

Impact de différentes mesures de gestion de la pêche au homard (*Homarus americanus*) sur la production d'œufs par recrue

Louise Gendron et Pierre Gagnon

Direction régionale des sciences
Ministère des Pêches et des Océans
Institut Maurice-Lamontagne
C.P. 1000, 850, route de la Mer
Mont-Joli (Québec)
G5H 3Z4

2001

**Rapport technique canadien des sciences
halieutiques et aquatiques 2369**



Pêches
et Océans

Fisheries
and Oceans

Canada

Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques

Les rapports techniques contiennent des renseignements scientifiques et techniques qui constituent une contribution aux connaissances actuelles, mais qui ne sont pas normalement appropriés pour la publication dans un journal scientifique. Les rapports techniques sont destinés essentiellement à un public international et ils sont distribués à cet échelon. Il n'y a aucune restriction quant au sujet; de fait, la série reflète la vaste gamme des intérêts et des politiques du ministère des Pêches et des Océans, c'est-à-dire les sciences halieutiques et aquatiques.

Les rapports techniques peuvent être cités comme des publications intégrales. Le titre exact paraît au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports techniques sont indexés dans la base de données *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*.

Les numéros 1 à 456 de cette série ont été publiés à titre de rapports techniques de l'Office des recherches sur les pêcheries du Canada. Les numéros 457 à 714 sont parus à titre de rapports techniques de la Direction générale de la recherche et du développement, Service des pêches et de la mer, ministère de l'Environnement. Les numéros 715 à 924 ont été publiés à titre de rapports techniques du Service des pêches et de la mer, ministère des Pêches et de l'Environnement. Le nom actuel de la série a été établi lors de la parution du numéro 925.

Les rapports techniques sont produits à l'échelon régional, mais numérotés à l'échelon national. Les demandes de rapports seront satisfaites par l'établissement d'origine dont le nom figure sur la couverture et la page du titre. Les rapports épuisés seront fournis contre rétribution par des agents commerciaux.

Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences

Technical reports contain scientific and technical information that contribute to existing knowledge but that are not normally appropriate for primary literature. Technical reports are directed primarily toward a worldwide audience and have an international distribution. No restriction is placed on subject matter, and the series reflects the broad interests and policies of the Department of Fisheries and Oceans, namely, fisheries and aquatic sciences.

Technical reports may be cited as full publications. The correct citation appears above the abstract of each report. Each report is indexed in the data base *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts*.

Numbers 1-456 in this series were issued as Technical Reports of the Fisheries Research Board of Canada. Numbers 457-714 were issued as Department of the Environment, Fisheries and Marine Service, Research and Development Directorate Technical Reports. Numbers 715-924 were issued as Department of Fisheries and the Environment, Fisheries and Marine Service Technical Reports. The current series name was changed with report number 925.

Technical reports are produced regionally but are numbered nationally. Requests for individual reports will be filled by the issuing establishment listed on the front cover and title page. Out-of-stock reports will be supplied for a fee by commercial agents.

Rapport technique canadien
des sciences halieutiques et aquatiques 2369

2001

Impact de différentes mesures de gestion de la pêche au homard
(*Homarus americanus*) sur la production d'œufs par recrue

Louise Gendron et Pierre Gagnon¹

Direction régionale des Sciences
Ministère des Pêches et des Océans
Institut Maurice-Lamontagne
C.P. 1000, 850, route de la Mer
Mont-Joli (Québec) G5H 3Z4

¹Centre Saint-Laurent
105 McGill
Montréal QC
H2Y 2E7

© Ministre des Travaux publics et Services gouvernementaux Canada 2001
No de cat. Fs 97-14/2369 ISSN 0704-3708

On devra citer la publication comme suit :

Gendron, L. et P. Gagnon. 2001. Impact de différentes mesures de gestion de la pêche au homard (*Homarus americanus*) sur la production d'œufs par recrue. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2369: vi + 31 p.

This publication is also available in English

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	iv
LISTE DES FIGURES	v
RÉSUMÉ	vi
ABSTRACT	vi
1.0 INTRODUCTION	1
2.0 MATÉRIEL ET MÉTHODES	3
2.1 PRÉSENTATION DU MODÈLE	3
2.2 DONNÉES	7
2.2.1 Croissance	8
2.2.2 Maturité sexuelle	8
2.2.3 Mortalité par la pêche	9
2.2.4 Mortalité naturelle	10
2.2.5 Fécondité	10
2.2.6 Distribution des tailles recrutées	10
2.3 SIMULATIONS	10
3.0 RÉSULTATS	13
3.1 PRODUCTION D'ŒUFS PAR RECRUE	13
3.2 RISQUE DE GESTION	21
4.0 DISCUSSION	25
5.0 REMERCIEMENTS	28
6.0 RÉFÉRENCES	29

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Liste des fonctions pouvant être utilisées dans le modèle pour la description des différentes variables.....	5
Tableau 2. Liste des distributions de probabilités utilisées pour quantifier l'incertitude associée aux valeurs ou paramètres des fonctions décrivant les différentes variables biologiques.....	6
Tableau 3. Valeurs et équations décrivant la croissance, la maturité sexuelle et la fécondité ayant servi dans le calcul de la production d'œufs par recrue (POR).	7
Tableau 4. Liste des mesures de gestion pour lesquelles la production d'œufs par recrue (POR) a été calculée, pour les côtés sud et nord des Îles-de-la-Madeleine et pour la Gaspésie.....	11
Tableau 5. Production d'œufs par recrue (moyenne et écart-type) et facteur d'augmentation de la production par rapport à la situation observée en 1996 pour le secteur sud des Îles-de-la-Madeleine.	14
Tableau 6. Production d'œufs par recrue (moyenne et écart-type) et facteur d'augmentation de la production par rapport à la situation observée en 1996 pour le secteur nord des Îles-de-la-Madeleine.	15
Tableau 7. Production d'œufs par recrue (moyenne et écart-type) et facteur d'augmentation de la production par rapport à la situation observée en 1996 pour la Gaspésie.....	16

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Schéma du cycle de vie du homard femelle et liste des paramètres utilisés dans le modèle de calcul de la production d'œufs par recrue (POR)	4
Figure 2. Production d'œufs par recrue (moyenne et écart-type) et facteur d'augmentation de la production par rapport à 1996 pour le secteur sud des Îles-de-la-Madeleine	18
Figure 3. Production d'œufs par recrue (moyenne et écart-type) et facteur d'augmentation de la production par rapport à 1996 pour le secteur nord des Îles-de-la-Madeleine.....	19
Figure 4. Production d'œufs par recrue (moyenne et écart-type) et facteur d'augmentation de la production par rapport à 1996 pour la Gaspésie.....	20
Figure 5. Distribution cumulative des fréquences des 100 valeurs du facteur d'augmentation obtenues par le modèle, illustrant le risque de ne pas atteindre le doublement de la POR associé à différentes mesures de gestion appliquées dans le secteur sud des Îles-de-la-Madeleine	22
Figure 6. Distribution cumulative des fréquences des 100 valeurs du facteur d'augmentation obtenues par le modèle, illustrant le risque de ne pas atteindre le doublement de la POR associé à différentes mesures de gestion appliquées dans le secteur nord des Îles-de-la-Madeleine	23
Figure 7. Distribution cumulative des fréquences des 100 valeurs du facteur d'augmentation obtenues par le modèle, illustrant le risque de ne pas atteindre le doublement de la POR associé à différentes mesures de gestion appliquées en Gaspésie.....	24

RÉSUMÉ

Gendron, L. et P. Gagnon. 2001. Impact de différentes mesures de gestion de la pêche au homard (*Homarus americanus*) sur la production d'œufs par recrue. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2369: vi + 31 p.

Un modèle détaillé du cycle vital du homard pour les populations des Îles-de-la-Madeleine et de la Gaspésie, incorporant l'incertitude des paramètres mal estimés ou naturellement variables a été développé et utilisé pour évaluer l'impact de nouvelles mesures de gestion sur la production d'œufs par recrue (POR). Les mesures de gestion envisagées incluent des restrictions additionnelles sur les tailles de capture (minimale et maximale), la réduction du taux d'exploitation et la protection accrue des femelles par marquage (encoche en V). Les résultats de ces calculs ont servi à l'élaboration des plans de gestion de la pêche mis en place au Québec depuis 1997, dans le but de doubler la POR par rapport au niveau de 1996. Nous présentons également une analyse de risque concernant la gestion de la pêche au homard fondée sur la probabilité de ne pas atteindre un niveau donné de POR.

ABSTRACT

Gendron, L. et P. Gagnon. 2001. Impact de différentes mesures de gestion de la pêche au homard (*Homarus americanus*) sur la production d'œufs par recrue. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2369: vi + 31 p.

A detailed model of the life cycle of the lobster from the Magdalen Islands and Gaspé populations, taking into account uncertainty in the input parameters arising from the difficulty in assessing their value or from their natural variability, was developed and used to assess the impact of new fishery regulations on the egg production per recruit (EPR). The new regulations include additional limits on the legal sizes (minimum, maximum), reduction of the exploitation rate and increased protection of females by v-notching. Results of the calculations were used to develop the management plans put forward in the Québec region since 1997, to double the EPR compared to the 1996 level. We also present a risk analysis concerning lobster fishing management, based on the probability of not reaching a given level of EPR.

1.0 INTRODUCTION

La pêche au homard (*Homarus americanus*) qui est pratiquée dans l'est du Canada est caractérisée par des taux d'exploitation très élevés et la récolte d'animaux immatures, ce qui la rend susceptible à une surpêche du recrutement (Anon. 1977). Au milieu des années 1970, suite à vingt années de débarquements à la baisse, la crainte d'une surpêche du recrutement était manifeste tant aux États-Unis qu'au Canada. Toutefois, entre le milieu des années soixante-dix et le début des années quatre-vingt-dix, les débarquements n'ont cessé d'augmenter, vraisemblablement en raison de conditions environnementales et de facteurs écologiques favorables, quoiqu'une augmentation de l'effort et de l'efficacité de pêche aient pu aussi contribuer à cette hausse (Fogarty 1995). Depuis, les débarquements ont commencé à décliner dans de nombreuses aires de pêche du Canada. Au Québec, les débarquements se situaient à 3800 t en 1992 et ont diminué à moins de 3000 t en 1994. Cette baisse a ravivé le sentiment d'inquiétude face à un problème potentiel de surpêche. De ce fait, non seulement les scientifiques, mais l'ensemble de l'industrie de la pêche se sont sentis préoccupés par le problème. Ainsi, à la demande du ministre des Pêches et Océans, le CCRH (Conseil pour la Conservation des Ressources Halieutiques) a porté un regard attentif au problème du déclin des débarquements et a proposé en 1995 des principes et des outils visant à améliorer la conservation des stocks de homard (Anon. 1995).

Au Canada, la gestion de la pêche au homard est basée sur un contrôle de l'effort de pêche (limitation du nombre de permis, du nombre de casiers et de la durée de la saison de pêche). Cette pêche est également soumise à une réglementation concernant la taille minimale de capture et la remise à l'eau des femelles œuvées. Cet ensemble de mesures a pour but d'éviter une surpêche de la croissance et de permettre une production d'œufs suffisante, empêchant une surpêche du recrutement. Dans son rapport sur la conservation du homard, le CCRH a proposé une nouvelle approche pour la gestion du homard fondée sur des objectifs de conservation (Anon. 1995). L'un des objectifs est d'assurer, par une meilleure protection du potentiel reproducteur, que la production d'œufs soit suffisante pour maintenir la ressource dans toutes les conditions environnementales susceptibles d'être rencontrées.

