

ETUDE BIOLOGIQUE DES POPULATIONS DE *PATELLA* *FERRUGINEA* DE L'ARCHIPEL DE ZEMBRA



RAPPORT FINAL

Par :

Free Espinosa ⁽¹⁾ & Hocein Bazairi ⁽²⁾

⁽¹⁾ *Laboratorio de Biología Marina, Universidad de Sevilla (Espagne)*

⁽²⁾ *Département de Biologie, Université Hassan II Aïn Chock (Maroc)*

Octobre 2009

REMERCIEMENTS

Cette étude s'inscrit dans le cadre du projet PIM (Petites Îles de Méditerranée) du Conservatoire de l'espace et littoral des rivages lacustres (République Française). Nous remercions vivement MM. Sami Ben Haj et Fabrice Bernard pour la coordination de la mission et surtout pour leur disponibilité, l'Agence de Protection et d'Aménagement du Littoral (APAL) pour tous les moyens mis à disposition pour la réussite de cette mission ainsi que le personnel militaire et les gardes du Parc National de Zembra pour leur aide et sympathie.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	7
METHODOLOGIE	13
RESULTATS	17
DISCUSSION	24
CONCLUSIONS	29
REFERENCES	31

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 : Evolution temporelle de la distribution de Patella ferruginea en Méditerranée Occidentale (Laborel-Deguen y Laborel, 1991a).</i>	8
<i>Figure 2 : Situation géographique des îles prospectées. A : Îles Egadi et Sicile ; B : Île de Pantelleria ; C : Archipel de Zembra.</i>	14
<i>Figure 3 : Cartes détaillés des îles prospectées. Les points en noir correspondent aux stations d'échantillonnage.</i>	15
<i>Figure 4 : Transect linéaire de 10 m situé parallèlement à la côte.</i>	15
<i>Figure 5 : Fréquences de tailles des individus mesurés sur l'Archipel de Zembra.</i>	18
<i>Figure 6 : Histogrammes de fréquences de taille des différents sites prospectés. Les lettres sont en correspondance avec la carte de la figure 1.</i>	19
<i>Figure 7 : Résultats de l'analyse de proximité MDS utilisant l'indice de Bray-Curtis.</i>	20
<i>Figure 8 : Evolution des Fréquences de taille de Patella ferruginea autour de Zembra entre 1986 (adapté de Boudouresque & Laborel-Deguen, 1986), 2003 (adapté de Limam et al., 2004) et 2009 (présente étude).</i>	21

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : Coordonnées géographiques des sites prospectés. Voir figures 3 A et B pour la correspondance des numéros.....</i>	<i>14</i>
<i>Tableau 2 : Résumé des statistiques des tailles de <i>Patella ferruginea</i> enregistrées à Zembra et Zembretta.</i>	<i>17</i>
<i>Tableau 3 : Sites d'échantillonnage et logueur de la côte prospectée au niveau de chaque site de l'Archipel de Zembra.....</i>	<i>19</i>
<i>Tableau 4 : Evolution de la population de <i>Patella ferruginea</i> sur l'Archipel de Zembra. Données issues de ^(a) Boudouresque & Laborel-Deguen (1986); ^(b) Limam et al., (2004) et ^(c) présente étude.....</i>	<i>22</i>

INTRODUCTION

L'Arapède géante *Patella ferruginea* Gmelin, 1971 est considérée actuellement comme l'invertébré marin le plus menacé du littoral rocheux ouest-méditerranéen, dont elle est endémique (Laborel-Deguen *et al.*, 1991a ; Ramos, 1998). Ce mollusque est l'unique invertébré marin des côtes européennes retenu par la Directive Habitat de l'Union Européenne (Directive 92/43/CEE Du Conseil du 21 mai 1992 concernant la conservation des habitats naturels ainsi que de la faune et de la flore sauvages) en tant qu'espèce en danger d'extinction (Annexe IV : espèces animales et végétales présentant un intérêt communautaire et nécessitant une protection stricte). Son abondance dans des gisements paléolithiques et néolithiques indiquent qu'autrefois la distribution de l'espèce englobait certainement une grande partie de la Méditerranée Occidentale : côtes ouest de l'Italie, Méditerranée française, Péninsule Ibérique, Maroc, Algérie, Tunisie et les îles de la Méditerranée Occidentale (Caton-Thompson, 1946 ; Laborel-Deguen & Laborel, 1991a). Aujourd'hui, probablement en rapport avec les activités anthropiques (Aversano, 1986 ; Guerra-García *et al.*, 2004a), *P. ferruginea* est devenue très rare et sa distribution est réduite à quelques localités de la Méditerranée occidentale (Fischer-Piette, 1959 ; Laborel-Deguen & Laborel, 1991a ; Cretella *et al.*, 1994 ; Templado *et al.*, 2004) (Fig. 1).

Sur les côtes méditerranéennes d'Afrique, les populations les mieux maintenues de l'espèce se rencontrent à Sebta (Guerra-García *et al.*, 2004a ; Espinosa *et al.*, 2009a), à Cabo Negro et Jebha (obs. pers.), au Parc National d'Al Hoceima et au Cap des Trois fourches (Bazairi *et al.* 2004), à Melilla et les Îles Chafarines (obs. per. ; Templado *et al.*, 2004 ; Guallart *et al.*, 2006), sur l'île Rachgoun (Frenkiel, 1975) et les îles Habibas en Algérie (Boumaza & Semroud, 2001 ; Espinosa, 2009) et au Cap Bon (Espinosa, 2006) et sur l'île de Zembra (Boudouresque & Laborel-Deguen, 1986) en Tunisie. En Europe, l'espèce est connue principalement des côtes occidentales de la Corse (Laborel-Deguen & Laborel, 1991a, b), le nord de la Sardaigne (Porcheddu & Milella, 1991 ; Doneddu & Manunza, 1992) et sur l'île de Pantelleria (Giaccone *et al.*, 1973) dans le canal de Sicile. Sur les côtes continentales françaises, l'espèce semble avoir disparu (Laborel-Deguen & Laborel, 1991a) ; aucune signalisation n'y a été faite après celle de Picard en 1954 (com. pers. *in* Laborel-Deguen & Laborel, 1991a).

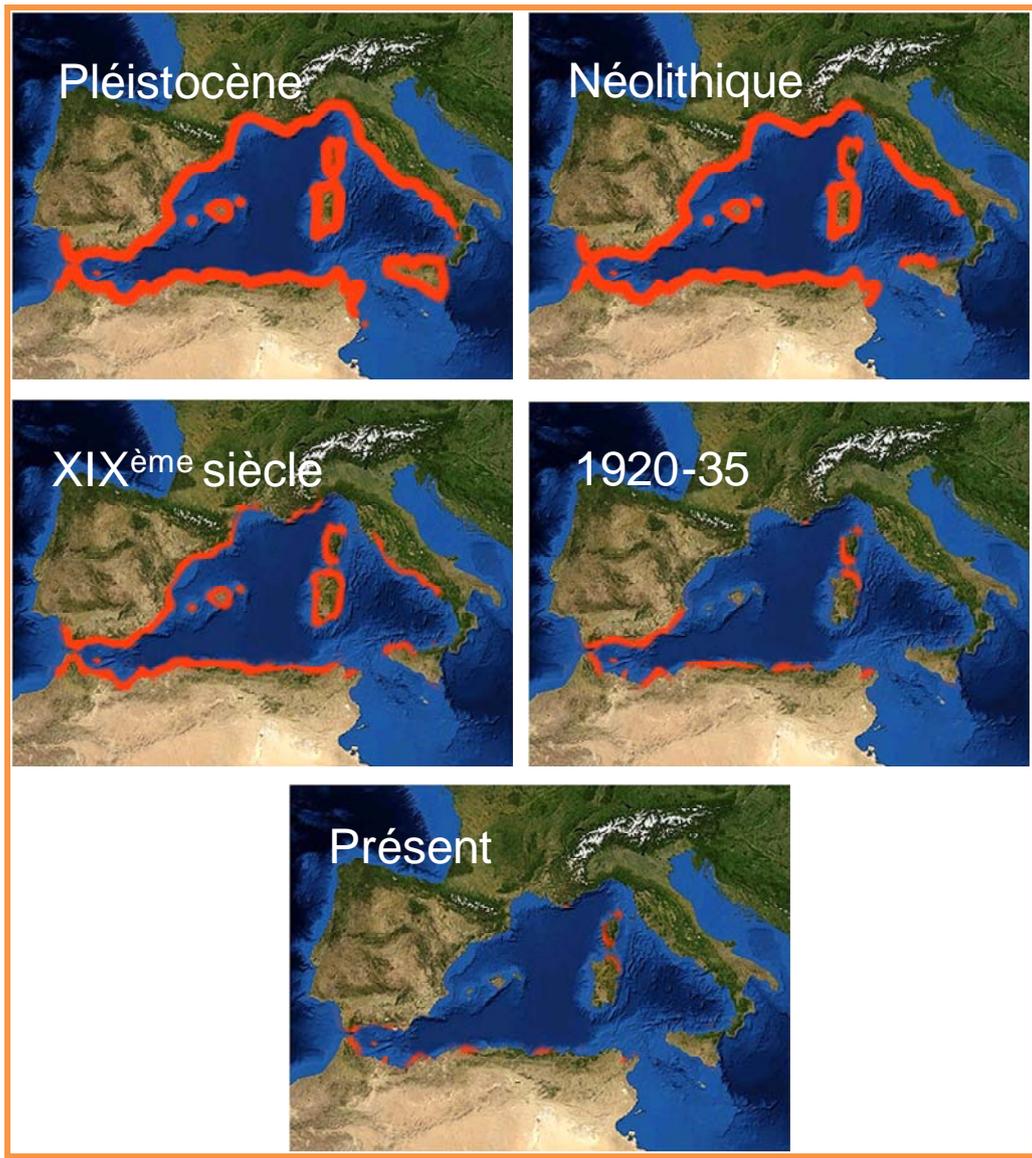


Figure 1 : Evolution temporelle de la distribution de *Patella ferruginea* en Méditerranée Occidentale (Laborel-Deguen & Laborel, 1991a).

