

Rapport mission Scandola

Cystoseira 2010



Enric Ballesteros¹, Bernat Hereu², Emma Cebrian³, Boris Weitzmann¹,
Laura Navarro¹

¹ Centre d'Estudis Avançats de Blanes-CSIC

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

³ Facultat de Ciències, Universitat de Girona

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 un 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 2010 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 11 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 c'est 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 est 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 de 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. Cet étude, nécessairement à long terme, a été continué 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 balisés 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 2000-2010 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-coulisse dans tous les quadrats.

La différence majeure entre cette année et les précédentes c'est que cette année on n'a pas procédé à éradiquer à nouveau tous les oursins dans les zones éradiquées après les mesures.

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 soie pas possible, on avait choisi l'année 1999 deux rochers submergés isolés par un fond de

sable entre 25 et 40 metres 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 (2010) 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 échantillonnés l'année 1994 est de 92 avec une dominance des jeunes *Cystoseira spinosa* (62) suivis par des jeunes *Cystoseira funkii* (21) et, avec de densités beaucoup plus faibles, par des *Cystoseira jabukae* (4) et des *Cystoseira zosteroides* (5). Les densités et abondances relatives entre les différentes espèces sont encore très 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* et *Cystoseira funkii* 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). Ces moyennes de longueur des axes principaux et, aussi, la distribution des fréquences des classes de taille, ne sont pas très différentes à celle qu'on trouve dans les peuplements âgés de *Cystoseira spinosa* du même site à Garganellu (Figure 4). Alors, après 16 années (et 17 étés) depuis la élimination des troncs adultes des *Cystoseira*, le peuplement des nouvelles plantes est déjà proche à atteindre une structure qui ressemble celle des peuplements âgés. Dans le peuplement âgé la moyenne de taille est de 27.56 ± 8.06 tandis que dans le peuplement "jeune" il est de $27.26 \pm 5,34$.

La mortalité annuelle moyenne dans la période d'étude pour la *Cystoseira spinosa* a été de 0%, 4.5% pour la *Cystoseira funkii*, 20% pour la *Cystoseira jabukae*, et 0% pour la *Cystoseira zosteroides*. Par rapport à des autres années on observe une stabilisation du peuplement de *C. spinosa* et *C. zosteroides* et une diminution progressive et relativement élevée de *C. funkii* et *C. jabukae*.

Si l'on fait des classes de croissance de 1 cm parmi les individus de chaque espèce, on observe que dominant les individus croissances positives dans toutes les espèces sauf dans le cas de *C. zosteroides* (Figure 5). La plupart des individus de *Cystoseira spinosa* ont une croissance de 1 à 3 cm, avec une dominance de la classe 1 (ceux qui croissent 1

ou 1.5 cm), tandis que dans le *Cystoseira funkii* dominant les individus qui croissent de 0 à 1.5 cm. On a seulement quelques individus de *Cystoseira jabukae* et *Cystoseira zosteroides* et les données ne sont pas de confiance, mais les valeurs sont de -1 à 1 pour les deux espèces.

Les individus présents dans les six quadrats éradiqués en 1994 ont une moyenne de 0.53 ± 0.71 rameaux individu⁻¹ alors que ceux des peuplements âgés ont une moyenne de 2.66 ± 2.42 rameaux individu⁻¹. La distribution des fréquences est représentée dans la figure 6. Même si la longueur totale des axes principaux des individus "jeunes" (27.56 ± 4.94) et des individus du peuplement âgé (28.01 ± 5.68) n'est pas différente, la longueur totale des axes (principal et secondaires, tous confondus) est supérieure pour les individus âgés (55.23 ± 31.93) que pour les "jeunes" (33.79 ± 10.59). Alors la relation longueur de tous els axes/longueur de l'axe principaux est presque de 2 (1.97) dans les individus âgés tandis que dans les individus "jeunes" est seulement de 1.23. Les individus du peuplement âgé ont, donc, plus de rameaux et des rameaux beaucoup plus longs que ceux du peuplement "jeune".

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 2010 le nombre d'individus était descendu jusqu'à les 124, donc 24.8 individus m⁻². La distribution des individus en classes de taille (Figure 7) montre une dominance des classes situées entre 25 et 35 cm. En plus, les individus de petite taille sont absents mais il y a toujours des individus très longs (Figure 7). La plupart des individus croissent entre 0 et 2.5 cm (figure 8). Pour cette population et la période octobre 2009-octobre 2010 on a calculé une croissance moyenne de 0.66 cm année⁻¹ (tous les individus) ou 1.30 cm année⁻¹ (sans compter celles qui ont eu une croissance négative). Dans l'année 2010 on a observé 5 individus morts et 3 recrutes.

Si on considère les individus qui ont été marqués l'année 1994, les croissances sont un peu supérieures: 1.13 cm année⁻¹ (tous) ou 1.53 cm (seulement ceux à croissance nulle ou positive)

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

Des individus marqués pour mesurer la croissance (95) dehors les carrés, la croissance est nulle, même négative si on considère tous les individus ou légèrement positive si on ne considère que les individus à croissance zéro ou positive ($1.2 \text{ cm année}^{-1}$) (Figure 9).

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 m^2 à une profondeur de 50 m. La densité des plantes était de $14.28 \text{ individus m}^{-2}$, avec une densité de 9.28 individus pour l'espèce dominante. Les individus de *Cystoseira zosteroides* étaient plus longs ($12.52 \pm 3.86 \text{ cm}$) que ceux de 25-27 m ($8.8 \pm 3.7 \text{ cm}$; 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 9 ans on observe une faible croissance de toute la population ($14.09 \pm 3.29 \text{ cm}$) et maintenant la plupart des individus mesuraient entre 14 et 16 cm (Figure 10). La densité a diminué jusqu'à $7.6 \text{ individus m}^{-2}$ pour *Cystoseira zosteroides*. On n'a pas observé du recrutement dans ces 9 années. Pour cette population et la période 2001-2010 on a calculé une mortalité annuelle de 2.0%. La croissance correspondant à l'année 2010 pour les individus à *Cystoseira zosteroides* présents ans les 7 m^2 a été légèrement négative si on considère tous les individus ou légèrement positive ($0.69 \text{ cm année}^{-1}$) (Figure 9).

