

UNIVERSITE DU QUEBEC

MEMOIRE

PRESENTE

A

L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA

MAITRISE ES SCIENCE (EAU)

PAR

REJEAN CHEVALIER B.Sp.Sc. (Chimie)

"PROBLEMATIQUE DE L'AQUACULTURE AU QUEBEC"

MAI 1976

A mon épouse Francine et à mes parents sans qui ce mémoire
n'aurait pu être réalisé.

REMERCIEMENTS

L'auteur tient à remercier son directeur le Dr. Jean-Louis Sas-seville, professeur à l'INRS-Eau, pour l'orientation qu'il a su donner au mémoire. Ces remerciements s'adressent également à MM. Michel Leclerc, professeur à l'INRS-Eau, et Louis-Roch Séguin, biologiste, qui ont bien voulu accepter de corriger ce mémoire.

L'auteur adresse aussi ses remerciements à Magella Cantin, S.M.T.E., pour la diligence avec laquelle il s'est occupé de l'édition finale de ce texte; à André Parent, dessinateur, qui a grandement contribué à la conception et à la réalisation des figures de ce mémoire; à Lise Raymond, secrétaire, pour la façon avec laquelle s'est occupée de la dactylographie de ce texte et à tous mes confrères étudiants pour leurs soutiens constants et leurs judicieuses suggestions qui ont facilité la poursuite de ce travail.

Enfin, que tous ceux qui, de près ou de loin, ont aidé à la réalisation de ce mémoire, trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIERES	iii
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	vi
INTRODUCTION	1
1. La place du poisson dans l'alimentation de l'homme	3
1.1 L'agriculture et ses effets sur la biosphère	3
1.2 La situation mondiale de l'alimentation	18
1.3 Le poisson dans l'alimentation	19
1.4 Pour une stratégie de rattrapage alimentaire	24
2. L'industrie de la culture du poisson	28
2.1 Facteurs d'optimisation de l'aquaculture	28
2.2 Avantages de l'aquaculture sur l'agriculture	30
2.3 L'aquaculture	31
2.4 Prérequis à une exploitation saine	33
2.5 Schéma de production	37
2.6 Economique de l'aquaculture	40
3. L'énergie pour la culture du poisson	46
3.1 La chaîne trophique	47
3.2 Un budget bioénergétique	49
3.3 La croissance et l'alimentation	52
3.4 Utilisation d'une chaîne trophique en méthode extensive	58
3.5 Efficacité de la chaîne trophique	64
4. Une stratégie pour l'aquaculture au Québec	68
CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS	74

ANNEXES

I	Les diverses méthodes utilisées en aquaculture, classées par ordre croissant de travail investi	75
II	L'"AGRIBUSINESS": L'industrie alimentaire américaine	79
III	Bilan import-export du secteur alimentaire américain	81
	BIBLIOGRAPHIE	83

LISTE DES TABLEAUX

	<u>Page</u>	
1.1	Augmentation de la population	5
2.1	Les importations canadiennes de poisson	34
3.1	Sommaire des ensemencements et des recouvrements pour différents lacs expérimentaux de truitelles arc-en-ciel (<i>Salmo gairdneri</i> R.) dont la longueur variait entre 5 et 8 cm	63
3.2	Efficacité du transfert de l'énergie à divers niveaux trophiques dans 3 écosystèmes	65
AI.1	Exemples choisis des rendements obtenus par diverses méthodes d'aquaculture	78
AIII.1	Bilan import-export du secteur alimentaire américain montrant les divers secteurs de l'économie ayant effectué des transactions avec le secteur agricole en 1970	82

LISTE DES FIGURES

	<u>Page</u>	
1.1	Représentation schématique des relations existant entre l'Homme et son milieu	6
1.2	Diagramme montrant les diverses sources d'énergie et leur utilisation pour 1964	8
1.3	Distribution de l'azote dans la Biosphère	12
1.4	L'accroissement de l'utilisation de fertilisants depuis 1944-1945 jusqu'à nos jours	13
1.5	Représentation graphique de la relation rendement à l'acre par livre d'azote employée	15
1.6	Représentation schématique du phénomène de concentration biologique du D.D.T.	17
1.7	Consommation journalière moyenne en protéines et en calories	20
1.8	Consommation mondiale de prises marines par région	22
1.9	Valeurs protéiques relatives de certains produits	23
2.1	Représentation schématique du sous-système agricole et de ses relations avec le système humain	32
2.2	Schéma de production de la truite en eau douce au Québec	37

2.3	Ferme de mariculture piscicole de type norvégien	41
2.4	Perception en système de la production aquacole utilisant les pertes	43
3.1	Pertes et utilisations de l'énergie et de la matière contenues dans les aliments	50
3.2	Relations existant entre la consommation d'aliments et les pertes et utilisations de la matière et de l'énergie du saumon coho juvénile	54
3.3	Relation existant entre quatre chaînons successifs impliqués dans le transfert de l'énergie et de la matière	55
3.4	Courbes approximatives PRODUCTION-BIOMASSE pour les expériences décrites à la figure 3.3	58
3.5	Modèle conceptuel des principales chaînes alimentaires existant dans un étang de Géorgie aménagé pour la pêche	60
3.6	Courbe de croissance de la truite arc-en-ciel dans un lac des prairies	62
A.II.1	L' "AGRIBUSINESS": L'industrie alimentaire américaine	80

INTRODUCTION

Lorsque la population humaine ne se chiffrait que par millions, plusieurs milliers d'espèces de plantes et quelques centaines d'espèces d'animaux servaient à son alimentation. Ces aliments, s'ils étaient abondants, n'en constituaient pas moins le facteur limitant la densité de la population du fait de leur disponibilité (Pimentel *et al.*, 1975).

A mesure qu'il évoluait, l'Homme a concentré ses efforts sur quelques espèces seulement parmi les plantes et animaux qui le nourrissaient. Il devenait ainsi de plus en plus efficace; aujourd'hui, cette efficacité se fait lourdement sentir à deux niveaux. D'une part, l'Homme, en limitant son alimentation à quelques espèces, est maintenant complètement dépendant du succès de sa culture et, d'autre part, au lieu de réagir simplement aux caprices de son environnement, il agit, et de plus en plus, sur son environnement.

La mer a contribué pour une faible fraction de l'alimentation humaine. En effet, une grande partie des prises marines n'a servi que pour l'alimentation animale. En outre, l'aquaculture n'a servi, jusqu'à maintenant et pour une large proportion, que comme aliment de luxe pour les nations déjà suralimentées.

Si l'Homme doit nourrir une population sans cesse croissante, ce n'est certes pas l'aquaculture, ni aucune autre forme de production alimentaire, qui résoudra, seule, le problème de l'alimentation mondiale mais chacune d'entre elles peut y contribuer. Cependant, l'aquaculture peut apporter

une importante contribution, compte tenu des hauts rendements obtenus (annexe I) et du fait que le produit est une protéine dont la consommation demande peu de manipulations. Pour y arriver, le développement de l'aquaculture devra être rationalisé de façon à devenir une industrie utilisant, de façon optimale, l'énergie et les ressources disponibles; ainsi, le développement de l'aquaculture devra être entrepris dans le cadre d'une stratégie propre au Québec.

Chapitre 1

1. La place du poisson dans l'alimentation de l'Homme

Malgré l'augmentation rapide de sa population, l'Homme a su trouver les moyens de se nourrir. Il a su domestiquer les animaux qui lui semblaient les plus utiles et améliorer l'agriculture par la sélection génétique, l'emploi massif de fertilisants et de régulateurs chimiques. Ces méthodes, alliées à une très haute mécanisation, devraient lui permettre de nourrir les 6 milliards d'êtres humains qui constitueront la population mondiale de l'an 2000.

1.1 L'agriculture et ses effets sur la biosphère

L'Homme n'a pu en arriver à ce stade qu'en développant des techniques de plus en plus poussées et efficaces. En effet, le succès de l'agriculture est intimement lié aux progrès réalisés dans les secteurs suivants:

- la mécanisation: 5000 ans après avoir commencé à utiliser la force animale, l'Homme remplace le fourrage par du pétrole comme source énergétique libérant ainsi d'énormes étendues et les rendant disponibles à la culture;
- l'irrigation¹: utilisée avant la force animale, elle a contribué à l'augmentation du rendement agricole en permettant de cultiver de

¹

C'est principalement lors de son retour à la mer que l'eau servira à la vie terrestre. C'est en ralentissant ce processus (par l'irrigation) que la vie terrestre en tire le maximum d'utilité. Tout processus accélérant ce retour (asphalte et béton des villes) diminue l'utilité de l'eau pour toute vie terrestre, incluant l'Homme.

- vastes étendues naturellement peu ou non productives;
- l'emploi de fertilisants: quoique récents (leur emploi massif remonte à moins d'un siècle) ce sont les fertilisants qui ont permis l'accroissement le plus marqué du rendement des sols en comblant la déficience de minéraux tels l'azote et les phosphates;
 - l'utilisation de répresseurs chimiques: ils ont permis un contrôle relatif de la vermine et des mauvaises herbes contribuant ainsi à améliorer le rendement des cultures.

Ce sont les succès de cette "agrotechnologie" qui ont permis de nourrir une population qui croît de plus en plus comme le montre le tableau 1.1. Cette "agrotechnologie", intimement liée aux divers systèmes humains, s'incorpore au sein des différents processus constituant l'écosphère.

Comme on peut le voir à la figure 1.1, les trois systèmes humains (technologique, psychosocial et biophysique) sont interreliés entre eux et avec les principaux processus terrestres. Pour sa part, l' "agrotechnologie" interfère au niveau de plusieurs cycles dont le cycle énergétique, le cycle hydrique et, le cycle de l'azote.

L'énergie

Le problème le plus urgent que les régions peuplées sous-développées ont à résoudre est d'augmenter la production agricole au même rythme que croît la population. Le facteur qui limite cette amélioration des cultures est le manque d'énergie. En effet, leurs besoins ne résident pas tant dans la quantité d'aliments ou de fertilisants, mais plutôt dans la disponibilité énergétique pour le transport, les communi-

TABLEAU 1.1: Augmentation de la population. Evolution de la population humaine depuis l'âge de pierre jusqu'à l'an 2000.

ANNEE	POPULATION (millions)
Age de pierre	10
5000	62
2000	125
1 ap. J.-C.	250
1650	500
1850	1 100
1930	2 000
1960	3 000
2000	6 100

Traduit et adapté de McHale (1972).

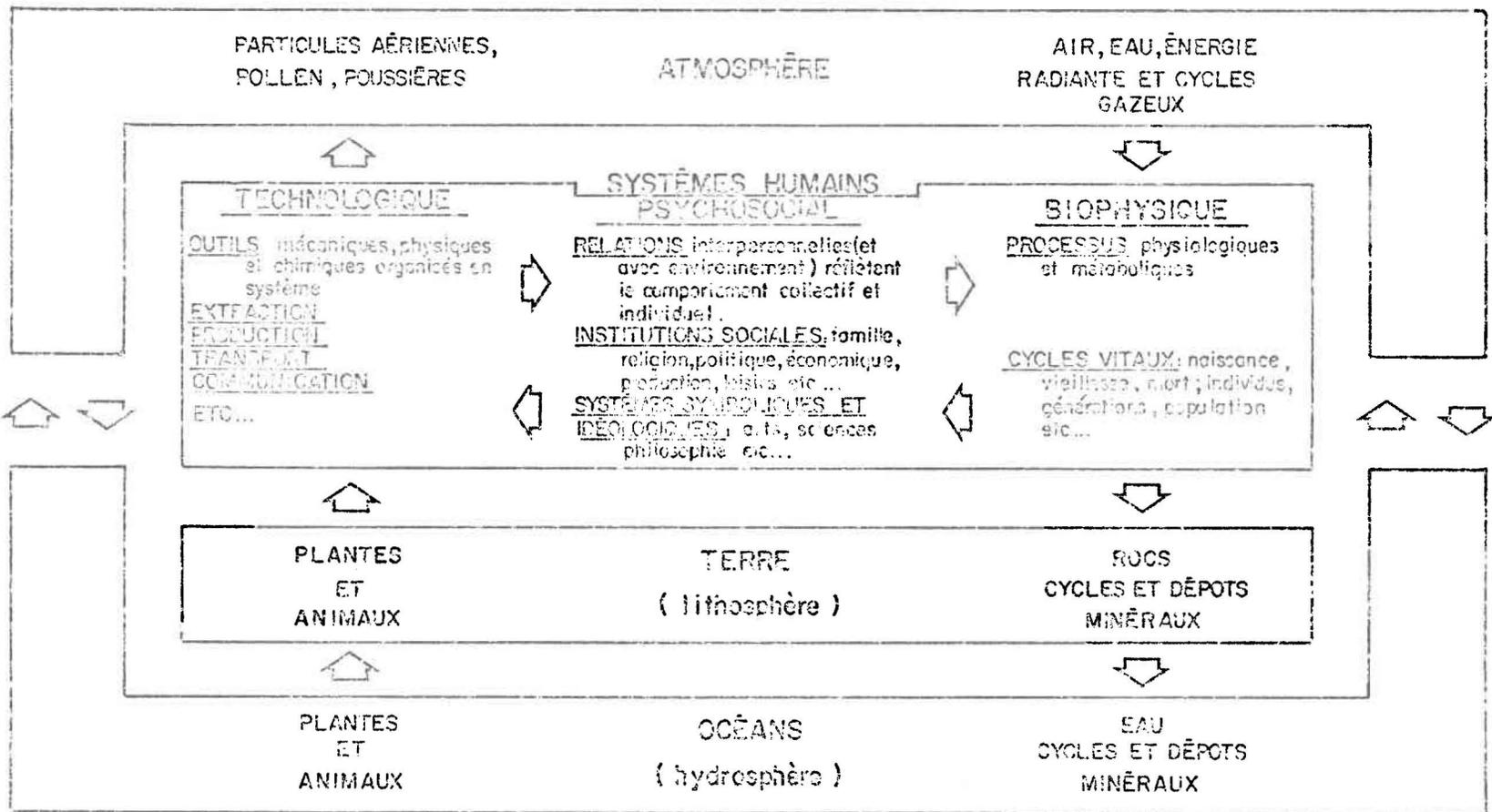


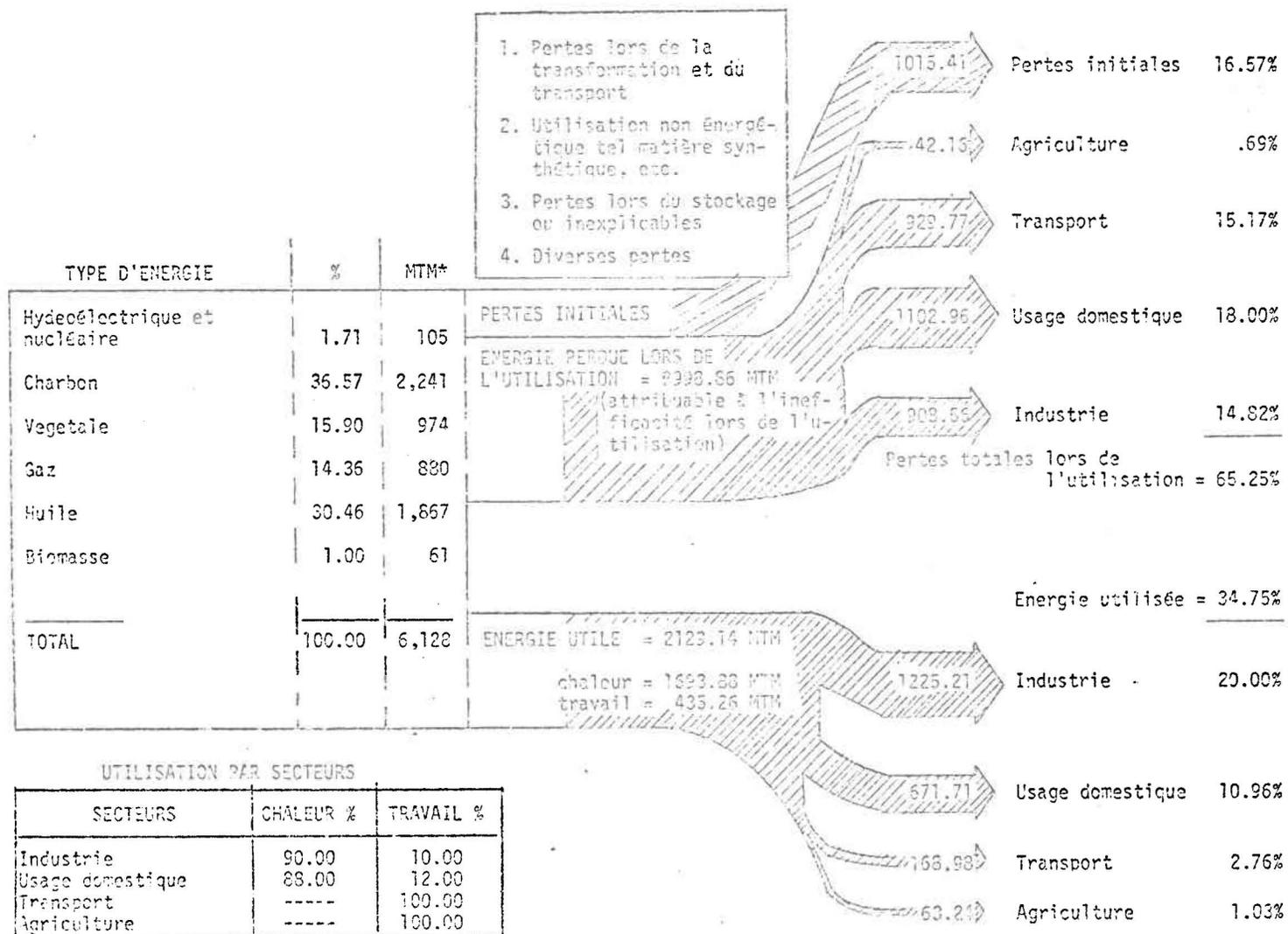
Figure 1.1: Représentation schématique des relations existant entre l'Homme et son milieu. Le centre de référence est constitué par les systèmes humains entourés des différents processus se déroulant dans l'Ecosphère. Traduit et adapté de McHale (1972).

cations, la production locale d'engrais et l'industrialisation. Comme on peut le voir à la figure 1.2, l'agriculture n'emploie efficacement que 1% de l'énergie utilisée comparativement à 20% pour l'industrie et 2.76% pour le transport. D'autre part, des 6,128 millions de tonnes métriques (MTM) d'équivalent en charbon d'énergie utilisée, (en 1964) seulement 35% (2129 MTM) est efficacement utilisé. Le reste, soit 65%, est perdu.

L'inefficacité de l' "Agribusiness" n'a cessé de croître: Pimentel *et al.* (1973) ont en effet estimé que de 1945 à 1970, le rendement de la culture du maïs a diminué, passant de 3.70 à 2.82 Kcal produites par Kcal injectée dans le système. L'énergie était alors utilisée sous forme d'essence, d'électricité, d'engrais, de pesticides, etc...

L'agriculture, telle que conçue en Amérique du Nord, peut tout de même se perpétuer encore. Un tel système ne peut cependant être répandu mondialement à cause du coût énergétique qu'il représente. L'Homme se doit donc de trouver de nouvelles sources s'il veut combler la demande énergétique future. Selon McHale (1972), juste pour maintenir, dans une trentaine d'année, le double de la population mondiale actuelle, sans même améliorer de façon sensible la qualité de la vie, il faudra quintupler la production énergétique qui se chiffrait à 10800 Kilowatt-heure *per capita* en 1965.

Une autre raison pour laquelle il est impossible d'étendre l' "Agribusiness" américaine à la grandeur du globe nous est donnée aux annexes II et III. En effet, l'industrie alimentaire américaine est en interaction étroite avec une foule d'autres secteurs de l'économie. Elle repose sur trois composantes majeures. La première est l'industrie de transformation. C'est elle qui fournit les semences, la machinerie, les



* En millions de tonnes métriques de charbon:

FIGURE 1.2 : Diagramme montrant les diverses sources d'énergie et leur utilisation pour 1964. Traduit et adapté de Mc Hale (1972).

fertilisants, les pesticides, les carburants, etc..., nécessaires à l'agriculture. La seconde composante est la ferme elle-même qui utilise toutes ces matières premières. La dernière composante est constituée par le réseau de distribution des produits agricoles incluant le transport, la préparation, l'emballage et la vente au consommateur (Heady, 1976).

L'eau

Il n'existe que trois sources possibles sur lesquelles l'agriculture peut compter pour ses besoins: la pluie, le ruissellement et l'eau souterraine.

L'eau souterraine, pour sa part, est coûteuse. Il faut en effet forer les puits et utiliser des pompes pour amener l'eau à la surface. Elle nécessite donc une dépense énergétique pour pouvoir l'utiliser. L'eau de surface, qu'elle provienne de la pluie ou du ruissellement, ne peut être utilisée qu'au moyen de l'irrigation. L'irrigation n'étant, en fait, qu'un moyen de ralentir le retour de l'eau vers les océans.

On a estimé (Brown, 1971) que, sur tout le globe, l'épaisseur de sol cultivable ne se mesure qu'en centimètres. De plus, l'érosion des sols est accélérée par la culture, la déforestation et l'irrigation. En effet, la culture intensive entraîne un appauvrissement des sols et en augmente la friabilité. Lorsque le couvert végétal est enlevé, le sol perd alors son humidité et il devient facilement attaqué par les agents érosifs. Pour sa part, l'irrigation des sols cause une élévation de la nappe phréatique du fait que l'eau est amenée sur des sols perméables. De plus, cette élévation de la nappe phréatique inhibe la croissance des racines et augmente la salinisation des terres. Un autre des effets secon-

daires de l'irrigation est l'augmentation rapide de l'incidence de la schistosomiasis¹ principalement dans les vallées populeuses d'Afrique et d'Asie. En effet, on rencontre de plus en plus cette maladie là où les grands cours d'eau servent à l'irrigation. On estime que plus de 250 millions d'individus souffrent de schistosomiasis dépassant même, en importance, la malaria.

L'augmentation de la production agricole, associée à la croissance de la population, fera accroître la demande en eau. Compte tenu de la rareté et de la qualité actuelle de l'eau, les interventions humaines se feront donc sentir de plus en plus sur celle-ci avec des effets souvent dramatiques:

"Le système aquatique occupe une place prépondérante dans l'espace des relations entre l'homme et son milieu; en plus d'être le vecteur support à la vie (flux de matière et d'énergie dans les milieux naturels et dans le vivant) le milieu aquatique est le point terminal des produits de transformations physiques, chimiques et biologiques se déroulant sur l'ensemble des territoires drainés. Ainsi, pour des raisons similaires à celles qui le rendent bioproductif, l'environnement aquatique est-il sujet aux pressions multiples exercées par le "métabolisme physique, chimique et biologique" de l'environnement terrestre et atmosphérique. Il est donc normal que le système aquatique soit le siège de préoccupations grandissantes; l'homme s'assure ainsi que ses activités, dont l'intensité est souvent contrôlée par l'usage de la ressource eau, n'en détériorent pas le comportement auquel sa survie est intimement liée."

(Lapointe et Sasseville, 1976)

¹

Maladie endémique grave de l'homme, surtout en Asie, en Afrique et en Amérique du Sud, caractérisée par des pertes sanguines et une détérioration des tissus. Cette maladie est causée par un ver parasite du genre *Schistosoma*.

