

# Effets du climat et de l'hydrographie sur le recrutement du homard américain (*Homarus americanus*) dans le nord du golfe du Saint-Laurent<sup>1</sup>

Christiane Hudon

Ministère des Pêches et des Océans, Direction de la recherche sur les pêches,  
Station de Biologie Arctique, 555, boul. Saint-Pierre, Sainte-Anne-de-Bellevue (Québec) H9X 3R4

Pierre Legendre

Département de sciences biologiques, Université de Montréal, C.P. 6128, Succursale "A",  
Montréal (Québec) H3C 3J7

André Lavoie, Jean-Marie Dubois

Centre d'applications et de recherches en télédétection (CARTEL),  
Université de Sherbrooke, Sherbrooke (Québec) J1K 2R1

et Gérald Vigeant

Environnement Canada, Service de l'environnement atmosphérique,  
100, boul. Alexis-Nihon, 3<sup>e</sup> étage, Ville Saint-Laurent (Québec) H4M 2N8

HUDON, C., P. LEGENDRE, A. LAVOIE, J.-M. DUBOIS ET G. VIGEANT. 1991. Effets du climat et de l'hydrographie sur le recrutement du homard américain (*Homarus americanus*) dans le nord du golfe du Saint-Laurent, p. 161-177. Dans J.-C. Therriault [éd.] Le golfe du Saint-Laurent : petit océan ou grand estuaire? Publ. spéc. can. sci. halieut. aquat. 113.

L'examen de la partie nord du golfe du Saint-Laurent au moyen d'images satellites NOAA permet d'y observer plusieurs phénomènes hydrographiques tels que des tourbillons et des remontées d'eau froide, engendrant un gradient thermique de la Côte Nord du Québec (froide) à la côte ouest de Terre-Neuve (chaude). Ces phénomènes peuvent être reliés à certaines conditions climatiques, en particulier à la direction et à la force des vents dominants. Ces observations suggèrent un mécanisme précis par lequel les facteurs climatiques et hydrographiques pourraient exercer un impact direct sur l'advection et la survie des larves de crustacés planctoniques, en particulier celles du homard. Nous réexaminons ainsi, dans un cadre défini, l'hypothèse de Sutcliffe (1973) concernant l'existence d'une relation entre les facteurs physiques (dont dépend la survie larvaire) et les débarquements de homards, en tenant compte du décalage temporel qui existe entre la phase larvaire et le homard débarqué.

Dans un premier temps, nous examinons les hypothèses implicites à ce type de relation, soit (1) l'évaluation du recrutement annuel au moyen des statistiques de débarquement, (2) la perte de larves par advection des masses d'eaux, (3) la survie larvaire dans le plancton, (4) le nombre d'années de croissance benthique avant la taille minimale légale, (5) l'existence d'une relation stock-recrutement. Dans un second temps, les mécanismes pouvant être à l'origine de ce genre de corrélations sont évalués pour la phase critique de la vie larvaire planctonique, au moyen de données pour le nord du golfe. La modélisation des échanges de larves entre les différentes régions au moyen d'une matrice de Markov suggère que l'exportation de larves provenant de la Côte Nord et de l'île d'Anticosti vers la côte ouest de Terre-Neuve pourrait être importante pour y assurer le maintien des débarquements. La persistance de l'effet des apports de larves jusqu'à la taille minimale légale est évaluée au moyen de données physiques historiques régionales (température, vent, débit), en combinaison avec les statistiques détaillées de débarquement de homards sur la côte ouest de Terre-Neuve, l'île d'Anticosti, la Côte Nord du Québec et les Îles-de-la-Madeleine. Les relations entre les facteurs physiques et les débarquements de homards sont décrites au moyen de régressions multiples, permettant d'expliquer de 0 à 70 % de la variance des débarquements entre 1953 et 1982, selon les régions. La validation des modèles avec les débarquements de 1983-1988 montre que les prédictions sous-estiment toujours les débarquements observés. La démarche indique que l'identification d'un cadre conceptuel, la fiabilité et l'homogénéité des données de débarquement et des données physiques, ainsi que la connaissance des particularités physiographiques de chaque région, sont des éléments critiques pour le succès de la modélisation.

<sup>1</sup> Cet article fait partie des Compte rendus d'un atelier/symposium tenu à l'Institut Maurice-Lamontagne, Mont-Joli (Québec) du 14 au 17 mars 1989.

A study of the northern Gulf of St. Lawrence using NOAA satellite imagery reveals a number of hydrographic phenomena such as gyres and coastal upwelling. These phenomena maintain a thermal gradient from the Québec North Shore (cold) to the west coast of Newfoundland (warm) and may be related to specific climatic conditions, such as the direction and speed of prevailing winds. These observations suggest a mechanism by which climatic and hydrographic factors could exert a direct impact on the advection and survival of planktonic crustacean larvae, particularly lobster. In that context we reexamine Sutcliffe's (1973) hypothesis concerning the existence of a relationship between physical factors (on which larval survival depends) and lobster landings.

In the first part of this paper, we examine the implicit assumptions to this type of relation: (1) the use of annual landing statistics to evaluate recruitment into the fishery, (2) the loss of larvae via water mass advection, (3) the survival of larvae in the plankton, (4) the number of years of benthic growth prior to minimum legal size, (5) the existence of a stock-recruitment relationship. In the second part of the paper, the potential mechanisms at the origin of such correlations are evaluated for the critical phase of the planktonic larval phase, using data from the northern Gulf of St. Lawrence. A model of larval exchange among the different regions using a Markov transition matrix suggests that larval exports from the Québec North Shore and Anticosti Island could explain the stability of landings off the west coast of Newfoundland. The persistence of the effects of larval exchange until recruitment into the fishery is evaluated using historical physical data (temperature, wind, freshwater flow) in conjunction with detailed landing statistics for the west coast of Newfoundland, Anticosti Island, the Québec North Shore and Îles-de-la-Madeleine. The relationships between various physical factors and lobster landings are described using multiple regressions, explaining from 0 to 70% of the variance of landings between 1953 and 1982, depending on the region. Validation of the models using the 1983-1988 landings shows that predicted values always underestimate the observed landings. This study indicates that the definition of a conceptual framework, the reliability and homogeneity of landings and physical data, as well as the knowledge of the physiographic characteristics of each region, are critical to the success of modelling.

## Introduction

La délimitation des populations biologiques formant des unités de recrutement distinctes représente l'un des fondements de la gestion des pêches dans l'Atlantique canadien. À défaut de pouvoir circonscrire des cellules de recrutement homogène, la gestion des stocks du homard américain (*Homarus americanus*) se fait présentement selon des unités géographiques. L'influence commune de certains facteurs physiques et/ou biologiques affectant le recrutement dans des unités géographiques a déjà été utilisée pour expliquer les fluctuations parallèles des statistiques historiques de débarquement de homard (Robinson 1979; Campbell et Mohn 1983; Harding *et al.* 1983). Les statistiques de débarquement peuvent servir d'indice du recrutement puisque les populations de homard sont sujettes à un taux d'exploitation suffisamment élevé (Campbell 1980) pour que les prises annuelles reposent essentiellement sur les individus ayant mué à la taille commerciale la saison précédente (Ennis 1982), ce qui lie très fortement les débarquements annuels au succès de la déposition larvaire plusieurs années auparavant (Ennis 1983a; Campbell et Mohn 1983).

La prédiction de l'abondance d'une population à partir de certaines variables physiques déterminantes pour la déposition larvaire représente aussi un objectif important de la gestion à long terme des pêches maritimes. Les effets possibles des débits d'eau douce (Sutcliffe 1973; Trites 1970; Sheldon *et al.* 1982; Bugden *et al.* 1982; Sinclair *et al.* 1986), des vents dominants (Caddy 1979), des patrons de circulation (Îles 1975; Dadswell 1979; Robinson 1979), ainsi que de la température de surface (Scarrott 1964; Dow 1977; Flowers et Saila 1972; Boudreault *et al.* 1977; Fogarty 1988) sur le recrutement du homard ont été étudiés pour différentes régions de la côte Atlantique.

La relation proposée par Sutcliffe (1973) entre le débit du fleuve Saint-Laurent en avril et les débarquements de

homards neuf années plus tard fut de loin la plus fréquemment utilisée; on en a subséquentement tiré une équation prédictive expliquant 77 % de la variance des débarquements de homards au Québec entre 1950 et 1979 (Sheldon *et al.* 1982). Des hypothèses quant aux mécanismes à l'origine de cette corrélation furent élaborées par Bugden *et al.* (1982), puis revues par Sinclair *et al.* (1986) et par Drinkwater et Myers (1987). De toute évidence, la relation entre les débits d'eau douce et les débarquements présuppose plusieurs mécanismes intermédiaires, certains d'une grande complexité. Parmi les facteurs affectés par les variations de débit se trouvent la circulation et l'intensité du mélange des masses d'eau, la formation et la distribution de la glace, la rétention thermique (température à la surface), l'apport direct de sels nutritifs, la salinité, la turbidité, la pénétration de la lumière et l'intensité de la stratification. Ce genre de relation suppose que la survie accrue des larves lors d'une année aux conditions physiques favorables se reflète plusieurs années plus tard par un plus grand nombre de homards adultes dans la pêche.

Le nord du golfe de Saint-Laurent est la limite nordique de la distribution du homard (Huntsman *et al.* 1954) (fig. 1) ce qui rend l'espèce plus sensible aux fluctuations du milieu physique. Ceci pourrait expliquer au moins en partie pourquoi les patrons de débarquement à long terme sont très différents de ceux des autres régions du golfe et de la côte Atlantique (Campbell et Mohn 1983; Harding *et al.* 1983). Le nord du golf comprend les districts statistiques de la Côte Nord du Québec et de l'île d'Anticosti, ainsi que la côte ouest de Terre-Neuve (districts statistiques K, L, M, N). Les Îles-de-la-Madeleine ont été incluses dans notre analyse pour permettre des comparaisons avec une région préalablement étudiée.

Notre étude a pour objectifs (1) d'élaborer des hypothèses quant aux mécanismes physiques déterminant l'advection et la survie des larves de homard dans le nord du golfe; (2) de décrire les échanges potentiels de larves

entre les régions du nord du golfe; (3) de produire un modèle prédictif quantitatif de l'effet des facteurs physiques sur l'advection et la survie larvaire à l'aide de données historiques, ce qui permet d'évaluer les variables physiques susceptibles d'exercer un effet critique dans chacune des régions; et enfin, (4) de tester ce modèle avec les valeurs récentes de débarquements (1983-1988) pour en déterminer la validité et la sensibilité et évaluer les éléments critiques au succès de la démarche.

### Hypothèses sous-jacentes d'un modèle de prédiction des débarquements de homards à partir des facteurs environnementaux

Les modèles visant à prédire les débarquements à partir de variables physiques reposent sur plusieurs hypothèses de base que nous allons d'abord examiner, en vue de

déterminer comment elles en affectent les résultats. Cette démarche nous permettra de déterminer *a priori* les éléments critiques à la modélisation, les variables physiques et biologiques devant être incluses ainsi que le décalage annuel devant être utilisé.

**Hypothèse #1 :** Les statistiques de débarquements de chaque région sont un indice fiable du nombre de homards atteignant la taille minimale légale de capture chaque année.

