UNIVERSITE DE RENNES I

FACULTE DES SCIENCES ECONOMIQUES ET D'ECONOMIE APPLIQUEE A LA GESTION

THESE

présentée devant l'Université de Rennes I

pour l'obtention du titre de :

DOCTEUR DE IIIème CYCLE

Spécialité : Economie de la Production

par

Bernard GILLY

LES SYSTEMES AQUACOLES EN FRANCE : ANALYSE DU DEVELOPPEMENT DE LA RECHERCHE ET MODELE THEORIQUE D'AIDE A LA DECISION

(préparée au département de Stratégies de Développement et d'Aménagement, IFREMER Paris)

Soutenue le 9 Janvier 1987 devant le jury :

MM. M. BASLE	Président du jury
J. WEBER	Rapporteur
Y. MORVAN	
J.P. BOUDE	Membres du jury
D. L'HOSTIS	

Ce travail a été rendu possible grâce à la collaboration et à l'attention de tous les chercheurs du département Stratégie de Développement et d'Aménagement de l'IFREMER.

Monsieur le Professeur J.M. GATES, de l'université de RHODE-ISLAND (U.S.A.) a pris une part active à la définition du modèle et à son application ultérieure à l'ostréiculture.

Monsieur J. WEBER, chef du département SDA, a non seulement permis à ce document d'exister, mais il l'a valorisé par ses nombreux commentaires et critiques.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

I. LA RECHERCHE EN AQUACULTURE NOUVELLE

I.1. ENJEUX ET RECHERCHE

I.1.1. METHODE

I.1.2. LES ENJEUX DE LA RECHERCHE
I.2.1.1. L'objet
I.2.1.2. Les enjeux
I.2.1.3. Le mythe
I.2.1.4. Conclusion

I.1.3. LA RECHERCHE FACE AUX ENJEUX

I.1.3.1. Fondement des prévisions
I.1.3.2. Constitution d'une source de denrées alimentaires
I.1.3.3. Génération de flux commerciaux
I.1.3.4. Génération d'effets induits
I.1.3.5. Aménagement de l'espace littoral
I.1.3.6. Transfert des connaissances techniques

I.2. UNE ANALYSE ECONOMIQUE DE L'AQUACULTURE

I.2.1. UNE DEMARCHE NECESSAIRE

I.2.2. REVUE DES METHODES APPLIQUEES

I.2.2.1. Evaluation de projets
I.2.2.2. Décision en univers incertain
I.2.2.3. Méthode des effets
I.2.2.4. Modèles dynamiques

I.3. CONCLUSION

II. UN MODELE D'AIDE A LA DECISION

II.1. PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE

II.1.1. PRINCIPES GENERAUX DE LA PROGRAMMATION LINEAIRE

II.1.2. LES APPROCHES TRADITIONNELLES ET NON TRADITIONNELLES DE LA PRISE EN COMPTE DU RISQUE

II.2. UN MODELE DE PROGRAMMATION LINEAIRE

II.2.1. LA FONCTION OBJECTIF

II.2.2. VARIABLES DE DECISION PRIMALES

II.2.3. VARIABLES DUALES ET CONTRAINTES

II.2.4. FONCTION LANGRANGIENNE ASSOCIEE

II.3. CONCLUSION

CONCLUSION

1. APPORTS METHODOLOGIQUES

2. LIMITES DE L'APPROCHE

3. VOIES DE RECHERCHE

BIBLIOGRAPHIE

ANNEXES

SCHEMAS

Schéma 1 Processus de développement de la recherche aquacole en France

Schéma 2 Système d'aquaculture

Schéma 3 Interactions des systèmes biologique, technique et économique en aquaculture

Schéma 4 Algorithme de formalisation du modèle d'aide à la décision

TABLEAUX

TABLEAU 1 Coefficients moyens de conversions de différentes espèces élevées

TABLEAU 2 Les référends théoriques à l'aquaculture

TABLEAU 3 Taux d'accroissement comparés de la production aquacole mondiale

TABLEAU 4 Comparaison sur 12 ans de la structure du commerce extérieur français des produits de la mer

TABLEAU 5 Evolution de la valeur ajoutée nette d'un échantillon d'entreprises d'aquaculture en France 1977 - 1983

TABLEAU 6 Représentation schématique de la matrice du modèle d'aide à la décision

FIGURES

Figure 1 Production et prévisions en salmoniculture

FIGURE 2 Evolution du commerce extérieur français de 1963 à 1985

FIGURE 3 Surplus des producteurs et des consommateurs

FIGURE 4 Représentation de la région de production économique. Coefficients techniques constants

FIGURE 5 Représentation de la région de production économique. Coefficients techniques constants. Trois activités

FIGURE 6 Représentation de la région de production économique. Coefficients variables

FIGURE 7 Diagramme Espérance Variance

RESUME

Le secteur des cultures marines en France est souvent assimilé, dans les discours dominants, à l'aquaculture nouvelle (poissons ou crustacés élevés en mer) dont la production reste anecdotique. Dans la pratique, les élevages d'huîtres et de moules (aquaculture traditionnelle) représentent un secteur d'activité d'un poids économique équivalent à celui des pêches maritimes.

Les discours dominants, étatiques, corporatistes et scientifiques, sur l'aquaculture nouvelle ont consituté un "paradigme aquacole", perénnisé sous la forme d'un système de représentations idéologiques empruntées à d'autres secteurs (en particulier au secteur agricole). Ignorant l'efficacité, la complexité et le déterminisme des différents systèmes de valorisation aquacoles, ce paradigme repose sur un modèle évolutionniste que l'analyse de l'histoire récente ne permet pas de confirmer.

Les différents résultats montrent que les freins au développement se situent au niveau de l'entreprise, vecteur essentiel d'un développement du secteur. Ils sont liés à la nature et au niveau de l'investissement d'une part, et d'autre part à l'évaluation des risques et incertitudes liés à la dépendance de la production par rapport à l'environnement et aux imperfections des marchés des produits aquacoles.

Un modèle théorique d'aide à la décision de l'entreprise utilisant la programmation linéaire est présenté, avec un double objectif :

- obtenir une représentation du comportement général d'une firme aquacole indépendemment de sa ou ses productions, en tenant compte des facteurs de risque et d'incertitude ;

- permettre l'utilisation ultérieure de ce modèle pour fournir, aux investisseurs, aux organismes d'aménagement et à la recherche, un outil à multiples fonctions : sensibilité des résultats à des modifications de certains facteurs maîtrisés ou non par l'entreprise, faisabilité économique en univers incertain, simulation de l'évolution optimale des entreprises à plus ou moins long terme.

ABSTRACT

The French marine culture activity is often reduced to the recent development of rearing fish or crustacean (the so-called new aquaculture), which production has remained, until 1986 at a very low level. Practically, mussels and oysters cultures have been developped for years (traditionnal aquaculture, as opposed to the previous one) and their production reached the level of the total french fisheries production.

Prevailing addresses about new aquaculture, originating from the public administration, corporative organisations and research institutes, contribute to build up a "paradigm of aquaculture", perpetuated through a system of ideological perceptions borrowed from related sectors (mainly agriculture). This paradigm, regardless of the efficiency and complexity of the different existing aquaculture systems, is based on an evolutionnist model, which is far to be enforced by the analysis of the recent history.

Different results show that the main impediments in aquaculture development are located at the enterprise level (taken as the principal vehicule of the sector development). They are linked both to the kind and scale of the investment and to the evaluation of risks and uncertainty due to the subordination of production process to environmental factors and to market imperfections.

A theoric operationnal research model, using linear programming, is presented with two aims :

- to obtain a representation of the general behavior of an aquacultural firm, regardless of the type and scale of production, including risk and uncertainty ;

- to allow a further use of this model to help decision makers, research teams and management organisation in taking a decision : sensibility analysis of the results to variations of controlled or uncontrolled factors, economic feasibility in an unsettled environment, turnpike trajectory of aquacultural firms in a long run.

INTRODUCTION

La création en 1967 du Centre National pour l'Exploitation des Océans marquait en France le lancement officiel de nouvelles formes d'aquaculture marines, regroupées sous l'appellation générique d'aquaculture nouvelle. L'aquaculture nouvelle concerne les techniques d'élevage de nouvelles espèces de poissons ou crustacés mais dans des milieux plus ou moins clos et contrôlés. Elle sera très rapidement opposée, dans la terminologie et dans l'approche scientifique, aux formes d'aquaculture préexistentes (ostréiculture et mytiliculture), regroupées sous le vocable d'aquaculture traditionnelle.

L'aquaculture nouvelle est devenue très rapidement un enjeu des relations entre les scientifiques, les professionnels et l'administration. A partir de 1970, et pendant quinze ans, un effort de recherche considérable (budgets, moyens humains) a été consacré aux nouvelles formes d'aquaculture. Parallèlement, les pouvoirs publics ont multiplié les tentatives volontaristes de transferts et de développement de cette nouvelle activité (formation, subventions). Les milieux professionnels liés à l'exploitation des ressources marines vivantes, habituellement considérés comme peu perméables aux innovations, ont fait preuve d'un engouement tout à fait remarquable. Les scientifiques, en principe armés pour des analyses objectives, ont souvent réagi avec passion en faveur de ces activités. Enfin, l'Administration a affiché un volontarisme sans commune mesure avec les indices

disponibles sur l'efficience des nouvelles formes d'aquaculture.

Au terme de ces quinze années, la dualité des résultats apparaît nettement : alors que la recherche française en aquaculture marine s'est hissée aux premiers rangs à l'échelle mondiale (à la fois sous nos latitudes tempérées et en milieu tropical), l'importance économique du secteur d'activité reste particulièrement faible (la production réalisée par moins de 30 entreprises en 1986 est voisine de 700 tonnes, pour un chiffre d'affaires de l'ordre de 25 millions de FF et moins d'une centaine d'emplois permanents) comparativement au secteur de la conchyliculture (150 à 200 000 tonnes de production en 1986 pour une valeur globale de 1,5 milliards de FF et 20 à 25 000 emplois directs).

La faiblesse des résultats du transfert des acquis de la recherche vers le milieu professionnel est d'autant plus apparent que :

1. les résultats obtenus dans d'autres pays européens pendant la même période sont la pluspart du temps meilleurs, comme en Norvège où la production de saumon atlantique d'élevage est passée en douze ans de 0 à 50 000 tonnes, ou en Ecosse où la production de truite de mer atteignait 150 000 tonnes en 1986 ;

2. les discours sur l'aquaculture nouvelle, quelle que soit leurs origines, se structuraient autour d'un optimisme souvent outrancier, lié aux hypothèses implicites ou explicites sur lesquelles se fonde le concept ;

3. l'état actuel ne constitue pas à l'évidence un stade final de développement. Le Japon, pays leader en matière d'élevages marins, a commencé son développement aquacole au début des années 1920 ; l'état actuel de développement de l'ostréiculture en France résulte de plus de cent années d'activité.

L'origine première de ce travail se trouve dans un questionnement conjoncturel : si en période de relative prospérité il était possible de s'offrir une recherche multiforme, "tous azimuths", les contraintes financières auxquelles se trouvent confrontés et la recherche et les pouvoirs publics ont obligé à des choix :

- en matière de recherche, il ne s'agit pas d'abandonner certaines filières au profit d'autres, mais bien d'afficher une hiérarchie des objectifs et des priorités (TROADEC, 1984) ;

- en matière de développement économique, la stratégie d'aide à l'investissement (subventions, prêts bonifiés) et au fonctionnement des entreprises (prêts de campagne, remises de dettes) mise en place par les pouvoirs publics, faute d'être basée sur des critères fiables, n'a pas permis l'émergence d'un secteur autonome.

Les critères de faisabilité techniques ou biologiques ne suffisent pas à établir des priorités, non plus que les calculs simplistes de rentabilité prévisionnels utilisés. Les intervenants du système ont ainsi adressé un questionnement aux économistes relatif d'une part aux

déterminants non biologiques du développement de l'aquaculture et d'autre part aux filières techniques les plus susceptibles de réussir leur développement. En d'autres termes, il s'afit de fournir des éléments permettant :

(1) de comprendre pourquoi après quinze années d'efforts le nombre d'entreprises d'aquaculture nouvelle est si faible ;

(2) d'élaborer des outils économiques de nature à analyser l'activité aquacole et d'aider à la prise de décision d'investissement dans ce type d'activité.

Répondre à ces questions qui font l'objet de la thèse en suppose d'autres résolues. Qu'est ce que l'aquaculture ? La question peut sembler triviale ; elle cesse de l'être dès que l'on tente d'en cerner les contours dans l'imposante littérature qu'elle a suscité. La notion même d'aquaculture évolue dans le temps, les diverses acceptions renvoyant à des écoles de pensées, à des philosophies différentes. Quel est le passé de l'aquaculture ? Comment s'est-il construit et avec qui ? Telles sont les questions préalables qui permettront peut-être de séparer les tendances de développement d'une activité nouvelle des mouvements browniens qui l'ont agitée.

Répondre à ces questions impliquait également de rendre compte de l'évolution de l'aquaculture nouvelle en tant que concept, en tant qu'activité de recherche, en tant qu'activité économique. Ceci n'étant possible qu'en séparant les résultats et analyses scientifiques des discours

historisants et/ou sociologisants dans lesquels ils sont le plus souvent enchassés.

Notre thèse est qu'il n'existe pas d'aquaculture "nouvelle" qui s'opposerait à l'aquaculture "traditionnelle", mais une même activité aquacole dont la diversité des mises en oeuvre témoigne d'une différence de forme et non de nature : plus ou moins grande dépendance par rapport aux capacités biotiques du milieu, plus ou moins large contrôle des phases du cycle biologique. Ces sont ces critères (et les espèces élevées) qui différencient plus sûrement les types d'aquaculture que leur supposé caractère de nouveauté ou de tradition. Cette dualité erronnée s'est pourtant traduite, historiquement, par la séparation des recherches entre organismes : l'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes (ISTPM) se consacrait à des recherches très appliquées en conchyliculture, venant en appui d'une profession très structurée depuis de nombreuses années ; le Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO) avait développé une recherche de pointe sur les nouvelles formes d'aquaculture et suscitait des développements d'entreprises en s'impliquant directement dans le processus de production et/ou de commercialisation. Au delà des réelles divergences thématiques, ces deux types de recherches traduisaient l'affrontement de deux logiques scientifiques et de deux logiques sociales de l'approche scientifique.

Cette conviction qu'il n'existe que des formes différentes d'une même activité aquacole repose sur une

analyse plus globale des systèmes d'exploitation des ressources renouvelables marines.

L'exploitation des ressources marines vivantes a essentiellement deux composantes: une activité de simple cueillette, la pêche sous toutes ses formes, et une activité de culture marine qui revêt des aspects très différents selon son degré de sophistication. Ces deux composantes ont des caractéristiques communes tant au plan biologique qu'au plan économique: toutes les deux sont des activités économiques basées sur l'exploitation de ressources naturelles renouvelables; toutes les deux utilisent, à des degrés divers, la productivité naturelle du milieu aquatique. L'état d'avancement des travaux économiques est assez inégal pour ces deux secteurs: de nombreuses analyses économiques théoriques et appliquées ont été menées sur la pêche maritime, permettant l'émergence d'un véritable sous-ensemble de l'économie des ressources naturelles (dans la réalité, son degré d'avancement la place souvent en position de leader en la matière). Les travaux économiques menés sur les cultures marines n'ont ni cette homogénéïté, ni ce degré d'avancement, malgré les questions importantes qui sont en jeu (aménagement du littoral, développement des productions). Ces travaux procèdent généralement à partir de deux types d'approche: une approche agricole ou une approche halieutique, c'est à dire que pour étudier les enjeux de l'aquaculture, on commence par lui retirer sa spécificité en utilisant a priori une approche exogène au secteur. Un certain nombre d'éléments permettent de penser que les cultures marines ont des caractéristiques propres, même si

certaines techniques mises au point dans d'autres secteurs peuvent lui être appliquées :

(1) les cultures marines sont très largement dépendantes de l'écosystème et de son environnement, ce qui les rapproche des activités d'exploitation d'autres ressources renouvelables (forêt, pêche) ;

(2) elles entrent en compétition avec d'autres activités, soit directement au niveau de l'utilisation du littoral, soit indirectement par l'utilisation concurrentielle du milieu. A cet égard, l'aquaculture marine se trouve désavantagée par sa position littorale , c'est-à-dire en aval de toutes les activités utilisatrices d'eau ou exerçant une action négative sur la qualité des eaux ;

(3) les externalités biologiques et économiques de production rapprochent les cultures marines de la pêche. Elles sont néammoins différentes en ce sens où les externalités économiques de l'aquaculture ont une double expression, à la fois générale au niveau de l'ensemble des entreprises, et individuelle au niveau de chacune d'entre elles ;

(4) les déterminants exogènes à l'activité aquacole sont dominants. En particulier, il faut souligner la dépendance des cultures marines vis-à-vis de l'Etat, au travers du caractère souvent publique du foncier aquacole.

Ces spécificités, loin d'interdire toute utilisation de méthodes développées par ailleurs, soulignent l'importance de la mise en place d'un programme de recherche à long terme

en économie des cultures marines, alors que la contingence historique n'appelait que des questions en terme de choix de type de recherche et/ou de développement.

Cette analyse de l'inicité et de l'originalité de l'aquaculture implique qu'il devrait être possible d'élaborer des outils analytiques et prospectifs spécifiques (simulation, optimisation) utilisables pour toutes les formes d'aquaculture.

La première partie du document est consacrée à l'étude du développement des nouvelles formes d'aquaculture afin de tenter de comprendre la faiblesse des résultats. Pour cela, il fallait, à travers une analyse historique du développement de la recherche, "exorciser", les discours sur la recherche et de la recherche en les recadrant dans leurs contextes politique, économique et théorique. Pour en mesurer l'impact réel. Les conclusions sont beaucoup plus nuancées que celles des différentes analyses examinées :

- l'échec de l'aquaculture nouvelle n'est que relatif au discours qui l'a supporté. Malgré les résultats des travaux de BENGUIGUI et CHAVE (1985), il n'est pas vraiment possible de pointer un doigt accusateur vers tel ou tel partenaire du développement ;

- la faisabilité technique a été largement démontrée, et continue à l'être par l'intermédiaire des formes de démonstration. La faisabilité économique ne constitue pas vraiment une gageure même si des problèmes

commerciaux peuvent, çà et là, rendre hypothétiques une croissance normale des entreprises ;

- la faiblesse du nombre de survivantes parmi les entreprises créées et les conditions même de leur survie montrent que c'est de l'incertitude sur les résultats et les risques de production que viennent la plupart des échecs.

Les conditions techniques, économiques et financières du développement des entreprises apparaissent comme les principaux déterminants du développement de l'aquaculture. La deuxième partie du document est ainsi consacrée à l'élaboration d'un outil d'aide à la décision d'investissement, permettent de tracer divers scénarii et de les soumettre à des contraintes variables. Dans un premier temps, une revue des différentes méthodes et approches économiques usuelles est présentée. Aucune de ces approches n'a jamais été vraiment mise en oeuvre dans le cadre d'un projet ou une entreprise aquacole en France, mais des exemples existent, dans les travaux conduits aux Etats-Unis essentiellement.

Ces méthodes, statiques ou dynamiques, ne permettent pas de répondre à la question sur les déterminants de l'entreprise aquacole. Si la faisabilité technique est prouvée et si la faisabilité économique est réelle, tous les modèles montreront à l'évidence qu'il est possible de trouver des conditions dans lesquelles l'entreprise se développe suivant un profil optimal et les résultats concerneront plus les modalités d'une croissance plus ou moins importante ou rapide que les conditions nécessaires à

la mise en place et au développement de l'entreprise. En d'autres termes, on se situe plus dans le cadre d'une modification des conditions d'exploitation et de leur impact sur la trajectoire optimale de l'entreprise (modèles dynamiques) ou sur la répartition des activités (modèles statiques) que dans le cadre de l'aide à la décision d'investissement.

Ainsi, si les réticences à l'investissement ne sont ni d'ordre technique, ni d'ordre comptable, c'est plutôt dans les possibilités de ne pas se situer dans les conditions optimales que doit se situer la clef du problème. Il nous est alors apparu nécessaire de construire des modèles d'entreprises qui puissent intégrer des possibilités de conditions suboptimales ou catastrophiques et de calculer leur impact sur la décision d'investissement. L'existence d'investisseurs non familiarisés avec les aléas des systèmes de production primaires renforçait ce besoin. Il fallait intégrer à la fois le risque, lié à des aléas non contrôlables (climat par exemple), l'incertitude, liée à l'imprécision de certains paramètres contrôlables et enfin les imperfections du marché qui semblaient importantes dans le cas de certaines productions. La construction d'un modèle dynamique théorique de Programmation Linéaire est explicitée dans un deuxième temps. Il s'agit d'un modèle général d'aide à la décision, réalisé pour être adaptable au plus grand nombre de situations possibles. L'objectif est de mettre en évidence l'impact de chaque variable de décision sur les résultats de l'entreprise, ceux-ci étant mesurés non pas par le profit annuel généré mais par les conditions financières

dans lesquelles elle évolue. On se place ici délibérément dans le cadre de la théorie de l'investissement (FISCHER, 1965) : lorsqu'un actif peut être utilisé de différente manière, il en résulte un choix entre différents flux de revenus ; l'investissement est la décision qui résulte de ce choix. Par commodité pour la formalisation, on interpréte la théorie de l'investissement dans l'optique d'un accroissement du stock de capital à l'issue d'une activité étalée sur plusieurs périodes.

I. LA RECHERCHE EN AQUACULTURE NOUVELLE

Le développement des recherches sur l"aquaculture nouvelle" repose sur une série d'hypothèses, implicites ou explicites, dont découlent les définitions de l'aquaculture et les objectifs qui lui sont assignés.

La plus répandue oppose la prédation à la production. La pêche et la conchyliculture, prélevant des animaux dans le milieu sans apport de nourriture, relevèrent, à en croire les discours dominants, de la prédation. Il s'en suivrait une faible productivité, et de faibles marges de croissance. Ce seraient des activités "traditionnelles", techniquement peu évoluées.

Par opposition, l'aquaculture "nouvelle" se proposant d'amender le milieu, de le contrôler, apparaît, au fil des publications, comme une activité de production "moderne", à haute technicité,susceptible -à terme- d'accroître fortement sa productivité.

Ainsi identifiées comme des activités de prédation, à faible productivité, pêche et conchyliculture sont assimilables à la chasse et la cueillette.

Et, l'"aquaculture nouvelle" étant définie par opposition, elle est supposée productive, technicisée, et, toujours par opposition, assimilable à l'agriculture. Ce passage à l'aquaculture apparaît ainsi analogue à la révolution néolithique qui permit le passage à l'agriculture.

Ainsi se présente le mythe, défini comme tel parce

qu'il se forme pour "dire quelque chose à quelqu'un", "parce qu'il manipule l'histoire pour énoncer un avenir" (LEVI-STRAUSS, 1955 et 1958). Parce qu'il entend moins démontrer que convaincre de la validité du projet qu'il énonce. LA PRAIRIE écrit : "(...) c'est de l'aquaculture que viendra la véritable révolution, prolongeant la terre des hommes par des fermes d'élevage sous-marines, dont le rendement à l'hectare surprendra plus d'un sceptique" (LA PRAIRIE, 1969).

L'histoire de l'aquaculture montre qu'elle a été portée par un volontarisme étatique (BENGUIGUI et CHAVE, 1985). Dans un domaine à créer, en l'absence d'une profession constituée, le mythe ne peut parler qu'à l'Etat, fût-ce à travers les médias. Les scientifiques se sont insérés dans un système ternaire avec la "profession" et l'administration. Usant du procédé d'analogie critiqué précédemment, nous avancerons que les scientifiques ont joué un rôle analogue à celui des religieux dans la féodalité, aux côtés des paysans (les professionnels) et des soldats (l'administration) : à la fois producteurs d'un mythe et défricheurs, ils ont fait vivre "l'imaginaire aquacole" (DUBY, 1982).

Constater que le développement des recherches en "aquaculture nouvelle" s'établit à partir d'un mythe fondateur ne signifie nullement que la recherche aquacole soit "mythique", au sens commun du terme. En faire le constat et l'analyse nous paraît indispensable pour comprendre quelles questions, à un moment donné, se posent

les chercheurs, et pourquoi ils se les posent à défaut d'autres.

Notre objet de recherche se limite strictement aux conditions dans lesquelles la recherche en aquaculture "nouvelle" s'est mise en place et développée. Ce n'est pas une étude, encore moins un bilan de l'aquaculture. On n'y trouve donc pas de comparaison avec l'aquaculture extensive (conchyliculture), sauf quand cela s'avérait nécessaire pour éclairer la recherche en aquaculture "nouvelle". Il semble que le volontarisme étatique ait joué historiquement pour la conchyliculture comme il a joué par la suite pour l'aquaculture "nouvelle", mais en étant relayé par des membres de professions libérales (COSTE, 1861). Mais la comparaison reste à faire entre les conditions de développement de l'une et l'autre formes d'aquaculture.

Parce que notre objet se limite à la recherche, la profession, et les rapports qu'elle a entretenu avec la recherche, est absente. Cet historique de l'activité professionnelle, de ses rapports avec l'Etat et la recherche, esquissé par BENGUIGUI et CHAVE (1985), reste à faire . Nous avons, là encore, limité notre analyse aux regards portés par les scientifiques sur les professionnels, à travers les débats sur la possibilité du passage de la pêche à l'aquaculture où la nécessité d'un haut degré technicité.

I.1. ENJEUX ET RECHERCHE

I.1.1. METHODOLOGIE

Le développement de l'aquaculture en France, tel qu'on peut le percevoir à travers les rapports et articles émanant soit des scientifiques, soit des professionnels, pose le problème de la recherche d'un triple équilibre entre trois systèmes (PASSET,1979) :

- un système "technique" où l'équilibre s'établit entre les caractéristiques écologiques (au sens large) des espèces visées et les conditions techniques de leur élevage ;
- un système "économique" où s'établit un équilibre de marché entre des variables de coût et de prix ;
- un système "social" confrontant les activités aquacoles et les activités complémentaires et/ou concurrentes.

L'ensemble des variables économiques et sociales (prix, quantités, emplois, investissements, etc...) et l'ensemble des actions sur ces variables (politiques, régulation des marchés, aménagement...) ont des impacts divers sur chacun de ces trois systèmes et sur leurs relations. Il va de soi qu'aucun des équilibres au sein de ces systèmes (et entre eux) ne s'établit sans impact sur les autres, même si chacun d'entre eux subit les comportements d'acteurs dont les objectifs sont divergents. La recherche s'est penchée, plus ou moins intensément et avec plus ou moins de succès sur l'analyse des modes de fonctionnement de ces systèmes. Si elle a connu des difficultés qui ne permettent pas aujourd'hui, après plus de quinze années de recherches

multiformes, de constater le développement d'une activité économique autonome, c'est en partie parce que, dépourvue d'objectifs, elle a dû elle-même s'en fixer. Or, il appartient au niveau politique de définir quel est -ou quels sont- les objectifs poursuivis dans la recherche de l'harmonisation des différents équilibres. Chaque système trouve toujours au moins une solution d'équilibre. Le niveau auquel se fera l'équilibre dépendra de(s) l'objectif(s) recherché(s). Les biologistes, investis de la charge de la recherche aquacole, ont déterminé leurs propres objectifs ; et force est de reconnaître que, la plupart du temps, ces objectifs ont été atteints : maximisation du rendement pondéral, minimisation du coefficient de transformation, etc.. Pour autant, ces objectifs ne sont pas forcément ni nécessaires, ni suffisants au développement d'activité pérennes. D'autres peuvent être énoncés, qui sont pour partie complémentaires et pour partie contradictoires avec les objectifs des biologistes : maximisation de la valeur ajoutée nette produite ou des profits générés, maximisation des intérêts des consommateurs, préservation de l'environnement, création d'emplois, maximisation des effets induits en amont et en aval, etc.. Chacun de ces objectifs peut se combiner ou s'opposer aux autres puisqu'ils sont largement interdépendants. Ainsi, SHEPHERD (1974) cite les contradictions de la trutticulture danoise en mer : le coefficient de conversion de 5 pour 1 le fait apparaître comme particulièrement "inefficace" aux yeux des biologistes; pourtant, les économistes soulignent la très forte valeur ajoutée produite en raison du faible coût des

aliments et du prix de marché très élevé.

Il s'agit bien de trois systèmes, définis comme un ensemble de relations entre des éléments, doté de lois de transformation.

Le premier est constitué essentiellement à partir des données physiques de production. Il s'agit d'abord de connaître les lois écologiques (biologie, physiologie, éthologie, etc.) qui régissent la croissance des animaux et en fonction de ces lois de déterminer les technologies (techniques, savoir-faire...) qui permettent leur réalisation. Interviennent alors les variables de productivité physique, les liens biomasse-technologie, etc.. Pour l'analyse de ce système, la phase de recherche est indispensable, même si des phénomènes de modes ont contribué à la mettre au banc des accusés.

Le deuxième conditionne la pérennité des entreprises et concerne surtout la valorisation de la production. C'est affirmer que l'aquaculture est une activité économique, qui doit créer de la richesse (valeur ajoutée). Ce système doit s'articuler avec le précédent parce qu'il conditionnera un ou plusieurs choix parmi le champ des possibles. Ses déterminants sont de plusieurs ordres, pas toujours appréciables et souvent méconnus :

- éléments de coûts des facteurs ;
- éléments de commercialisation : prix, quantités, types de consommation, circuits de commercialisation, marges ;
- éléments d'une éventuelle transformation ayant pour

conséquence la production d'une valeur ajoutée supplémentaire (fumage, par exemple) ;

- éléments relatifs à la consommation : substitutions, élasticités.

Les éléments du troisième système sont les plus difficiles à cerner dans l'état actuel des choses. Le développement de l'aquaculture se fait en "terrain occupé" (PLASSARD et RENE, 1981). Il s'agit alors de connaître la hiérarchie des opportunités des différentes activités existantes ou nouvelles (pêche, tourisme, agriculture). Cet équilibre doit se réaliser simultanément avec les deux premiers puisque, des disponibilités dégagées par l'organisation de l'environnement économique découleront des choix modifiant les déterminants des objectifs retenus.

L'établissement de ces équilibres et leur harmonisation ne peut se faire qu'au travers de décisions technico-politiques. La recherche -et en particulier l'économie- ne trouve sa justification qu'en tant qu'élément d'aide dans le processus de décision. Les différentes "évaluations" de l'aquaculture et de la recherche en aquaculture (Colloque de La Rochelle, décembre 1981 ; Colloque de Montpellier, 1982 ; Colloque de Brest, 1982, Comité Economique et Social, 1981 ; Commission d'Evaluation de l'Aquaculture, 1982 et 1984 ; CNEXO-ISTPM, 1983) ont généralement buté sur la confusion existant entre recherche et développement aquacoles.

Il nous faut donc, dans notre démarche, tenter de nous affranchir de cette ambiguïté. Dans le cadre d'une analyse économique, le "dénominateur commun" entre toutes les

données est constitué par l'expression en valeur (prix et quantités) de toutes ces données. Malheureusement, dans certains cas, l'interprétation de cette expression sera sujette à caution dans la mesure où elle dépendra largement d'hypothèses subjectives que l'on se donne (par exemple, une référence théorique). D'autre part, l'expression en valeur de certaines données d'ordre essentiellement qualitatives relève, pour l'heure, du domaine de l'utopie, voire de l'impossibilité. Toute décision prenant en compte l'ensemble des déterminants impliquera forcément l'adhésion à un système de valeurs subjectives qui risque de nous confronter de nouveau à l'interface recherche-développement. Cette confusion a fini par conférer un caractère mythique à l'aquaculture en France : panacée uiverselle de tous les maux du système de pêche (réduction du déficit commercial, création d'emplois, etc.) le terme aquaculture revêt (souvent de manière très lyrique) des vertus incantatoires : "(...) c'est de l'aquaculture que viendra la véritable révolution, prolongeant la terre des hommes par des fermes d'élevage sous-marines " (LA PRAIRIE, 1969). Il s'agit bien d'un mythe dans la mesure où cette perception du phénomène conditionne le devenir de l'aquaculture : il faut justifier, par des réalisations, les espoirs suscités.

La première partie de ce chapitre tente ainsi de montrer et de comprendre l'apparition de ce mythe, au travers d'une bibliographie très large (mais non exhaustive) des travaux réalisés dans une période récente (plus de 250 rapports et articles publiés entre 1978 et 1984). Les

auteurs sont indifféremment des scientifiques, des professionnels ou des cadres administratifs.

La deuxième partie s'attache à confronter le mythe à la réalité. Cette confrontation n'a pas seulement pour but de comparer les discours aux faits mais également de replacer la recherche française dans son cadre économique. Nous verrons qu'il existe un certain nombre d'acquis majeurs à mettre à l'actif de la recherche aquacole, même si les réalisations restent, pour le moment, marginales. Il faut toutefois souligner que les choix à venir ne doivent pas reposer sur l'existence d'acquis, même importants, mais sur les potientialités de chaque filière à connaître un développement économique à terme(s).

I.1.2. LES ENJEUX DE LA RECHERCHE

L'évaluation portant plus spécialement sur la recherche en aquaculture nouvelle en France, nous nous sommes d'abord intéressés à la littérature française spécialisée et nous ne ferons référence à des publications étrangères que pour mieux situer l'approche nationale dans l'environnement général.

I.1.2.1. L'objet

Les définitions données par chaque auteur au terme aquaculture laissent apparaître des différences notables qui expliquent pour partie des démarches divergentes :

- la définition donnée détermine implicitement le champ d'analyse ; ainsi, bon nombre de définitions font référence à la production alimentaire (QUERELLOU, 1981) ou de

protéines (HJUL, 1976). L'éclairage donné dans ce cas concerne surtout les aspects nutritionnels ou de disponibilités alimentaires ;

- elle détermine également l'approche du ou des auteurs. Les aspects alimentaires peuvent être par exemple envisagés dans une optique mondialiste (KINNE, 1980 : auto-approvisionnement des populations) ou au contraire en vue de produire des aliments à haute valeur commerciale (HJUL, 1976) ;

- enfin l'objet d'étude est naturellement précisé par la définition. La bataille sémantique en la matière a été relativement limitée et l'usage a consacré des conventions (1). La première distinction oppose la pisciculture qui relève de l'eau douce (2) à l'aquaculture qui concerne plutôt ce qui a trait à l'espace littoral ou marin (eaux saumâtres et salées). L'appellation mariculture (surtout utilisée par les auteurs anglo-saxons) n'apparaît qu'épisodiquement chez les auteurs français. Pour éviter toute confusion, les travaux les plus spécifiques font largement appel à des définitions basées sur les noms de genre (3).

S'il n'y a pas synonymie entre les différents termes dans l'esprit de leurs utilisateurs, il apparaît au moins

---

(1) encore que MAURIN, en 1974, assurait que "l'aquaculture n'existe pas. Seul le vocable aquiculture a été défini".

(2) MICHA (1981) prétend que le seul terme exact serait celui de limniculture.

(3) le Pr. ROCHE, un des premiers scientifiques français ayant <u>écrit</u> sur l'élevage des poissons (1898) définissait ainsi : la gadiculture, la scombriculture et la rhombiculture.

une notion commune (de façon généralement peu explicite) : il est question d'intervenir dans le processus naturel de production. Les divergences commencent à apparaître à propos des niveaux et des moyens d'intervention. Elles s'aggravent quant à la nature des bénéfices qu'il est question d'en retirer (biologiques, économiques, sociaux, techniques, voire politiques). Quant à la répartition de ces bénéfices elle n'est abordée qu'au coup par coup.

Cette première terminologie permet seulement de limiter un ensemble très vaste d'activités. Les spécialistes des différentes disciplines l'ont découpé selon leurs propres objectifs. Le vocabulaire de base s'est alors modifié, ou enrichi par des qualificatifs qui lui sont accolé :

- botaniste et zoologiste utilisent un découpage systématique, distinguant l'algoculture de la pisciculture et au sein de celle-ci la trutticulture de la carpiculture (ROCHE, 1898 ; ROULE , 1914) ;
- basant son découpage sur les écosystèmes et les milieux, l'écologiste dissocie l'aquaculture d'eau douce de celle d'eau saumâtre ; l'aquaculture en zone tropicale de l'aquaculture sous latitude tempérée. S'il s'intéresse aux contraintes de mode de vie des espèces (fixes, mobiles, profondes, etc.) il rejoint les préoccupations des technologues : l'ostréiculture en eaux profondes se différencie de l'ostréiculture sur l'estran ;
- le nutritionniste se réfère plutôt aux modes d'alimentation des espèces concernées et distingue l'élevage d'herbivores de celui de détritivores ou de carnivores ;

- gestionnaire et financier quant à eux s'intéressent surtout aux interventions humaines et à leurs finalités ; leur découpage fait apparaître l'aquaculture de repeuplement, l'aquaculture intégrée, etc.

Les objectifs divergents (mais superposables) des différentes disciplines ont fait ainsi apparaitre un certain nombre de couples contraires dont l'usage a, plus ou moins, consacré la signification.

Il n'y a sans doute pas d'ambiguïté entre l'aquaculture littorale et l'aquaculture en mer ouverte. Mais d'autres oppositions prêtent plus à confusion :

- l'usage a admis que l'aquaculture intensive se rapporte à une activité produisant des tonnages importants dans un volume minimal, par opposition aux opérations extensives pour lesquels les rendements par unité d'espace sont faibles. Or les critères d'intensification sont nombreux et d'autres auraient pu être choisis, ce qui témoigne non pas d'une erreur de raisonnement mais de la fascination générale pour les performances pondérales (LA PRAIRIE, 1977). L'ambiguïté réside dans la définition admise pour le terme d'"intensification" : utilisé largement en agriculture (où l'intensif, par exemple, qualifie souvent l'élevage hors-sol ou les cultures à hauts rendements), il permet surtout de définir des catégories d'activité au sein desquelles les fonctions de prodution sont homogènes. En matière d'aquaculture, la distinction intensif-extensif ne permet en définitive qu'une qualification du degré d'intervention de l'homme dans le cycle de production. La

multiplicité des terminologies d'origine agricole et des références à l'agriculture est une conséquence directe de la présence des agronomes dans le secteur de l'aquaculture ;

- en France, l'opposition artificielle entre une aquaculture dite traditionnelle (ostréiculture, mytiliculture) et une aquaculture dite nouvelle a sans doute généré des conflits stériles, mais a surtout masqué les capacités d'innovation de la première (BONNET et al, 1983). Cette opposition est d'ailleurs non fondée puisqu'elle compare une activité économique existante, basée sur les résultats empiriques de plusieurs siècles, que la recherche accompagne, à une activité potentielle que la recherche essaye de susciter depuis moins de vingt ans (1) ;

- on pourrait multiplier l'analyse des couples contraires. Ils apparaissent dans la plupart des ouvrages, sans qu'aucune définition consensuelle ne soit jamais formulée. L'opposition peut être présentée comme absolue : traditionnelle / nouvelle; tropicale / tempérée; commerciale/d'autosuffisance; de production / de transformation ; ou bien faire appel à des termes de passage: extensive/semi-intensive par exemple dont le sens et l'emploi dépendent en grande partie de l'optimisme de l'observateur.

La diversité des approches, des méthodologies et des techniques utilisées, contingentes à l'objet d'analyse, aux auteurs et aux objectifs aboutit ainsi à faire de l'aquaculture une véritable auberge espagnole et a

---

(1) Si une concurrence doit se faire jour, ce serait plutôt en termes de main-d'oeuvre ou de foncier.

finalement conduit les auteurs à marquer leurs définitions aux coins de leur propre vision du développement de l'aquaculture. Chacun, dans ce brouillard sémantique, a tenu à signaler par quels moyens l'homme pouvait intervenir et éventuellement quels bénéfices pouvaient être attendus : les définitions se subordonnent aux enjeux.

I.1.2.2. Les enjeux

En 1914, Louis ROULE, pour faire suite aux travaux de ROCHE (1898), crée le terme de "piscifacture" qu'il définit comme "l'ensemble des opérations qui ont pour objet l'élevage des poissons, depuis la fécondation jusqu'à l'alevinage.Ces opérations sont les premières de toute pisciculture. Prolongées et poursuivies le cas échéant jusqu'à l'âge adulte, elles constitueraient un élevage complet. Interrompues dès l'alevinage, elles servent à préparer un abondant fretin, que l'on tient à sa disposition, que l'on a en bassins clos et dont on estime parfois que l'on peut user pour augmenter le repeuplement naturel (...) comme l'on fait des graines pour l'ensemencement d'un champ. On sèmerait du poisson comme on sème du grain pour obtenir une récolte ou pour accroître celle qui existe déjà". (ROULE, 1914, p.368). Il ne fait manifestement aucun doute pour ROULE que l'élevage des poissons connaisse dans un proche avenir le même développement que l'agriculture. Le positivisme du début du siècle et les premiers effets de la révolution agricole imprègnent les chercheurs. En 1917, sur la côte est des Etats-Unis, on produisait déjà plus de quatre milliards d'oeufs et de larves de poissons (LAUBIER, 1975). Le progrès

technique est supposé résoudre les différents problèmes rencontrés pour prolonger l'élevage jusqu'à l'âge adulte.

