



Étude réalisée par l'Universitat de Barcelona, dans le cadre d'un Partenariat Scientifique avec le Parc National de Port-Cros  
Contrat n° : 13-030 - 83400 PC

## Indicateurs espèces thermophobes : État des populations de la gorgone blanche *Eunicella singularis* dans le Parc national de Port-Cros.



Février 2014



## Parc national de Port-Cros – Universitat de Barcelona

État des populations de la gorgone blanche *Eunicella singularis* dans le Parc national de Port-Cros dans le cadre de l'Observatoire de la Biodiversité et des Usages Marins Littoraux.

### Partenariat scientifique Universitat de Barcelona & PNPC

Contrat n° : 13-030 - 83400 PC

#### Commande :

Parc national de Port-Cros - BP 70 220  
Castel Sainte Claire, 83418 Hyères Cedex  
Tél : 04.94.12.82.30 Fax : 04.94.12.82.31

#### Réalisation :

Departament d'Ecologia, Universitat de Barcelona.  
Diagonal 643, 08028 Barcelona, Espagne.  
Tél. (+34) 934021509 Fax : (+34) 934111438 <http://www.ub.edu/ecologia>  
Correspondants pour cette étude : hereu@ub.edu

Réalisation de l'échantillonnage : Bernat HEREU, Pol CAPDEVILA, Eneko ASPILLAGA, Clara CASADO, Eugeni CANALS

Rédaction du document : Bernat HEREU, Pol CAPDEVILA, Cristina LINARES

Crédit photographique : B. HEREU, E. ASPILLAGA, P. CAPDEVILA

Les documents rendus par l'Université de Barcelona, dans le cadre de cette étude, engagent sa responsabilité et sa crédibilité scientifique. Ils ne peuvent pour cette raison être modifiés sans son accord.

En cas d'utilisation totale ou partielle de ce document, il doit être cité sous la forme suivante :

HEREU B., CAPDEVILA P., ASPILLAGA E., CASADO C., CANALS E., LINARES C., 2014. État des populations de la gorgone blanche *Eunicella singularis* dans le Parc national de Port-Cros dans le cadre de l'Observatoire de la Biodiversité et des Usages Marins Littoraux. Rapport final. Contrat Parc national de Port-Cros & Universitat de Barcelona, 47pp.

# Sommaire

Résumé .....	5
1. Rappel de la problématique de l'étude.....	6
2. Méthodes d'échantillonnage .....	8
Analyse des données. ....	9
3. Résultats .....	10
Descriptif des sites visités .....	12
Giens.....	12
Pointe des Salis.....	12
Porquerolles.....	14
Le Petit Sarranier.....	14
Rocher de la Croix.....	16
Sec du Langoustier.....	18
Port-Cros.....	20
Ponte de la Croix.....	20
La Gabinière.....	22
Structure des populations.....	24
Démographie et distribution de la fréquence des tailles .....	24
Mortalité .....	26
Mécanisme de l'auto-éclaircie .....	28
L'analyse multivariée .....	29
4. Discussion .....	31
Modèle de distribution de <i>Eunicella singularis</i> à Port-Cros .....	31
Les données de référence.....	31
Dynamique des populations et état de conservation .....	32
5. Conclusions .....	35
6. Protocole de surveillance .....	37
7. Références .....	38
8. Planches photographiques .....	42

## Résumé

Les gorgones sont des composantes courantes des communautés coralligènes et elles jouent un rôle très important dans certains écosystèmes méditerranéens de fond dur car il s'agit d'espèces ingénieuses qui modèlent l'habitat. Cependant, ces espèces sont parmi les plus menacées par le réchauffement climatique, mais des informations sur leur démographie et leur distribution, aspect crucial pour la conservation et la gestion durable, sont encore rares. Par conséquent, nous avons caractérisé les populations de *Eunicella singularis* dans le Parc national de Port-Cros tout en examinant leur distribution spatiale et en profondeur, ainsi que la structure de tailles de ces populations et l'affectation des perturbations.

Cette espèce est présente principalement dans la partie sud des îles, sur des sites exposés à des courants et à une profondeur allant de 9,5 à 38 m, mais montrant une grande variabilité dans les limites de distribution supérieures et inférieures entre les sites. Les valeurs de la densité, la taille et la mortalité des populations étudiées ont été très semblables aux études précédentes menées dans d'autres endroits de la Méditerranée. La plupart des populations étudiées ont été dominées par des colonies de taille moyenne, ont montré une faible proportion de colonies fortement endommagées, et les colonies les plus blessées avaient des épibiontes, suggérant que la plupart d'entre elles n'ont pas été exposées à de fortes perturbations récentes. Dans un seul site, Le Petit Sarranier, les populations de *E. singularis* montrent un pourcentage élevé de la surface endommagée, principalement sans épibiose, ainsi que des colonies mortes et une forte dominance de petites colonies. Ça semble indiquer que cette population, celle de moindre profondeur parmi les populations examinées, est exposée à des perturbations naturelles. Nos résultats montrent que les populations les moins profondes (moins de 15 m) présentent des signaux de mortalité récente avec une forte proportion de blessures par rapport aux populations les plus profondes. Ainsi, il semble que la température de l'eau, avec une formation d'une thermocline saisonnière, pourrait être le principal facteur qui affecte les populations peu profondes de *E. singularis* dans le Parc national de Port-Cros, bien que d'autres facteurs que la température pourraient avoir un rôle important dans le façonnement des tendances observées.

Cette étude a fourni une base pour de futures études sur cette espèce dans le Parc, ce qui sera essentiel pour améliorer notre compréhension de la dynamique de cette espèce sur des échelles de temps plus grandes et de leurs tendances futures dans le cadre du scénario global de changement environnemental.

**Mots clés :** Gorgone blanche, *Eunicella singularis*, espèces thermophobes, démographie, distribution, changement climatique, référence

## 1. Rappel de la problématique de l'étude

Un défi fondamental pour les écologistes et les gestionnaires de la nature est de prédire comment les espèces réagiront aux changements environnementaux actuels et futurs liés au changement global de l'environnement (Harley *et al.*, 2006). Dans ce contexte, la mer Méditerranée est l'une des régions touchées par le changement climatique où le réchauffement est plus rapide (IPCC, 2007) et où ont également lieu plusieurs perturbations d'origine anthropique (Coll *et al.*, 2008).

Parmi les communautés marines de la Méditerranée, le coralligène est l'une des plus diverses, mais elle est aussi l'une des plus menacées par le réchauffement climatique (Ballesteros, 2006). Au cours des dernières années, certaines espèces ingénieuses de cette communauté (comme les gorgones, coraux et éponges) ont été affectées par plusieurs phénomènes de mortalité en masse (Coma *et al.*, 2009). Néanmoins, il a été difficile d'évaluer la magnitude et les causes de ces perturbations, car il n'y a pas de références historiques pour la plupart des espèces coralligènes en Méditerranée. Ainsi, l'étude de leurs populations est essentiel pour établir une référence, définir la fréquence et l'intensité de ces perturbations, et de prévenir les futures tendances des populations affectées.

Les gorgones jouent un rôle important comme ingénieurs de l'écosystème (Jones *et al.*, 1994.) en fournissant de la biomasse, de la structure biogénique et de la biodiversité (Gili & Coma 1998 ; Ballesteros, 2006). Par conséquent, des changements dans leur abondance peuvent fortement influencer sur l'organisation et le fonctionnement des communautés benthiques de fond dur. En outre, les caractéristiques de l'histoire de vie de ces espèces à longévité élevée et à croissance lente les rendent très vulnérables à de nombreuses perturbations naturelles et anthropiques directes et indirectes, telles que l'ancrage et des engins de pêche (Bavestrello *et al.*, 1997), la plongée (Coma *et al.*, 2004 ; Linares & Doak 2010), le braconnage (Linares *et al.*, 2012) et des mortalités massives (Cerrano *et al.*, 2000 ; Linares *et al.*, 2005, 2010 ; Garrabou *et al.*, 2009).

Parmi les gorgones méditerranéennes, la gorgone blanche *Eunicella singularis* (Esper, 1791) est l'une des espèces les plus communes et les plus abondantes dans le bassin ouest (Weinberg & Weinberg, 1979 ; Linares *et al.* 2008 ; Gori *et al.*, 2011a), habituellement présente dans les sites exposés aux courants (Weinberg 1975, 1980). *E. singularis* est une espèce gonochorique et itéropare, avec fécondation interne de la femelle (couveuse) et les larves se rencontrent généralement fin mai - juin (Ribes *et al.*, 2007 ; Gori *et al.*, 2007). Au cours des dernières années, cette espèce a été affectée par plusieurs phénomènes de mortalité de masse dans la Méditerranée occidentale : La Ciotat (mer de Ligurie ; Harmelin, 1984), Côte de Provence et de la mer de Ligurie (Cerrano *et al.*, 2000 ; Perez *et al.*, 2000), Iles Baléares (NO de la Méditerranée, Coma *et al.*, 2006), îles d'Ischia et de Procida (mer Tyrrhénienne ; Gambi *et al.*, 2006), les îles Phlaegrean (mer Tyrrhénienne ; Cigliano & Gambi, 2007), Cabo de Palos - île de Cabrera (NO Méditerranée ; Coma *et al.*, 2007). En outre, même plusieurs années après ces événements, certaines populations ont été observées encore blessées (Coma *et al.*, 2006). Ces phénomènes de mortalité de masse ont été principalement liés à des anomalies climatiques (Garrabou *et al.*, 2009 ; Coma *et al.*, 2009). Par conséquent, le réchauffement climatique devrait entraîner une baisse des populations de gorgones blanches et peut induire de profonds changements dans la

composition de la communauté (Cerrano *et al.*, 2000 ; Coma *et al.* , 2000 ; Perez *et al.*, 2000 ; Garrabou *et al.*, 2001 ; Coma & Ribes, 2003).

Ainsi, la connaissance de leurs caractéristiques démographiques constitue la première étape vers l'élaboration d'un plan de conservation fiable. Obtenir des données démographiques sur des échelles temporelles et spatiales longues pourrait nous permettre d'établir une base de référence pour déterminer l'ampleur et l'intensité des perturbations et d'anticiper les trajectoires futures des populations perturbées.

La nature sessile et le rôle structurel des gorgones permettent d'appliquer plusieurs progrès théoriques et méthodologiques développés en écologie forestière pour étudier les effets des perturbations sur ces espèces marines (Linares *et al.*, 2008). Bien qu'elles ne peuvent pas être utilisées pour prédire la croissance ou la santé future avec précision (Condit *et al.*, 1998), les distributions de taille couplées avec des mesures de la densité des plantes ont été utilisées pour explorer les dynamiques démographiques spécifiques en réponse aux perturbations passées (Niklas *et al.*, 2003). Perturbations telles que les tempêtes violentes ou des mortalités massives peuvent modifier la structure de taille des populations de gorgones, avec réduction de la densité, causant la perte de colonies grandes et matures et l'augmentation de la proportion d'individus de petite taille dans la population (Cerrano *et al.*, 2005 ; Linares *et al.*, 2005 ; Cupido *et al.*, 2007 ; Bramanti *et al.*, 2009).

Une autre approche largement utilisée en écologie forestière a été l'évaluation de la dépendance de la dynamique de la population par rapport à la densité par le biais de l'examen de la relation taille/biomasse et la densité. Les écologistes ont depuis longtemps reconnu la concurrence intra- et interspécifique et comment elle peut modifier la forme des populations dans les paysages saturés près de la capacité de charge de l'écosystème (Shinozaki & Kira, 1956). La concurrence émerge sous la forme d'un effet négatif dépendant de la densité lorsque les populations sont suffisamment denses. L'exploration des mécanismes d'auto-éclaircie dans les populations de gorgones et de leurs courbes de distribution de taille peut nous permettre de prédire les réactions des populations aux changements environnementaux lorsque la surveillance à long terme ne peut pas être réalisée (Linares *et al.*, 2008).

Par conséquent, une mission a été lancée dans le but d'évaluer l'état de santé des populations moins profondes de gorgones, et de recueillir des données démographiques qualitatives et quantitatives sur les populations de *Eunicella singularis* dans les eaux du Parc national de Port-Cros.

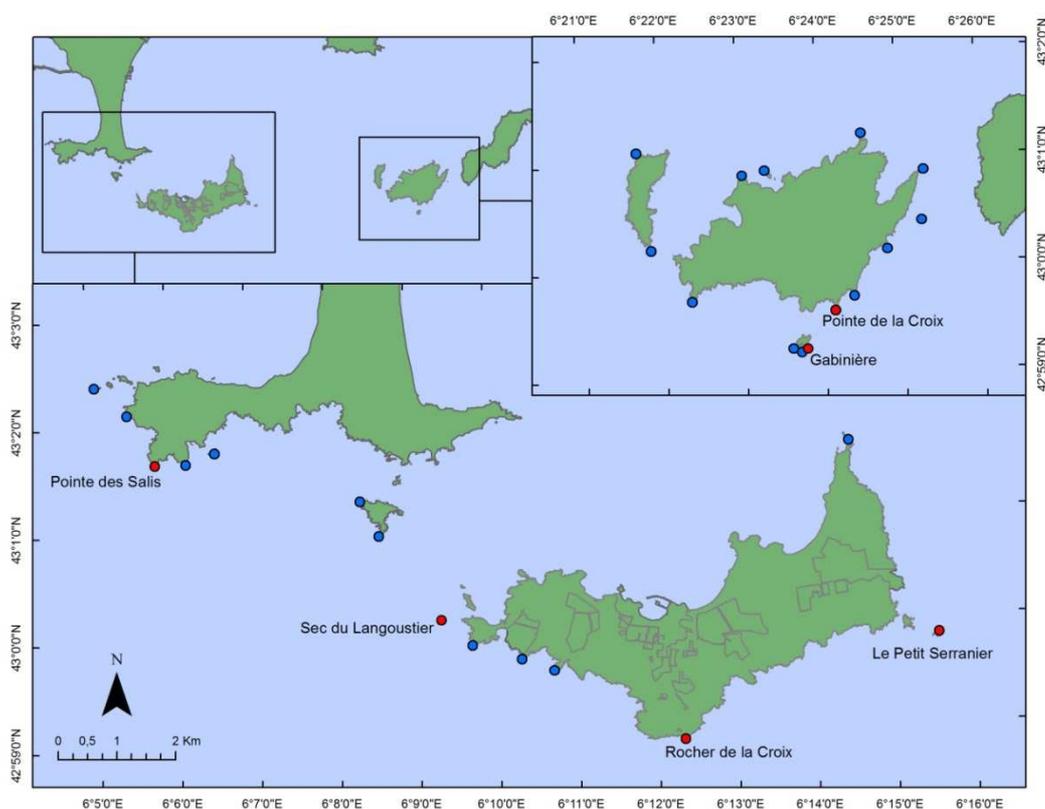
Il y a un certain nombre d'objectifs dans cette étude : 1) Caractériser les populations de gorgone blanche dans une tentative d'expliquer les modes de distribution actuels dans le Parc national de Port-Cros, 2) Développer un indicateur de l'"Observatoire de la Biodiversité du Parc national de Port-Cros", pour obtenir une référence de la densité, la taille et les blessures causées dans les populations les moins profondes (qui sont plus vulnérables aux anomalies climatiques) de gorgone blanche, et 3) obtenir un aperçu de l'apparition de troubles récents ou passés et prévoir les futures trajectoires des populations de gorgone blanche au moyen de l'application d'approches d'écologie forestière classique, l'examen de la distribution des fréquences de taille et des mécanismes d'auto-éclaircie.

