

Rapport mission Scandola

Cystoseira 2009



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 objectifs de la mission de l'année 2009 ont été suivre les travaux qu'on avait fait déjà les années précédents sur l'étude des peuplements des *Cystoseira* de profondeur 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 erectes. Pendant la mission de l'année 1995 on avait observé des jeunes recrues de *Cystoseira* qui n'ont pas été repérés 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.

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 2009. 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 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.

Aussi, nous avons constaté un manque de recrutement dans la communauté à *Cystoseira spinosa* et nous nous avons demandé quelle est la raison. Il y a deux hypothèses possibles. La première que le recrutement soit inhibé par les grands individus de *Cystoseira spinosa*, ce qui correspondrait à une situation normale. La deuxième, que le recrutement soit inhibé par la prolifération de l'algue envahissante *Womersleyella setacea*. Pour résoudre cette question l'année 2008 nous avons établi une procédure expérimentale dans laquelle nous avons mis en place des transects vers 30 mètres de profondeur et faire des éradications partielles de façon à avoir :

3 quadrats contrôle

3 quadrats tout éradiqué

3 quadrats avec éradication des *Cystoseira*

3 quadrats avec éradication des *Womersleyella*

On a aussi mis 3 morceaux de roche de Scandola provenant de dehors de l'eau qui constituent une nouvelle situation expérimentale (surface vierge). Les traitements ont été effectués en avril et en octobre à fin de voir l'importance de la saisonnalité dans l'expérimentation.

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. Cette étude, nécessairement à long terme, a été continué jusqu'à 2009.

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 quatre:

- 1) Suite de la croissance et mortalité des individus recrutés après mai 1994 dans la communauté à *Cystoseira spinosa* (26-28 m de profondeur)
- 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)

4) Étude du recrutement et des facteurs inhibiteurs dans la communauté à *Cystoseira spinosa* (30 mètres 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 conveniementment 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 2000-2009 on a fait toutes les études dans les six stations différentes qui avaient été repérés 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.

Après les mesures on a procédé à éradiquer à nouveau tous les oursins dans les zones éradiquées, tandis qu'on a laissé les oursins dans les zones contrôle.

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 de 25 a 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 élevé 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 on a procédé de façon identique à l'étude des parcelles à éradication permanente sans éradiquer les oursins après l'échantillonnage (comme dans les stations contrôle).

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* (60) suivis par des jeunes *Cystoseira funkii* (22) et, avec de densités beaucoup plus faibles, par des *Cystoseira jabukae* (5) et des *Cystoseira zosteroides* (5). Les densités et abondances relatives entre les différentes espèces sont encore très différentes à celles observées 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, sont encore très différentes à celle qu'on trouve dans les peuplements âgés de *Cystoseira spinosa* du même site à Garganellu (Figure 4). Alors, même après 15 années (et 16 étés) depuis la élimination des troncs adultes des *Cystoseira*, le peuplement des nouvelles plantes est encore loin d'atteindre une structure qui ressemble celle des peuplements âgés.

La mortalité annuelle moyenne dans la période d'étude pour la *Cystoseira spinosa* a été de 1.6%, 8.5% pour la *Cystoseira funkii*, 17% pour la *Cystoseira jabukae*, et 0% pour la *Cystoseira zosteroides*. Par rapport à des autres années on observe une stabilisation du peuplement de *C. zosteroides* et une diminution progressive et relativement élevée de *C. funkii* et *C. jabukae* et une diminution très lente de la densité de *C. spinosa*.

Si l'on fait des classes de croissance de 1 cm parmi les individus de chaque espèce, on observe que presque tous les individus ont des croissances positives 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 2 (ceux qui croissent 2 ou 2.5 cm), tandis que dans le *Cystoseira funkii* dominent les individus qui croissent de 0 à 2

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 -2 à 4 pour *Cystoseira zosteroides* et de 0-2.5 cm pour les *Cystoseira jabukae*.

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

29 des 53 individus marqués le mois de mai de 1994 étaient encore vivants (et marqués) le mois d'octobre du 2009. Ça signifie une mortalité maximale du 45.3% en 15 ans, car peut être qu'il y aie des individus qu'ont perdu la marque mais qu'ils ne sont pas morts. Alors, cette "mortalité" accumulée représente une moyenne annuelle de 3.02%. La plupart des individus croissent entre 1 et 2 cm an⁻¹ (figure 5).

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 2007 la densité avait diminué jusqu'à les 25.3 individus m⁻², l'année on avait observé une petite récupération car il y a eu 6 recrutes, mais la densité a descendu à nouveau jusqu'à les 24.2 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 2008-octobre 2009 on a calculé une mortalité annuelle du 6.2%.

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

27 des 50 individus marqués le mois d'octobre de 1995 étaient encore vivants (et marqués) le mois d'octobre du 2009. Ça signifie une mortalité maximale de 46% en 15 ans, car peut être qu'il y aie des individus qu'ont perdu la marque mais qu'ils ne sont pas morts (ce qui est dans ce cas très probable car on a perdu quelques repères entre 1995 et 2008). Cette mortalité accumulée représente une moyenne annuelle du 3.1%. On observe aussi plusieurs individus à croissances négatives (Figure 8). Néanmoins, la plupart des individus ont des croissances situées entre 0 et 2.5 cm.

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 identifié 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. 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 9) montrait une dominance très grande des classes de taille situées entre 12 et 14 cm. Après 8 ans on observe une faible croissance de toute la population ($13,90 \pm 3.45$ cm) et maintenant la plupart des individus mesuraient entre 14 et 20 cm (Figure 9). La densité a diminué jusqu'à 8 individus m⁻² pour *Cystoseira zosteroides*. On n'a pas observé du recrutement dans ces 8 années. Pour cette population et la période 2001-2009 on a calculé une mortalité annuelle de 1.7%.

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 15 et 23 cm (figure 10). L'année 2009, la densité avait diminuée jusqu'à 4 plantes m⁻², avec une taille moyenne de 23.23 ± 7.11 , et une dominance des tailles situées entre 15 et 30 cm. La plupart des individus croissent entre 1 et 2.5 cm. Pour cette population et la période 2001-2009 on a calculé une mortalité annuelle de 2.8%. On a presque pas observé du recrutement dans ces 7 années: seulement un recrute de *C. spinosa*.