Les individus de *Cystoseira spinosa* à 50 mètres de profondeur avaient une densité beaucoup plus faible ($5.14 \text{ plantes m}^{-2}$), très inférieure à les densités qu'on trouvait à profondeurs moindres (voir ce rapport); sa taille moyenne était de $16.40 \pm 7.41 \text{ cm}$, avec une dominance des tailles situées entre 15 et 23 cm (figure 11). L'année 2010, la densité avait diminuée jusqu'à les $3.86 \text{ plantes m}^{-2}$, avec une taille moyenne de 21.30 ± 7.44 , et une dominance des tailles situées entre 13 et 27 cm. La plupart des individus croissent entre 0 et 2 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 (Figure 12a). Les

parcelles éradiqués, par contre, restent plus constantes, montrant que le traitement d'éradication est effective (Figure 12b).

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 (Figure 13a). Dans les parcelles éradiqués la biomasse d'oursins reste toutes les années très faible (Figure 13b) mais dans les années 2006-2007 on observe une augmentation des biomasses des oursins dans la communauté de surpâturage éradiquée que peut être lié a une migration des oursins provenant des zones à haute densité, mais qu'elle a disparue à partir de l'année 2008.

La distribution des oursins en classes de taille ne montre pas des différences très importantes entre 1999 et 2010 (Figure 14), sauf pour des pics de recrutement (comme ce de 2005). Les stations dénudées et mixtes ont une structure bimodale où il y a un pic très important dans les classes de taille petites (qui correspond aux recrutement) et un autre pic dans les classes de taille plus grandes (6 – 7 cm), pic que n'existe pas dans les parcelles éradiqués après la première année. Les individus des classes de taille 0 et 1 dans les stations forêt continue très faible, donc la distribution des classes de taille est complètement différent aux stations dénudée et mixte; aussi il fait penser à un très faible recrutement dans les forêts ou à une mortalité post-recrutement très élevée.

Par ce qui concerne à la couverture algale, les parcelles contrôle non éradiqués restent constantes dans la forêt et les communautés mixtes, mais dans les trois années précédents on voit une diminution de la couverture qui a passé du presque le 100% au 70%, qui est maintenue en 2010. Par contre, la couverture des *Cystoseira* a effectué une croissance très rapide dans les trois dernières années dans la communauté de surpâturage jusqu'à devenir du même ordre que dans les forêts et les zones mixtes non éradiqués (Figure 15a), 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 de surpâturage, plus vite les premières années. Dans l'année 2005, les couvertures de toutes les communautés ont arrivée aux valeurs des communautés de forêt (Figure 15b) 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 2010.

Après dix ans de la mise en place de l'étude on arrive pour le moment a 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 dix 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 contrôler sans intervention des densités extraordinaires d'oursins. 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.

Pour vérifier la récupération ou la maintenance des facies à surpâturage dans la réserve a une échelle spatiale plus grande, le prochaine année on prévoit refaire les comptages extensives qu'on avait fait l'année 2000 sur toute l'ensemble de la réserve, ce qui nous va permettre la comparaison dans la totalité.

2) Éradication ponctuelle

Les résultats des recensements d'oursins et recouvrement par *Cystoseira* dans les zones où on a réalisé les expèriments d'éradication ponctuelle son similaires à ceux qu'on a obtenu dans les parcelles permanentes. D'un coté, 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 16).

CONCLUSIONS

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

1.- Seize ans après la dénudation de petites zones dans la forêt à *Cystoseira spinosa*, vers 26-28 m de profondeur, la structure de la communauté n'est pas encore rétablie, même si la longueur moyenne des axes est la même. Les différences sont évidentes par le différent pourcentage des espèces de *Cystoseira* présentes et par 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.

4.- Cette année 2010 a été particulièrement défavorable pour la croissance de *Cystoseira spinosa* car les croissances moyennes ont été inférieures à 1.5 cm.

5.- Croissances des axes moyens presque nulles sont confirmées pour les individus des *Cystoseira zosteroides* étudiées. Après 9 ans de suivie le peuplement à *Cystoseira zosteroides* a eu une croissance moyenne annuelle de 0.17 cm pour chaque individu.

6- Après 10 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, donc en quatre ans, la communauté de surpâturage récupère la couverture au niveaux des forêts.

Récommandations pour la gestion de la Réserve Marine

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 des *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 déprédation, 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 quatre années 2007, 2008, 2009 et 2010 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 des *Cystoseira*. La continuation de l'étude va nous démontrer si cette apparente récupération est certaine et extensive sur toute la réserve 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. Frogliola, 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.

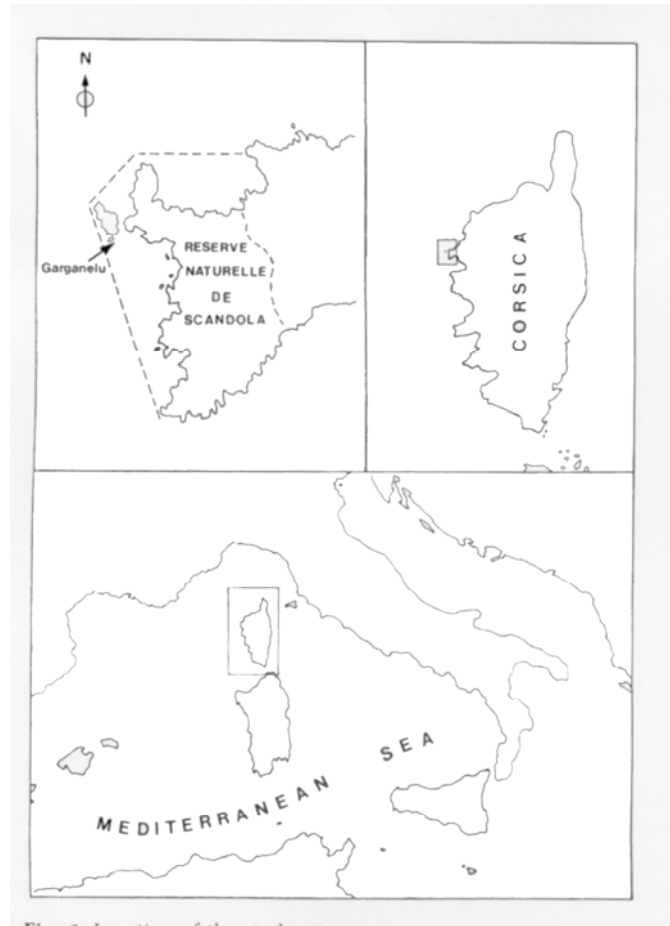


Figure 1.- Situation de la station de Garganelu dans la Réserve de Scandola.