Cette hypothèse comporte plusieurs éléments sous-jacents :

- Les statistiques de débarquement sont fiables.
- le taux d'exploitation est si élevé que la capture est indépendante de l'effort déployé.
- Les captures reposent principalement sur les individus qui viennent de muer à la taille légale, plutôt que sur un

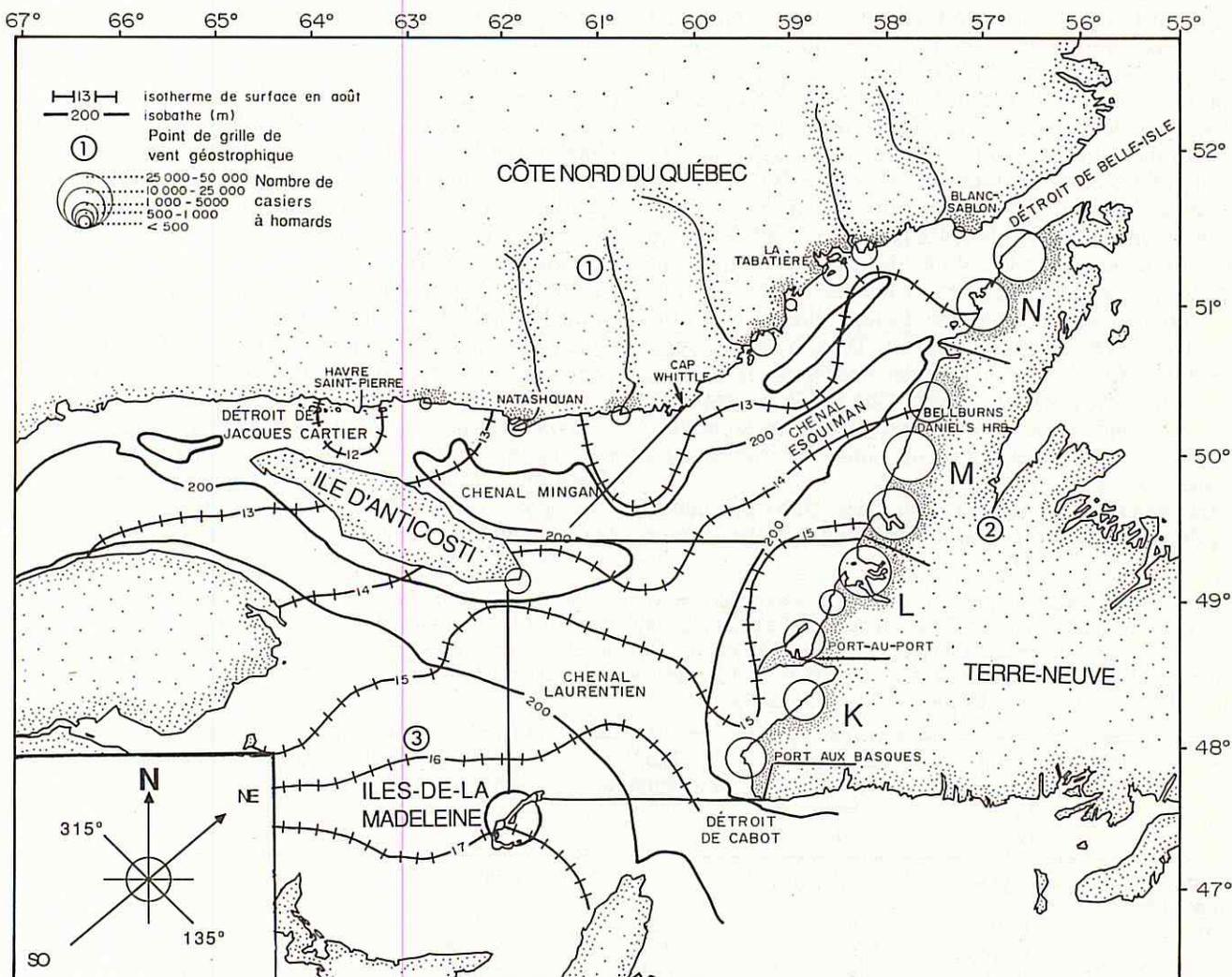


FIG. 1. Principales caractéristiques morphologiques et physiques du nord du golfe du Saint-Laurent. Les isothermes des eaux de surface pour le mois d'août ont été tracées d'après Vigeant (1987). La répartition du nombre de casiers a été obtenue à partir des statistiques des pêches maritimes de 1986 (Ministère des Pêches et des Océans). Les points numérotés 1, 2, 3 réfèrent à la grille de Swail (1985) utilisée pour le calcul des vents géostrophiques. L'axe 135°-315° (encadré) a été utilisé pour distinguer les vents à dominance NE de ceux du SO dans le calcul de la fréquence des vents favorables à la rétention locale. Les vents et les températures ont été calculées initialement pour les régions du chenal Mingan, du chenal d'Esquiman et du chenal Laurentien, délimitées à partir de la pointe est de l'île d'Anticosti (voir le texte pour explications).

groupe d'âge mixte comprenant des individus plus âgés (i.e., de plus grande taille) ayant échappés à plusieurs années de pêche.

La côte ouest de Terre-Neuve est divisée en quatre régions (K, L, M, N, fig. 1) pour lesquels des statistiques détaillées de captures sont disponibles depuis 1953 (tableau 1). Plusieurs auteurs (Templeman 1939; Squires 1970; Ennis 1974; Anthony et Caddy 1980; Campbell 1980) rapportent que le régime de capture des 50 dernières années semble autant, sinon plus, lié au recrutement annuel qu'à l'effort de pêche comme tel. En outre, l'interruption de la pêche pour des périodes allant de 6 à 3 années consécutives n'a accru la taille des individus et le volume des captures que pour l'année suivant la réouverture, tant sur la côte ouest de Terre-Neuve (Wilder 1965; Squires *et al.* 1974) que sur la Côte Nord du Québec (Huntsman *et al.* 1954).

Par comparaison, la pêche est très sporadique le long de la Côte Nord du Québec, où elle se concentre surtout entre Blanc-Sablon et le cap Whittle. Les homards capturés sur la Côte Nord et à l'île d'Anticosti comportent une proportion élevée d'individus de grande taille (observ. pers.), indiquant que les débarquements annuels reflètent plus que la production annuelle de recrues. C'est aux Îles-de-la-Madeleine que les débarquements sont les plus importants (tableau 1); la taille moyenne des individus y est faible, particulièrement sur la face SO.

Les données de débarquements souffrent de nombreuses imprécisions, dont l'importance semble être en relation inverse avec le volume des captures. Ainsi, une proportion variable des ventes locales est privée, particulièrement dans les régions isolées telles que la Côte Nord du Québec et la côte ouest de Terre-Neuve (observ. pers.; D. Maynard, Ministère des Pêches et des Océans, région du Golfe, comm. pers.). Une partie des captures peut être vendue et enregistrée dans une région adjacente, mal rapportée ou entièrement omise des statistiques (ventes locales et braconnage).

La variabilité inter-annuelle des débarquements, exprimée par le coefficient de variation, est élevée pour

la Côte Nord et l'île d'Anticosti (54 et 128 %, respectivement), tandis que les régions M (18 %), N (27 %) et les Îles-de-la-Madeleine (18 %) montrent des débarquements plus stables (tableau 1). Il est impossible de déterminer la relation entre les captures et l'effort de pêche, puisqu'aucune donnée historique de nombre de casiers • jour<sup>-1</sup> n'est disponible. Le nombre de casiers utilisés annuellement, tel que rapportés pour le côte ouest de Terre-Neuve, ne peut pas être considéré comme une mesure adéquate de l'effort de pêche déployé.

Pour la côte ouest de Terre-Neuve, Ennis (1983a) a évalué que 90 % des homards atteignant la taille légale sont capturés chaque année, ce qui représente une valeur très élevée et rend cette région très sensible à la surexploitation (Templeman 1939, 1941; Huntsman *et al.* 1954; Wilder 1965). Nous avons employé la valeur de 16 % pour corriger l'estimation d'abondance du homard à l'île d'Anticosti (Gauthier 1988) et un taux approximatif de 20 % pour la Côte Nord pour laquelle aucune donnée n'est disponible. Ces faibles taux indiquent que les statistiques des débarquements sous-estiment nettement l'abondance annuelle des recrues. Aux Îles-de-la-Madeleine, nous avons utilisé un taux d'exploitation de 80 % (Campbell 1980).

La correction pour les taux d'exploitation estimés dans chaque région n'altère pas significativement l'ordre d'importance des régions (tableau 1, colonne 5) et corrige quelque peu les effets dus aux disparités régionales de taille de casiers, de type de mouillages et de puissance de la flotte de pêche. En somme, les taux d'exploitation indiquent que l'hypothèse liant les captures au recrutement annuel semble assez bien se vérifier pour les Îles-de-la-Madeleine, modérément pour la côte ouest de Terre-Neuve, et fort peu pour l'île d'Anticosti et la Côte Nord.

*Hypothèse #2* : Le nombre de larves se déposant dans une région donnée est fonction de la dérive des masses d'eau dans lesquelles les larves se trouvent.

Au cours de leur séjour dans le plancton, les larves se trouvent principalement dans les 5 m supérieurs de la

TABLEAU 1. Tableau comparatif des captures annuelles moyennes entre 1953 et 1985 pour chaque région dans le nord du golfe du Saint-Laurent, corrigées en fonction du taux d'exploitation (colonne 4) et ramenées à un dénominateur commun (région N=1,00, colonne 6). Ces valeurs doivent être comparées avec les contributions théoriques obtenues par la matrice de transition de Markov initiale (colonne 7) et après itérations (colonne 8). Le coefficient de variation ( $100 \times s/x$ ) permet de comparer la variabilité annuelle des débarquements des régions (colonne 3).

Région (1)	Captures moyennes (tm) (2)	Coefficient de variation (%) (3)	Taux d'exploitation (%) (4)	Quantité estimée (tm) (5)	Proportion de N (6)	Matrice de Markov	
						initiale (7)	finale (8)
Îles-de-la-Madeleine	1 239,73	18,82	80 <sup>b</sup>	1 549,66	7,35	1,30	2,99
Côte	14,92	53,99	20 <sup>a</sup>	74,55	0,35	0,30	0,11
Anticosti	13,96	128,42	16 <sup>c</sup>	87,18	0,41	0,60	0,16
K	142,96	38,33	90 <sup>d</sup>	158,77	0,75	0,80	0,71
L	249,56	37,99	90 <sup>d</sup>	277,23	1,30	0,90	0,94
M	277,90	18,07	90 <sup>d</sup>	307,88	1,46	1,25	1,29
N	189,88	27,99	90 <sup>d</sup>	210,95	1,00	1,05	0,96

<sup>a</sup> Taux d'exploitation approximatif

<sup>b</sup> Campbell (1980)

<sup>c</sup> Gauthier (1988)

<sup>d</sup> Ennis (1983a)

colonne d'eau (Hudon *et al.* 1986). Les mouvements des masses d'eau engendrés par les courants et les vents dominants pourraient donc avoir une grande influence sur le succès du recrutement larvaire, déterminant si les larves produites en un lieu donné atteindront le stade benthique sur place ou seront exportées vers l'autres régions.

Plusieurs études ont déjà mentionné l'effet favorable des vents dominants du SO sur la rétention des larves de homard le long de la côte ouest de Terre-Neuve (Templeman 1939; Templeman et Tibbo 1945; Huntsman *et al.* 1954; Squires 1970; Ennis 1983b). L'abondance de larves de homard ainsi que de leurs proies le long des côtes est significativement plus grande lorsque le vent souffle vers la côte plutôt que vers le large (Ennis 1983b). L'examen de la figure 1 suggère que la force et la direction des vents devraient avoir un effet différent sur des côtes rectilignes (régions M et N), et des côtes indentées de baies profondes orientées vers le SO (K) ou le NE (L). Les Îles-de-la-Madeleine ont déjà été identifiées comme une zone de recrutement homogène (Robinson 1979) où l'on observe un déplacement vers la face SE des larves produites sur la face NO, sous l'influence d'un vent du SO (Hudon *et al.* 1986).

Par conséquent, notre modèle doit inclure le kilométrage cumulatif des vents dans les axes NE et SO, pour tenir compte des déplacements des larves dans les masses d'eaux de surface.

*Hypothèse #3* : La survie des larves est liée aux conditions du milieu physique pendant leur phase planctonique.

La température : Le développement du premier stade larvaire peut s'effectuer dans des eaux de 7 à 20°C (Templeman 1936). À une température inférieure à 10°C, le passage des stades larvaires IV à V ne peut être complété (Templeman 1936). En raison de ces contraintes thermiques, les larves de homard devraient séjourner dans le plancton du nord du golfe de juillet à la fin de septembre, leur survie étant proportionnelle à leur vitesse de croissance, qui est elle-même une fonction de la température locale.

La salinité : Les larves de homard tolèrent mal les salinités inférieures à 19–20‰ (Templeman 1936), quoiqu'elles puissent éviter activement les eaux de salinité inférieure à 21 ou 22‰ (Scarratt et Raine 1967) en migrant vers le fond. Sur la côte ouest de Terre-Neuve, la salinité varie entre 30 et 31.5‰ (Squires 1970; Squires *et al.* 1974). Sur la Côte Nord, des salinités inférieures à 21‰ sont parfois observées dans les 3 premiers m entre juillet et septembre (Gaudet 1986; Thomas 1989), alors que les valeurs habituelles oscillent entre 25 et 29‰, ce qui n'affecte les larves que dans certains cas particuliers.