3) Facteurs inhibiteurs du recrutement dans la communauté à *Cystoseira spinosa*

Le recrutement de *Cystoseira spinosa* est fortement distinct selon les traitements effectués et la période de l'année. Le recrutement reste toujours faible dans les zones contrôle, il augmente beaucoup après enlever bien les *Cystoseira* âgés, bien la couverture de *Womersleyella* pendant le mois d'avril (pas pendant le mois d'octobre), et il est surtout élevé dans les traitements sans couverture de *Cystoseira*, non plus de *Womersleyella* et dans les surfaces vierges (Figure 11). Le recrutement est toujours plus élevé dans les traitements effectués dans le mois d'avril ce qui s'explique par la proximité de la saison reproductive des *Cystoseira* (qui commence le mois de mai) et ça facilite sans doute la fixation des zygotes. Dans les traitements effectués en octobre les zygotes n'arrivent pas peu après le traitement car les *Cystoseira* ne sont pas en reproduction et la période de huit mois avant l'arrivée de nouveaux zygotes permet possiblement la fixation d'autres algues (entre elles *Womersleyella*) qui empêchent ou font devenir difficile le recrutement.

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 éradiquées, 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 éradiquées 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 à une migration des oursins provenant des zones à haute densité, mais qu'elle a disparue dans les années 2008 et 2009.

La distribution des oursins en classes de taille ne montre pas des différences très importantes entre 1999 et 2008 (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 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. 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 éradiquées restent constantes dans la forêt et les communautés mixtes, mais dans les trois dernières années on voit une diminution de la couverture qui a passé du presque le 100% au 70%. 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 éradiquées (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 arrivées 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 deux dernières années.

Après presque dix ans de la mise en place de l'étude on arrive pour le moment à des résultats prévus dans les zones traitées 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 les 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.

2) Éradication ponctuelle

Les résultats des recensements d'oursins et recouvrement par *Cystoseira* dans les zones où on a réalisé les expériences d'éradication ponctuelle sont similaires à ceux qu'on a obtenu dans les parcelles permanentes. D'un côté, après la 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

1.- Quinze 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, ce qui est évident par le différent pourcentage des espèces de *Cystoseira* présentes et par la structure de tailles du peuplement à *Cystoseira spinosa*.

2.- Les individus recolonisant des éclaircies dans la communauté à *Cystoseira spinosa* évoluent avec le temps vers une distribution de la structure de tailles où les individus sont plus grandes 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.- Croissances des axes moyens situées autour de 1-2 cm an⁻¹ sont confirmées pour les individus des *Cystoseira spinosa* étudiées, et une mortalité au tour du 3 % annuelle (6.2 cette année).

5.- Croissances des axes moyens situées autour de 0.3 cm an⁻¹ sont confirmées pour les individus des *Cystoseira zosteroides* étudiées, et une mortalité au tour de 3.1 % annuelle.

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 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 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 trois années 2007, 2008 et 2009 montrent que 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 Jean-Marie, Brise et Joseph, 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).
- 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.
- 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.

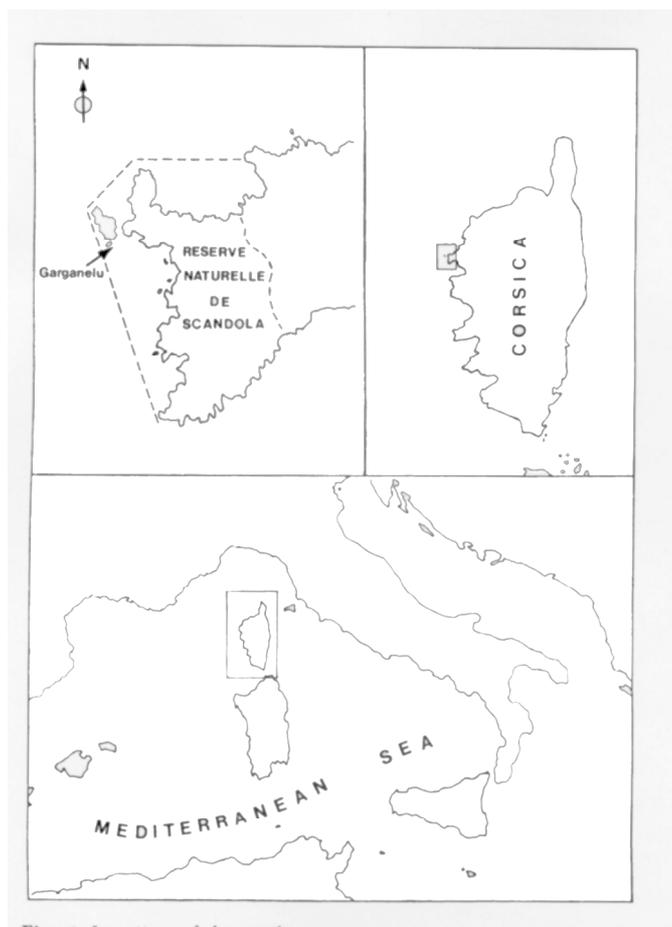


Figure 1.- Situation de la station de Garganelu dans la Réserve de Scandola.