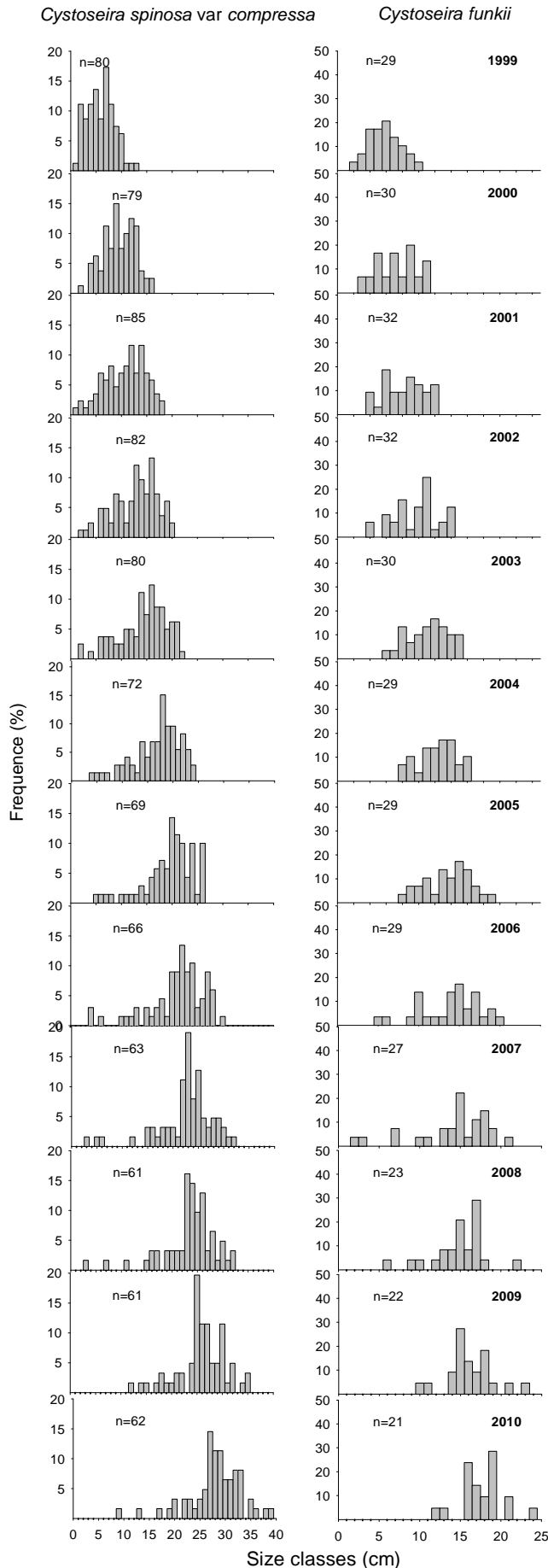


Figure 2.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* et de *Cystoseira funkii* en classes de taille de l'axe majeur de 1 cm ("length of main axis") d'octobre 1999 au 2009 dans les quadrats dénudés l'année 1994 parmi la forêt âgée de *Cystoseira spinosa*.

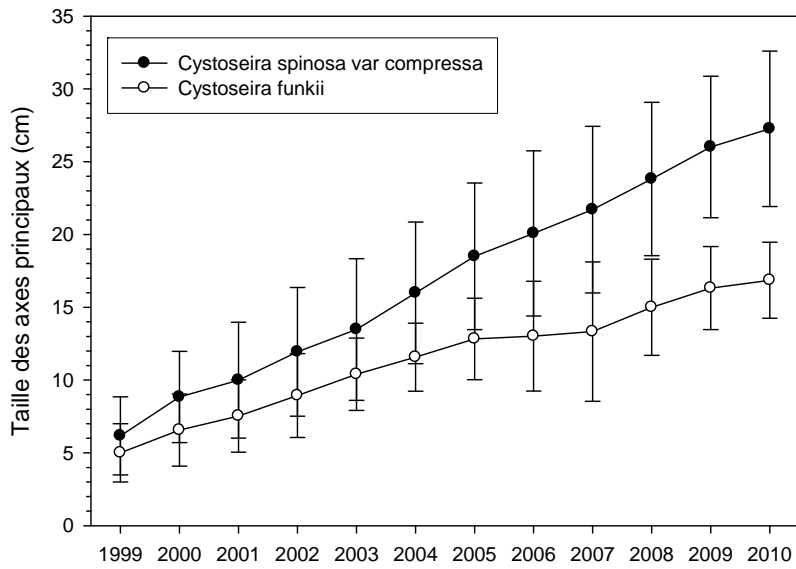


Figure 3.- Évolution de la taille moyenne de *Cystoseira spinosa* (cercles noires) et *Cystoseira funkii* (cercles vides) d'octobre 1999 au 2009 dans les quadrats dénudés l'année 1994 parmi la forêt âgée de *Cystoseira spinosa*. Moyennes et SD.