Plus que le simple reflet des schémas de pensée de cette époque, cette citation de ROULE atteste que le passage d'un mode de production du type cueillette à l'élevage est considéré comme un simple problème technique. Jusqu'à ces dernières années, la plupart des auteurs estime qu'il s'agit là d'un postulat et qu'il n'y a pas de solution de continuité entre le simple parcage de poissons ou crustacés avant leur consommation et les formes primitives d'aquaculture. En 1981, QUERELLOU définit l'aquaculture comme " la modification ou la création, dans le but d'une production principalement alimentaire, d'un éco-système aquatique par la mise en oeuvre de techniques culturales" (QUERELLOU, 1977;1981). Cette linéarité supposée trouve ses fondements dans le parallélisme historique avec l'agriculture (DOUMENGE 1977, QUERELLOU 1977, ARRIGNON, 1982). Axe principal des justifications de l'aquaculture, ce parallèlisme résulte en grande partie de la présence très large des agronomes dans le secteur, et en particulier dans la recherche appliquée. Certains auteurs, arguant de l'apparition de l'agriculture au néolithique considèrent que le développement de l'aquaculture est inévitable. Or, à supposer que cette linéarité existe au plan technique (ce qui n'apparaît pas véritablement évident), ce que les archéologues mettent en évidence est surtout la rupture sociale due à un changement de mode de production (HIGGS 1976). En ce sens, les tentatives récentes de développement de l'aquaculture sont à la fois témoins et causes de

profonds bouleversements sociaux et économiques au sein des communautés littorales. La réussite de la Norvège résulte sans doute autant de ses avantages naturels que de la prise en compte de ces changements, au travers d'une législation sociale propre à l'aquaculture (BJORNDHAL, 1986).

La linéarité historique, réelle ou supposée, implique que l'aquaculture demeure une activité réservée aux marins pêcheurs ou pour le moins aux communautés littorales. "En milieu ouvert, l'aquaculture resterait fondamentalement proche de la pêche" (TROADEC 1984) et c'est ce qui expliquerait qu'elle soit revendiqués -sinon pratiquée- prioritairement par les marins pêcheurs (GANS 1980). Faire une comparaison avec la pêche, c'est en réalité discuter sur les moyens dont on dispose pour agir sur le cycle d'élevage dans le cadre de ce que l'on convient d'appeler aquaculture. Dans ce domaine encore les opinions divergent. Dans sa définition Y. LA PRAIRIE réduit considérablement ces moyens. "(...) c'est l'ensemble des procédés et des techniques qui permettent de réaliser l'élevage d'animaux marins ou la culture des végétaux marins, le contrôle de l'homme s'étendant aux différentes phases du cycle de production" (LA PRAIRIE 1977) (1). Il est très clair que c'est bien l'homme qui mène l'affaire, contrôle et intervient. Ni les habitats artificiels -non entièrement contrôlables- ni le réensemencement -à fonds perdus- ni même les viviers réservoirs -trop aléatoires- ne relèvent de l'aquaculture

(1) cette opinion de l'ancien Président-Directeur général du CNEXO s'est largement répercutée dans les choix des programmes de recherche et sur les options de développement

(ROUZAUD 1978). Rien de ce qui n'est absolument contrôlable ne peut relever de cette définition de l'aquaculture. "On ne contrôle bien que ce l'on connaît bien" (LE NOAN 1974) : cette nécessité explique en grande partie la prédominance, dans les programmes du CNEXO, des disciplines fondamentales (1). Cette conception a très largement dominé pendant la première moitié des années 1970. A la conférence de Tokyo en 1976, T.J. CRACKNELL considère que l'aquaculture est essentiellement une activité d'élevage et non un prolongement de la capture des poissons (CRACKNELL 1976). Ces différents discours ont entraîné des différences dans les activités de développement; de cette vision découle pour partie la querelle autour de la question: l'aquaculture pour qui et avec qui ? L'approche techniciste a pour corollaire l'implication d'hommes et d'entreprises capables d'acquérir et de maîtriser les techniques (nécessité de formations de niveau élevé, volant financier important...). Les premiers transferts du CNEXO ont du reste été dirigés vers des firmes privées importantes (Compagnie Générale Transatlantique, Salins du Midi) entraînant des échecs d'autant plus retentissants. Pour le CNEXO, il semblait clair que les pêcheurs devraient participer, mais en tant que personnels qualifiés, avertis des choses de la mer. Les syndicats des producteurs, en particulier la CFDT, revendiquaient eux la prise en charge complète de l'aquaculture par le monde de la pêche.

---

(1) ce c'est pas spécifique au CNEXO ; les séquences de recherche dans les autres pays sont la plupart du temps identiques en matière d'aquaculture contrôlée

Plus nuancé, LAUBIER (1975) ne parle pas de contrôle mais considère qu'"il y a aquaculture dès lors qu'il existe une intervention humaine au moins (habituellement plusieurs) au cours du cycle biologique de l'espèce considérée, intervention distincte de l'opération de pêche ou de récolte, donc bien antérieure à la mort de l'organisme". Il préfigure en cela un courant de pensée actuel qui, de nouveau, tend à considérer que le passage de la pêche à l'aquaculture se fait progressivement par résolutions successives des blocages techniques (TROADEC 1984). Cette conception rejoint l'idée générale selon laquelle l'homme doit substituer à la pêche maritime des formes d'exploitation de la productivité naturelle plus proches de la culture et fournit ainsi un argument théorique au développement de l'effort de recherche en aquaculture. Cette similitude des comportements en milieu terrestre et en milieu marin est simpliste, mais elle a sans doute contribué à sous-estimer les difficultés technologiques, économiques et sociales liées à sa mise en oeuvre. Les déterminants de cette conception proviennent la plupart du temps de deux analyses :

- l'ancienneté de certaines formes d'aquaculture tend à "prouver" que les tentatives de maîtrise de cette activité sont justifiées. Des vestiges d'installations montrent l'existence de cette activité en Asie -Chine, Japon- dès la protohistoire ; sur le pourtour du bassin méditerranéen, l'aquaculture apparaît dès les premiers siècles de l'ère chrétienne. Par ailleurs, même si la conchyliculture est considérée comme un secteur un peu vieillot, son ancienneté

et sa réussite en France "confirment" la validité des hypothèses émises sur l'évolution générale de l'aquaculture (d'autant plus que la disparition des bancs naturels d'huîtres a entraîné la quasi disparition de toute activité de pêche) :

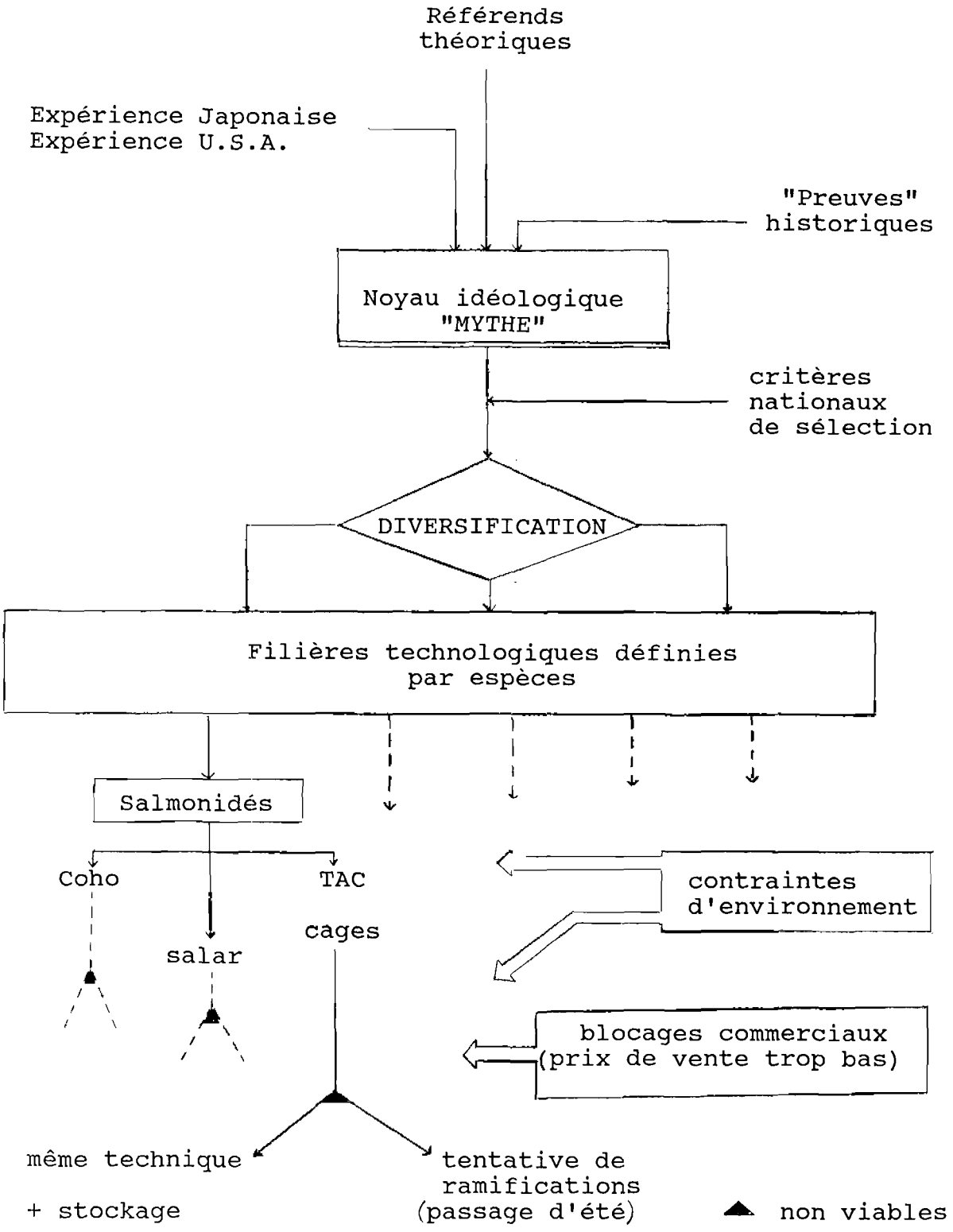
- la comparaison avec des réalisations étrangères conduit à penser, comme chacun doit en être persuadé, que si cela est possible ailleurs, ce doit l'être en France. L'exemple japonais (et dans une moindre mesure la surestimation des résultats nord-américains) a servi -et sert encore- de phare à l'aquaculture française. Les différences de résultats ne reflètent, dans cette conception, au plus qu'un retard.

Cette vision est à l'origine de l'organisation de la recherche en aquaculture dite nouvelle au sein du CNEXO dès le début des années 1970. A partir d'expériences étrangères et compte tenu de la justification historique, s'est constitué un noyau idéologique. Les critères de sélection propres à la France ont alors permis de dégager des stratégies de diversification tendant vers une vision "mythique" de l'aquaculture. Cette diversification a été mise en oeuvre au sein de filières technologiques et/ou de produits. Objet de la biologie, la recherche en aquaculture s'est développée, au sein de chacune des filières, selon un processus quasi darwinien en ce sens qu'il n'y a pas eu de déterminisme mais bien adaptation à des contraintes non maîtrisées. Ce qui diffère par rapport au mode d'évolution des organismes vivants c'est que les filières inadaptées ont

été maintenues -certaines ont même donné naissance à de nouvelles ramifications.

Les mutations (décisions de programme) survenues proviennent souvent d'informations sommaires ou incomplètes: des expériences réussies une année ne le sont plus par la suite. La maîtrise des facteurs, souvent trop temporaire, entraîne d'une part une relative surestimation de l'actif et d'autre part des agitations browniennes dans le choix des programmes (schéma 1).

Dire qu'il y a une relative surestimation de l'actif, c'est porter un jugement quelque peu subjectif sur les résultats de la recherche. Il est extrêmement délicat de juger et d'évaluer cet actif, d'autant qu'il procède pour la majeure partie de disciplines étrangères aux sciences humaines. On peut d'ailleurs imaginer qu'il n'y aurait pas de perte d'actif si toutes les expérimentations, mêmes celles qui se soldent par un échec, faisaient l'objet de rapports écrits indiquant avec précision au moins le protocole suivi. Un des moyens de juger cet actif est, par exemple, de déterminer la part des auteurs français dans les publications internationales relatives à l'aquaculture. La consultation de la banque de données Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts (ASFA) sur la période de janvier 1972-Novembre 1985 (ASFA a été créé fin 1971) présente 30 888 références d'article originaux parus sur le sujet parmi lesquels 2 979 articles émanent de scientifiques français de tous horizons (et également, mais de façon marginale, de professionnels), soit une proportion de 9,5 %. Il faut



SCHEMA 1 : PROCESSUS DE DEVELOPPEMENT DE LA RECHERCHE AQUACOLE

souligner qu'il s'agit là d'une proportion importante compte tenu du potentiel considérable de scientifiques existant aux Etats-Unis (JARRY 1981) et au Japon (QUERELLOU 1977). La répartition de ces publications entre les organismes (CNEXO, ISTPM, INRA, Universités, CNRS, etc...) n'a pas grande signification dans la mesure où elle témoigne plus de la politique de publication de chacun des organismes que des capacités à publier des scientifiques qui y travaillent. La répartition par disciplines montre la nette prédominance des sciences de la vie : physiologie de la reproduction : 13 %, nutrition : 15 %, pathologie : 15 %, physiologie de la croissance : 17 %. Cette répartition se retrouve quasiment à l'identique dans les publications françaises au sein desquelles les problèmes d'ingénierie et de technologie prennent de plus en plus d'importance : 4,1 % des articles de 1972 à 1978 mais 9,8 % pour la période 1978-1984. Les approches économiques de l'aquaculture restent peu nombreuses au niveau international : aucun article en 1972, 4,5 % en 1984 dont la majeure partie traîte des problèmes de coûts de production en milieu tropical. Parmi les articles français, très rares sont les approches économiques, même si beaucoup y font allusion d'une manière ou d'une autre.

L'aquaculture se voit assigner des objectifs (alimentaires, pondéraux, etc...) et de cette activité il est admis retirer des bénéfices de nature variée ; le mythe doit répondre à des enjeux.

I.1.2.3. Le mythe

Un certain nombre d'auteurs, dans des écrits souvent récents, décrivant les résultats de l'aquaculture, abandonnent toute référence aux moyens employés. P. HJUHL définit ainsi l'aquaculture comme une "méthode visant à produire des protéines marines de haute qualité, de plus en plus importantes dans l'économie alimentaire internationale" (HJUHL, 1976). La technique employée est moins déterminante que l'impact escompté sur l'environnement économique. En 1980, GANS indique, à propos de l'aquaculture nouvelle en France, qu'il s'agit "d'intensifier des processus biologiques à des fins économiques" (GANS 1980).

Ces objectifs, perspectives que l'aquaculture est supposée offrir, expliquent en grande partie l'intérêt marqué pour cette activité. Nous l'avons vu, les définitions données par les auteurs ne sont pas sans conséquences sur la démarche de recherche. Elles sont également riches des enjeux qu'elles sous-tendent, de par les théories -souvent multiples- auxquelles elles font référence. En règle générale, toutes intègrent un élément prospectif.

- Références à une philosophie de l'histoire (évolutionnisme) : Parmi les idées implicites véhiculées par le mythe du passage de la pêche vers l'aquaculture, les principales sont les suivantes, qui forment système :

. une certaine perception de la "révolution néolithique" ;

. l'idée que le plus performant en termes pondéraux succède nécessairement au moins performant ;

. l'idée d'une marche inéluctable vers le "progrès", évalué à l'aune de la technique et de la production pondérale.

Les travaux récents en archéologie et en anthropologie conduisent à fortement relativiser la vision que nous pouvions avoir de la "révolution néolithique". Celle-ci s'est effectuée sur plusieurs millénaires ; dans le cas du Mexique comme du Moyen-Orient, les plantes de cueillette dominent encore l'alimentation trois milles ans après l'apparition des premières cultures. Il n'y a donc pas eu révolution mais évolution (CRESSWELL, 1985).

Ces mêmes travaux rappellent que la productivité est la division de la production par la quantité de un ou de plusieurs des facteurs de production, et non la seule division de cette production par la surface cultivée ou le capital investi ; SAHLINS (1968), CRESSWELL (1985) et bien d'autres ont établi que les chasseurs-cueilleurs acquièrent leur subsistance avec moins de trois heures d'activité quotidienne. On est loin de la supposée précarité du mode de vie néolithique, de l'idée dominante d'individus obsédés par la quête de nourriture... : un système de production primaire n'est pas nécessairement plus productif parce qu'intensif ; il le sera par rapport aux surfaces, non par rapport au travail (BOSERUP, 1970 ; LEE et DEVORE, 1968).

Le contrôle du milieu n'implique pas nécessairement une plus grande productivité en soi. Par contre le coût du contrôle du milieu doit se justifier par l'existence d'une productivité supérieure.

On ne peut donc opposer production contrôlée dans les sociétés évoluées et absence de contrôle du milieu dans les sociétés de chasseurs-cueilleurs. La chasse-cueillette implique des espaces à faible densité de population et un mode d'existence nomade, mais non erratique. Les déplacements sont guidés par un souci de préservation des capacités reproductives du milieu, faune et flore. Ce même souci détermine les segmentations et le déplacement vers d'autres territoires de l'excès de population au regard du potentiel cynégétique. Les systèmes de prédation ne sont donc pas exclusifs d'une gestion du milieu exploité (SAHLINS, 1972 ; MEILLASSOUX, 1967 ; HIGGS, 1972).

Il est par contre certain qu'aux systèmes de chasse et cueillette correspondent des systèmes sociaux basés sur la réciprocité, l'absence d'inégalités, l'absence de pouvoir bien défini (TURNBULL, 1961). Par contre, les sociétés de pêcheurs offrent une large gamme de systèmes socio-politiques, allant jusqu'au royaume. C'est que le poisson se conserve, s'échange, circule (FORTES et EVANS-PRITCHARD, 1964).

Le passage de la cueillette à l'agriculture, autant qu'une évolution technique, est une évolution sociale. Elle accompagne le passage d'un système de production immédiat à un système de production différée. En système de chasse-cueillette, la coopération se dissout dès que le but est atteint, par exemple la coopération entre filets pour une chasse (TURNBULL, 1961 ; MEILLASSOUX, 1967). Les groupes

peuvent être instables se faisant et se défaisant. En système agricole même rudimentaire, le groupe de coopération (le segment de lignage le plus souvent) consent des avances en travail dont le produit ne viendra qu'à l'échéance du cycle agricole, conduisant par là à une plus grande stabilité des groupes, à une reproduction dans le temps de la coopération.

Les travaux des anthropologues comme des historiens amènent également à se méfier de l'idée d'une marche inéluctable de l'humanité vers le "progrès" entendu comme un accroissement indéfini des biens matériels. Pour ceux la, les sociétés industrielles seraient un épiphénomène historique, concernant un sixième de l'humanité en cette fin de siècle de technologie triomphante. Ces sociétés condamnées à la croissance s'opposent à toutes les autres que la croissance condamneraient. Trois décennies de "développement" courronnées d'échecs répétés, sont là pour témoigner de la relativité du progrès matériel. Il semblerait bien que la majorité des sociétés s'évertuent à combattre les risques de dissolution sociale que comporterait l'accumulation. Certains vont jusqu'à penser que l'histoire de l'humanité est moins celle de l'accumulation des richesses que celle de leur dilapidation (WEBER, 1985). Les premières productions pour l'échange porteraient sur des matières de luxe, des objets de prestige, non sur des biens nécessaires. Il convient donc dans tous les cas de se garder d'extrapoler l'observation des évolutions d'une société donnée à d'autres sociétés, ou d'un segment d'évolution à un autre.

Voici pour l'association de l'aquaculture et de la "révolution néolithique" ; mais le passage supposé de la pêche à l'aquaculture se pose en de tout autres termes. La pêche comme la conchyliculture d'aujourd'hui sont, au même titre que l'aquaculture "nouvelle", des systèmes de production différée. La pêche comme la conchyliculture impliquent des avances importantes en capital, ce qui implique un cycle long de production. Et toutes les trois se situent dans le contexte d'une économie de marché généralisée, marquée par des bouleversements technologiques rapides.

La comparaison avec la révolution néolithique ne tient donc pas, à la fois en raison d'une perception par trop sommaire de celle-ci, et par une non-comparabilité des contextes.

Les progrès biologiques et techniques ne suffiront probablement pas à impulser un développement aquacole "nouveau". Les exemples japonais et norvégien semblent montrer que les conditions sociales et juridiques du développement de l'aquaculture sont aussi importantes que les conditions techniques : il faut un mode d'attribution de l'espace et un droit social approprié.

- Références à la théorie malthusienne : lorsque les problèmes alimentaires mondiaux sont évoqués, c'est la plupart du temps en regard d'un besoin croissant en protéines au niveau mondial, conséquence directe ou indirecte d'une évolution explosive, généralement considérée

comme inéluctable de la démographie. KINNE (1980) résume cette approche en terme pondéral : la population mondiale doit être multipliée par trois dans les cinquante prochaines années (de 4 milliards à 12 milliards d'individus) et cette croissance entraîne un nécessaire développement de la production alimentaire. Cet accroissement se heurte aux limites connues des potentialités de l'agrosphère. La pêche quant à elle fournit déjà 5 % des protéines alimentaires et sa production plafonne. Dans leur quête d'une source de protéines alternatives moins limitée, les scientifiques trouvent alors que l'aquaculture peut jouer un rôle déterminant. Et de lui trouver d'autres avantages, qui tous vont dans le sens souhaité : les milieux aquatiques naturels sont peu productifs (10-300 kg/ha/an) mais leur enrichissement permet d'espérer, si "l'intensification" est poussée, des rendements très forts (1 à 15 T/ha/an) ; pour des raisons biologiques, les animaux aquatiques sont la source de transformation de l'énergie en protéînes consommables par l'homme la plus efficace (MICHA, 1982) ; un certain nombre de zones impropres à l'agriculture (par exemple des marécages) peuvent être mises en valeur par l'aquaculture ; le coût marginal de la protéine de pêche est croissant, hypothèquant tout accroissement significatif de la production : l'aquaculture permet une meilleure régulation, etc...

	Poissons	Bovins	Porcs	Poulets
Coefficient moyen de conversion (poids aliments secs/kg de poids vifs)	1,5	10	4	2,5

Tableau 1 (d'après MICHA 1982)

- Référence à un positivisme optimiste : l'idée est que l'intervention de l'homme sur le cycle des espèces est inéluctable car on "doit" aller dans le sens d'un accroissement de la productivité naturelle. RYTHER (1981) résume cette conception en notant que l'on manque de moyens véritablement efficaces pour gérer les pêcheries et que, quoiqu'il en soit, la production maximum équilibrée au niveau mondial (MSY) doit se situer aux alentours de 100 millions de tonnes : plus efficiente que la pêche, en particulier parce que la dépense énergétique est moindre, la production aquacole présente de surcroît l'avantage d'être proportionnelle à l'effort déployé (techniques, surfaces, main-d'oeuvre, capitaux...). Bien que fondamentalement inexacte, cette référence est implicite dans les déterminants nationaux (français) et internationaux de l'aquaculture : les efforts, en particulier techniques, augmentent régulièrement depuis vingt ans, sous l'impulsion des états et des organismes régionaux et internationaux de développement (DOUMENGE 1977 et 1980, MARSAUD 1980, BORNENS 1980, SABEAU 1982, GILLY 1983). Corrélativement, la production estimée de l'aquaculture mondiale, même si les valeurs absolues sont très approximatives, augmente régulièrement. A la conférence de la FAO de Tokyo en 1976, PILLAY estimait cette production à environ 6 millions de tonnes, soit moins de 10 % de la production halieutique mondiale. En 1982, les estimations les plus vraisemblables évaluent à un peu plus de 10 millions de tonnes la production aquacole, soit plus de 14 % de la production

totale. La réussite technique au niveau mondial administre en principe la preuve que la production aquacole française ne peut que suivre la même courbe. Des combinaisons des tendances (croissance démographique, stagnation de la pêche, hausse du coût énergétique de la pêche) renforcent la confiance dans le progrès technique.

- Références à des théories économiques (néo-classique principalement) : l'analyse des systèmes de production aquacole et des scénarios envisagés permet de distinguer également des références à des notions d'efficience économique, d'emploi et/ou de spécialisation internationale. Face aux contraintes de marché, les produits de l'aquaculture présentent alors de nombreux avantages tant au niveau mondial qu'au niveau national : maximisation de la satisfaction des consommateurs (désaisonnalisation, standardisation, garantie d'approvisonnement, etc...) et/ou des producteurs (influence active sur les prix, compléments de revenus ou facteur de création de revenus) (1). Un certain nombre de travaux faisant appel à l'élaboration de modèles quantitatifs existent, surtout aux Etats-Unis. Ces modèles visent soit à l'évaluation de l'impact de la production aquacole sur les marchés, en termes de prix (ANDERSON 1984) soit à l'analyse des conflits entre aquaculture et pêche (ANDERSON 1984) soit enfin à l'optimisation des coûts (BOSTFORD 1977). Au niveau français, très peu de travaux ont été réalisés en la matière

(1) non pas seulement en pays industrialisés : on estime que dans les pays en voie de développement, la production de 4 tonnes de poissons en aquaculture nécessite 1 UMO (BORGESE 1980)

soit des professionnels soit de l'administration. Le concept d'augmentation de la production aquacole afin de réduire le déficit de la balance commerciale, très fréquemment utilisé en France, présente un intérêt limité. Il découle directement de l'héritage des théories mercantilistes de l'économie, qui ont pourtant montré leurs limites. Le problème de base est l'ignorance complète de la théorie des avantages comparatifs : toute tentative de réduction du déficit de la balance commerciale per se, sans considération sur la rentabilité potentielle, débouche soit sur un échec, soit sur des systèmes de subventions à perpétuité.

Référends Economiques	Malthusianisme	Positivisme optimiste	Théorie néo-classique
Modèles et techniques	- dynamique des systèmes aquacoles - projections - scénarios	- analyse historique de l'aquaculture - combinaisons de tendances	-analyses des systèmes - modèles quantitatifs
Critère de base	démographie	technologie	productivité
Domaine d'étude	- économie mondiale	- économie mondiale - économie nationale - systèmes littoraux	-économie mondiale - marché des produits de la mer - spécialisation

TABLEAU 2 : REFERENDS THEORIQUES

I.1.2.4. Conclusion

Il n'est pas aisé de dégager du magma sémantique une définition consentuelle de l'aquaculture. Ayant posé les problèmes, dégagé les enjeux et précisé l'évolution, nous

dirons que l'aquaculture est, au regard de l'économiste, un système d'exploitation, dont la spécifité est liée à l'existence d'un facteur de production plus ou moins bien maîtrisé et contrôlé : le milieu d'élevage. Il s'agit bien d'un facteur de production au sens économique conventionnel puisque le milieu est une ressource plus ou moins limitée et dont l'utilisation se fait en contrepartie d'un coût (individuel ou collectif). Ce système d'exploitation revêt ainsi différentes formes qui ne sont pas nécessairement le produit d'une évolution : la conchyliculture utilise les nutrients contenus dans le milieu, les formes nouvelles d'aquaculture utilisent le milieu comme support et ajoutent d'autres facteurs de production.

Après les forts espoirs placés dans l'exploitation par la pêche des ressources marines vivantes dans les années 1960 et déçus par la réalité, l'aquaculture est apparue comme un nouveau défi, permettant de concrétiser, envers et contre tout des objectifs essentiellement (mais pas exclusivement) pondéraux. Chacun, dans la recherche comme dans l'administration, y a ajouté sa propre vision contribuant à faire de l'aquaculture un mythe dont la seule évocation confine à l'incantation. "L'aquaculture doit devenir une priorité nationale dans les choix politiques pour produire les denrées marines dont nous avons besoin, réduire le déficit de notre balance commerciale, redonner confiance aux professionnels de la mer et attirer l'opinion publique sur une activité d'avenir ainsi que sur la valeur alimentaire des produits marins et sur la nécessité de protéger la mer" (Avis du Comité Economique et Social,

1981). A partir de tels objectifs -dont nous analysons plus loin les résultats- le mythe s'est enrichi de qualifications et/ou quantifications prospectives:

- "modestes et réalistes"... (CES 1981) : une dizaine de milliers de tonnes en 1985 toutes espèces confondues soit environ un millier d'emploi ;

- ...ou plus ambitieuse... : "il peut en découler une masse d'emplois et une reconversion pour les pêcheurs" (LUBET 1981) ; "Grand projet de l'an 2000, les chercheurs du CNEXO vont tenter de réaliser le rêve de l'homme universel : produire le soja marin !" (VIRMAUX, 1982) ;

- ...volontaristes, mais sans structure bien définie : "il est communément admis que cette forme d'aquaculture (le bar) sera optimale dans des fermes d'élevage de production unitaire de 100 T minimales" (LEONARD, 1979) ; "On ne fait pas d'aquaculture à moins de cinq millions de francs d'investissement" (PERROT, 1979) ; "l'aquaculture doit être le fait d'exploitants familiaux ou de petites ou moyennes entreprises servies par des personnels marins dont le savoir-faire les rend particulièrement aptes à cette activité" (LE PENSEC, 1982).

Qu'en est-il dans la réalité ? On conçoit maintenant qu'il est difficile de ne retenir, pour confronter le mythe à ses résultats, qu'un petit nombre de critères, voire qu'un seul paramètre dont la réalisation déterminerait une <u>normalité</u> de l'aquaculture. Nous essaierons donc, plus modestement, d'évaluer dans quelle mesure les perspectives assignées à l'aquaculture en France s'insèrent dans une réalité.

I.1.3. LA RECHERCHE FACE AUX ENJEUX

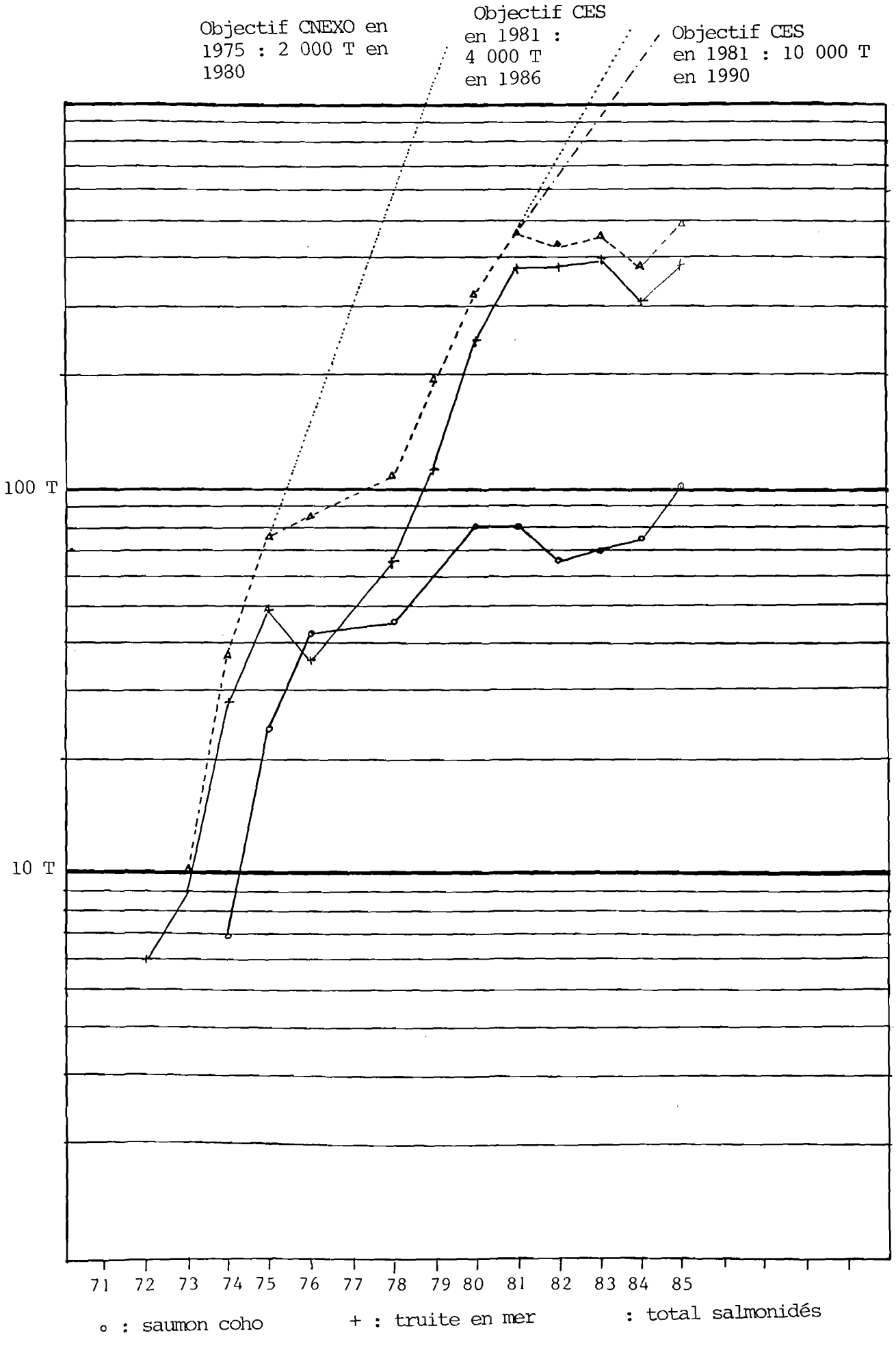
La liste des objectifs assignés à l'aquaculture est longue et ceux que nous avons relevés, au hasard de la bibliographie, ne constituent sans doute pas une liste exhaustive. Chacun, selon sa propre sensibilité, est susceptible d'envisager un certain nombre de développements potentiels de l'aquaculture. Pour notre part, nous les avons regroupés en cinq thèmes principaux :

- Constitution d'une source de denrées alimentaires ;
- Création d'un secteur commercial ;
- Création d'entreprises (dans les secteurs côtiers périphériques) ;
- Aménagement de l'espace littoral ;
- Exploitation commerciale de connaissances techniques.

I.1.3.1. Fondements des prévisions

Pendant les années 1970, dans chaque groupe de travail sur l'aquaculture et dans chaque organisme on s'est livré au petit jeu de la prospective aquacole. L'examen de ces projections témoigne de l'absence manifeste de toute méthodologie et de toute ouverture sur des disciplines autres que la biologie. La plupart du temps les prévisions sont basées sur une simple prolongation des courbes de résultats, obtenue, soit de façon linéaire, soit de façon exponentielle (voir figure 1). En 1975, dans l'élaboration d'un plan Océan-Bretagne (VAILLANT, 1975), l'objectif 1980 pour les salmonidés est basé sur une prolongation de la tendance observée à partir de 3 points (1973, 1974, 1975) ;

Figure 1 : Production et prévisions en salmoniculture



à partir d'une évolution de 10 à 36 puis à 70 tonnes il apparaît "normal" que cinq ans plus tard, la production soit de 2 000 tonnes. Une logique probablement similaire conduit le Comité Economique et Social en 1981 à prolonger la tendance des trois années précédentes et de prévoir une production de 4 000 tonnes de salmonidés en 1986 (la production estimée pour la saison 1985-1986 est de l'ordre de 500 tonnes).

On peut, il est vrai, faire l'objection que les prévisions sont faites pour être infirmées par la réalité ; encore ne faut-il pas confondre la prospective pour laquelle existent des méthodes avec le pronostic qui relève d'un simple pari sur l'avenir. Un examen des méthodes utilisées et des résultats obtenus dans d'autres secteurs aurait sans doute permis d'éviter les surestimations. La prospective est un outil d'analyse largement développé dans les secteurs industriels et en matière de marketing de produits nouveaux (KOTTLER) qui se distingue de la démarche extrapolatoire (techniques classiques de prévision) laquelle se révèle souvent de peu d'utilité dans un environnement complexe en évolution rapide. Les études déjà réalisées dans différents domaines montrent que l'évolution des produits à partir de leur lancement ne suit quasiment jamais une droite ou une courbe exponentielle mais plutôt un itinéraire de type logistique (ce que montrent bien les courbes tracées à partir des productions réalisées). La plupart des phénomènes biologiques obéissent à des cinétiques logistiques, éventuellement présentant plusieurs paliers : les biologistes semblent l'avoir oublié dans l'évaluation du

devenir de l'aquaculture ; ils ont plus chercher à prédire qu'à construire un avenir. Par ailleurs, l'assurance des pronostics est d'autant plus révélatrice du volontarisme des parieurs, qu'elle ne fait aucune part à la simple incertitude.

I.1.3.2. Constitution d'une source de denrées alimentaires

Au niveau mondial, c'est un problème aigu auquel l'aquaculture ne pourra jamais apporter qu'une solution partielle, même si l'on considère que d'immenses surfaces en eau peuvent être mises en culture (marais littoraux, lagunes). KINNE (1982) considère que l'aquaculture fournit 0,7 % du total de la production mondiale de protéïnes. Cette production est d'ailleurs en partie basée sur la consommation de protéïnes animales : pour produire 80 000 tonnes de sériole, on estime que l'on doit disposer de 550 000 tonnes d'aliments, essentiellement constitués de poisson.

	Taux d'accroissement annuel de la population 1975-1980	Taux d'accroissement annuel de la production aquacole 1975-1980	Taux d'accroissement annuel de la production alimentaire 1975-1980
Total monde	+1,74	+7,34	+1,90
Europe	0,58	+6,85	+1,50

Tableau 3 : Taux comparés d'accroissement de la production aquacole mondiale.(Source : F.A.O 1981)

D'un point de vue strictement pondéral, le taux d'accroissement annuel de la production aquacole est très largement supérieur à celui de la production alimentaire.

L'intérêt qu'éprouvent les biologistes pour la notion d'énergie les a conduits à envisager que l'aquaculture pouvait fournir une solution acceptable à la loi de LINDEMAN (1) puisqu'elle permet, en théorie, de produire à n'importe quel étage de la pyramide alimentaire. Cette notion de réduction éventuelle de la dépense énergétique de production, illustrée par de nombreux ratios "litre de fuel par kilo de produit", ne constitue pas une approche économique des coûts de production et, notamment, fausse grandement les comparaisons entre activités.

Il faut accepter avec une extrême prudence ces évaluations mondiales, dont la croissance tient peut être pour partie à la prise en compte de nouvelles formes d'aquaculture qui ne le sont pas, ou à l'absence de prise en compte de certaines productions dans les estimations initiales.

Au niveau national, l'approvisionnement des populations ne constitue pas véritablement un facteur limitant et le problème se pose plutôt en termes de régulation des apports, de standardisation des produits. Compte tenu de la faiblesse de la production aquacole française de poissons, ces objectifs paraissent loin d'être atteints. Ils ne sont pas pour autant dérisoires. La conchyliculture a largement contribué à maintenir l'approvisionnement en huîtres et moules des marchés français. Encore maintenant, les conchyliculteurs cherchent à modifier les habitudes alimentaires

(1) appelée également loi des 10 % : LINDEMAN calcule qu'à chaque maillon de la chaîne trophique au moins 90 % de l'énergie est dissipée

de manière à désaisonnaliser tout à fait la consommation. En revanche, même au regard des prévisions les plus optimistes, il est peu probable que l'aquaculture pourra, même à relativement long terme (fin du siècle), pallier un plafonnement des débarquements de la pêche. En 1981, le Comité Economique et Social prévoyait au mieux un accroissement de la production aquacole de l'ordre de 60 à 70 000 tonnes en 1990 -dont les 2/3 en coquillages (Avis du CES, 1981). Par ailleurs, les espèces sur lesquelles les efforts de recherche et de développement ont porté ne présentent pas une saisonnalité marquée des apports (soles, turbots, bars, dorades). On arrive même à des résultats parfaitement inverses à ceux souhaités : à l'heure actuelle, les problèmes de commercialisation de la truite élevée en mer sont en grande partie dus à la saisonnalité de sa production.

I.1.3.3 Génération de flux commerciaux

L'impact de la production aquacole au niveau commercial peut s'analyser suivant deux axes :

- l'impact sur les échanges, évoqué en France comme une réduction du déficit de la balance commerciale des produits de la mer ;
- l'impact sur les prix, souvent considéré par la plupart des décideurs comme négligeable.

1 Impact sur les échanges

Le déficit du commerce extérieur français a considérablement évolué durant les vingt dernières années,

passant de 1,5 milliards de francs en 1963 (en francs constants, sur la base FF 1983) à plus de 6 milliards de francs en 1985 (voir figure 2). Il était alors parfaitement possible de justifier des efforts financiers importants pour l'aquaculture par une volonté de réduire, d'une manière ou d'une autre, ce déficit. Le tableau 4 montre la structure du déficit commercial français pour les deux années 1974 et 1985, en quantité et en valeur.

