

Rapport mission Scandola

Cystoseira 2013



Photo: E. Sala

Enric Ballesteros¹, Bernat Hereu², David Diaz³, Emma Cebrian¹

¹ Centre d'Estudis Avançats de Blanes-CSIC

² Departament d'Ecologia, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona

³ Instituto Español de Oceanografía

INTRODUCTION

Les algues du genre *Cystoseira* sont des algues brunes constituées par un axe principal qui est attaché au rocher par un disque basal et duquel il partent des nombreux rameaux primaires et secondaires qui donnent à l'algue un aspect d'arbrisseaux de petite taille (10-60 cm dans les espèces méditerranéennes). Les algues du genre *Cystoseira* sont des espèces dominantes dans plusieurs communautés méditerranéennes qui se développent depuis la partie supérieure de l'étage infralittoral jusqu'à la partie supérieure de l'étage circalittoral, donc depuis 0 m et 50 mètres de profondeur, dans la réserve marine de Scandola. En plus, elles sont un genre qui a eu un développement extraordinaire en Méditerranée, de telle façon qu'il y a 37 taxa (à niveau spécifique ou infra-spécifique) endémiques de cette mer (Coll et al. 2010).

Les communautés dominées par *Cystoseira* rassemblent beaucoup à une forêt, avec des différents étages de végétation. La plupart des espèces sont très sensibles aux impacts anthropiques (Thibaut et al. 2005) et comme elles sont des espèces à un très grand valeur structural, toutes les espèces du genre sauf *Cystoseira compressa* ont été considérés comme des espèces à protéger par la Convention de Barcelone et elles sont incluses dans l'Annexe II de cette convention depuis l'année 2009.

Alors, les espèces du genre *Cystoseira* sont des espèces structurales à grand valeur patrimonial qui font des peuplements étendus dans les eaux de Scandola. En particulier les espèces et taxons infra-spécifiques qui sont présentes à Scandola sont:

Cystoseira amentacea var. *stricta*

Cystoseira balearica

Cystoseira compressa

Cystoseira compressa var. *pustulata*

Cystoseira crinita

Cystoseira foeniculacea

Cystoseira funkii

Cystoseira jabukae

Cystoseira spinosa var. *compressa*

Cystoseira usneoides

Cystoseira zosteroides

Étant Scandola une réserve marine qui a comme finalité la préservation des habitats et les espèces méditerranéennes et vis-à-vis de la importance qui ont les espèces de *Cystoseira* dans la conformation des paysages situées entre 0 et 50 m de profondeur, cet étude contribue à la connaissance des valeurs de ces peuplements, en concret à la dynamique dans le long terme, pour garantir sa préservation dans la réserve.

Comme d'habitude, les objectifs de la mission de l'année 2013 ont été suivre les travaux qu'on avait fait déjà les années précédents sur l'étude des peuplements des *Cystoseira* de profondeur (notamment à *Cystoseira spinosa* var. *compressa* et *Cystoseira zosteroides*) et sur les effets produits par une éradication expérimentale des oursins dans des zones qui pourraient héberger des forêts à *Cystoseira balearica*.

Études dans les peuplements à *Cystoseira spinosa*

Au début de ce projet, l'année 1994, on a fait six prélèvements de 50 x 50 cm² qui ont été utilisés pour évaluer la biomasse des espèces algales dans la communauté à *Cystoseira spinosa*, prélèvements qui ont été repérés pour la suivie du procès de recolonisation. On n'avait pas échantillonné la sous-strate encroutante pour favoriser le recrutement des espèces d'algues dressées. Pendant la mission de l'année 1995 on avait observé des jeunes recrues de *Cystoseira* qui n'ont pas été repérées par sa petite taille. La manque de missions pendant la période 1996-1998 a fait impossible la suite des quadrats jusqu'à l'année 1999 quand on a retrouvé les repères, et on a marqué, identifié, situé, et mesuré l'axe principal de tous les individus de *Cystoseira* spp. dans ces quadrats. A partir de l'année 1999, on a répété les mesures des ans précédents, donc nous avons déjà des données pendant 14 ans consécutifs sur l'évolution de ces peuplements "jeunes" des *Cystoseira* de profondeur. Notre objectif est l'étude de la recolonisation par des *Cystoseira* après destruction expérimentale des petits morceaux de communauté dans une forêt âgée et dense à *Cystoseira spinosa* en suivant la installation et la croissance des individus jeunes et aussi comparer les croissances obtenues dans ces individus par rapport à ce qu'on observe dans la forêt âgée. Cette année on a mesuré aussi le nombre et longueur des ramifications de l'axe principaux des individus "jeunes" et on les a comparées avec celles des individus des peuplements âgés.

L'année 1994 on a aussi marqué 51 individus âgés dans la forêt à *Cystoseira spinosa*, vers 26-28 m de profondeur, individus qui ont été suivis pendant les années 1995, et 1999 jusqu'à 2010. Pendant ces autres années on a aussi marqué d'autres individus pour substituer ceux qui avaient perdu la marque ou avaient disparu. Le but de cette étude était d'avoir une estimation à long terme de la croissance des individus. Néanmoins, la

mortalité et le recrutement n'étaient pas bien évalués avec cette méthode puisque on ne considérait les plantes nouvelles et on confondait les individus qui avaient disparu avec ceux qui avaient perdu la marque (et pourtant on ne pouvait pas avoir une estimation correcte de la mortalité). C'est pour ça que nous avons repéré une surface de 5 m² où, en plus de marquer tous les individus de *Cystoseira spinosa*, on a établi une carte de façon à pouvoir évaluer correctement la mortalité et le recrutement.

Études dans les peuplements à *Cystoseira zosteroides*

L'année 1995 on a marqué 50 individus âgés dans la forêt à *Cystoseira zosteroides*, vers 45-47 m de profondeur, individus qui ont été suivis pendant les années 1999 jusqu'à 2009 si on a pu les retrouver. L'année 1999 on a aussi marqué d'autres 58 individus pour substituer ceux qui avaient perdu la marque ou avaient disparu. Le but était le même que dans la communauté antérieure, c'est à dire l'estimation de la croissance à long terme. Néanmoins, les problèmes pour évaluer la mortalité et le recrutement étaient les mêmes que pour la communauté à *Cystoseira spinosa* et l'année 2000 et 2001 on a, donc, initié une nouvelle étude, en repérant une surface de 7 m² où, en plus de marquer tous les individus de *Cystoseira zosteroides* et *Cystoseira spinosa* (98 en total), on a établi une carte de façon à pouvoir évaluer correctement la mortalité et le recrutement.

Études dans les peuplements à *Cystoseira balearica*

L'année 1999 on avait commencé à étudier les communautés à *Cystoseira balearica* de l'île de Garganellu et on a trouvé que le recouvrement par les *C. balearica* était inverse et très significativement corrélé avec la densité d'oursins, ce qui suggérait dépendance entre les forêts et la densité des oursins. La perte des ces forêts de *C. balearica* causés par le surpâturage des oursins *Paracentrotus lividus* implique une forte perte de biodiversité dans l'environnement infralittoral (Ballesteros et al. 1999).

Une fois déterminé la possible dégradation des forêts de *C. balearica*, il faut questionner, comme les modèles existants prédissent (Sala et al. 1998), si le retour des communautés de surpâturage à des forêts à *C. balearica* est possible. Une intervention sur la population d'oursins de Garganellu était nécessaire et nous avons commencé en 2000 une étude expérimentale dans la réserve sur la possibilité et vitesse de récupération des forêts après une éradication des oursins, intervention qui a été faite après avoir le permis du Comité Scientifique de la Réserve de Scandola et de ses gestionnaires. Cette étude, nécessairement à long terme, a été continuée jusqu'à 2010.

MÉTHODOLOGIE

Toutes les études sur les communautés à *Cystoseira* de profondeur et toutes les études d'éradication d'oursins dans la communauté à *Cystoseira balearica* ont été réalisées sur la face sud de l'îlot de Garganellu (Figure 1), dans les mêmes localités des années précédentes.

Communautés à *Cystoseira* de profondeur

Les expériences réalisées peuvent se diviser en trois:

- 1) Suite de la croissance et mortalité des individus recrutés après mai 1994 dans la communauté à *Cystoseira spinosa* (26-28 m de profondeur). Evaluation du nombre des rameaux qui partent de l'axe principal et comparaison avec les individus âgés.
- 2) Suite de la croissance des individus âgés de *Cystoseira spinosa* dans la communauté à *Cystoseira spinosa* (26-28 m de profondeur) et maintien des marques des algues et délimitation de la surface d'étude pour suivre le recrutement, la croissance et la mortalité de tous les individus de *Cystoseira spinosa* (26 m de profondeur).
- 3) Suite de la croissance des individus âgés de *Cystoseira zosteroides* dans la communauté à *Cystoseira zosteroides* (45-47 m de profondeur) et maintien des marques des algues et la délimitation de la surface d'étude pour suivre le recrutement, la croissance et la mortalité de tous les individus de *Cystoseira zosteroides* et *Cystoseira spinosa* (50 m de profondeur).

Tous les individus de *Cystoseira* ont été marqués en attachant à la base des fils de nylon avec un code de noeuds, ce qui permet de les identifier facilement, même dans des conditions de lumière très mauvaises (Ballesteros, 1991; Ballesteros et al. 1995, 1999). Ces individus sont localisés dans des aires convenablement balisées au long des transects. On mesure la longueur de l'axe majeur de chaque individu avec une règle en plastique et une précision de ± 5 mm.

Communauté à *Cystoseira balearica*

Parcelles à éradication permanente

L'année 1999 on avait commencé une expérimentation d'éradication des oursins avec l'objectif d'étudier la possibilité et vitesse de récupération des forêts après une éradication des oursins, et la comparer avec zones sans éradication. Dans une station de chacune des différentes communautés algales (forêt, mixte et dénudée) on avait fait une éradication de tous les oursins qu'on avait trouvée tandis que l'autre station avait été laissée comme contrôle. Pour faire les éradications on avait cassé le test des oursins de toutes les tailles avec l'aide d'un couteau ou un marteau.

Pendant les années 2000-2011 on a fait toutes les études dans les six stations différentes qui avaient été repérées en 1999, situées sur la face sud de Garganellu, vers 6-10 m de profondeur. Trois états de développement des communautés algales (forêt, dénudée, mixte) et deux traitements (éradiqué, non éradiqué) y sont représentés (Ballesteros et al. 2000). Dans chacune des stations on avait établi quatre parcelles qui ont été utilisées comme des répliquas.