La mise en place de mesures visant à protéger le potentiel reproducteur fait appel à des niveaux de référence biologique comme la taille à la maturité sexuelle, la biomasse reproductrice, et la ponte par recrue, exprimée bien souvent en nombre d'œufs. La ponte par recrue ou plus spécifiquement la production d'œufs par recrue (POR), qui est une mesure du potentiel reproducteur, se définit comme étant le nombre d'œufs qu'une femelle nouvellement recrutée produira, en moyenne, au cours de sa vie. La notion de POR est présentement utilisée aux États-Unis comme base pour la définition de la surexploitation. Lorsque l'on connaît la relation entre la taille du stock et le recrutement pour une population donnée, il est possible d'établir un seuil minimal de POR en deçà duquel son renouvellement pourrait être compromis. À partir d'observations effectuées sur une vingtaine d'espèces de poissons de fond, on a pu déterminer qu'un niveau de POR variant selon les espèces, entre 20 et 35% du niveau de production de la population inexploitée était nécessaire pour assurer le renouvellement d'un stock et éviter ainsi une surpêche du recrutement (Mace et Sissenwine 1993). La connaissance du niveau de POR

nécessaire au renouvellement d'un stock permet par la suite de définir un niveau d'exploitation acceptable pour que cette valeur-seuil de POR ne soit jamais franchie. Aux États-Unis, selon ce principe, un stock de homard est considéré comme étant surexploité si la POR est inférieure à 10 % de ce qu'elle serait si ce même stock n'était pas exploité. Très peu de travaux ont cependant été réalisés sur la relation stock-recrutement chez le homard, si bien que le seuil de 10 % a été établi de manière plutôt arbitraire. Les travaux de Fogarty et Idoine (1986) ainsi que ceux de Ennis et Fogarty (1997) indiquent toutefois que la partie ascendante de relation stock-recrutement, près de l'origine, serait caractérisée par une pente très forte, suggérant une résilience assez forte des populations de homard à des taux d'exploitation élevés.

Dans de nombreuses pêches au homard de l'Atlantique canadien, la POR se situerait autour de 1 ou 2 % de celle d'un stock non pêché (Pezzack et Maguire 1995, Anon. 1995). Dans bien des cas, la taille minimale de capture est inférieure à la taille à la maturité sexuelle et les taux d'exploitation sont très élevés, expliquant ainsi le faible niveau de POR. Dans son rapport, le CCRH a proposé d'instaurer de nouvelles mesures de conservation qui permettraient d'atteindre une POR égale à 5% de celle d'une population non exploitée. Toutefois, il subsiste beaucoup d'incertitudes quant aux caractéristiques d'un stock non pêché, principalement par rapport à la croissance, la fréquence des pontes et la mortalité naturelle des grosses femelles. C'est pourquoi la politique de gestion des stocks dans chaque zone de pêche a été définie en fonction du niveau actuel de POR, préconisant son doublement, plutôt qu'une augmentation calculée en fonction d'un stock non pêché (MPO 1998).

Au cours des années, plusieurs modèles de calcul de la POR et du rendement en poids par recrue ont été développés puis appliqués à différents stocks de homard canadiens (Attard 1985, Caddy 1977, 1979, Campbell 1985, Campbell et Robinson 1983, Ennis 1985, 1991, Ennis et Collins 1983). Les modèles de calcul intègrent chaque composante du cycle annuel des homards recrutés. Certains modèles tiennent compte de particularités du cycle reproducteur des femelles, comme par exemple, la possibilité de pondre et de muer la même année ou la possibilité de pondre plus d'une fois durant la période d'intermue. Fogarty et Idoine (1988) ont développé un modèle de POR pour les pêches américaines. Ce modèle a été utilisé par Pezzack et Maguire (1995) pour les stocks canadiens afin de fournir au CCRH une indication du niveau actuel de production d'œufs. Dans le présent document, nous présentons un nouveau modèle de calcul de la POR. Ce modèle est dérivé de celui de Fogarty et Idoine (1988), et a été développé afin de mieux refléter les principales caractéristiques biologiques du homard du Canada atlantique et les particularités de la pêche dans cette région. De plus, il offre la flexibilité nécessaire pour rendre compte de l'incertitude causée par la variabilité naturelle des processus de production chez le homard (croissance, mortalité naturelle et recrutement) ou par la difficulté d'évaluer la valeur exacte des paramètres biologiques. La méthode, dite de Monte Carlo, nous a mis de générer un ensemble de valeurs de POR dont la distribution est la conséquence de l'incertitude des paramètres du modèle. Par conséquent, il nous est possible de formuler des énoncés probabilistes permettant une évaluation du risque. Le risque peut se définir comme étant la probabilité qu'une chose négative survienne, où la probabilité est l'expression de l'incertitude. Par exemple, on

peut vouloir évaluer le risque de ne pas atteindre un objectif de gestion donné, ou le risque de franchir un niveau de référence biologique donné ou un seuil d'alerte au-delà duquel la probabilité d'effondrement d'un stock donné est grande. Dans le premier cas, on pourrait parler de risque de gestion, et dans le deuxième, de risque biologique.

Dans ce document, nous présentons une description du modèle ainsi que les résultats des calculs de POR réalisés selon différents scénarios de gestion appliqués aux pêches des Îles-de-la-Madeleine et de la Gaspésie. Les résultats de ces calculs ont servi de base à l'élaboration des plans de gestion et de conservation qui ont été mis en place dans les pêches au homard du Québec depuis 1997, dans le but de doubler la POR par rapport au niveau de 1996. Nous présentons une évaluation du risque de gestion, c'est-à-dire la probabilité de ne pas atteindre l'objectif de doubler la POR, en tenant compte de la mise en œuvre de différentes mesures de gestion. C'est la première fois qu'une analyse de risque est appliquée à la pêche au homard.

2.0 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 PRÉSENTATION DU MODÈLE

Le modèle élaboré ici est une extension du modèle biologique développé par Fogarty et Idoine (1988). Le modèle reproduit le cycle de vie du homard, en intégrant les différents paramètres biologiques tels que la mortalité naturelle, la croissance, la maturité sexuelle, la fécondité, sans perdre de vue le contexte de pêche auquel la population est soumise. Le modèle simule l'évolution d'un groupe de homards, mâles ou femelles, d'une distribution de taille initiale donnée jusqu'à ce que leur population soit réduite à presque zéro. Dans le présent rapport, nous ne nous sommes intéressés qu'aux femelles. Chaque année, la séquence d'événements décrite ci-après et présentée à la Figure 1 est répétée. Dans le cas des femelles, l'année débute avec la saison de pêche. La mortalité par la pêche ne s'applique qu'aux femelles non œuvées. Après la saison de pêche, les survivantes se divisent entre celles qui vont pondre et celles qui ne pondront pas. Les premières peuvent muer une fois avant de pondre, alors que les deuxièmes peuvent muer une ou deux fois en restant dans la population non œuvée. Entre-temps, les femelles œuvées qui sont capturées sont remises à l'eau et peuvent possiblement être marquées (encoche en V sur le telson, « V-notch »). Les femelles incubent leurs œufs pendant près d'un an. Après l'éclosion des œufs, ces femelles muent, reviennent dans la population de femelles non œuvées et deviennent alors vulnérables à la pêche l'année suivante. Les femelles qui ont été marquées (encoche en V) vont cependant bénéficier d'une protection additionnelle et ne subiront pas de mortalité par la pêche, même si elles ne sont pas œuvées. Cette protection n'est cependant pas maintenue au-delà de deux mues. Le calcul de la production d'œufs se fait au moment de l'éclosion.

La mortalité naturelle comporte deux composantes. Il y a la mortalité des homards à carapace dure qui se produit toute l'année. Il y a aussi la mortalité des homards à carapace molle, qui se produit durant la courte période de vulnérabilité accrue qui suit la

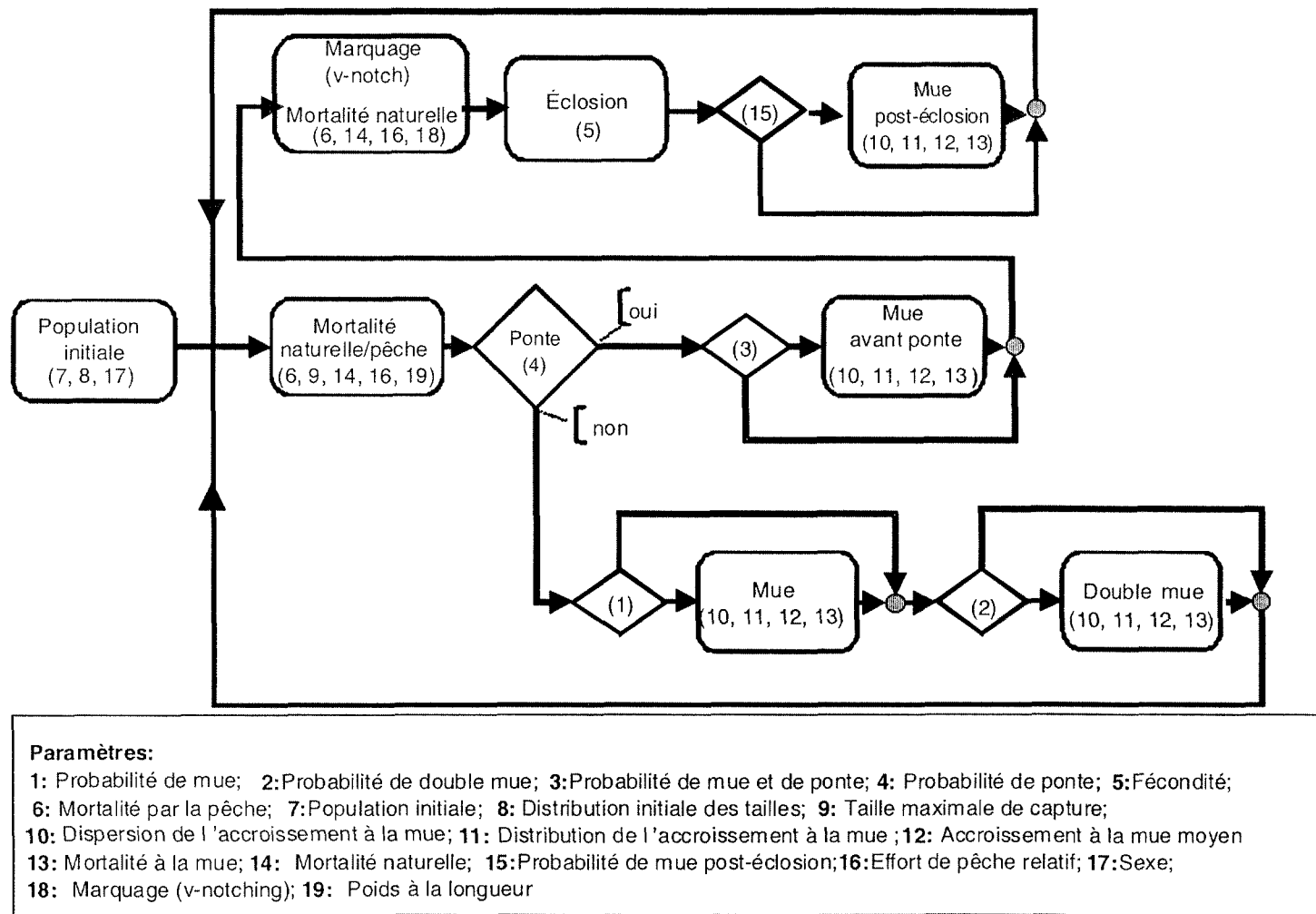


Figure 1. Schéma du cycle de vie du homard femelle et liste des paramètres utilisés dans le modèle de calcul de la production d'œufs par recrue (POR).

Tableau 1. Liste des fonctions pouvant être utilisées dans le modèle pour la description des différentes variables.

Fonction	Valeur pour une taille = x (longueur de la carapace)
Constante (C)	C
Pas (S, L, R)	$\begin{cases} L & \text{si } x < S \\ R & \text{autrement} \end{cases}$
Deux pas (S_1, S_2, L, M, R)	$\begin{cases} L & \text{si } x < S_1 \\ M & \text{si } S_1 \leq x < S_2 \\ R & \text{autrement} \end{cases}$
Linéaire (A, B)	$A + Bx$
Quadratique (A, B, C)	$A + Bx + Cx^2$
Cubique (S_1, S_2, L, R)	$\begin{cases} L & \text{si } x \leq S_1 \\ L + (R - L) \left(2Y^3 - 3Y^2 + 1 \right) & \text{si } S_1 < x \leq S_2 \\ Y = \frac{x - S_2}{S_1 - S_2} & \\ R & \text{autrement} \end{cases}$
Logistique (M, Q, L, R)*	$L + \frac{(R - L)}{1 + e^{(-2 \ln(3)(x - M))/Q}}$
Étendue (S_1, S_2)	$\begin{cases} \frac{1}{S_2 - S_1} & \text{si } S_1 \leq x \leq S_2 \\ 0 & \text{autrement} \end{cases}$
Normale (M, D)	$\frac{e^{-\frac{(x - M)^2}{2D^2}}}{D\sqrt{2\pi}}$
Exponentielle (M)	$\frac{e^{-x/M}}{M}$
Puissance (A, B)	Ax^B

* La fonction logistique $Y = 1/(1 + e^{-(a+bx)})$ est exprimée ici de façon à pouvoir attribuer une distribution d'incertitude au point d'inflexion (M) ainsi qu'à l'intervalle de tailles (Q) à l'intérieur duquel la fonction passe de 0,25 à 0,75 de sa valeur maximale, ou inversement dans le cas d'une logistique négative. $M = -a/b$ et $Q = 2 \ln(3)/b$.

mue. La probabilité de ponte pour une année donnée et le nombre d'œufs produits par une femelle dépendent de sa taille. La mortalité par pêche est également fonction de la taille du homard, et est dépendante de la taille minimale de capture. Elle est cependant indépendante de l'abondance de la population et ne varie pas d'une année à l'autre. Elle peut être réduite au moyen de certaines mesures de contrôle (réduction globale de l'effort de pêche, protection des femelles œuvées, protection des gros individus, marquage par une encoche en V impliquant une protection ultérieure pour une période de deux mues). Le modèle nécessite la définition de 19 variables (Figure 1) qui peuvent être décrites par des constantes ou différentes fonctions mathématiques (Tableau 1).