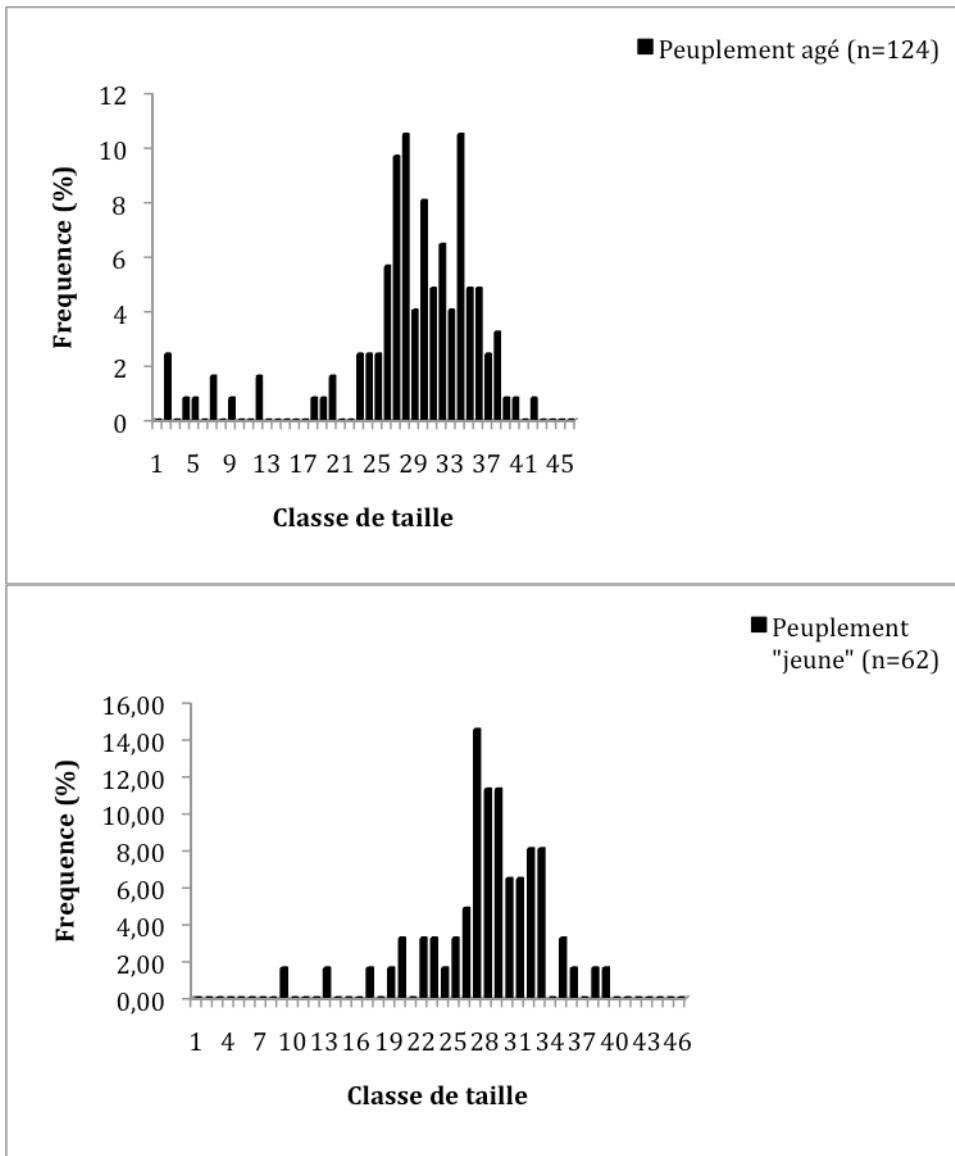


Figure 4.- Comparaison entre la structure des classes de taille dans les peuplements âgée et "jeune" de *Cystoseira spinosa* (données correspondants à l'année 2010).

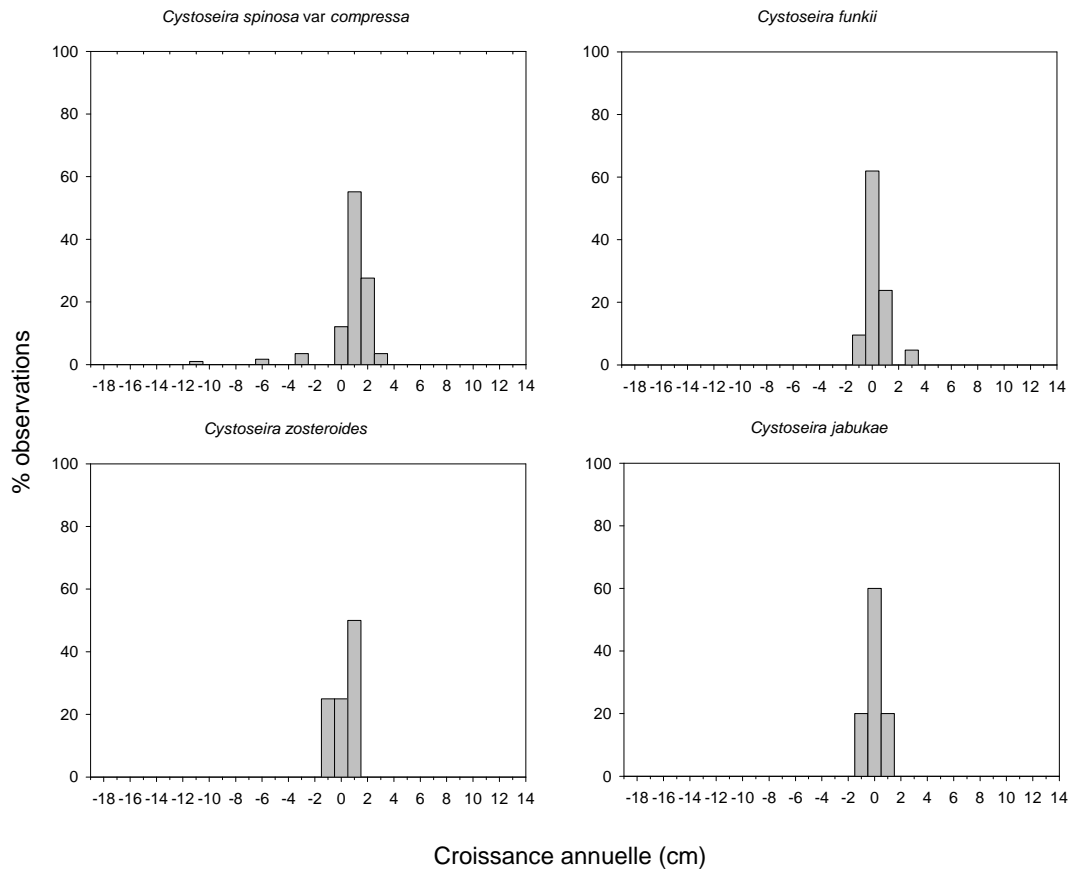


Figure 5.- Distribution des individus des différentes espèces de *Cystoseira* en classes de croissance de l'axe majeur de 1 cm ("growth class") dans la période 2000 - 2009, dans les quadrats dénudés l'année 1994 parmi la forêt âgée de *Cystoseira spinosa*.