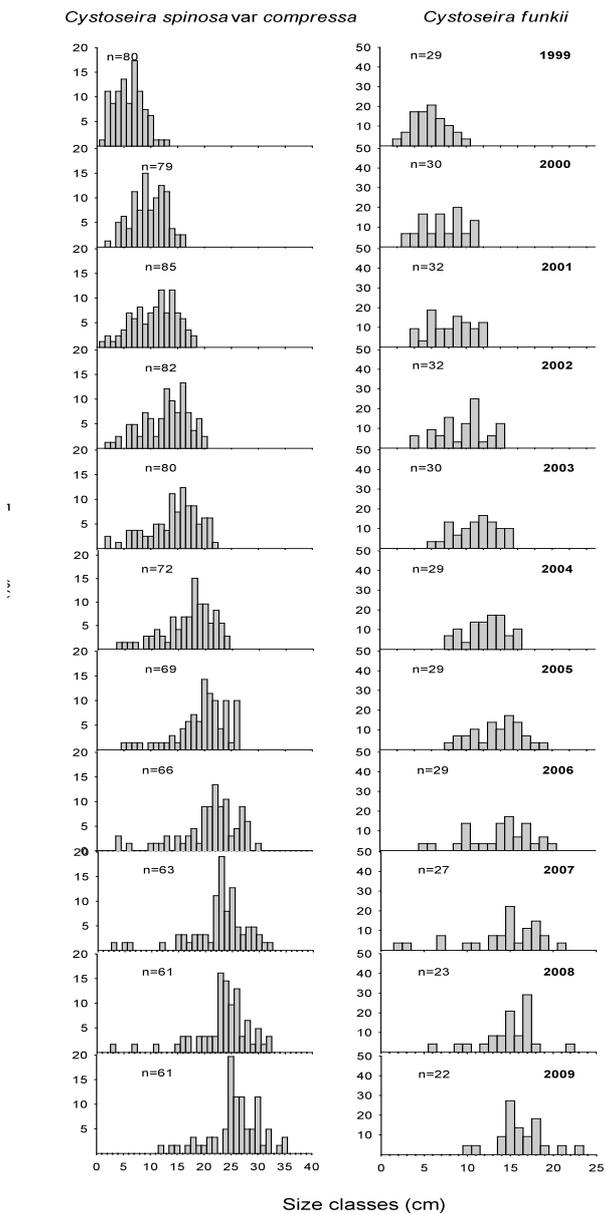


Figure 2.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* et de *Cystoseira funkii* en classes de taille de l'axe majeur de 1 cm ("length of main axis") d'octobre 1999 au 2009 dans les quadrats dénudés l'année 1994 parmi la forêt âgée de *Cystoseira spinosa*.

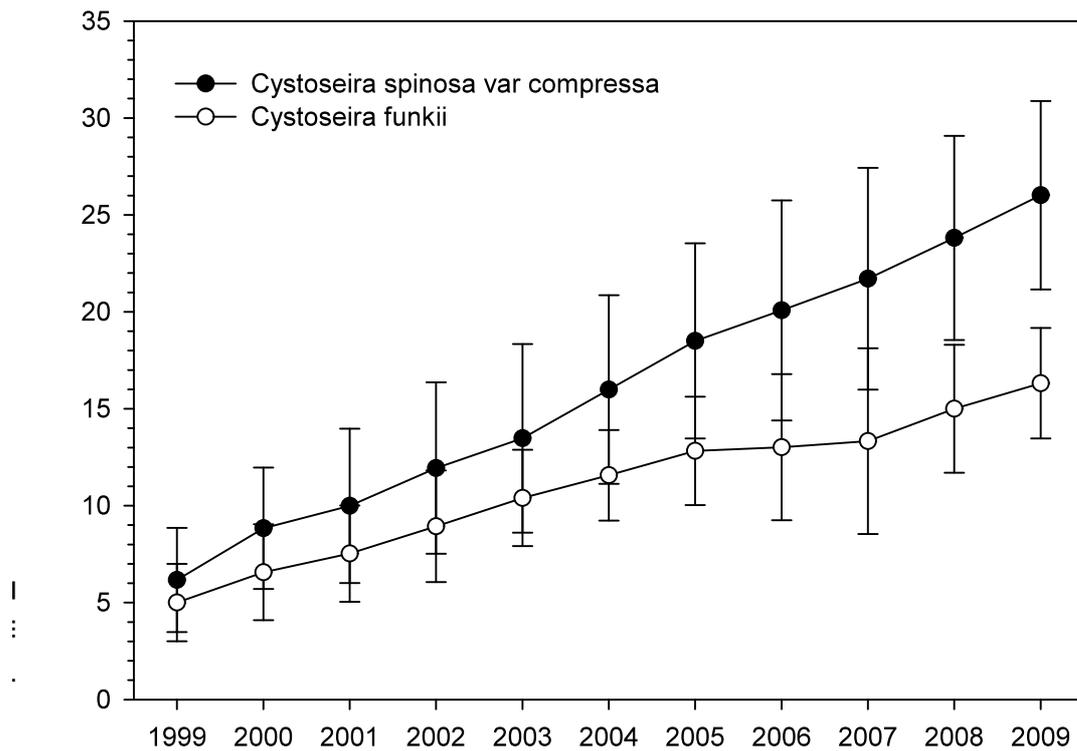


Figure 3.- Évolution de la taille moyenne de *Cystoseira spinosa* (cercles noirs) et *Cystoseira funkii* (cercles vides) d'octobre 1999 au 2009 dans les quadrats dénudés l'année 1994 parmi la forêt âgée de *Cystoseira spinosa*. Moyennes et SD.