En 1974, le déficit commercial français, en valeur, est concentré entre : les crustacés (21 %) dont essentiellement les crevettes (10 %), le cabillaud (13 %), les salmonidés (12,5 %) et thonidés (11 %), les sardines (10 %) et les soles (7,5 %). L'argument selon lequel un des objectifs de l'aquaculture est de réduire le déficit commercial est donc en partie fondé : le CNEXO a développé des recherches sur les crustacés (crevettes péneïdes notamment) et de son côté l'ISTPM a engagé des programmes relatifs aux homards (1,5 % du déficit en valeur) ; le CNEXO, en liaison avec l'INRA et le CEMAGREF s'est également lancé dans des recherches concernant les salmonidés et, plus récemment, les poissons plats comme la sole et le turbot. Il faut sans doute chercher d'autres arguments comme le prix moyen de vente pour expliquer l'absence de programme de recherche sur les gadidés (l'idée de ROCHE (1898), puis de ROULE (1914) sur la gadiculture n'était donc pas dépourvue de fondements à cet égard), sur les thonidés ou sur les sardines.

Qu'en est-il dix ans plus tard ? En 1985, la structure du déficit est peu modifiée. Les crustacés représentent

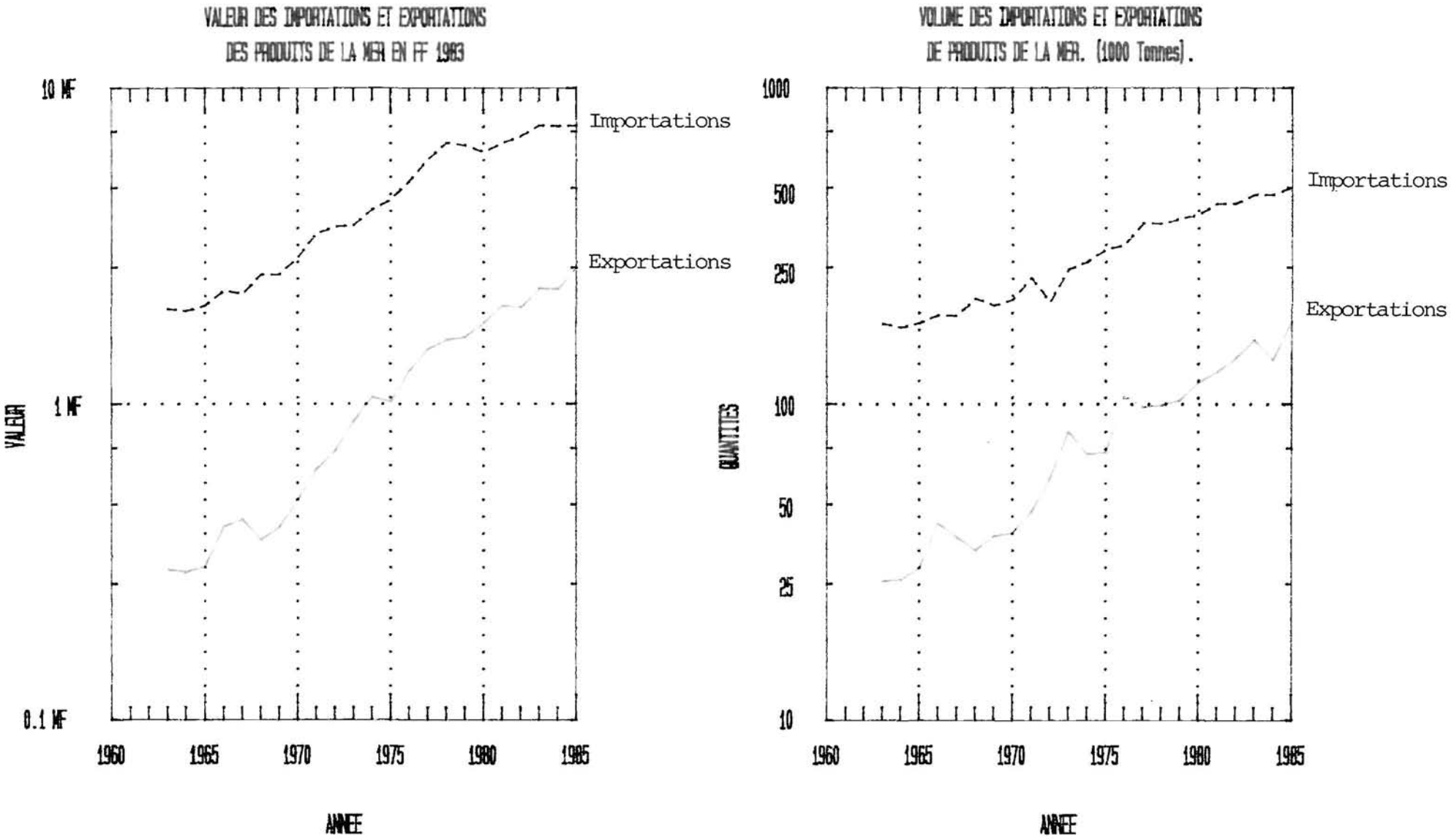


Figure 2 : Evolution du commerce extérieur français
1963-1985 (échelle semi-logarithmique)

toujours un fort pourcentage de ce déficit (plus d'un tiers, dont la moitié en crevettes) suivis par les salmonidés (17 %). La part du cabillaud est stable (12 %) alors que celles des thonidés et surtout celle des soles diminuent (tableau 4).

Compte tenu de la faiblesse des résultats, il paraît pour le moins fort peu probable de s'attendre à une réduction du déficit de la balance commerciale du fait de la production aquacole. Plus que la comparaison de deux états, c'est l'évolution de l'un vers l'autre qui mérite examen :

- au delà de leur importance dans le déficit de la balance commerciale, c'est à un doublement des tonnages importés de salmonidés que l'on a assisté en 10 ans, et à un triplement des tonnages de crustacés. Même si les prévisions les plus optimistes s'étaient avérées exactes, la salmoniculture marine n'aurait servi qu'à satisfaire l'augmentation de la consommation apparente, alors que l'élevage de crevettes métropole et DOM TOM réunis, aurait à peine servi à ralentir l'accroissement du déficit ;

- l'élevage des soles est encore très expérimental et ne permet pas d'espérer de transfert avant au moins 4 ou 5 ans. Ce n'est pas l'aquaculture qui est responsable de la réduction relative du déficit mais d'autres facteurs (augmentation de la production de la pêche ? diminution de la consommation ?). De fait, ces taux ne doivent pas faire illusion : une part élevée dans le déficit commercial n'est pas le gage de la réussite commerciale d'une production nationale de substitution ; ce n'est au plus qu'un indice sur lequel il semble aléatoire de baser une stratégie ;

TABLEAU 4 : Comparaison sur 10 ans de la structure du déficit du commerce extérieur français des produits de la mer (Poids : tonnes ; Valeur : milliers de FF courants)

ESPECE	IMPORTATIONS		IMPORTATIONS		EXPORTATIONS		EXPORTATIONS		DEFICIT	
	Poids		Valeur		Poids		Valeur		Valeur	
	1974	1985	1974	1985	1974	1985	1974	1985	1974	1985
SAUM.NONTRANS	8491	22526	366456	100636	196	473	8120	20651	358336	985716
SAUM.TRANSF	102	771	12756	94795	180	755	21054	74090	+8328	20705
TOTAL SAUMON	11094	25818	446361	1159401	423	1369	30599	100772	415762	1063614
CREV.TRANSF	7027	18130	284310	870896	925	3809	+17680	236322	236454	634574
CREV.NONTRANSF	4409	14420	102232	282112	146	383	7673	19823	94559	262289
TOTAL CREVETTE	11436	32550	386542	1153008	1071	4192	+10007	256145	331013	896863
CRABES	2431	11287	156060	353024	1573	4257	24747	90195	131313	262829
LANGOUSTES	1421	1964	119578	235675	239	405	26667	51492	92911	184183
HOMARDS	622	3277	13725	188302	11	104	1249	9539	+14974	178763
TOTAL CRUSTACES	18813	60457	819284	2363130	3280	9964	117950	446078	701334	1917052
CAB.NONTRANSF	24579	17136	282303	212934	327	192	8694	1567	273609	211367
TOTAL CABILLAUD	30335	49380	508553	838971	3535	4758	77883	84152	430670	754819
SOLE	6315	6918	240749	269974	320	1238	13114	55707	227635	214267
SARD.NONTRANSF	11052	6916	13718	28098	1679	41	4747	325	89716	27773
SARD.TRANSF	31903	26456	291579	186391	561	837	9123	12378	282456	176867
TOTAL SARDINE	20851	33372	343397	214489	2240	878	13870	12703	329527	204640
THONIDES	27323	56205	455793	899869	7606	66810	82280	592396	373513	307473
COQ.STJACQ. ET. BIGORN.	4510	7029	6608	204065	524	640	10259	18910	16847	185155
MOULES	31158	37514	81526	132944	291	1213	2700	9295	78826	123649
HUITRES	1123	484	27122	13270	2837	2054	66215	36036	26443	-22766
ANG.CIV.	145	178	3683	5207	2986	1720	119979	103853	-116296	-98646
ALGUE+DERIV.	N.S.	13959	91729	136579	N.S.	3331	187086	56969	-95357	79610

- l'approche en terme de réduction du déficit nous semble avoir été très simpliste, en ce sens qu'elle a surtout visé une diminution des importations en lui susbtituant une production nationale, dont on ignore d'ailleurs le contenu en importations. Un raisonnement en termes d'exportation aurait probablement conduit à retenir d'autres espèces pour les programmes d'aquaculture (ce qui ne signifie pas que les résultats, en termes de recherche et/ou de transfert, auraient été meilleurs ; notre propos est simplement de montrer en quoi les critères de choix ne témoignent pas nécessairement des objectifs envisagés initialement) (1). Les anguilles et civelles, les algues contribuent également de façon notable aux exportations alors que l'effort de recherche spécifique a été beaucoup plus limité que pour d'autres espèces. L'absence de connaissance réelle du marché national et international des salmonidés par exemple conduit à méconnaître certains déterminants du déficit du commerce extérieur français en la matière. Ainsi, on peut penser que l'évolution de la parité des monnaies entre elles (FF-DollarsUS ; Couronne norvégienne- DollarsUS) influence très largement les flux de saumon vers la France.

2 Impact sur les marchés

La quasi-totalité des textes français relatifs au choix des espèces susceptibles de faire l'objet d'un élevage, qu'ils émanent du CNEXO (bilans annuels, programmes, etc...)

(1) en 1974, l'ostréiculture participait pour plus de 4 % (en valeur) aux exportations françaises .

ou d'autres sources (administration, dossiers d'investissement, etc...) repèrent les espèces dont le prix de vente est élevé. Ainsi bien sûr des salmonidés (saumon coho, truite élevée en mer souvent présentée -mais selons quels critères- comme des substituts du saumon), des crevettes, du turbot et de la sole, du bar, etc... Le choix d'un critère de prix (dont le niveau de saisie n'est pas précisé mais dont la référence semble être le prix de détail) se fonde sur un raisonnement simple : des espèces chères permettent de couvrir des coûts de production relativement mal connus et supposés élevés. "Pourquoi ce choix d'espèces nobles ? Sur le fond, le raisonnement était : plus vite la rentabilité sera atteinte, plus vite sera administrée la preuve de la faisabilité économique de l'aquaculture" (LA PRAIRIE, 1977).

L'argument peut sembler correct : il est très important pourtant de retenir qu'un tel critère est limité par le fait que les prix des produits de la mer sont généralement très dépendants des variables d'offre (flexibilité) et de consommation (élasticité-revenus, saisonnalité, etc...). Ainsi, il ne semble pas raisonnable d'affirmer sans précaution que le prix de marché d'une espèce restera à son niveau antérieur si l'aquaculture parvient à mettre en marché un tonnage important, ce qui reste le but affiché. En France, la formation des prix d'un certain nombre d'espèces (soles, bars, turbots) se fait en grande partie par le jeu des enchères, sous des contraintes extérieures dont tous les acteurs n'ont pas forcément ni la même perception ni la même maîtrise (apports dans les autres points de débarquement,

quantités disponibles sur le marché international, spéculation). Or la production aquacole devra soit subir les mêmes conditions de mise en marché (ce qui est souvent le cas à l'heure actuelle), soit élaborer son prix en fonction des coûts de production de la pêche. En d'autres termes, l'aquaculture continuera, sauf si la production reste faible, pendant un temps assez long, à "subir" les prix. Le cas des huîtres est extrême puisque la pêche sur les bancs naturels a quasiment disparu.

La littérature concernant ce problème n'est pas particulièrement riche. En France, aucun travail spécifique sur la formation des prix des produits d'aquaculture n'a été engagé. Il existe quelques analyses sur la formation des prix des produits de la mer (BELLON, 1976 ; CLEMENT ET MAHE, 1980 ; DUMONT, 1986 ; GILLY et al., 1984 ; MEURIOT ET GILLY, 1986) mais seuls les travaux de DUMONT sur l'huître creuse, concernent véritablement des produits de l'aquaculture. En revanche, un certain nombre d'auteurs Nord-Américains ont élaboré des modèles concernant essentiellement le saumon pacifique (ANDERSON 1983, LENT 1983, ANDERSON ET WILLEN 1984) et les crevettes tropicales (LIAO 1984) :

- sur le marché français, DUMONT montre la forte élasticité de la demande en huîtres creuses par rapport aux prix et par rapport aux revenus. Les problèmes rencontrés par les éleveurs les années de forte production semblent plus relever des structures de commercialisation et de distribution que de la demande solvable à des prix acceptables. Accessoirement, DUMONT met en évidence des relations de complémentarité au niveau de la consommation

entre les huîtres creuses et plates d'une part, entre les huîtres creuses et le saumon d'autre part. Ces relations montrent la complexité de l'approche en termes de prix et de marchés : il n'est pas inutile de rappeler que l'on travaille en la matière, "toutes choses inégales par ailleurs" ;

- les études menées aux Etats-Unis sur la formation des prix du saumon coho (au niveau des prix de gros la plupart du temps, plus rarement au niveau des débarquements) montrent que l'élasticité des prix à court terme est négative est relativement forte : en moyenne -3,62 au niveau des prix de débarquement (ANDERSON et WILLEN 1984) et de - 1,37 à -2,27 au niveau des prix de gros (DEVORETZ 1982, SWARTZ 1979). De la même façon, l'élasticité par rapport aux revenus, positive, est estimée entre +0,157 et +0,280. L'influence des produits de substitution, bien que significative dans tous les domaines, semble assez limitée ;

- au niveau français, les études de formation des prix montrent la très forte relation prix-quantités débarquées à la première mise en marché, tant pour des espèces artisanales relativement chères comme les langoustines (GILLY et al.,1984) que pour des espèces industrielles (lieu noir, églefin, etc..; MEURIOT et GILLY,1986). Les phénomènes de substitution sont également très importants dans les deux cas. En revanche, on ignore quasiment tout des conditions de substitution éventuelle entre la truite élevée en mer et les autres salmonidés (et en particulier le saumon coho). Or un certain nombre de textes font référence au remplacement du

saumon fumé du Pacifique par de la truite élevée en mer, fumée.

I.1.3.4. Génération d'effets induits

Le développement de l'aquaculture est souvent présenté comme un moyen de pallier la "désertification" des zones littorales en créant des activités (entreprises, emplois) nouvelles. La perspective de création d'emplois par l'aquaculture a amené les marins pêcheurs soit à un réflexe de répulsion, soit à une revendication de ce secteur pour leur propre compte. Ces deux types de comportements, qui ont pu être simultanés mais géographiquement distincts, témoignent ensembles de la différence d'objectifs et de contraintes par rapport à la pêche : perte de contrôle, absence de rémunération à la part, appropriation de la ressource et, de façon permanente ou temporaire, d'un site.

Dans ce domaine encore, on constate la faiblesse des résultats. Au plus, une cinquantaine d'entreprises ont vu le jour entre 1975 et 1984, parmi lesquelles moins d'une vingtaine survivent, bon an mal an, grâce au jeu des subventions. Malgré des prévisions très optimistes, il y a encore à l'heure actuelle plus d'emplois dans la recherche aquacole que dans les entreprises de production. Mais une fois de plus, la valeur absolue des chiffres n'a pas de signification, d'autant moins que la distance chronologique qui nous sépare des premières recherches est faible. L'obtention d'animaux de taille commerciale à partir d'oeufs prélevés en laboratoire sur des femelles matures de crevettes pêchées en mer remonte aux années 1938-40. Et ce

n'est qu'à partir de 1962 que se sont développées au Japon, les premières entreprises commerciales de production de crevettes d'élevage (LAUBIER 1975). Il est possible, en revanche, de tirer quelques conclusions de l'évolution des chiffres existants et de comparer certains d'entre eux avec d'autres activités.

1 Créations d'emplois

Dans le milieu des années 1970, certains textes du CNEXO font état de la possibilité de créer plus d'un millier d'emplois en aquaculture dès 1980-1985. Cette proposition, reprise également dans le rapport du CES en 1981, a conduit un certain nombre d'organismes d'enseignement à développer des filières de formation en aquaculture. Les agronomes, qui sont quasiment depuis le début impliqués dans l'aquaculture, fondent dès 1979 une spécialisation en dernière année à l'Institut National Agronomique, formant ainsi jusqu'à vingt ingénieurs par promotion. Des formations plus pratiques se développent également un peu partout sur le littoral, dans les Ecoles d'Apprentissage Maritime, dans les LEP, etc... L'institut des Techniques de la Mer, ouvert à Cherbourg en 1982, assure également une formation à l'aquaculture.

Le mode d'évaluation du nombre d'emplois créés par l'aquaculture est basé sur une loi très "évolutive". Lors des premiers transferts -en particulier salmoniculture- il est "établi" que le point mort est obtenu pour une production de 7 à 8 tonnes par homme et par an (CNEXO 1974). En 1979, le chiffre le plus couramment cité est de 11 à 12 tonnes par homme et par an. En 1982, le Crédit Maritime

Mutuel exige une production minimum de 22 tonnes par homme et par an pour prendre en considération les dossiers de prêts (Coopérative d'Aquaculture de Concarneau, 1982), alors que la SCAMER parle de 30 tonnes (OF. 25/02/1982). Enfin, en 1984 dans la plaquette de présentation de projet de ferme aquacole sur le Jaudy il est question de 45 à 50 tonnes/homme/an (France Aquaculture, 1984).

Ces chiffres témoignent probablement de gains de productivité de travail. Mais comment les comparer quand ils résultent de pratiques très diverses et limitées ; et comment les intégrer dans des éléments standardisés de décision ? La seule évaluation objective est que l'on peut évaluer à moins d'une centaine le nombre d'emplois existants dans le secteur de l'aquaculture nouvelle, en 1985 .

2. Création de valeur ajoutée

Les références à ce paramètre sont rares, voire inexistantes, dans la bibliographie. L'appréciation de la richesse créée par l'aquaculture et la comparaison avec d'autres activités peut pourtant se faire à partir du calcul de la valeur ajoutée nette de production (VAN). Elle se calcule par différence entre la valeur de production et la somme des consommations intermédiaires et d'utilisation du capital fixe.

La valeur ajoutée nette dépend de chaque entreprise et même de chaque cycle de production. Il est néanmoins possible de calculer une VAN moyenne qui permet de comparer cette activité avec la VAN dégagée par des activités

similaires (ou concurrentes) et de déterminer ainsi une hiérarchie des opportunités.

Nous nous sommes limités à un nombre assez réduit d'entreprises afin d'obtenir un ordre de grandeur : une enquête systématique auprès de chaque aquaculteur serait nécessaire de manière à vérifier ces chiffres. Le choix de huit entreprises tient compte de l'espèce élevée et de la technique d'élevage : toutes élèvent de la truite arc-en-ciel en mer ; cinq d'entre elles utilisent des cages flottantes, les trois autres des étangs à marée ; enfin, toutes nourrissent les animaux avec des aliments artificiels, mais dans des proportions différentes. L'examen des comptes d'exploitation sur quatre années montrent que la part de la valeur ajoutée subit des variations assez importantes d'une année sur l'autre pour une même entreprise (tableau 5). L'évolution montre assez nettement que :

- la part de la valeur ajoutée nette dépend très largement des achats de matières premières et des aliments. Les entreprises utilisant la technique des cages flottantes présentent une valeur ajoutée nette en année moyenne, comprise entre 30 et 43 % de la valeur de la production. Dans le cas des étangs à marée, la VAN oscille entre 37 et 57 %.

- les deux ou trois premières années, toutes les entreprises présentent des valeurs ajoutées brutes négatives, témoignant sans doute de difficultés d'acquisition du savoir-faire nécessaire (technique et commercial). La très grande fragilité de ces entreprises

pendant les premières années de leur activité est sans doute due pour partie à des problèmes financiers (trésoreries insuffisantes, subventions nécessaires etc...). A partir de 1980/1981, la VAN semble plafonner, voire même légèrement régresser : le prix moyen de vente n'évolue pratiquement plus à partir de cette année là . Très fragiles lors de leur création, les entreprises de production de truites élevées en mer semblent le demeurer par la suite, les contraintes extérieures affectant assez largement leur structure financière.

A titre de comparaison, la valeur ajoutée brute des entreprises d'ostréiculture varie entre 45 et 55 % de la valeur de la production pour l'huître creuse et 65 à 90 % pour l'huître plate (MEURIOT et GRIZEL, 1984). MERCKELBAGH et ESNOUF (1978) indiquaient une fourchette de 70 à 80 % pour l'ensemble de la conchyliculture française alors que BONNIEUX et al. (1980) donnent une VAN de l'ordre de 77 %.

ANNEES	Ent.1	Ent.2	Ent.3	Ent.4	Ent.5	Ent.6	Ent.7	Ent.8
1977/78	1.2	-2.4	-1.3	-	-	-	-	-
1978/79	31	-4.9	29	-27	-	-	-	-
1979/80	31.5	24	29	2	-3.5	6	-	-
1980/81	30	39	42	27	25	57	-9	-9.5
1981/82	40	43	39	8	30	48	15	36
1982/83	29.8	37	31	-21	33	39	42	45

Tableau 5 : Evolution de la VAN, en % de la valeur de la production (d'après données ARDECOM)

Ces chiffres ne sont que des ordres de grandeur et ne permettent en aucun cas de conclure que la conchyliculture

dégage systématiquement une VAN supérieure à l'aquaculture de truites en mer ; cette dernière n'est encore qu'en phase de démarrage et de nombreux progrès peuvent encore la faire évoluer . Ils permettent néanmoins d'affirmer que l'aquaculture est susceptible de créer des richesses en zone littorale et donc, dans une certaine mesure de rémunérer des emplois. Mais l'extrême fragilité des conditions de réalisation de cette valeur ajoutée ne permet pas de faire des prévisions fiables quant au développement de ces activités.

I.1.3.5. Aménagement de l'espace littoral

La France métropolitaine dispose d'une façade maritime longue d'environ 2 500 km, présentant des faciès extrêmement variés. A cette façade, il convient d'ajouter les territoires et départements d'outre-mer qui apportent surtout une surface de zone économique exclusive très importante, mais dont les périmètres littoraux sont réduits. Cette zone littorale est soumise à de multiples pressions résultant d'activités économiques pas nécessairement complémentaires. Largement médiatisée, l'aquaculture est apparue aux yeux de tous comme une nouvelle occupation potentielle de zones déjà déchirées entre plusieurs partenaires. Certains l'ont alors considérée comme concurrente, d'autres comme un moyen de lutter contre certaines formes d'occupation du littoral : là encore, l'aquaculture arrive en terrain occupé .

Pourtant, depuis l'ordonnace de COLBERT portant création du Domaine Public Maritime, en 1681, l'Etat

français a affirmé sa volonté d'arbitrer les conflits d'occupation du littoral et si possible de les prévenir. En particulier, la période récente a vu se multiplier les possibilités d'intervention :

- en 1950 sont lancés les Schémas d'Aménagement du Littoral ;
- en 1964, la mission d'aménagement touristique du littoral lance les Schémas d'Aménagement et d'Urbanisme ;
- ceux-ci sont relayés dès 1967 par les Plans d'Occupation des Sols ; ils seront amendés par le lancement des Schémas d'Aménagement et d'Utilisation de la Mer en 1972, eux-mêmes relayés en 1981 par les Schémas de Mise en Valeur de la Mer (conformes aux dispositions communautaires) ;
- entre temps, en 1975, apparaît un organisme étatique aux pouvoirs étendus, le Conservatoire du Littoral, qui peut acquérir des terrains littoraux en vue de les préserver de toute activité destructrice ;
- enfin, 1981 voit le lancement du Schéma Directeur National de la Conchyliculture et de l'Aquaculture.

Aménagement, protection, développement, mise en valeur..., les multiples préoccupations de l'Etat sont partiellement contradictoires. L'aquaculture est à ses yeux l'activité permettant d'atteindre les différents objectifs. "...l'aquaculture revalorisera dans beaucoup de cas les zones littorales laissées disponibles par le développement des industries et de l'urbanisation, en particulier celles liées au tourisme. Elle participera à créer un état d'esprit favorable à la lutte contre la pollution. Elle sera à

l'origine de la réactivation de certaines étendues laissées à l'abandon, telles celles des anciens marais salants et par voie de conséquence fournira des emplois à une main-d'oeuvre difficilement reconvertible (je pense en particulier aux pêcheurs)" (CHAUVIN, Directeur du COB, 1970).

Quel rôle l'aquaculture peut-elle réellement tenir dans le processus d'aménagement du littoral ? En l'absence de tout volontarisme, elle ne peut prétendre à une meilleure place que les secteurs concurrents. Elle peut bénéficier du déclin de certaines activités en place entraînant une nécessaire reconversion. Mais elle entre alors en concurrence avec d'autres activités et il est probable que la plus "lucrative" aux yeux des différents partenaires l'emportera. Elle peut également bénéficier du fréquent déséquilibre saisonnier des zones côtières, à condition qu'elle soit en mesure de libérer sa main-d'oeuvre pendant la saison touristique ou agricole. En d'autres termes, scientifiques et administration ont peut-être pêché par excès d'ambition en prétendant aménager, grâce à l'aquaculture, les marges littorales. Zone en voie de sous-occupation au début des années soixante-dix, la bande côtière est maintenant relativement sur-occupée. L'objectif de création d'emploi demeure mais la finalité est différente : l'aménagement dépend maintenant surtout de la reconversion.

I.1.3.6. Transfert des connaissances techniques

Paradoxalement, c'est peut-être dans ce domaine que les résultats sont les plus positifs. Le transfert des

technologies aquacoles (techniques et savoir-faire) est un secteur en pleine expansion : la demande internationale est croissante et les financements de projets aquacoles par des organisations régionales et/ou internationales ont augmenté assez régulièrement ces dernières années. Sur ce marché où la connaissance empirique est largement autant valorisée que la connaissance scientifique, la France occupe une position très enviable avec une demi-douzaine d'entreprises d'ingénierie aquacole dont au moins quatre ont une bonne expérience d'ensemblier (AQUASERVICE, FRANCE AQUACULTURE, SEPIA, SODETEG). Leur chiffre d'affaires était en croissance régulière jusqu'en 1981, date à laquelle il était estimé à une vingtaine de millions de francs dont plus de 60-70 % à l'exportation (GILLY 1983).

Les difficultés alimentaires des pays en voie de développement et l'émergence des pays du sud-est asiatique fortement consommateurs tendent à tirer le marché des technologies aquacoles. En revanche, la crise économique qui frappe les pays industrialisés entraîne une stagnation des dépenses internationales pour le développement. De la combinaison de ces facteurs dépendra l'accroissement des transferts de technologie.

I.2. UNE ANALYSE ECONOMIQUE DE L'AQUACULTURE

I.2.1. UNE DEMARCHE NECESSAIRE

Ce chapitre cherche présente les différentes méthodologies employées pour l'analyse économique du secteur

de l'aquaculture, principalement au niveau de l'entreprise (ou du projet).

Il semble (à la suite d'entretiens avec certains biologistes et d'après les documents existants) qu'en matière de connaissances biologiques (au sens le plus large), on a accumulé en France des données parfois dans des domaines très pointus -par exemple en matière de physiologie de la reproduction- mais le plus souvent dans un domaine relevant à la fois de la "tuyauterie" et de la connaissance empirique, c'est-à-dire beaucoup plus "technique" que "scientifique". Ainsi, dans un très grand nombre de cas, les résultats obtenus permettent de franchir conjoncturellement un obstacle mais ne garantissent en rien la reproductibilité de leurs effets. Par ailleurs ces résultats ne sont souvent pas reliés entre eux. Cette "qualité" des résultats peut être masquée par le nombre relativement élevé des publications de chercheurs français au cours des quinze dernières années. En matière économique, le nombre de travaux français est très insuffisant pour juger de leur qualité, mais l'approche la plus fréquente est celle, tout à fait insuffisante et réductrice, de la rentabilité par la marge brute d'exploitation. Il ne s'agit pas ici de faire la critique in extenso de ce type d'analyse mais, à part le mérite d'exister et d'être simple, il est très limité par :

- le fait que cela ne permet pas de comparaison -et donc pas de choix- entre des types d'aquaculture ou des modes d'aquaculture différents utilisant par exemple des consommations intermédiaires différentes. Par exemple, on ne peut choisir, par comparaison des marges brutes dégagées,

entre une activité intégrant la production d'alevins et une autre, identique en tous points, achetant ses alevins à l'extérieur. A cela il faut ajouter que le plus souvent l'approche se fait sur des comptes prévisionnels, par définition équilibrés ;

- le fait que cela permet encore moins de se livrer à une approche en termes d'aménagement, c'est-à-dire d'organisation d'un espace ou d'un ensemble de facteurs finis. Par exemple à partir de ces analyses on ne pourra pas répartir -ou plus exactement proposer une répartition cohérente- un espace littoral donné entre plusieurs types d'activités différents ou antagonistes.

Il existe d'autres approches, non exclusives de la précédente, mais permettant, au prix d'un minimum de schématisation et à partir d'hypothèses simples, de quantifier l'activité aquacole et donc d'établir une éventuelle hiérarchie, <u>contingente aux hypothèses de base</u>. Cette dernière réduction, de taille il est vrai, nous obligera à formuler des hypothèses réalistes mais introduit sans conteste une cible de critiques à ces travaux.

1. La première alternative consiste à travailler non plus en termes de marges brutes mais en termes de Valeur Ajoutée par l'aquaculture, c'est-à-dire de richesses créées. A la notion encore trop imparfaite de valeur ajoutée brute, il est préférable de substituer celle de valeur ajoutée nette qui permet de prendre en compte les coûts en capital. Cette approche est certes possible dans certains cas, mais la plupart du temps on ne dispose pas d'un recul suffisant

pour travailler sur des données de terrain, et des critiques de même nature que les précédentes peuvent être formulées. Par ailleurs cette approche, voisine de l'approche comptable, donne un certain nombre d'indications supplémentaires mais elle ne permet toujours qu'une analyse rudimentaire. En particulier, elle ne donne aucune indication sur les niveaux de coûts acceptables ou sur la sensibilité des résultats aux variations des coûts des consommations intermédiaires ou des prix de marché. Phènomène sans doute encore plus critique, cette approche ne reflète que très mal voire pas du tout le coût d'opportunité réel des facteurs, ce qui hypothèque toujours une approche en terme, par exemple, de coûts-bénéfices.

2. Une autre alternative consiste à se débarasser de toute approche comptable et à travailler directement, à partir de quelques données existantes, en termes de simulations et/ou d'optimisation. De nombreux travaux ont été réalisés dans ce domaine aux USA (RAUCH, BOSTFORD et SHLESER, 1975 ; HUGUENIN et ANSUINI, 1978 ; ADAMS, GRIFFIN et NICHOLS, 1980 ; GATES, MACDONALD et POLLARD, 1980 ; LIPSCHULTZ et KRANTZ, 1980 ; ANDERSON, 1984), toujours en termes de maximisation du profit. Ce dernier objectif, qui est l'hypothèse de base des modèles développés par les auteurs américains est certes discutable, mais correspond, d'une certaine manière, au comportement normal des entrepreneurs. Toutefois, en l'absence de certitude sur le comportement des aquaculteurs, il est toujours possible de prendre comme objectif la minimisation de la fonction du coût de production. Cette fonction permettra également de

déterminer la sensibilité du coût de production vis-à-vis de variations exogènes des variables d'état. La méthode développée dans le quatrième chapitre de ce document est basée sur la maximisation du capital accumulé au cours d'une ou plusieurs périodes d'exploitation (FISHER, 1965).

Les variables qui décrivent les conditions du système sont les variables d'état (poids moyen, nombre de survivants, température). Les variables de contrôle sont celles qui sont susceptibles d'induire des changements dans les conditions du système (quantité de nourriture, énergie). Enfin, la façon dont les variables de contrôle affectent les variables d'état reçoit le nom de paramètre ou coefficient technique (taux de croissance spécifique par exemple).

La méthodologie proposée pour la construction de la fonction de coût repose sur une approche systémique. La production aquacole relève, par analogie avec le développement, de la recherche d'un triple équilibre entre trois systèmes :

- le système biologique qui décrit la réponse des animaux aux modifications des variables d'état et de contrôle du système : relation entre la croissance pondérale et la température, la salinité, la densité des animaux, sensibilité de la courbe de croissance à la présence de substances issues du métabolisme (mortalité), influence de la quantité et de la qualité des aliments distribués sur la croissance des animaux, etc.. A l'inverse ce système doit également décrire le rétro-contrôle (feed back) que les animaux exercent sur leur milieu. On admettra aisément que

toutes les variables d'état ne peuvent être inclues dans la description du modèle biologique :

* en particulier, ne sont pas intégrées dans le modèle celles qui sont invariantes ou sans effets sur les animaux ;

* celles dont les effets sont inconnus ne pourront pas non plus être prises en compte. En revanche, certains auteurs intégrent des variables du milieu sous forme de contrainte fixe : valeur minimale ou maximale (BOSTFORD, 1983) ;

* en définitive, seules sont inclues les variables dont les effets sont parfaitement connus, et assez bien quantifiables (FRY, 1947). Leur significativité ne préside pas souvent à leur choix.

Le choix de la variable cible chez l'animal dépend de l'objectif poursuivi. L'objectif biologique "normal" de l'aquaculture est d'établir une méthode de reproduction (fécondation et développement larvaire) et d'élever des animaux jusqu'à leur mâturité, avec une mortalité limitée . A priori la variable de poids ne présente pas un grand intérêt d'un point de vue biologique (c'est plutôt un indicateur d'état). En revanche, cette variable est une de celles qui ont la plus grande signification en terme économique en aquaculture puisqu'il existe a priori une relation entre la quantité de nourriture ingérée (qui se traduit directement en un coût) et le poids de l'animal (qui se traduit directement par un prix). Parfois la longueur de l'animal apparaît également comme un déterminant du prix (GILLY et al, 1984 ; MEURIOT et GILLY, 1986) et il est alors utile d'avoir une relation taille-poids, L = f(P). Les

quelques modèles biologiques existants en aquaculture traîtent de trois paramètres essentiels :

* la loi de croissance de l'animal considéré;

* le taux de mortalité;

* les relations simples avec les caractéristiques du milieu (relation croissance-température essentiellement ou caractère léthal de certains caractères).

Les deux premiers sont liés directement à des caractères intrinsèques de l'espèce d'une part (donc difficilement modifiables sauf par sélection génétique, sensible sur longue période seulement) et d'autre part au troisième qui conditionne leur réalisation. C'est ce troisième paramètre qui se trouve à son tour déterminé par les caractéristiques techniques du système.

- le système technique, très variable selon les cas considérés est supposé répondre à deux types de fonction :

* le confinement d'un stock d'animaux (en général à une densité supérieure à la densité naturelle) dans un espace clos accessible. Cette fonction peut être assurée de diverses manières, en fonction des contraintes propres à l'éleveur mais aussi en fonction des caractéristiques éthologiques connues ou supposées de l'espèce. Ainsi, certains animaux à comportement territorial ou cannibale ne peuvent être élevés dans les mêmes enceintes que celles utilisées pour l'élevage d'espèces grégaires ;

* le maintien des paramètres du milieu à leur valeur "optimale". Le taux de croissance de chaque individu dépend du taux de nourriture, de la qualité de celle-ci, de la compétition avec les autres individus, de la température de

l'eau, de la présence ou de l'absence de certains métabolites, etc.. Le système technique régule en principe ces interactions de manière à assurer la survie et le développement optimal des animaux.

En règle générale, il faudra décrire le système technique dont on dispose avant de tenter une modélisation. Parce qu'ils sont très souvent appliqués à des techniques complexes (systèmes fermés entièrement contrôlés), la plupart des modèles techniques existants décrivent, en plus de la fonction de contention, la fonction d'acheminement de l'eau dans le système puis hors du système, la fonction de circulation de toute ou partie de l'eau, le maintien à une température donnée de l'eau, l'extraction des produits toxiques d'excrétion ou de surplus alimentaire, et l'oxygénation (schéma 2).

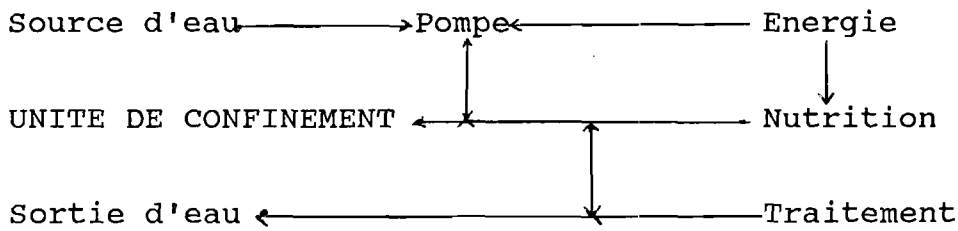


Schéma 2 : SYSTEME FERME D'AQUACULTURE

La mise en oeuvre de ce système technique génère un certain nombre de coûts (investissements, fonctionnement) qui sont décrits par le modèle économique.

- le système économique décrit la pérennité des entreprises aquacoles, dont les déterminants sont de deux types :

1. déterminants endogènes. Ils sont liés directement aux deux précédents systèmes et sont principalement liés aux coûts de leur mise en oeuvre. Il est en effet probable que tous les éléments de chacun des systèmes ne seront pas présents dans tous les systèmes d'élevage. Seuls seront retenus par les opérateurs ceux dont le coût est inférieur aux revenus produits. Ainsi par exemple, le système d'élevage des salmonidés en cage en mer ouverte ne requiert aucun système de filtration, de pompage ou d'oxygénation de l'eau, mais les coûts de confinement et de nutrition sont déterminants. En ostréiculture, les principaux coûts seront financiers.

2. déterminants exogènes. Ils sont liés à des contraintes que l'entreprise ne maîtrise pas, et ils ne sont pas toujours appréciables. Dans cette catégorie, on trouvera également des contraintes financières (accès au capital par exemple), certaines contraintes de coût (énergie), des contraintes de marché (consommation, substitutions, etc.) mais aussi des contraintes plus difficilement quantifiables comme par exemple l'existence d'activités concurrentes ou complémentaires.

La façon dont les variables biologiques, techniques et économiques sont reliées entre elles est schématisée dans le schéma 3.