En Italie, l'espèce a été signalée sur le littoral continental de la Toscane (Curini-Galletti, 1979 ; Terreni, 1981 ; Biagi & Poli, 1986) ainsi que sur les îles Egadi, près de la Sicile (Giaccone et Sortino, 1974). Les populations de la Corse et de la Sardaigne montrent une nette régression (Porcheddu & Milella, 1991 ; Laborel-Deguen & Laborel, 1993 ; Laborel-Deguen *et al.*, 1993). En Méditerranée Orientale, *P. ferruginea* a été signalée en Alexandrie (Egypte) et en Grèce (Bucquoy *et al.*, 1887-1888 ; Carus, 1893 ; Pallary, 1900) mais cette présence n'y a jamais été confirmée et paraît de ce fait douteuse (voir Laborel-Deguen & Laborel, 1990). En Espagne, cette patelle s'étendait depuis le Détroit de Gibraltar jusqu'au Cabo de Gata. Actuellement, elle a pratiquement disparu des côtes de la Péninsule Ibérique (Templado & Moreno,

1997 ; Templado, 2001 ; Templado *et al.*, 2004) ; les seules populations qui se maintiennent aujourd'hui se trouvent sur l'île d'Alboran (Paracuellos *et al.*, 2003), Sebta (Guerra-García *et al.*, 2004a ; Espinosa *et al.*, 2009a), Melilla et les îles Chafarines (obs. per. ; Templado *et al.*, 2004 ; Guallart *et al.*, 2006). En conclusion, on peut confirmer que *P. ferruginea* a entièrement disparu des côtes continentales européennes, excepté la population de la baie d'Algésiras (Espinosa *et al.*, 2005) et les petits noyaux recensés sur le littoral andalous (cf. Moreno & Arroyo, 2008). Au total, le nombre de spécimens que ces auteurs ont rapportés pour la Péninsule Ibérique ne dépasse pas 700 individus, auxquels s'ajoutent 364 exemplaires recensés sur l'Île d'Alboran en 2007.

L'habitat de l'espèce ne semble pas bien défini ; Pérès & Picard (1964) l'ont inféodée à l'étage médiolittoral supérieur des côtes rocheuses, alors que Biagi & Poli (1986) la situent dans l'étage supralittoral. D'un autre côté, peu d'études ont porté sur la caractérisation de l'habitat où vit l'espèce ainsi que les relations qui existent entre l'espèce et son habitat. Toutefois, *P. ferruginea* a été associée à la ceinture (horizon) de *Chthamalus stellatus* (Poli, 1795 ; Doneddu & Manunza, 1992), au lichen *Verrucaria symbalana* Nylander (Biagi & Poli, 1986) et, sur le plan trophique, à l'espèce *Ralfsia verrucosa* (Areschoug), aux Cyanophycées épilithique et à *Rissoella verruculosa* (Bertoloni) (Laborel-Deguen & Laborel, 1991b). Traditionnellement, la présence de l'espèce est associée à des eaux propres, battues y bien oxygénées (Aversano, 1986 ; Laborel-Deguen & Laborel 1991b ; Porcheddu & Milella, 1991). Elle est très sensible à l'augmentation de la turbidité et à la diminution des niveaux d'oxygène dans la colonne d'eau. C'est aussi l'espèce de Patelles la moins tolérante à la contamination (Espinosa *et al.*, 2007). Paradoxalement, les densités les plus élevées du littoral de Sebta, observées à l'intérieur de l'enceinte du port (Guerra-García *et al.*, 2004a, b), trouvent leur explication dans les particularités (hydrodynamisme fort et renouvellement accru de la colonne d'eau) que présentent ce port par rapport aux ports conventionnels (cf. Guerra-García & García-Gómez, 2005).

Sa typologie sexuelle et reproductive (hermaphrodisme protandre¹ et fécondation externe) est à la base de sa situation actuelle alarmante. Elle constitue une claire illustration de l'effet Allee² sur ce type d'espèces (Courchamp *et al.*, 2008), en rapport directement avec l'incidence sélective sur les individus de grande taille que l'Homme a infligée à l'espèce depuis plus de 70 000 ans (cf. Espinosa, 2006 ; Espinosa *et al.*, 2006 ; 2009a). Cette pression est soldée, actuellement, par une diminution considérable des populations de l'espèce (Fig. 1), un déséquilibre notable du sex-ratio chez les populations survivantes, une augmentation de l'isolement génétique entre ses populations et une régression accélérée des effectifs des noyaux reliques qui se maintiennent tel l'exemple de la population de Corse (Laborel-Deguen *et al.*, 1993).

Devant une telle situation, une prise de conscience, de plus en plus accrue, s'est manifestée chez les institutions internationales et s'est traduite par l'adoption de mesures fortes de conservation et l'intensification notable des études sur cette espèce. En effet, l'espèce est protégée par la loi en France par l'arrêté du 26 novembre 1992, interdisant son ramassage, son transport et sa vente. En Espagne, une stratégie de conservation de *Patella ferruginea* a été adoptée récemment (Conférence Sectorielle de l'Environnement du 30 mai 2008) par le Ministère de l'Environnement, du Milieu Rural et Marin.

Ayant une fécondation externe, des seuils minimums de densité des populations sont nécessaires pour que la probabilité de rencontre des gamètes soit à même d'engendrer une fécondation efficace qui assurerait le succès du recrutement. C'est ce recrutement annuel qui garantit le futur des différentes populations, de manière qu'une diminution annuelle de la quantité de juvéniles peut se traduire par un déclin progressif de la population. D'autre part, le recrutement subit d'importantes variations interannuelles (Guallart *et al.*, 2006) qui se répercutent sur la structure démographique de la population. Il est donc essentiel d'étudier le recrutement larvaire chez *Patella ferruginea*, ainsi que les facteurs qui l'affectent en vue de concevoir des mesures efficaces de conservation. Par ailleurs, Paracuellos *et al.*

¹Caractéristique de certaines espèces hermaphrodites (animales ou végétales) dont les individus acquièrent les caractères sexuels mâles et femelles à différents moments : Mâle puis femelle, on parle alors de *protandrie* ; Femelle puis mâle, on parle alors de *protogynie*.

² De faibles densités de population peuvent créer une spirale d'extinction, là où de faibles densités conduisent à une fertilité de plus en plus réduite. Cet effet est nommé effet Allee.

(2003) estiment qu'il est d'un grand intérêt de décrire et de quantifier la structure des populations de *Patella ferruginea* là où elle subsiste encore.

La présente étude, réalisée dans le cadre de l'Initiative PIM (Petites Îles de Méditerranée), vise à quantifier et à décrire la population de *P. ferruginea* dans l'Archipel de Zembra, avec comme objectif majeur de définir le statut actuel de la population de *Patella ferruginea* sur ce site et, de déterminer, par le biais de comparaison avec les études antérieures, l'évolution et la tendance démographique actuelle de cette population. En outre, cette étude s'inscrit dans un cadre plus général d'amélioration des connaissances sur les populations de *P. ferruginea* qui se maintiennent, pour implémenter des mesures de conservation qui tenteront à remédier à la situation critique de l'espèce ; une situation qui frôle l'extinction dans de nombreuses enclaves en Méditerranée Occidentale.