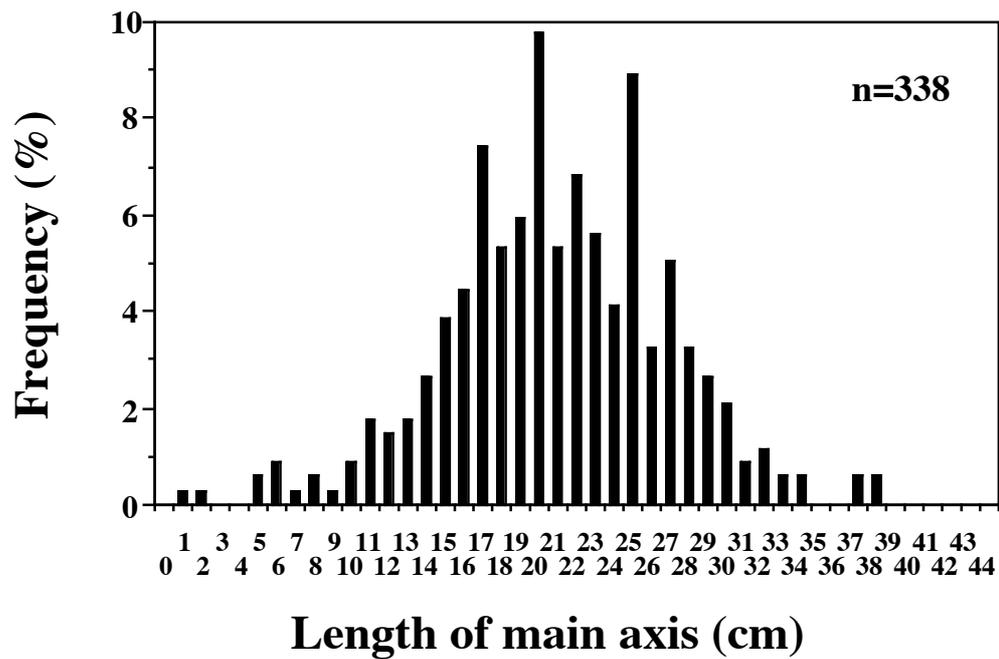


Figure 4.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* en classes de taille de l'axe principale de 1 cm ("size class") dans le peuplement agé de *Cystoseira spinosa* de Garganellu, vers 26 - 28 m de profondeur.

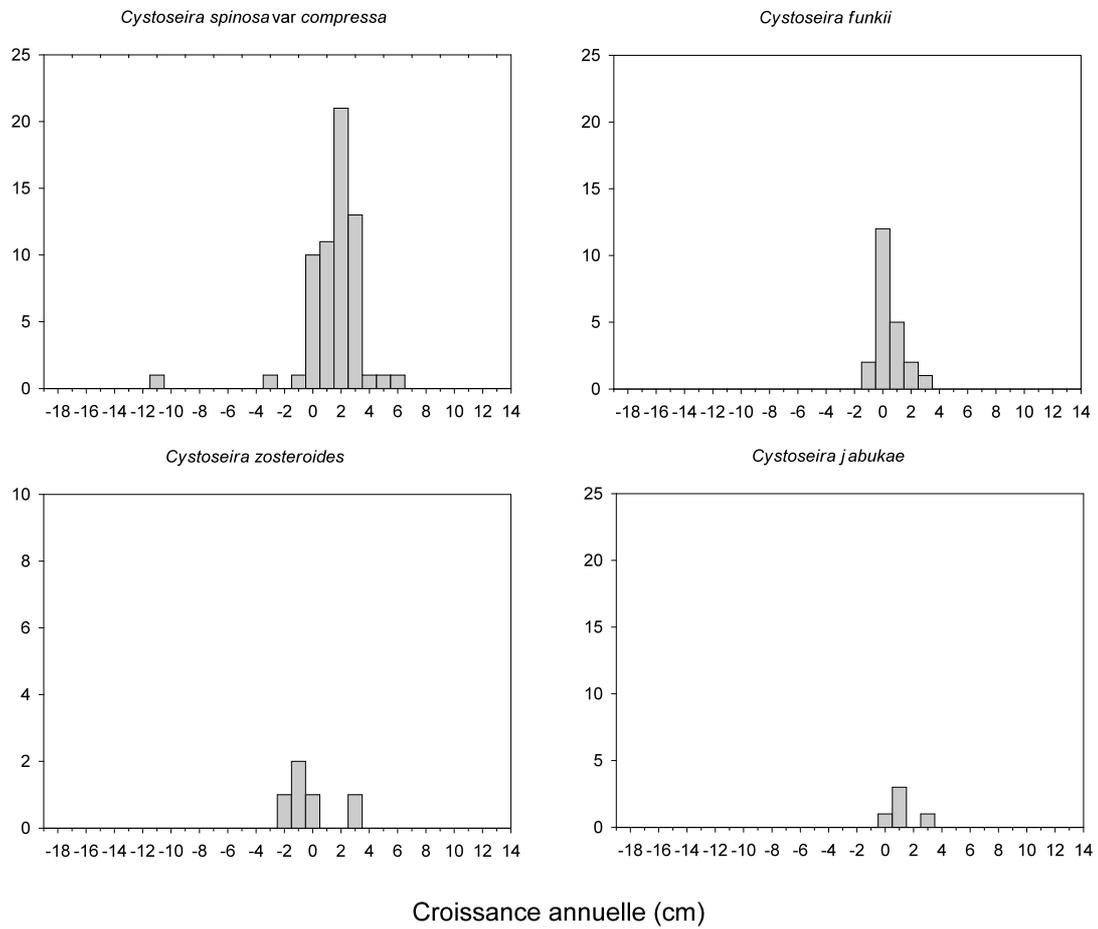


Figure 5.- Distribution des individus des différentes espèces de *Cystoseira* en classes de croissance de l'axe majeur de 1 cm ("growth class") dans la période 2000 - 2009, dans les quadrats dénudés l'année 1994 parmi la forêt âgée de *Cystoseira spinosa*.

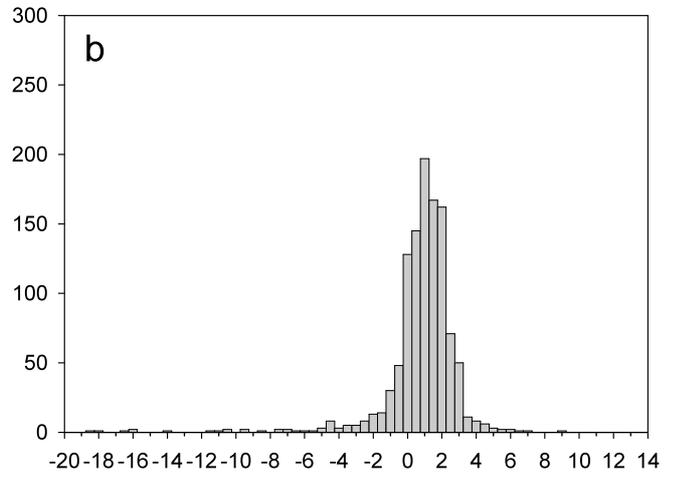
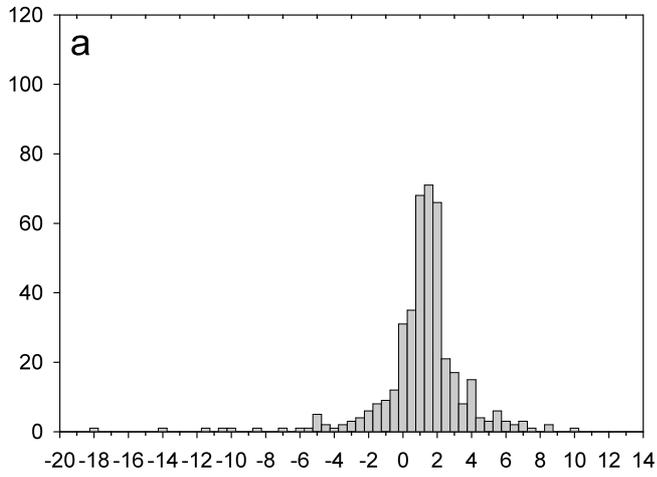


