



Scientific Excellence • Resource Protection & Conservation • Benefits for Canadians  
Excellence scientifique • Protection et conservation des ressources • Bénéfices aux Canadiens

# **Environmental Requirements Atlantic Herring (*Clupea harengus harengus*) in Eastern Canada and Its Response to Human Impacts**

P.L. Stewart and S.H. Arnold

Biological Sciences Branch  
Scotia-Fundy Region  
Department of Fisheries and Oceans  
Bedford Institute of Oceanography  
P.O. Box 1006  
Dartmouth, Nova Scotia B2Y 4A2  
Canada

1994

**Canadian Technical Report of  
Fisheries and Aquatic Sciences 2003**



Fisheries  
and Oceans

Pêches  
et Océans

Canada

## Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences

Technical reports contain scientific and technical information that contributes to existing knowledge but which is 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 abstracted in *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts* and indexed in the Department's annual index to scientific and technical publications.

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

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 complètes. Le titre exact paraît au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports techniques sont résumés dans la revue *Résumés des sciences aquatiques et halieutiques*, et ils sont classés dans l'index annuel des publications scientifiques et techniques du Ministère.

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 auteur 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 2003

1994

**ENVIRONMENTAL REQUIREMENTS OF  
ATLANTIC HERRING (*CLUPEA HARENGUS HARENGUS*)  
IN EASTERN CANADA  
AND ITS RESPONSE TO HUMAN IMPACTS**

by

P.L. Stewart<sup>1</sup> and S.H. Arnold<sup>1</sup>

Biological Sciences Branch  
Scotia-Fundy Region  
Department of Fisheries and Oceans  
Bedford Institute of Oceanography  
P.O. Box 1006  
Dartmouth, Nova Scotia B2Y 4A2  
Canada

---

<sup>1</sup>Envirosphere Consultants Limited, Box 2906, Windsor, NS B0N 2T0, Canada

© Minister of Public Works and Government Services Canada 1994  
Cat. No. Fs 97-6/2003 ISSN 0706-6457

Correct citation for this publication:

Stewart, P.L., and S.H. Arnold. 1994. Environmental requirements of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) in eastern Canada and its response to human impacts. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2003: ix + 37 p.

## TABLE OF CONTENTS

LIST OF FIGURES . . . . .	v
LIST OF TABLES . . . . .	v
ABSTRACT . . . . .	vi
RÉSUMÉ . . . . .	vii
PREFACE . . . . .	ix
NATURAL HISTORY . . . . .	1
GEOGRAPHIC DISTRIBUTION . . . . .	1
BIOLOGICAL FEATURES . . . . .	1
FEEDING . . . . .	1
REPRODUCTION . . . . .	1
Spring Spawning . . . . .	4
Fall Spawning . . . . .	4
Spawning Areas . . . . .	4
EARLY LIFE STAGES . . . . .	4
GROWTH . . . . .	6
BEHAVIOUR . . . . .	6
SEASONAL MOVEMENTS . . . . .	7
PREDATORS, PARASITES, AND DISEASE . . . . .	7
ALGAL TOXINS . . . . .	8
ENVIRONMENTAL REQUIREMENTS . . . . .	8
TEMPERATURE . . . . .	9
SALINITY . . . . .	9
DISSOLVED OXYGEN . . . . .	9
SUSPENDED PARTICULATE MATTER . . . . .	9
SUBSTRATE . . . . .	10
OCEAN FEATURES . . . . .	10
ECONOMIC IMPORTANCE AND RESOURCE USE . . . . .	11
COMMERCIAL FISHERIES . . . . .	11
MANAGEMENT . . . . .	12
STOCKS . . . . .	13

## TABLE OF CONTENTS (continued)

HUMAN IMPACTS .....	14
ENVIRONMENTAL CONTAMINANTS AND POLLUTION .....	14
Responses to Contaminants .....	14
Organic Contaminants .....	15
PCBs and PAHs .....	15
Phthalic Acid Esters (PAEs) .....	16
Pesticides .....	16
Petroleum Hydrocarbons .....	16
Heavy Metals .....	17
PHYSICAL DISTURBANCE .....	18
Shipping .....	18
Dredging and Ocean Dumping .....	18
Offshore Sand and Gravel Mining .....	19
Commercial Fishing .....	19
Aquaculture .....	20
INDUSTRIAL CONTAMINATION .....	21
Pulp and Paper .....	21
Mining and Smelting .....	21
Power Generation .....	22
FIXED LINK .....	22
OIL AND GAS .....	23
SEWAGE .....	24
GLOBAL WARMING .....	24
COASTAL STRUCTURES AND CAUSEWAYS .....	25
ACKNOWLEDGEMENTS .....	25
BIBLIOGRAPHY .....	25
DEPARTMENT OF FISHERIES AND OCEANS EXPERTS .....	28
REFERENCES .....	29

**LIST OF FIGURES**

Figure 1. Generalized life cycle and spawning patterns of Atlantic herring in eastern Canadian waters. . . . .	3
Figure 2. Spawning distributions of Atlantic herring in eastern Canada . . . . .	5

**LIST OF TABLES**

Table 1. Management units and stock complexes for Atlantic herring in the northwest Atlantic. . . . .	13
---	----

## ABSTRACT

Stewart, P.L., and S.H. Arnold. 1994. Environmental requirements of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) in eastern Canada and its response to human impacts. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2003: ix + 37 p.

Atlantic herring *Clupea harengus harengus* is one of the major eastern Canadian fisheries species and also is important worldwide. The fishery supports an important commercial sardine industry based in New Brunswick, as well as markets for fresh and frozen fillets, cured herring and bloaters (smoked herring), herring roe (eggs), and fish meal and oil. Major stocks have undergone significant fluctuations in abundance and level of exploitation, particularly as a result of major increases in effort by foreign nations in the 1960s and concurrent developments in a Canadian mobile (purse seine) fishery and subsequent management regulations. Juvenile herring are fished for the sardine market by traditional weirs, chiefly in the Bay of Fundy region of New Brunswick and Nova Scotia; but other major fisheries for mature fish involve purse seining and coastal gill netting. Trap netting and shut-offs can occur in some areas.

Herring is a migratory species, returning to localized coastal areas and banks for spawning. Depending on stock and season, spawning occurs in shallow water (< 10 m) as well as on deeper shoals and banks. Herring deposit eggs on the sea bed in deeper water and on algae and solid substrate in shallow coastal spawning beds. Spawning areas are generally associated with well-mixed water, with tidal gyres, with estuaries having well-developed estuarine circulation, or in bays and other coastal features, which are believed to aid in keeping the larvae in the area for subsequent development and to permit the development of schooling and migratory behaviour. High mortality of all early stages, from egg to juvenile, results in significant variations in adult year classes. Coupled with major impacts to adult populations caused by fishing, the year-class variability has sometimes resulted in catastrophic declines in specific east coast stocks, including the collapse in the late 1970s of major stocks around Iles-de-la-Madeleine and on Georges Bank. About a dozen major stocks or stock groups in eastern Canada are managed independently for fisheries purposes.

Herring can be affected by various human activities. The tendency to school, the use of localized spawning and nursery areas, and the association of the species with coastal waters make herring more susceptible than many other species to accidental releases of contaminants such as oil spills or industrial discharges. A spill of elemental phosphorus in Placentia Bay, Newfoundland, killed about 80% of the herring in the Bay at the time and a significant proportion of the stock. Oil spills and releases in coastal areas can impact larval and juvenile stages with demonstrated effects, chiefly causing mortality or abnormal larval development. Herring can also accumulate organic contaminants such as organochlorines (PCBs and DDE) owing to their elevated lipid content; and although concentrations are small, they can lead to reduced reproductive success. Herring movements can be impacted by coastal structures, including causeways. While not impacting migration patterns, the Canso Causeway between Cape Breton Island and mainland Nova Scotia caused environmental changes such as altered circulation or

temperature regime impacting herring populations. Sea cages used in aquaculture and other coastal structures can interfere with local feeding movements, and in some cases (e.g. the Fundy weir fishery) impact local fisheries. Herring can also be impacted at the larval and post-larval stages from by entrainment in cooling water from thermal power generating plants and from chlorine discharges used to control fouling in those facilities, as well as in wastewater and sewage treatment. Excessive pollution in harbours connected with major urban centres can stress herring living in those areas.

## RÉSUMÉ

Stewart, P.L., and S.H. Arnold. 1994. Environmental requirements of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) in eastern Canada and its response to human impacts. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2003: ix + 37 p.

Le hareng atlantique *Clupea harengus harengus* compte parmi les principales espèces de poisson des pêches de l'est du Canada et il est également beaucoup pêché ailleurs dans le monde. Cette pêche fait vivre une importante industrie commerciale de la sardine au Nouveau-Brunswick et plusieurs autres marchés en sont tributaires: filets frais et congelés, hareng mariné et fumé, oeufs de hareng, et farine et huile de poisson. Les principaux stocks ont connu d'importantes fluctuations de leur abondance de l'intensité de leur exploitation, qu'il faut imputer particulièrement à l'intensification de l'effort de pêche par les pays étrangers durant les années 60 et aux développements qui ont été réalisés dans la même période dans le secteur de la pêche mobile (senne coulissante) au Canada, ainsi qu'aux règlements de gestion qui ont été adoptés par la suite. Le hareng juvénile est pêché pour les besoins du marché de la sardine au moyen des fascines traditionnelles, surtout dans la région de la baie de Fundy, au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse; quant au hareng adulte, il se pêche beaucoup à la senne coulissante et, dans les eaux côtières, au filet maillant. La pêche au filet-trappe ou à la senne de rivage est pratiquée dans certains secteurs.

Le hareng est une espèce migratoire qui retourne vers des régions côtières et des bancs bien localisés pour y frayer. Selon le stock et la saison, la fraye a lieu en eaux peu profondes (< 10 m) ou sur des hauts-fonds et des bancs plus profonds. Le hareng dépose ses œufs au fond de la mer en eaux profondes et sur les algues et des substrats durs dans les frayères côtières se trouvant en eaux peu profondes. Les zones de fraye se trouvent généralement dans des secteurs caractérisés par des eaux bien mélangées ou la présence de tourbillons de marée, ou dans les estuaires où il y a une bonne circulation des eaux, ou encore dans les baies ou autres accidents du littoral qui, croit-on, aident à garder les larves dans le secteur où elles poursuivront leur croissance et favorisent le développement des comportements de rassemblement en bancs et de migration. La mortalité élevée aux premiers stades du développement, de l'état ovulaire jusqu'à l'âge juvénile, donne lieu à des variations importantes des classes annuelles d'adultes. Conjuguée aux impacts importants de la pêche sur les populations adultes, la variabilité des classes d'adultes a entraîné parfois des baisses catastrophiques de certains stocks de la côte est, comme en a témoigné l'effondrement à la fin des

années 70 de stocks importants autour des îles de la Madeleine et sur le banc Georges. Environ une douzaine de stocks ou de groupes de stocks importants de l'est du Canada sont gérés de manière indépendante pour les fins de la pêche.

Le hareng peut être affecté par diverses activités humaines. Sa tendance à se rassembler en bancs, son utilisation de zones de fraye et d'alevinage localisées et sa fréquentation des eaux côtières rendent le hareng plus sensible que bien d'autres espèces aux rejets accidentels de contaminants, comme les déversements de pétrole ou les rejets industriels. Un déversement de phosphore élémentaire dans la baie Placentia, à Terre-Neuve, a tué environ 80% du hareng de la baie et une partie importante du stock. Les déversements de pétrole et les rejets industriels dans les zones côtières peuvent avoir des effets tangibles sur les larves et les juvéniles; on a surtout observé des cas de mortalité ainsi que des cas de développement anormal chez les larves. Le hareng peut également accumuler des contaminants organiques comme les organochlorés (BPC et DDE) en raison de sa teneur élevée en lipides. Et même en de faibles concentrations, ces contaminants peuvent avoir des effets négatifs sur le succès de la reproduction. Les déplacements du hareng peuvent être entravés par des ouvrages côtiers, notamment les ponts-jetées. Bien qu'il n'ait pas d'effet sur les migrations, le pont-jetée de Canso qui relie l'île du Cap-Breton à la partie continentale de la Nouvelle-Écosse a quand même causé des changements à l'environnement, comme l'altération de la circulation ou du régime des températures, qui ont des conséquences sur les populations de hareng. Les cages marines employées en aquiculture et divers ouvrages côtiers peuvent nuire aux déplacements des poissons à la recherche d'aliments et, dans certains cas (comme la pêche à fascines dans la baie de Fundy) avoir des répercussions sur la pêche locale. Le hareng peut aussi être perturbé aux stades larvaire et postlarvaire lorsqu'il est entraîné dans les eaux de refroidissement des centrales thermiques et les rejets de chlore employé pour prévenir l'encrassement dans ces installations, mais aussi dans les usines d'épuration et de traitement des eaux usées. La pollution excessive des havres situés près des grands centres peut faire subir un stress aux harengs présents dans ces secteurs.

## PREFACE

Habitat managers in the Department of Fisheries and Oceans (DFO) often require key information on the habitat and environmental requirements of resource species in order to assess the potential impacts of industrial and other types of development. Such information is often spread over various diverse sources including reference books, scientific journals, technical reports, unreferenced hard copy, and computer files, as well as in the memory of individuals. It follows that the information is often difficult and time consuming to access. As a result, managers often have to make decisions without the benefit of key material because it is not readily available to them. This document is one of a series of technical reports that attempts to rectify this situation by making available user-friendly habitat profiles summarizing existing information on species life history, habitat requirements, and known anthropogenic effects on their populations.

Building on the model of the successful pilot project on lobster<sup>1</sup> conducted by DFO's Marine Atlantic Standing Subcommittee on Habitat (MASSH) in 1992, this report and two other profiles<sup>2,3</sup> have recently been produced. The current project, which involved literature review and consultation, was undertaken under contract by Envirosphere Consultants Limited of Windsor, Nova Scotia. The three species - Atlantic herring, blue mussel, and sea scallop - were selected jointly by the four Atlantic Regions of DFO (Newfoundland, Scotia-Fundy, Gulf, and Québec). Each report is published in both English and French as a single document. Funding for this work was provided through the Sustainable Fisheries Program of Environment Canada's Green Plan.

We hope that it will be possible to develop further profiles in the near future, and welcome your suggestions and ideas for improving the usefulness of these profiles.

Donald C. Gordon  
Project Manager  
Biological Sciences Branch  
Department of Fisheries and Oceans  
Scotia-Fundy Region

H. Brian Nicholls  
Scientific Authority  
Marine Assessment and Liaison Division  
Department of Fisheries and Oceans  
Scotia-Fundy Region

<sup>1</sup>Harding, G.C. 1992. American lobster (*Homarus americanus* Milne Edwards): A discussion paper on their environmental requirements and the known anthropogenic effects on their populations. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1887: vi + 16 p.

<sup>2</sup>Stewart, P.L. 1994. Environmental requirements of the blue mussel (*Mytilus edulis*) in eastern Canada and its response to human impacts. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2004: x + 41 p.

<sup>3</sup>Stewart, P.L., and S.H. Arnold. 1994. Environmental requirements of the sea scallop (*Placopecten magellanicus*) in eastern Canada and its response to human impacts. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2005: ix + 36 p.

## NATURAL HISTORY

### GEOGRAPHIC DISTRIBUTION

Atlantic herring *Clupea harengus harengus* occur in the Northwest Atlantic from northern Labrador and Greenland to North Carolina (Blaxter 1985). In eastern Canada, herring stocks occur from the St. Lawrence River estuary (Ile Verte), through the southern Gulf of St. Lawrence and around the coast of Newfoundland to southern Labrador, to the Bay of Fundy (Passamaquoddy Bay and Minas Basin). A small population occurs within the Bras d'Or Lakes (Nova Scotia).

### BIOLOGICAL FEATURES

Atlantic herring spend most of their life in the water column (pelagic), principally in large schools. The shape (elongated and streamlined and having a deeply forked tail) is an adaptation to a pelagic existence. The iridescent bluish colour of the large and loosely attached scales, as well as the presence of scutes (keeled plates along the belly or back), and a black back, aid in camouflaging the species from predators (Whitehead 1985; Blaxter 1985).

Atlantic herring have acute vision which aids the species in feeding on small prey items. Vision is best in the upper forward direction, which is the way herring usually approach food (Blaxter 1985). The species also has well developed hearing (sensitive and having a wide frequency range), which uses air-filled sacs to amplify sound (Blaxter 1985).

### FEEDING

Herring feed principally on crustaceans such as copepods and euphausiids, but young larval stages may consume phytoplankton, eggs, larvae, and other organisms, including larvae of their own species (Gosselin et al. 1989; Hourston et al. 1981). They locate prey by sight, but at high prey concentrations and at night they may filter prey from the water using their gill rakers (gill support structures) as a sieve (Batty et al. 1986). Relatively smaller schools are better for optimum foraging. Herring feed minimally in the winter, and there is a continuous decrease in body condition (weight relative to length) through winter and spring. The lipid content of herring tissue varies seasonally depending on the amount of food available and on the state of maturation of the gonads (McGurk et al. 1980).

### REPRODUCTION

Atlantic herring mature at from 2 to 3 yr to more than 5 yr and can have either of two reproductive patterns, spawning either in the spring or in the fall. Some

geographic areas have components of both of these spawning types (Fig. 1). Fall spawning is predominant on the southwestern Scotian Shelf and western Gulf of Maine (and formerly on Georges Bank), while spring spawning predominates in the northern portion of the species range along the east coast of Newfoundland and occurs in shallow, nearshore waters. Both spawning types are found in the Gulf of St. Lawrence.

Spawning beds occur in localized areas along the coast and on offshore shoals and banks. Spawning beds may be found consistently from year to year in a given area, and beds of spring- and fall-spawning herring may occur in the same general area. They are frequently large, extending in some cases up to several kilometres along the coast in a narrow band limited by depth; off southwestern Nova Scotia, a bed of 0.07 km<sup>2</sup> has been reported (McKenzie 1964).

During spawning, eggs and milt (sperm) are released into the water by herring in schools. Eggs are about 1 to 1.4 mm in diameter and are fertilized in the water column, then settle and stick to materials such as rock and algae on the seabed. Eggs normally remain on the seabed until hatching, which takes about 30 d at 5°C (a typical spring-spawning temperature), and 10 d at 15°C, typical of Gulf of St. Lawrence fall-spawning temperatures. Fall-spawned eggs off southwestern Nova Scotia typically develop at about 10°C.

Both male and female herring can be induced to spawn by the presence of milt or by an extract of the male gonad (Pacific herring [Sherwood et al. 1991]), and release of sperm may thus trigger mass spawning. Herring may actively test the available substrate before egg deposition and show definite preferences for certain bottom materials (Pearson et al. 1985).

Egg deposits may vary in thickness from one layer of eggs to 20 to 30 layers or up to 4 to 5 cm thick (Messieh and Rosenthal 1989; Lough et al. 1985; Cairns et al. 1993). Dense layers are associated with higher mortality of the eggs due to oxygen limitation imposed by the outer layers.

Atlantic herring may arrive at spawning grounds or beds in runs or waves. Discrete batches of eggs deposited by these waves give rise to a succession of groups of larvae similar in size and development, and usually found in the same water mass. For herring stocks in the Gulf of St. Lawrence, the largest fish generally arrive on the spawning grounds to spawn first; and the smallest, first-time spawners, usually arrive last (Lambert and Messieh 1989). Although broadly related to seasonal temperature changes, timing of herring runs in localized geographic areas appears to be independent of temperature. Both spring- and fall-spawning herring throughout the Gulf of St. Lawrence arrive at the same time despite temperature differences of as much as 5°C (Chadwick and Claytor 1989).

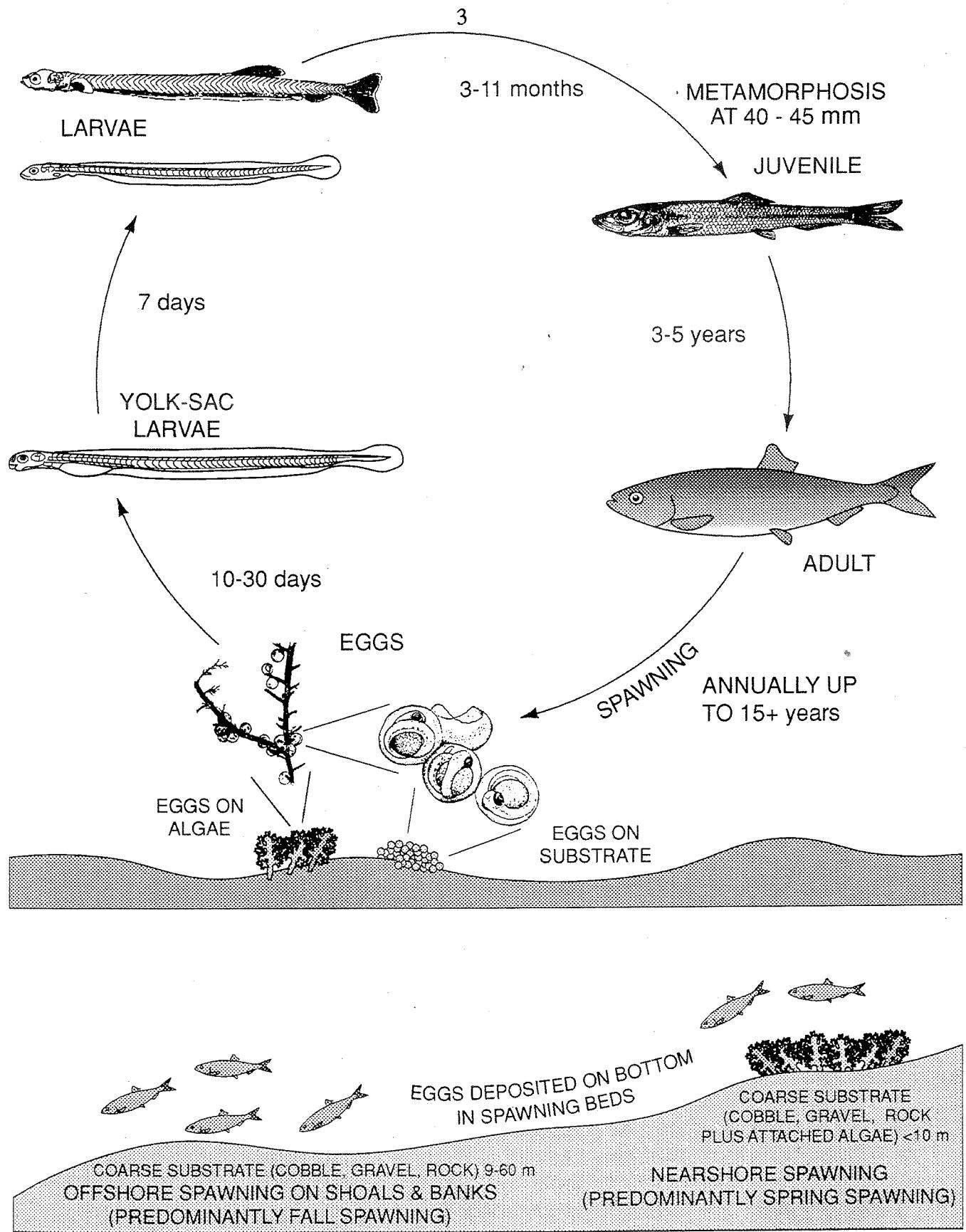


Figure 1. Generalized life cycle and spawning patterns of Atlantic Herring in Eastern Canadian waters.

### Spring Spawning

Spring spawning takes place in shallow water; and, in eastern Canada, arrival of herring coincides with local warming. Spring spawning beds are usually shallower than for fall-spawning herring, occurring from the immediate subtidal to about 5 m (Gulf of St. Lawrence, Baie des Chaleurs, St. Lawrence estuary) and <10 m in eastern Newfoundland. Spawn is deposited in areas of coarse substrate (loose rock and exposed bedrock) and on algae.

### Fall Spawning

Fall spawning occurs in deeper water than for spring spawners (10 to 25 m - Gulf of St. Lawrence; 40 m off southwestern Nova Scotia; 50 m - Georges Bank). Eggs are laid on seabed material, including algae in areas nearer to shore (Sindermann 1979; McKenzie 1964).

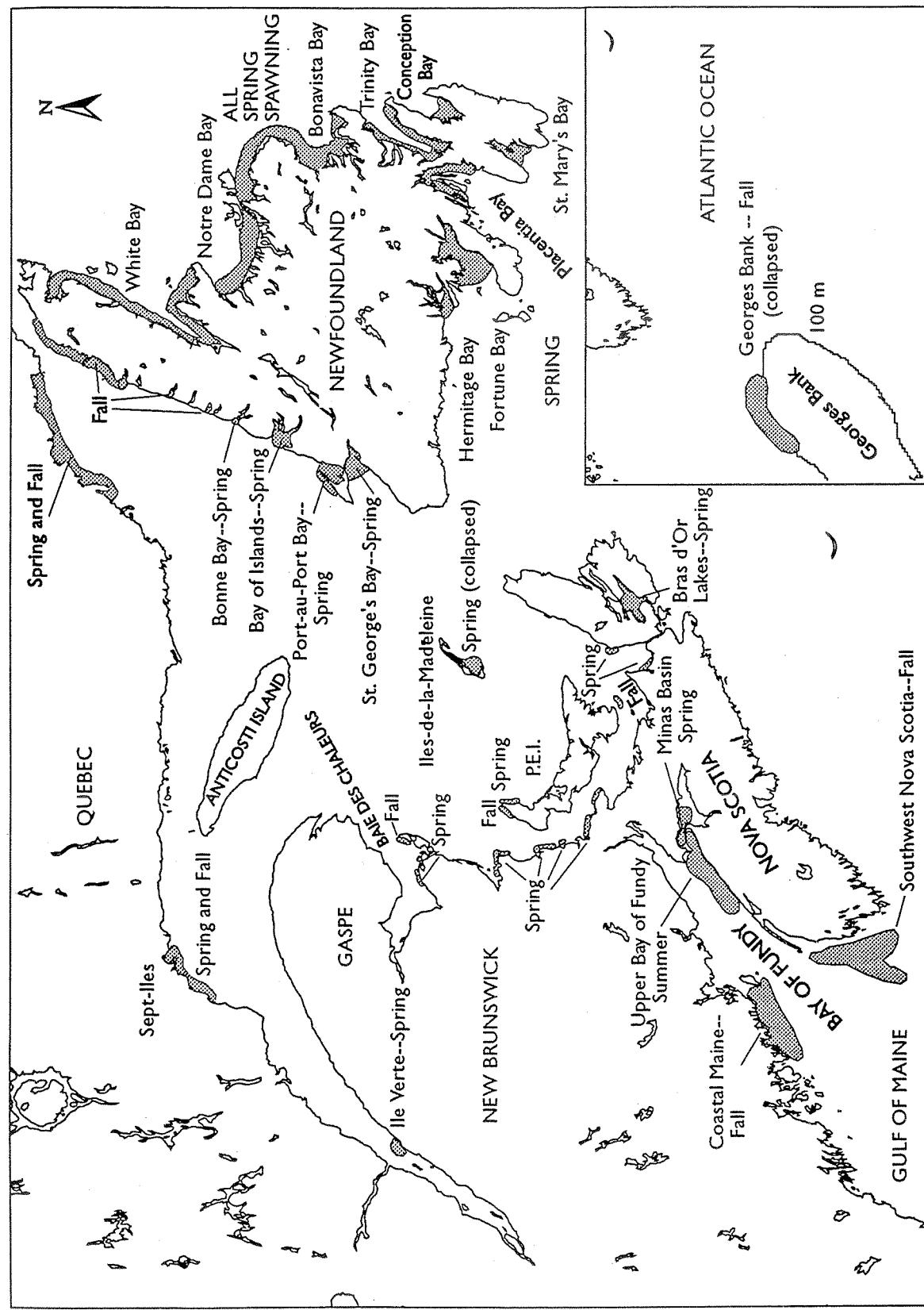
### Spawning Areas

Both spring- and fall-spawning populations occur in the southern Gulf of St. Lawrence and western and southeastern Newfoundland (Fig. 2). In southwestern Nova Scotia/Bay of Fundy the main stocks are fall spawning, but spring-spawning populations occur in the upper Bay of Fundy (Scots Bay and Minas Basin). The collapsed Georges Bank stock formerly spawned in fall, as does the eastern Maine/Grand Manan stock. Populations in southeastern and eastern Newfoundland, and the St. Lawrence estuary (Ile Verte) are predominantly spring spawning. A spring- spawning population occurs in the Bras d'Or Lakes, an estuarine environment on Cape Breton.

Historically the major spawning in the Southern Gulf of St. Lawrence consisted of a spring spawning in the Iles-de-la-Madeleine and one in fall in the Baie des Chaleurs, but spring-spawning beds in the Southern Gulf of St. Lawrence (particularly at Escuminac, New Brunswick) are presently most significant there.