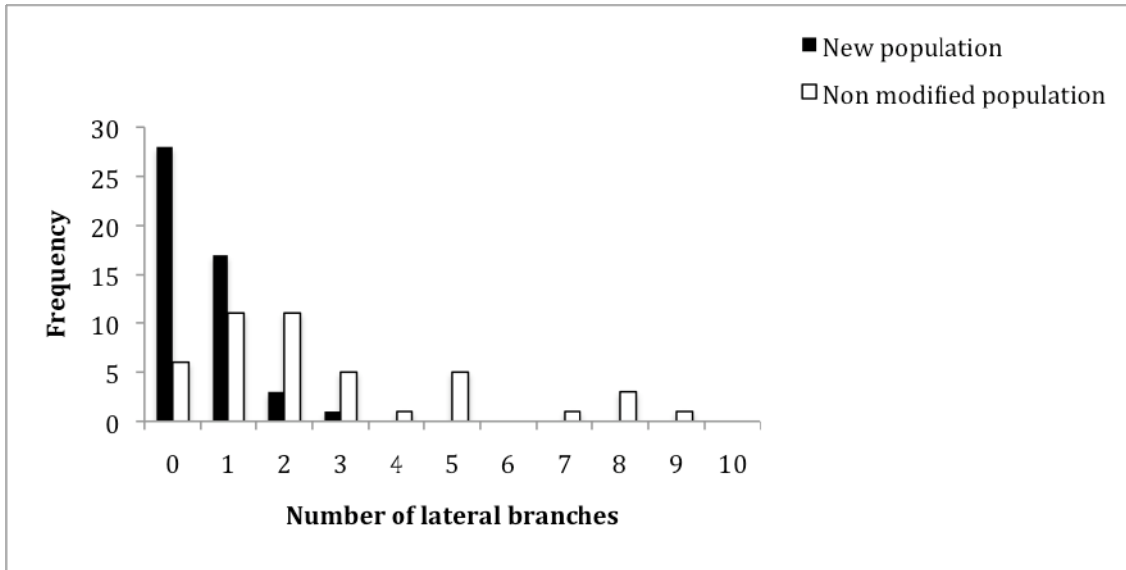


Figure 6.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* en classes de nombre de rameaux secondaires dans les peuplements "jeune" (en noir) et âgé (en blanc) de *Cystoseira spinosa* de Garganellu, vers 26 - 28 m de profondeur.

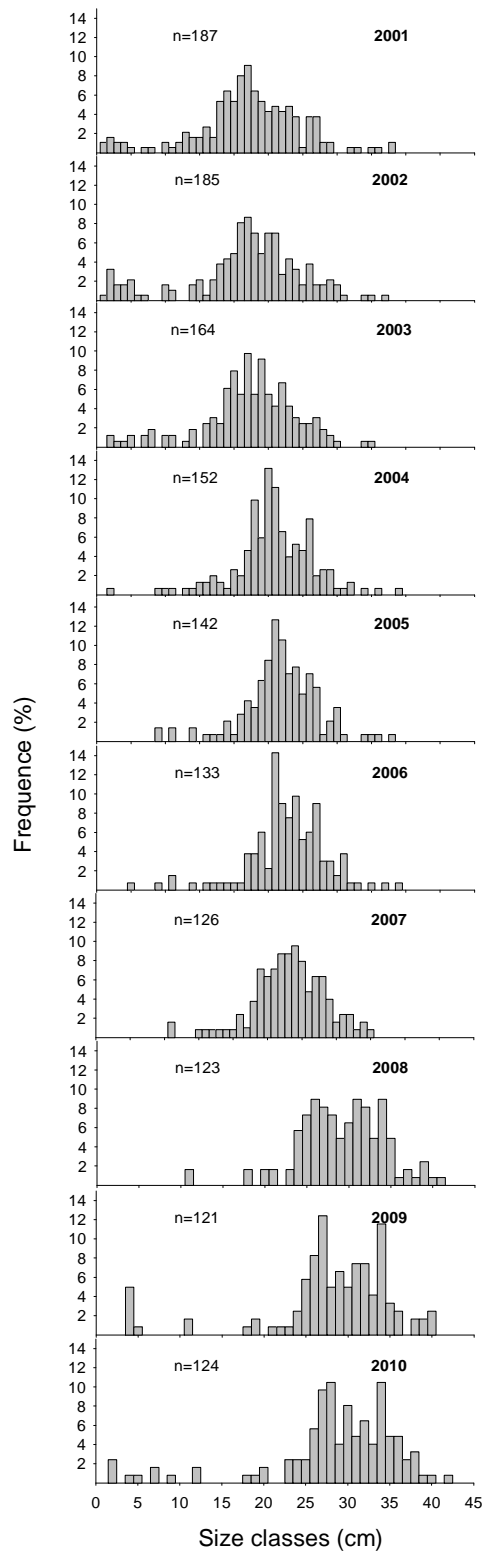


Figure 7.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* en classes de taille de l'axe majeur de 1 cm ("length of main axis") d'octobre 2001 au 2010.