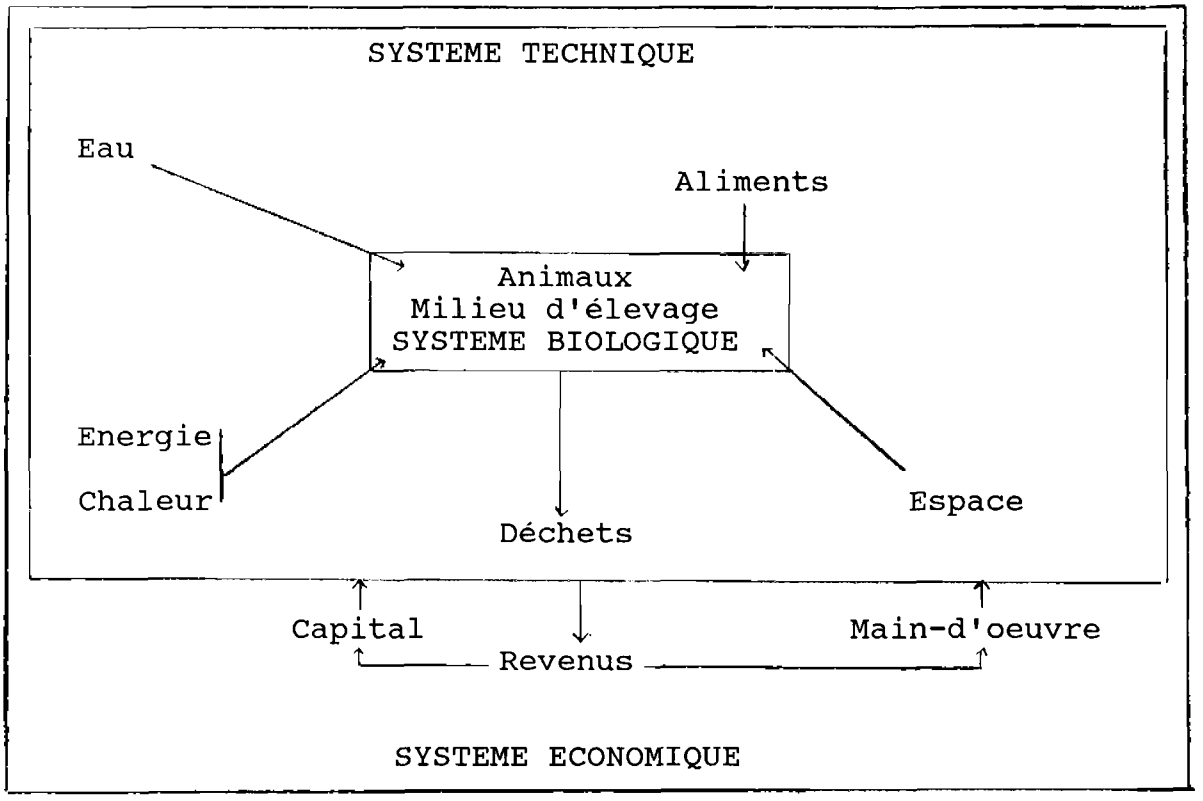


Schéma 3 : INTERACTIONS DES SYSTEMES BIOLOGIQUE, TECHNIQUE ET ECONOMIQUE EN AQUACULTURE

Ainsi le système global (regroupement des trois sous-modèles) répond bien à la finalité de l'exploitation aquacole qui est, toutes choses égales par ailleurs, d'aboutir à un certain niveau de rémunération du capital et/ou de la main-d'oeuvre. La partition d'un système d'élevage aquacole en plusieurs sous-systèmes ne correspond pas à une simplification arbitraire. Chacun d'entre eux représente une entité homogène et entre eux existent des interactions nombreuses et complexes. L'analyse économique nécessite la caractérisation de chaque élément de chaque sous-système et la description des interactions. On peut alors les réunir dans un modèle mathématique. Il est rare qu'un changement d'un facteur technique ou biologique ne se traduise pas par des modifications des variables d'état,

résultant en un changement dans les coûts de production et dans les résultats. Mais certaines variations peuvent, en l'état actuel des connaissances, ne pas être détectables, au moins à court terme : tant qu'on ne dispose pas d'un moyen pour mesurer et quantifier un changement des résultats consécutif à un changement dans les facteurs de production on ne peut réaliser un modèle intelligible. En corrollaire à cette recherche de sensibilité, un tel modèle permet de définir les domaines dans lesquels la recherche pourrait avoir les impacts les plus importants, c'est-à-dire entraînerait la mise au point des techniques les plus susceptibles de réduire les coûts et/ou les risques.

Sur la base de ce qui se fait en France métropolitaine en matière d'aquaculture, ce sont les informations disponibles sur certaines espèces qui vont déterminer le mode de travail. Seuls le bar (loup) et la truite de mer pour l'aquaculture nouvelle et les huîtres creuses ou plates pour la conchyliculture semblent suffisamment connus pour faire l'objet d'une modèlisation. Parmi les espèces tropicales, les élevages de crevettes pénaeïdes ou de chevrettes, sous réserve du choix d'une espèce précise, peuvent sans doute être étudiés de la même manière. Dans l'approche dynamique qui est présentée plus loin, on ne retiendra que les variables d'état significatives pour lesquelles on dispose des informations nécessaires.

Il est possible, une fois le système correctement spécifié, de mener l'analyse économique de deux façons :

1. la solution la plus classique -mais aussi la plus immédiatement utilisable- consiste à comparer la faisabilité économique de projets construits à partir de systèmes plus ou moins contrôlés (cf I.2.2.1.) et à déterminer dans le champ des possibles, celui qui paraît souhaitable.

2. l'autre solution consiste à déterminer le niveau d'utilisation de chacun des facteurs qui conduit au résultat considéré comme optimal : c'est l'analyse dynamique, qui recouvre les techniques de programmation linéaire, la programmation dynamique (théorie du contrôle optimal). Une présentation générale du procédé est faite dans le chapitre II.1. Le modèle développé dans le cadre du dernier chapitre est une application de cette méthode, en considérant qu'un contrôle limité est réalisé sur les paramètres bio-techniques (aquaculture "semi-intensive" avec possibilité d'alimentation mais pas de contrôle ni des températures ni des autres paramètres physiques).

I.2.2. REVUE DES METHODES APPLIQUEES

I.2.1.1. Evaluation de projets

Il existe plusieurs méthodes d'évaluation des projets. Cela revient à évaluer, parmi les investissements possibles, lequel sera le plus rémunérateur, le plus souvent en termes monétaires. Il est bien sûr possible de discuter l'opportunité d'une approche en terme de profit, mais en règle générale on ne dispose guère de moyens simples de quantification d'autres objectifs ; il reste que dans cette approche, il est toujours possible d'introduire d'autres

contraintes -comme par exemple la maximisation du nombre d'emplois créés- par l'intermédiaire de la variable de coût.

Dans ces évaluations, le critère déterminant est le taux d'intérêt utilisé. Il existe deux taux possibles dont la signification est assez largement différente et qui ne sont pas utilisées dans les mêmes circonstances. Les investissements publics sont généralement évalués au taux d'intérêt réel plutôt qu'au taux nominal (c'est-à-dire le taux monétaire). Le taux d'intérêt réel est égal au taux nominal diminué du taux d'inflation. Le taux nominal est donc beaucoup plus instable que le taux réel, mais l'utilisation de ce dernier n'est pertinente que pour des investissements à très long terme (foncier, immobilier) dont l'appréciation (ou la dépréciation) peut être différente en terme réel ou en terme nominal. La plupart du temps les investissements productifs privés sont évalués au taux d'intérêt nominal, plus élevé mais plus facile à estimer que le taux réel. L'évaluation des projets et la décision d'investissement dépendent également de l'appréciation de l'incertitude liée au projet. D'une manière générale, l'évaluation du risque se traduit par une "prime de risque" sous la forme d'un taux d'intérêt supplémentaire à ajouter au taux nominal. Plus l'incertitude est grande, plus la "prime" est importante. Ces méthodes sont largement employées, en particulier dans les évaluations de projets dans les pays en voie de développement. Elles n'ont commencé à être utilisées en France en aquaculture par des bureaux d'étude que très récemment (projet BOUYGUES en 1985).

L'analyse coût-bénéfices, qui est la plus fréquemment utilisée, compare les bénéfices annuels successifs aux coûts annuels successifs en utilisant un facteur de conversion qui permet d'exprimer les valeurs présentes et futures en des termes comparables. Ce facteur est le taux d'actualisation, i. Les bénéfices disponibles dans l'avenir sont considérés comme moins "attrayants" que des bénéfices immédiats et ont une moindre "valeur". De la même façon, les coûts futurs paraissent "moins chers" que les coûts présents. Si la valeur du taux d'actualisation est proche de zéro, les valeurs actuelles et futures sont considérées comme peu différentes et donc la décision d'investir est peu liée au facteur temps. Au fur et à mesure que i augmente, les valeurs futures se dévalorisent et le revenu immédiat prend de l'importance.

L'analyse coûts-bénéfices permet la comparaison des résultats de plusieurs projets, <u>actualisés avec le même taux et sur la même durée de vie</u>. Le bénéfice net actualisé est obtenu par différence entre les revenus actualisés (R) et les coûts actualisés (C), pour chaque année (n) de la durée (t) de chaque projet (j) :

$$B_j = \sum (R_{jn} - C_{jn})/(1+i)^n, \text{ pour } 0 \leq n \leq t$$

L'approche du taux de rendement interne dérive de cette méthode et s'intéresse au coût d'opportunité du capital, que l'on détermine à partir d'un indicateur appelé le taux de rendement interne (TRI). Le TRI est le taux d'intérêt maximum utilisable pour que le bénéfice net actualisé d'un projet soit nul, c'es-à-dire pour que les coûts et les

revenus cumulés s'équilibrent. Le problème revient à chercher i tel que :

$$B_j = 0 \longmapsto \sum (R_{jn} - C_{jn})/(1+i)^n = 0, \text{ pour } 0 \leq n \leq t$$

Le TRI correspond au taux d'intérêt du projet, c'est-à-dire qu'il permet de calculer la rémunération de l'investissement initial. Il est alors possible de comparer ce taux avec le taux nominal moyen des projets concurrents dans la région concernée. Une limite de cette approche est que cela ne permet pas de choisir a priori entre des projets dont le TRI est supérieur au taux nominal moyen ; elle ne permet que d'éliminer ceux dont le TRI est inférieur à ce taux.

Peu spécifiques au secteur de l'aquaculture, ces méthodes sont limitées dans leur interprétation. Leur utilisation doit être réservée à des évaluations en univers mal connu ou à des analyses rapides.

I.2.2.2. Décision en univers incertain

Dans la théorie micro-économique néo-classique, il est supposé que les décideurs disposent de toute l'information nécessaire, en particulier sur les prix, les coûts et les quantités produites. Il s'agit là bien sûr d'une simplification et la décision d'investir dépendra finalement de l'attitude du décideur par rapport au risque. En particulier en matière d'aquaculture, un certain nombre d'inconnues subsistent (par exemple, il paraît difficile d'estimer la durée de vie d'une technique, car si l'on peut estimer la durée du matériel utilisé, il semble difficile,

en l'état actuel du développement de la recherche, de préjuger de son obsolescence). Deux critères opposés peuvent être utilisés pour la prise de décision :

(a) maximisation des bénéfices attendus

(b) sélection de la solution la meilleure dans les pires conditions.

Un certain nombre de configurations sont décrites et des probabilités d'occurence sont calculées ou estimées pour chacune d'elles (on leur assigne des probabilités égales s'il n'existe pas d'informations précises). Les solutions possibles sont ainsi énoncées et la matrice des résultats pour chaque solution dans chaque configuration est construite. Le décideur peut alors suivre la solution qui maximise son propre critère. Dans le cas (a), la solution choisie correspond à la somme la plus élevée des produits de chaque résultat par sa probabilité . Dans le cas (b), le décideur se place dans le pire des cas et calcule le résultat obtenu. S'il existe un seul cas pour lequel le résultat est négatif (pertes), il n'y aura pas d'investissement puisqu'il paraîtra toujours préférable de ne rien gagner plutôt que de perdre. Dans la pratique, chaque investisseur recherche le meilleur compromis entre les critères (a) et (b) selon sa propre perception de l'investissement réalisable : il est probable qu'un investisseur extérieur au milieu de l'aquaculture affectera par exemple l'aléa biologique d'un coefficient de risque supérieur à ce que fera l'investisseur déjà impliqué dans des opérations aquacoles.

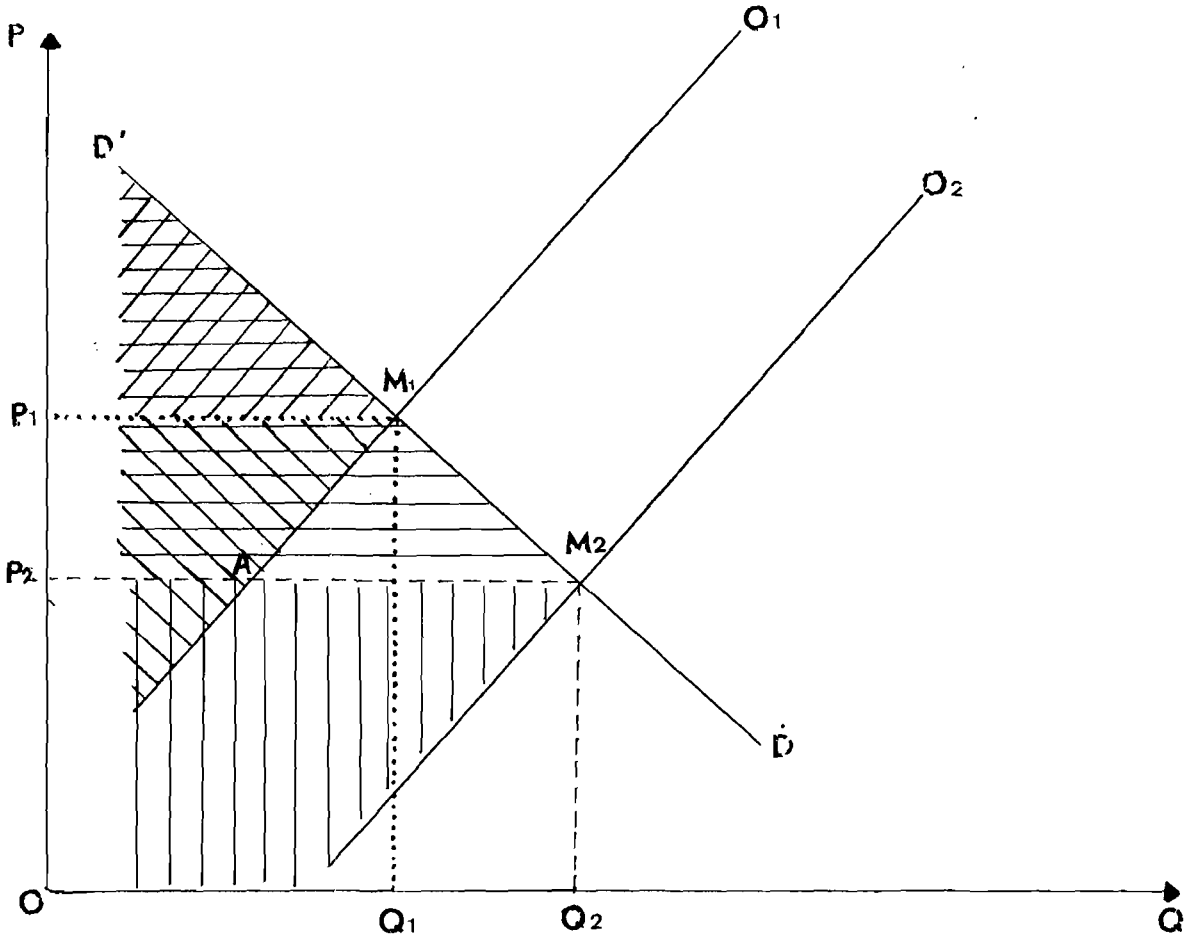
Cette approche grossière des entreprises en univers incertain ne présente un intérêt réel que pour une évaluation simplifiée des potentialités de différents projets entre lesquels il faut choisir. Elle ne renseigne pas sur la sensibilité ni sur la dynamique des systèmes.

I.2.2.3. Méthode des effets

Cette méthode est rappelée ici pour mémoire. Elle est surtout destinée à être employée par des instances d'aménagement. Elle a été largement mise au point et améliorée par la SEDES. Dans les méthodes exposées auparavant, le critère retenu pour l'évaluation des projets est la rentabilité économique. Les investissements, en particulier publics, peuvent avoir d'autres finalités : distribution de revenus, protection des sites, minimisation de la consommation d'énergie, etc...

La connaissance de l'impact d'un projet sur les différents groupes et, entre autres, de la répartition des avantages entre les consommateurs et les producteurs est importante en matière d'aménagement. L'évaluation classique de l'avantage des consommateurs (surplus du consommateur) est définie par l'aire située sous la courbe de demande, au dessus du prix du marché. Il s'agit bien d'un "gain" dans la mesure où les consommateurs achètent à un prix inférieur au prix qu'ils étaient prêts à payer (Figure 3).

Figure 3 : SURPLUS DES PRODUCTEURS ET DES CONSOMMATEURS



Le concept de surplus des consommateurs est utilisé pour tenter de mesurer, en termes monétaires, les gains et les pertes que les consommateurs obtiennent ou subissent lorsque le prix d'un bien est modifié. Un accroissement de l'offre d'un produit entraînera une modification du surplus initial ($D'M_1P_1$) au niveau $D'M_2P_2$. Le passage du prix P_1 au prix P_2 a pour conséquence un accroissement du surplus d'utilité des consommateurs puisque ceux-ci peuvent obtenir le produit à un prix inférieur à celui qu'ils sont prêts à payer (aire $P_1M_1M_2P_2$). Le surplus des producteurs est également modifié puisqu'ils pourront vendre une quantité supérieure Q_2 du bien considéré. Schématiquement, le problème des producteurs est de comparer les rapports P_1/P_2 et Q_1/Q_2, ou en d'autres termes, les surfaces $P_1M_1Q_10$ et $P_2M_2Q_20$. Si le surcroît d'offre est dû aux importations, la part du surplus des producteurs liée à cette augmentation profite aux producteurs et négociants étrangers (surface $M_2AQ_1Q_2$). Dans ce cas, les producteurs français subissent nécessairement une diminution de leur surplus, $P_1M_1Q_10$ à P_2AQ_10.

De la même façon, il est possible de définir le surplus des producteurs (rente économique) comme l'aire située au dessus de la courbe d'offre et en dessous du prix de marché. L'adoption d'un changement technologique par exemple peut se représenter comme un glissement de la courbe d'offre vers la droite, accroissant le gain social net (surplus des consommateurs + surplus des producteurs) ; mais la répartition de ce surplus entre les consommateurs et les producteurs dépend de la forme des courbes d'offre et de demande. Ce sont, en particulier, ces impacts que la méthode des effets cherche à quantifier.

I.2.2.4. Modèles dynamiques

La validation des modèles au plan théorique et pratique a été très largement discutée au cours des dernières décennies par différents auteurs (POPPER, 1959 ; TOULMIN, 1961 ; CASSWELL, 1972). En reprenant la classification de TOULMIN, il est possible de retenir l'existence d'une dichotomie scientifique :

- les modèles théoriques qui permettent de mieux comprendre le fonctionnement d'un système ;
- les modèles prédictifs qui permettent de développer la capacité à prédire les comportements d'un système, sans en avoir nécessairement une connaissance exhaustive.

En matière d'aquaculture, les modèles nécessaires relèvent a priori de deux approches, compte tenu du nombre des paramètres incertains.

Les données existantes en France sont très réduites pour les différentes espèces susceptibles d'élevage : le système biologique est connu mais imparfaitement interprété, le système technique est souvent bien maîtrisé mais très variable, les coûts relatifs aux différentes opérations sont mal connus et très variables, les marchés sont particulièrement imparfaits.

Dans un premier temps, il est possible de réaliser un modèle partiel (comme font en général les écologistes - SINKO et STREIFER, 1969 ; MACFAYDEN, 1973), intégrant les relations fonctionnelles connues entre les paramètres et assignant aux paramètres inconnus des valeurs arbitraires : si au cours des essais successifs les résultats sont sensibles aux valeurs données, cela permet d'orienter les priorités. Par ailleurs, il paraît utile d'éluder les intervalles limites des modèles biologiques dans la mesure où ceux-ci sont fortement improbables dans les conditions de production. Par exemple, dans les modèles biologiques, le spectre des températures est limité à celles pour lesquelles le taux de croissance est positif car il ne sera jamais "rentable" d'élever des animaux qui ne grossissent pas.

Une fois réunies les informations nécessaires, on entre dans plus de détails quant à la construction et l'analyse du modèle. Celui-ci peut être "utilisé" de trois manières :

. <u>calcul des coûts</u> : les valeurs données aux paramètres sont celles qui correspondent aux "meilleures" expérimentations réalisées. C'est un procédé largement utilisé par les firmes d'ingénierie aquacoles (notamment

France Aquaculture, 1981 ; HAGOOD et WILLIS, 1976), pour déterminer la faisabilité d'un projet au regard des contraintes commerciales.

. l'étude de sensibilité peut être utilisée soit pour estimer la robustesse des calculs de coûts soit pour anticiper l'impact sur ceux-ci d'un changement probable ou possible de technologie. Dans le premier cas cela concerne surtout des variations des valeurs des paramètres biologiques du modèle. Les nouvelles valeurs peuvent être choisies par l'introduction d'une distribution aléatoire - méthode de Monte-Carlo- observée ou estimée. La distribution des résultats constitue une mesure de l'incertitude sur les coûts, due à l'incertitude sur un des paramètres. Il est alors possible de comparer ces résultats avec les coûts probables de la recherche nécessaire pour réduire l'incertitude sur le paramètre considéré. Dans le deuxième cas, les méthodes sont identiques, mais on introduit des intervalles de coûts pour chaque variable incertaine (coûts futurs estimés par exemple).

. l'optimisation utilise des valeurs des variables différentes en fonction de systèmes ou de méthodes différents. Il peut s'agir soit d'utilisation différente d'un même système (variables continues), soit d'utilisation de différents systèmes pour une même production (variables discrètes). Par exemple RAUCH et al. (1975) utilisent différents débits ou températures d'eau et cherchent la combinaison optimale au regard de la croissance et des coûts; SCHUUR et al. (1974) comparent l'opportunité d'utiliser soit des cages soit des bassins; GATES et al.

(1981) réalisent l'optimisation statique des profits en fonction de la taille des animaux à la vente et de la destination du produit.

Le choix de la technique d'analyse se fait parallèlement au choix du modèle. Il existe un assez grand nombre de techniques d'optimisation regroupées en deux catégories: les techniques analytiques d'une part et les techniques numériques d'autre part, chacune étant mieux adaptée pour répondre à un type de problème donné. Les méthodes analytiques, en organisant les relations fonctionnelles décrivant les contraintes, les variables de contrôle et les objectifs, donnent un vecteur solution qui satisfait le problème. Les méthodes numériques procèdent par itérations jusqu'à trouver la valeur de chaque variable de contrôle qui optimise le système et satisfait les contraintes.

Les techniques d'optimisation sont nombreuses et seuls les principes seront rappelés ici. En règle générale, on cherche les valeurs des variables de contrôle Vi (i=1,2,...,n) qui maximisent ou minimisent une fonction de ces variables ou fonction d'objectif (dans les travaux de GATES et al., la fonction objectif est la fonction de coût) :

$$C = F(V_1, V_2, \ldots V_n)$$

Lorsque les variables V_i ne peuvent prendre toutes les valeurs possibles, elles sont contraintes par des fonctions G_j et l'ont est alors amené à résoudre un système de p+1 équations contenant p fonctions de contraintes :

$$(S) \quad \begin{cases} C = F(V_1, V_2, \ldots V_n) \\ G_1(V_1, V_2, \ldots V_n) = 0 \\ G_2(V_1, V_2, \ldots V_n) = 0 \\ G_n(V_1, V_2, \ldots V_n) = 0 \end{cases}$$

En aquaculture, ces contraintes peuvent être d'ordre biologique (par exemple la quantité de nourriture apportée est nécessairement positive ou nulle, le taux de certains métabolites dans le milieu doit absolument rester inférieur au taux léthal), d'ordre technique (un bassin donné ne peut contenir plus d'eau que son propre volume, une pompe ne peut fournir plus que son débit maximum,...) ou d'ordre économique (le profit ne peut excéder la différence entre le revenu brut et les coûts).

La méthode usuelle de résolution de ces systèmes passe par l'utilisation de la fonction Lagrangienne associée, $\mathcal{L}$:

$$\mathcal{L} = F(V_1, \ldots V_n) + \lambda_1 G_j(V_1, \ldots V_n) + \ldots \lambda_p Gp(V_1, \ldots V_n)$$

$$d\mathcal{L}/dV_i = 0; \qquad d\mathcal{L}/d \quad = 0; \qquad dF/dV_i + \lambda_j * dG_j/dV_i = 0$$

où les sont des constantes à déterminer (les multiplicateurs de Lagrange). Sur le fond, la procédure est identique à celle utilisée pour les problèmes de maximisation sans contrainte (conditions de premier et second ordre) et l'on résoud S pour les valeurs des Vi et λ_j qui annulent les dérivées premières et secondes.

Le multiplicateur de Lagrange peut être interprété comme la "sensibilité" de la fonction objectif aux variations de la contrainte j. De même la dernière égalité implique que les rapports entre les variations de la fonction objectif par rapport à chaque variable Vi et les

variations de chaque contrainte Gj par rapport à chaque variable Vi sont égaux.

La programmation linéaire est une méthode d'optimisation utilisée en particulier lorsque la fonction objectif et les contraintes sont des fonctions linéaires des mêmes variables. Largement utilisée en nutrition (pour déterminer les formules alimentaires optimales sous contraintes -BARBIERI et CUZON, 1980), cette méthode présente l'inconvénient de travailler avec des valeurs particulières des variables de contrôle. Par exemple, pour déterminer le coût minimal de chauffage de l'eau, la programmation linéaire produira une température optimale pour toute la période d'élevage, conduisant à ignorer les éventuelles économies réalisées en modulant la température en fonction du stade d'élevage par exemple. Ce problème précis peut être contourné de deux manières :

* il est possible de partitionner le temps d'élevage en périodes plus courtes et de déterminer, par programmation linéaire, l'optimum thermique sur l'intervalle de temps considéré. C'est un procédé long et sans doute coûteux en termes de temps de calcul. Pour autant il ne faut peut être pas le rejeter a priori.

* il existe des procédés plus élégants, dits techniques dynamiques, qui permettent justement de choisir une fonction de variables indépendantes (le plus souvent la variable temps). Ces techniques, programmation dynamique ou contrôle optimal, sont toujours basées sur le Principe du Maximum (PONTRYAGIN et al., 1962 ; STOLERU, 1980). Le problème revient à déterminer les extrema de l'intégrale

d'une fonction de fonctions, ces dernières étant toutes dépendantes du temps (la fonction des fonctions est établie sur un intervalle de temps discret et intégrée à l'ensemble de la période) :

(A) $$C = \int_0^T F(\underline{v}(t),\underline{u}(t),\underline{p}(t)*dt$$

t = variable indépendante (temps).

$\underline{v}(t)$ est le vecteur des variables d'état qui sont fonction du temps ;

$\underline{u}(t)$ est le vecteur des variables de contrôle qui sont fonction du temps ;

$\underline{p}(t)$ est le vecteur des paramètres ;

Ces variables sont reliées par des contraintes qui prennent la forme d'équations différentielles décrivant la dynamique de chaque variable d'état :

(B) $$dV/dt = g(\underline{v}(t),\underline{u}(t),\underline{p}(t))$$

La solution est donc le vecteur des variables de contrôle $u_1(t)$, $u_2(t)$,....$u_n(t)$ qui satisfait (A) et (B).

Il est possible de se livrer à un essai sur la manière de procéder avec ce genre de technique, afin de mieux comprendre le type de données nécessaires. Supposons un élevage de poissons en bassin et soit W la biomasse présente dans le bassin. Cette biomasse est fonction d'un certain nombre de paramètres comme le taux de croissance spécifique des animaux, la taille du bassin, la ration alimentaire quotidienne, etc.. Supposons que cette biomasse ne soit fonction que de la ration alimentaire R. On peut écrire :

$$dW/dt = f(W,R)$$

Considérons que l'objectif est de maximiser le profit au terme de l'élevage. On admet que le cycle de croissance

de cette espèce est suffisamment long pour intégrer à la fonction objectif un taux d'actualisation. La fonction à maximiser est donc :

$$P = \int_0^T (R(W,R,t)-C(W,R,t)\exp(-it)dt$$

où i est le taux d'actualisation.

La solution sera la fonction R(t) qui maximise P sous la contrainte dW/dt = f(W,R). La fonction de contrôle doit être efficace sur toute la durée de la période considérée. La fonction Hamiltonnienne associée s'écrit :

$$H(t) = (R(W,R,t)-C(W,R,t))\exp(-it) + \lambda(t)f(W,R)$$

Le principe du Maximum énonce que la fonction R(t) recherchée est celle qui maximise le Halmitonien. Le problème est donc à présent un simple problème de maximisation où l'on cherche R(t) telle que :

$$dH/dW = 0$$

Le terme $\lambda(t)$ a ici une signification identique au multiplicateur de Lagrange, mais il est fonction de la variable indépendante. On peut l'écrire :

$$\lambda(t) = \partial/\partial W * \int_0^T Hdt$$

(∂ est le symbole de la dérivée partielle)

$\lambda(t)$ décrit l'importance de la modification des profits futurs résultant d'un changement de biomasse : c'est donc une valeur marginale de la biomasse. L'intérêt de cette technique est, pour reprendre l'exemple choisi, de prendre en compte non seulement les effets immédiats sur le profit d'une augmentation de la ration, mais aussi les effets de cet accroissement dans l'avenir sur la ou les futures productions.

I.3. CONCLUSION

Premier programme prioritaire du CNEXO dès 1968, l'aquaculture a été largement victime de son mythe. L'évaluation des efforts passés se mesure autant à l'aune des connaissances acquises qu'au tonnage produit ou qu'au chiffre d'affaires réalisé. De ce point de vue, les efforts ont été largement payants. La médiatisation de perspectives irréelles a créé les conditions d'une perception négative de résultats logiquement peu importants.

Les discours dominants, étatiques ou corporatistes, sur le secteur de l'aquaculture nouvelle ont très rapidement constitué un "paradigme aquacole", pérénnisé sous la forme d'un système de représentations idéologiques empruntées à d'autres secteurs. Ignorant l'efficacité, la complexité et le déterminisme des systèmes de production et de valorisation aquacoles, ce paradigme repose sur un modèle évolutionniste que l'analyse de l'histoire récente infirme.

Au-delà de la confrontation avec la réalité, il faut alors remarquer la faiblesse générale de la connaissance des déterminants non biologiques de l'aquaculture. De nombreuses voies de recherche apparaissent en la matière : le marché des produits d'aquaculture est-il original ou n'est-il qu'une variante du marché des produits de la mer ou des produits alimentaires en général ? Quels sont les autres facteurs de compétition ou/et de complémentarité avec la pêche (hors revendications paysannes) ? Doit-on continuer à développer des filières aquacoles ou est-il possible de se spécialiser sur un ou plusieurs créneaux bien limités ?

Comment apprécier les contributions potentielles d'innovations technologiques à la satisfaction de besoins qui sont satisfaits d'une autre manière ou qui ne sont que latents ? Peut-on évaluer les perspectives offertes à l'aquaculture en France quand cette évaluation ne peut être le résultat ni d'une extrapolation ni d'une projection puisque les conditions technico-économiques dont elle est tributaire sont difficilement quantifiables à ce jour ? Existe-t-il des données suffisantes pour tester la sensibilité des résultats à des variations exogènes de l'environnement (coûts des inputs par exemple) ?

Les différents résultats montrent que, contrairement à un certain nombre de discours récents, il est possible économiquement de voir se développer un secteur aquacole nouveau. Les calculs montrent que cette activité dégage de la valeur ajoutée et qu'elle est donc susceptible de permettre à des entreprises de créer des emplois et de réaliser des profits. Face à cette constatation, il est plus intriguant de voir la faiblesse insigne du nombre d'entreprises créées et surtout du nombre d'entreprises ayant survécu. Plusieurs types d'explications peuvent être trouvées à cette situation :

1 - Nature de l'investissement. L'absence d'investisseurs dans ce secteur économique peut être lié soit au montant de l'investissement (seules les régions littorales étant "informées" sur cette activité, le taux de gros investisseurs est réduit) soit à la nature de cet investissement (absence de structures financières

appropriées, taux de retour peu attractif par rapport à d'autres alternatives d'investissement local).

2 - Risques et incertitudes. Aucune place n'a vraiment été faite dans les travaux de recherche en aquaculture sur l'évaluation des incertitudes sur le processus de production ni sur les risques liés d'une part au caractère naturel de la production et d'autre part aux marchés des animaux d'élevage.

Il parait ainsi impossible de continuer à raisonner sur des méthodes d'évaluation classiques alors que le principal vecteur de développement, formé par l'entreprise aquacole, évolue dans un environnement mal expliqué ; il fallait développer une approche dynamique, intégrant d'une part les mécanismes financiers de l'investissement et du fonctionnement de l'entreprise et les contraintes multiples qu'ils génèrent et d'autre part le comportement de l'investisseur vis-à-vis du risque lié à l'investissement.

II. UN MODELE ANALYTIQUE D'AIDE A LA DECISION EN AQUACULTURE

II.1 - PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE

L'étude fine de la structure des entreprises aquacoles (conchyliculture traditionnelle ou aquaculture nouvelle) sort du propos de cette étude. Les travaux de MERCKELBAGH et ESNOUF (1978), DUMONT (1984 ; 1985) sur le secteur de la conchyliculture et BARBAZANGE (1982), GILLY et WEBER (1985) sur l'aquaculture nouvelle ont montré que les structures de production et de mise en marché en aquaculture étaient voisines, sur le fond, des structures de petite production agricole. Plusieurs facteurs militent en ce sens :

. la production française est essentiellement le fait de petites entreprises à caractère artisanal et/ou familial, surtout en conchyliculture.

. le travail est majoritairement apporté par une main-d'oeuvre familiale, complétée éventuellement par un petit nombre de salariés permanents et un nombre élevé de travailleurs saisonniers. Cela n'est pas seulement lié aux caractéristiques de l'exploitation d'une ressource naturelle mais aussi à la taille des entreprises, laquelle dérive de la conjonction de nombreux facteurs économiques, sociologiques et ethnologiques : investissements, risques, modes de transmission de la propriété, etc. (DUPONT 1986).

. les activités aquacoles, tout comme les activités agricoles, nécessitent l'attribution permanente d'un espace et le niveau de production dépend en partie de la surface exploitée.

L'existence d'entreprises en activité (conchyliculture et aquaculture nouvelle), dégageant des valeurs ajoutées nettes non négligeables d'une part, et d'autre part les problèmes rencontrés soit par les investisseurs extérieurs soit par les jeunes exploitants pour racheter une entreprise nécessitaient l'élaboration d'un modèle explicatif représentatif de l'entreprise aquacole. Les limites de cette approche, réductrice parce qu'elle n'intègre les spécifités du caractère naturel des ressources que de façon marginale sont explicitées dans le paragraphe II.2.

La méthodologie explicitée dans le premier chapitre a été utilisée pour l'élaboration du modèle théorique :

* Les variables d'état retenues sont le nombre et le poids des individus présents par unité d'espace et le nombre d'unités d'espace disponibles et exploitées.

* Les variables de contrôle sont multiples et peuvent être choisies en fonction des types d'aquaculture modélisés: quantité et coût de différents inputs (nourriture, foncier, etc) et quantités, prix et coûts des animaux récoltés et vendus. Les fondements théoriques de la programmation linéaire sont rappelés dans le paragraphe II.1.1.

Le mode de prise en compte des facteurs d'incertitude et de risque est présenté dans le corps du modèle ; le paragraphe II.1.2. dresse un rapide aperçu des différentes méthodes les plus fréquemment utilisées pour la prise en compte du risque. Le choix de l'utilisation d'un modèle de programmation mathématique linéaire résulte à la fois de la méthode d'intégration du risque et de considérations sur la

compréhension du modèle par des personnes n'ayant pas de "connaissances pointues" en matière d'optimisation. (l'application de ce modèle doit être menée en collaboration avec des biologistes et/ou des techniciens aquacoles). Les méthodes de programmation quadratique (du type du modèle de gestion de portefeuille développé par MARKOWITZ) nécessitent à la fois un jeu de données beaucoup plus complet et des temps de calcul plus importants. Par ailleurs, SHACKLE (1949, 1961) a montré que les formulations utilisant la programmation quadratique présentent des inconvénients théoriques, en particulier liés à l'irrationnalité de la maximisation de l'utilité attendue, si un niveau de perte donné peut entraîner la disparition pure et simple de l'entreprise.

L'utilisation de la programmation linéaire comporte pourtant quelques inconvénients techniques, en particulier liés à la nécessaire linéarité des contraintes. Lorsqu'une contrainte n'est pas ou est difficilement linéarisable, la programmation linéaire oblige soit à contourner en subdivisant cette contrainte en plusieurs autres (ce qui accroît la taille des tableaux matriciels) soit à la supprimer et à l'intégrer par des simulations externes au modèle lui-même (ce qui accroît le nombre d'itérations et donc le temps de calcul).

En matière d'aquaculture (conchyliculture ou aquaculture nouvelle), les variables biologiques telles que le croît, la mortalité, certains coefficients biologiques comme le taux de conversion, ou techniques tels que la température de l'eau en système ouvert, ne sont pas véritablement contrôlés par les producteurs. Le modèle élaboré dans ce document considère que

ces coefficients sont déterminés de façon exogène et restent constants sur l'ensemble de la période considérée (c'est-à-dire pour une itération). Il est parfaitement envisageable de bâtir un programme de simulation qui fournisse des coefficients variables (fonction ou non d'un aléa issu d'une loi arbitrairement choisie) à chaque itération de l'optimisation ou au début de chaque période.

Le modèle théorique présenté a été construit pour être traîté par le logiciel "IBM Mathematical Programming System Extended/370" (MPSX). Sa cohérence et sa robustesse ont commencé à être testées dans le cadre d'un autre travail, appliqués à une entreprise ostréicole (GATES et GILLY, à paraître). Le lecteur trouvera en annexe le programme de génération de la matrice lié à ce programme. Des problèmes techniques de connexion avec le Centre National Universitaire Sud de Calcul ont rendu impossible la publication des résultats complets dans le cadre de ce document, mais ont permis de vérifier la faisabilité de la solution et de confirmer certaines hypothèses sur les conditions de la production.

II.1.1 - PRINCIPES GENERAUX DE L'UTILISATION DE LA PROGRAMMATION LINEAIRE POUR LA MODELISATION D'UNE ENTREPRISE

Les principes de base de la programmation linéaire en économie ont été exposé par DANTZIG (1951). L'application de la programmation linéaire aux problèmes généraux d'économie et de gestion a été abordé par DORFMAN, SAMUELSON et SOLOW (1958) puis par GALE (1960). De nombreuses applications ont ensuite permis de détailler, pour de nombreux secteurs économiques, la manière dont la programmation linéaire pouvait représenter le

fonctionnement des entreprises. En particulier, en agriculture on peut citer par exemple les travaux de HILDRETH et TINTNER pour les Etats-Unis et de BOUSSARD en France. Ce chapitre rappelle les fondements de la programmation linéaire en économie. Il emprunte largement aux ouvrages de FERGUSON et GOULD (1966) et SILBERBERG (1978).

Le principe de base du modèle est une représentation linéaire du fonctionnement de l'entreprise. On distingue ainsi :

1 - **Un vecteur $X = (x_i)$, $i = 1...n$ des activités élémentaires x_i de l'entreprise.** Ces activités peuvent être de nature très diverses mais concernent chacune des tâches distinctes du processus de production, de transformation, de transport, de commercialisation, etc... Dans le cas des entreprises agricoles ou aquacoles, qui comportent la plupart du temps un établissement unique, ces activités se limitent aux processus de fabrication aboutissant à la vente du produit (1). Ces activités relèvent le plus souvent de l'approvisionnement en un facteur de production, achat de matériel, de biens intermédiaires ou recrutement de main-d'oeuvre permanente ou temporaire. L'auto-approvisionnement de l'exploitation en un bien intermédiaire utilisé ultérieurement peut également constituer une activité ; cela sera en particulier le cas lors de l'étude de productions pluriannuelles lorsque l'activité de

(1) Beaucoup d'entreprises conchylicoles ont divisé leur activité entre les membres d'une même famille, chacun d'entre eux gérant individuellement son activité au sein de l'entreprise. Nous nous intéressons, dans le cadre de ce document, à la production proprement dite.

l'année t est utilisée comme approvisionnement de l'année t+1 (ce passage d'une période à une autre constitue une équation de transfert).

2 - **Un vecteur B = (bj), j=1...m représentant les niveaux b_j de ressources nécessaires aux activités élémentaires x_i de l'entreprise.** Une ressource constituera un facteur fixe si aucune des activités de l'entreprise n'en produit. Dans le cas contraire, on parlera de facteur variable : l'une au moins des activités élémentaires de l'entreprise permet l'approvisionnement en cette ressource.

3 - **Une matrice A = (a_{ij}) des coefficients techniques des activités élémentaires de l'entreprise.** Les coefficients techniques a_{ij} représentent la quantité de ressource j consommée ou produite pour une unité d'activité élémentaire x_i. Si l'activité x_i produit de la ressource b_j, le coefficient aij associé sera positif. Dans le cas contraire, il sera négatif.

La disponibilité en ressources (produites ou consommées) et les coefficients techniques permettent d'écrire les contraintes imposées à la production :

(1) $A.x \leq B,\ x \geq 0$

4 - **Une fonction d'objectif F** que l'on peut représenter sous la forme d'un vecteur $F^*=(f_i), i=1...n$ ou chaque f_i est la contribution de l'activité i à la fonction d'objectif F choisie, c'est-à-dire l'utilité marginale de l'activité i. Dans le cas le plus fréquent où F est une fonction de maximisation du profit, le coefficient f_i représente la marge nette d'une unité d'activité i. L'entreprise aura donc pour objectif de maximiser

(2) $F = \sum_{i=1}^{n} f_i x_i = F^*.X$, sous la contrainte (1)

BOUSSARD (1970) indique les trois hypothèses de linéarité que doivent respecter les différentes variables intervenant :

* "hypothèse de proportionnalité entre le niveau des activités d'une part et la consommation en facteurs de production et les quantités d'outputs produites d'autre part". Cette hypothèse suppose, ce qui est le cas le plus général, que l'augmentation du niveau d'une activité entraîne nécessairement un accroissement de la consommation des facteurs requis et de la production d'outputs. En matière de ressources renouvelables, cette hypothèse pose un problème dans la mesure où, si l'augmentation du niveau d'activité entraîne effectivement un accroissement de la consommation des inputs, l'augmentation de la production d'outputs n'est pas systématique ; elle dépend de la nature et du niveau des externalités.