## **EARLY LIFE STAGES**

Young herring retain a yolk sac from the egg after they hatch and swim and feed for 1 wk or more, depending on temperature, until the yolk is completely absorbed. Newly hatched "yolk-sac" larvae may be found close the bottom but move shortly into the water column, where they undergo a larval stage lasting from 3 to 11 mo (typically about 6 mo). The longest larval stage occurs in herring stocks in the St. Lawrence estuary (9 to 11 m), while the larval phase of fall-spawned herring in the Gulf of Maine is from 6 to 8 mo (Sinclair and Iles 1985; Sinclair and Tremblay 1984; Sindermann 1979). At about 40 to 45 mm they undergo an abrupt transformation into adult form (metamorphosis) accompanied by schooling behaviour (there is also evidence that larvae



48°

44°

70° 68° 66° 64° 62° 60°

Figure 2. Spawning distributions of Atlantic Herring in Eastern Canada. (Sources: Haeghe and Schweigert 1985; Messieh 1987; Messieh *et al.* 1985; Sinclair and Iles 1985; Stephenson *et al.* 1993; Wheeler and Winters 1984b; I. McQuinn, DFO, pers. comm.)

may aggregate or school (R.L. Stephenson, DFO, pers. comm.). In general, individuals hatched in the spring will metamorphose the same year while in fall-spawned herring the change occurs the following year. The different pattern puts different constraints on herring, particularly that fall-spawned herring must be capable of surviving the winter in the larval stage.

Mortality of eggs and larvae is high, thought to be caused mainly by predation on both stages by other organisms, by storm damage and eggs washing ashore, and by starvation (Alderdice and Hourston 1985; Blaxter 1985). Fluctuations in recruitment to commercial stocks is believed to depend primarily on variations in mortality during the first year of life (Lough et al. 1985). Post-larval herring enter a juvenile stage during which they move in schools year round through coastal areas. Atlantic herring mature at an age of from 2 to 3 yr to more than 5 yr.

## GROWTH

Herring growth varies between and within stocks, influenced by water temperature, food availability, and population size. Growth is faster in warmer water, while competition in a larger population restrains growth. Most herring reach maturity by 4 yr but can mature by 3 yr. Herring from the Ile Verte stock in the St. Lawrence estuary are the slowest growing in eastern Canada, and adult size is about 20% less than for herring of similar age in the southern Gulf of St. Lawrence (Anderson and Gagnon 1980).

## BEHAVIOUR

*Clupea harengus harengus* is both a schooling and migratory species, making characteristic migrations between well known spawning, feeding, and overwintering areas during the year (Wheeler and Winters 1984a; 1984b). Schooling is an adaptation to enable individuals to avoid predators, but makes the species more susceptible to capture by weirs, gillnets, traps, and purse seines used in human fishing activities.

Adult herring generally spend the daylight hours in schools near the seabed but move toward the surface and disperse at dusk. At dawn, the schools reform and the herring move to deeper water. This pattern, which correlates with prey movements, also enables herring to avoid larger predators such as fish and diving birds (Blaxter 1985).

Larval herring also make daily vertical movements, but patterns vary depending on location (Stephenson and Power 1989; Fortier and Leggett 1983). Larval densities are generally highest in upper layers by day, but larvae seek deeper water on bright days.

Atlantic herring appear to have the ability to "home" to the same spawning bed year after year, arriving in schools which are frequently the object of commercial fishing

because the timing is highly predictable (Sinclair and Iles 1985). This phenomenon can make herring particularly susceptible to impacts during spawning.

## SEASONAL MOVEMENTS

Migrations cover short to moderate distances depending on the population, confined mainly to eastern Canadian coastal waters. The longest migrations occur in the southern Gulf of St. Lawrence and southwestern Nova Scotia/Bay of Fundy stocks, which can move annually from the Gulf to the Atlantic Ocean off Cape Breton and from southwestern Nova Scotia to Chedabucto Bay, Nova Scotia, respectively (Chadwick et al. 1993; Sinclair and Iles 1985). Herring in many stocks migrate over shorter distances; the Fortune Bay stock in Newfoundland, for example, stays within Fortune Bay throughout the year (Winters and Wheeler 1985). Herring from many of the stocks may mix with those from other spawning areas during feeding and overwintering periods. Timing of herring movements is highly predictable. Formerly, some herring from the Gulf moved to southwestern Newfoundland, but this pattern no longer occurs.

Juvenile herring in all stocks tend to remain in coastal areas throughout the year until they mature and join the adult population. Juveniles from several populations may mix in a given area.

## PREDATORS, PARASITES, AND DISEASE

Atlantic herring is exposed to predation at all life stages. Herring eggs are eaten in significant quantities on the seabed by other fish (typically cod, haddock, and flounder), invertebrates, and even sea ducks (St. Lawrence estuary [J. Munro, DFO, pers. comm.]), resulting in losses of 30 to 70% in some cases (Lough et al. 1985). At other stages, herring are eaten by various species, including cod, silver hake, salmon, tuna, sharks, dogfish, squid, sea birds, seals, and whales (da Silva and Neilson 1985). Herring are one of the main food items of grey seals in the northwestern Gulf of St. Lawrence (Murie and Lavigne 1992). Atlantic mackerel is a major predator of larval and juvenile herring. Juvenile herring in inshore waters may be driven ashore by predators, resulting in mass strandings (Sindermann 1979).

Herring are not particularly prone to disease. Between 1954 and 1956, however, most herring in the Gulf of St. Lawrence died as a result of a fungal infection of *Ichthyosporidium hoferi* (Sinderman 1958; Scott and Scott 1988). Outbreaks have also occurred in the Gulf of Maine (Sindermann 1979).

Atlantic herring have various parasites, which occasionally lead to mortalities. Atlantic herring in eastern Canada are commonly parasitized by "herring worm" (a roundworm *Anisakis* sp.), which occurs encysted in the abdominal cavity and occasionally in muscles and can be harmful to humans. Different stocks are infected to different

degrees; and the incidence of *Anisakis*, as well as several other parasites, has been used to trace seasonal movements of herring (McGladdery 1986; Parsons and Hodder 1971). Eighteen parasite species, principally nematodes, parasitic flatworms, and tapeworms, have been identified from eastern Canadian herring (McGladdery and Burt 1985).

## ALGAL TOXINS

Herring can be impacted by blooms of phytoplankton (including toxic dinoflagellates) and marine algae under various circumstances. Local accumulations of nuisance macroalgae such as *Pilayella littoralis* have been reported occasionally on the Nova Scotia Atlantic coast and the coast of Massachusetts. In Europe, although such accumulations have been shown to cause declines in oxygen concentration, the degrading algae appear to release chemicals which reduce hatch success of herring eggs spawned at the same time as the algal build-up (Aneer 1987). A bloom of the diatom *Skeletonema costatum* sedimenting on herring eggs reduced availability of oxygen and caused significant mortality of the eggs (Morrison et al. 1991).

Herring are susceptible to toxins responsible for paralytic shellfish poisoning (PSP) as adults and post-larvae by ingesting contaminated zooplankton and microzooplankton, and additionally as larvae by ingesting cells of the toxic phytoplankton (White 1982; Gosselin et al. 1989). The toxin (saxatoxin) from several species of the dinoflagellate *Alexandrium* (formerly *Gonyaulax* or *Protogonyaulax*) blocks nerve impulses, leading to loss of equilibrium, paralysis, and eventually death. Only PSP is involved, and major fish kills of adult herring related to PSP occurred in the Bay of Fundy in 1976 and 1979 (White 1982) though none have been reported since, nor in other parts of eastern Canada and the St. Lawrence estuary. Contaminated herring are not likely to poison humans as the fish are relatively sensitive and die before levels lethal to humans are reached (White 1982; Gosselin et al. 1989; Robineau et al. 1991).

Herring may be impacted at the population level because major components of stocks occur seasonally in the Bay of Fundy and St. Lawrence estuary which are PSP problem areas, and where the recurring late summer outbreaks periodically overlap periods of herring larval development and growth. It has been proposed that in these cases, elevated mortalities of herring due to exposure to PSP toxin could impact recruitment; but preliminary work in modelling recruitment impacts has given inconclusive results (Gagné et al. 1992).

## ENVIRONMENTAL REQUIREMENTS

Herring is a highly adaptable species, having a wide temperature and salinity range and capability to spawn under a range of conditions. Nevertheless, individual stocks may be influenced in behaviour and distribution by relatively small environmental changes (e.g. temperature).

## TEMPERATURE

Herring normally are exposed to and can tolerate a wide range of temperatures, both during adult movements and seasonal changes in nursery areas. Overwintering juvenile herring in coastal areas are typically exposed to low temperatures, frequently below 0°C (Graham et al. 1990; Chadwick et al. 1990), while coastal waters may reach 20°C or more in isolated cases in summer. Populations spawning in a given area generally show optima in reproductive characteristics which correspond to the average local temperature regime. For example, timing of egg and early larval development and hatchability of herring in the St. Lawrence estuary is at an optimum at 4°C, decreasing at higher temperatures (McQuinn et al. 1983). Juvenile herring in the southern Gulf of St. Lawrence have antifreeze proteins in the blood which enable them to tolerate sub-zero temperatures (Chadwick et al. 1990). Eggs can tolerate temperatures up to 23°C, but abnormally high temperatures can result in improper jaw development in newly hatched larvae (Alderdice and Velsen 1971). The schooling ability of herring enables them to stay in water masses having suitable temperature; adult herring avoid temperatures <0°C (M. Chadwick, DFO, pers. comm.).

## SALINITY

*Clupea harengus* tolerates a wide range of salinities. Spawning can take place from near freshwater to full-strength seawater. Adults can tolerate salinities above 35 ppt as well as low-salinity environments (Blaxter 1985). Prolonged salinities above or below an optimum usually impart energetic requirements which can lead to stress and impact on survival.

## DISSOLVED OXYGEN

Herring larvae tolerate low oxygen concentrations (DeSilva and Tytler 1973). Egg mortality increases with decreasing oxygen concentration below 50% saturation, and length of newly hatched larvae is also reduced (Braum 1973 from Aneer 1987); but egg survival is relatively high down to 20-25% saturation (Aneer 1987). The oxygen consumption of eggs decreases in low oxygen concentrations. Herring have been observed to deposit thick masses of eggs in which the lower layers die because of a lack of oxygen. Reduced dissolved oxygen in combination with silt can impact survival of herring eggs (Messieh et al. 1981).

## SUSPENDED PARTICULATE MATTER

In most cases suspended sediment from natural sources does not significantly impact herring, but often contaminants associated with sediment may have significant effects. *Clupea* is a visual predator, and feeding can be impaired by elevated suspended sediment levels. The species has been shown to avoid elevated concentrations of SPM

(threshold of about 9 to 13 mg L<sup>-1</sup>) and higher concentrations in coarse sediment (Wildish et al. 1977; Messieh et al. 1981).

In general, fish eggs and larvae are less tolerant of suspended sediment than adults (Appleby and Scarratt 1989), but effects are generally observed only at high concentrations. Suspended sediment does not harm herring eggs, and elevated concentrations (5 to 300 mg L<sup>-1</sup>) affect neither survival nor embryonic development (Kiorboe et al. 1981). Sediment deposited on eggs can lead to mortality, however, while suspended sediment can lead to earlier hatching, and shorter hatching lengths, and can inhibit feeding of larvae down to levels of a few parts per million (Messieh et al. 1981; McQuinn et al. 1983).

Suspended sediment containing high levels of cadmium as well as PCBs led to elevated mortalities of eggs, delayed hatching, and lower survival of newly hatched larvae of Pacific herring. The effects were more pronounced as suspended sediment concentrations increased (Morgan and Levings 1989). Presumably the response of Atlantic herring to these conditions would be similar.

## **SUBSTRATE**

Herring need solid substrate on which to deposit eggs. In shallow water, solid bottom serves for attachment of algae which in some cases appears to be a preferred spawning substrate. Spawning beds on offshore banks typically have gravel and rock substrate while rock and gravel, as well as attached algae, form spawning substrate in inshore areas. Attachment to solid substrate ensures herring eggs are not displaced by currents and wave activity. Nevertheless, heavy wave activity frequently displaces herring spawn; and numerous incidents have been reported of herring eggs washing ashore after storm events.

## **OCEAN FEATURES**

The life cycle of Atlantic herring is closely tied to ocean features, frequently found near high productivity areas, where larvae and juvenile stages can mature without being dispersed. The migratory behaviour of herring enables the species to return to these physically favourable areas, while the tendency of the young stages to stay in the area enables local populations to enter the adult population from which they were spawned and to develop a homing response. Most of the herring stocks in eastern Canada occur in areas having oceanographic conditions which minimize the dispersal of larvae (retention areas) (Sinclair and Iles 1985). Several distinct physical mechanisms, in addition to behavioural characteristics, serve to retain larvae in the vicinity of spawning and maturation areas: areas of strong vertical mixing, current gyres, current patterns in large bays and inlets, and shoreward movements of bottom water in estuaries.

Areas of intense vertical mixing appear to assist larvae from herring which spawn in the area to remain in particular areas as they undergo juvenile development. In waters off southwestern Nova Scotia, where such physical conditions exist, young herring mature near a productive tidal front which is used by adult herring during feeding before spawning.

Herring larvae from spawnings on some offshore banks may be retained in the area by circular circulation pattern (gyres) of residual tidal currents (a net current resulting from back and forth tidal movements). Tidal gyres have also been suggested to assist in maintaining the integrity of Northumberland Strait stocks in the southern Gulf of St. Lawrence. Herring stocks in many of the large bays in Newfoundland are usually highly localized to those bays, which may aid in retaining larvae.

Larvae spawned in major estuaries and coastal environments having inflows of freshwater can be maintained in the area by estuarine currents (Fortier and Leggett 1982; Fortier and Gagné 1990). Estuaries typically have a surface outflow and an inflow in the lower layers which counteracts it. The Ile Verte herring stock in the St. Lawrence River appears to be maintained in this way; and larvae are entrained in the deep, upriver current for part of the time, ensuring that they maintain the same relative position in the estuary (Fortier and Leggett 1983). Herring larvae in Maine estuaries also appear to be retained in this way (Graham 1972).

## ECONOMIC IMPORTANCE AND RESOURCE USE

### COMMERCIAL FISHERIES

The fish suborder Cluopeoidea (of which *Clupea harengus* is a member) is one of the most important fish groups economically, accounting for up to one-third of all fish catch worldwide (Whitehead 1985). In eastern Canada, Atlantic herring is the seventh most important commercial species in terms of landed value, accounting for \$27.9 million in 1992. The species has a significant impact on the economy of Atlantic Canada through production of value-added products such as sardines. Catches in eastern Canada reached up to 4 million t per year at their peak in the 1960s before many of the stocks collapsed. The summer herring fishery off southwestern Nova Scotia and the mouth of the Bay of Fundy is the largest herring fishery in the northwestern Atlantic with a recent total allowable catch (TAC) of more than 100,000 t, and is one of the few North Atlantic herring stocks (together with stocks in the northern Gulf of St. Lawrence) not to have undergone a collapse (due to more consistent recruitment).

Most eastern Canadian herring stocks sustained exploitation by local fisheries for many years before the arrival of foreign fleets and the implementation of purse seines in the domestic fleet in the 1960s. Most of the stocks collapsed after overfishing, but some failed due to poor recruitment. Major collapses occurred in the southern Gulf of St. Lawrence, particularly the population spawning around Iles-de-la-Madeleine, the

stock along the east coast of Newfoundland, and the Georges Bank stock, which supported catches of up to 368,000 t (1968) but disappeared in 1978 and is only now undergoing a resurgence.

Atlantic herring supports an important commercial sardine industry based in New Brunswick, as well as markets for fresh and frozen fillets, cured herring and bloaters (smoked herring), herring roe (eggs), oil, and fish meal (frequently used as a base for feed for salmonid aquaculture). Canadian herring (the majority from the British Columbia herring fisheries) has accounted for from 68 to 97% of the Japanese market for herring roe (Stephenson et al. 1993). Herring roe fisheries occur principally off southwestern Nova Scotia during the period of summer feeding before the herring move onshore to spawn, and in the southern Gulf of St. Lawrence during August-September.

Various types of fishing gear are used throughout the region. The purse seine accounts for most catch, usually used in offshore areas where feeding or overwintering concentrations occur. Smaller purse seines or ring nets are used in some areas (particularly Newfoundland) to capture coastal schools. Gill nets are used widely, principally for herring in coastal areas around spawning beds. In the southern Gulf of St. Lawrence stock, about 80% of the catch is presently by gill net and the remainder by purse seine.

Coastal weirs in the Passamaquoddy Bay and coastal southwestern Nova Scotia are mainly used to capture predominantly young herring used in the sardine industry based in New Brunswick. Juveniles spend 2 to 3 yr moving in schools in coastal waters and are readily caught in the weirs (a traditional design). The New Brunswick sardine fishery also uses shut-offs (use of seines to trap fish in small coves), and gillnets are used in most coastal areas. A trap and gillnet fishery occurs in Bras d'Or Lakes, Cape Breton Island, Nova Scotia.

Herring fisheries are subjected to wide fluctuations in abundance due to the considerable variation in survival during the first year of life. Although overfishing is a major cause of stock decline in eastern Canadian waters, significant variations in recruitment may be caused by periodic changes in oceanographic conditions (Winters and Wheeler 1987).

## MANAGEMENT

Atlantic herring stocks were among the first to be managed by international agreement and quotas in the early 1970s. They are presently managed principally on the basis of stock complexes (populations which breed separately and which correspond roughly to groups of herring which spawn in the same area). Herring in different stocks may differ in size at maturity, number of eggs produced, body shape, and number of bones. Major management divisions in eastern Canada generally encompass complexes of herring spawning areas.

## STOCKS

About 12 herring stock complexes occur in eastern Canadian waters (Table 1). They tend to separate into distinct spawning groups but at other times of the year may intermingle.

Table 1. Management units and stock complexes for Atlantic herring in the northwestern Atlantic.

East Coast Newfoundland (3KL):
White Bay - Notre Dame Bay
Bonavista Bay - Trinity Bay
Conception Bay - Southern Shore
Fortune Bay (3Ps)
St. Mary's Bay - Placentia Bay (3L and 3Ps)
West Coast Newfoundland (4R) (spring and fall spawning)
Northern Gulf of St. Lawrence (4S)
Southern Gulf of St. Lawrence (4TVn) (spring and fall spawning)
Includes Isle Verte (St. Lawrence estuary)
Sydney Bight (formerly 4Vn, now included with 4T)
Scotian Shelf (4WX)
Gulf of Maine (5Y)
Georges Bank and South (5Z and 6)

In eastern Newfoundland, stocks unique to many of the large bays spawn in spring and move northward for feeding before returning in the fall to their native areas; members from the various northeastern Newfoundland stocks mix together in summer.

Southeastern Newfoundland stocks in Fortune Bay and St. Mary's Bay/Placentia Bay move through the Bay during the summer after spring spawning. Western Newfoundland stocks have components which spawn in the spring or fall and move north for summer feeding (Moores and Winters 1984). Both components move to deeper waters in late fall and presumably leave the Gulf of St. Lawrence to overwinter.

Populations from the southern Gulf of St. Lawrence, southern Baie des Chaleurs, and Magdalen Shallows (Management Zone 4T) move out of the Gulf in fall and overwinter

in Sydney Bight (northeast of Cape Breton Island). They move back into the southern Gulf for the summer and fall. A distinct small stock in the St. Lawrence estuary in the vicinity of Ile Verte near the mouth of the Saguenay River (characterized by slightly smaller adults - "pygmy herring" - than in the adjacent Gulf of St. Lawrence) leave the estuary after spring spawning and spend the remainder of the year in the Gulf of St. Lawrence, reaching the Baie des Chaleurs, and may move out of the Gulf in winter with other herring from the area.

The major herring stock off southwestern Nova Scotia (4WX) spawns in fall on Trinity Ledge and Lurcher Shoals and other banks off Yarmouth after summer feeding in the vicinity of tidal fronts off southwestern Nova Scotia. Herring from this stock migrate eastward along the Nova Scotia coast to overwinter in Chedabucto Bay. The eastern Maine/Grand Manan stock spawns to the west of Grand Manan after feeding with individuals from southwestern Nova Scotia for the summer. These segregate to go to overwintering areas in New England after spawning in the Grand Manan/Jeffrey's ledge spawning grounds. The collapsed Georges Bank stock (which is recovering) spawned on the northern edge of the Bank and moved to New England coastal waters south of Cape Cod to overwinter (Sinclair and Iles 1985; Stephenson and Kornfield 1990).

## HUMAN IMPACTS

### ENVIRONMENTAL CONTAMINANTS AND POLLUTION

#### Responses to Contaminants

The close association of herring with coastal waters throughout much of its life cycle exposes it to contamination arising from aquatic discharges of land-based industry and airborne transport of contaminants. Juvenile stages of herring can enter harbours and inlets where they may be exposed to elevated concentrations of metals and organic compounds, or grow up in areas where they are exposed to resuspended bottom material as the result of dredging activity (e.g. Miramichi Bay) or by contaminants derived from rivers and shipping (e.g. St. Lawrence estuary). It should be noted, however, that impacts on natural populations of Atlantic herring from contaminants arising from human activity are rarely encountered, except in extreme situations (e.g. accidental chemical spills, uncontrolled point sources, severely contaminated harbours).

Herring have adaptive physiological responses to some chemicals to which they are exposed in the environment. All vertebrates including *Clupea* have enzyme systems (mixed-function oxidases [MFOs]) concentrated in the liver which can convert organic compounds to less toxic forms. Exposures to sublethal concentrations of various organic compounds such as PAHs, PCBs, crude oil, and refined petroleum products cause these enzymes to be produced in elevated concentrations, and their relative abundance can be used as an indicator of exposure to the respective compounds. Herring larvae in the Baltic Sea, for example, showed elevated levels of one of the MFO enzymes (aryl hydrocarbon hydroxylase, AHH) when exposed to diluted

production water released by offshore rigs (Gamble et al. 1987). In some cases (although not necessarily in herring) the MFOs can create carcinogenic or mutagenic byproducts which may be responsible for conditions such as tumours and lesions resulting from exposures to particular organic compounds.

Stress resulting from exposure to environmental contaminants can lead to reduced growth and reproductive output, behavioural changes, etc., which impact population success. Early hatching of herring eggs, which is an example of a generalized stress reaction, has been found as the result of handling as well as exposure to cadmium, copper, zinc, and contaminants concentrated from the sea-surface microlayer (Costello and Gamble 1992). Exposure of eggs to hydrocarbons can lead to abnormalities in larvae which ultimately affect survival.

### Organic Contaminants

Organic contaminants include hydrocarbons as well as a wide range of other chemicals (PAHs, PCBs, chlorinated organic pesticides). Frequently, organic compounds accumulate in lipid pools and in the case of some may lead to bioaccumulation. Accumulation of some organic contaminants may lead to measurable impacts at higher trophic levels (e.g. polychlorinated pesticides), but effects on herring populations have not been detected.

**PCBs and PAHs:** PCBs are persistent chlorinated compounds which have a capacity to accumulate in the food chain. Although production and use of PCBs in Canada has been heavily restricted, the compounds continue to occur in the environment as the result of past use. Herring have been used for monitoring PCB concentrations in Europe, and long-term studies (15 yr) in the Baltic have shown declines in PCBs corresponding to reduction in usage (Haahti and Perttilä 1988). Concentrations of PCBs in herring muscle in the St. Lawrence estuary (Baie des Anglais) ranged from 0.007 to 0.138 ug/g wet weight, while other studies (summarized in Delval et al. 1986) show concentrations approximating 0.5 ug/g. Levels in herring muscle from the Bay of Fundy and Chedabucto Bay respectively were 0.3 ug/g and 0.6 ug/g wet weight (Zitko 1981). Concentrations in herring can vary seasonally, with age, between spring and fall populations, with lipid content, and with exposure. PCBs in herring ovaries can lead to reduced hatch success at concentrations of 120 ng/g (Hansen et al. 1985).

PAHs are organic carbon compounds consisting of combinations of benzene rings, formed by various combustion processes involving fossil fuels and natural burning events such as forest fires. PAHs enter marine waters through atmospheric deposition and through point sources associated with industries burning fossil fuels. The more carcinogenic PAHs are lipid soluble and could accumulate in herring, but their presence in herring tissues in Canadian coastal waters has not been investigated. PAHs tend to accumulate in the liver and gall bladder of fish (Neff et al. 1976, from Rainio et al.

1986). Significant point sources of PAHs near stocks of herring occur in Sydney Harbour (Sydney Tar Ponds) and the Saguenay River estuary, caused by fossil fuel combustion by aluminum smelters.

**Phthalic Acid Esters (PAEs):** The phthalic acid ester di-*n*-hexyl phthalate (DHP) has been found in herring. Occurrence of other phthalic acid esters (produced by industrial processes and as plasticizers) are widespread in marine organisms. High levels of DHP have been found in herring from the Gulf of St. Lawrence (Musial et al. 1981).

**Pesticides:** The presence of herring in coastal waters for much of the yr exposes most east coast stocks to coastal contaminants. Pesticide exposure is not a major concern in survival of east coast herring populations, but herring have been demonstrated to accumulate them. Various pesticides have been measured in herring, including: DDT from the St. Lawrence estuary, and toxaphene from the Gulf of St. Lawrence and Atlantic coast of Nova Scotia near Halifax (Musial and Uthe 1983). Spring-spawning herring in the southern Gulf of St. Lawrence are more contaminated with DDT than are fall spawners, presumably due to exposure to contaminated waters from the Great Lakes (Messieh and El-Sabh 1988). Herring spawning beds in Mirimichi Bay (presently one of the major spawning areas) were likely exposed to DDT derivatives from forest spraying in the 1950s and 1960s (Messieh and El-Sabh 1988; Messieh 1979).

Although present in low concentrations, chlorinated hydrocarbons such as DDE can impact herring reproductive success. Hatch success was reduced in herring from the Baltic Sea having concentrations of DDE in the ovary above 18 ng/g (Hansen et al. 1985). Levels of DDE in herring muscle from the Bay of Fundy and Chedabucto Bay respectively have been shown to be 0.5 and 0.24 ug/g wet weight (Zitko 1981). Herring stocks in the St. Lawrence estuary and Chaleur Bay cannot be separated based on chlorinated hydrocarbon levels (Khalil et al. 1985).

Herring may also be exposed to pesticides and other chemicals used in the fish aquaculture industry. Herring larvae are sensitive to the fish delousing agent *Dichlorvos* (McHenry et al. 1991), but the chemical has not been registered for use in Canada.

**Petroleum Hydrocarbons:** Petroleum hydrocarbons are relatively non-toxic at low levels to various life stages of herring, but can be harmful at high concentrations typical of spills and blow-outs. Conversely, herring can often recover from short-term hydrocarbon exposures. In general, exposures of eggs lead to increased incidence of abnormalities (e.g. spinal curvature) in larvae, particularly when the eggs have contacted whole oil. Population level impacts can result from hydrocarbon spills during

spawning and immediate pre- and post-spawn periods when all stages are concentrated in the vicinity of spawning beds.

Exposures of herring larvae to the water-soluble fraction of oil can lead to mortalities. Egg and larval stages are generally more sensitive than adults, and exposures of these stages can have a significant impact on population success. Oil exposures can lead to tainting of herring tissues, making the catch unmarketable. Herring can show definite preferences for substrate (e.g. Pearson et al. 1985), and it is possible that oil-contaminated substrate would influence selection of spawning sites. Petroleum in high concentrations can cause brief increases in activity of larvae, followed by reduced activity, sporadic twitching, loss of responsiveness, and ultimately death (Linden 1975; Struhsaker et al. 1974).

Impacts on herring vary depending on exposure conditions and the type of oil to which they are exposed. In a spill, oil is usually present in several phases - whole oil, dissolved, and dispersed as droplets - each of which has a different biological effect. Exposed to dispersed oil in a situation approximating oil spill conditions (flowing oil-contaminated water), Pacific herring *Clupea harengus pallasi* eggs could be fertilized and hatched and produce normal larvae at high oil concentrations. Only when eggs were exposed to undispersed oil in which a large proportion was present as droplets that adhered to eggs did deformities (typically curved spine) in larvae occur (Pearson et al. 1985). Under conditions of reduced water exchange, in contrast, many Baltic Sea herring eggs which had been oiled developed normally but ultimately failed to hatch (Linden 1978). Petroleum hydrocarbon exposure also resulted in reduced embryo activity.

Larval Pacific herring (*C. harengus pallasi*) appear to be particularly sensitive, showing elevated mortality, reduced swimming and feeding rates, and reduced growth rate when exposed to a water-soluble fraction of Cook Inlet crude oil (concentrations in the water-soluble fraction of between 0.3 and 0.9 ppm in flowing water). The larval herring can be killed by ingesting copepods contaminated with oil, although this is not likely to be a major cause of mortalities associated with oil spills (Carls 1987).