Dans toutes les parcelles on a mesuré la densité d'oursins et la couverture de *C. balearica* à l'aide des quadrats de 50 x 50 cm² (25 quadrats par parcelle, 100 quadrats par station). Chaque quadrat était divisé en 9 subquadrats pour faciliter l'estimation du recouvrement par les *Cystoseira* (en pourcentage de surface occupée). On a mesuré aussi la taille (diamètre du test) des oursins présents avec un pied-à-coulis dans tous les quadrats.

Pendant la période 1999 et 2010 on a éradiqué les oursins après son comptage mais à partir de 2011 on n'a pas procédé à éradiquer à nouveau tous les oursins dans les zones éradiquées après les mesures car en 2010 les peuplements étaient récupérés et on voulait savoir si les peuplements à *Cystoseira* pouvaient persister même sans éradication d'oursins.

Parcelles à éradication ponctuelle

L'objectif de cette expérience est de tester si des éradications ponctuelles dans des zones étendues de surpâturage, qui empêchent l'apparition des oursins adultes pour migration, peut permettre la récupération des forêts à *Cystoseira* dans de zones avec un haute densité de poissons prédateurs d'oursins. On a fait cette expérience comme une épreuve pilote pour l'application, si nécessaire, dans des zones affectées pour le surpâturage des oursins dans la réserve de Scandola ou ailleurs.

Pour simuler des zones étendues où l'apparition des oursins pour migration ne soit pas possible, on avait choisi l'année 1999 deux rochers submergés isolés par un fond de sable entre 25 et 40 mètres de longueur dans la même zone à Garganellu. Dans un des rochers il y avait une communauté à *C. balearica* bien développée et dans l'autre il y avait une communauté de surpâturage avec une densité élevée d'oursins. Dans chaque rocher on avait repéré 4 parcelles où on avait mesuré le recouvrement algal et la densité des oursins de la même façon que pour les parcelles à éradication permanente. On avait fait un total de 4 quadrats dans le rocher à forêt et 4 quadrats dans le rocher avec communautés de surpâturage. Après les mesures on avait éliminé tous les oursins des deux stations.

Cette année (2013) on a procédé de façon identique à l'étude des parcelles à éradication permanente sans éradiquer les oursins après l'échantillonnage.

RESULTATS ET DISCUSSION

Communautés à *Cystoseira* de profondeur

1) Suivie de la croissance des individus recrutés après mai 1994 dans la communauté à *Cystoseira spinosa*

Le nombre de plantes du genre *Cystoseira* observées dans les 6 quadrats suivis depuis l'année 1994 est de 89 avec une dominance des jeunes *Cystoseira spinosa* (58) suivis par des jeunes *Cystoseira funkii* (20) et, avec de densités beaucoup plus faibles, par des *Cystoseira jabukae* (3) et des *Cystoseira zosteroides* (4). Les densités et abondances relatives entre les différentes espèces sont encore différentes à celles observés dans la communauté à *Cystoseira spinosa* non perturbée (Ballesteros et al. 1995) où l'on observe aussi une dominance de *Cystoseira spinosa* mais une abondance relative très différente des autres trois espèces de *Cystoseira*, avec absence totale de *Cystoseira jabukae*, une abondance relativement élevée de *Cystoseira zosteroides* et une très faible abondance de *Cystoseira funkii*.

La structure en classes de taille de la population des jeunes *Cystoseira spinosa* continue à changer par rapport à ce qu'on a observé les années précédentes (Figure 2), où il y a un incrément régulier de la taille moyenne (Figure 3), aussi que dans *Cystoseira funkii*. Ces moyennes de longueur des axes principaux et, aussi, la distribution des fréquences des classes de taille, sont déjà les mêmes que celles qu'on trouve dans les peuplements âgés de *Cystoseira spinosa* du même site à Garganellu (Figures 4, 5). Alors, après 19 années (et 20 étés) depuis la élimination des troncs adultes des *Cystoseira*, le peuplement des nouvelles plantes est déjà pareille à la structure des peuplements âgés. Dans le peuplement âgé la moyenne de taille est de 30.77 ± 7.59 tandis que dans le peuplement "jeune" il est de 31.21 ± 4.92 . La valeur moindre du peuplement âgé s'explique par la présence de quelques individus à petite taille (Figure 5).

La mortalité annuelle moyenne dans la période d'étude pour la *Cystoseira spinosa* a été de 1.6%, 0% pour la *Cystoseira funkii*, 0% pour la *Cystoseira jabukae*, et 25% pour la *Cystoseira zosteroides*.

Si on fait un MDS avec les abondances des classes de taille comme descripteurs des peuplements jeunes et non-modifiés (âgés) de *Cystoseira spinosa* au cours des années on obtient le résultat de la figure 6. On voit comme la similarité entre les deux peuplements se rapproche avec le temps mais même dans l'année 2013 ils ne coïncident pas. Aussi, comme nous avons montré dans l'informe de l'année 2010, les individus du

peuplement âgé ont, donc, plus de rameaux et des rameaux beaucoup plus longs que ceux du peuplement "jeune", et donc on peut assurer que les peuplements sont encore différents.

2) Suivre de la croissance et la mortalité des individus âgés de *Cystoseira spinosa* dans la communauté à *Cystoseira spinosa*

L'année 2001 on a marqué un total de 187 individus situés sur une surface de 5 m² à une profondeur de 26 m dans une arête du rocher. La densité des plantes était de 37.4 individus m⁻². Tous les individus appartenaient à l'espèce *Cystoseira spinosa*. L'année 2013 le nombre d'individus était descendu jusqu'à 115, donc 23.0 individus m⁻². La distribution des individus en classes de taille (Figure 7) montre une dominance des classes situées entre 28 et 37 cm. En plus, il y a quelques individus de petite taille mais il y a toujours des individus très longs (Figure 7). La plupart des individus croissent entre 0 et 2 cm (Figure 8). Pour cette population et la période septembre 2012-septembre 2013 on a calculé une croissance moyenne du peuplement de 0.73 cm année⁻¹ (tous les individus). Dans l'année 2013 on a observé 3 individus morts et 0 recrues. Malgré une faible croissance moyenne et un nombre d'individus morts relativement bas, il y a eu une manque de recrues inquiétante pour la continuité dans le long terme de la communauté à *Cystoseira spinosa*.

3) Suivre de la croissance et la mortalité des individus âgés de *Cystoseira zosteroides* et *Cystoseira spinosa* dans la communauté à *Cystoseira zosteroides*

En 2001 on a marqué un total de 65 individus appartenant à l'espèce *Cystoseira zosteroides*, 36 individus de *Cystoseira spinosa*, 4 individus de *Cystoseira funkii* et 1 recrue non identifiée situées sur une surface de 7 m² à une profondeur de 50 m. La densité des plantes était de 14.28 individus m⁻², avec une densité de 9.28 individus pour l'espèce dominante. Dans la figure 9 on indique la variation de la densité des deux espèces principales dans la période 2001-2013 et dans la figure 11 on indique la variation de la taille moyenne des individus de *Cystoseira spinosa* et *Cystoseira zosteroides*. Les individus de *Cystoseira zosteroides* étaient plus longs (12.52 ± 3.86 cm) que ceux de 25-27 m (8.8 ± 3.7 cm; Ballesteros et al. 1999) et la distribution des individus en classes de taille (Figure 10) montrait une dominance très grande des classes de taille situées entre 12 et 14 cm. Après 12 ans on observe une faible croissance de toute la population (14.71 ± 3.54 cm) et maintenant la plupart des individus mesuraient entre 10 et 21 cm (Figure 11). La densité a diminué jusqu'à 7.0 individus m⁻² pour *Cystoseira zosteroides*. On n'a pas observé du recrutement dans ces 12 années. Pour

cette population et la période 2012-2013 on a trouvé une mortalité importante, du 9.3%. La croissance correspondant à l'année 2013 pour les individus à *Cystoseira zosteroides* présents dans les 7 m² a été faible (0.23 cm année⁻¹).

Les individus de *Cystoseira spinosa* à 50 mètres de profondeur avaient une densité beaucoup plus faible (5.14 plantes m⁻²), très inférieure à les densités qu'on trouvait à profondeurs moindres (voir ce rapport); sa taille moyenne était de 16.40 ± 7.41 cm, avec une dominance des tailles situées entre 11 et 23 cm. L'année 2013, la densité avait diminuée jusqu'à les 3.57 plantes m⁻², avec une taille moyenne de 21.48 ± 7.69, et une dominance des tailles situées entre 17 et 24 cm (Figure 12). La croissance moyenne pour la période octobre 2012-septembre 2013 a été de 0.25 cm.

Communauté à *Cystoseira balearica*

1) Évolution temporelle des parcelles permanentes

L'évolution temporelle des parcelles montre une diminution des densités d'oursins jusqu'à l'année 2005, où il y a un fort recrutement, qui est plus forte dans les parcelles non éradiquées, probablement pour l'effet de facilitation des adultes (Figures 12, 13). Les parcelles éradiquées, par contre, restent plus constantes, montrant que le traitement d'éradication est effectif (Figures 12, 13). À partir de l'année 2009 aucune parcelle a été éradiquée et la densité d'oursins ne montre pas de changement.

Quand on analyse l'évolution des populations d'oursins par rapport à la biomasse, on peut observer que dans les parcelles non dénudées la biomasse reste à peu près constante, avec une faible diminution dans les parcelles à surpâturage et une augmentation dans les communautés mixtes. La biomasse est plus élevée dans les communautés de surpâturage, suivi des communautés mixtes et les forêts, avec une biomasse très faible (Figures 12, 13). Dans les parcelles éradiquées la biomasse d'oursins reste toutes les années très faible (Figures 12, 13) mais dans les années 2006-2007 on observe une augmentation des biomasses des oursins dans la communauté de surpâturage éradiquée que peut être lié à une migration des oursins provenant des zones à haute densité, mais qu'elle a disparue à partir de l'année 2008. Même si la biomasse a augmenté un peu en 2011 dans les parcelles « dénudées » elle a descendu encore en 2012 et se maintient constante et très basse en 2013.

La distribution des oursins en classes de taille ne montre pas des différences très importantes entre 1999 et 2013 (Figure 14), sauf pour des pics de recrutement (comme

ce de 2005). Les stations dénudées et mixtes avaient une structure bimodale où il y avait un pic très important dans les classes de taille petites (qui correspond aux recrutements) et un autre pic dans les classes de taille plus grandes (6 – 7 cm), pic que n'existe pas dans les parcelles éradiquées après la première année. Néanmoins cette structure a disparu en 2013 quand les structures en classes de taille sont à peu près les mêmes dans les différents traitements. Il y a un faible recrutement dans les forêts ou à une mortalité post-recrutement très élevée. Ce qui est curieux est que même si la structure de tailles est la même –normal car il n'y a pas des différences en couverture de *Cystoseira* entre les stations, le nombre d'oursins est bien plus grande dans les zones dénudées que dans les zones forêt.

