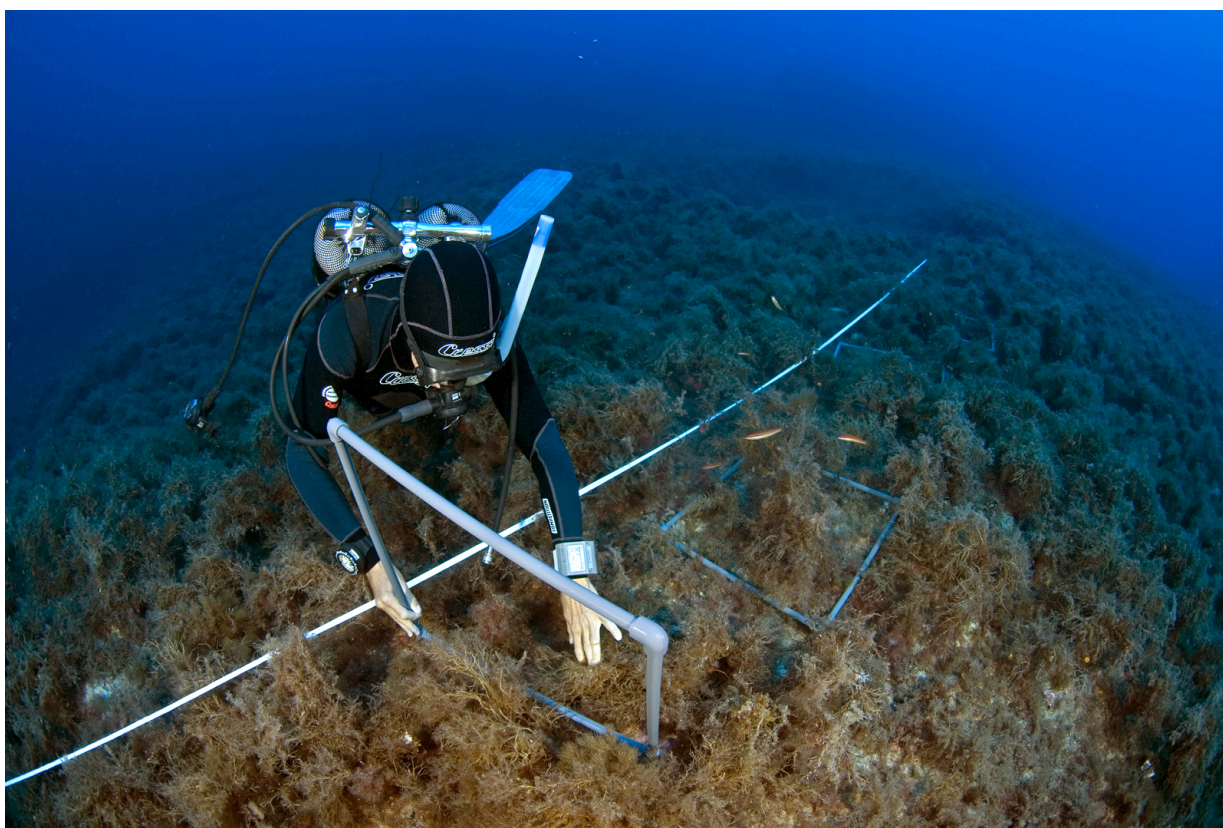


Rapport mission Scandola

Cystoseira 2008



Enric Ballesteros¹, Bernat Hereu², Mikel Zabala², Emma Cebrian³, Enric Sala¹, Joaquim Garrabou⁴

¹ Centre d'Estudis Avançats de Blanes-CSIC

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

³ Station Marine d'Endoume, Marseille

⁴ Institut de Ciències del Mar, Barcelona

INTRODUCTION

Les objectifs de la mission de l'année 2008 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 huit 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 2008. 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 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*

Les traitements ont été effectués en avril et en octobre à fin de voir l'importance de la saisonnalité dans l'expérimentation. Nous n'allons pas présenter des résultats de cette expérience car elle a été mise en place cette année et on devra attendre quelques années pour avoir les résultats (le recrutement des *Cystoseira* est toujours réduit et en plus elles sont difficiles à distinguer la première et la deuxième année).

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 2008 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 2008.

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)
- 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 convenamment 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 2000-2008 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 $50 \times 50 \text{ cm}^2$ (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 soit pas possible, on avait choisi l'année 1999 deux rochers submergés isolés par un fond de sable de 25 à 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 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 84 avec une dominance des jeunes *Cystoseira spinosa* suivis par des jeunes *Cystoseira funkii* et, avec de densités beaucoup plus faibles, par des *Cystoseira jabukae* et des *Cystoseira zosteroides*. 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, 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 14 années (et 15 étés) depuis la élimination des troncs adultes des *Cystoseira*, le peuplement des nouvelles plantes est encore très 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 3.2%, 17.8% pour la *Cystoseira funkii*, 14% pour la *Cystoseira jabukae*, et 0% pour la *Cystoseira zosteroides*. Par rapport à des autres années on observe une grande augmentation de mortalité dans *C. funkii*.

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 (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* dominant 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 0 à 2 pour *Cystoseira zosteroides* et de 0-1.5 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 2008. Ça signifie une mortalité maximale du 45.3% en 14 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 3.23%. La plupart des individus croissent entre 1 et 2 cm an⁻¹ (figure 6).

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 dernière la densité avait diminué jusqu'à les 25.3 individus m⁻², mais cette année on a observé une petite récupération car il y a eu 6 recrutes et maintenant la densité est de 25.8 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 2007-octobre 2008 on a calculé une mortalité annuelle du 5.8%.

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

29 des 50 individus marqués le mois d'octobre de 1995 étaient encore vivants (et marqués) le mois d'octobre du 2008. Ça signifie une mortalité maximale de 42% en 13 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 3.2%. 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 45-47 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 7 ans on observe une légère croissance de toute la population (14.81 ± 4.33 cm) et maintenant la plupart des individus mesuraient entre 15 et 19 cm (Figure 9). La densité a diminué jusqu'à les 13.42 individus m^{-2} , avec une densité de 7.86 individus m^{-2} pour l'espèce dominante. On a pas observé du recrutement dans ces 7 années. Pour cette population et la période 2001-2008 on a calculé une mortalité annuelle de 2.8% .