Spawning adult Pacific herring appear to be least sensitive to exposures to the water-soluble fraction of Cook Inlet crude oil. Eggs are more resistant than larvae to brief exposures but are almost as sensitive as larvae to long-term exposures (Rice et al. 1987, from Carls 1987).

### Heavy Metals

Heavy metals as contaminants in natural environments seldom reach levels that are harmful to herring and result in population level effects. Nonetheless, metals do have significant effects on the physiology of herring and other fish species and can potentially impact herring under conditions of prolonged or intense exposure. Dissolved metals can alter enzyme activity at the cellular level and cause altered

function, leading to stress which can affect individual and population success. Many metals such as lead and mercury can occur in organic forms which are soluble in lipids; the high lipid content of herring makes the species particularly susceptible to metal accumulation. Accumulation of metals appears to increase with age in adult herring (Perttilä et al. 1982). A typical range of concentration of mercury in a sample of Bay of Fundy herring caught in weirs on the New Brunswick coast was 5 to 15 ppb (Braune 1987). Most of the mercury present in fish tissue is usually methylmercury (Zitko et al. 1971).

Dissolved metals can have a range of effects on early developmental stages of herring, including: altering respiration rate, reducing growth, and causing abnormal development and tissue formation. For example, copper concentrations of 30 ug/L are toxic to herring embryos (Blaxter 1977), while cadmium at 100 ug/L caused early hatching, smaller larvae, and longer yolk sacs (Rosenthal and Sperling 1974). Cadmium, copper, and zinc at low concentrations interfered with herring fertilization, affecting embryo development at concentrations of 5 ug/L, and leading to larval mortalities in hatching and newly hatched herring (Ojaveer et al. 1980, in Costello and Gamble 1992).

Heavy metals can produce malformations which make fish less fit. Zinc can cause gill damage and various other tissue changes in adult herring, and in larvae can lead to various malformations in gill arches, jaws, and spinal column (Somasundaram et al. 1984), and to changes in skin structure which could impact respiration during the developmental period before the gills develop (Somasundaram 1985).

## PHYSICAL DISTURBANCE

### Shipping

Shipping can impact herring in various ways, although the effects are likely to be minor. Herring detect ship noise and can manoeuvre away from it. In areas of heavy traffic, propellers may injure plankton, fish eggs, and larvae, although the impacts on herring life stages are probably small. Propeller wash frequently disturbs sediments in shallow coastal areas, which can settle on herring beds and smother eggs. Movement of vessels in the Miramichi River caused pronounced elevations of suspended matter concentrations. A major spawning area for herring occurs in the immediate subtidal zone in the vicinity of the Escuminac wharf, in Miramichi Bay, New Brunswick (Messieh et al. 1985).

### Dredging and Ocean Dumping

Coastal areas requiring dredging to maintain shipping channels, and harbours frequently occur in areas where herring are likely to spawn. Although dredging would not be permitted on spawning beds during spawning season, dredging in nearby areas can lead

to short-term elevations in suspended particulate matter which, upon settling, could smother herring eggs. Several major dredging projects have been undertaken in the Gulf of St. Lawrence in areas of known herring spawning activity, but no definite effects have been reported. In the late 1970s a major (2.5 million m<sup>3</sup>) project created a channel to a salt mine at the head of Lagune de Grande Entrée in Iles-de-la-Madeleine (formerly one of the main spring spawning areas in the southern Gulf of St. Lawrence) and disposed of the material in three dredge spoil islands in the harbour. By the time the project took place, however, the herring spawning stock had been virtually eliminated by overfishing. A major dredging project to open the channel in the Miramichi River in the early 1980s (6.6 million t) created several dredge spoil mounds, one near the major herring spawning bed at Point Escuminac. The project destabilized the bottom, leading to resuspension of bottom sediments, which could subsequently lead to damage to herring spawning beds and impact larval survival. Dredging in more contaminated areas, such as the St. Lawrence estuary, could lead to release of contaminants into the water column which would be picked up subsequently through herring feeding on contaminated plankton.

### Offshore Sand and Gravel Mining

Marine aggregate mining has been considered in some areas of Atlantic Canada; and proposals have been entertained for aggregate, silica sand, and gold placer mining off the south shore of Nova Scotia. Sand and gravel resources suitable for construction projects have been identified near Prince Edward Island (Messieh et al. 1991). In the North Sea many of the promising offshore gravel deposits correspond to herring spawning grounds (Kiorboe et al. 1981). Impacts of aggregate mining activities in Finnish waters have demonstrated a negligible effect on catches, egg number, and egg mortality where herring beds are about 1.5 km from the site of dredging (Oulasvirta and Lehtonen 1988). In England, a major herring spawning area occurs on a bank sought for its gravel deposits; but applications for dredging have been refused because of the importance to herring.

Impacts from offshore mining include entrainment of eggs, larvae, and adults with the dredge, burial of eggs, effects of the turbidity plume on egg masses and adult herring, and nutrient release from the seabed. Reductions in herring catch in coastal traps near the Finnish sand and gravel mining operation were suggested to be due to disturbance to the herring movement patterns by noise and activity associated with the operation (Kiorboe et al. 1981).

### Commercial Fishing

The herring fishery itself may have various environmental impacts. Herring gillnets may become lost and continue to catch fish ("ghost fishing") and snag seabirds and mammals, but impacts are likely to be less than for groundfish nets which typically have a larger mesh. No estimates for damage of these practises are available for

eastern Canada. In contrast, purse seines and weirs appear to have relatively little bycatch of other species (R.L. Stephenson, DFO, pers. comm.).

The practise of dumping herring offal at sea is now only a minor concern as offal can be diverted into fish meal production. Carcasses from herring roe operations (which use only the eggs from females and frequently discard both males and females) have been dumped under permit in offshore areas under the Canadian Environmental Protection Act. Test dumpings have shown that the carcasses are dispersed sufficiently to minimize environmental problems. One dumpsite is located at the mouth of the Bay of Fundy and one off Miscou Island in the Gulf of St. Lawrence. Processing alternatives include land-based disposal or channelling the carcasses into fish meal, fish silage, aquaculture feeds, and other products (Tidmarsh et al. 1986).

In some pelagic species such as herring, whole catches may be released from nets (particularly purse-seines) when the catches have been partially hauled up ("dried up"). Survival of fish released depends on stage of the process; but in mackerel, skin loss and stress contributed to high mortalities from being held at high densities ( $250 \text{ fish/m}^3$ ) for as little as 30 min (Lockwood et al. 1983). In eastern Canada, herring are usually released earlier and losses of unwanted fish from purse seine practises are generally small. Some herring may die when trapped in coastal inlets. In Norway a school of herring entered an inlet and fishermen blocked off the entrance, a practise common in New Brunswick; 500 t of fish died and a large proportion could not be recovered, causing oxygen depletion and pollution by fish oils and herring carcasses, as well as significant mortality of local organisms (Oug et al. 1991).

### Aquaculture

Aquaculture operations, particularly those involving caged salmon and trout in coastal waters of New Brunswick, may interfere with herring fisheries in various ways, including: competition for space, physical interference, and conflicts resulting from differing regulatory frameworks for aquaculture and natural populations. Conversion of herring weir sites to aquaculture may result in loss of capacity in the weir fishery and limit the available sites and opportunities for the weir fishery to move in response to changes in fish distributions. Herring weirs rely on longshore movements of herring schools, which may be obstructed by aquaculture sites while light and noise, as well as odours associated with the operations, may influence herring movements and catchability in weirs. Aquaculture is generally regulated by provincial governments while weir and other traditional fisheries are regulated by the federal government. The situation has made it difficult to maintain capacity in traditional fisheries while allowing for the growth of aquaculture and for developing a strategy for converting one use to the other (Stephenson 1990).

## INDUSTRIAL CONTAMINATION

Although mobile species such as herring often can avoid harmful environmental conditions, they can be impacted by severe contamination. A major spill of elemental phosphorus in Placentia Bay in 1969 resulted in high mortalities of the overwintering population of herring and caused declines in catch as well as a partial closure of the fishery. Over 80% of the herring present in Placentia Bay in February-March 1969 were killed by the spill (Winters et al. 1986).

### Pulp and Paper

Pulp and paper operations typically cause reductions in dissolved oxygen in receiving waters through the elevated biological demand of effluents, and some plants contaminate local waters through release of dioxins and furans (byproducts of chlorine bleaching). Former practises of producing chlorine involved electrolytic production of chlorine gas using mercury electrodes which led losses of mercury to the environment, but this process is no longer a significant source. Effluent from pulp mills has a dark colour and a low salinity and may form a layer at the surface, possibly impacting primary production in the water column. Darkened water and low-salinity plumes may influence movement patterns of herring which occur in the vicinity. Pulp mills have operated in areas where herring occur in eastern Canada, including Baie des Chaleurs, Canso Strait, Northumberland Strait, St. Croix River estuary, and Humber Arm, Newfoundland.

### Mining and Smelting

Mining operations impact marine environments chiefly through effluent from smelting operations and losses from loading facilities, as well as contaminants from combustion processes involved. Baie des Chaleurs, where herring can be found throughout the year, has been a major recipient of heavy metals from various mining and mineral trans-shipping activities, with resultant local contamination. Brunswick Mining and Smelting's lead zinc processing at Belledune, New Brunswick, led to elevated cadmium and lead concentrations in local waters. Sydney Steel Corporation's coking operations at the steel mill in Sydney, Nova Scotia, led to elevated PAH concentrations in the adjacent Muggah Creek; and consequently elevated PAH concentrations in lobster and mussels declined over a gradient from the inner harbour to the open coast. Aluminum smelters on the Saguenay River led to PAH contamination and elevated levels in mussels and other marine organisms in the St. Lawrence River (Wells and Rolston 1991).

Mining and metal production activity can lead to acid releases to the environment. Herring are sensitive to acid releases. Effluent containing sulphuric acid and high quantities of iron, as well as various other metals, from a titanium-dioxide plant in the Gulf of Bothnia caused periodic massive mortalities of herring eggs, as well as

mortalities in nets and reduced fish catches. High iron, titanium, and vanadium concentrations were found in eggs killed by the effluent (Oulasvirta 1990). Low pH in estuarine waters to which herring are exposed can lead to cellular changes in muscles which could reduce swimming ability (Bahgat et al. 1989). Disposal of acid mine drainage from coastal mines such as coal operations in Cape Breton Island is not permitted.

### **Power Generation**

Chlorine is used as a treatment to reduce settling and attachment of fouling organisms such as mussels and barnacles in cooling water systems, but is also used in a number of cases as a disinfectant in sewage discharges. Intake structures are usually screened to prevent entrainment of adult fish; but early life stages of herring, which are periodically abundant in coastal waters, can be carried through the cooling system and exposed to elevated chlorine concentration, as well as other stressors such as elevated temperature, mechanical abrasion, and rapid pressure changes.

Chlorine is added to cooling waters as hypochlorite, as chlorine gas, and through electrolysis of seawater. Substantial reactivity with halides in the water (e.g. bromide, iodide) and with organic matter contributes to a rapid disappearance of chlorine added to seawater and to a difficulty in maintaining concentrations at desirable levels. Herring post-larvae are relatively sensitive to chlorine concentration; as little as 0.7 ppm of chlorine produced oxidants results in 100% mortality after only 30 min of exposure (Dempsey 1986). Concentrations above 0.25 ppm for 1 d cause significant mortality, reaching 100% at about 0.5 ppm. Elevated temperature increases the toxicity of chlorine and adds to the impact on herring passing through a cooling system. The British Central Electricity Generating Board has set maximum limits of 0.25 ppm chlorine in cooling waters.

Herring larvae up to a size of 25 mm are relatively insensitive to rapid pressure changes which would occur from passing through pumps and turbines, but above that size to about 30 mm are particularly sensitive. In that age span they develop gas-filled organs connected with the ear but have not yet developed a means of compensating for pressure changes. Herring at larger sizes are usually screened from intakes (Hoss and Blaxter 1981).

### **FIXED LINK**

Several herring spawning areas occur in the vicinity of the corridor for the proposed fixed link (bridge) from Cape Tormentine, New Brunswick, to Borden, Prince Edward Island. Various impacts on herring have been suggested, including: changing current regime to alter gyres, causing colder temperatures and delaying spawning, and direct interference with herring spawning habitat. It has been suggested that oceanic gyres in the area maintain herring stocks through retention of larvae, leading to a hypothesis that

the bridge could disrupt current patterns and damage the stocks. The existence of gyres has not been proven, but studies carried out to support the environmental assessment for the project indicated that the bridge would likely have an insignificant effect on overall current movements (Chadwick 1990; Delcan-Stone and Webster Consultants 1989).

Herring spawn along the shores of Northumberland Strait and in the vicinity of the bridge. Some spawning activity may be impacted by construction and operation of the bridge. The construction may impact a small herring fishery which exists in the site, but it has been suggested that sparse and irregular plant cover in the area may limit herring spawning. The timing of spawning and incubation period of herring depends on temperature, and even a slight change in spring temperature caused by the bridge could impact herring and the fishery.

## OIL AND GAS

Herring are more likely than other species to be impacted by hydrocarbon spills as they spawn in localized areas; and many stocks are maintained by physical processes in retention areas, which presumably would retain hydrocarbons as well. Eggs and larvae are the most sensitive stages and also those most localized and affected by physical mechanisms. Lethal concentrations, however, would be limited to single year classes, generally in those occurring in the immediate vicinity of spills and blow-outs; and herring stocks would have the ability to recover. An overview of oil impacts in herring and other species is presented by the National Research Council (1985).

Oiling can damage fishing gear. Although lighter oils wash off rapidly, heavier oils such as crude can coat nets, ropes, buoys, boats and crew, and coastal infrastructure. Gear most susceptible to fouling includes longlines, gill nets, and traps. Mobile gear such as purse seines, used in herring fisheries, may not be so badly impacted since they can be deployed over the short term in areas where the likelihood of oiling is low.

Seismic equipment such as air guns used as sound sources can harm larval/young fish exposed at short distances. Any use of explosives at the wrong time could damage large numbers of herring if ignited near schools. Offshore exploration and production activity in eastern Canada takes place generally far enough offshore to avoid herring populations. Transport of hydrocarbons and support vessel traffic does pass through areas critical to herring in many cases.

Various impacts on natural herring populations have been observed after major oil spills and as a result of other contamination from production activity. One year following a bunker oil spill in the northern Baltic Sea, catches of larvae were small and the frequency of abnormal larvae was high and coincided well with the location of the oil spill (Urho and Hudd 1989).

The *Exxon Valdez* spill in Prince William Sound, Alaska, occurred 2 wk before herring spawning in the area but did not appear to impact herring catch the next year (Baker et al. 1992). Impacts may have occurred on the year-class spawned at the time, however. Growth and mortality of free-swimming Pacific herring larvae were not significantly different between oiled and non-oiled areas of Prince William Sound in the aftermath of the spill. However, egg survival was lower in areas of heavy oiling than in control areas, there was an earlier mean age at hatch (causing an increased mean length of larvae), and various abnormalities and deformations of larvae occurred for heavily oiled herring eggs (McGurk et al. 1993).

Produced water (containing both hydrocarbon components and inorganic compounds [including heavy metals, particularly iron]) did not lead to impacts on herring at dilutions which would occur 0.5 to 1 km downstream of a well over time scales of approximately 100 d (Gamble et al. 1987).

## SEWAGE

Herring can be exposed to domestic sewage in coastal areas during their coastal movements. Domestic sewage has elevated contents of various metals (particularly copper and cadmium), industrial chemicals and organic compounds (pesticides, PCBs), and may have elevated ammonia concentrations. The low human population in eastern Canada will not make offshore disposal of sewage necessary here for some time; but in other countries, offshore sewage sludge disposal may hamper herring populations. Sewage sludge (and its contained contaminant burden of metals and organics) has various effects on eggs and larval herring, depending on concentration, and includes hastening hatching but reducing hatching success, causing early larval mortality, and trapping of larvae by particle flocs (Costello and Gamble 1992). Dumping of sludge at sea typically results in surface films or slicks, a near-surface plume of dissolved and suspended material, and a primary plume of larger particles which descends to the seabed within a few hours. Sewage sludge dumping can result in elevated ammonia concentrations in the water column. A 1% mixture of sludge in water can be toxic to herring larvae (Costello and Gamble 1992). Heavy sewage loading can result in fin damage to herring (Urho 1989). Excessive pollution in harbours connected with major urban centres can stress herring living in those areas.

## GLOBAL WARMING

Climate change may lead to changes in traditional migration routes, and overwintering, spawning, and feeding areas. Herring appear to have adapted to previous shifts in sea level in the Atlantic region.

## COASTAL STRUCTURES AND CAUSEWAYS

Herring movements can be impacted by coastal structures, including causeways. While it apparently did not impact herring migration routes, the Canso Causeway between Cape Breton Island and mainland Nova Scotia in 1954 caused environmental changes such as altered circulation and temperature regime in St. Georges Bay and the Strait of Canso which may have impacted herring populations. Various complicating factors in such an analysis include the occurrence, coincident with the construction of the causeway, of mass mortalities of herring due to the outbreak of a fungal disease, a climatic warming, and greater discharge from the St. Lawrence River. It appears that the Causeway may have contributed to a delay in the arrival of spring-spawning herring in the region (Ware 1979; Messieh and El-Sabah 1988).

## ACKNOWLEDGEMENTS

This technical report was prepared under a contract to Envirosphere Consultants Limited by the Habitat Ecology Division of the Department of Fisheries and Oceans. The authors would like to acknowledge the assistance of Mr. H. Brian Nicholls and Dr. Donald C. Gordon, as well as Drs. Ian McQuinn, Robert Stephenson, John Wheeler, and Jerry Payne, and Mr. Jean Munro, all from the Department of Fisheries and Oceans. Ms. Patty Kendrick and Mr. Ken Meade assisted with collection and management of background information.

## BIBLIOGRAPHY

### General:

Blaxter, J.H.S. 1985. The herring: A successful species? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42(Suppl.1): 21-30.

Scott, W.B., and M.G. Scott. 1988. *Atlantic fishes of Canada.* Univ. of Toronto Press. 731 p.

Sindermann, C.J. 1979. Status of northwest Atlantic herring stocks of concern to the United States. United States National Oceanic and Atmospheric Administration, Tech. Ser. Rep. 23: 449 p.

### Stocks and Biology:

Haegele, C.W., and J.F. Schweigert. 1985. Distribution and characteristics of herring spawning grounds and description of spawning behaviour. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42(Suppl. 1): 39-55.

- McGladdery, S.E., and M.D.B. Burt. 1985. Potential of parasites for use as biological indicators of migration, feeding, and spawning behavior of northwestern Atlantic herring (*Clupea harengus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 1957-1968.
- Messieh, S.N., R. Pottle, P. MacPherson, and T. Hurlbut. 1985. Spawning and exploitation of Atlantic herring (*Clupea harengus*) at Escuminac in the southwestern Gulf of St. Lawrence, spring 1983. J. Northw. Atl. Fish. Sci. 6: 125-133.
- Messieh, S.N., and H. Rosenthal. 1989. Mass mortality of herring eggs on spawning beds on and near Fisherman's Bank, Gulf of St. Lawrence, Canada. Aquat. Living. Resour. 2: 1-8.
- Stephenson, R.L. 1990. Multiuse conflict. Aquaculture collides with traditional fisheries in Canada's Bay of Fundy. World Aquacult. 21: 34-45.
- Stephenson, R.L., D.E. Lane, D.G. Aldous, and R. Nowak. 1993. Management of the 4WX Atlantic herring (*Clupea harengus*) fishery: An evaluation of recent events. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50.
- Tremblay, M.J., and M. Sinclair. 1992. Planktonic sea scallop larvae (*Placopecten magellanicus*) in the Georges Bank region: Broadscale distribution in relation to physical oceanography. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49: 1597-1615.
- Wheeler, J.P., and G.H. Winters. 1984. Migrations and stock relationships of east and southeast Newfoundland herring (*Clupea harengus*) as shown by tagging studies. J. Northw. Atl. Fish. Sci. 5: 121-129.
- White, A.W. 1982. The scope of impact of toxic dinoflagellate blooms on finfish in Canada. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1063: iii + 5 p.

#### Industrial Pollution:

- Dempsey, C.H. 1986. The exposure of herring postlarvae to chlorine in coastal power stations. Mar. Environ. Res. 20: 279-290.
- Winters, G.H., J.P. Wheeler, and E.L. Dalley. 1986. Survival of a herring stock subjected to a catastrophic event and fluctuating environmental conditions. J. Cons. Int. Explor. Mer 43: 26-42.

#### Organochlorines:

- Haahti, H., and M. Perttilä. 1988. Levels and trends of organochlorines in cod and herring in the northern Baltic. Mar. Poll. Bull. 19: 29-32.

Zitko, V. 1981. Monitoring program for four major Atlantic coast fisheries. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1615.

Petroleum Hydrocarbons:

Carls, M.G. 1987. Effects of dietary and water-borne oil exposure on larval Pacific herring (*Clupea harengus pallasi*). Mar. Environ. Res. 22: 253-270.

Gamble, J.C., J.M. Davies, S.J. Hay, and F.K. Dow. 1987. Mesocosm experiments on the effects of produced water discharges from offshore oil platforms in the northern North Sea. Sarsia 72: 383-386.

Linden, O. 1975. Acute effects of oil and oil/dispersant mixtures on larvae of Baltic herring. Ambio 4: 130-133.

----- 1978. Biological effect of oil on early development of the Baltic herring *C. harengus membras*. Mar. Biol. 45: 273-283.

National Research Council. 1985. Oil in the sea. Inputs, fates, and effects. National Academy Press, Washington, D.C. 601 p.

Pearson, W.H., D.L. Woodruff, S.L. Kiesser, G.W. Fellingham, and R.A. Elston. 1985. Oil effects on spawning behavior and reproduction in Pacific herring (*Clupea harengus pallasi*). Battelle Marine Research Laboratory, Report to American Petroleum Institute. 105 p. + appendix.

Dredging:

Kiorboe, T., E. Frantsen, C. Jensen, and G. Sorensen. 1981. Effects of suspended sediment on development and hatching of herring (*Clupea harengus*) eggs. Estuarine Coastal Shelf Sci. 13: 107-111.

Messieh, S.N., T.W. Rowell, D.L. Peer, and P.J. Cranford. 1991. The effects of trawling, dredging and ocean dumping on the eastern Canadian continental shelf seabed. Cont. Shelf Res. 11: 1237-1263.

Messieh, S.N., D.J. Wildish, and R.H. Peterson. 1981. Possible impact from dredging and spoil disposal in the Miramichi Bay herring fishery. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1008: 33 p.

Other:

Oulassvirta, P., and H. Lehtonen. 1988. Effects of sand extraction on herring spawning and fishing in the Gulf of Finland. Mar. Pollut. Bull. 19: 383-386.

Messieh, S.N., and M.I. El-Sabh. 1988. Man-made environmental changes in the southern Gulf of St. Lawrence, and their possible impact on inshore fisheries, p. 499-523. In M.I. El-Sabh and T.S. Murty [ed.]. Natural and man-made hazards. D. Reidel Publishing Company.

Ware, D.M. 1979. The possible impact of the Canso Causeway on the migration of mackerel and herring in the Southern Gulf of St. Lawrence. Canso Marine Environment Workshop, Part 3: Fishery impacts. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep. 834.

#### **DEPARTMENT OF FISHERIES AND OCEANS EXPERTS**

Ecology, Distribution, and Fisheries	Mike Chadwick <sup>1</sup> Ian McQuinn <sup>2</sup> Robert Stephenson <sup>3</sup> John Wheeler <sup>4</sup>	(506) 851-6206 (418) 775-0627 (506) 529-8854 (709) 772-4704
Contaminants	Jack Uthe <sup>5</sup> Vlado Zitko <sup>3</sup>	(902) 426-6277 (506) 529-8854
Parasites	Sharon McGladdery <sup>1</sup>	(506) 851-2018

---

<sup>1</sup>Department of Fisheries and Oceans  
Gulf Fisheries Centre  
P.O. Box 5030  
Moncton, NB E1C 9B6  
Canada

<sup>2</sup>Department of Fisheries and Oceans  
Institut Maurice Lamontagne  
P.O. Box 1000  
Mont-Joli, PQ G5H 3Z4  
Canada

<sup>3</sup>Department of Fisheries and Oceans  
Northwest Atlantic Fisheries Centre  
P.O. Box 5667  
St. John's, NF A1C 5X1  
Canada

<sup>4</sup>Department of Fisheries and Oceans  
St. Andrews Biological Station  
Brandy Cove Road  
St. Andrews, NB E0G 2X0  
Canada

<sup>5</sup>Department of Fisheries and Oceans  
Halifax Fisheries Research Laboratory  
P.O. Box 550  
Halifax, NS B3J 2S7  
Canada

## REFERENCES

- Alderdice, D.F., and F.P.J. Velsen. 1971. Some effects of salinity and temperature on early development of Pacific herring (*Clupea pallasii*). J. Fish. Res. Board Can. 28: 1545-1562.
- Alderdice, D.F., and A.S. Hourston. 1985. Factors influencing development and survival of Pacific herring (*Clupea harengus pallasii*) eggs and larvae to beginning of exogenous feeding. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42(Suppl. 1): 56-68.
- Anderson, A., and M. Gagnon. 1980. Les ressources halieutiques de l'estuaire du Saint-Laurent. Rapp. Can. Ind. Sci. Halieut. Aquat. 119: iv + 56 p.
- Aneer, G. 1987. High natural mortality of Baltic herring (*Clupea harengus*) eggs caused by algal exudates? Mar. Biol. 94: 163-169.
- Appleby, J.A., and D.J. Scarratt. 1989. Physical effects of suspended solids on marine and estuarine fish and shellfish with special reference to ocean dumping: A literature review. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1681: v + 33 p.
- Bahgat, F.J., P.E. King, and S.E. Shackley. 1989. Ultrastructural changes in the muscle tissue of *Clupea harengus* L. larvae induced by acid pH. J. Fish. Biol. 34: 25-30.
- Baker, J.M., R.B. Clark, and P.F. Kingston. 1992. Two years after the spill: Environmental recovery in Prince William Sound and the Gulf of Alaska. In P.M. Ryan [ed.]. Managing the environmental impact of offshore oil production. Proceedings of the 32nd Annual Meeting of the Canadian Society of Environmental Biologists, St. John's, Newfoundland, April 1-4, 1992.
- Batty, R.S., J.H.S. Blaxter, and D.A. Libby. 1986. Herring (*Clupea harengus*) filter-feeding in the dark. Mar. Biol. 91: 371-375.
- Blaxter, J.H.S. 1977. The effect of copper on the eggs and larvae of plaice and herring. J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 57: 849-858.
- 1985. The herring: A successful species? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42(Suppl. 1): 21-30.
- Braune, B. 1987. Mercury accumulation in relation to size and age of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) from the southwestern Bay of Fundy, Canada. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 16: 311-320.

- Cairns, D.K., S.N. Messieh, E. Wade, P.A. MacPherson, and G.C.J. Bourque. 1993. Timing, location, and volume of herring spawn deposition at Fisherman's Bank, Prince Edward Island, 1987-1990. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1928: vi + 60 pp.
- Carls, M.G. 1987. Effects of dietary and water-borne oil exposure on larval Pacific herring (*Clupea harengus pallasi*). Mar. Environ. Res. 22: 253-270.
- Chadwick, E.M.P., and R.R. Claytor. 1989. Run timing of pelagic fishes in the Gulf of St. Lawrence: Area and species effects. J. Fish. Biol. 35(Suppl. A): 215-223.
- Chadwick, E.M.P. [ed.]. 1990. Proceedings of the Gulf Habitat Science Workshop. Can. Ind. Rep. Fish. Aquat. Sci. 206: ii + 65 p.
- Chadwick, E.M.P., D.K. Cairns, H.M.C. Dupuis, K.V. Ewart, M.H. Kao, and G.L. Fletcher. 1990. Plasma antifreeze levels reflect the migratory behaviour of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) in the southern Gulf of St. Lawrence. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 47: 1534-1536.
- Chadwick, E.M.P., J. Allard, J. Dale, and G. Nielsen. 1993. Stock composition in the 4Vn winter herring fishery. Dept. Fish. Oceans Atl. Fish. Res. Doc. 93/38: 22 p.
- Costello, M.J., and J.C. Gamble. 1992. Effects of sewage sludge on marine fish embryos and larvae. Mar. Environ. Res. 33: 49-74.
- da Silva, J., and J.D. Neilson. 1985. Limitations of using otoliths recovered in scats to estimate prey consumption in seals. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 1439-1442.
- Delcan-Stone and Webster Consultants. 1989. Impacts on marine animals and marine plant populations and their habitats. Background document for response to Questions A-1 through A-8. Fixed Link Environmental Review.
- Delval, C., S. Fournier, and Y. Vigneault. 1986. Polychlorinated biphenyl residues in some marine organisms from the Baie des Anglais (Baie-Comeau, Québec, Saint-Lawrence estuary). Bull. Environ. Contam. Toxicol. 37: 823-829.
- Dempsey, C.H. 1986. The exposure of herring post-larvae to chlorine in coastal power stations. Mar. Environ. Res. 20: 279-290.
- DeSilva, C.D., and P. Tytler. 1973. The influence of reduced environmental oxygen on the metabolism and survival of herring and plaice larvae. Neth. J. Sea Res. 7: 345-362.
- Fortier, L., and W.C. Leggett. 1982. Fickian transport and the dispersal of fish larvae in estuaries. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 39: 1150-1163.