Par ce qui concerne à la couverture algale, les parcelles contrôle non éradiquées restent constantes dans la forêt et les communautés mixtes, mais dans l'année 2007 on montre une diminution de la couverture du presque le 100% au 70%, qui se maintient entre le 70 et le 80% jusqu'à le 2013. Par contre, la couverture des *Cystoseira* a effectué une croissance très rapide entre 2007 et 2011 dans la communauté de surpâturage jusqu'à devenir presque du même ordre que dans les forêts et les zones mixtes non éradiquées (Figure 13), ce qui s'explique pour une récupération des zones à surpâturage même sans intervention. Dans les parcelles éradiquées on observe une augmentation de la couverture des communautés mixtes et surtout de surpâturage, plus vite dans les premières années. Dans l'année 2005, les couvertures de toutes les communautés ont arrivées aux valeurs des communautés de forêt (Figure 12) et ces valeurs n'ont pas sensiblement changé après sauf une faible diminution dans la communauté à surpâturage pendant les années 2008 et 2009, une tendance qui n'est pas retenue pour 2011 ni 2012.

Après douze ans de la mise en place de l'étude on arrive pour le moment à des résultats prévus dans les zones traités mais qui n'étaient pas évidents dans les zones contrôle. La récupération de la couverture des *Cystoseira balearica* dans les zones qu'il y a quatorze ans constituaient des facies à surpâturage, même si beaucoup plus lentement que dans les zones où les oursins avaient été éradiqués, indique que -dans les limites de la réserve marine- le système peut arriver à se contrôler sans intervention. Néanmoins, et à cause des fluctuations que tout peuplement a dans des conditions naturelles il est prudent de continuer l'étude pour voir si cette tendance à la normalisation continue.

2) Éradication ponctuelle

Les résultats des recensements d'oursins et recouvrement par *Cystoseira* dans les zones où on a réalisé les éradications ponctuelles sont similaires à ceux qu'on a obtenu dans

les parcelles permanentes. D'un côté, après l'éradication, les densités des oursins se maintiennent très faibles. Par contre, la couverture algale dans les forêts reste constante et très élevée, et les communautés de surpâturage éradiquées montrent une forte récupération, donc en trois années la couverture est comme les forêts non affectées par les oursins (Figure 15). On montre aussi l'évolution des classes de taille dans les peuplements à oursins et on observe une presque disparition des oursins dans la forêt à partir de 2011 et une forte oscillation du nombre et de sa distribution en classes de taille dans la zone à corallinacées éradiquée l'année 2000.

CONCLUSIONS

La plupart des conclusions sont les mêmes que dans les années précédentes ce qui n'ait pas rien de bizarre car l'évolution des peuplements qui nous étudions est a très long terme.

1.- Dix-neuf ans après la dénudation de petites zones dans la forêt à *Cystoseira spinosa*, vers 26-28 m de profondeur, la structure de la communauté est déjà rétablie, même si le nombre moyen d'axes secondaires n'est pas le même. Les seules différences sont donc le différent pourcentage des espèces de *Cystoseira* présentes et le nombre moyen de branches, celle des individus des zones non-dénudées bien plus grande que celles des individus des zones dénudées.

2.- Les individus recolonisant des éclaircies dans la communauté à *Cystoseira spinosa* ont donc évolué avec le temps vers une distribution de la structure de tailles où les individus sont plus grands et on observe une mortalité denso-dépendante plus importante chez les *C. funkii* et *C. jabukae* que dans *C. spinosa* et *C. zosteroides*.

3.- Presque tous les individus des peuplements nouveaux dans la communauté à *Cystoseira spinosa* montrent une croissance positive, sans rupture des axes principaux, tandis que dans les peuplements âgés il y a toujours une partie des individus que cassent leurs axes. Comme résultat l'année 2013 la longueur moyenne des axes des peuplements nouveaux était plus grande que celle des peuplements normaux.

4.- Cette année 2013 a été défavorable pour la croissance de *Cystoseira spinosa* car les croissances moyennes ont été inférieures à 1.0 cm mais la mortalité a été réduite. Le recrutement a été faible mais existant.

5.- Même si des croissances des axes moyennes de 0,23 cm ont été trouvées cette année pour les individus de *Cystoseira zosteroides* vers 50 m de profondeur, l'évaluation après 12 ans de suivie de ce peuplement à *Cystoseira zosteroides* nous indique une croissance très faible.

6- Après 14 ans de la éradication expérimentale des oursins dans les communautés de *Cystoseira balearica* affectés par le surpâturage, la couverture algale est récupérée et reste comment les communautés de forêt.

7- On observe une récupération des communautés à *Cystoseira balearica* même dans les zones non éradiquées qui indique une récupération naturelle sans intervention humaine.

8- Les parcelles d'éradication ponctuelle ont le même comportement que les parcelles à éradication continue.

Recommandations pour la gestion de la Réserve Marine

Les recommandations sont toujours les mêmes que dans les autres rapports antérieurs car il s'agit d'une étude à long terme et les petites variations interannuelles n'ont pas aucune importance.

Les peuplements à *Cystoseira spinosa* et *Cystoseira zosteroides* ont une dynamique très lente et sont extrêmement vulnérables aux impacts humains. Vu sa faible croissance et sa presque nulle capacité de recrutement on doit faire tout le possible pour éviter l'arrachement des plantes par le moyen des filets des pêcheurs. Donc, il conviendrait d'interdire ou diminuer la pêche au trémail dans des zones peuplées par des forêts de *Cystoseira* profondes.

Les peuplements à *Cystoseira balearica*, caractéristiques des environnements infralittoraux, ont une dynamique beaucoup plus active que ceux des *Cystoseira* de profondeur. Néanmoins, ils sont menacés par le surpâturage des oursins, qui à son tour pourraient être liés avec la densité des poissons (Sala et al. 1998). Pour le moment on observe que le recrutement des oursins a une grande variabilité interannuelle et par endroits, et que beaucoup des oursins peuvent échapper la prédation, même s'ils sont de petite taille. À cause de cette grande variabilité il n'est pas clair si les peuplements des poissons (*Diplodus* et Labridae)-oursins (*Paracentrotus*)-algues (*Cystoseira*) sont en équilibre dynamique dans les fonds de la Réserve ou il y a un déséquilibre qui va porter vers la disparition des forêts à *Cystoseira* et la prolifération des oursins dans le long terme. Néanmoins, les derniers résultats concernant les dernières années montrent qu'il peut y avoir dans les limites de la Réserve une récupération naturelle des peuplements à *Cystoseira* puisque des facies à surpâturage ont une tendance à se repeupler de *Cystoseira*. La continuation de l'étude va nous démontrer si cette apparente récupération est certaine ou s'il s'agit d'une fluctuation naturelle.

Remerciements

Cette étude a été financée pour le Parc Naturel Régional de la Corse. Nous tenons à remercier les gardes de la Réserve de Scandola qui nous ont permis de réaliser l'étude avec des excellentes conditions de sécurité.

REFERENCES

- Ballesteros, E. 1991. Seasonality of growth and production of a deep water population of *Halimeda tuna* (Chlorophyceae, Caulerpales) in the Northwestern Mediterranean. *Botanica Marina*, 34: 291-301.
- Ballesteros, E., E. Sala, J. Garrabou & M. Zabala 1995. Étude d'une population de *Cystoseira spinosa* Sauvageau de la Réserve Naturelle de Scandola (Corse). Rapport Mission. Parc Naturel Régional de la Corse (inédit).
- Ballesteros, E., E. Sala, J. Garrabou & M. Zabala 1998. Community structure and frond size distribution of a deep water stand of *Cystoseira spinosa* (Phaeophyta) in the northwestern Mediterranean. *Eur. J. Phycol.*, 33: 121-128.
- Ballesteros, E., J. Garrabou, B. Hereu, M. Zabala & E. Sala 1999. *Cystoseira* 1999. Rapport Mission Scandola. Parc Naturel Régional de la Corse (inédit).
- Ballesteros, E., B. Hereu, M. Zabala, T. Alcoverro & J. Garrabou 2000. *Cystoseira* 2000. Rapport Mission Scandola. Parc Naturel Régional de la Corse (inédit).
- Coll, M., C. Piroddi, J. Steenbek, K. Kaschner, F. Ben Rais Lasram, J. Aguzzi, E. Ballesteros, C. Nike Bianchi, J. Corbera, T. Dailianis, R. Danovaro, M. Estrada, C. Frogliani, B.S. Galil, J.M. Gasol, R. Gertwagen, J. Gil, F. Guilhaumon, K. Kesner-Reyes, M.S. Kitsos, A. Koukouras, N. Lamparidou, E. Laxamana, C.M. López Fe de la Cuadra, H.K. Lotze, D. Martin, D. Moillot, D. Oro, S. Raicevich, J. Rius-Barile, J.I. Saiz-Salinas, C. San Vicente, S. Somot, J. Templado, X. Turon, D. Vafidis, R. Villanueva & E. Voultziadou 2010. The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns and threats. *PLoS One*, 5(8): e11842. doi:10.1371/journal.pone.0011842.
- McClanahan, T.R. & E. Sala.1997. A Mediterranean rocky-bottom ecosystem fisheries model. *Ecol. Model.*, 104: 145-164.
- Sala, E. 1996. The role of fishes in the organization of a Mediterranean subtidal community. Thèse. Université d'Aix-Marseille.
- Sala, E. & E. Ballesteros 1997. Partitioning of space and food resources by three fish of the genus *Diplodus* (Sparidae) in a Mediterranean rocky infralittoral ecosystem. *Mar. Ecol. Progr. Ser.* 152: 273-283.

Sala, E., C. F. Boudouresque & M. Harmelin-Vivien 1998. Fishing, trophic cascades and the structure of algal assemblages: evaluation of an old but untested paradigm. *Oikos*, 82: 425-439.

Thibaut, T., S. Pinedo, X. Torras & E. Ballesteros 2005. Long-term decline of the populations of Fucales (*Cystoseira* spp. and *Sargassum* spp.) in the Albères coast (France, Northwestern Mediterranean). *Marine Pollution Bulletin*, 50: 1472-1489.