L'azote

Le cycle de l'azote terrestre est relativement bien connu. En fait, on a réussi à quantifier le flux d'azote dans la biosphère. Comme on peut le voir à la figure 1.3, le bilan du cycle de l'azote indique que l'azote est amené à la biosphère, sous forme fixée, au taux annuel de 92 millions de tonnes métriques (MTM). Par contre, le taux annuel de dénitrification et de retour à l'atmosphère est de 83 MTM. La différence pourrait représenter le taux auquel l'azote fixé s'accumule dans la biosphère: les sols, les eaux de surface et réservoirs, et les océans. Cependant, la distribution de l'azote ainsi que les taux de transfert annuels ne peuvent être estimés que de façon superficielle. De fait, il n'y a que deux mesures qui sont précises, soient la quantité d'azote atmosphérique et le taux de fixation industrielle. A cause de l'importance de cette dernière, la quantité d'azote disponible pour les plantes terrestres excède la quantité d'azote retourné à l'atmosphère sous l'action des bactéries dénitrifiantes du sol.

L'agriculture utilise les fertilisants comme principale source d'azote. Comme le montre la figure 1.4, l'emploi des fertilisants a augmenté depuis les années 1944-45. La consommation est passée de 9 MTM à plus de 50 MTM en 1968-69 pour atteindre 63 MTM en 1970. De fait, la consommation a augmenté de 10% en 1965 alors qu'elle diminuait à 7% en 1969 et à 5.5% en 1970. Le Tennessee Valley Authority estimait, en 1971, le taux de croissance et le tonnage prévu pour 1975 et 1980: avec un taux de croissance annuel de 7%, la consommation de fertilisants se chiffre à 90 MTM en 1975 alors que la consommation sera de 115 MTM en 1980 pour un taux de croissance de 5% par année au cours des années 1975 à 1980 (Anonyme, 1971).

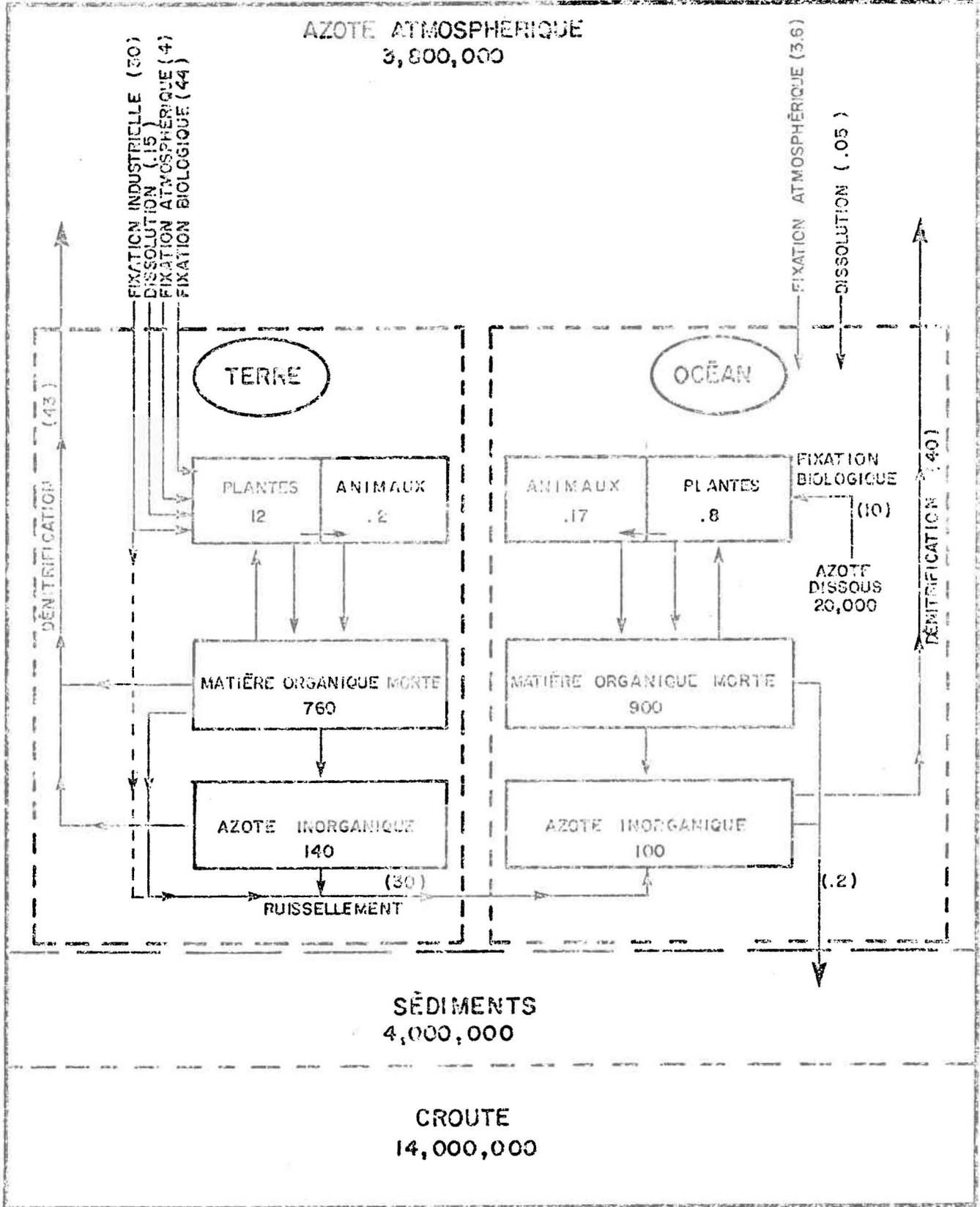


Figure 1.3: Distribution de l'azote dans la Biosphère. Les chiffres sont donnés en milliards de tonnes métriques pour les inventaires; les taux de transferts annuels (entre parenthèses) sont donnés en millions de tonnes métriques/an. La précision apparente qu'on retrouve ici est due au fait qu'on a tenté de préserver les taux probables ou évalués au cours de plusieurs expériences. Les chiffres donnés pour les fixations atmosphériques et biologiques peuvent varier d'un facteur 10. Traduit et adapté de Delwiche (1970).

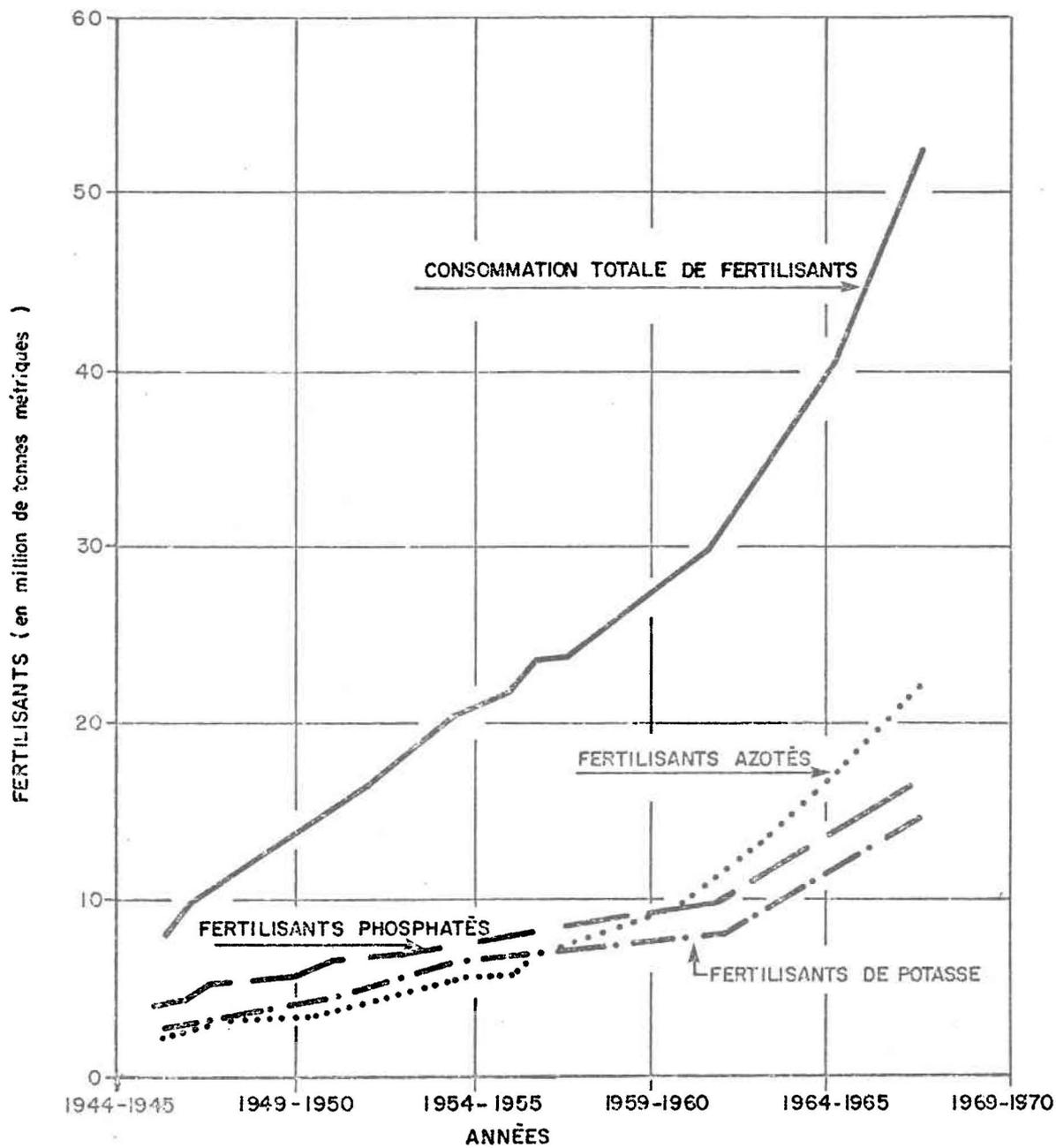


Figure 1.4: L'accroissement de l'utilisation de fertilisants depuis 1944-1945 jusqu'à nos jours. Traduit et adapté de Mc Hale (1972).

L'Homme, par l'emploi massif des fertilisants, intervient directement dans le cycle de l'azote. En effet, la quantité d'azote employé pour les fertilisants représente près du tiers du taux de transfert annuel de l'azote. Compte tenu du fait que les fertilisants représentent, à eux seuls, le quart de l'alimentation humaine, et compte tenu de l'accroissement prévu de population, on devra tripler la quantité de fertilisants utilisés. Une telle utilisation devra se faire rationnellement pour éviter de causer des torts irréparables à l'environnement. Il faudra chercher à optimiser cette utilisation puisque, comme le démontre la figure 1.5 l'emploi accru de fertilisants ne signifie pas un rendement accru des récoltes. Avec le temps, l'augmentation de la quantité de fertilisants devient non rentable puisque le rendement diminue avec l'augmentation de la densité de l'usage d'azote. De fait, la proportion d'azote et de phosphore utilisés par les plantes est rarement supérieure à 75%. L'utilisation du phosphore est même souvent aussi faible que 10%. Les pertes se retrouveront tôt ou tard dans le système aquatique où elles accéléreront l'eutrophisation.

Les régulateurs chimiques

L'emploi des régulateurs chimiques s'est généralisé au cours des trentes dernières années. Ils ont largement contribué au succès de la révolution verte. On a toutefois été amené à régulariser leur utilisation à cause de leurs effets secondaires:

"Les produits chimiques, lorsqu'utilisés à bon escient, ne sont généralement pas nocifs pour les systèmes écologiques. Ce sont eux qui aident à obtenir notre niveau de vie tant sur les plans santé et bien-être. Cependant, une contrepartie grave est donnée par une mauvaise utilisation des substances chimiques qui, au départ, doivent assurer notre confort. Notre ignorance des effets nocifs sur les écosystèmes à court et à long terme a finalement des répercussions sur l'Homme".

(Rousseau, 1972)

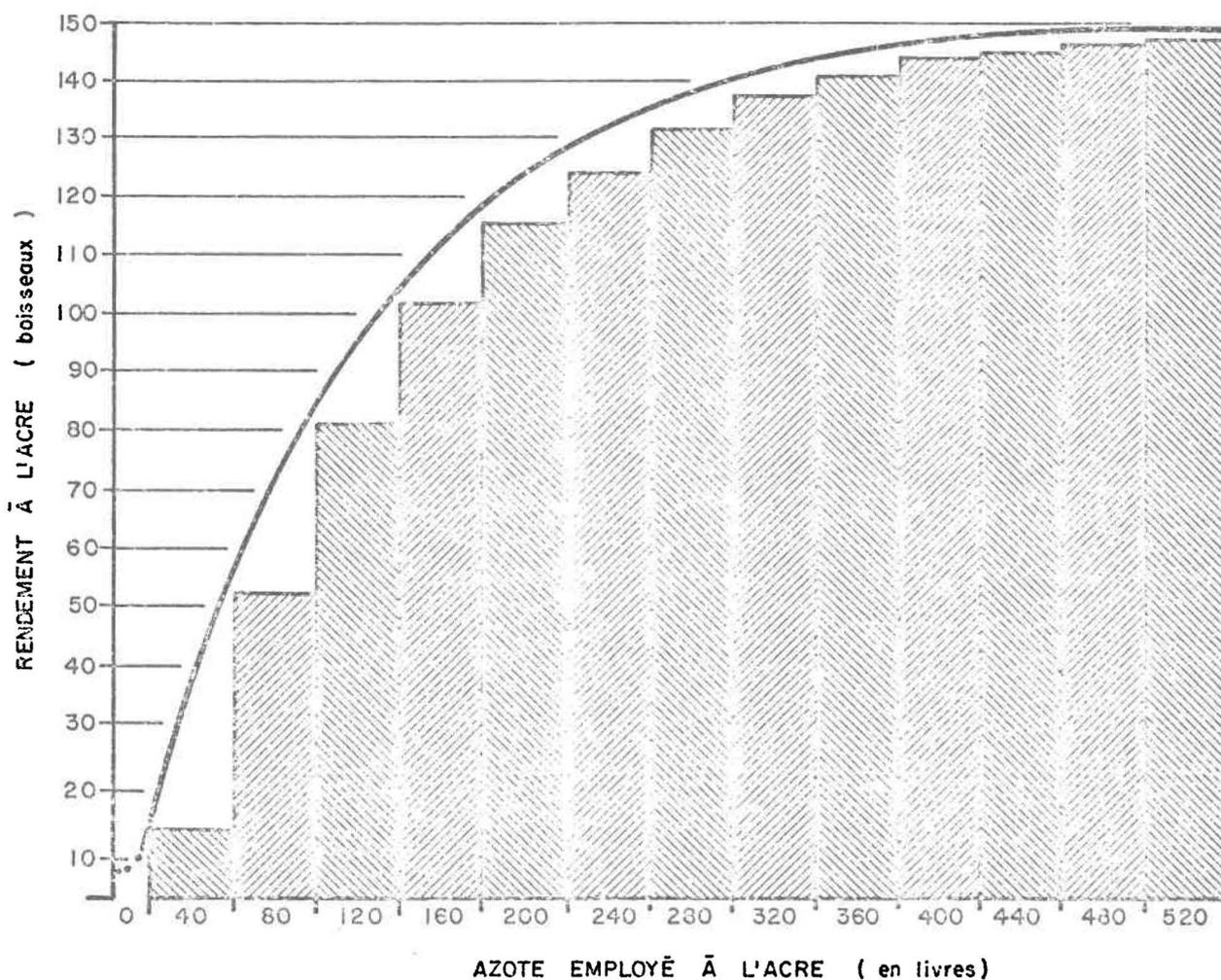


Figure 1.5: Représentation graphique de la relation rendement à l'acre par livre d'azote employée. Cette courbe est basée sur les rendements obtenus lors d'expériences réalisées sur un champ de maïs irrigué dans l'état de Washington. Traduit et adapté de Pratt (1971).

Le meilleur exemple de ce phénomène nous est donné, de façon tragique, par le DDT. Utilisé à faible concentration mais sur de vastes étendues, le DDT est concentré en circulant dans la chaîne alimentaire (voir figure 1.6) et atteint des concentrations telles qu'il devient toxique pour des organismes qu'il n'était pas destiné à combattre. Utilisé à une concentration de 3×10^{-6} ppm, le DDT est introduit dans l'écosystème via le ruissellement et les aérosols. Il entre dans la chaîne alimentaire en étant absorbé par le phytoplancton où il atteint la concentration de 4×10^{-2} ppm. Il atteint finalement la concentration de 25 ppm lorsqu'on le retrouve au dernier maillon de la chaîne, les oiseaux aquatiques. Le passage par la chaîne alimentaire a donc accru sa concentration 10 millions de fois. C'est par de tels cheminements que le DDT devient toxique pour l'écosystème:

"Il est ironique de voir que moins d'une génération après que le suisse Paul Hermann Müller ait reçu le prix Nobel de 1948 pour la découverte du DDT, l'usage de ce dernier est banni dans plusieurs pays. Ce fait montre bien combien l'homme ignore les effets de son action sur la biosphère: jusqu'ici, il s'est servi de son environnement comme d'un laboratoire souvent avec de mauvais résultats".

(Brown, 1971)

En outre, à cause de l'adaptation des organismes nuisibles, on doit augmenter la quantité de régulateurs ou les diversifier. En effet, l'application massive d'un toxique a souvent pour effet d'éliminer à la fois les organismes nuisibles et leurs prédateurs. D'autre part, à cause de la grande faculté d'adaptation des organismes nuisibles, ces derniers développent rapidement une résistance au toxique contrairement aux prédateurs. On doit alors, pour les éliminer, utiliser plus de régulateurs, taxant encore plus l'environnement.

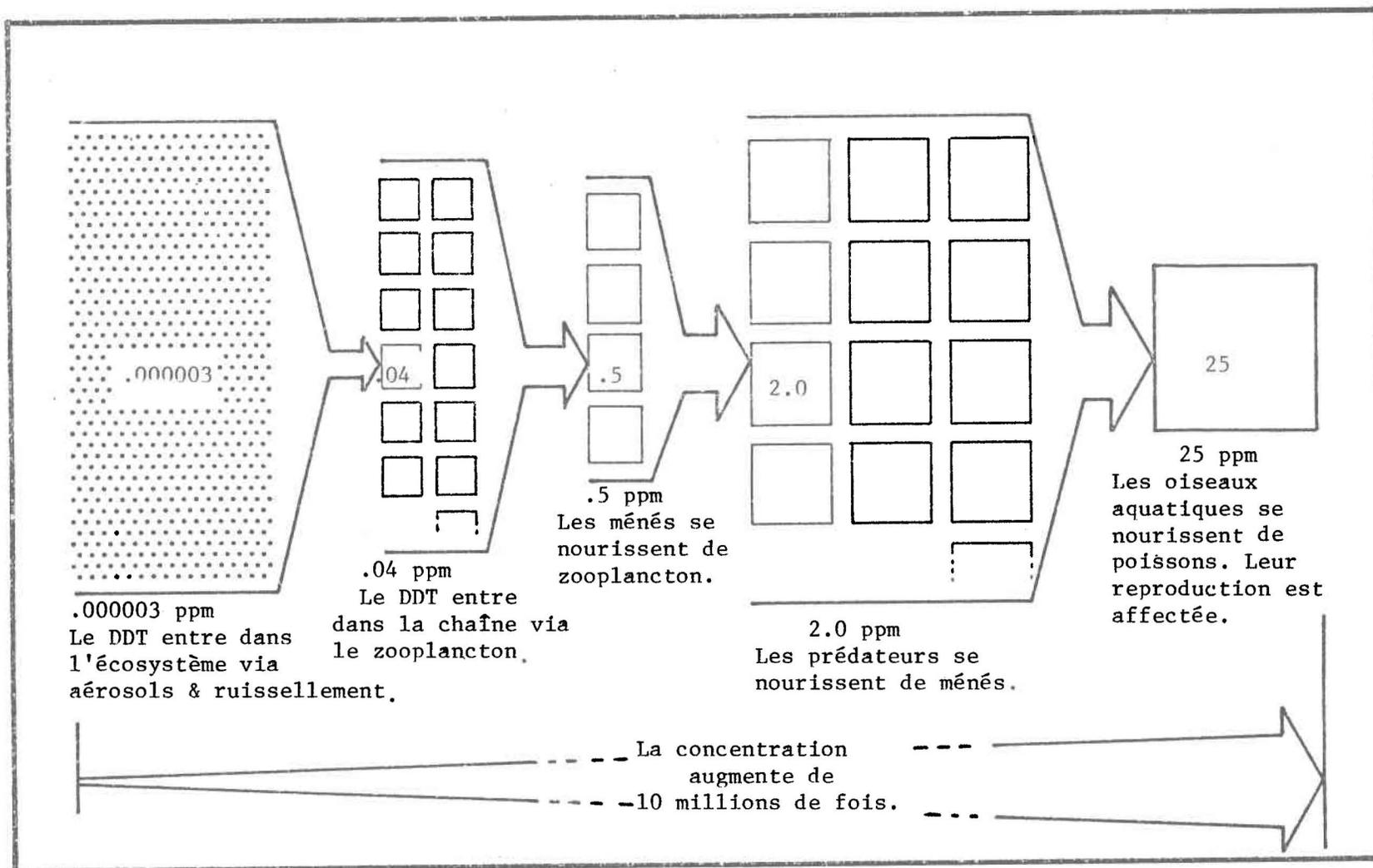


Figure 1.6: Représentation schématique du phénomène de concentration biologique du D.D.T. La concentration est multipliée par 10 millions du fait du passage du D.D.T. par la chaîne alimentaire. Traduit de Mc Hale (1972).

Pour palier à cela, on doit donc augmenter la diversité des régulateurs chimiques, en diminuer la persistance et en augmenter la spécificité. On pourra ainsi améliorer le rendement de l'agriculture. Cependant, le taux de natalité des pays en voie de développement augmente avec une amélioration du rendement agricole créant ainsi une demande plus forte.

1.2 La situation mondiale de l'alimentation

Malgré le développement agrotechnologique, les deux-tiers de la population humaine souffrent de sous-alimentation alors que l'autre tiers s'alimente mal. Selon l'U.N.E.S.C.O., de 400 à 500 millions d'enfants ont souffert de malnutrition ou de faim en 1973.

A l'échelle du globe, la quantité de nourriture *per capita* n'a pas augmenté depuis 1936 et elle a même diminué au cours des 10 dernières années. En outre, les réserves mondiales de nourriture disponible pour les cas d'urgence ont diminué de plus de 60%, passant de 80 jours à moins de 30 jours au cours de la même décennie. Cette diminution était "pratiquée délibérément... par les pays gros producteurs de l'Amérique du Nord". (Heen et Kreuzer, 1972).

La pénurie actuelle est principalement due au nombre croissant d'affamés maintenant informés de leur droits, ainsi qu'au maintient de l'équilibre des échanges commerciaux. De plus, les mauvaises récoltes de ces dernières années, causées par une évolution climatique déplaçant les moussons, ont accentué cet état de chose. En outre, la consommation de viande des pays industrialisés augmente constamment. Or, la production d'un Kg de viande nécessite de 7 à 8 Kg de céréales.

L'alimentation humaine est basée sur la protéine, élément crucial pour le développement mental et physique de l'enfant. L'habitant des nations pauvres consomme approximativement 164 Kg de grains par année; la consommation annuelle *per capita* des nord-américains se chiffre à plus de 727 Kg de grains dont seulement 68 Kg sous forme de pain, céréale et autres produits. La différence, soit plus de 659 Kg, est consommée sous forme de viandes, d'oeufs et de produits laitiers.