## 2. Méthodes d'échantillonnage

En Méditerranée NO, les gorgones sont généralement présentes dans les sites exposés à des courants (Weinberg, 1980). Afin d'obtenir des informations représentatives sur la répartition de *Eunicella singularis* dans le Parc national de Port-Cros, nous avons compilé les informations des rapports techniques, des guides de plongée sur le terrain et des centres de plongée. Après cette vaste enquête, un total de 30 sondages a été réalisé sur des sites différents, sur la base des informations recueillies, afin de trouver des populations de *Eunicella singularis* à l'intérieur du parc, incluant Port-Cros, Porquerolles et la presqu'île de Giens, afin d'étudier ces populations (Figure 1).

Sur 6 des sites observés, des populations denses ont été identifiées comme sites d'échantillonnage pour la poursuite de leur étude: 3 à Porquerolles, 1 à Giens et 2 à Port-Cros (Figure 1). L'objectif initial était de réaliser un échantillonnage symétrique avec 2 populations échantillonnées à Port-Cros, Porquerolles et Giens pour couvrir la variabilité sur l'ensemble de la zone. Néanmoins, une seule population a été trouvée à Giens, alors nous avons ajouté un site d'échantillonnage supplémentaire à Porquerolles.

Nous n'avons pas pu échantillonner le site de l'île du Levant en raison du refus d'autorisation de plonger dans la zone militaire.



**Figure 1.** Sites examinés dans les eaux du Parc national de Port-Cros. Les sites marqués en rouge sont les sites d'échantillonnage où les populations de *Eunicella singularis* sont les plus denses et où les populations ont été caractérisées.

Sur chaque site d'échantillonnage, les limites maximales et minimales de la distribution des populations de *E. singularis* ont été enregistrées et la densité de population et la structure de taille ont été estimées, à l'échelle de profondeur où l'on a observé une densité plus élevée. Afin de surmonter la variabilité spatiale à la plus petite échelle, trois sous-populations séparées par 50 m ont été sélectionnées à chaque site d'échantillonnage. La densité a été estimée en comptant tous les individus inclus dans des carrés de 50 x 50 cm<sup>2</sup> placés au hasard. Un minimum de 100 colonies par sous-population ont été examinées, et aussi la hauteur maximale a été mesurée avec une règle selon la distance entre la base de la colonie et l'extrémité de la pointe la plus éloignée.

L'erreur standard (SE) de la fonction de la taille de l'échantillon est utilisée pour déterminer la taille minimale de l'échantillon nécessaire pour examiner la densité et la gravité des blessures des colonies sur chaque site. Dans une étude précédente, la taille minimale de l'échantillon de *E. singularis* a été estimée à 1,75 m<sup>2</sup> et 50 colonies, lorsque la variance de la densité et de l'étendue de la blessure s'est stabilisée à environ 5-10% de la moyenne (Coma *et al.* 2006 ; Linares *et al.*, 2008).

En outre, l'étendue et la nature des blessures ont été enregistrées pour chaque colonie. On a estimé le pourcentage de la surface totale de chaque colonie montrant des dommages ou la perte de tissu comme cela a été effectué dans des études antérieures (Linares *et al.*, 2005, 2008).

Dans les colonies affectées, la condition de l'axe du squelette a été classée dans une des quatre catégories: (1) extrémité apicale dénudée, qui est causée par une mortalité récente, (2) axe dénudé, qui est causé par une mortalité récente, (3) épibiose sur l'axe et l'extrémité apicale, signe d'une mortalité passée ou (4) des colonies mortes, ce qui est signe d'une mortalité passée. Nous avons également estimé la proportion de chaque type de blessure pour toutes les colonies affectées.

### **Analyse des données**

Pour chaque variable étudiée (densité, hauteur et état de la mortalité), nous avons effectué une analyse des permutations de la variance (PERMANOVA ; Anderson, 2001), basée sur les distances euclidiennes, avec deux facteurs, le site (fixe) et la sous-population (aléatoire imbriqué dans le site), avec l'objectif de déterminer la variabilité à différentes échelles spatiales. En outre, avec le but de déterminer l'importance de la distribution en profondeur par rapport à la structure et la mortalité des colonies, nous avons effectué une analyse PERMANOVA avec la profondeur moyenne comme un facteur fixe. La profondeur a été regroupée en 3 catégories : 10 - 14,9 m, 15 - 19,9 et plus de 20 m de profondeur.

Les analyses démographiques ont été réalisées en regroupant les colonies dans des classes de hauteur de 10 cm. La courbe de distribution de taille a été analysée en termes de statistiques descriptives comme l'asymétrie et la kurtosis. L'Asymétrie (g1) est une mesure de symétrie de la distribution de données par rapport au point central (moyenne), où les valeurs positives indiquent la prévalence de la partie gauche de la distribution (des classes de petite taille), tandis que les valeurs négatives indiquent une prévalence de la droite des valeurs de la distribution (grandes

classes). Si la dissymétrie est significative, la répartition est asymétrique. La kurtosis ( $g_2$ ) est une mesure de l'aplatissement des données par rapport à une distribution normale. Une valeur importante de kurtosis indique que la variable a des queues plus longues que celles de la distribution normale et donc la prévalence d'une classe particulière de la taille de la population. Ces coefficients et leur signification ont été calculés en utilisant le test Agostino (pour asymétrie) et l'essai Anscombe (de kurtosis) disponibles dans la bibliothèque Moments (Komsta & Novomestky, 2013) de la plate-forme de logiciel R (R Development Core Team, 2007).

Les données sur la variation de l'étendue de la lésion des colonies entre les localités et par rapport à la profondeur ont été arc-tan transformées et analysées en utilisant une PERMANOVA. La corrélation de Spearman a été utilisée pour examiner la relation entre les différents paramètres démographiques estimés par rapport à la profondeur. Pour la représentation graphique, les colonies ont été regroupées en trois catégories en fonction de l'étendue de la blessure (suivant la même méthodologie utilisée par Linares *et al.*, 2008, afin de rendre possible des comparaisons postérieures) : <10%, 10% -99%, > 99 % (mortes).

Le log hauteur moyenne par rapport au log de densité a été tracé afin de déterminer la présence de l'auto-éclaircie. Ce domaine permet également d'explorer l'existence de perturbations passées ou actuelles sur les populations. Sur la base de la théorie de l'auto-éclaircie, les populations non-perturbées soumises à la concurrence intra-spécifique devraient montrer une augmentation de la densité par rapport à la diminution de taille moyenne suivant une ligne prévue avec une pente de 1/2 (Yoda *et al.*, 1963). D'autre part, nous nous attendons à ce que les populations touchées par les perturbations soient placées bien en dessous de la ligne de l'auto-éclaircie en raison d'une perte de la densité et de la hauteur.

Enfin, nous avons exploré quels paramètres, parmi ceux utilisés dans l'étude, pourraient expliquer le mieux l'état actuel de ces populations et la redondance potentielle expliquée par eux, en utilisant l'analyse en composantes principales (ACP ; Hotelling, 1933) disponible dans la bibliothèque Vegan (Okasen *et al.*, 2005) de la plate-forme de logiciel R (R Development Core Team, 2007).

### 3. Résultats

La plupart des populations étaient présentes dans les localités exposées aux courants et couvrant une grande étendue là où la profondeur est élevée (plus de 20 m de profondeur), surtout dans la partie sud des îles (figure 1, Tableau 1).

La limite supérieure de la distribution bathymétrique de *E. singularis* n'a pas montré de différences contrastées, étant comprise entre 9.4 et 16.5 m de profondeur, alors que la limite de profondeur inférieure a montré une plus grande variabilité, allant de 18 à 38 m de profondeur (Tableau 1).

**Tableau 1.** Relation de stations étudiées et leur localisation, et la présence d'espèces de gorgones.

	Station	Date	Long	Lat	Espèces
<b>Giens</b>	Île de la Ratonière	9/10/2013	43° 2' 23"	6° 5' 9"	
	Pointe des Chevaliers	9/10/2013	43° 2' 6"	6° 5' 30"	
	Cap Méridional	9/10/2013	43° 0' 56"	6° 8' 42"	
	Pointe des Salis	9/10/2013	43° 1' 40"	6° 5' 49"	<i>E. singularis</i> <i>P. clavata</i> <i>E. cavolini</i>
	Pointe du Rabat	10/10/2013	43° 1' 41"	6° 6' 9"	
	Pointe du Piguet	10/10/2013	43° 1' 48"	6° 6' 38"	
	Cap de Fontaine	10/10/2013	43° 1' 12"	6° 8' 26"	
<b>Porquerolles</b>	Petit Sarranier	8/10/2013	42° 59' 50"	6° 15' 35"	<i>E. singularis</i>
	Cap de Médes	8/10/2013	43° 1' 40"	6° 14' 36"	<i>E. cavolini</i>
	Rocher de la Croix	9/10/2013	42° 58' 56"	6° 12' 21"	<i>E. singularis</i>
	Pointe grand Langoustier	10/10/2013	42° 59' 52"	6° 9' 55"	
	Pointe des Carrières	10/10/2013	42° 59' 44"	6° 10' 24"	
	Pointe de Brégançonnet	10/10/2013	42° 59' 39"	6° 10' 37"	
	Sec du Langoustier	11/10/2013	43° 2' 23"	6° 5' 9"	<i>E. singularis</i> <i>E. cavolini</i> <i>P. clavata</i>
<b>Port-Cros</b>	Pointe du Moulin	12/10/2013	43° 0' 52"	6° 23' 2"	
	Le Rascas	12/10/2013	43° 0' 54"	6° 23' 22"	<i>E. cavolini</i>
	Pointe de la Galère	12/10/2013	43° 1' 12"	6° 24' 34"	
	Pointe de Port-Man	12/10/2013	43° 0' 53"	6° 25' 29"	
	Faro	12/10/2013	43° 0' 27"	6° 25' 36"	
	Pointe du Tuf	12/10/2013	43° 0' 8"	6° 24' 54"	<i>E. cavolini</i>
	Pointe du Vaisseau	12/10/2013	42° 59' 42"	6° 24' 23"	<i>E. singularis</i> <i>P. clavata</i>
	Pointe de la Croix	12/10/2013	42° 59' 33"	6° 24' 12"	<i>E. singularis</i> <i>P. clavata</i>
	Sec des Catalans	12/10/2013	43° 0' 14"	6° 21' 58"	<i>E. cavolini</i> <i>P. clavata</i>
	Pointe du Cognet	12/10/2013	42° 59' 41"	6° 22' 27"	<i>E. cavolini</i> <i>P. clavata</i>
	Gabinierie SW	12/10/2013	42° 59' 14"	6° 23' 40"	<i>P. clavata</i>
	Gabinierie S	12/10/2013	42° 59' 14"	6° 23' 40"	<i>P. clavata</i>
	Gabinierie NE	12/10/2013	42° 59' 17"	6° 23' 47"	
	Gabinierie SE	12/10/2013	42° 59' 13"	6° 23' 46"	<i>E. singularis</i> <i>P. clavata</i> <i>E. cavolini</i>
	Montremian	13/10/2013	43° 1' 8"	6° 21' 55"	<i>P. clavata</i>

## Descriptif des sites visités

### Giens

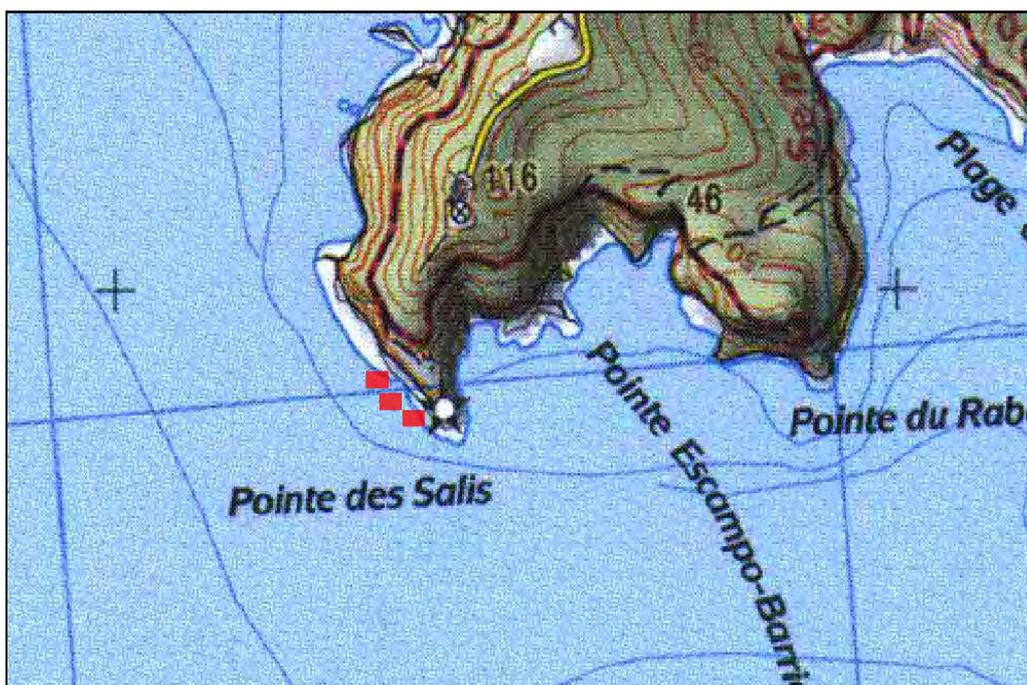
#### Pointe des Salis

Tombant très vertical de roche qui atteint jusqu'à 15 et 16 mètres de profondeur, présence d'une plateforme avec des grands blocs dominés par des communautés d'algues hémi-sciaphiles. Sur le bord de la plateforme, qui a environ 30-50 mètres de large, la pente est encore forte pour atteindre un tombant de pierres, qui tombe jusqu'à 31 mètres de profondeur sur un fond plat sédimentaire avec quelques mattes de *Posidonia oceanica*.