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 2008, la densité avait diminué jusqu'à les 4.42 plantes m^{-2} , avec une taille moyenne de 21.60 ± 7.63 , 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 2001-2008 on a calculé une mortalité annuelle de 1.60% . 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*

Comme nous avons déjà dit dans la introduction on doit atteindre au moins l'année prochaine pour avoir des résultats sur l'expérimentation que nous avons mis en place cette année.

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 2004, 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 11a). Les parcelles éradiquées, par contre, restent plus constantes, montrant que le traitement d'éradication est effective (Figure 11b).

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 légère 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 12a). Dans les parcelles éradiquées la biomasse d'oursins reste toutes les années très faible (Figure 12b) 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 l'année 2008.

La distribution des oursins en classes de taille ne montre pas des différences très importantes entre 1999 et 2008 (Figures 13 et 14), sauf pour des pics de recrutement (comme ce de 2005), que sont plus évidents dans les parcelles éradiquées. 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 au recrutement) 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, avec une couverture de presque 100% dans les forêts et autour de 60 % dans les communautés mixtes. Au contraire, on observe une augmentation de la couverture des *Cystoseira* dans la communauté de surpâturage, augmentation qui est très nette les années 2007-2008 (Figure 15a). 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 à les valeurs des communautés de forêt (Figure 15b) et ces valeurs n'ont pas sensiblement changé après.

La dynamique des populations d'oursins est très différente dans les trois types de communautés. Dans les zones avec une faible couverture algale il y a une importante entrée de recrues, qui représentent plus de la moitié de la population. Au contraire, dans les forêts le nombre et proportion de ce recrutement est très faible. Ces faibles densités des recrues indique que, ou bien il y a un faible recrutement dans les forêts, où qu'il y a une forte mortalité post- recrutement qui atténuent les arrivées des larves d'oursins.

Les différences des dynamiques des populations des oursins, comporte que les deux types de communautés algales, dénudée et forêt, soient stables. Les forêts peuvent maintenir une couverture algale élevée à cause de la faible densité d'oursins.

Au contraire, les populations des oursins des communautés de surpâturage ont une très forte dynamique où les hautes densités des oursins favorisent le recrutement. La dynamique de ces communautés est «choquant » parce que même dans la réserve, où il y a des beaux peuplements des poissons prédateurs d'oursins, ils ne peuvent pas contrôler les populations des oursins. Ces résultats sont en désaccord avec les modèles théoriques décrits pour ce genre d'interactions (Sala & McClanahan, 1998), où dans les réserves marines, la forte densité des poissons peut contrôler par déprédation les populations des oursins, et, par effets en cascade, conserver les communautés algales. C'est pour ça qu'il est impensable comprendre les processus de recrutement et mortalité post-établissement si l'on veut avoir une meilleure connaissance des dynamiques des populations de *Paracetrotus lividus* pour gérer la réserve.

Les différences dans la dynamique des populations d'oursins provoquent la structuration des communautés infralitorales dans deux typologies: forêts à *Cystoseira balearica* avec des faibles densités d'oursins et faible recrutement, et communautés de surpâturage avec hautes densités d'oursins et forts épisodes de recrutement. Ces deux états présentent une forte stabilité au cours du temps. Mais cette stabilité dans les forêts de *Cystoseira balearica* peut changer s'il y a un changement dans la dynamique des populations d'oursins. Ce changement peut être dû à une migration des oursins adultes dans les zones de forêt ou pour un fort épisode de recrutement. Il paraît que ce processus semble avoir lieu dans les zones actuelles de communautés de surpâturage.

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 très similaires à ceux qu'on a obtenus 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 16).

CONCLUSIONS

1.- Quatorze 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 déjà une mortalité denso-dépendante que cette année a été évidente chez les *C. funkii*.

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 qui 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 3.8% annuelle (5.8 cette année).

5.- Croissances des axes moyens situées autour de 0.32 cm an⁻¹ sont confirmées pour les individus des *Cystoseira zosteroides* étudiées, et une mortalité au tour de 2.8 % annuelle.

6- Après 9 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- 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 serait

convenient d'interdire ou diminuer la pêche au trémail dans des zones peuplés 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 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.

Remerciements

Cet étude a été financé pour le Parc Naturel Régional de la Corse. Nous tenons à remercier Jean-Marie Dominici et le reste de gardes de la Réserve de Scandola, qui nous ont permis de réaliser l'étude avec des excellentes conditions de sécurité et confort.

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.

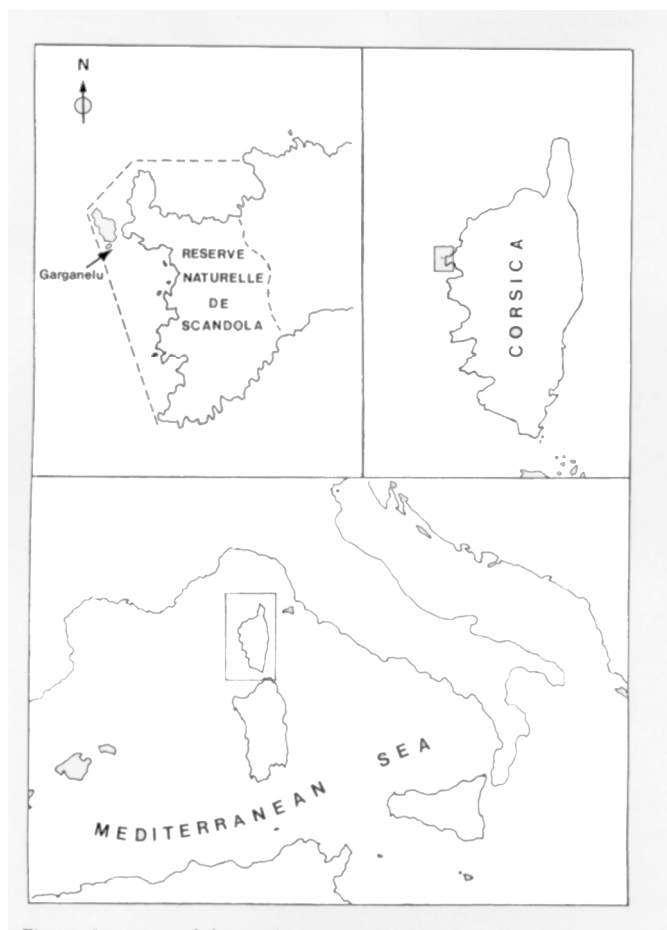


Figure 1.- Situation de la station de Garganelu dans la Réserve de Scandola.