L'étude de la figure 1.7 nous montre que le grain constitue la source alimentaire la plus importante: la population humaine en tire 52% de son énergie alors que la viande, les oeufs et le lait ne contribuent qu'à 11%. Les tubercules, les autres fruits et légumes, les graisses et les huiles, le sucre et le poisson entrent pour 10%, 10%, 9%, 7% et 1%, respectivement, dans l'alimentation du globe. Les céréales constituent, en fait, la base de l'alimentation de trois continents soient l'Europe, l'Asie et l'Afrique. L'Australie, l'Amérique et l'Europe sont les seuls à satisfaire leur besoin énergétique quotidien tandis que l'habitant des pays sous-développés consomme les protéines ingérées et les transforme en calories pour rencontrer ses exigences énergétiques.

Au Canada, la consommation protéique moyenne *per capita* est de 35 Kg dont les deux-tiers, soit 23 Kg, sont d'origine animale. Pour produire ces 23 Kg, le troupeau national consomme 205 Kg de protéines végétales pour un rendement de 11.3% (le rendement américain est d'environ 12%).

1.3 Le poisson dans l'alimentation

En 1968, la consommation mondiale de produits de la mer était

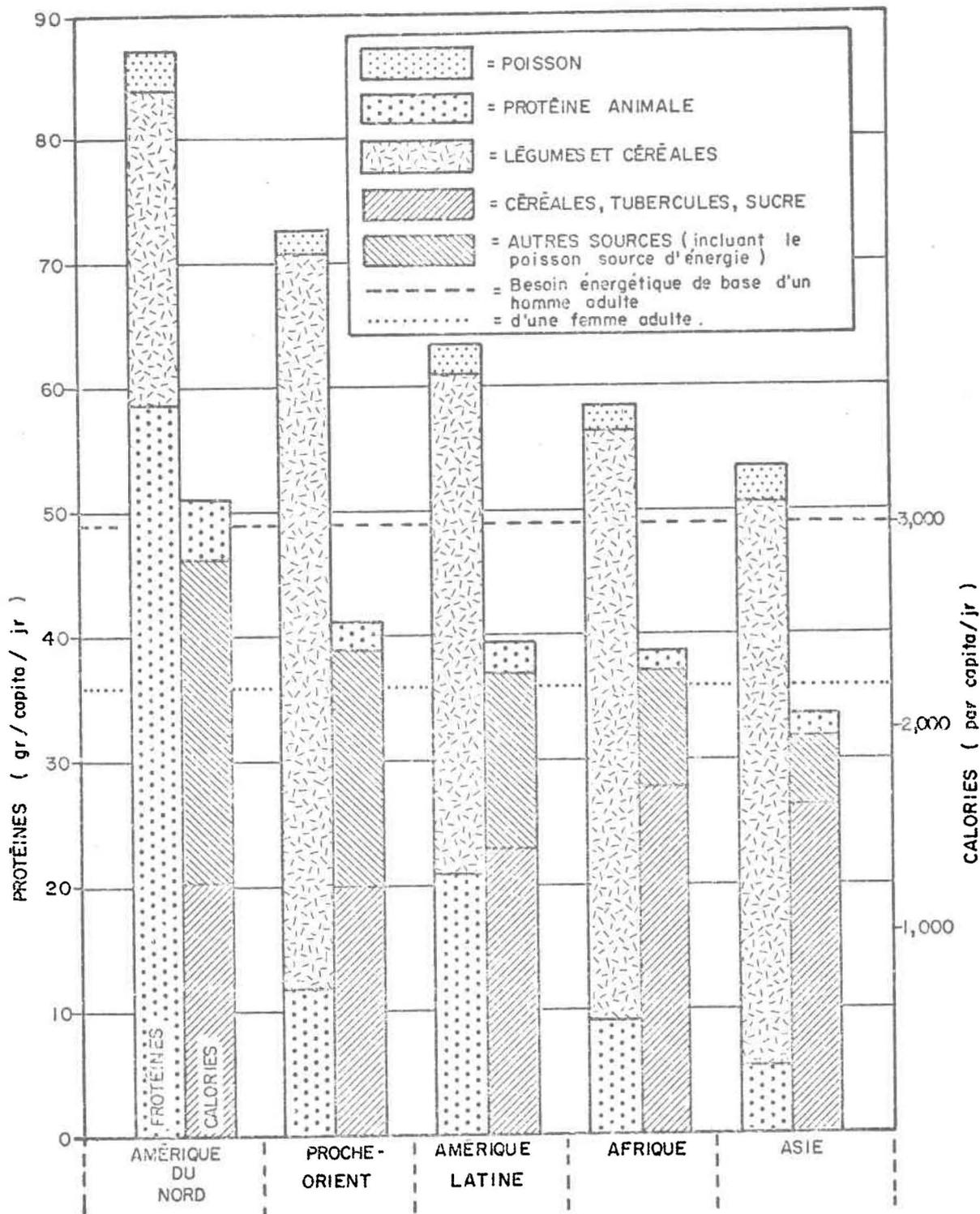


Figure 1.7: Consommation journalière moyenne en protéines et en calories. La consommation est donnée pour 5 continents. Les besoins énergétiques journaliers de base, pour l'homme et la femme, sont donnés pour fin de comparaison. Traduit et adapté de Mc Hale (1972).

de 13,6 MTM alors que les prises se chiffraient à 64 MTM (figure 1.8). L'Asie et l'Orient en consommaient 4,2 MTM contre 4,4 MTM en Europe de l'Ouest et en Chine continentale. Pour leur part, les Etats-Unis et le Canada en consommaient 1,0 MTM. Seulement le quart environ des prises totales a servi à l'alimentation humaine.

Depuis le début du siècle, le rendement des pêches s'est accru d'un facteur 10 passant de 4 MTM en 1900 puis à 38 MTM en 1960 alors qu'on prévoyait 70 MTM en 1970. Les prises totales se sont par la suite stabilisées à ce niveau après la diminution enregistrée en 1972 et 1973 (Mayer, 1976).

Du point de vue de la qualité, la protéine de poisson est d'une valeur biologique¹ comparable à celle de l'oeuf, du lait et de la viande (figure 1.9). Par ailleurs, elle possède une valeur protéique¹ comparable à celle des oeufs, de la viande et du fromage mais de beaucoup supérieure à celle du lait. Sur une base sèche, le poisson contient plus de protéines que les oeufs et légèrement moins que la viande. C'est aussi une protéine dont la digestibilité est comparable à celle des oeufs. D'autre part, seuls les oeufs contiennent une protéine dont la valeur biologique est supérieure à celle du poisson. Qualitativement, seuls les oeufs seraient supérieurs au poisson. A l'échelle alimentaire mondiale, l'oeuf constitue une source de protéines dont l'importance est deux fois moindre que celle du poisson: en 1962, le poisson constituait 12.3% de la protéine animale comparativement à 5.7% pour les oeufs.

Le poisson est aussi considéré comme une bonne source de calcium, de phosphore, de fer et de vitamines. Sa qualité nutritive est peu

¹

Voir légende de la figure 1.9.

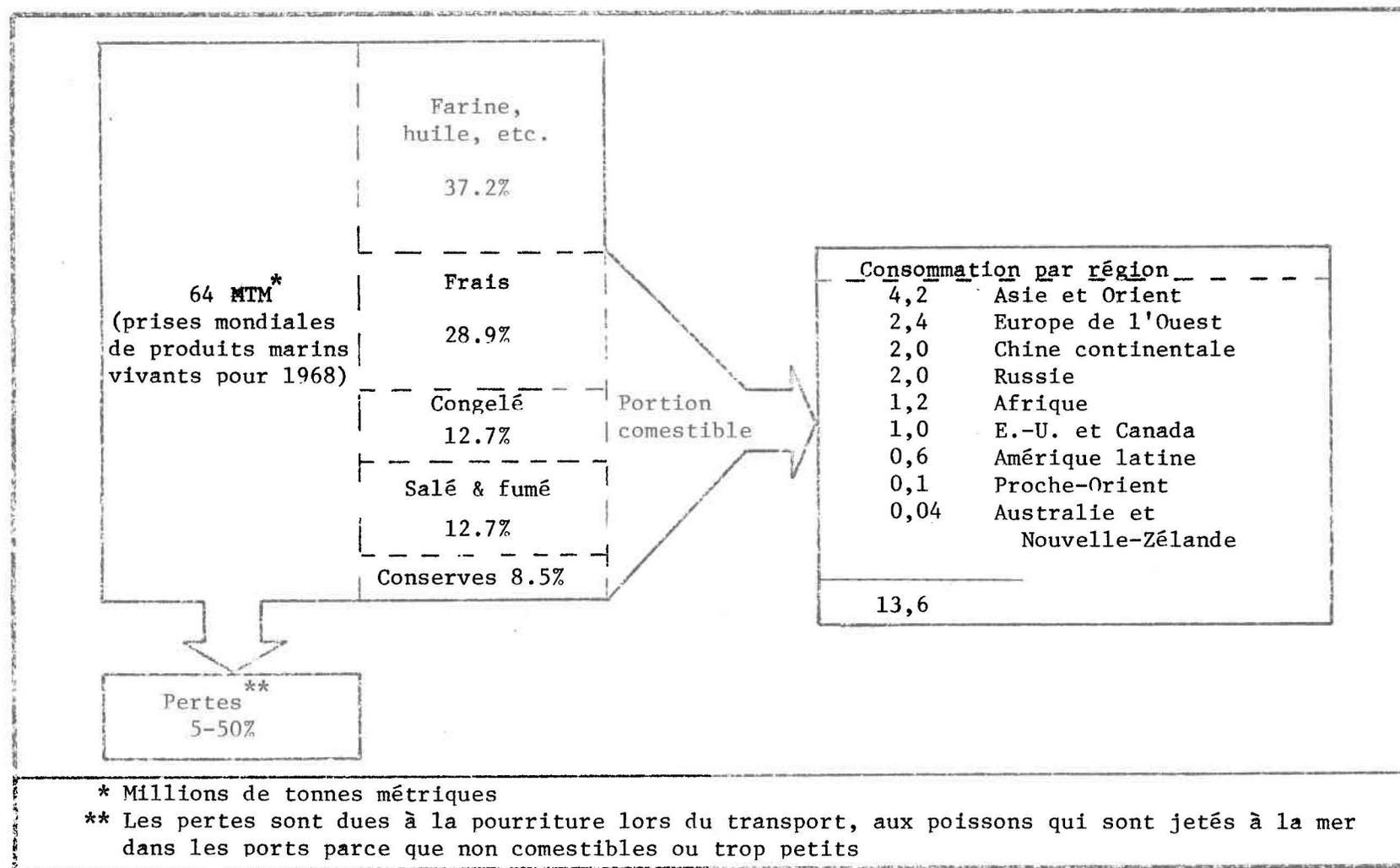
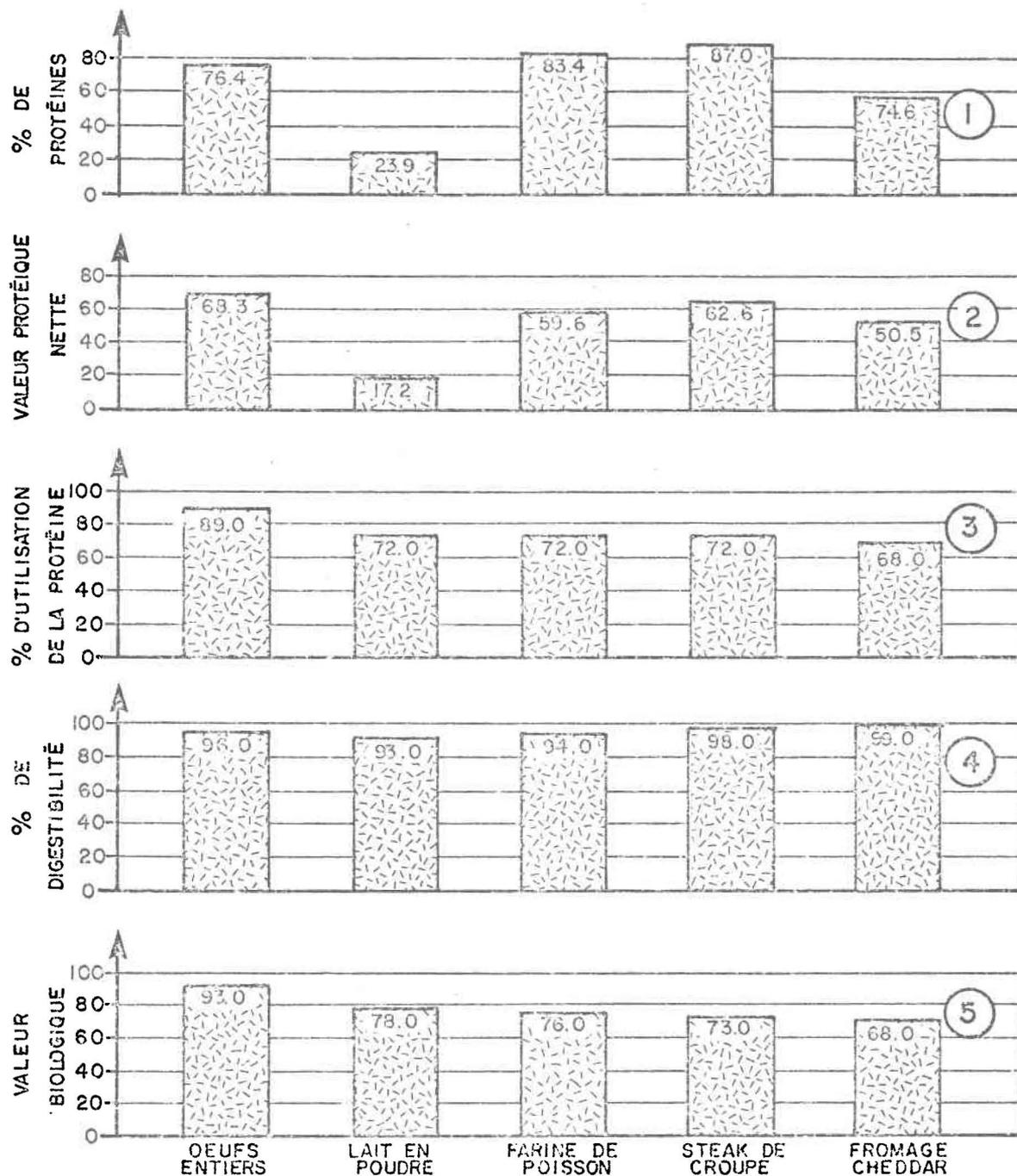


Figure 1.8: Consommation mondiale de prises marines par région. Le mode de consommation y est aussi présenté. Traduit et adapté de Mc Hale (1972).



- 1 = Le pourcentage (%) de protéines d'un produit est déterminé par la méthode Kjeldahl.
- 2 = La valeur protéique nette est définie comme étant la proportion de protéines assimilables contenues dans un produit. Elle est exprimée en % relatif au contenu en protéine du produit.
- 3 = Le % d'utilisation de la protéine est défini comme étant la proportion de N intégré qui est assimilable.
- 4 = Le % de digestibilité d'une protéine est la proportion d'azote ingéré qui sera absorbé.
- 5 = La valeur biologique d'une protéine est déterminée comme étant le % de N absorbé qui est assimilé.
- 6 = La base sèche d'un produit est la quantité de matière contenue dans un produit après qu'on en ait extrait l'eau.

Figure 1.9: Valeurs protéiques relatives de certains produits. Les données ont été calculées sur une base sèche⁶. Traduit et adapté de Heen et Kreuzer (1972).

affectée par des processus de conservation et de traitement soignés, et ses sous-produits peuvent être utilisés. D'autre part, comme la majorité des autres produits alimentaires, la teneur en protéines, en graisse, en minéraux et en vitamines variera selon l'espèce: la teneur en graisse peut, par exemple, varier entre 6% et 20%.

Dans les pays industrialisés, le poisson est considéré comme un aliment de luxe. Son prix est tel qu'il ne peut être consommé par les gens qui en auraient un grand besoin. A remarquer que la farine de poisson, aliment à haute teneur protéique, est exportée des pays généralement économiquement faibles vers les pays développés où elle sert de nourriture au bétail et aux animaux domestiques ("pets"):

"Au cours des années 1850 à 1950, les prises mondiales ont été multipliées par 10, soit un taux de croissance de 25% par décennie. Au cours des années 1950 à 1960, les prises ont presque doublé, et cette croissance vertigineuse se continue. Toutefois, cette augmentation s'est aussi accompagnée d'un changement d'utilisation... une proportion de plus en plus importante semble servir à l'alimentation animale. Peu avant la Deuxième Guerre, 10% seulement des prises servait à l'alimentation animale alors qu'en 1967, plus de 50% des prises était destiné à nourrir les animaux".
(Holt, 1971)

1.4 Pour une stratégie de rattrapage alimentaire

Dans l'état actuel de nos connaissances, il n'existe que 5 moyens pour augmenter la production alimentaire de façon appréciable:

- *l'extension des terres cultivées* possible en Amérique du Nord et en Australie. Quoique l'Amérique du Sud renferme d'énormes étendues de forêts vierges, il est impossible de les utiliser pour l'agriculture. En effet, compte tenu de la latitude à laquelle ces étendues

sont situées, une déforestation entraînerait un assèchement des sols et la formation d'un milieu dans lequel les bactéries ne pourraient vivre rendant ainsi les sols impropres à la culture en plus de détruire l'équilibre écologique de tout un continent;

- *l'amélioration du rendement des sols* rendue possible par l'agrotechnologie. Efficace dans les pays industrialisés, elle est cependant inapplicable dans les pays sous-développées puisqu'elle demande une infrastructure industrielle imposante. De plus, l'amélioration de l'agriculture étant surtout due à l'emploi massif des fertilisants et des régulateurs chimiques, une surutilisation de ces derniers causerait des torts irréparables à la biosphère;
- *le développement de la nourriture synthétique*. Elle est actuellement utilisée dans l'alimentation animale mais les perspectives concernant l'alimentation humaine sont faibles. Ceci est dû au fait que cette technologie n'en est actuellement qu'à ses débuts;
- *l'intensification des efforts de pêche*. Les précisions concernant les prises marines possibles varient entre 1 fois et 4 fois les prises actuelles (Dickie, 1972; Holt, 1971). On croît cependant que les prises mondiales potentielles se chiffrent entre 100 MTM et 200 MTM. La question est de savoir si l'effort nécessaire à de telles prises sera économiquement avantageux. En effet, pour doubler les prises actuelles, il faut plus que doubler l'effort de pêche. Ceci s'explique par le fait que les réserves diminuent rapidement à mesure qu'on intensifie l'effort de pêche, et aussi par le fait qu'à mesure qu'on approche le maximum de rendement, les espèces secondaires diminuent aussi. De plus, si on ne s'efforce pas dès maintenant de réglementer les pêches, (zones nationales de limites de pêche) elles deviendront de plus en plus compétitives et coûteuses. Finalement, les économis-

tes ne peuvent prévoir l'augmentation des coûts de production et par conséquent du prix de la protéine de poisson par rapport aux autres protéines;

- *l'intensification¹ de l'aquaculture² animale et végétale en eau douce et en milieu marin.* Compte tenu de la qualité de la protéine de poisson, des réserves mondiales de pêches et de l'utilisation actuelle des récoltes, l'aquaculture pourrait devenir un moyen efficace pour atténuer le problème de l'alimentation. En effet, le remplacement de la protéine animale terrestre par celle du poisson permettra de rattraper la croissance actuelle de la population mondiale.

"Nos espérances concrètes concernant l'aquaculture ont été définies par S.J. Holt à la Conférence de Reading de 1966. Ces espérances sont élevées. Le rendement des pêches d'eau douce en Afrique, par exemple, pourrait être doublé si on rendait accessibles les vastes étendues actuellement inexploitées. De plus, on doit songer à l'intensification de l'aquaculture et de l'agriculture.

A ce stade, on peut envisager l'avenir avec optimisme. Aux limites de tout arc-en-ciel se trouve un étang de pêche demeurant productif quelle que soit l'importance de l'exploitation: les étangs récepteurs des égoûts de Munich regorgent de carpes, les crevettes des baies du Japon recyclent la matière organique des égoûts, les lacs de Pologne sont fertilisés par les eaux d'égoûts et réchauffés par les effluents thermiques, les poissons des étangs israéliens se nourrissent des déchets de la basse-cour, la carpe chinoise (*Ctenopharyngodon idellus* Vall.) se nourrit d'herbes aquatiques en Chine et en Arkansas, l'élevage en vivier flottant de barbues et de salmonidés permet la transformation de nourriture coûteuse en une protéine encore plus coûteuse aux Etats-Unis, les Chinois élèvent cinq ou six espèces de poissons compatibles dans un même étang. Il existe des douzaines de techniques éprouvées que nous connaissons, des douzaines d'autres, utilisées efficacement au Tiers-Monde, au sujet desquelles nous ne savons pratique-

¹ Passage d'une méthode extensive de culture à une méthode intensive (voir notes p. 38).

² Bien qu'on emploie le terme aquiculture par analogie avec l'agriculture, apiculture etc..., le terme aquaculture est étymologiquement correct.

ment rien, et, plusieurs autres devront être inventées par ceux d'entre nous qui sont les plus motivés et les plus inventifs.

...En 1980, les choses seront différentes. Il deviendra suffisamment évident que plusieurs des revendications que nous attribuons actuellement aux nations du Tiers-Monde n'auront pu être satisfaites pour des générations à venir. On apprendra alors avec surprise que plusieurs de ces aspirations ont toujours été les nôtres beaucoup plus que les leurs. S'ils décident de prendre les choses en mains pour prévenir le manque de protéines, l'aquaculture deviendra alors très importante. Non pas l'aquaculture pour produire des aliments de luxe pour une Amérique suralimentée, mais bien la production de protéines pour prévenir le kwashiorkor¹ et l'arriération mentale".

(Régier, 1973)

1

Malnutrition grave chez les enfants et nouveaux-nés causée par une diète riche en sucres et pauvre en protéines.

Chapitre 2

2. L'industrie de l'aquaculture piscicole

Quoique l'aquaculture existe en Amérique du Nord depuis plus d'un siècle, elle n'a connu des modifications qu'avec l'avènement de nouvelles techniques et l'amélioration des conditions d'élevage. Le facteur limitant qui régit la production actuelle est le marché. En effet, le producteur est continuellement confronté à une forte compétition internationale provenant surtout du Japon et du Danemark.

En outre, l'industrie aquacole actuelle supporte mal la comparaison avec l'industrie d'élevage de porcs et de poulets. En effet, si les rendements par unité de travail favorisent l'aquaculture face à certaines de ces industries de taille moyenne, les méthodes très avancées employées par les gros producteurs de porcs et de poulets leur permettent de produire beaucoup plus de viande par année-homme d'effort investi que n'importe laquelle entreprise aquacole.

2.1 Facteurs d'optimisation de l'aquaculture

En Amérique du Nord, l'aquaculture porte surtout sur deux espèces: les salmonidés qui représentent 30% du poisson domestique vendu et la barbie (catfish) qui compte pour 70%. Les producteurs américains fournissent environ 60% de la truite vendue sur le continent nord-américain alors que le Canada en produit près de 2%; le reste, soit 38%, provient des importations (Mac Crimmon, 1973). En ce qui concerne le Québec, un des facteurs importants régissant le succès d'une telle entreprise reste la capacité d'accès au marché.