- , 1983. Vertical migrations and transport of larval fish in a partially mixed estuary. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 1543-1555.
- Fortier, L., and J.A. Gagné. 1990. Larval herring (*Clupea harengus*) dispersion, growth, and survival in the St. Lawrence estuary: Match/mismatch or membership/vagrancy? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 1898-1912.
- Gagné, J.A., B. Robineau, and L. Fortier. 1992. Impact of toxic dinoflagellate blooms on the recruitment of finfish populations, p. 36. In J.-C. Therriault and M. Levasseur [ed.]. *Proceedings of the Third Canadian Workshop on Harmful Marine Algae*. Maurice Lamontagne Institute, Mont-Joli, Québec, May 12-14, 1992. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1893: 154 p. (Poster)
- Gamble, J.C., J.M. Davies, S.J. Hay, and F.K. Dow. 1987. Mesocosm experiments on the effects of produced water discharges from offshore oil platforms in the northern North Sea. *Sarsia* 72: 383-386.
- Gosselin, S., L. Fortier, and J.A. Gagné. 1989. Vulnerability of marine fish larvae to the toxic dinoflagellate *Protogonyaulax tamarensis*. *Mar. Ecol.* 57: 1-10.
- Graham, J.J. 1972. Retention of larval herring within the Sheepscot estuary of Maine. *Fish. Bull. U.S.* 70: 518-520.
- Graham, J.J., K.D. Stevenson, and K.M. Sherman. 1990. Relation between winter temperature and survival of larval Atlantic herring along the Maine coast. *Trans. Am. Fish. Soc.* 119: 730-740.
- Haahti, H., and M. Perttilä. 1988. Levels and trends of organochlorines in cod and herring in the northern Baltic. *Mar. Pollut. Bull.* 19: 29-32.
- Haegele, C.W., and J.F. Schweigert. 1985. Distribution and characteristics of herring spawning grounds and description of spawning behaviour. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42(Suppl. 1): 39-55.
- Hansen, P.-D., H. von Westernhagen, and H. Rosenthal. 1985. Chlorinated hydrocarbons and hatching success in Baltic herring spring spawners. *Mar. Environ. Res.* 15: 59-76.
- Hoss, D.E., and J.H.S. Blaxter. 1981. Effects of rapid changes in hydrostatic pressure on the larvae of Atlantic herring (*Clupea harengus* L.). *Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer* 178: 328-329.
- Hourston, A.S., H. Rosenthal, and S. Kerr. 1981. Capacity of juvenile Pacific herring (*Clupea harengus pallasi*) to feed on larvae of their own species. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1044: v + 9 p.

- Khalil, M.F., J. Labbe, A.C. Horth, and M. Arnac. 1985. Chlorinated hydrocarbons: Pollutants or indicators of fish stock structure. *Int. J. Environ. Analyt. Chem.* 21: 105-114.
- Kiorboe, T., E. Frantsen, C. Jensen, and G. Sorensen. 1981. Effects of suspended sediment on development and hatching of herring (*Clupea harengus*) eggs. *Estuarine Coastal Shelf Sci.* 13: 107-111.
- Lambert, T.C., and S.N. Messieh. 1989. Spawning dynamics of Gulf of St. Lawrence herring (*Clupea harengus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 46: 2085-2094.
- Linden, O. 1975. Acute effects of oil and oil/dispersant mixtures on larvae of Baltic herring. *Ambio* 4: 130-133.
- 1978. Biological effect of oil on early development of the Baltic herring *C. harengus membras*. *Mar. Biol.* 45: 273-283.
- Lockwood, S.J., M.G. Pawson, and D.R. Eaton. 1983. The effects of crowding on mackerel (*Scomber scombrus* L.) - physical condition and mortality. *Fish. Res.* 2: 129-147.
- Lough, R.G., G.R. Bolz, M. Pennington, and M.D. Grosslein. 1985. Larval abundance and mortality of Atlantic herring (*Clupea harengus* L.) spawned in the Georges Bank and Nantucket Shoals areas, 1971-78 seasons, in relation to spawning stock size. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 6: 21-35.
- McGladdery, S.E., and M.D.B. Burt. 1985. Potential of parasites for use as biological indicators of migration, feeding, and spawning behavior of northwestern Atlantic herring (*Clupea harengus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42: 1957-1968.
- McGladdery, S.E. 1986. *Anasakis simplex* (Nematode: Anisakidae) infection of the musculature and body cavity of Atantic herring (*Clupea harengus harengus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 43: 1312-1317.
- McGurk, M.D., J.M. Green, W.D. McKone, and K. Spencer. 1980. Condition indices, energy density and water and lipid content of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) of southeastern Newfoundland. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 958: iv + 41 p.
- McGurk, M.D., H.D. Warburton, T.B. Parker, and M. Litke. 1993. Effects of the *Exxon Valdez* oil spill on survival of Pacific herring eggs and viability of their larvae, p. 255-257. In E.G. Baddaloo, S. Ramamoorthy, and J.W. Moore [ed.]. Proceedings of the 19th Annual Aquatic Toxicology Workshop, October 4 to 7, 1992, Edmonton, Alberta, Canada.

- McHenery, J.G., D. Saward, and D.D. Seaton. 1991. Lethal and sub-lethal effects of the salmon delousing agent dichlorvos on the larvae of the lobster (*Homarus gammarus* L.) and herring (*Clupea harengus* L.). *Aquaculture* 98: 331-347.
- McKenzie, R.A. 1964. Observations on herring spawning off southwest Nova Scotia. *J. Fish. Res. Board Can.* 21: 203-205.
- McQuinn, I.H., G.J. Fitzgerald, and H. Powles. 1983. Environmental effects on embryos and larvae of the Isle Verte stock of Atlantic Herring (*Clupea harengus harengus*). *Naturalist Can.* 110: 343-355.
- Messieh, S.N. 1979. The decline of the herring fishery in northern Northumberland Strait and its possible causes. *Canso Marine Environment Workshop, Part 3: Fishery Impacts. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep.* 834.
- Messieh, S.N., D.J. Wildish, and R.H. Peterson. 1981. Possible impact from dredging and spoil disposal in the Miramichi Bay herring fishery. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1008: 33 p.
- Messieh, S.N., R. Pottle, P. MacPherson, and T. Hurlbut. 1985. Spawning and exploitation of Atlantic herring (*Clupea harengus*) at Escuminac in the southwestern Gulf of St. Lawrence, spring 1983. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 6: 125-133.
- Messieh, S.N. 1987. Some characteristics of Atlantic Herring (*Clupea harengus*) spawning in the southern Gulf of St. Lawrence. *Northw. Atl. Fish. Organ. Sci. Coun. Stud.* 11: 53-61.
- Messieh, S.N., and M.I. El-Sabh. 1988. Man-made environmental changes in the southern Gulf of St. Lawrence, and their possible impact on inshore fisheries, p. 499-523. In M.I. El-Sabh and T.S. Murty [ed.]. *Natural and Man-Made Hazards*. D. Reidel Publishing Company.
- Messieh, S.N., and H. Rosenthal. 1989. Mass mortality of herring eggs on spawning beds on and near Fisherman's Bank, Gulf of St. Lawrence, Canada. *Aquat. Living Resour.* 2: 1-8.
- Messieh, S.N., T.W. Rowell, D.L. Peer, and P.J. Cranford. 1991. The effects of trawling, dredging and ocean dumping on the eastern Canadian continental shelf seabed. *Cont. Shelf Res.* 11: 1237-1263.
- Moores, J.A., and G.H. Winters. 1984. Migration patterns of Newfoundland west coast herring (*Clupea harengus*) as shown by tagging studies. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 5: 17-22.

- Morgan, J.D., and C.D. Levings. 1989. Effects of suspended sediment on eggs and larvae of lingcod (*Ophiodon elongatus*), Pacific herring (*Clupea harengus pallasi*), and surf smelt (*Hypomesus pretiosus*). Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1729: 38 p.
- Morrison, J.A., I.R. Napier, and J.C. Gamble. 1991. Mass mortality of herring eggs associated with a sedimenting diatom bloom. Int. Counc. Explor. Sea J. Mar. Sci. 48: 237-245.
- Murie, D.J., and D.M. Lavigne. 1992. Growth and feeding habits of grey seals (*Halichoerus grypus*) in the northwestern Gulf of St. Lawrence, Canada. Can. J. Zool. 70: 1604-1613.
- Musial, C.J., J.F. Uthe, G.R. Sirota, B.G. Burns, M.W. Gilgan, and V. Zitko. 1981. Di-n-hexyl phthalate (DHP), a newly identified contaminant in Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) and Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 38: 856-859.
- Musial, C.J., and J.F. Uthe. 1983. Widespread occurrence of the pesticide toxaphene in Canadian east coast marine fish. Int. J. Environ. Analyt. Chem. 14: 117-126.
- National Research Council. 1985. Oil in the sea. Inputs, fates, and effects. National Academy Press, Washington, D.C. 601 p.
- Oug, E., T.E. Lein, R. Küfner, and I. Falk-Petersen. 1991. Environmental effects of a herring mass mortality in Northern Norway. Impact on and recovery of rocky-shore and soft-bottom biotas. Sarsia 76: 195-207.
- Oulasvirta, P., and H. Lehtonen. 1988. Effects of sand extraction on herring spawning and fishing in the Gulf of Finland. Mar. Poll. Bull. 19: 383-386.
- Oulasvirta, P. 1990. Effects of acid-iron effluent from a titanium dioxide factory on herring eggs in the Gulf of Bothnia. Finn. Fish. Res. 11: 7-15.
- Parsons, L.S., and V.M. Hodder. 1971. Variation in incidence of larval nematodes in herring from Canadian Atlantic waters. Int. Comm. Northw. Atl. Fish. Res. Bull. 8: 5-14.
- Pearson, W.H., D.L. Woodruff, S.L. Kiesser, G.W. Fellingham, and R.A. Elston. 1985. Oil effects on spawning behavior and reproduction in Pacific herring (*Clupea harengus pallasi*). Battelle Marine Research Laboratory, Rep. to American Petroleum Institute. 105 p. + appendix.
- Perttilä, M., V. Tervo, and R. Parmanne. 1982. Age dependence of the concentrations of harmful substances in Baltic herring (*Clupea harengus*). Chemosphere 11: 1019-1026.

- Rainio, K., R.R. Linko, and L. Ruotsila. 1986. Polycyclic aromatic hydrocarbons in mussel and fish from the Finnish Archipelago Sea. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 37: 337-343.
- Robineau, B., J.A. Gagné, L. Fortier, and A.D. Cembella. 1991. Potential impact of a toxic dinoflagellate (*Alexandrium excavatum*) bloom on survival of fish and crustacean larvae. Mar. Biol. 108: 293-301.
- Rosenthal, H., and K.-R. Sperling. 1974. Effects of cadmium on development and survival of herring eggs. In J.H.S. Blaxter [ed.]. The early life history of fish. Springer-Verlag, Berlin.
- Scott, W.B., and M.G. Scott. 1988. Atlantic fishes of Canada. Univ. Toronto Press. 731 p.
- Sherwood, N.M., A.L. Kyle, C.M. Warby, T.H. Magnus, J. Carolsfeld, and S. Price. 1991. Partial characterisation of a spawning pheromone in the herring *Clupea harengus pallasi*. Can. J. Zool. 69: 91-103.
- Sinclair, M., and M.J. Tremblay. 1984. Timing of spawning of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) populations and the match-mismatch theory. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41: 1055-1065.
- Sinclair, M., and T.D. Iles. 1985. Atlantic herring (*Clupea harengus*) distributions in the Gulf of Maine-Scotian Shelf area in relation to oceanographic features. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 880-887.
- Sinderman, C.J. 1958. An epizootic in the Gulf of St. Lawrence fishes. Trans. Am. Wildl. Nat. Resour. Conf. 29: 349-360.
- Sindermann, C.J. 1979. Status of northwest Atlantic herring stocks of concern to the United States. U. S. Nat. Oceanic Atmos. Adm. Tech. Ser. Rep. 23: 449 p.
- Somasundaram, B., P.E. King, and S.E. Shackley. 1984. Some morphological effects of zinc upon the yolk-sac larvae of *Clupea harengus* L. J. Fish Biol. 25: 333-343.
- Somasundaram, B. 1985. Effects of zinc on epidermal ultrastructure in the larva of *Clupea harengus*. Mar. Biol. 85: 199-207.
- Stephenson, R.L., and M.J. Power. 1989. Observations on herring larvae retained in the Bay of Fundy: Variability in vertical movement and position of the patch edge. Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer 191: 177-183.
- Stephenson, R.L. 1990. Multiuse conflict. Aquaculture collides with traditional fisheries in Canada's Bay of Fundy. World Aquacult. 21: 34-45.

- Stephenson, R.L., and I. Kornfield. 1990. Reappearance of spawning Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) on Georges Bank: Population resurgence not recolonization. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47(6): 1060-1064.
- Stephenson, R.L., D.E. Lane, D.G. Aldous, and R. Nowak. 1993. Management of the 4WX Atlantic herring (*Clupea harengus*) fishery: An evaluation of recent events. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50: 2742-2757.
- Struhsaker, J.W., M.B. Eldridge, and T. Echeverria. 1974. Effects of benzene on eggs and larvae of Pacific herring and northern anchovy, p. 253-284. *In* F.J. Vernberg and W.B. Vernberg [ed.]. *Pollution and Physiology of Marine Organisms*. Academic Press, New York.
- Tidmarsh, W.G., J.H. Merritt, G. Bernier, J. Joza, and S. Bastien-Daigle. 1986. Fish waste disposal practices and options for eastern New Brunswick. *Can. Ind. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 176.
- Urho, L. 1989. Fin damage in larval and adult fishes in a polluted inlet in the Baltic, p. 493-494. *In* J.H.S. Blaxter, J.C. Gamble, and H. v. Westernhagen [ed.]. *The early life history of fish. Third Int. Counc. Explor. Sea Symp.*, Bergen, Norway, 3 to 5 October, 1988. *Rapp. P.-V. Réun. Cons. Int. Explor. Mer* 191.
- Urho, L., and R. Hudd. 1989. Sublethal effects of an oil spill on fish (herring) larvae in the Northern Quark, in the Baltic, p. 494. *In* J.H.S. Blaxter, J.C. Gamble, and H. v. Westernhagen [ed.]. *The early life history of fish. Third Int. Counc. Explor. Sea Symposium*, Bergen, Norway, 3 to 5 October, 1988. *Rapp. P.-V. Réun. Cons. Int. Explor. Mer* 191.
- Ware, D.M. 1979. The possible impact of the Canso Causeway on the migration of mackerel and herring in the Southern Gulf of St. Lawrence. *Canso Marine Environment Workshop, Part 3: Fishery Impacts. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep.* 834.
- Wells, P.G., and S.J. Rolston. 1991. Health of our oceans. A status report on Canadian marine environmental quality. *Environ. Can., Conserv. Protect.*, Dartmouth and Ottawa, Canada. 186 p.
- Wheeler, J.P., and G.H. Winters. 1984a. Homing of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) in Newfoundland waters as indicated by tagging data. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 41: 108-117.
- 1984b. Migrations and stock relationships of east and southeast Newfoundland herring (*Clupea harengus*) as shown by tagging studies. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 5: 121-129.

- White, A.W. 1982. The scope of impact of toxic dinoflagellate blooms on finfish in Canada. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1063: iii + 5 p.
- Whitehead, P.J.P. 1985. King herring: His place amongst the clupeoids. Can J. Fish. Aquat. Sci. 42(Suppl. 1): 3-20.
- Wildish, D.J., A.J. Wilson, and H. Akagi. 1977. Avoidance of herring of suspended sediments from dredge spoil dumping. Int. Counc. Explor. Sea C.M.1977/E:11: 6 p.
- Winters, G.H., and J.P. Wheeler. 1985. Interaction between stock area, stock abundance, and catchability coefficient. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 989-998.
- Winters, G.H., J.P. Wheeler, and E.L. Dalley. 1986. Survival of a herring stock subjected to a catastrophic event and fluctuating environmental conditions. J. Cons. Int. Explor. Mer 43: 26-42.
- Winters, G.H. and J.P. Wheeler. 1987. Recruitment dynamics of spring-spawning herring in the Northwest Atlantic. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44: 882-900.
- Zitko, V., B.J. Finlayson, D.J. Wildish, J.M. Anderson, and A.C. Kohler. 1971. Methylmercury in freshwater and marine fishes in New Brunswick, in the Bay of Fundy, and on the Nova Scotia Banks. J. Fish. Res. Board Can. 28: 1285-1291.
- Zitko, V. 1981. Monitoring program for four major Atlantic coast fisheries. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1615.



Scientific Excellence • Resource Protection & Conservation • Benefits for Canadians  
Excellence scientifique • Protection et conservation des ressources • Bénéfices aux Canadiens

## Besoins environnementaux et réactions aux activités humaines du hareng atlantique (*Clupea harengus harengus*) dans l'est du Canada

DOCUMENTS

P.L. Stewart et S.H. Arnold

DIRECTION DES SCIENCES BILOGIQUES  
RÉGION SCOTIA-FUNDY  
MINISTÈRE DES PÊCHES ET DES OCÉANS  
INSTITUT OCÉANOGRAPHIQUE DE BEDFORD  
C.P. 1006  
DARTMOUTH (NOUVELLE-ÉCOSSE) B2Y 4A2  
CANADA

RECEIVED  
SEP 16 1999  
LIBRARY  
BEDFORD INSTITUTE OF  
OCEANOGRAPHY

1994

## Rapport technique canadien des sciences halieutiques et aquatiques 2003



Fisheries  
and Oceans

Pêches  
et Océans

Canada

## Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences

Technical reports contain scientific and technical information that contributes to existing knowledge but which is 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 abstracted in *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts* and indexed in the Department's annual index to scientific and technical publications.

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

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 complètes. Le titre exact paraît au-dessus du résumé de chaque rapport. Les rapports techniques sont résumés dans la revue *Résumés des sciences aquatiques et halieutiques*, et ils sont classés dans l'index annuel des publications scientifiques et techniques du Ministère.

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 auteur dont le nom figure sur la couverture et la page du titre. Les rapports épuisés seront fournis contre rétribution par des agents commerciaux.

Rapport technique canadien des  
sciences halieutiques et aquatiques 2003

1994

**BESOINS ENVIRONNEMENTAUX ET RÉACTIONS AUX ACTIVITÉS HUMAINES  
DU HARENG ATLANTIQUE (*CLUPEA HARENGUS HARENGUS*)  
DANS L'EST DU CANADA**

par

P.L. Stewart<sup>1</sup> et S.H. Arnold<sup>1</sup>

Direction des sciences biologiques  
Région Scotia-Fundy  
Ministère des Pêches et des Océans  
Institut océanographique de Bedford  
C.P. 1006  
Dartmouth (Nouvelle-Écosse) B2Y 4A2  
Canada

---

<sup>1</sup>Envirosphere Consultants Limited, C.P. 2906, Windsor (N.-É) B0N 2T0, Canada

© Ministre des Travaux publics et des Services gouvernementaux Canada 1994  
N° de cat. Fs 97-6/2003 ISSN 0706-6570

Ce document devra être cité comme suit:

Stewart, P.L., et S.H. Arnold. 1994. Besoins environnementaux et réactions aux activités humaines du hareng atlantique (*Clupea harengus harengus*) dans l'est du Canada. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2003: ix + 40 p.

## TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES . . . . .	v
LISTE DES TABLEAUX . . . . .	v
RÉSUMÉ . . . . .	vi
ABSTRACT . . . . .	vii
PRÉFACE . . . . .	ix
BIOLOGIE DE L'ESPÈCE . . . . .	1
RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE . . . . .	1
PARTICULARITÉS . . . . .	1
ALIMENTATION . . . . .	1
REPRODUCTION . . . . .	2
Fraye de printemps . . . . .	4
Fraye d'automne . . . . .	4
Zones de fraye . . . . .	4
PREMIERS STADES DE DÉVELOPPEMENT . . . . .	6
CROISSANCE . . . . .	6
COMPORTEMENT . . . . .	6
MIGRATIONS . . . . .	7
PRÉDATEURS, PARASITES ET MALADIES . . . . .	8
TOXINES ALGALES . . . . .	8
BESOINS ENVIRONNEMENTAUX . . . . .	9
TEMPÉRATURE . . . . .	9
SALINITÉ . . . . .	10
OXYGÈNE DISSOUS . . . . .	10
PARTICULES EN SUSPENSION . . . . .	10
SUBSTRAT . . . . .	11
CONDITIONS OCÉANOGRAPHIQUES . . . . .	11
IMPORTANCE ÉCONOMIQUE ET UTILISATION DE LA RESSOURCE . . . . .	12
PÊCHE COMMERCIALE . . . . .	12
GESTION DE LA RESSOURCE . . . . .	14
STOCKS . . . . .	14
RÉACTIONS AUX ACTIVITÉS HUMAINES . . . . .	16

## TABLE DES MATIÈRES (suite)

CONTAMINANTS DE L'ENVIRONNEMENT ET POLLUTION . . . . .	16
Réactions aux contaminants . . . . .	16
Contaminants organiques . . . . .	17
BPC et HAP . . . . .	17
Esters de l'acide phthalique (phtalates) . . . . .	17
Pesticides . . . . .	18
Hydrocarbures pétroliers . . . . .	18
Métaux lourds . . . . .	20
PERTURBATIONS PHYSIQUES . . . . .	20
Navigation . . . . .	20
Dragage et rejets en mer . . . . .	21
Exploitation de sablières et de gravières en mer . . . . .	21
Pêche commerciale . . . . .	22
Aquiculture . . . . .	23
CONTAMINATION INDUSTRIELLE . . . . .	23
Pâtes et papiers . . . . .	23
Mines et fonderies . . . . .	24
Production d'électricité . . . . .	24
RACCORDEMENT PERMANENT DE L'I.-P.-É ( <i>FIXED LINK PROJECT</i> ) . . . . .	25
GAZ ET PÉTROLE . . . . .	26
EAUX USÉES . . . . .	27
RÉCHAUFFEMENT PLANÉTAIRE . . . . .	28
OUVRAGES CÔTIERS ET PONTS-JETÉES . . . . .	28
REMERCIEMENTS . . . . .	28
BIBLIOGRAPHIE . . . . .	28
SPÉCIALISTES DU MINISTÈRE DES PÊCHES ET DES OCÉANS . . . . .	31
RÉFÉRENCES . . . . .	32

**LISTE DES FIGURES**

Figure 1. Cycle vital généralisé et milieux de fraye du hareng atlantique dans les eaux de l'est du Canada. . . . .	3
Figure 2. Répartition de la fraye du hareng atlantique dans l'est du Canada. . . . .	5

**LISTE DES TABLEAUX**

Tableau 1. Unités de gestion et complexes de stocks de hareng atlantique dans l'Atlantique nord-ouest. . . . .	15
---	----

## RÉSUMÉ

Stewart, P.L., et S.H. Arnold. 1994. Besoins environnementaux et réactions aux activités humaines du hareng atlantique (*Clupea harengus harengus*) dans l'est du Canada. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2003: ix + 40 p.

Le hareng atlantique *Clupea harengus harengus* compte parmi les principales espèces de poisson des pêches de l'est du Canada et il est également beaucoup pêché ailleurs dans le monde. Cette pêche fait vivre une importante industrie commerciale de la sardine au Nouveau-Brunswick et plusieurs autres marchés en sont tributaires: filets frais et congelés, hareng mariné et fumé, œufs de hareng, et farine et huile de poisson. Les principaux stocks ont connu d'importantes fluctuations de leur abondance de l'intensité de leur exploitation, qu'il faut imputer particulièrement à l'intensification de l'effort de pêche par les pays étrangers durant les années 60 et aux développements qui ont été réalisés dans la même période dans le secteur de la pêche mobile (senne coulissante) au Canada, ainsi qu'aux règlements de gestion qui ont été adoptés par la suite. Le hareng juvénile est pêché pour les besoins du marché de la sardine au moyen des fascines traditionnelles, surtout dans la région de la baie de Fundy, au Nouveau-Brunswick et en Nouvelle-Écosse; quant au hareng adulte, il se pêche beaucoup à la senne coulissante et, dans les eaux côtières, au filet maillant. La pêche au filet-trappe ou à la senne de rivage est pratiquée dans certains secteurs.

Le hareng est une espèce migratoire qui retourne vers des régions côtières et des bancs bien localisés pour y frayer. Selon le stock et la saison, la fraye a lieu en eaux peu profondes (< 10 m) ou sur des hauts-fonds et des bancs plus profonds. Le hareng dépose ses œufs au fond de la mer en eaux profondes et sur les algues et des substrats durs dans les frayères côtières se trouvant en eaux peu profondes. Les zones de fraye se trouvent généralement dans des secteurs caractérisés par des eaux bien mélangées ou la présence de tourbillons de marée, ou dans les estuaires où il y a une bonne circulation des eaux, ou encore dans les baies ou autres accidents du littoral qui, croit-on, aident à garder les larves dans le secteur où elles poursuivront leur croissance et favorisent le développement des comportements de rassemblement en bancs et de migration. La mortalité élevée aux premiers stades du développement, de l'état ovulaire jusqu'à l'âge juvénile, donne lieu à des variations importantes des classes annuelles d'adultes. Conjuguée aux impacts importants de la pêche sur les populations adultes, la variabilité des classes d'adultes a entraîné parfois des baisses catastrophiques de certains stocks de la côte est, comme en a témoigné l'effondrement à la fin des années 70 de stocks importants autour des îles de la Madeleine et sur le banc Georges. Environ une douzaine de stocks ou de groupes de stocks importants de l'est du Canada sont gérés de manière indépendante pour les fins de la pêche.

Le hareng peut être affecté par diverses activités humaines. Sa tendance à se rassembler en bancs, son utilisation de zones de fraye et d'alevinage localisées et sa fréquentation des eaux côtières rendent le hareng plus sensible que bien d'autres espèces aux rejets accidentels de contaminants, comme les déversements de pétrole ou les rejets industriels. Un déversement de phosphore élémentaire dans la baie Placentia, à

Terre-Neuve, a tué environ 80% du hareng de la baie et une partie importante du stock. Les déversements de pétrole et les rejets industriels dans les zones côtières peuvent avoir des effets tangibles sur les larves et les juvéniles; on a surtout observé des cas de mortalité ainsi que des cas de développement anormal chez les larves. Le hareng peut également accumuler des contaminants organiques comme les organochlorés (BPC et DDE) en raison de sa teneur élevée en lipides. Et même en de faibles concentrations, ces contaminants peuvent avoir des effets négatifs sur le succès de la reproduction. Les déplacements du hareng peuvent être entravés par des ouvrages côtiers, notamment les ponts-jetées. Bien qu'il n'ait pas d'effet sur les migrations, le pont-jetée de Canso qui relie l'île du Cap-Breton à la partie continentale de la Nouvelle-Écosse a quand même causé des changements à l'environnement, comme l'altération de la circulation ou du régime des températures, qui ont des conséquences sur les populations de hareng. Les cages marines employées en aquiculture et divers ouvrages côtiers peuvent nuire aux déplacements des poissons à la recherche d'aliments et, dans certains cas (comme la pêche à fascines dans la baie de Fundy) avoir des répercussions sur la pêche locale. Le hareng peut aussi être perturbé aux stades larvaire et postlarvaire lorsqu'il est entraîné dans les eaux de refroidissement des centrales thermiques et les rejets de chlore employé pour prévenir l'encrassement dans ces installations, mais aussi dans les usines d'épuration et de traitement des eaux usées. La pollution excessive des havres situés près des grands centres peut faire subir un stress aux harengs présents dans ces secteurs.

## ABSTRACT

Stewart, P.L., et S.H. Arnold. 1994. Besoins environnementaux et réactions aux activités humaines du hareng atlantique (*Clupea harengus harengus*) dans l'est du Canada. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2003: ix + 40 p.

Atlantic herring *Clupea harengus harengus* is one of the major eastern Canadian fisheries species and also is important worldwide. The fishery supports an important commercial sardine industry based in New Brunswick, as well as markets for fresh and frozen fillets, cured herring and bloaters (smoked herring), herring roe (eggs), and fish meal and oil. Major stocks have undergone significant fluctuations in abundance and level of exploitation, particularly as a result of major increases in effort by foreign nations in the 1960s and concurrent developments in a Canadian mobile (purse seine) fishery and subsequent management regulations. Juvenile herring are fished for the sardine market by traditional weirs, chiefly in the Bay of Fundy region of New Brunswick and Nova Scotia; but other major fisheries for mature fish involve purse seining and coastal gill netting. Trap netting and shut-offs can occur in some areas.