Le programme permet d'explorer différentes mesures de gestion en tenant compte de l'incertitude dans l'information dont nous disposons. Chaque valeur ou chaque paramètre d'une fonction peut être décrit par une distribution de probabilité plutôt qu'une valeur fixe (Tableau 2). La propagation de l'incertitude sur l'estimation finale du nombre d'œufs par recrue est effectuée à l'aide d'une simulation de Monte Carlo, qui attribue de façon itérative différentes valeurs aux paramètres, choisies de façon aléatoire à l'intérieur de la distribution de probabilité définie pour le paramètre en question. Le programme permet de réaliser jusqu'à 1000 itérations.

Le programme est un exécutable DOS écrit en langage Fortran. Le système lit des données dans des fichiers qui contiennent les informations sur les paramètres biologiques. Une application écrite en langage Visual Basic 6.0 permet de faire fonctionner le modèle sous Windows 95.

Tableau 2. Liste des distributions de probabilités utilisées pour quantifier l'incertitude associée aux valeurs ou paramètres des fonctions décrivant les différentes variables biologiques.

Distribution de probabilité	Paramètres de la distribution à définir
Uniforme	minimum; maximum
Normale	moyenne; écart-type
LogNormale	moyenne normale; écart-type normal
Binomiale	probabilité de la valeur 1; valeur 1; valeur 2
Epanechnikov	minimum; maximum

2.2 DONNÉES

Le modèle a été utilisé pour simuler différents scénarios de gestion appliqués aux populations de homard du sud et du nord des Îles-de-la-Madeleine et de la Gaspésie. Dans plusieurs cas, les données biologiques caractérisant ces différentes populations ont été tirées de la littérature (Tableau 3).

Tableau 3. Valeurs et équations décrivant la croissance, la maturité sexuelle et la fécondité ayant servi dans le calcul de la production d'œufs par recrue (POR).

	Îles-de-la-Madeleine Sud	Îles-de-la-Madeleine Nord	Gaspésie
Accroissement à la mue	<i>Constante, distribution uniforme entre 8 et 12 mm</i>		
Probabilité de mue <i>Proportion de femelles muant une année donnée (Y) en fonction de la taille (LC)</i>	$Y = 1 / 1 + e^{0,088LC - 7,91}$ $M^* = 90 \text{ mm}$ $Q^{**} = 25 \text{ mm}$ <p>(L. Gendron, données non publiées)</p>		
Maturité sexuelle <i>Proportion de femelles matures (Y) en fonction de la taille (LC)</i>	$Y = 1 / 1 + e^{-0,314LC + 24,8}$ $M = 79 \text{ mm}$ $Q = 7 \text{ mm}$ $N = 380$ Dubé et Grondin (1985)	$Y = 1 / 1 + e^{-0,314LC + 26,37}$ $M = 84 \text{ mm}$ $Q = 7 \text{ mm}$ $N = 361$ Dubé et Grondin (1985)	$Y = 1 / 1 + e^{-0,169LC + 14,15}$ $M = 84 \text{ mm}$ $Q = 13 \text{ mm}$ $N = 47$ (L. Gendron, données non publiées)
Fécondité <i>Nombre d'œufs (Y) en fonction de la taille (LC)</i>	$Y = 0,00256 \times LC^{3,409}$ $N = 166$ Campbell et Robinson (1983)		

*M = point d'inflexion

**Q = intervalle de taille à l'intérieur duquel la fonction passe de 0,25 à 0,75 de sa valeur maximale

2.2.1 Croissance

Les données d'accroissement de la taille à la mue utilisées dans le modèle sont basées sur les résultats de campagnes de marquage-recapture réalisées aux Îles-de-la-Madeleine par Dubé (1985). De façon générale, l'accroissement de la taille à la mue est une fonction linéaire positive de la taille. Toutefois, dans le cas des femelles, Dubé (1985) a observé que la pente de la droite de régression entre la taille post-exuviale et la taille pré-exuviale n'était pas significativement différente de 1, montrant que pour les tailles considérées, l'accroissement à la mue était constant. Une valeur moyenne de 10 mm a été utilisée dans le modèle, tant pour les Îles-de-la-Madeleine que pour la Gaspésie. Afin de tenir compte de l'incertitude et de la variabilité, l'accroissement de la taille à la mue a été exprimé par une valeur distribuée uniformément entre 8 et 12 mm, constante pour toutes les tailles.

La probabilité de mue est définie comme étant la proportion d'individus muant une année donnée. Elle a été déterminée à partir d'observations sur la proportion de homards en postmue récoltés à l'aide d'un chalut au large des Îles-de-la-Madeleine en septembre 1995, après la période de mue. Tout d'abord, la taille pré-exuviale des homards en postmue a été déterminée à partir des données d'accroissement de la taille à la mue de Dubé (1985). Par la suite, le pourcentage de homards ayant mué a été calculé pour chaque classe de taille de 1 mm. La probabilité de mue en fonction de la taille a été représentée à l'aide d'une équation logistique dont on a fixé le minimum à 0,05 plutôt qu'à zéro, ce qui correspond à une mue à tous les 20 ans pour les animaux de très grande taille. Nous avons établi que la taille au point d'inflexion M était de 90 mm et que l'intervalle Q de tailles à l'intérieur duquel la fonction passe de 0,25-0,75 de sa valeur maximale était de 25 mm. L'incertitude dans la valeur M a été représentée par une distribution normale d'écart-type de 4 mm, alors que celle de Q pouvait varier uniformément entre 20 et 30 mm.

Bien que le modèle puisse accommoder les cas de double mue, soit deux mues au cours d'une même année, nous avons considéré que la proportion des homards femelles de la Gaspésie et des Îles-de-la-Madeleine effectuant une double mue était négligeable. Signalons toutefois que des cas de double mue ont été rapportés pour les Îles-de-la-Madeleine dans la lagune de Grande-Entrée où la température de l'eau est plus élevée, et principalement pour des homards de taille inférieure à 75 mm (Munro et Therriault 1983).

2.2.2 Maturité sexuelle

Les observations sur la maturité sexuelle ont été utilisées pour déterminer la probabilité de ponte d'une femelle non oeuvée une année donnée. La maturité sexuelle du homard aux Îles-de-la-Madeleine a été déterminée à partir d'observations faites sur la couleur, le poids et le diamètre ovocytaire des ovaires (Dubé et Grondin 1985). Les femelles ayant des ovaires en développement (stades 4 et 5) ou matures (stade 6), selon la classification de Aiken et Waddy (1982), pendant la saison de pêche ont été considérées comme étant en mesure de pondre au cours de l'année. La maturité sexuelle du homard en Gaspésie a par contre été basée sur le développement des glandes à ciment, selon les

critères définis par Aiken et Waddy (1982). Les femelles ayant des glandes à ciment au stade de développement 3 ou 4 ont été considérées comme matures et aptes à pondre durant l'année en cours. Les stades de développement 3 et 4 des glandes à ciment sont généralement corrélés avec des ovaires aux stades de développement 4, 5 et 6 (Aiken et Waddy 1982). Le pourcentage de femelles matures en fonction de la taille a été établi et une courbe logistique a été ajustée à cette relation. La taille à laquelle 50 % des femelles sont matures est de 79 mm du côté sud et 84 mm du côté nord des Îles-de-la-Madeleine (Dubé et Grondin 1985) et de 84 mm en Gaspésie (L. Gendron, données non publiées) (Tableau 3). Des écarts-types de 3 mm ont été associés à toutes ces moyennes alors que les intervalles 0,25-0,75 de la courbe logistique ont été distribués uniformément entre 6 et 8 mm.

Bien que le modèle puisse accommoder les écarts parfois observés au patron habituel du cycle reproducteur des femelles qui consiste en l'alternance entre la mue une année et la ponte l'année suivante (Aiken et Waddy 1986), nous avons considéré que la proportion de femelles muant et pondant la même année, ainsi que la proportion de femelles pondant tout de suite après l'éclosion des œufs sans effectuer de nouvelle mue étaient négligeables.

2.2.3 Mortalité par la pêche

À chaque année, un indice du taux d'exploitation est calculé pour les populations de homard des parties nord et sud des Îles-de-la-Madeleine et de la Gaspésie, à partir des distributions des fréquences de taille pondérées des homards mâles. La méthode de calcul est tirée de Miller *et al.* (1987) et est basée sur l'abondance des deux premières classes de mue recrutées à la pêche. Le taux instantané de mortalité de la première classe de mue recrutée à la pêche est estimé à partir de l'équation suivante:

$$Z = -\log_e (M_2 / M_1)$$

où $M_1 = M_1' / t_{M1}$, et $M_2 = M_2' / t_{M2}$. M_1' est le nombre de homards dans la première classe de mue et M_2' est le nombre de homards dans la seconde classe de mue. t_{M1} et t_{M2} représentent la période de temps passée, en années, dans les classes de mue. Les classes de mue ont été estimées à partir des données sur la croissance des homards mâles aux Îles-de-la-Madeleine (Dubé 1985). Ainsi, la première classe de mue comprend les individus dont la taille se situe entre 76 mm et 86 mm, et la seconde comprend les individus dont la taille se situe entre 87 et 99 mm. Le temps d'intermue a été estimé à partir des données sur les probabilités de mue calculées pour les mâles par Dubé (1985). Ainsi, t_{M1} et t_{M2} ont été fixés à 1,13 et 1,52 ans respectivement. Afin d'éviter les biais qui seraient dus à des changements dans le recrutement, M_1 d'une année donnée est comparé avec M_2 de l'année suivante, de façon à suivre la même cohorte dans le temps. On postule que la capturabilité des homards de taille variant entre 76 et 99 mm est comparable, ce qui est vraisemblable selon les observations de Tremblay *et al.* (1998). La mortalité par la pêche (F) est obtenue en soustrayant la mortalité naturelle ($M=0,15$, voir plus bas) de la mortalité totale (Z). Sur la base de ces calculs, on a postulé que la valeur de F se situait dans un intervalle défini par

une distribution normale (moyenne = 0,9; 1,12 et 1,43 et écart-type =0,09; 0,11 et 0,11 pour les Îles-nord, les Îles-sud et la Gaspésie respectivement).

2.2.4 Mortalité naturelle

Nous n'avons pas de données précises sur la mortalité naturelle (M) mais par convention on a souvent utilisé une valeur de 0,1. Plus récemment, en se basant sur de nouvelles observations (Michel Comeau et Manon Mallet, MPO, Centre des pêches du Golfe, Moncton, communication personnelle), on a opté pour une valeur plus élevée ($M=0,15$). Une partie de la mortalité naturelle ($M=0,1$) se produit à la mue, alors que l'autre partie ($M=0,05$) s'applique à tous les homards, à chaque année. Pour tenir compte des incertitudes et de la variabilité, on a postulé que la portion de M liée à la mue pouvait varier uniformément entre 0,08 et 0,12 et que la valeur de M non liée à la mue pouvait varier uniformément entre 0,04 et 0,06.

2.2.5 Fécondité

L'équation de Campbell et Robinson (1983) basée sur une grande étendue de tailles a été utilisée pour quantifier la fécondité des femelles (Tableau 3). Les équations dérivées d'observations faites aux Îles-de-la-Madeleine (Attard 1985) ou en Gaspésie couvraient une étendue de tailles plus restreinte.

2.2.6 Distribution des tailles recrutées

La taille de recrutement a été fixée à 76 mm. Les calculs ont porté sur une cohorte dont la taille initiale variait uniformément entre 65 et 76 mm.