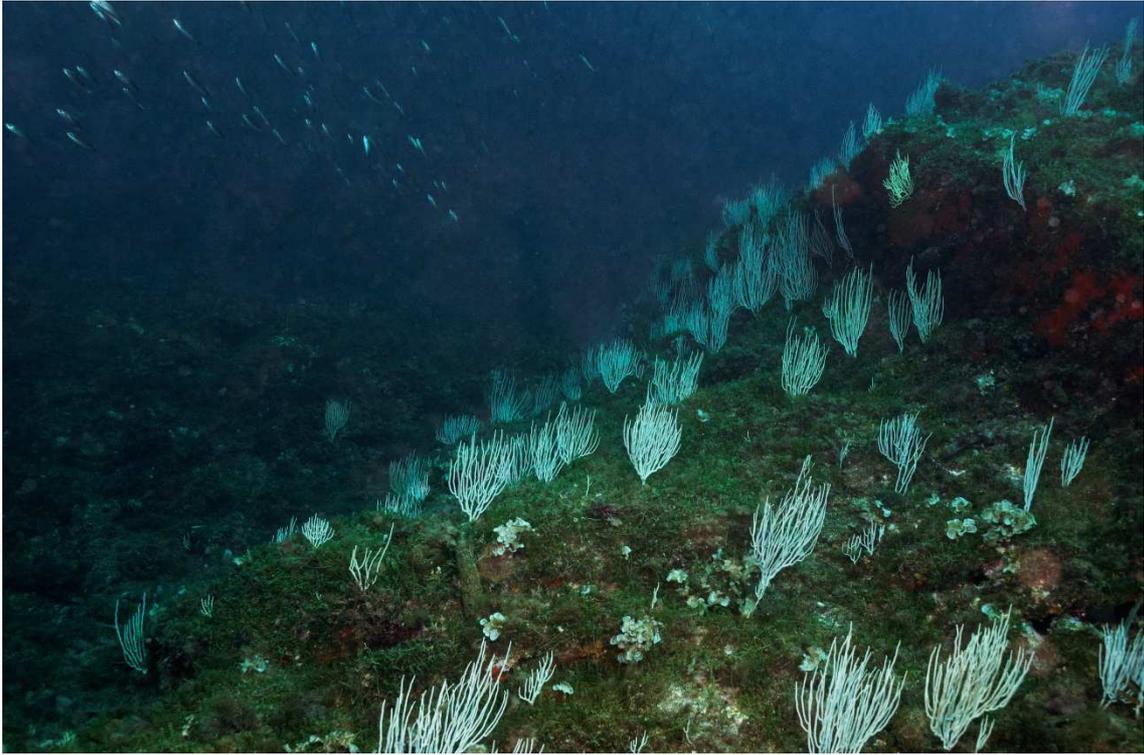
Les populations de *E. singularis* sont présentes entre 9 et 31 mètres de profondeur, bien que la densité maximale se situe à 16 mètres de profondeur, à la limite entre la plateforme et la pente rocheuse.

Sur la pente rocheuse et le côté nord-ouest des grands blocs, de 13 à 21 mètres de profondeur, il y a également des populations mixtes de *Paramuricea clavata* et *Eunicella Cavolini* à haute densité.

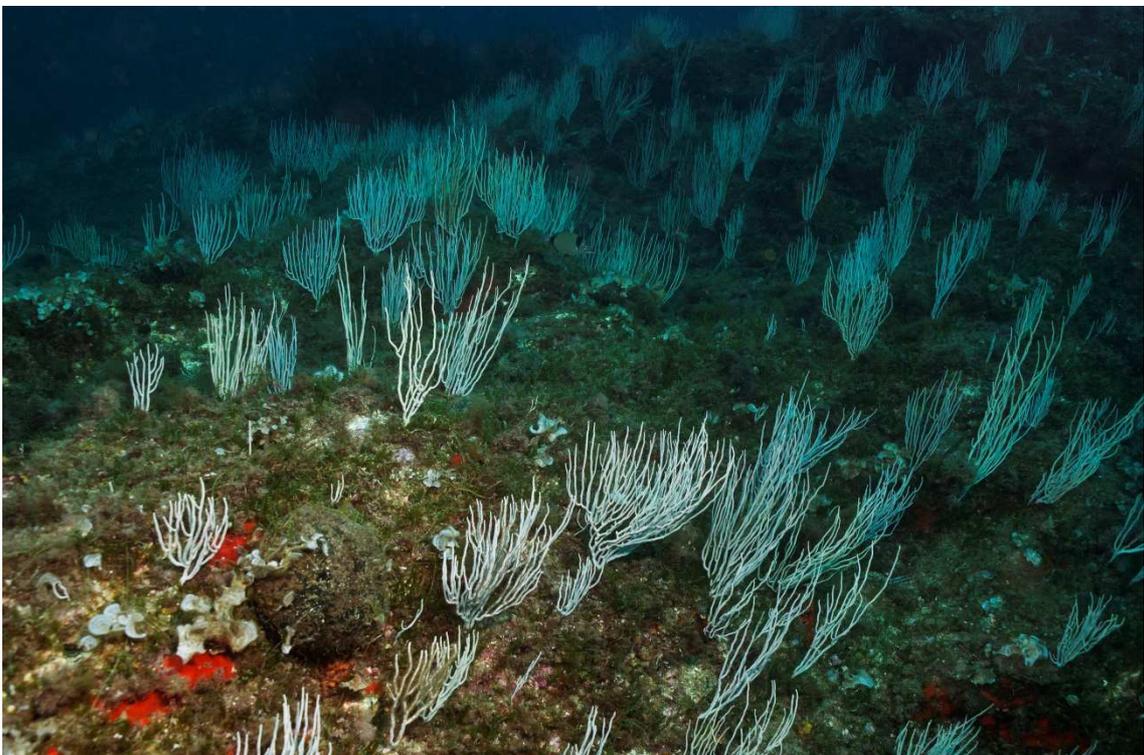
Cette station présente également l'algue envahissante *Caulerpa racemosa*.



**Figure 2-** Station d'échantillonnage de la Pointe des Salis, où la localisation des trois sous-populations est signalée (cadres rouges).



**Figure 3a-** Populations de *Eunicella singularis* à la Pointe des Salis.



**Figure 3b-** Populations de *Eunicella singularis* à la Pointe des Salis.





**Figure 5a-** Populations de *Eunicella singularis* au Petit Sarranier.



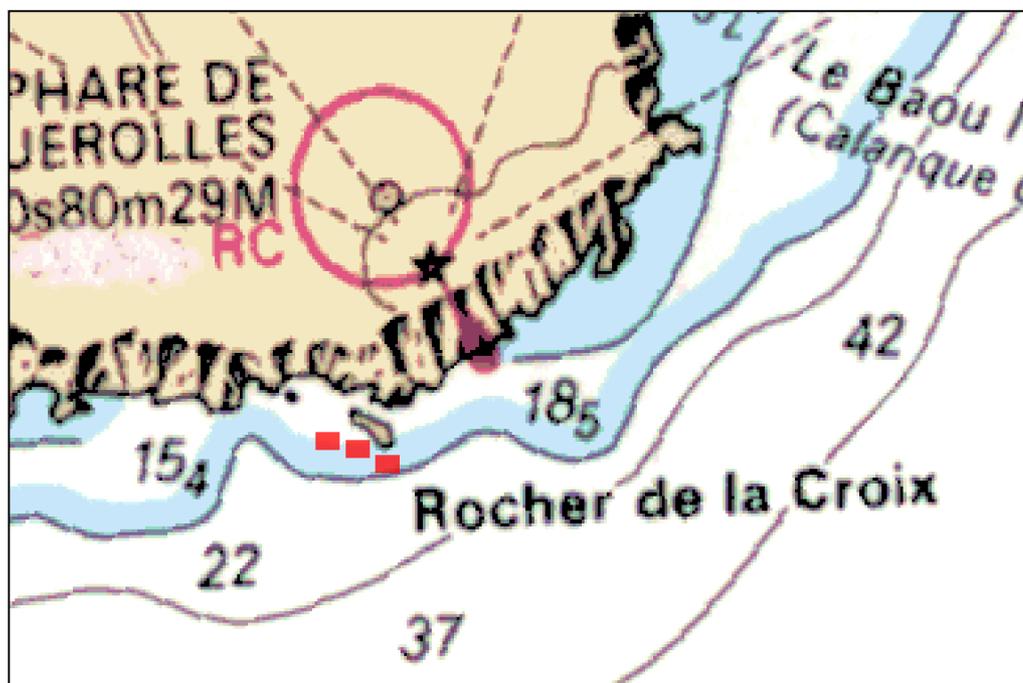
**Figure 5b-** Populations de *Eunicella singularis* au Petit Sarranier.

### Rocher de la Croix

Fond rocheux infralittoral avec une pente relativement prononcée et bien illuminée, avec une couverture d'algues photophiles (principalement *Dictyotales*) en alternance avec de petites taches de *P. oceanica*, avec des algues dressées presque inexistantes. *Caulerpa racemosa* était aussi présente avec une forte densité. La limite du fond rocheux se situe à 27 mètres, où il existe un fond sédimentaire dominé par *Posidonia oceanica*.

*Eunicella singularis* était présente sur cette station entre 11 et 27 mètres de profondeur, avec la plus forte densité à 16 mètres de profondeur.

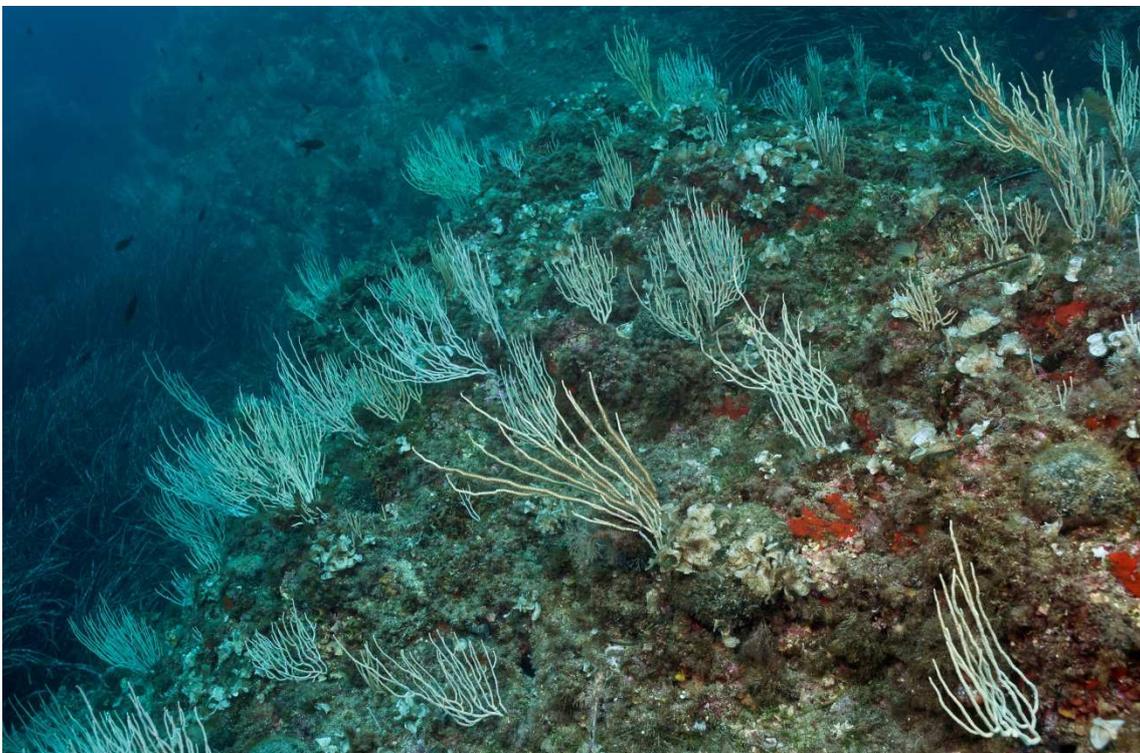
Sur les pentes les plus verticales, *E. cavolini* est également présente entre 18 et 27 mètres de profondeur et forme des populations denses.



**Figure 6-** Station d'échantillonnage du Rocher de la Croix, où la localisation des trois sous-populations est signalée (cadres rouges).



**Figure 7a-** Populations de *Eunicella singularis* au Rocher de la Croix.

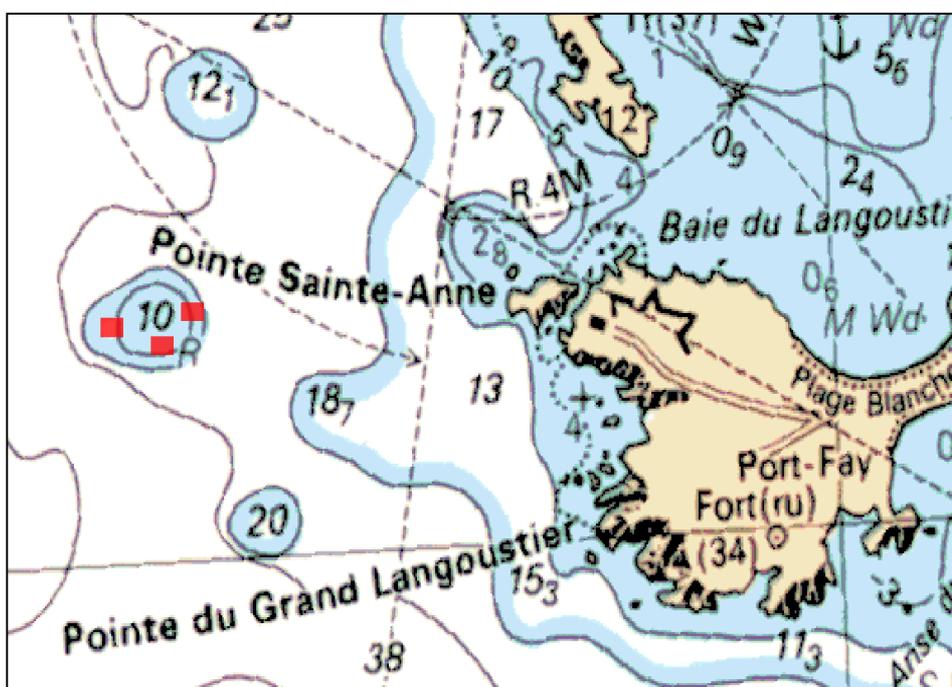


**Figure 7b-** Populations de *Eunicella singularis* au Rocher de la Croix.

### Sec du Langoustier

Fond rocheux infralittoral formé par la présence de plusieurs montagnes sous-marines et des vallées, entre 10 et 27 mètres de profondeur, loin de la côte et exposé à des forts courants. Fond dominé par des algues hémi-sciaphiles avec une faible densité de *C. racemosa*, et la présence de certaines algues dressées.

Les populations de *E. singularis* sont bien développées, surtout sur les pentes orientées vers le sud. Leur distribution varie entre 16 et 27 mètres de profondeur, avec des populations très denses entre 20 et 25 mètres de profondeur. Nota la présence de *Paramuricea clavata*, qui est relativement abondante dans les pentes les plus verticales, entre les 16 et 27 mètres de profondeur, orientées vers le nord-ouest, et qui coexiste aussi avec *Eunicella cavolini*.



**Figure 8-** Station d'échantillonnage du Sec du Langoustier, où la localisation des trois sous-populations est signalée (cadres rouges).