Le mélange vertical et la production primaire : L'apport d'éléments nutritifs par les débits d'eau douce et le mélange vertical dû au vent ont pour conséquence d'augmenter la production planctonique, pouvant ainsi contribuer indirectement à la survie des larves (Bugden *et al.* 1982). Les larves de homard sont carnivores, utilisant des proies d'une taille qui croît avec la séquence des stades larvaires (Harding *et al.* 1983). La survie des larves est affectée par la quantité et la qualité du zooplancton (Scarratt 1964; Templeman 1936) dont l'abondance est mal connue dans le nord du golfe (Steven 1974). Cependant,

une production secondaire accrue peut engendrer soit une meilleure production de nourriture pour les larves (survie), soit une production accrue de prédateurs des larves de homard (mortalité), ce qui nous empêche de déterminer *a priori* la direction de l'effet attendu.

Les variables physiques devant être incluses dans le modèle pour évaluer la survie des larves sont donc la température, les apports de sels nutritifs via les débits d'eau douce et le mélange vertical dû au kilométrage cumulé des vents de toutes directions.

*Hypothèse #4* : Le nombre d'années de décalage entre la déposition larvaire et les débarquements est déterminé par le taux de croissance benthique dans la région de déposition larvaire.

Le taux de croissance du homard varie entre les régions, étant une fonction directe de la température au fond. Cette dernière est beaucoup plus élevée aux Îles-de-la-Madeleine que sur la côte ouest de Terre-Neuve, où elle est supérieure à celle de la Côte Nord. La croissance des homards étant directement reliée au régime thermique, on devrait s'attendre à ce que les homards provenant des régions froides prennent un plus grand nombre d'années à atteindre la taille commerciale.

Sur la côte ouest de Terre-Neuve, Ennis (1980) estime que les homards atteignent la taille commerciale après 8 à 9 années de croissance. Compte tenu des différences de température entre les régions, nous avons fixé le décalage dû à la période de croissance benthique, entre la période de déposition des larves et la taille minimale de pêche légale, à 8 ans pour les régions K et L et à 9 ans pour les régions M et N dont les eaux sont plus froides. Ce même décalage de 9 ans a été utilisé pour la Côte Nord et l'île d'Anticosti, où la température au fond est au moins aussi froide, sinon plus froide, que dans les régions M et N (fig. 3a). Aux Îles-de-la-Madeleine, le décalage dû à la croissance benthique a été fixé à 7 ans, quoique la période de croissance avant l'atteinte de la taille minimale légale puisse être différente sur les faces nord-est et sud-ouest, cette dernière étant nettement plus chaude (Hudon 1987).

La production de larves repose essentiellement sur le nombre et la taille des femelles ovigères, qui sont en principe exclues de la pêche durant toute la période où elles portent leurs oeufs. Le homard femelle porte les oeufs sous son abdomen pour une période d'environ 10 à 12 mois (voir la revue d'Aiken et Waddy 1986). La durée de développement des oeufs permet de déterminer que la survie des larves produites par la population de homards pêchés au cours de l'année (*t*) sera une fonction des conditions physiques lors de l'éclosion des oeufs au cours de l'année (*t* + 1 an). Il en découle que le décalage utilisé pour calculer la relation entre le stock et la production de recrues sera d'une année de plus que celui utilisé pour les variables physiques ayant un effet sur la survie des larves.

Au sein d'une même région, la déposition benthique peut s'étendre sur plus de deux mois, avec pour conséquence que l'intervalle de taille d'une cohorte pourrait couvrir quatre stades de mue dès la fin de la première saison de croissance (Hudon 1987). Cet écart, combiné à la forte variabilité individuelle des taux de croissance (Hughes et Mathiessen 1962; Wilder 1953), pourrait avoir

pour résultat que différents individus d'une même cohorte pourraient entrer dans la pêche au cours de plusieurs années successives (Hudon 1987). Les bénéfiques d'une seule année favorable au recrutement larvaire pourraient donc être dilués dans le temps. Cette relation assume de plus que la mortalité a surtout lieu au stade planctonique plutôt que lors des premiers stades benthiques (post-larves et juvéniles), ce qui reste à démontrer en nature (Hudon 1987).

**Hypothèse #5 :** Il existe une relation entre le stock adulte exposé à l'exploitation et le nombre de larves, et éventuellement d'adultes produits par ce même stock.

La nature exacte de la relation stock-recrutement reste toujours à déterminer pour le homard américain. L'existence d'une rétroaction positive entre le nombre de larves produites par le stock et l'abondance même de ce stock devrait induire la non-indépendance des valeurs des séries temporelles de données de débarquement, susceptible de se manifester sous la forme de cycles d'abondance (autocorrélation positive). Le calcul de cette relation suppose l'existence d'une relation de proportionnalité entre les différents segments de la population d'une région donnée, en tenant compte du décalage entre la ponte et la taille adulte : débarquements adultes  $\propto$  femelles ovigères  $\propto$  oeufs  $\propto$  juvéniles

Une analyse de l'autocorrélation temporelle des débarquements bruts de chacune des régions n'indiquait aucune fluctuation cyclique significative aux périodes comprises entre 5 et 11 ans, qui représentent les valeurs extrêmes des périodes pouvant correspondre à la durée de croissance du homard. Des fluctuations cycliques d'abondance auraient possiblement indiqué une forte rétention locale de larves; celles-ci auraient cependant pu être masquées par un apport de larves provenant d'autres régions, selon le régime de circulation engendré par les vents et les courants (Hypothèse 2), par une survie différentielle des larves dans le plancton (Hypothèse 3) ou par l'arrivée d'une même cohorte à la taille minimale légale au cours de plusieurs années successives (Hypothèse 4).

### Sources des données et méthodologie

Les données historiques de débarquement et d'effort de pêche au homard ont été fournies par le Ministère des

Pêches et des Océans (régions de Terre-Neuve, du Golfe et du Québec) et par le Bureau de la Statistique du Québec. L'autocorrélation des débarquements de chaque région a été calculée sur les données brutes avec un décalage annuel croissant pour détecter la présence de cycles d'abondance. Les échanges de larves entre les régions ont été modélisés à l'aide d'une matrice de transition de Markov ( $8 \times 8$  cellules); aux sept régions du tableau 1 a été ajoutée une huitième région « au large » rendant compte des larves exportées hors des zones de pêche. Cette matrice a été multipliée par elle-même jusqu'à sa stabilisation asymptotique pour déterminer si le réseau d'échange élaboré pouvait correspondre à l'importance relative des débarquements observés dans chaque région.

### Relation climat-hydrographie

Dans le cadre d'une étude précédente (Lavoie *et al.* 1986), 17 images des satellites NOAA 6 et 7 ont été obtenues pour 1981 et 1984. Six de ces images (fig. 2) sont présentées au tableau 2. La plupart d'entre elles couvrent une partie du secteur à l'étude, entre Natashquan et Saint-Augustin, selon le couvert de nuages. Il s'agit d'images infrarouges thermiques qui permettent de visualiser les variations de température de l'eau à la surface de la mer. L'interprétation de ces images a été faite en fonction des patrons de répartition des températures de l'eau (Lavoie *et al.* 1986). Les informations présentées ici mettent plutôt l'accent sur les relations avec les conditions météorologiques.

Ces images satellite ont été corrigées géométriquement et sont donc superposables. On a appliqué une correction radiométrique à partir des valeurs obtenues pour des corps noirs servant à l'étalonnage du radiomètre qui enregistre les images. Pour les images de 1981, nous avons employé les valeurs moyennes de la correction obtenues du Service de l'Environnement Atmosphérique d'Environnement Canada à Toronto. Une correction atmosphérique additionnelle a été réalisée à partir de données de température de la surface de l'eau relevées lors d'une campagne océanographique (D. Lefavre, MPO, Région du Québec, comm. pers.), et à partir de mesures provenant de navires (Vigeant 1987).

TABLEAU 2. Caractéristiques climatiques au moment de la prise des images NOAA présentées à la figure 2 (A-F). L'intervalle des températures enregistrées à la surface des eaux est indiqué après calibration. Les phénomènes hydrographiques observés sur chaque image sont indiqués (x). Le code de l'image indiqué entre parenthèses fait référence au code utilisé dans l'étude de Lavoie *et al.* 1986. T : présence de tourbillons; R : présence de remontées d'eau profonde le long de la côte; Grad. : présence d'un gradient thermique dans l'axe E-O.

Image et code	Date Jr/mo/an	Heure GMT	Température		Vent		Pression Barométrique	T	R	Grad.
			Min	Max	Vitesse km • h <sup>-1</sup>	Direction N-S-E-O				
A (B)	22 mai 81	11:41	2,18	6,97	15	NE	Haute	x		
B (J)	27 sep. 81	07:48	9,13	15,77	10-20	NO	-			x
C (K)	8 mai 84	19:14	-0,13	8,16	10-25	O	Haute	x	x	x
D (L)	27 mai 84	18:41	2,46	11,05	30-40	O-SO	-	x	x	x
E (M)	24 juin 84	19:38	5,49	12,98	15-25	S-SO	Haute		x	
F (Q)	30 sep. 84	19:34	3,52	11,98	15-30	SO	Haute	x	x	x

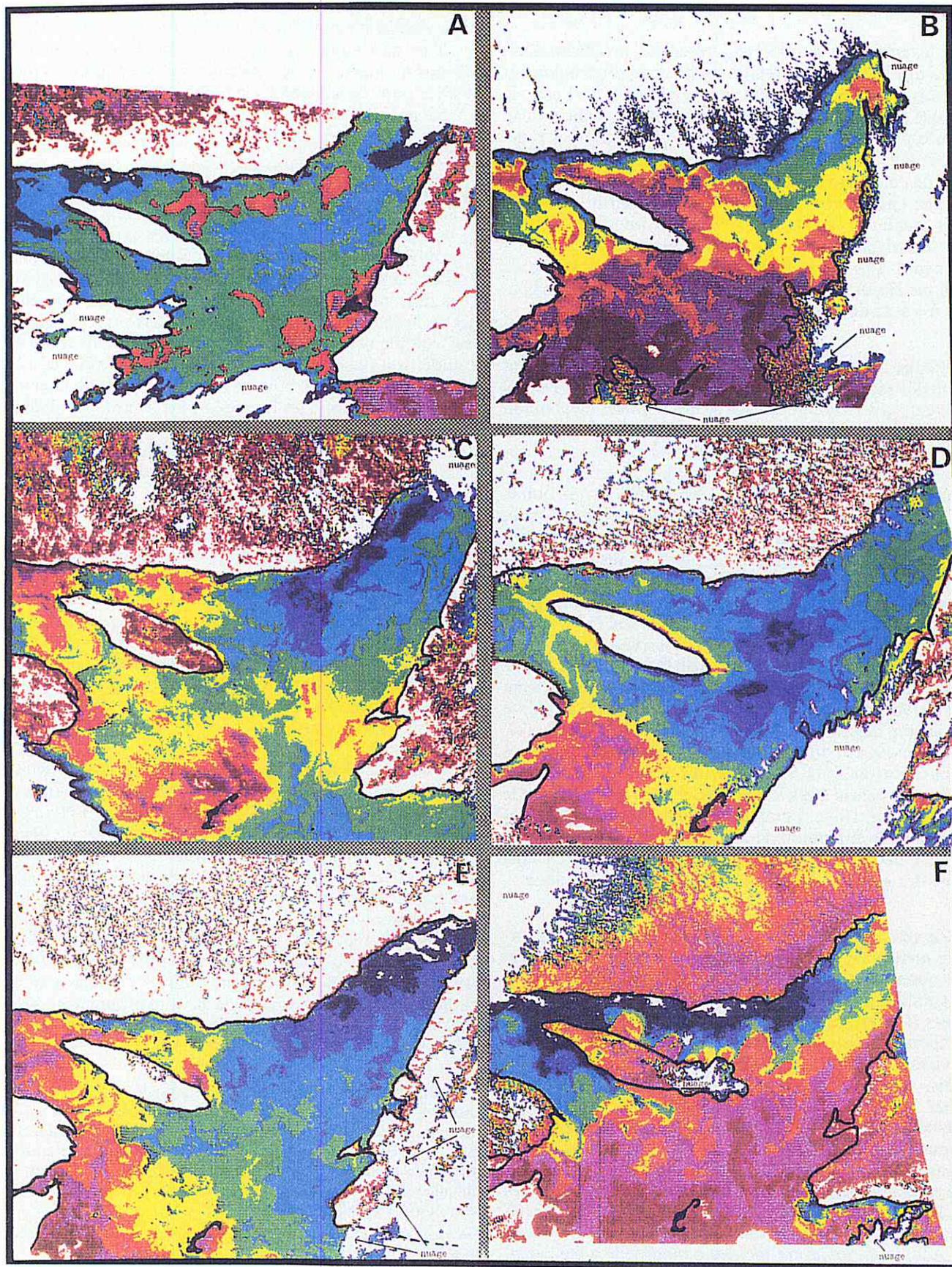


FIG. 2. Images satellite NOAA montrant les différentes caractéristiques de la circulation dans le nord du golfe du Saint-Laurent. Les teintes de couleur allant du bleu foncé au rouge clair indiquent des températures de plus en plus élevées. Les dates et conditions climatiques dans lesquelles les images ont été prises ainsi que les minima et maxima de l'échelle des températures sont indiqués au tableau 2.