2.3 SIMULATIONS

Le modèle a été utilisé pour examiner les effets des différentes mesures de gestion sur les valeurs de POR dans les pêches des Îles-de-la-Madeleine et de la Gaspésie. En raison de valeurs différentes dans la taille à la maturité sexuelle et de mortalité par la pêche, les secteurs sud (de Pointe-de-l'est à Havre-Aubert) et nord (de Millerand à Grosse-Île) des Îles-de-la-Madeleine ont été séparés. Les impacts de l'augmentation de la taille minimale de capture, de la réduction de la mortalité par la pêche, de l'instauration d'une taille maximale de capture, et de combinaisons de ces différentes mesures, incluant le marquage (encoche en V) des femelles œuvées, ont été examinés. Bien qu'elle n'ait pas été utilisée ici, une fonction d'incertitude peut être attribuée au pourcentage de femelles œuvées marquées (encoche en V) afin de tenir compte de la variabilité à l'adhésion par les pêcheurs à cette pratique volontaire. La liste des scénarios de gestion qui ont été simulés est présentée au Tableau 4. Le choix des scénarios étudiés pour chaque région reflète des demandes spécifiques qui nous ont été adressées.

Tableau 4. Liste des mesures de gestion pour lesquelles la production d'œufs par recrue (POR) a été calculée, pour les côtés sud et nord des Îles-de-la-Madeleine et pour la Gaspésie.

	Iles-de-la-Madeleine sud	Îles-de-la-Madeleine nord	Gaspésie
Scénario de base			
76 mm	X	X	X
Taille minimale			
78 mm	X	X	X
79 mm	X	X	
80 mm*	X	X	X
81 mm**	X	X	X
82 mm	X	X	X
83 mm	X	X	X
84 mm	X	X	X
Taille minimale et changements de la mortalité par la pêche			
78 mm et réduction de 10 %	X	X	X
78 mm et réduction de 20 %	X	X	
80 mm et réduction de 10 %	X	X	X
80 mm et réduction de 20 %	X	X	
82 mm et réduction de 10 %	X	X	X
82 mm et réduction de 20 %	X	X	X
84 mm et réduction de 10 %			X
84 mm et réduction de 20 %			X
80 mm et augmentation de 10 %	X		X
Taille minimale et taille maximale			
78 mm et 121 mm	X	X	X
80 mm et 127 mm	X	X	X
82 mm et 127 mm	X	X	X
84 mm et 127 mm	X	X	X
Combinaisons de mesures : Taille minimale, réduction de la mortalité par la pêche, taille maximale et marquage de femelles œuvrées (V)			
78 mm, réduction de 10 % et 127 mm	X	X	X
78 mm, réduction de 10 %, 127 mm et 10 % marquage (V)	X	X	X
80 mm, réduction de 10 % et 127 mm	X	X	
80 mm, réduction de 10 %, 127 mm et 10 % marquage (V)	X	X	

* taille minimale en vigueur en 2001 dans la majorité des zones de la Gaspésie et de la Côte-Nord

** taille minimale en vigueur en 2001 aux Îles-de-la-Madeleine

Pour chaque scénario de gestion, 100 itérations Monte Carlo ont été calculées. Les valeurs de POR ont été exprimées en nombre absolu ainsi que relativement aux valeurs de POR calculées avant la mise en œuvre des nouvelles mesures de gestion (le scénario de base). Le rapport entre les deux valeurs a été appelé facteur d'augmentation et permet de déterminer les scénarios de gestion qui, du moins théoriquement, peuvent permettre d'atteindre le doublement de la POR, soit un facteur d'augmentation de deux.

Afin d'améliorer la précision de nos estimations des facteurs d'augmentation, nous avons comparé chaque scénario alternatif à un scénario de base utilisant le même choix aléatoire des valeurs pour les différents paramètres. La distribution cumulative des fréquences des 100 valeurs de facteur d'augmentation ainsi calculées, qui reflète les incertitudes de notre modèle biologique, a été utilisée comme base pour l'évaluation du risque de gestion, c'est-à-dire, la probabilité de ne pas atteindre l'objectif de gestion établi.

Le scénario de base correspond au régime de gestion qui était en vigueur en 1996, avant l'implantation du nouveau plan de conservation. Ce régime incluait une taille minimale de capture de 76 mm et la remise à l'eau des femelles œuvées. Il n'y avait pas de taille maximale de capture et la pratique du marquage des femelles œuvées (encoche en V) a été considérée négligeable, bien que pratiquée marginalement depuis 1993 dans quelques secteurs de la Gaspésie.

3.0 RÉSULTATS

3.1 PRODUCTION D'ŒUFS PAR RECRUE

Les résultats des calculs de la POR, en nombre absolu et en nombre relatif (facteur d'augmentation) par rapport au niveau de production observé sous le régime de gestion de 1996 apparaissent aux Tableaux 5, 6 et 7 pour les Îles-de-la-Madeleine sud, les Îles-de-la-Madeleine nord et la Gaspésie respectivement. Les moyennes et les écarts-types des 100 valeurs absolues et facteurs d'augmentation calculés pour chaque scénario apparaissent aussi aux Figures 2, 3 et 4 pour les Îles-de-la-Madeleine sud, les Îles-de-la-Madeleine nord et la Gaspésie respectivement.

En 1996, aux Îles-de-la-Madeleine, selon le plan de gestion qui était en vigueur, la POR se situait en moyenne à $3\,636 \pm 1\,199$ œufs du côté sud et à $3\,418 \pm 1\,097$ œufs du côté nord (Tableaux 5 et 6). Il n'y a donc pas de différence significative dans le niveau de production d'œufs initial entre les deux versants des Îles. Bien que la taille à la maturité sexuelle soit plus élevée du côté nord (84 mm) que du côté sud (79 mm), le fait que la mortalité par la pêche soit plus faible du côté nord permet d'avoir un niveau de production d'œufs équivalent à celui du côté sud. Par contre, en Gaspésie, en raison d'un taux d'exploitation élevé et d'une taille à la maturité sexuelle élevée, la production d'œufs calculée est beaucoup plus faible que celle calculée pour les Îles-de-la-Madeleine. La POR estimée pour 1996 était en moyenne de $1\,433 \pm 647$ œufs (Tableau 7), ce qui est presque trois fois moins élevé qu'aux Îles-de-la-Madeleine.

Pour l'instant, les mesures retenues par les pêcheurs pour atteindre l'objectif de conservation énoncé plus haut, que ce soit aux Îles-de-la-Madeleine ou en Gaspésie, se limitent essentiellement à augmenter la taille minimale de capture. Aux Îles-de-la-Madeleine, le doublement de la POR pourra être atteint par une augmentation de la taille à 83 mm au sud et 84 mm au nord (Tableaux 5 et 6 et Figures 2 et 3). En Gaspésie, en raison d'un niveau initial d'œufs par recrue relativement plus faible, le doublement pourra être atteint par une augmentation de la taille minimale de capture à 82 mm (Tableau 7 et Figure 4). En 2001, la taille minimale de capture a été fixée à 81 mm aux Îles-de-la-Madeleine, ce qui aurait permis, selon le modèle de calcul, d'augmenter la POR par un facteur de 1,60 au sud et de 1,53 au nord (Tableaux 5 et 6). Cette évaluation repose sur l'hypothèse que tous les autres paramètres sont demeurés constants. Il n'est pas exclu qu'il y ait eu au cours des 5 dernières années une augmentation de la mortalité par la pêche, auquel cas, l'augmentation de la POR consécutive à une augmentation de la taille minimale de capture serait moins élevée que prévue. À titre d'exemple, avec une augmentation de la taille minimale de capture à 80 mm, on aurait réussi à augmenter la POR par un facteur de 1,41 du côté sud des Îles-de-la-Madeleine. Si parallèlement à cette mesure, la mortalité par la pêche s'était accrue de 10 %, la POR n'aurait alors augmenté que par un facteur de 1,26 (Tableau 5).

Tableau 5. Production d'œufs par recrue (moyenne et écart-type) et facteur d'augmentation de la production par rapport à la situation observée en 1996 pour le secteur sud des Îles-de-la-Madeleine.

	Production d'œufs par recrue		Facteur d'augmentation	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Scénario de gestion de base 76 mm	3636	1199		
Taille minimale				
78mm	4147	1286	1,15	0,05
79mm	4555	1361	1,27	0,07
80mm	5059	1446	1,41	0,10
81mm	5734	1481	1,60	0,14
82mm	6320	1616	1,78	0,18
83mm	7167	1639	2,02	0,24
84mm	7850	1753	2,24	0,30
Taille minimale; changements de la mortalité par la pêche F				
78mm; -10%F	4938	1274	1,34	0,06
78mm; -20%F	5869	1416	1,60	0,10
80mm; -10%F	5907	1414	1,61	0,11
80mm; -20%F	6896	1542	1,89	0,15
82mm; -10%F	7225	1570	1,99	0,19
82mm; -20%F	8277	1684	2,29	0,23
80mm; +10%F	4582	1325	1,26	0,09
Taille minimale; taille maximale				
78mm; 121mm	6326	2851	1,68	0,41
80mm; 127mm	6490	2338	1,74	0,23
82mm; 127mm	8179	2685	2,22	0,30
84mm; 127mm	13436	4474	3,68	0,74
Combinaisons (taille minimale; réduction de la mortalité par la pêche F; taille maximale et pourcentage de marquage en V)				
78mm; -10%F; 127mm	7035	3336	1,90	0,43
78mm; -10%F; 127mm; 10%V	9085	4566	2,45	0,67
80mm; -10%F; 127mm	8647	3264	2,33	0,49
80mm; -10%F; 127mm; 10%V	11108	4490	3,00	0,76

Tableau 6. Production d'œufs par recrue (moyenne et écart-type) et facteur d'augmentation de la production par rapport à la situation observée en 1996 pour le secteur nord des Îles-de-la-Madeleine.

	Production d'œufs par recrue		Facteur d'augmentation	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Scénario de gestion de base 76 mm	3418	1097		
Taille minimale				
78mm	3867	1178	1,14	0,04
79mm	4216	1250	1,25	0,07
80mm	4647	1338	1,38	0,09
81mm	5074	1418	1,53	0,12
82mm	5753	1547	1,72	0,16
83mm	6316	1629	1,92	0,20
84mm	7152	1768	2,16	0,27
Taille minimale; réduction de la mortalité par la pêche F				
78mm; -10%F	4669	1377	1,38	0,07
78mm; -20%F	5756	1579	1,72	0,12
80mm; -10%F	5504	1531	1,64	0,12
80mm; -20%F	6671	1727	2,00	0,18
82mm; -10%F	6666	1718	2,00	0,20
82mm; -20%F	7925	1904	2,39	0,27
Taille minimale; taille maximale				
78mm; 121mm	8364	5156	2,56	0,90
80mm; 127mm	7565	4146	2,33	0,62
82mm; 127mm	9469	4915	2,95	0,76
84mm; 127mm	11926	5831	3,77	0,96
Combinaisons (taille minimale; réduction de la mortalité par la pêche F; taille maximale et pourcentage de marquage en V)				
78mm; -10%F; 127mm	8368	3949	2,41	0,65
78mm; -10%F; 127mm ;10%V	10586	5109	3,05	0,88
80mm; -10%F; 127mm	9976	4087	2,92	0,78
80mm; -10%F; 127mm ;10%V	12205	5115	3,57	1,00

Tableau 7. Production d'œufs par recrue (moyenne et écart-type) et facteur d'augmentation de la production par rapport à la situation observée en 1996 pour la Gaspésie.