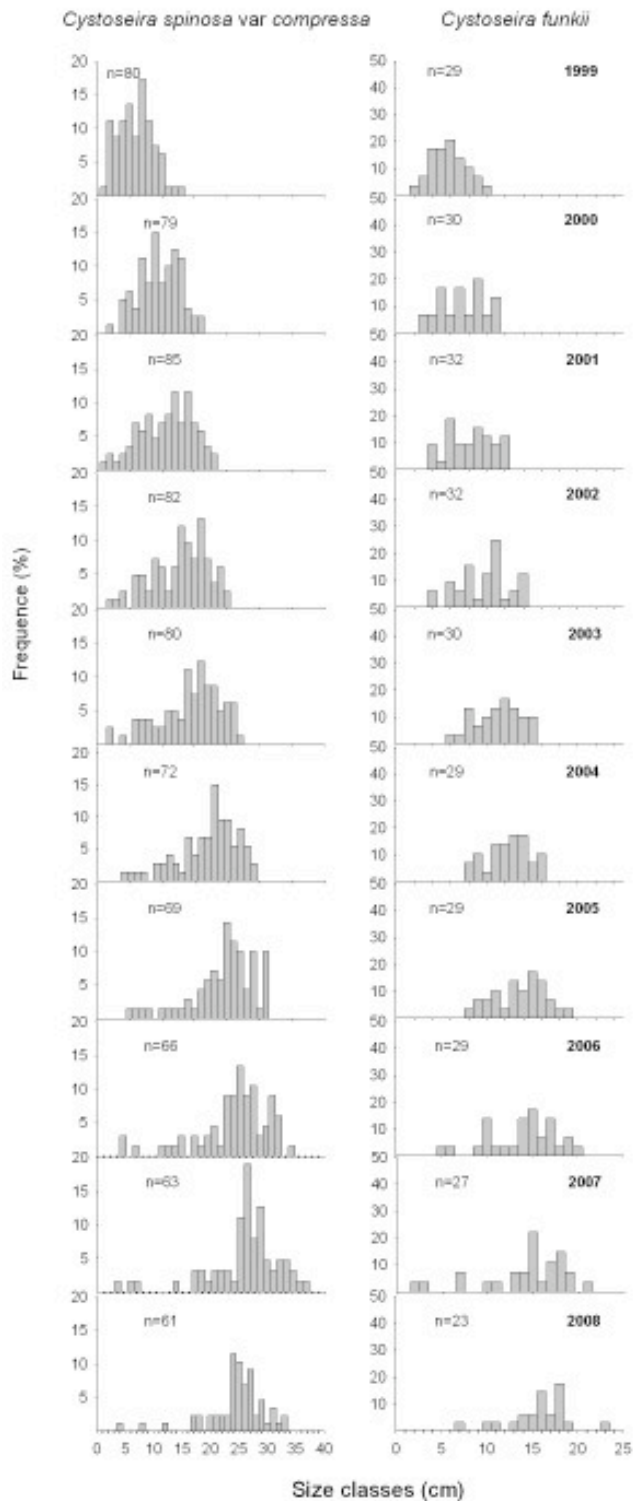


Figure 2.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* et de *Cystoseira funkii* en classes de taille de l'axe majeur de 1 cm ("length of main axis") d'octobre 1999 au 2008 dans les quadrats dénudés l'année 1994 parmi la forêt agée de *Cystoseira spinosa*.

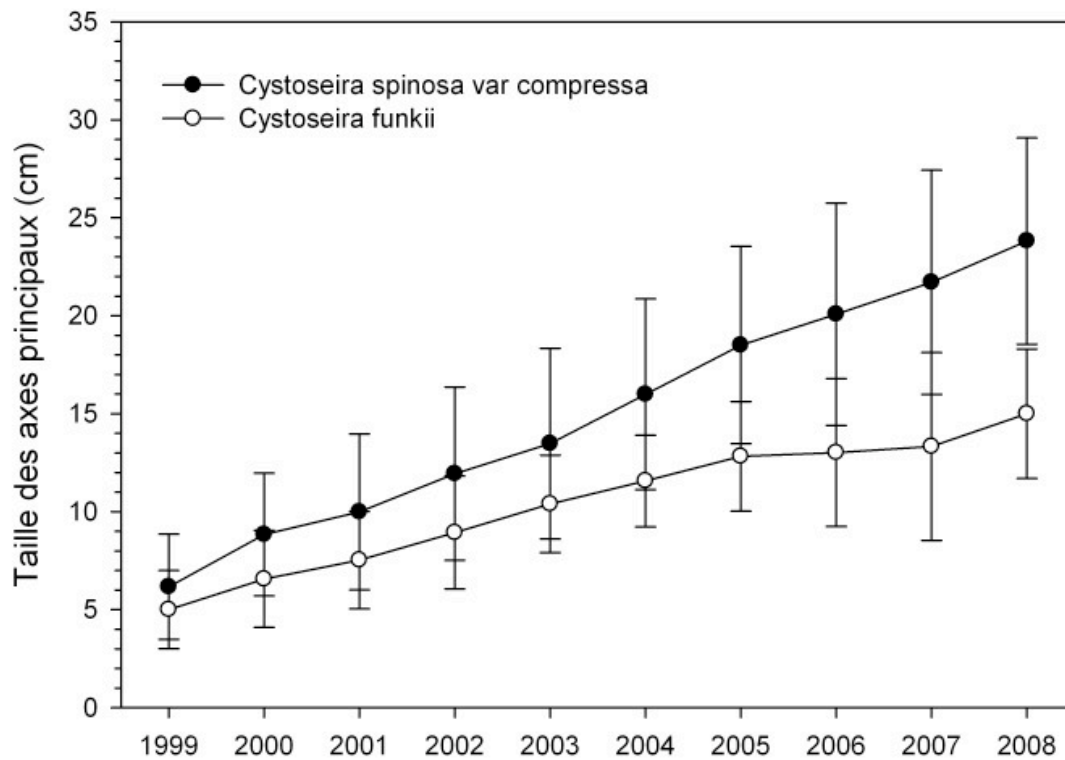


Figure 3.- Évolution de la taille moyenne de *Cystoseira spinosa* (cercles noirs) et *Cystoseira funkii* (cercles vides) d'octobre 1999 au 2008 dans les quadrats dénudés l'année 1994 parmi la forêt âgée de *Cystoseira spinosa*. Moyennes et SD.

