

## Biometric characterization of the banded murex *Hexaplex trunculus* from the Gulf of Gabès (Southern Tunisia)

### Caractérisation biométrique du murex tuberculé *Hexaplex trunculus* (Mollusques, Gastéropodes) du golfe de Gabès (Sud tunisien)

K. ELHASNI <sup>\*1</sup>, A. DERBALI <sup>1</sup>, M. GHORBEL <sup>1</sup>, O. JARBOUI <sup>1</sup>

<sup>1</sup> National Institute of Sciences and Waters Technology (INSTM), BP 1035, 3018 Sfax, Tunisie.

\*Corresponding author: kamelinstm@yahoo.fr

**Abstract** – This study report the morphometric relationship in *Hexaplex trunculus* from the Gulf of Gabes in order to characterize the relative growth and the differentiation between populations based on discriminate test. A total of 1870 and 1815 individuals were collected from the intertidal area and offshore area, respectively. The obtained results showed that the nature of allometry differs according to the characters and site. Similarly, multivariate analyzes (Principal Component Analysis (PCA) and Discriminant Factor Analysis (DFA)) revealed a clear discrimination between the two populations. These findings may be explained by the variation of the biotic and abiotic factors in the studied sites.

**Keywords:** *Hexaplex trunculus*, morphometric, intertidal area, offshore, Multivariate analyzes, differentiation

**Résumé** - Cette étude porte sur l'étude des caractères morphométriques du murex tuberculé *Hexaplex trunculus* de la région du golfe de Gabès afin de caractériser la croissance relative et de retrancher quant à l'hétérogénéité des populations de deux zones (Estran et Hauturière) à partir d'un pouvoir discriminant des caractères métriques. Au total de 1870 et 1815 individus ont été collectés respectivement dans les sites estran et hauturière. Les résultats obtenus montrent que la nature d'allométrie diffère selon le caractère et la zone concernée. De même, l'Analyse en Composantes Principales et l'Analyse Factorielle discriminante plaident en faveur une nette discrimination entre les deux populations. Ces trouvés pourraient être expliquées par la variation des facteurs biotiques et abiotiques entre les deux sites.

**Mots clés :** *Hexaplex trunculus*, morphométrie, estran, hauturière, Analyses multivariées, différenciation

#### 1. Introduction

Les côtes tunisiennes disposent d'importantes ressources malacologiques qui peuvent contribuer au développement du secteur de la pêche du pays, parmi lesquelles, nous citons le murex tuberculé *Hexaplex trunculus*. Cette espèce appartenant à la famille des Muricidés et elle peuple plusieurs types de substrats allant des fonds rocheux jusqu'aux fonds vaseux. Du point de vue occurrence, elle est très commune en Méditerranée et rencontrée aussi sur les côtes portugaises et les îles Canaries (Poppe & Goto, 1991, Houart, 2001). En Tunisie, elle est signalée dans la lagune de Bizerte (Gharsallah et al., 2004; Lahbib, 2009; Abidli 2012) et le golfe de Tunis (Abidli et al., 2009, 2010 ; Antit et Azzouna, 2012) mais elle se concentre particulièrement dans le golfe de Gabès depuis la zone estran (*Hexaplex trunculus*) jusqu'aux grandes profondeurs (90 m) (Elhasni et al. 2017).

Historiquement, son exploitation remonte à la période de l'empire romaine durant laquelle elle a fait l'objet de l'extraction de la pourpre royale à partir de la glande hypobranchiale pour diverses utilisations (Spanier & Karmon, 1987). Actuellement, la recherche pour la nourriture constitue la raison majeure pour leur exploitation. Elle est souvent pêchée au Portugal (Vasconcelos et al., 2008a) et en Espagne (Martín et al., 1995; Anon, 2001; Tirado et al., 2002; Mallol et al., 2004) et elles constitue une source alimentaire en France (Bartolome, 1985), Italie (Cecalupo et al., 2006), Croatie (Prime et al., 2006;



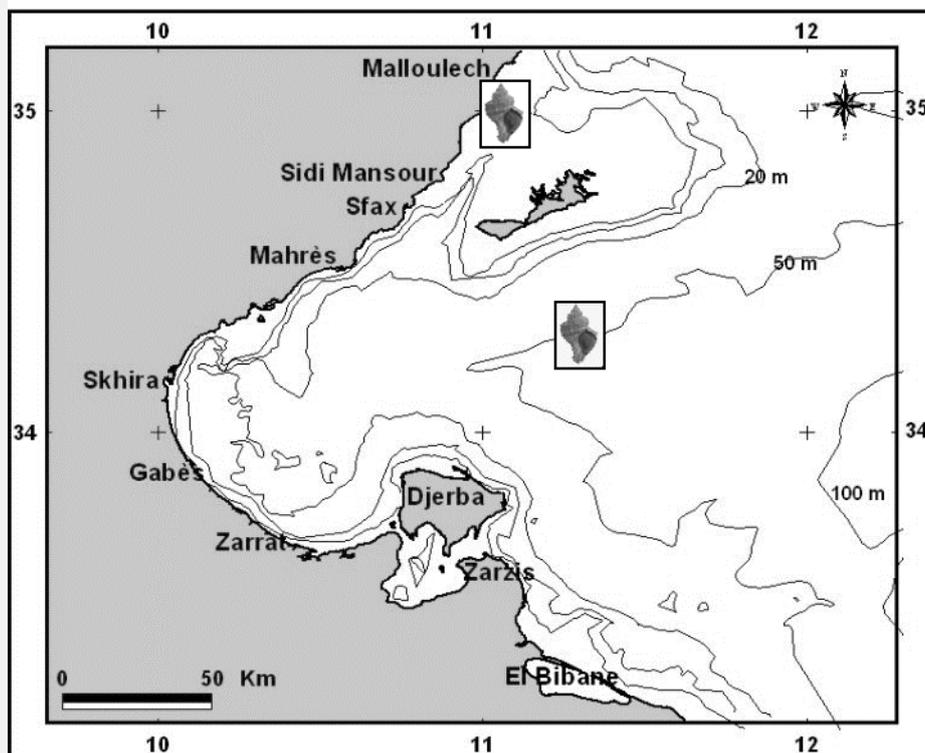
Stagličić et al., 2008), Slovénie (Dalla Via & Tappeiner, 1981). Dans la région du golfe de Gabès, et en raison de la facilité d'accès, l'espèce est surtout collectée à partir de la zone estran pendant les périodes des vives-eaux mais elle peut être également ramenée des grandes profondeurs par les chaluts benthiques. De ce fait, elle est régulièrement présente sur les différents marchés de la région entre octobre et juillet avec une quantité débarquée qui peut atteindre des valeurs maximales pendant la période printanière.

Sur le plan scientifique, les études réalisées sur *H. trunculus* ont abordé différents aspects. Les grands traits du cycle reproducteur ont été traités dans différents secteurs méditerranéens (Tirado et al., 2002 ; Lahbib et al., 2011; Vasconcelos et al., 2008b; Gharsallah et al., 2010; Elhasni et al, 2010). Lahbib et al. (2008) et (2010) ; Vasconcelos et al. (2006c) ont travaillé sur le développement intra-capsulaire et la croissance des juvéniles. Vasconcelos et al. (2012) se sont intéressés à la détermination de l'âge à travers des approches basées sur l'utilisation des techniques marquage-recapture et l'analyse des marques de croissance sur les organes enregistreurs (opercules). Le phénomène d'imposex a été étudié par plusieurs auteurs (El Hamdani et al., 1998; Terlizzi et al., 1997, 1998 et 1999; Terlizzi, 2000; Pellizzato et al., 2004; Vasconcelos et al.; 2006a; Garaventa et al., 2006 ;Lahbib et al., 2009b ). Le régime alimentaire a été étudié par Rilov et al., (2004) et Zarai et al., (2011). Chouba et al., (2004), Gharbi et al., (2004) et Gharbi-Bouraoui et al., (2008) se sont intéressés plutôt à l'étude de l'aptitude de concentration et la bioaccumulation en métaux lourds chez l'espèce. En ce qui concerne l'exploitation, l'activité de pêche et la structure des populations, les travaux sont rares et ils se limitent aux seules études réalisées par Gharsallah et al., (2004), Vasconcelos et al.,(2008a), Elhasni et al., 2015 (a) et 2017, Antit et al, 2017. Les études biométriques chez les individus d'une même espèce et d'une population donnée sont des véritables moyens qui servent à décrire la croissance relative des différentes portions du corps par rapport à une longueur de référence choisie et de détecter les éventuels changements qui peuvent se produire lors de croissance. Par ailleurs, l'étude entre les différents caractères morphologiques permet non seulement de surmonter les confusions liées à la distinction entre des espèces qui présentent une grande ressemblance morphologique mais également de discriminer, même, entre les populations d'une seule espèce. Dans ce contexte, nous proposons d'étudier ces paramètres biométriques afin de différencier entre les populations étudiées d'*H. trunculus* de la région du golfe de Gabès en se référant sur le pouvoir discriminant des variables biométriques. Ces études qui s'appuient sur une approche analytique sont d'intérêts primordiaux pour l'aménagement des pêcheries et l'exploitation durable des ressources.