Verlaque, M. 1987. Contribution à l'étude du phytobenthos d'un écosystème photophile thermophile marin en Méditerranée Occidentale. Thèse. Université d'Aix-Marseille. 389 pp.

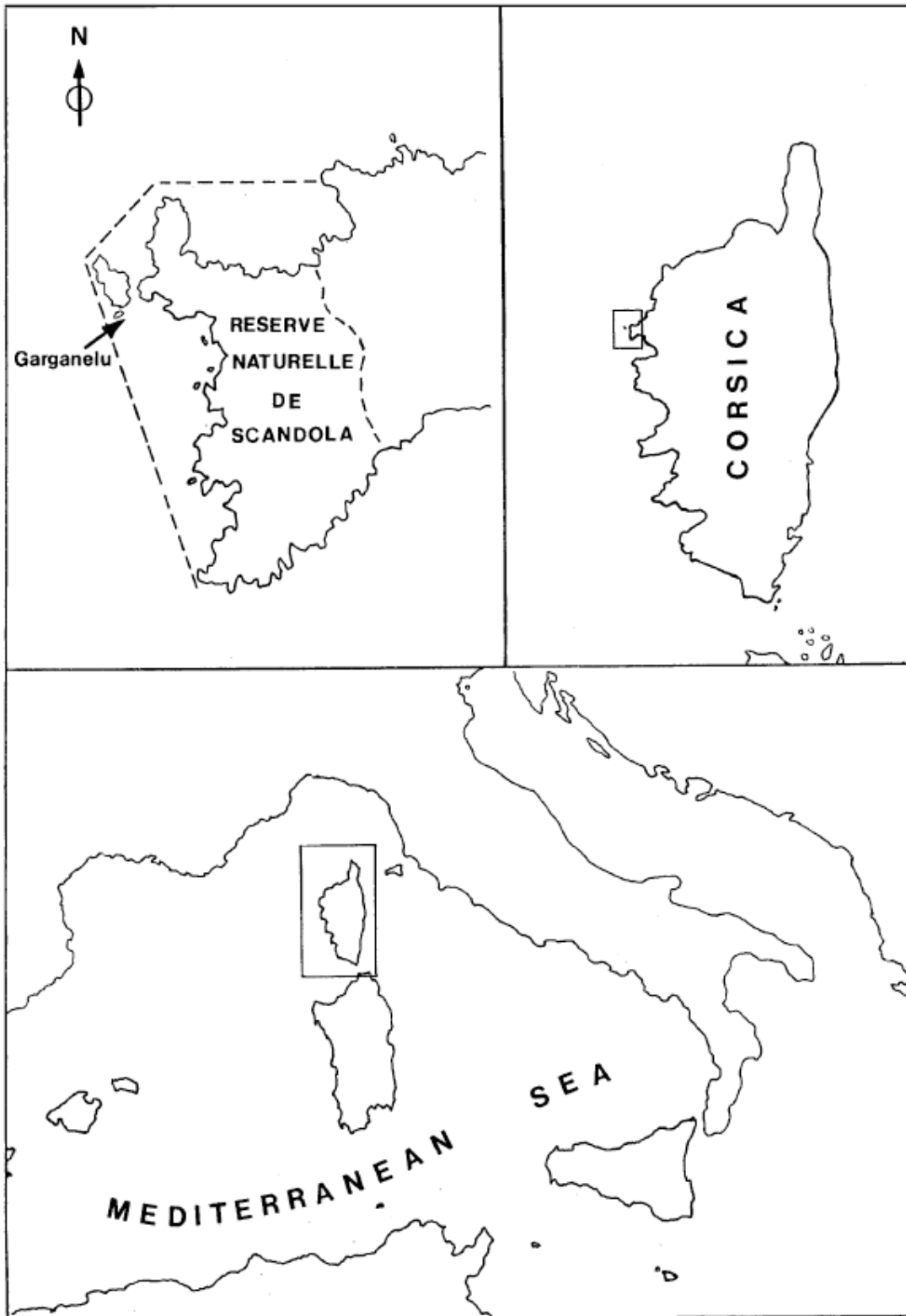


Figure 1.- Situation de la station de Garganelu dans la Réserve de Scandola.

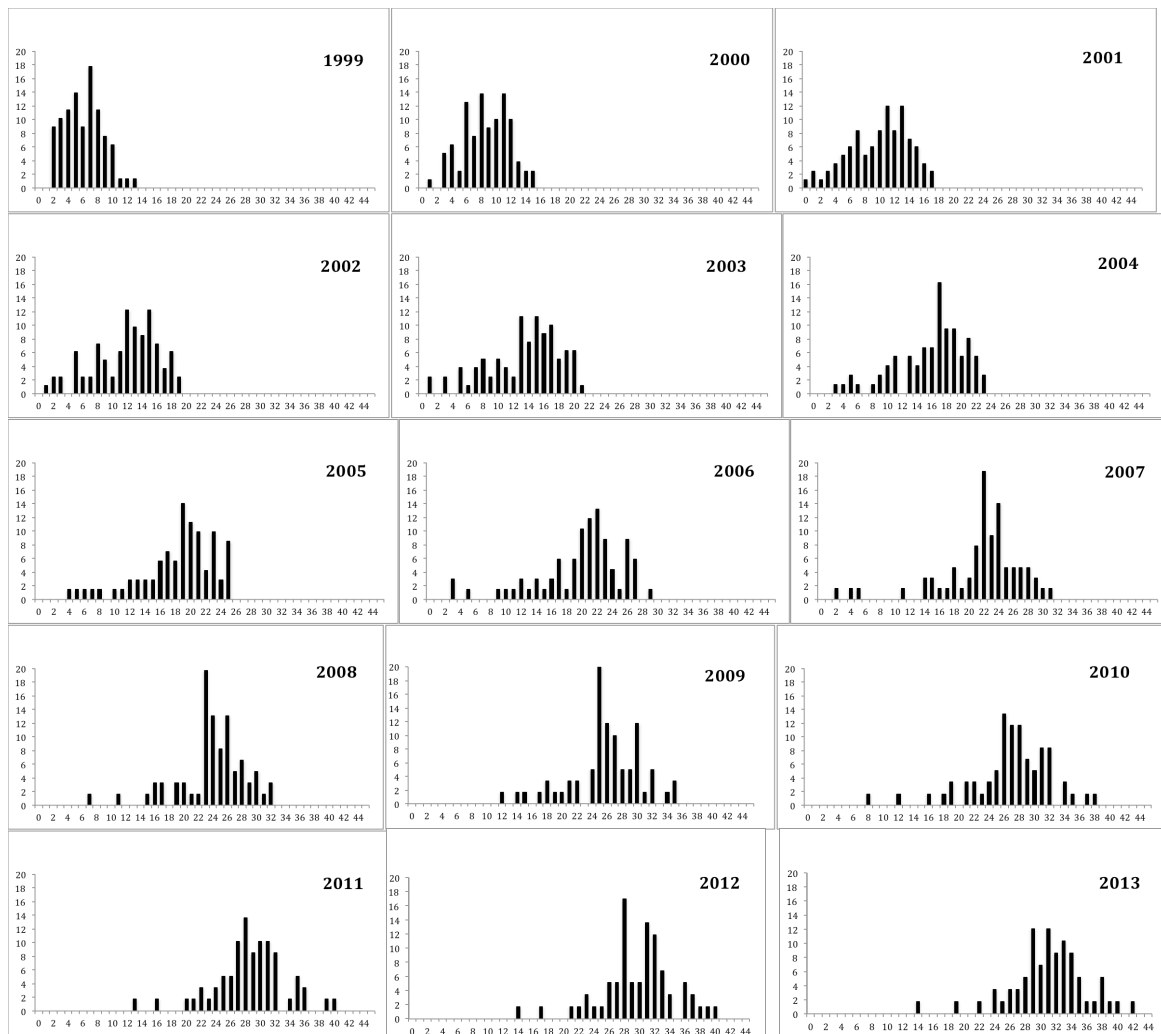


Figure 2.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* en classes de taille de l'axe majeur de 1 cm (length of main axis) d'octobre 1999 au 2013 dans les quadrats dénudés l'année 1994 parmi la forêt âgée de *Cystoseira spinosa*.

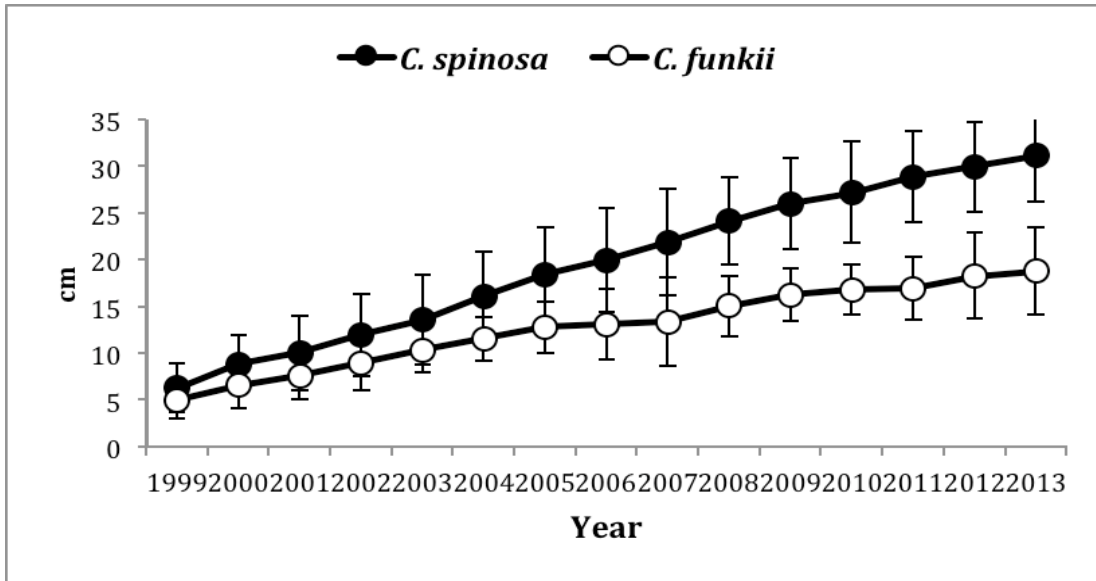


Figure 3.- Évolution de la taille moyenne de *Cystoseira spinosa* (cercles noires) et *Cystoseira funkii* (cercles vides) d'octobre 1999 au 2013 dans les quadrats dénudés l'année 1994 parmi la forêt âgée de *Cystoseira spinosa*. Moyennes et SD.