	Production d'œufs par recrue		Facteur d'augmentation	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Scénario de gestion de base 76 mm	1433	647		
Taille minimale				
78mm	1699	739	1,20	0,07
80mm	2223	917	1,59	0,15
81mm	2562	907	1,90	0,20
82mm	2953	1017	2,24	0,25
83mm	3538	1162	2,66	0,37
84mm	4059	1273	3,12	0,46
Taille minimale; changements de la mortalité par la pêche				
78mm; -10%F	2056	834	1,47	0,10
80mm; -10%F	2628	1009	1,90	0,19
82mm; -10%F	3407	1084	2,61	0,31
82mm; -20%F	4017	1169	3,11	0,42
84mm; -10%F	4571	1329	3,54	0,54
84mm; -20%F	5253	1400	4,11	0,68
80mm; +10%F	1891	739	1,38	0,14
Taille minimale; taille maximale				
78mm;121mm	2089	1081	1,57	0,34
80mm;127mm	2343	966	1,80	0,16
82mm;127mm	3267	1236	2,54	0,29
84mm;127mm	4555	1559	3,60	0,53
Combinaisons (taille minimale; réduction de la mortalité par la pêche F; taille maximale et pourcentage de marquage en V)				
78mm; -10%F; 127mm	2305	925	1,72	0,22
78mm; -10%F; 127mm; 10%V	3238	1453	2,41	0,53

En Gaspésie, en 2001, la taille minimale de capture était de 80 mm dans la plupart des régions, à l'exception des secteurs de Gaspé-Nord, de la baie de Gaspé et de la Malbaie où elle était de 81 mm. L'augmentation de la taille minimale de capture à 80 mm aurait permis, selon le modèle de calcul, d'augmenter la POR par un facteur de 1,59. Avec une taille de 81 mm, ce facteur aurait atteint 1,90. Tout comme pour les Îles-de-la-Madeleine, il est important de signaler qu'une augmentation de la mortalité par la pêche aurait des effets négatifs sur les bénéfices attendus de l'augmentation de la taille minimale de capture. Ainsi, à une taille de 80 mm, une augmentation de la mortalité par la pêche de 10 %, porterait le facteur d'augmentation de la POR à 1,38 au lieu de 1,59 (Tableau 7).

D'un autre côté, pour doubler la POR, il ne serait pas nécessaire d'augmenter autant la taille minimale de capture si cette mesure était combinée à une diminution de la mortalité par la pêche. Ainsi, du côté sud des Îles-de-la-Madeleine, on obtient le même facteur d'augmentation de la POR (1,60) avec une taille de 81 mm ou avec une taille de 80 mm et une réduction de la mortalité par la pêche de 10 % ou encore avec une taille de 78 mm et une réduction de la mortalité par la pêche de 20 % (Tableau 5). Du côté nord des Îles la diminution de la mortalité par la pêche, qui est déjà moins élevée, produit des effets légèrement plus marqués. Ainsi, une réduction de la mortalité par la pêche de 20 % combinée à une taille minimale de 78 mm est équivalente à l'instauration d'une taille minimale de 82 mm, soit un facteur d'augmentation de la POR de 1,72 (Tableau 6). En Gaspésie, une réduction de la mortalité par la pêche de 10 % combinée à une taille minimale de 80 mm produit un facteur d'augmentation de 1,9, ce qui est équivalent à une taille minimale de 81 mm (Tableau 7).

Il semble aussi y avoir un certain intérêt à protéger les plus grosses femelles. La combinaison de l'augmentation de la taille minimale de capture avec l'instauration d'une taille maximale de capture de 127 mm (5 pouces) ou 121 mm (4 ³/₄ pouces) montre des bénéfices. Par contre, ceux-ci sont davantage marqués du côté nord des Îles-de-la-Madeleine, puisque le taux d'exploitation y est moins élevé, ce qui permet à plus de femelles d'atteindre de grandes tailles et ainsi de bénéficier d'une telle mesure de protection. Autrement, dans les secteurs où le taux d'exploitation est très élevé, comme en Gaspésie par exemple, l'instauration d'une taille maximale de capture touche très peu d'animaux et les bénéfices à court terme ne sont pas bien visibles. Par exemple, si l'on combine une taille minimale de capture de 82 mm avec une taille maximale de capture de 127 mm, le facteur d'augmentation passe de 1,72 à 2,95 du côté nord des Îles (Tableau 6) alors qu'en Gaspésie, il ne passe que de 2,24 à 2,54 (Tableau 7).

Finalement, le doublement de la POR peut aussi être atteint en combinant toutes les mesures disponibles : augmentation de la taille minimale de capture, instauration d'une taille maximale, marquage de femelles œuvées et réduction de la mortalité par la pêche. Une telle diversité de mesures permettrait une meilleure répartition de l'effort de conservation parmi tous les pêcheurs. Par exemple, des mesures ne touchant que l'augmentation de la taille minimale de capture ont des impacts presque uniquement sur les pêcheurs exploitant des secteurs où il y a davantage de petits homards et cette situation est souvent décriée comme étant inéquitable.

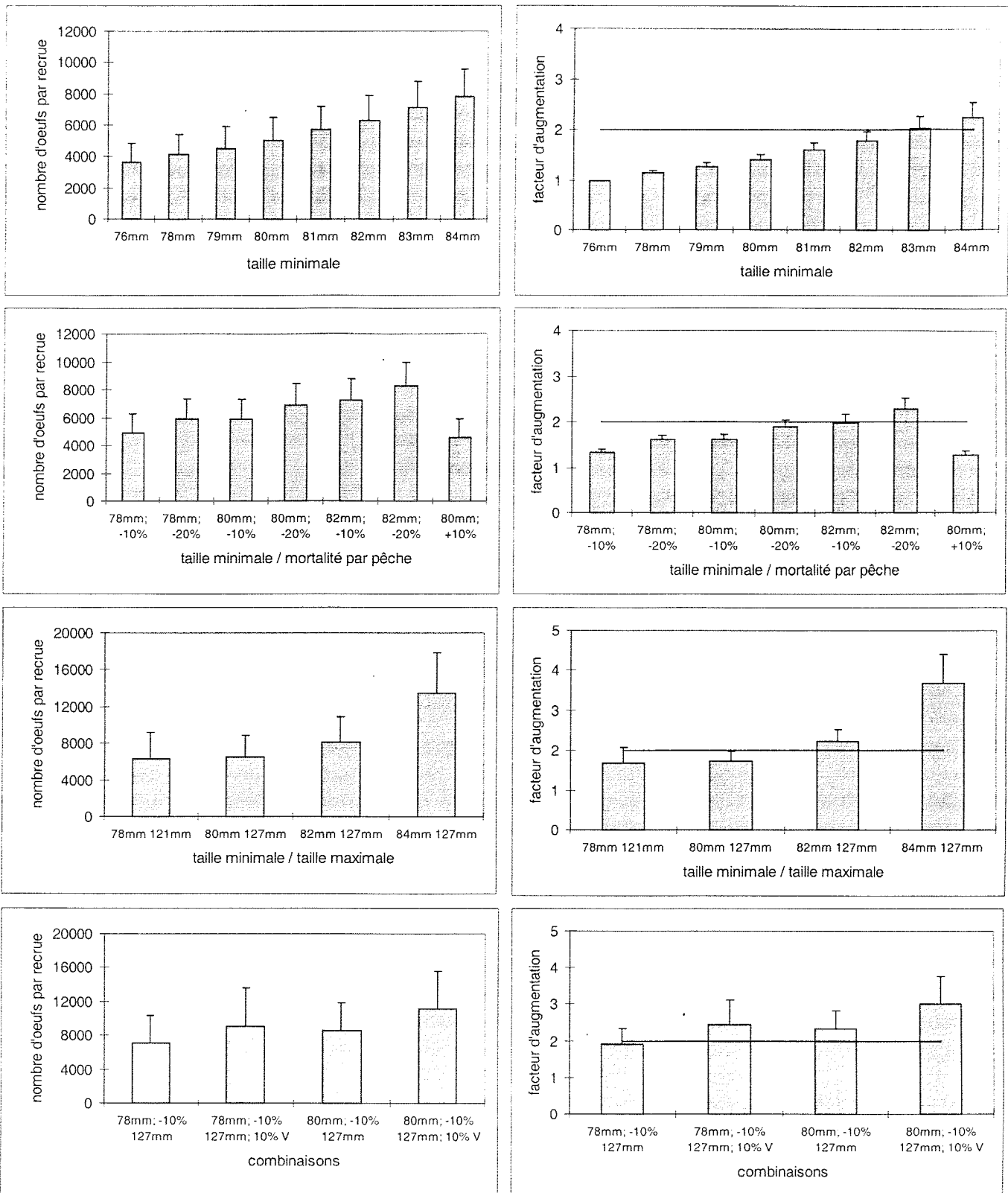


Figure 2. Production d'œufs par recrue (moyenne et écart-type) et facteur d'augmentation de la production par rapport à 1996 pour le secteur sud des Îles-de-la-Madeleine.

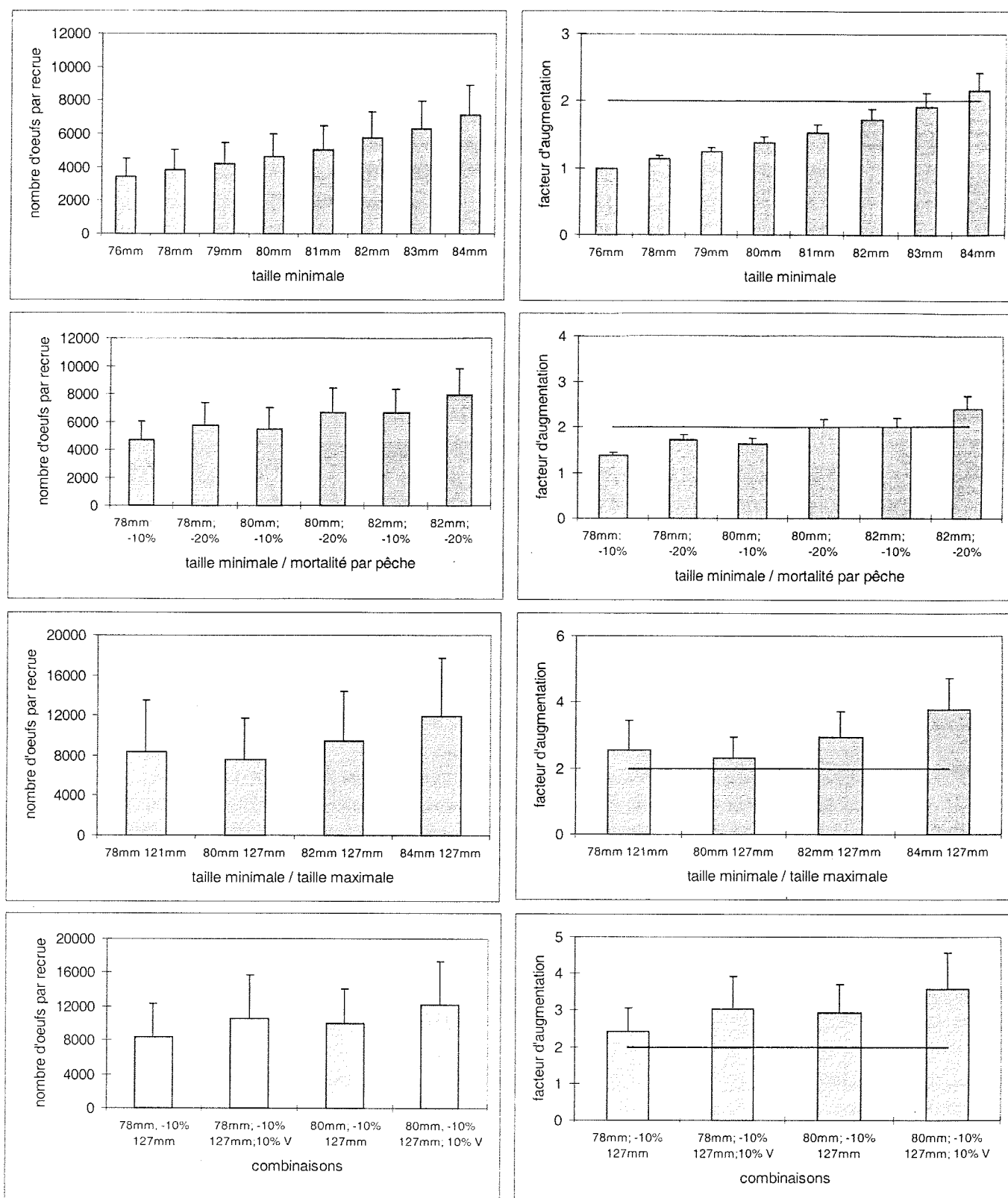


Figure 3. Production d'œufs par recrue (moyenne et écart-type) et facteur d'augmentation de la production par rapport à 1996 pour le secteur nord des Îles-de-la-Madeleine.