Herring is a migratory species, returning to localized coastal areas and banks for spawning. Depending on stock and season, spawning occurs in shallow water (< 10 m) as well as on deeper shoals and banks. Herring deposit eggs on the sea bed in deeper water and on algae and solid substrate in shallow coastal spawning beds. Spawning areas are generally associated with well-mixed water, with tidal gyres, with estuaries

having well-developed estuarine circulation, or in bays and other coastal features, which are believed to aid in keeping the larvae in the area for subsequent development and to permit the development of schooling and migratory behaviour. High mortality of all early stages, from egg to juvenile, results in significant variations in adult year classes. Coupled with major impacts to adult populations caused by fishing, the year-class variability has sometimes resulted in catastrophic declines in specific east coast stocks, including the collapse in the late 1970s of major stocks around Iles-de-la-Madeleine and on Georges Bank. About a dozen major stocks or stock groups in eastern Canada are managed independently for fisheries purposes.

Herring can be affected by various human activities. The tendency to school, the use of localized spawning and nursery areas, and the association of the species with coastal waters make herring more susceptible than many other species to accidental releases of contaminants such as oil spills or industrial discharges. A spill of elemental phosphorus in Placentia Bay, Newfoundland, killed about 80% of the herring in the Bay at the time and a significant proportion of the stock. Oil spills and releases in coastal areas can impact larval and juvenile stages with demonstrated effects, chiefly causing mortality or abnormal larval development. Herring can also accumulate organic contaminants such as organochlorines (PCBs and DDE) owing to their elevated lipid content; and although concentrations are small, they can lead to reduced reproductive success. Herring movements can be impacted by coastal structures, including causeways. While not impacting migration patterns, the Canso Causeway between Cape Breton Island and mainland Nova Scotia caused environmental changes such as altered circulation or temperature regime impacting herring populations. Sea cages used in aquaculture and other coastal structures can interfere with local feeding movements, and in some cases (e.g. the Fundy weir fishery) impact local fisheries. Herring can also be impacted at the larval and post-larval stages from entrainment in cooling water from thermal power generating plants and from chlorine discharges used to control fouling in those facilities, as well as in wastewater and sewage treatment. Excessive pollution in harbours connected with major urban centres can stress herring living in those areas.

## PRÉFACE

Les gestionnaires de l'habitat au ministère des Pêches et des Océans (MPO) ont souvent besoin d'informations clés sur les besoins environnementaux de certaines espèces pour pouvoir évaluer les effets sur celles-ci du développement industriel ou autre. Ces informations sont souvent dispersées à travers les sources les plus diverses: ouvrages de référence, revues scientifiques, rapports techniques, imprimés non répertoriés, fichiers informatiques, sans compter la mémoire des individus. Aussi ces informations sont-elles souvent difficiles et fastidieuses à obtenir. C'est pourquoi les gestionnaires prennent souvent des décisions sans pouvoir compter sur des informations clés. Le présent document fait partie d'une série de plusieurs rapports techniques destinés justement à corriger cette lacune en présentant des profils d'habitat faciles à consulter et qui résument l'information existante sur la biologie de diverses espèces, leurs besoins environnementaux et les effets anthropiques connus sur leurs populations.

À la lumière des résultats probants de l'étude pilote consacrée au homard<sup>1</sup> en 1992 par le Sous-comité scientifique sur l'habitat marin de l'Atlantique, au MPO, on a produit le présent rapport et deux autres profils<sup>2,3</sup>. Ce programme d'étude, qui a consisté en des analyses bibliographiques et des consultations, a été affermé à Envirosphere Consultants Limited, de Windsor (Nouvelle-Écosse). Le choix des trois espèces étudiées - hareng, moule bleue et pétoncle géant - a été conjointement fait par les quatre bureaux régionaux du MPO dans la zone atlantique (Terre-Neuve, Scotia-Fundy, Golfe, Québec). Chaque rapport fait l'objet d'une publication distincte, en anglais et en français. Ces travaux ont été financés par le Programme des pêches durables, découlant du Plan vert d'Environnement Canada.

Nous espérons que d'autres profils du genre seront publiés dans un proche avenir, et vous invitons à nous faire connaître vos commentaires et vos idées pour en accroître l'utilité.

Donald C. Gordon  
Chargé de projet  
Direction des sciences biologiques  
Ministère des Pêches et des Océans  
Région Scotia-Fundy

H. Brian Nicholls  
Autorité scientifique  
Division de l'évaluation des ressources  
marines et de la liaison  
Ministère des Pêches et des Océans  
Région Scotia-Fundy

<sup>1</sup>Harding, G.C. 1992. Le homard d'Amérique (*Homarus americanus* Milne Edwards): Document de travail sur ses besoins environnementaux et sur les phénomènes anthropiques se répercutant sur sa population. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 1887: vi + 17 p.

<sup>2</sup>Stewart, P.L. 1994. Besoins environnementaux et réactions aux activités humaines de la moule bleue (*Mytilus edulis*) dans l'est du Canada. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2004: x + 44 p.

<sup>3</sup>Stewart, P.L., et S.H. Arnold. 1994. Besoins environnementaux et réactions aux activités humaines du pétoncle géant (*Placopecten magellanicus*) dans l'est du Canada. Rapp. tech. can. sci. halieut. aquat. 2005: ix + 39 p.

## BIOLOGIE DE L'ESPÈCE

### RÉPARTITION GÉOGRAPHIQUE

Le hareng atlantique *Clupea harengus harengus* vit dans l'Atlantique nord-ouest à partir du nord du Labrador et du Groenland jusqu'en Caroline du Nord (Blaxter 1985). Dans l'est du Canada, on le retrouve depuis l'estuaire du Saint-Laurent (Île Verte) jusqu'à la baie de Fundy (baie Passamaquoddy et bassin Minas) en passant par le secteur sud du golfe du Saint-Laurent, les côtes de Terre-Neuve et le sud du Labrador. Il en existe un petit peuplement dans le lac Bras-d'Or, en Nouvelle-Écosse.

### PARTICULARITÉS

Le hareng atlantique passe la majeure partie de sa vie dans la colonne d'eau (espèce pélagique), principalement en bancs considérables. Sa forme allongée et profilée et sa caudale très fourchue sont bien adaptées à la vie pélagique. Le bleu irisé de ses grosses écailles peu resserrées, la présence de scutelles (plaquettes carénées sur le ventre ou le dos) et son dos noir lui procurent un camouflage qui le protège contre ses prédateurs (Whitehead 1985; Blaxter 1985).

Le hareng atlantique possède une vision très développée qui aide l'espèce à se nourrir de petites proies. Sa vision est optimale dans le sens supérieur avant, direction qu'il prend habituellement pour approcher sa nourriture (Blaxter 1985). L'espèce a une ouïe également bien développée, à la fois sensible et capable de percevoir une large gamme de fréquences, et qui fait intervenir des saccules d'air servant à amplifier le son (Blaxter 1985).

### ALIMENTATION

Le hareng se nourrit principalement de crustacés, tels les copépodes et les euphausiacés, alors que les jeunes larves peuvent se nourrir de phytoplancton, d'oeufs, de larves et d'autres organismes, y compris les larves de leur propre espèce (Gosselin et coll. 1989; Hourston et coll. 1981). Le hareng repère ses proies avec ses yeux, mais en cas de concentrations élevées et la nuit, il peut les filtrer en se servant de ses branchicténies (supports des branchies) à la manière d'un crible (Batty et coll. 1986). En se déplaçant en bancs relativement petits, le hareng a plus de facilité à trouver sa nourriture. Le hareng se nourrit peu en hiver et son ratio poids/longueur (un indice de condition) est en constante diminution tout au long de l'hiver et du printemps. La teneur des tissus en lipides varie de façon saisonnière, selon la quantité de nourriture disponible et le degré de maturation des gonades (McGurk et coll. 1980).

## REPRODUCTION

Le hareng atlantique peut atteindre sa maturité à l'âge de 2 ans comme à plus de 5 ans et peut frayer soit au printemps, soit à l'automne. Dans certaines zones, on retrouve des harengs qui frayent au printemps et d'autres à l'automne (fig. 1). La fraye d'automne prédomine dans le sud-ouest de la plate-forme Scotian et dans l'ouest du golfe du Maine (et autrefois sur le banc Georges), alors que la fraye de printemps prédomine dans la partie septentrionale de l'aire de répartition de l'espèce le long de la côte est de Terre-Neuve et a lieu dans les eaux côtières peu profondes. Dans le golfe du Saint-Laurent, la fraye a lieu aussi bien au printemps qu'à l'automne.

Les frayères se retrouvent dans des secteurs localisés le long des côtes et en haute mer sur les bancs et hauts-fonds. Elles sont utilisées année après année, et les frayées de printemps et d'automne peuvent se dérouler dans le même secteur. Les frayères sont souvent vastes, s'étendant parfois sur plusieurs kilomètres le long du littoral, formant une bande étroite limitée par la profondeur; au sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, par exemple, on a signalé une frayère de  $0,07 \text{ km}^2$  (McKenzie 1964).

Durant la fraye, les oeufs et la laitance sont déposés dans l'eau par les harengs, groupés en bancs. Les oeufs mesurent de 1 à 1,4 mm de diamètre et sont fécondés dans la colonne d'eau, puis se déposent et se fixent à divers substrats du fond marin, comme les pierres et les algues. Les oeufs restent au fond de la mer jusqu'à l'éclosion, soit environ 30 jours à  $5^\circ\text{C}$  (température habituelle lors de la fraye de printemps) et 10 jours à  $15^\circ\text{C}$  (température habituelle lors de la fraye d'automne dans le golfe du Saint-Laurent). Les oeufs pondus l'automne au sud-ouest de la Nouvelle-Écosse se développent normalement à environ  $10^\circ\text{C}$ .

Le hareng mâle et le hareng femelle peuvent tous deux être incités à frayer par la présence de la laitance ou d'un extrait de la gonade du mâle (hareng du Pacifique [Sherwood et coll. 1991]); l'émission de sperme peut donc déclencher une ponte massive. Le hareng peut explorer le substrat local avant d'y déposer ses oeufs et montre des préférences marquées pour certains types de fond (Pearson et coll. 1985).

L'épaisseur des dépôts d'oeufs varie d'une seule couche à 20 ou 30 couches pour atteindre jusqu'à 4 ou 5 cm (Messieh et Rosenthal 1989; Lough et coll. 1985; Cairns et coll. 1993). Lorsque les couches d'oeufs sont denses, la mortalité est plus élevée en raison de l'insuffisance d'oxygène causée par les couches supérieures.

Le hareng atlantique arrive aux frayères par vagues. Les oeufs pondus par ces diverses vagues de poissons en autant de lots éclosent pour donner lieu à une succession de groupes de larves semblables par leur taille et leur stade d'évolution, que l'on trouve habituellement dans la même masse d'eau. Dans le cas des stocks de hareng du golfe du Saint-Laurent, les plus gros poissons arrivent habituellement les premiers dans les frayères, alors que les plus petits qui en sont à leur première saison de fraye arrivent habituellement les derniers (Lambert et Messieh 1989). Bien que la chronologie des déplacements du hareng soit globalement reliée aux changements saisonniers de

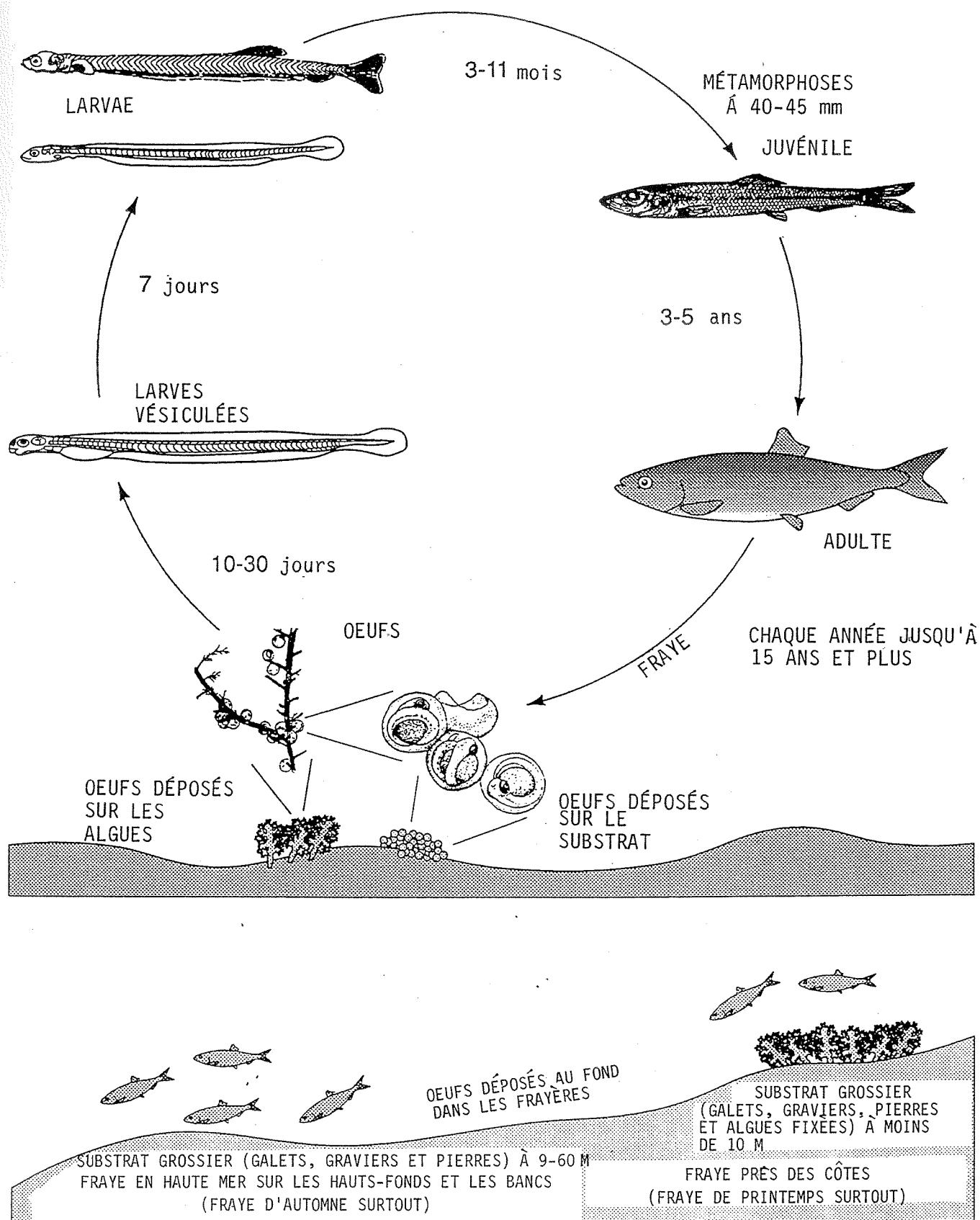


Figure 1. Cycle vital généralisé et milieux de fraye du hareng atlantique dans les eaux de l'est du Canada.

température, il semble que les déplacements à l'échelle locale soient indépendants de la température. Les harengs qui frayent au printemps et ceux qui frayent à l'automne dans le golfe du Saint-Laurent arrivent au même moment en dépit d'écart de températures qui peuvent atteindre jusqu'à 5°C (Chadwick et Claytor 1989).

### Fraye de printemps

La fraye de printemps se produit en eaux peu profondes; dans l'est du Canada, l'arrivée du hareng coïncide avec le réchauffement de la région. Les frayères de printemps sont habituellement moins profondes que les frayères d'automne, se situant entre la limite supérieure de la zone infralittorale et une profondeur d'environ 5 m (golfe du Saint-Laurent, baie des Chaleurs, estuaire du Saint-Laurent), et à moins de 10 m à l'est de Terre-Neuve. Les œufs sont déposés sur un substrat grossier (pierres détachées et fonds rocheux exposés) et sur les algues.

### Fraye d'automne

La fraye d'automne se produit en eaux plus profondes que la fraye de printemps, soit à 10 à 25 m dans le golfe du Saint-Laurent, à 40 m au sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, et à 50 m sur le banc Georges. Les œufs sont déposés sur le fond marin, et notamment sur les algues dans les secteurs plus proches des côtes (Sindermann 1979; McKenzie 1964).

### Zones de fraye

Les populations de hareng frayent le printemps et l'automne dans le sud du golfe du Saint-Laurent et à l'ouest et au sud-est de Terre-Neuve (fig. 2). Au sud-ouest de la Nouvelle-Écosse et dans la baie de Fundy, les principaux stocks se reproduisent l'automne, mais certaines populations se reproduisent aussi le printemps dans le fond de la baie de Fundy (baie Scots et bassin Minas). Le stock décimé du banc Georges frayait jadis l'automne, tout comme le fait encore le stock de l'est du Maine et de Grand Manan. Les populations du sud-est et de l'est de Terre-Neuve et de l'estuaire du Saint-Laurent (Île Verte) frayent surtout au printemps. Une population qui fraye le printemps est présente dans le lac Bras-d'Or, un milieu de type estuarien dans l'île du Cap-Breton.

Dans la passé, les deux principales frayes dans la partie méridionale du golfe du Saint-Laurent étaient celles des îles de la Madeleine, au printemps, et de la baie des Chaleurs, à l'automne; aujourd'hui, ce sont maintenant les frayères de printemps qui prédominent dans cette partie du golfe (en particulier à Escuminac, au Nouveau-Brunswick).

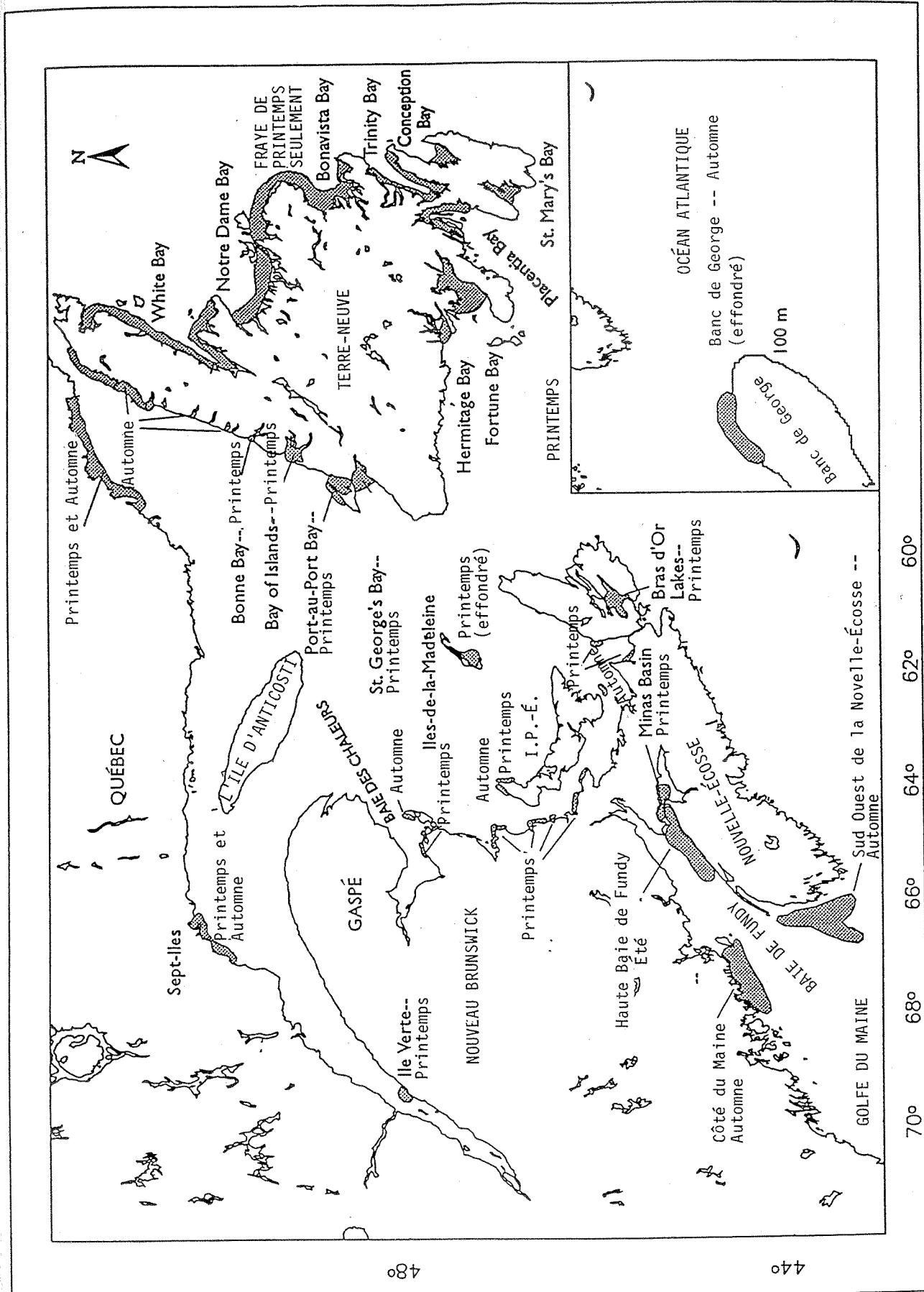


Figure 2. Répartition de la fraye du hareng atlantique dans l'est du Canada (sources: Haeghe et Schweigert 1985; Messieh 1987; Messieh et coll. 1985; Sinclair et Iles 1985; Stephenson et coll. 1993; Wheeler et Winters 1984b).

## PREMIERS STADES DE DÉVELOPPEMENT

Le jeune hareng conserve sa vésicule vitelline après l'éclosion et il nage et se nourrit pendant une semaine ou plus, selon la température, jusqu'à ce que sa vésicule soit complètement résorbée. On retrouve les larves vésiculées nouvellement écloses près du fond marin mais elles remontent bientôt dans la colonne d'eau, où elles passent par un stade larvaire qui dure de 3 à 11 mois, le plus souvent autour de 6 mois. Le stade larvaire est le plus long chez les stocks de hareng de l'estuaire du Saint-Laurent (9 à 11 mois), alors que chez le hareng qui fraye l'automne dans le golfe du Maine, il dure de 6 à 8 mois (Sinclair et Iles 1985; Sinclair et Tremblay 1984; Sindermann 1979). Lorsqu'elles atteignent de 40 à 45 mm, les larves subissent une transformation radicale pour se métamorphoser en adultes, phase au cours de laquelle se manifeste le comportement de rassemblement en bancs (les larves pourraient aussi se grouper [R.L. Stephenson, MPO, comm. pers.]). En général, les individus qui éclosent au printemps subissent cette métamorphose dans l'année alors que pour ceux qui éclosent à l'automne, ce changement s'opère l'année suivante. Selon que la ponte a lieu au printemps ou à l'automne, les harengs se trouvent exposés à des contraintes différentes; ainsi, le hareng éclos à l'automne devra pouvoir survivre à l'hiver au stade larvaire.

La mortalité des oeufs et des larves est élevée; elle serait due principalement à la prédation par d'autres organismes - tant dans le cas des oeufs que dans celui des larves - aux tempêtes et à l'entraînement des oeufs vers le rivage, et au manque de nourriture (Alderdice et Hourston 1985; Blaxter 1985). Les fluctuations du recrutement au sein des stocks commerciaux dépendraient surtout des variations de la mortalité au cours de la première année du développement (Lough et coll. 1985). Le hareng au stade postlarvaire passe au stade juvénile au cours duquel il se déplace en bancs à longueur d'année dans les zones côtières. Le hareng atlantique atteint la maturité à l'âge de 2 à 3 ans, parfois à plus de 5 ans.

## CROISSANCE

La croissance du hareng varie d'un stock à l'autre et au sein d'un même stock, selon la température de l'eau, l'abondance de la nourriture et la taille de la population. La croissance est plus rapide dans les eaux plus chaudes, alors que la compétition dans les populations nombreuses ralentit la croissance. En général, le hareng atteint la maturité à 4 ans, mais parfois aussi à 3 ans. Le hareng du stock de l'Île Verte, dans l'estuaire du Saint-Laurent, est celui qui croît le plus lentement dans l'est du Canada, et la taille de l'adulte de ce stock est inférieure de 20% à celle des adultes du même âge du sud du golfe du Saint-Laurent (Anderson et Gagnon 1980).

## COMPORTEMENT

Le hareng atlantique est une espèce qui forme des bancs et effectue des migrations annuelles régulières entre des zones de fraye, d'alimentation et d'hivernage bien connues (Wheeler et Winters 1984a; 1984b). Le rassemblement en bancs est un

phénomène d'adaptation qui permet aux populations d'échapper aux prédateurs, mais il rend l'espèce plus facile à capturer avec des engins de pêche comme les fascines, les filets maillants, les filets-trappes et les sennes coulissantes.

Le hareng adulte passe les heures du jour en bancs près des fonds marins, alors qu'au crépuscule il remonte vers la surface et se disperse. À l'aube, les poissons se rassemblent à nouveau en bancs et se dirigent vers les eaux plus profondes. Ce comportement, en plus d'être adapté aux déplacements des proies du hareng, permet à ce dernier d'échapper à ses prédateurs, comme certains poissons et les oiseaux plongeurs (Blaxter 1985).

Les larves de hareng effectuent également des déplacements verticaux quotidiens, dont les caractéristiques varient selon l'endroit (Stephenson et Power 1989; Fortier et Leggett 1983). Les larves sont généralement présentes en plus fortes densités dans les couches supérieures le jour, mais elles recherchent les eaux plus profondes par temps lumineux.

Le hareng atlantique semble avoir la faculté de retourner en bancs à la même frayère année après année; il est souvent alors la cible de la pêche commerciale parce que le moment de son arrivée est extrêmement prévisible (Sinclair et Iles 1985). Les impacts de divers facteurs néfastes pour le hareng peuvent s'en trouver accrus durant la période de la fraye.

## MIGRATIONS

Les migrations se font sur des distances allant de courtes à moyennes, selon les populations, et elles se limitent principalement aux eaux côtières de l'est du Canada. Les migrations les plus longues sont celles des stocks du sud du golfe du Saint-Laurent et du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse et de la baie de Fundy, lesquels peuvent circuler respectivement chaque année entre le golfe et les eaux du large du Cap-Breton dans l'Atlantique, et entre les eaux du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse et la baie Chedabucto, en Nouvelle-Écosse (Chadwick et coll. 1993; Sinclair et Iles 1985). Les harengs de bon nombre de stocks migrent sur de plus courtes distances; le stock de la baie Fortune, à Terre-Neuve, par exemple reste dans la baie toute l'année (Winters et Wheeler 1985). De nombreux stocks frayant en des endroits différents peuvent se mélanger durant les périodes d'alimentation et d'hivernage. On peut prévoir avec beaucoup de justesse du hareng. Autrefois, certains stocks du golfe migraient jusqu'au sud-ouest de Terre-Neuve, mais cela n'est plus vrai aujourd'hui.

Les juvéniles, quel que soit le stock auquel ils appartiennent, ont tendance à rester dans les zones côtières tout au long de l'année jusqu'à qu'ils parviennent à la maturité et se joignent aux adultes. Les juvéniles de plusieurs populations peuvent se mélanger dans une zone donnée.

## PRÉDATEURS, PARASITES ET MALADIES

Le hareng atlantique est exposé à la prédatation à toutes les étapes de sa vie. Ses œufs qui reposent en masses au fond de la mer sont la proie d'autres poissons (le plus souvent la morue, l'aiglefin et les poissons plats), d'invertébrés, et même de canards de mer comme dans l'estuaire du Saint-Laurent (J. Munro, MPO, comm. pers.), ce qui cause des pertes de 30 à 70% dans certains cas (Lough et coll. 1985). À d'autres stades de son évolution, le hareng est la proie de divers autres animaux, dont les morues, les merlus argentés, les saumons, les thons, les requins, les aiguillats, les calmars, les oiseaux marins, les phoques et les baleines (da Silva et Neilson 1985). Le hareng constitue l'un des principaux aliments du phoque gris dans le nord-ouest du golfe du Saint-Laurent (Murie et Lavigne 1992). Le maquereau bleu est un grand prédateur du hareng larvaire et juvénile. Les juvéniles des eaux côtières peuvent être amenés au rivage par les prédateurs, ce qui provoque des échouements massifs (Sindermann 1979).

Le hareng n'est pas particulièrement sujet à la maladie. Entre 1954 et 1956 toutefois, la plupart des harengs du golfe du Saint-Laurent ont péri à la suite d'une infection fongique due à l'*Ichthyosporidium hoferi* (Sinderman 1958; Scott et Scott 1988). Des flambées de cette maladie ont également eu lieu dans le golfe du Maine (Sindermann 1979).