METHODOLOGIE

L'analyse démographique des populations de *Patella ferruginea* se base habituellement sur la prospection de quatre transects linéaires de 100 m placés parallèlement à la côte quand les populations sont peu abondantes (Espinosa *et al.*, 2009b) comme en Sicile, les îles Egadi et l'île de Pantelleria (Tabl. 1, Fig. 2, 3A et B). Sur les îles Egadi, les sites de prospection coïncident avec des zones préalablement étudiées par Giaccone & Sortino (1974) où ces auteurs ont recensé des spécimens de la même espèce ; ceci a permis une comparaison directe entre les deux situations. Comme la population de l'Archipel de Zembra est plus ou moins dense (Boudouresque & Laborel-Deguen, 1986), nous avons effectué des transects de 10 m parallèlement à la côte dans différents secteurs (figure 3C ; figure 4) selon la méthodologie de Laborel-Deguen & Laborel (1991a) et de Guerra-García *et al.* (2004a). En vue de diminuer la variabilité intra-habitat, ces transects étaient distants de 10 m. Une étude morphométrique détaillée a été réalisée, en mesurant à l'aide d'un pied à coulisse la longueur de l'axe antéropostérieur ; une attention particulière a été dédiée aux juvéniles. Les données obtenues ont été soumises par la suite à une analyse statistique selon la méthodologie de Espinosa *et al.* (2009a). Les différences entre les moyennes ont été testées à l'aide du test de l'Analyse de Variance à un facteur 'one-way ANOVA'. Les différences entre groupes ont été analysées *a posteriori* en utilisant le test SNK (Student-Newman-Keuls). La réduction des informations à des statistiques descriptives simples, comme la taille moyenne, la médiane, etc., diminue l'information disponible qui permet d'établir des comparaisons (Sagarin *et al.*, 2007). Aussi, une analyse multivariée a été réalisée à l'aide de l'analyse de proximité MDS (non-metric multidimensional scaling) en se basant sur la méthode UPGMA (Unweigh pair Group using arithmetic averages) et l'indice de similarité de Bray-Curtis pour tester les différences dans la structure de taille entre les sites prospectés. L'identification d'éventuels assemblages, statistiquement significatifs, issus de l'analyse d'ordination MDS, a été réalisée à l'aide du test de SIMPROF ($p < 0,05$). La qualité de l'ordination issue de l'analyse MDS, a été effectuée en considérant le coefficient de stress de Kruskal (Kruskal & Wish, 1978). L'analyse de variance et les analyses multivariées ont été réalisées, respectivement, à l'aide des programmes SPSS et PRIMER[®] 6.0.

Tableau 1 : Coordonnées géographiques des sites prospectés. Voir figures 3 A et B pour correspondance des numéros.

Sites prospectés	Coordonnées géographiques
A : Îles Egadi & Sicile	
1.- Punta Mugnona	37°59'30,07"N 12°01'43,27"E
2.- Grotta Presepe	37°59'03,70"N 12°02'10,01"E
3.- Punta. Sottile	37°56'04,70"N 12°16'16,72"E
4.- Prevetto	37°55'00,25"N 12°18'20,32"E
5.- Marsala	37°48'07,71"N 12°25'28,56"E
6.- Punta. Parrino Sibiliana	37°43'10,44"N 12°28'00,19"E
7.- Granitola Torretta	37°34'35,10" 12°38'57,89"E
8.- Sciacca	37°29'42,44"N 13°01'24,21"E
B : Île de Pantelleria	
1.- Punta. Frama	36°48'05,52"N 11°55'39,28"E
2.- Porto Scauri	36°46'06,25"N 11°57'45,29"E
3.- Punta Rosso di Nica	36°44'38,50"N 11°59'09,78"E
4.- Punta Tracina	36°47'59,70"N 12°03'06,50"E
5.- Bue Marino	36°50'20,14"N 11°57'35,56"E

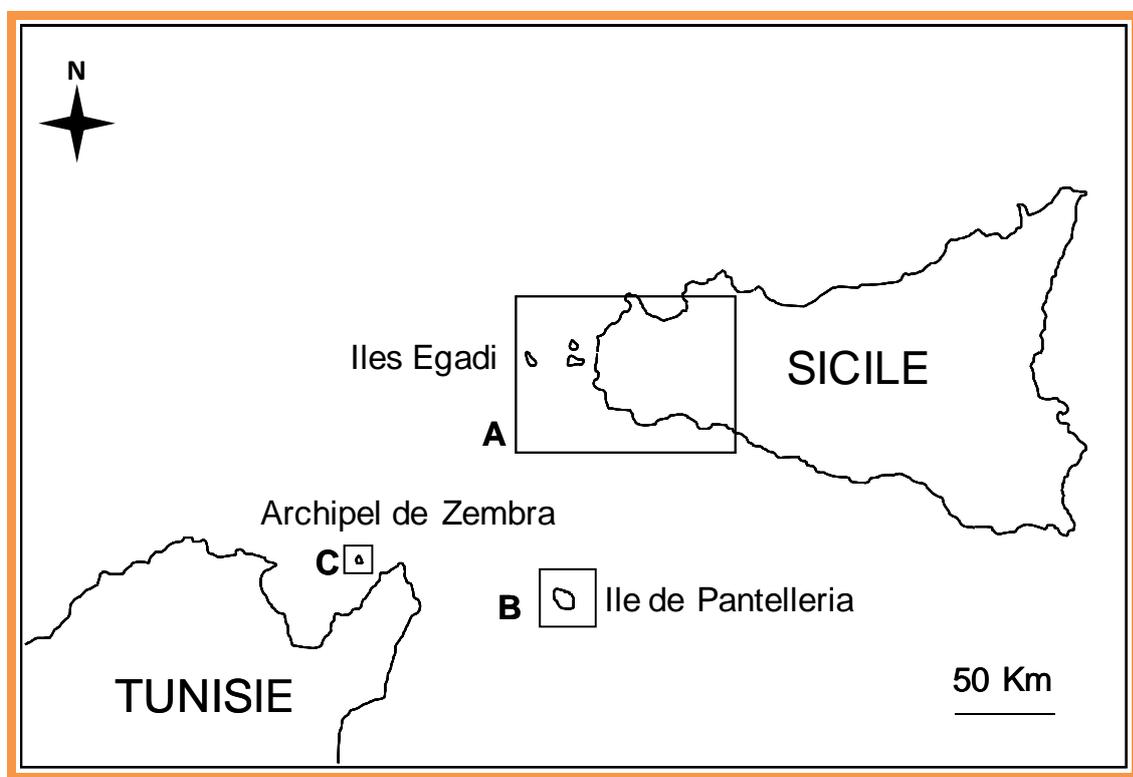


Figure 2 : Situation géographique des îles prospectées. A : Îles Egadi et Sicile ; B : Île de Pantelleria ; C : Archipel de Zembra.

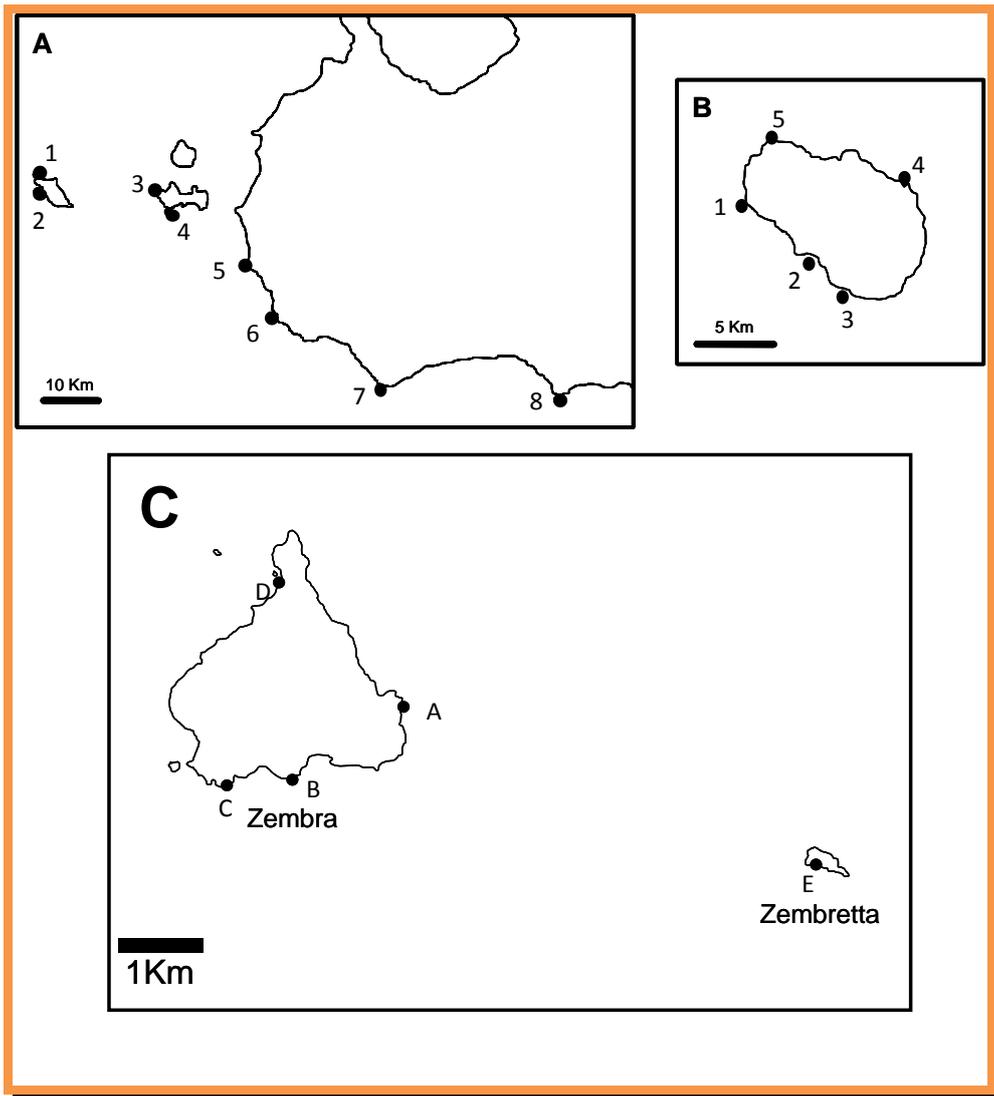


Figure 3 : Cartes détaillées des îles prospectées. Les points en noir correspondent aux stations d'échantillonnage.