* "hypothèse d'additivité des consommations des facteurs et productions d'outputs de l'ensemble des activités élémentaires au niveau de chacune des lignes du second membre". Cette hypothèse exprime qu'une ligne ne correspond qu'à un seul type de contrainte.

* "hypothèse de divisibilité des activités dont le niveau, représenté par un nombre réel, peut ne pas être un entier". Cette dernière hypothèse permet d'assurer la continuité des fonctions sur lesquelles est basé le modèle.

Considérons par exemple un modèle basé sur la production de deux biens à partir de deux facteurs, A et B, notés A_j et B_j selon qu'ils sont utilisés pour la production j. Soit P_1 et P_2 les prix de chaque bien. Le modèle s'écrit :

$$(1)\quad \begin{cases} \max & P_1 f^1(A_1,B_1) + P_2 f^2(A_2,B_2) \\ \text{sous contrainte} & A_1+A_2 \leq A \ ; \ B_1+B_2 \leq B \ ; \ A_1,B_1,A_2,B_2 \geq 0 \end{cases}$$

Si l'on considère par hypothèse des rendements d'échelle constants, on peut alors écrire :

$f^j(tA_j,tB_j) = tf^j(A_j,B_j) = ty_j \ ; \ j = 1,2;$

Cette relation étant valable quelque soit t, elle l'est en particulier pour $t = 1/y_j$:

$$fj\left(\frac{A_j}{y_j}, \frac{B_j}{y_j}\right) = 1$$

où $\frac{A_j}{y_j} = a_{Aj}$ et $\frac{B_j}{y_j} = a_{Bj}$ représentent la quantité de ressource A ou B utilisée pour produire une unité d'output j. Ce sont les coefficients techniques de production. Le système (1) peut alors s'écrire :

$$(4)\quad \begin{cases} \max & z = p_1y_1+p_2y_2 \\ \text{sous contrainte} & a_{A1}y_1 + a_{A2}y_2 \leq A \\ & a_{B1}y_1 + a_{B2}y_2 \leq B \\ & f^1(a_{A1},a_{B1}) = 1 \\ & f^2(a_{A2},a_{B2}) = 1 \end{cases}$$

Si les coefficients techniques a_{ij} sont constants, le modèle devient un modèle de programmation linéaire puisque P_1,P_2, A et B sont constants. Le problème revient à maximiser une fonction sous contraintes et s'écrit plus simplement :

$$(5)\quad \begin{cases} \max & z = P_1y_1 + P_2y_2 \\ \text{sous contrainte} & a_{A1}y_1 + a_{A2}y_2 \leq A \\ & a_{B1}y_1 + a_{B2}y_2 \leq B \\ & y_1,y_2 \geq 0 \end{cases}$$

La région de production économique d'une fonction de production se limite à des isoquantes en forme de L (figure 4).

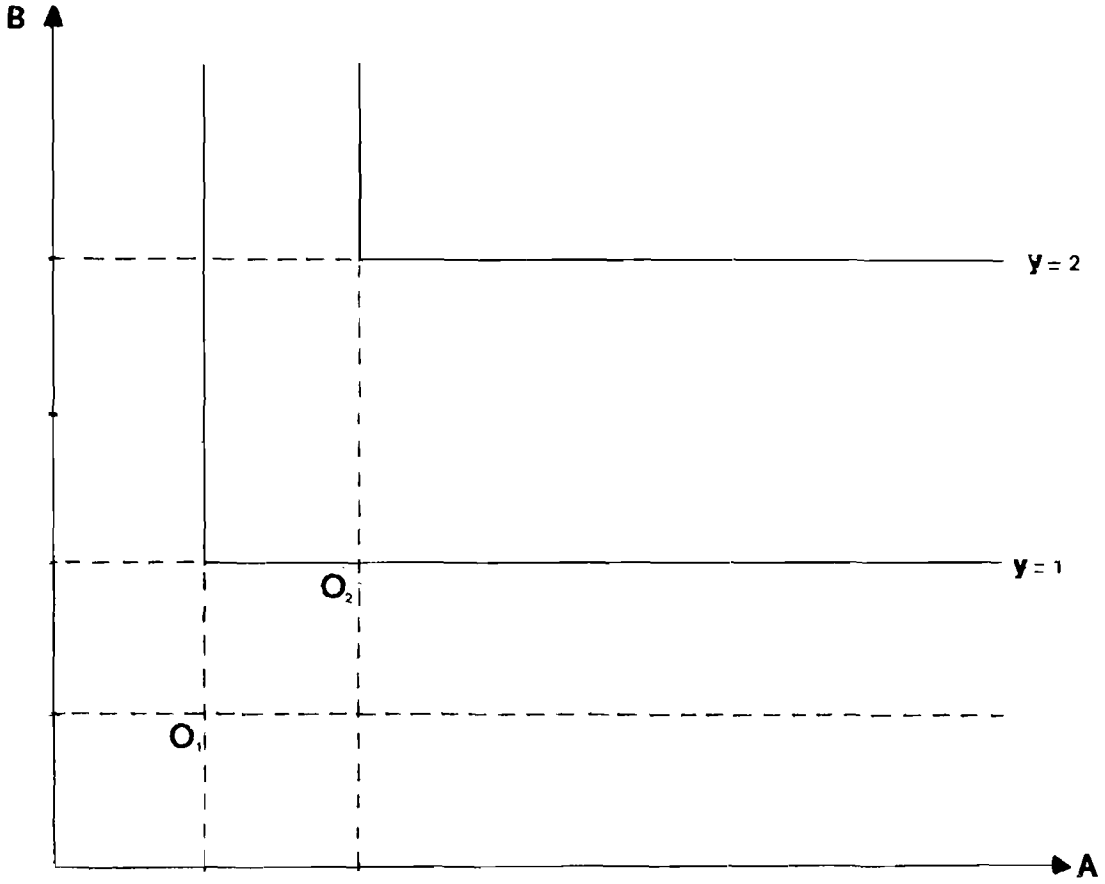


Figure 4 (SILBERBERG, 1978)
Représentation de la région de production économique.
Cas d'une fonction de production à coefficients constants.
Deux inputs. Deux niveaux de production.

La production d'une unité d'output nécessite une quantité donnée de chaque facteur. Ce sont des fonctions de la classe

$$y_j = \min \left(\frac{A}{a_A}, \frac{B}{a_B}\right)$$

Le produit marginal des facteurs A et B n'est jamais simultanément nul. Ainsi, dans la figure 4, à la droite du point 0_1, la productivité marginale du facteur A est nulle puisque toute augmentation du facteur A n'a aucun impact sur la production. Un accroissement du facteur B aura un effet sur la production, sa productivité marginale est positive. Au point 0_1, tout mouvement même limité, sur la droite de 0_1 traduit une productivité marginale du facteur B positive ; tout mouvement vers la gauche se traduit de façon inverse, la productivité marginale de A est positive : il y a discontinuité au point 0_1, lieu auquel le rapport des productivités marginales des deux facteurs n'est pas défini.

Le choix de coefficients techniques constants est très restrictif. On peut généraliser les résultats en considérant que l'entreprise a le choix entre un nombre fini de possibilités de production. La figure 5 représente le cas d'une entreprise ayant 3 activités (R_1,R_2,R_3) et toujours 2 inputs A et B. Avec différentes combinaisons, la firme peut produire les différents outputs : les points 0_1 et 0_2 correspondent aux mêmes résultats que précédemment en utilisant les procédés R_1 et R_2. En 0_3, la firme produit, à partir des facteurs A et B, en utilisant le procédé R_3. Mais en plus, elle peut produire toute combinaison de ces procédés. En particulier n'importe

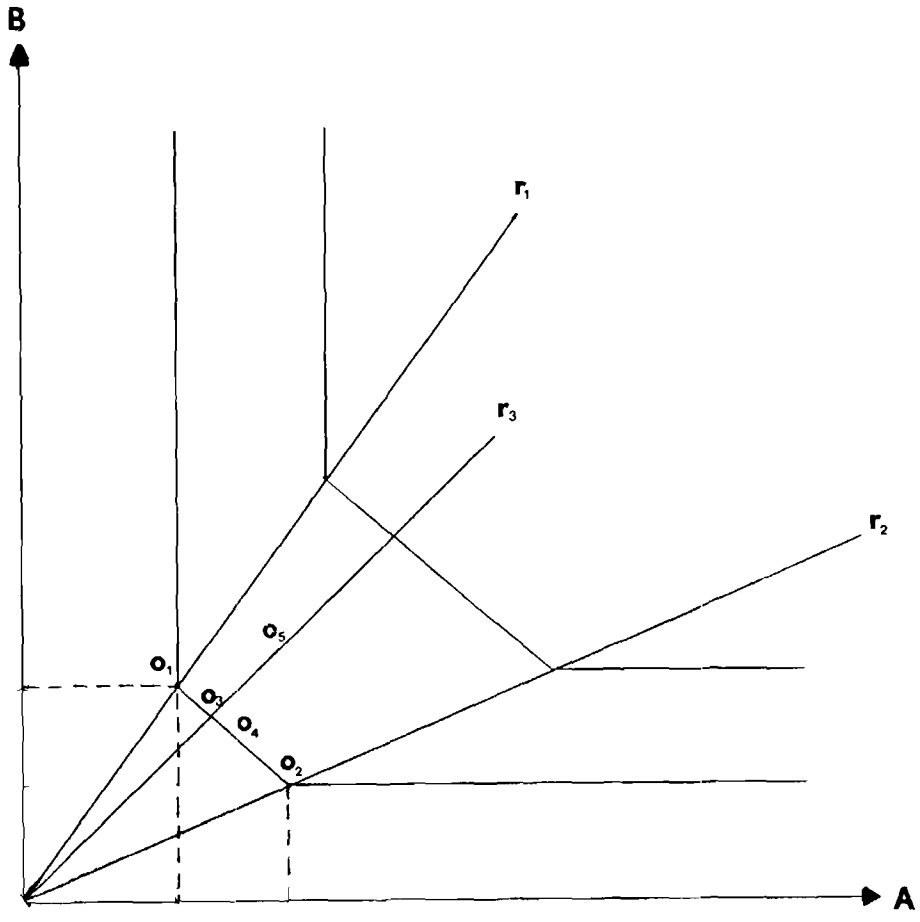


Figure 5 (SILBERBERG, 1978)
Représentation de la région de production économique.
Coefficients techniques constants. Deux niveaux de production.
Trois activités.

quel point de la droite liant deux points possibles est possible. La fonction de production est du type

$$y_j = \min \left(\frac{A_j}{a_{Aj}}, \frac{B_j}{a_{Bj}}\right)$$ où j est le nombre d'activités

Plus généralement, si on abandonne l'hypothèse de coefficients constants, on obtient une représentation de la région de production économique du type de celle représentée sur la figure 6.

Lorsque l'on augmente légèrement le niveau de l'une des ressources contraignantes, c'est-à-dire une ressource pour laquelle $\sum_i a_{ij}x_i = b_j$ est atteinte à l'optimum, d'une quantité b_j, la valeur de la fonction économique s'accroît de Δf.

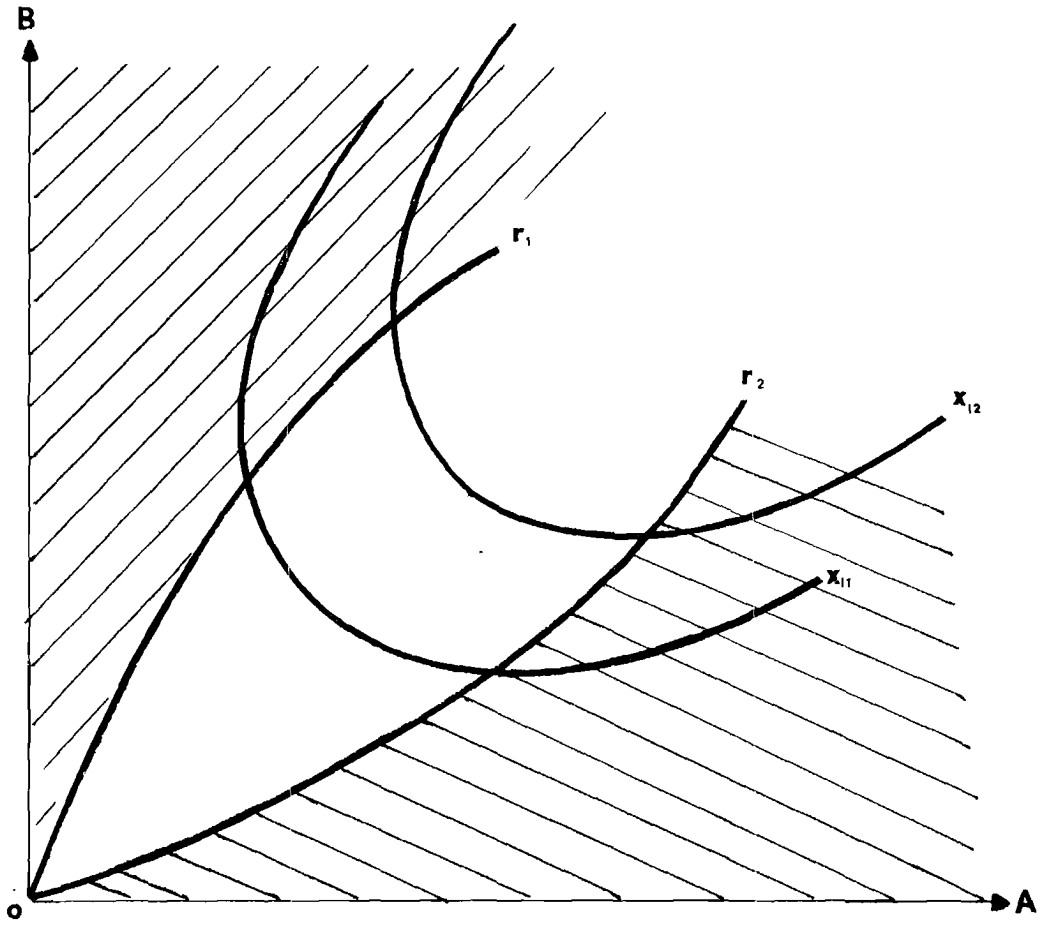
C'est le rapport $\Delta f / \Delta b_j$ qui permet de calculer la productivité ou valeur marginale de la ressource j pour l'entreprise. Lorsqu'une ressource n'est pas contraignante, sa valeur marginale est nulle et l'on a l'inégalité

$$\sum_i a_{ij}x_i < b_j$$

Ces conditions sont plus connues sous le nom de conditions de KUHN et TUCKER.

Si l'on nomme P_j la valeur marginale de la ressource j et $P=(p_1 \ldots p_j \ldots p_m)$ le vecteur des valeurs marginales des m ressources de l'entreprise, alors la solution du problème d'optimisation identifiée par les équations (1) et (2) (problème primal) :

$$(6) \quad \begin{cases} \max F = \sum f_i x_i = F^*.X \\ \text{sous contrainte } A.X \leq B \\ \qquad\qquad\qquad X \geq 0 \end{cases}$$



B o r₁: région où l'augmentation de A est une condition nécessaire et suffisante pour accroître la production de l'output i. B est en excès.

A o r₂: inverse

r₁ o r₂: région de production économique

Figure 6 (FERGUSON 1969) :
Représentation de la région de production économique
Cas d'une fonction de production à coefficients variables

est équivalente au problème dual qui s'écrit

$$(7) \quad \begin{cases} \min P = \sum_j b_j p_j = B^*.P \\ \text{sous contrainte } A'.p \geq F \\ \qquad\qquad\qquad P \geq 0 \end{cases}$$

Le passage du problème primal au problème dual est rendu possible par le respect des conditions de KUHN et TUCKER (SILBERBERG, 1978). Les multiplicateurs de Lagrange associés aux contraintes lors de la maximisation de la fonction objectif peuvent être interprêtés comme les valeurs marginales des ressources. Résoudre le problème dual est équivalent à chercher une matrice des valeurs marginales qui minimisent la valeur totale des ressources sous contraintes. Tout agent économique est supposé prêt à payer pour l'acquisition d'un facteur de production nécessaire un prix égal à sa valeur marginale. Les valeurs duales doivent normalement s'établir à un niveau voisin des prix de marché, si les ressources font l'objet d'un marché libre. Ces valeurs duales s'interprétent comme le prix accordé par l'entreprise pour desserrer d'un facteur unitaire la contrainte pesant sur la ressource. Les conditions de KUHN et TUCKER indiquent que, si une ressource est sous utilisée, il doit théoriquement s'agir d'un bien gratuit.

A partir de ce schéma de base, il est possible d'affiner l'application de la programmation linéaire à la représentation d'une entreprise en intégrant le facteur temps. La formulation de modèles dynamiques en programmation linéaire ne pose pas de réels problèmes techniques. Le temps introduit des contraintes supplémentaires puisque la répartition dans le temps des consommations en facteurs de production n'est pas semblable à

la répartition dans le temps de la production. Cela est particulièrement vrai en agriculture et en aquaculture. Cela conduit à devoir distinguer les consommations en facteurs et les productions inclues dans une période de temps de celles qui interviennent sur plusieurs unités de temps.

Dans leur conception, les modèles multipériodiques sont sensibles à la définition des périodes initiale et finale. En période initiale, il est nécessaire de fournir une base de départ qui est constituée soit d'une base optimale obtenue dans un cycle précédent, soit d'une base empirique correspondant à une mise en route d'une entreprise. Le modèle dynamique trace alors une trajectoire optimale (équilibre dynamique). La période finale doit être accompagnée d'un certain nombre de contraintes supplémentaires sauf si l'on désire modéliser la façon dont une entreprise doit arrêter son activité. Dans le cas contraire, la période finale doit être assortie d'hypothèses permettant d'attribuer une valeur aux produits résiduels et aux coûts engagés et pesant sur la période post-terminale.

II.1.2.- LES APPROCHES TRADITIONNELLES ET NON TRADITIONNELLES DE LA PRISE EN COMPTE DU RISQUE.

La littérature économique est largement pourvue en discussions sur les relations entre le risque, l'incertitude, les imperfections du marché et la croissance des entreprises. Souvent, ces discussions séparent artificiellement chacune de ces considérations. Nous ne contribuerons pas beaucoup à ces

discussions dans ce chapitre; nous mentionnerons seulement la contribution initiale de F. KNIGHT à l'analyse de ces problèmes, qui trace une séparation claire entre la notion de risque et celle d'incertitude. Cette dichotomie entre une valeur de nature probabiliste et une grandeur en principe mesurable a depuis été largement remise en cause, en particulier par l'introduction des probabilités "subjectives" et du concept de maximum d'utilité. Nous nous bornerons à rappeler les principales méthodes utilisées par l'économie rurale.

Un nombre important de travaux relatifs à la prise de décision en univers incertain en agriculture partent de l'hypothèse, implicite ou explicite, que le décideur est caractérisé par une constante, son coefficient d'aversion vis à vis du risque. Cette constante est supposée traduire son comportement face à des évènements dont la réalisation est aléatoire mais dont la loi de réalisation (c'est à dire les probabilités d'occurences) n'est pas directement quantifiable.

Dans la réalité, on peut supposer que l'hypo l'invariance du coefficient vis à vis du risque n'est pas exacte, dans la mesure où l'attitude vis-à-vis du risque dépend partiellement de la situation financière de chaque entrepreneur et aussi de sa "réserve de crédit" (épargne propre, immobilisations, patrimoine mobilisable, capacités d'emprunts de différentes natures).

L'aquaculture (traditionnelle ou moderne) obéit à des contraintes de même nature que celles observées en agriculture. Cette hypothèse est confortée par plusieurs éléments :

- la nature des phénomènes mis en jeu est identique : incertitudes liées aux conditions de la production et à la maîtrise du milieu ;

- les structures de production sont relativement voisines, tant en élevage extensif que pour les formes plus intensives (type élevage hors sol) ;

- les paramètres de financement des activités sont comparables.

La perception du risque y est probablement plus proche de celle des producteurs agricoles que de celle des entrepreneurs industriels, telle qu'elle est présentée dans le paradigme néo-classique.

Les premières tentatives d'étude du risque en agriculture partaient du principe que l'apport néo-classique pouvait quand même être utilisé, au prix de quelques modifications mineures. En particulier JOHNSON et al. (1961), SCHULZ (1964) ou WHARTON (1969) sont partis du principe que le rejet des innovations "risquées" était parfaitement rationnel du point de vue néo-classique, puisque le décideur néo-classique est parfaitement réfractaire au risque. Des modèles de prise de décision avec et sans prise en compte du risque ont été développés par exemple

par BOUSSARD et PETIT (1966), HAZELL (1971), Mc INNERNEY (1969) et ils ont montré que la valeur explicative des modèles intégrant le risque était très largement supérieure (BOUSSARD, 1967). La principale conséquence pratique de ce résultat a été de recommander la mise en place de processus de stabilisation des prix ou de systèmes d'assurances sur les récoltes comme activateurs du développement agricole, à la fois dans les pays développés et sous développés. L'apparition et la pertinence de tels schémas dans le secteur des pêches et de l'aquaculture en France ont été discutées par GILLY et al. (1984).

La définition la plus générale -qui n'est d'ailleurs pas nécessairement la meilleure- de l'aversion vis à vis du risque est celle qui dérive du modèle de sélection de portefeuilles financiers de MARKOWITZ : z étant un évènement aléatoire d'espérance $\tilde{z}$ et de variance $\sigma^2 z$, le décideur cherche à maximiser sous un certain nombre de contraintes, l'expression :

$$F = \tilde{Z} - A\sigma^2 z$$

où A peut être interprété comme le coefficient d'aversion du risque (MARKOWITZ, 1959).

En effet, sur le diagramme espérance-variance classique, A est la pente de la tangente à la courbe (naturellement convexe) qui délimite la région possible des combinaisons espérance-variance, au point optimum. Si A croît (ou décroît) la nouvelle solution a une espérance $\tilde{z}$ et une variance $\sigma^2 z$ plus grande (ou plus petite) (figure 7).

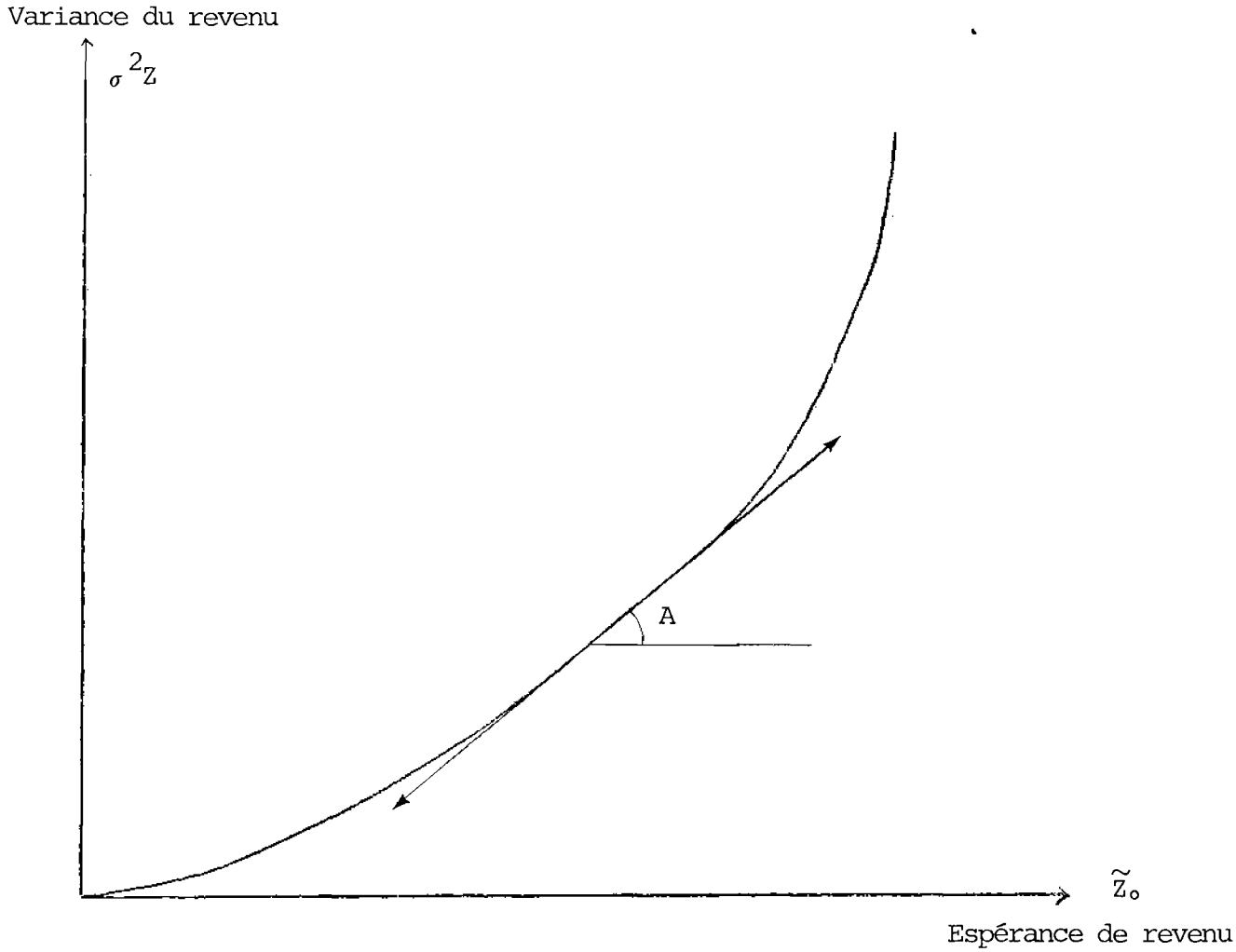


Figure 7: Diagramme Espérance - Variance

(Exemple d'un revenu)

En d'autres termes, et c'est là l'origine de la dénomination, plus le coefficient A est élevé, plus l'espérance de gain sera forte, mais aussi le risque qui lui est lié ; inversement, plus A décroît, plus le risque est diminué ($\sigma^2 z$ décroît) mais aussi l'espérance de gain. Le fondement de la théorie du comportement des investisseurs réside dans ce choix, entre une forte espérance de gain associée à une variabilité importante et un niveau de gain mieux connu mais plus faible.

Plusieurs justifications sont proposées à cette approche. La première, c'est qu'il est facile et simple de mesurer le risque par l'amplitude de la variabilité du revenu, et que la fonction d'utilité la plus logique est celle construite comme combinaison linéaire du risque et de l'espérance du revenu.

Une interprétation plus complexe est que F résulte du développement de Taylor de degré Z de la fonction d'utilité du décideur, aux environs de la valeur totale actuelle de ses avoirs (PRATT, 1964). Cela nécessite, pour justifier l'utilisation du théorème de Taylor, soit que $\sigma^2 z$ est un infiniment petit (ce qui n'est certainement pas le cas) soit que la fonction d'utilité du décideur appartient à la classe des fonctions telles que l'utilité liée à un avoir x quelconque s'écrit :

$$U(x) = ax^b \text{ ou } U(x) = \text{Log } (n(x))$$

Cela implique d'autre part de ne plus raisonner en termes de revenus mais d'avoirs totaux ; de plus, le coefficient A ne

peut être considéré comme constant pour toute une gamme d'avoir, sauf si la fonction d'utilité appartient à la classe définie (SILBERBERG,1978).

Malgré ces quelques problèmes de justification, la plupart des tentatives pour mesurer le paramètre d'attitude vis-à-vis du risque a été basé sur cette fonction d'utilité : le processus de mesure part du principe que la fonction d'utilité est une combinaison linéaire du risque (mesuré ou non par la variance du revenu, KENNEDY (1979)) et du revenu moyen. Ces deux quantités n'étant pas parfaitement indépendantes, il n'est pas surprenant que les mesures faites n'aient pas toujours donné des résultats satisfaisants.

Une autre méthode permettant d'introduire la notion de risque dans les modèles de comportements des décideurs est liée non plus à l'espérance de revenu ou de profit mais au contraire à l'idée de perte admissible. Si $\tilde{Z}$ est l'espérance de revenu et Z_0 le niveau de revenu minimum que le décideur entend préserver dans tous les cas, la perte admissible est définie par :

$$L = \tilde{Z} - Z_0$$

A partir de là, plusieurs techniques ont été utilisées pour introduire L dans des modèles :

- ROY (1952) tente de maximiser la probabilité d'obtenir un revenu supérieur à Z_0 ("Safety First Criterium")

- TELSER (1955) fixe ce niveau de probabilité a priori et cherche ensuite à maximiser l'espérance de revenu sous contrainte que la probabilité d'obtenir un revenu inférieur à Z_0 soit inférieure au niveau choisi :

$$\begin{cases} \max Z \\ \text{s.c. } \alpha = \text{Prob } (Z<Z0) \leq {}_0 \end{cases}$$

Le modèle "MOTAD" (Maximum of Total Absolute Deviation) de HAZELL (1971) est présenté comme une approximation linéaire du modèle de TELSER.

- ENCARNACION (1964) développe l'approche "lexicographique" en faisant l'hypothèse que le décideur cherchera d'abord à minimiser α tant que α reste inférieur à α_0 et que, si possible, il maximisera Z sous la contrainte $\alpha \leq \alpha_0$

- BOUSSARD et PETIT (1967) tentent d'éviter le raisonnement probabiliste en introduisant un niveau de perte maximale supportable pour chaque technique culturale (foyer de pertes) ; leur modèle, on le verra plus loin, peut être également considérer comme une approximation linéaire du modèle de TELSER.

Tous ces modèles ont en commun le paramètre Z_0 de revenu minimum qui joue le rôle de paramètre de comportement vis-à-vis du risque (BOUSSARD, 1982 présente une discussion sur la pertinence du paramètre Z_0). Plus généralement, dès qu'un

minimum de revenu contraignant est introduit dans les modèles, avec ou sans prise en compte du risque, la dispersion du revenu optimal Z est largement réduite, d'autant plus fortement que l'on accroît Z_0. Corrélativement, le choix de Z_0 influence le choix des techniques employées, puisque la proportion de techniques " risquées " diminuera avec l'accroissement de Z_0. PYLE et TURNOVSKY (1970) montrent que les approches de TELSER et de MARKOWITZ sont parfaitement convergentes: si X_1 est la solution optimale d'un problème, obtenue en utilisant une valeur particulière du coefficient A de MARKOWITZ, alors il est en général possible de trouver une valeur de Z_0 et de pour lesquelles la formulation de TELSER donne X_1 comme solution optimale. Le seul cas d'incompatibilité est relevé par BOUSSARD (1982): il concerne l'introduction dans le modèle d'une activité exempte de risque. Pour interessante que soit cette hypothèse d'un point de vue mathématique, elle paraît sans fondement en matière de production agricole ou aquacole, où toute activité comporte une part de risque (ne serait ce que le risque lié à l'immobilisation d'un stock d'animaux).

De nombreux autres modèles intégrant le risque ont été décrits. La plupart sont largement plus complexes et complets que ceux exposés dans ce chapitre. Mais en raison de la qualité des données ou de difficultés de programmation, ils n'ont que très rarement été appliqués en agriculture (et encore moins en aquaculture).

D'un point de vue pratique, est-il important de choisir une approche de programmation quadratique, un modèle du type MOTAD ou la méthode des foyers de perte? De façon assez

surprenante, BOUSSARD (1969,1982) suggère que ce choix est probablement sans importance parce que pour chacune des approches il est nécessaire d'introduire des coefficients d'aversion vis à vis du risque qui sont choisis arbitrairement. Compte tenu de ce degré de liberté, il est toujours possible d'obtenir des résultats convergents à partir de différentes méthodes (GATES et GILLY, 1986).

Etant donnée la rareté des informations actuellement disponibles en matière d'aquaculture, il nous fallait rejeter a priori toute approche nécessitant la connaissance, même approximative, d'une distribution de probabilités (l'approche de MARKOWITZ implique par exemple la connaissance des informations brutes et de leur variance, ce qui n'est malheureusement pas disponible au niveau des exploitations). C'est la raison pour laquelle nous avons préférer reprendre l'approche de SHACKLE (1961) et de BOUSSARD et PETIT (1967) où les exploitants sont supposés " maximiser leur profit compte tenu d'une possibilité négligeable d'être ruinés " (BOUSSARD, 1972). La technique utilisée est présentée dans le chapitre relatif à la construction du modèle

II.2.- UN MODELE DE PROGRAMMATION LINEAIRE

Dans l'ensemble des spécifications du modèle, les indices suivants seront employés avec la même signification :

. t représente la période de temps unitaire (selon les cas: mois, trimestre,année). Le cycle d'exploitation démarre à

t = 1, soit à partir d'une base optimale déjà calculée, soit à partir des conditions initiales d'activité spécifiées alors de façon exogène. A chaque départ, il sera possible de modifier les conditions initiales liées à l'entreprise (échelle maximum d'activité, coût des facteurs, bornes des contraintes) et les paramètres liés aux caractéristiques biologiques des animaux. t varie de 1 à T. Lorsque t = T, le cycle d'activité se termine; T est dénommé pèriode terminale.

. s désigne la classe d'âge des animaux. Dans sa spécification actuelle, le modèle ne considère un changement de classe d'âge qu'avec un changement de période. Cela est justifié par les types d'élevage considérés mais il serait possible, assez facilement, de prévoir plusieurs classes d'âge par unité de temps. La hiérarchie de croissance considère: s=1 (naissain ou juvéniles) à s = S (classe d'âge la plus élevée pour la vente ; au-delà, on considérera que le prix de vente ne varie plus).

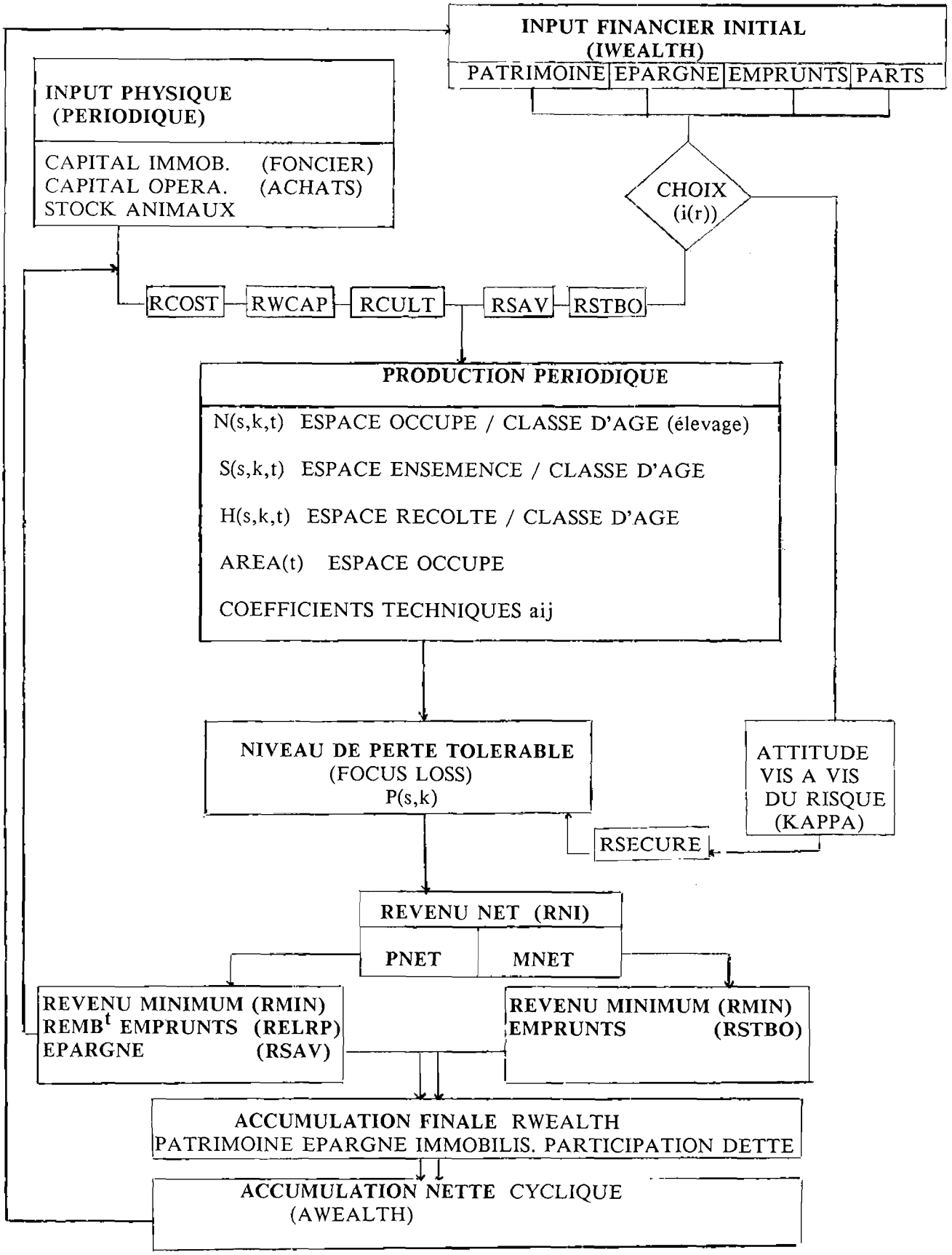
. k représente la technologie employée. Selon les objectifs, k représentera soit une technique culturale (culture en eau profonde, suspension, bouchots, cages, bassins,...), soit une méthode d'élevage (tri des animaux, aménagement des parcs ou des bassins) soit encore un croisement technique-méthode. Il n'existe pas a priori de limite au nombre k des technologies possibles mais la taille des tableaux requis risque, au delà de 3 ou 4 technologies de rendre très longs les traitements en programmation linéaire.

Il est parfaitement possible de considérer que le coefficient k indice chaque espèce élevée dans le cas d'opérations de polyculture, tant que la périodisation est équivalente pour chaque élevage. Le cas des polycultures alternées n'est pas envisagé dans ce modèle pour plusieurs raisons :

* le recours à la polyculture en matière aquacole est encore extrêmement limité, essentiellement parce que d'une part l'élevage intensif en aquaculture nouvelle n'a été envisagé le plus souvent par les organismes de recherche et de développement que sous forme de monoculture et d'autre part parce que les élevages de coquillages ont atteint un niveau de spécialisation très supérieur et comparable à l'élevage d'animaux terrestres.

* l'utilisation d'élevages alternés est contraignante en termes d'espace et de temps : la dépendance à l'égard des phénomènes naturels (conditions climatiques et hydrologiques) est très importante et mal maîtrisée : toute tentative d'optimisation devrait donc se faire sur la base de conditions d'environnement moyennes, sans qu'on en connaisse véritablement ni la variabilité ni les conséquences.

Le schéma 4 montre la structure d'organisation du modèle.



SCHEMA 4: Organigramme général du modèle

II.2.1. La fonction objectif

Le choix d'une fonction objectif pour l'entreprise dépend de considérations sur la rationalité des comportements économiques des exploitants, ce qui dépasse le cadre de ce document. Une discussion a été ébauchée à ce sujet par BOUSSARD (1982) au sujet des entreprises agricoles. Les modèles de programmation linéaire s'insèrent dans la théorie néo-classique de la production dans la mesure où les entrepreneurs sont supposés poursuivre un objectif de maximisation d'une fonction d'utilité, en respectant les contraintes imposées par les structures, l'environnement technique, économique et institutionnel. La notion de fonction d'objectif est donc en la matière tout à fait confondue avec la notion de fonction d'utilité, concept fondamental de la théorie de la production.

Dans les modèles statiques, la fonction objectif est souvent réduite à une maximisation du revenu, en prenant éventuellement en compte les problèmes liés au risque ; si x_i est une production, c_i le coût unitaire de production et p_i le prix de vente, la fonction objectif est généralement du type :

$$\text{MAX } [f(x_i) = \sum_i p_i x_i - \sum_i c_i x_i]$$

La plupart des modèles dynamiques cherchent à optimiser des fonctions d'utilité de deux principaux types (BOUSSARD, 1979), à savoir soit la somme des flux des consommations actualisées, soit la maximisation de la croissance de l'entreprise.

La construction de la fonction objectif répond à plusieurs contraintes. Le but de la modélisation étant de figurer sur longue période le fonctionnement d'une entreprise aquacole, il fallait tout à la fois intégrer les paramètres de revenus et de profit, en permettant au profit d'être temporairement nul ou négatif. La démarche retenue vise à maximiser la valeur terminale des biens et avoirs de l'entreprise à la fin d'un cycle d'exploitation plus ou moins long. La durée retenue pour ce cycle d'exploitation peut varier en fonction du type d'élevage et de la nature de l'entreprise. Cette limite dans la durée du cycle est naturellement arbitraire, dans la mesure où une condition nécessaire pour qu'un investisseur réalise un projet est qu'il soit assuré de mener à bien un nombre de cycles d'élevage suffisamment élevé (voir le plus grand possible). Chaque résultat peut servir de base de départ pour un nouveau cycle de production.