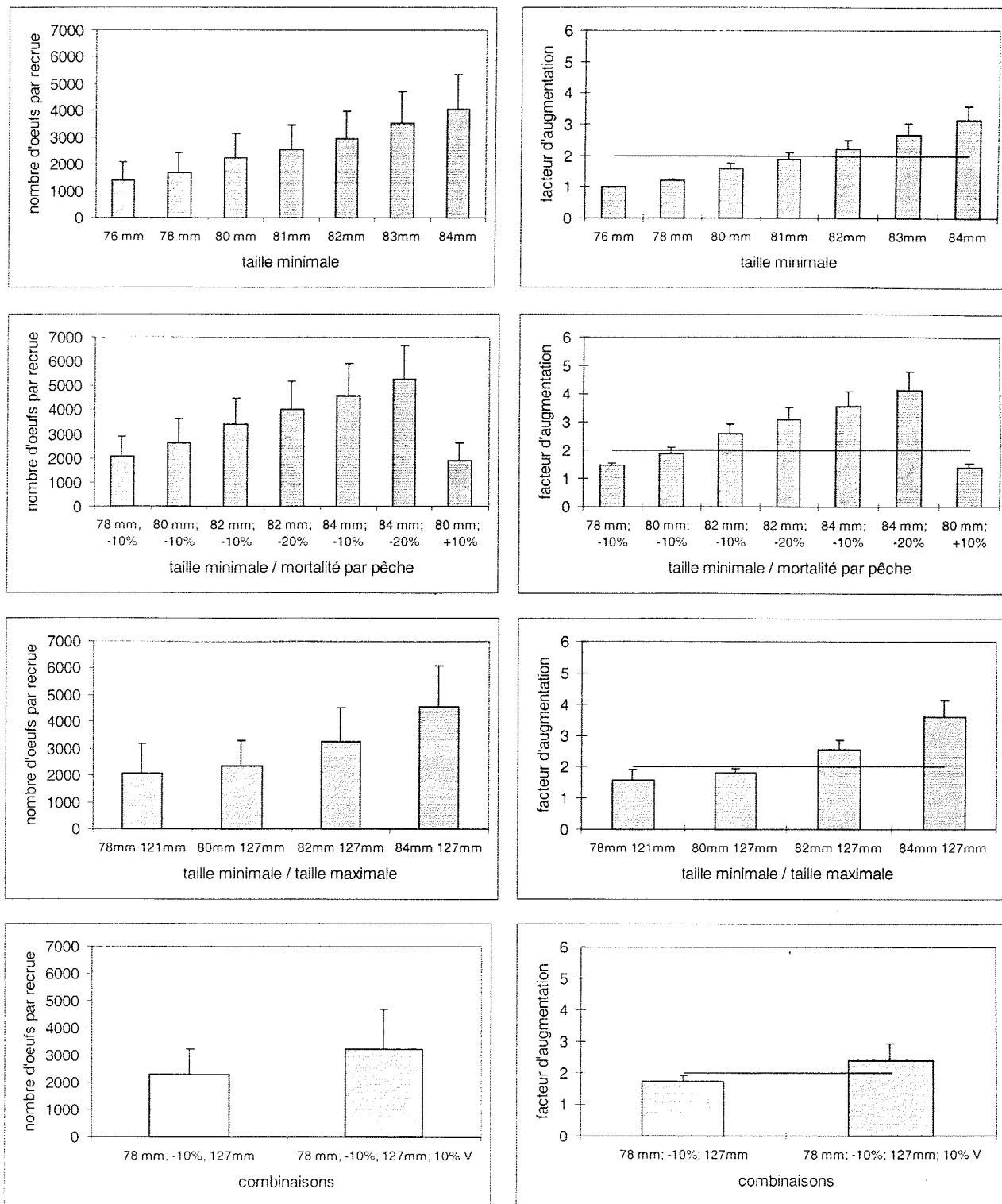


Figure 4. Production d'œufs par recrue (moyenne et écart-type) et facteur d'augmentation de la production par rapport à 1996 pour la Gaspésie.

3.2 RISQUE DE GESTION

Depuis quelques années, on s'intéresse de plus en plus à la quantification des incertitudes et à leur intégration dans les recommandations de gestion des pêches. Les incertitudes dans la définition des paramètres des différentes variables biologiques du cycle vital du homard ont été pris en compte, ce qui a permis de générer une gamme de valeurs possibles de POR pour chacun des scénarios de gestion examinés. La distribution cumulative des fréquences des 100 valeurs obtenues par simulation, une fois portée en graphique, permet de voir le pourcentage de valeurs qui sont au-dessus ou au-dessous d'une cible donnée. Puisque l'on s'intéresse ici au facteur d'augmentation, c'est-à-dire le rapport entre la POR d'un scénario de gestion donné et la POR avant sa mise en œuvre, il est intéressant de voir pour chacun des scénarios, le pourcentage de valeurs se situant sous la valeur de deux, soit la valeur reliée à l'objectif de doubler la POR. Ce pourcentage est considéré comme étant le risque de ne pas atteindre l'objectif de doubler la POR. Lorsqu'une valeur moyenne, comme celles considérées à la section précédente se situe à deux, il existe en fait un risque de 50 % de ne pas atteindre l'objectif de gestion.

Les résultats obtenus pour les Îles-de-la-Madeleine (côté sud) montrent que la probabilité de doubler la POR en faisant passer la taille minimale de 76 mm à 81 mm est nulle (Figure 5). Le risque de ne pas atteindre l'objectif de gestion est donc de 100 %. En fixant la taille à 82 mm, le risque est réduit à 86 %. Il n'atteint que 24 % si la taille est fixée à 84 mm. Combiner par exemple une taille minimale de 82 mm à une baisse de la mortalité par pêche de 10 % ou de 20 % donne un risque de gestion de 54 % ou de 12 % respectivement. Les mesures de protection des grosses femelles (comme la protection complète des femelles mesurant plus de 127 mm [“ les jumbos ”]) et le marquage par une encoche en V de 10 % des femelles œuvées réduisent le risque de ne pas atteindre l'objectif de gestion. Si on ajoute à ces deux mesures une taille minimale de 80 mm et une réduction de la mortalité par pêche de 10 %, le risque de gestion devient pratiquement nul.

La situation est assez semblable du côté nord des Îles (Figure 6), sauf pour les mesures combinant l'augmentation de la taille, la réduction de la mortalité par la pêche, la taille maximale et le marquage des femelles œuvées. Tel que mentionné plus haut, le fait que le taux d'exploitation soit moins élevé du côté nord de l'archipel permet à une plus forte proportion de femelles d'atteindre une grande taille. Les mesures de protection touchant les grosses femelles apportent alors plus de bénéfices. Les risques de gestion sont moins élevés pour ces combinaisons. En Gaspésie, les résultats du modèle montrent que la probabilité de doubler la POR en faisant passer la taille minimale de 76 mm à 80 mm est nulle (Figure 7). Le risque de ne pas atteindre l'objectif de gestion est donc de 100 % à ces tailles. Le risque de ne pas doubler la POR est très faible à partir d'une taille minimale de capture de 82 mm. Il est nul lorsque cette taille est combinée à une réduction de la mortalité par la pêche de 10 % ou 20 % ou à l'instauration d'une taille maximale de 127 mm. Le marquage de 10 % de femelles œuvées ajouté à une réduction de la mortalité par la pêche de 10 %, à une taille maximale de 127 mm et une taille minimale de capture de 78 mm réduit de beaucoup le risque de gestion, passant de 92 % à 25 % (Figure 7).

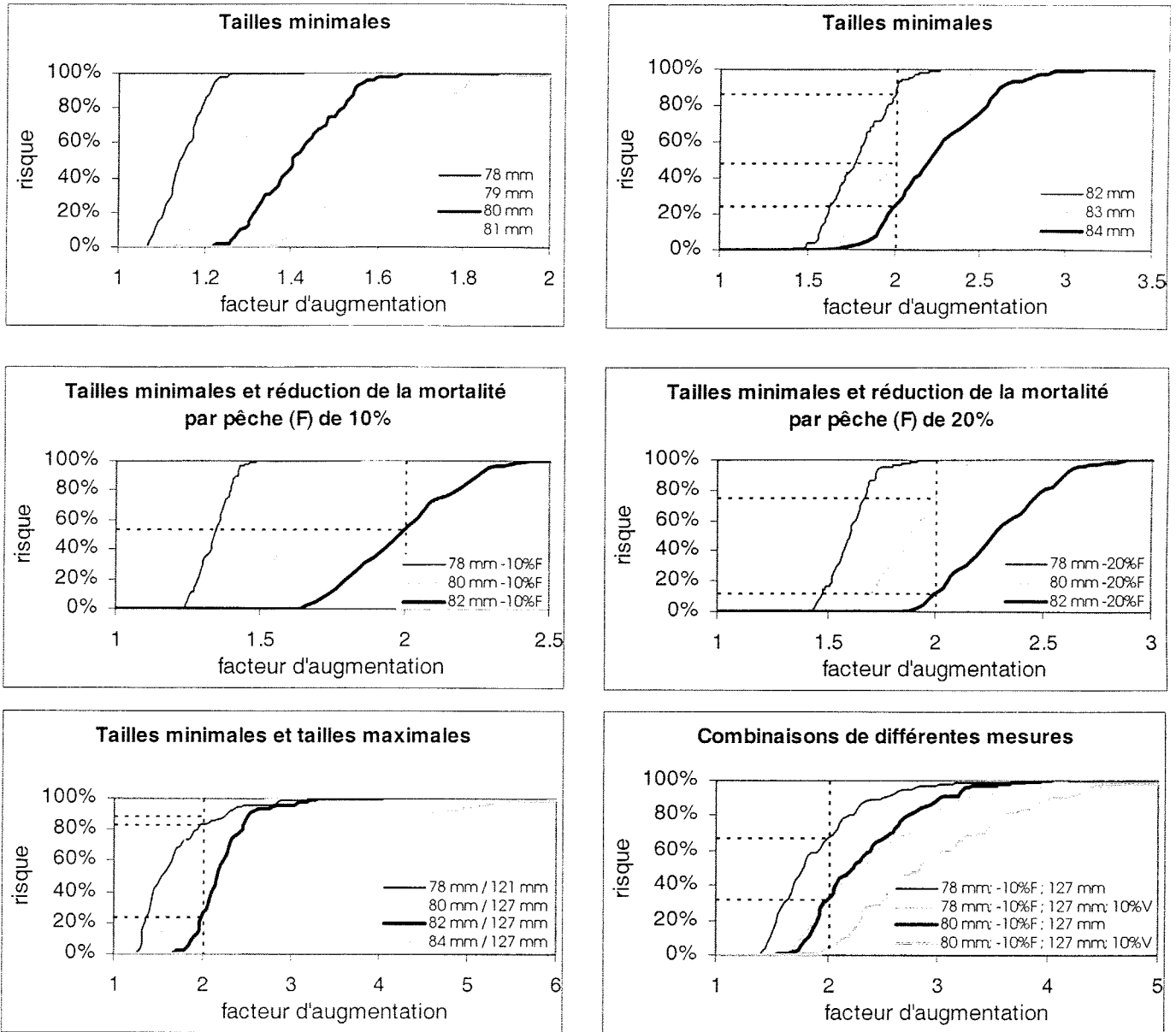


Figure 5. Distribution cumulative des fréquences des 100 valeurs du facteur d'augmentation obtenues par le modèle, illustrant le risque de ne pas atteindre le doublement de la POR associé à différentes mesures de gestion appliquées dans le secteur sud des Îles-de-la-Madeleine.