## Variables physiques

L'examen des hypothèses présentées précédemment, ainsi que l'analyse des relations climat-hydrographie ont permis de déterminer que la température de l'eau, la vitesse et la direction du vent, ainsi que les débits d'eau douce provenant du Saint-Laurent et des grandes rivières de la Côte Nord du Québec devaient être considérées lors de l'élaboration des modèles prédictifs des débarquements. Les données climatiques ont été fournies et analysées par le service de statistiques maritimes du Service de l'environnement atmosphérique (Environnement Canada). Les modèles prédictifs des débarquements de chaque région par les variables physiques ont été calculés à l'aide de régressions multiples.

*Vitesse et direction des vents* — Les statistiques de vent pour les régions ont été obtenues au moyen des calculs de vents géostrophiques à partir des données de pression en surface aux 6 h à des points de grille séparés de 381 km et fournis par le Fleet Numerical Oceanography Center (Mendhall *et al.* 1978). La banque de vents géostrophiques aux 6 h entre 1946 et 1986 pour les trois points de grille utilisés (les plus rapprochés du secteur à l'étude, fig. 1) est accessible au Centre climatologique canadien (Swail 1985) et a été utilisée ici pour calculer le kilomètre parcouru par le vent au cours des mois de juillet à septembre selon les deux directions divisées selon l'axe 135°–315°, soient NE et SO (fig. 1). Le lien entre le vent géostrophique et celui réellement observé en surface est complexe et dépend entre autres de la latitude, de la stabilité atmosphérique, de la baroclinicité, de la rugosité du terrain, de la courbure des isobares et de la variabilité du champ de pression. Malgré ces contraintes, Swail *et al.* (1984) montrent que les vitesses des vents géostrophiques sont en moyenne 11 % supérieures aux valeurs mesurées et que les écarts dans les directions sont en moyenne de 15° environ. Donc, l'emploi de la banque des vents géostrophiques aux points 1, 2 et 3 pour estimer le kilomètre parcouru par le vent et son influence sur le transport des eaux en surface constitue un choix logique.

*Température de l'eau* — L'estimation de la température mensuelle de l'eau en surface a été faite au moyen des observations météorologiques recueillies depuis 1860, en subdivisant le nord du golfe du Saint-Laurent en trois zones (fig. 1), pour lesquelles toutes les observations de température de l'eau en surface, recueillies à bord des navires en transit, ont été groupées par année et par mois. Ces zones correspondent au chenal de Mingan (5022 obs.), au chenal d'Esquiman (20182 obs.) et au chenal Laurentien (23991 obs.). Afin de s'assurer que les données de température de l'eau de chaque zone soient raisonnablement réparties au cours du mois, celles-ci ont été regroupées selon le choix arbitraire des trois périodes de 10 jours (décades) de chaque mois. Pour les mois où on possède au moins une observation pour chaque décade, la température moyenne mensuelle a été calculée en faisant la somme des valeurs moyennes décadaires du mois divisée par 3. Cette température moyenne mensuelle devrait physiquement s'approcher plus de la vraie valeur climatologique puisque chaque décade se voit attribuer le même poids lors du calcul de la moyenne.

Faisant l'hypothèse que la température de l'eau d'une zone est directement liée au régime thermique des masses d'air de chaque région, on a élaboré un modèle de régression linéaire pour calculer les températures de surface pour les années où la couverture par les navires n'était pas suffisante :

$$T_{\text{eau}} = T_{\text{eau}}(i) - T_{\text{eau}}(i-1) = a + b * [T_{\text{air}}(i) - T_{\text{air}}(i-1)]$$

où  $T_{\text{eau}}(i)$  et  $T_{\text{air}}(i)$  sont respectivement les températures moyennes mensuelles de l'eau et de l'air observées au mois  $i$ ;  $T_{\text{eau}}(i-1)$  est la température moyenne mensuelle de l'eau observée au cours du mois précédent;  $a$  et  $b$  sont les coefficients de régression. Ce modèle exige donc que l'on connaisse les températures moyennes de l'eau durant deux mois consécutifs, ainsi que les températures moyennes mensuelles de l'air à des stations terrestres considérées comme représentatives des trois zones maritimes à l'étude, soit Natashquan (1913–1986) pour le chenal de Mingan, Daniels Harbour (1946–1986) pour le chenal d'Esquiman, et enfin les Îles-de-la-Madeleine (1871–1986) pour le chenal Laurentien (tableau 3). Les données des stations terrestres sont archivées au Centre climatologique canadien, SEA. La pente des équations correspondant à chacune des zones (tableau 3) indique qu'en moyenne, la température de l'eau augmente d'un °C pour une augmentation de deux °C de la température de l'air.

Les valeurs de température et de vent obtenues pour les trois secteurs décrits à la figure 1 ont été extrapolées pour chacune des régions statistiques en faisant la moyenne des valeurs pour les secteurs adjacents. Par exemple, la température moyenne à l'île d'Anticosti a été calculée comme la moyenne des températures estivales des trois secteurs (Esquiman, Jacques-Cartier et Laurentien), puisque les eaux des trois secteurs baignent la pointe est où se pêche le homard.

*Débits d'eau douce* — Les données historiques de débit des rivières de la Côte Nord ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) ont été fournies par le Service des Relevés hydrologiques d'Hydro-Québec; celles-ci sont disponibles pour les années de 1946 à 1986. Un indice de débit estival a été calculé à partir des valeurs centrées-réduites des débits de juillet, août et septembre pour les six plus grandes rivières de la Côte Nord (Brosseau 1979). Les données historiques de débits du Saint-Laurent ( $1000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) pour les mois de juillet, août et septembre telles que rapportées par Bugden *et al.* (1982) ont été utilisées. Ces mois ont été choisis parce qu'ils correspondent à la période larvaire proprement dite en l'absence d'information objective sur le décalage exact entre le débit et la production.

TABLEAU 3. Valeurs obtenues pour les équations de régression entre les différences de température de l'air et de l'eau de surface pour deux mois consécutifs de l'année pour les données historiques de température. La valeur moyenne de température mensuelle a été obtenue en faisant la moyenne des valeurs obtenues par période de 10 jours, pour tous les mois de l'année sans couvert de glace.

Région	Ordonnée à l'origine (a)	Pente (b)	r <sup>2</sup>	P	n
Chenal Mingan	0,1087	0,5042	0,768	0,0001	72
Chenal d'Esquiman	-0,0078	0,4978	0,748	0,0001	182
Chenal Laurentien	0,3841	0,4711	0,802	0,0001	309

## Élaboration d'une hypothèse quant aux effets du climat et de l'hydrographie sur l'advection et la survie larvaire du homard dans le nord du golfe

### Relation climat-hydrographie et conséquences sur l'advection larvaire

Les images satellite apportent une vue intégrée des patrons généraux des mouvements des masses d'eau, tout en permettant de visualiser les variations synoptiques des températures de surface. Il est également possible grâce aux images satellite de déterminer l'interaction entre les conditions climatiques et l'hydrographie pour l'ensemble du secteur d'étude, ce qui permet d'inférer où se trouvent les conditions favorisant, ou non, le recrutement larvaire du homard.

Les images satellites (fig. 2, tableau 2) permettent d'identifier deux types de phénomènes hydrographiques ayant un impact potentiel sur l'advection et la survie des larves de homards. Ces phénomènes sont la circulation tourbillonnaire dans le nord du golfe et les remontées d'eau froide; ils engendrent le gradient thermique observable dans l'axe est-ouest entre la Côte Nord du Québec et la côte ouest de Terre-Neuve.

La présence de tourbillons est suggérée sur les images satellite du nord du golfe, où l'on observe des masses d'eau de forme curvilinéaire dans le chenal d'Esquiman (fig. 2c, d, f) (Huntsman *et al.* 1954) ainsi qu'entre l'île d'Anticosti et la côte ouest de Terre-Neuve (fig. 2c, f) (Murty et Taylor 1970; El-Sabh 1976). Une fois exportées vers le large, les larves de homard pourraient être maintenues par une circulation tourbillonnaire dans les eaux du large, les empêchant de regagner les eaux côtières où la déposition benthique aurait le plus de chances de se produire avec succès. Ces larves exportées et maintenues au large seraient perdues pour le recrutement de leur région d'origine sans pouvoir contribuer au recrutement d'une autre région (Templeman 1939).

Les remontées d'eau profonde le long de la Côte Nord du Québec, dues à l'effet du vent (Huntsman *et al.* 1954; Lauzier *et al.* 1957; Bailey 1958), sont observables sur quatre images (fig. 2c, d, e, f), correspondant à des vents parallèles à la côte (O et SO) (Rose et Leggett 1988, tableau 2). L'étendue de la nappe d'eau froide de surface semble proportionnelle à la force et à la durée de l'épisode de vent : elle s'étend généralement de 4 à 25 km en direction SSE, quoiqu'elle ait atteint 55 km en conjonction avec des vents de 25 à 50 km • h<sup>-1</sup> (tableau 2, fig. 2f).

La présence d'un fort gradient thermique dans les eaux de surface (Lauzier *et al.* 1957; Messieh et El-Sabh 1979; Weiler et Keeley 1980; Vigeant 1987), dans l'axe est-ouest, est visible sur plus de la moitié des images (fig. 2 b, c, d, f). La Côte Nord du Québec affiche des températures inférieures de 1 à 7°C à celles observées sur la côte ouest de Terre-Neuve (fig. 2, 3, tableaux 2, 4). Chez les larves, la température joue un rôle important pour leur croissance et leur survie, qui se trouve compromise à moins de 10°C (Templeman 1936). Dans ces conditions, les larves produites dans les eaux de la Côte Nord du Québec pourraient être (1) soit exposées à des eaux froides si elles

sont retenues sur la Côte Nord, ce qui aura pour effet de diminuer leur croissance et d'augmenter leur taux de mortalité, ou encore (2) exportées vers les eaux plus chaudes de la côte ouest de Terre-Neuve. Ce même gradient existe au fond (10–15 m) entre avril et octobre (fig. 3A) avec pour conséquences probables d'augmenter la taille à maturité sexuelle et, de diminuer le taux de croissance (voir la revue par Aiken et Waddy 1986) et la vulnérabilité à la capture dans les zones plus froides (McLeese et Wilder 1958).

On peut généraliser ces observations en utilisant (1) les statistiques historiques (1946–1986) de direction de l'axe NE–SO des vents dominants dans le nord du golfe de juillet à septembre, en considérant de plus (2) la direction de la dérive d'Ekman selon laquelle le mouvement des masses d'eau se fait dans une direction perpendiculaire à celle du vent. Ceci permet d'évaluer que la direction et la fréquence des vents favorisant la rétention des larves produites localement pour chacune des régions (tableau 4) correspond aux vents du NE pour les Îles-de-la-Madeleine (fréquence de 25 % de juillet à septembre), la Côte Nord (31 %) et l'île d'Anticosti (27 %), et du SO pour la côte ouest de Terre-Neuve (74–78 %). Le kilométrage cumulé des vents de direction favorable reflète la dominance des vents du SO, indiquant que le régime normal de vents encourage les pertes par advection des larves de la Côte Nord et de l'île d'Anticosti vers la côte ouest de Terre-Neuve.

Les observations précédentes indiquent une importante interaction entre les facteurs climatiques et le régime hydrodynamique local, qui ont tous deux des effets potentiels importants sur l'advection et la survie des larves de homard durant leur phase planctonique.

