations suggested by the salivary and midgut digestive enzymes. *Journal of Entomological Science* 35: 176-186. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-35.2.176>.
- Bayed A, Quiniou F, Benrha A, Guillou M (2005) The *Paracentrotus lividus* populations from the northern Moroccan Atlantic coast: growth, reproduction and health condition. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 85: 999-1007. <https://doi.org/10.1017/S0025315405012026>.
- Belbachir N (2012) 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.
- Belbachir N (2018) Role des holothuries Aspidochirotes dans le fonctionnement du réseau trophique de l'écosystème à *Posidonia oceanica* (L.) Delile (1813) de la frange côtière de Mostaganem. Thèse de doctorat, Université de Mostaganem.
- Bonaviri C, Vega-Fernandez T, Fanelli G, Badalamenti F, Gianguzza P (2011) Leading role of the sea urchin *Arbacia lixula* in maintaining the barren state in southwestern Mediterranean. *Marine Biology* 158: 2505-2513. <http://dx.doi.org/10.1007/s00227-011-1751-2>.
- Boudouresque CF, Verlaque M (2001) The ecology of *Paracentrotus lividus*. In Lawrence JM (Ed). *Edible sea urchins: Biology and Ecology*, Developments in aquaculture and fisheries science, Elsevier, Amsterdam.
- 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, Université d'Oran.
- Buckle F, Guisado C, Serrano C, Cordova L, Peña L, Vasquez E (1977) Estudio crecimiento ne cautiverio del erizo *Loxechinus albus* (Molina) en las costas de Valparaiso y Chiloe, Chile. *Anales del Centro de Ciencias del Mar y Limnología, Universidad Nacional Autónoma de México*, 4(1): 141-152.
- Bulleri F (2013) Grazing by sea urchins at the margins of barren patches on Mediterranean rocky reefs. *Marine Biology* 160: 2493-2501. <https://doi.org/10.1007/s00227-013-2244-2>.
- Cohen AC (2000) How carnivorous bugs feed. p. 563-570. In Schaefer CW, Panizzi AR (Eds). *Heteroptera of economic importance*, CRC press, Boca Raton, FL.
- Delmas P, Regis MB (1984) Influence d'une pollution complexe à dominante domestique sur les populations d'Echinoïde comestible *Paracentrotus lividus*. *Vie marine* 6: 63-72.
- 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.
- Fernandez C, Boudouresque CF (1997) Nutrition of the sea urchin *Paracentrotus lividus* Echinodermata: Echinoidea) fed different artificial food. *Marine Ecology Progress Series* 204: 131-141.
- Fernandez C, Caltagirone A (1998) Comportement alimentaire de *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) en milieu lagunaire. Rapports et Procès-verbaux des Réunion Commission Inter-nationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée 35: 538-539.