Figure 4 : Transect linéaire de 10 m situé parallèlement à la côte.

RESULTATS

Sur les îles Egadi, au total 10 individus de *P. ferruginea* ont été recensés ; sept sur l'île de Marettimo et trois sur celle de Favignana. Dans le cas de Marettimo, quatre des individus recensés se localisent dans la zone de Punta Mugnona (tailles de 4,4, 5,2 et 6,5 cm) et trois dans la zone de Grotta Preseppe (5, 5,5 et 6,5 cm), alors que sur l'île Favignana, les trois individus se situent au niveau de Punta Sottile avec des tailles de 2,1, 3 et 4,6 cm. Sur l'île de Pantelleria seul un individu d'une taille de 1,9 cm a été rencontré dans la zone de Punta Rosso di Nica. Sur le littoral de la Sicile, aucun exemplaire de *Patella ferruginea* n'a été observé sur les quatre localités prospectées.

Autour de l'archipel de Zembra, 850 exemplaires de *Patella ferruginea* ont été recensés et mesurés dans les cinq sites prospectés. Les tailles enregistrées varient entre 0,3-8,8 cm avec une moyenne de $4,29 \pm 2,26$ cm (Tabl. 2). La distribution de fréquences de taille de la population totale est bimodale, avec un premier mode autour de la taille de 1-2 cm et un second autour de 5-6 cm (Fig. 5). Cette distribution est asymétrique vers la droite, justifiée par la grande abondance des spécimens de classes de taille plus élevées (Tabl. 2).

Tableau 2 : Résumé des statistiques des tailles de Patella ferruginea enregistrées à Zembra et Zembretta. Skew et Kurtosis sont considérés significatifs si leur valeur absolue est supérieure à 2 x S.E. ; (%) fait référence au pourcentage des recrues (taille inférieur à 3cm) dans la population. (Max) Maximum ; (Min) Minimum, (Moy.) Moyenne ; (S.D.) Ecartype

N	(%)	Max	Min	Moy.	E.T.	Skew	S.E. Skew	Kurtosis	S.E. Kurtosis	Type
850	27,17	8,8	0,3	4,29	2,26	-0.353*	0.084	-1.127*	0.168	Platykurtic

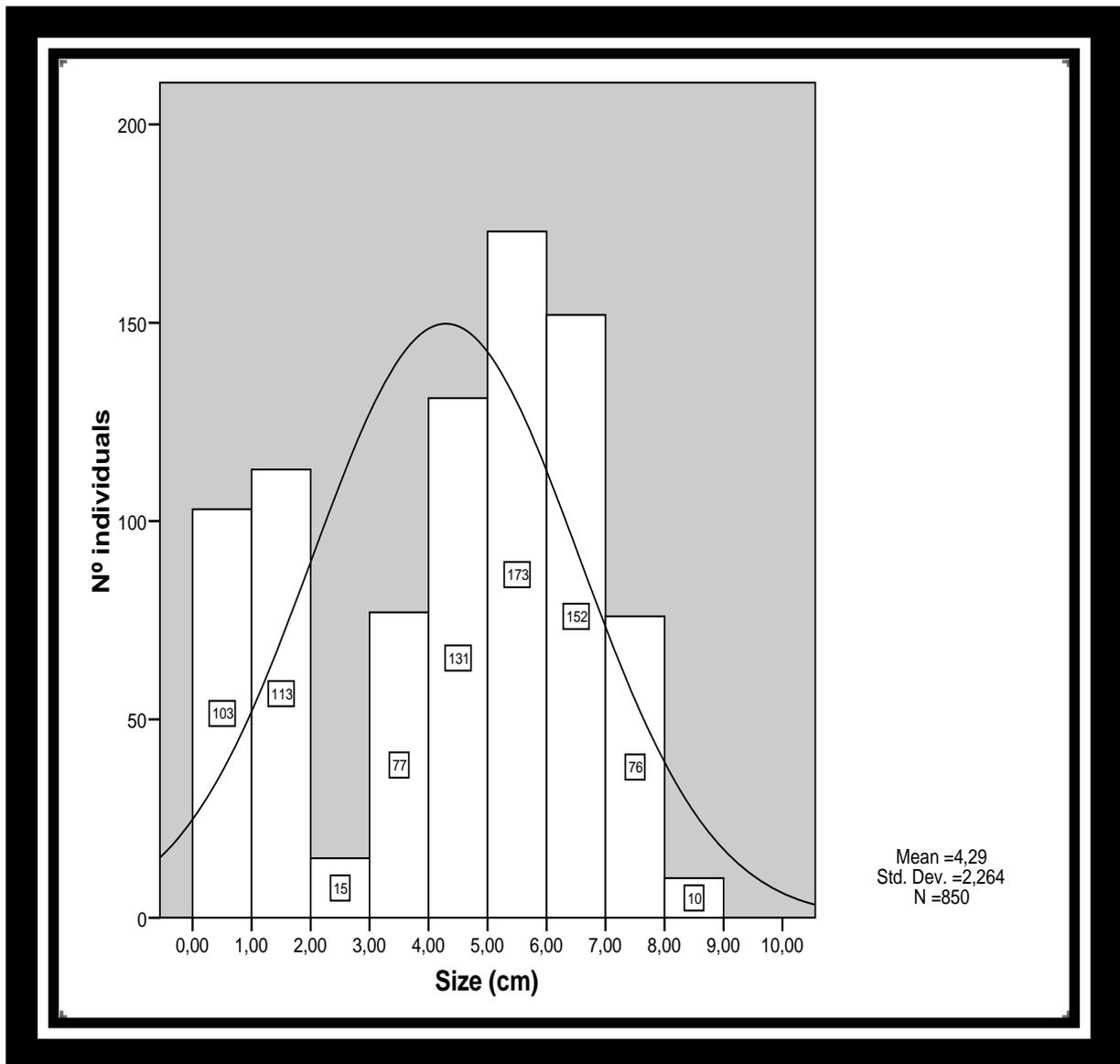


Figure 5 : Fréquences de tailles des individus mesurés sur l'Archipel de Zembra.

Une grande variabilité a été observée dans chaque site avec des densités comprises entre 1,4 et 5,41 ind./m (Tabl. 3). Toutefois, outre ces différences de densités, les histogrammes de fréquences de taille sont similaires entre les sites (type bimodal), soulignant, simultanément, une présence importante des juvéniles et d'adultes de grande taille (Fig. 6). L'analyse MDS (Fig. 7) montre une similitude significative entre le secteur ouest (site D) de Zembra et l'îlot de Zembretta (site E). Les sites C et B, situés tous deux dans le secteur sud de Zembra apparaissent séparés du reste. L'analyse SIMPROF révèle l'absence de groupes significativement différents.

Tableau 3 : Sites d'échantillonnage et longueur de la côte prospectée au niveau de chaque site de l'Archipel de Zembra.

Site	Nb. transects	Longueur côte (m)	Nb. Individus	Densité (ind./m)
A	5	50	142	2,84
B	6	60	84	1,4
C	5	50	78	1,56
D	6	60	325	5,41
E	10	100	221	2,21