La fonction objectif choisie est la suivante (où T est la dernière période d'activité) :

(1) $\text{WEALTH} \equiv \text{CES}(T)-\text{CED}(T)+\sum_s^S \sum_k^K Y_1(s,k)*N(s,k,T)+Y_{11}\text{CES}(T)+Y_{10}\text{CED}(T)+VT$

(1) $(1+Y_{11})\ \text{CES}(T) + (-1+Y_{10})\ \text{CED}(T) + \sum_s^S \sum_k^K Y_1\ (s,k) * N(s,k,t) + VT$

avec :

. WEALTH : correspond à la valeur terminale nette des biens de l'entreprise mesurée par les fonds accumulés (trésorerie courante et différentes épargnes) et actualisés sur l'ensemble des périodes augmentée de la valeur des stocks d'animaux sur parcs à la période T (évaluée à leur valeur réelle in situ) et diminuée de la charge d'endettement résiduelle (actualisée pour les périodes post terminales restant à couvrir).

. VT : est la valeur terminale des stocks d'animaux en élevage lors de la $T^{ième}$ période. Les stocks sont évalués à leur valeur in situ.

. CES(T) : représente l'épargne (sous toutes ses formes) cumulée à la période T pendant les périodes précédentes. $\bar{Y}_{11}$ est la valeur estimée de la productivité marginale des différentes formes d'épargne (valeur duale). Ce coefficient est décrit dans la contrainte n° 11 (paragraphe II.2.3.).

. CED(T) : représente la dette extérieure résiduelle cumulée à la période T pour toutes les périodes précédentes. $\bar{Y}_{10}$ est la valeur estimée de la productivité marginale de la dette (valeur duale) estimée dans la contrainte n° 10 (paragraphe II.2.3.).

. $\bar{Y}_1(s,k)$ est la variable duale associée au stock d'animaux de classe d'âge s, élevés suivant la technique k (contrainte n° 1, paragraphe II.2.3.).

L'introduction des trois variables duales ($\bar{Y}_1(s,k)$, $\bar{Y}_{10}$ et $\bar{Y}_{11}$) dans la fonction objectif vise à contourner le problème de la valeur finale de la fonction objectif. Il s'agit d'un problème classique dans la construction des modèles dynamiques: lorsque la valeur finale du stock n'est pas prise en compte dans la fonction objectif, l'algorithme considére que, lors de la dernière période d'activité, le stock résiduel n'a aucune valeur. Le processus d'optimisation tendra alors naturellement à disposer d'un stock final d'animaux le plus faible possible. En d'autres termes, le système commencera, un certain nombre de périodes avant la période finale, à réduire le niveau des stocks pour minimiser ceux-ci lors de la dernière période. La résolution de ce type de problème peut se faire de deux manières, non nécessairement exclusives :

1. la première tactique consiste à établir une fonction de la valeur terminale, c'est-à-dire à attribuer une valeur aux sotcks résiduels ;

2. la seconde consiste à augmenter le nombre de périodes de temps, "suffisamment" pour que le vecteur des solutions pour les premières périodes (au moins) ne soit pas affecté par le comportement final qui tend à la disparition de la production à la période T. En d'autres termes, cela consiste à s'intéresser aux vecteurs de solutions des périodes intermédiaires suffisamment éloignées de la période finale.

Les deux tactiques peuvent être utilisées simultanément en utilisant une fonction de la valeur terminale, réduisant peut

être au minimum l'horizon de temps T. Les difficultés liées à cette fonction de la valeur terminale sont doubles :

. la première est liée à la difficulté d'obtenir des estimations fiables a priori des variables $\bar{Y}_1(s,k)$, $\bar{Y}_{10}$ et $\bar{Y}_{11}$. Lorsque T est suffisamment grand la trajectoire du vecteur solution tend vers une position d'équilibre dynamique, qu'elle quitte à l'approche de la période finale. Les valeurs duales peuvent être estimées de façon itérative tant que dure l'équilibre dynamique et, correctement actualisées ou escomptées, être utilisées comme estimateurs de $\bar{Y}_1(s,k)$, $\bar{Y}_{10}$ et $\bar{Y}_{11}$.

. La deuxième difficulté concerne les possibilités de substitutions techniques sur la frontière des productions possibles (simplex). Ce problème n'est pas aisé à résoudre mais peut être ramené à la sélection d'un type de technique k. Dans un modèle dynamique "non fini", c'est-à-dire lorsque les périodes de temps utilisées sont très importantes (par exemple 2T, 4T, 6T), le prix apparent $\bar{Y}_1(s,k)$ à la période T sera égal au prix apparent sur l'ensemble de la période $Y_1(s,k,T)$. Ces variables duales vont refléter une contrainte liée à la période T+1 (contrainte n° 1) parce que les animaux continuent leur croissance. En arrêtant à la période t=T, les effets de ces futures contraintes sont éliminés et l'algorithme de programmation linéaire ne prend pas en compte ces contraintes en choisissant parmi les N(s,k,T). Une solution consiste à utiliser des valeurs de N(s,k,T) obtenues à partir de résultats provenant de simulations ou d'une précédente solution mais la

fiabilité des valeurs obtenues risque d'être potentiellement faible.

II.2.2. - Les variables primales de décision

P_1 . $S(k,t)$; $t = 1,T$: nombre d'unités d'espaces ensemencés pendant la période t par filière technique k ; une unité d'espace correspond à l'espace unitaire utilisé dans le cadre de l'élevage envisagé. Dans le cas de techniques d'élevage en cage, c'est un volume (m^3) ; ce sont des surfaces pour l'ostréiculture ou les crustacés (m2) ; et ce sont des mètres de filières pour les cultures en suspension ;

P_2 . $N(s,k,t)$; $s = 1,S$: nombre d'unités d'espaces cultivés en classe d'âge s, utilisant la technologie k, pendant la période t ;

P_3 . $H(s,k,t)$: nombre d'unités d'espace d'animaux d'âge s récoltés pendant la période t et élevés en utilisant la technologie k ;

P_4 . SL(s,k,t) : vente d'animaux de classe d'âge s, élevés par la technique k, à la période t ;

P_5 . SALES(t) : ventes cumulées pour la période t (SALES(t) = $\sum_{s,k}$ SL(s,k,t)) ;

P_6 . AREA(t) : espace total cultivable disponible pendant la période t

P_7 . CL (l,k,t); l = 1,L : quantité de l'input l acheté pour la technique k pendant la période t ;

P_8 . COST(t) : coûts cumulés pour toutes les périodes t, (COST(t) = $\sum_{l,k}$ CL(l,k,t)) ;

P_9 . PNET(t) : revenu net positif pour la période t (profit) ;

P_{10} . MNET (t) : revenu net négatif pour la période t (pertes) ;

P_{11} . STBO(r,t) ; r = 1,4 : emprunts à court ou long terme pour la période t . Pour r = 1,2, il s'agit de financement interne (à partir de l'épargne au coût d'opportunité

i(1) ou du patrimoine (au coût d'opportunité i(2)). Pour r = 3,4, il s'agit d'emprunts extérieurs classiques garantis (i(3)) ou participatifs (i(4)) ;

P_{12} . SAV(r,t) ; r = 1,2 : épargne de la période t, soit pour financement interne, soit pour prêt extérieur ;

P_{13} . CED(t) : dette extérieure courante pour la période t ;

P_{14} . CES(t) : épargne courante disponible au coût d'opportunité : i(1) ;

P_{15} . LOSS(t) : pertes maximum admissibles cumulées ;

P_{16} . BCAP(t) : capacité d'emprunt de l'entreprise;

II.2.3. Contraintes et variables duales associées

1 Définition des variables duales

Variable duale	Contrainte associée	Description
$D_1 - Y_1$ (s,k,t)	RFS (s,k,t)	stocks d'animaux ;
$D_2 - Y_2$ (s,k,t)	RFI (s,k,t)	stocks inputs ;
$D_3 - Y_3$ (k,t)	RCAP(t)	niveau d'activité de l'entreprise ;
$D_4 - Y_4$ (l,k,t)	RCULT (l,k,t)	achats d'inputs ;
$D_5 - Y_5$ (t)	RWKAP (t)	capital opérationnel (fond de roulement);
$D_6 - Y_6$ (t)	RCOST (t)	coûts ;
$D_7 - Y_7$ (t)	RREV (t)	revenus ;
$D_8 - Y_8$ (t)	RNI (t)	revenu net ;
$D_9 - Y_9$ (t)	RSAV (t)	épargne dégagée ;
$D'_9 - Y'_9$ (t)	RSTBO (t)	emprunts courants ;
$D_{10} - Y_{10}$ (t)	RCED (t)	dette extérieure ;

D_{11} - Y_{11} (t)	RCID (t)	épargne disponible ;
D_{12} - Y_{12} (t)	RELRP (t)	échéancier de remboursement des emprunts ;
D_{13} - Y_{13} (t)	RMIN (t)	revenu minimum ;
D_{14} - Y_{14} (t)	RSECURE (t)	contrainte de risque ;
D_{15} - Y_{15} (t)	RLOSS (t)	pertes admissibles ;
D_{16} - Y_{16} (t)	RBCAP (t)	capacité d'emprunt ;
D_{17} - Y_{17} (t)	RERAT (t)	capital disponible ;
D_{18} - YBC (t)	BCOL	bornes des colonnes ;
D_{19} - YRW	RWEALTH	fonction objectif ;
D_{20} - YIN	IWEALTH	valeur initiale ;
D_{21} - YAW	AWEALTH	valeur ajoutée .

La maximisation de la fonction d'objectif est faite par rapport aux variables primales et duales de décision et sujette aux contraintes C.1 à C.17 exposées au paragraphe suivant.

2. Contraintes.

1 - Equations de transferts du stock d'animaux (RFS (s,k,t))

Ces équations doivent permettre de rendre compte de la croissance du stock d'animaux, d'une part entre les périodes et, d'autre part, d'une classe d'âge à une autre. Les densités par unité d'espaces pour chaque classe d'âge sont supposées données, et le raisonnement est conduit en termes d'unités d'espaces par classe d'âge et technologie.

Cette première série de contraintes exprime que le nombre d'unités d'espaces d'animaux d'âge s pendant l'année t ne peut pas être supérieur au nombre d'unités d'espaces d'animaux d'âge s-1 pendant l'année t-1, diminué du nombre d'unités d'espaces d'animaux d'âge s récolté pendant l'année t. Bien qu'il soit en principe inutile de vendre des animaux d'âge s=1 après les avoir achetés et semés, le modèle prévoit la possibilité de les récolter.

* $RFS\ (1,k,t) = N(s-1,k,t-1)-N(s,k,t)-H(s,k,t) \geq 0$

  pour $t = 2,T$; $s = 1,S$; $k = 1,K$.

Aux limites inférieures des indices, la contrainte prend les formes suivantes:

* $s = 1$

  $RFS(1,k,t) = S(1,k,t) - N(1,k,t) - H(1,k,t) \geq 0$

  pour $t = 1,T$; $k = 1,K$.

Si les animaux de la classe d'âge 1 ne sont pas récoltés, le terme H(1,k,t) s'annule.

* t = 1

$RFS(s,k,1) = -N(s,k,1) - H(s,k,1) + BN(s,k,1) \geq 0$

pour s = 1,S ; k = 1,K .

Dans des conditions de création d'entreprise, H(s,k,1) sera nul. Cette dernière contrainte exprime les conditions initiales de l'activité, à travers les coefficients de BN(s,k), vecteur des conditions initiales.

S'il s'agit d'une création d'entreprise, le vecteur BN(s,k) est un vecteur nul. En revanche, lorsque l'entreprise est déjà en activité, BN(s,k) reflète la situation de départ. En particulier, si on a déjà fait fonctionner le modèle, BN(s,k) est la résultante des valeurs de décisions optimales pour toutes les périodes $n \leq T$, $\sum_k^K N(s-1,k,n)$. Dans un modèle discontinu, comme celui qui est réalisé, on obtient des valeurs pour t= to+1, to+2,... to+T, lorsque le modèle commence à to. On peut soumettre à nouveau le modèle à to+1, en utilisant alors N(s-1,k,1) comme conditions initiales de stocks d'animaux. Ceci permet d'obtenir une trajectoire optimale pour t= to+2, to+3,... to+T+1. Par récurrence, on peut adapter la trajectoire optimale à partir des décisions antérieures et des dernières informations connues sur les coûts et prix (au lieu d'obtenir une trajectoire purement "ballistique", qui ne varie pas après les premières périodes).

Deux limites de cette méthode sont à considérer: il faut d'une part que le gain de poids soit connu pour chaque classe

d'âge d'une période sur l'autre et d'autre part que la mortalité naturelle soit constante pour une classe d'âge donnée quelque soit la période considérée. Un raisonnement en terme de biomasse aurait été également possible et les équations de transfert s'écrivent dans ce cas :

$$* \; RFS(s,k,t) = N(s-1,k,t-1)*P(s-1,k,t-1) - N(s,k,t)*(1-m(s-1,k,t-1))* P(s,k,t) - H(s,k,t)*P(s,k,t) \geq 0$$

où N(s,k,t) est le nombre d'animaux élevés par hectare
P(s,k,t) est le poids moyen des animaux de la classe d'âge s
m(s,k,t) est la mortalité moyenne des animaux de la classe d'âge s pendant l'année t

2 - <u>Contraintes de production (RFI(s,k,t))</u>

Cette contrainte exprime le niveau relatif du revenu par unité d'espace récoltée. Pour chaque classe d'âge, le revenu brut des ventes par unité d'espace ne peut pas excéder la quantité récoltée sur une unité d'espace multipliée par la valeur d'une unité de volume d'animaux de classe d'âge s.

$$- \quad RFS(s,k,t) = - SL(s,k,t) + yield(s,k,t)*H(s,k,t) \geq 0$$

pour s = 1,S ; t = 1,T ; k = 1,K .

où yield(s,k,t) est le revenu monétaire brut par unité d'espace des animaux de classe d'âge s qui ont été récoltés. Dans la mesure où l'on trouve, au sein d'une même classe d'âge,

différentes catégories commerciales, commercialisées à des prix différents, le revenu par unité d'espace [yield(s,k,t)] est pondéré par la distribution des catégories commerciales et de leur prix au sein de chaque classe d'âge. Le coefficient yield(s,k,t) représente donc à la fois le rendement pondéral par recrue (lié à la loi de croissance et de mortalité des individus) et le prix en fonction du poids moyen des animaux. L'introduction dans le modèle d'une fonction de croissance continue et d'une loi de formation des prix est rendue difficile en programmation linéaire en raison de la nécessaire linéarité des contraintes. Si l'on veut contraindre l'entreprise à ne commercialiser sa production qu'au delà d'une certaine taille des animaux, il est possible d'annuler le vecteur yield(s,k,t) pour les valeurs de s que l'on cherche à conserver en stock (en particulier pour s = 1).

3 - Activité de l'entreprise (RCAP(t)

Cette contrainte détermine le taux d'utilisation des capacités de l'entreprise. La contrainte exprime que l'entreprise ne peut utiliser un espace supérieur à l'espace dont elle dispose au travers par exemple de la concession sur le Domaine Public Maritime. Dans le cas d'élevage plus intensif, en bassins ou en cages, il s'agira de contraindre l'entreprise à utiliser au plus (et au mieux) sa surface de bassin ou le volume de cage maximum disponibles.

$$- RCAP(t) = - \sum_s \sum_k N(s,k,t) + AREA(t) \geq 0$$

pour t = 1,T

AREA est un vecteur colonne admettant une limite supérieure (BAREA). La valeur de BAREA correspond à la capacité maximale de production et AREA détermine le taux d'activité de l'entreprise, celle-ci n'étant pas obligée d'utiliser toute la surface exploitable. En fixant la limite supérieure à 100 unités (BAREA = 100), on facilite les interprétations en termes de pourcentage. Il convient de souligner l'importance du choix du niveau de cette contrainte puisque, dans l'hypothèse où il est possible de maximiser continuellement la fonction objectif jusqu'à la limite supérieure, celle-ci devient fortement contraignante. En d'autres termes, le modèle ne prévoit pas la possibilité de faire varier BAREA au cours du temps. Il s'agit d'un paramètre de choix initial. Cela peut paraître relativement arbitraire mais cela correspond, d'une certaine manière à la réalité. En effet, les sites aquacoles, quels qu'ils soient, sont généralement limités géographiquement (cas des bassins à terre ou des zones d'estran) ou institutionnellement (par le système des concessions sur le Domaine Public Maritime). La demande de concession ou l'achat du terrain, lors de la création d'une entreprise aquacole, tendra ainsi naturellement à estimer le besoin en espace à partir de deux éléments :

1 - le développement potentiel de l'activité, prévu ou souhaité par l'investisseur (en tenant compte des espaces nécessaires mais improductifs) ;

2 - la réservation d'une surface supérieure à la surface initialement envisagée afin de limiter la concurrence des nouveaux entrants. Ainsi, dans différents bassins ostréïcoles, un certain nombre de concessions sont "gelées" par les concessionnaires, qui les mettent ou non en exploitation selon les périodes (DUMONT, 1986). Les mêmes phénomènes existent avec les concessions pour les cages d'élevage en estuaires ou en baies abritées.

4 - Contraintes d'achat des facteurs [RCULT(l,k,t)]

Ces équations vont permettre de représenter explicitement l'offre et la demande pour un certain nombre de facteurs. Par exemple, on peut désirer s'intéresser à la prise en compte explicite de l'offre-demande de main-d'oeuvre saisonnière ou de naissain. En pratique, chacun peut choisir subjectivement lesquels des facteurs seront intégrés de cette manière au modèle, les autres étant aggrégés dans un vecteur de coûts unitaires "résiduels". L'avantage d'une représentation explicite est de pouvoir faire varier ces paramètres dans des analyses de sensibilité. L'inconvénient majeur est d'accroître la taille de la matrice de façon souvent plus que proportionnelle.

Cet accroissement de la taille de la matrice ne crée pas de problèmes techniques particulier (les logiciels de Programmation Linéaire installés dans les centres de calcul ne limitent pas la taille des tableaux) mais entraîne des coûts de calcul qui deviennent rapidement prohibitifs. C'est la raison

pour laquelle il est important de limiter ces entrées et en particulier de traîter ailleurs les facteurs internes à l'entreprise. Le modèle a été dimensionné pour recevoir 7 facteurs externes différents. Dans le cas de ressources internes, comme la main-d'oeuvre familiale ou le patrimoine mobilisable, le coût d'opportunité apparaîtra comme un coût dans les équations de coûts (RCOST(t)) et comme un revenu dans les équations de revenu minimum (RMIN(t)). Ils seront alors globalisés et considérés comme invariants au cours d'un cycle, ce qui reste une hypothèse vraisemblable.

$$\begin{aligned} -RCULT(l,t) = - & a_1(l)*S(t) - \sum_s \sum_k [a_2(l,s,k)*N(s,k,t) \\ & - a_3(l,s,k)*SL(s,k,t) - a_8(l,s,k)*H(s,k,t)] \\ & - a_9(l)*FCC - a_{10}(l)*AREA(t) + CL(l,k,t) \geq 0 \end{aligned}$$

pour $l = 1,L$; $t = 1,T$; $k = 1,K$; $s = 1,S$.

Les coefficients $a_1(l)$, $a_2(l,s,k)$, $a_3(l,s,k)$, $a_8(l,s,k)$, $a_9(l)$ et $a_{10}(l)$ représentent une unité de demande du $l^{ième}$ facteur (consommation intermédiaire ou ressource) associée à chaque variable. Ils sont donc nécessairement positifs ou nuls. Ces demandes doivent être satisfaites par une unité des vecteurs d'offre (ou d'achat) CL(l,k,t), dont le coût unitaire est $a_7(l,k,t)$ [voir contrainte RCOST(t)]. Si le $l^{ième}$ input est utilisé à partir d'une source interne (épargne familiale, main-d'oeuvre familiale), le coût $a_7(l,k,t)$ apparaît également dans la contrainte de revenu minimum RMIN(t).

Certains facteurs peuvent être partiellement ou totalement indivisibles et ainsi difficilement attribuable à une unité d'espace d'une certaine classe d'âge. Ainsi, le travail permanent (en opposition à la main-d'oeuvre saisonnière) est rémunéré sous forme de salaire fixe, incrémenté ou non d'une commission sur les ventes. La partie fixe de cette rémunération peut être inclue dans le coefficient $a_9(l)$ qui relie le vecteur des coût "fixes" (indivisibles) (FCC) avec l'input l. La partie variable, dépendant des ventes peut, elle, être inclue dans le coefficient $a_3(l,s,k)$. Une autre façon d'intégrer le travail permanent est de le relier au niveau d'activité de l'entreprise, par l'intermédiaire des coefficients $a_{10}(l)$: dans ce cas, le besoin en travail permanent va dépendre du nombre d'unités d'espace exploitées mais pas du nombre d'unités d'espace de chaque classe d'âge s: l'hypothèse d'une quantité de travail par unité d'espace invariante quelle que soit la classe d'âge considérée ne paraît pas tout à fait convaincante.

Le nombre d'unités d'espace disponibles ne varie pas avec les périodes de temps, mais le nombre d'unités exploitées peut fluctuer. Le vecteur des coûts fixes FCC est fixé à une unité de telle manière que les coefficients $a_9(l)$ représentent les coûts indivisibles totaux de l'input l. La variable CL(l,k,t) - quantité d'input l,k acheté l'année t - doit être bornée. Par exemple, la main-d'oeuvre familiale disponible admet une limite supérieure précise, quasi invariante. Lorsque ces limites supérieures sont finies, leurs valeurs seront appelées BCL(l,k,t).

Les coûts qui ne sont pas directement liés à l'utilisation de certains facteurs sont pris en compte dans les coefficients de coûts s(t), n(s,k,t), h(s,k,t), $a_6(t)$ et $a_7(l,k,t)$ utilisés dans la contrainte suivante. Cette différence de traitement entre les différents inputs est faite car seuls les inputs présentant un intérêt intrinsèque ou pour des analyses de sensibilité doivent être explicités dans la contrainte RCULT(l,k,t) et les vecteurs CL(l,k,t). Les autres coûts unitaires, qui peuvent être associés aux différentes activités mais pour lesquels il n'y a aucun intérêt à déterminer la composition, peuvent être spécifiés séparément.

5 - <u>Coûts de production [RCOST(t)]</u>

Il s'agit d'une contrainte nécessaire à l'aggrégation des coûts de production dans la variable (colonne) COST(t) pour chaque période de temps t. On utilise donc comme coût unitaire les coefficients suivants :

. s(s,k,t) pour le coût unitaire d'ensemencement (y compris les coûts d'achats du naissain ou des juvéniles) ;

. n(s,k,t) pour le coût unitaire de culture, autre que ceux mentionnés dans la contrainte précédente ;

. $h(s,k,t)$ pour le coût unitaire de récolte. S'agissant d'un coût ad valorem, $h(s,k,t)$ est à la fois fonction de la classe d'âge et de la technologie employée ;

. $a_6(t)$ pour le coût unitaire annuel d'accès au foncier aquacole de la concession (coût officiel des concessions payé à l' l'Administration des Affaires Maritimes, ou coût réel de location ou d'amortissement des terrains) ;

. $a_7(l,k,t)$ pour le coût unitaire des facteurs l, spécifiés pour chaque application

. $a_{11}(t)$ pour le coût unitaire lié à la vente des animaux, arbitrairement considéré comme indépendant de la technique d'élevage et de la taille des animaux commercialisés

. $i(n)$ représente les taux d'intérêt réels ou d'opportunité appliqués à l'épargne propre ou aux emprunts extérieurs. $i(1)$ et $i(2)$ sont les taux d'opportunité appliqués respectivement à l'épargne familiale classique et à la mobilisation du patrimoine. Le comportement vis-à-vis du patrimoine est extrèmement variable: les travaux de KNEZ et al (1982) ont montré que le patrimoine constitue la part de l'épargne familiale la plus difficilement mobilisable et ils proposent de considérer son coût d'opportunité à un niveau plus

élevé que celui de l'épargne classique. Traditionnellement, les modèles limitent le choix de la source de capitaux à l'épargne interne et aux emprunts bancaires garantis. Dans la réalité, il existe une autre source de capital qui est la prise de participation sous la forme d'apports de fonds propres. Si l'on considère que le coût d'opportunité du capital participatif est i(4), alors une condition (contrainte) nécessaire pour attirer ce type de financement est que la valeur actualisée du capital participatif initial soit inférieure à la valeur actualisée de la part du participant dans la valeur finale nette de l'entreprise. Il devient alors possible de considérer que la part du capital participatif dans les sources externes de financement est une variable de décision (étant entendu que dans ces conditions, chacun, de l'entrepreneur et des actionnaires, cherche à maximiser sa part respective de la valeur finale nette).

Si i(4)>i(3)>i(1), on peut raisonnablement faire l'hypothèse que le recours au financement participatif ne se fera que lorsque les autres sources de financement (moins onéreuses) seront épuisées. L'avantage du financement participatif tient à l'absence d'échéancier de remboursement. Si le taux de retour est suffisamment élevé (supérieur en l'occurence à i(4)) alors il peut être intéressant de rechercher immédiatement des capitaux participatifs pour éviter, les premières années, les contraintes de remboursement. Par la suite, lorsque le cash-flow net devient positif, l'entreprise pourra se tourner vers des sources de financement moins coûteuses comme les prêts garantis, car alors le cash

flow permettra le paiement de la charge d'emprunt conformément aux contraintes imposées par l'échéancier de remboursement.

Ce recours à des financements participatifs modifie sensiblement la structure des risques et le comportement des entrepreneurs à cet égard. En effet, la participation financière de l'entrepreneur au risque se limitera dans un premier temps à sa propre part dans le capital investi. D'autre part, le concept de "ruine" (KEYNES, 1932 ; MANDERSCHEID, 1965) est un concept parfaitement binaire au niveau de l'entreprise : l'entrepreneur et ses bailleurs de participation survivent ensemble ou ne survivent pas au sein de l'entreprise ; mais l'appréciation du risque sera différente selon le partenaire, pour lequel la participation à l'entreprise peut n'être qu'une partie de l'activité. Le processus de croissance de l'entreprise sera sans doute en partie modifié par l'utilisation de capitaux en participation mais l'impact sera lié au niveau et à la nature de ces participations.

Ainsi, la croissance "optimale" de l'entreprise (au sens de son sentier d'expansion ou trajectoire optimale) dépend entre autres de sa structure financière, de sa politique d'emprunt et enfin de ses capacités et propensions à épargner et consommer. Une application banale de cette hypothèse peut être trouvée dans l'influence des coûts fixes par exemple. Dans un modèle dynamique, ces coûts, bien que n'intervenant pas directement dans les conditions marginales de production, influent indirectement parce qu'ils créent des besoins en cash flow et donc modifient les conditions d'accumulation.

$$
\begin{aligned}
-RCOST(t) = & - s(s,k,t)*S(s,k,t) - \sum_s \sum_k n(s,k,t)*N(s,k,t) \\
& - h(s,k,t)*H(s,k,t) - a_6(t)*AREA(t) \\
& - a_7(l,k,t))*CL(l,k,t) - fc*FCC \\
& - a_{11}*SALES(t) - \sum_{n=1}^{2} i(n)*CES(t) \\
& - \sum_{n=3}^{4} i(n)CED(T) + COST(t) \geq 0 \\
& \text{pour } t = 1,T \ ; \ s = 1,S \ ; \ k = 1,K \ ; \ l = 1,L \ .
\end{aligned}
$$

Le coefficient s(s,k,t) permet un ensemencement avec des classes d'âges différentes, en provenance par exemple d'autres zones de production. Dans la pratique, cette possibilité est surtout utilisée en ostréïculture pour les opérations de grossissement terminales dans des zones spécialisées (claires du bassin de Marennes-Oléron par exemple). En matière d'élevage de poissons en mer, on peut imaginer que certaines zones conviennent mieux aux opérations d'écloserie et d'autres aux activités de grossissement.

6 - Besoin en fond de roulement [RWKAP(t)]

Les besoins en fond de roulement (capital opérationnel, défini comme la part de l'actif, non confondue avec les immobilisations, sur une base annuelle) doivent être couverts par des crédits à court terme (moins de 5 ans, par exemple du type crédits de campagne). Ces emprunts peuvent être issus soit de sources internes (épargne) soit de sources externes (système bancaire). Les deux sources diffèrent par les taux d'intérêt, réel ou d'opportunité, les échéanciers de remboursement (les ponctions sur l'épargne n'appellent aucune contrainte de remboursement à date fixe) et leurs effets externes entraînent

une augmentation des besoins futurs (contrainte 13) liée aux nécessités de remboursement.

Le taux d'intérêt sur les emprunts à réaliser sur des ressources internes apparaît comme un coût (d'opportunité) lorsque l'on mobilise l'épargne (contrainte 5) et comme un revenu lorsque l'on considère le revenu minimum "vital" de l'entreprise (contrainte 13). BOUSSARD (1979) a discuté de l'impact de cette distinction sur la prise en compte du risque en zone de petite agriculture irriguée.

$$-RWKAP(t) = - \; COST(t) + \sum_r STBO(r,t) \geq 0$$

pour $t = 1,T$; $r = 1,2$.

7 - <u>Equations de revenu brut [RREV(t)]</u>

Cette contrainte simple peut être considérée comme une contrainte de comptabilité. Elle est destinée à permettre le transfert des cumuls des ventes par classes d'âge et technologie dans la variable de revenu brut global, chaque année. Il s'agit essentiellement d'une contrainte technique. Le revenu à la période t est constitué des ventes à la période t-1.

$$- RREV(t) = \sum_s \sum_k SL(s,k,t-1) - SALES(t) \geq 0$$

pour $t = 2,T$.

En effet, les recettes brutes d'une période sont supposées provenir de la vente des animaux selon leurs caractéristiques

moyennes en fin de période. Il est donc difficile de considérer que ce revenu, en théorie obtenu en fin de période, puisse servir à financer des opérations concernant la même période. Cela conduit à faire l'hypothèse qu'il n'y a pas de vente pendant la toute première période d'activité (t = 1).

8 - Contrainte de revenu net [RNI(t)]

Il est nécessaire de contraindre le système à dégager annuellement soit un profit, soit une perte (à l'exclusion l'un de l'autre) afin d'utiliser le profit pour accroître les capacités de financement à l'extérieur et/ou l'épargne, ou bien de couvrir la perte par un financement nouveau, prélevé sur l'épargne existante ou obtenu auprès de sources extérieures.

$$-RNI(t) = -COST(t) + SALES(t-1) - PNET(t) + MNET(t) = 0$$

pour t = 1,T .

Il s'agit de la première contrainte qui prend la forme d'une égalité stricte. Dans la plupart des contraintes utilisées, l'hypothèse logique et normale serait de les considérer comme des égalités. Pourquoi utiliser des inégalités au sens large ? Dans la pratique, chaque contrainte sera une égalité non pas pour des raisons de définition ou de technique mais en raison de l'optimalité de la solution. L'optimum résulte, dans le cas du modèle, de l'algorithme du simplex ; celui-ci va résoudre simultanément deux problèmes de nature différente : trouver la valeur maximale de la fonction objectif et satisfaire les contraintes. Si l'une ou plusieurs des

contraintes reste une inégalité stricte, l'analyse peut permettre de comprendre les mécanismes mis en jeu et d'en dériver le coût marginal d'utilisation d'un facteur. Si l'on utilise des égalités, on risque de passer à côté de ces phénomènes et de se priver d'un certain nombre d'indications.

Toutefois, il peut se faire, comme dans le cas de la contrainte de revenu net, qu'une relation soit considérée par définition ou par nécessité physique, comme une égalité. L'équation de contrainte ci-dessus indique qu'un excédent de revenu net doit être intégralement transferré dans la variable PNET alors qu'un excédent de coût le sera dans la variable MNET.

Techniquement se pose le problème de l'exclusion de l'une ou l'autre de ces deux variables. Plusieurs solutions sont possibles :

* la première consiste à imposer une contrainte supplémentaire du type (1) :

(1) $\quad PNET(t) * MNET(t) = 0$

Cette solution, si elle a le mérite de la simplicité, présente l'inconvénient majeur de ne pas être linéaire et donc d'être inutilisable dans un algorithme de Programmation Linéaire .

* la deuxième solution consiste à essayer de linéariser l'équation (1). Pour cela, on peut créer deux variables entières, $I_P(t)$ et $I_M(t)$, associées respectivement à PNET(t) et MNET(t). Etant donné un nombre M, arbitrairement élevé, on ajoute à la contrainte n° 8 trois nouvelles contraintes :

$$\begin{cases} (2) & -M * Ip(t) + PNET(t) \leq 0 \\ (3) & -M * I_M(t) + MNET(t) \leq 0 \\ (4) & Ip(t) + I_M(t) = 1 \end{cases}$$

Si PNET(t) est positif, la seule façon de satisfaire la contrainte (2) est d'avoir Ip(t) = 1. Dès lors $I_M(t) = 0$, ce qui conduit nécessairement à avoir MNET(t) = 0 pour satisfaire l'inégalité (3). Le même raisonnement peut être conduit avec MNET(t) $\geq$ 0.

* la troisième solution consiste à s'assurer, au travers des contraintes suivantes que la solution optimale se chargera elle-même d'exclure l'une ou l'autre des variables. Par exemple, la simple assurance que le coût d'opportunité des pertes est supérieur à celui des profits, doit permettre de préférer avoir moins de PNET et pas de MNET, lorsque cela est possible. Néanmoins, l'existence simultanée de PNET et de MNET ne doit pas être considérée systématiquement comme une aberration, même s'il s'agit d'un ajustement comptable.

En raison de l'égalité stricte de la contrainte de revenu net, la variable duale associée ($Y_8(t)$) sera soit positive soit

négative et indiquera le coût marginal associé à un accroissement de la valeur finale résultant d'un accroissement (baisse), supplémentaire de PNET(t), (MNET(t)), respectivement.

9 - Epargne courante [RSAV(t)]

Cette contrainte vise à préciser le montant maximum qu'il est possible d'épargner pour des remboursements ultérieurs d'emprunts contractés à l'extérieur (ou pour une mobilisation ultérieure de cette épargne). L'épargne réalisée sur une période ne peut excéder le revenu net disponible pendant cette période pondéré par la propension marginale à épargner.

$$- RSAV(t) = mps * [PNET(t) - SAV(2,t)] - SAV(1,t) \geq 0$$

où mps est la propension marginale à épargner à partir du revenu disponible, si celui-ci est positif.

Le revenu disponible est défini par le revenu net disponible (PNET) diminué de la charge de remboursement des emprunts extérieurs garantis (SAV(2,t)) contractés. SAV(1,t) correspond ainsi à l'accumulation interne de capitaux : la variable contribue à augmenter la valeur finale et l'algorithme aura donc tendance à l'augmenter dans la mesure du possible. Cette contrainte ne sera effective que lorsque PNET $\geq$ 0.

10 - Emprunts courants [RSTBO(t)]

L'apparition d'un déficit en fin de période (MNET$\geq$0)

nécessite de faire appel à des sources de financement, internes ou externes, pour équilibrer les comptes de l'entreprise. Ces fonds vont provenir soit d'un prélèvement sur l'épargne accumulée au cours des périodes précédentes, soit d'emprunts à court terme à l'extérieur.

$$-RSTBO(t) = MNET(t) - \sum_{r=1}^{4} STBO(r,t) \geq 0$$

pour t = 1,T .

Les emprunts vont se faire préférentiellement d'abord vers les sources les moins onéreuses (en termes réels ou etimés). Il faut s'attendre la plupart du temps à ne connaître comme source temporaire de financement que l'épargne accumulée (hors patrimoine), s'il en existe. Lorsque l'épargne est épuisée, l'entreprise fait appel à des emprunts garantis auprès du système bancaire. Le recours au patrimoine n'est probablement envisagé qu'en dernière instance (KNEZ et al, 1985).

11 - <u>Dette extérieure [RCED(t)]</u>

a) pour t = 2,T

$$-RCED(t) = \sum_{n=3}^{4} ([1+i(n)]*CED(t-1)*STBO(2,t)) - SAV(2,t) - CED(t) \leq 0$$

Cette contrainte exprime que le cumul de la dette extérieure de l'année t ne peut excéder la dette actualisée (intérêts et capital) de l'année t-1 augmentée des emprunts à court terme à l'extérieur l'année t et diminuée de l'épargne destinée aux charges de remboursement externes. La dette extérieure est bornée vers le bas pour t = 0. Ceci implique

qu'à t = 0, la capacité maximale d'emprunt ne peut excéder cette valeur plafond (il serait illusoire de vouloir démarrer un cycle d'activité si l'endettement initial est trop important).

b) pour t = 1

$$-RCED(1) = CED(1) + SAV(2,1) - STBO\ (2,1) \geq FUND2$$

L'existence d'une valeur initiale plafond implique nécessairement de configurer RCED(1) comme une contrainte d'inégalité positive (en raison de la structure du logiciel MPSX). Il est donc plus facile de générer toutes les contraintes RCED(t) comme des inégalités positives en inversant les signes des coefficients dans le membre de gauche de l'inégalité.

12 - <u>Epargne cumulée [RCED(t)]</u>

Cette contrainte fonctionne de façon symétrique à la contrainte précédente ; elle représente la fonction de cumul de l'épargne, qu'elle soit destinée à entrer dans le patrimoine de l'entreprise ou qu'elle soit mobilisable ultérieurement. Le cumul de l'épargne sur la période t s'obtient ainsi à partir du cumul actualisé de l'épargne de la période précédente, augmenté de l'épargne dégagée au cours de la période (SAV(1,t)) et diminuée des ponctions réalisées sur cette épargne dans la même période (STBO(r,t) avec r = 1,2).

$$-RCED(t) = \sum_n [(1+i(r)*CES(t-1)] - \sum_r STBO(r,t) - CES(t) \geq 0$$

Pour la période initiale, l'épargne est supposée supérieure à un plancher, en dessous duquel l'activité ne pourrait démarrer. Cette limite est notée FUND 1.

Pour t=1,

$$-RCED(1) = -CES(1) + SAV(1,1) - STBO(1,1) - FUND\ 1 \geq 0$$

Le sens de l'inégalité répond aux mêmes contraintes que précédemment.

13 - <u>Calendrier de remboursement des emprunts garantis [RELRP(t)]</u>

Cette contrainte exprime que le niveau de l'épargne nécessaire au paiement des dettes contractées à l'extérieur [SAV(2,t)] doit être au moins aussi important que les obligations de remboursement résultant des décisions prises dans les périodes précédentes.

$$-RELRP(t) = \sum_{r=3}^{4} \sum_{d=1}^{G} (eaf[i(r),D] * STBO(2,t-d)) + SAV(2,t) \geq 0$$

pour t = D-1,T

où eaf[i(r), D] est le coefficient annuel d'amortissement pour une unité empruntée au taux i(r) pour une durée D (avec $G \leq D$; D est la durée maximale des prêts). Par ailleurs, on admet que STBO(2,t-d) est borné, c'est-à-dire que, à t=0, il existe des obligations de remboursement résultantes de décisions d'emprunt antérieures au démarrage de l'activité (BBO(d) > 0) ;

pour t=1,D et d=1,D :

-RELRP(t) = SAV(2,to-1+d) $\geq$ BBO(d)

Si le taux de rendement interne des investissements était supérieur à i(r) et si le marché des capitaux était parfait, il n'y aurait pas lieu à remboursement. Ce n'est évidemment pas le cas dans l'environnement économique réel. En conséquence, le taux de croissance de l'entreprise est limité par le niveau relatif des taux d'intérêt de l'épargne.

14 - Revenu minimum [RMIN(t)]

L'hypothèse de base qui est formulée ici (et déjà explicitée auparavant) est d'une part que l'exploitant aquacole a un comportement homogène ou analogue à celui des petits exploitants agricoles et d'autre part que la notion de "ruine" n'est perçue a priori qu'au travers de la disparition des revenus et de l'épargne disponible. On admet ainsi que l'aquaculteur ne sélectionne pas un programme de production (au sens large du choix de l'espèce, de la technologie et de la filière) au cours duquel il risque de voir le niveau de son revenu annuel descendre en dessous du niveau minimum nécessaire pour payer les charges incompressibles. Celles-ci comprennent à la fois un revenu minimum vital pour l'exploitant et sa famille (qui correspond aussi au coût d'opportunité du travail si celui-ci peut être valablement déterminé) mais aussi l'ensemble des coûts qui ne sont pas liés au niveau de la production (fixes ou non) que l'exploitant doit honorer à la fin de la

période de récolte, même et surtout si les premières opérations ont été initialisées à partir d'emprunts.

$$-RMIN(t) = PNET(t) - MNET(t) + \sum_{l=1}^{2} STBO(l,t) - \sum_{l=1}^{2} SAV(l,t)$$

$$+ FCC*\sum_{x\in\Omega} a_7(x)*a_9(x) + \sum_{r=3}^{4} i(R) * CES\ (t-1) + MINI \geq 0$$

pour t=1,T .

Cette contrainte traduit le niveau minimum de revenu nécessaire pour couvrir la consommation de base pour chaque période. MINI symbolise ce niveau.

L'ensemble Ω contient tous les inputs achetés entrant dans la composition du coût fixe, c'est-à-dire représentant des revenus disponibles pour la consommation de ces facteurs. Ω peut être vide mais on suppose qu'il contient au moins le coût d'opportunité du travail familial (revenu minimum "vital" de la famille de l'exploitant).