- Frantzis A, Berthon JF, Maggiore F (1988) Relation trophique entre les oursins *Arbacia lixula* et *Paracentrotus lividus* (Echinoidea) et le phytobenthos infralittoral superficiel de la baie de Port-Cros (Var, France). *Scientific Reports of the Port-Cros National Park Fr* 14: 81-140.
- Furné M, Hidalgo MC, López A, García-Gallego M, Morales AE, Domezain A, Domezainé J, Sanz A (2005) Digestive enzyme activities in Adriatic sturgeon *Acipenser naccarii* and rainbow trout *Oncorhynchus mykiss*. A comparative study. *Aquaculture*, 250: 391-398. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.05.017>.
- Gianguzza P, Bonaviri, C (2013) *Arbacia*. In Lawrence JM (Ed). *Sea Urchins: Biology and Ecology*, Developments in Aquaculture and Fisheries Science, Amsterdam.
- Gianguzza P, Agneta D, Bonaviri C, Di Trapani F, Visconti G, Gianguzza F, 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. <https://doi.org/10.1080/02757540.2010.547484>.
- Gotsis, O., Panayotidis, P., 1988. Phytoplankton composition and abundance and Chlorophyll-a concentration in Amvrakikos Gulf. In Tziavos C (Ed). *Study of Amvrakikos Gulf*, Technical Report, National Centre for Marine Research, Athens. (in Greek).
- Guettaf M (1997) Contribution à l'étude de la variabilité du cycle reproductive (indice gonadique et histologie des gonades) chez *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinidae) en Méditerranée sud occidentale (Algérie). Thèse de doctorat, Université Aix-Marseille 2.
- Guettaf M, San Martin GA, 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. <https://doi.org/10.1017/S0025315400002885>.
- Hermas J, Ouchene H, Elouizgani H, Hafidi N (2018) L'oursin comestible *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) au niveau de la baie d'Agadir: Biotopes et Biométrie. *SMETox* 1(2): 100-107.
- Hidalgo MC, Urea E, Sanz A (1999) Comparative study of digestive enzymes in fish with different nutritional habits. Proteolytic and amylase activities. *Aquaculture* 170: 267-283. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00413-X](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00413-X).
- Jones RS (1968) A Suggested Method for Quantifying Gut Contents in Herbivorous Fishes. *Micronesica* 4(2): 369-371.
- Kantin R, Pergent-Martini C (2007) Monitoring de la qualité des eaux et de l'environnement marin - Rapport final - Région Corse. Ifremer publication 1-222.
- Lawrence JM (1975) On the relationships between marine plants and sea urchins. *Oceanography and Marine Biology* 13: 213-286.
- Lawrence JM, Lawrence AL, Watts SA (2007) Feeding, digestion, and digestibility. In Lawrence JM (Ed). *Edible Sea Urchins: Biology and Ecology*, Elsevier Science, Amsterdam.
- Leighton DL (1968) A comparative study of food selection and