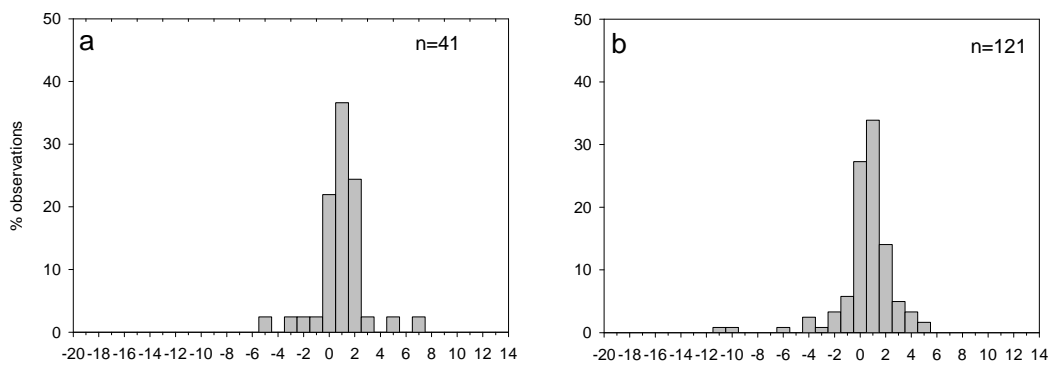


Figure 8.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* en classes de croissance de l'axe principale de 1 cm ("growth class") dans le peuplement âgé de *Cystoseira spinosa* de Garganellu, vers 26 - 28 m de profondeur. a) individus marqués en 1994 et 1999 et mesurés jusqu'à 2009, b) Individus marquées en 2001 et mesurés jusqu'à 2008.

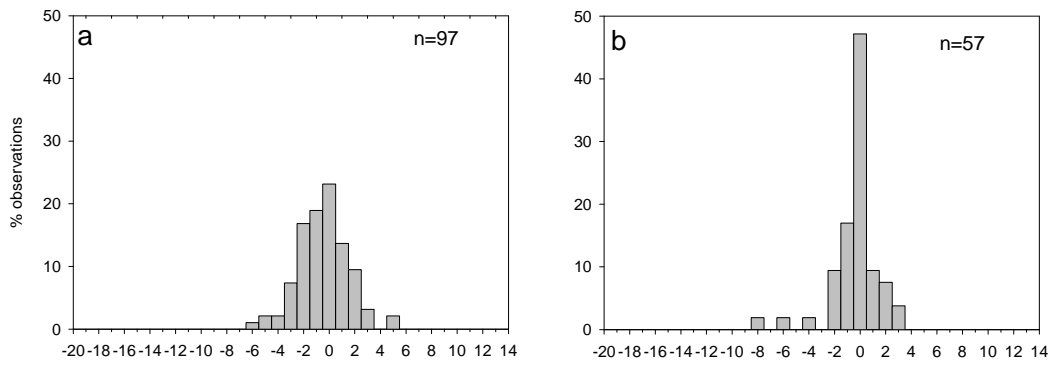


Figure 9.- Distribution des individus de *Cystoseira zosteroides* en classes de croissance de l'axe principale de 1 cm ("growth class") dans le peuplement âgé de *Cystoseira zosteroides* de Garganellu, vers 45 - 47 m de profondeur. A) a) individus marqués en 1995 et mesurés jusqu'à 2009, b) Individus marquées en 2001 et mesurés jusqu'à 2009.

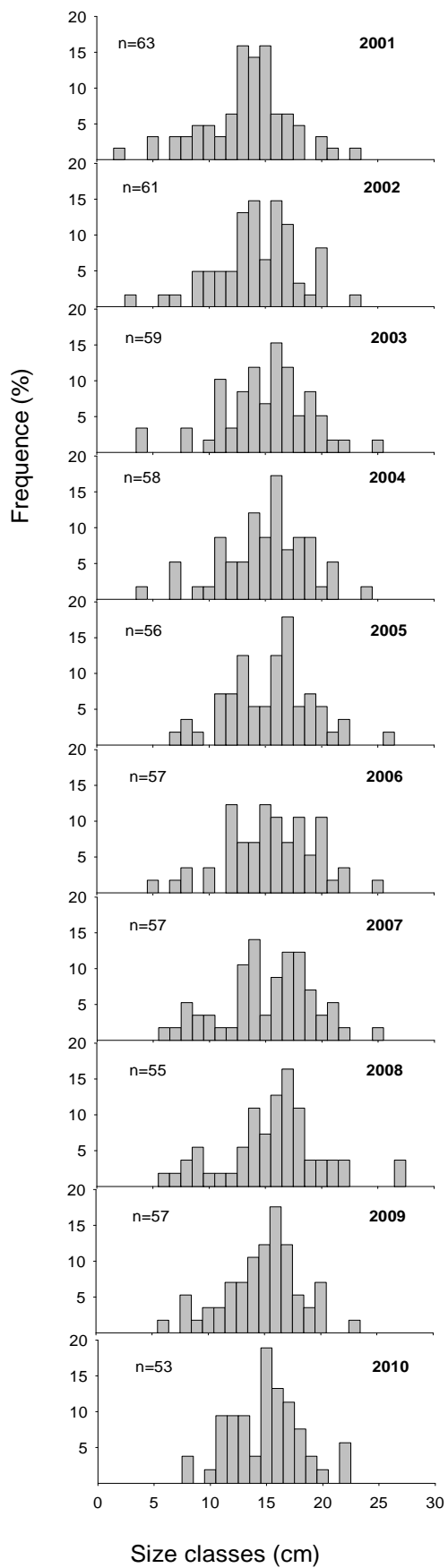


Figure 10.- Distribution des individus de *Cystoseira zosteroides* en classes de taille de l'axe principale de 1 cm ("size class") marqués l'année 2001 dans le peuplement âgé de *Cystoseira zosteroides* de Garganellu, vers 50 m de profondeur.