La production piscicole peut être écoulee à 5 niveaux différents:

- 1^o La vente entre producteurs d'oeufs, d'alevins et des géniteurs.
- 2^o Les ventes en gros comprenant la vente aux intermédiaires tels les coopératives, les chaînes d'alimentation, les épiciers indépendants et les exportateurs.
- 3^o La vente aux hôtelleries de poissons vivants, sur glace ou congelé.
- 4^o La vente au détail. C'est généralement la méthode de vente la plus rentable, le poisson pouvant être vendu vivant, sur glace, congelé, fumé ou sous forme de produits spécialisés. Le droit d'accès aux étangs de récréation peut constituer une partie importante des revenus.
- 5^o La vente au gouvernement de fretins vivants surtout en vue de l'ensemencement.

Un autre facteur pouvant contribuer au succès financier de l'aquaculture est la qualité du produit. En effet, depuis les débuts de la colonisation, le Saint-Laurent a joué un rôle important dans l'évolution du québécois. Il était pour lui un moyen de transport facilitant le commerce et une source de nourriture. Jusqu'à tout récemment le fleuve fournissait au Québécois des poissons très appréciés et en très grande quantité:

"Il y a un demi-siècle, entre Québec et Montréal, des gens vivaient encore de la vente de leur pêche. Des goélettes de Saint-Pierre-les-Becquets, accostant aux quais du voisinage, offraient leurs prises conservées dans un vivier. Du pêcheur à la table aujourd'hui, il y a la kirielle des intermédiaires et le réfrigérateur n'est pas le moins redoutable pour la saveur.

... Nos ancêtres, sans doute, ont peiné sur le Saint-Laurent, mais le Fleuve leur a donné accès à la grande table".

(Rousseau, 1967)

Les goûts se sont modifiés, certes, mais le québécois reste tout de même un grand amateur de poisson. Ses préférences vont maintenant vers la truite qu'il considère comme un poisson noble. C'est aussi cependant un aliment de luxe et il le deviendra de plus en plus.

Le dernier point, peut-être le plus important, est que l'aquaculture est compatible avec la problématique environnementale actuelle. En effet, si d'une part la production piscicole peut être une source de pollution (Hinshaw et Hilden, 1973; Odum, 1971; Séguin, 1971) elle peut, d'autre part, se faire en améliorant la qualité des eaux (Odum, 1971; Séguin, 1971; Tsai, 1975). Il serait même possible d'élever le poisson en circuit fermé de manière à réutiliser complètement l'eau. L'avantage de cette méthode réside dans une diminution considérable des pertes énergétiques et des dommages environnementaux. Une autre des possibilités est l'utilisation directe de l'énergie solaire comme l'ont décrit Page et Clark (1975).

2.2 Avantages de l'aquaculture sur l'agriculture

L'agriculture semble donc se trouver dans une impasse. En effet, la population continue d'accélérer sa croissance ce qui induit une demande accrue d'aliments de bonne qualité forçant ainsi l'augmentation de la production agricole. Or, l'intensification des activités agricoles augmente d'autant les contraintes sur la biosphère en s'appropriant de plus en plus de sols et amenant de plus en plus de nutriments vers le système aquatique.

La figure 2.1 schématise les relations système agricole-système humain. Le sous-système agricole fournit au système humain les biomasses végétale et animale nécessaires à sa maintenance. Pour satisfaire cette demande, l'homme doit puiser dans la réserve énergétique, la réserve d'engrais et celle des sols. Quoiqu'il exerce un contrôle sur l'utilisation de ces derniers, les pertes de masse et d'énergie sont tout de même importantes. Ceci est principalement dû à l'inefficacité du système agricole. En outre, le système humain draine de l'énergie et des sols qui ne seront plus utilisés pour l'agriculture. L'inefficacité du système agricole se traduit finalement en dollars et en dommages environnementaux. L'aquaculture, en réutilisant ces pertes d'énergie et de matière organique, permettrait donc de diminuer les coûts économiques et environnementaux.

2.3 L'aquaculture

Compte tenu du fait que le poisson est un produit alimentaire de qualité et que le québécois est un amateur de poissons, l'aquaculture pourrait avoir une importance économique assez grande. En outre, le Québec possède des réserves d'eau douce de bonne qualité et il est situé à proximité de l'Atlantique ce qui est un atout important pour l'aquaculture.

On admet généralement que 124 espèces de poissons sont cultivées dans le monde (Huet, 1970). Au Québec, on en dénombre 7: la truite brune (*Salmo trutta* L.), la truite mouchetée (*Salvelinus fontinalis* Mitt.), la truite arc-en-ciel (*Salmo gairdneri* R.), la truite grise (*Salvelinus namaycush* W.), la ouananiche (*Salmo salar ouananiche* L.), le saumon de l'Atlantique (*Salmo salar* L.), le maskinongé (*Esox maski-*

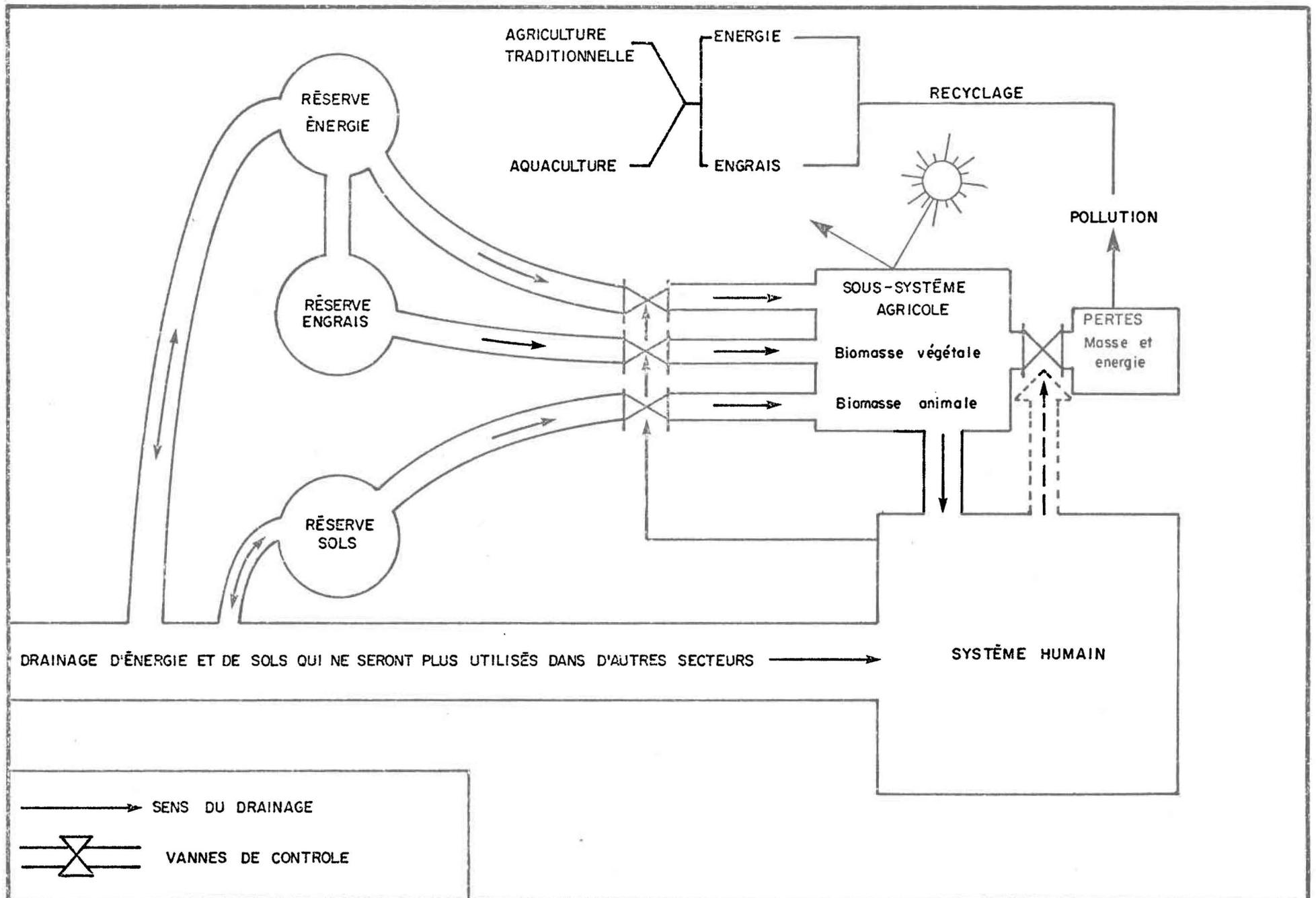


Figure 2.1: Représentation schématique du sous-système agricole et de ses relations avec le système humain.

nongii, M.). L'espèce la plus utilisée pour la production alimentaire est la truite arc-en-ciel. Ce succès de la truite arc-en-ciel est lié à sa biologie: croissance rapide, tolérance et résistance aux maladies lorsqu'elle est élevée dans des conditions prophylactiques adéquates. C'est aussi une espèce gastronomiquement fort appréciée. En effet, comme le démontre le tableau 2.1, les importations canadiennes de truites arc-en-ciel se chiffraient à 978 950 Kg en 1972 ce qui représente 99%, en poids, du poisson importé.

La truite arc-en-ciel, ou sa cousine anadrome la truite steelhead, semble être un choix logique pour la production alimentaire à grande échelle, compte tenu de sa valeur gastronomique et de sa biologie:

"De tous les peuplements de Poissons dans des régions en dehors de leur aire naturelle (l'habitat naturel de l'arc-en-ciel était, à l'origine, l'océan Pacifique oriental et les eaux douces, surtout à l'ouest des Rocheuses), celui de la truite arc-en-ciel a été le mieux réussi, le plus apprécié et celui qui a présenté le moins de danger".

(Scott et Crossman, 1974)

2.4 Prérequis à une exploitation saine

L'opérationnalisation de l'aquaculture regroupe les différents éléments suivants:

- 1- *Les installations physiques* telles les auge d'incubation, les étangs d'alevins, de fretins et de géniteurs. Jusqu'à maintenant, les installations gouvernementales ont servi de modèle aux aquaculteurs. Conçues essentiellement pour la production de truite d'ensemencement et pour la recherche, ces installations sont coûteuses et souvent inaptes à une production alimentaire intégrée à la pro-

TABLEAU 2.1: Les importations canadiennes de poissons.

ESPECE	ETAT DE CONSERVATION	POIDS**	PAYS
Truite arc-en-ciel* (<i>Salmo gairdneri</i> R.)	Frais	6 772,7	Grande-Bretagne
	Frais et congelé	910 542,3	Japon
	Frais et congelé	58 421,8	Etats-Unis
	En conserves et fumé	2 680,9	Danemark
	En conserves	532,7	Portugal
Carpe* (<i>Cyprinus carpio</i> L.)	Frais et congelé	1 045,5	Taiwan
	Frais et congelé	36,4	Hong-Kong
	Frais et congelé	4 947,7	Etats-Unis
	Oeufs salés	204,5	Etats-Unis
Chanos* (<i>Chanos chanos</i> F.)	Frais ou congelé	909,1	Philippines

* On retrouve ici les trois principales espèces de poissons d'eau douce qui ont été importés par le Canada, au cours de l'année 1972, comme produit alimentaire.

** Les chiffres sont donnés en kilogrammes (kg).

Traduit et adapté de Mc Crimmon *et al.* (1974).

blématique environnementale. Il est nécessaire de développer de nouveaux modes de production tels l'élevage en circuit fermé, l'élevage en silos et en viviers flottants, ainsi que l'élevage en milieu marin (Bardach *et al.*, 1972; Mac Crimmon, 1973; Mac Crimmon *et al.*, 1974; Sedgwick, 1973; Séguin, 1971).

- 2- *Le contrôle des conditions environnementales.* On sait que la croissance du poisson se fait à une température optimale. D'autre part, on connaît peu de choses sur les effets de la luminosité et autres facteurs environnementaux sur la croissance des poissons. L'influence de ces facteurs devra être étudiée si on veut connaître les conditions optimales nécessaires à une production alimentaire constante.
- 3- *Les améliorations génétiques.* Les connaissances acquises dans ce domaine ont permis à l'agriculture traditionnelle de développer des espèces à croissance rapide, adaptées aux différentes conditions climatiques et résistant de plus en plus aux maladies. La sélection génétique pourrait s'avérer importante pour la production alimentaire à grande échelle en aquaculture.
- 4- *La nutrition.* Des études effectuées à l'Université de Guelph laissent croire que les diètes actuelles employées, principalement composées de nourriture sèche, seraient trop riches (Mac Crimmon, 1973). Il est donc important de développer des diètes optimales permettant de minimiser les coûts et de diminuer les pertes.
- 5- *Les connaissances pathologiques.* Malgré que ce soit un secteur clé, ce domaine préoccupe peu les producteurs sauf lorsque surviennent des épidémies. Un contrôle sévère du stock d'origine et des condi-

tions prophylactiques et hygiéniques d'élevage devra être instauré pour pouvoir s'assurer une production régulière et de bonne qualité (Amlacher, 1970; Huet, 1970; Van Duijn, 1967).

- 6- *La propreté des rejets.* Les pratiques aquacoles actuelles, tant gouvernementales que privées, induisent un stress sur l'environnement ayant comme résultat une eutrophisation des cours d'eau récepteurs et une contamination pathologique des poissons indigènes. De plus, les substances chimiques utilisées pour le nettoyage des installations ou le traitement des maladies sont souvent rejetées à **l'extérieur sans** aucun traitement préalable. L'élaboration d'une politique rationnelle de l'aquaculture devra se faire de pair avec la problématique environnementale actuelle.
- 7- *Le contrôle de qualité.* La vente d'un produit alimentaire est soumise à des lois fédérales et/ou provinciales. Pour être acceptable, la truite - portion¹ devra donc satisfaire à ces normes en plus de répondre aux goûts des consommateurs.
- 8- *Les conditions du marché.* C'est un des principaux facteurs contrôlant le succès de toute entreprise commerciale. Mac Crimmon (1973) a dégagé les principaux points concernant l'aquaculture nord-américaine:
- les prix de gros sont restés approximativement les mêmes qu'en 1952 et ce malgré l'augmentation du coût de la vie;

¹

Truite pour la consommation humaine ayant atteint la taille de 250 g.

- l'augmentation de la consommation de truites aux Etats-Unis est étroitement liée à l'augmentation du coût de la vie;
- une sur-production est facilement possible et le poisson doit alors entrer en compétition avec d'autres protéines;
- pour palier aux problèmes économiques, les pratiques commerciales normales doivent remplacer les pratiques actuelles.

En outre, l'aquaculture n'en est qu'à ses débuts, sur le plan scientifique, loin derrière l'industrie traditionnelle d'élevage. Jusqu'à maintenant, les gouvernements n'ont offert que des palliatifs aux aquaculteurs et ils en ont même inhibé la croissance par des lois beaucoup trop restrictives; ils n'ont pas su assumer le leadership nécessaire à l'industrie aquacole. De fait, ils ont servi de mauvais exemple par les méthodes employées dans leurs propres piscicultures.

"Le marché canadien pour la truite de consommation sera encore pour longtemps limité à cause du retard apporté à s'en créer, et à cause des marchés compétitifs étrangers qui se sont installés chez-nous avant nous.

..... on n'en est qu'au début de l'élevage de la truite d'une façon rationnelle et rentable au Québec. D'abord, les lois actuelles sont un handicap à la promotion de l'industrialisation de la truite au Québec. Puis les institutions ou organismes gouvernementaux ne font pas suffisamment de recherches pratiques pour améliorer nos méthodes d'élevage, pour créer de bons marchés, ou encore pour former des pisciculteurs compétents".

(Séguin, 1971)

2.5 Schéma de production

Quelles que soient les méthodes de cultures utilisées (Arri-
gnon, 1970; Greenberg, 1969; Huet, 1970; Johson *et al.*, 1970; Lawler

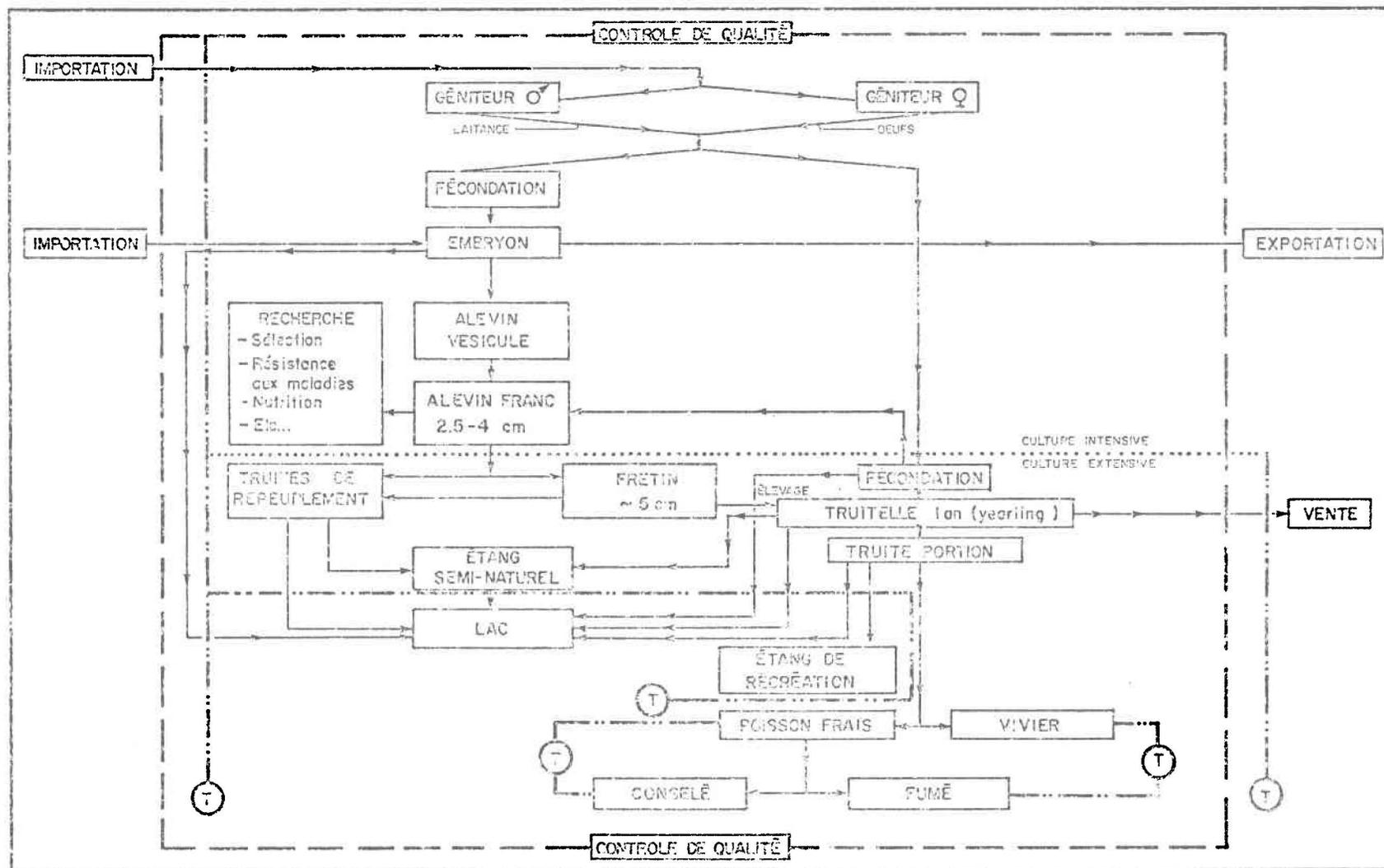
et al., 1974; Leitritz, 1972; Sedgwick, 1973; Vibert et Lagler, 1961) toutes se ramènent au schéma de production de la figure 2.2.

Généralement, les oeufs (au nombre d'environ 3000 chez une truite de 3 ans (Scott et Crossman, 1974; Sedgwick, 1973)) sont prélevés de la femelle et mélangés avec la laitance, en méthode intensive¹. En culture extensive², les géniteurs mâles et femelles sont placés dans un étang où aura lieu la fécondation sans autres interventions humaines. On recueille par la suite l'alevin franc pour le réintroduire dans la séquence de production.

Au stade embryonné, l'oeuf peut être manipulé et transporté. Ce n'est que lorsque la vésicule est résorbée que l'on doit commencer à nourrir le poisson. Lorsqu'il est parvenu au stade d'alevin franc, le poisson peut alors être utilisé pour le repeuplement. C'est alors que commence la culture extensive.

Lorsque la truite est parvenue au stade de fretin (taille d'environ 5 cm) elle peut alors être utilisée pour la production alimentaire ou le repeuplement. Dans ce dernier cas, on transporte directement le poisson jusqu'à son cours d'eau de repeuplement ou on le dirige vers des étangs semi-naturels qui serviront à l'acclimater à son nouveau milieu. Lorsque la truitelle a atteint l'âge d'un an, elle est soit exportée, soit utilisée pour le repeuplement, soit gardée jusqu'à la taille de truite-

¹ et ²: Selon Neal (1973), la méthode intensive implique l'élevage dans un milieu entièrement aménagé sur lequel on exerce plusieurs contrôles alors qu'en méthode extensive le poisson est élevé dans un milieu sur lequel on exerce peu de modifications et de contrôles.



(T) ----- = Étapes nécessitant du transport.

Figure 2.2: Schéma de production de la truite en eau douce au Québec.

portion. C'est à cette taille que certains individus seront sélectionnés pour éventuellement augmenter le stock de géniteurs. Les autres seront vendus vivants ou morts.

L'élevage de la truite steelhead peut se faire dans des étangs de terre et de béton dans lesquels l'eau de mer est pompée (figure 2.3). On peut aussi utiliser l'encagement de parties peu profondes de la mer où la marée assure le renouvellement de l'eau et un apport constant de nourriture, ou pratiquer l'élevage en vivier flottant. L'élevage s'amorce alors en eau douce pour une période d'un an.

Une méthode de culture révolutionnaire a été mise au point par la Pennsylvania Fish Commission à Bellafonte (Pa). Les biologistes ont en effet réussi à élever 20000 truites arc-en-ciel, d'un poids total dépassant 2720 Kg, dans un silo de fibre de verre dont la hauteur est de 5 m et le diamètre est 2.3 m ayant une capacité de 20,640 l. (Bardach *et al.*, 1972). Le rendement obtenu en terme de protéine produite/acre est supérieur à toute méthode de production alimentaire connue. Les principaux avantages de cette méthode sont de permettre l'élevage de poissons là où l'espace est limité en plus de comporter des frais d'investissement et opérationnels inférieurs à ceux des méthodes conventionnelles d'élevage.