15 - <u>Contrainte d'appréciation du risque [RSECURE(t)]</u>

L'approche choisie pour la formalisation de cette contrainte dans le modèle est celle du " foyer de perte " ("focus loss constraint"), suivie et discutée par SHACKLE (1961), BOUSSARD et PETIT (1966, 1969) et BOUSSARD (1979) . Cette méthode est intimement liée à l'hypothèse précédente sur le concept de ruine. En règle générale, on considère qu'un risque est tenu pour négligeable (ou plus exactement peu

probable) si sa probabilité de réalisation est faible, par exemple inférieure à 5 % ou 1 %. Les conséquences de cette affirmation ont été discutées par KEYNES (1936) et MANDERSCHEID (1965) au plan philosophique et pratique. Pour construire un modèle de ce type, il faut considérer que l'exploitant est dans une situation "risquée" dès l'instant où son revenu réel est inférieur à celui qu'il attendait. Il cherchera ainsi à développer les productions pour lesquelles il admet que la possibilité d'être "ruiné" est faible, ou en tous cas négligeable. Cela suppose donc (i) de connaître la distribution de probabilité des différents niveaux de revenus par unité de surface ou de volume pour différentes productions dans les années passées récentes et (ii) de combiner ses probabilités afin d'en dériver l'agencement optimal des différentes productions. Ces informations font naturellement défaut en aquaculture (et souvent même en agriculture). Le procédé a néanmoins été utilisé en agriculture (CHARNES et COOPER, 1959 ; CHARNES et al, 1965 ; BLISS, 1976 ; KENNEDY, 1979) mais en prenant pour hypothèses que les variables concernées étaient normalement distribuées ou suivaient au moins une loi symétrique. BOUSSARD (1969) estime que "il n'y a que peu de raisons de penser que les rendements et les prix soient jamais distribués selon une loi normale ou symétrique. La normalité de la distribution de ces deux paramètres n'est bien sûr pas une condition nécessaire à la normalité de leur produit, mais il n'y a pas non plus de raison sérieuse pour émettre l'hypothèse d'une distribution normale des revenus". CHARNES et COOPER (1959) et ROUMASSET et BOUSSARD (1979) notent également que cette méthode conduit à des difficultés certaines de

programmation et doutent, de plus, que le comportement des agriculteurs (leurs "espérance de gain") résulte d'une quelconque estimation de probabilités.

Les hypothèses de SHACKLE (1949, 1961) reprises par BOUSSARD (1966) puis HAZELL (1971) et tout récemment par JOHNSTON et KELLY (1986) sont plus séduisantes. Ils soulignent que les entrepreneurs, s'ils ne sont pas vraiment familiers avec les distributions de probabilité, sont néanmoins conscients de la possibilité ou de l'impossibilité d'un évènement qui les concerne. Dans ce sens là, il s'agit plus de crédibilité ou d'incrédibilité de l'évènement, c'est-à-dire en pratique de la probabilité "subjective" accordée à un évènement (1). En supposant que l'évènement considéré soit un niveau de revenu et que le domaine des revenus possibles est continu et fini, il devient alors possible de définir le "foyer de perte" comme "le niveau de perte qu'un entrepreneur serait "très surpris" d'atteindre, quelque soit l'environnement" (BOUSSARD,1982) . SCHACKLE définit de la même façon un "foyer de gain".

Le modèle repose ainsi sur l'hypothèse que les entrepreneurs aquacole cherchent à maximiser la valeur "normale" de leurs revenus cumulés sur la période (valeur "modale" ou "moyenne") sous contrainte que le foyer de perte

(1) certains auteurs américains proposent d'utiliser le terme de "slanted probabilities" (probabilités biaisées) parce qu'elles résultent d'une enquête auprès de personnes ignorant la nature d'une distribution probabiliste.

lié au profil optimal d'exploitation est au moins égal au niveau de perte acceptable, c'est à dire à la différence entre le revenu moyen et le revenu minimum défini précédemment.

Cette méthode suppose que l'on puisse connaître le foyer de perte associé à chaque profil d'exploitation. BOUSSARD (1970) suggère que l'on peut supposer que le foyer de perte relatif à une surface emblavée ou à un groupe de culture et de leurs rendements et marchés associés est proportionnel au foyer de perte associé aux activités ou groupes d'activités correspondants. Dans l'hypothèse d'une polyculture (soit au sens de l'élevage de plusieurs espèces, soit de l'utilisation de différentes filières techniques), il nous faudra en plusfaire l'hypothèse selon laquelle les choix de production sont réalisés par l'aquaculteur de telle manière que :

(i) la probabilité d'obtenir un revenu global inférieur ou égal au minimum de leur consommation est très faible ;

(ii) le foyer de perte associé à une production est une fraction seulement de la perte admissible totale.

La contrainte s'écrit alors :

- $RSECURE(s,k,t) = P(s,k)*N(s,k,t) + kappa*LOSS(t) \geq 0$
  pour $s = 1,S$; $k = 1,K$; $t = 1,T$.

où . P(s,k) est le foyer de perte associé à la classe d'âge s et à la filière technique k. L'intérêt de considérer un foyer de perte variable avec le temps n'est pas certain,

dans la mesure où le niveau de perte maximal admissible varie déjà selon les pèriodes (GATES et GILLY,1986) ;

. kappa est la fraction de la perte admissible associée à un type d'activité. kappa apparaît comme un paramètre d'aversion du risque, arbitrairement choisi et justifié par l'inégalité de TCHEBYTCHEFF (SHACKLE,1961) ;

. LOSS(t) est le niveau maximum de perte cumulée pour toutes les activités.

L'inconvénient de cette contrainte dérive de la dimension de la matrice associée. La spécification fait appel à trois dimensions s,k et t. Ainsi pour 5 classes d'âge, 2 filières techniques et 15 périodes, la contrainte RSECURE est consistuée de 150 contraintes. KENNEDY et FRANCISCO (1974) ont comparé cette méthode avec la méthode du Minimum de Déviation Absolue (MOTAD) développée par HAZELL (1974). Leur conclusion est que l'approche du foyer de perte est peut être un peu restrictive et que le modèle MOTAD est plus économe en nombre de contraintes, mais que la première méthode nécessite moins de données et permet une interprétation plus intuitive des différents paramètres d'aversion du risque kappa et P(s,k).

Une façon évidente de réduire le nombre des contraintes peut consister à agréger les différents coefficients P(s,k) pour toutes les classes d'âge s et les technologies k. La contrainte devient alors :

$$-RSECURE(t)=\sum_s{}^S\sum_k{}^K -P(s,k)*N(s,k,t) + kappa*LOSS(t) \geq 0$$

Cela ne change en rien la structure du modèle. Le nombre de contraintes ne dépend plus que du nombre T de périodes. Seule l'interprétation des coefficients P(s,k) diffère. Ils correspondent alors plutôt à la valeur absolue du plus grand écart négatif possible par rapport à la moyenne. Cette formulation est à rapprocher de la suggestion de HAZELL (1971) de maximiser le revenu sous contrainte d'une somme des valeurs absolues des écarts négatifs (Sum of Absolute Negative Deviations).

La variable LOSS de perte maximum cumulée a été introduite par BOUSSARD dans un modèle statique (BOUSSARD, 1974). Dans un modèle dynamique, il paraît intéressant d'indicer la variable LOSS par les périodes de temps ; en particulier, on peut intuitivement considérer que la perte admissible totale variera en fonction d'un certain nombre de paramètres qui eux varient selon les périodes : capacité d'emprunt, valeur nette de l'entreprise, niveau de l'épargne, etc...

16 - <u>Perte maximale admissible [RLOSS(t)]</u>

Cette contrainte exprime que la perte maximale admissible ne peut excéder la capacité d'emprunt diminuée d'une réserve financière positive, FUND2. Il s'agit bien d'une contrainte uniquement reliée à l'appréciation du risque par les entrepreneurs : pour un individu insensible au risque (ou au

contraire infiniment téméraire) cette contrainte n'a pas de sens.

$$-RLOSS(t) = - LOSS(t) + BCAP(t) - FUND2 \geq 0$$

pour t=1,T .

Dans la réalité, le niveau de perte admissible dépend sans doute d'un certain nombre de facteurs autres que ceux mentionnés. En particulier, on peut citer le volume de main-d'oeuvre permanente, le degré d'insertion dans l'environnement économique et social local, le type d'assurances existant... Ce dernier point souligne l'importance de la prise en compte du niveau de patrimoine. En ostréiculture, les positions patrimoniales ont été utilisées pour assurer la perennité de l'activité pendant les crises des années 70. Elles sont d'autant plus nécessaires à l'heure actuelle qu'il n'existe pratiquement plus de systèmes d'assurance des élevages aquacoles.

17 - Capacité d'emprunt [RBCAP(t)]

La capacité d'emprunt est naturellement variable selon les périodes. Elle ne peut excéder la somme de la masse cumulée de l'épargne disponible CES(t) et de la valeur des immobilisations négociables de l'entreprise, BCØ, pondéré par un coefficient (er) reflètant en quelque sorte l'attitude des bailleurs de fond à l'égard de l'entreprise aquacole.

$$-RBCAP(t) = - BCAP(t) + er*[CES(t) + BC\emptyset] \geq 0$$

pour t = 1,T .

En principe, le coefficient er est inférieur ou égal à 1, mais cela n'est pas une condition nécessaire, en particulier dans le cas des pluriactivités. L'existence de BCØ résulte de plusieurs considérations :

(i) cela permet de s'assurer que la capacité d'emprunt ne dépend pas exclusivement des liquidités de l'entreprise mais que les immobilisations peuvent être utilisées comme cautionnement auprès des bailleurs de fond. L'importance de ce facteur varie selon les types d'aquaculture considérés : les immobilisations d'un élevage de poissons en cage auront comparativement peu de valeur par rapport à celles d'une ferme disposant en propre de terrains littoraux par exemple. La difficulté réside alors d'une part dans l'estimation de BCØ (en liaison en particulier avec les modes d'estimation des sites) et d'autre part dans l'estimation du coefficient er.

(ii) KNEZ et al (1985) notent, à propos des différents modes de maximisation de l'utilité, que les individus établissent une hiérarchie dans leurs immobilisations lorsqu'ils les utilisent pour prendre une décision en univers incertain. En particulier, celles qui sont considérées comme faisant partie du patrimoine ont une spécifité plus grande que les autres et sont moins souvent et moins largement mobilisées. Le calcul de BCØ devra alors en tenir compte et il faut s'attendre à trouver des individus dont le comportement

d'emprunt correspond à une valeur de BCØ inférieure à la valeur réelle de leurs immobilisations.

(iii) La valeur des immobilisations intervenant dans le calcul de la capacité d'emprunt ne dépend pas de la période de temps. On aurait pu l'envisager sans que cela ne modifie la structure du modèle. Dans la réalité, compte tenu des estimations existantes de la rentabilité des entreprises aquacoles (voir chapitre I), il paraît prématuré d'imaginer que le surplus dégagé puisse autoriser d'investir à un niveau permettant d'accroître de façon notable le cautionnement des emprunts (hors épargne).

18 - Disponibilité du capital extérieur [RERAT(t)]

La contrainte précédente indique que les bailleurs de fond ont tendance à prêter à l'entreprise dans la limite d'un plafond, variable avec le temps, déterminé par le niveau d'épargne et la valeur vénale de l'actif de l'entreprise. Selon la politique suivie, le bailleur de fond applique un facteur de correction plus ou moins important. Ainsi, au niveau de l'entreprise, les emprunts réalisés à l'extérieur ne pourront pas dépasser la capacité d'emprunt définie par la contrainte précédente.

$$-RERAT(t) = - CED(t) + BCAP(t) \geq 0$$

pour t=1,T .

En régle générale, cette contrainte sera probablement non fonctionnelle, pour la simple raison que les contraintes 14,15 et 16 sont beaucoup plus restrictives. Pourtant, on peut s'attendre à ce que des variations suffisamment importantes du coefficient d'attitude par rapport au risque (kappa) fassent passer d'une solution très prudente quant à la disponibilité de l'épargne à une solution (apparemment) neutre quant à la possibilité d'emprunter à des sources externes à l'entreprise. Il est également possible que la transition inverse s'opère au cours de la trajectoire optimale d'exploitation, au fur et à mesure de l'augmentation de la capacité d'emprunt résultant de l'accumulation de capital. L'attitude face au risque est donc susceptible de varier aussi bien avec le temps qu'avec les indidivus. AIGNER (1972) montre que les résultats des modèles utilisant les foyers de pertes peuvent être représentés dans un plan sous la forme d'un ellipsoïde de variance-covariance : les possibilités de production conduisent à des résultats qui modifient progressivement l'attitude vis-à-vis du risque dans un sens puis dans l'autre.

19 - Variables bornées

Certaines des variables décrites ci-dessus admettent une limite inférieure ou supérieure. Ces variables bornées peuvent faire l'objet d'une formulation identique aux contraintes (et cela doit être considéré ainsi pour l'interprétation des conditions de Kuhn et Tucker). Néanmoins, l'utilisation du logiciel MPSX permet d'entrer ces limites dans une section spéciale ("BOUND set"). De la même manière les contraintes qui

admettent un minimum ou un maximum non nul peuvent être présentées sous la forme générale et leur limite placée dans une colonne particulière ("RANGE section"). Dans la forme générale donnée au modèle , cela n'a pas lieu d'être, mais l'introduction de cette colonne ne pose pas de problème technique particulier.

Les bornes des variables sont les suivantes :

. FCC = 1.0 Bien que le vecteur de coûts fixes soit considéré comme sans intérêt pour l'optimisation statique, il nous semble pertinent de l'inclure dans un modèle dynamique puisqu'il influe sur le cash-flow et sur l'accumulation de capital.

. BU(l) ; l = 1,L : figurent les bornes de disponibilité en facteurs pour les facteurs choisis dans l'optimisation. Des limites peuvent être ainsi placés sur la disponibilité en main-d'oeuvre, sur l'approvisionnement en juvéniles, etc. Dans le cas (rare) de ressources non limitées, on pourra mettre un nombre arbitrairement élevé.

. BBO(d) = $\sum_{d=1}^{D}$ [eaf[i(2),D] * STBO(2,to-d)] figure la borne inférieure initiale des charges de remboursement, liées à des emprunts contractés avant la période de démarrage to. Dans le cas d'une création d'entreprise, BBO(d) = 0.

20 - Fonction objectif [RWEALTH]

La fonction objectif a été décrite dans le paragraphe II.1.1 . Il s'agit bien entendu l'une ligne neutre, en ce sens que son activité n'est en principe pas limitée directement. Il est néanmoins possible de mettre une limite à la fonction objectif, exactement comme pour les autres contraintes. L'intérêt d'une telle limitation n'est pas certain dans la mesure où l'on cherche à obtenir un maximum pour RWEALTH et que l'opération résulterait sans doute en plusieurs optimum. Néanmoins, l'hypothèse peut être envisagée, par exemple dans le cas où, par le jeu d'une taxation discontinue des profits, les entreprises aquacoles seraient très strictement limitées dans leur croissance (l'aquaculture norvégienne de salmonidés constitue un exemple de ce type de limitation).

21 - Valeur additionnelle [AWEALTH]

Telle qu'elle est définie, la fonction objectif inclue dans son résultat la valeur initiale de l'entreprise. Il est possible de s'intéresser non plus à la valeur globale de l'entreprise en fin de cycle mais seulement à la valeur additionnelle :

AWEALTH = RWEALTH - IWEALTH

où IWEALTH est la valeur initiale de l'entreprise. IWEALTH est défini par la valeur initiale des biens de l'entreprise

diminuée de la dette contractée avant le cycle étudié dans le modèle :

$$IWEALTH = FUND1 - FUND3 + \sum_{s,k} [Y_1(s,k,0) * BN(s,k)]$$

Y1(s,k,0) est la valeur initiale de la productivité marginale des stocks de classe d'âge s pour la filière technique k. Cette valeur doit être estimée soit directement à partir d'un échantillon d'entreprises existantes, soit par récurrence à partir des résultats précédents.

L'addition de ces deux équations ne pose aucun problème pour la procédure d'optimisation, puisque le calcul de AWEALTH résulte d'une combinaison linéaire de deux équations strictes (il est donc possible d'utiliser la procédure du type "Dx" du logiciel MPSX) et peut être calculer postèrieurement à l'obtention de la base optimale.

Ce calcul de la valeur additionnelle est très important, en particulier en regard de la problématique de l'investissement en aquaculture nouvelle (voir chapitre I). Supposons qu'un investisseur désire utiliser les résultats du modèle pour juger de la faisabilité de l'investissement. Si le capital initial requis est Ko et que l'horizon de temps considéré est de J*T années (ou périodes), J étant un nombre entier, on définit alors, sur la période totale considérée ; différentes séquences avec j = 1,J sur lesquelles le modèle calcule AWEALTH (j). La décision d'investissement va dépendre de la valeur du calcul de

$$\Delta K = -Ko + \sum_j [\ (j*T)\ *\ AWEALTH(j)]$$

pour $j = 1,J$.

où AWEALTH(j) est la valeur additionnelle nette obtenue pour la $j^{ième}$ séquence, pour laquelle les conditions finales de la séquence j-1 ont été utilisées comme condition initiale. AWEALTH(j) et AWEALTH(j+1) seront très probablement différents puisque les conditions initiales seront différentes. Il est très probable également, étant donné que chaque séquence inclue T périodes, que les valeurs de AWEALTH(j) seront convergentes après un certain nombre de séquences. Si l'on utilise RWEALTH directement dans l'équation de ΔK, il apparaît que la base optimale d'une séquence j inclue la vente de stocks d'animaux déjà comptabilisés dans la valeur finale de la séquence j-1 (RWEALTH(j-1)). De la même manière, l'utilisation de RWEALTH conduit à comptabiliser deux fois certains paramètres financiers : une partie de la valeur finale des paramètres financiers de la $j^{ième}$ séquence ne provient pas de ce qui s'y est ajouté au cours de cette séquence mais de la valeur initiale au début de la période (valeur finale des paramètres à la fin de la séquence j-1).

La matrice est représentée dans le tableau 6.

TABLEAU 6 : Représentation de la matrice du modèle

COLONNES / LIGNES	FCC	S	N	H	SL	SALES	AREA	CL	BCAP	COST	PNET	MNET	STBO 1	STBO 2	SAV 1	SAV 2	CED	CES	LOSS	TYPE	Membre de droite
RFS		I	L	I																≤	BN(s,k)
RFI				-	I															≤	
RCAP			+				-1													≤	
RCULT	+	+	+	+	+		+	-I												≤	
RKWAP										I			-I	-I						≤	
RCOST	+	+	+	+	L		+	+		-I							i(2)	i(1)		≤	
RREV					-L	I														≤	
RNI						I				-I	-I	I								=	
RSAV											-mps				I	mps				≤	
RCID														I		-I	L			≥	FUND3 ; t=1
RSTBO												-I	+I							≤	
RCED													I		-I			L		≥	FUND1 ; t=1
RELRP														eaf						≤	
RMIN	-		P								-I	I	-I	-I	I	I		-L		≤	MIN
RSECURE																			-kap	≤	
RLOSS									I										-I	≥	FUND2
RBCAP									I									-er		≤	BCO
RERAT									I								-I			≤	
RWEALTH	$(1+Y_{11})$ + CES(T) + $(-1+Y_{10})$ + CED(T) + valeur stock																			N	
IWEALTH																				N	IWEALTH
AWEALTH	RWEALTH - IWEALTH																			D	
TYPE	=						≤								≥	≥					
BORNE	1						BAREA								BBO	BBO					

+ : représente une matrice non nulle positive
- : représente une matrice non nulle négative
1 : coefficient unitaire

I : figure la matrice identité dans le cas de contraintes multiples
L : figure un décalage périodique (t à t-1)
un blanc indique un coefficient nul

II.2.4. Le problème dual: Lagrangien associé et conditions de Kuhn et Tucker.

Le lagrangien associé au problème considéré ($\mathcal{L}(s,k,t)$) est formé à partir de la fonction objectif, des contraintes et des multiplicateurs de Lagrange (variables duales) : le lagrangien est formé par combinaison linéaire de la fonction objectif et de la somme pondérée des contraintes, la pondération étant réalisée par les multiplicateurs de Lagrange (SILBERBERG, 1978). Le lagrangien s'écrit alors, conformément aux définitions des variables données au paragraphe IV.4.3 :

$$\begin{aligned}\mathcal{L}(s,k,t) = {} & RWEALTH - (Y_1)*YFS - (Y_2)RFI - (Y_3)RCAP \\ & - (Y_4)RCULT - (Y_5)RWFAP - (Y_6)RCOST \\ & - (Y_7)RREV + (Y_8)RNI - (Y_9)RSAV + (Y_{10})RCED \\ & - (Y_{11})RSTBO + (Y_{12})RCID - (Y_{13})RELRP \\ & - (Y_{14})RMIN - (Y_{15})RSECURE + (Y_{16})RLOSS \\ & - (Y_{17})RBCAP - (Y_{18})RERAT - (YBC)BCOL\end{aligned}$$

La maximisation sous contraintes d'une fonction est assurée si les conditions de premier et second ordre sont remplies. Les conditions de premier ordre sont obtenues en annulant les dérivées partielles de la fonction de Lagrange. Les conditions de second ordre exigent que le déterminant formé par les dérivées partielles d'ordre 2 de $\mathcal{L}$ par rapport aux variables et aux multiplicateurs de Lagrange soit négatif (ce déterminant est appelé matrice Hessienne).

Dans le cas d'un problème de maximisation où les contraintes sont des inégalités, une condition nécessaire et suffisante pour avoir un maximum est que la fonction objectif

présente, au point considéré, un "point selle" "("saddle point", KUHN et TUCKER, 1951). Le théorème du "point selle" de KUHN et TUCKER exprime qu'au point considéré le lagrangien atteint un maximum au regard des variables primales et un minimum au regard des multiplicateurs (variables duales) (et inversement pour un problème de maximisation). Les deux assertions ne sont pas équivalentes : si la fontion atteint un point selle, alors on est en général assuré d'avoir un extremum contraint de la fonction ; mais l'inverse n'est pas toujours exact, sauf si (i) la fonction et toutes les contraintes sont concaves et (ii) il existe des valeurs positives des variables telles que toutes les dérivées partielles des contraintes soient positives pour ces valeurs (SILBERBERG, 1978).

Une des méthodes de résolution du modèle consiste à trouver les valeurs des activités pour lesquelles les conditions de Kuhn-Tucker sont remplies, c'est-à-dire :

. les dérivées partielles du lagrangien par rapport aux variables de décisions primales (duales) sont négatives (positives) ;

. le produit de chaque dérivée par sa variable de décision associée s'annule. Si la dérivée partielle n'est pas nulle, alors nécessairement la variable de décision associée l'est, et inversement, lorsqu'une variable est non nulle, la dérivée partielle associée est nulle.

Les variables primales P_1 - P_{16} explicitées au chapitre II.2.3 sont les variables de décision pour la maximisation de la fonction objectif RWEALTH. Les variables duales associées

ont été également décrites D_1 - D_{22} au paragraphe II.2.3. Ces variables duales peuvent être considérées comme les solutions d'un problème de minimisation associé : maximiser la valeur du vecteur membre de droite, sous contrainte que les valeurs duales satisfassent un certain nombre de restrictions. En particulier, lorsque le besoin en une unité de chaque variable primale est estimé à sa valeur duale, la valeur totale imputée à la disponibilité de chaque variable primale doit être au moins égale à son coefficient dans la fonction objectif. Par linéarité, les problèmes dual et primal sont équivalents.

Les conditions de Kuhn-Tucker relatives au modèle sont explicités ci-après (L_1 à L_{18}). Le lagrangien est noté $\mathcal{L}(.)$. $G(\mathcal{L},I)$ symbolise la dérivée partielle du lagrangien par rapport à la variable I.

$$(L._1) \quad \frac{d\mathcal{L}(\ .\ )}{dS(s,k,t)} = G\ (\mathcal{L},S(s,k,t)) \leq 0$$

$$G(\mathcal{L},S(s,k,t)) =$$

$$Y_1(s,k,t) - \sum_s [a_1(l,s,k)*Y_4(s,k,t) - st(s,k,t)*Y_6(t)] \leq 0$$

La condition $L._1$ concerne le nombre d'unités d'espace ensemencées en juvéniles pour chaque filière technique. Elle suggère que le coût marginal associé à l'ensemencement pour une classe d'âge et une filière technologique ne peut excéder la somme pondérée de la valeur duale des facteurs nécessaires aux opérations d'ensemencement ajoutée au prix d'acquisition des stocks. Les coefficients $a_1(l,s,k)$ représentent les besoins en facteurs l par unité de surface. Le premier terme de la somme

correspond au coût direct des facteurs utilisés pour ensemencer une unité d'espace, si les facteurs sont parfaitement disponibles. $Y_4(l,t)$ est le prix (dual) fictif associé au $l^{ième}$ facteur. Dans le cas contraire, les valeurs réelle et duale sont différentes. Le second terme de la somme représente le prix d'acquisition pondéré du stock de juvéniles. Le facteur de pondération du prix d'achat des juvéniles, $Y_6(t)$, apparaît dans les conditions ultérieures; il correspond à la valeur du produit marginal associée à la contrainte RCOST.

$$(L._2)\quad \frac{d\mathcal{L}(.)}{dN(s,k,t)} = G(\mathcal{L},N(s,k,t)) \leq 0 \dashv \frac{d\mathcal{L}(.)}{dN(s,k,t)} * N(s,k,t) = 0$$

$$G\ (\mathcal{L},N(s,k,t)) =$$

$$Y_1(s+1,k,t+1) - Y_1(s,k,t) - Y_3(t) - n(s,k,t)*Y_6(t)$$
$$- \sum_l [(a_2(l,s,k)*Y_4(l,t)) - P(s,k)*Y_{14}(s,k,t)] \leq 0$$

pour $s = 1,S$; $k = 1,K$; $t = 1,T$.

Considérons tout d'abord le cas le plus général, c'est-à-dire les périodes qui précédent la période terminale (t=1,T-1). Lorsque l'on se trouve en situation d'équilibre dynamique, c'est-à-dire indépendante des conditions initiales et finales, la condition $(L._2)$ implique que l'accroissement de la valeur d'une unité d'espace cultivé ($Y_1(s+1,k,t+1)-Y_1(s,k,t)$) ne peut excéder la somme des paramètres suivants :

(i) le coût financier de l'espace cultivé ($Y_3(t)$) ;

(ii) la somme des dépenses occasionnées par l'élevage sur la période ($\sum_l^L a_2(l,s,k) * Y_4(l,t)$) ;

(iii) les coûts pondérés de culture ($n(s,k,t) * Y_6(t)$) ;

(iv) le coût marginal du risque, évalué à partir du coût marginal (valeur duale) de la contrainte RSECURE(t) $(P(s,k,)*Y_{14}(s,k,t))$.

L'inégalité devient une égalité si et seulement si $N(s,k,t) > 0$. Ainsi, la condition $(L._2)$ apparaît presque comme un lieu commun : un individu (au sens de l'homo economicus) ne réalisera une activité que si les bénéfices additionnels sont supérieurs aux coûts additionnels. Dans ce cas, les bénéfices additionnels sont représentés par la valeur des stocks par unité d'espace supplémentaire.

Dans le cas particulier où t=T, la valeur duale $Y_1(s+1,k,t+1)$ est remplacée par le coefficient $Y_1(s,k)$. Ce coefficient peut être estimé par itérations successives à partir des valeurs de $Y_1(s,k,t)$ utilisées dans des cycles précédents: on choisit t à partir d'un intervalle stable et on sélectionne la valeur optimale de $Y_1(s,k,t)$; les valeurs optimales sont ensuite aggrégées jusqu'à la période T et réduites par le coefficient $b(t)*n(s,k,T)$. Le résultat constitue une estimation de $Y_1(s,k)$ (GATES et al.,1981).

$$G(\mathcal{L}, N(s,k,t)) =$$
$$Y_1(s,k) - Y_1(s,k,T) - Y_3(T) - n(s,k,tT)*Y_6(T)$$
$$-\sum_s \sum_k [(a_2(1,s,k)*Y_4(1,T)) - P(s,k)*Y_{14}(s,k,T)] \leq 0$$
$$\text{pour } s = 1,S \ ; \ k = 1,K \ ; \ t = T \ .$$

Enfin, si t = 0, les conditions sur les coûts disparaissent puisqu'elles ont été imputées à des périodes précédentes. La condition $(L._2)$ se résume alors à ce que la valeur initiale des stocks est égale au coût fictif associé à la contrainte des conditions de départ.

$G(\mathcal{L}, N(s,k,0) =$

$Y_1(s+1,k,1) - Y_1(s,k,0) \leq 0$

pour $s = 1,S$; $k = 1,K$; $t = 0$.

$$(L._3)\ \frac{d\,\mathcal{L}(.)}{dH(s,k,t)} = G(\mathcal{L},H(s,k,t)) \geq 0 \longmapsto G(\mathcal{L},H(s,k,t))*H(s,k,t)=0$$

$G(\mathcal{L}, H(s,k,t)) =$

$$-Y_1(s,k,t) + yield(s,k,t)*Y_2(s,k,t)$$
$$- \sum_1 a_8(l,s,k)*Y_4(l,k,t) - h(s,k,t)*Y_6(t) \geq 0$$

pour $s = 1,S$; $k = 1,K$; $t = 1,T$.

Le coefficient $Y_2(s,k,t)$ représente la valeur duale du stock d'animaux élevé pendant la période t. En principe, cette valeur est égale à la valeur des ventes actualisée et donc $Y_2(s,k,t) = (1+i)^{-t}$. Le produit $yield(s,k,t)*Y_2(s,k,t)$ représente alors simplement le revenu brut actualisé obtenu par la récolte d'une unité d'espace d'animaux de la classe (s,k). $Y_4(l,t)$ représente la valeur duale associée au facteur l et $\sum_1^L a_8(l,s,k)*Y_4(l,k,t)$ correspond au coût de récolte associé. Si les facteurs sont en quantité illimitée, la valeur fictive de chaque facteur sera égale à son prix d'achat CL(l,k,t). $Y_6(t)$ représente toujours la même variable d'actualisation et $h(s,k,t)*Y_6(t)$ correspond alors aux dépenses directes liées à la récolte. Les conditions $(L._3)$ indiquent donc simplement que le gain (en valeur) sur une unité d'espace récoltée $(yield(s,k,t)*Y_2(s,k,t)-Y_1(s,k,t))$ doit au moins être égal aux coûts directs et indirects liés à la récolte. Ces conditions de Kuhn et Tucker sont particulièrement intéressantes pour l'analyse du risque et les prises de décision qui y sont liées.

L'existence d'un coefficient d'aversion par rapport au risque n'a aucun impact sur le premier terme yield(s,k,t)*Y_2(s,k,t), celui-ci étant calculé d'après des données parfaitement "objectives". En revanche, le terme Y_1(s,k,t) va diminuer avec l'accroissement de l'aversion au risque puisque ce terme représente la valeur in situ des stocks qui, toute chose égale par ailleurs, tend à accroître le montant du gain sur la récolte. De plus, comme le coefficient de perte potentielle augmente avec l'âge, la baisse de Y_1(s+1,k,t) sera supérieure à celle de Y_1(s,k,t) : le gain "subjectivement" estimé sur les récoltes futures est sous-estimé. Ce sont ces coefficients (valeur duale des facteurs et des produits) qui vont intervenir dans le choix dela décision de récolter ou de laisser croître les animaux d'une classe d'âge donnée. Une formulation plus précise de ce choix fera intervenir les contraintes de risques, ou plus exactement une expression qui traduit leur existence en un effet sur la valeur des stocks in situ.

$$(L._4)\ \frac{d\mathcal{L}(.)}{dSL(s,k,t)} = G(\mathcal{L}, SL(s,k,t) \geq 0 \mapsto G(\mathcal{L}, SL(s,k,t)))*SL(s,k,t)=0$$

$$G(\mathcal{L}, SL(s,k,t)) =$$

$$Y_7(t+1) - Y_2(s,k,t) - \sum_1 a_3(l,s)*Y_4(l,s) \geq 0$$

$$\text{pour } s = 1,S \ ; \ k = 1,K \ ; \ t = 1,T \ .$$

Y_7(t+1) représente la valeur du produit marginal du revenu brut. La condition ($L._4$) implique que cette valeur marginale du revenu brut doit être au moins égale à la valeur marginale des coûts liés à la vente des produits et au stock d'animaux résiduel (mesuré à sa valeur monétaire). Si SL(s,k,t)>0, la

condition $(L._4)$ indique non plus une inégalité mais une stricte égalité.

$$(L._5)\quad \frac{d\mathcal{L}(.)}{dSALES(t)} = G(\mathcal{L},SALES(t)) \leq 0 \longmapsto G(\mathcal{L},SALES(t))*SALES(t) = 0$$

$$G(\mathcal{L},SALES(t)) = -a_{11}(t)*Y_6(t) - Y_7(t) - Y_8(t) \leq 0$$

$Y_6(t)$ est la valeur duale associée aux coûts aggrégés, c'est-à-dire qu'il correspond au gain fictif d'une réduction de ces coûts d'une unité. Le coefficient $a_{11}(t)$ représente le coût direct lié à la vente des produits (lorsque ce coût est repérable). $Y_7(t)$ correspond à la valeur du produit marginal d'un accroissement du revenu d'une unité. $Y_8(t)$ représente la valeur duale associée à une unité supplémentaire de revenu, si $0<Y_8(t)<MNET(t)$ ou à une unité en moins de perte si $Y_8(t)<0<PNET(t)$. Les conditions $(L._5)$ indique que si $PNET(t)>0$ alors $Y_8(t)\leq Y_7(t)$, l'égalité étant assurée lorsque $SALES(t)>0$: la valeur marginale (dualité) de l'accroissement du revenu net $(Y_8\geq 0)$ est au moins égale à la valeur du produit marginal du revenu brut diminuée des dépenses directes liées à la vente.

$$(L._6)\quad \frac{d\mathcal{L}(.)}{dAREA(t)} = G(\mathcal{L},AREA(t)) \leq 0 \longmapsto G(\mathcal{L},AREA(t))*AREA(t) = 0$$

$$G(\mathcal{L},AREA(t)) = Y_3(t) - \sum_l \sum_k [a_{10}(l,k)*Y_4(l,k,t)] - a_6()*Y_6(t) \leq 0$$

La variable duale $Y_3(t)$ est la valeur du produit marginal d'une unité d'espace supplémentaire. C'est une estimation du prix que l'entrepreneur est prêt à payer pour mettre en culture une unité d'espace supplémentaire pendant T périodes. Il s'agit d'un coût résiduel, net du coût foncier $a_6(t)$ lorsque celui-ci

existe; le terme $\sum_l \sum_k$ [.] est la valeur marginale associée aux dépenses liées au "foncier". Enfin, $Y_6(t)*a_6(t)$ est le coût marginal de l'unité d'espace, ce qui correspond à la rente foncière aquacole (concessions par exemple).

Dans la réalité, si le seul coût du foncier est lié à un prix de location ou de concession, on peut s'attendre à voir diminuer $Y_3(t)$ au fur et à mesure d'une augmentation de $a_6(t)$, jusqu'à dissipation complète de $Y_3(t)$.

Dans la mesure où toute solution non triviale implique que AREA(t)>0, les conditions $(L._6)$ peuvent être considérées comme des égalités strictes.

Les effets du comportement vis à vis du risque et de la disponibilité du capital se font sentir également sur la rente résiduelle $Y_3(t)$ par l'intermédiaire de $Y_6(t)$ qui dépend lui-même de $Y_4(l,k,t)$ (voir les conditions suivantes) :

$$Y_3(t) \leq Y_6(t)*[a_6 + \sum_l (a_{10}(l)*a_1(l)]$$

$$(L._7) \quad \frac{d\mathcal{L}(.)}{d\ CL(l,t)} = G(\mathcal{L},CL(l,t)) \leq 0 \longmapsto G(\mathcal{L},CL(l,t))*CL(l,t)=0$$

$$G(\mathcal{L},CL(l,t)) = Y_4(l,t) - a_7(l)*Y_6(t) \leq 0$$

pour l=1,L ; t = 1,T

Cette septième inéquation suggère que la valeur duale du $l^{ième}$ facteur (coût marginal associé) doit être au plus égale au produit du coût d'acquisition unitaire de ce facteur ($a_7(l)$) multiplié par la valeur marginale de la réduction d'une unité de ce coût ($Y_6(t)$ - coût marginal associé aux coûts de production). Cette condition se transforme en une inégalité si $a_7(l)>0$, c'est-à-dire si le facteur est effectivement acheté (ce qui paraît logique).On retrouve ici la justification de

l'hypothèse eslon laquelle la somme des coûts marginaux associés pondérés par la quantité achetée de chaque facteur est égale, s'il n'y a aucune restriction sur les disponibilités, au coût total des facteurs utilisés. Dans la mesure où l'on désire restreindre la disponibilité de certains facteurs, il convient d'ajouter certaines contraintes faisant apparaître la valeur duale de cette restriction, c'est-à-dire le prix que l'entreprise est prête à payer pour se procurer une unité supplémentaire de ce facteur.

$$(L._8)\quad \frac{d\mathcal{L}(.)}{dCOST(t)} = G(\mathcal{L}, COST(t)) \geq 0 \longmapsto G(\mathcal{L}, COST(t)) * COST(t) = 0$$

$$G(\mathcal{L}, COST(t)) = -Y_5(t) + Y_6(t) + Y_8(t) \leq 0$$

pour $t = 1,T$.

La variable duale $Y_6(t)$ correspond à la valeur du gain fictif marginal lié à la réduction d'une unité du coût total de production. Elle doit être plus faible que la différence entre la valeur du produit marginal des capitaux opérationnels ($Y_5(t)$) et la valeur du produit marginal du revenu net ($Y_8(t)$).

Cette dernière variable duale peut être positive ou négative, selon l'existence de PNET(t)>0 ou MNET(t)>0 (la contrainte C.8 est une stricte égalité). $Y_6(t)$ peut être envisagé comme un coefficient d'actualisation dont l'ampleur dépend du signe du bénéfice net et aussi de la source des capitaux utilisés. Un revenu net positif (PNET>0) entraîne des valeurs du produit marginal du revenu strictement positives au regard en particulier des achats futurs et/ou de l'épargne ; à un revenu net négatif (MNET>0) correspond une valeur duale positive au regard des capitaux opérationnels et des emprunts.

La structure même du modèle, par le fait qu'elle suppose a

priori des coûts indivisibles, assure que COST(t)>0 et donc que les conditions $(L._8)$ sont des égalités. Si MNET>0, alors la valeur du produit marginal du coût total de production sera inférieure à celle des capitaux opérationnels (Y6(t) < Y5(t)) et inversement si PNET>0 (voir les contraintes L_9-L_{10}).

$(L._9)$-$(L._{10})$

a. $(L._9)$ $\frac{d\mathcal{L}(.)}{dMNET(t)} = G(\mathcal{L},MNET(t)) \leq 0 \longmapsto G(\mathcal{L},MNET(t))*MNET(t)=0$

$G(\mathcal{L},MNET(t)) = Y_8(t) + mps*Y_9(t) + Y_{13}(t) \leq 0$

pour $t = 1,T$.

b. $(L._{10})$ $\frac{d\mathcal{L}(.)}{dPNET(t)} = G(\mathcal{L},PNET(t)) \leq 0 \longmapsto G(\mathcal{L},PNET(t))*PNET(t))=0$

$G(\mathcal{L},PNET(t)) = - Y_8(t) + Y'_9(t) \leq 0$

pour $t = 1,T$.

Les contraintes $(L._9)$ et $(L._{10})$ sont très semblables dans leurs structures. Elles ne diffèrent que parce que la première ne concerne que les situations pour lesquelles PNET>0 et la seconde les situations pour lesquelles MNET>0. Ces deux conditions s'excluent mutuellement, sauf dans le cas (dont on suppose arbitrairement la probabilité quasi-nulle) où le revenu net est strictement nul. A l'exception de ce cas rare, nous aurons soit PNET(t)>0, soit MNET(t)>0 et donc les contraintes $(L._9)$ et $(L._{10})$ seront des égalités : les variables duales $Y_8(t)$ et $-Y_8(t)$ sont toutes les deux positives dans leurs conditions respectives. La variable $Y_{13}(t)$ représente la valeur du produit marginal d'une unité supplémentaire d'épargne, ce

qui tend à relaxer les contraintes de disponibilité minimum future (achats futurs). Ainsi, si le revenu net est positif (si l'entreprise dégage des profits), le coût marginal qui lui est associé, $Y_8(t)$, le sera également. Les conditions $(L._9)$ entraînent alors l'égalité de $Y_8(t)$ à la somme des valeurs duales (i) de la part d'épargne supplémentaire par unité supplémentaire de revenu net et (ii) de la part de cette épargne affectée aux contraintes ultérieures de revenu minimal. Inversement, lorsque MNET(t) est positif (situation qui correspond pour l'entreprise à une perte sur la période t considérée) alors $-Y_8(t)>0$: les conditions $(L._{10})$ indiquent alors que le coût marginal associé à la réduction d'une unité des pertes de l'entreprise est égale à (i) la valeur marginale d'une unité de réduction de la part que MNET prend dans la contrainte de revenu minimum dans les périodes ultérieures plus (ii) la valeur du produit marginal d'une réduction d'une unité de l'emprunt nécessaire pour couvrir MNET(t).