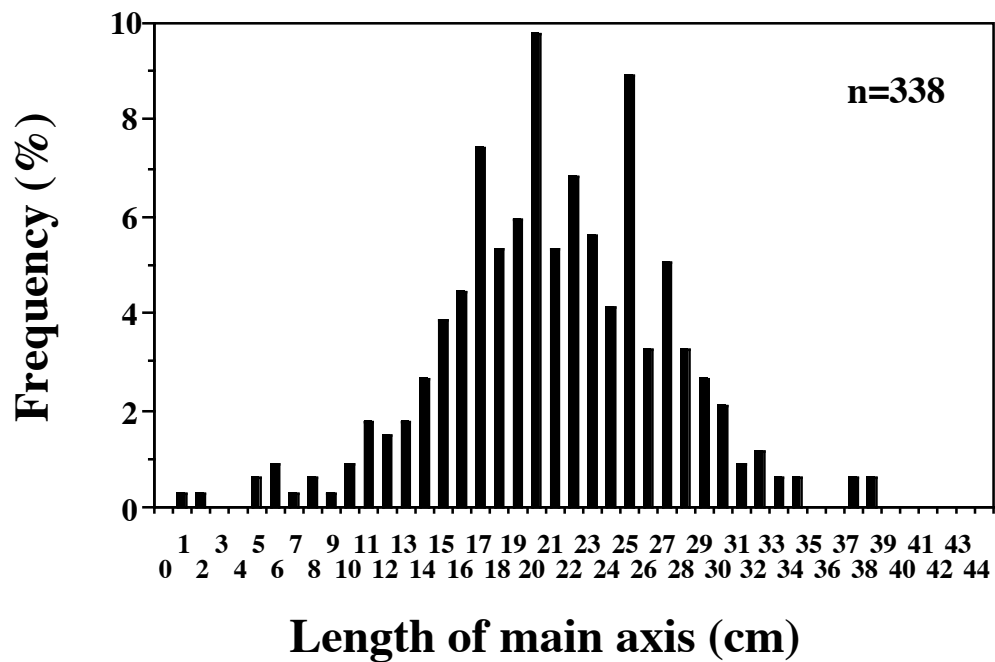


Figure 4.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* en classes de taille de l'axe principale de 1 cm ("size class") dans le peuplement agé de *Cystoseira spinosa* de Garganellu, vers 26 - 28 m de profondeur.

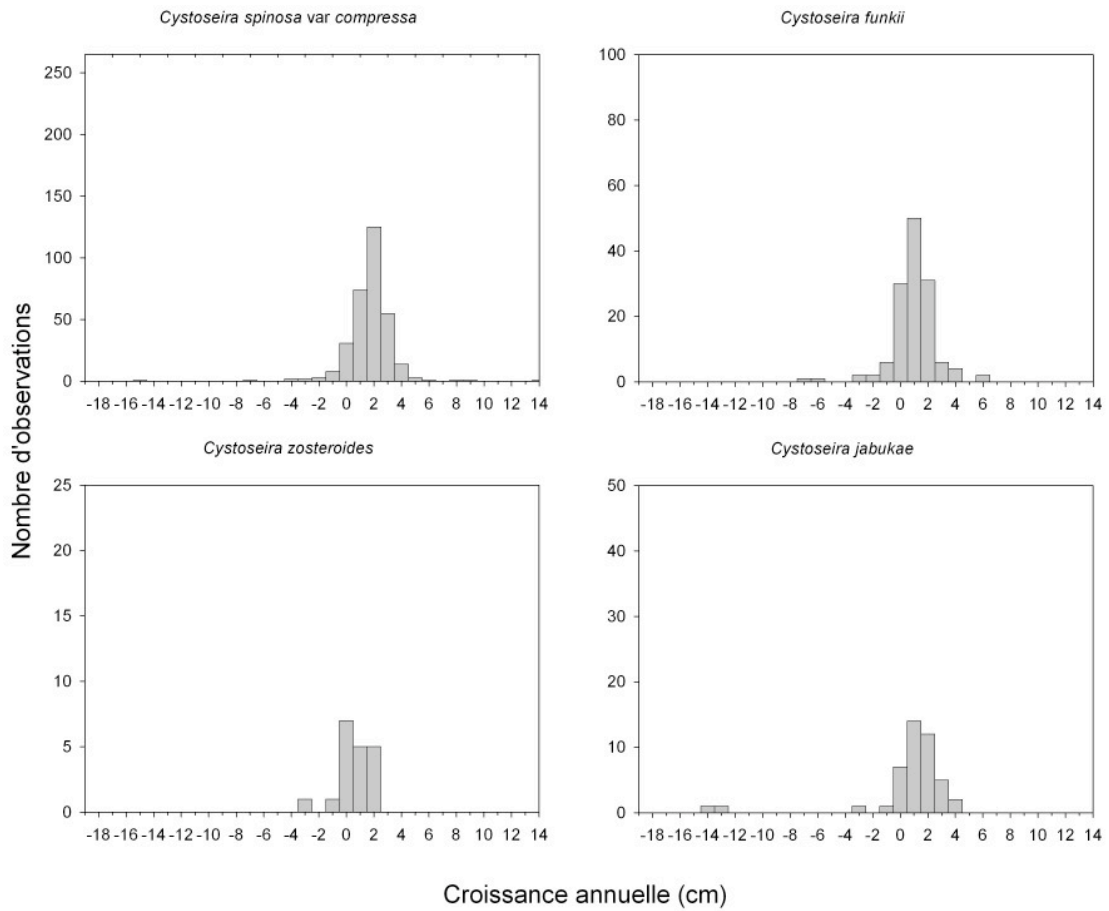


Figure 5.- Distribution des individus des différentes espèces de *Cystoseira* en classes de croissance de l'axe majeur de 1 cm ("growth class") dans la période 2000 - 2008, dans les quadrats dénudés l'année 1994 parmi la forêt âgée de *Cystoseira spinosa*.