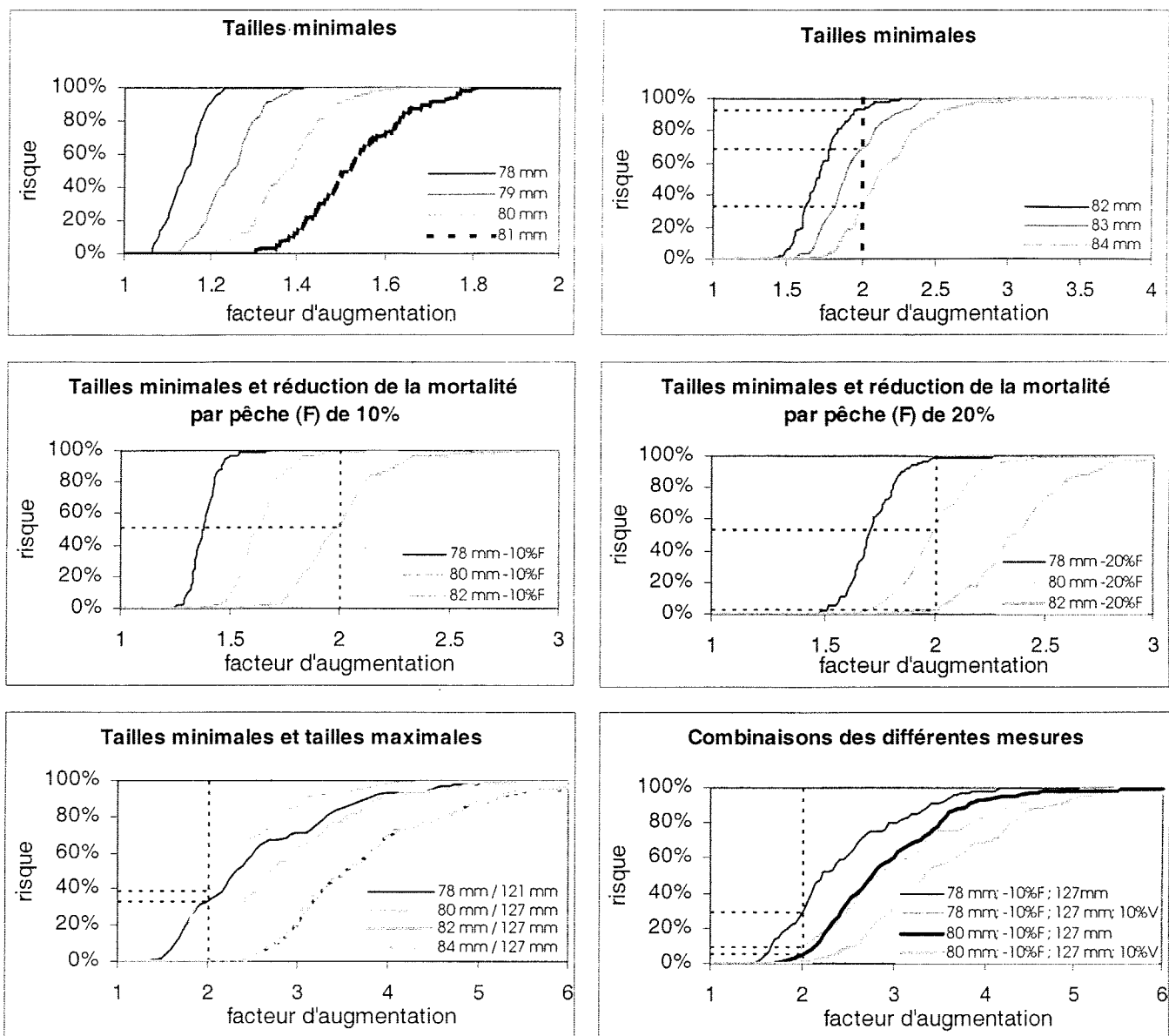


Figure 6. Distribution cumulative des fréquences des 100 valeurs du facteur d'augmentation obtenues par le modèle, illustrant le risque de ne pas atteindre le doublement de la POR associé à différentes mesures de gestion appliquées dans le secteur nord des Îles-de-la-Madeleine.

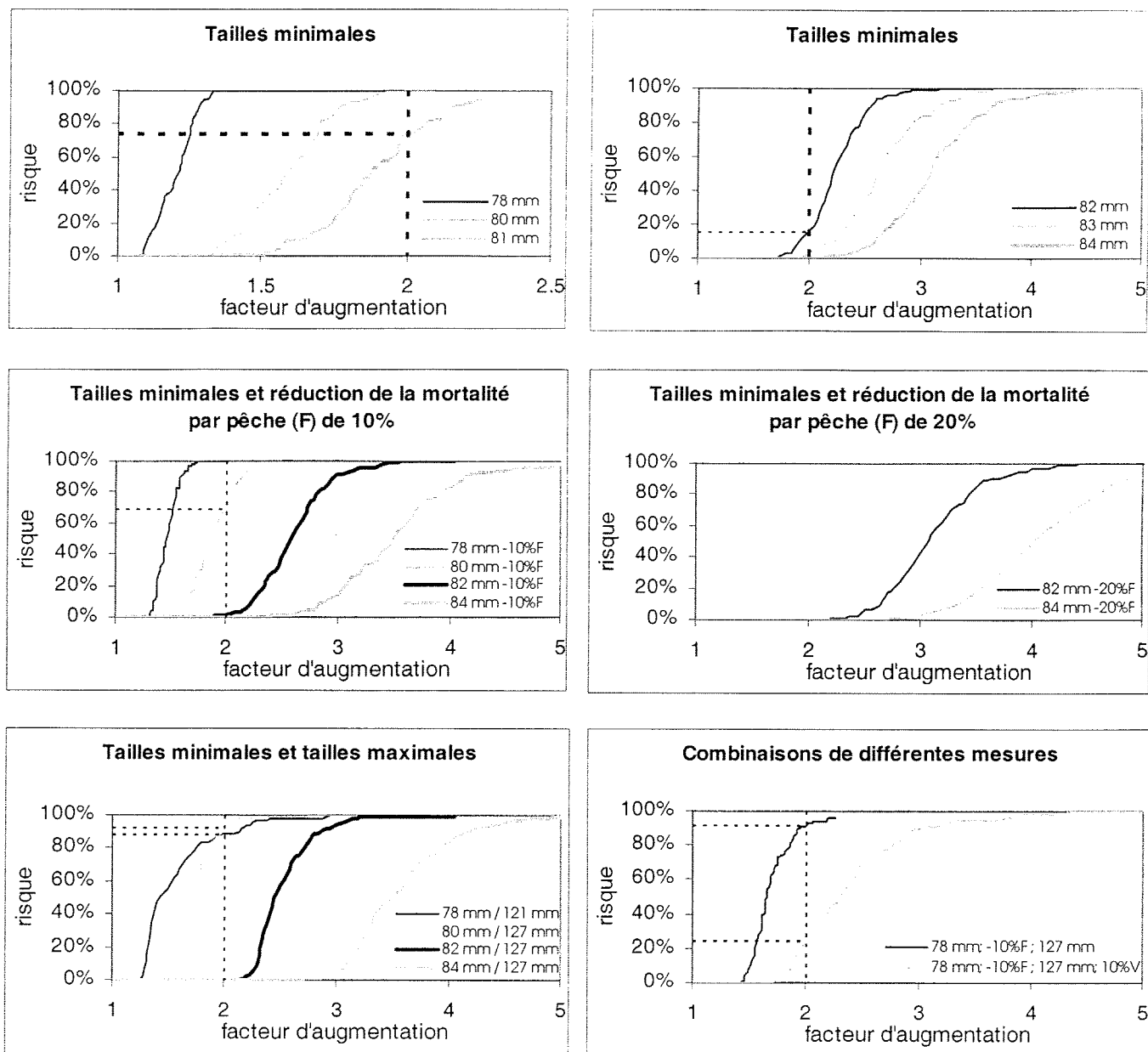


Figure 7. Distribution cumulative des fréquences des 100 valeurs du facteur d'augmentation obtenues par le modèle, illustrant le risque de ne pas atteindre le doublement de la POR associé à différentes mesures de gestion appliquées en Gaspésie.

4.0 DISCUSSION

Le modèle de calcul de la POR a été utilisé pour simuler l'impact d'une grande variété de mesures de gestion, utilisées seules ou selon différentes combinaisons. Cependant, jusqu'à présent, parmi les mesures proposées, l'augmentation de la taille minimale de capture est celle qui a été privilégiée. Aux Îles-de-la-Madeleine, l'augmentation de la taille s'est faite graduellement depuis 1997 à raison de 1 mm par année. Ces petites augmentations sont passées presque inaperçues auprès de pêcheurs. L'examen de la composition des captures de 1996 avait révélé que les homards dont la taille se situait entre 76 et 77 mm constituaient environ 4 % des captures du côté sud et seulement 2 % du côté nord (Gendron et Savard 2000). La situation a été différente pour la Gaspésie où l'on avait plutôt opté pour un scénario d'augmentation de la taille de 2 mm à tous les deux ans. Ainsi, en 1997, la taille minimale de capture est passée de 76 mm à 78 mm. On avait alors calculé que la fraction des débarquements constituée de homards dont la taille se situait entre 76 mm et 78 mm était en moyenne de 13,5 % (Gendron et Savard 2000). Ce pourcentage élevé résulte d'un taux d'exploitation du homard très élevé en Gaspésie, ce qui génère une population composée presque exclusivement d'une seule classe de mue. Les débarquements de 1997 ont été beaucoup plus faibles que ceux de 1996 en Gaspésie en partie en raison de l'augmentation de la taille minimale de capture. Toutefois, d'autres facteurs comme des changements dans l'abondance de la ressource et dans la capturabilité ont pu aussi contribuer à la baisse des débarquements cette année-là (MPO 1998). Par la suite, les pêcheurs ont néanmoins convenu de ne pas augmenter la taille de plus d'un millimètre par année.

Lors de l'implantation d'un programme d'augmentation de la taille minimale de capture, les pertes en poids dans les débarquements occasionnées la première année sont compensées dès l'année suivante. En effet, les homards qui sont remis à l'eau la première année deviennent accessibles à la pêche l'année suivante. Bien que leur nombre soit légèrement réduit par la mortalité naturelle, estimée à environ 15 % annuellement, ils sont cependant plus gros car ils ont eu la chance d'effectuer une mue additionnelle avant d'être pêchés. Un gain en poids d'environ 45 % est réalisé à la faveur de cette mue. Ainsi, à recrutement égal, il est prévisible que l'augmentation de la taille minimale de capture entraîne une diminution de la capture en nombre, mais une augmentation de la capture en poids. Ceci vaut pour les mâles et les femelles immatures. En ce qui concerne les femelles matures, l'augmentation de la taille de capture permettra à une plus grande proportion de celles-ci de se reproduire avant d'être pêchées. La quantité de femelles œuvées dans la population devrait augmenter et par le fait même, les prises de femelles non œuvées diminueront. Les femelles non accessibles à la pêche parce qu'elles sont œuvées le deviendront par contre l'année suivante, au terme de leur cycle de reproduction. Elles seront alors plus grosses puisqu'elles auront eu la chance de réaliser une mue additionnelle. Pour celles-ci, les gains en poids pourraient tout juste compenser les pertes en nombre (mortalité naturelle sur 2 ans). Globalement, on peut néanmoins s'attendre à ce que les captures en poids augmentent pendant un certain temps, c'est-à-dire tant que la taille minimale de capture sera sous la taille critique, soit la taille où les gains en poids dans une population sont supérieurs aux pertes en nombre.

L'augmentation de la taille minimale de capture va permettre de réduire la pression de pêche sur les immatures et va favoriser la production d'œufs par les femelles primipares, soit celles qui en sont à leur première reproduction. Des travaux en cours montrent que l'augmentation de la ponte des femelles multipares (celles qui en sont au moins à leur seconde reproduction) aurait des avantages encore plus grands. En effet, les larves provenant de femelles de plus grande taille sont plus grandes et ont un poids plus élevé à l'émergence (Plante *et al.* 2001). On a aussi observé que les larves de taille et de poids plus grands avaient une croissance plus rapide et étaient aussi plus grandes au moment de la déposition benthique (James-Pirri *et al.* 1998). Toutes ces caractéristiques peuvent indiquer un meilleur potentiel de survie.

Jusqu'à maintenant, aucune mesure n'a été mise en place pour diminuer l'effort de pêche et les taux d'exploitation. Les mesures comme l'augmentation de la taille minimale de capture ou l'instauration d'une taille maximale de capture n'entraînent pas nécessairement une diminution du taux d'exploitation, ce dernier étant calculé sur la fraction exploitable de la population. Au contraire, l'application de telles mesures pourrait même entraîner une augmentation du taux d'exploitation, si elle se traduisait par une diminution de la biomasse exploitable. En effet, si l'effort de pêche demeure inchangé et que le même niveau d'effort de pêche est déployé sur une biomasse plus petite, le taux d'exploitation s'en trouvera alors augmenté.

La diminution de la mortalité par la pêche passe obligatoirement par une diminution de l'effort de pêche: diminution du nombre de permis, diminution du nombre de casiers ou de la durée de la saison de pêche. Pour réduire la mortalité par la pêche de 10 %, il faudrait théoriquement réduire l'effort dans les mêmes proportions. En pratique toutefois, la réduction de la mortalité pourrait ne pas être proportionnelle à la diminution de l'effort puisque les pêcheurs peuvent partiellement compenser la réduction d'effort en augmentant leur efficacité de pêche. D'autre part, l'efficacité d'une réduction de la durée de la saison de pêche sera fonction du patron saisonnier de la capturabilité du homard. Celle-ci est déterminée par de nombreux facteurs, dont notamment les conditions environnementales qui affectent la vulnérabilité du homard au casier (Miller 1990). Dans le cas des Îles-de-la-Madeleine, on a observé que la capturabilité était maximale au début de la saison de pêche, mais beaucoup plus faible vers la fin (L. Gendron, données non publiées). Ainsi, couper une semaine en début de pêche en retardant l'ouverture de la saison aurait plus d'impact sur la mortalité que si l'on coupait une semaine en fin de saison de pêche.