2.6 Economique de l'aquaculture

L'aquaculture peut simplement être définie comme la production de poisson au moyen de la manipulation artificielle des stocks de poissons et/ou la modification de leur environnement (Mac Crimmon *et al.*, 1974). Sa base est la conversion d'une protéine animale de piètre qualité, gastronomiquement et économiquement, en une autre plus attrayante. De fait, une bonne diète, alliée à des pratiques soignées, est le point-clé de la renta-

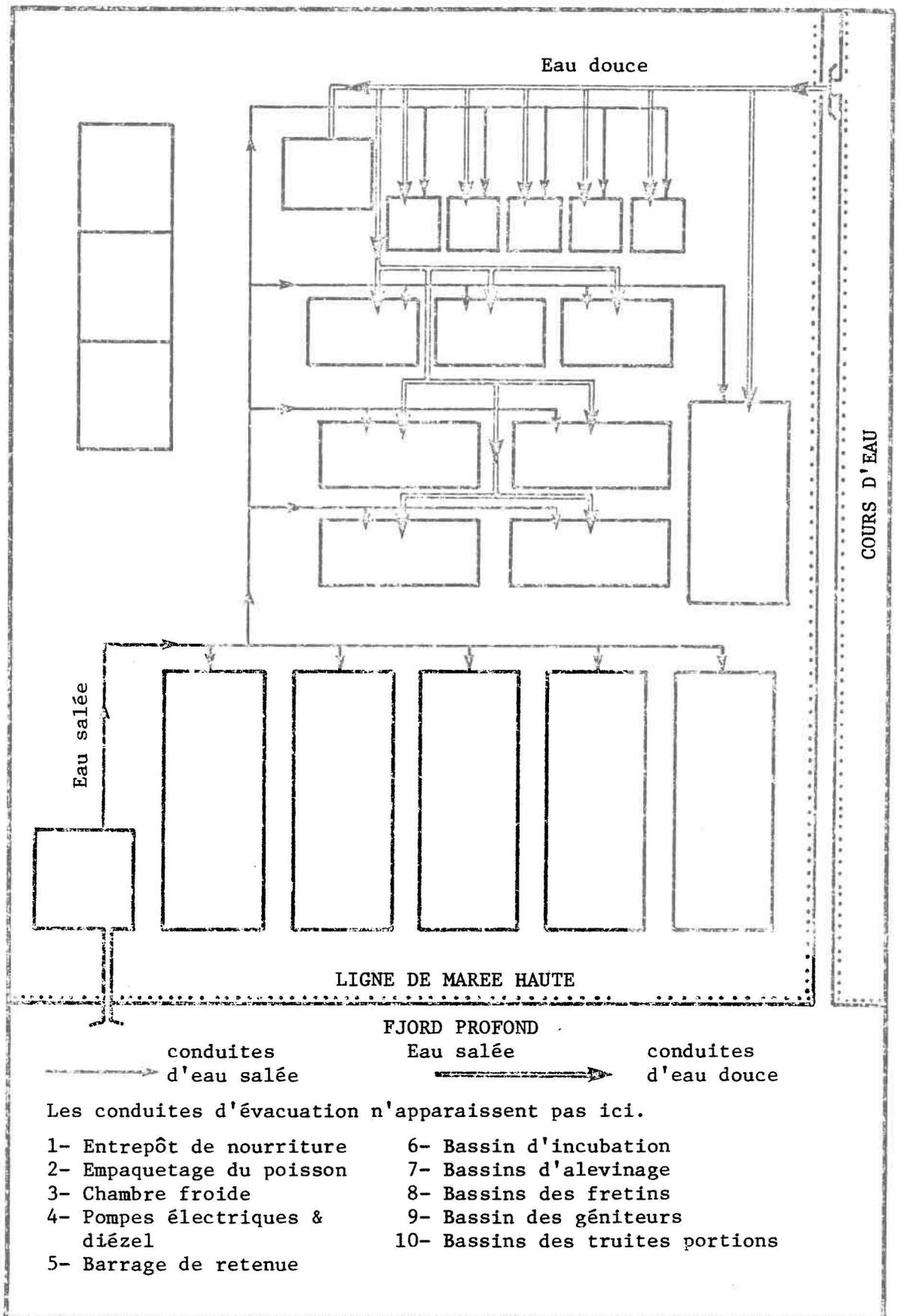


Figure 2.3: Ferme de mariculture piscicole de type norvégien. Le diagramme montre la disposition générale des bassins et des différents édifices. Traduit et adapté de Sedgwick (1973).

bilité de l'aquaculture puisqu'elle représente une partie importante du budget. En effet, comme l'a montré Sedgwick (1973) la nourriture s'accapare 53% des coûts comparativement à 34% pour les frais d'entretien, l'investissement et le remboursement de la dette. L'incubation des oeufs et la production des alevins et fretins représente seulement 13% des coûts nécessaires à la production alimentaire de truites arc-en-ciel.

Les salmonidés étant carnivores, leur diète doit être à haute teneur protéique. Malgré les hauts rendements obtenus avec la nourriture naturelle et la préférence des salmonidés pour celle-ci (Petrides, 1975), l'utilisation de la nourriture artificielle s'est largement répandue en aquaculture. Cette préférence des aquaculteurs est surtout due à des contraintes économiques (Halver, 1972; Séguin, 1954) toutefois compensées par une bonne efficacité.

Cependant, dans tout système de production, les pertes sont inévitables. Le phénomène est d'autant plus marqué dans la pratique aquacole actuelle qui souffre de sous-rationnalisation. Comme on peut le constater à la figure 2.4, les pertes existent à plusieurs étapes de la production:

- lors de l'élevage. Ces pertes sont dues au fait qu'une certaine proportion de nourriture est inutilisée (à cause de doses trop élevées ou de détérioration avant utilisation). De plus, les rejets métaboliques et la mortalité se traduisent par une perte de matière organique;
- lors de la transformation du poisson en produit alimentaire. Ces pertes sont dues à la putréfaction ou elles surviennent pendant la manipulation du produit;

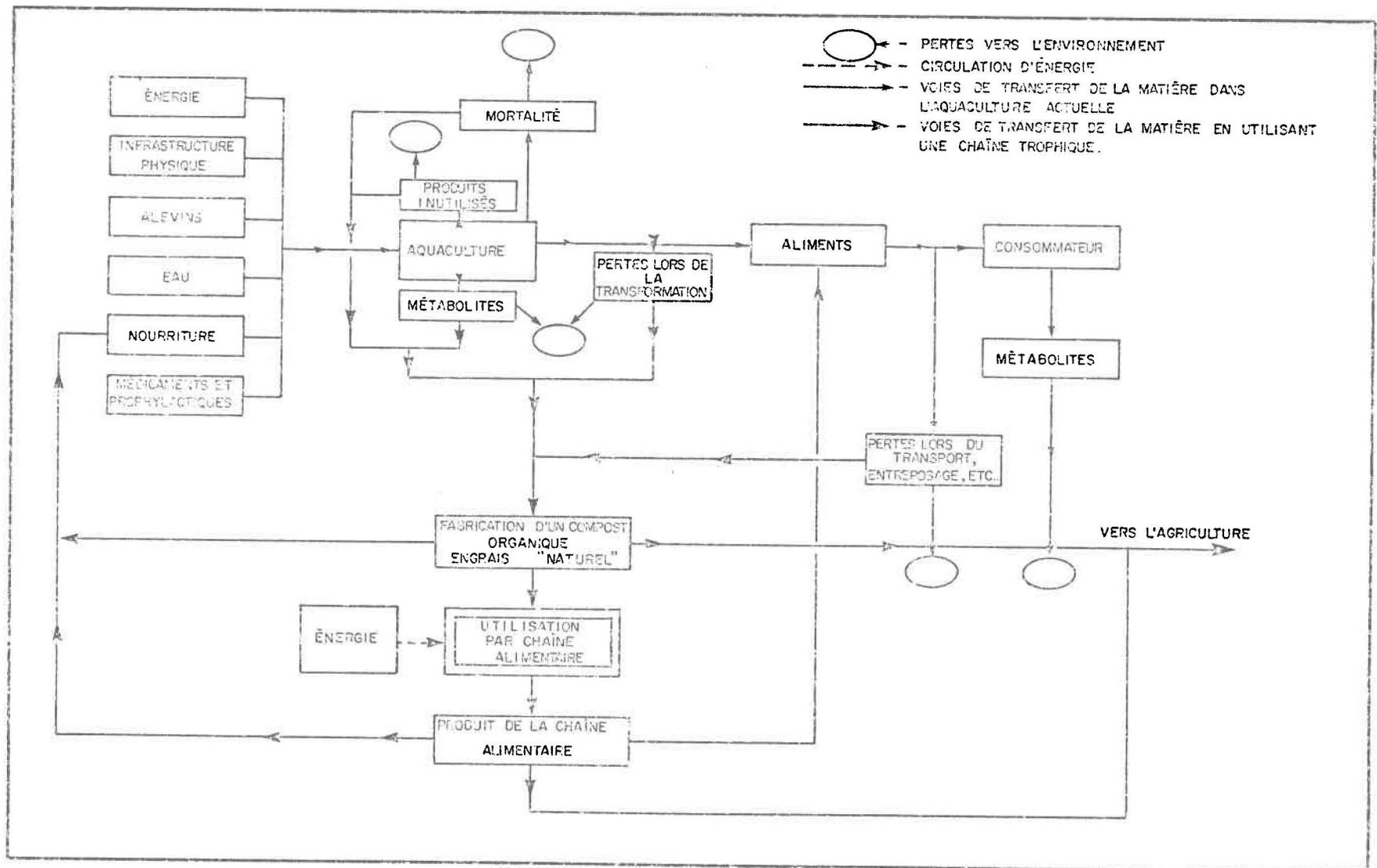


Figure 2.4: Perception en système de la production aquacole utilisant les pertes.

- lors du transport, de l'entreposage, etc...;
- lors de l'utilisation par le consommateur. Ces pertes se traduisent par les rejets métaboliques et le gaspillage.

L'utilisation de ces pertes, sauf celles survenant lors de la consommation du produit, peut se faire en deux étapes. La première étant la fabrication d'un compost organique pouvant servir d'engrais naturel pour l'agriculture ou de nourriture pour certaines espèces de poissons. Ce compost pourrait aussi servir de base pour l'établissement d'une chaîne alimentaire dont il serait possible d'utiliser le produit à trois niveaux: alimentation du poisson d'élevage, alimentation pour l'homme après transformation et alimentation du bétail.

Les pratiques aquacoles actuelles représentent plusieurs coûts économiques et environnementaux. Les moules alimentaires, qui sont la base de l'alimentation coûtent cher et les pertes liées à ce mode d'alimentation sont importantes malgré son efficacité. De plus, les eaux rejetées par les aquaculteurs sont riches en matière organique ce qui entraîne une détérioration de la qualité du cours d'eau récepteur. Une autre conséquence de ces rejets organiques élevés est la perte de journées de pêche ce qui entraîne une diminution des revenus provenant du tourisme et une frustration stressante pour l'individu qui ne peut plus utiliser le cours d'eau.

Au chapitre des bénéfices socio-économiques du type de production aquacole intégrant la récupération des pertes, mentionnons la diminution du stress environnemental. Cette amélioration de la qualité de l'environnement résulte d'une réutilisation de l'eau et/ou l'épuration par la chaîne trophique. En effet, il faut envisager la possibilité d'épurer les eaux

domestiques par l'emploi d'une chaîne trophique; en outre, la récupération des pertes énergétiques permettrait, en hiver, de maintenir la température optimale. Par un effet d'entraînement, on assisterait à la sensibilisation de la population à l'environnement et, particulièrement, à la faune aquatique. Dû au fait que l'aquaculture n'en est qu'à ses débuts, il serait aisé d'en rationaliser l'exploitation en permettant de rentabiliser les programmes de prêts aux agriculteurs et de créer des coopératives de producteurs de poissons ou bien de les intégrer aux coopératives agro-alimentaires déjà existantes. De plus, la pratique de l'aquaculture par les agriculteurs pourrait leur permettre de stabiliser leur revenu freinant ainsi l'exode rural¹ de ces dernières années tout en ayant un effet d'entraînement sur l'économie régionale et en rentabilisant l'infrastructure sociale (routes, écoles, etc...) déjà en place. D'autre part, l'alimentation du poisson au moyen de la nourriture naturelle permet aussi de présenter un produit de meilleure qualité: chair plus savoureuse, de meilleure teinte et plus appétissante (Havler, 1972; Johnson *et al.*, 1970; Lawler *et al.*, 1974; Leitritz, 1972; Neal, 1973).

Quoiqu'il en soit,

"il faut réaliser, en fin de compte, que l'aquaculture piscicole est une entreprise dont les risques sont assez élevés. Les poissons sont constamment exposés à une grande variété de dangers naturels. La production d'une année entière, ou plus, peut être littéralement balayée en une nuit, et il peut alors s'écouler une couple d'année avant d'espérer tirer profit de la vente du poisson".

(Sedgwick, 1973)

¹ Dans son Annuaire du Québec de 1974, le Bureau de la statistique du Québec du Ministère de l'Industrie et du Commerce estimait que la population agricole a diminué de 32% au cours des années 1966 à 1971. En effet, de 493,567 qu'il était en 1966, le nombre d'agriculteurs est passé à 305,000 lors du recensement de 1971.

Chapitre 3

3. L'énergie pour l'aquaculture

On trouve à la base de l'agriculture, l'utilisation de l'énergie solaire en vue de produire de la nourriture. La photosynthèse effectuée par les plantes vertes et son analogue chez les animaux (l'oxydation des aliments par laquelle les animaux trouvent l'énergie nécessaire à la réalisation d'un travail) sont les deux éléments majeurs d'un cycle de l'énergie biologique se déroulant dans la biosphère.

Au cours de ce cycle, l'énergie change de forme au cours des trois principales étapes. A la première étape, l'énergie solaire captée lors de la photosynthèse est transformée en énergie chimique. Les plantes utilisent alors cette énergie en conjonction avec le gaz carbonique et l'eau, à l'élaboration de glucides et autres substances nutritives. L'étape suivante est la respiration au cours de laquelle l'énergie chimique provenant des plantes est transformée en une forme d'énergie plus utile aux cellules animales. Cette transformation d'énergie se fait lors de l'oxydation des glucides et autres substances nutritives formées à l'étape précédente. Lors de la troisième étape, l'énergie chimique récupérée par l'oxydation des aliments est utilisée par les cellules pour effectuer un travail. Ce travail se présente sous diverses formes: musculaire, osmotique ou travail chimique de la croissance. L'énergie s'écoule par la suite vers l'extérieur sous forme de chaleur, de pertes métaboliques, etc...

3.1 La chaîne trophique

Le transfert de l'énergie alimentaire de sa source, les plantes, au travers une série d'organismes proies-prédateurs est défini comme étant la chaîne trophique (Odum, 1971). Toutefois, avant de décrire de façon plus détaillée le cheminement de l'énergie, il serait bon de définir quelques termes:

AUTOTROPHE: se dit d'un organisme qui a la propriété de se nourrir aux dépens de substances minérales (composés de l'azote, du carbone, etc...) qu'il transforme par synthèse en substances organiques.

BENTHOS: il est composé de l'ensemble des organismes, fixes ou mobiles, animaux ou végétaux, vivant sur le fond ou à l'abri des végétaux aquatiques.

CONSOMMATEUR: organisme se nourrissant aux dépens de la matière organique élaborée par un producteur ou par d'autres consommateurs.

DECOMPOSEURS: organismes hétérotrophes (principalement des bactéries et des *fungi*) qui décomposent les molécules complexes du matériel cellulaire, absorbent quelques produits de la décomposition et remettent en circulation des substances simples, utilisables par les producteurs.

ECOSYSTEME: c'est l'unité fonctionnelle de base en écologie. Il est constitué à la fois des êtres vivants et du milieu dans lequel ils vivent ainsi que des interactions réciproques existant entre le milieu et les organismes.

HETEROTROPHE: se dit d'un organisme qui ne peut effectuer par lui-même la synthèse de ses constituants. Il métabolise la matière organique complexe.

PLANCTON: organismes flottants dont le déplacement dépendent plus ou moins du courant. On distingue le plancton végétal (phytoplancton) et le plancton animal (zooplancton). Dans son ensemble, le plancton ne peut nager contre un courant appréciable bien que certains zooplanctons soient doués de mouvements actifs de natation qui les aident à se maintenir en position.

PRODUCTEURS: organismes autotrophes (phytoplancton, végétaux supérieurs, certaines bactéries) capables de produire de la matière organique à partir de sels solubles assimilables, sous l'action de l'énergie lumineuse (photosynthèse) ou chimique (chimiosynthèse).

Dans un écosystème aquatique, grâce à la photosynthèse, l'énergie lumineuse provenant du soleil est utilisée par les producteurs qui fabriquent la matière organique végétale à partir des sels solubles assimilables.

Les producteurs végétaux sont transformés en partie par divers consommateurs. Les consommateurs primaires se nourrissent directement sur le phytoplancton et les végétaux aquatiques; ce sont les différentes espèces de zooplancton, certaines larves d'insectes, mollusques, poissons phytophages ("filter feeders") et herbivores. Les consommateurs secondaires ou tertiaires s'alimentent aux dépens des consommateurs primaires ou secondaires et sont constitués par les espèces carnivores prédatrices.

Ces animaux et ces végétaux qui sont ainsi interdépendants constituent la chaîne alimentaire. Dans ce cas, il s'agit de la chaîne prédatrice dont les diverses étapes forment les niveaux trophiques.

Les composantes de ces différents niveaux peuvent être attaquées à leur tour par une série de carnivores qui, contrairement aux prédateurs, s'attaquent, en général, à des individus plus gros qu'eux: ce sont des parasites divers, détritivores, champignons saprophytes. Ils sont à leur tour attaqués par des bactéries et des champignons qui solubilisent la matière organique et la rendent assimilable par les végétaux pour être réutilisée par eux. Cette dernière chaîne est la chaîne parasite ou saprophyte.

3.2 Un budget bioénergétique

Une fraction de l'énergie contenue dans les aliments servira à augmenter la biomasse. Comme le montre la figure 3.1, une portion du contenu énergétique alimentaire est métabolisable alors que le reste se retrouvera dans les fécès, l'urine etc... L'énergie métabolisable est "l'énergie disponible pour l'anabolisme¹ et le catabolisme²". (Kleiber, 1975).

La digestion, au sens restreint du terme, est la transformation mécanique et chimique de l'aliment par des enzymes spécifiques suivie du transport des éléments jusqu'aux intestins rendant possible l'assimilation (absorption) des éléments. Ce n'est cependant pas toute la matière absorbée qui est utilisable. En effet, certaines substances azotées ne peu-

¹ anabolisme: processus qui sert au corps à édifier ses propres substances. C'est un processus qui consomme de l'énergie.

² catabolisme: processus permettant à l'organisme de satisfaire ses besoins énergétiques. Le plus important est la respiration au cours de laquelle les substances riches en énergie absorbées par la cellule sont oxydées et l'énergie produite est stockée ou utilisée immédiatement.

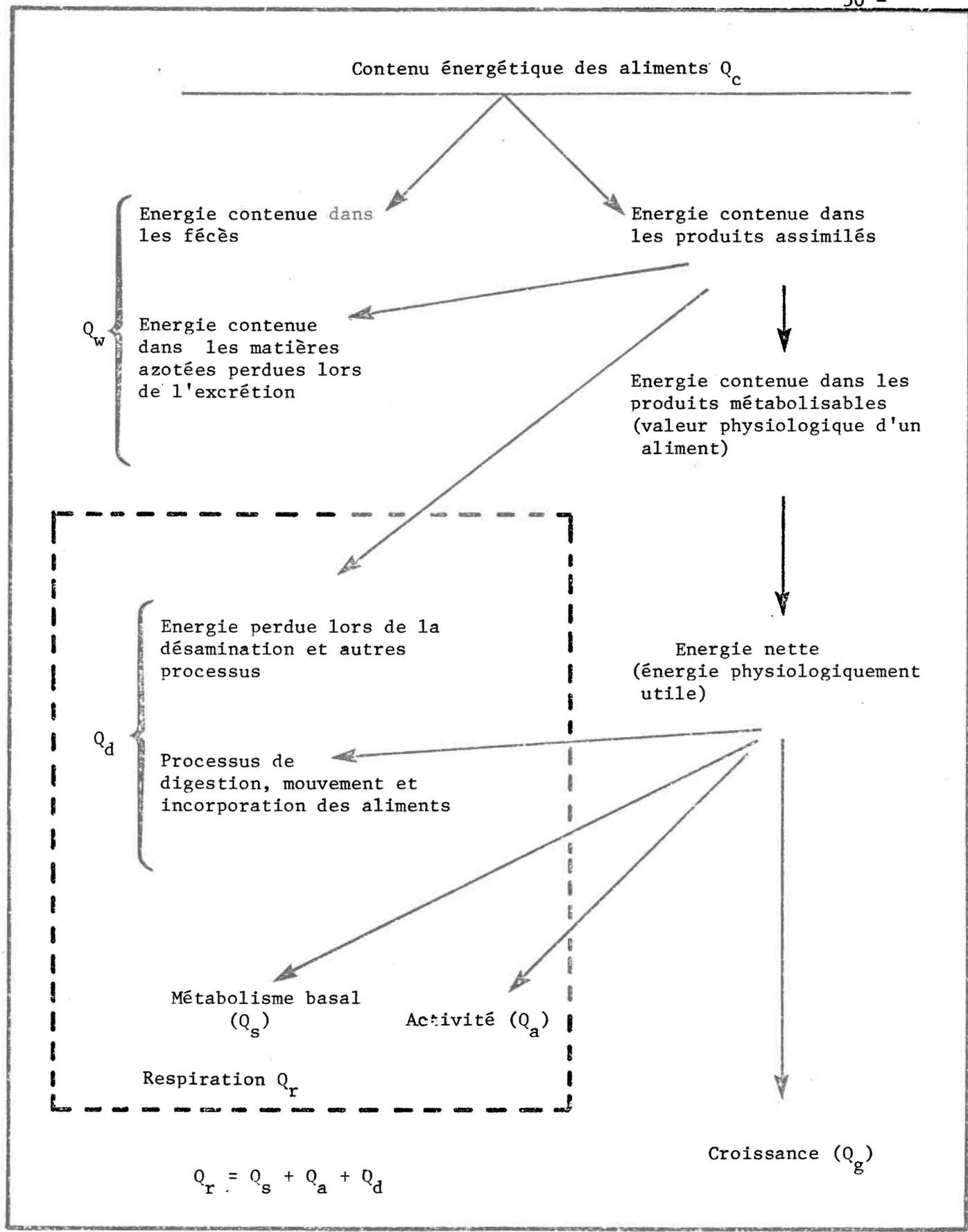


Figure 3.1: Pertes et utilisations de l'énergie et de la matière contenues dans les aliments. Traduit de Warren (1971).

vent être métabolisées et seront excrétées. En outre, une certaine quantité d'énergie est dépensée lors du processus de désamination etc. L'énergie contenue dans les produits métabolisables constitue la valeur physiologique d'un aliment et deviendra l'énergie nette d'un aliment ou l'énergie physiologiquement utile. Une fraction de cette énergie servira à la croissance alors que le reste sera utilisé pour la digestion, le travail musculaire de l'estomac et l'incorporation des aliments. Elle servira en outre au maintien du métabolisme basal¹ et à l'activité².

On peut représenter l'utilisation du contenu énergétique de l'aliment par l'équation:

$$Q_c = Q_w + Q_r + Q_g \quad (3.1)$$

où Q_c = valeur énergétique de l'aliment déterminée par sa chaleur de combustion

Q_w = équivalent énergétique de la matière retrouvée dans les fécès, l'urine et excrétée par la peau et les branchies

Q_r = énergie utilisée pour le métabolisme de l'organisme

Q_g = énergie disponible pour la croissance

sachant que

$$Q_r = Q_s + Q_d + Q_a \quad (3.2)$$

où Q_s = énergie nécessaire au maintien du métabolisme de base

Q_d = énergie utilisée pour la digestion, l'assimilation et le stockage de la matière

Q_a = énergie consommée pour l'activité

1

Le métabolisme basal comprend la production d'énergie nécessaire au maintien de toutes les fonctions vitales au repos. Il a la même valeur dans les tissus analogues de différents vertébrés. Le niveau du métabolisme basal qui, chez l'Homme est de 1400 à 2000 Kcal, dépend de l'âge, du sexe, du poids (tissus musculaire), de la saison et de la température extérieure.