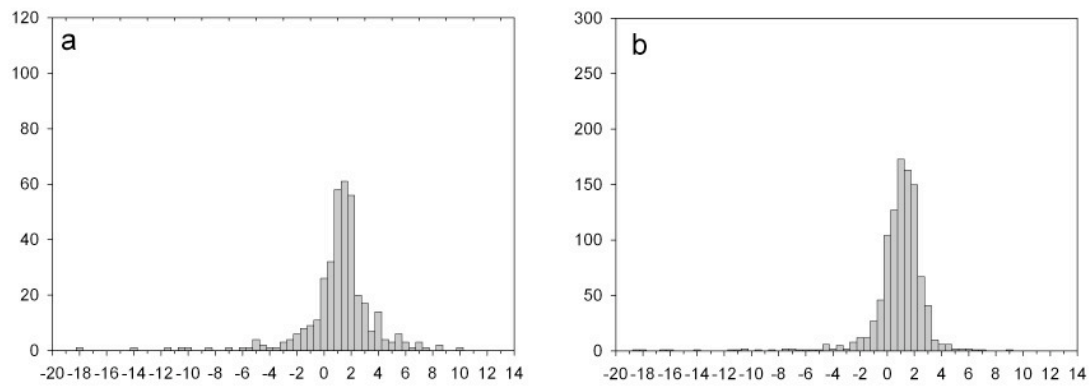


Figure 6.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* en classes de croissance de l'axe principale de 1 cm ("growth class") dans le peuplement âgé de *Cystoseira spinosa* de Garganellu, vers 26 - 28 m de profondeur. a) individus marqués en 1994 et 1999 et mesurés jusqu'à 2008, b) Individus marquées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

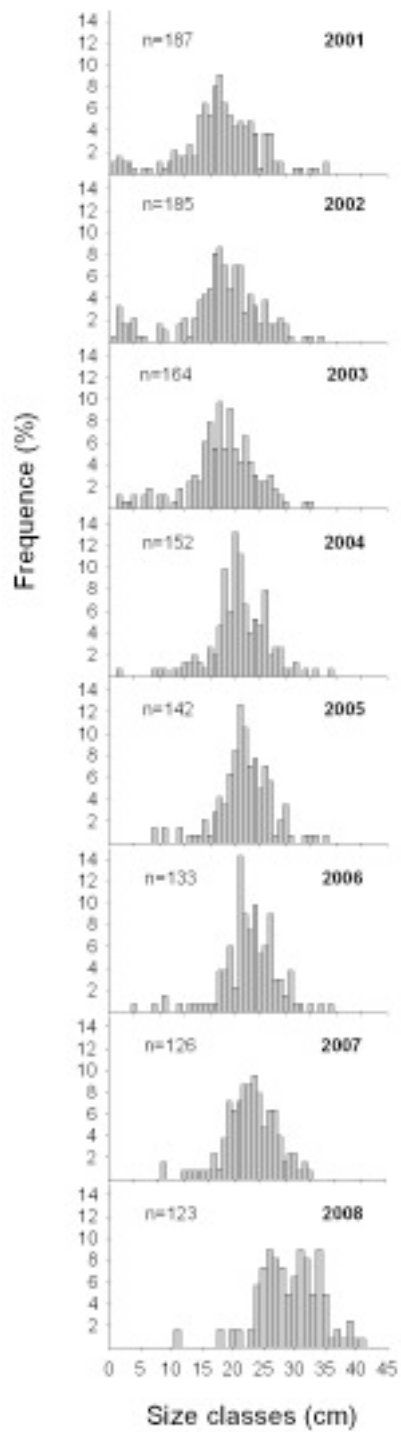


Figure 7.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* en classes de taille de l'axe majeur de 1 cm ("length of main axis") d'octobre 2001 au 2008.

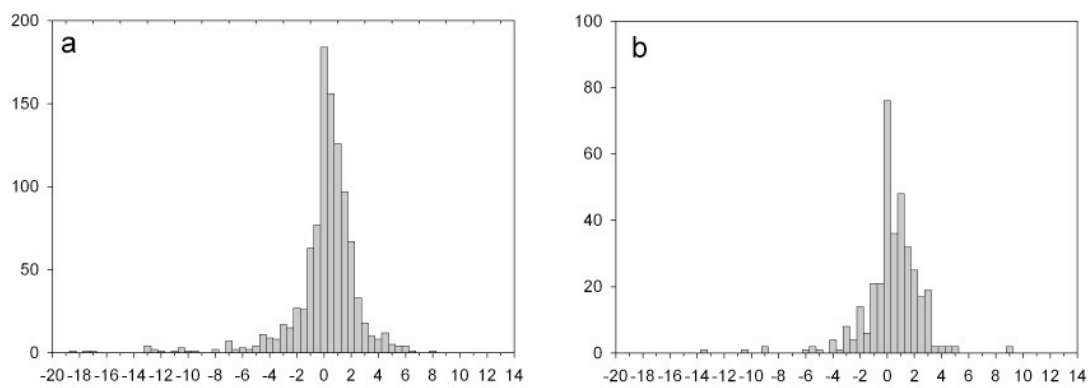


Figure 8.- Distribution des individus de *Cystoseira zosteroides* en classes de croissance de l'axe principale de 1 cm ("growth class") dans le peuplement agé de *Cystoseira zosteroides* de Garganellu, vers 45 - 47 m de profondeur. A) a) individus marqués en 1995 et mesurés jusqu'à 2008, b) Individus marquées en 2001 et mesurés jusqu'à 2008.

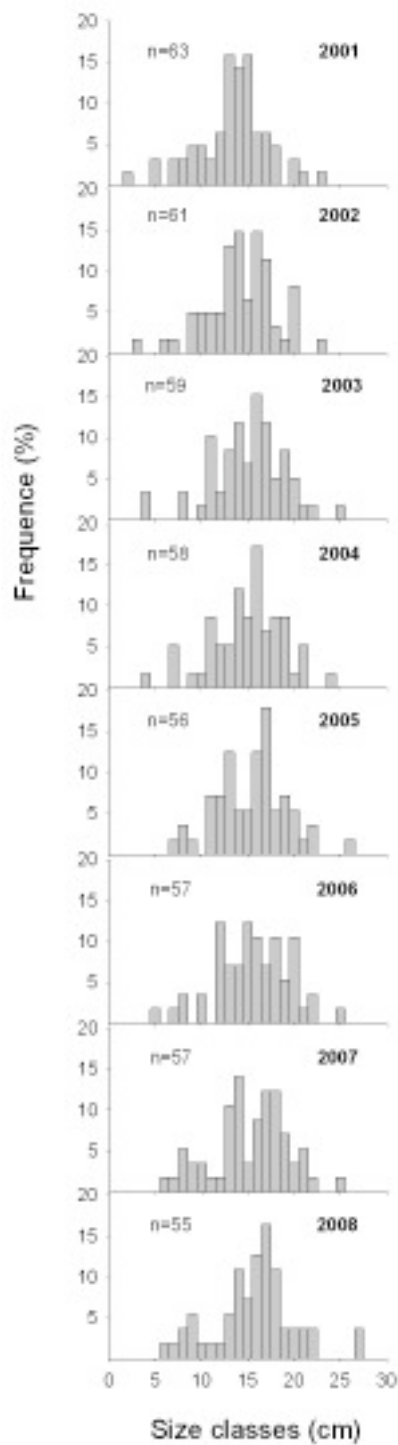


Figure 9.- Distribution des individus de *Cystoseira zosteroides* en classes de taille de l'axe principale de 1 cm ("size class") marqués l'année 2001 dans le peuplement âgé de *Cystoseira zosteroides* de Garganellu, vers 50 m de profondeur.