**Figure 9a-** Populations de *Eunicella singularis* au Sec du Langoustier.



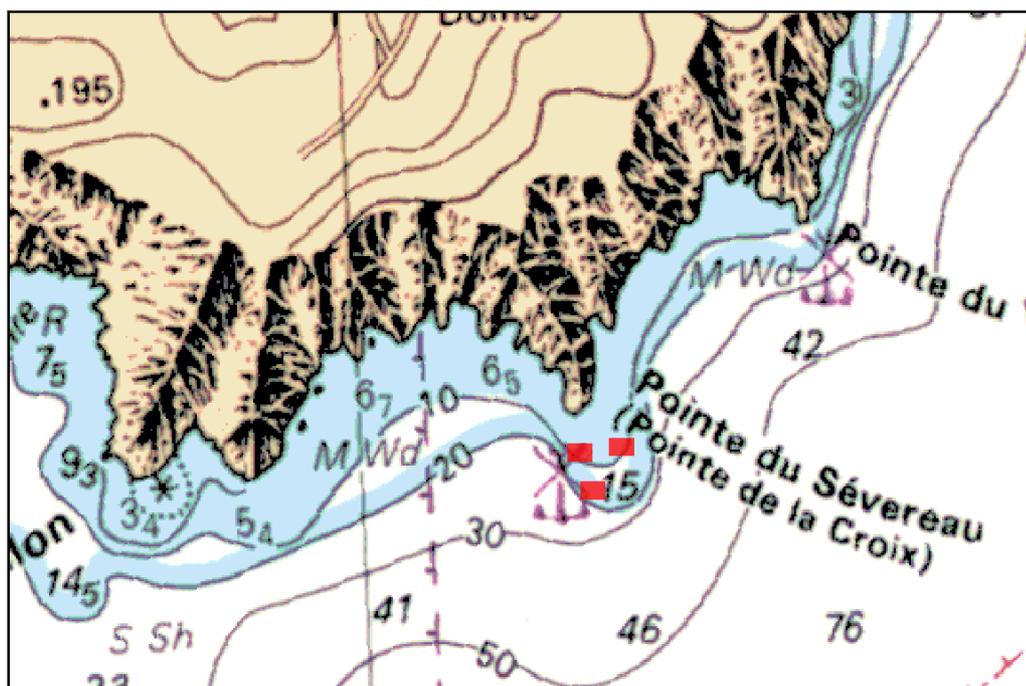
**Figure 9b-** Populations de *Eunicella singularis* au Sec du Langoustier.

## Port-Cros

### Pointe de la Croix

Fond rocheux infralittoral, composé de montagnes et barrières rocheuses et vallées, qui arrive à une profondeur de 31 mètres, où se trouve le fond sédimentaire avec *Posidonia oceanica*. Orienté vers le sud, il est bien illuminée et couvert par des algues photophiles (principalement *Dictyota* et *Sargassum* sp.) et héli-sciaphiles en profondeur, avec la présence de *Cystoseira spinosa* var. *compressa*. On note la présence de l'algue envahissante *Caulerpa racemosa* en haute abondance.

Les populations de *Eunicella singularis* sont présentes entre 16 et les 31 mètres de profondeur, mais elles sont plus abondantes à 18-22 mètres de profondeur. Les populations de *E. singularis* coexistent avec les populations de *P. clavata*, qui sont bien développées sur les pentes les plus verticales, avec aussi la présence de *Eunicella cavolini*.



**Figure 10-** Station d'échantillonnage de la Pointe de la Croix, où la localisation des trois sous-populations est signalée (cadres rouges).



**Figure 11a-** Populations de *Eunicella singularis* à la Pointe de la Croix.

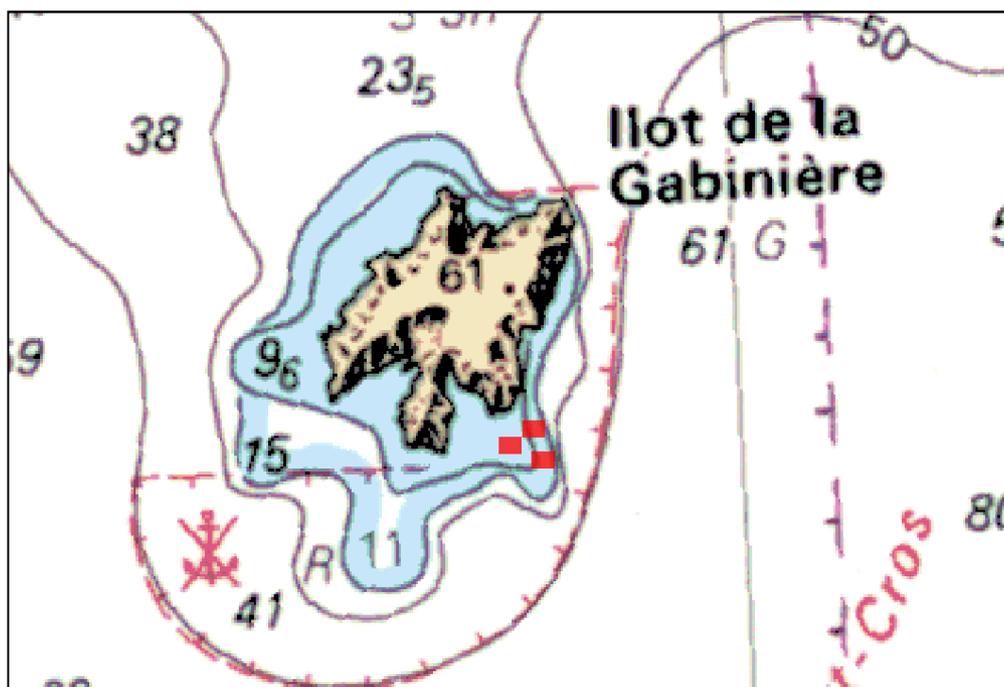


**Figure 11b-** Populations de *Eunicella singularis* à la Pointe de la Croix.

### Gabinière SE

Fond rocheux infralittoral, composé de montagnes et barrières rocheuses et vallées, qui atteint une profondeur de 38 mètres, où se trouve le fond sédimentaire avec *Posidonia oceanica*. Le fond, orienté vers le sud, est bien illuminé avec dominance des algues photophiles, comme *Cystoseira compressa*, à peu de profondeur, mais aussi avec présence d'algues sciaphiles, principalement communautés de *Cystoseira zosteroides* dessus des 25 mètres de profondeur.

La limite supérieure de *Eunicella singularis* est située à 18 mètres sur les crêtes des barrières rocheuses, à 15 mètres au fond des vallées, et le limite inférieure arrive jusqu'à 38 mètres de profondeur, à la limite entre la roche et le fond sédimentaire. Dans cette station il existe aussi des denses populations de *Paramuricea clavata* sur les pentes les plus verticales, qui coexistent avec *Eunicella cavolini* et, sur la limite inférieure, avec *E. singularis*.



**Figure 12-** Station d'échantillonnage La Gabinière, où la localisation des trois sous-populations est signalée (cadres rouges).



**Figure 13a-** Populations de *Eunicella singularis* à la Gabinière.



**Figure 13b-** Populations de *Eunicella singularis* à la Gabinière.

## Structure des populations

La densité de *E. singularis* a varié entre 7 et 26 colonies/m<sup>2</sup> (Tableau 2). Aucune différence significative par rapport à la densité moyenne a été trouvée entre les stations (PF = 1.74, p = 0.21), mais à une plus petite échelle, les sous-populations ont montré une variabilité très importante (PF = 7.36, p < 0.00). La densité a varié considérablement avec la profondeur (PF = 18.54, p < 0.00), les sites moins profonds étant les plus denses.

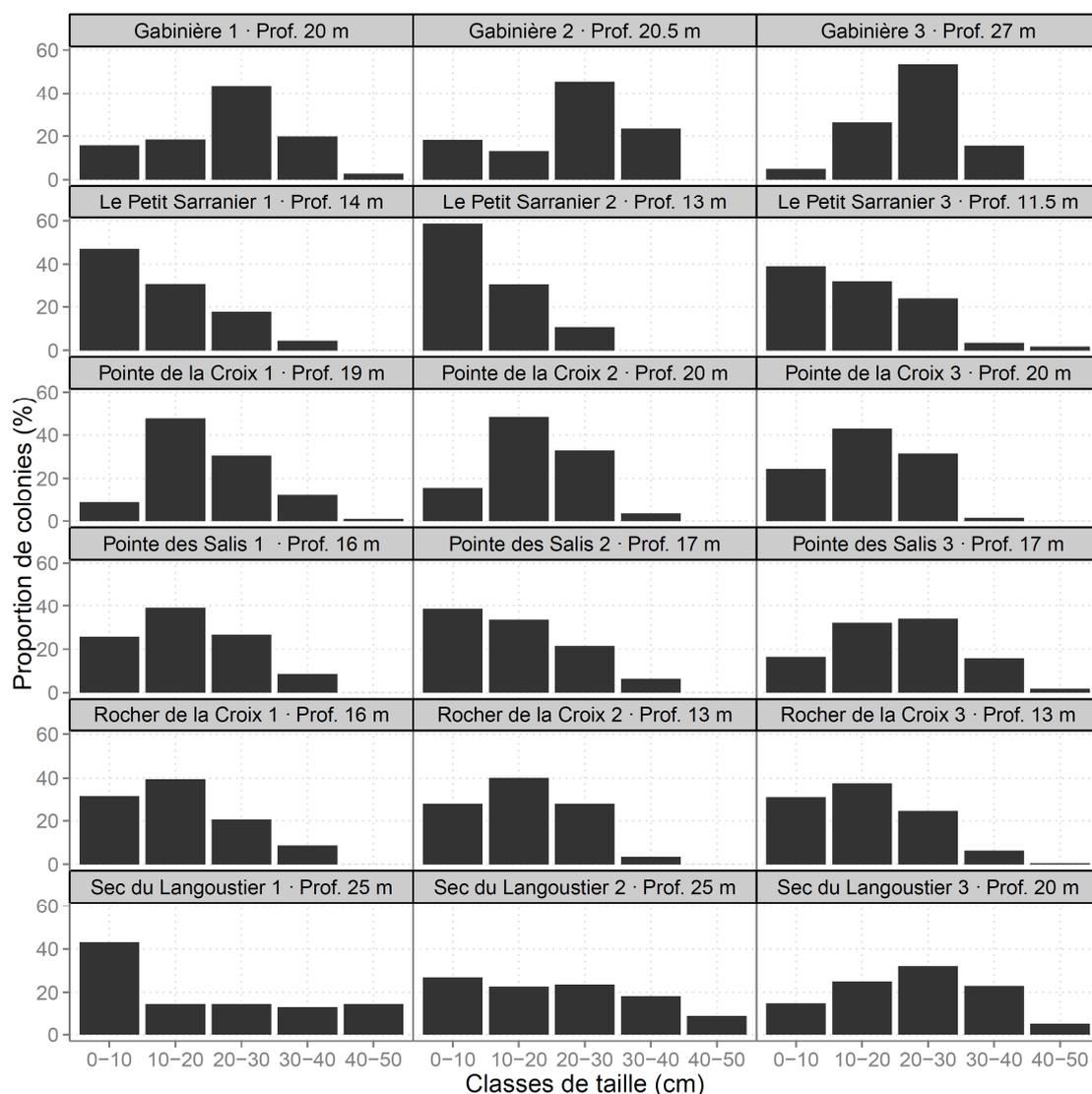
La hauteur moyenne et maximale de la colonie ont été 18.01 ± 9.86 cm et 50 cm respectivement, et elles ont été fortement corrélées avec la profondeur sur chaque site (r = 0.94, p = 0.02 ; r = 0.89, p = 0,03 respectivement). La hauteur moyenne a varié considérablement entre les sites (allant de 12.23 à 22.96 ; PF = 21.23, p <0.00), et parmi les sous-populations (PF = 5.31, p < 0.00). Enfin, la hauteur moyenne varie considérablement entre les profondeurs (PF = 167.74, p < 0.00).

**Tableau 2** - Informations détaillées sur chaque population étudiée. Nombre de quadrats (NC), densité moyenne (N/m<sup>2</sup>), déviation standard de la densité (SDD), limite supérieure de la profondeur (Prof min), limite inférieure de la profondeur (Prof max), profondeur avec la densité maximale (Prof Opt), hauteur moyenne des colonies (H), déviation standard de la hauteur moyenne (SDH), hauteur maximale de colonie (Hmax), hauteur minimale de la colonie (Hmin), asymétrie (g1), signification de l'asymétrie (Sig (g1)), kurtosis (g2) et signification de la kurtosis (Sig (g2)) .

Localité	NC	N/m2	SDD	Prof Min	Prof Max	Prof Opt	H	SDH	H Max	H Min	g1	Sig (g1)	g2	Sig (g2)
Pointe de Salis	88	18.82	11.07	9.5	31	17	17.83	9.04	43.5	2	0.25	0.21	2.42	0
Le Petit Sarranier	117	13.95	10.18	11	18	13	12.23	8.23	42	2	0.74	0	2.87	0.81
Rocher de la Croix	148	16.16	9.27	11	27	13	16.15	8.64	41	1	0.36	0.03	2.50	0
Sec du Langoustier	103	11.73	8.39	16.5	27	23	21.37	13.14	50	1	0.20	0.34	1.95	0
Pointe de la Croix	91	14.64	9.01	16.5	31	19	18.79	7.85	49	3	0.31	0.16	3.27	0.29
Gabinière	107	9.79	5.66	15	38	23	22.96	8.98	48	3	-0.24	0.30	2.72	0.37

## Démographie et distribution de la fréquence des tailles

Bien qu'il y ait une grande variabilité, la distribution des fréquences de taille pour les populations de *E. singularis* a été unimodale sur tous les sites étudiés (figure 14). La plupart des populations a montré une forte proportion de colonies de taille moyenne (entre 10-20 et 20-30 cm) et une diminution subséquente des grandes classes de taille. Néanmoins, la population du Petit Sarranier a montré une plus grande proportion de la plus petite classe de taille (0-10 cm), et la population du Sec du Langoustier n'a pas montré une prévalence de classes de taille (figure 14).



**Figure 14** - Fréquence de classes de taille de chaque sous-population des stations étudiées, avec la profondeur de chacune d'elles.

Voici les modèles confirmés par l'analyse de l'asymétrie et de kurtosis (Tableau 2). La plupart des populations a montré des distributions symétriques, centrées sur les classes 10-20 cm de la hauteur. La population de la Gabinière a présenté les valeurs d'asymétrie les plus négatives, avec une prévalence légèrement plus grande des classes de taille de 20-30 cm. La population du Petit Sarranier a montré une distribution asymétrique des tailles, avec des valeurs d'asymétrie significatives vers une plus forte proportion de classes de petite taille.

La kurtosis a été relativement élevée dans toutes les populations, avec des valeurs positives dans tous les cas, mais uniquement significatives pour le Rocher de la Croix, la Pointe de la Croix et Sec du Langoustier (Tableau 2). Cela indique que la plupart des populations a été plus centralisée ou plus pointue (avec dominance d'une classe de taille) par rapport à une distribution normale.