## 2. Matériel et Méthodes

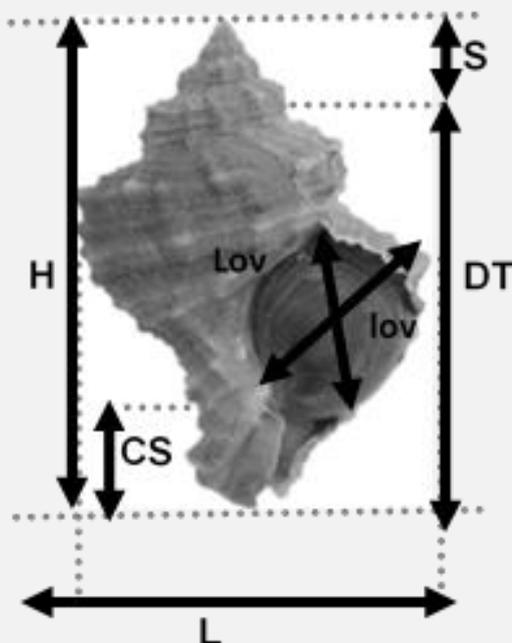
### 2.1. Echantillonnage

Les échantillons sont prélevés à partir de deux sites : l'estran et la partie hauturière (Figure 1). Le site d'estran choisi correspond à la partie côtière de la région du golfe de Gabès au niveau de laquelle, le prélèvement des échantillons a été effectué à pieds pendant les périodes basses mers des vives-eaux (première moitié de la journée). Le site du large est situé entre les isobathes 45 et 55 m où la collecte du matériel biologique a été effectuée moyennant le chalut benthique. Ce choix des stations d'échantillonnages est justifié par certaines appréciations qui sont dégagées à la suite des différences d'ordre physicochimique (température, salinité, PH) et hydrologique (marées, circulation générale) entre les deux zones. Il est à signaler que les individus provenant du large sont souvent colonisés par des épibiontes (polychètes, algues rouges, ascidies et éponges). La présence de ces organismes peut fausser les mensurations et les pesées ; ainsi et avant de tirer les informations, nous avons essayé d'éliminer ces organismes.



**Figure 1.** Localisation des sites d'échantillonnage pour l'étude écobiologique d'*Hexaplex trunculus* du golfe de Gabès

Pour l'espèce étudiée, nous avons analysé les différents caractères métriques chez les sexes combinés. Ces paramètres ont été déterminés à l'aide d'un pied à coulisse de précision 0,05 mm et ils comportent les mesures suivantes (Figure 2) : la hauteur (H), la largeur (L), le dernier tour (DT), la spire (S), longueur de l'ouverture (Lov), largeur de l'ouverture (lov) et le canal siphonal (CS). Pour la croissance relative en masse, les pesées ont été prises à l'aide d'une balance de précision 0,01g et elles comportent les relevés suivantes : la masse totale (MT), la masse de la chair ( $M_{ch}$ ) et la masse de coquille ( $M_{cq}$ ).



**Figure 2.** Schéma des paramètres linéaires mesurés chez *Hexaplex trunculus* du golfe de Gabès

Les données morphométriques et pondérales récupérées servent par la suite pour calculer, chez les sexes confondus l'indice de proportionnalité (I) des caractères (c) par rapport à la hauteur totale (H) :

$I = (C/H) \times 100$  où I: indice calculé; C: dimension du caractère étudié et H: hauteur totale.

Les données servent aussi à l'établissement de la nature de l'allométrie. D'une façon générale, la relation exprimant la croissance relative d'un organe ou d'une partie du corps par rapport à la longueur de référence s'écrit comme suit  $Y = a X^b$  où Y : variable dépendante correspondant à la masse ou à la longueur d'une proportion du corps ; X: variable indépendante (Longueur de référence, hauteur); a: constante et b: le taux de croissance relative ou coefficient d'allométrie. La relation entre les deux variables X et Y est une fonction curviligne qui sera ajustée par transformation logarithmique pour stabiliser la variance résiduelle :  $\text{Log } y = \text{Log } a + b \text{ Log } x$

Pour avoir la nature de l'allométrie, nous avons essayé de comparer la valeur du taux de croissance (b) à la valeur "1" (cas des relations métriques) et à la valeur "3" (cas des relations taille/masse) et ceci en appliquant le test du student «t» dont la formule est la suivante :

$$t_{cal} = \frac{(b - 1)}{\text{Ecart} - \text{type } (b)}$$

Avec

$$\text{Ecart} - \text{type } (b) = \sqrt{\frac{S_y^2 (1 - R^2)}{S_x^2 (N - 2)}}$$

$S_x^2$  = variance de X ,  $S_y^2$  = variance de Y après transformation logarithmique; R = coefficient de corrélation et N - 2 = degré de liberté.

Lorsque la valeur de "t" calculée est inférieure ou égale à la valeur de "t" théorique (au risque  $\alpha = 0,05$ ), la différence n'est pas significative ; par contre, si "t"calculé est supérieure à "t" théorique, la différence est significative. Suivant les valeurs de la pente b, nous pouvons tester l'allométrie c'est à dire que les proportions du corps étudié s'accroissent en conservant le même rapport avec la longueur de référence (la croissance est isométrique pour  $b = 1$  et l'allométrie est majorante pour  $b > 1$  alors qu'elle est minorante pour  $b < 1$ ). Les relations suivantes (L/H); (DT/H); (S/H); (Lov/H); (lov/H) et (CS/H) ont été retunues.

Pour la croissance relative en masse et dans le but de déterminer la nature de l'allométrie, nous avons comparé, pour toutes les équations, la valeur "b" de la pente à la valeur théorique "3". Les trois cas suivants seront distingués : si  $b = 3$  (croissance est isométrique : la masse augmente au même rythme que le cube de la hauteur. Si b est significativement supérieur à 3, (croissance majorante : l'espèce a tendance de se croître plus rapidement en masse qu'au cube de la hauteur. Et si b est significativement inférieur à 3 (croissance minorante : la croissance en masse est alors plus vite que celle du cube de la hauteur).

## 2.2. Analyse multivariée

### 2.2.1. Analyse en Composante Principale ACP

Pour observer les relations de différents relevés biométriques, une Analyse en Composante Principale (ACP) a été effectuée afin de transformer les variables liées (corrélées) entre elles en nouvelles variables ("composantes principales" ou axes) non corrélées les unes aux autres. C'est une analyse permettant d'obtenir une représentation d'un nuage des individus dans un espace de dimension réduite. Elle constitue une analyse à la fois géométrique tout en représentant les variables dans un nouvel espace géométrique selon des directions d'inertie maximale et statistique qui cherche les axes indépendants expliquant au mieux la variabilité des données. Lorsqu'on veut compresser un ensemble de N variables aléatoires, les 2 premiers axes de l'ACP présentent le meilleur choix du point de vue inertie ou la variance expliquée. Généralement, la première composante occupe la direction de la variance maximale et résume mieux les informations contenues dans le tableau alors que la deuxième se situe dans le sous-espace perpendiculaire à la première et apporte un pourcentage inférieur mais complémentaire d'information. Généralement, les points-individus sont représentés sur un cercle imaginaire en fonction de leurs

coordonnées sur les facteurs. Ces points proches ayant des profils proches permettant de visualiser les proximités entre les variables prises en compte dans l'analyse.