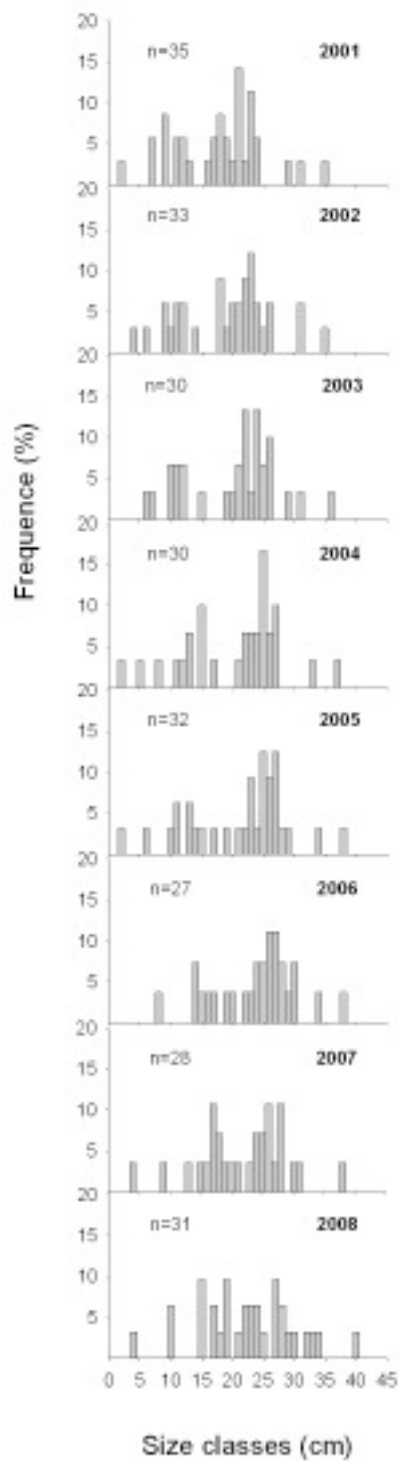


Figure 10.- Distribution des individus de *Cystoseira spinosa* en classes de taille de l'axe principale de 1 cm ("size class") marqués l'année 2001 dans le peuplement âgé de *Cystoseira zosteroides* de Garganellu, vers 50 m de profondeur.

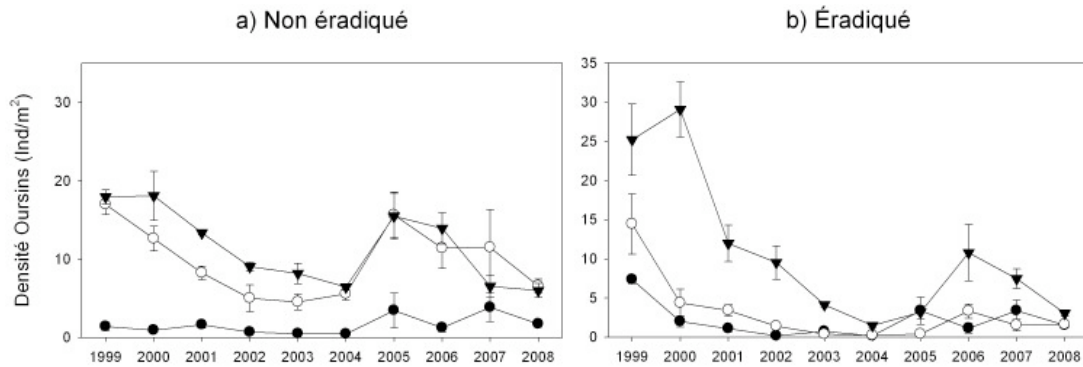


Figure 11.- Évolution de la densité d'oursins *Paracentrotus lividus* dans les communautés étudiées. a) zones non éradiquées et b) zones éradiquées. Triangle inverse : communauté surpâturage ; Cercle vide : communauté mixte, Cercle plein : communauté de forêt.

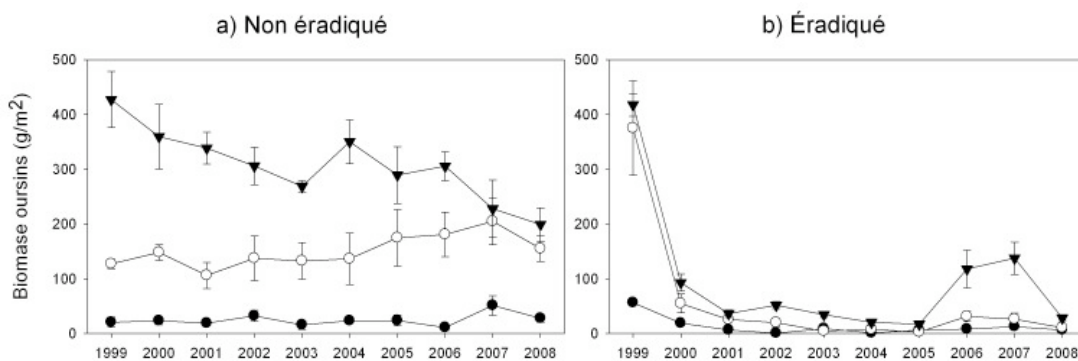


Figure 12.- Évolution de la biomasse de l'oursin *Paracentrotus lividus* dans les communautés étudiées. a) zones non éradiquées et b) zones éradiquées. Triangle inverse : communauté surpâturage ; Cercle vide : communauté mixte, Cercle plein : communauté de forêt.