2

Le coût énergétique de l'activité est celui occasionné par tout mouvement musculaire autre que celui du métabolisme basal.

En substituant la valeur de Q_r de l'équation 3.2 dans l'équation 3.1 et en réarrangeant l'équation 3.1 on peut faire le bilan énergétique d'un organisme:

$$Q_c - Q_w = Q_g + Q_s + Q_d + Q_a \quad (3.3)$$

L'équation 3.3 décrit les pertes et l'utilisation de l'énergie contenue dans les aliments. Ce bilan n'est cependant valable que pour une période de temps et pour un ensemble de conditions environnementales données.

D'autre part, il est possible de transformer cette équation en terme de taux. En effet, si on assume que les pertes énergétiques sont proportionnelles au poids on obtient alors:

$$A_c - A_w = A_g + A_s + A_d + A_a \quad (3.4)$$

où les énergie (Q) de l'équation 3.3 et les taux (A) de l'équation 3.4 sont reliés par l'expression:

$$A_i = \frac{Q_i}{W^x t}$$

- où W = poids moyen ou contenu énergétique du corps
- t = temps en jours
- x = facteur de proportionnalité reliant les pertes énergétiques au poids de l'individu. Warren (1971) l'a évalué à 0.8
- i = c, w, s, d, g ou a

3.3 La croissance et l'alimentation

Dans des conditions environnementales données, l'aliment devient souvent un facteur régulateur majeur de la croissance d'un organisme. En effet, cette dernière dépend de l'accessibilité des aliments en qualité adéquate et en quantité suffisante.

A la figure 3.2 apparaît un schéma montrant les relations existant entre le taux de consommation d'aliments et les utilisations et pertes de la matière et de l'énergie. L'expérience décrite a été effectuée avec une population de saumons coho (*Oncorhynchus kitsutch* W.) juvéniles nourris en aquarium à la température de 17°C.

On y constate qu'avec une ration alimentaire supérieure à 35 cal. par jour par Kcal. de poissons, l'efficacité de la croissance augmente rapidement pour diminuer par la suite. Si, d'une part, le taux du métabolisme basal reste constant même avec une augmentation de la consommation, d'autre part, la proportion d'énergie utilisée pour l'activité et la digestion, ou perdue sous forme de déchets fécaux et azotés augmente au fur et à mesure que la consommation s'accroît.

En rivière, la truite se nourrit, pour une large part, d'insectes et autres animaux amenés par le courant. En fait, comme l'ont mentionné Greenberg (1960), Needham (1969), Scott et Crossman (1974), il existe une relation entre la densité d'aliments et la biomasse de consommateurs. A la figure 3.3, Warren (1971) a représenté graphiquement les relations entre la biomasse d'un consommateur et celle de sa proie lorsque la capacité de production de l'écosystème est changeante ou lorsque nous sommes en présence de plusieurs écosystèmes ayant des capacités différentes. Il a aussi représenté les relations réciproques devant exister dans un écosystème dont la capacité de production est constante ou dans des écosystèmes dont la capacité de production est la même.

On constate que, dans le système étudié, plus l'intensité lumineuse est élevée, plus la biomasse de plantes sera élevée (A) et les

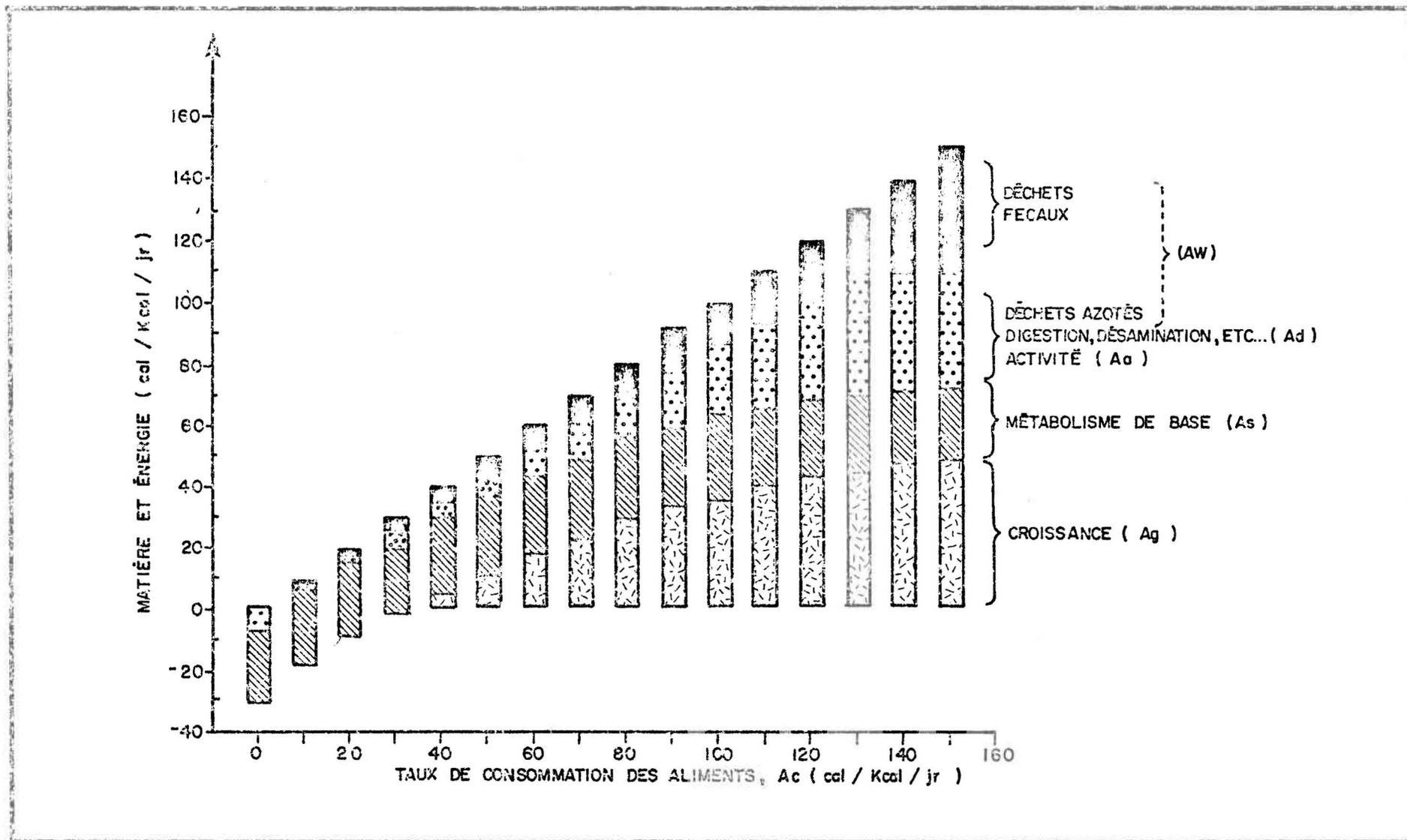


Figure 3.2: Relations existant entre la consommation d'aliments et les pertes et utilisations de la matière et de l'énergie du saumon coho juvénile. L'allure générale de la croissance y est aussi montrée. Ces données résultent d'expériences réalisées à 17°C pendant les mois d'avril et mai 1968. Les unités sont exprimées en calories ingérées par kilocalories de biomasse de saumon par jour. Traduit de Warren (1971).

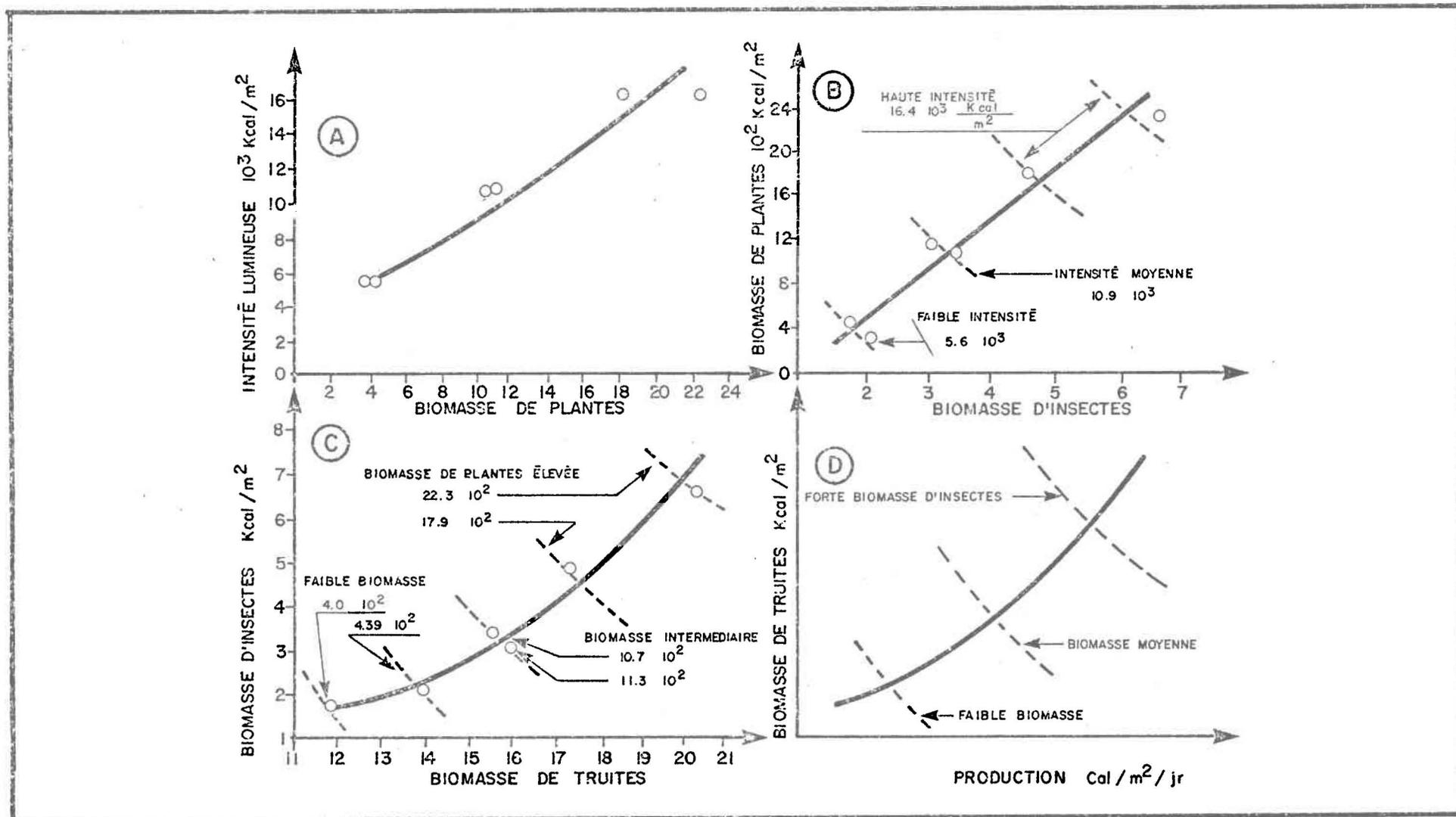


Figure 3.3: Relations existant entre quatre chaînons successifs impliqués dans le transfert de l'énergie et de la matière. La chaîne alimentaire représentée est celle conduisant à la production de truites fardées (*Salmo clarki* R.) au cours d'une expérience réalisée au printemps de 1968 dans un cours d'eau à environnement contrôlé. Seules les courbes calculées (en caractère gras) montrant les relations qui existent entre des systèmes ayant différentes capacités de production sont constituées de valeurs expérimentales. Les courbes en ligne pointillée suggèrent les relations réciproques qui pourraient exister si on avait pu utiliser un plus grand nombre de cours d'eau expérimentaux. Traduit de Warren (1971).

cours d'eau ayant une forte biomasse de plantes supporteront aussi une biomasse élevée d'insectes herbivores (B). Réciproquement, une biomasse croissante d'insectes entraîne, dans un écosystème doté d'une capacité de production constante, une diminution de la biomasse de plantes quelle que soit l'intensité lumineuse. Il s'ensuit que la biomasse des plantes dépend non seulement de l'intensité lumineuse mais aussi de la biomasse des insectes.

La même relation existe aux niveaux trophiques suivants: la production d'insectes associée à une biomasse élevée de plantes permet le maintien d'une forte population de truites qui, si elle devenait trop grande, pourrait diminuer la biomasse des insectes (C), et (D), s'il existait un prédateur de la truite dans les cours d'eau étudiés, sa population serait contrôlée par les mêmes liens prédateur-proie. En bref, il ressort que la biomasse du consommateur d'un niveau trophique dépend à la fois de la disponibilité de son aliment et de la biomasse de son prédateur si ce dernier se montre trop efficace.

Par ces études, Warren a montré que le taux de croissance de la truite, seul consommateur d'importance de son écosystème, peut être représenté comme étant une fonction de la biomasse de ses proies. De la même manière, le succès d'une population de consommateurs dépend de sa propre biomasse et de la capacité de production de son écosystème. En effet, comme le montre la figure 3.4, des niveaux de production élevés peuvent être maintenus avec des biomasses élevées de truites pour une capacité constante des cours d'eau. De plus, au fur et à mesure que la biomasse de truites augmente, la production s'accroît rapidement, atteint un maximum puis décroît aussi très rapidement. En pisciculture, c'est là un phénomène

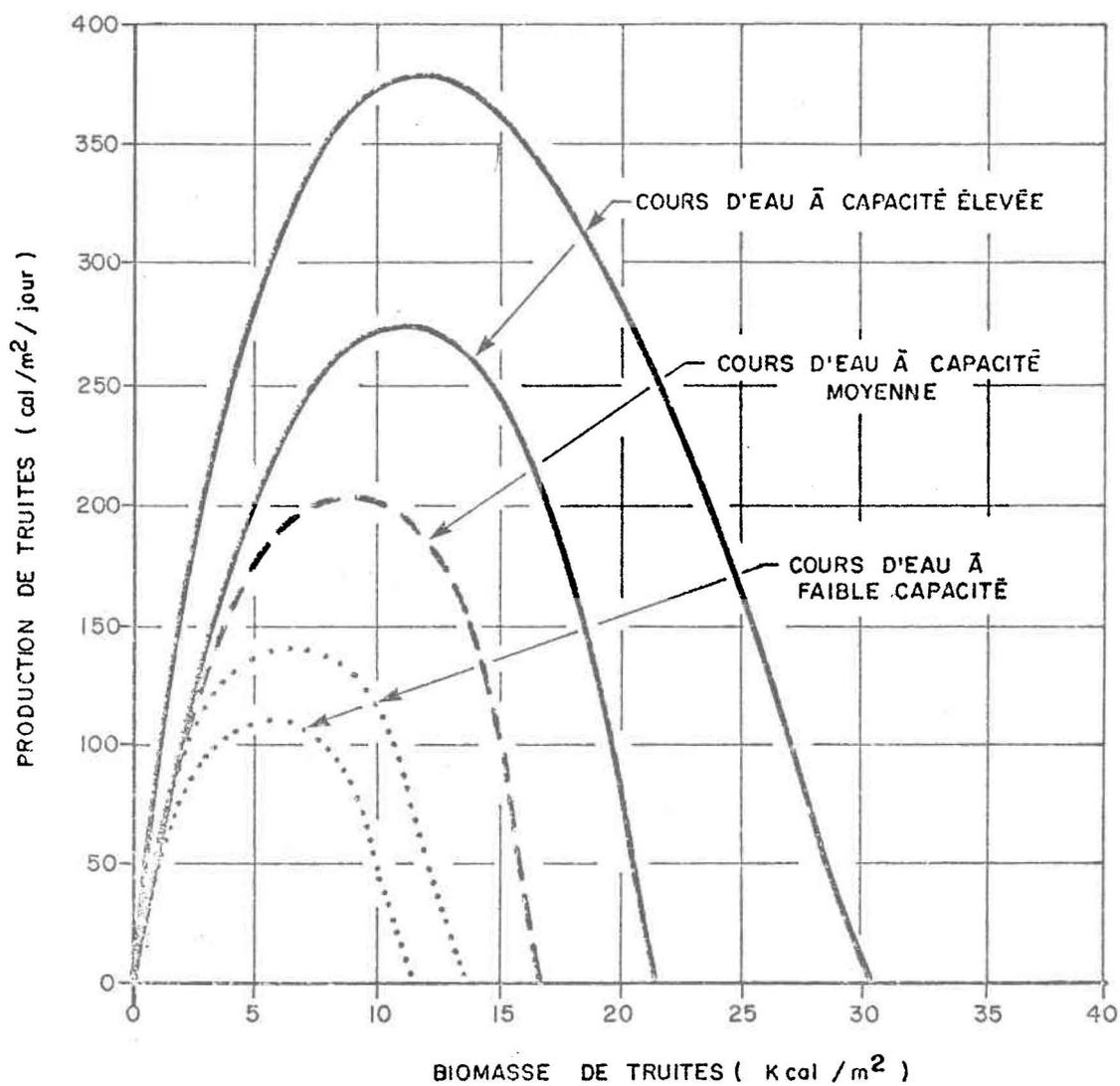


Figure 3.4: Courbes approximatives PRODUCTION-BIOMASSE pour les expériences décrites à la figure 3.3. On peut y voir la production obtenue pour une gamme de cours d'eau dont la capacité varie de faible à élevée. Traduit de Warren (1971).

très important. En effet, la capacité de production de l'écosystème est alors constante puisque c'est le pisciculteur qui la règle par un ajout fixe de nourriture. La rentabilité de l'opération dépend alors de la biomasse des truites. Il faut surtout éviter de dépasser la capacité de support du bassin puisqu'alors, une faible augmentation de la biomasse entraîne une diminution rapide de production. Cette décroissance est due à une trop forte densité de population qui se traduit par une diminution de nourriture *per capita* ce qui entraîne une diminution du taux de croissance individuel (Nikolskii, 1969; Warren, 1971).

3.4 Utilisation d'une chaîne trophique en méthode extensive

D'autre part, outre la capacité de production d'un cours d'eau à produire les organismes de fond qui sont les proies de la truite (Hunt et O'Hara, 1975; Scott et Crossman, 1974), le succès d'une population de truites dépend aussi de l'efficacité de la prédation. Cette efficacité est liée à plusieurs facteurs tels la taille de la proie (Elliott, 1975; Hall et Hyatt, 1974) et sa disponibilité (Petrides, 1975). Elle dépend en outre de la préférence des prédateurs ainsi que de la densité de la population de l'organisme-proie (Dunst *et al.*, 1974).

De fait, le prédateur est lié à sa proie via les relations complexes de la chaîne trophique. Odum (1971) ainsi que Johnson *et al.*, (1970) et Lawler *et al.*, (1974) ont bien montré ces relations lors des études effectuées sur un étang de Georgie et les "marmites" des Prairies canadiennes.

Étang de Georgie

Dans cet étang aménagé pour la pêche, il existe plusieurs chaînes trophiques interreliées (fig. 3.5). La plus longue est constituée de six maillons soient: le phytoplancton, le zooplancton (principalement des crustacés), des larves de *Chaoborus*, le crapet, l'achigan et l'homme auquel aboutissent les autres chaînes. Le modèle laisse entrevoir l'intéressante possibilité d'augmenter la production finale en éliminant le maillon *Chaoborus*. Toutefois, il faut envisager la possibilité que ce maillon aide à maintenir l'équilibre du système. En outre, l'équilibre entre les deux niveaux hiérarchiques supérieurs est très important du point de vue productivité de l'étang. En effet, l'élimination de l'achigan entraînerait une augmentation de la biomasse de crapets. D'autre part, compte tenu du taux de reproduction élevé de ces derniers, l'augmentation de la biomasse se traduirait alors par une augmentation du nombre de crapets entraînant une plus forte compétition pour la nourriture. Le résultat final serait alors une population plus grande mais des individus plus petits.

Marmites de l'ouest canadien

Les "marmites" sont des lacs peu profonds dont la profondeur n'excède pas 25 pieds. En été, ces bassins d'eau sont bien oxygénés par l'action du vent et de la photosynthèse¹. En hiver, l'eau de ces lacs gèle empêchant ainsi l'action du vent et diminuant de beaucoup la photosynthèse ce qui entraîne la mort de tous les poissons.

¹ La photosynthèse contribue à l'oxygénation de ces lacs à cause du bilan positif qu'on retrouve. En effet, les organismes photosynthétiques produisent plus d'oxygène pendant la journée qu'ils n'en consomment la nuit.

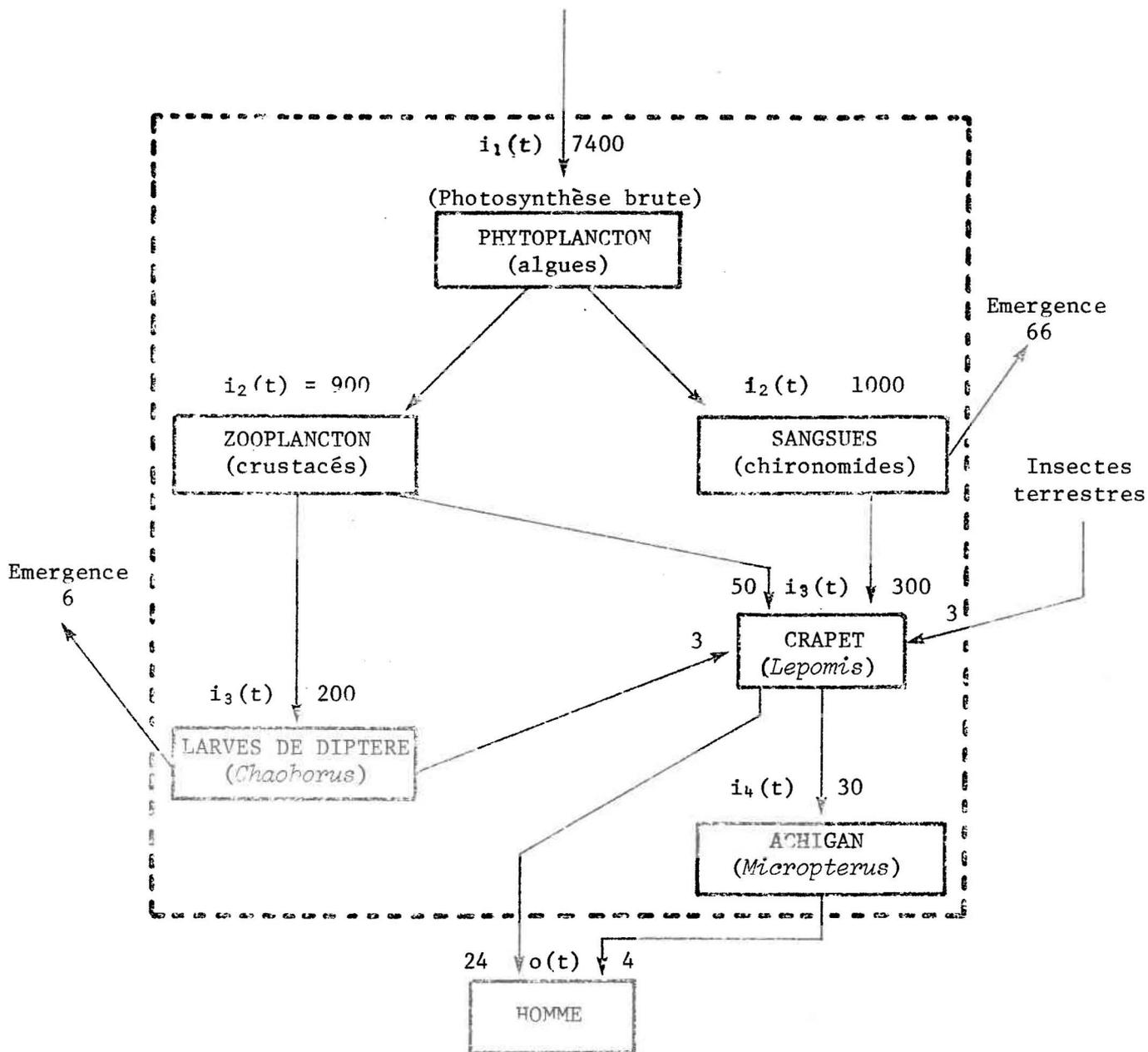


Figure 3.5: Modèle conceptuel des principales chaînes alimentaires existant dans un étang de Géorgie aménagé pour la pêche. Les apports énergétiques (i) sont donnés en kcal/m²/an. Les $i_1(t)$, $i_2(t)$, $i_3(t)$ et $i_4(t)$ représentent l'énergie ingérée, sous forme d'aliments, à des niveaux trophiques successifs; les pertes survenant lors de l'assimilation et de la respiration ne sont pas représentées. La production de l'étang, en terme de valeur calorifique de poissons capturés par l'homme, est donnée par $o(t)$. Traduit de Odum (1971).