- nutrition in the abalone, *Haliotis rufescens* (Swainson) and the sea urchin *Strongylocentrotus purpuratus* (Stimpson). PhD Thesis, University of California.
- Lozano J, Galera J, Lopez S, Turon X, Palacin C, Morera G (1995) Biological cycles and recruitment of *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) in two contrasting habitats. Marine Ecology Progress Series, 122: 179-191. <https://doi.org/10.3354/meps122179>.
- Mezali K, Soualili DL, Neghli L, Conand C (2014) Reproductive cycle of the sea cucumber *Holothuria (Platyperona) sanctori* (Holothuroidea: Echinodermata) in the southwestern Mediterranean Sea: Interpopulation variability. Invertebrate Reproduction and Development 58(3): 179-89. <https://doi.org/10.1080/07924259.2014.883337>.
- Nédélec H (1982) Ethologie alimentaire de *Paracentrotus lividus* dans la baie de Galéria (Corse) et son impact sur les peuplements benthiques. Thèse de Doctorat, Université Pierre et Marie Curie et Université Aix-Marseille II.
- Nédélec H (1983) Sur un nouvel indice de réplétion pour les oursins réguliers. Rapports et Procès-verbaux des Réunions Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée 28(3): 149-151.
- Oulhiz A (2012) Contribution à l'évaluation de la qualité des milieux marins côtiers de Mostaganem à travers les bioindicateurs de la Macrofaune benthique. Mémoire de Magister, Université de Mostaganem.
- Pancucci MA, Panayotidis P, Zenetos A (1993) Morphological changes in sea-urchin populations as a response to environmental stress. In Aldrich JC (Ed). Quantified phenotypic responses in Morphology and Physiology, JAPAGA, Ashford, Ireland.
- Péquignat E (1972) Some new data on skin-digestion and absorption in urchins and sea stars (*Asterias* and *Henricia*). Marine Biology 12(1): 28-41.
- Piazzoli L, Ceccherelli G (2017) Concomitance of oligotrophy and low grazing pressure is essential for the resilience of Mediterranean subtidal forests. Marine Pollution Bulletin 123: 197-204.
- Piovetto L, Serve L, Combaut G, Gadel F (1984) Analyse des substances phénoliques des restes de *Posidonia oceanica* (L.) Delile provenant de sédiments holocènes et de dépôts actuels. In Boudouresque CF, Jeudy de Grissac A, Olivier J (Eds). International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, GIS Posidonie publ, France.
- Powis de Tenbossche T (1978) Comportement alimentaire et structures digestives de *Paracentrotus lividus* (Lamarck) (Echinodermata, Echinoidea). Mémoire Licence, Université Libre de Bruxelles.
- Privitera D, Chiantore M, Mangialajo L, Glavic N, Kozul W, 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: 184e192. <http://dx.doi.org/10.1016/j.seares.2008.07.001>.
- Privitera D, Noli M, Falugi C, 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. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2011.06.030>.
- Régis MB (1986) Microstructure adaptative des radioles de *Paracentrotus lividus* (Echinodermata: Echinoidea) en milieu eutrophisés par des eaux usées. Marine Biology 90 : 271-276.
- Sala E, Boudouresque CF, Harmelin-Vivien M (1998) Fishing trophic cascades and the structure of algal assemblages: evaluation of an old but untested paradigm. Oikos 82:425-439. <https://www.jstor.org/stable/3546364>.
- San Martin GA (1990) Suivi d'une opération de Transplantation de *Paracentrotus lividus* Echinodermata Echinoidea dans la région Marseillaise. GIS Posidonie publ, France, 16p.
- Sellem F, 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 87 (03): 763-767. <http://dx.doi.org/10.1017/S002531540705521X>.
- Semroud R, Kada H (1987) Contribution à l'étude de l'oursin *Paracentrotus lividus* (Lamarck) dans la région d'Alger (Algérie) : indice de réplétion et indice gonadique. In Boudouresque CF (Ed). Colloque international sur *Paracentrotus lividus* et les oursins comestibles, GIS Posidonie Publ, Marseille.
- Soualili DL (2008) Les populations naturelles d'oursins : un outil évaluateur de l'état de santé de la baie d'Alger. Thèse de Doctorat, Université Houari Boumedienne (USTHB).
- Soualili DL, 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. <https://doi.org/10.1017/S175526720900092X>.
- Spirlet C, Grosjean P, Jangoux M (1998) Reproductive cycle of the echinoid *Paracentrotus lividus*: analysis by means of the maturity index. Invertebrate Reproduction and Development 34: 69-81. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00340-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00340-3).
- Trenzado CE, Hidalgo F, Villanueva D, Furné M, Díaz-Casado ME, Merino R, Sanz A (2012). Study of the enzymatic digestive profile in three species of Mediterranean Sea urchins. Aquaculture, 344: 174-180. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.03.027>.
- Verlaque M (1987) Contribution à l'étude du phytobenthos d'un écosystème photophile thermique marin en Méditerranée occidentale. Etude structurale et dynamique du phytobenthos et analyse des relations faune-flore. Thèse de doctorat, Université Aix Marseille II.
- Wangensteen, O.S., 2013. Biology and phylogeography of the black sea urchin *Arbacia lixula* (Echinoidea: Arbacioida). PhD Thesis. University of Barcelona.
- Wangensteen OS, Turon X, García-Cisneros A, Recasens M, Romero J, Palacin C (2011) A wolf in sheep's clothing: carnivory in dominant sea urchins in the Mediterranean. Marine Ecology Progress Series 441: 117-128. doi: 10.3354/meps09359.