## Mortalité

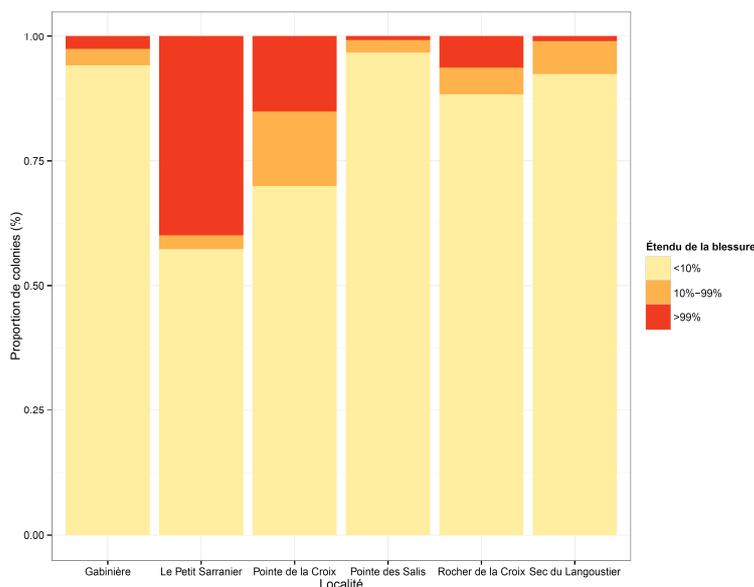
L'étendue moyenne de la blessure du tissu des colonies a été de  $14.36 \pm 33.37\%$ , et a varié significativement entre les populations et sous-populations (PERMANOVA,  $P = 4.34$ ,  $p = 0.02$  ; PERMANOVA,  $P = 26.08$ ,  $p = 0.00$  respectivement) et avec la profondeur (PERMANOVA,  $P = 153.27$ ,  $p = 0.00$ ) (Tableau 3).

**Tableau 3.** Pourcentage de l'étendue de la blessure (% lésion) par colonie, % des colonies blessés et type de blessure: (1) extrémité apicale dénudée, (2) axe dénudé, (3) épibiose sur l'axe et l'extrémité apicale et (4) colonies mortes.

Station	N	% lésion		Touts	% colonies blessés			
		Moy.	sd		(1)	(2)	(3)	(4)
Pointe de Salis	416	1.5	0.4	7.0	1.9	1.0	3.4	0.7
Le Petit Sarranier	415	40.6	27.1	45.8	1.0	1.9	0.2	42.7
Rocher de la Croix	602	20	10	29.9	2.3	2.2	11.6	13.8
Sec du Langoustier	304	2.7	2.3	9.5	1.3	1.6	5.6	1.0
Pointe de la Croix	334	7.5	6.0	13.8	1.2	1.5	6.0	5.1
Gabinière	263	3.3	2.9	8.4	1.9	0.8	3.8	1.9

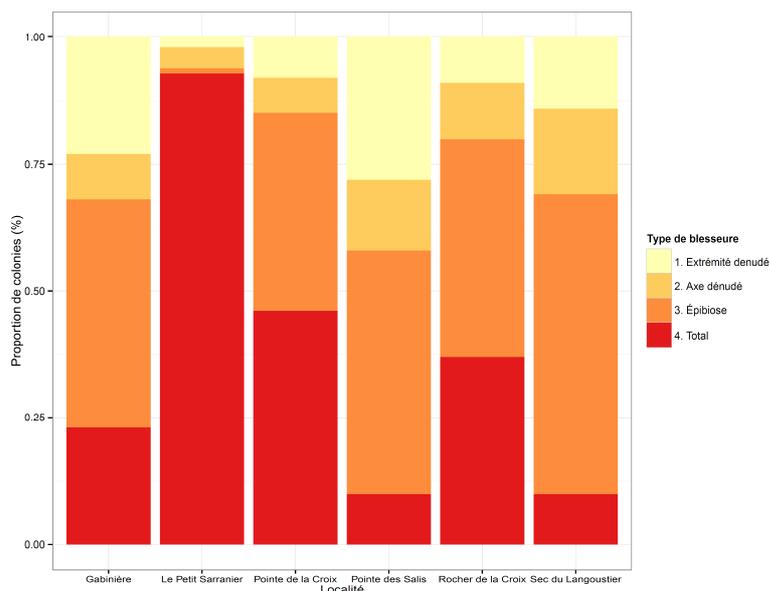
La Gabinière, la Pointe de Salis, le Sec du Langoustier et la Pointe de la Croix ont des tendances similaires en relation à la mortalité, avec une moyenne d'affectation de  $3.3 \pm 2.9\%$ ,  $1.5 \pm 0.4\%$ ,  $2.7 \pm 2.3\%$  et  $7.5 \pm 6\%$  respectivement. Dans ces sites d'échantillonnage, la plupart des colonies ont présenté moins de 10% de surface lésée (figure 15).

D'autre part, les populations du Rocher de la Croix et Le Petit Sarranier ont une affectation plus grande de blessures, étant de  $20 \pm 10\%$  et  $40.63 \pm 27.1\%$  respectivement. Sur ces deux stations les populations ont montré la plus forte proportion de colonies mortes ( $> 99\%$  d'affectation, figure 15) étant plus élevée pour Le Petit Sarranier.



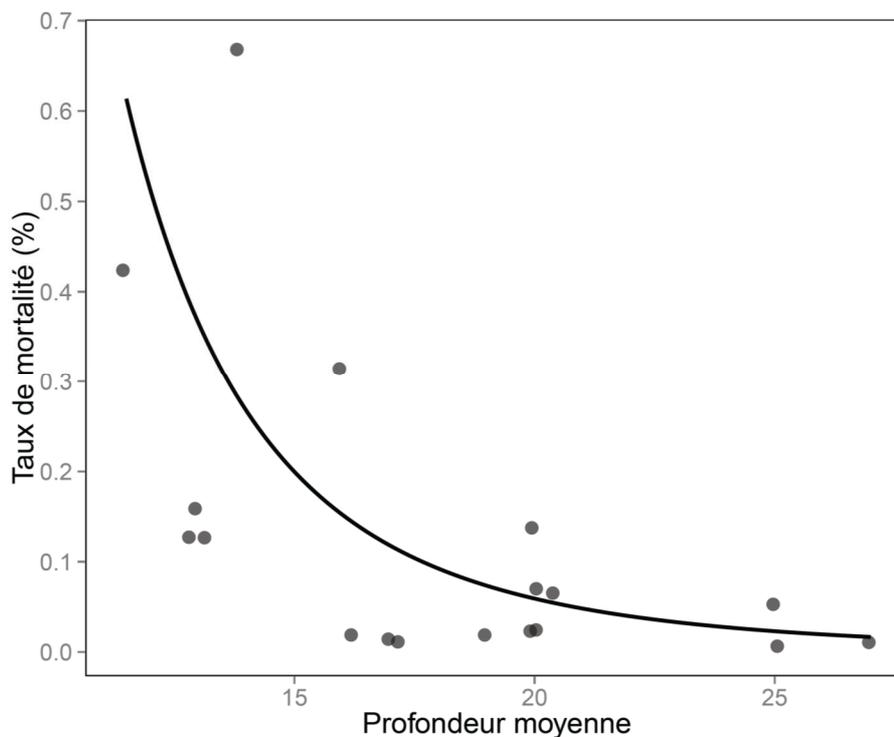
**Figure 15-** Proportion de colonies présentant une affectation de mortalité : < 10%, 10%-99% et >99%.

Les axes avec épibiose se sont révélés le type le plus fréquent de blessures (de 39 % à 59 % des colonies blessées) (figure 16). En outre, tous les sites présentaient certains signes de mortalité récente, avec une proportion relativement faible de colonies avec des bouts dénudés apicaux (de 8 % à 28 % des colonies) ou axiaux (de 7 % à 17 % des colonies). Néanmoins, il a été observé une forte proportion de colonies avec mortalité pour les stations : Le Petit Sarranier, Rocher de la Croix et Pointe de la Croix (93 %, 46 % et 37 % respectivement). Pour Le Petit Sarranier la plupart des colonies survivantes montrent une forte proportion d'axes dénudés, signe d'une mortalité récente.



**Figure 16-** Proportion de chaque type de blessure des colonies affectées sur les stations étudiées.

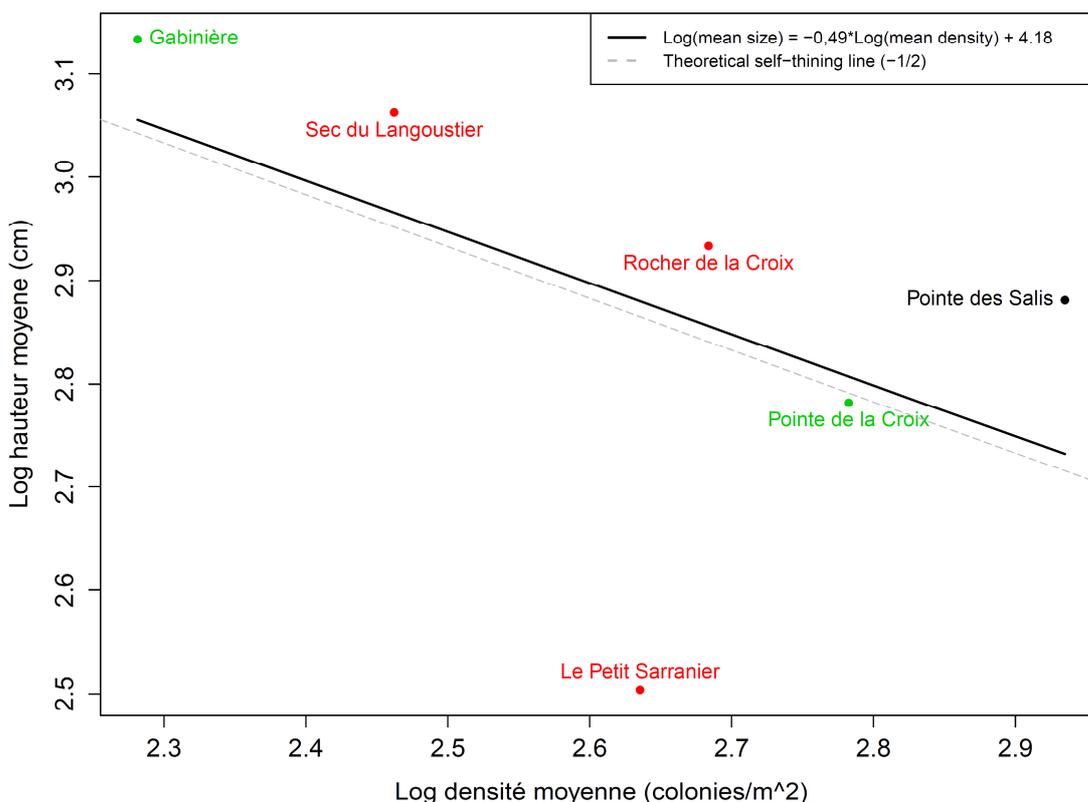
L'étendue moyenne de la lésion montre une corrélation légèrement négative avec la profondeur, suivant une courbe logistique ( $r = -0.61$ ,  $p = 0.007$ ). Une pente prononcée a été trouvée autour de 15 m de profondeur, ce qui indique que les gorgones situées au-dessus de cette profondeur ont été plus touchées que celles en dessous (figure 17).



**Figure 17-** Corrélation entre la profondeur et le taux de mortalité pour chaque sous-population étudiée.

### Mécanisme de l'auto-éclaircie

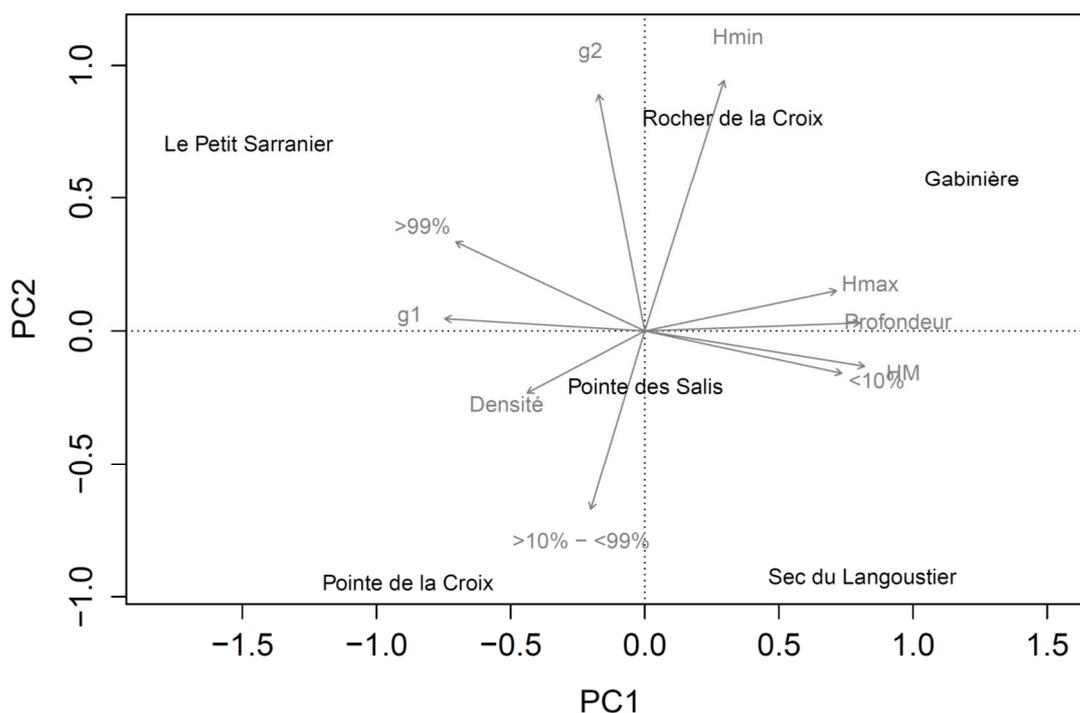
Le rapport entre la densité et la hauteur moyenne des populations de *E. singularis* a montré une pente négative proche 1/2, et la plupart des populations a été placée à proximité ou au-dessus de la ligne de l'auto-éclaircie théorique (figure 16). Le Petit Sarranier (LPS) a été la seule population située loin de la ligne d'auto-éclaircie ; par conséquent, cette population n'a pas été donc prise en compte pour effectuer la relation de la densité et de la hauteur des colonies de *E. singularis*. En vertu de notre hypothèse, les populations placées sous la ligne pourraient être des populations perturbées (loin de l'équilibre).



**Figure 18-** Relation entre log hauteur moyenne et log densité moyenne dans chaque station d'échantillonnage à Giens (noire), Porquerolles (rouge) et Port-Cros (vert).

### L'analyse multivariée

L'analyse (ACP) (figure 19) indique l'existence d'une source commune de la variabilité de certaines variables. La hauteur maximale et la hauteur moyenne, ainsi que la profondeur montrent une corrélation positive avec le premier axe, l'asymétrie et le pourcentage de mortalité des colonies montrent une corrélation négative qui représente le 54% de la variabilité totale (Tableau 4). Le deuxième axe, qui explique le 22% de la variabilité, est positivement corrélé avec la hauteur minimale, la proportion de > 10% - <99% des colonies blessés et kurtosis (Tableau 4).



**Figure 19-** Analyse en composantes principales (ACP) des paramètres démographiques pour chaque station d'échantillonnage : densité moyenne (Densité), la hauteur moyenne de la colonie (HM), hauteur maximale de la colonie (Hmax), hauteur la plus basse de la colonie (Hmin), asymétrie (g1), kurtosis (g2), proportion moyenne de colonies présentant une surface de blessure de : <10%, 10% -99% et > 99%, et la profondeur moyenne (Depth).