### Effets du régime thermique sur la survie larvaire

Les différences régionales de température de surface permettent de comparer la durée des stades larvaires et la date de déposition benthique des larves produites dans chaque région. Une revue des études précédentes (Harding *et al.* 1983) nous a permis de calculer que l'apparition de larves de stade I se produit à une température moyenne de 12.7°C en surface et de 9.1°C au fond. On peut donc estimer que les premières larves devraient éclore dès la fin mai à Port-au-Port Bay (région L), plus d'un mois avant le début de l'éclosion à La Tabatière (région CN) (fig. 3B). Les larves écloses à Port-au-Port devraient atteindre le stade benthique (V) dès le début d'août, soit juste avant le maximum estival de température. L'éclosion hâtive et la déposition benthique en conditions optimales de température ont été précédemment observées aux Îles-de-la-Madeleine, et permettent sans doute de maximiser la survie larvaire en diminuant la période de vulnérabilité planctonique (Hudon et Fradette 1987). De plus, une déposition benthique hâtive permet aux post-larves de continuer de croître sur le fond avant leur premier hiver (Hudon 1987). D'autre part, les premières larves écloses à La Tabatière n'atteindront le stade IV qu'à la fin août, époque trop tardive pour permettre leur mue au stade V, étant donné le refroidissement rapide des eaux. Par conséquent, les faibles

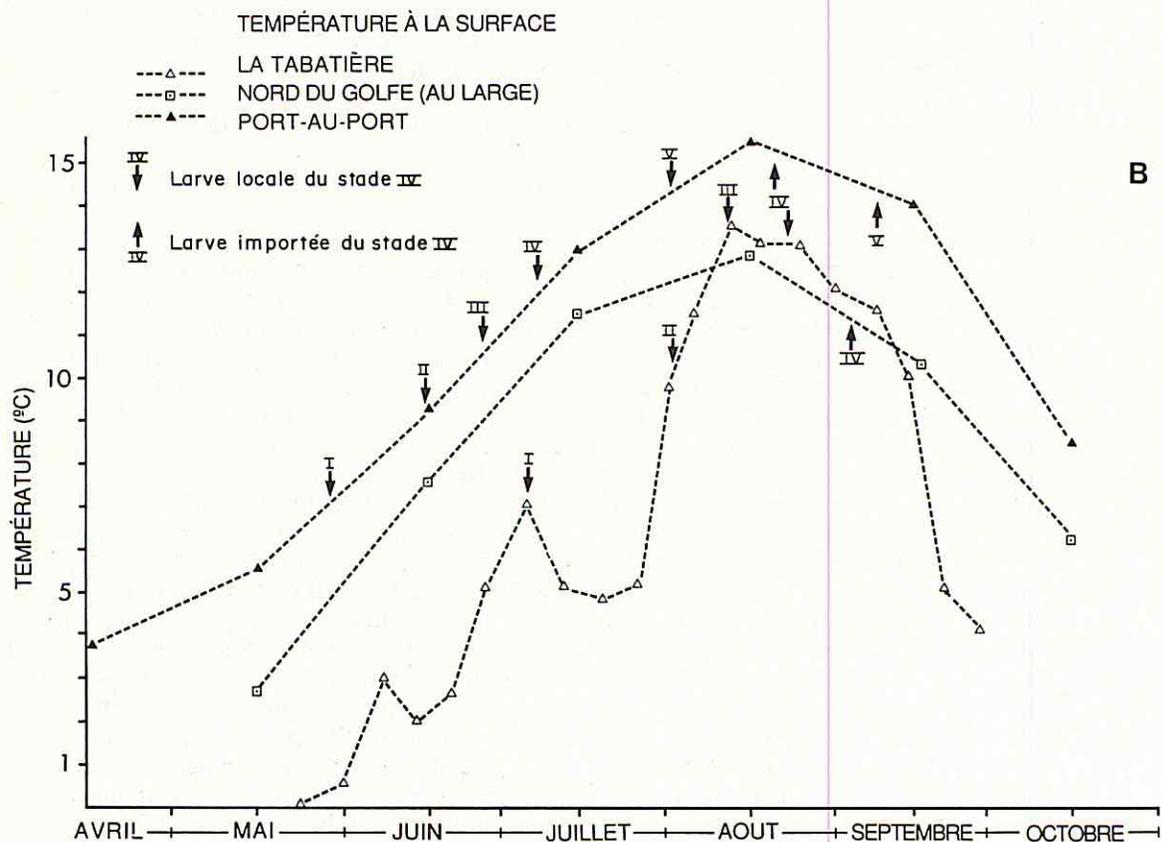
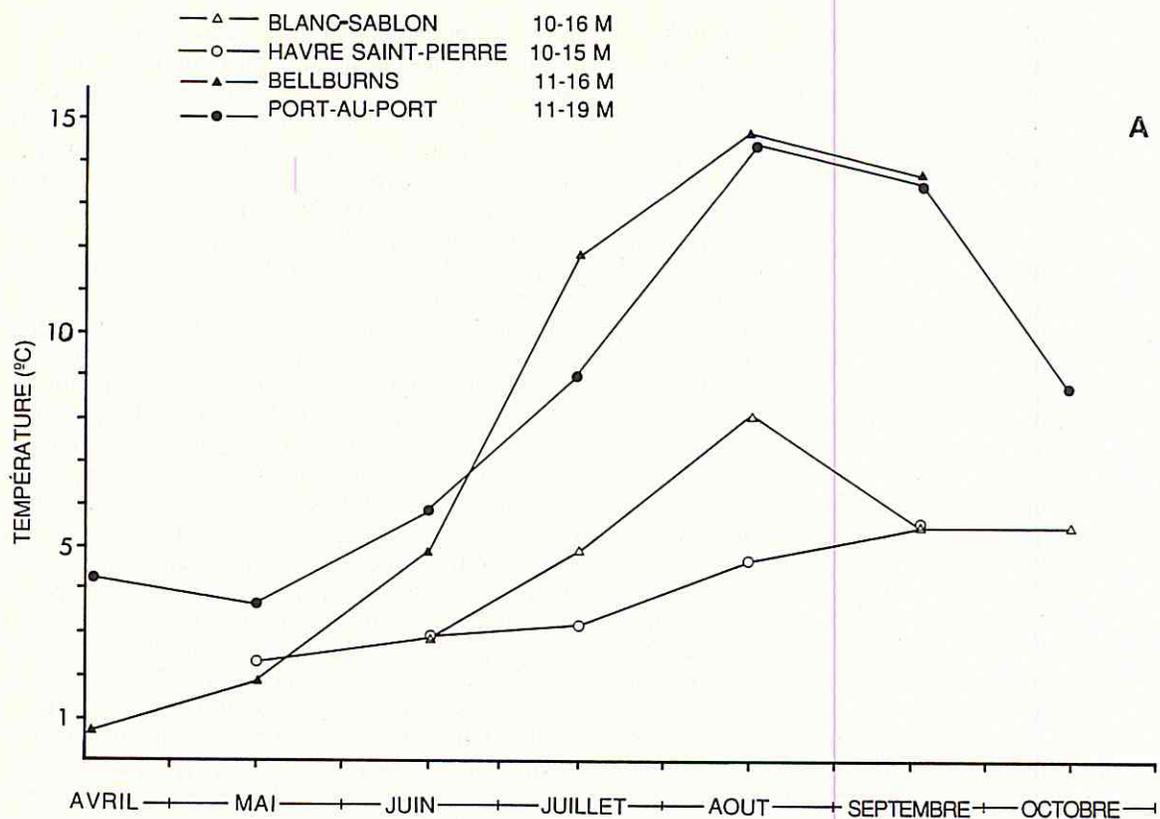


FIG. 3. Variations saisonnières (avril à octobre) de température au fond (A) et à la surface (B) à différentes stations côtières dans le nord du golfe. (B) Les flèches indiquent la date à laquelle les larves locales (flèches vers le bas) ou importées depuis la Côte Nord du Québec (flèches vers le haut) atteindraient chaque stade. Les valeurs de température au fond proviennent des publications suivantes : La Tabatière : Gaudet 1986; Havre Saint-Pierre, Blanc Sablon, Bellburns : Dobson et Petrie 1982, 1983, 1984, 1985; Baie de Port au Port : Squires 1970.

températures de surface enregistrées pour l'été 1985 à la Tabatière ne devraient pas avoir permis la croissance des larves produites localement jusqu'à leur déposition benthique. La température de surface locale apparaît donc comme un facteur critique du succès du recrutement larvaire.

Cependant, si les larves produites à La Tabatière avaient été exportées vers le large en direction de Terre-Neuve après avoir atteint le stade III, leur développement en aurait été modifié (fig. 3B). D'abord, les larves exportées au large et maintenues dans les tourbillons auraient atteint le stade IV au début de septembre, peu après celles retenues dans les eaux côtières du Québec, sans toutefois pouvoir passer au stade V. Quant aux larves exportées du Québec jusque dans les eaux côtières de Terre-Neuve, elles auraient atteint le stade IV à la mi-août, se déposant sur le fond à la mi-septembre (fig. 3B). Par conséquent, les effets défavorables des faibles températures de surface sur la Côte Nord pourraient être compensés par l'exportation des larves par le vent jusqu'à la côte ouest de Terre-Neuve.

## Élaboration de modèles

### Modèle d'échange de larves entre les régions du nord du golfe

L'apport de larves provenant d'autres régions, selon le régime de circulation engendré par les vents et les courants (Hypothèse 2), est modélisable sous la forme d'une matrice de transition de Markov dont les 8 cellules correspondent aux 7 régions à l'étude, plus une région additionnelle désignée comme la région centrale (AL) du nord du golfe (tableau 5). Cette région (AL) représente les eaux du large vers lesquelles les larves peuvent être exportées par les vents et les courants, entraînant leur perte pour les zones côtières (2<sup>e</sup> ligne); elle rend compte des pertes différentielles de larves entre les régions, quoique les différences réelles de mortalité entre les régions ne puissent être évaluées ici. L'absence de population de homard hauturier dans le chenal d'Esquiman suggère l'absence de survie des larves entraînées vers et retenues dans les eaux du large.

TABLEAU 4. Moyenne et écart type (entre parenthèses) des variables physiques (1946-1986) utilisées pour chaque région dans le modèle de régression multiple entre les débarquements de homards et les facteurs physiques.

Région	Température °C	Vents favorisant la rétention			Mélange : vent toutes directions
		Direction	Fréquence %	Force km cumulatif	km cumulatif
Îles-de-la-Madeleine	13,8	NE	25,5	45 412	60 966
	(0,6)		(6,4)	(4 757)	(4 127)
Côte Nord	11,2	NE	31,3	19 220	61 596
	(0,6)		(9,2)	(5 635)	(4 862)
Anticosti	11,8	NE	26,7	16 942	64 110
	(0,5)		(7,5)	(4 892)	(4 464)
K	13,8	SO	74,5	45,412	60,966
	(0,6)		(6,4)	(4 757)	(4 127)
L	12,5	SO	76,2	48 677	63 786
	(0,6)		(6,3)	(5 061)	(4 336)
M et N	11,2	SO	77,9	14 664	66 605
	(0,6)		(6,7)	(4 444)	(5 021)

TABLEAU 5. Matrice de transition de Markov simulant l'hypothèse que les débarquements du nord du golfe varient en fonction d'un échange de larves d'une région à l'autre. Les sept régions sont représentées avec une région additionnelle représentant les eaux du large (AL). Les valeurs en caractères gras indiquent la proportion des larves retenues dans leur région d'origine.

		Larves provenant de la région								Somme
		Îles-de-la-Madeleine (IM)	Au Large (AL)	Côte Nord (CN)	Île d'Anticosti (AN)	Côte ouest de Terre-Neuve				
						K	L	M	N	
Larves exportées vers les régions	IM	<b>0,9</b>	0,1	0	0	0,3	0	0	0	1,3
	AL	0	<b>0,1</b>	0,5	0,6	0,1	0,1	0,2	0,2	1,8
	CN	0	0,1	<b>0,2</b>	0	0	0	0	0	0,3
	AN	0	0,1	0,1	<b>0,4</b>	0	0	0	0	0,6
	K	0,05	0,05	0	0	<b>0,6</b>	0,1	0	0	0,8
	L	0,05	0,1	0	0	0	<b>0,75</b>	0	0	0,9
	M	0	0,2	0,1	0	0	0,05	<b>0,6</b>	0,3	1,25
N	0	0,25	0,1	0	0	0	0,2	<b>0,5</b>	1,05	
Somme	1	1	1	1	1	1	1	1	1	

Les proportions de larves exportées ont été évaluées empiriquement, en considérant la fréquence des vents engendrant des mouvements des masses d'eau dans cette direction (tableau 4), la possibilité d'échanges selon les mouvements des masses d'eau (fig. 2) ainsi que l'abondance relative du homard dans chaque région (tableau 1). Par exemple, pour les régions M et N, les vents qui engendrent un déplacement des eaux côtières vers le large sont du nord-est; ceux-ci prévalent à 22 % durant les mois au cours desquels les larves sont présentes dans le plancton (juillet, août, septembre), ce qui nous fournit une estimation de 0,2 pour la probabilité qu'une larve soit exportée vers le large. Des contributions peuvent aussi se faire directement vers une autre région; par exemple, le patron des courants dans le golfe nous permet d'estimer qu'une faible proportion des larves de la Côte Nord du Québec pourrait contribuer au bilan de l'île d'Anticosti (0,1) et des régions M et N (0,1). Le taux de perte de larves de la région L est comparativement plus faible (0,1 + 0,1 + 0,05) en raison de la configuration des baies de cette région, qui l'abritent quelque peu de la dérive due au vent.