En attendant que l'effort de pêche soit réduit et ce, quelle que soit la taille minimale de capture, la pêche restera toujours aussi dépendante du recrutement annuel. De plus, en l'absence de mesures de contrôle accrues de l'effort de pêche, il est prévisible que l'effort de pêche s'accroisse en raison de l'augmentation de l'efficacité des pêcheurs. Les résultats du modèle de calcul de POR montrent que les bénéfices attendus de l'augmentation de la taille minimale de capture sont atténués si le taux d'exploitation augmente. Une réduction importante de l'effort de pêche ou même un contrôle des captures devront éventuellement être envisagées pour une meilleure protection de la ressource. Une diminution de la mortalité sur la fraction exploitable du stock permettra à

plus d'individus de réaliser leur plein potentiel de croissance, ce qui se traduira par une population comportant plusieurs modes et davantage de gros individus. En conséquence, la pêche sera moins dépendante du recrutement annuel et ne portera plus uniquement sur les tailles nouvellement recrutées à la pêche. Par ailleurs, la réduction de la pression de pêche sur les femelles non œuvées permettra d'accroître le nombre de grosses femelles dans la population, celles dont la contribution au succès reproducteur pourrait être la plus importante.

Le doublement de la POR est une mesure intérimaire d'amélioration de l'état des populations de homard, elle ne garantit pas que les niveaux de POR ainsi atteints soient suffisants pour éviter de surexploiter les stocks. Dans les secteurs où la production d'œufs est faible, le doublement sera réalisé plus facilement que dans les secteurs où la POR est déjà forte. Ainsi, les bénéfices risquent d'être moindres dans les secteurs qui en auraient le plus besoin. En fait, le maintien de populations démographiquement saines, où les immatures ne seraient pas exploités, entraînerait dans certaines zones une augmentation du triple ou du quadruple de la POR.

Depuis quelques années, on s'intéresse de plus en plus à la quantification des incertitudes et à leur intégration dans les recommandations de gestion des pêches. La question de savoir comment combiner les niveaux d'acceptation du risque de parties ayant des intérêts divergents et des attitudes différentes face au risque demeure toutefois ouverte à la discussion. Néanmoins, quantifier l'incertitude permet aussi une appréciation objective de la fiabilité des estimations et évite les différends résultant de l'appréciation subjective des incertitudes. L'expression de l'incertitude à l'aide de courbes de probabilité semble être utile aux gestionnaires car elle illustre directement le risque associé à leurs décisions.

Par contre, il subsiste encore d'autres incertitudes qui n'ont pas été intégrées dans le modèle et qui sont liés à la réaction de la population suite à l'implantation de nouvelles mesures de conservation. Les modèles de calcul de la POR utilisés couramment postulent qu'il n'y a pas d'effet compensatoire dans la dynamique populations de homard et que la mise en place de nouvelles mesures de gestion ne modifie aucun aspect de la biologie de l'espèce. On postule donc que le taux de croissance, la maturité sexuelle, la mortalité naturelle et la fécondité ne dépendent pas de la densité de la population. Or, il est évident que tout effort significatif au chapitre de la conservation augmentera la densité des populations. L'incertitude créée par l'absence de cet effet dans notre modèle est bien réelle à la lumière des études conduites sur d'autres stocks de la côte Est. On y a constaté que la forme de la relation stock-recrutement du homard (Fogarty et Idoine 1986, Ennis et Fogarty 1997) suggère l'existence de mécanismes de compensation dépendants de la densité au sein de son cycle vital (Fogarty et Idoine 1986). Si les stocks des Îles-de-la-Madeleine et de la Gaspésie présentent aussi de tels mécanismes, les mesures visant leur conservation pourraient avoir un impact sur la POR moindre que nous le prévoyons.

Par ailleurs, les mesures favorisant la ponte des femelles augmenteront leur protection et pourraient occasionner une asymétrie dans les taux d'exploitation entre les mâles et les femelles. Ceci aurait pour conséquence de déséquilibrer le rapport des sexes

en faveur des femelles et de réduire davantage le nombre de mâles de grande taille. Or, la raréfaction des mâles, principalement ceux de grande taille, pourrait mener à un problème de limitation de sperme car la quantité de sperme allouée par un petit mâle pourrait ne pas être suffisante pour féconder tous les œufs d'une grosse femelle, comme cela a déjà été observé chez les langoustes *Jasus edwardsii* et *Panulirus argus* (MacDiarmid et Butler IV 1999). Des travaux sont présentement réalisés sur le système d'accouplement du homard afin de vérifier s'il y a aussi chez cette espèce un potentiel de limitation du sperme (B. Sainte-Marie, communication personnelle, IML, Mont-Joli, QC).

Les modèles de POR ne permettent pas d'établir le niveau de production d'œufs nécessaire au maintien des populations. Malgré tout, il demeure que l'augmentation de la production d'œufs devrait, à tout le moins, permettre qu'il n'en manque jamais. Lorsque les conditions environnementales seront favorables, une plus grande production d'œufs pourra se traduire par un meilleur recrutement. Mais le plus important est que lors de mauvaises années, une plus grande production d'œufs réduira les risques d'effondrement des stocks. Les niveaux de production d'œufs qui permettront aux stocks de se maintenir malgré les changements environnementaux ne seront pas nécessairement atteints par le doublement de la POR. De plus, ces niveaux peuvent varier dans le temps et dans l'espace, en fonction de la variabilité des caractéristiques environnementales affectant les différentes phases du cycle de vie du homard, dont entre autres la survie larvaire et le succès de la déposition benthique.

Le travail présenté ici constitue une approche théorique au problème de la production d'œufs dans les populations de homard. Il est essentiel de mettre en œuvre un processus de validation de l'efficacité des mesures préconisées pour augmenter la POR. Une telle validation exige un suivi des populations naturelles et le développement d'indices qui permettront de savoir autrement que théoriquement, si on s'achemine vers la réalisation de nos objectifs de conservation.

5.0 REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé dans le cadre du programme zonal sur le homard du Ministère des Pêches et des Océans. Nous désirons remercier Doug Pezzack, Joe Idoine, Marc Lanteigne, Manon Mallet et Gerry Ennis pour leurs commentaires et suggestions qui ont permis d'améliorer le logiciel. Nous désirons remercier aussi Marc-Donald Gagné pour la création de l'interface en Visual-Basic. Nous remercions également Virginie Sibert pour sa participation dans la compilation des données et la réalisation des figures. Nous remercions Bernard Sainte-Marie et Manon Mallet pour leur révision du manuscrit.

6.0 RÉFÉRENCES

- Aiken, D. E. et S. Waddy. 1982. Cement gland development, ovary maturation and reproductive cycles in the American lobster *Homarus americanus*. J. Crustacean Biol. 2 : 315-327.
- Aiken, D. E. et S. Waddy. 1986. Multiple fertilization and consecutive spawning in large American lobsters, *Homarus americanus*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43 : 2291-2294.
- Anon. 1977. Report of the working group on *Homarus* stocks. Int. Counc. Explor. Sea. Council Meeting 1977/K :11.
- Anon. 1995. Un cadre pour la conservation des stocks du homard de l'Atlantique. Rapport du Conseil pour la conservation des ressources halieutiques. CCRH95. R.1, nov. 1995. 53 p.
- Attard, J. 1985. Fécondité individuelle et production d'œufs par recrue du homard (*Homarus americanus*) sur les côtes nord et sud des Îles-de-la-Madeleine. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 1417 : vi + 14 p.
- Caddy, J. F. 1977. Approaches to a simplified yield-per-recruit model for Crustacea, with particular reference to the American lobster, *Homarus americanus*. Fish. Mar. Serv. Manusc. Rep. 1445. 14 p.
- Caddy, J. F. 1979. Notes on a more generalized yield-per-recruit analysis for crustaceans, using size-specific inputs. Fish. Mar. Serv. Manusc. Rep. 1525. 40 p.
- Campbell, A. 1985. Application of a yield and egg-per-recruit model to the lobster fishery in the Bay of Fundy. N. Amer. J. Fish. Manage. 5 : 91-104.
- Campbell, A. et D. G. Robinson. 1983. Reproductive potential of three American lobster (*Homarus americanus*) stocks in the Canadian Maritimes. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 40 : 1958-1967.
- Dubé, P. 1985. Croissance du homard (*Homarus americanus*) dans les parties nord et sud des Îles-de-la-Madeleine. CSCPCA Doc. Rech. 85/97. 39 p.

- Dubé, P. et P. Grondin. 1985. Maturité sexuelle du homard (*Homarus americanus*) femelle aux Îles-de-la-Madeleine. CSCPCA Doc. Rech. 85/85. 37 p.
- Ennis, G. P. 1985. An assessment of the impact of size limit and exploitation rate changes on egg production in a Newfoundland lobster population. N. Amer. J. Fish. Manage. 5 : 86-90.
- Ennis, G. P. 1991. Annual variation in egg production in a Newfoundland population of the American lobster, *Homarus americanus*. In : Crustacean Egg Production. A. Wenner et A. Kuris (eds). pp. 291-299. A. Balkema : Rotterdam/Brookfield.
- Ennis, G. P. et P. W. Collins. 1983. A computer program to assess egg production per recruit in a lobster (*Homarus americanus*) population. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1198 : iv + 15 p.
- Ennis, G. P. et M. J. Fogarty. 1997. Recruitment overfishing reference point for the American lobster, *Homarus americanus*. Mar. Freshwat. Res. 48 : 1029-1034.
- Fogarty, M. J. 1995. Populations, fisheries and management. In : J. R. Factor (éd.). The biology of the lobster *Homarus americanus*, p. 111-137. New York, Academic Press.
- Fogarty, M. J. et J. S. Idoine. 1986. Recruitment dynamics in an American lobster (*Homarus americanus*) population. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43 : 2368-2376.
- Fogarty, M. J. et J. S. Idoine, 1988. Application of a yield and egg per recruit model based on size to an offshore American lobster population. Tr. Amer. Fish. Soc. 117 : 350-362.
- Gendron, L. et G. Savard. 2000. État des stocks de homard des eaux côtières du Québec en 2000 et suivi des impacts de l'augmentation de la taille minimale de capture. SCÉS Doc. Rech. 2000/15. 73p.
- James-Pirri, M.-J., J. S. Cobb et R. A. Wahle. 1998. Influence of settlement time and size on postsettlement growth in the American lobster (*Homarus americanus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 55 : 2436-2446.

- MacDiarmid, A. B. et M. J. Butler IV. 1999. Sperm economy and limitation in spiny lobsters. *Behav. Ecol. Sociobiol.* 46 : 14-24.
- Mace, P. M. et M. P. Sissenwine. 1993. How much spawning per recruit is enough ? *Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 120 : 101-118.
- Miller, R. J. 1990. Effectiveness of crab and lobster traps. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47 : 1228-1251.
- Miller, R. J., D. S. Moore et J. D. Pringle. 1987. Overview of the inshore lobster resources in the Scotia-Fundy region. Canadian Atlantic Fisheries Scientific Advisory Committee. Research document. 87/85. 20 p.
- Munro, J. et J.-C. Therriault. 1983. Migrations saisonnières du homard (*Homarus americanus*) entre la côte et les Îles-de-la-Madeleine. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40 : 905-918.
- MPO. 1998. Le homard des eaux côtières du Québec. MPO Sciences. Rapport sur l'état des stocks C4-05. 13 p.
- Pezzack, D. S. et J. J. Maguire 1995. Preliminary examination of egg per recruit estimates in the Canadian lobster fishery. *DFO Atl. Fish. Res. Doc.* 95/92. 23 p.
- Plante, F., P. Ouellet et J.-C. Brêthes. 2001. Influence de la taille des femelles sur la taille et la croissance des larves de homard (*Homarus americanus*). In : M. J. Tremblay et B. Sainte-Marie (éd.) Symposium sur le Programme intégré sur le homard canadien et son environnement (PINHCE) : Résumés et sommaire des travaux. *Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat.* 2328 . p. 119.
- Tremblay, M. J., M. D. Eagles et G. A. P. Black. 1998. Movements of the lobster, *Homarus americanus*, off northeastern Cape Breton Island, with notes on lobster catchability. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 2220 : iv + 32 p.