### 2.2.2. Analyse Factorielle discriminante

L'Analyse Factorielle Discriminante (AFD) est une méthode descriptive et explicative qui permet de projeter graphiquement sur des axes factoriels orthogonaux un groupe d'individus par un nuage de points. Le but de la méthode est de réduire le nombre de dimensions des données en recherchant celles suivant lesquelles les classes se séparent le mieux. Elle permet, aussi, d'assigner à une des catégories toute observation nouvelle caractérisée par ses descripteurs mais dont on ignore le groupe d'appartenance. Grâce à cette analyse statistique, Il s'agit de prévoir l'appartenance à un des groupes (Bardos, 2001).

Le principe de l'analyse discriminante est de former des combinaisons linéaires de variables explicatives permettant d'affecter les individus à leur groupe d'origine avec un minimum d'erreur de classement. La fonction linéaire discriminante  $Y$  qui minimise le taux de mal-classées s'écrit comme une moyenne pondérée des variables explicatives résumant ainsi, en un seul indicateur, l'information apportée par le  $q$  variables explicatives sélectionnées parmi les descripteurs. L'équation de la fonction est donc la suivante:

$$Y = v_1X_1 + v_2X_2 + v_3X_3 + \dots + v_nX_n + a_0$$

Où :

- $a_0$  : constante
- $v_1, v_2, v_3 \dots v_n$ : sont des coefficients qui indiquent le poids des variables;
- $x_1, x_2, x_3 \dots X_n$ : sont les variables indépendantes;
- $Y$  : est la variable dépendante exprimant l'appartenance d'une observation à un groupe.

Divers indicateurs et tests sont également calculés pour juger l'intérêt et la pertinence des résultats. De ce fait, l'identification des variables explicatives repose sur les informations fournies suite à l'application de deux tests: lambda de Wilks ( $\lambda$ ) et la statistique (F). Pour le test F de Fisher, deux cas peuvent se présenter quant au pouvoir discriminant de chaque variable:

- $F_{théorique} > F_{calculé}$  la variable en question ne peut pas exprimer l'appartenance à un groupe bien défini,
- $F_{théorique} < F_{calculé}$  la variable est dotée d'un fort pouvoir discriminant pouvant orienter une observation vers un groupe bien déterminé.

Le Lambda de Wilks est une statistique utilisée afin de tester si plusieurs groupes d'observations multivariées ont des moyennes significativement différentes. Elle constitue une mesure directe de la proportion de l'inertie des groupes qui n'est pas expliqué par la variable indépendante dans un schéma de décomposition de la variance totale des observations. C'est donc le rapport entre l'inertie intraclasses et l'inertie totale et dont les valeurs de  $\lambda$  varient entre 0 et 1. On distingue deux cas :

- une faible valeur (proche de 0) du  $\lambda$  est l'indication de groupes bien séparés ;
- une forte valeur du  $\lambda$  (proche de 1) est l'indication de groupes peu ou pas séparés.

Le recours à l'application des fonctions discriminantes canoniques nous permet de déterminer les coefficients de la fonction de l'analyse discriminante. L'estimation de l'index moyen de chaque groupe fournira un bon appui pour la détermination des barycentres des groupes.

Dans notre travail, l'affectation des observations dans les groupes correspondants est le résultat final de la réalisation d'une analyse factorielle discriminante. Le pourcentage de classement correct, par rapport au nombre total d'observations, est un indicateur global de la fiabilité du modèle. En effet, plus le pourcentage des individus bien classés est suffisamment élevé, plus le modèle est acceptable pour la discrimination entre les groupes.

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Etude biométrique

Pour le lot d'échantillons provenant de l'estran, un total de 1848 spécimens ayant une taille et une masse variant, respectivement, entre 20,8 et 68,9 mm et entre 1 et 40,4 g. Au niveau de la partie hauturière, 1815 individus ont été étudiés avec une taille et une masse oscillante entre 26,5 et 88,4 mm et entre 1,15 à 102,6 g. L'étude de la croissance relative a permis, en premier lieu, d'estimer les indices de proportionnalité (I) de différentes portions de la coquille par rapport à la hauteur totale (H) et d'établir,

en second lieu, les équations allométriques. Les indices de proportionnalités, estimés pour l'ensemble des caractères métriques de deux sites sont présentés dans le tableau 1. Il est en ressort une différence majeure retenue pour la largeur de la coquille. En effet, la valeur moyenne enregistrée chez les sexes combinés du large (70.72%) est nettement supérieure à celle de l'estran (62.47%). Par ailleurs, les indices de proportionnalités du dernier tour (large=66.62%); estran 67.5%) et de la spire (large=33.67% ; estran=33.49%) sont très proches entre les deux sites. En ce qui concerne la nature d'allométrie, les résultats obtenus montrent que les valeurs du  $R^2$  sont élevées ; variant entre 0,95 et 0,97 pour les deux sites; ceci témoigne de la bonne corrélation qui existe entre les caractères étudiés et la hauteur totale. Les valeurs de la pente b varient entre 0,9336 à 1.0869 pour l'estran et entre 1.0081 à 1.1988 pour la population du large. Le test statistique réalisé sur les pentes, montre des valeurs supérieures de  $t_{cal}$  par rapport à  $t_{thé}$ . Ceci est en faveur d'une allométrie majorante correspondant à une croissance plus rapide de la majorité des caractères. Seulement le dernier tour et le canal siphonal des individus de l'estran croissent moins vite (allométrie minorante) que la hauteur totale.

**Tableau 1.** Indices de proportionnalité et équations allométriques des différents caractères biométriques par rapport à la longueur (H) chez *Hexaplex trunculus* de l'estran et de la partie hauturière du golfe de Gabès

Caractère	Sites	Indices Extr	Indice Moy±IC	Equation	R <sup>2</sup>	T <sub>cal</sub>	Allométrie
<b>L</b>	Large	62.98-77.28	70.72±0.14	0.6714H <sup>1.0128</sup>	0.97	2.25	majorante
	Estran	55.13-70.02	62.47±0.11	0.5218 H <sup>1.0478</sup>	0.96	9.01	majorante
<b>DT</b>	Large	61.07-74.47	66.62±0.13	0.6445H <sup>1.0081</sup>	0.97	1.54	isométrie
	Estran	62.00-75.29	67.5±0.10	0.8657 H <sup>0.9336</sup>	0.97	15.92	minorante
<b>S</b>	Large	29.47-38.59	33.76±0.09	0.3204H <sup>1.0128</sup>	0.95	1.78	isométrie
	Estran	22.59-37.76	33.49±0.07	0.2427 H <sup>1.0865</sup>	0.96	15.73	majorante
<b>Lov</b>	Large	37.71-52.44	46.06±0.15	0.2069H <sup>1.1988</sup>	0.96	26.85	majorante
	Estran	41.21-55.78	49.70±0.10	0.3585 H <sup>1.0869</sup>	0.95	15.14	majorante
<b>lov</b>	Large	29.34-41.38	35.58±0.11	0.1754H <sup>1.1757</sup>	0.96	24.86	majorante
	Estran	29.82-41.05	36.04±0.08	0.2601 H <sup>1.0865</sup>	0.95	14.11	majorante
<b>CS</b>	Large	26.61-36.13	31.85±0.08	0.256H <sup>1.0542</sup>	0.95	7.39	majorante
	Estran	26.97-32.97	29.80±0.05	0.3249H <sup>0.9768</sup>	0.96	4.78	minorante

### 3.2. Croissance massique

Les paramètres de la croissance massique relative liant l'évolution de différents paramètres pondéraux à la hauteur sont consignés dans le tableau 2. Il est en ressort que les valeurs de  $R^2$  (0.92-0.94) indiquent une bonne corrélation entre les caractères. Pour les deux sites, le calcul du test statistique de Student ( $t_{cal} = 3.86-21.29 > t_{thé}=1.96$ ) prouve que les valeurs de b ( $b = 3.0803-3.4914$ ) sont significativement supérieures à la valeur théorique 3 justifiant ainsi une allométrie majorante ; c'est-à-dire que la croissance de différentes masses est plus rapide que celle du cube de la hauteur.