Figure 6.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* en classes de croissance de l'axe principale de 1 cm ("growth class") dans le peuplement âgé de *Cystoseira spinosa* de Garganellu, vers 26 - 28 m de profondeur. a) individus marqués en 1994 et 1999 et mesurés jusqu'à 2009, b) Individus marquées en 2001 et mesurés jusqu'à 2008.

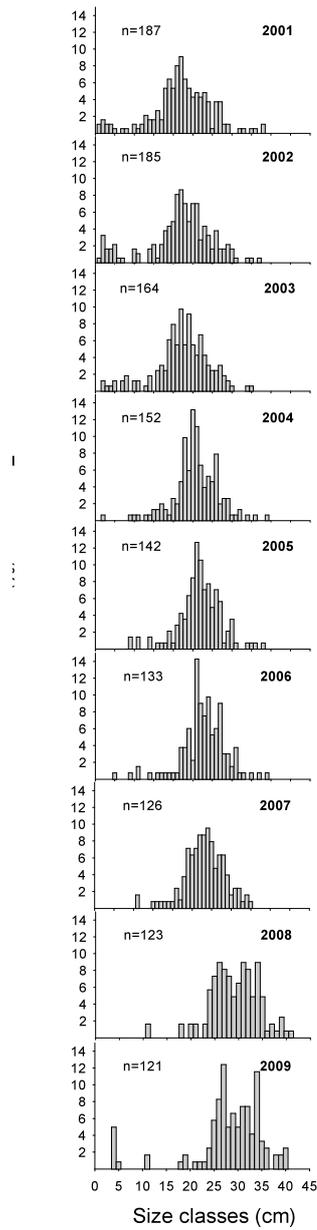


Figure 7.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* en classes de taille de l'axe majeur de 1 cm ("length of main axis") d'octobre 2001 au 2009.

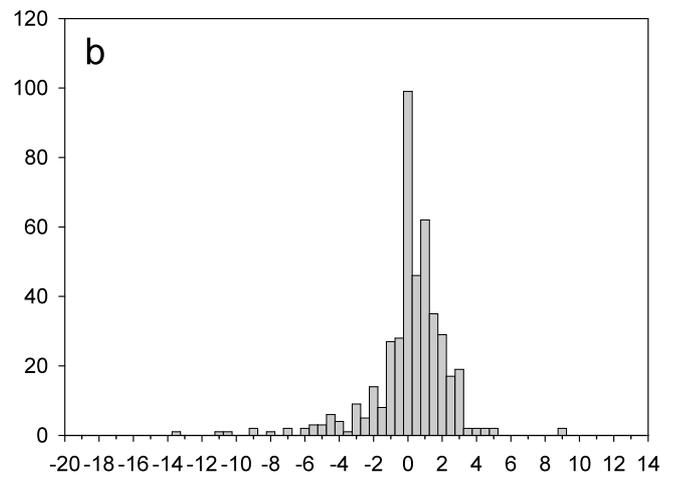
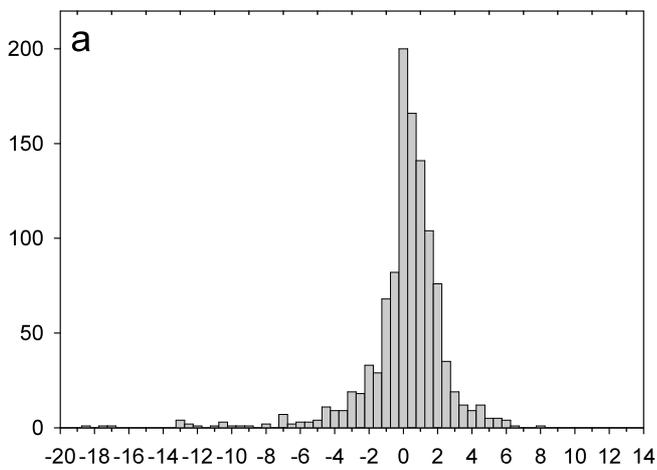


Figure 8.- Distribution des individus de *Cystoseira zosteroides* en classes de croissance de l'axe principale de 1 cm ("growth class") dans le peuplement âgé de *Cystoseira zosteroides* de Garganellu, vers 45 - 47 m de profondeur. A) a) individus marqués en 1995 et mesurés jusqu'à 2009, b) Individus marquées en 2001 et mesurés jusqu'à 2009.

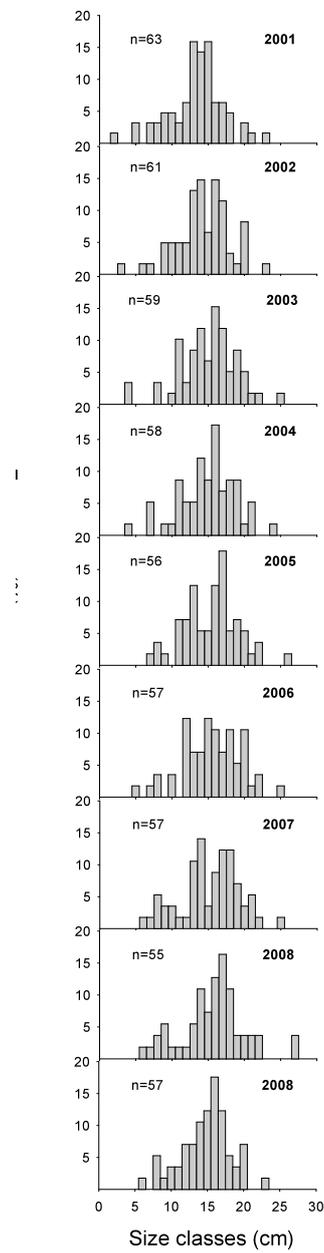


Figure 9.- Distribution des individus de *Cystoseira zosteroides* en classes de taille de l'axe principale de 1 cm ("size class") marqués l'année 2001 dans le peuplement âgé de *Cystoseira zosteroides* de Garganellu, vers 50 m de profondeur.