Le hareng atlantique peut être infesté par divers parasites, qui peuvent à l'occasion provoquer la mort. Celui de l'est du Canada a communément pour parasite le "ver du hareng" (*Anisakis* sp., un ver rond) qui s'enkyste dans la cavité abdominale et parfois dans les muscles; il peut être nocif pour les humains également. Les stocks infestés le sont à des degrés divers, et on a utilisé l'incidence d'*Anisakis*, comme de plusieurs autres parasites, pour suivre les migrations saisonnières du hareng (McGladdery 1986; Parsons et Hodder 1971). On a pu relever chez le hareng de l'est du Canada dix-huit espèces de parasites, principalement des nématodes, des vers plats et des ténias (McGladdery et Burt 1985).

## TOXINES ALGALES

Le hareng peut être perturbé par les proliférations de phytoplancton (dinoflagellés toxiques, notamment) et d'algues marines, et ce dans diverses circonstances. Des accumulations locales de macroalgues nuisibles, comme *Pilayella littoralis*, ont été constatées occasionnellement sur la côte atlantique de la Nouvelle-Écosse et sur la côte du Massachusetts. En Europe, même si de telles accumulations sont réputées causer une diminution de la concentration d'oxygène, les algues en décomposition semblent libérer des substances chimiques qui nuisent à l'éclosion des œufs de hareng pondus au même moment où s'est produite la prolifération des algues (Aneer 1987). La prolifération de la diatomée *Skeletonema costatum*, qui sédimente sur les œufs de hareng, réduit la concentration d'oxygène et entraîne un taux élevé de mortalité des œufs (Morrison et coll. 1991).

Le hareng s'expose aux toxines responsables de l'intoxication paralysante par les mollusques aux stades adulte et postlarvaire, lorsqu'il ingère du zooplancton et du microzooplancton contaminés, et, au stade larvaire, lorsqu'il ingère des cellules de phytoplancton toxique (White 1982; Gosselin et coll. 1989). La toxine (saxatoxine) de plusieurs espèces de dinoflagellés (*Alexandrium* spp., autrefois *Gonyaulax* ou *Protogonyaulax*) bloque les influx nerveux, ce qui entraîne la perte d'équilibre, la paralysie et puis la mort. Seule l'intoxication paralysante par les mollusques est en cause; c'est à elle qu'on doit les nombreux décès de hareng adulte survenus dans la baie de Fundy en 1976 et 1979 (White 1982), mais on n'y relève aucun décès depuis, ni dans d'autres régions de l'est du Canada ni dans l'estuaire du Saint-Laurent. Le hareng contaminé ne risque pas d'intoxiquer les humains vu qu'il est relativement sensible et qu'il meurt avant que la toxine n'atteigne des concentrations mortelles pour l'homme (White 1982; Gosselin et coll. 1989; Robineau et coll. 1991).

Les populations de hareng peuvent être perturbées du fait que des segments importants des stocks transitent selon la saison par la baie de Fundy et l'estuaire du Saint-Laurent, qui sont des zones où la toxine causant l'intoxication paralysante par les mollusques apparaît souvent et où les flambées récurrentes de fin d'été chevauchent périodiquement les périodes de développement et de croissance des larves du hareng. On avance que dans ces cas, les mortalités élevées du hareng imputables à la présence de la toxine responsable de l'intoxication paralysante par les mollusques pourraient perturber le recrutement; mais les travaux préliminaires sur la modélisation des impacts sur le recrutement n'ont pas donné de résultats concluants (Gagné et coll. 1992).

## BESOINS ENVIRONNEMENTAUX

Le hareng est une espèce à la faculté d'adaptation considérable, qui évolue dans une large plage de températures et de salinité et peut frayer dans toutes sortes de conditions. Néanmoins, certains stocks peuvent être influencés dans leur comportement et leur répartition par des changements relativement faibles dans l'environnement (variations de la température, par exemple).

## TEMPÉRATURE

Le hareng subit et peut tolérer de grands écarts de température, à la fois durant les migrations des populations adultes et durant les changements saisonniers survenant dans les zones où se développent les poissons. Les juvéniles qui hivernent dans les zones côtières sont généralement exposés à de basses températures, souvent inférieures à 0°C (Granham et coll. 1990; Chadwick et coll. 1990), alors que les eaux côtières peuvent dans certains cas atteindre 20°C ou plus en été. Les populations qui frayent dans une région donnée montrent généralement un rendement optimal de la reproduction quand les températures se situent dans les moyennes locales. Par exemple, les taux de développement des œufs et des jeunes larves et d'éclosion du hareng de l'estuaire du Saint-Laurent sont optimaux lorsque la température est de 4°C, alors qu'ils décroissent

à des températures plus élevées (McQuinn et coll. 1983). Le hareng juvénile du sud du golfe du Saint-Laurent possède dans son sang des protéines antigel qui lui permettent de tolérer des températures inférieures à 0°C (Chadwick et coll. 1990). Les oeufs peuvent tolérer des températures atteignant 23°C, mais des températures anormalement élevées peuvent entraîner un mauvais développement de la mâchoire chez les larves nouvellement écloses (Alderdice et Velsen 1971). La faculté du hareng de se rassembler en bancs lui permet de rester dans des masses d'eau présentant une température adéquate; l'adulte évite les températures inférieures à 0°C (M. Chadwick, MPO, comm. pers.).

## SALINITÉ

*Clupea harengus* tolère une large plage de salinité. La fraye peut avoir lieu dans des eaux quasi-douces comme dans de l'eau de mer pleinement salée. L'adulte peut tolérer des taux de salinité supérieurs à 35 ppt mais aussi de faibles salinités (Blaxter 1985). Des expositions prolongées à des taux de salinité supérieurs ou inférieurs à un taux optimal entraînent habituellement des troubles énergétiques susceptibles de causer un stress qui peut menacer la survie des individus.

## OXYGÈNE DISSOUS

Le hareng à l'état larvaire tolère les faibles concentrations d'oxygène (DeSilva et Tytler 1973). Le taux de mortalité des oeufs augmente lorsque la concentration d'oxygène tombe au-dessous du taux de saturation de 50%, et la longueur des larves fraîchement écloses s'en trouve réduite (Braum 1973, cité par Aneer 1987); mais le taux de survie des oeufs demeure relativement élevé à un taux de saturation de 20 à 25% (Aneer 1987). La consommation d'oxygène par les oeufs diminue à faibles concentrations d'oxygène. Le hareng, a-t-on observé, dépose ses oeufs en masses denses, de sorte que les oeufs des couches inférieures meurent par manque d'oxygène. Les faibles concentrations d'oxygène dissous en combinaison avec la présence de limons peut compromettre la survie des oeufs de hareng (Messieh et coll. 1981).

## PARTICULES EN SUSPENSION

La plupart du temps, les sédiments en suspension d'origine naturelle n'ont pas d'effets importants sur le hareng, mais souvent les contaminants que contiennent les sédiments peuvent avoir des effets importants. Le hareng est un prédateur visuel, et la présence de fortes concentrations de sédiments en suspension peut nuire à son alimentation. On a pu constater que l'espèce évite les concentrations élevées de particules en suspension (seuil d'environ 9 à 13 mg L<sup>-1</sup>) et les concentrations plus fortes de sédiments grossiers (Wildish et coll. 1977; Messieh et coll. 1981).

En général, les oeufs et les larves de poisson tolèrent moins bien les sédiments en suspension que les adultes (Appleby et Scarratt 1989), mais les effets ne s'observent généralement qu'à des concentrations élevées. Les sédiments en suspension n'endommagent pas les oeufs de hareng; par ailleurs, les sédiments en concentrations élevées (de 5 à 300 mg L<sup>-1</sup>) n'entravent pas la survie ni le développement de l'embryon (Kiorboe et coll. 1981). Toutefois, les sédiments déposés sur les oeufs peuvent causer la mort, alors que les sédiments en suspension peuvent entraîner l'éclosion précoce et une réduction de la longueur des larves à l'éclosion de même qu'entraver l'alimentation des larves à des niveaux de quelques parties par million seulement (Messieh et coll. 1981; McQuinn et coll. 1983).

On a observé chez le hareng du Pacifique que les sédiments en suspension contenant des concentrations élevées de cadmium et des BPC ont pour effet d'augmenter la mortalité des oeufs, de retarder leur éclosion et de diminuer le taux de survie des larves fraîchement écloses. Les effets devenaient plus marqués à mesure qu'augmentaient les concentrations de sédiments en suspension (Morgan et Levings 1989). On présume que soumis à de pareilles conditions, le hareng atlantique aurait des réactions analogues.

## SUBSTRAT

Le hareng a besoin d'un substrat solide pour y déposer ses oeufs. En eaux peu profondes, les fonds fermes peuvent supporter des algues, lesquelles semblent constituer dans certains cas un substrat de prédilection pour la fraye. Les frayères des bancs de haute mer ont habituellement un substrat composé de graviers et de pierres, alors que dans les zones côtières, elles ont un substrat fait de pierres et de graviers auxquels se fixent les algues. Lorsqu'ils sont fixés à un substrat solide, les oeufs de hareng ne sont pas emportés par les courants ni par les vagues. Néanmoins, les fortes vagues emportent fréquemment les oeufs de hareng et l'on en a souvent vu de grandes quantités venir s'échouer sur le rivage après de fortes tempêtes.

## CONDITIONS OCÉANOGRAPHIQUES

Le cycle de reproduction du hareng atlantique est étroitement lié à des conditions océanographiques que l'on retrouve fréquemment près des zones de productivité intense, là où les larves et les juvéniles peuvent se développer sans être dispersés. Le comportement migratoire du hareng permet à l'espèce de retourner à ces zones physiquement favorables, et la tendance des harengs dans leurs premiers stades de développement à demeurer dans les zones de reproduction fait en sorte qu'ils se joignent aux populations d'adultes dont ils sont issus, ce qui leur permet de développer le comportement de retour aux eaux natales. La majeure partie des stocks de hareng de l'est du Canada se trouve dans des zones présentant des conditions océanographiques qui réduisent au minimum la dispersion des larves: c'est ce qu'on appelle des zones de rétention (Sinclair et Iles 1985). Plusieurs phénomènes physiques distincts, en plus des

caractéristiques comportementales de l'espèce, permettent de retenir les larves à proximité des zones de reproduction et de maturation: mentionnons les zones à fort mélange vertical, les tourbillons de courants, certains courants dans les grandes baies et les anses, et les mouvements des eaux de fond des estuaires vers les rivages.

Les zones à fort mélange vertical semblent inciter les larves du hareng qui y fraye à rester dans ces zones au moment d'entreprendre le stade de développement juvénile. Dans les eaux du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse, qui présentent de telles propriétés physiques, la maturation des jeunes harengs se produit à proximité d'un front de marée productif que fréquentent les adultes pour se nourrir avant d'aller frayer.

Les larves éclosent sur certains bancs de la haute mer peuvent être retenues sur place par l'action des tourbillons causés par les courants de marée résiduels (un courant net résultant des mouvements de va-et-vient de la marée). Les tourbillons de marée aideraient, semble-t-il, à maintenir l'intégrité des stocks du détroit de Northumberland dans le sud du golfe du Saint-Laurent. Les stocks de hareng de nombreuses grandes baies de Terre-Neuve ont tendance à demeurer dans ces baies, ce qui peut contribuer à la rétention des larves.

Les larves éclosent dans les grands estuaires et les milieux côtiers qui jouissent d'un afflux d'eau douce peuvent être retenues sur place par les courants estuariens (Fortier et Leggett 1982; Fortier et Gagné 1990). Les estuaires sont généralement caractérisés par un débit sortant en surface et un débit entrant dans les couches inférieures qui contrebalance le premier. Le stock de hareng de l'Île Verte, dans le Saint-Laurent, semble être retenu de cette façon; et les larves sont entraînées vers l'amont par le courant profond une partie du temps, faisant en sorte qu'elles maintiennent à peu près la même position relative dans l'estuaire (Fortier et Leggett 1983). Les larves de hareng des estuaires du Maine semblent elles aussi retenues de la même façon (Graham 1972).

## **IMPORTANCE ÉCONOMIQUE ET UTILISATION DE LA RESSOURCE**

### **PÊCHE COMMERCIALE**

Le sous-ordre Clupeoidei, dont fait partie *Clupea harengus*, est l'un des groupes de poissons parmi les plus importants sur le plan économique; jusqu'au tiers de tous les poissons capturés dans le monde appartient à ce groupe (Whitehead 1985). Dans l'est du Canada, le hareng atlantique est la septième espèce commerciale en importance pour la valeur au débarquement, qui était de 27,9 millions de dollars en 1992. L'espèce a une incidence importante sur l'économie du Canada atlantique par le biais de produits à valeur ajoutée comme la sardine. Les prises y ont atteint jusqu'à 4 millions de tonnes par an lorsqu'elles étaient à leur plus fort dans les années 60, soit avant l'effondrement de nombreux stocks. La pêche estivale de hareng au sud-ouest de la Nouvelle-Écosse et à l'embouchure de la baie de Fundy est la plus importante pêche de hareng de tout

l'Atlantique nord-ouest et atteignait récemment un total admissible des captures (TAC) de plus de 100 000 t; le stock qui y est pêché est l'un des rares stocks de hareng de l'Atlantique Nord (avec ceux du nord du golfe du Saint-Laurent) à n'avoir pas été décimés, en raison d'un meilleur recrutement.

Pendant de nombreuses années, la majeure partie des stocks de hareng de l'est du Canada a été exploitée par les pêcheurs locaux, avant l'arrivée des flottilles étrangères et l'utilisation des sennes coulissantes par les flottilles canadiennes dans les années 60. La plupart des stocks se sont effondrés à cause de la surpêche, mais aussi dans certains cas à cause de la faiblesse du recrutement. Des chutes dramatiques de populations se sont produites dans le sud du golfe du Saint-Laurent - la population frayant autour des îles de la Madeleine ayant été particulièrement touchée - dans le stock longeant la côte orientale de Terre-Neuve et dans celui du banc Georges; ce dernier a déjà fourni jusqu'à 368 000 t de hareng (en 1968), puis a pour ainsi dire disparu en 1978 et ne fait aujourd'hui que commencer à se reconstituer.

Le hareng atlantique fait vivre une importante industrie commerciale de la sardine basée au Nouveau-Brunswick, ainsi que plusieurs autres industries connexes: filets frais et congelés, hareng mariné et fumé, œufs de hareng, huile et farine de poisson (souvent employée comme élément de base dans les aliments pour salmoniculture). Le hareng du Canada (dont la majeure partie est capturée par les pêcheurs de la Colombie-Britannique) a représenté de 68 à 97% du marché japonais des œufs de hareng (Stephenson et coll. 1993). La récolte des œufs de hareng est principalement pratiquée au sud-est de la Nouvelle-Écosse durant la période d'alimentation estivale, avant que le hareng ne parte frayer près des côtes, et dans le sud du golfe du Saint-Laurent en août et septembre.

Dans l'ensemble de la région, plusieurs types d'engins de pêche sont utilisés. La senne coulissante est l'engin le plus couramment employé, habituellement au large, là où séjournent pour se nourrir ou hiverner les rassemblements de hareng. Dans certaines régions, particulièrement à Terre-Neuve, les pêcheurs se servent de sennes coulissantes plus petites ou de bolinches pour pêcher les bancs côtiers de harengs. Les filets maillants sont largement utilisés, principalement dans les eaux côtières baignant les frayères. Dans le stock du sud du golfe du Saint-Laurent, environ 80% des prises sont effectuées au filet maillant, et le reste à la senne coulissante.

La pêche à fascines dans la baie Passamaquoddy et le long de la côte sud-ouest de la Nouvelle-Écosse se pratique principalement pour capturer surtout le jeune hareng destiné à l'industrie de la sardine du Nouveau-Brunswick. Les juvéniles se déplacent en bancs pendant deux à trois ans dans les eaux côtières, de sorte qu'ils sont faciles à capturer avec les fascines, une technique traditionnelle. La pêche de la sardine au Nouveau-Brunswick se pratique également avec la senne de rivage (utilisée pour rabattre le hareng dans les petites anses) alors que les filets maillants sont employés dans la plupart des zones côtières. La pêche au filet-trappe et au filet maillant se pratique au lac Bras-d'Or, à l'île du Cap-Breton.

La pêche du hareng connaît de grandes fluctuations en termes d'abondance en raison des variations considérables du taux de survie des poissons au cours de la première année de leur existence. Même si la surpêche est l'un des principaux facteurs du déclin des stocks dans les eaux de l'est du Canada, les variations importantes du recrutement peuvent être causées par des changements périodiques dans les conditions océanographiques (Winters et Wheeler 1987).

## GESTION DE LA RESSOURCE

Les stocks de hareng atlantique ont été parmi les premiers à être réglementés par une entente internationale et un système de quotas: c'était au début des années 70. Actuellement, ils sont gérés principalement sur la base des complexes de stocks (populations qui se reproduisent séparément mais qui correspondent approximativement aux groupes de harengs qui frayent dans le même grand secteur). Le hareng appartenant à des stocks différents peut se distinguer par la grosseur une fois rendu à maturité, par le nombre d'oeufs produits, par la forme du corps et par le nombre d'arêtes. Les grandes divisions de gestion de l'est du Canada recouvrent de façon générale les complexes de frayères de hareng.

## STOCKS

On compte environ une douzaine de complexes de stocks de hareng dans les eaux de l'est du Canada (tableau 1). Il ont tendance à se séparer en groupes distincts au moment de la fraye, mais à d'autres périodes de l'année ils peuvent se mélanger.

À l'est de Terre-Neuve, des stocks exclusifs à de nombreuses grandes baies se reproduisent au printemps et se déplacent vers le nord pour se nourrir avant de retourner l'automne aux lieux de leur naissance; les populations des divers stocks du nord-est de Terre-Neuve se mélangent durant l'été.

Les stocks du sud-est de Terre-Neuve (baie Fortune et baies Sainte-Marie et Plaisance) traversent leur baie durant l'été après la fraye printanière. Les stocks à l'ouest de Terre-Neuve ont des populations qui frayent au printemps et d'autres à l'automne, et qui se déplacent vers le nord l'été pour se nourrir (Moores et Winters 1984). Les deux populations émigrent dans des eaux plus profondes à la fin de l'automne et quittent vraisemblablement le golfe du Saint-Laurent pour hiverner.

Les populations du sud du golfe du Saint-Laurent, du sud de la Baie des Chaleurs et des hauts fonds des îles de la Madeleine (zone de gestion 4T) quittent le golfe l'automne pour aller hiverner dans la baie Sydney, au nord-est de l'île du Cap-Breton. Elles retournent dans le sud du golfe pour l'été et l'automne. Un petit stock distinct de l'estuaire du Saint-Laurent se reproduisant aux alentours de l'île Verte, près de l'embouchure du Saguenay, et caractérisé par la présence d'adultes légèrement plus petits (dits "harengs pygmées") que ceux du golfe du Saint-Laurent voisin, quittent

l'estuaire après leur fraye printanière pour passer le reste de l'année dans le golfe du Saint-Laurent, jusque dans la baie des Chaleurs; l'hiver, les harengs de ce stock peuvent sortir du golfe avec d'autres harengs de la région.

Tableau 1. Unités de gestion et complexes de stocks de hareng atlantique dans l'Atlantique nord-ouest.

Côte est de Terre-Neuve (3KL):
Baie White - Baie Notre-Dame
Baie Bonavista - Baie de la Trinité
Baie Conception - Côte méridionale
Baie Fortune (3Ps)
Baie Sainte-Marie - Baie Placentia (3L et 3Ps)
Côte occidentale de Terre-Neuve (4R) (frayes de printemps et d'automne)
Nord du golfe du Saint-Laurent (4S)
Sud du golfe du Saint-Laurent (4TVn) (frayes de printemps et d'automne)
Comprend l'Île Verte (estuaire du Saint-Laurent)
Baie Sydney (autrefois 4Vn, maintenant comprise dans la zone 4T)
Plate-forme Scotian (4WX)
Golfe du Maine (5Y)
Banc Georges et sud du banc (5Z et 6)

Le principal stock de hareng au sud-est de la Nouvelle-Écosse (zone 4WX) fraye l'automne sur les hauts-fonds Lurcher et de la chaussée Trinity ainsi que sur d'autres bancs au large de Yarmouth après s'être nourri l'été à proximité des fronts de marée du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse. Le hareng de ce stock migre vers l'est le long de la côte de la Nouvelle-Écosse pour aller hiverner dans la baie Chedabucto. Le stock de l'est du Maine et de Grand Manan s'en va frayer à l'ouest de Grand Manan après s'être nourri en compagnie d'individus du sud-ouest de la Nouvelle-Écosse au cours de l'été. Ceux-ci se séparent alors pour se diriger vers les zones d'hivernage de la Nouvelle-Angleterre après s'être reproduits dans les frayères de Grand Manan et de la dorsale Jeffrey. Le stock décimé du banc Georges, qui est en train de se reconstituer, frayait du côté nord du banc et allait hiverner dans les eaux côtières de la Nouvelle-Angleterre au sud de Cape Cod (Sinclair et Iles 1985; Stephenson et Kornfield 1990).

## RÉACTIONS AUX ACTIVITÉS HUMAINES

### CONTAMINANTS DE L'ENVIRONNEMENT ET POLLUTION

#### Réactions aux contaminants

Sa présence dans les eaux côtières pendant la majeure partie de son existence expose le hareng à la contamination causée par les rejets des industries situées le long des cours d'eau et par le transport atmosphérique des contaminants. Le hareng juvénile peut pénétrer dans les havres et les inlets où il risque d'être exposé à des concentrations élevées de métaux et de composés organiques; il peut aussi croître dans des secteurs où il est exposé à des sédiments du fond marin remis en suspension par suite d'opérations de dragage (dans la baie Miramichi, par exemple) ou encore à des contaminants charriés par les rivières ou issus des opérations de transport maritime, comme dans l'estuaire du Saint-Laurent. Il convient toutefois de noter qu'on relève rarement des impacts sur les populations naturelles de hareng atlantique attribuables à des contaminants issus de l'activité humaine, sauf dans des situations extrêmes (déversements accidentels de produits chimiques, sources ponctuelles non contrôlées, ports fortement contaminés).

Le hareng dispose de mécanismes physiologiques qui lui permettent de se protéger contre certaines substances chimiques auxquelles il est exposé dans son milieu. Tous les vertébrés, dont *Clupea*, ont des systèmes enzymatiques (les oxydases à fonction mixte - OFM), concentrés dans le foie, qui ont la propriété de convertir les composés organiques en des composés moins toxiques (processus de détoxification). L'exposition à des concentrations sublétale de composés organiques divers, comme les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), les biphenyles polychlorés (BPC), le pétrole brut et les produits pétroliers raffinés, provoque la production de ces enzymes en concentrations élevées; l'abondance relative de ces enzymes peut être un indicateur de l'exposition à l'un ou l'autre de ces composés. Les larves de hareng de la mer Baltique, par exemple, ont montré des taux élevés de l'un des enzymes OFM (arylhydrocarbure hydroxylase - AHH) après avoir été exposées à des eaux de traitement diluées rejetées par des installations de forage en haute mer (Gamble et coll. 1987). Dans certains cas, même si ce ne l'est pas nécessairement chez le hareng, les OFM peuvent créer des produits dérivés cancérogènes ou mutagènes susceptibles de provoquer des tumeurs et des lésions dues à l'exposition à certains composés organiques.

Le stress provoqué par l'exposition aux contaminants peut perturber la croissance et l'efficacité de la reproduction, entraîner des changements de comportement et avoir d'autres effets qui sont néfastes pour les populations. L'éclosion précoce des oeufs de hareng - exemple d'une réaction générale au stress - a été constatée à la suite de la manipulation et de l'exposition au cadmium, au cuivre, au zinc et à d'autres contaminants concentrés dans la microcouche de la surface de la mer (Costello et Gamble 1992). L'exposition des oeufs aux hydrocarbures peut provoquer chez les larves des anomalies qui peuvent compromettre leur survie.

### Contaminants organiques

Font partie des contaminants organiques les hydrocarbures ainsi qu'une vaste gamme d'autres produits chimiques, tels les HAP, les BPC et les pesticides organiques chlorés. Souvent, les composés organiques s'accumulent dans les masses lipidiques, et certains peuvent ainsi être bioaccumulés. L'accumulation de certains contaminants organiques (comme les pesticides polychlorés) peut provoquer des effets mesurables aux niveaux trophiques supérieurs, mais on n'a pas constaté d'effets sur les populations de hareng.

**BPC et HAP:** Les biphenyles polychlorés (BPC) sont des composés chlorés persistants qui ont la propriété de s'accumuler dans le réseau alimentaire. Même si la production et l'utilisation des BPC au Canada sont rigoureusement limitées, il n'en demeure pas moins que les BPC utilisés dans le passé continuent d'exercer leur action dans l'environnement. En Europe, on a utilisé le hareng pour surveiller les concentrations de BPC; les études à long terme (15 ans) effectuées dans la mer Baltique ont révélé une diminution des BPC qui correspond à une réduction de leur utilisation (Haahti et Perttila 1988). Les concentrations de BPC mesurées dans les muscles du hareng de l'estuaire du Saint-Laurent (baie des Anglais) variaient de 0,007 à 0,138 µg/g de poids frais, alors que dans d'autres études (résumées dans Delval et coll. 1986), on a obtenu des concentrations d'environ 0,5 µg/g de poids frais. Dans les muscles du hareng des baies de Fundy et Chabucto, on a mesuré respectivement des concentrations de 0,3 µg/g et 0,6 µg/g de poids frais (Zitko 1981). Chez le hareng, les concentrations peuvent varier selon la saison, l'âge, les populations de printemps ou d'automne, la teneur en lipides et le degré d'exposition. La présence de BPC dans les ovaires du hareng dans une concentration de 120 ng/g peut réduire le taux d'éclosion (Hansen et coll. 1985).

Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont des composés carbonés organiques comportant des combinaisons de noyaux benzéniques et formés par divers types de combustion, qu'il s'agisse de la combustion de combustibles fossiles ou d'événements naturels comme les incendies de forêt. Les HAP pénètrent dans les eaux de mer par le biais des dépôts atmosphériques et des sources ponctuelles reliées aux industries utilisatrices de combustibles fossiles. Les HAP les plus cancérogènes sont liposolubles et peuvent s'accumuler dans les tissus du hareng, mais leur présence chez le hareng séjournant dans les eaux côtières du Canada n'a pas encore fait l'objet d'une étude. Les HAP ont tendance à s'accumuler dans le foie et la vésicule biliaire des poissons (Neff et coll. 1976, cité par Rainio et coll. 1986). On retrouve des sources ponctuelles importantes d'HAP à proximité des stocks de hareng dans le port de Sydney (mares de goudron de Sydney) et dans l'estuaire du Saguenay (utilisation des combustibles fossiles dans les alumineries).

**Esters de l'acide phthalique (phtalates):** On a découvert la présence de di-*n*-hexylphthalate (DHP), un ester de l'acide phthalique, dans le hareng. D'autres phtalates, produits au moyen de procédés industriels et utilisés comme plastifiants, sont

très répandus chez les organismes marins. On a constaté des niveaux élevés de DHP dans le hareng du golfe du Saint-Laurent (Musial et coll. 1981).

**Pesticides:** La présence du hareng dans les eaux côtières durant la plus grande partie de l'année fait que les stocks de la côte est sont pour la plupart exposés aux contaminants côtiers. L'exposition aux pesticides n'est pas un problème préoccupant pour la survie des populations de hareng de la côte est, mais on a constaté que le hareng les accumulait. On a détecté la présence de divers pesticides dans le hareng, dont le DDT dans l'estuaire du Saint-Laurent et le toxaphène dans le golfe du Saint-Laurent et sur la côte atlantique de la Nouvelle-Écosse, près de Halifax (Musial et Uthe 1983). Le hareng qui fraye le printemps dans le sud du golfe du Saint-Laurent est plus contaminé par le DDT que le hareng qui fraye l'automne, en raison probablement de l'exposition aux eaux contaminées provenant des Grands Lacs (Messieh et El-Sabh 1988). Les frayères de hareng dans la baie Miramichi, actuellement l'une des principales zones de reproduction, auraient vraisemblablement été exposées à des dérivés du DDT par suite d'épandages aériens sur les forêts au cours des années 50 et 60 (Messieh et El-Sabh 1988; Messieh 1979).

Même s'ils sont présents en de faibles concentrations, les hydrocarbures chlorés, comme le DDE, peuvent réduire le taux de reproduction. On a constaté une réduction du taux d'éclosion dans le cas de harengs de la mer Baltique dont les ovaires des femelles renfermaient des concentrations de DDE supérieures à 18 ng/g (Hansen et coll. 1985). D'après les études, les niveaux de DDE dans les muscles du hareng des baies de Fundy et Chedabucto s'élèvent respectivement à 0,5 et 0,24 µg/g de poids frais (Zitko 1981). On ne peut distinguer les stocks de hareng de l'estuaire du Saint-Laurent et de la baie des Chaleurs sur la base des concentrations d'hydrocarbures chlorés présentes dans les poissons (Khalil et coll. 1985).