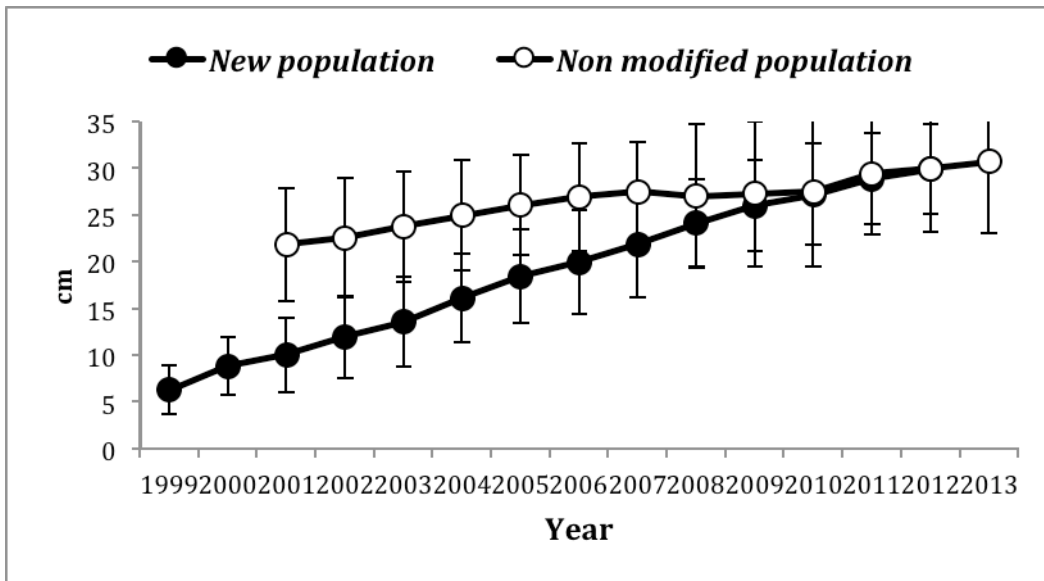


Figure 4.- Évolution de la taille moyenne de *Cystoseira spinosa* « jeunes » des quadrats dénudés l'année 1994 parmi la forêt âgée de *Cystoseira spinosa* (cercles noires) et la taille moyenne dans les quadrats non modifiés (cercles vides). Moyennes et SD.

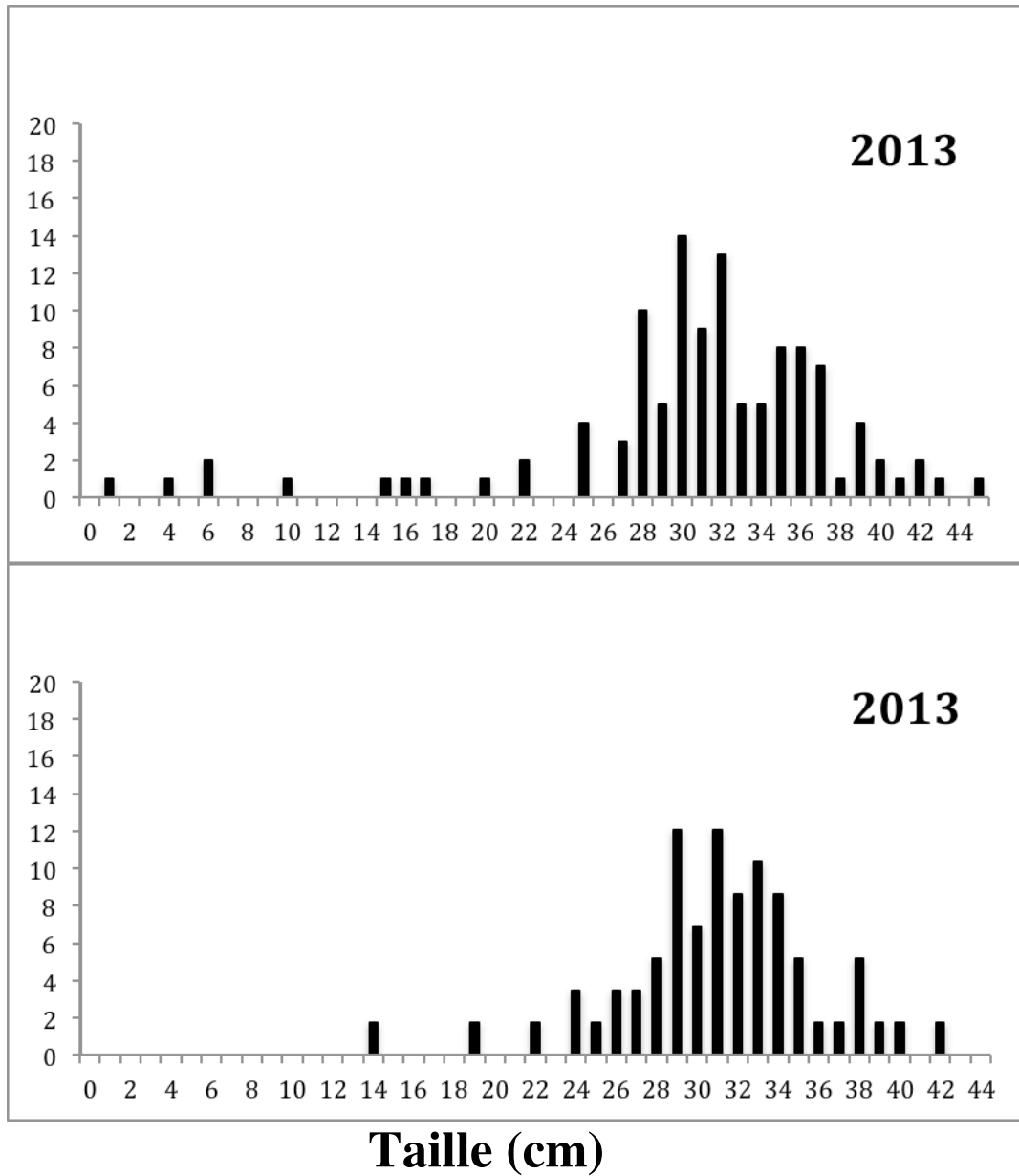


Figure 5.- Comparaison entre la structure des classes de taille dans les peuplements âgée (supérieur) et "jeune" (inférieur) de *Cystoseira spinosa* (données correspondants à l'année 2013).

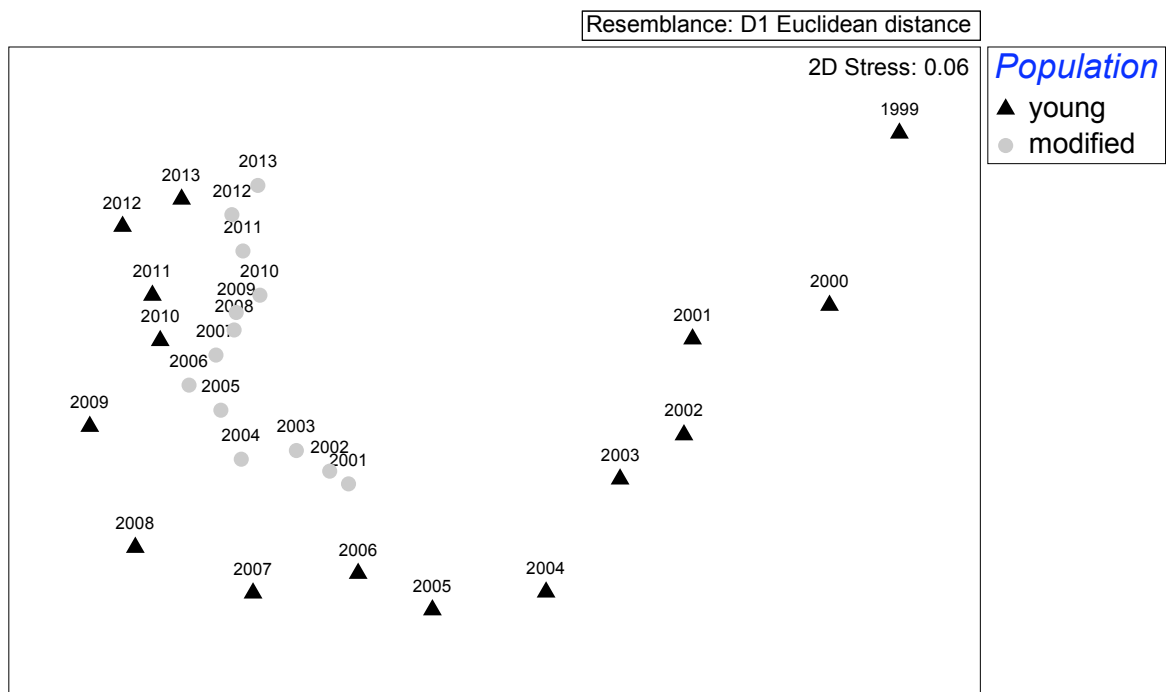


Figure 6.- Évolution comparative des deux peuplements « jeune » (cercles noires) et « âgé » (cercles vides) de *Cystoseira spinosa* depuis 1999 jusqu'à 2013.

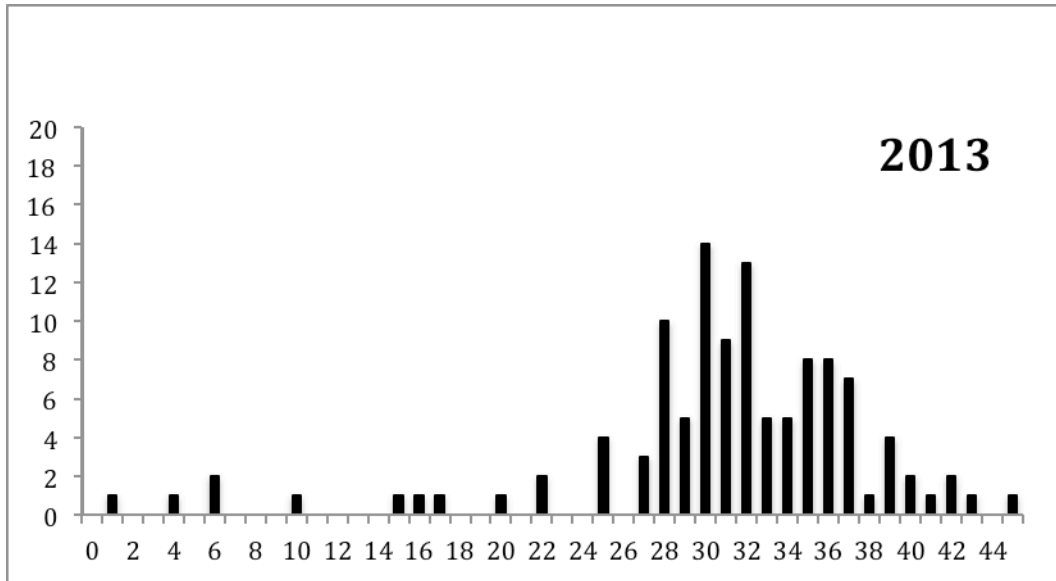


Figure 7.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* en classes de taille de l'axe majeur de 1 cm ("length of main axis") l'année 2013.