Les larves entraînées au large dans le nord du golfe (AL) ne sont pas toutes perdues et une certaine proportion pourrait contribuer au bilan d'autres régions (2<sup>e</sup> colonne). D'après le patron de vent SO favorisant le transport des masses d'eau, cet apport pourrait être plus élevé à mesure que l'on se déplace vers le nord de la côte ouest de Terre-Neuve (0,05, 0,1, 0,2, 0,25), étant donné le patron de circulation général du secteur. La région K est pour sa part orientée directement vers le sud du golfe et pourrait bénéficier de l'apport de larves des Îles-de-la-Madeleine (0,3) ou des régions I et J (côte sud de Terre-Neuve) (non incluses ici). La rétention des larves aux Îles-de-la-Madeleine est la plus élevée (0,9) puisque la configuration de l'île produit une circulation gyrotoire, quelle que soit la direction du vent (Hudon *et al.* 1986).

La matrice n'est pas symétrique, puisqu'elle représente les mouvements potentiels de larves produites dans une région donnée (colonnes), lesquelles sont exportées vers chacune des autres régions (lignes). Ainsi, les patrons de courants favorisent l'exportation unilatérale de larves provenant de la Côte Nord du Québec (0,1) vers l'île d'Anticosti, mais non l'inverse (0). Enfin, une fois déterminés les échanges entre les régions, la diagonale (caractères gras) a été ajustée pour que la somme de chaque colonne soit égale à 1, et représente la proportion de larves retenues dans leur région d'origine. La somme des lignes équivaut au bilan des contributions en larves à chacune des régions, et reflète l'importance des populations de homards dans chacune des régions (tableau 1, colonnes 6 et 7).

La stabilité de ce modèle dans le temps est évaluée en multipliant la matrice par elle-même jusqu'à sa stabilisation asymptotique, laquelle indique le niveau auquel les populations locales devraient se maintenir si le processus en chaîne était homogène au cours du temps. Le bilan des contributions après stabilisation (tableau 1, colonne 8) indique qu'un tel modèle pourrait reproduire l'importance relative des débarquements dans chacune des régions. Deux éléments affectent fortement le niveau de convergence du bilan des contributions des régions après itération du modèle : (1) l'importance de la rétention locale et (2) la proportion de larves importées depuis le

large (région AL). Ainsi, le bilan après itération atteint rapidement de très fortes valeurs aux Îles-de-la-Madeleine (2,99, tableau 1) où la rétention est de 0,9 (tableau 5). Outre leur niveau de rétention locale relativement élevé (0,75 et 0,6), les régions L et M atteignent des contributions finales plus élevées (0,94 et 1,29, tableau 1) en raison des apports de larves provenant du large (0,1 et 0,2). Quoique basé sur des valeurs très approximatives, cet exercice suggère qu'il existe des échanges de larves suffisamment importants entre les régions statistiques du nord du golfe pour justifier son identification comme une seule unité de stock, puisque ces échanges pourraient contribuer de façon non négligeable aux débarquements dans la plupart des régions.

### Modèles explicatifs des débarquements à partir des variables physiques et biologiques

L'interaction entre les facteurs climatiques et hydrographiques d'une part, leurs effets sur l'advection et la survie des larves de homards d'autre part, et leurs conséquences ultérieures sur les débarquements impliquent un grand nombre d'étapes intermédiaires, résumées à la figure 4. Par exemple, le nombre de larves se déposant en un site donné est lié au nombre de larves produites localement (présumément en fonction du nombre d'œufs produits), ainsi qu'aux mouvements des masses d'eau dans lesquelles elles se trouvent, étant soit exportées par advection, ou retenues localement dans les tourbillons gyrotoires. D'autre part, la survie proprement dite des larves repose sur des températures de surface et sur une concentration de proies zooplanctoniques suffisamment élevée pour leur croissance et leur développement jusqu'au stade benthique.

Ce modèle nous permet de faire des prédictions quant aux effets de certaines combinaisons climatiques-hydrographiques sur le succès du recrutement dans les régions du nord du golfe. D'une manière générale, le recrutement larvaire devrait être favorisé sur la côte ouest de Terre-Neuve dans les conditions de vents SO qui prédominent dans ce secteur. Ces vents provoquent la remontée d'eau profonde froide le long de la Côte Nord du Québec, y engendrant des températures faibles et contribuant à l'exportation des larves locales vers Terre-Neuve. Ces conditions semblent expliquer les différences d'importance du homard sur la côte ouest de Terre-Neuve et de sa comparativement faible abondance le long de la Côte Nord du Québec. Le réseau d'influences des variables physiques et biologiques sur le succès du recrutement larvaire du homard (fig. 4) permet en outre de déterminer les variables devant être incluses dans le modèle prédictif des débarquements, ainsi que les décalages devant être utilisés pour chaque type de variable. Les variables exerçant un effet sur la survie larvaire doivent être décalées d'une année de moins que celles décrivant les apports de larves des régions, puisque l'apport de larves est fonction de la densité de population adulte porteuse d'œufs, dont l'éclosion ne survient qu'une année plus tard.

Pour la plupart des variables physiques, nous avons émis *a priori* des hypothèses quant au signe que devraient avoir les coefficients de régression, si bien que la plupart des tests de signification sont unilatéraux. Ainsi, nous

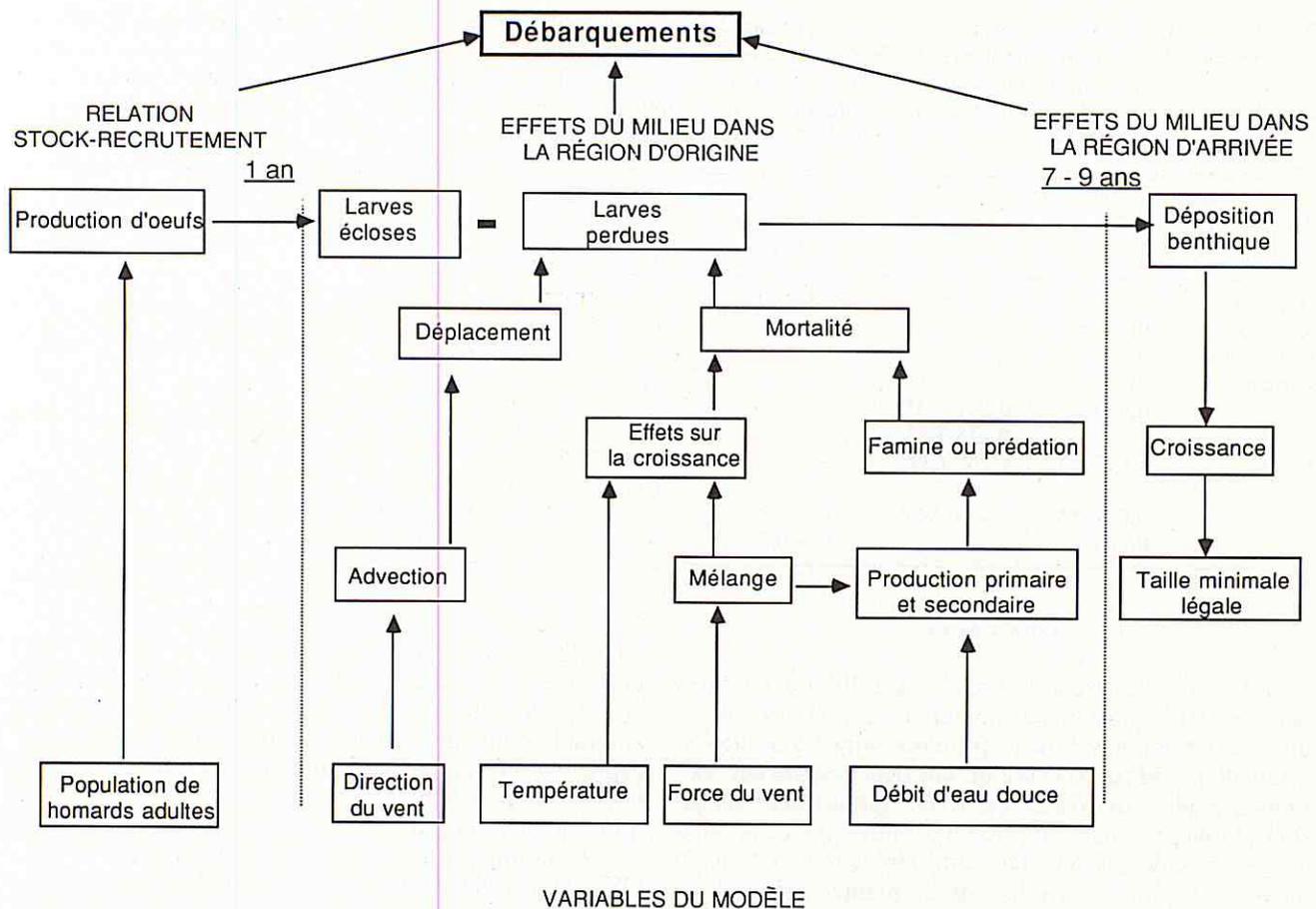


FIG. 4. Modèle intégrant l'ensemble des interactions prévues entre le climat, l'hydrographie et le recrutement larvaire du homard dans le nord du golfe, avec les décalages devant être utilisés pour les facteurs physiques et biologiques.

nous attendions à ce que les facteurs physiques aient un effet plus marqué dans la région d'origine des larves que dans la région d'arrivée; par exemple, l'exposition à des températures froides devrait affecter la croissance et la survie des larves dès l'éclosion, peu importe les mouvements des masses d'eau dans lesquelles elles se trouvent. La température devait donc toujours exercer un effet positif, que ce soit dans la région de départ ou dans la région d'arrivée des larves. D'autre part, les coefficients associés aux vents favorables à la rétention provenant de la région d'origine devraient avoir un signe négatif, tandis qu'ils devraient avoir un signe positif lorsqu'ils proviennent de la région d'arrivée. Enfin, les coefficients de régression des variables de mélange (kilométrage cumulé du vent total) et de débit d'eau douce peuvent prendre un signe positif ou négatif (test bilatéral) puisque ces variables peuvent avoir des effets indirects, parfois même dans des directions opposées (production secondaire, remontée d'eau profonde, effets thermiques, etc.), ce qui rend ces effets plus difficiles à prévoir.

Pour chaque région, l'équation de régression retenue (tableau 6) est celle qui maximise la signification du coefficient de détermination ( $r^2$ ) et qui ne contient que des coefficients de régression significativement différents de zéro, en tenant compte de la signification biologique des signes des coefficients de chaque variable selon les hypothèses énoncées ci-dessus. Ainsi, et comme le suggère

Lefkovitch (1965), tous les coefficients de régression négatifs pour l'apport de larves et pour la température ont été forcés à zéro, puisqu'un coefficient de régression négatif n'aurait aucun sens, même si cela entraîne une diminution subséquente de la quantité de variance expliquée par le modèle ( $r^2$ ).

En utilisant les 30 premières années de données à notre disposition, soit les débarquements de 1953 à 1982, des modèles significatifs ont pu être calculés pour toutes les régions, sauf celles de la Côte Nord et de l'île d'Anticosti. Les équations de régression résultantes pour les cinq autres régions affichent des coefficients de détermination ( $r^2$ ) allant de 0,47 à 0,70 et contiennent de deux à trois variables explicatives significatives (tableau 6). Aux Îles-de-la-Madeleine, les débarquements sont expliqués par une relation négative avec la fréquence des vents SO, ainsi que par les débits estivaux du Saint-Laurent. Les débarquements de la région K sont le mieux expliqués par l'apport de larves retenues dans les eaux locales (K) ainsi que par les larves importées des Îles-de-la-Madeleine. Les vents soufflant des régions K et Côte Nord, ainsi qu'un faible apport de larves de cette dernière région, expliquent en bonne partie les débarquements de la région L. Pour les régions M et N, la température et le mélange sont, avec l'apport de larves de l'île d'Anticosti vers M, les variables explicatives des débarquements.