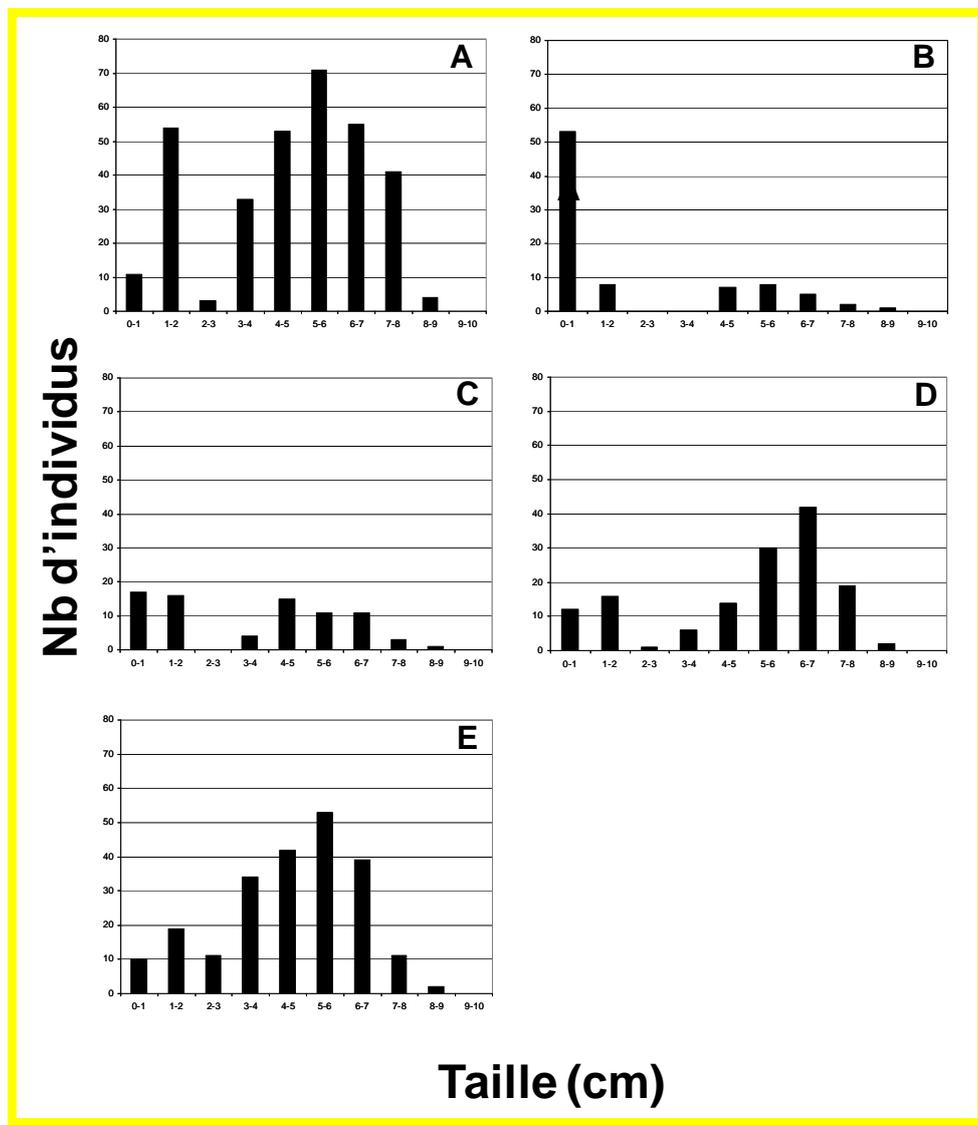


Figure 6 : Histogrammes de fréquences de taille de *Patella ferruginea* dans les différents sites prospectés. Les lettres sont en correspondance avec la carte de la figure 1.

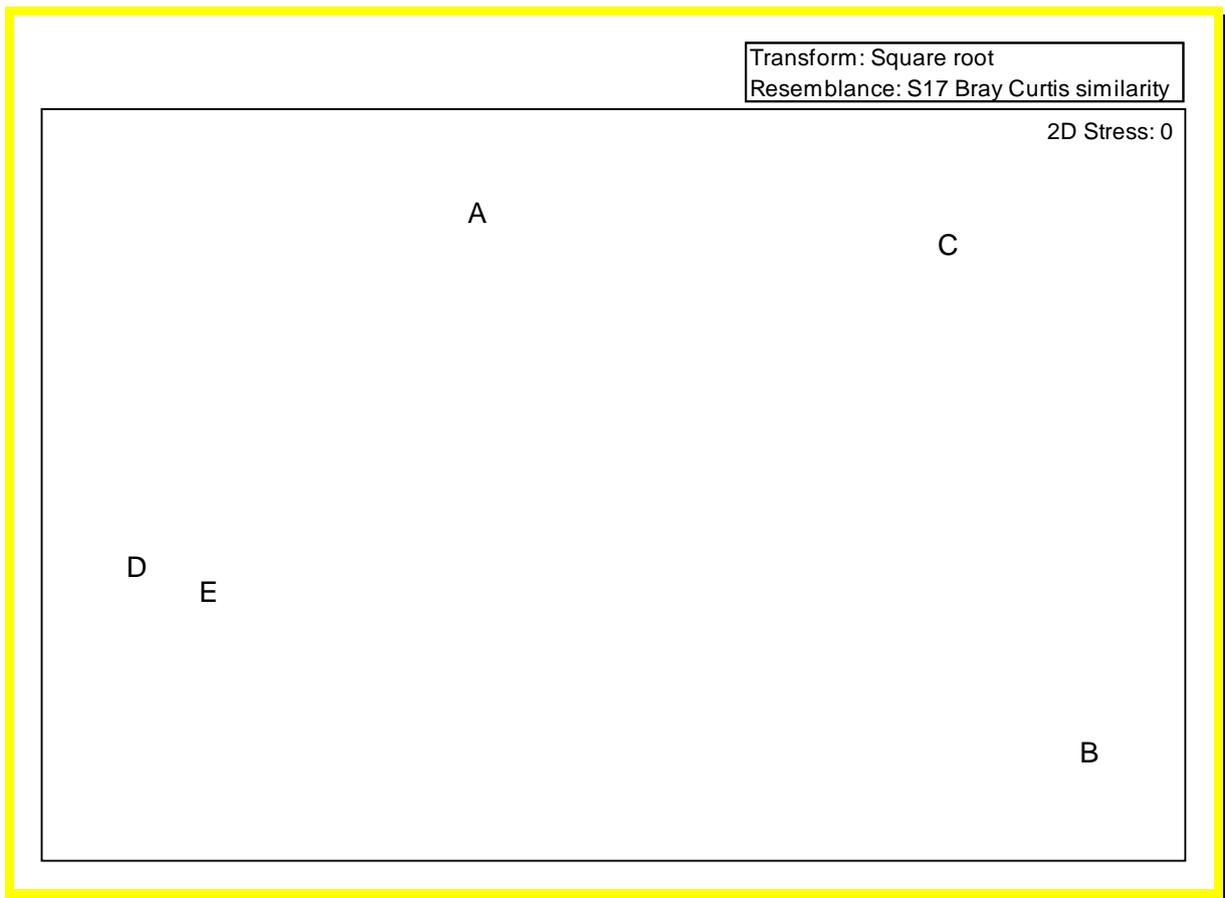


Figure 7 : Résultats de l'analyse de proximité MDS utilisant l'indice de Bray-Curtis.

L'analyse de l'évolution historique de la population de *Patella ferruginea* à Zembra indique une augmentation de la taille moyenne, qui passe d'un histogramme avec un mode situé dans l'intervalle 2-3 cm en 1986, à un mode dans l'intervalle 4-5 cm en 2003 et finalement à un mode dans l'intervalle 5-6 cm en 2009 (Fig. 8).

Toutefois, il convient de noter que dans les études antérieures la présence des juvéniles était très basse alors qu'en 2009 une grande quantité de juvéniles a été enregistrée dans les tailles situées entre 0,1 et 1,2 cm (spécimens immatures sexuellement). La taille moyenne des spécimens adultes (sexuellement matures > 2cm) passe de 4,4 en 1986 à 5,2 en 2009 (Tabl. 4), montrant des différences significatives (test ANOVA : $F_{2, 927}=16,95$; $p<0,001$). Le test SNK permet d'identifier trois groupes significativement distincts en rapport avec la taille moyenne (2009>2003>1986).