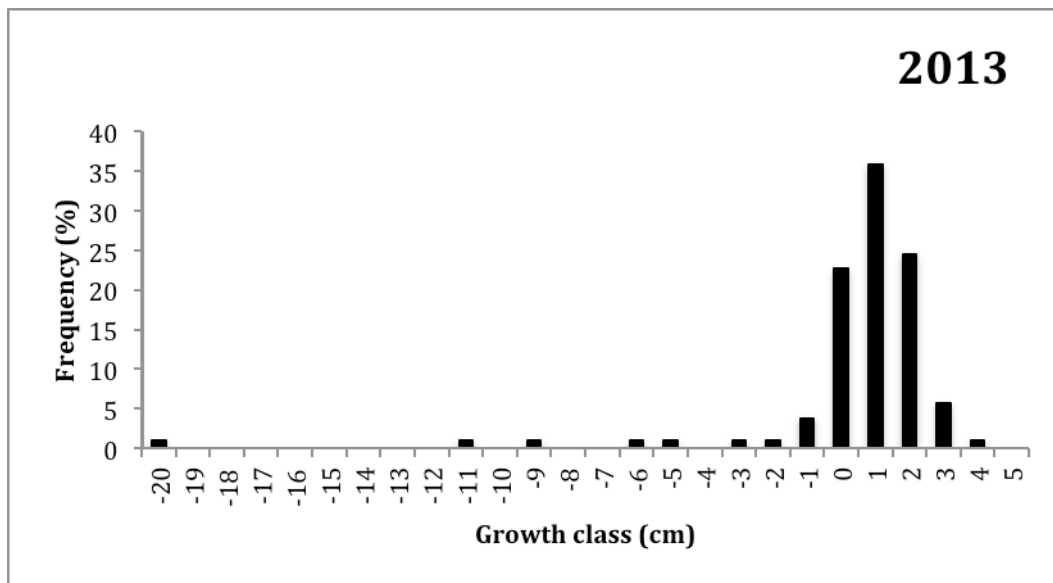


Figure 8.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* en classes de croissance de l'axe principale de 1 cm ("growth class") dans le peuplement âgé de *Cystoseira spinosa* de Garganellu, vers 26 - 28 m de profondeur.

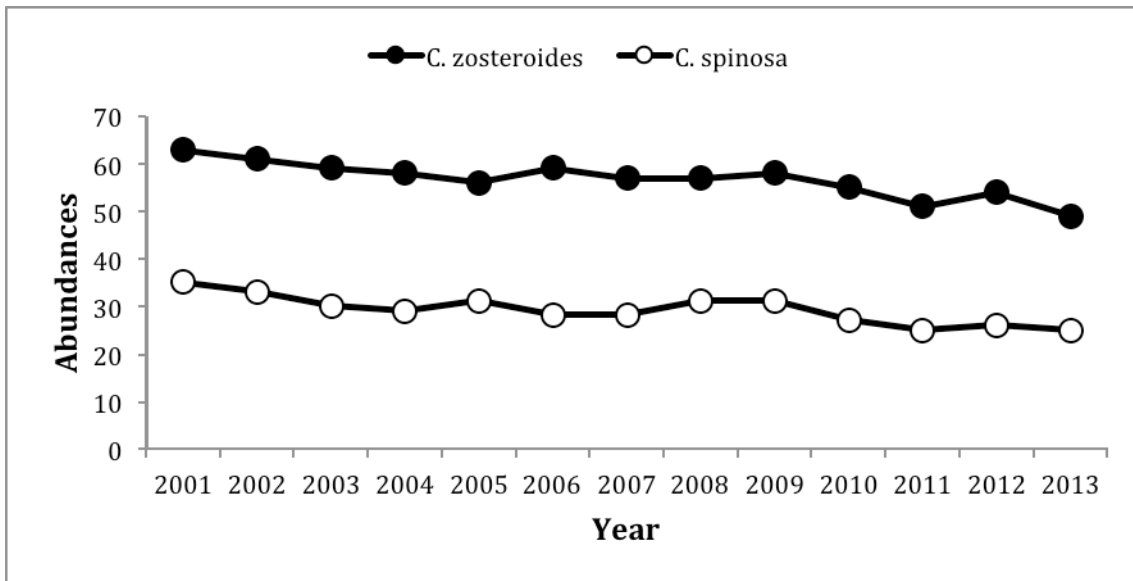


Figure 9.- Variation de la densité d'individus de *Cystoseira zosteroides* (cercles noires) et de *Cystoseira spinosa* (cercles vides) vers 50 metres de profondeur depuis l'année 2001.

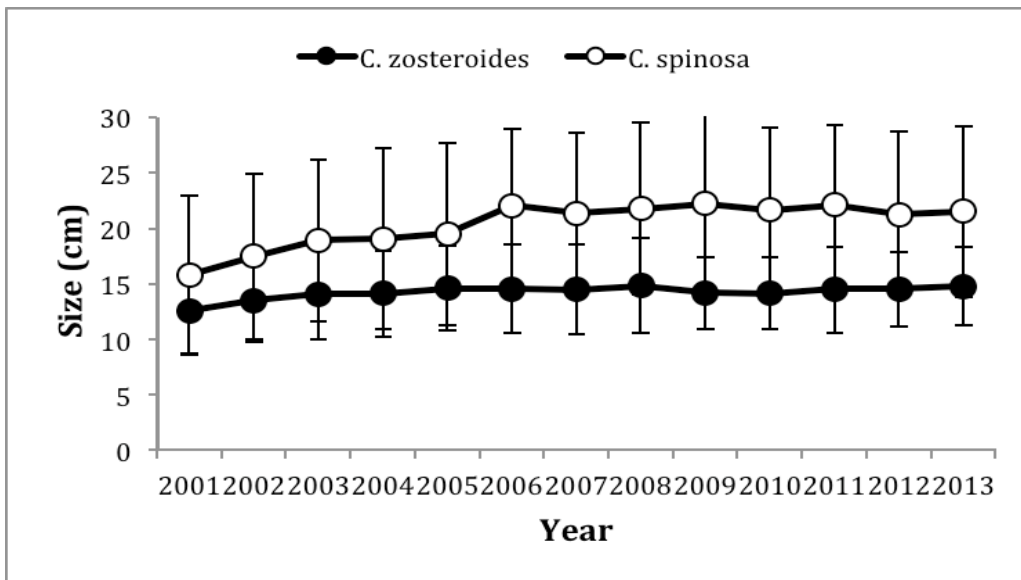


Figure 10.- Évolution de la taille moyenne de *Cystoseira spinosa* (cercles vides) et de *Cystoseira zosteroides* (cercles noires) vers 50 metres de profondeur. Moyennes et SD.

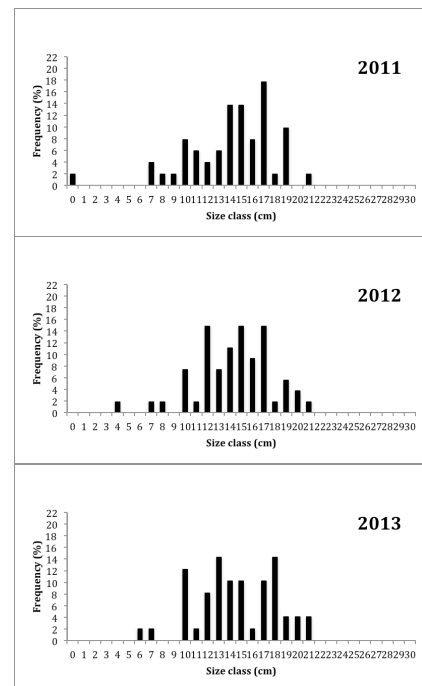
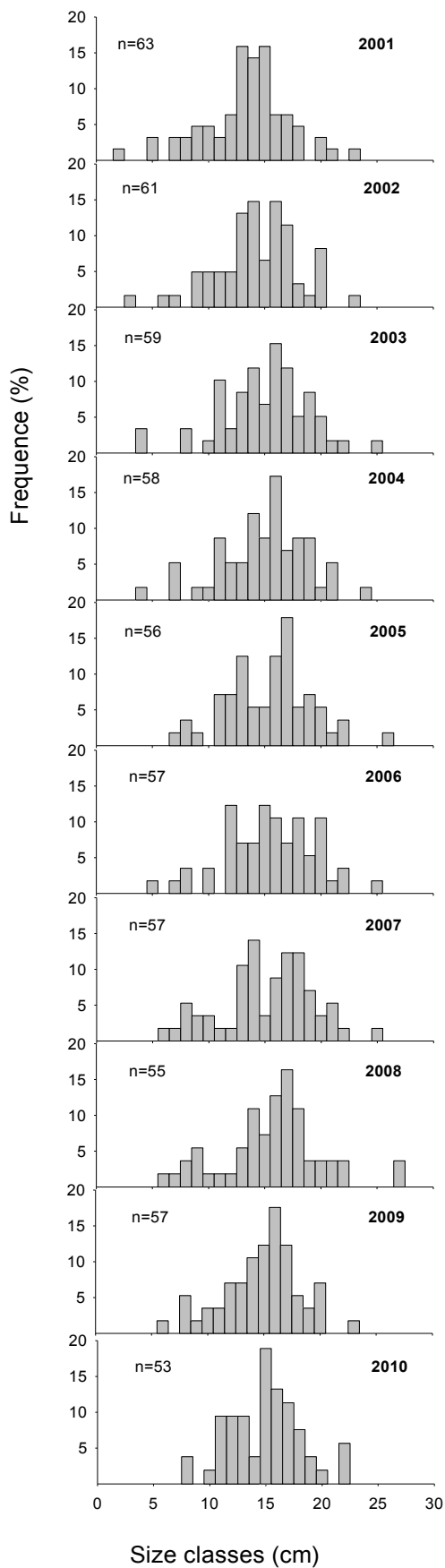


Figure 11.- Distribution des individus de *Cystoseira zosteroides* en classes de taille de l'axe principale de 1 cm ("size class") marqués l'année 2001 dans le peuplement âgé de *Cystoseira zosteroides* de Garganellu, vers 50 m de profondeur.