Toutefois, plusieurs espèces d'invertébrés, dont les crustacés et les larves d'insectes, peuvent survivre dans ces conditions et proliférer à cause de l'absence de prédateurs. Un des organismes que l'on retrouve le plus souvent est *Gammarus lacustris*, aliment dominant de la truite arc-en-ciel.

Ces lacs ont été utilisés pour la production de truites arc-en-ciel. Lors de l'ensemencement en avril, ces truites avaient une taille variant entre 5 et 8 cm et elles ont atteint une taille commerciale (supérieure à 200 g) sans aucune addition de nourriture (fig. 3.6).

D'abord réalisés sur une base expérimentale, "ces essais ont été fort réussis, et déjà en 1970 il s'était établi une industrie, petite mais rapidement grandissante, d'élevage de truites" (Lawler *et al.*, 1974). Les avantages économiques de ce système de culture sont impressionnants. En effet, pratiquée par les agriculteurs, l'aquaculture des marmites leur a rapporté 2.5 fois plus de dollars à l'hectare que la culture du blé. Ils espèrent éventuellement atteindre une production annuelle de 4.5 millions de truites-portions. La croissance des truites et leur survie sont très variables (tableau 3.1). Toutefois, le pourcentage de recouvrement, quoique variable d'un lac à l'autre, semble rester constant au long des 4 années de données.

Plusieurs facteurs contribuent à cet état de fait, dont la taille des truites lors de l'ensemencement, la densité à l'ensemencement, la durée de la saison de croissance, les différences entre les souches ainsi que la morphométrie et la fertilité des lacs. La variabilité du taux de survie est attribuable à des mortalités estivales causées surtout par un taux critique d'oxygène dissous (Lawler *et al.*, 1974).

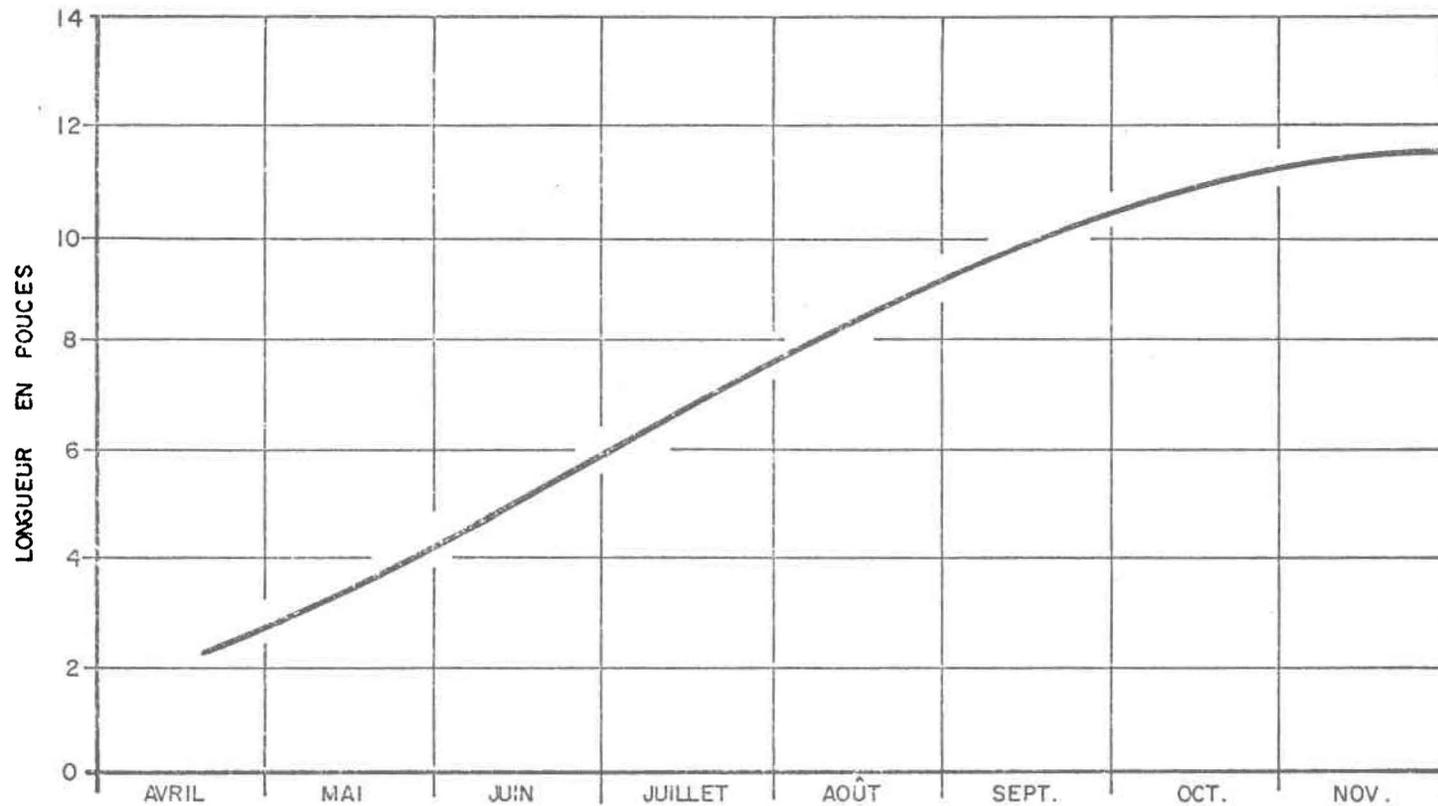


Figure 3.6; Courbe de croissance de la truite arc-en-ciel dans un lac des prairies. Ce résultat a été obtenu après seulement une saison. Traduit de Johnson et al., 1970 .

TABLEAU 3.1: Sommaire des ensemencements et des recouvrements pour différents lacs expérimentaux de truitelles d'arc-en-ciel (*Salmo gairdneri* R.) dont la longueur variait entre 5 et 8 cm. Ces expériences ont été effectuées sur la période allant de 1968 à 1972.

		1969	1970	1971	1972
LACS					
Nombre		3	17	20	17
Profondeur maximale (m)	Domaine de variation	3-8	1-5	1-5	1-5
Surface (ha)	Moyenne	14.4	5.7	6.6	7.1
ENSEMENCEMENTS					
Date		15 mai	26 mai	6 mai	10 mai
Poids moyen (g) ¹		3.8	3.9	3.2	2.9
Nombre d'individus		39500	65830	100480	169700
Densité ³ (Kg/ha)	Moyenne ¹	.24-5.14	.24-8.27	.197-59	1.43-17.9
	Domaine de variation	3.47	2.65	2.45	4.07
RECOUVREMENT					
Pourcentage	Moyenne ¹	9-70	0-86	0-74	0-58
	Domaine de variation	17.4	32.7	41.3	27.7
Poids final (g)	Moyenne ¹	266-383	153-241	176-391	116-397
	Domaine de variation ²	335	204	252	207
Rendement (kg/ha)	Moyenne ¹	12-132	0-115	0-249	0-313
	Domaine de variation	53.0	45.6	79.8	80.3
<p>¹ Les résultats de tous les lacs sont combinés comme s'il ne s'agissait que d'un seul lac.</p> <p>² La variation des moyennes des lacs considérés séparément.</p> <p>³ Densité calculée en multipliant le nombre de truite par le poids moyen.</p>					

Traduit et adapté de Lawler *et al.* (1974).

Il semble donc possible de faire l'élevage de la truite sans addition de nourriture, dans un milieu auto-producteur. D'autre part, l'utilisation d'une chaîne trophique pour suppléer une certaine fraction de la diète du poisson en aquaculture, peut représenter un avantage économique substantiel (Neal, 1973).

3.5 Efficacité de la chaîne trophique

Du point de vue biologique, la chaîne trophique est un phénomène complexe et la réussite du consommateur est liée à l'accessibilité à l'aliment. La composition qualitative de l'aliment-proie et son comportement contrôlent le taux de croissance aussi bien que la biomasse du consommateur (Nikolskii, 1969).

Du point de vue physique, la chaîne trophique est essentiellement un transfert d'énergie ou de matière à partir d'un producteur vers un consommateur. Or, tout transfert d'énergie, ou de matière, d'un niveau trophique vers un autre se fait aux dépens d'une perte d'énergie sous forme de chaleur (Lindeman, 1942). C'est ainsi qu'en général seulement 1% de l'énergie solaire est fixée. Cependant, on a estimé (Odum, 1971) qu'en milieu aquatique, une plus grande fraction de l'énergie est absorbée par l'eau et ses impuretés. Riley a estimé à 0.18% l'utilisation de l'énergie solaire captée à la surface de l'océan. D'autre part, l'efficacité est plus élevée sur de plus petites surfaces comme le montre le tableau 3.2. En outre, l'utilisation de l'énergie est plus efficace à mesure qu'on s'élève dans la chaîne trophique (Lindeman, 1942; Odum, 1971).

Dès 1942, Lindeman a mesuré l'efficacité des niveaux trophiques des lacs Cedar Bog et Mendota et a émis quelques principes tropho-dynami-

TABLEAU 3.2: Efficacité du transfert de l'énergie à divers niveaux trophiques dans 3 écosystèmes.

Niveau trophique	Efficacité de l'utilisation de l'énergie à chacun des niveaux trophiques (en pourcentage)		
	Lac Cedar Bog Minnesota ¹	Lac Mendota Wisconsin ²	Silver Springs Floride ³
Algues et phytoplancton (producteurs)	0.10	0.40	1.2
Herbivores (consommateurs primaires)	13.3	8.7	16
Petits carnivores (consommateurs secondaires)	22.3	5.5	11
Grands carnivores (consommateurs tertiaires)	absents	13.0	6
¹ D'après Linderman (1941, 1942). ² Résultats obtenus par Juday (1940). ³ H.T. Odum (1957).			

Traduit de Odum (1971).

ques qui, s'ils ne peuvent s'appliquer partout, sont valables pour la majorité d'entre eux et même statistiquement probables:

"1. L'examen des relations existant à l'intérieur des cycles alimentaires montre qu'il est impossible de différencier clairement une communauté biotique de son environnement abiotique. Il s'ensuit que l'écosystème doit être considéré comme l'unité écologique de base.

2. Les organismes formant un écosystème peuvent être regroupés à l'intérieur de niveaux trophiques (...) différents ... chaque niveau dépendant du précédent comme source d'énergie. Les producteurs (...) dépendent directement du taux de radiation solaire incidente (...) comme source énergétique.

3. Plus un organisme est élevé dans la chaîne alimentaire, moins il dépend du niveau trophique précédent comme seule source énergétique.

4. ...

5. Le pourcentage de perte énergétique due à la respiration est de plus en plus élevé à mesure qu'on s'élève dans la chaîne alimentaire. Par rapport à la croissance, la respiration compte pour 33% chez les producteurs, 62% chez les consommateurs primaires et plus de 100% chez les consommateurs secondaires.

6. Les consommateurs des niveaux trophiques supérieurs semblent être plus efficace dans l'utilisation de leur nourriture. Cette considération n'entre pas en contradiction avec la précédente à cause du fait que la mobilité accrue des prédateurs augmente leurs chances de capturer des proies adéquates..."

Plusieurs auteurs ont tenté de mesurer l'efficacité du transfert énergétique d'un niveau trophique à l'autre. Dickie (1972) propose le rapport Production-Biomasse comme étant un élément de synthèse possible:

$$\frac{P}{B} = (F+M) = G$$

où F+M représente le taux moyen de mortalité
 F est le taux de croissance moyen de la biomasse
 P est la production d'un niveau trophique donné
 B est la biomasse de ce niveau trophique

En milieu naturel, la connaissance de ces rendements semble être difficile à obtenir. En effet, comme le mentionne Slobodkin (1960), ces indices ne sont utiles que lorsque la population a atteint un certain état d'équilibre. Or, en milieu naturel, quoiqu'elles tendent vers un équilibre de densité, les populations fluctuent grandement (Warren, 1971). En milieu contrôlé, la situation diffère en ce sens que les populations atteignent un état d'homéostasie.

4. Une stratégie pour l'aquaculture au Québec

L'élaboration d'une stratégie d'utilisation de l'aquaculture dans le cadre d'une politique nationale d'autosuffisance alimentaire déborde largement le contexte de la problématique de l'aquaculture au Québec. Par ailleurs, Sasseville *et al.*, (1976)¹, ont développé une méthode de rationalisation permettant l'élaboration d'une stratégie d'intervention. Compte tenu du fait qu'une telle méthode apparaît comme générale et avantageusement applicable à toute problématique, nous avons cru préférable de l'employer à l'élaboration d'une stratégie pour l'aquaculture au Québec plutôt que de chercher à en développer une nouvelle.

Si le Québec veut parvenir à l'autosuffisance, il ne le pourra qu'en utilisant judicieusement les ressources dont il dispose. Ainsi, l'utilisation de ces ressources doit-elle se faire dans le cadre d'une politique nationale bien établie qui assurera sinon l'inépuisabilité du moins la pérennité de ces richesses collectives.

La finalité

La finalité d'une stratégie se retrouve dans la volonté politico-économique qui la conçoit. Elle peut s'exprimer ainsi: l'aquaculture doit être utilisée dans le cadre de la recherche continue de l'amélioration de la qualité de vie tout en diminuant la dépendance alimentaire du Québec sur le marché extérieur.

¹

Le mercure au nord-ouest québécois: aspects environnementaux.

Les objectifs

Les objectifs à poursuivre sont subordonnés à la finalité de la stratégie. Ils sont nombreux et difficiles à identifier parce que souvent conflictuels (Sasseville *et al.*, 1976). Néanmoins, ces objectifs doivent être situés à chacun des quatre niveaux suivants:

- économique: puisqu'une part importante du produit national brut est accaparée par l'industrie alimentaire et vu l'obligation du maintien de cette industrie, il est nécessaire, si on veut chercher à atteindre l'autosuffisance, de réinjecter les bénéfices dans ce secteur;
- environnemental: puisque le respect de l'intégrité environnementale doit constituer un idéal collectif. En bref, le principe sous-jacent à toute action est d'utiliser le milieu sans en abuser;
- politique: parce que seule une nation capable d'assurer son autosuffisance dans certains secteurs clés peut prétendre à son autodétermination politique;
- social: puisque tant sur le plan individuel que sociétal, l'amélioration de la qualité de la vie est à la fois cible et raison d'être des différentes actions entreprises par l'Homme dans sa recherche des idéaux collectifs.

Les grands objectifs à poursuivre, d'ordre *économique, environnemental, politique et social* respectivement pourraient être les suivants:

- développer l'*industrie* de l'aquaculture au Québec de manière à présenter un produit compétitif sur le marché international, régional ou local ou les trois tout en fournissant aux québécois une denrée appréciée en grande

quantité;

- récupérer les énergies en eau *douce et salée* tout en évitant de détériorer la ressource eau;
- intégrer le développement de l'aquaculture à la recherche de l'*autosuffisance alimentaire* du Québec tout en présentant un produit national;
- structurer l'aquaculture pour qu'elle devienne quelque chose de *viabile* et de *quotidien* à la fois pour les consommateurs et les producteurs.

Les buts à atteindre et les moyens à utiliser

La mise en oeuvre d'une stratégie ne signifie pas qu'il doive exister *un* seul organisme responsable puisqu'il n'est pas nécessaire de maintenir un suivi continu et pyramidal. Mais cette stratégie doit s'inscrire à partir de l'autorité nationale. Ainsi, l'objectif de cette stratégie est de créer un ensemble d'actions¹ qui devront être réalisées progressivement dans le temps, et de façon indépendante, nous garantissant ainsi que ces actions sont menées de façon cohérente.

Il est difficile, dans le cadre théorique de l'élaboration d'une stratégie, de catégoriser les buts en fonctions des objectifs; par contre, ces grands objectifs suggèrent un ensemble de buts qui, s'ils sont atteints, nous assurent d'un certain potentiel de réalisation de la stratégie.

C'est ainsi que, compte tenu de l'ambiguïté de l'opération les buts ne sont pas associés à des objectifs à caractère exclusivement économique, environnemental, politique ou social.

¹

Plusieurs de ces actions pourront être entreprises sous l'égide d'un seul organisme ou ministère ou bien sous l'autorité d'un comité interministériel.

Ainsi, l'identification des buts à atteindre et des moyens pour y arriver est une opération capitale dont dépendra le succès de la stratégie. De plus, les buts et les moyens disponibles sont intimement liés les uns aux autres, tout comme le sont les différents objectifs (Sasseville *et al.*, 1976).

Compte tenu du fait que les buts sont interdépendants et souvent mutuellement exclusifs il importe d'établir des critères permettant la mise en oeuvre de la stratégie. Parmi ces critères, Sasseville *et al.*, (1976) mentionnent que les buts doivent:

- "- susciter l'intérêt de tous les organismes ou individus impliqués tout en permettant une synthèse continue des efforts qui en résultent;
- favoriser le pontage entre les différents ministères plutôt que leur balkanisation;
- sacrifier le rendement à court terme au profit du rendement à long terme."

En outre, les buts à atteindre doivent:

- être évolutifs et conforme à la réalité économique et environnementale actuelle;
- avoir des retombées dans d'autres secteurs de l'activité québécoise;
- induire une prise de conscience du public face au double problème de l'alimentation et de l'environnement ainsi que du contexte politico-social qui l'a engendré.

Comme l'ont mentionné Sasseville *et al.*, (1976):

"Les buts et les moyens qu'ils sous-tendent servent évidemment à établir la stratégie...; ils respectent (idéalement du moins) l'ensemble des contraintes imposées dans la poursuite des quatre objectifs (*économique, envi-*

ronnemental, politique et social). Il est du ressort du niveau tactique, ..., d'établir les cheminements critiques après l'inventaire des ressources disponibles et l'élaboration d'une structure permettant leur opérationnalisation".

Parmi les buts à atteindre, nous n'énumérerons que les suivants:

- 1^o Etablir ou développer, au besoin, des techniques d'élevage qui soient adaptées au Québec compte tenu des ressources disponibles. Pour ce faire, il faudra identifier les ressources et évaluer leur disponibilité environnementale.
- 2^o Eviter le gaspillage des ressources en utilisant les eaux usées lorsque possible en aquaculture dulcicole; en utilisant les forces marémotrices pour produire de l'énergie, assurer une alimentation constante et un renouvellement des eaux lorsque l'emploi de la mariculture est souhaitable.
- 3^o Connaître le marché et les goûts des consommateurs de manière à satisfaire à la demande par une production diversifiée.
- 4^o Présenter un produit compétitif sur le marché international et, entre temps, identifier le poisson à un produit national et le valoriser de façon à ce que le consommateur accepte de payer un peu plus cher pour un produit fait ici.
- 5^o Minimiser les coûts de production et de transport en régionalisant les services à l'industrie aquacole selon le marché visé.
- 6^o Utiliser les ressources de manière à préserver leur qualité en amenant les producteurs et les consommateurs à respecter l'environnement, et en établissant l'industrie aquacole en harmonie avec le milieu.
- 7^o Assurer aux aquaculteurs une production stable en:

- impliquant des organismes financiers d'état ou privé;
- développant une expertise nationale dans le domaine;
- instaurant une législation réaliste et prospective;
- favorisant la production locale de manière à diminuer la dépendance sur les marchés extérieurs.

8° Amener l'aquaculteur à présenter un produit de qualité constamment amélioré.

9° Evaluer l'influence que peut exercer l'aquaculture sur l'infrastructure socio-économique régionale.

Conclusion et recommandations

L'aquaculture, à cause de la grande qualité de son produit et sa capacité de production, peut aider à solutionner le problème mondial de sous-alimentation et de malnutrition. Le Québec, bien doté en eau douce et salée de bonne qualité, se doit d'y apporter une contribution à la mesure de ses possibilités tout en visant son autosuffisance alimentaire.

Pour y arriver, le Québec devra:

- rationaliser le développement de son industrie aquacole;
- favoriser son expansion et sa mainmise sur le marché local;
- s'assurer que l'aquaculture ne surexploite pas la ressource eau qui est une des principales richesses du Québec.

C'est ainsi que l'élaboration d'une stratégie globale d'utilisation de l'aquaculture devra être réalisée préalablement à toute intervention.

ANNEXE I

Les diverses méthodes utilisées en aquaculture classées par ordre
croissant de travail investi

Généralement, l'entreprise aquacole peut se caractériser par l'effort humain investi. Les différentes méthodes de culture sont également classées suivant l'importance croissante de l'investissement, souvent accompagné d'une croissance des rendements. C'est en se basant sur l'importance du capital et du travail investis que Bardach *et al.* (1972) ont classifié les différents types d'aquaculture.

- 1- *La transposition des organismes d'un milieu pauvre dans un milieu plus adéquat*; elle est souvent considérée comme la forme la moins intensive d'aquaculture. Ce type d'aquaculture est surtout retrouvé en Union soviétique où, dès 1965, plus de 50 espèces de poissons ont été acclimatés à vivre dans 1225 lacs, 80 rivières et près de 100 réservoirs.
- 2- *La transposition d'alevins élevés en pisciculture*; les organismes peuvent dépendre, en tout ou en partie, de l'homme pour leur survie. Un exemple récent est l'introduction réussie du saumon coho dans le lac Michigan.
- 3- *L'encagement de poissons et d'invertébrés*; ceux-ci peuvent aussi être capturés dans des cages spéciales où ils sont retenus jusqu'à la récolte. Cette technique, sans autre ajout d'investissement, est utilisée avec succès en Malaisie et en Méditerranée pour l'élevage de crevettes et de poissons euryhalins respectivement.
- 4- *L'encagement et la fertilisation*; la technique précédente peut être intensifiée par la fertilisation et/ou le contrôle du taux de renouvellement de l'eau. Cette méthode est largement utilisée au sud-est asiatique pour l'élevage du chanos et de la crevette.