III. Communication en relation avec le sujet de thèse (Participation aux séminaires nationales)

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université Abdelshamid Ibn Badis - Mostaganem  
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

## Attestation de Participation

Le Comité Scientifique des VI<sup>èmes</sup> Journées Scientifiques de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, les 27 et 28 Avril 2016, Atteste que :

ELAKKERMI Mohammed a présenté une communication Affichée intitulée :

«Contribution à l'étude du cycle reproduction de l'oursin *Arbacia lixula*, (Linnaeus, 1758) vivant au niveau de la côte de Mostaganem»

Co-auteurs : SOUALILI Dina Lila, BELHOUCINE Mansouria

Pr. LOTMANI Brahim  
Doyen de la Faculté

Pr. GHAFFOUR Mohamed  
Président du Comité d'Organisation

السيد: العثماني إبراهيم  
عميد كلية علوم الطبيعة والحياة  
بالبصرة

السيد: غفور محمد  
نائب عميد مكلف بالأعمال الإدارية  
البحث العلمي والعلاقات الخارجية  
بالبصرة

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

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



## Attestation de Participation

*Le Comité d'organisation des VII<sup>èmes</sup> Journées Scientifiques de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie organisées, les 26 et 27 Avril 2017*

*Atteste que*

M, Mme, Mlle : ELAKKERMI Mohammed a présenté une communication **par Affiche** intitulée :  
« Contribution à l'Etude du Régime Alimentaire de l'Oursin *Arbacia lixula*, (Linnaeus, 1758) Vivant au Niveau de la Côte de Mostaganem.»

**Avec les Co-auteurs: SOUALILI Dina Lila**

Pr LOTMANI Brahim

Président du Comité Scientifique

Pr GHAFFOUR Mohamed

Président du Comité d'Organisation



المختار: التمساحي باسم  
عميد كلية علوم الطبيعة والحياة  
بالمستغانم

السيد غفور محمد  
نائب عميد مكلف لما بعد التدرج  
و البحث العلمي و العلاقات الخارجية  
بالمستغانم

Ministère de l'Enseignement Supérieur & de la Recherche Scientifique



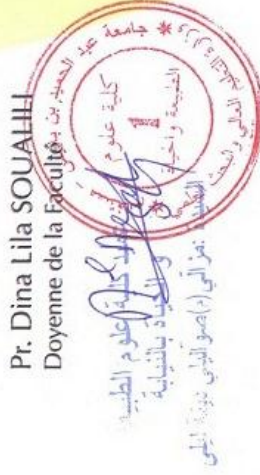
UNIVERSITÉ ABDELHAMID IBN BADIS DE MOSTAGANEM  
Faculté des Sciences de la Nature & de la Vie (SNV)

## Attestation de Participation

Le Comité d'Organisation des VIII<sup>èmes</sup> Journées Nationales des Sciences de la Nature & de la Vie qui se ont déroulées les 9 et 10 mai 2018 à Mostaganem, atteste que

Mme, Mlle, M. **Elakkermi Mohammed** a participé aux JNSNV 2018 avec une Communication Orale intitulée : Contribution à l'étude du régime alimentaire de deux oursins *Paracentrotus lividus* (Lamarck, 1816) et *Arbaci alixula* (Linnaeus, 1758) vivants au niveau de la côte de Mostaganem.  
Avec comme co-auteur: Soualili Dina Lila

Pr. Dina Lila SOUALIH  
Doyenne de la Faculté



Pr. Mohamed GHAFPOUR  
Président du Comité d'Organisation





UNIVERSITY ABDELHAMID IBN BADIS MOSTATANEM  
Faculty of Nature and Life Sciences



## Attestation de Participation

Le Comité d'organisation des IX<sup>èmes</sup> Journées Nationales des Sciences de la Nature et de la Vie qui se sont déroulées les 6 et 7 Novembre 2019 à Mostaganem, atteste que:  
Mme, Mlle, M. **MOHAMED ELAKKERMI** a participé au **JNSNV 2019** avec une Communication par affiche intitulée :

**"Influence des ressources nutritives du milieu sur la reproduction sexuée, chez les populations d'oursins noirs *Arbacia lixula* (Linnaeus, 1758) de la méditerranée"**  
Avec comme co-auteurs : Dina Lila Soualili.

Pr. Dina Lila SOUALILI

Doyenne de la Faculté



الجامعة الوطنية للعلوم الطبيعية والحياة  
كلية علوم الطبيعة والحياة  
مستغانم  
الاستاذة د. دينا ليلى سويللي  
مديرة: د. دينا ليلى سويللي (م.ز)

Pr. Mohamed GHAFFOUR

Président du Comité d'organisation



الجامعة الوطنية للعلوم الطبيعية والحياة  
مؤتمر العلوم الطبيعية والحياة  
2019  
رئيس اللجنة المنظمة  
الاستاذ الدكتور محمد غافور  
مدير: الاستاذ الدكتور محمد غافور