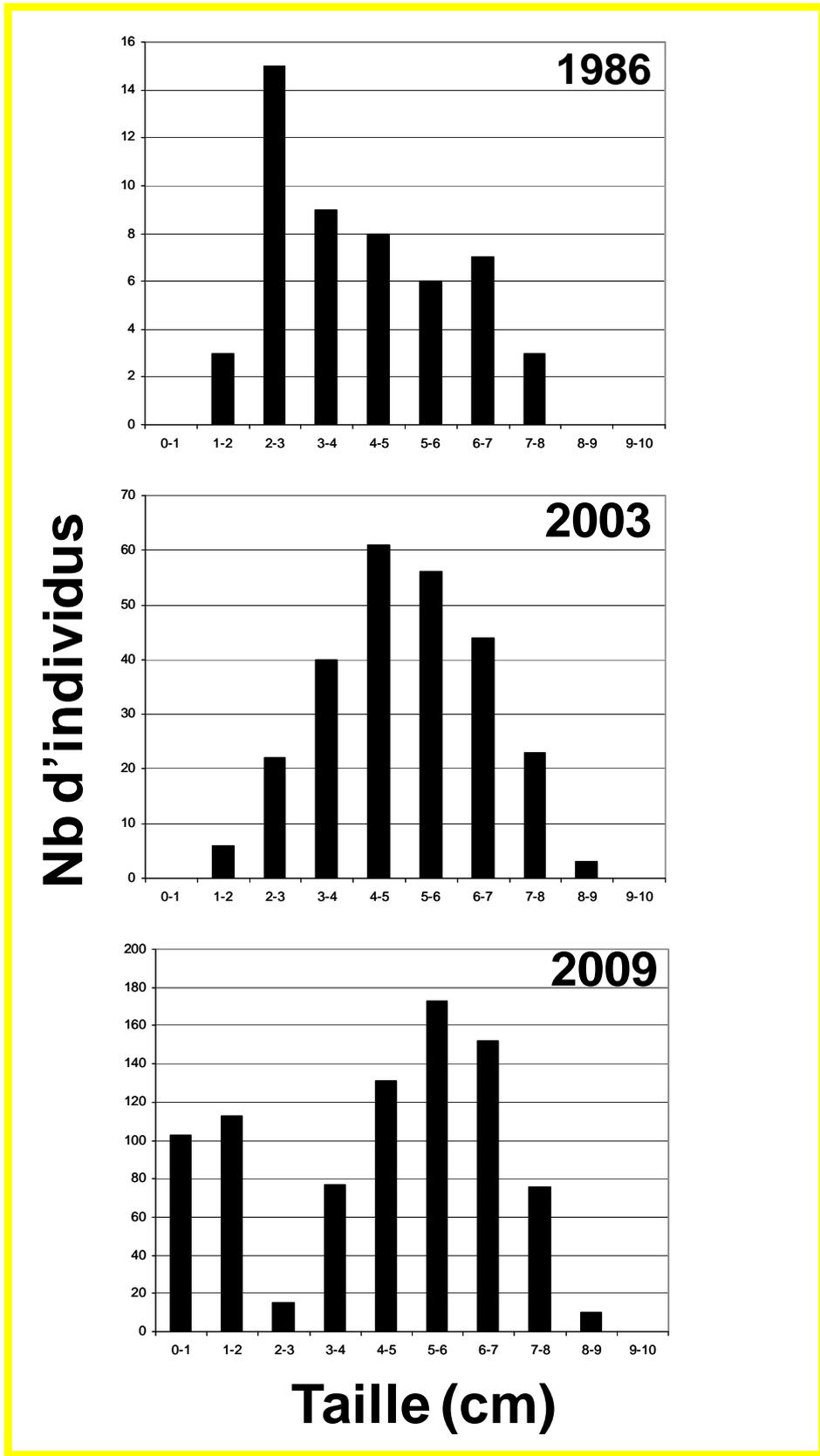


Figure 8 : Evolution des Fréquences de taille de *Patella ferruginea* autour de l'île de Zembra entre 1986 (adapté de Boudouresque & Laborel-Deguen, 1986), 2003 (adapté de Limam et al., 2004) et 2009 (présente étude).

Tableau 4 : Evolution de la population de *Patella ferruginea* sur l'Archipel de Zembra. Données issues de ^(a) Boudouresque & Laborel-Deguen (1986) ; ^(b) Limam et al. (2004) et ^(c) présente étude.

Année	Densité (Ind./m)	N	Moyenne (cm)	Moyenne (>2 cm)
1986 ^(a)	0,7 ind./m	51	4,2	4,4
2003 ^(b)	1,01 ind./1600cm ²	255	4,77	5,04
2009 ^(c)	2,65 ind./m	850	4,29	5,42

Au final, en prenant pour base une densité moyenne de 2,65 ind./m (présente étude), d'une part, et la longueur de côte de Zembra (11 600 m y compris les îlots de la Cathédrale et l'Antorcho) et de Zembretta (environ 1 400 m), la population totale de *Patella ferruginea* autour de l'Archipel de Zembra est estimée, en 2009, à 34 450 individus (30 740 à Zembra et 3 710 à Zembretta). Toutefois, Boudouresque & Laborel-Deguen (1986) ont évalué à 3 fois le facteur de multiplication qu'il convient d'appliquer à la longueur de la côte mesurée sur carte pour tenir en compte les indentations de la côte d'ordre métrique. Ainsi, ces mêmes auteurs, en prenant en considération une densité moyenne de 0,7 individus/m et la multiplication de la longueur de la côte (10 000 m) par un facteur de 3, ont estimé que la population de *Patella ferruginea* de Zembra en 1986 était constituée d'environ 20 000 individus. En 2009, si l'on adopte la même démarche que Boudouresque & Laborel-Deguen (1986) et l'on considère ce facteur de multiplication par 3, la population de *P. ferruginea* s'élèverait à 92 220 individus sur l'île de Zembra et à 11 130 individus sur Zembretta, soit un total de 103 350 individus pour l'Archipel de Zembra.

DISCUSSION

Les investigations menées sur les côtes italiennes ont révélé que *Patella ferruginea* a complètement disparu des côtes siciliennes, même si des spécimens, originaires de Palermo, existent dans le Muséum Nationale d'Histoire Naturelle de Paris (Collection Locard) (*in* Laborel-Deguen & Laborel, 1991a). Sur les îles Egadi, Gioccone & Sortino (1974) ont mentionné la présence de *P. ferruginea* sur l'île de Marettimo et de Favignana avec une abondance II, sur une échelle de I à IV, i.e. peu abondante mais pas rare. La présence de 10 exemplaires seulement sur les quatre sites prospectés (4 transects par site = 1600 m de côte approximativement) permet de la classer comme une espèce très rare actuellement sur les îles Egadi. Ces mêmes auteurs la signalent sur l'île de Pantelleria mais serait réduite actuellement à très peu d'exemplaires. Il s'agirait dans les deux cas, d'exemplaires isolés qui ne constituent en aucun cas des populations reproductrices. Il est presque certain que ces individus proviennent d'apports larvaires produits dans des zones éloignées comme le littoral algérien et tunisien.

Les densités observées autour de l'archipel de Zembra (2,65 ind./m) comptent parmi les plus élevées en Méditerranée. Ce constat en fait un 'hot spot' si l'on considère les données disponibles dans la littérature : 0,79 ind./m en Corse (Laborel-Deguen & Laborel, 1991a), 0,06 ind./m sur l'île d'Alboran (Paracuellos *et al.*, 2003), 0,23 ind./m sur l'îlot de Cala Iris, Parc National d'Al Hoceima - Maroc (Bazairi *et al.*, 2004), 0,08-0,14 ind./m dans la baie d'Algésiras, Espagne (Espinosa *et al.*, 2005), 3,95 ind./m sur les îles Chafarines (Adultes uniquement > 3cm) (Guallart *et al.*, 2006), 5,39 ind./m à Melilla (González-García *et al. in* Guallart *et al.*, 2006), 0,67 ind./m en moyenne à Sebta (Guerra-García *et al.*, 2004a) avec diverses zones présentant des valeurs de 1,86-6,86 ind./m (Espinosa *et al.*, 2009a). Les résultats obtenus sur l'Archipel de Zembra contrastent avec les valeurs obtenues sur le littoral continental tunisien, où l'espèce est présente de forme relativement importante au Cap Bon, avec une densité de 0,16 ind./m, mais rare sur le reste du littoral (Espinosa *et al.*, 2009c). De plus, la taille moyenne sur le littoral tunisien est plus basse (2,33 cm ; Espinosa *et al.*, 2009c), par rapport à 4,29 cm rencontrée sur Zembra (présente étude). Précisément, Espinosa *et al.*, (2009c) ont indiqué que les exemplaires recensés au Cap Bon proviennent de Zembra qui a un rôle important dans la dissémination des larves. Avec les données obtenues dans la présente étude, on peut affirmer que la réserve

marine de Zembra constitue un sanctuaire authentique pour *Patella ferruginea* dans la zone la plus orientale de la Méditerranée Occidentale et qu'elle constitue probablement le foyer reproducteur qui permet de maintenir la présence de spécimens dans toute la zone du Canal de Sicile (îles Egadi, île de Pantelleria et Cap Bon). Les courants superficiels coulent de l'ouest en est parallèlement à la côte nord-africaine depuis l'ouest de l'Algérie jusqu'au Canal de Sicile (Arnone *et al.*, 1990 ; Perkins & Pistek, 1990 ; Robinson *et al.*, 2001) et seraient responsables du transport des larves produites à Zembra jusqu'aux îles Egadi, à l'île de Pantelleria et au Cap Bon. Des études génétiques pourraient confirmer cette hypothèse.

D'un autre côté, la distribution de *Patella ferruginea*, présente tout le long du littoral de l'Archipel de Zembra, montre que l'espèce est moins abondante dans la zone sud, comme l'ont souligné Limam *et al.* (2004). Toutefois, ces auteurs, indiquaient que la population de l'île de Zembretta était moins abondante que celle de Zembra, justifié par un habitat non approprié pour l'espèce à Zembretta. Toutefois, les résultats obtenus dans la présente étude indiquent que la densité et l'état de santé de la population de Zembretta est similaire à celle de Zembra (densité de 2,21 contre 2,8 ind./m à Zembra, Tabl. 3) avec une distribution de tailles similaire et non significativement distincte de celle de Zembra (test SIMPROF). Cette différence entre les deux études peut être attribuée au fait que Limam *et al.* (2004) ont considéré un seul point de prospection dans la zone sud de Zembretta avec neuf répliqués de 0,16 m², alors que dans la présente étude, 10 transects, répartis sur tout le périmètre de l'île (zone sud, nord et ouest), ont été établis, ce qui a donné une image plus proche de la réalité.

Le statut de protection de Zembra en tant que réserve marine depuis 1973, considérée comme réserve de biosphère depuis 1977 par l'UNESCO, paraît être le facteur responsable de la récupération et la tendance positive de la population de *Patella ferruginea* observée si l'on compare les données issues des différentes études réalisées en 1986 (Boudouresque & Laborel-Deguen, 1986), en 2003 (Limam *et al.*, 2004) et en 2009 (présente étude). Cette tendance positive se traduit par un accroissement significatif, depuis 1986, aussi bien de la densité que de la taille moyenne. On rappellera que le travail réalisé par Limam *et al.* (2004) s'est appuyé sur des quadrats au lieu de transects linéaires, ce qui rend difficile d'établir des

comparaisons. En effet, ces auteurs comparent leurs données avec ceux de Boudouresque & Laborel-Deguen (1986), en considérant que ces derniers auteurs, ont utilisé comme unité de mesure des quadrats de 2 m². Toutefois, le travail de Boudouresque & Laborel-Deguen (1986) indique que ces auteurs ont utilisé des transects linéaires de 2 m et non des quadrats. D'autre part, Limam *et al.* (2004) n'ont pas spécifié si les quadrats étaient posés de manière aléatoire ou dans des endroits où s'observaient des spécimens de *Patella ferruginea*. Par ailleurs, l'effort d'échantillonnage était très différent selon les sites, avec des zones où un seul quadrat a été utilisé et des zones avec 30 quadrats. Tout cela rend difficile l'établissement de comparaisons directes avec ce travail, et plus particulièrement en ce qui concerne les densités ; la taille moyenne n'est pas affectée par ces facteurs.