Le hareng peut également être exposé aux pesticides et à d'autres substances chimiques employées en aquiculture. Les larves de hareng sont sensibles au *Dichlorvos*, un agent épouilleur du poisson (McHenry et coll. 1991), mais l'utilisation de ce produit n'est pas permise au Canada.

**Hydrocarbures pétroliers:** Les hydrocarbures pétroliers sont relativement peu toxiques à faibles concentrations pour les divers stades de développement du hareng, mais ils peuvent l'être à hautes concentrations, en cas de déversements et d'éruptions. Par ailleurs, le hareng peut souvent se rétablir après de courtes expositions aux hydrocarbures. En général, l'exposition des œufs augmente l'incidence des anomalies chez les larves (courbure de la colonne vertébrale, par exemple), en particulier lorsque les œufs ont été en contact avec le pétrole entier. Les déversements d'hydrocarbures juste avant, pendant et juste après la période de la fraye peuvent avoir un impact sur les populations étant donné que les œufs, les larves, les juvéniles et les adultes se trouvent alors tous concentrés à proximité des frayères touchées.

L'exposition des larves de hareng à la fraction hydrosoluble du pétrole peut entraîner la mort. Les oeufs et les larves sont généralement plus sensibles que les adultes; aussi, leur exposition à cette fraction peut avoir des impacts importants sur les populations. L'exposition au pétrole peut altérer le goût ou l'odeur des tissus du hareng, ce qui rend les prises invendables. Le hareng peut montrer des préférences marquées en matière de substrat de ponte (Pearson et coll. 1985, par exemple) et il est possible que la présence de substrats contaminés par le pétrole influence le choix des zones de fraye. Le pétrole en fortes concentrations peut causer de brefs accroissements de l'activité des larves, suivies d'un ralentissement, de mouvements convulsifs sporadiques, d'une perte de réaction puis de la mort (Linden 1975; Struhsaker et coll. 1974).

Les effets sur le hareng varient selon les conditions de l'exposition et le type de pétrole en cause. Lors d'un déversement, le pétrole se présente habituellement en plusieurs phases - pétrole entier, dissous et dispersé sous forme de gouttelettes - dont chacune a des effets biologiques différents. Exposés au pétrole dispersé dans des circonstances se rapprochant des conditions d'un déversement (eau courante contaminée par le pétrole), les oeufs du hareng du Pacifique *Clupea harengus pallasi* pourraient être fécondés et éclore, et produire des larves normales à des concentrations élevées de pétrole. C'est seulement lorsque les oeufs ont été exposés à du pétrole non dispersé, dont une grande partie était constituée de gouttelettes qui adhéraient aux oeufs, qu'on a constaté des malformations chez les larves, le plus souvent une courbure de la colonne vertébrale (Pearson et coll. 1985). Par contre, dans la mer Baltique, où la circulation de l'eau est faible, une bonne partie des oeufs de hareng qui avaient été exposés à un déversement de pétrole se sont développés normalement sauf qu'ils n'ont pas éclos (Linden 1978). L'exposition aux hydrocarbures pétroliers a également ralenti l'activité embryonnaire.

Les larves de hareng du Pacifique semblent être particulièrement sensibles; elles ont présenté un taux de mortalité élevé, des taux de déplacement et d'alimentation réduits, ainsi qu'un ralentissement du taux de croissance lorsqu'elles ont été exposées à une fraction hydrosoluble du pétrole brut de l'inlet Cook (concentrations dans la fraction hydrosoluble de 0,3 à 0,9 ppm, dans de l'eau courante). Les larves de hareng peuvent mourir en ingérant des copépodes contaminés par le pétrole, même s'il est peu probable que cela soit une cause majeure de mortalité reliée aux déversements de pétrole (Carls 1987).

En période de fraye, le hareng du Pacifique adulte semble être moins sensible aux expositions à la fraction hydrosoluble du pétrole brut de l'inlet Cook. Les oeufs résistent mieux à de courtes expositions que les larves, mais sont presque aussi sensibles aux longues expositions que ces dernières (Rice et coll. 1987, cité par Carls 1987).

### Métaux lourds

Les métaux lourds qui contaminent les milieux naturels atteignent rarement des concentrations qui soient néfastes pour le hareng et ses populations. Ils n'en ont pas moins des effets importants sur la physiologie du hareng et d'autres espèces de poisson, pouvant même parfois perturber le hareng en cas d'exposition prolongée ou intense. Les métaux dissous peuvent altérer l'activité enzymatique dans les cellules et les processus physiologiques du hareng, causant ainsi un stress qui peut nuire au développement des individus et aux populations. De nombreux métaux, comme le plomb et le mercure, peuvent se retrouver sous des formes organiques liposolubles; la haute teneur en lipides du hareng rend l'espèce particulièrement sensible à l'accumulation des métaux. Celle-ci semble s'accroître avec l'âge chez l'adulte (Perttilä et coll. 1982). Un échantillon de hareng de la baie de Fundy capturé dans des fascines le long de la côte du Nouveau-Brunswick présentait une plage typique de concentration de mercure de 5 à 15 parties par milliard (Braune 1987). La majeure partie du mercure présent dans les tissus du poisson est habituellement sous forme de méthylmercure (Zitko et coll. 1971).

Les métaux dissous peuvent avoir divers effets sur les premiers stades de développement du hareng, notamment: altération du taux de respiration, diminution de la croissance, développement et formation anormaux des tissus. Ainsi, le cuivre à une concentration de 30 µg/L est toxique pour les embryons de hareng (Blaxter 1977), alors que le cadmium à une concentration de 100 µg/L a entraîné une éclosion précoce, réduit la taille des larves et allongé la vésicule vitelline (Rosenthal et Sperling 1974). Le cadmium, le cuivre et le zinc à faibles concentrations nuisent à la fécondation, perturbant le développement de l'embryon à des concentrations de 5 µg/L et causant la mort des larves à l'éclosion et peu après l'éclosion (Ojaveer et coll. 1980, cité par Costello et Gamble 1992).

Les métaux lourds peuvent produire des malformations débilitantes. Ainsi, le zinc peut causer des dommages aux branchies et entraîner divers autres changements dans les tissus de l'adulte; chez les larves, il peut donner lieu à diverses malformations des arcs branchiaux, des mâchoires et de la colonne vertébrale (Somasundaram et coll. 1984), et à des changements à la structure de la peau susceptibles de perturber la respiration durant la période de croissance avant que les branchies ne se développent (Somasundaram 1985).

## **PERTURBATIONS PHYSIQUES**

### Navigation

La navigation peut perturber le hareng de diverses façons, bien que ses effets soient vraisemblablement mineurs. Le hareng détecte le bruit des navires et il peut s'en éloigner. En zone de trafic intense, les hélices peuvent endommager le plancton, les œufs de poisson et les larves, même si leurs effets sur les stades de développement du

hareng sont probablement faibles. Le sillage des hélices perturbe fréquemment les sédiments des zones côtières peu profondes, lesquels peuvent venir se déposer sur les frayères du hareng et étouffer les oeufs. Le mouvement des bateaux sur la rivière Miramichi a causé des élévations marquées des concentrations de matières en suspension. La zone infralittorale supérieure à proximité du quai d'Escuminac, dans la baie Miramichi, au Nouveau-Brunswick, abrite une importante frayère.

### Dragage et rejets en mer

Il arrive fréquemment que les zones côtières nécessitant des travaux de dragage pour l'entretien des chenaux de navigation et des ports soient aussi des endroits propices pour la fraye du hareng. Même si le dragage ne serait pas permis dans les frayères dans la saison de la fraye, le dragage aux alentours des frayères peut occasionner un accroissement de la quantité de particules en suspension qui, en se déposant, risquent d'étouffer les oeufs de hareng. Plusieurs grands travaux de dragage ont été entrepris dans le golfe du Saint-Laurent dans des zones où le hareng est réputé frayer, mais on n'y a constaté aucun impact défini. À la fin des années 70, un important projet (2,5 millions de m<sup>3</sup>) a permis le creusement d'un chenal menant à une mine de sel à la pointe de la lagune de Grande-Entrée, aux îles de la Madeleine, autrefois l'une des principales frayères de printemps dans le sud du golfe du Saint-Laurent; les déblais de dragage furent déposés en trois îlots dans le port. Au moment du lancement du projet toutefois, le stock de harengs géniteurs avait pratiquement été éliminé par la surpêche. Dans le cadre d'un grand projet de dragage (6,6 millions t) destiné à ouvrir le chenal de la rivière Miramichi au début des années 80, on a dû créer plusieurs monticules de déblais, dont l'un est situé près de la grande frayère de la pointe Escuminac. Les travaux ont déstabilisé le fond et mis les sédiments en suspension, ce qui pourrait endommager les frayères de hareng et menacer la survie des larves. Le dragage dans des zones plus contaminées, comme l'estuaire du Saint-Laurent, pourrait libérer les contaminants dans la colonne d'eau, lesquels contamineraient le plancton, dont se nourrit le hareng, et donc ce dernier aussi.

### Exploitation de sablières et de gravières en mer

On a envisagé d'exploiter les agrégats marins dans certaines régions du Canada atlantique; des propositions ont d'ailleurs été formulées en vue de l'exploitation d'agrégats, de sables siliceux et de gisements d'or au large de la côte méridionale de la Nouvelle-Écosse. On a repéré près de l'Île-du-Prince-Édouard des endroits riches en sables et en graviers pour les besoins de l'industrie de la construction (Messieh et coll. 1991). Dans la mer du Nord, de nombreux dépôts riches en graviers se trouvent dans des aires de reproduction du hareng (Kiorboe et coll. 1981). D'après les études, l'exploitation des agrégats dans les eaux finlandaises aurait eu des effets négligeables sur les prises, le nombre d'oeufs et la mortalité des oeufs, là où les frayères se trouvent à environ 1,5 km du lieu de dragage (Oulasvirta et Lehtonen 1988). En Angleterre, une frayère importante repose sur un banc dont on convoite les dépôts de graviers; mais

les demandes de dragage ont été refusées en raison de l'importance de cette frayère pour le hareng.

Parmi les effets de l'extraction en mer, il convient de citer l'entraînement des oeufs, des larves et des adultes avec les déblais, le recouvrement des oeufs, l'impact du panache de sédiments sur les masses d'oeufs et les adultes, et la mise en suspension des éléments nutritifs du fond marin. La baisse des prises de hareng au filet-trappe dans les eaux côtières près des sablières et des gravières de Finlande serait imputable, pense-t-on, aux perturbations des déplacements du hareng par le bruit et l'activité reliés à l'extraction (Kiorboe et coll. 1981).

### Pêche commerciale

La pêche du hareng elle-même peut avoir divers impacts sur l'environnement. Les filets maillants perdus, par exemple, peuvent emprisonner des poissons (ce qu'on appelle la "pêche fantôme"), des oiseaux et des mammifères marins, mais leurs effets sont sans doute moins néfastes que dans le cas des filets à poisson de fond qui, normalement, ont des mailles plus grosses. On ne possède pas de données estimatives pour l'est du Canada sur les dommages qu'entraîneraient ces pratiques. À l'opposé, les sennes coulissantes et les fascines occasionnent relativement peu de prises accidentnelles d'autres espèces (R.L. Stephenson, MPO, comm. pers.).

Le rejet à la mer des déchets de hareng n'est plus qu'un problème mineur car on peut désormais se servir de ces derniers dans la production de la farine de poisson. Des carcasses provenant de l'exploitation des oeufs de hareng - où souvent l'on ne garde que les oeufs des femelles et rejette les mâles et les femelles - sont jetées en mer en toute légalité en vertu de la Loi canadienne sur la protection de l'environnement. Des rejets expérimentaux ont révélé que les carcasses se dispersent suffisamment pour réduire au minimum leurs effets sur l'environnement. Il existe un site de rejet à l'embouchure de la baie de Fundy et un autre au large de l'île Miscou dans le golfe du Saint-Laurent. Parmi les solutions de recharge proposées pour ce qui est du traitement des carcasses, notons l'élimination sur la terre ferme ou l'utilisation des carcasses dans la fabrication de plusieurs produits: farine de poisson, poisson ensilé, aliments destinés à l'industrie aquicole, et autres (Tidmarsh et coll. 1986).

Chez certaines espèces pélagiques comme le hareng, la totalité des prises peut être libérée des filets - surtout s'il s'agit de sennes coulissantes - dans les cas où les prises sont partiellement hissées ou "tirées au sec". La survie du poisson libéré des filets dépend de l'étape du processus; chez le maquereau toutefois, on a observé que les pertes de peau et le stress pouvaient entraîner un taux élevé de mortalité imputable à l'exposition des poissons à une trop forte densité ( $250 \text{ poissons/m}^3$ ) pendant aussi peu que 30 minutes (Lockwood et coll. 1983). Dans l'est du Canada, le hareng est habituellement dégagé en moins de temps que cela et les pertes de poisson non désiré issues de la pêche à la senne coulissante sont généralement faibles. Il se peut qu'il y ait des pertes lorsque le hareng se trouve piégé dans les inlets. En Norvège, un banc de

hareng a pénétré dans un inlet et les pêcheurs en ont bloqué l'entrée, une pratique courante au Nouveau-Brunswick; résultat: 500 t de poissons sont morts et une bonne partie n'a pu être récupérée, ce qui a entraîné une déplétion de l'oxygène et une pollution par les huiles et les carcasses de hareng, ainsi qu'une mortalité élevée chez les organismes présents dans le secteur (Oug et coll. 1991).

### Aquiculture

Les exploitations aquicoles, en particulier celles qui pratiquent l'élevage du saumon et de la truite en cage dans les eaux côtières du Nouveau-Brunswick, peuvent perturber les pêches de hareng de diverses manières: lutte pour l'espace, interférences physiques et conflits résultant de l'existence de cadres de réglementation différents pour l'aquiculture et pour les populations naturelles. La conversion à l'aquiculture des sites de pêche à fascines du hareng peut entraîner une perte de capacité de ce type de pêche, et limiter le nombre de sites disponibles ainsi que les possibilités de déplacement de la pêche en fonction des changements qui peuvent survenir dans la répartition du poisson. La pêche à fascines du hareng dépend des déplacements du hareng le long des côtes, déplacements qui peuvent être perturbées par les parcs aquicoles qui, par la lumière, le bruit et les odeurs qui y sont associées, peuvent influer sur les déplacements du hareng et la capacité de capture dans les fascines. L'aquiculture est généralement réglementée par les provinces alors que la pêche à fascines et les autres pêches traditionnelles relève du gouvernement fédéral. Dans ces conditions, il est difficile de maintenir la capacité des pêches traditionnelles tout en assurant la croissance de l'aquiculture et en élaborant une stratégie de conversion d'un type d'exploitation à l'autre (Stephenson 1990).

## CONTAMINATION INDUSTRIELLE

Même si les espèces mobiles comme le hareng peuvent souvent éviter les conditions environnementales néfastes, elles peuvent aussi subir les effets des fortes contaminations. Un important déversement de phosphore élémentaire dans la baie Placentia en 1969 a entraîné la mort de nombreux individus parmi la population de hareng qui y hivernait, en plus de réduire le volume des prises et de fermer partiellement la pêche. Plus de 80% du hareng présent dans la baie Placentia en février et mars 1969 sont morts des suites de ce déversement (Winters et coll. 1986).

### Pâtes et papiers

Les usines de pâtes et papiers entraînent généralement une baisse d'oxygène dissous dans les eaux réceptrices en raison de la demande biologique élevée des effluents, et certaines usines contaminent les eaux locales en libérant des dioxines et des furanes, des produits dérivés du blanchiment au chlore. Autrefois, la production du chlore nécessitait la production de chlore gazeux au moyen d'électrodes à mercure qui entraînait des pertes de mercure dans l'environnement, mais ce procédé ne constitue

plus une source importante de pollution. Les effluents des usines de pâte présentent une couleur sombre et une faible salinité; ils peuvent former une couche en surface, ce qui peut perturber la production primaire dans la colonne d'eau. La couleur sombre de l'eau et les panaches à faible salinité peuvent influencer les déplacements du hareng dans les environs. Des usines de pâtes ont été implantées dans des régions que fréquente le hareng dans l'est du Canada, notamment dans la baie des Chaleurs, les détroits de Canso et de Northumberland, l'estuaire de la rivière Sainte-Croix, et le bras de mer Humber, à Terre-Neuve.

### Mines et fonderies

Les opérations minières perturbent le milieu marin principalement par le fait des effluents des fonderies, des pertes survenant aux installations de chargement et des contaminants issus des procédés de combustion. La baie des Chaleurs, où l'on retrouve le hareng tout au long de l'année, a reçu d'importantes quantités de métaux lourds issus des activités de transbordement associées aux mines, contaminant ainsi les eaux environnantes. Les opérations de l'usine de traitement de plomb et de zinc de la Brunswick Mining and Smelting, de Belledune, au Nouveau-Brunswick, ont fait apparaître des concentrations élevées de cadmium et de plomb dans les eaux environnantes. La cokerie de la Sydney Steel Corporation, à l'aciérie de Sydney, en Nouvelle-Écosse, a occasionné des concentrations élevées d'HAP dans le ruisseau Muggah adjacent; les concentrations élevées d'HAP présentes dans le homard et la moule diminuent graduellement depuis la tête du havre jusqu'à la mer. Les alumineries bordant la rivière Saguenay ont donné lieu à une contamination par les HAP, dont on a relevé des concentrations élevées dans les moules et d'autres organismes marins du Saint-Laurent (Wells et Rolston 1991).

L'exploitation minière et la production de métaux peuvent entraîner des rejets d'acides dans l'environnement. Le hareng est sensible à ce type de rejets. Un effluent contenant de l'acide sulfurique et de grandes quantités de fer, de même que divers autres métaux, issu d'une usine de dioxyde de titane dans le golfe de Botnie, a causé périodiquement des mortalités massives chez les oeufs de hareng, ainsi que des décès dans les filets, en plus de réduire les prises. On a relevé des concentrations élevées de fer, de titane et de vanadium dans les oeufs tués par l'effluent (Oulasvirta 1990). Un faible pH dans les eaux estuariennes que fréquente le hareng peut provoquer des changements au niveau des cellules musculaires, ce qui pourrait réduire les capacités natatoires du hareng (Bahgat et coll. 1989). Il n'est pas permis de rejeter à la mer les eaux de drainage acides des mines situées en bordure des côtes, comme les houillères de l'île du Cap-Breton.

### Production d'électricité

On effectue des traitements au chlore pour prévenir le dépôt et la fixation des organismes responsables du bio-encrassement, comme les moules et les cirripèdes, dans

les circuits d'eau de refroidissement, mais aussi pour désinfecter les réseaux d'évacuation des eaux usées. Les ouvrages de prise d'eau sont généralement munis d'un filtre visant à empêcher la pénétration des poissons adultes; mais les premiers stades de développement du hareng, qui est périodiquement abondant dans les eaux côtières, peuvent entrer dans les circuits d'eau de refroidissement où les individus sont exposés à des concentrations élevées de chlore, comme à d'autres facteurs de stress, comme une température élevée, l'abrasion mécanique et des changements de pression rapides.

Le chlore est ajouté aux eaux de refroidissement sous forme d'hypochlorite, de chlore gazeux, et par l'électrolyse de l'eau de mer. La réactivité élevée du chlore avec les halides (comme le bromure et l'iodure) dans l'eau et avec les matières organiques contribue à la disparition rapide du chlore ajouté à l'eau de mer et rend difficile le maintien des concentrations aux niveaux souhaitables. Le hareng au stade postlarvaire est relativement sensible aux concentrations de chlore; dans une étude, on a observé qu'une concentration d'oxydants produits par le chlore de seulement 0,7 ppm a entraîné la mort de tous les individus, exposés durant seulement 30 minutes (Dempsey 1986). Le taux de mortalité chez des harengs exposés durant une journée à des concentrations supérieures à 0,25 ppm était important, et atteignait 100% à une concentration d'environ 0,5 ppm. La température élevée augmente la toxicité du chlore et accroît les effets néfastes sur les harengs qui traversent les circuits d'eau de refroidissement. Le British Central Electricity Generating Board a limité la concentration de chlore dans les eaux de refroidissement à 0,25 ppm.

Les larves de hareng de moins de 25 mm sont relativement insensibles aux changements rapides de pression auxquels elles pourraient être exposées en passant à travers les pompes et les turbines, mais au-delà de cette taille, jusqu'à environ 30 mm, elles sont particulièrement sensibles. À ce stade apparaissent chez le hareng des organes remplis de gaz qui sont connectés à l'oreille, mais le mécanisme permettant de compenser les changements de pression n'est pas encore en fonction. Quand sa longueur dépasse 30 mm, le hareng est généralement bloqué par les filtres à l'entrée des ouvrages de prise d'eau (Hoss et Blaxter 1981).

#### **RACCORDEMENT PERMANENT DE L'I.-P.-É (FIXED LINK PROJECT)**

On compte plusieurs frayères de hareng autour du corridor envisagé pour la construction du pont (la liaison permanente) entre Cap Tourmentin, au Nouveau-Brunswick, et Borden, dans l'Île-du-Prince-Édouard. On redoute divers effets sur le hareng: on craint par exemple que le changement du régime des courants n'altère les tourbillons, ce qui entraînerait un refroidissement des températures et retarderait la période de la fraye; l'habitat de fraye pourrait aussi être directement touché. On a fait valoir que les tourbillons océaniques dans le secteur maintiendraient les stocks de hareng en retenant les larves, laissant supposer que le pont pourrait perturber les courants et constituer une nuisance pour les stocks. Or, l'existence des tourbillons n'a pas été prouvée, mais les études réalisées dans le cadre de l'évaluation

environnementale du projet révèlent que le pont aurait probablement des effets importants sur la circulation générale des courants (Chadwick 1990; Delcan-Stone and Webster Consultants 1989).

Le hareng fraye le long des côtes du détroit de Northumberland et dans les environs du futur pont. Il se peut que la fraye soit quelque peu perturbé par la construction et la mise en service du pont. La construction risque notamment de perturber une petite pêche de hareng qui existe à cet endroit, mais on a fait valoir que la couverture végétale éparses et irrégulières qui s'y trouve peut limiter la fraye. Le moment de la fraye et la période d'incubation du hareng dépendent de la température; par conséquent, même un léger changement de température au printemps provoqué par la présence du pont pourrait perturber le hareng et la pêche.

## GAZ ET PÉTROLE

Le hareng court plus de risques que d'autres espèces d'être perturbé par les déversements d'hydrocarbures du fait qu'il fraye dans des zones bien localisées; et de nombreux stocks sont retenus par des mécanismes physiques dans des zones de rétention qui, selon toute vraisemblance, retiendraient les hydrocarbures tout autant. Ce sont les oeufs et les larves qui sont le plus sensibles; c'est aussi à ces stades que le hareng est le plus confiné à des endroits précis et le plus affecté par les perturbations physiques. Les concentrations ne pourraient atteindre un niveau létal que pour une seule classe annuelle, généralement chez les harengs de cette classe présents dans le voisinage immédiat des déversements et éruptions accidentels; les stocks de hareng auraient la capacité de se reconstituer. Le Conseil national de recherches (1985) a présenté un aperçu des impacts du pétrole sur le hareng et d'autres espèces.

Le mazoutage peut endommager les engins de pêche. Même si le pétrole léger se détache rapidement, le pétrole plus lourd, comme le brut, peut souiller les filets, les cordages, les bouées, les bateaux et leur équipage de même que les ouvrages côtiers. Les engins les plus sujets à l'encrassement sont les palangres, les filets maillants et les filets-trappes. Les engins mobiles, comme les sennes coulissantes employées pour la pêche du hareng, ne sont peut-être pas aussi touchés parce qu'on peut les déployer pour de brèves périodes dans des zones où la probabilité de mazoutage est faible.

La matériel séismographique, comme le canon à air employé comme source sonore, peut endommager les larves ou les jeunes poissons qui se trouvent à proximité. Des explosifs utilisés à un moment inopportun peuvent endommager de grandes quantités de hareng s'ils sont allumés près des bancs de cette espèce. Les activités d'exploration et de production en mer dans l'est du Canada s'exercent généralement assez loin au large pour ne pas nuire aux populations de hareng. Le transport des hydrocarbures et les bateaux intervenant dans cette activité passent dans bien des cas dans des zones critiques pour le hareng.

On a pu observer divers effets sur les populations naturelles de hareng à la suite d'importants déversements de pétrole et de rejets de contaminants par des installations de production. Un an après un déversement de mazout lourd dans le nord de la mer Baltique, les larves capturées étaient de petite taille et on a constaté dans le secteur du déversement un taux élevé de malformations chez les larves (Urho et Hudd 1989).

Le déversement de l'*Exxon Valdez* dans le golfe du Prince-William, en Alaska, est survenu deux semaines avant la période de la fraye du hareng dans la région, mais il ne semble pas avoir eu d'effets sur les prises de hareng l'année suivante (Baker et coll. 1992). Les effets ont pu se manifester toutefois sur la classe d'âge de l'année du déversement. Après le déversement, les taux de croissance et de mortalité des larves de hareng du Pacifique nageant librement n'étaient pas significativement différents entre les zones touchées et les zones non touchées du golfe du Prince-William. Par contre, le taux de survie des oeufs dans les secteurs fortement mazoutés était inférieur à celui mesuré dans les secteurs témoins; l'éclosion était en moyenne plus précoce (d'où un accroissement de la longueur moyenne des larves); et diverses anomalies et déformations ont été constatées chez les larves, là où les oeufs de hareng avaient été fortement mazoutés (McGurk et coll. 1993).

On a observé que les eaux issues d'un puits (contenant des fractions d'hydrocarbures et des composés inorganiques, dont des métaux lourds - particulièrement du fer) n'ont pas eu d'effet sur des harengs exposés à ces eaux diluées à 500 à 1 000 m en aval du puits sur une période d'environ 100 jours (Gamble et coll. 1987).

## EAUX USÉES

Durant ses déplacements le long des côtes, le hareng peut être exposé aux eaux usées domestiques. Ces eaux ont une teneur élevée en divers métaux (cuivre et cadmium surtout), en produits chimiques industriels et en composés organiques (pesticides, BPC), et peuvent contenir des concentrations élevées d'ammoniac. À cause de la faible densité de la population humaine dans l'est du Canada, il ne sera pas nécessaire pendant un certain temps encore d'éliminer les eaux usées en mer, mais dans certains pays, l'élimination en mer des boues d'épuration peut nuire aux populations de hareng. Les boues d'épuration, et leur charge polluante de métaux et de composés organiques, ont, selon les concentrations, divers effets sur les oeufs et les larves de hareng: réduction de la période d'incubation mais aussi du taux d'éclosion, mortalité chez les jeunes larves, piégeage des larves par des flocs de particules (Costello et Gamble 1992). Le déversement en mer des boues d'épuration produit des films ou nappes superficiels, un panache de matières dissoutes et en suspension près de la surface, et un panache principal de particules plus grosses qui descendent au fond de la mer en l'espace de quelques heures. Le déversement des boues d'épuration peut entraîner des concentrations élevées d'ammoniac dans la colonne d'eau. Un mélange à 1% de boues dans l'eau peut s'avérer toxique pour les larves de hareng (Costello et Gamble 1992). Un déversement intensif d'eaux usées peut endommager les nageoires du hareng (Urho

1989). La pollution excessive des ports qui font partie de grandes agglomérations urbaines peut nuire au hareng exposé à ces eaux polluées.

### RÉCHAUFFEMENT PLANÉTAIRE

Le changement climatique pourrait modifier les voies migratoires habituelles du hareng et déplacer ses zones d'hivernage, de fraye et d'alimentation. Le hareng semble s'être adapté aux fluctuations passées du niveau de la mer dans la région atlantique.

### OUVRAGES CÔTIERS ET PONTS-JETÉES

Les déplacements du hareng peuvent être perturbés par les ouvrages côtiers, y compris par les ponts-jetées. Même s'il ne semble pas avoir modifié les voies migratoires du hareng, le pont-jetée de Canso construit en 1954 entre l'île du Cap-Breton et la partie continentale de la Nouvelle-Écosse a eu des effets sur l'environnement, notamment en ce qui a trait aux régimes de circulation des eaux et de températures dans la baie Saint-Georges et le détroit de Canso, ce qui a pu se répercuter sur les populations de hareng. Divers facteurs viennent compliquer l'analyse de la situation, comme la recrudescence, qui a coïncidé avec la construction du pont-jetée, des décès de hareng par suite de l'apparition d'une maladie fongique, le réchauffement du climat et l'accroissement du débit du fleuve Saint-Laurent. Il se peut que la présence du pont-jetée ait contribué à l'arrivée tardive des harengs qui se reproduisent au printemps dans la région (Ware 1979; Messieh et El-Sabh 1988).

### REMERCIEMENTS

Le présent rapport technique a été affermé à Envirosphere Consultants Limited par la Division de l'écologie de l'habitat, du ministère des Pêches et des Océans. Les auteurs désirent remercier de leur aide MM. H. Brian Nicholls et Donald C. Gordon, ainsi que MM. Ian McQuinn, Robert Stephenson, John Wheeler, Jerry Payne et Jean Munro, tous du ministère des Pêches et des Océans. M<sup>me</sup> Patty Kendrick et M. Ken Mead ont contribué à la collecte et à la gestion des informations de base.