**Tableau 2.** Relations et nature d'allométrie de la croissance massique des différentes masses par rapport à la hauteur totale (H) chez *Hexaplex trunculus* de l'estran et du large du golfe de Gabès

Relations	Populations	Equations	R <sup>2</sup>	t <sub>cal</sub>	Allométrie
<b>MT-H</b>	Estran	0.00009 H <sup>3.0743</sup>	0.93	3.86	majorante
	Large	0.00002 H <sup>3.4914</sup>	0.94	18.62	majorante
<b>Mch-H</b>	Estran	0.00002 H <sup>3.251</sup>	0.93	11.94	majorante
	Large	0.00003 H <sup>3.6212</sup>	0.93	21.29	majorante
<b>Mcq-H</b>	Estran	0.00006 H <sup>3.0803</sup>	0.93	4.01	majorante
	Large	0.00002 H <sup>3.4021</sup>	0.92	13.15	majorante

### 3.3. Analyse multivariée

#### 3.3.1. Analyse en Composante Principale (ACP)

La première information intéressante consiste à analyser la matrice des corrélations de Pearson. À l'exception des variables relatives aux indices lov/H et CS/H, la matrice de corrélation montre des coefficients très hauts qui justifient la dépendance entre les autres variables (Tableau 3). L'examen des résultats mentionnés dans le tableau 4 montre que la première valeur propre F1 vaut 41.361% de la

variabilité. Cela signifie que si on représente les données sur un seul axe, on aura toujours ce pourcentage % de la variabilité totale qui sera préservée. L'axe F2 vaut 23.740 de la variabilité.

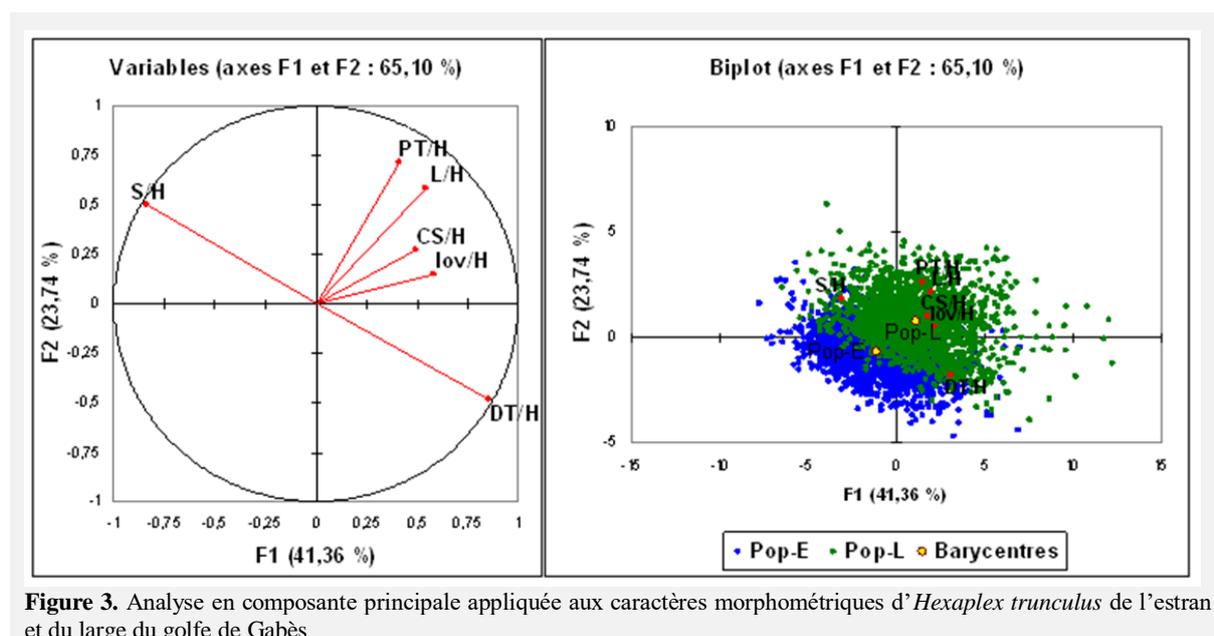
La projection des variables initiales sur le premier plan factoriel a montré que les deux premières valeurs propres correspondent à un pourcentage élevé de la variabilité (65.10%) et la représentation sur les deux premiers axes factoriels est de bonne qualité, justifiée par une nette discrimination entre les deux populations (Figure 3).

**Tableau 3.** Matrice de corrélation de Pearson appliquée aux groupes d'*Hexaplex trunculus* de l'estran et du large du golfe de Gabès

Variables	L/H	DT/H	S/H	lov/H	CS/H	MT/H
L/H	1	0.192	-0.172	0.283	0.333	0.416
DT/H	0.192	1	-0.956	0.339	0.262	0.059
S/H	-0.172	-0.956	1	-0.332	-0.257	-0.044
lov/H	0.283	0.339	-0.332	1	0.025	0.307
CS/H	0.333	0.262	-0.257	0.025	1	0.242
MT/H	0.416	0.059	-0.044	0.307	0.242	1

**Tableau 4.** Valeurs propres et pourcentage cumulé de l'analyse en composante principale appliquée aux deux groupes de murex du golfe de Gabès

	F1	F2	F3	F4	F5	F6
Valeur propre	2.482	1.424	0.982	0.564	0.505	0.044
Variabilité (%)	41.360	23.740	16.360	9.393	8.416	0.731
% cumulé	41.360	65.100	81.460	90.853	99.269	100.000



**Figure 3.** Analyse en composante principale appliquée aux caractères morphométriques d'*Hexaplex trunculus* de l'estran et du large du golfe de Gabès

### 3.3.2. Analyse Factorielle Discriminante (AFD)

Les résultats biométriques nous ont permis de détecter certaines différences entre les deux populations d'*Hexaplex trunculus* provenant de deux sites. Si ces analyses ont montré qu'il existe des différences morphologiques, la confirmation de la variabilité entre les populations reste tributaire de l'assertion des bases statistiques plus solides. Les variables explicatives et testées sont les indices de proportionnalités des caractères biométriques et pondéraux par rapport à la hauteur totale H : L/H, DT/H, S/H, lov/H, CS/H et MT/H. La première étape de cette analyse correspond à une description statistique des variables explicatives (Tableau 5). Ces résultats viennent en concordance avec ceux émis précédemment par l'Analyse en Composante Principale. La seconde étape statistique a pour objectif l'identification des variables discriminantes. Le test de Fisher et le p-valeur, calculés sur la base des variables testées, sont consignés dans le tableau 6. A la lumière des ces résultats, nous constatons que toutes les variables sont

dotées d'un pouvoir discriminant pour retrancher quant à la nature des populations. En effet, les valeurs de F calculées, pour toutes ces variables, sont nettement élevées que les valeurs théoriques calculées au seuil de 5% ( $F_{cal} > F_{the}$ ). Par ailleurs, la largeur est de loin la variable explicative la plus discriminante en raison de sa forte valeur du test de Fisher ( $F_{cal} = 6489.94$ ) suivie du canal siphonal et à la masse totale avec un pouvoir discriminant moins fort.

**Tableau 5.** Statistiques descriptives des groupes d'*Hexaplex trunculus* de l'estran et du large du golfe de Gabès

Groupe	Moy/Ecart	L/H	DT/H	S/H	lov/H	CS/H	MT/H
Estran	Moyenne	0.615	0.665	0.333	0.350	0.297	0.250
	Ecart-type	0.028	0.027	0.027	0.029	0.024	0.118
Large	Moyenne	0.708	0.673	0.327	0.365	0.315	0.373
	Ecart-type	0.041	0.028	0.028	0.033	0.027	0.178

**Tableau 6.** Tests d'égalité des moyennes des groupes d'*Hexaplex trunculus* de l'estran et du large de la zone du golfe de Gabès

Variable	Lambda	F	DDL1	DDL2	p-value
L/H	0.361	6489.938	1	3661	< 0.0001
DT/H	0.981	70.467	1	3661	< 0.0001
S/H	0.985	53.900	1	3661	< 0.0001
lov/H	0.946	210.824	1	3661	< 0.0001
CS/H	0.895	428.557	1	3661	< 0.0001
MT/H	0.857	611.224	1	3661	< 0.0001

La troisième étape correspond aux tests statistiques de Box qui testent l'hypothèse nulle de l'absence d'une corrélation significative entre les variables. (Tableaux 7 et 8). Au terme de ces deux tableaux, les deux tests de Box ont permis de confirmer que l'on ne peut pas faire l'hypothèse que les matrices de covariance sont identiques pour les deux populations. Par conséquent, l'hypothèse nulle d'absence de corrélation significative entre les variables est rejetée en faveur d'une corrélation significative. Cette tendance de discrimination entre les populations est confirmée par un test appliqué sur la valeur lambda de Wilks de la fonction discriminante (Tableau 9). En effet, la valeur de F calculée ( $F_{obs} = 1111.653$ ) est hautement supérieure à la valeur théorique ( $F_{crit} = 2.101$ ) et la valeur de signification p est inférieure à 0.001 au seuil de 0.05.