L'accroissement de la taille moyenne chez la population de *Patella ferruginea* sur l'Archipel de Zembra est une illustration de l'effet Réserve. En effet, en rapport avec sa typologie sexuelle (changement de sexe avec l'âge et donc la taille : mâle puis femelle), *Patella ferruginea* est extrêmement vulnérable à la récolte, puisque l'élimination des individus de grande taille, mature sexuellement (Espinosa *et al.*, 2006), et des femelles dans une proportion élevée pourrait conduire à un effondrement du potentiel reproductif de l'espèce. Dans ce sens, les études les plus récentes sur les pêcheries ont démontré que l'exploitation des femelles les plus âgées et de grande taille peut avoir des répercussions disproportionnelles chez les populations (Berkeley *et al.*, 2004 ; Palumbi, 2004) et que la capture de patelles de grande taille des populations sauvages peut être préjudiciable si ces spécimens contribuent de manière importante dans l'effort reproducteur de ces populations (Keough *et al.*, 1993), comme pour le cas de *Patella ferruginea* (voir Espinosa *et al.*, 2006). Tant chez les poissons que chez les invertébrés, l'effet Réserve montre une augmentation de la taille moyenne des individus (Edgar y Barrett, 1999). D'autre part, le maintien des stocks à l'intérieur des aires de la réserve permet de générer de 10 à 150 fois plus du potentiel reproducteur que les zones assujetties à des activités de récolte. Ainsi, ces zones se convertissent en sources de juvéniles pour des aires distantes comme a été démontré chez l'espèce *Cymbula oculus* (Branch et Odendaal, 2003). L'accroissement de la taille moyenne depuis 1986 jusqu'à 2009 a pu permettre un équilibre du sex-ratio et un potentiel reproducteur élevé chez la population.

Un autre aspect important est en relation avec le recrutement. Le pourcentage des exemplaires < 3 cm est de 27,17%, très proche du 32,75% enregistré sur les îles Habibas en Algérie qui présente un grand potentiel reproducteur (Espinosa ,2009). Pour leur part, les importantes populations de *Patella ferruginea* à Sebta présentent des valeurs situées entre 26,96 et 33,89% (Espinosa *et al.*, 2009a). Ceci indique que la population de Zembra présente un bon recrutement qui garantit la survie à long terme de l'espèce dans les conditions actuelles. La faible présence de juvéniles dans les études de 1986 et 2003 peut bien être attribuée à des variations interannuelles du recrutement, qui sont très importantes chez l'espèce ou que les juvéniles n'ont pas été détectés. Il faut tenir compte que ces juvéniles sont parfois difficiles à observer et on ne peut écarter qu'ils aient été négligés dans les études antérieures, spécialement parce que tous les travaux ont été réalisés en mai – juin, période qui coïncide avec le moment où les juvéniles commencent à être détectables (Espinosa *et al.*, 2006). Ainsi, il ne convient pas d'attribuer à l'époque de l'année les différences observées entre les divers travaux.

CONCLUSIONS

- 1) *Patella ferruginea* est en voie d'extinction dans les îles Edagi et à l'île de Pantelleria où subsistent encore quelques individus isolés provenant d'autres populations, probablement celles situées à Zembra.
- 2) La densité et la distribution de taille de la population de *Patella ferruginea* de l'Archipel de Zembra indiquent qu'il s'agit d'une population reproductrice, viable et qui correspond à un 'hot spot' en Méditerranée.
- 3) Les populations de la zone sud de l'île de Zembra sont les moins denses en comparaisons avec la zone ouest et est ; alors que l'île de Zembretta héberge une population importante de *Patella ferruginea*, avec des densités et tailles similaires à celles observées sur l'île de Zembra.
- 4) L'évolution de la population depuis 1986 jusqu'à 2009 témoigne d'une tendance à l'augmentation de la taille moyenne et de la densité, renforçant ainsi son potentiel reproducteur. Cela paraît être en relation directe avec le statut de zone protégée dont bénéficie l'archipel.
- 5) La conservation de cette espèce à Zembra est fondamentale pour maintenir les petites populations du secteur du Canal de Sicile. L'espèce disparaîtrait définitivement de ces côtes en cas d'effondrement de la population de Zembra.

REFERENCES

- Arnone, R., Wiesenburg, D. & Saunders, K. 1990. The origin and characteristics of the Algerian Current. *Journal of Geophysical Research*, 95: 1587-1598.
- Aversano, F.R. 1986. Esperimento di insediamento artificiale di *Patella ferruginea* Gmelin, 1791 nelle acque del Golfo di Arzachena (Sardegna settentrionale). *Bolletino Malacologico*, 22: 169-170.
- Bazairi, H.; Salvati, E.; Benhissoune, S.; Tunesi, L.; Rais, C.; Agnesi, S.; Benhamza, A.; Franzosini, C.; Limam, A.; Mo, G.; Molinari, A.; Nachite, D.; Sadki, I. 2004. Considerations on a population of the endangered marine mollusc *Patella ferruginea* Gmelin, 1791 (Gastropoda, Patellidae) in the Cala Iris islet (National Park of Al Hoceima-Morocco, Alboran Sea). *Bolletino Malacologico*, 40: 95-100.
- Berkeley, S.A.; Hixon, M.A.; Larson, R.J.; Love, M.S. 2004. Fisheries sustainability via protection of age structure and spatial distribution of fish populations. *Fisheries*, 29, 23-32.
- Biagi, V.; Poli, D. 1986. Considerazioni su una popolazione di *Patella ferruginea* Gmelin, 1791 per le acque del Promontorio di Piombino. *Bolletino Malacologico*, 22: 171-174.
- Boudouresque, C.F.; Laborel-Deguen, F. 1986. *Patella ferruginea*. En: Le benthos marin de l'île de Zembra (Parc National, Tunisie). Eds.: (C.F. Boudouresque, J.G. Harmelin, A. Jeudy de Grissac). GIS Posidonie Publishers, Marseille. Pp.: 105-110.
- Boumaza, S.; Semroud, R. 2001. Inventaire de la population de *Patella ferruginea* Gmelin, 1791 des îles Habibas (Ouest Algerien). *Rapport du Congrès de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée*, 36: 361.
- Branch, G.M.; Odendaal, F. 2003. The effects of marine protected areas on the population dynamics of a South African limpet, *Cymbula oculus*, relative to the influence of wave action. *Biological Conservation*, 114, 255-269.
- Bucquoy, E.; Dautzenberg, P.; Dolfus, G. 1887-1888. Les Mollusques marins du Roussillon. Tome II: Pélécytopodes, 99: 1-884.
- Carus, J.V. 1893. Prodomus faunae mediterraneae sive descriptio animalium maris mediterraneis insularum quam comparata silva rerum quatenus innocuit adiectis locis et nominibus vulgaribus eorumque auctoribus in commodum zoologorum. Vol. 2: Brachiostomata, Mollusca, Tunicata, Vertebrata. Schweizerbartsche Verlagsandlung, Stuttgart, Germany.
- Caton-Thompson, G. 1946. The Aterian Industry: Its Place and Significance in the Palaeolithic World. *The Journal of the Royal Anthropological Institute of Great Britain and Ireland*, 76(2): 87-130.
- Courchamp, F.; Berec, L.; Gascoigne, J. 2008. *Allee Effects in Ecology and Conservation*. Oxford University Press. Oxford, UK.
- Cretella, M.; Scillitani, G.; Toscano, F.; Turella, P.; Picariello, O.; Cataudo, A. 1994. Relationships between *Patella ferruginea* Gmelin, 1791 and the other Tyrrhenian species of *Patella* (Gastropoda: Patellidae). *Journal of Molluscan Studies*, 60: 9-17.
- Curini-Galletti, M. 1979. Ritrovamento di una *Patella ferruginea*. *Notiz. C.I.S.M.A.*, 1(1): 53-54.