**Tableau 4-** Résultats de l'analyse en composantes principales (ACP). Corrélation des variables avec les deux principaux axes de l'analyse.

	PC1	PC2
<b>Eigenvalue</b>	5.43	2.16
<b>Proportion Explained</b>	0.54	0.22
<b>Cumulative Proportion</b>	0.54	0.76
<b>Species scores</b>		
<b>Density</b>	-0.44	-0.20
<b>HM</b>	0.83	-0.10
<b>Hmax</b>	0.72	0.14
<b>Tmin</b>	0.29	0.75
<b>&lt;10%</b>	0.75	-0.13
<b>&gt;10% - &lt;99%</b>	-0.19	-0.54
<b>&gt;99%</b>	-0.71	0.28
<b>Depth</b>	0.81	0.03
<b>g1</b>	-0.75	0.04
<b>g2</b>	-0.18	0.71

## 4. Discussion

### Modèle de distribution de *Eunicella singularis* à Port-Cros

Cette étude, à notre connaissance, est la première description de la distribution actuelle des populations de *E. singularis* peu profondes dans le Parc national de Port-Cros. Nos résultats, en accord avec d'autres documents (Linares *et al.*, 2008 ; Gori *et al.*, 2011b) montrent que ces populations présentent une limite de distribution en profondeur supérieure et inférieure très variables. Cependant, il faut considérer qu'en raison de contraintes logistiques, notre étude a été réalisée uniquement dans pour des populations peu profondes, bien que cette espèce peut être trouvée jusqu'à 70 m de profondeur (Gori *et al.*, 2011a, b).

La distribution spatiale de *E. singularis* est liée à des effets combinés des facteurs biologiques et environnementaux (Weinberg, 1980 ; Zabala & Ballesteros, 1989). Elle est communément trouvée dans les substrats durs horizontaux ou en pente peu prononcée (Linares *et al.*, 2008 ; Gori *et al.*, 2011a, b). La forte variabilité des limites de profondeur trouvées peut être liée à la tolérance de cette espèce à un large éventail de conditions environnementales (Linares *et al.*, 2008).

La préférence pour une exposition sud des populations de *E. singularis* dans les eaux du Parc national de Port-Cros pourrait être liée à la topographie et aux conditions océanographiques régionales (Harmelin, 2004 ; Taupier-Letage *et al.*, 2013). Dans les régions méridionales de l'archipel, les fonds rocheux sont plus profonds, fournissant plus d'habitats disponibles pour cette espèce. En outre, les régions du sud sont plus influencées par les eaux du large qui sont exposées à la circulation générale du courant géostrophique Ligure, favorisant l'approvisionnement alimentaire des espèces benthiques suspensivores.

Une autre cause de cette répartition dans les zones sud peut être les conditions physiques liées à la température de l'eau de mer. Au cours de la période de stratification cette région est dominée par des vents du nord, de façon que l'eau chaude s'accumule probablement dans la partie nord de l'île. Cette hypothèse concorde avec les observations de Harmelin (2004), qui ont constaté que les endroits sur la partie nord des îles étaient plus chauds que ceux situées au sud. Cela pourrait avoir un effet négatif sur les populations de gorgones peu profondes de la partie nord des îles, en raison de la sensibilité de *E. singularis* au stress thermique (Coma *et al.*, 2009 ; Linares *et al.*, 2013). Néanmoins, étant donné que nous n'avons pas mesuré les paramètres environnementaux, cette hypothèse n'est que théorique.

### Les données de référence pour les populations de *Eunicella singularis* du Parc national de Port-Cros

Les modèles de densité, structure de tailles et mortalité observés dans les populations de cette étude, offrent des données de référence pour de futures études des populations de *E. singularis* peu profondes au Parc national de Port-Cros.

Les valeurs de densité et de hauteur trouvées dans cette étude sont cohérentes avec celles observées par Linares *et al.* (2008), sur un large éventail d'autres populations de *E. singularis* dans la Méditerranée nord-occidentale.

L'ampleur de la mortalité et des blessures des tissus dans les colonies des populations de Port-Cros a été relativement faible, sauf pour la population Le Petit Sarranier. Cette population a été touchée par des mortalités récentes et passées, probablement en raison de sa distribution peu profonde. Étant donné que le régime de courants dans cette zone exposée est élevé, l'approvisionnement alimentaire pour les colonies est assuré. Néanmoins, en raison de leur distribution peu profonde, inférieure à 15 m de profondeur, ces colonies sont fortement affectées par le stress thermique, provoquant ainsi des mortalités récurrentes. De plus, la présence de l'espèce envahissante *Caulerpa racemosa* peut accroître les effets de la mortalité sur cette population en réduisant la capacité de recrutement, ou limiter la croissance des colonies adultes à cause de la prolifération. Avec le régime actuel de réchauffement des eaux, la population du Petit Sarranier a un risque élevé d'être gravement endommagée ou même de disparaître.

Les autres populations de *E. singularis* dans le Parc national de Port-Cros ont montré des densités élevées et une faible fréquence des blessures. La faible proportion de colonies fortement endommagées suggère que la plupart des populations étudiées n'ont pas été exposées à de fortes perturbations indiquant un bon état de conservation.

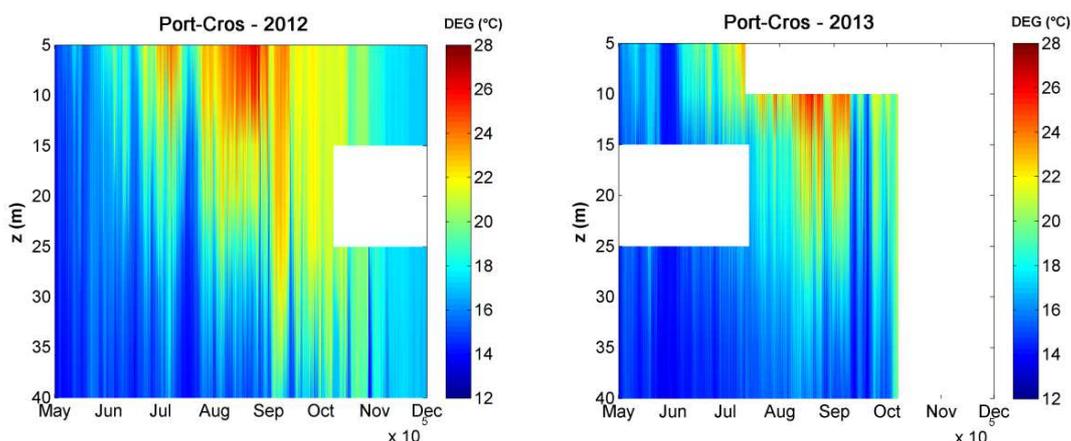
Nous avons trouvé en général plus de blessures que dans d'autres populations (Linares *et al.*, 2008). Toutefois, la mortalité et blessures des populations à Port-Cros sont beaucoup plus faibles que autres populations affectées par des phénomènes de mortalité en masse (qui arrivent à 50% d'extension des blessures dans la surface des colonies, Cerrano *et al.*, 2000 ; Linares *et al.*, 2005 ; Coma *et al.*, 2006).

### **Dynamique des populations et état de conservation**

La plupart des populations ont des colonies avec un faible degré de blessure (moins de 10%) et surtout avec épibiontes. Seule la population du Petit Sarranier présente une forte proportion de colonies mortes et des blessures avec l'axe dénudé. Ces résultats pourraient suggérer que cette dernière population a été soumise à des niveaux élevés de mortalité, en raison des caractéristiques locales de l'environnement, telles que l'exposition à des températures plus élevées (Coma *et al.*, 2006 ; Linares *et al.*, 2008). Cette tendance est semblable au Rocher de la Croix et à la Pointe de la Croix, mais ces populations montrent une plus grande proportion de colonies avec épibiose. Les épibiontes prolifèrent rapidement sur les parties dénudées de colonies touchées par la mortalité, de sorte que leur présence est considérée comme un indicateur de perturbation passée (Coma *et al.*, 2004, 2006 ; Linares *et al.*, 2005). Ainsi la plupart des populations observées dans cette étude n'a pas été affectée par des perturbations récentes, à l'exception de la population du Petit Sarranier, et éventuellement celles du Rocher de la Croix et Pointe de la Croix. La faible proportion de parties dénudées sur les autres populations en accord avec d'autres études, indique qu'elles ont été épargnées car toutes les populations présentent toujours des pièces dénudées dans une certaine mesure (Linares *et al.*, 2005 ; Coma *et al.*, 2006). Cependant, la proportion de colonies avec axe et extrémité apicale dénudés, a été

plus élevée que celle observée dans les populations de *E. singularis* de la côte méditerranéenne de l'Espagne (Linares *et al.*, 2008).

Un inconvénient de cette étude était le manque de données quantitatives de base pour évaluer l'état de conservation de ces populations de *E. singularis* dans le Parc national de Port-Cros. Cependant, nos résultats montrent que les populations moins profondes (moins de 15 m) présentent des signes de mortalité récente avec une proportion plus élevée de blessures par rapport aux populations les plus profondes. Les données de température disponibles sur le Parc national de Port-Cros ([www.t-mednet.org](http://www.t-mednet.org)) montrent que la position de la thermocline saisonnière se situe à environ 15 m et dépasse rarement 28°C (figure 20).



**Figure 20-** Régime annuel (2012 et 2013) de la température de l'eau en profondeur à Port-Cros (source [www.t-mednet.org](http://www.t-mednet.org)).

On sait que *E. singularis* est sensible aux anomalies thermiques (Coma *et al.*, 2006) et des études expérimentales démontrent que l'exposition de ces espèces à des températures >26°C peut avoir des effets sous-létaux ou létaux (Coma *et al.*, 2009 ; Linares *et al.*, 2013). Ainsi, il semble que la formation d'une thermocline saisonnière pourrait être le principal facteur affectant des populations peu profondes de *E. singularis* dans le Parc national de Port-Cros. En revanche, les populations en dessous de la thermocline sont probablement moins exposées au stress thermique. La présence de ce seuil de profondeur est en accord avec d'autres études (Cerrano *et al.*, 2000 ; Perez *et al.*, 2000 ; Linares *et al.*, 2005 ; Coma *et al.*, 2006), bien que dans notre cas il a été trouvé à une moindre profondeur. Néanmoins, il faut prendre en compte que les dernières études portaient sur les événements de mortalité massive et elles ont également étudié les populations les plus profondes. En outre, d'autres facteurs que la température et qui ne sont pas évalués dans cette étude, comme l'approvisionnement en nourriture, les courants locaux, etc., pourraient avoir un rôle important dans le façonnement des tendances observées.

Les populations de *E. singularis* examinées dans cette étude ont été dominées par des colonies de taille moyenne, une seule localité (Le Petit Sarranier) a présenté une prévalence de petite taille des colonies. Nos résultats contrastent avec d'autres études réalisées dans le bassin méditerranéen, où une dominance de colonies de petite taille a été trouvée dans les populations

peu profondes (Coma *et al.*, 2006 ; Linares *et al.*, 2008 ; Gori *et al.*, 2011). Ces études suggèrent que la forte proportion de colonies de petites dimensions était due à un taux de survie élevé des juvéniles *E. singularis* et un recrutement continu dans le temps (Ribes *et al.*, 2007 ; Linares *et al.*, 2008). En revanche, la dominance de la taille moyenne d'âge dans la plupart des populations du Parc national de Port-Cros, suggère un faible taux de recrutement et de survie de ces recrues.

La corrélation entre la taille et la densité des populations de *E. singularis* de Port-Cros présente une valeur de pente très proche de 1/2 prédite par Yoda *et al.* (1963). Ceci contraste avec les résultats de Linares *et al.* (2008), pour les populations de la côte espagnole de cette espèce. Dans cette étude précédente, aucune relation entre taille et densité a été trouvée et les auteurs suggèrent que d'autres facteurs que la concurrence intra-spécifique pourraient régir la structure des populations de *E. singularis*. En revanche, nos résultats suggèrent la présence d'une densité-dépendance négative et une concurrence intra-spécifique des populations de *E. singularis* dans le Parc national de Port-Cros.

En tenant compte de l'ensemble des résultats, nous avons observé un gradient de populations présentant des caractéristiques différentes. Les populations les plus profondes (sur Gabinière et Sec du Langoustier) ont été dominées principalement par les individus plus grands, avec des faibles valeurs de densité et une moindre étendue des blessures. En revanche, les populations autour de 15 m de profondeur (Rocher de la Croix, Pointe de la Croix et Pointe des Salis) ont été principalement dominées par les colonies petites et moyennes, avec relativement peu de blessures, mais avec certains signes de mortalité récente, probablement en raison des fluctuations de la thermocline saisonnière. Enfin, la population la moins profonde (Le Petit Sarranier) a montré la plus forte proportion de colonies petites et mortes, ce qui indique qu'il s'agit de la population la plus exposée aux perturbations naturelles et aux variations saisonnières de la température.

Il est bien connu que la profondeur peut être considérée comme un gradient de stress environnemental, car de nombreux facteurs tels que la disponibilité de lumière, le mouvement de l'eau, la température ou le taux de sédimentation varient avec la profondeur (Zabala & Ballesteros, 1989 ; Garrabou, 2002). Ceci est en accord avec les résultats de cette étude (mais à une plus petite échelle spatiale), car il montre un gradient de profondeur où il y a un changement de la structure et de la dynamique de la population, où la température semble être le facteur le plus important. Les taux de mortalité naturelle des grandes colonies de *E. singularis* sont généralement faibles, contrairement aux plus petites (Coma *et al.*, 2004), de sorte que dans un habitat stable (populations les plus profondes), les grandes colonies peuvent dominer et exclure, par concurrence intraspécifique, les plus petites. En outre, lorsque la fréquence des perturbations augmente (les populations autour de la thermocline saisonnière), la mortalité des colonies plus grandes est renforcée et la concurrence intraspécifique est réduite, entraînant ainsi une distribution de taille essentiellement dominée par les colonies petites et moyennes. Enfin, lorsque les perturbations sont plus fréquentes (populations au-dessus de la thermocline saisonnière), la plupart des plus grandes colonies disparaissent, et les colonies les plus petites dominent.

À notre connaissance, ce travail est la première caractérisation des populations de *E. singularis* peu profondes dans le Parc national de Port-Cros. Ainsi, avec cette étude nous avons fourni une

base pour de futures études sur cette espèce dans les eaux du parc. Le besoin d'une connaissance plus détaillée sur la biologie et l'écologie de cette gorgone persiste, afin de mieux comprendre leurs tendances futures dans le cadre du scénario global de changement environnemental. Par conséquent, des recherches sur les populations trouvées dans cette étude permettront d'améliorer notre compréhension de la dynamique de cette espèce sur des échelles de temps plus grandes et l'occurrence et l'impact des événements de mortalité massive. Cela devrait inclure un plan de surveillance avec des études examinant ces populations annuellement comme cela se fait pour d'autres espèces à l'échelle du parc.