**Tableau 7.** Test de box (approximation asymptotique du  $\text{Khi}^2$ ) entre les variables des deux groupes d'*Hexaplex trunculus* de l'estran et du large du golfe de Gabès

-2Log(M)	1513.368
Khi <sup>2</sup> (Valeur observée)	1510,740
Khi <sup>2</sup> (Valeur critique)	32.671
DDL	21
p-value	< 0.0001
Alpha	0.05

**Tableau 8.** Test de box (approximation asymptotique du F de Fisher) entre les variables des deux groupes d'*Hexaplex trunculus* de l'estran et du large du golfe de Gabès

-2Log(M)	1513.368
F (Valeur observée)	71.940
F (Valeur critique)	1.556
DDL1	21
DDL2	49262485
p-value	< 0.0001
Alpha	<b>0.05</b>

**Tableau 9.** Valeur du lambda de Wilks appliquée entre les variables des deux groupes d'*Hexaplex trunculus* de l'estran et du large du golfe de Gabès

<b>Lambda</b>	0.354
<b>F (Valeur observée)</b>	1111.653
<b>F (Valeur critique)</b>	2.101
<b>DDL1</b>	6
<b>DDL2</b>	3656
<b>p-value</b>	< 0.0001
<b>Alpha</b>	0.05

L'étape suivante correspond à l'estimation de l'index y moyen des deux groupes ensemble. Pour cela, nous avons eu recours aux fonctions discriminantes canoniques dont les coefficients de l'équation sont donnés dans le tableau 10.

**Tableau 10.** Coefficients des fonctions discriminantes canoniques appliquées aux deux groupes d'*Hexaplex trunculus* de l'estran et du large du golfe de Gabès

<b>Variable</b>	<b>F1</b>
<b>Constante</b>	-20.284
<b>L/H</b>	27.256
<b>DT/H</b>	-0.752
<b>S/H</b>	1.917
<b>lov/H</b>	0.972
<b>CS/H</b>	5.277
<b>MT/H</b>	0.545

Nous obtenons ainsi, l'équation finale suivante :

$$Y_{(E,L)} = 27.256 L/H - 0.752 DT/H + 1.917 S/H + 0.972 lov/H + 5.2777 CS/H + 0.545 MT/H - 20.284$$

Nous présentons dans le tableau 11 l'indice moyen y de chaque groupe et les coefficients des fonctions de classement de deux groupes sont récapitulés dans le même tableau.

**Tableau 11.** Coefficients des fonctions discriminantes canoniques des deux groupes de murex de l'estran et du large du golfe de Gabès

<b>Coefficient</b>	<b>E</b>	<b>L</b>
<b>Constante</b>	-7605.050	-7659.882
<b>L/H</b>	333.220	406.831
<b>DT/H</b>	14765.046	14763.016
<b>S/H</b>	14788.878	14794.055
<b>lov/H</b>	355.751	358.375
<b>CS/H</b>	469.684	483.936
<b>MT/H</b>	-58.225	-56.753

Nous déduisons alors les deux équations suivantes :

$$Y_{(E)} = 333.22 L/H + 14765.046 DT/H + 14788.878 S/H + 355.751 lov/H + 469.684 CS/H - 58.225 MT/H - 7605.050$$

$$Y_{(L)} = 406.831 L/H + 14763.016 DT/H + 14794.055 S/H + 358.375 lov/H + 483.936 CS/H - 56.753 MT/H - 7659.882$$

A partir de ces deux équations, nous avons pu déterminer le barycentre de chaque zone en utilisant l'indice moyen de chaque groupe. Les barycentres de la population de l'estran ( $\hat{y}_E$ ) est estimé à -1.338 alors que celui de la population du large ( $\hat{y}_L$ ) est de -1.363. En se basant sur l'analyse de la matrice de confusion qui résume l'information concernant le reclassement des observations, nous pouvons déduire les taux des bons et de mauvais classements. A l'égard des résultats présentés dans le tableau 12, le

classement des observations dans les groupes correspondants permet de donner des renseignements assez satisfaisants quant à la fiabilité du modèle établi. En effet, 96.18% des observations originales sont classées correctement (Tableau 12).

**Tableau 12.** Matrice de classement appliquée aux deux groupes d'*Hexaplex trunculus* de l'estran et du large du golfe de Gabès

de \ Vers	E	L	Total	% correct
E	1826	22	1848	98.81%
L	118	1697	1815	93.50%
Total	1944	1719	3663	96.18%

#### 4. Discussion

Pour chacune des deux lots d'échantillons d'*Hexaplex trunculus*, l'étude biométrique liant la hauteur totale (longueur de référence) aux autres paramètres biométriques et pondéraux a révélé, dans la majorité des cas, des coefficients de détermination importants qui indiquent une relation étroite entre les paramètres. Cependant, les valeurs des taux de croissance relative (b) calculées et testées montrent que la nature d'allométrie diffère selon le caractère et l'échantillon concerné.

Pour les relations biométriques, les valeurs de coefficients de corrélations sont élevées indiquant une faible plasticité morphologique de la forme de la coquille. Par ailleurs, il a été rapporté que la présence des épibiontes (polychètes, ascidies et éponges...ect) peut affecter la croissance relatives des muricidés (Vasconcelos et al., 2007; El Ayari et al., 2015) mais dans cette étude cela ne devrait pas contribuer à une variabilité en forme de la coquille en raison de leur élimination avant d'effectuer les mensurations en particulier chez les individus collectés à partir du large. D'un autre coté, cette tendance peut être expliquée par la nature de la coquille. En effet et malgré l'effort de pêche exercée sur l'espèce et la mortalité, le processus de calcification offre aux coquilles un état plus solide et par conséquent plus résistant aux dommages en particulier au niveau du canal siphonal et de spire. Chez le lot de l'estran, l'ensemble des équations liant la hauteur totale (H) aux différents caractères (largeur (L), spire (S) et longueur et largeur de l'ouverture (LOV et IOV)) évoluent suivant une allométrie majorante alors que la longueur du dernier tour (DT) et le canal siphonal (CS) croît suivant une allométrie minorante. En ce qui concerne, la population du large et à l'exception des relations spire- hauteur et dernier tour-hauteur où l'allométrie est isométrique, les autres caractères (largeur (L), longueur et largeur de l'ouverture (LOV et IOV) et le canal siphonal (CS)) évoluent selon une croissance majorante avec la hauteur totale. Les résultats de cette étude sont concordés avec ceux effectués dans d'autres secteurs maritimes qui ont montré une tendance similaire. En effet, l'évolution annuelle des paramètres linéaires a révélé une allométrie majorante de la majorité des caractères chez la population de la lagune de Bizerte (Lahbib, 2009). De même les travaux réalisés par Vasconcelos et al. (2016) chez la population de la lagune Ria Formosa en Portugal ont indiqué un rythme de croissance plus rapide de la de certains caractères (largeur, de longueur et largeur se l'ouverture et de spire) par rapport à la longueur de la coquille (Vasconcelos et al. 2016). En dépit de ces ressemblances, de différences dans la croissance de certaines parties de la coquille peuvent être détectées. Par exemple si on s'intéresse à la largeur (L), nous avons constaté que les deux populations évoluent plus en largeur qu'en hauteur ; ce qui se traduit par un élargissement assez remarquable de la coquille. Ces résultats ne sont pas en concordance avec ceux trouvés chez la population de Menzel Jemil (Nord tunisien) où l'accroissement annuel de la largeur en fonction de la hauteur s'effectue suivant une allométrie minorante (Lahbib, 2009). De ce fait, on devait s'attendre à déceler des dissemblances entre les différentes équations d'allométries établies et d'affirmer l'existence d'une croissance significativement différente dans l'espace. De même, cette variabilité enregistrée dans les différentes zones des côtes tunisiennes reflète des différences dans les conditions locales de l'environnement qui n'exercent pas la même action sur la morphométrie des populations de murex tuberculé. Par exemple, il paraît que la croissance des individus en largeur au niveau de deux sites reflète un comportement adaptatif de l'espèce vis à vis à l'agitation importante du milieu (marrées, circulation à grandes échelles, mouvement océaniques ...) comparée à celle faible du milieu lagunaire (lagune de Bizerte). D'ailleurs, cette tendance a été rapportée chez une autre espèce de Gastéropodes. En effet, chez la population *Siphonaria gigas*, la coquille se développe plus large pour les individus qui colonisent les zones les plus exposées aux vagues ( Lopez & Gomes-Schouben, 1999). De même et au niveau des cotes de Colifornie, la morphologie de *Thais*. Sp montre une coquille plus courte au niveau