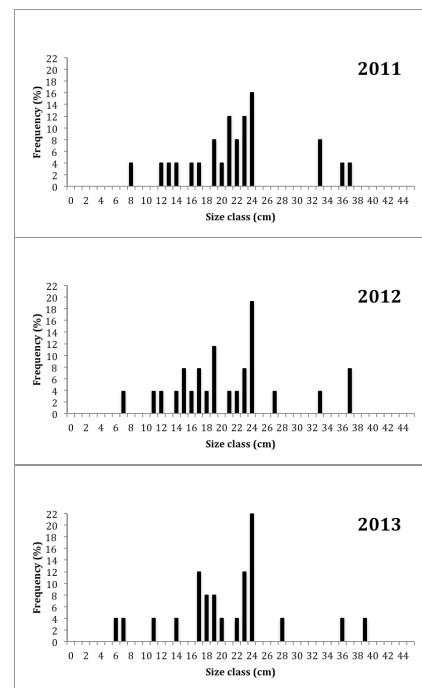
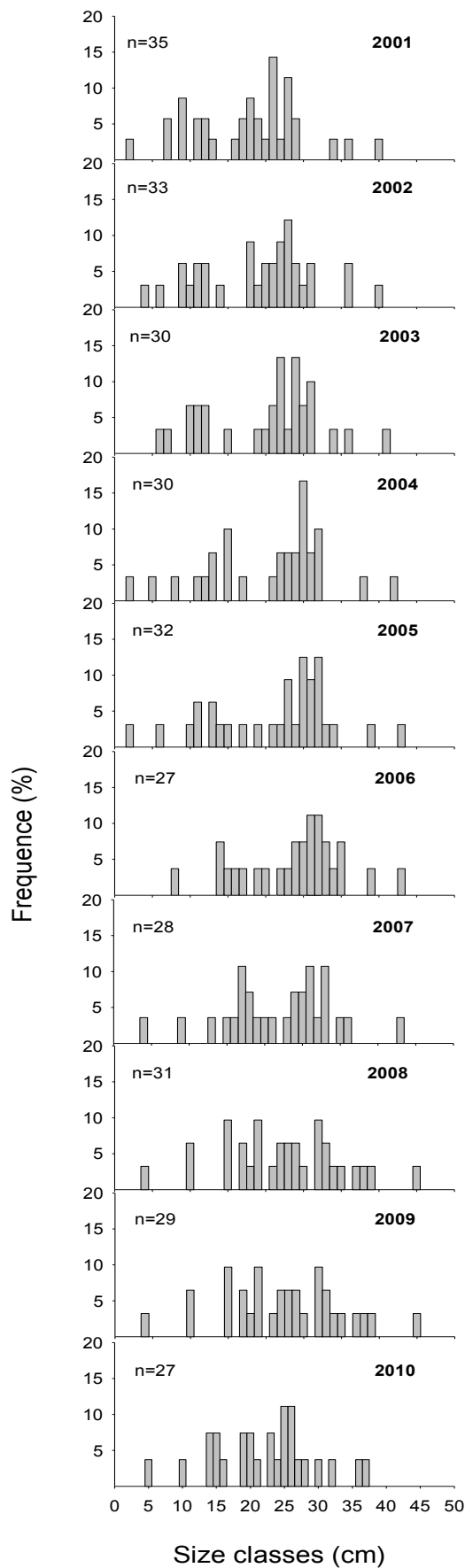


Figure 12.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* en classes de taille de l'axe principale de 1 cm ("size class") marqués l'année 2001 dans le peuplement âgé de *Cystoseira zosteroides* de Garganellu, vers 50 m de profondeur.

Eradicated

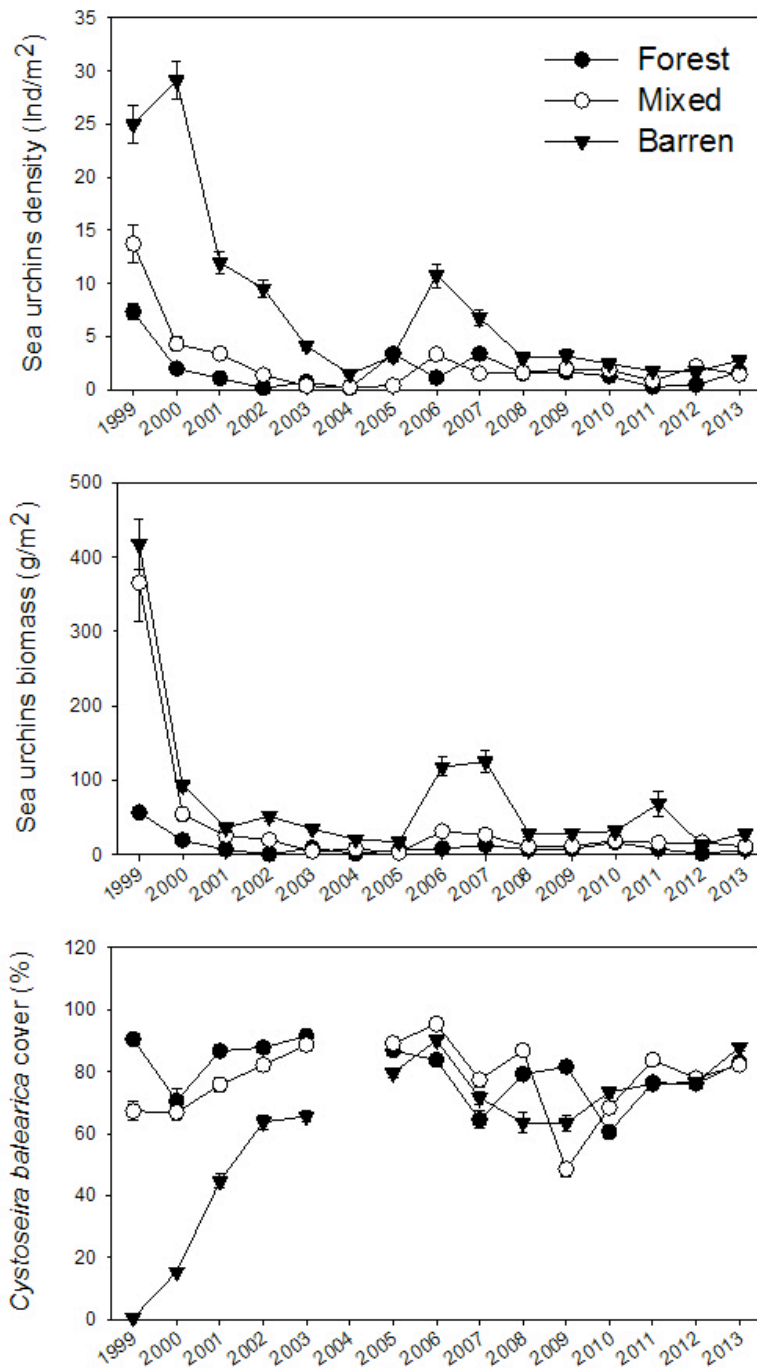


Figure 12.- Évolution de la densité et la biomasse d'oursins *Paracentrotus lividus* et de la couverture de *Cystoseira balearica* dans les zones éradiquées. Triangle inverse : communauté surpâturage ; Cercle vide : communauté mixte, Cercle plein : communauté de forêt.

Not Eradicated

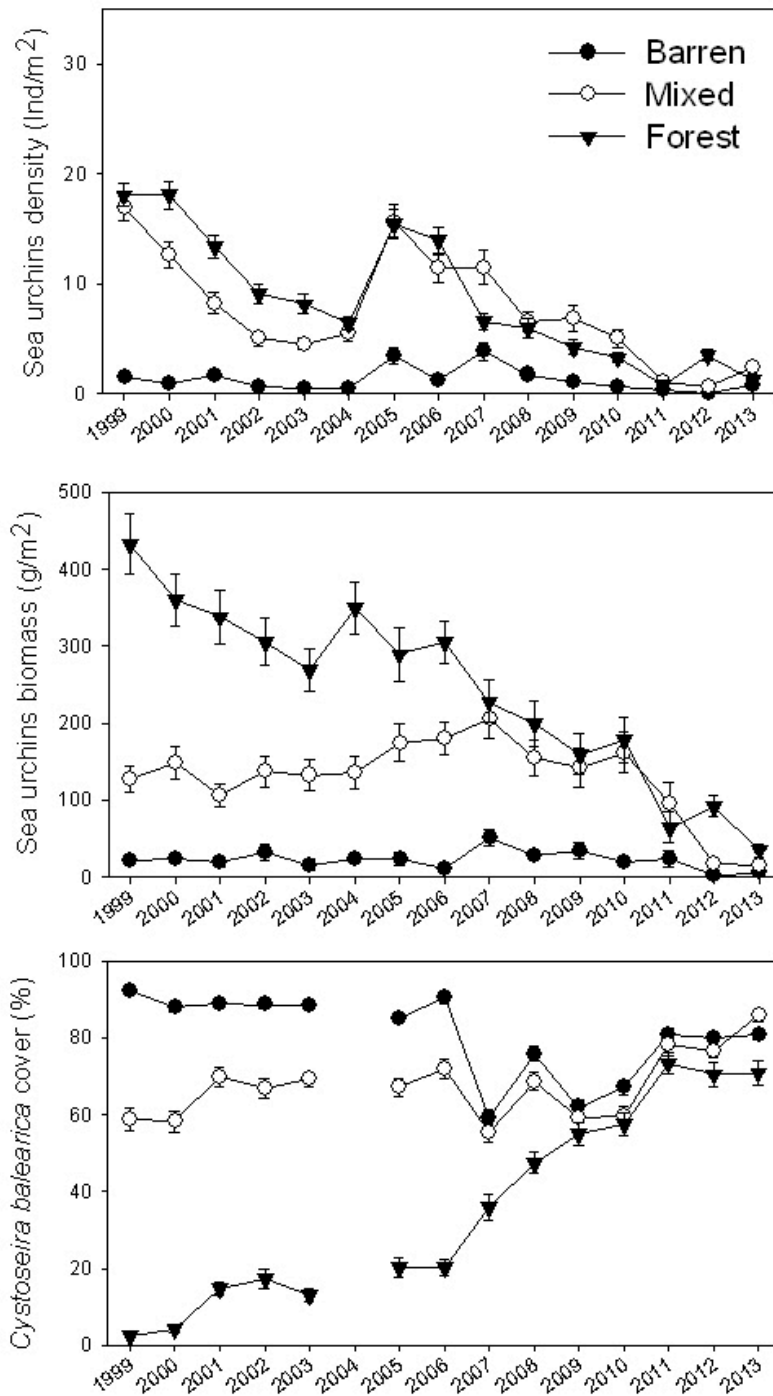


Figure 13.- Évolution de la densité et la biomasse d'oursins *Paracentrotus lividus* et de la couverture de *Cystoseira balearica* dans les zones non éradiquées. Triangle inverse : communauté surpâturage ; Cercle vide : communauté mixte, Cercle plein : communauté de forêt.