### BIBLIOGRAPHIE

#### Généralités:

Blaxter, J.H.S. 1985. The herring: A successful species? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42(Suppl.1): 21-30.

Scott, W.B., and M.G. Scott. 1988. Atlantic fishes of Canada. Univ. of Toronto Press. 731 p.

Sindermann, C.J. 1979. Status of northwest Atlantic herring stocks of concern to the United States. United States National Oceanic and Atmospheric Administration, Tech. Ser. Rep. 23: 449 p.

Stocks et biologie:

Haeghele, C.W., and J.F. Schweigert. 1985. Distribution and characteristics of herring spawning grounds and description of spawning behaviour. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42(Suppl. 1): 39-55.

McGladdery, S.E., and M.D.B. Burt. 1985. Potential of parasites for use as biological indicators of migration, feeding, and spawning behavior of northwestern Atlantic herring (*Clupea harengus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 1957-1968.

Messieh, S.N., R. Pottle, P. MacPherson, and T. Hurlbut. 1985. Spawning and exploitation of Atlantic herring (*Clupea harengus*) at Escuminac in the southwestern Gulf of St. Lawrence, spring 1983. J. Northw. Atl. Fish. Sci. 6: 125-133.

Messieh, S.N., and H. Rosenthal. 1989. Mass mortality of herring eggs on spawning beds on and near Fisherman's Bank, Gulf of St. Lawrence, Canada. Aquat. Living. Resour. 2: 1-8.

Stephenson, R.L. 1990. Multiuse conflict. Aquaculture collides with traditional fisheries in Canada's Bay of Fundy. World Aquacult. 21: 34-45.

Stephenson, R.L., D.E. Lane, D.G. Aldous, and R. Nowak. 1993. Management of the 4WX Atlantic herring (*Clupea harengus*) fishery: An evaluation of recent events. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 50.

Tremblay, M.J., and M. Sinclair. 1992. Planktonic sea scallop larvae (*Placopecten magellanicus*) in the Georges Bank region: Broadscale distribution in relation to physical oceanography. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 49: 1597-1615.

Wheeler, J.P., and G.H. Winters. 1984. Migrations and stock relationships of east and southeast Newfoundland herring (*Clupea harengus*) as shown by tagging studies. J. Northw. Atl. Fish. Sci. 5: 121-129.

White, A.W. 1982. The scope of impact of toxic dinoflagellate blooms on finfish in Canada. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1063: iii + 5 p.

Pollution industrielle:

Dempsey, C.H. 1986. The exposure of herring postlarvae to chlorine in coastal power stations. Mar. Environ. Res. 20: 279-290.

Winters, G.H., J.P. Wheeler, and E.L. Dalley. 1986. Survival of a herring stock subjected to a catastrophic event and fluctuating environmental conditions. *J. Cons. Int. Explor. Mer* 43: 26-42.

Composés organochlorés:

Haahti, H., and M. Perttilä. 1988. Levels and trends of organochlorines in cod and herring in the northern Baltic. *Mar. Poll. Bull.* 19: 29-32.

Zitko, V. 1981. Monitoring program for four major Atlantic coast fisheries. *Can. Manusc. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1615.

Hydrocarbures pétroliers :

Carls, M.G. 1987. Effects of dietary and water-borne oil exposure on larval Pacific herring (*Clupea harengus pallasi*). *Mar. Environ. Res.* 22: 253-270.

Gamble, J.C., J.M. Davies, S.J. Hay, and F.K. Dow. 1987. Mesocosm experiments on the effects of produced water discharges from offshore oil platforms in the northern North Sea. *Sarsia* 72: 383-386.

Linden, O. 1975. Acute effects of oil and oil/dispersant mixtures on larvae of Baltic herring. *Ambio* 4: 130-133.

----- 1978. Biological effect of oil on early development of the Baltic herring *C. harengus membras*. *Mar. Biol.* 45: 273-283.

National Research Council. 1985. Oil in the sea. Inputs, fates, and effects. National Academy Press, Washington, D.C. 601 p.

Pearson, W.H., D.L. Woodruff, S.L. Kiesser, G.W. Fellingham, and R.A. Elston. 1985. Oil effects on spawning behavior and reproduction in Pacific herring (*Clupea harengus pallasi*). Battelle Marine Research Laboratory, Report to American Petroleum Institute. 105 p. + appendix.

Dragage:

Kiorboe, T., E. Frantsen, C. Jensen, and G. Sorensen. 1981. Effects of suspended sediment on development and hatching of herring (*Clupea harengus*) eggs. *Estuarine Coastal Shelf Sci.* 13: 107-111.

Messieh, S.N., T.W. Rowell, D.L. Peer, and P.J. Cranford. 1991. The effects of trawling, dredging and ocean dumping on the eastern Canadian continental shelf seabed. *Cont. Shelf Res.* 11: 1237-1263.

Messieh, S.N., D.J. Wildish, and R.H. Peterson. 1981. Possible impact from dredging and spoil disposal in the Miramichi Bay herring fishery. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1008: 33 p.

Autres:

Oulasvirta, P., and H. Lehtonen. 1988. Effects of sand extraction on herring spawning and fishing in the Gulf of Finland. Mar. Pollut. Bull. 19: 383-386.

Messieh, S.N., and M.I. El-Sabh. 1988. Man-made environmental changes in the southern Gulf of St. Lawrence, and their possible impact on inshore fisheries, p. 499-523. In M.I. El-Sabh and T.S. Murty [ed.]. Natural and man-made hazards. D. Reidel Publishing Company.

Ware, D.M. 1979. The possible impact of the Canso Causeway on the migration of mackerel and herring in the Southern Gulf of St. Lawrence. Canso Marine Environment Workshop, Part 3: Fishery impacts. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep. 834.

**SPÉCIALISTES DU MINISTÈRE DES PÊCHES ET DES OCÉANS**

Écologie, répartitions et pêches	Mike Chadwick <sup>1</sup> Ian McQuinn <sup>2</sup> Robert Stephenson <sup>3</sup> John Wheeler <sup>4</sup>	(506) 851-6206 (418) 775-0627 (506) 529-8854 (709) 772-4704
Contaminants	Jack Uthe <sup>5</sup> Vlado Zitko <sup>3</sup>	(902) 426-6277 (506) 529-8854
Parasites	Sharon McGladdery <sup>1</sup>	(506) 851-2018

<sup>1</sup>Ministère des Pêches et des Océans  
Centre des pêches du Golfe  
C.P. 5030  
Moncton (N-B) E1C 9B6  
Canada

<sup>2</sup>Ministère des Pêches et des Océans  
Institut Maurice-Lamontagne  
C.P. 1000  
Mont-Joli (Qc) G5H 3Z4  
Canada

<sup>3</sup>Ministère des Pêches et des Océans  
Centre des pêches de l'Atlantique nord-ouest  
C.P. 5667  
St.-John's (T-N) A1C 5X1  
Canada

<sup>4</sup>Ministère des Pêches et des Océans  
Station biologique de St. Andrews  
Brandy Cove Road  
St. Andrews (N-B) E0G 2X0  
Canada

<sup>5</sup>Ministère des Pêches et des Oceans  
Laboratoire de recherches sur  
les pêches de Halifax  
C.P. 550  
Halifax (N-É) B3J 2S7  
Canada

## RÉFÉRENCES

- Alderdice, D.F., and F.P.J. Velsen. 1971. Some effects of salinity and temperature on early development of Pacific herring (*Clupea pallasi*). J. Fish. Res. Board Can. 28: 1545-1562.
- Alderdice, D.F., and A.S. Hourston. 1985. Factors influencing development and survival of Pacific herring (*Clupea harengus pallasi*) eggs and larvae to beginning of exogenous feeding. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42(Suppl. 1): 56-68.
- Anderson, A., and M. Gagnon. 1980. Les ressources halieutiques de l'estuaire du Saint-Laurent. Rapp. Can. Ind. Sci. Halieut. Aquat. 119: iv + 56 p.
- Aneer, G. 1987. High natural mortality of Baltic herring (*Clupea harengus*) eggs caused by algal exudates? Mar. Biol. 94: 163-169.
- Appleby, J.A., and D.J. Scarratt. 1989. Physical effects of suspended solids on marine and estuarine fish and shellfish with special reference to ocean dumping: A literature review. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1681: v + 33 p.
- Bahgat, F.J., P.E. King, and S.E. Shackley. 1989. Ultrastructural changes in the muscle tissue of *Clupea harengus* L. larvae induced by acid pH. J. Fish. Biol. 34: 25-30.
- Baker, J.M., R.B. Clark, and P.F. Kingston. 1992. Two years after the spill: Environmental recovery in Prince William Sound and the Gulf of Alaska. In P.M. Ryan [ed.]. Managing the environmental impact of offshore oil production. Proceedings of the 32nd Annual Meeting of the Canadian Society of Environmental Biologists, St. John's, Newfoundland, April 1-4, 1992.
- Batty, R.S., J.H.S. Blaxter, and D.A. Libby. 1986. Herring (*Clupea harengus*) filter-feeding in the dark. Mar. Biol. 91: 371-375.
- Blaxter, J.H.S. 1977. The effect of copper on the eggs and larvae of plaice and herring. J. Mar. Biol. Assoc. U.K. 57: 849-858.
- 1985. The herring: A successful species? Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42(Suppl. 1): 21-30.
- Braune, B. 1987. Mercury accumulation in relation to size and age of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) from the southwestern Bay of Fundy, Canada. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 16: 311-320.

- Cairns, D.K., S.N. Messieh, E. Wade, P.A. MacPherson, and G.C.J. Bourque. 1993. Timing, location, and volume of herring spawn deposition at Fisherman's Bank, Prince Edward Island, 1987-1990. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1928: vi + 60 pp.
- Carls, M.G. 1987. Effects of dietary and water-borne oil exposure on larval Pacific herring (*Clupea harengus pallasi*). Mar. Environ. Res. 22: 253-270.
- Chadwick, E.M.P., and R.R. Claytor. 1989. Run timing of pelagic fishes in the Gulf of St. Lawrence: Area and species effects. J. Fish. Biol. 35(Suppl. A): 215-223.
- Chadwick, E.M.P. [ed.]. 1990. Proceedings of the Gulf Habitat Science Workshop. Can. Ind. Rep. Fish. Aquat. Sci. 206: ii + 65 p.
- Chadwick, E.M.P., D.K. Cairns, H.M.C. Dupuis, K.V. Ewart, M.H. Kao, and G.L. Fletcher. 1990. Plasma antifreeze levels reflect the migratory behaviour of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) in the southern Gulf of St. Lawrence. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 47: 1534-1536.
- Chadwick, E.M.P., J. Allard, J. Dale, and G. Nielsen. 1993. Stock composition in the 4Vn winter herring fishery. Dept. Fish. Oceans Atl. Fish. Res. Doc. 93/38: 22 p.
- Costello, M.J., and J.C. Gamble. 1992. Effects of sewage sludge on marine fish embryos and larvae. Mar. Environ. Res. 33: 49-74.
- da Silva, J., and J.D. Neilson. 1985. Limitations of using otoliths recovered in scats to estimate prey consumption in seals. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 1439-1442.
- Delcan-Stone and Webster Consultants. 1989. Impacts on marine animals and marine plant populations and their habitats. Background document for response to Questions A-1 through A-8. Fixed Link Environmental Review.
- Delval, C., S. Fournier, and Y. Vigneault. 1986. Polychlorinated biphenyl residues in some marine organisms from the Baie des Anglais (Baie-Comeau, Québec, Saint-Lawrence estuary). Bull. Environ. Contam. Toxicol. 37: 823-829.
- Dempsey, C.H. 1986. The exposure of herring post-larvae to chlorine in coastal power stations. Mar. Environ. Res. 20: 279-290.
- DeSilva, C.D., and P. Tytler. 1973. The influence of reduced environmental oxygen on the metabolism and survival of herring and plaice larvae. Neth. J. Sea Res. 7: 345-362.

- Fortier, L., and W.C. Leggett. 1982. Fickian transport and the dispersal of fish larvae in estuaries. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 39: 1150-1163.
- 1983. Vertical migrations and transport of larval fish in a partially mixed estuary. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 40: 1543-1555.
- Fortier, L., and J.A. Gagné. 1990. Larval herring (*Clupea harengus*) dispersion, growth, and survival in the St. Lawrence estuary: Match/mismatch or membership/vagrancy? *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47: 1898-1912.
- Gagné, J.A., B. Robineau, and L. Fortier. 1992. Impact of toxic dinoflagellate blooms on the recruitment of finfish populations, p. 36. In J.-C. Therriault and M. Levasseur [ed.]. *Proceedings of the Third Canadian Workshop on Harmful Marine Algae*. Maurice Lamontagne Institute, Mont-Joli, Québec, May 12-14, 1992. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1893: 154 p. (Poster)
- Gamble, J.C., J.M. Davies, S.J. Hay, and F.K. Dow. 1987. Mesocosm experiments on the effects of produced water discharges from offshore oil platforms in the northern North Sea. *Sarsia* 72: 383-386.
- Gosselin, S., L. Fortier, and J.A. Gagne. 1989. Vulnerability of marine fish larvae to the toxic dinoflagellate *Protogonyaulax tamarensis*. *Mar. Ecol.* 57: 1-10.
- Graham, J.J. 1972. Retention of larval herring within the Sheepscot estuary of Maine. *Fish. Bull. U.S.* 70: 518-520.
- Graham, J.J., K.D. Stevenson, and K.M. Sherman. 1990. Relation between winter temperature and survival of larval Atlantic herring along the Maine coast. *Trans. Am. Fish. Soc.* 119: 730-740.
- Haahti, H., and M. Perttilä. 1988. Levels and trends of organochlorines in cod and herring in the northern Baltic. *Mar. Pollut. Bull.* 19: 29-32.
- Haegle, C.W., and J.F. Schweigert. 1985. Distribution and characteristics of herring spawning grounds and description of spawning behaviour. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 42(Suppl. 1): 39-55.
- Hansen, P.-D., H. von Westernhagen, and H. Rosenthal. 1985. Chlorinated hydrocarbons and hatching success in Baltic herring spring spawners. *Mar. Environ. Res.* 15: 59-76.
- Hoss, D.E., and J.H.S. Blaxter. 1981. Effects of rapid changes in hydrostatic pressure on the larvae of Atlantic herring (*Clupea harengus* L.). *Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer* 178: 328-329.

- Hourston, A.S., H. Rosenthal, and S. Kerr. 1981. Capacity of juvenile Pacific herring (*Clupea harengus pallasi*) to feed on larvae of their own species. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1044: v + 9 p.
- Khalil, M.F., J. Labbe, A.C. Horth, and M. Arnac. 1985. Chlorinated hydrocarbons: Pollutants or indicators of fish stock structure. Int. J. Environ. Analyt. Chem. 21: 105-114.
- Kiorboe, T., E. Frantsen, C. Jensen, and G. Sorensen. 1981. Effects of suspended sediment on development and hatching of herring (*Clupea harengus*) eggs. Estuarine Coastal Shelf Sci. 13: 107-111.
- Lambert, T.C., and S.N. Messieh. 1989. Spawning dynamics of Gulf of St. Lawrence herring (*Clupea harengus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 46: 2085-2094.
- Linden, O. 1975. Acute effects of oil and oil/dispersant mixtures on larvae of Baltic herring. Ambio 4: 130-133.
- 1978. Biological effect of oil on early development of the Baltic herring *C. harengus membras*. Mar. Biol. 45: 273-283.
- Lockwood, S.J., M.G. Pawson, and D.R. Eaton. 1983. The effects of crowding on mackerel (*Scomber scombrus* L.) - physical condition and mortality. Fish. Res. 2: 129-147.
- Lough, R.G., G.R. Bolz, M. Pennington, and M.D. Grosslein. 1985. Larval abundance and mortality of Atlantic herring (*Clupea harengus* L.) spawned in the Georges Bank and Nantucket Shoals areas, 1971-78 seasons, in relation to spawning stock size. J. Northw. Atl. Fish. Sci. 6: 21-35.
- McGladdery, S.E., and M.D.B. Burt. 1985. Potential of parasites for use as biological indicators of migration, feeding, and spawning behavior of northwestern Atlantic herring (*Clupea harengus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 1957-1968.
- McGladdery, S.E. 1986. *Anasakis simplex* (Nematode: Anisakidae) infection of the musculature and body cavity of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*). Can. J. Fish. Aquat. Sci. 43: 1312-1317.
- McGurk, M.D., J.M. Green, W.D. McKone, and K. Spencer. 1980. Condition indices, energy density and water and lipid content of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) of southeastern Newfoundland. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 958: iv + 41 p.

- McGurk, M.D., H.D. Warburton, T.B. Parker, and M. Litke. 1993. Effects of the *Exxon Valdez* oil spill on survival of Pacific herring eggs and viability of their larvae, p. 255-257. In E.G. Baddaloo, S. Ramamoorthy, and J.W. Moore [ed.]. Proceedings of the 19th Annual Aquatic Toxicology Workshop, October 4 to 7, 1992, Edmonton, Alberta, Canada.
- McHenry, J.G., D. Saward, and D.D. Seaton. 1991. Lethal and sub-lethal effects of the salmon delousing agent dichlorvos on the larvae of the lobster (*Homarus gammarus* L.) and herring (*Clupea harengus* L.). *Aquaculture* 98: 331-347.
- McKenzie, R.A. 1964. Observations on herring spawning off southwest Nova Scotia. *J. Fish. Res. Board Can.* 21: 203-205.
- McQuinn, I.H., G.J. Fitzgerald, and H. Powles. 1983. Environmental effects on embryos and larvae of the Isle Verte stock of Atlantic Herring (*Clupea harengus harengus*). *Naturalist Can.* 110: 343-355.
- Messieh, S.N. 1979. The decline of the herring fishery in northern Northumberland Strait and its possible causes. *Canso Marine Environment Workshop, Part 3: Fishery Impacts. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep.* 834.
- Messieh, S.N., D.J. Wildish, and R.H. Peterson. 1981. Possible impact from dredging and spoil disposal in the Miramichi Bay herring fishery. *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1008: 33 p.
- Messieh, S.N., R. Pottle, P. MacPherson, and T. Hurlbut. 1985. Spawning and exploitation of Atlantic herring (*Clupea harengus*) at Escuminac in the southwestern Gulf of St. Lawrence, spring 1983. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 6: 125-133.
- Messieh, S.N. 1987. Some characteristics of Atlantic Herring (*Clupea harengus*) spawning in the southern Gulf of St. Lawrence. *Northw. Atl. Fish. Organ. Sci. Coun. Stud.* 11: 53-61.
- Messieh, S.N., and M.I. El-Sabh. 1988. Man-made environmental changes in the southern Gulf of St. Lawrence, and their possible impact on inshore fisheries, p. 499-523. In M.I. El-Sabh and T.S. Murty [ed.]. *Natural and Man-Made Hazards*. D. Reidel Publishing Company.
- Messieh, S.N., and H. Rosenthal. 1989. Mass mortality of herring eggs on spawning beds on and near Fisherman's Bank, Gulf of St. Lawrence, Canada. *Aquat. Living Resour.* 2: 1-8.
- Messieh, S.N., T.W. Rowell, D.L. Peer, and P.J. Cranford. 1991. The effects of trawling, dredging and ocean dumping on the eastern Canadian continental shelf seabed. *Cont. Shelf Res.* 11: 1237-1263.

- Moores, J.A., and G.H. Winters. 1984. Migration patterns of Newfoundland west coast herring (*Clupea harengus*) as shown by tagging studies. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.* 5: 17-22.
- Morgan, J.D., and C.D. Levings. 1989. Effects of suspended sediment on eggs and larvae of lingcod (*Ophiodon elongatus*), Pacific herring (*Clupea harengus pallasi*), and surf smelt (*Hypomesus pretiosus*). *Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 1729: 38 p.
- Morrison, J.A., I.R. Napier, and J.C. Gamble. 1991. Mass mortality of herring eggs associated with a sedimenting diatom bloom. *Int. Counc. Explor. Sea J. Mar. Sci.* 48: 237-245.
- Murie, D.J., and D.M. Lavigne. 1992. Growth and feeding habits of grey seals (*Halichoerus grypus*) in the northwestern Gulf of St. Lawrence, Canada. *Can. J. Zool.* 70: 1604-1613.
- Musial, C.J., J.F. Uthe, G.R. Sirota, B.G. Burns, M.W. Gilgan, and V. Zitko. 1981. Di-n-hexyl phthalate (DHP), a newly identified contaminant in Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) and Atlantic mackerel (*Scomber scombrus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 38: 856-859.
- Musial, C.J., and J.F. Uthe. 1983. Widespread occurrence of the pesticide toxaphene in Canadian east coast marine fish. *Int. J. Environ. Analyt. Chem.* 14: 117-126.
- National Research Council. 1985. Oil in the sea. Inputs, fates, and effects. National Academy Press, Washington, D.C. 601 p.
- Oug, E., T.E. Lein, R. Kufner, and I. Falk-Petersen. 1991. Environmental effects of a herring mass mortality in Northern Norway. Impact on and recovery of rocky-shore and soft-bottom biotas. *Sarsia* 76: 195-207.
- Oulasvirta, P., and H. Lehtonen. 1988. Effects of sand extraction on herring spawning and fishing in the Gulf of Finland. *Mar. Poll. Bull.* 19: 383-386.
- Oulasvirta, P. 1990. Effects of acid-iron effluent from a titanium dioxide factory on herring eggs in the Gulf of Bothnia. *Finn. Fish. Res.* 11: 7-15.
- Parsons, L.S., and V.M. Hodder. 1971. Variation in incidence of larval nematodes in herring from Canadian Atlantic waters. *Int. Comm. Northw. Atl. Fish. Res. Bull.* 8: 5-14.
- Pearson, W.H., D.L. Woodruff, S.L. Kiesser, G.W. Fellingham, and R.A. Elston. 1985. Oil effects on spawning behavior and reproduction in Pacific herring (*Clupea harengus pallasi*). Battelle Marine Research Laboratory, Rep. to American Petroleum Institute. 105 p. + appendix.

- Perttilä, M., V. Tervo, and R. Parmanne. 1982. Age dependence of the concentrations of harmful substances in Baltic herring (*Clupea harengus*). Chemosphere 11: 1019-1026.
- Rainio, K., R.R. Linko, and L. Ruotsila. 1986. Polycyclic aromatic hydrocarbons in mussel and fish from the Finnish Archipelago Sea. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 37: 337-343.
- Robineau, B., J.A. Gagné, L. Fortier, and A.D. Cembella. 1991. Potential impact of a toxic dinoflagellate (*Alexandrium excavatum*) bloom on survival of fish and crustacean larvae. Mar. Biol. 108: 293-301.
- Rosenthal, H., and K.-R. Sperling. 1974. Effects of cadmium on development and survival of herring eggs. In J.H.S. Blaxter [ed.]. The early life history of fish. Springer-Verlag, Berlin.
- Scott, W.B., and M.G. Scott. 1988. Atlantic fishes of Canada. Univ. Toronto Press. 731 p.
- Sherwood, N.M., A.L. Kyle, C.M. Warby, T.H. Magnus, J. Carolsfeld, and S. Price. 1991. Partial characterisation of a spawning pheromone in the herring *Clupea harengus pallasi*. Can. J. Zool. 69: 91-103.
- Sinclair, M., and M.J. Tremblay. 1984. Timing of spawning of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) populations and the match-mismatch theory. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41: 1055-1065.
- Sinclair, M., and T.D. Iles. 1985. Atlantic herring (*Clupea harengus*) distributions in the Gulf of Maine-Scotian Shelf area in relation to oceanographic features. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 880-887.
- Sinderman, C.J. 1958. An epizootic in the Gulf of St. Lawrence fishes. Trans. Am. Wildl. Nat. Resour. Conf. 29: 349-360.
- Sindermann, C.J. 1979. Status of northwest Atlantic herring stocks of concern to the United States. U. S. Nat. Oceanic Atmos. Adm. Tech. Ser. Rep. 23: 449 p.
- Somasundaram, B., P.E. King, and S.E. Shackley. 1984. Some morphological effects of zinc upon the yolk-sac larvae of *Clupea harengus* L. J. Fish Biol. 25: 333-343.
- Somasundaram, B. 1985. Effects of zinc on epidermal ultrastructure in the larva of *Clupea harengus*. Mar. Biol. 85: 199-207.

- Stephenson, R.L., and M.J. Power. 1989. Observations on herring larvae retained in the Bay of Fundy: Variability in vertical movement and position of the patch edge. *Rapp. P.-v. Réun. Cons. Int. Explor. Mer* 191: 177-183.
- Stephenson, R.L. 1990. Multiuse conflict. Aquaculture collides with traditional fisheries in Canada's Bay of Fundy. *World Aquacult.* 21: 34-45.
- Stephenson, R.L., and I. Kornfield. 1990. Reappearance of spawning Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) on Georges Bank: Population resurgence not recolonization. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 47(6): 1060-1064.
- Stephenson, R.L., D.E. Lane, D.G. Aldous, and R. Nowak. 1993. Management of the 4WX Atlantic herring (*Clupea harengus*) fishery: An evaluation of recent events. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 50: 2742-2757.
- Struhsaker, J.W., M.B. Eldridge, and T. Echeverria. 1974. Effects of benzene on eggs and larvae of Pacific herring and northern anchovy, p. 253-284. In F.J. Vernberg and W.B. Vernberg [ed.]. *Pollution and Physiology of Marine Organisms*. Academic Press, New York.
- Tidmarsh, W.G., J.H. Merritt, G. Bernier, J. Joza, and S. Bastien-Daigle. 1986. Fish waste disposal practices and options for eastern New Brunswick. *Can. Ind. Rep. Fish. Aquat. Sci.* 176.
- Urho, L. 1989. Fin damage in larval and adult fishes in a polluted inlet in the Baltic, p. 493-494. In J.H.S. Blaxter, J.C. Gamble, and H. v. Westernhagen [ed.]. *The early life history of fish*. Third Int. Counc. Explor. Sea Symp., Bergen, Norway, 3 to 5 October, 1988. *Rapp. P.-V. Réun. Cons. Int. Explor. Mer* 191.
- Urho, L., and R. Hudd. 1989. Sublethal effects of an oil spill on fish (herring) larvae in the Northern Quark, in the Baltic, p. 494. In J.H.S. Blaxter, J.C. Gamble, and H. v. Westernhagen [ed.]. *The early life history of fish*. Third Int. Counc. Explor. Sea Symposium, Bergen, Norway, 3 to 5 October, 1988. *Rapp. P.-V. Réun. Cons. Int. Explor. Mer* 191.
- Ware, D.M. 1979. The possible impact of the Canso Causeway on the migration of mackerel and herring in the Southern Gulf of St. Lawrence. *Canso Marine Environment Workshop, Part 3: Fishery Impacts*. Fish. Mar. Serv. Tech. Rep. 834.
- Wells, P.G., and S.J. Rolston. 1991. Health of our oceans. A status report on Canadian marine environmental quality. Environ. Can., Conserv. Protect., Dartmouth and Ottawa, Canada. 186 p.

- Wheeler, J.P., and G.H. Winters. 1984a. Homing of Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) in Newfoundland waters as indicated by tagging data. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 41: 108-117.
- , 1984b. Migrations and stock relationships of east and southeast Newfoundland herring (*Clupea harengus*) as shown by tagging studies. J. Northw. Atl. Fish. Sci. 5: 121-129.
- White, A.W. 1982. The scope of impact of toxic dinoflagellate blooms on finfish in Canada. Can. Tech. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1063: iii + 5 p.
- Whitehead, P.J.P. 1985. King herring: His place amongst the clupeoids. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42(Suppl. 1): 3-20.
- Wildish, D.J., A.J. Wilson, and H. Akagi. 1977. Avoidance of herring of suspended sediments from dredge spoil dumping. Int. Counc. Explor. Sea C.M.1977/E;11: 6 p.
- Winters, G.H., and J.P. Wheeler. 1985. Interaction between stock area, stock abundance, and catchability coefficient. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 42: 989-998.
- Winters, G.H., J.P. Wheeler, and E.L. Dalley. 1986. Survival of a herring stock subjected to a catastrophic event and fluctuating environmental conditions. J. Cons. Int. Explor. Mer 43: 26-42.
- Winters, G.H. and J.P. Wheeler. 1987. Recruitment dynamics of spring-spawning herring in the Northwest Atlantic. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 44: 882-900.
- Zitko, V., B.J. Finlayson, D.J. Wildish, J.M. Anderson, and A.C. Kohler. 1971. Methylmercury in freshwater and marine fishes in New Brunswick, in the Bay of Fundy, and on the Nova Scotia Banks. J. Fish. Res. Board Can. 28: 1285-1291.
- Zitko, V. 1981. Monitoring program for four major Atlantic coast fisheries. Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 1615.