des zones exposés aux vagues par rapport à celle plus longue chez les individus abritant les zones plus calmes (Kitching et Ebling, 1967).

Les différentes relations taille-masses ont été établies au niveau de chaque site sur des échantillons récoltés pendant un cycle complet incluant la période potentielle de ponte Avril-juin (Elhasni, 2012). L'étude des histogrammes de fréquences de différentes classes de tailles a révélé que les individus de grande taille gardent leurs densités après avoir réalisé leur ponte. Par ailleurs, l'accroissement pondéral chez ces spécimens âgés pourrait correspondre à un développement de la gonade et non à un accroissement somatique. C'est pour cette raison, nous avons considéré la totalité du cycle de reproduction pour la détermination de la relation taille-poids. Chez *H. trunculus*, les équations allométriques liant la hauteur totale (H) aux différents paramètres massiques (masse totale, masse de la chair et masse de coquille) ont montré une homogénéité entre les populations. Les relations établies sont de type majorante correspondant ainsi à un accroissement moins rapide du cube de la hauteur par rapport à la croissance massique justifiant ainsi que les individus dépensent plus d'énergie envers la croissance pondérale. Ceci peut être considéré comme une caractéristique de l'espèce puisqu'elle était observée chez les populations de la lagune de Bizerte (Lahbib, 2009) et au niveau de la lagune de Formosa (Vasconcelos et al., 2016). Par ailleurs, l'analyse de différentes équations allométrique nous permet de déceler certaines différences dans la croissance de relevées pondérales. Les individus provenant du large sont caractérisés par une coquille plus lourde et une masse viscérale moins importante par rapport à ceux de l'estran. Ceci pourrait être expliqué par la différence des facteurs environnementaux et écologiques entre les deux milieux. Le site estran se situe à la proximité d'une activité d'industrialisation importante entraînant la contamination continue et excessive du milieu marin par l'évacuation d'un grand volume d'eau chargé en métaux lourds (Smaoui-Damak et al., 2003 et 2004). Concernant la partie hauturière et sous l'effet l'hydrodynamisme l'influence et l'impact de divers rejets sur l'environnement marin diminuent au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la côte. La dépense de l'énergie envers la croissance de coquille pourrait être due à l'intensité d'imposex. Ce dernier phénomène a été détecté depuis la zone estran jusqu'aux grandes profondeurs. Le site le plus touché est la partie intertidale où les stades avancés de l'anomalie ont été observés dans plusieurs sites. Cependant, le suivi spatial de cette anomalie a montré une diminution de l'intensité et les indices d'imposex (auteurs, données non publiés) au niveau de la partie hauturière. Par conséquent, il est possible que la concentration en TBT qui sont probablement si importantes au point d'induire une variabilité de croissance de différents paramètres massiques. Ces observations ont été corroborées par Márquez et al. (2011) qui ont montré une différence claire dans la forme et la structure de coquille chez *Odontocymbiola magellanica* (Gmelin, 1791). En effet ces auteurs ont détecté une réduction de 20% dans le poids de coquille pour des individus collectés à partir d'une zone où la concentration en TBT atteint des valeurs maximales.

L'étude du polymorphisme intraspécifique chez le Gastéropodes *H. trunculus* a été effectuée par le biais des méthodes statistiques de comparaison. Cependant la relation entre les différents caractères biométriques et l'hétérogénéité des populations est plus complexe puisqu'elle dépend probablement de mode de vie, la reproduction, la taille des individus adultes ainsi que les conditions écologiques des milieux. En tenant compte de cela, une autre cause de la distinction entre les groupes d'individus pourrait être due à la réduction des tailles en raison d'une exploitation intense. En effet, l'exploitation d'*Hexaplex trunculus* au niveau de la région du golfe de Gabès ne constitue pas une activité ciblée qu'au niveau des zones estran. Au-delà de ces zones, l'espèce peut être ramenée en tant que prises accidentelles ou accessoires. Cette figure d'exploitation pourrait avoir aggravé le statut de la diversité génétique dans cette localité. Par ailleurs il a été démontré (Brown et al., 1995 et 1996) que la répartition de la plupart des espèces est caractérisée par des populations centrales denses et des populations périphériques marginales et que cette distribution est régulée par la variation des facteurs abiotiques et biotiques des milieux. Cette tendance ressemble en quelque sorte à celle observée au niveau du golfe de Gabès. En effet, les travaux d'évaluation des stocks (Elhasni et al, 2015 et 2017) réalisés au niveau de la zone d'étude ont montré que l'espèce peut être rencontrée depuis la zone estran (population centrale) jusqu'aux grandes profondeurs (population marginale). Avec Les densités les plus fortes sont observées au niveau des zones estran comparées à celles du large (Elhasni et al, 2015 et 2017), par conséquent il paraît que la partie hauturière constitue des zones périphériques de l'installation de l'espèce ou zone qui favorisent le processus de métapopulation. Il est à noter que cette situation est généralement, en conjonction avec les activités humaines qui entraînent à une réduction des niches écologiques appropriées, peuvent finalement mener à une réduction de l'aire de répartition de l'espèce.

Dans ce travail, les études statistiques multidimensionnelles (AFC et ACP) ont permis, d'une part, une nette représentation graphique synthétique et optimale des proximités et des distances entre les modalités et, d'autre part, d'identifier les variables explicatives qui peuvent influencer la discrimination entre les populations. Ces analyses multivariées permettent de séparer nettement deux groupes d'individus chez l'espèce, des tels résultats ont été confirmés par plusieurs tests statistiques et par la haute valeur (96,18%) des observations des du bien classées qui témoignent la fiabilité du modèle établi. Bien que les mécanismes responsables de cette discrimination restent mal connus, la différence des conditions physicochimiques (température, salinité, PH...), hydrodynamiques (marées) et d'ordre génétique peuvent contribuer à l'isolement des populations et par conséquent à leur acclimatation aux conditions environnementales qui règnent dans chaque milieu. Par ailleurs, l'analyse discriminante faite sur la base des caractères biométriques a permis d'identifier la variable "largeur" comme étant la variable qualitative la plus discriminante, suivie de celles correspondant aux "masse totale" et "canal siphonal" qui ont un pouvoir discriminant moins important. Les études similaires effectuées sur d'autres populations au niveau d'autres secteurs maritimes sont très rares ; nous retenons, seulement, celles de González-Tizón et al. (2008) qui ont été réalisées chez les trois populations de Ria Formosa, Ria Alvor (Portugal) et Rio Pédras (Espagne). Comparativement à nos travaux, ces études montrent des différences aussi bien au niveau de la technique utilisée qu'au niveau des résultats. En effet, ces auteurs et afin de discriminer entre les populations ont eut recours aux méthodes génétiques qui sont basées sur l'étude de la variation des distances de trois gènes mitochondriaux et un gène nucléaire. En ce qui concerne la différenciation, ces études ont montré une haute similarité génétique qui reflète une ressemblance dans la structure en taille des trois populations, par conséquent, l'hypothèse de la séparation entre les populations a été écartée en faveur d'une seule population.