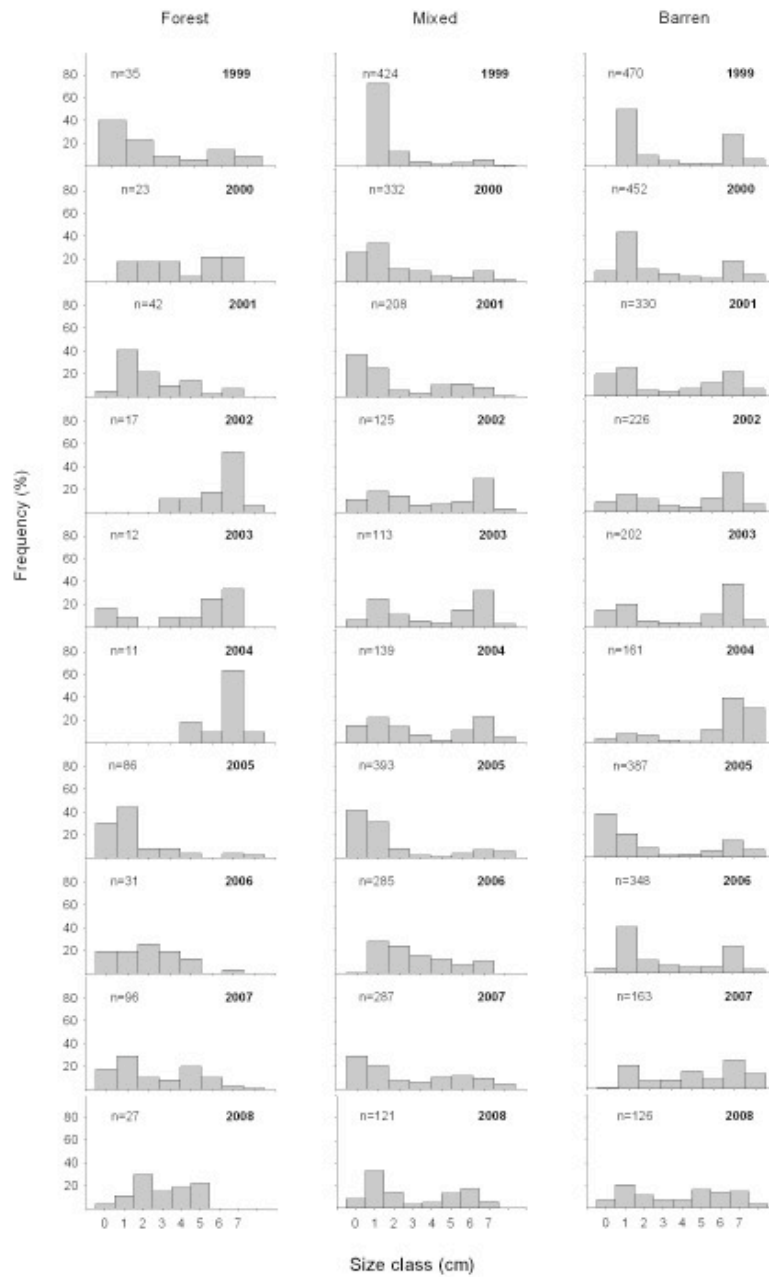


Figure 13.- Évolution de la structure de tailles des populations de l'oursin *Paracentrotus lividus* dans les communautés étudiées sans éradication.

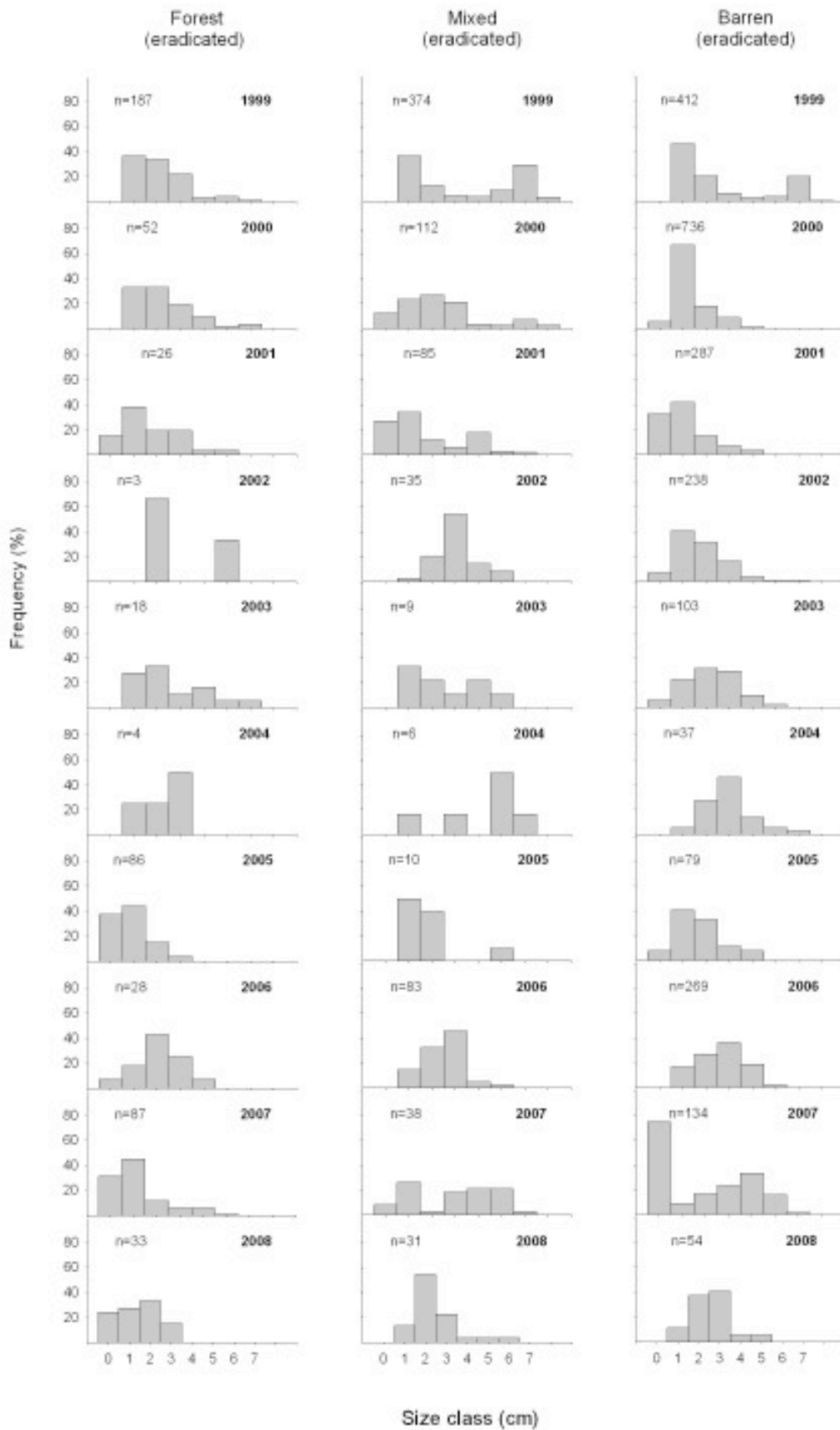


Figure 14.- Évolution de la structure de tailles des populations de l'oursin *Paracentrotus lividus* dans les communautés étudiés où les oursins sont éradiqués.