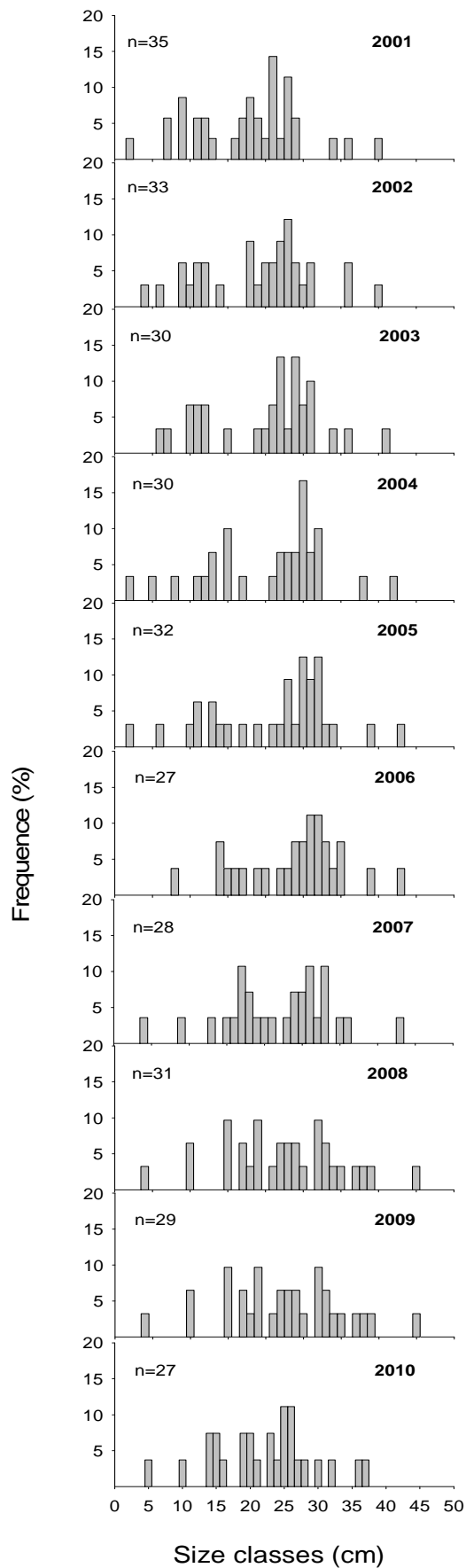


Figure 11.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* en classes de taille de l'axe principale de 1 cm ("size class") marqués l'année 2001 dans le peuplement âgé de *Cystoseira zosteroides* de Garganellu, vers 50 m de profondeur.

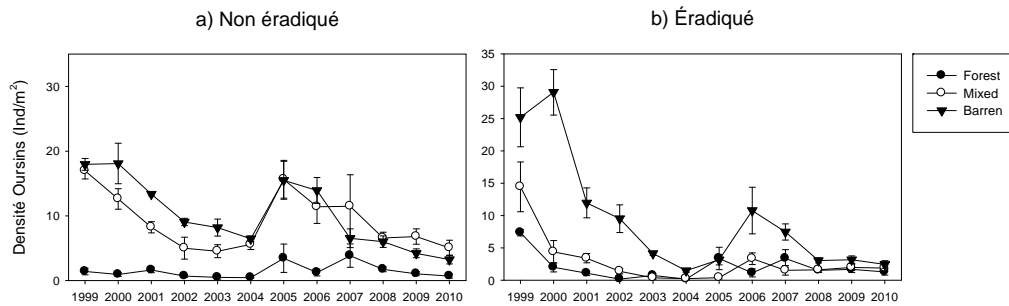


Figure 12.- Évolution de la densité d'oursins *Paracentrotus lividus* dans les communautés étudiées. a) zones non éradiquées et b) zones éradiquées. Triangle inverse : communauté surpâturage ; Cercle vide : communauté mixte, Cercle plein : communauté de forêt.

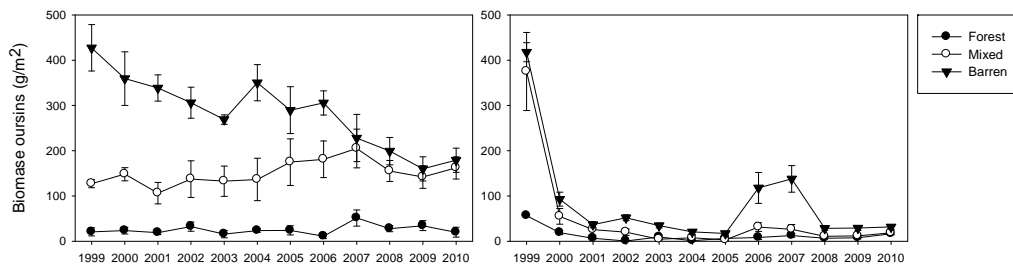


Figure 13.- Évolution de la biomasse de l'oursin *Paracentrotus lividus* dans les communautés étudiées. a) zones non éradiquées et b) zones éradiquées. Triangle inverse : communauté surpâturage ; Cercle vide : communauté mixte, Cercle plein : communauté de forêt.