## 5. Conclusion

La démarche entreprise lors de ce travail est une contribution d'une part à la connaissance de la biologie d'*Hexaplex trunculus* colonisant les fonds du golfe de Gabès, et d'autre part à l'évaluation du pouvoir discriminants de certaines variables en rapport avec l'hétérogénéité des conditions des milieux. Ce dernier aspect permet d'appréhender les stratégies d'acclimatation et d'adaptation développées par chaque population en réponse aux conditions environnementales. En matière d'évaluation des stocks, les informations recueillies dans ce travail particulièrement la divergence des populations fourniront des données fondamentales pour la conservation et la valorisation du stock permettant l'exploitation durable des ressources.

## 6. Références

- Antit M. & Azzouna A. (2012)**. Mollusques des milieu littoraux de la baie de Tunis (in French; Molluscs from littoral environments of Bay of Tunis). *Iberus*. 30(2), 107-133.
- Antit M, Gofas S, Azzouna A (2017)** Les Muricidae (Mollusque, Gastéropodes) de La Goulette (Baie de Tunis). *Xenophora Taxonomy.*, 16 :1-5.
- Abidli S, (2012)** Bioécologie et phénomène d'imposex: étude écotoxicologique par le tributylétain (TBT) chez deux néogastéropodes *Bolinus brandaris* et *Hexaplex trunculus* collectés au nord de la Tunisie. Thèse de doctorat, 235pp. Fac. Sci. Tunis.
- Abidli S, Lahbib Y, Trigui El Menif N (2009)** Imposex and genital tract mal formations in *Hexaplex trunculus* and *Bolinus brandaris* collected in the Gulf of Tunis. *Bull. Mar. Sci.*, 85: 11-25.
- Abidli S, Lahbib Y, Trigui El Menif N (2010)** Imposex and butyltin concentrations in *Bolinus brandaris* (Gastropoda: Muricidae) from the northern Tunisian coast. *Environ. Monit. Assess.*, 177: 375–38.
- Anon (2001)** *Especies de Interés Pesquero en el Litoral de Andalucía*. Vol. II - Invertebrados. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, Sevilla.
- Bardos M (2001)** Analyse discriminante: application au risque et scoring financier, 244p. Dunod. Paris.
- Bartolome Ch (1985)** Contribution à l'étude de gastéropode *Murex brandaris* (Linnaeus) dans le golfe du lion. Diplôme d'études approfondies, université de Sciences et Techniques du languedoc, France.
- Brown JH, Mehlman DW, Stevens GC (1995)** Spatial variation in abundance. *Ecology* 76, 2028–2043.

- Brown JH, Stevens GC, Kaufman DM (1996)** The geographic range: size, shape, boundaries, and internal structure. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 27, 597–623.
- Cecalupo A, Vianello M, Perini L (2006)** Alcune forme aberranti rinvenute nel Mare Adriatico di *Hexaplex trunculus* (Linnaeus, 1758) e *Bolinus brandaris* (Linnaeus, 1758). *Not. S.I.M., Pubbl. Soc. Ital. di Malacol.* 24: 13–15.
- Chouba L, Mzouchi-Aguir N (2006)** Les métaux traces (Cd, Pb, Hg) et les hydrocarbures totaux dans les sédiments superficiels de la frange côtière du golfe de Gabès. *Bull. Inst. Natn. Scient. Tech. Océanogr. Pêche Salammbô*, 33: 93-100.
- Dalla Via G-J, Tappeiner U (1981)** Morphological and functional correlates with distribution of *Murex trunculus* L. and *Murex brandaris* L. (Mollusca, Gastropoda) in the northern Adriatic. *Bollet. Zoolog.* 48: 191–195.
- El Hamdani A, Ferrer JM, Garcíá Carrascosa A.M (1998)** Imposex in prosobranch molluscs: an indicator of TBT pollution in the Valencian coast (Spain, Western Mediterranean). *Cuad de Invest Biol (Bilbao)*, 20: 275-278.
- Elhasni K. (2012)** Biologie, abondance et cartographie de deux espèces de gastéropodes: murex tuberculé *Hexaplex trunculus* et murex droite épiné *Bolinus brandaris* dans la région du Golfe de Gabès. Thèse de Doctorat. Faculté des Sciences de Sfax, Tunisie, 237 pp.
- Elhasni K, Ghorbel M, Vasconcelos P, Jarbouï O (2010)** Reproductive cycle and size at first sexual maturity of *Hexaplex trunculus* (Gastropoda: Muricidae) in the Gulf of Gabès (southern Tunisia). *Invert. Rep. & Devel.*, 54: 213-225.
- Elhasni K, Vasconcelos P, Dhieb K, EL Lakhrach H, Ghorbel M, Jarbouï O (2015)** Distribution, abundance and population structure of *Hexaplex trunculus* and *Bolinus brandaris* (Gastropoda: Muricidae) in offshore areas of the Gulf of Gabès (southern Tunisia). *African Journal of Marine Science*, 39:1, 69-82.
- Elhasni K, Vasconcelos P, Ghorbel M, Jarbouï O (2017)**. Harvesting and population status of *Hexaplex trunculus* (Gastropoda: Muricidae) in intertidal areas along the Gulf of Gabès (southern Tunisia) *J. Coast. Conserv.* <https://doi.org/10.1007/s11852-017-0583-8>
- Garaventa F, Pellizzato F, Faimali M, Terlizzi A, Madakovic D, Geraci S, Pavoni B, (2006)** Imposex in *Hexaplex trunculus* at some sites on the north Mediterranean coast as a base-line for future evaluation of the effectiveness of the total ban on organotin based antifouling paints. *Hydro.*, 555: 281-287.
- Gharbi S, Dellali M, Aïssa P, & Roméo M (2004)** Effet du cuivre sur *Hexaplex trunculus* originaire de la lagune de Bizerte (Tunisie). *B Bull. Inst. Nat. Sci. Tech. Mer (INSTM, Salammbô)*, 9: 73–76.
- Gharbi-Bourouï S, Gnassia-Barelli M, Roméo M, Dellali M, Aïssa P (2008)** Field study of metal concentrations and biomarker responses in the neogastropod, *Murex trunculus*, from Bizerta Lagoon (Tunisia). *Aquat. Liv. Resour.*, 21: 213–220.
- Gharsallah IH, Vasconcelos P, Zamouri-Langar N, Missaoui H (2010)** Reproductive cycle and biochemical composition of *Hexaplex trunculus* (Gastropoda: Muricidae) from Bizerte lagoon, northern Tunisia. *Aqu. Biol.*, 10: 155-166.
- Gharsallah IH, Zamouri-Langar N, Missaoui H, El Abed A (2004)** Étude de la croissance relative et de la biomasse d'*Hexaplex trunculus* dans la lagune de Bizerte. *Bull. Soc. Zool. France.*, 129(4): 427–436.
- Giraldo-Lopez A, Gomez schouben C (1999)** Variación en la concha de *Sponaria Gigas* como respuesta al efecto de la intensidad de las olas. *Ciencias Marinas*: 25: 213-224
- González-Tizón AM, Fernández-Moreno M., Vasconcelos P., Gaspar Miguel B. & Martínez-Lage A (2008)**. Genetic diversity in fishery-exploited populations of the banded murex (*Hexaplex trunculus*) from the southern Iberian Peninsula. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 363: 35-41.
- Houart R (2001)** A review of the recent mediterranean and northeastern Atlantic species of Muricidae. *Evolver*, Roma, 277 p.
- Kitching JA, Ebling FG (1967)** Ecological studies at lough hyne. *Advances in Ecological research* 4: 198-291
- Lahbib Y (2009)** Imposex, ponte et développement du rocher fascié *Hexaplex trunculus* (Gastropoda: Muricidae). PhD Thesis, Faculté des Sciences de Bizerte, Université 7 Novembre à Carthage, Bizerte, Tunisie, 215 pp.