TABLEAU 6. Comparaison des coefficients de régression linéaire simple obtenus pour le modèle optimal permettant de prédire les tendances des débarquements avec le décalage annuel approprié pour chaque région au moyen d'un sous-ensemble des variables étudiées. Les coefficients sont comparables entre eux étant donné que toutes les variables ont été préalablement centrées et réduites. La proportion de la variance expliquée ( $r^2$ ) est indiquée. La signification du  $r^2$  et des coefficients de régression est indiquée par : ns, non significatif; \*,  $P < 0.05$ ; \*\*,  $P < 0.01$ ; \*\*\*,  $P < 0.001$ .

Région	$r^2$	Larves	Temp °C	Déplacement	Mélange : vent toutes directions km cumulatif	Débits du Saint- Laurent	Décalage (années)
				km cumulatif			
Îles-de-la-Madeleine	0,555**	—	—	-1,388 K *** -1,324 AN***	—	0,469**	7
Côte Nord	ns	—	—	—	—	—	9
Anticosti	ns	—	—	—	—	—	9
K	0,474***	0,831 IM*** 0,615 K**	—	—	—	—	8
L	0,617***	0,285 CN <sup>ns</sup>	—	-1,219 CN*** -1,064 K***	—	—	8
M	0,697***	0,458 AN*	0,474 AN*	—	0,537 CN**	—	9
N	0,605**	—	0,440 L*	—	2,066 L***	—	9

### Discussion

Notre étude cherche d'abord à établir des relations entre les débarquements de homards et les facteurs physiques et biologiques dans le golfe du Saint-Laurent; son originalité réside dans le fait qu'elle tient compte des relations spatiales qui existent entre les régions, relations qui sont établies par la circulation hydrologique. Les modèles décrits ci-dessus devraient donc être perçus comme un moyen d'explorer ces relations de manière générale et d'établir des parallèles et/ou des contrastes entre les régions, afin de discerner les grandes lignes des mécanismes qui les affectent et leur confèrent leurs caractéristiques propres. Nous désirons enfin évaluer la pertinence de chercher à établir de tels modèles, considérant la précision des données présentement à notre disposition ainsi que l'absence d'autres données qui pourraient s'avérer utiles.

L'examen des coefficients de régression centrés-réduits (tableau 6) pour la relation prédictive des débarquements de chaque région indique que la fiabilité des données de base a une importance primordiale sur le succès d'élaboration d'une relation. Il était de rigueur d'essayer de développer un modèle pour les régions de la Côte Nord et de l'île d'Anticosti, quoique le manque de succès en ait été prévisible. En effet, les tendances à la hausse récemment observées dans les statistiques de débarquements de la Côte Nord résultent de l'amélioration de la prise des statistiques elles-mêmes plutôt que de captures accrues (G. Chantigny, Ministère des Pêches et des Océans, région du Québec, comm. pers.).

Les coefficients de régression calculés pour les Îles-de-la-Madeleine supportent l'importance de l'apport d'eau douce du Saint-Laurent, quoique nous ayons utilisé ici les valeurs cumulées de juillet à septembre, plutôt que les débits du fleuve au mois d'avril, comme le faisaient Sheldon *et al.* (1982). Les valeurs cumulatives estivales (juillet-août-septembre) de débit du Saint-Laurent sont d'ailleurs corrélées positivement ( $r$  de Pearson = 0,548\*\*\*), avec celles du mois d'avril. Le débit du Saint-Laurent affiche de plus une forte co-linéarité avec l'apport de larves provenant des Îles-de-la-Madeleine

( $r$  de Pearson = 0,76701\*\*\*), de la Côte Nord ( $r$  = 0,65338\*\*), ainsi que de la région K ( $r$  = 0,43155\*). Ce phénomène engendre l'élimination soit du débit ou encore de l'apport de larves de ces régions, lorsqu'on les introduit ensemble dans un modèle. La complexité des relations explicatives ainsi que les différences de signes des corrélations rendent leur interprétation hasardeuse. Il est à noter que la relation empirique de Sheldon *et al.* (1982) expliquait une proportion plus importante de la variance (77 %) que celle obtenue ici pour les Îles-de-la-Madeleine (56 %). Ceci est probablement lié à notre utilisation du critère de Lefkovitch (1965), qui force à zéro les coefficients n'ayant pas de signification biologique évidente et élimine de l'équation les coefficients non significatifs.

L'importance des apports de larves locales ou provenant des autres régions est perceptible dans les équations de régression pour les régions K, L et M. La configuration en une baie allongée tournée vers le sud du golfe pourrait favoriser les apports de larves vers la région K, d'origine locale, ou encore provenant des Îles-de-la-Madeleine ou de la côte sud de Terre-Neuve. Les régions L et M semblent aussi être liées à des apports extérieurs de larves de la Côte Nord et de l'île d'Anticosti, respectivement, quoique le peu de fiabilité de ces statistiques rende difficile la prédiction à long terme. Notons que dans ces deux cas, les coefficients de régression sont peu ou pas du tout significatifs.

Les régions L et Îles-de-la-Madeleine sont les seules où la fréquence des vents favorables à la rétention dans d'autres régions intervient. Dans ces deux régions, les coefficients sont négatifs, du même ordre de grandeur, et d'origine opposée (AN et CN: vent NE; K: vent SO, tableau 4), ce qui est difficile à interpréter. Or, ces deux régions sont celles où la configuration des côtes est susceptible de permettre une rétention locale comparative élevée.

L'effet de la force du vent intervient dans les équations des régions M et N, qui sont celles situées à l'extrémité nord de la péninsule d'Avalon, et sont donc les plus susceptibles de recevoir des apports des autres régions par la dérive d'Ekman des masses d'eaux sous l'influence des vents dominants estivaux SO. Ces deux régions nordiques

sont aussi les seules pour lesquelles la température semble jouer un rôle dans le succès du recrutement larvaire. La corrélation positive entre la température et les débarquements de plusieurs espèces marines à la limite nord de leur distribution avait déjà été soulignée par Drinkwater et Myers (1987). Des corrélations positives avec la température ont aussi été rapportées au Maine par plusieurs auteurs (Flowers et Saila 1972; Dow 1977; Fogarty 1988). Notons que les variables qui expliquent les débarquements des régions M et N sont très similaires, ce qui concorde avec la corrélation élevée des débarquements entre ces deux régions ( $r$  de Spearman = 0,54303 \*\*\*).

L'examen des prédictions du modèle pour les six années gardées en réserve pour la validation des modèles (1983-1988) montre que, pour toutes les régions, les modèles se mettent rapidement à diverger des niveaux de captures observés, prédisant toujours des captures inférieures à celles obtenues. L'examen de l'intervalle de confiance de 95 % des prédictions indique cependant que celles-ci correspondaient bien aux captures jusqu'à 1979; la divergence débute dès 1980, alors même que les années de 1980 à 1982 font partie des données ayant servi aux calculs des paramètres des modèles.

Plusieurs raisons peuvent être invoquées pour expliquer cette divergence. Une première raison est que les vents ont été calculés à partir d'un modèle théorique depuis 1978, alors qu'auparavant les données provenaient d'un modèle ajusté à partir d'observations directes; le résultat est un ensemble de données de vent dont la qualité n'est pas homogène, ce qui peut fort bien affecter les prédictions des années 1985-1987, selon les régions. Cependant, la divergence est observée depuis 1980 pour toutes les régions, même celles où le facteur vent n'intervient pas dans les modèles retenus; elle ne peut donc être expliquée à moins d'invoquer un autre type de changement, à plus grande échelle spatiale. Il est intéressant de noter que ce même genre de divergence sous-estimant les débarquements se trouve aussi dans les prédictions de Sheldon *et al.* (1982) à compter de 1985. Il est possible que ces divergences soient dues à un changement du patron d'effort de pêche ou de la qualité des statistiques de débarquement au cours des années 1970, ce qui, encore une fois, rendrait la série non homogène. Nous n'avons pas jugé bon de présenter les coefficients de régressions réels ou une courbe comparant les valeurs prédites et observées puisque là n'est pas le but de notre exercice. La présentation de relations malgré les limitations discutées ici pourrait inciter le lecteur à donner aux modèles une valeur prédictive qui ne peut leur être accordée.

À cet effet, il importe de mentionner les limites statistiques de modèles tels que ceux que nous avons présentés. Avant que de tels modèles puissent être employés pour réaliser des prédictions fiables, un certain nombre de conditions doivent être réalisées, et leur réalisation vérifiée. Les principales sont la constance des méthodes de prise des données servant de variables prédictives dans les modèles (i.e., leur stabilité temporelle), ainsi que l'assurance que le processus peut être décrit par un seul et même modèle, aussi bien dans l'intervalle de temps à prédire que dans celui où le modèle a été calibré. Les remarques ci-dessus montrent qu'à partir de 1978, la pre-

mière de ces conditions n'est plus réalisée pour les variables vents, et portent à croire que depuis les années '80 la condition de stationnarité pourrait ne plus être respectée, ce qui expliquerait la dérive des prédictions par rapport aux observations.

La diversité des variables affichant des coefficients significatifs dans les différentes régions à l'étude, ainsi que ceux obtenus par d'autres auteurs pour d'autres régions, suggèrent que les facteurs affectant le recrutement sont spécifiques aux conditions physiographiques de chaque région et qu'en conséquence chaque secteur doit être interprété en fonction d'un modèle qui lui est propre. Il est aussi possible que d'autres facteurs limitants, tels que la disponibilité d'habitats propices aux post-larves et juvéniles (Hudon, 1987) puissent agir dans certaines régions. Une étape essentielle à la suite de ce travail serait d'entreprendre une campagne de terrain pour vérifier la plausibilité des mécanismes que nous proposons.

## Conclusion

L'examen des hypothèses qui sous-tendent l'élaboration des modèles a permis de mettre en relief la complexité du cycle vital du homard et des facteurs susceptibles d'affecter son recrutement. Il importe de sélectionner les éléments qui engendrent la variabilité maximale des débarquements pour les modéliser, mais cette décision ne saurait se faire sans connaissances de la région à l'étude. La modélisation décrite ici montre l'effet potentiel des échanges de larves, de la direction des vents dominants, du mélange et de la température dans certaines régions. La tentative de validation de nos modèles avec les données récentes met cependant en évidence l'importance primordiale de disposer de données de débarquements et de données physiques de qualité homogène. Cela ne garantit cependant pas le succès d'une modélisation, puisqu'un modèle ne conserve sa valeur prédictive que si le processus à modéliser reste lui-même homogène au cours du temps.

Au-delà de la mise au point de modèles, notre étude fait ressortir la possibilité d'une forte dépendance du recrutement régional sur les échanges de larves à l'échelle du nord du golfe. La gestion inconsiderée d'une région donnée pourrait donc avoir des conséquences importantes sur les débarquements, non seulement dans cette région, mais également dans les secteurs avoisinants, bien au-delà des limites arbitraires de juridiction administrative. Ces considérations devraient pousser le gestionnaire à chercher à définir des cellules de recrutement homogènes dans le golfe et le long de la côte Atlantique. Ce concept s'apparente mieux à l'approche stock par stock préconisée pour la gestion des autres ressources marines que le système actuel de régions arbitrairement définies géographiquement. Le maintien des populations de homards sur la côte ouest de Terre-Neuve pourrait ainsi être critiquement lié à l'apport constant de larves provenant de la Côte Nord du Québec ainsi que de l'île d'Anticosti. Une augmentation de l'intensité d'exploitation dans ces deux régions pourrait avoir des conséquences importantes sur l'ensemble de la pêcherie de homard dans le nord du golfe du Saint-Laurent.