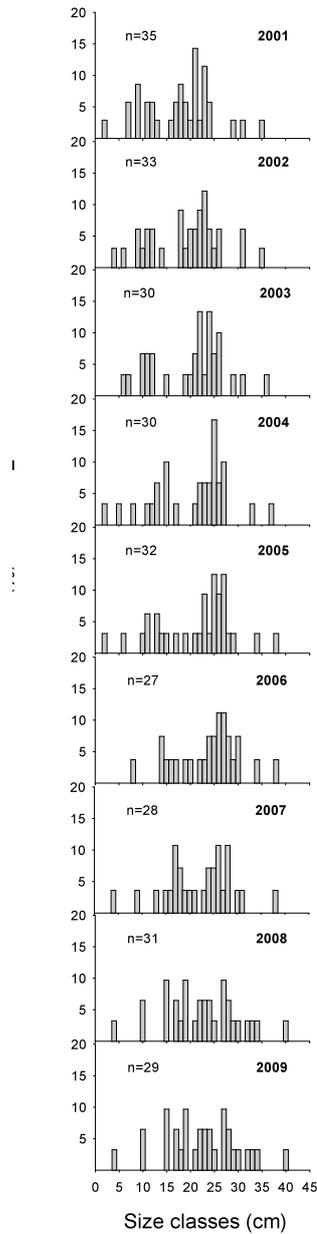
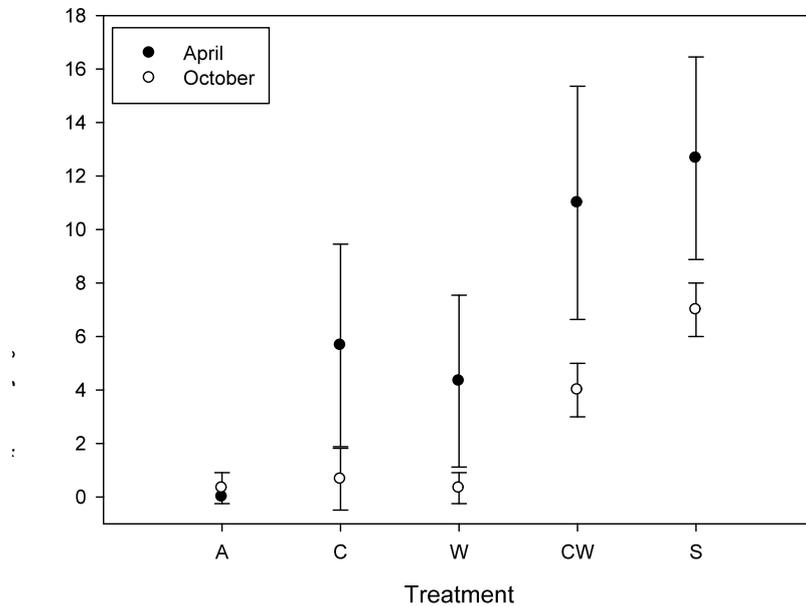


Figure 10.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* en classes de taille de l'axe principale de 1 cm ("size class") marqués l'année 2001 dans le peuplement âgé de *Cystoseira zosteroides* de Garganellu, vers 50 m de profondeur.



	df	SS	MS	F	P
Period	1	80	80	12,31	0,002
Treatment	4	562,9	140,7	21,65	0,000
Period & Treatment	4	55,8	14	2,15	0,113

Figure 11.- Résultats de l'étude du recrutement des *Cystoseira spinosa* dans la forêt âgée. En ordonnées le nombre de recrutes par 50x50 cm². Les traitements ("treatment") sont: A: contrôle; C: sans *Cystoseira*; W: sans *Womersleyella*; CW: sans *Cystoseira* et *Womersleyella*; S: roches (substrat vierge).

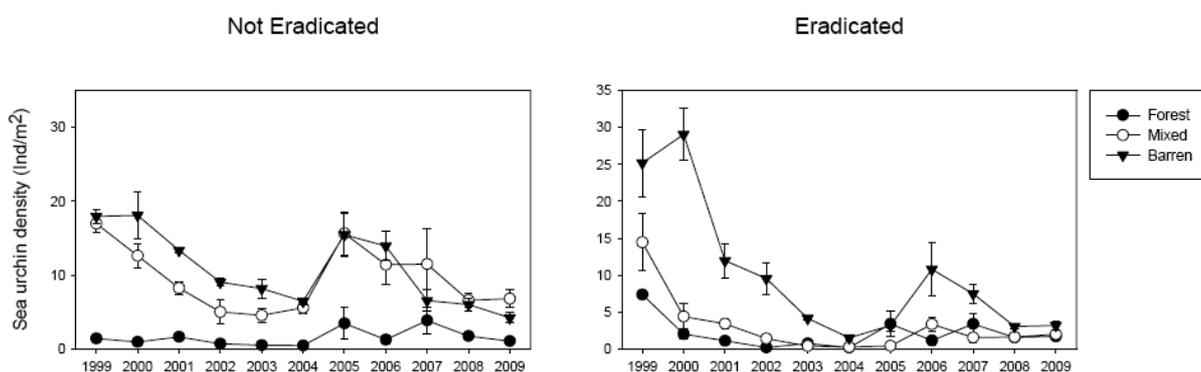


Figure 12.- Évolution de la densité d'oursins *Paracentrotus lividus* dans les communautés étudiées. a) zones non éradiquées et b) zones éradiquées. Triangle inverse : communauté surpâturage ; Cercle vide : communauté mixte, Cercle plein : communauté de forêt.