- 5- *Etangs d'élevage*; cette méthode permet un contrôle plus complet des poissons et empêche l'entrée de poissons indigènes. Les étangs de terres sont les plus anciens et les plus utilisés. Dans cette méthode de culture classique, dont le meilleur exemple est la polyculture des cyprinidés en Chine, le poisson est nourri "naturellement" en fertilisant l'étang. Le rendement maximum pouvant être obtenu par un travail intensif est de 5000 à 8000 kg/ha. On retrouve ce type d'aquaculture surtout dans les régions tropicales et sub-tropicales.
- 6- *L'alimentation artificielle*; cette pratique est habituellement nécessaire dans le cas où les étangs sont en bois ou en béton, dans les cas de l'élevage en viviers flottants et chaque fois que le poisson en culture est carnivore. Cette méthode est utilisée pour l'élevage de la barbotte noire au sud des Etats-Unis; l'élevage de truites au Canada, en Europe et aux Etats-Unis et la culture de la carpe (*Cyprinus carpio*), l'anguille (*Anguilla japonica*), le sériole (*Seriola quinqueradiata*), la crevette commune (*Penaeus japonicus*) et autres animaux au Japon.

Tableau AI.1: Exemples choisis des rendements obtenus par diverses méthodes d'aquiculture. Les exemples sont donnés par ordre croissant de l'intensité des méthodes de culture.

Méthode de culture	Espèces	Rendements [Kg/(ha) (an)] ou gain économique
Transposition	Plie (Danemark, 1919-1957)	Coûts: bénéfiques, 1:1.1 - 1.3 les meilleures années (il existe d'autres bénéfices sociaux)
	Saumon du Pacifique (E.-U.)	Coût: bénéfiques, basés sur le rendement des pêches commerciales 1:2.3 - 5.1
Transposition de poissons élevés de la pisciculture à un environnement naturel	Saumon du Pacifique (Japon)	Coûts: bénéfiques 1:14 - 20 basés sur le rendement des pêches commerciales
	Crevette	Inconnu; semble augmenter le revenu des pêcheurs
	Truite brune (Danemark, 1961-1963)	Profit net maximal / 100 poissons ensemencés 64% 150 - 300
Encagement d'indigènes jeunes et juvéniles sans fertilisation des eaux d'alimentation	Mulet Anguilles et autres poissons (Italie)	
	Crevette (Singapour)	1 250
Encagement et élevage avec fertilisation des eaux sans alimentation	Chanos (Taiwan)	1 000
	Carpe sp. (Israël, Asie du Sud-Est)	125-700
	Tilapia (Afrique)	400-1 200
Encagement et élevage avec fertilisation des eaux et alimentation	Carpe (Java, égouts collecteurs) (¼ - ½ de l'eau utilisée)	62 500 - 125 000
	Barbotte noire (E.-U.)	3 000
	Carpe, mulet (Israël)	2 100
	Tilapia (Cambodge)	8 000 - 12 000
	Carpe et sp. associées (enpolyculture) (Chine, Hong Kong, Malaisie)	3 000 - 5 000
Elevage intensif en eau courante; avec alimentation	Clarias (Thaïlande)	97 000
	Truite arc-en-ciel (E.-U.)	2 000 000 (170 Kg/1 sec)
	Carpe (Japon)	1 000 000 - 4 000 000 (environ 100 kg/1 sec.)
	Crevette (Japon)	6 000

Traduit et adapté de Bardach *et al.* (1972).

ANNEXE II

L'"AGRIBUSINESS": L'industrie alimentaire américaine

ANNEXE II

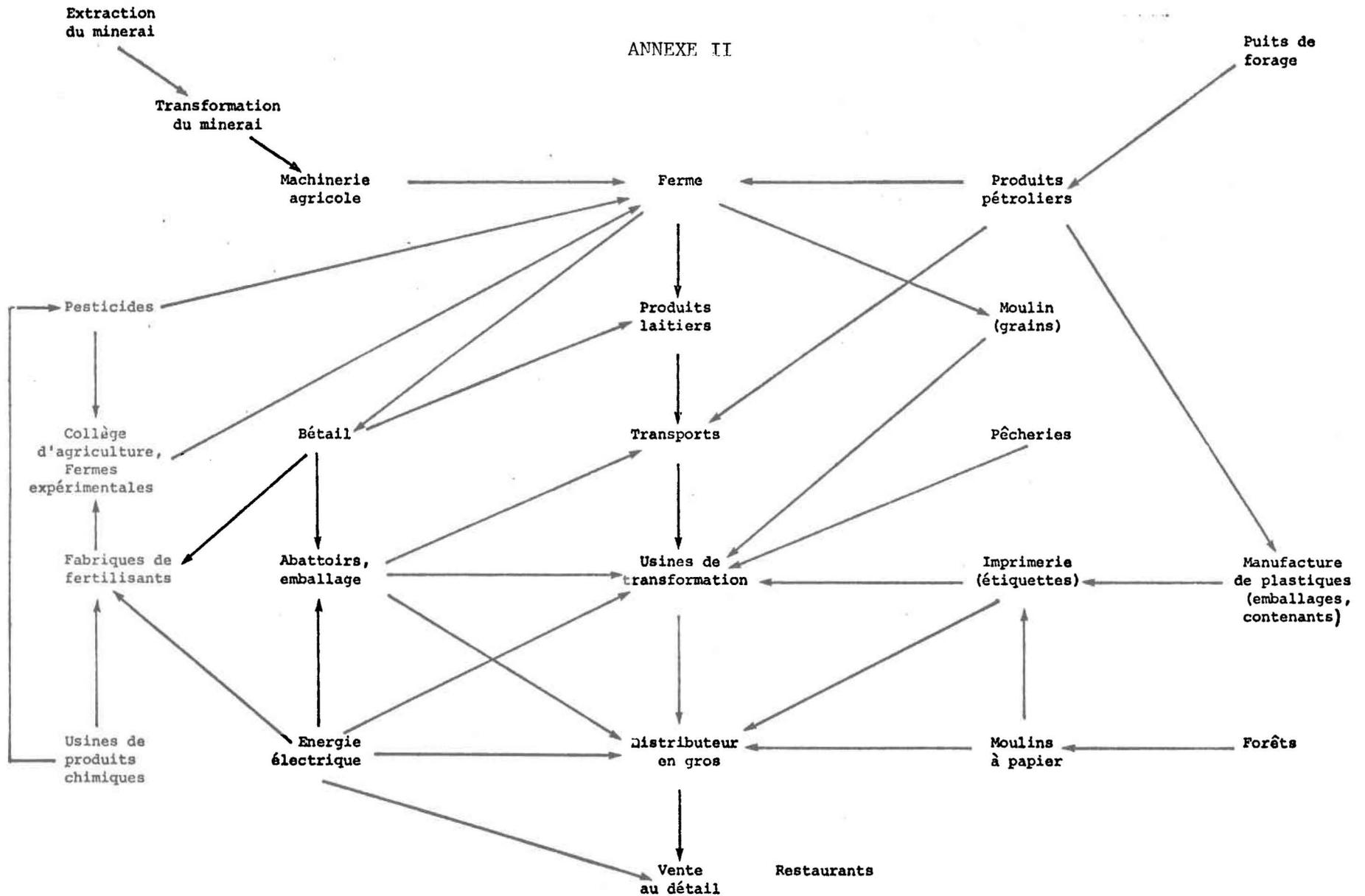


Figure A II.1

L'AGRIBUSINESS: L'industrie alimentaire américaine. On peut voir que l'agriculture U.S. est intimement liée à plusieurs secteurs de l'économie et qu'elle implique beaucoup plus que l'agriculture et ses opérations. La figure nous donne les interactions existant entre l'agriculture proprement dite et les autres secteurs d'activité. Du côté des apports à la ferme figurent des items tels la machinerie agricole et les fertilisants; on retrouve du côté des exports l'industrie de transformation des aliments. On trouvera à l'ANNEXE III ces interactions, de façon plus complète, en terme de dollars impliqués (Traduit et adapté de Heady, 1976).

ANNEXE III

Bilan import-export du secteur alimentaire américain

	DEMANDE TOTALE FINALE											
	PRODUITS ALIMENTAIRES ET DERIVES	BETAIL ET SOUS- PRODUITS DU BETAIL	AUTRES PRODUITS AGRICOLIS	SERVICES AGRICOLES, FORESTIERS, ET EN PECHERIES	DEPENSES EN BIENS DE CONSOMMATION	PROFIT NET DE L'INVENTAIRE	EXPORTATIONS NETTES	ACHATS DU GOUVERNE- MENT FEDERAL	ACHATS DES GOUVERNE- MENTS LOCAL ET D'ETAT	CAPITAUX PRIVES BRUTS IMMOBILISES	DEMANDE TOTALE	EXPORT TOTAL
PRODUITS AGRICOLES												
ALIMENTS ET PRODUITS SEMBLABLES	17,212	4,053	---	39	71,970	732	2,423	467	734	----	76,325	105,045
BETAIL ET PRODUITS D'ABATTAGE	23,466	7,390	1,581	185	2,321	698	68	6	23	----	3,116	37,504
AUTRES PRODUITS AGRICOLES	7,564	9,468	935	559	4,161	118	3,562	-1,106	129	----	6,864	30,195
BESOINS: AGRICULTURE, FORETS, PECHERIES	----	610	1,341	---	240	---	19	10	45	----	314	2,899
CONSTRUCTION ET ENTRETIEN												
CONSTRUCTION	535	514	809	33	---	---	22	3,290	24,806	68,601	96,719	96,719
ENTRETIEN ET REPARATIONS	353	233	358	---	---	---	---	1,499	5,280	----	6,780	30,999
EQUIPEMENT MOTORISE												
MACHINE AGRICOLE	1	70	2,685	102	43	221	393	26	44	2,928	3,656	4,756
EQUIPEMENT DE MANUTENTION	144	---	---	---	---	28	204	78	1	1,440	1,751	3,073
EQUIPEMENT SPECIAL	560	---	---	13	32	60	1,124	44	16	3,538	4,813	6,353
VEHICULES MOTEUR, EQUIPEMENT DE TRANSPORT	199	416	515	10	17,621	-304	3,068	2,451	1,252	15,558	39,644	57,799
EQUIPEMENT DE BUREAU ET DE COMPTABILITE	92	2	1	3	111	152	1,578	648	219	4,195	6,902	9,297
DISTRIBUTRICES	93	18	2	2	548	176	512	92	170	2,087	3,585	6,895
OUTILS, EQUIPEMENT ET FOURNITURES ELECTRIQUES DIVERS	7	15	45	---	791	87	228	128	43	268	1,544	3,945
PROFESSIONNELLE, SCIENTIFIQUE, DE CONTROLE, OPTIQUE ET PHOTOGRAPHIQUE	89	---	3	6	1,845	194	1,180	1,207	481	2,530	7,437	12,993
FERTILISANTS ET PRODUITS CHIMIQUES												
PROSPECTION DE MINERAIS	4	---	10	---	3	10	114	---	88	----	213	924
PRODUITS CHIMIQUES	458	92	2,274	17	601	282	2,294	1,608	234	----	5,017	26,245
ENERGIE												
RAFINERIES ET INDUSTRIES CONNEXES	250	192	942	5	12,271	353	950	963	463	----	15,000	31,765
SERVICES ELECTRIQUES, DE GAZ, D'EAU ET SANITAIRES	740	113	247	2	17,676	---	84	449	2,571	----	20,781	47,871
CONTENANTS												
DIVERS TEXTILES ET COUVRE-PLANCHERS	20	11	29	45	1,814	11	98	19	1	123	2,066	5,513
DIVERS PRODUITS TEXTILES	90	*	45	4	2,497	117	72	299	32	----	3,017	5,034
PLASTIQUES ET PRODUITS SYNTHETIQUES	90	---	---	---	21	84	834	58	1	----	998	10,158
PRODUITS DE CAOUTCHOUC ET PLASTIQUES	793	45	188	*	3,172	329	416	303	275	29	4,523	17,213
VERRE ET DERIVES	1,329	6	---	---	443	100	189	13	82	----	832	4,768
CONTENANTS METALLIQUES	2,645	19	12	---	---	124	15	11	---	11	161	4,490
BOIS ET PRODUITS DE BOIS	12	4	4	---	401	163	612	29	5	8	1,217	15,330
CONTENANTS DE BOIS	96	---	80	8	---	2	3	22	---	----	26	456
PAPIER ET DERIVES EXCLUANT BOITES	950	17	1	*	1,907	179	1,013	115	283	----	3,498	19,769
BOITES ET CONTENANTS DE PAPIER	1,916	2	3	117	87	40	27	32	29	----	215	7,051
SERVICES												
EQUIPEMENT DE BUREAU	72	1	1	*	---	---	---	174	442	----	616	3,266
IMPRESSION ET PUBLICATION	579	9	14	*	5,113	113	289	213	1,134	----	6,862	26,002
TRANSPORT ET ENTREPOSAGE	3,243	874	597	31	14,015	289	4,987	2,960	1,419	967	24,636	65,679
COMMUNICATIONS SAUF RADIODIFFUSION	374	96	85	---	10,400	---	320	665	752	1,655	13,791	26,645
VENTE EN GROS ET AU DETAIL	4,347	1,371	2,666	76	140,630	516	2,984	1,108	727	7,808	153,773	207,109
FINANCEMENT ET ASSURANCES	494	379	432	3	31,359	---	169	57	621	16	32,221	65,495
PROPRIETE IMMOBILIERE ET LOCATION	908	581	2,402	60	89,935	---	811	337	1,052	2,567	94,701	143,163
HOTELS ET HABITATIONS DIVERSES, SERVICES DE PERSONNELS ET DE REPA- RATIONS SAUF AUTOMOBILES	164	6	---	---	17,741	---	8	568	185	----	18,501	23,636
SERVICES D'AFFAIRES	3,752	95	1,385	*	6,291	---	485	2,491	2,391	----	11,658	68,991
REPARATIONS AUTOMOBILE ET SERVICES	227	155	159	1	10,248	---	---	49	240	----	10,536	18,443
VOYAGES D'AFFAIRE, LOISIRS, CADEAUX	414	32	44	13	---	---	---	---	---	----	---	13,324
VALEUR TOTALE	27,650	10,772	14,311	1,709	---	---	---	---	---	----	---	973,114

Bilan import-export du secteur alimentaire africain montrant les divers secteurs de l'économie ayant effectué des transactions avec le secteur agricole en 1970. Les chiffres sont donnés en milliards de dollars de 1967. Les imports à l'agriculture se retrouvent à la verticale alors que les exports vers les autres secteurs de l'économie se retrouvent à l'horizontal. Un tiret (---) signifie qu'il n'y a pas eu de transactions; une étoile (*) indique que la valeur de la transaction est inférieure à \$50 millions (Traduit de Beady, 1976).

BIBLIOGRAPHIE

AMLACHER, E. (1970).

Textbook of fish diseases. T.F.H. Publications, N.H., 302 pp.

ANONYME. (1971).

World fertiliser: slow recovery ahead. C. & En., July 5, Industry/
Business, pp. 12-13.

ARRIGNON, J. (1970).

Aménagement piscicole des eaux intérieures. S.E.D.E.T.E.C. S.A., E-
diteurs, Paris, 643 pp.

BARDACH, J.E., RYHER, J.H., MC LARNEY, W.O. (1972).

Aquaculture; the farming and husbandry of freshwater and marine or-
ganisms. Wiley-Interscience, New-York, 868 pp.

BROWN, L.B. (1971).

Human food production as a process in the Biosphere. Dans: Man and
the Ecosphere. Readings from Scientific American, W.H. Freeman and
Company, San Francisco, pp. 75-83.

BUREAU DE LA STATISTIQUE DU QUEBEC. (1975).

Annuaire du Québec 1974. Gouvernement du Québec, Ministère de l'In-
dustrie et du Commerce, p. 254.

DEEVEY, E.S. Jr. (1971).

The human population. Dans: Man and the Ecosphere. Readings from
Scientific American. W.H. Freeman and Company, San Francisco, pp.
49-55.

DELWICHE, C.C. (1970).

The nitrogen cycle. Dans: The Biosphère. A Scientific American Book, W.H. Freeman and Company, San Francisco, pp. 71-80.

DICKIE, L.M. (1972).

Food chains and fish production. Int. Comm. for the Northwest Atlantic Fisheries, Spec. Publ. no. 8, pp. 201-221.

DUNST, R.C., BORN, S.M., UTTORMARK, P.D., SMITH, S.A., NICHOLS, S.A., PETERSON, J.O., KNAUER, D.R., SERNS, S.L., WINTER, D.R., WIRTH, T.L. (1974).

Survey of lake rehabilitation techniques and experiences. Wisconsin Dept. Nat. Res., Tech. Bull. no. 75, pp. 2-30.

ELLIOTT, J.M. (1975).

Number of meals in a day, maximum weight of food consumed in a day and maximum rate of feeding for brown trout, *Salmo trutta* L..

Freshwater Biology 5(3): 287-303.

GREENBERG, D.B. (1960).

Trout farming. Chilton Company-Book Division, Philadelphia, 188 pp.

HALL, K.J., HYATT, K.D. (1974).

Marion Lake (I.B.P.) - from bacteria to fish. J. Fish. Res. Board Can. 31(5): 893-911.

HALVER, J.E. Editor. (1972).

Fish nutrition. Academic Press, N.Y., 713 pp.

HEADY, E.O. (1976).

The agriculture of the U.S. Scientific American 235(3): 107-125.

HEEN, E., KREUZER, R. Editors. (1972).

Fish in nutrition. F.A.O., Fishing News (books) Ltd., London, 445 pp.

HINSHAW, R.N., HILDEN, D.A. (1973).

Pollution as a result of fish cultural activities. E.P.A.-R3-73-009, Eco. Res. Ser., Washington, 209 pp.

HOLT, S.J. (1971).

The food resources of the oceans. Dans: Man and the Ecosphere. Readings from Scientific American, W.H. Freeman and Company, San Francisco, pp. 84-96.

HUET, M. (1970).

Traité de pisciculture. Editions Ch. de Wyngaert, Bruxelles, 718 pp.

HUNT, P.C., O'HARA, K. (1973).

Overwinter feeding in rainbow trout. J. Fish Biol. 5(2): 277-280.

JOHNSON, L., LAWLER, G.H., SUNDE, L.A. (1970).

Rainbow trout farming in central Canada. Fish. Res. Board Can. Tech. Rep. 165: 1-9.

KLEIBER, M. (1975).

The fire of life. An introduction to animal energetics. Robert E. Krieger Publishing Company, Huntington (N.-Y.), 454 pp.

LAPOINTE, R., SASSEVILLE, J.-L. (1976).

Indices de danger environnemental sur les bassins des rivières Yamaska et Saint-François. INRS-Eau, rapport scientifique no. 65, 59 pp. (soumis au Ministère des Richesses naturelles, Québec).

LAWLER, G.H., SUNDE, L.A., WHITAKER, J. (1974).

Trout production in prairie ponds. J. Fish. Res. Board Can. 31(5): 929-936.

LEITRIZ, E. (1972).

Trout and salmon culture (hatchery methods). State of California, Dept. Fish and Game, Fish Bull. no. 107, 169 pp.

LINDEMAN, R.L. (1942).

The trophic-dynamic aspect of ecology. Ecology 23: 399-418.

MAYER, J. (1976).

The dimensions of human hunger. Scientific American 235(3): 40-49.

MAC CRIMMON, H.R. (1973).

Freshwater aquaculture. 8 pp.

MAC CRIMMON, H.R., STEWART, J.E., BRETT, J.R. (1974).

Aquaculture in Canada - the practice and the promise. Bull. Fish. Res. Board Can. Bull. 188, Ottawa, 84 pp.

MC HALE, J. (1972).

World facts and trend. Macmillan Company, N.Y., 95 pp.

NEAL, R.A. (1973).

Alternatives in aquacultural development: considerations of extensive versus intensive methods. J. Fish. Res. Board Can. 30 (12 pt. 2): 2218-2222.

NEEDHAM, P.R. (1969).

Trout streams. Holden-Day Inc., San Francisco, 241 pp.

NIKOLSKII, G.V. (1969).

Theory of fish population dynamics as the biological background for rational exploitation and management of fishery resources. Oliver and Boyd, Edinburgh, 323 pp.

ODUM, E.P. (1971).

Fundamentals of ecology. W.B. Saunders Company, Philadelphia, 574 pp.

PAGE, J.K., CLARK, W. (1975).

The new alchemy: how to survive in your spare time. Smithsonian 5 (11): 82-88.

PETRIDES, G.A. (1975).

Principal foods versus preferred foods and their relations to stocking rate and range condition. Biol. Conserv. 7(3): 161-169.

PIMENTEL, D., DRITSCHILO, W., KRUMMEL, J., KUTZMAN, J. (1975).

Energy and land constraints in food protein production. *Science* 190
(4216): 754-761.

PIMENTEL, D., HURD, L.E., BELLOTTI, A.C., FORSTER, M.J., OKA, I.N., SHOLES,
O.D., WHITMAN, R.J. (1973).

Food production and the energy crisis. *Science* 182(4111): 443-449.

PRATT, C.J. (1971).

Chemical fertilizers. Dans: Man and the Ecosphere. Readings from
Scientific American, W.H. Freeman and Company, San Francisco, pp. 236-
246.

REGIER, H.A. (1973).

Aquaculture 2001 A.D., 5 pp.

ROUSSEAU, A. (1972).

Mon opinion sur l'aspect toxicologique et la gestion régionale de la
qualité de l'eau. INRS-Eau, Québec, 7 pp.

ROUSSEAU, J. (1967).

Pour une esquisse biogéographique du Saint-Laurent. *Cahiers de Géographie du Québec* 23: 183-241.

SASSEVILLE, J.L., BELANGER, G., DELISLE, A., DELISLE, C., RIVERIN, M.
(1976).

Le mercure au nord-ouest québécois: aspects environnementaux. INRS-
Eau, rapport scientifique no. 69, 331 p. (Rapport du Comité Inter-
ministériel sur le Mercure pour les Services de protection de l'environ-
nement, Québec).

SCHNEIDER, S.H. (1976).

The genesis strategy, climate and global survival. Plenum Press,
N.Y., 419 pp.

SCOTT, W.B., CROSSMAN, E.J. (1974).

Poissons d'eau douce du Canada. Min. Env., Ottawa, Serv. Pêches Sc.
Mer Bull. 184, 1026 pp.

SEDGWICK, S.D. (1973).

Trout farming handbook. Seeley, Service and Company, London, 157 pp.

SEGUIN, L.R. (1954).

L'alimentation artificielle de la truite mouchetée *Salvelinus fontainalis* (Mitchill). Thèse de maîtrise. Fac. des Sc., Univ. Montréal,
124 pp.

SEGUIN, L.R. (1971).

L'industrie de la truite au Québec. Conférence aux propriétaires de
pisciculture du Québec, Trois-Rivières, le 13 novembre 1971.

SLOBODKIN, L.B. (1960).

Ecological energy relationships at the population level. Amer. Nat.
XCIV: 213-236.

TSAI, C.F. (1975).

Effects of sewage treatment plant effluents on fish: a review of literature. Chesapeake Res. Consortium Inc., Publ. no. 36, Center for
Env. and Estuarine Studies, Univ. Maryland, Contribution no. 637, 229 pp.

VAN DUIJN, C. (1967).

Diseases of fishes. London Iliffe Books, London, 309 pp.

VIBERT, R., LAGLER, K.F. (1961).

Pêches continentales: biologie et aménagement. Dunod, Paris, 720 pp.

WARREN, C.E. (1971).

Biology and water pollution control. W.B. Saunders Company, Philadelphia, 434 pp.