## 5. Conclusions

- Les populations de *E. singularis*, du Parc national de Port-Cros, montrent une limite de distribution de profondeur supérieure et inférieure très variables, probablement liée à leur tolérance à un large éventail de conditions environnementales. En outre, ces populations ont été plus abondantes dans la partie sud des îles, ce qui pourrait être en rapport avec les conditions océanographiques régionales.
- Les valeurs de la densité, la taille et la mortalité observées dans les populations de cette étude sont très semblables aux études précédentes menées dans d'autres endroits de la Méditerranée nord-occidentale (côte espagnole Méditerranéenne, îles Baléares, mer Tyrrhénienne). Cette étude offre des données de référence pour des études de populations de *E. singularis* peu profondes dans les eaux du Parc national de Port-Cros.
- La plupart des populations étudiées ont été dominées par des colonies de taille moyenne, ont montré une faible proportion de colonies fortement endommagées et les colonies les plus blessées avaient des épibiontes, suggérant que la plupart n'ont pas été exposées à de fortes perturbations.
- La population du Le Petit Sarranier, qui est la moins profonde, a été la seule population présentant une forte proportion de colonies mortes avec l'axe dénudé, et avec une dominance d'individus de petite taille. Ces résultats suggèrent que cette population a été soumise à des niveaux élevés de mortalité à cause des caractéristiques locales de l'environnement, tels que l'exposition à des températures plus élevées. Ces résultats suggèrent que cette population pourrait être la plus exposée aux perturbations naturelles. Les impacts humains ne sont pas considérés comme une cause possible à cet endroit, étant donné le statut de protection du site.
- Les populations du Rocher de la Croix et Pointe de la Croix ont montré une certaine mortalité mais avec une plus grande proportion de colonies avec épibiose, ce qui suggère qu'elles ont souffert des épisodes de mortalité dans le passé.
- Dans l'ensemble, nos résultats montrent que les populations les moins profondes (moins de 15 m) ont présenté des signes de mortalité récente avec une forte proportion de blessures par rapport aux populations les plus profondes. Ainsi, il semble que la formation d'une thermocline saisonnière pourrait être le principal facteur affectant les populations moins profondes de *E. singularis* dans le Parc national de Port-Cros. En revanche, les populations en dessous de la thermocline étaient probablement moins exposées au stress thermique.

- En raison des épisodes récurrents de mortalité passés et récents, il est fortement recommandé de surveiller ces populations chaque année enfin d'avoir une meilleure connaissance des événements possibles de mortalité.

## 6. Protocole de surveillance

Grâce à cette étude, des populations bien développées de *E. singularis* ont été trouvées sur 3 stations à Porquerolles, 1 sur la presqu'île de Giens, et 2 à Port-Cros.

Les points d'échantillonnage que nous proposons sont Point de Salis (Giens), Petit Sarranier, Rocher de la Croix, sec du Langustier (Porquerolles) et Pointe de la Coix et Gabinière (Port-Cros) (Tableau 1).

À chaque prélèvement, la densité des colonies (nombre de colonies/m<sup>2</sup>), la structure de tailles et doivent l'étendue de la blessure être estimées pour les populations de *E. singularis*. Afin de surmonter la variabilité spatiale à la plus petite échelle, trois sous-populations séparées par 50 m doivent être choisies à chaque site d'échantillonnage.

La densité doit être mesurée en comptant toutes les colonies incluses dans ces quadrats de 50 x 50 cm placés au hasard, et un minimum de 100 colonies par sous-population (un total de 300 colonies par population) doit être examiné. La hauteur maximale, la mesure et le type de blessures doivent être enregistrés pour chaque colonie. La hauteur maximale peut être mesurée avec une règle selon la distance entre la base de la colonie et l'extrémité de la pointe la plus éloignée.

L'étendue de la lésion peut être estimée comme étant le pourcentage de la surface totale de chaque colonie endommagée ou la perte de tissu.

Dans les colonies affectées, la condition de l'axe du squelette serait classée dans une des quatre catégories : (1) extrémité apicale dénudée, qui est causée par une mortalité récente, (2) axe dénudé, qui est causé par une mortalité récente, (3) épibiose dans l'axe et l'extrémité apicale, signe d'une mortalité passée ou (4) colonie morte, ce qui est un signe d'une mortalité passée.

## 7. Références

- ANDERSON M. J., GORLEY R. N., CLARKE K. R., 2008. - PERMANOVA+ for PRIMER: Guide to software and statistical methods. PRIMER-E: Plymouth, UK.
- BALLESTEROS E., 2006. - Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of present knowledge. *Oceanogr Mar Biol*, 44: 123–195.
- BAVESTRELLO G., CERRANO C., ZANZI D., CATTANEO-VIETTI R., 1997. - Damage by fishing activities to the gorgonian coral *Paramuricea clavata* in the Ligurian Sea. *Aquat Conserv*, 7: 253-262.
- BRAMANTI L., IANNELLI M., SANTANGELO G., 2009. - Mathematical modelling for conservation and management of gorgonians corals: youngs and olds, could they coexist?. *Ecol Model*, 220(21): 2851-2856.
- CERRANO C., BAVESTRELLO G., BIANCHI C. N., CATTANEO-VIETTI R., BAVA S., MORGANTI C., MORRI C., PICCO P., SARA G., SCHIAPARELLI S., SICCARDI A., SPONGA F., 2000. - A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (north-western Mediterranean), summer 1999. *Ecol Lett*, 3: 284–293.
- CERRANO C., ARILLO A., AZZINI F., CALCINAI B. CASTELLANO L., MUTI C., VALISANO L., ZEGA G., BAVESTRELLO G., 2005. - Gorgonian population recovery after a mass mortality event. *Aquat Conserv*, 15: 147-157.
- CIGLIANO M., GAMBI M. C., 2007. - The long hot summer: A further mortality event of gorgonians along the Phlaegrean Islands (Tyrrhenian Sea). *Biol Mar Medit*, 14: 292–293.
- COLL M., LIBRALATO S., TUDELA S., PALOMERA I., PRANOVI F., 2008. - Ecosystem Overfishing in the Ocean. *PLoS ONE*, 3(12): e3881.
- COMA R., RIBES M., 2003. - Seasonal energetic constraints in Mediterranean benthic suspension feeders: effects at different levels of ecological organization. *Oikos*, 101: 205–215.
- COMA R., RIBES M., GILI J. M., ZABALA M., 2000. - Seasonality in coastal benthic ecosystems. *Trends Ecol Evol*, 15: 448–453.
- COMA R., POLA E., RIBES M., ZABALA M., 2004. - Long-term assessment of temperate octocoral mortality patterns, protected vs. unprotected areas. *Ecol Appl*, 14: 1466–1478.
- COMA R., LINARES C., RIBES M., DIAZ D., GARRABOU J., BALLESTEROS E., 2006. - Consequences of a mass mortality in populations of *Eunicella singularis* (Cnidaria: Octocorallia) in Menorca (NW Mediterranean). *Mar Ecol Prog Ser*, 327: 51–60.
- COMA R., SERRANO E., LINARES C., RIBES M., CALVIN J. C., 2007. - Informe sobre el estado de las poblaciones de gorgonias de la reserva marina de las Islas Hormigas. Servicio de Pesca y Acuicultura de la Comunidad Autónoma de Murcia.
- COMA R., RIBES M., SERRANO E., JIMÉNEZ E., SALAT J., PASCUAL J., 2009. - Global warming-enhanced stratification and mass mortality events in the Mediterranean. *PNAS*, 106: 6176-6181.

- CONDIT R., SUKUMAR R., HUBBELL S.P., FOSTER R.B., 1998. - Predicting population trends from size distributions: a direct test in a tropical tree community. *Am Nat*, 152: 495–509.
- GAMBI M. C., CIGLIANO M., IACONO B., 2006. - Segnalazione di un evento di mortalità di Gorgonacei lungo le coste delle isole di Ischia e Procida (Golfo di Napoli, Mar Tirreno). *Biol Mar Medit*, 13: 583–587.
- GARRABOU J., PEREZ T., SARTORETTO S., HARMELIN J. G., 2001. - Mass mortality event in red coral *Corallium rubrum* populations in the Provence region (France, NW Mediterranean). *Mar Ecol Prog Ser*, 217: 263–272.
- GARRABOU J., BALLESTEROS E., ZABALA M., 2002. - Structure and dynamics of north-western Mediterranean rocky benthic communities along a depth gradient. *Estuar Coast Shelf S*, 55: 493–508.
- GARRABOU J., COMA R., BALLY M., BENSOUSSAN N., CHEVALDONNÉ P., CIGLIANO M., DIAZ D., HARMELIN J. G., GAMBI M. C., KERSTING D. K., LEJEUSNE C., LINARES C., MARSCHAL C., PÉREZ T., RIBES M., ROMANO J. C., SERRANO E., TEIXIDO N., TORRENTS O., ZABALA M., ZUBERER F., CERRANO C., 2009. - Mass mortality in Northwestern Mediterranean rocky benthic communities: effects of the 2003 heat wave. *Glob Change Biol*, 15: 1090-1103.
- GILI J. M., COMA R., 1998. - Benthic suspension feeders: their paramount role in littoral marine food webs. *Trends Ecol Evol*, 13: 316–321.
- GORI A., LINARES C., ROSSI S., COMA R., GILI J. M. 2007. - Spatial variability in reproductive cycle of the gorgonians *Paramuricea clavata* and *Eunicella singularis* (Anthozoa, Octocorallia) in the Western Mediterranean Sea. *Mar Biol*, 151: 1571-1584.
- GORI A., ROSSI S., BERGANZO E., PRETUS J. L., DALE M. R., GILI J. M., 2011 a. - Spatial distribution patterns of the gorgonians *Eunicella singularis*, *Paramuricea clavata*, and *Leptogorgia sarmentosa* (Cape of Creus, Northwestern Mediterranean Sea). *Mar Biol*, 158(1): 143-158.
- GORI A., ROSSI S., LINARES C., BERGANZO E., OREJAS C., DALE M. R. T., GILI J. M., 2011 b. - Size and spatial structure in deep versus shallow populations of the Mediterranean gorgonian *Eunicella singularis* (Cap de Creus, northwestern Mediterranean Sea). *Mar Biol*, 158: 1721-1732.
- HARLEY C. D., RANDALL HUGHES A., HULTGREN K. M., MINER B. G., SORTE C. J., THORNBURGH C. S., RODRIGUEZ L.F., TOMANEK L., WILLIAMS, S. L., 2006. - The impacts of climate change in coastal marine systems. *Ecol Lett*, 9(2): 228-241.
- HARMELIN J. G., 1984. - Biologie du Corail Rouge. Paramètres de populations, croissance et mortalité. Etat des connaissances en France. – In: Charbonnier D. and Garcia S. (eds), Rapport de consultation technique du CGPM sur les ressources du corail rouge de la Méditerranée occidentale et leur exploitation rationnelle. FAO rapport N° 306 sur les Pêches, Palma de Mallorca: 99–103.
- HARMELIN J. G., 2004. - Environnement thermique du benthos côtier de l'île de Port-Cros (parc national, France, Méditerranée nord-occidentale) et implications biogéographiques. *Sci Rep Port-Cros Natl Park Fr*, 20: 173-194.

- HOTELLING H., 1933. - Analysis of a Complex of Statistical Variables Into Principal Components. *J Educ Psychol*, 24: 417-441.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2007. - *Climate Change 2007: The Physical Sciences Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report to the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, UK: 1-996.
- JONES C. G., LAWTON J. H., SHACHAK M., 1994. - Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 69: 373-386.
- KOMSTA L., NOVOMESTKY F., 2013. - Moments, cumulants, skewness, kurtosis and related tests. Version 0.13. <http://www.r-project.org>
- LASKER H. R., 1991. - Population growth of a gorgonian coral: equilibrium and non-equilibrium sensitivity to changes in life history variables. *Oecologia*, 86: 503-509.
- LINARES C., DOAK D., 2010. - Forecasting the combined effects of disparate disturbances on the persistence of long-lived gorgonians: the case study of *Paramuricea clavata*. *Mar Ecol Prog Ser*, 402: 59-68.
- LINARES C., COMA L., DIAZ D., ZABALA M., HEREU B., DANTART L., 2005. - Intermediate and delayed effects of a mass mortality event on gorgonian population dynamics and benthic community structure in the NW Mediterranean Sea. *Mar Ecol Prog Ser*, 305: 127-137.
- LINARES C., COMA R., GARRABOU J., DIAZ D., ZABALA M., 2008. - Size distribution, density and disturbance in two Mediterranean gorgonians: *Paramuricea clavata* and *Eunicella singularis*. *J Appl Ecol*, 45: 688-699.
- LINARES C., ZABALA M., GARRABOU J., COMA R., DIAZ D., HEREU B., DANTART L., 2010. - Assessing the impact of diving in coralligenous communities. The usefulness of demographic studies of red gorgonian populations. *Sci Rep Port-Cros natl Park*, 24: 161-184.
- LINARES C., GARRABOU J., HEREU B., DIAZ D., MARSCHAL C., SALA E., ZABALA M., 2012. - Assessing the effectiveness of marine reserves on unsustainably harvested long-lived sessile invertebrates. *Conserv Biol*, 26: 88-96.
- LINARES C., CEBRIAN E., KIPSON S., GARRABOU J., 2013. - Does thermal history influence the tolerance of temperate gorgonians to future warming? *Mar Environ Res*, 89: 45-52.
- NIKLAS K. J., MIDGLEY J. J., HAND R. H., 2003. - Tree size frequency distributions, plant density, age and community disturbance. *Ecol Lett*, 6: 405-411.
- OKSANEN J., KINDT R., LEGENDRE P., O'HARA R. B., 2005. - Vegan: community ecology package. Version 1.7-81. <http://cran.rproject.org>
- PEREZ T., GARRABOU J., SARTORETTO S., HARMELIN J. G., FRANCOUR P., VACELET J., 2000. - Mortalite massive d'invertébrés marins: Un événement sans précédent en Méditerranée nord-occidentale. *C R Acad Sci Paris III*, 323: 853-865.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2007) R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL. <http://www.Rproject.org>

- RIBES M., COMA R., ROSSI S., MICHELI M., 2007. - The cycle of gonadal development of *Eunicella singularis* (Cnidaria: Octocorallia): trends in sexual reproduction in Mediterranean gorgonians. *Inv Biol*, 126: 307–317.
- SHINOZAKI K., TIRA T., 1956. - Intraspecific competition among higher plants. VII Logistic theory of the C-D effect. *Journal of the Institute of Polytechnics, Osaka City University*, 12: 69-82.
- TAUPIER-LETAGE I., PIAZZOLA J., ZAKARDJIAN B., 2013. - Les îles d'Hyères dans le système de circulation marine et atmosphérique de la Méditerranée. *Sci Rep Port-Cros Natl Park*, 27: 29-52.
- WEINBERG S., 1978. - Mediterranean octocorallian communities and the abiotic environment. *Mar Biol*, 49: 41-57.
- WEINBERG S., 1980. - Autecology of shallow-water Octocorallia from Mediterranean rocky substrata, II. Marseille, Côte d'Azur and Corsica. *Bijdr Dierkd*, 50: 73–86.
- WEINBERG S., WEINBERG F., 1979. - The life cycle of a gorgonian: *Eunicella singularis* (Esper, 1794). *Bijdr Dierkd*, 48: 127-140.
- YODA K., KIRA T., OGAWA H., HOZUMI K., 1963. - Self-thinning in overcrowded pure stands under cultivated and natural conditions. Intra-specific competition among higher plants. *Journal of Biology, Osaka City University*, 14: 107–129.
- ZABALA M., BALLESTEROS E., 1989. - Surface-dependent strategies and energy flux in benthic marine communities or, why corals do not exist in the Mediterranean. *Sci Mar*, 53: 3-17.