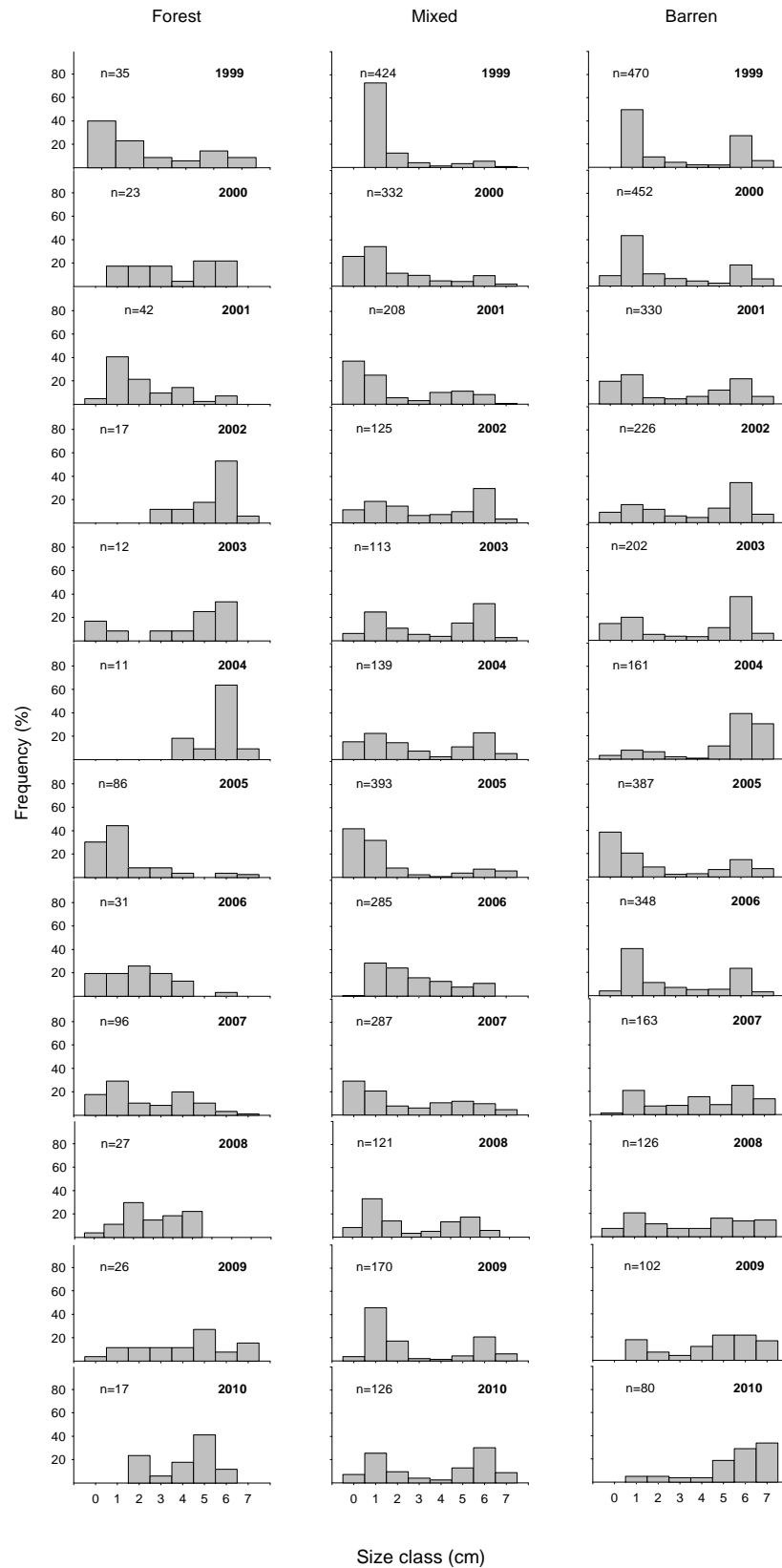


Figure 14.- Évolution de la structure de tailles des populations de l'oursin *Paracentrotus lividus* dans les communautés étudiées sans éradication.

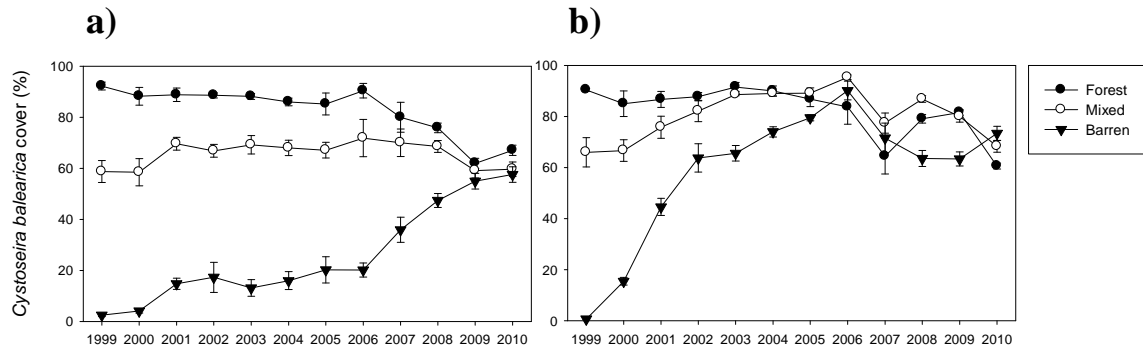


Figure 15.- Évolution de la couverture de *Cystoseira balearica* dans les communautés étudiées. a) zones non éradiquées et b) zones éradiquées. Triangle inverse : communauté surpâturage ; Cercle vide : communauté mixte, Cercle plein : communauté de forêt.

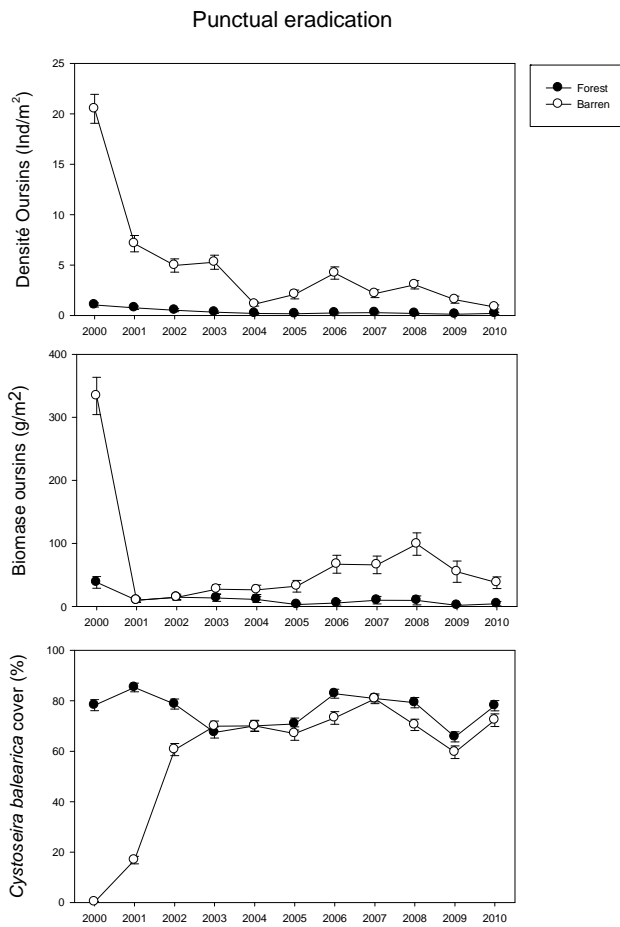


Figure 16.- Évolution de la densité et biomasse de l'oursin *Paracentrotus lividus* et la couverture de *Cystoseira balearica* dans les communautés éradiquées ponctuellement. Cercle vide : communauté de surpâturage, Cercle plein : communauté de forêt.