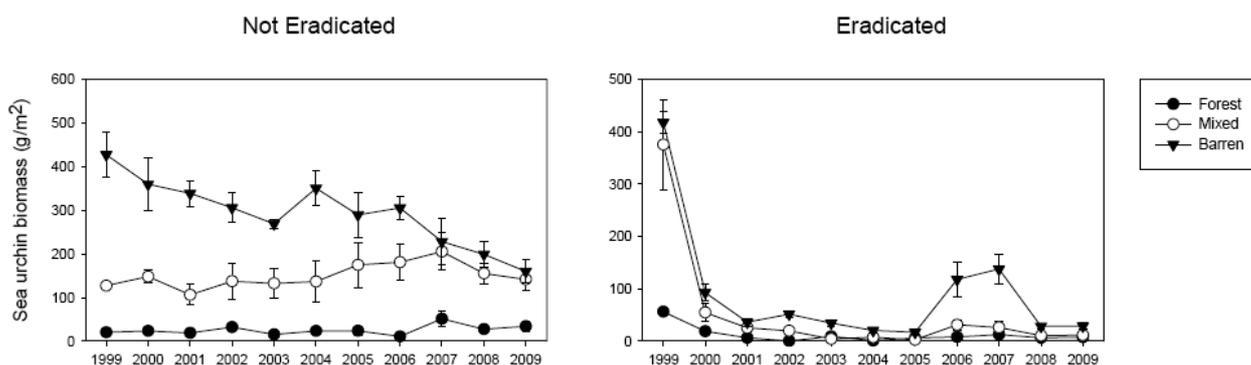


Figure 13.- Évolution de la biomasse de l'oursin *Paracentrotus lividus* dans les communautés étudiées. a) zones non éradiquées et b) zones éradiquées. Triangle inverse : communauté surpâturage ; Cercle vide : communauté mixte, Cercle plein : communauté de forêt.

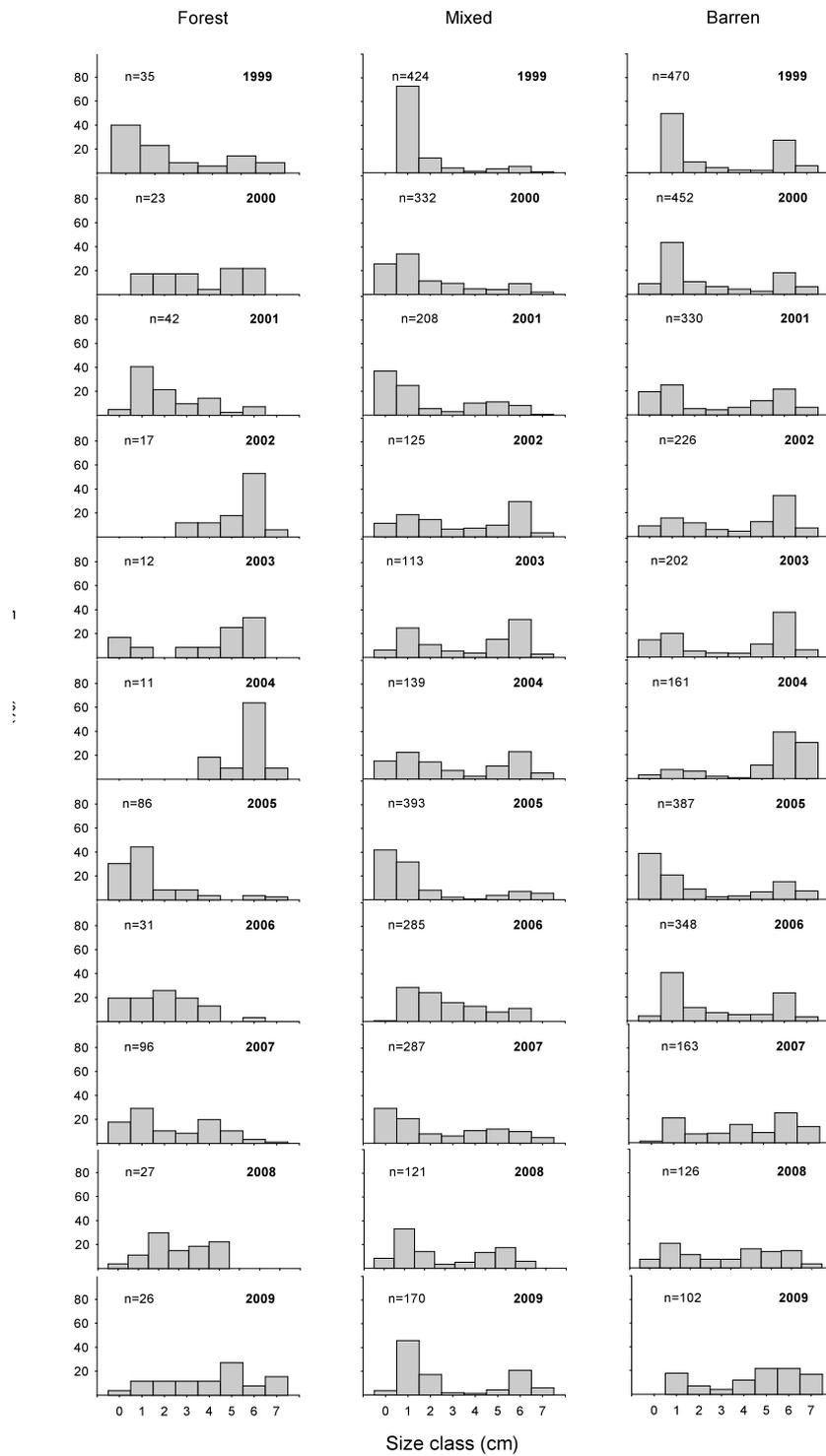


Figure 14.- Évolution de la structure de tailles des populations de l'oursin *Paracentrotus lividus* dans les communautés étudiées sans éradication.