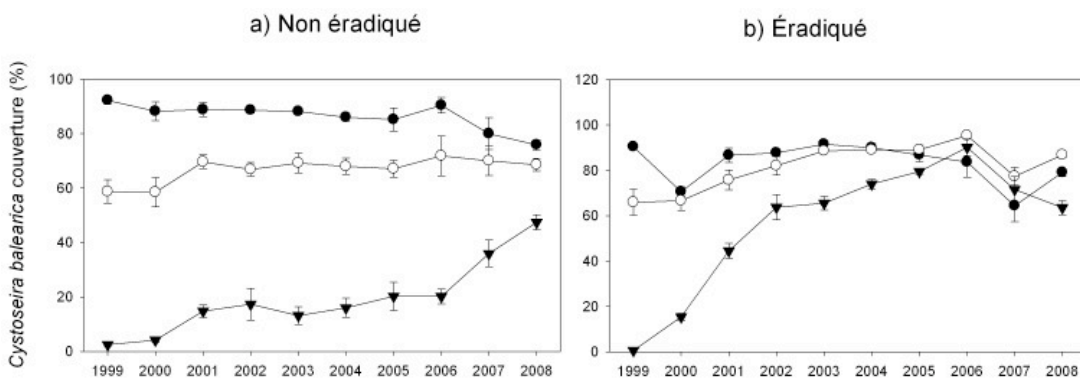


Figure 15.- Évolution de la couverture de *Cystoseira balearica* dans les communautés étudiés. a) zones non éradiqués et b) zones éradiqués. Triangle inverse : communauté surpâturage ; Cercle vide : communauté mixte, Cercle plain : communauté de forêt.

Punctual eradication

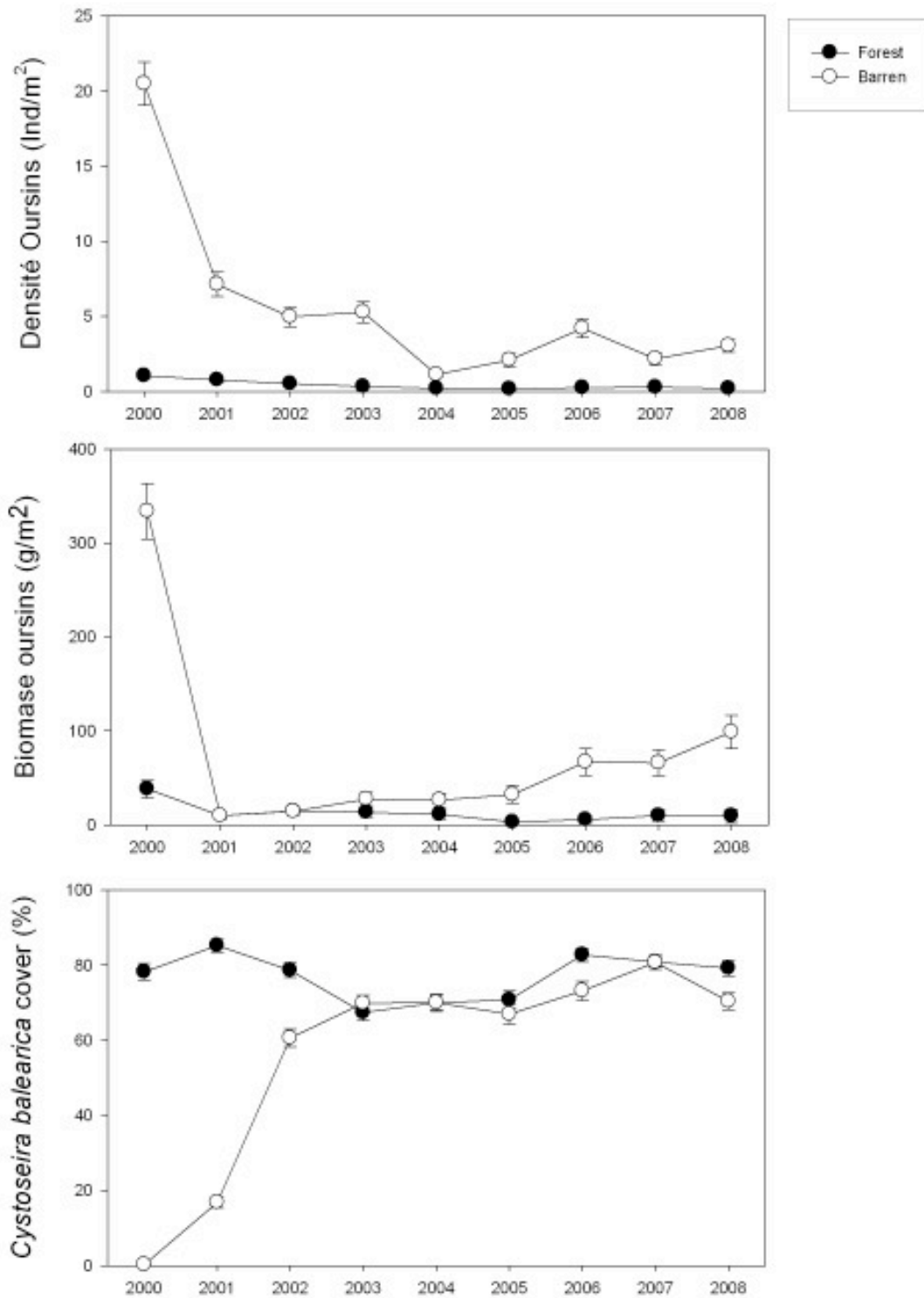


Figure 16.- Évolution de la densité et biomasse de l'oursin *Paracentrotus lividus* et la couverture de *Cystoseira balearica* dans les communautés éradiqués ponctuellement. Cercle vide : communauté de surpâturage, Cercle plein : communauté de forêt.