- Doneddu, M.; Manunza, B. 1992. Valutazione dell'impatto antropico relativo alla balneazione estiva su una popolazione di *Patella ferruginea* Gmelin, 1791 del litorale di Aglientu. *Bolletino Malacologico*, 28: 161-168.
- Edgard, G.J.; Barrett, N.S. 1999. Effects of the declaration of marine reserves on Tasmanian reef fish, invertebrates and plants. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 242, 107-144.
- Espinosa, F., 2006. Caracterización biológica del molusco protegido *Patella ferruginea* Gmelin, 1791 (Gastropoda: Patellidae): bases para su gestión y conservación. Ph. D. Thesis, University of Sevilla.
- Espinosa, F. 2009. Populational status of the endangered mollusc *Patella ferruginea* Gmelin, 1791 (Gastropoda: Patellidae) in Algerian islands (SW Mediterranean). *Animal Biodiversity and Conservation*, 32: 19-28.
- Espinosa, F., Fa, D.; Ocaña, T. M. J. 2005. Estado de la especie amenazada *Patella ferruginea* Gmelin, 1791 (Gastropoda: Patellidae) en la bahía de Algeciras y Gibraltar. *Iberus*, 23(2): 39-46.
- Espinosa, F., Guerra-García, J. M., Fa, D.; García-Gómez, J. C., 2006. Aspects of reproduction and their implications for the conservation of the endangered limpet, *Patella ferruginea*. *Invertebrate, Reproduction and Development*, 49: 85-92.
- Espinosa, F., Guerra-Garcia, J.M., Garcia-Gomez, J.C. 2007. Sewage pollution and extinction risk: an endangered limpet as a bioindicator? *Biodiversity and Conservation* 16, 377-397.
- Espinosa, F., Rivera-Ingraham, G., Fa, D.; García-Gómez, J. C. 2009a. Effects of human pressure on population size structures of the endangered ferruginean limpet: towards future management measures. *Journal of Coastal Research*, 25: 857-863.
- Espinosa, F., Maestre, M., García-Gómez, J.C. 2009b. New record of distribution for the highly endangered limpet *Patella ferruginea* on the Spanish coasts. *Marine Biodiversity Records*. D.O.I.: 10.1017/S1755267209001225.
- Espinosa, F., Maestre, M., González, A.R. 2009c. *Patella ferruginea*, endemismo mediterráneo en peligro inminente de extinción. Plan de contingencia para su recuperación y estrategias de conservación de su hábitat. Programa PCI-Mediterráneo. AECID. Informe final. 49 pp.
- Fischer-Piette, E. 1959. Contribution à l'écologie intercotidale du Détroit de Gibraltar. *Bulletin de l'Institut Océanographique*, 1145: 1-32.
- Frenkiel, L. 1975. Contribution à l'étude des cycles de reproduction des Patellidae en Algérie. *Pubblicazione de la Stazione Zoologica di Napoli*, 39: 153-189.
- Giaccone, G.; Sortino, M.; Solazzi, A.; Tolomio, C. 1973. Tipologia e distribuzione estiva della vegetazione sommersa dell'Isola di Pantelleria. *Lav. Ist. Bot. Giard. Col. Palermo, Ital.*, 25: 103-119.
- Giaccone, G.; Sortino, M. 1974. Zonazione della vegetazione marina delle Isole Egadi (Canale di Sicilia). *Lav. Ist. Bot. Giard. Col. Palermo, Ital.*, 25: 166-183.
- Gualart, J., Templado, J., Calvo, M., Cabezas, P., Acevedo, I., Machordom, A. & Luque, A. A., 2006. *Inventario y seguimiento de Patella ferruginea en España*,

así como la elaboración de una propuesta de estrategia de conservación de la especie. Informe final. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

- Guerra-García, J.M.; Corzo, J.; Espinosa, F.; García-Gómez, J.C. 2004. Assessing habitat use of the endangered marine mollusc *Patella ferruginea* (Gastropoda, Patellidae) in northern Africa: preliminary results and implications for conservation. *Biological Conservation*, 116: 319-326.
- Guerra-García J.M.; Corzo J.; Espinosa F.; Fa D.; García-Gómez J.C. 2004b. Extinction risk and harbours as marine reserves? *Journal of Molluscan Studies*, 70: 116-118.
- Guerra-García, J.M.; García-Gómez, J.C. 2005. Oxygen levels versus chemical pollutants: do they have similar influence on macrofaunal assemblages? A case study in a harbour with two opposing entrances. *Environmental pollution*, 135: 281-291.
- Keough, M.J.; Quinn, G.P.; King, A. 1993. Correlations between human collecting and intertidal mollusc populations on rocky shores. *Conservation Biology*, 7, 378-390.
- Kruskal, J.B.; Wish, M. 1978. *Multidimensional Scaling*. Sage University Paper series on Quantitative Applications in the Social Sciences, number 07-011. Sage Publications, Newbury Park, CA.
- Laborel-Deguen, F.; Laborel, J. 1990. Nouvelles données sur la patelle géante *Patella ferruginea* Gmelin en Méditerranée. I. Statut, Répartition et Etude des populations. *Halictis*, 10: 41-54.
- Laborel-Deguen, F.; Laborel, J. 1991a. Statut de *Patella ferruginea* Gmelin en Méditerranée. En: Les Espèces marines à protéger en Méditerranée. Eds.: (C.F. Boudouresque; M. Avon; V. Gravez). GIS Posidonie Publishers, Marseille, pp 91-103.
- Laborel-Deguen, F.; Laborel, J. 1991b. Nouvelles observations sur le population de *Patella ferruginea* Gmelin de Corse. En: Les Espèces marines à protéger en Méditerranée. Eds.: (C.F. Boudouresque; M. Avon; V. Gravez). GIS Posidonie Publishers, Marseille, pp. 119-128.
- Laborel-Deguen, F.; Laborel, J. 1993. Appauvrissement des populations de la patelle géante *Patella ferruginea* Gmel. (Mollusca, Gastropoda, Prosobranchiata) des côtes de la Réserve Marine de Scandola (Corse du Sud) et du Cap Corse (Haute Corse). Travaux scientifique Parc naturelle région Réserve national Corse, France, 41: 25-32.
- Laborel-Deguen, F.; Laborel, J.; Morhange, C. 1993. Appauvrissement des populations de la patelle géante *Patella ferruginea* Gmel. (Mollusca, Gastropoda, Prosobranchiata) des côtes de la Réserve Marine de Scandola (Corse du Sud) et du Cap Corse (Haute Corse). *Trav. Sci. Parc nat. Rég. Rés. Nat. Corse*, Fr. 41: 25-32.
- Limam, A., Rais, C., Ramos-Esplá, A. 2004. Project regional pour le développement d'aires protégées marines et côtières dans la region méditerranéenne (Project MedMPA). Activité MP3: élaboration du plan de gestion de la partie marine du Parc National de Zembra et Zembretta. Rapport global des travaux de prospection marine. 71 pp.

- Moreno, D.; Arroyo, M.C. 2008. *Patella ferruginea* Gmelin, 1791. In *Libro Rojo de los Invertebrados de Andalucía* (ed. Barea-Azcón et al.), pp. 308-319. Sevilla: Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía.
- Pallary, P. 1900. Coquilles marines du littoral du département d'Oran. *Journal of Conchyologie*, 48: 211-503.
- Palumbi, S. 2004. Why mothers matter. *Nature*, 430, 621-622.
- Paracuellos, M.; Nevado, J.C.; Moreno, D.; Giménez, A.; Alesina, J.J. 2003. Conservational status and demographic characteristics of *Patella ferruginea* Gmelin, 1791 (Mollusca: Gastropoda) on the Alboran Island (Western Mediterranean). *Animal Biodiversity and Conservation*, 26(2): 29-37.
- Pèrés, J.M.; Picard, J. 1964. Nouveau manuel de Bionomie benthique de la Méditerranée. Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume, 31: 1-137.
- Perkins, H. & Pistek, P. 1990. Circulation in the Algerian Basin during June 1986. *Journal of Geophysical Research*, 95: 1577-1585.
- Porcheddu, A.; Mìlella, I. 1991. Aperçu sur l'écologie et sur la distribution de *Patella ferruginea* (L.) Gmelin 1791 en mers italiennes. En: Les espèces marines à protéger en Méditerranée. Eds.: (C.F. Boudouresque; M. Avon; V. Gravez). GIS Posidonie Publishers, Marseille, pp. 119-128.
- Ramos, M.A. 1998. Implementing the Habitats Directive for mollusc species in Spain. *Journal of Conchology Special Publication*, 2: 125-132.
- Robinson, A., Leslie, W., Theocharis, A. & Lascaratos, A. 2001. Mediterranean Sea Circulation. *Ocean Currents*. DOI: 10.1006/rwos.2001.0376.
- Sagarin, R.D., Ambrose, R.F., Becker, B.J., Engle, J.M., Kido, J., Lee, S.F., Miner, C.F., Murray, S.N., Raimondi, P.T., Richards, D.V. and ROE, C., 2007. Ecological impacts on the limpet *Lottia gigantea* populations: human pressure over a broad scale on island and mainland intertidal zones. *Marine Biology.*, 150, 399-413.
- Templado, J.; Moreno, D. 1997. La lapa ferrugínea. *Biológica*, 6: 80-81.
- Templado, J. 2001. *Patella ferruginea* (Gmelin, 1791). En: Los invertebrados no insectos de la Directiva Hábitats en España. Eds. (M.A. Ramos, D. Bragado, J. Fernández). Ediciones Serie Técnica, Organismo Autónomo Parques Nacionales, Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, pp. 41-49.
- Templado, J.; Calvo, M.; Garvía, A.; Luque, A.A.; Maldonado, M.; Mozo, L. 2004. Guía de invertebrados y peces marinos protegidos por la legislación nacional e internacional. Naturaleza y Parques Nacionales, Serie Técnica, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.
- Terreni, G. 1981. Molluschi conchiferi del mare antistante la costa toscana. Livorno, pp. 101.