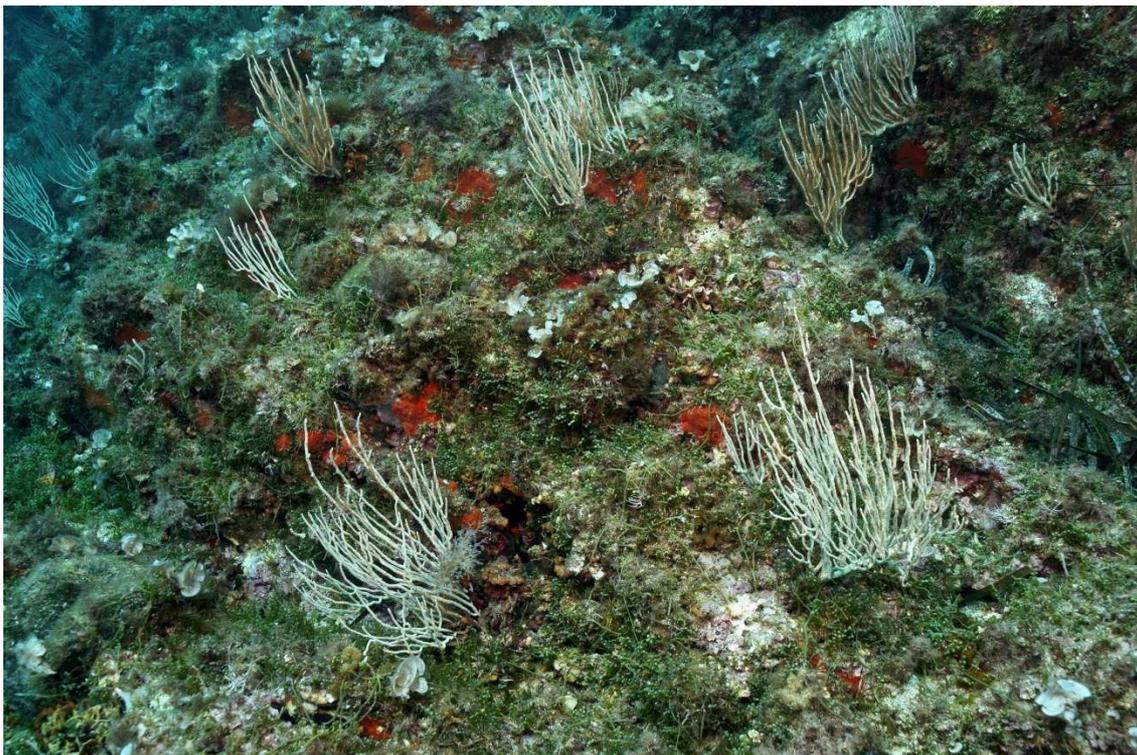
## 8. Planches photographiques



Echantillonnage au Rocher de la Croix, Porquerolles.



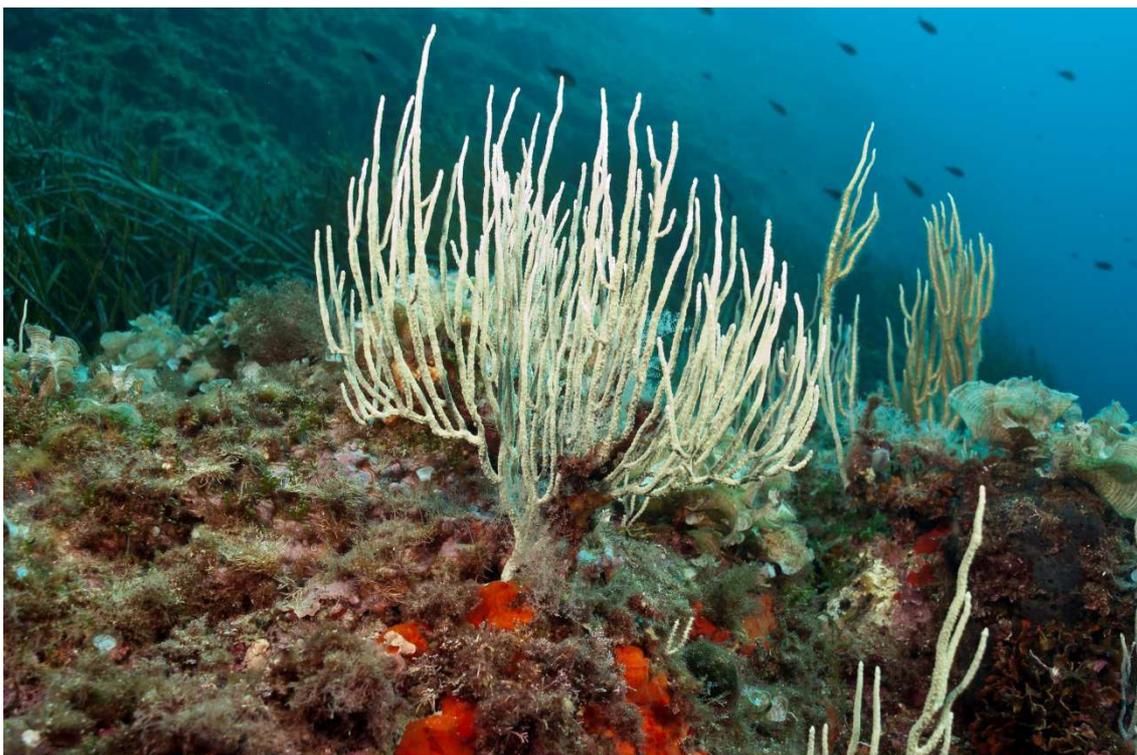
Echantillonnage au Rocher de la Croix, Porquerolles.



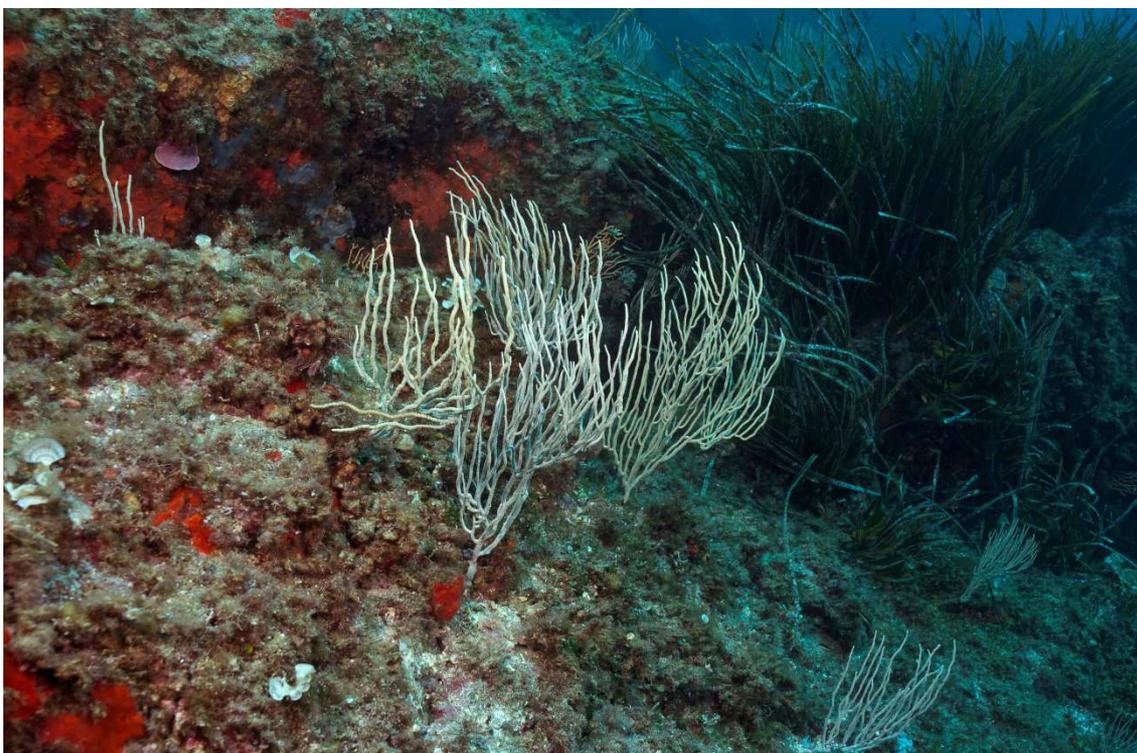
Colonies de *E. singularis* au Rocher de la Croix, Porquerolles.



Colonies de *E. singularis* au Rocher de la Croix, Porquerolles.



Colonies de *E. singularis* au Rocher de la Croix, Porquerolles.



Colonies de *E. singularis* au Rocher de la Croix, Porquerolles.



Colonie avec beaucoup d'épiphytes au Rocher de la Croix, Porquerolles.



Colonies de *E. singularis* au Petit Sarranier, Porquerolles.



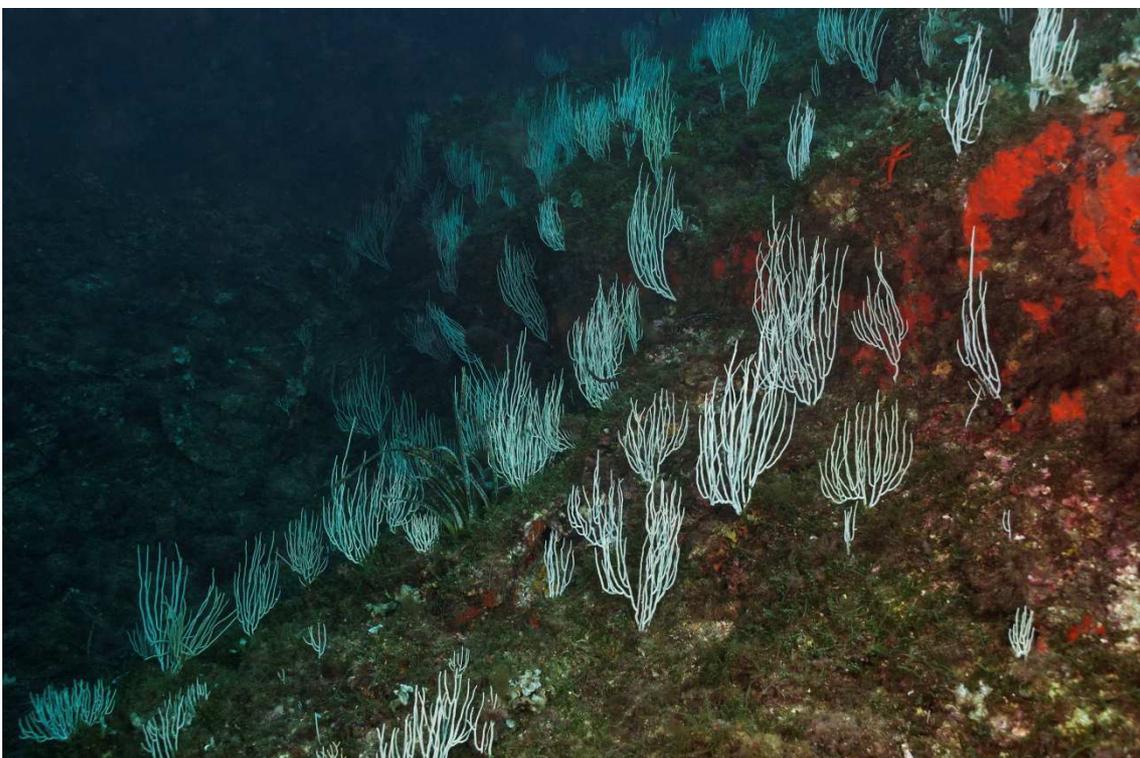
Colonie morte de *E. singularis* au Petit Sarranier, Porquerolles.



Population de *E. singularis* au Petit Sarranier, Porquerolles.



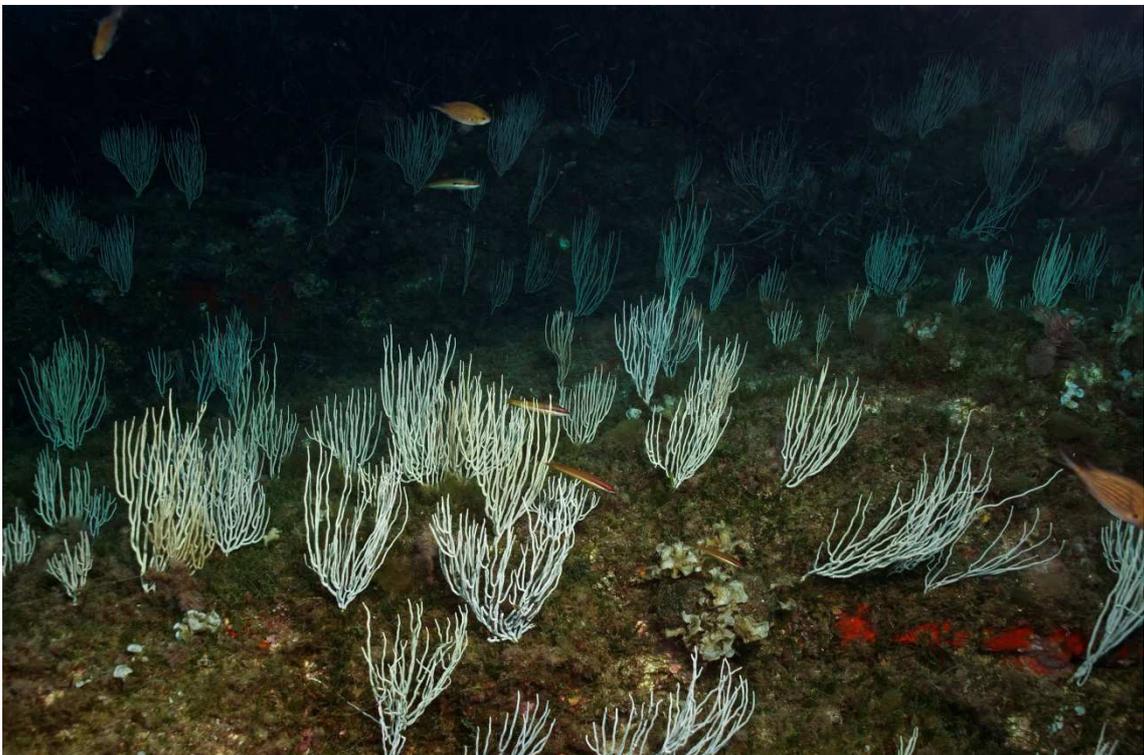
Limite inférieure de la distribution de *E. singularis* au Petit Sarranier, Porquerolles.



Population de *E. singularis* à la Pointe des Salis, Giens.



Population de *E. singularis* à la Pointe des Salis, Giens.



Population de *E. singularis* à la Pointe des Salis, Giens.