- Lahbib Y, Abidli S, Trigui El-Menif N (2008)** Croissance des juvéniles chez *Hexaplex trunculus* (Gastropoda: Muricidae) réalisée au laboratoire. *Bull. Soc. Zool. Fran.*, 133: 141-148.
- Lahbib Y, Abidli S, & Trigui El Menif N (2009)** Relative growth and reproduction in tunisian populations of *Hexaplex trunculus* with contrasting imposex levels. *J. Shell. Res.* 24: 79-89.
- Lahbib Y, Abidli S, Trigui El-Menif N (2010)** Laboratory study of the intracapsular development and juvenile growth in the banded murex *Hexaplex trunculus* (Gastropoda:Muricidae). *J. Wor. Aqu. Soc.*, 41: 18–34.
- Lahbib Y, Abidli S., Trigui El Menif N (2011)** Reproductive Activity in the Commercially Exploited Mediterranean Muricid *Hexaplex trunculus* Collected from Boughrara Lagoon (Southern Tunisia). *Russ. Jour. of Mar. Biol.*, 37: 501-508.
- Lahbib Y, Abidli S, Chiffolleau JF, Averty B., Trigui El Menif N (2009b)** First record of butyltin body burden and imposex status in *Hexaplex trunculus* (L.) along the tunisian coast. *J. Env. Mon.*, 11: 1253-1258.
- Mallol S, Muñoz M, Hernández MR, Casadevall M (2004)** Evaluation of the purple dye murex *Bolinus brandaris* (Mollusca: Gastropoda) population as a new fishery resource in the Gulf of Roses (Catalan coast, NW Mediterranean). Rapport de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée 37: 394–395.
- Martín P, Sánchez P, Ramón M (1995)** Population structure and exploitation of *Bolinus brandaris* (Mollusca: Gastropoda) off the Catalan coast (north-western Mediterranean). *Fish. Res.*, 23 (3-4): 319-331.
- Márquez F, González-José R, Bigatti G (2011)** Combined methods to detect pollution effects on shell shape and structure in Neogastropods. *Ecol. Indic.* 11 (2): 248–254. DOI: 10.1016/j.ecolind.2010.05.001
- Pellizzato F, Centanni E, Marin MG, Moschino V, Pavoni B (2004)** Concentrations of organotin compounds and imposex in the gastropod *Hexaplex trunculus* from the lagoon of Venice. *Sci. Tot. Envir.*, 332: 89–100.
- Poppe GT, Goto Y (1991)** *European seashells, Vol 1 (Polyplacophora, Caudofoveata, Solenogastrea, Gastropoda)*. Verlag Christa Hemmen: Germany. 352 pp.
- Prime M, Peharda M, Jelic K, Mladineo I, Richardson C.A (2006)** The occurrence of imposex in *Hexaplex trunculus* from the Croatian Adriatic. *Mar. Poll. Bull.*, 52: 810-812.
- Rilov G, Benayahu Y, Gasita A (2004)** Life on the edge: do bio mechanical and behavioural adaptations to wave-exposure correlated with habitat partitioning in predatory whelks? *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 282:193-204.
- Smaoui-Damak W, Hamza-Chaffai A, Bebianno MJ, Amiard JC (2004)** Variation of metallothioneins in gills of the clam *Ruditapes decussatus* from the gulf of Gabès (Tunisia). *Comp. Bioch. Physiol. Part C.*, 139: 181-188.
- Smaoui-Damak W, Hamza-Chaffai A, Berthet B, Amiard J.C (2003)** Preliminary study of the clam *Ruditapes decussatus* exposed in situ to metal contamination and originating from the Gulf of Gabes, Tunisia. *Bull. Env. Cont. Tox.*, 71: 961-970.
- Spanier E, Karmon N (1987)** Muricid snails and the ancient dye industries. In: Spanier E (ed), The royal purple and the biblical blue: argaman and tekhelet. Keter Publishing House Jerusalem Ltd., Jerusalem, pp 179–192.
- Sparre P, Venema SC (1997)** introdução à Avaliação de mananciais de Peixes tropicais. Parte 1: manual. FAO Documento Técnico sobre as Pescas, 306/1 Rev. 2: 404 p.
- Stagličić N, Prime M, Zoko M, Erak Ž, Brajčić D, Blažević D, Madirazza K, Jelić K, Peharda M (2008)** Imposex incidence in *Hexaplex trunculus* from Kaštela Bay, Adriatic Sea. *Act. Adri.*, 49: 159–164.
- Terlizzi A (2000)** Imposex (Pseudohermafrositismo) in Molluschi Gasteropodi Mediterranei: Aspetti morfologici e considerazioni ecologiche. *Bell. Mala. Roma.*, 36 (9-12): 155-158.
- Terlizzi A, Geraci S, GIBBS PE (1999)** Tributyltin (TBT) induced imposex in the Neogastropod *Hexaplex trunculus* in Italian coastal waters: morphological aspects and ecological implications. *Ital. J. Zool.*, 66: 141-146.
- Terlizzi A, Geraci S, Minganti V (1998)** Tributyltin (TBT) pollution in the coastal waters of Italy as indicated by imposex in *Hexaplex trunculus* (Gastropoda, Muricidae). *Mar. Poll. Bull.*, Vol. 36 (9):749 -752.

- Terlizzi A, Scuderi D, Faimali M, Minganti V, Geraci S (1997)** Imposex in *Hexaplex (Trunculariopsis) trunculus* (Gastropods: Muricidae) prime seglazioni per le acque costiere italiane. *Biol. Mar. Med.*, 4: 496-499.
- Tirado C, Rodríguez de la Rúa A, Bruzón MA, López JI, Salas C, Márquez I (2002)** La Reproducción de Bivalvos y Gasterópodos de Interés Pesquero en Andalucía. Junta de Andalucía, Consejería de Agricultura y Pesca, Huelva.
- Vasconcelos P, Gaspar MB, Castro M (2006<sup>a</sup>)** Imposex in *Hexaplex (Trunculariopsis) trunculus* (Gastropoda: Muricidae) from the Ria Formosa lagoon (Algarve coast -southernPortugal). *Mar. Poll. Bull.*, 52(3):337-341.
- Vasconcelos P, Gaspar MB, Castro M (2006b)** Development of indices for nonsacrificial sexing of imposex-affected *Hexaplex (Trunculariopsis) trunculus* (Gastropoda: Muricidae). *J. Mol. Stu.*, 72(3): 285-294.
- Vasconcelos P, Carvalho S, Castro M, Gaspar MB (2008<sup>a</sup>)** The artisanal fishery for muricid gastropods (banded murex and purple dye murex) in the Ria Formosa lagoon (Algarve coast, southern Portugal). *Sci. Mar.*, 72: 287-298.
- Vasconcelos P, Gaspar MB, Pereira AM, Castro M (2006c)** Growth rate estimation of *Hexaplex (Trunculariopsis) trunculus* (Gastropoda: Muricidae) based on mark/recapture experiments in the Ria Formosa lagoon (Algarve coast, southern Portugal). *J. Shel. Res.*, 25 (1): 249–256.
- Vasconcelos P, Lopes B, Castro M, Gaspar MB (2008b)** Gametogenic cycle of *Hexaplex (Trunculariopsis) trunculus* (Gastropoda: Muricidae) in the Ria Formosa lagoon (Algarve coast-southern Portugal). *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.*, 88(2): 321-329.
- Vasconcelos P, Gharssallah IH, Moura P, Zammouri-Langar N, Gaamour A, Missaoui H, Jarboui O, Gaspar MB (2012)** Appraisal of the usefulness of operculum growth marks for ageing *Hexaplex trunculus* (Gastropoda: Muricidae): Comparison between Surfaces triae and adventitious layers. *Mar. Biol. Res.*, 8:141-153.
- Vasconcelos P, Barroso CM, Gaspar MB (2016)** Morphometric relationships and relative growth of *Hexaplex trunculus* and *Bolinus brandaris* (Gastropoda: Muricidae) from the Ria Formosa lagoon (southern Portugal). *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* **96 (7)**: 1417–1425.
- Zarai Z, Frikha F, Balti R, Miled N, Gargouri Y, Mejdoub H (2011)** Nutrient composition of the marine snail (*Hexaplex trunculus*) from the Tunisian Mediterranean coasts. *Jour. Sci. Foo. Agri.*, 91: 1265–1270.