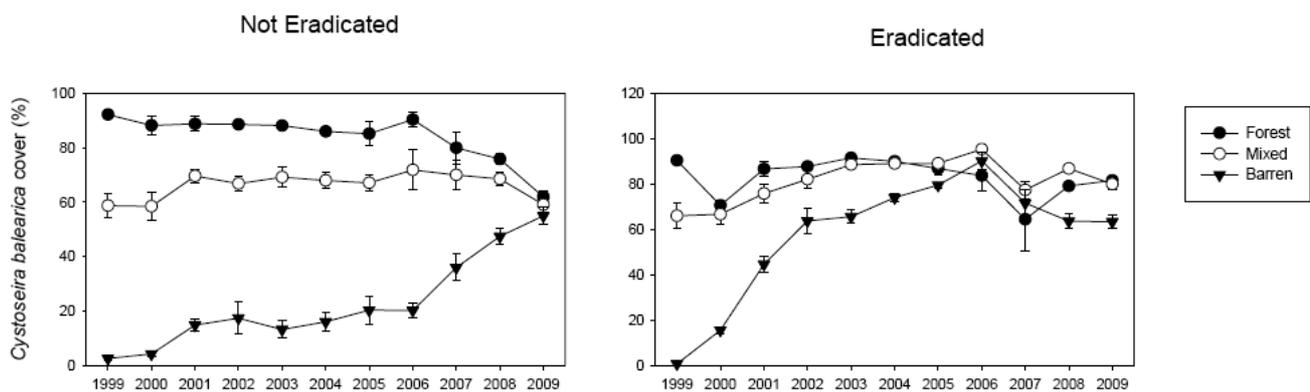


Figure 15.- Évolution de la couverture de *Cystoseira balearica* dans les communautés étudiées. a) zones non éradiquées et b) zones éradiquées. Triangle inverse : communauté surpâturage ; Cercle vide : communauté mixte, Cercle plein : communauté de forêt.

Punctual eradication

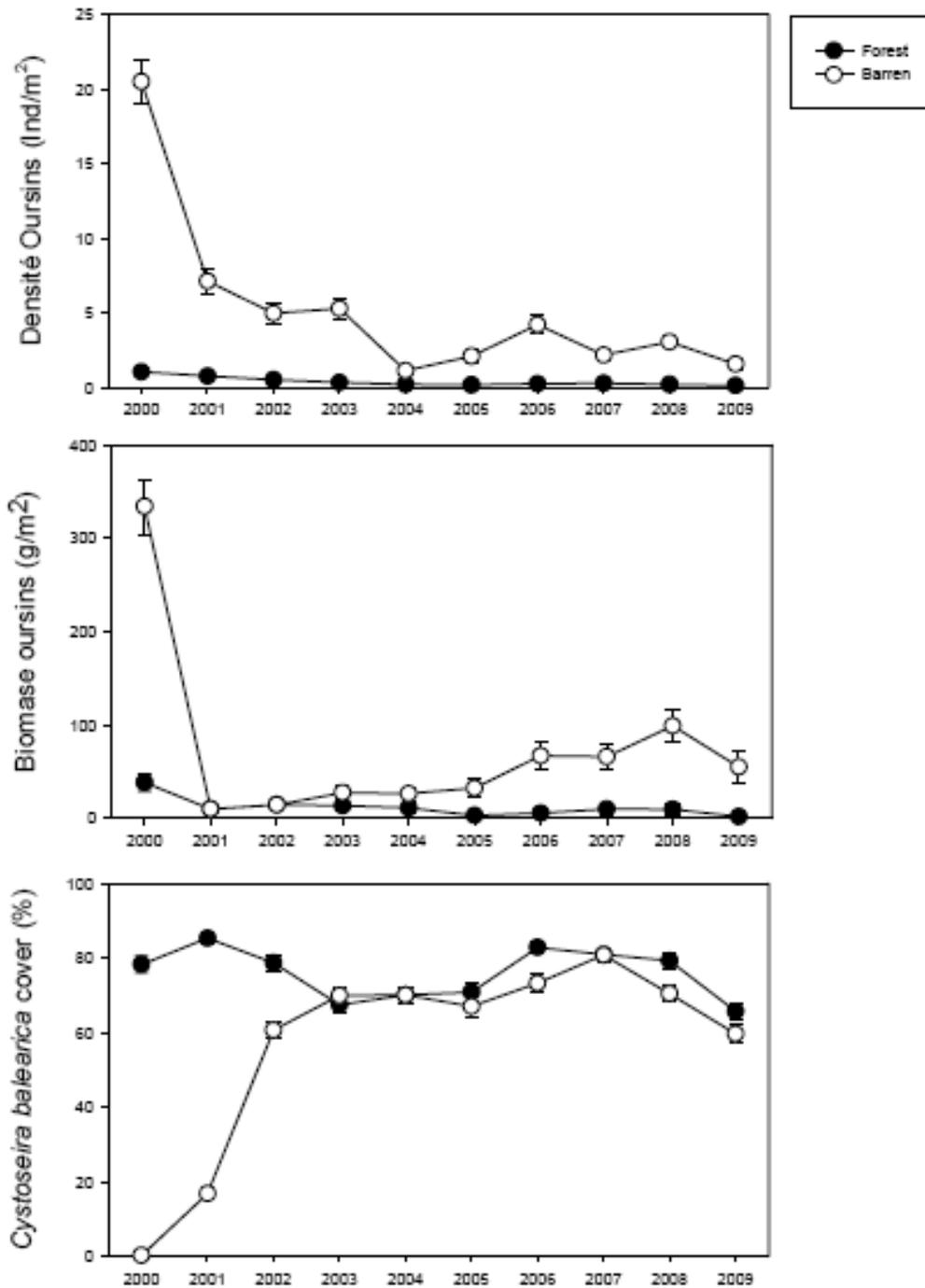


Figure 16.- Évolution de la densité et biomasse de l'oursin *Paracentrotus lividus* et la couverture de *Cystoseira balearica* dans les communautés éradiquées ponctuellement. Cercle vide : communauté de surpâturage, Cercle plein : communauté de forêt.