## Références

- AIKEN, D.E. ET S.L. WADDY. Environmental influence on recruitment of the American lobster (*Homarus americanus*): a perspective. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 2258-2270.
- ANTHONY, V.C. ET J.F. CADDY. 1980 [ED.]. Proceedings of the Canada-U.S. workshop on status of assessment science for N.W. Atlantic lobster (*Homarus americanus*) stocks. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 932: vii + 186.
- BAILEY, W.B. 1958. On the dominant flow in the Strait of Belle-Isle. *J. Fish. Res. Board Can.* 15: 1163-1174.
- BOUDREAU, F.-R., J.-N. DUPONT ET C. SYLVAIN. 1977. Modèles linéaires de prédiction des débarquements de homard aux Îles-de-la-Madeleine (golfe du Saint-Laurent). *J. Fish. Res. Board Can.* 34: 379-383.
- BROSSEAU, G. 1979. Profil hydrologique de la Côte Nord. Rapport pour Hydro-Québec. RSH41-79-14. 22 p. + 2 ann.
- BUGDEN, G.L., B.T. HARGRAVE, M.M. SINCLAIR, C.L. TANG, J.-C. THERRIAULT ET P.A. YEATS. 1982. Freshwater runoff effects in the marine environment: The Gulf of St. Lawrence example. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1078: 89 p.
- CADDY, J.F. 1979. The influence of variations in the seasonal temperature regime on survival of larval stages of the american lobster (*Homarus americanus*) in the southern Gulf of St. Lawrence. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. int. Explor. Mer* 175: 204-216.
- CAMPBELL, A. 1980. A review of mortality estimates of lobster populations in the Canadian Maritimes. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 932: 28-35.
- CAMPBELL, A. ET R.K. MOHN. 1983. Definition of american lobster stocks for the canadian maritimes by analysis of fishery-landing trends. *Trans. Am. Fish. Soc.* 112: 744-750.
- DADSWELL, M.H. 1979. A review of the decline in lobster (*Homarus americanus*) landings in Chedabucto Bay between 1956 and 1977 with an hypothesis for a possible effect by the Canso causeway on the recruitment mechanisms of eastern Nova Scotia lobster stocks. p. 113-144 *In* F.D. Cracken [ed.] Canso marine environment workshop, Part 3, Fisheries Impacts. *Fish. Mar. Serv. Tech. Rep.* 834: 163 p.
- DOBSON, D. ET B. PETRIE. 1982. Long-term temperature monitoring program 1981, Scotia-Fundy, Gulf regions. *Can. Data Rep. Hydrogr. Ocean. Sci.* 6.
1983. Long-term temperature monitoring program 1982, Scotia-Fundy, Gulf regions. *Can. Data Rep. Hydrogr. Ocean. Sci.* 10.
1984. Long-term temperature monitoring program 1983, Scotia-Fundy, Gulf regions. *Can. Data Rep. Hydrogr. Ocean. Sci.* 22.
1985. Long-term temperature monitoring program 1984, Scotia-Fundy, Gulf regions. *Can. Data Rep. Hydrogr. Ocean. Sci.* 35.
- DOW, R.L. 1977. Relationship of sea surface temperature to American and European lobster landings. *J. Cons. Int. Explor. Mer* 37: 186-191.
- DRINKWATER, K.F. ET R.A. MYERS. 1987. Testing predictions of marine fish and shellfish landings from environmental variables. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 1568-1573.
- EL-SABH, M.I. 1976. Surface circulation pattern in the Gulf of St. Lawrence. *J. Fish. Res. Board Can.* 33: 124-138.
- ENNIS, G.P. 1974. Observations on the lobster fishery in Newfoundland. *Tech. Rep. Fish. Res. Board Can.* 37: 21 p.
1980. Size maturity relationships and related observations in Newfoundland populations of the lobster (*Homarus americanus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 945-956.
1982. The Newfoundland lobster fishery: A review of statistics, stock status and current management considerations. *Can. Man. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1666: 11 p.
- 1983a. Annual variations in standing stock in a Newfoundland population of lobsters. *North Am. J. Fish. Manag.* 3: 26-33.
- 1983b. The effect of wind direction on the abundance and distribution of decapod crustacean larvae in a Newfoundland nearshore area. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1138: iv + 19 p.
- FLOWERS, J.M. ET S.B. SAILA. 1972. An analysis of temperature effects on the inshore lobster fishery. *J. Fish. Res. Can.* 29: 1221-1225.
- FOGARTY, M.J. 1988. Time series models of the Maine lobster fishery: The effect of temperature. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 45: 1145-1153.
- GAUDET, M. 1986. Le pétoncle géant (*Placopecten magellanicus*) de la Basse Côte Nord : caractéristiques biologiques et potentiel aquicole. *MAPAQ — Pêcheries Doc. Rech.* 86/13: 17 p.
- GAUTHIER, D. 1988. Abondance du homard américain (*Homarus americanus*) à l'île d'Anticosti. *Doc. Rec. CSCPCA* 88/36: 29 p.
- HARDING, G.C., K.F. DRINKWATER, ET W.P. VASS. 1983. Factors influencing the size of the american lobster (*Homarus americanus*) stocks along the Atlantic coast of Nova Scotia, Gulf of St. Lawrence, and Gulf of Maine: A new synthesis. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 168-184.
- HUDON, C. 1987. The ecology and growth of postlarval and juvenile lobster, *Homarus americanus*, off Îles-de-la-Madeleine, Québec. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 1855-1869.
- HUDON, C. ET P. FRADETTE. 1987. Planktonic growth of lobster (*Homarus americanus*) larvae off Îles-de-la-Madeleine, Gulf of St. Lawrence. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 868-878.
- HUDON, C., P. FRADETTE ET P. LEGENDRE. 1986. La répartition horizontale et verticale des larves de homard (*Homarus americanus*) autour des Îles-de-la-Madeleine, golfe du Saint-Laurent. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 2164-2176.
- HUGHES, J.T. ET G.C. MATHIESSEN. 1962. Observations on the biology of the american lobster *Homarus americanus*. *Limnol. Oceanogr.* 7: 414-421.
- HUNTSMAN, A.G., W.B. BAILEY ET H.B. HACHEY. 1954. The general oceanography of the Strait of Belle Isle. *J. Fish. Res. Board Can.* 2: 198-260.
- ILES, T.D. 1975. An analysis of the decline in the southern Gulf of St. Lawrence landings to demonstrate differential areas and time effects. *ICES Shellfish Committee. C.M.* 1975/K:55.
- LAUZIER, L., TRITES, R.W. ET H.B. HACHEY. 1957. Some features of the surface layer of the Gulf of St. Lawrence. *Bull. Fish. Res. Board of Canada* 111: 195-212.
- LAVOIE, A., J.M.M. DUBOIS, J. LACROIX, A. ROYER, ET M. CARIGNAN. 1986. Télédétection de la circulation des eaux de surface dans le nord du golfe du Saint-Laurent : application à la dérive des larves de poissons et de crustacés. Centre d'Applications et de Recherches en Télédétection, Université de Sherbrooke, rapport 86-R-15, pour Pêches et Océans Canada. 97 p. (contrat OSD85-00249)
- LEFKOVITCH, L.P. 1965. The study of population growth in organisms grouped by stages. *Biometrics* 21: 1-18.
- MCLEESE, D. ET D.G. WILDER. 1958. The activity and catchability of the lobster (*Homarus americanus*) in relation to temperature. *J. Fish. Res. Board Can.* 15: 1345-1354.

- MENDENHALL, B.R., M.M. HOLL ET M.J. CUMING. 1978. Development of a marine history of analysed sea-level pressure fields et diagnosed wind fields, Monterey, CA; Meteorology International Inc, Technical Report, Project MII-M-227. Préparé pour Fleet Numerical Weather Central contrat numéro N00228-76-C-3273, 41 p.
- MESSIEH, S.N. ET M.I. EL-SABH. 1979. Répartition des températures au fond et à la surface, et circulation dans le golfe du Saint-Laurent. Cahier d'information no. 4, Dép. d'océanographie, Univ. du Québec à Rimouski. 139 p.
- MURTY, T.S. ET J.D. TAYLOR. 1970. A numerical calculation of the wind driven circulation in the Gulf of St. Lawrence. J. Oceanogr. Soc. Japan 26: 203-211.
- ROBINSON, D.G. 1979. Consideration of the lobster (*Homarus americanus*) recruitment overfishing hypothesis; with special reference to the Canso causeway, p. 77-99. In F.D. Cracken [ed.] Canso marine environment workshop, Part 3, Fisheries Impacts. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep. 834: 163 p.
- ROSE, G.A. ET W.G. LEGGETT. 1988. Atmosphere-Ocean coupling in the northern gulf of St. Lawrence: Frequency-dependent wind-forced variations in nearshore sea temperature and currents. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 45: 1222-1233.
- SCARRATT, D.J. 1964. Abundance and distribution of lobster larvae (*Homarus americanus*) in Northumberland Strait. J. Fish. Res. Board Can. 21: 661-680.
- SCARRATT, D.J. ET G.E. RAINE. 1967. Avoidance of low salinity by newly hatched lobster larvae. J. Fish. Res. Board Can. 24: 1403-1406.
- SHELSON, R.W., W.H. SUTCLIFFE JR. ET K. DRINKWATER. 1982. Fish production in multispecies fisheries, p. 28-34. In M.C. Mercer [ed.] Multispecies approaches to fisheries management advice. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 59.
- SINCLAIR, M., G.L. BUGDEN, C.L. TANG, J.-C. THERRIAULT, ET P.A. YEATS. 1986. Assessment of effects of freshwater runoff variability on fishery production in coastal waters, p. 139-160. In S. Skreslet [ed.] The role of freshwater outflow in coastal marine ecosystems. NATO ASI Series, Vol. G7, Springer-Verlag, Berlin.
- SQUIRES, H.J. 1970. Lobster (*Homarus americanus*) fishery and ecology in Port au Port Bay, Newfoundland, 1960-65. Proc. Nat. Shellfish Assoc. 60: 22-39.
- SQUIRES, H.J., G.P. ENNIS, ET G.E. TUCKER. 1974. Lobsters of the northwest coast of Newfoundland, 1964-867. Proc. Nat. Shellfish. Assoc. 64: 16-27.
- STEVEN, D.M. 1974. Primary and secondary production in the Gulf of St. Lawrence. McGill Univ. Mar. Sci. Cen. MS Rep. 26: 116 p.
- SUTCLIFFE, W.H. JR. 1973. Correlations between seasonal river discharge and local landings of american lobster (*Homarus americanus*) and Atlantic halibut (*Hyppoglossus hypoglossus*) in the Gulf of St. Lawrence. J. Fish. Res. Board Can. 30: 856-859.
- SWAIL, V.R. 1985. Geostrophic Wind Climatology of Canadian Marine Areas, Downsview Ontario, SEA, Centre Climatologique Canadien, No. 85-9: 25 p.
- SWAIL, V.R., L.D. MORTSCH ET D.A. CARR. 1984. Inter-comparison of Marine Wind Data Sets, Downsview Ontario SEA, Centre Climatologique Canadien, No. 84-15: 84 p.
- TEMPLEMAN, W. 1936. The influence of temperature, salinity, light and food conditions on the survival and growth of the larvae of the lobster (*Homarus americanus*). J. Biol. Board Can. 2: 485-497.
1939. Investigations into the life history of the lobster (*Homarus americanus*) on the west coast of Newfoundland, 1938. Nfld. Gov. Dep. Natural Resources, Res. Bull. 7: 52 p.
1941. The Newfoundland lobster fishery: An account of statistics, methods and important laws. Nfld. Gov. Dep. Natural Resources Res. Bull. 11: 42 p.
- TEMPLEMAN, W. ET S.N. TIBBO, 1945. Lobster investigations in Newfoundland 1938 to 1941. Nfld. Gov. Dep. Natural Resources, Res. Bull. 16: 98 p.
- THOMAS, B. 1989. Étude préliminaire d'aquiculture du pétoncle géant (*Placopecten magellanicus*) à LaTabatière, sur la Basse Côte Nord. Données hydrographiques. Rapport Manuscrit du MAPAQ. Années 1987-1989.
- TRITES, R.W. 1970. The Gulf as a physical oceanographic system, p. 32-63. In E.M. Hassan [ed.] 2nd Gulf of St. Lawrence Workshop. Bedford Institute of Oceanography, nov. 30-dec. 3, 1970.
- VIGEANT, G. 1987. Température mensuelle de l'eau en surface dans l'estuaire et le golfe du Saint-Laurent. Rapport manuscrit, Division des Services scientifiques, Service de l'environnement atmosphérique, Environnement Canada.
- WEILER, J.D.M., ET J.R. KEELEY. 1980. Monthly sea surface temperature for the Gulf of St. Lawrence. Marine Environmental Data Service (MEDS), Fisheries and Oceans Canada, Tech. Rep. 7: 43 p.
- WILDER, D.G. 1953. The growth rate of the american lobster (*Homarus americanus*). J. Fish. Res. Board Can. 10: 371-412.
1965. Lobster conservation in Canada. Rapp. P.-V. Réun. Cons. Perm. Int. Explor. Mer 156: 21-29.