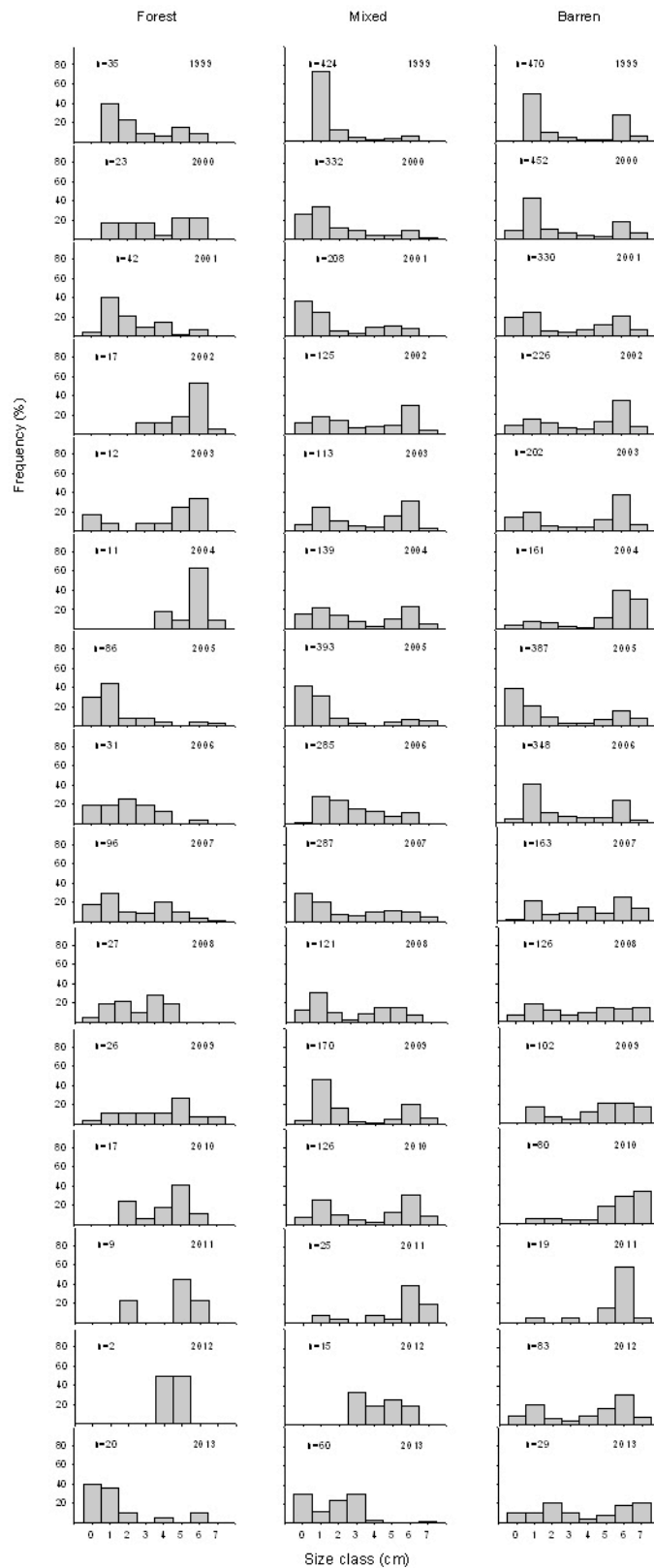


Figure 14.- Évolution de la structure de tailles des populations de l'oursin *Paracentrotus lividus* dans les communautés étudiées sans éradication.

Punctual eradication

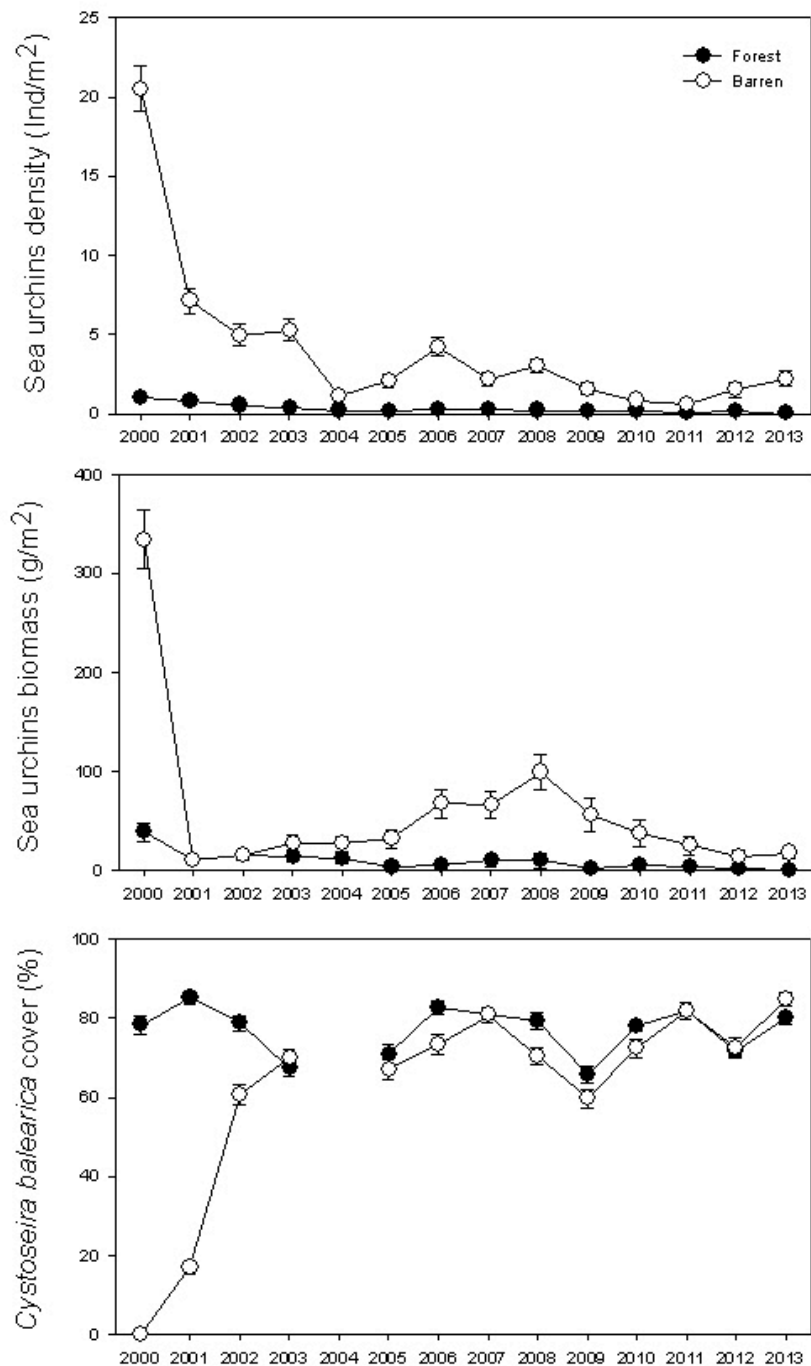


Figure 15.- Évolution de la densité et biomasse de l'oursin *Paracentrotus lividus* et la couverture de *Cystoseira balearica* dans les communautés éradiquées ponctuellement. Cercle vide : communauté de surpâturage, Cercle plein : communauté de forêt.

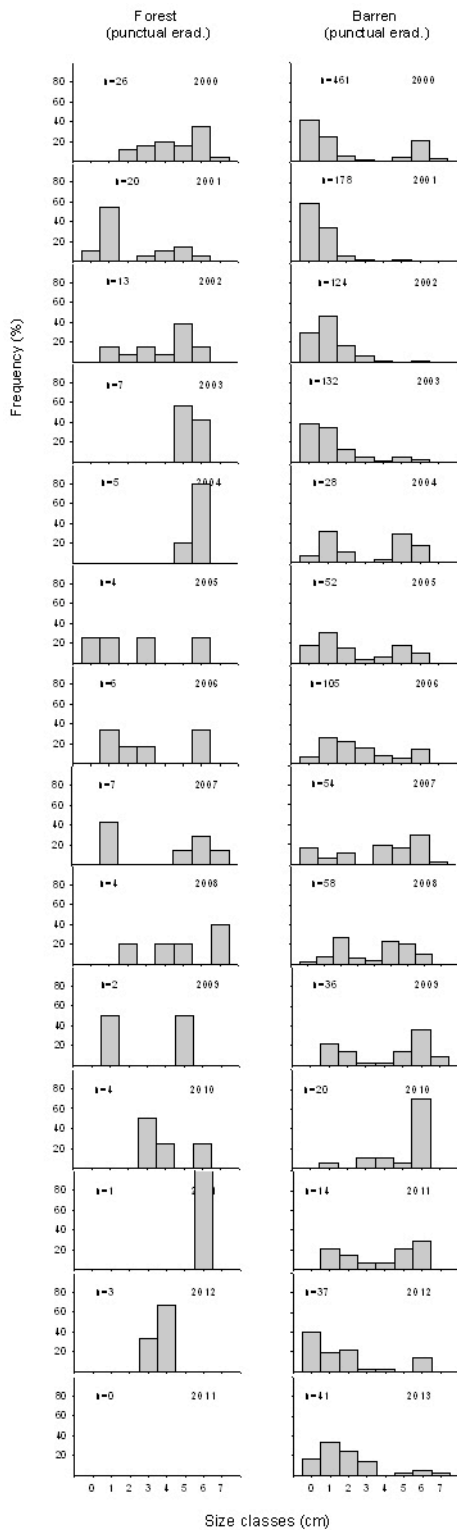


Figure 16.- Évolution de la structure de tailles des populations de l'oursin *Paracentrotus lividus* dans les communautés étudiées avec éradication ponctuelle.