Dans la mesure où les variables $Y_9(t)$, $Y'_9(t)$ et $Y_{13}(t)$ sont toutes trois positives, cela entraîne une gamme importante de possibilités pour $Y_8(t)$. En effet, la formulation classique qui ne tient pas compte des phénomènes d'épargne, d'emprunt ou de niveau minimum de revenu estiment simplement $Y_8(t)=b(t)=(1+i(r)^{-t})$. En particulier, il doit être possible de pratiquer en aquaculture une stratégie "cyclique" analogue au mode d'exploitation des forêts de conifères (stratégie de la "place nette") (1). En aquaculture, une telle stratégie implique, pour des animaux ayant des cycles de croissance d'une durée supérieure à la période de base, de faire appel au maximum à l'épargne interne et à la capacité d'emprunt auprès

des sources extérieures pour assurer la couverture des besoins minimum pendant les périodes sans récolte (en admettant qu'il n'existe pas de revenus annexes liés à une autre activité). Cette tactique n'est naturellement pas interdite par la structure du modèle mais elle risque d'être très largement handicapée par les contraintes financières (accès aux financements extérieurs et coûts de ces financements), les contraintes de risque et leurs interactions.

BOUSSARD (1982) note que les modèles de Programmation Linéaire multipériodiques présentent un taux de croissance interne qui est maximum et stable aux alentours de la frontière d'optimalité, que le modèle est supposé atteindre "rapidement". Ceci se vérifie dans les modèles où le comportement vis-à-vis du risque est neutre et où les contraintes financières ne sont pas prises en compte. BOUSSARD estime que la convergence vers la frontière d'optimalité n'est pas supprimée mais assez largement repoussée (en termes de nombre de périodes) par l'intégration d'un facteur de risque. Les contraintes financières ont probablement un résultat analogue.

($L._{11}$) Les conditions ($L._{11}$) sont doubles. Les premières ($L._{11}$.a) sont associées aux mobilisations de fonds internes (épargne, accumulation interne) et les secondes ($L._{11}$.b) aux sources externes de financement.

---

(1) cette notion peut également être rapprochée de la notion anglosaxonne de "pulse fishing" qui consiste à exploiter un stock de poissons à fond (jusqu'à la surexploitation) puis à attendre sa réapparition et également de la notion d'assolement en agriculture

$$(L._{11}.a)\quad \frac{d\mathcal{L}(.)}{dSTBO(R_1,t)} = G(\mathcal{L},STBO(R_1,t)) \leq 0$$

$$G(\mathcal{L},STBO(R_1,t))*STBO(R_1,t)=0$$

pour $R_1 = 1,2$; $t = 1,T$.

$$G(\mathcal{L},STBO(R2,t)) = Y_5(t) - Y_{11}(t) + Y_{13}(t) \leq 0$$

$$(L._{11}.b)\quad \frac{d\mathcal{L}(.)}{dSTBO(R_2,t)} = G(\mathcal{L},STBO(R_2,t)) \leq 0$$

$$G(\mathcal{L},STBO(R_2,t))*STBO(R_2,t)=0$$

pour $R2 = 3,4$; $t = 1,T$.

$$G(\mathcal{L},STBO(R_2,t)) = Y_5(t) + Y_{10}(t) + Y_{13}(t) - \sum_d [eaf(i(R_2),D)*Y_{12}(t+d)] \leq 0$$

La variable $Y_5(t)$ représente la variable duale associée au capital opérationnel (fond de roulement) selon ses différentes sources. $Y_{10}(t)$ représente la valeur du produit marginal associé à la réduction de la dette extérieure alors que $Y_{11}(t)$ constitue la valeur du produit marginal associée à une unité supplémentaire de fond propre mobilisable. $Y_{12}(t)$ correspond au coût implicite associé à la contrainte d'échéancier de remboursement (C.13). Enfin la variable duale $Y_{13}(t)$ est associée à la contrainte de besoin minimum en revenu pour couvrir les frais incompressibles de la production sur la période T considérée. Les conditions $(L._{11}.a)$ deviennent des égalités dès l'instant où l'entreprise fait appel à ses réserves financières. De façon équivalente, les conditions $(L._{11}.b)$ sont des égalités s'il y a recours à des sources externes. Il faut noter que les contraintes $(L._{11})$ a et b peuvent exister simultanément dans le modèle, le choix de l'entreprise ne se faisant pas exclusivement vers l'une ou l'autre des deux sources de financement :

(A) $(L._{11}.a)$ $\quad Y_5(t) \geq Y_{11}(t) - Y_{13}(t)$

(B) $(L._{11}.b)$ $\quad Y_5(t) \geq \sum_d [eaf(i(R_2),D)*Y_{12}(t+d) - Y_{10}(t) - Y_{13}(t)$

Par substitution, si pour une période donnée, l'entreprise fait appel à des capitaux internes et externes, (A) et (B) conduisent à :

$$Y_{11}(t) = \sum_d [eaf(i(R_2),D)*Y_{12}(t)(t+d)] - Y_{10}(t)$$

La valeur du produit marginal d'une unité supplémentaire de fond propre mobilisable équilibre le coût marginal associé aux contraintes de remboursement des emprunts garantis diminué de la valeur du produit marginal d'une unité supplémentaire d'emprunt mobilisable. En d'autres termes, les conditions $(L._{11})$ forcent l'entreprise à équilibrer sa stratégie entre ce qu'elle est prête à payer soit pour prélever sur l'épargne disponible soit pour augmenter ses emprunts et ce que lui coûte l'accès aux emprunts garantis. Nous verrons que cette contrainte a également un impact au niveau des conditions d'optimalité entre la part d'épargne conservée et la part d'emprunt supplémentaire.

$(L._{12})$ De la même façon que précédemment, les conditions relatives à l'épargne sont doubles : $(L._{12}.b)$ concerne la part d'épargne consacrée à l'accumulation interne et $(L._{12}.a)$ la part d'épargne consacrée aux remboursements des dettes extérieures:

(L.$_{12}$.a) $\frac{d\mathcal{L}(.)}{dSAV(1,t)} = G(\mathcal{L},SAV(1,t)\leq 0 \longmapsto G(\mathcal{L},SAV(1,t))*SAV(1,t)=0$

$G(\mathcal{L},SAV(1,t)) = - Y_9(t) + Y_{11}(t) - Y_{13}(t) \leq 0$

pour t = 1,T .

(L.$_{12}$.b) $\frac{d\mathcal{L}(.)}{dSAV(2,t)} = G(\mathcal{L},SAV(2,t))\leq 0 \longmapsto G(\mathcal{L},SAV(2,t))*SAV(2,t)=0$

$G(\mathcal{L},SAV(2,t)) = - mps*Y_9(t)*Y_{10}(t) - Y_{13}(t) \leq 0$

pour t = 1,T .

Ces conditions sont symétriques des précédentes et leur interprétation est analogue. Les conditions (L.$_{12}$.a) montrent notemment que le coût marginal lié à la notion de revenu minimum ($Y_{13}(t)$) est au moins égal à la différence entre la valeur du produit marginal du capital accumulé ($Y_{11}(t)$) et celle de l'épargne ($Y_9(t)$), l'égalité étant assurée si l'épargne vient accroître le capital accumulé. De façon identique (au coefficient de propension marginale à épargner près) les contraintes (L.$_{12}$.b) indiquent que $Y_{13}(t)$ doit être au moins égal au coût marginal associé à la dette extérieure ($Y_{10}(t)$) diminué de la valeur du produit marginal des revenus nets destinés au remboursement des emprunts, pondérés par le facteur mps de propension marginale à épargner. L'égalité n'est assurée que lorsque des remboursements sont réalisés.

L'analyse plus fine des conditions (L.$_{11}$) et (L.$_{12}$) montre les limites imposées par les contraintes. Les conditions (L.$_{11}$.a) conduisent à l'inégalité :

(A) $Y_5(t) \geq Y_{11}(t) - Y_{13}(t)$

l'égalité étant assurée pour STBO(r,t) > 0 .

Par ailleurs, les conditions ($L._{12}.a$) impliquent :

(C) $Y_9(t) \leq Y_{11}(t) - Y_{13}(t)$

l'égalité étant assurée pour $SAV(1,t) > 0$.

Par construction, il paraît impossible d'avoir simultanément des conditions optimales pour STBO(r,t) et SAV(1,t) et l'on sera alors assuré d'avoir :

$$STBO(r,t)*SAV(1,t) = 0$$

Les inégalités (A) et (C) formalisent donc l'exclusion mutuelle de ces conditions optimales et résultent en deux alternatives :

(i) $Y_5(t) = Y_{11}(t) - Y_{13}(t) > Y_9(t)$

si $STBO(R_1,t) > 0$ et $SAV(1,t) = 0$

ou

(ii) $Y_5(t) < Y_{11}(t) - Y_{13}(t) = Y_9(t)$

si $SAV(1,t) > 0$ et $STBO(R_1,t) = 0$

Ainsi, le modèle assure que lorsqu'il est fait appel à des réserves endogènes de capitaux, la valeur du produit marginal du fond de roulement est supérieure à la valeur du produit marginal de l'épargne. Inversement, lorsque l'entreprise accumule des capitaux, la valeur du produit marginal de l'épargne est supérieure à celle du capital opérationnel. Dans les deux cas, la frontière est constituée de la différence $Y_{11}(t) - Y_{13}(t)$. La formalisation mathématique de cette contrainte masque un comportement relativement trivial. L'expression $Y_{11}(t) - Y_{13}(t)$ représente la différence entre la valeur du produit marginal du capital accumulé et la valeur du produit marginal du besoin en revenu minimum (qui entrave l'accumulation). Imaginons qu'initialement la situation soit la suivante : $STBO(R_1,t) = 0$ et $SAV(1,t)>0$. Un accroissement de la

part du revenu destiné à la consommation directe (par diminution du coefficient de propension marginale à épargner ou par accroissement du niveau minimum de besoin en revenu) aura tendance à faire croître $Y_{13}(t)$ et donc à diminuer $Y_{11}(t) - Y_{13}(t)$. Cette réduction va conduire à un glissement de l'inégalité $Y_{11}(t)-Y_{13}(t) \geq Y_5(t)$ vers l'égalité. A l'instant où $Y_{11}(t)-Y_{13}(t) = Y_5(t)$, l'entreprise commencera à faire appel à des emprunts et $STBO(R_1,t)$ va entrer dans la base alors que $SAV(1,t)$ va la quitter.

Il n'est pas possible de faire la même analyse avec $STBO(R_2,t)$ et $SAV(2,t)$, essentiellement parce que des emprunts peuvent se recouvrir et être utilisés pour le remboursement d'autres emprunts, et il est parfaitement possible de se trouver dans une situation où $STBO(R_2,t)*SAV(2,t)>0$.

$$(L._{13}) \quad \frac{d\mathcal{L}(.)}{dCED(t)} = G(\mathcal{L},CED(t)) \leq 0 \longmapsto G(\mathcal{L},CED(t))*CED(t)=0$$

$$(D) \quad G(\mathcal{L},CED(t)) = -i(2)*Y_6(t) - (1+i(2))*Y_{10}(t+1) + Y_{10}(t) - Y_{17}(t) \leq 0$$

pour $t = 1,T-1$.

$$(E) \quad G(\mathcal{L},CED(t)) = - Y_6(T)*i(2) + Y_{10}(T) - Y_{17}(T) + Y_{10} \leq 0$$

pour $t = T$.

En effet, pour $t > T$, $Y_{10}(t) = 0$, avec Y_{10} représentant la valeur du produit marginal (constante) de la dette extérieure résiduelle après la période terminale T.

($L._{14}$) Ces conditions sont les symétriques des conditions ($L._{13}$) pour les capitaux accumulés et s'analysent simultanément.

$$\frac{d\,\mathcal{L}(.)}{dCES(t)} = G(\mathcal{L},CES(t)) \leq 0 \vdash\!\dashv G(\mathcal{L},CES(t))*CES(t)=0$$

(F) $$G(\mathcal{L},CES(t)) = -\,i(1)*Y_6(t) + (1+i(1))Y_{11}(t+1) + Y_{11}(t) + i(1)*Y_{13}(t+1) - er*Y_{16}(t) \leq 0$$

pour $t = 1,T-1$.

(G) $$G(\mathcal{L},CES(T)) = (1-\overline{Y}_{11}+\overline{Y}_{13}) - i(1)*Y_6(T) + Y_{11}(T) - er*Y_{16}(T) \leq 0$$

pour $t = T$.

En effet, pour $t>T$, $Y_{11}(t)$ et $Y_{13}(t)$ sont nulles; $\overline{Y}_{11}$ et $\overline{Y}_{13}$ représentent la valeur du produit marginal associé à la période terminale T.

Les contraintes ($L._{13}$) et ($L._{14}$) déterminent la proportion de capitaux internes et externes. Cette proportion doit prendre en compte les contraintes futures de besoins en revenu minimum (besoins incompressibles à venir) et celles liées à la productivité marginale des capitaux impliqués dans le processus de production. Les quatre inégalités précédentes peuvent être écrites en fonction de la variable duale $Y_6(t)$ (étant entendu qu'elles comptent comme des égalités pour $CED(t)>0$ et $CES(t)>0$ respectivement) :

(D) $$i(2)*Y_6(t) \leq (1+i(2))*Y_{10}(t+1) - Y_{10}(t) - Y_{17}(t)$$

pour $t = 1,T-1$;

(E) $$i(2)*Y_6(t) \leq -1 + Y_{10} - Y_{10}(t) - Y_{17}(t)$$

pour $t = T$.

(F) $i(1)*Y_6(t) \leq (1+i(1))*Y_{11}(t+1) - Y_{11}(t)$
$+ i(1)*Y_{13}(t+1) + er*Y_{16}(t) \leq 0$

pour $t = 1,T-1$;

(G) $i(1)*Y_6(t) \leq - 1 + \bar{Y}_{11} + \bar{Y}_{13} - Y_{11}(t) + er*Y_{16}(t) \leq 0$

pour $t = T$.

Ces quatre conditions font apparaître la valeur du produit marginal des coûts de production, pondérée par un taux d'intérêt qui peut être le coût d'opportunité interne (i(1)) ou externe (i(2)) selon que la variable de décision est CES(t) ou CED(t). Dans les deux cas, $i(r)*Y_6(t)$ représente le montant de l'actualisation sur le coût marginal de production.

Dans le cas de la dette extérieure, cette valeur ne peut excéder la différence entre d'une part la valeur du produit marginal composé de la dette extérieure à la période (t+1) $((1+i(2))*Y_{10}(t+1))$ et d'autre part la somme de la valeur du produit marginal de la dette extérieure ($Y_{17}(t)$). Pour t=T, $Y_{10}(t+1)$ s'annule et est remplacé par $\bar{Y}_{10}$, estimé à partir d'itérations précédentes.

Dans le cas de l'épargne, l'intérêt sur les coûts marginaux de production s'exprime de façon analogue par la différence entre d'une part la somme de (i) la valeur du produit marginal composée de l'épargne future $((1+i(1)+Y_{11}(t+1))$ et (ii) du taux d'intérêt sur le coût marginal lié aux besoins en revenu minimum des futures périodes $(i(1)*Y_{13}(t+1))$ et (iii) du coût marginal lié à la contrainte de capacité de financement et d'autre part la valeur du produit marginal de l'épargne courante ($Y_{11}(t)$). A leur tour, à t>T, les variables $Y_{11}(t)$ et $Y_{13}(t)$ s'annulent et sont remplacées par $\bar{Y}_{11}$ et $\bar{Y}_{13}$.

$\bar{Y}_{10}$ et $\bar{Y}_{11}$ constituent les valeurs du produit marginal des actifs ou passifs financiers pour la période termimale T. Cette procédure permet de pondérer la valeur du produit marginal associé aux coûts d'opération ($Y_6(t)$) plus fortement pour la dernière période afin de tenir compte de la productivité marginale de la dette extérieure jusqu'à la dernière période. Si ces variables financières n'avaient pas de valeur marginale pour les périodes t>T, leurs seuls coefficients dans la fonction objectif seraient +1 ou -1 selon que l'on considère l'actif ou le passif. Dans ces conditions, l'équilibre dynamique généré comme solution par le modèle entrerait en phase de rupture à l'approche de la période finale : l'entreprise chercherait (i) à réduire ses stocks de produits finis (animaux en élevage), (ii) à éviter toute décision entraînant l'appel à des fonds extérieurs ou prélevés sur l'épargne et (iii) à utiliser ses revenus pour réduire au maximum la dette extérieure. Dans le cadre de la recherche d'une base optimale de production pratique (et réalisable, c'est-à-dire pour T suffisamment grand), cette liquidation des actifs productifs n'a strictement aucun sens tant que le taux de rentabilité interne de la production est supérieur au taux d'intérêt (ou au taux de dépréciation du capital). En d'autres termes, l'algorithme de résolution constatera, si les estimations de $\bar{Y}_{10}$, $\bar{Y}_{11}$ et $\bar{Y}_{13}$ sont mauvaises (en particulier si $\bar{Y}_{10}$, $\bar{Y}_{11}$, $\bar{Y}_{13}$ = 0), par exemple que les capitaux accumulés n'auront aucune productivité (au regard des besoins futurs et en particulier pour t>T) et il réagira en bâtissant une trajectoire optimale qui non seulement arrête complètement l'activité à T, mais aussi qui minimise l'épargne résiduelle.

La variable duale $Y_{13}(t+1)$ associée à la contrainte de revenu minimum apparaît dans les conditions $(L._{14})$ mais pas dans $(L._{13})$. Le coût d'opportunité associé au capital interne constitue un revenu au regard de la contrainte de revenu minimum ; ainsi, même si les taux d'intérêt appliqués à l'épargne et à la dette extérieure étaient identiques, il pourrait exister une différence entre $Y_{11}(t)$ et $Y_{10}(t)$ parce que le coût marginal associé au capital interne $(Y_{11}(t))$ sera affaibli par sa valeur marginale induite par son effet sur le desserrement des contraintes ultérieures de besoin en revenu minimum.

De façon analogue, $Y_{16}(t)$ et $Y_{17}(t)$ n'apparaissent pas simultanément dans les contraintes : CED(t) peut être fortement contraint par les conditions de disponibilités de capitaux (contrainte C.18) mais CES(t) aura pour effet de desserrer à terme cette contrainte en augmentant la capacité d'emprunt, toutes choses égales par ailleurs.

$$(L._{15}) \quad \frac{d\mathcal{L}(.)}{dLOSS(t)} = G(\mathcal{L}, LOSS(t)) \leq 0 \longmapsto G(\mathcal{L}, LOSS(t)) * LOSS(t) = 0$$

$$G(\mathcal{L}, LOSS(t)) = - kappa * Y_{14}(t) + Y_{15}(t) \leq 0$$

pour $t = 1,T$.

Sauf si l'on se place dans un univers où le risque est inexistant, on peut généralement admettre que les coefficients P(s,k) sont strictement positifs. Il est alors nécessaire d'avoir LOSS(t)>0 pour avoir une solution non triviale. La valeur du produit marginal associé à la notion de perte maximale (c'est-à-dire la valeur que l'entreprise est prête à payer pour desserrer cette contrainte d'une unité -pour

augmenter la perte maximale admissible) est inférieure ou égale à la valeur duale associé à la contrainte de sécurité (coût marginal associé au foyer de perte) $Y_{14}(t)$ pondérée par le coefficient d'attitude vis-à-vis du risque, kappa. L'effet d'un comportement neutre vis-à-vis du risque peut être testé en prenant kappa=0. BOUSSARD (1969, 1982) considère que kappa = 1/3 convient à peu près pour tous les types de petite agriculture.

$$(L._{16})\quad \frac{d\mathcal{L}(.)}{dBCAP(t)} = G(\mathcal{L}, BCAP(t)) \leq 0 \longmapsto G(\mathcal{L}, BCAP(t)) * BCAP(t) = 0$$

$$G(\mathcal{L}, BCAP(t)) = -Y_{15}(t) + Y_{16}(t) - Y_{17}(t) \leq 0$$

L'effet de ces conditions a été discuté dans les conditions $(L._{14})$. En considérant les implications de $(L._{14}.a)$ et $(L._{15})$, on peut raisonnablement estimer que BCAP(t)>LOSS(t)>0. Les conditions $(L._{16})$ peuvent ainsi être considérés comme une stricte égalité.

$$(L._{15})-(L._{16}) \longrightarrow Y_{15}(t) = kappa * Y_{14}(t) = Y_{17}(t) - Y_{16}(t) > 0$$

Cette dernière égalité indique que le coût marginal associé au niveau de la perte maximale admissible ($Y_{15}(t)$) doit être égal a la valeur du produit marginal associé à la disponibilité de capital extérieur pondérée par le paramètre d'aversion du risque. Par ailleurs, $Y_{15}(t)$ doit aussi être égal (ce qui paraît logique) à la différence entre le coût marginal associé à la capacité d'emprunt et la valeur du produit marginal associé à la disponibilité du capital.

$$\text{(L.17)} \quad \frac{d\,\mathcal{L}(.)}{dFCC} = G(\mathcal{L}, FCC) \leq 0 \longmapsto G(\mathcal{L}, FCC) * FCC = 0$$

$$G(\mathcal{L}, FCC) = YFC - \sum_{l} \sum_{t} [a_9(l) * Y_4(l,t)] - fc * Y_6(t) + a_7(l) * \bar{Y}_{13} = 0$$

Cette dernière condition peut paraître secondaire; elle constitue dans la réalité une des pierres de base du modèle puisque, au travers des coûts incompressibles, elle contraint la taille de l'entreprise. Cette condition exprime que la valeur du produit marginal de la limite supèrieure imposée aux coûts incompressibles est égale à la somme du coût marginal associé à chaque facteur et des valeurs duales des coûts de production sur l'ensemble des périodes diminué de la valeur du produit marginal associé à la contribution des coûts incompressibles à la réduction des besoins futurs en revenu minimum. La structure de l'entreprise est ainsi conditionnée par ces facteurs qui sont eux mêmes reliés, par les conditions précédentes, aux coefficients de risque. En d'autres termes, ces conditions confirment que plus le comportement de l'entrepreneur sera risqué, plus il cherchera à accroitre la taille de son entreprise, toutes choses égales par ailleurs.

II.3. CONCLUSION

Le modèle théorique présenté dans le cadre de ce chapitre présente un double intérêt, théorique et pratique:

* l'intérêt théorique tient à la fois à la représentation du comportement général d'une firme aquacole, indépendemment de sa (ou ses) production(s), et à l'introduction du risque et de l'incertitude dans cette

représentation. L'élaboration d'une fonction d'offre de produits aquacoles nécessite avant tout la mise en oeuvre d'un modèle compréhensif de l'entreprise, avant de procéder, par agrégation, à une tentative de représentation globale (voir annexes). Si l'on dispose d'une typologie fine des entreprises au niveau par exemple d'un bassin ostréïcole, il sera possible d'agréger les modèles unitaires pour établir les déterminants de l'offre à ce niveau. L'intégration des paramètres de risque et/ou d'incertitudes est également importante dans ce but. BOUSSARD et PETIT (1967) ont montré que, lorsqu'ils tentaient de modèliser la production d'entreprises agricoles en zones irriguées, seuls les modèles associant les facteurs de risque conduisaient à une représentation correcte de la réalité. Lorsque les externalités biologiques de production seront mieux connues, il sera possible de tester ce modèle à l'échelle d'un bassin afin de comprendre la façon dont sont réparties et les surfaces ensemencées et les productions de différentes classes d'âge. Eventuellement il sera également possible d'interprêter la façon dont les ostréïculteurs répartissent leurs productions (donc leurs risques) entre les différentes zones d'un même bassin ou entre les bassins. Le schéma de travail sera analogue pour les élevages aquacoles d'autres espèces et utilisant d'autres technologies.

* l'intérêt pratique est de fournir un outil à fonctions multiples, à l'usage des investisseurs, des organismes chargés de l'aménagement et des chercheurs. Aux investisseurs, le modèle est susceptible de montrer la faisabilité économique de leur projet, en associant à chaque activité son importance dans les résultats potentiels et son

impact sur la réussite du projet au regard des objectifs et des réactions de l'investisseurs. Le lecteur trouvera en annexe les résultats des tests de conformité du modèle. Ces tests ont été réalisés pour une entreprise d'ostréiculture en eaux profondes. Une seule technique est considérée ; la période utilisée est de 10 ans et cinq classes d'âge sont envisagés.

CONCLUSION

1 - ASPECTS METHODOLOGIQUES

Dans sa conception générale, ce travail reflète une démarche "chronologique" d'analyse économique d'un secteur. Même s'il apparaît dans sa troisième partie comme une transposition au secteur aquacole de méthodologies utilisées par les économistes du secteur agricole, certains aspects originaux sont développés.

Le premier concerne l'élaboration d'une typologie de référence des discours récents (quinze dernières années) sur le développement de la recherche aquacole. Cette typologie est réalisée à partir d'une lecture des documents d'orientation existants, tant au sein des organismes de recherche impliqués qu'au niveau de l'administration. Cette démarche, rendue impérative d'une part par un questionnement croissant des décideurs et d'autre part par le ralentissement de la croissance des budgets alloués, a permis de situer l'aquaculture nouvelle dans son contexte, puis de comparer objectivement l'état de son développement à ses potentialités réelles et/ou supposées. Les résultats montrent qu'à des potentialités indiscutables, le développement de l'aquaculture oppose un certain nombre de freins qui ne relèvent pas uniquement, comme il a souvent été exposé, d'une absence (ou inversement d'une omniprésence) d'une quelconque volonté étatique mais surtout de réactions endogènes à l'entreprise et à son environnement. L'analyse montre que sur un stricte plan technique et économique, l'aquaculture sous toutes ses formes

présente de réelles potentialités de développement. Les relations entre l'entreprise aquacole et son environnement, et les mécanismes de croissance de l'entreprise apparaissent comme les principaux facteurs déterminants de ce développement, à la fois dans le secteur traditionnel de la conchyliculture et dans le secteur encore émergeant de l'aquaculture nouvelle.

La seconde contribution résulte d'une vision du comportement global des entrepreneurs à partir de l'accumulation de capital réalisée au terme d'une période d'exploitation. La plupart des travaux réalisés en économie agricole dans ce domaine font une large place à la maximisation du revenu agricole et/ou des profits générés annuellement, bâtissant sur ces bases la trajectoire optimale de l'entreprise. La démarche suivie nous place en rupture par rapport à cette conception : le revenu n'apparaît plus comme une fin mais comme un des éléments de choix qui permettent l'accumulation. La maximisation du résultat sur longue période laisse ainsi libre choix d'appliquer n'importe quelle stratégie à l'entreprise, avec trois degrés de liberté :

- choix de production (espèce, technique, espace)
- choix financier (accès à différentes sources de financement à des coûts variables, hiérarchie dans la mobilisation du capital interne).
- choix de structure (coûts fixes, monoculture ou polyculture, période terminale).

Par exemple, selon les coûts réels ou d'opportunité des capitaux de différents types, l'entreprise peut choisir chaque année de réaliser des gains ou des pertes comptables, chaque

solution ayant un impact différent sur le résultat en fin de cycle, puisque ce choix influencera la balance entre la dette totale et l'épargne totale actualisée sur la période.

2 - LIMITES

L'analyse développée comporte pourtant un certain nombre de limites, tenant soit à la structure du modèle lui-même, soit aux hypothèses de base.

La première limite est liée à la nature de la production aquacole. La plupart des méthodes de production développées en France est basée sur des systèmes ouverts, c'est-à-dire des systèmes non entièrement contrôlés (par opposition aux systèmes fermés). La production dépend donc, à des degrés divers, de la capacité du milieu à supporter une biomasse d'animaux donnée) :

. en conchyliculture (ostréiculture), cette capacité est liée à la charge des eaux en plancton nutritif (production primaire). Cette charge, dont la variabilité est fonction des paramètres hydrologiques et climatiques locaux, admet une limite supérieure maximum. Ce qui signifie que tout accroissement de la densité d'élevage résultera en une diminution moyenne de la nourriture disponible par huître, donc de leur croissance et donc des résultats de chaque entreprise.

. en élevage de poissons (cages ou bassins) le facteur limitant de production primaire peut être levé par apport d'une alimentation artificielle. C'est alors la capacité du milieu à absorber les déchets de l'élevage qui devient limitante et en règle générale, une augmentation de la charge des bassins réduit les performances moyennes de croissance de chaque individu.

Le fonctionnement de ces externalités n'est encore que très mal connu, malgré les travaux de HERAL et al, (1985 et 1986). Ces travaux montrent qu'il existe une relation entre la production totale d'un bassin ostréicole et la biomasse installée (figures 1 et 2), mais le fonctionnement de cette relation est encore très mal cerné. Dans les cas limites, les externalités se traduisent par des crises d'aspect catastrophique, comme les épizooties (GRIZEL et MEURIOT, 1984).

Ainsi, le niveau de production d'une exploitation aquacole ne dépend pas seulement de l'espace exploité et des moyens de production utilisés. Il est tributaire, dans une proportion mal connue, des décisions des autres exploitants ou utilisateurs du milieu. Ces externalités économiques s'apparentent à celles existant dans la pêche où la production d'un navire dépend en partie de l'effort total de pêche appliqué sur un stock. Elles s'en différencient par le fait que dans la pêche, certains peuvent accroître leur capacité de pêche en tirant un bénéfice au détriment des exploitants les moins efficaces ; en aquaculture, dans une même zone, c'est la productivité de tous les exploitants qui subit les conséquences d'une surcapacité.

La présence d'externalités dont les mécanismes ne sont pas connus est une source de biais dans les modèles d'entreprises, la trajectoire optimale étant contrainte par ces mécanismes. Le problème est surtout important dans les bassins conchylicoles où le rendement biotique maximum du milieu est souvent atteint ou dépassé. Par ailleurs, les externalités rendent hypothètique et en tout cas très peu robuste, toute tentative d'agrégation de fonctions d'offre élémentaires pour établir un modèle

d'offre de produit aquacole (DAY, 1963 ; GILLY et MEURIOT, 1985).

La deuxième limite tient plus à la nature des interactions prises en compte dans le modèle. Le schéma 6 montre les activités pris en compte dans le modèle proposé (à l'intérieur du double cadre) et les relations entre ces activités et l'environnement écologique, technique, économique et social de l'entreprise aquacole. En particulier, l'importance de l'influence du système institutionnel dans lequel évolue l'aquaculture n'apparaît pas dans le modèle : or, c'est bien de la conjonction d'une trajectoire économique optimale de l'entreprise et des contraintes institutionnelles que dépend en dernière analyse le maintien et le développement de l'aquaculture.

L'analyse menée sur le développement de la recherche en aquaculture nouvelle en France peut être considérée comme globalement réductrice parce qu'elle n'est pas accompagnée d'une analyse du même type sur le secteur de la conchyliculture et en particulier de l'ostréiculture. L'histoire de la recherche montre que l'Institut Scientifique et Technique des Pêches Maritimes a constammennt adapté a posteriori ses recherches aux conditions de l'activité ostréicole. En d'autres termes, ce n'est que dans les années les plus récentes (depuis 1982) que la recherche en conchyliculture s'articule en amont de la production, et raisonne en termes de développement et d'aménagement et non plus de support ou de soutien d'une activité.

3 - PERSPECTIVES

Les modèles bio-économiques peuvent constituer un outil d'analyse et d'évaluation important. Ils permettent en principe d'appréhender les externalités affectant les activités aquacoles, par exemple, en dégageant les relations entre la charge en élevage et la production en quantité et en valeur. Ils peuvent servir à évaluer les répercussions économiques de choix alternatifs d'allocation de l'espace ou d'utilisation du milieu.

Les possibilités d'élaboration de modèles précis et de leur utilisation comme aide à la décision restent cependant incertaines en France :

- les difficultés pratiques pour obtenir des données fiables relatives aux exploitations aquacoles traditionnelles ou nouvelles hypothèquent les possibilités d'élaboration de modèles bio-économiques dans les toutes prochaines années, ceci d'autant plus que :

  . les modèles biologiques de production aquacole restent à mettre au point ;

  . les études économiques existant sur la branche aquacole sont très peu nombreuses ; les stratégies suivies par les aquaculteurs en matière d'accession au foncier ou d'investissement, les structures de financement, l'impact de la fiscalité ainsi que d'autres aspects d'importance sont encore mal connus.

- la portée potentielle des modèles bio-économiques est liée à la manière dont les résultats de la recherche sont utilisés ; or :

. au niveau d'une zone aquacole, les résultats des modèles peuvent souligner l'intérêt d'une stratégie de groupe (par exemple de limitation de la charge d'un bassin conchylicole). Mais cette stratégie reste difficilement compatible avec celle suivie actuellement par certains exploitants dont les profits sont liés à une meilleure évaluation de la production et des perspectives de prix que celle de leurs concurrents. De plus, une sous-évaluation de la production permet de dissimuler aux services fiscaux certains revenus ;

. l'aménagement de l'espace littoral et du mode d'utilisation du milieu s'effectue par un processus de concertation dans lequel les rapports de force ne sont pas absents ; les critères de choix résultant par exemple d'une analyse économique en termes de coûts-bénéfices peuvent ne pas être pris en compte. La situation française est de ce point de vue différente de celle rencontrée dans les pays comme les Etats-Unis, où une évaluation des impacts économiques de diverses décisions d'utilisation des ressources naturelles constitue un préalable à la prise de décision (Water Resources Council, 1973).

L'apport de disciplines telles que la sociologie, l'ethnologie ou les sciences politiques paraît nécessaire pour l'étude d'éléments cruciaux affectant la dynamique de la branche d'activité aquacole :

. la connaissance des choix et des stratégies, individuelles ou groupées, des exploitants ;

. la connaissance des dynamiques internes des entreprises; il existe vraisemblablement de sérieux écarts entre la vision scientifique et les règles réelles de décision;

. les processus de décisions débouchant sur des arbitrages des conflits d'utilisation de l'espace et du milieu ;

. le rôle et le mode d'utilisation de l'information scientifique dans ces processus de décision ;

. les modes de transmissions des entreprises et du foncier afférant.

Les quelques études engagées par l'IFREMER en ostréiculture, en sociologie sur la baie de Bourgneuf (VAN TILBEURGH, 1986) et en ethnologie sur le bassin de Marennes-Oléron (DUPONT, 1986) permettent déjà une meilleure appréciation des phénomènes humains relatifs à l'ostréiculture. Ce n'est qu'au prix de cette connaissance et des progrès dans l'appréhension des externalités de production que la réalisation d'un modèle fin de production aquacole pourra être construit et utilisé pour l'aménagement des zones littorales.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ABEL R.B. - "The future of aquaculture : a manic-depressive view", Proc. World Maricu. Soc., 1971 pp. 13-19.

ACKEFORS H. - "Development of aquaculture in Sweden", The Swedish Council for Planning and Coordination Research, 1983.

ADAMS C.M., GRIFFIN W.L., NICHOLS J.P., BRICK R.W. - "Bio-engineering-economic model for shrimp mariculture systems, 1979" 1980. Texas A & M University Sea Grant College Program TAMU-SG-80-203, 118 pp.

AIGNER D.J. - "Bounding constraints in certain linear programming problems and the principle of safety first". European Economic Review. 1972. 3:71-81.

ALLEN P.G., BOSTFORD L.W., SCHUUR A.M., JOHNSTON W.E. - "Bioeconomic of aquaculture" - Amsterdam : Elsevier, 1984. - XVI + 351 p., fig. var., bibliogr. (Developments in Aquaculture and Fisheries Sciences ; 13).

ANDERSON J.L. - "Private aquaculture and commercial fisheries : bioeconomics of salmon ranching" - Journ. of Envir. Econ. Manag. 1984 (3) 21 pp 10-46.

ANDERSON J.L. - "Market interactions between aquaculture and the common property commercial fishery" - 1984. Univ. Rhode Island. Dept Agric. Econ. USA. 21 p.

ANDERSON J.L., WILEN J.E. - "Commercial fisheries vs aquaculture : conflicts in the Northwest salmon fishery", 2nd IIFET Conference 1984, August 20-24, Canterbury N.Z.

ANONYME - "Description de la Situation Actuelle de l'Aquaculture Marine", CNEXO, doc. interne, non daté (sans doute fin 1980-début 1981).

ANONYME - "Aquaculture", Colloque de la Recherche, Direction des Pêches Maritimes, 1982.

ANONYME - "L'aquaculture : un enjeu pour demain". La nouvelle revue maritime, Juillet 1980, n° 355.

ANONYME - "Fish farming may triple output in 80's, as legislation technology pave the way", Quick Frozen Food, Janvier 1982.

ANONYME - "Bilan de l'activité aquacole bretonne 1982", non daté , sans origine (probablement CNEXO).

ANONYME - "L'aquaculture nouvelle", Mimeo interne CNEXO, non daté, probablement vers 1977-78.

ANONYME 84 - "Aquaculture COB et COP 83", CNEXO - DPMO : BAP, Avril 1983.

ARRIGNON J.C.V. - "Regards sur l'aquaculture mondiale", Aquaculture 27 (1982), pp. 165-186 (texte de 1980).

ARRIGNON J.C.V., HARACHE Y., MULLER-FEUGA A. - Vol. 1 - Rapport de synthèse, juin 1984, S.E. Mer, Ministère des Transports, Groupe de Travail Technologie Aquacole.

ARRIGNON J.C.V., HARACHE Y., MULLER-FEUGA A. - Vol. 2 - Rapport des sous-groupes, S.E. Mer, Ministère des Transports, Groupe de Travail Technologie Aquacole.

A.S.F.A. - Biological Sciences and Living resources ; part 1. Volume 1 à Volume 14 (1972-1985). Mensuel.

A.S.T.E.O. - "Evolution des C.A. des activités liées à l'exploitation des océans", contrat CNEXO-78/1978.

BAILLY D. - "Classification of marine cultures" - Kagoshima University, Faculty of Fisheries, s.d. - 28 p.

BALLY P. - "Aquaculture d'eau de mer : l'élevage viendrait-il au secours de la cueillette ?", Economie et Finances agricoles, Mai 1982, pp. 28-32.

BAP-CNEXO/COB - - "Aquaculture marine nouvelle : zone Manche Atlantique. Sommaire des connaissances et actions en cours", Doc. interne, Février 1981.

BARBAZANGE C. - "Analyse des structures collectives de production et de mise en marché des produits de l'aquaculture sur la côte atlantique", CEMAGREF, D.A.L.A. CESTAS PRINCIPAL, France, 1982, Mém. Fin d'Etudes 236 p.

BARBIERI M.A., CUZON G. - "Improved nutrient specification for linear programming of Penaeïd ration", Aquacult. 19 : pp. 313-323, 1980.

BARDACH J.E. - "Aquaculture revisited", J. of the Fish Res. Board Can., 1976, 33 n° 4 part. 2, pp. 880-887.

BARNABE G., PARIS J. - "L'aquaculture nouvelle en Méditerranée et ses perspectives à court terme", La Pêche Maritime, 20 avril 1981, pp. 214-218.

BELL F.N. - "Aquaculture : a food panacea", Food from the Sea : the Economics and Politics of Ocean Fisheries, West view Press Boulder, Colorado 1978.

BELLON - "Rapport sur la commercialisation du poisson", Groupe de travail interministériel sur la commercialisation du poisson - Avril 1976 - 126 p.

BENGUIGUI C., CHAVE D. - "L'Etat et les petits poissons". Laboratoire de Sociologie du Travail, Université de Paris VII - 1985.

BERCHU L., NOEL M.J. - "La situation de l'aquaculture française" - Rungis : Laboratoire de Recherche et d'Etudes sur l'Economie des I.A.A., 1980 - 83 p., tabl., + bibliogr.

BERG E.R. - "Management of Pacific Ocean salmon ranching : a problem of federalism in the coastal zone", Coast. zone. manag. j., Vol. n° 1, 1981, pp. 41-76.

BERGUERY M. - "L'économie de l'aquaculture", CNEXO, C 337, (1973-1974).

BJORNDHAL T. - "Historical considerations on the Norway Salmon aquaculture" - 3e Conf. IIFET - RIMOUSKI 1986.

BERGUERY M. - "Perspectives économiques de l'aquaculture en France", CNEXO, Univ. Paul Valéry (Montpellier), 1972, 93 p.

BLOMMESTEIN E., DEESE H., McVEY J.P. - "Socio-economic feasibility studies of Macrobrachium r. farming in Palau", Proc. World Maricul. Soc. pp 747-764, 1977.

BONNET M., DARDIGNAC-CORBEIL M.J., DUCLERC J. - "L'aquaculture marine française : bilan et perspectives", Mimeo ISTPM, Juin 1983.

BORGESE E.M. - "Sea farm : the story of aquaculture", Harry N. ABRAMS INC., Publishers New York NY (USA) 1980 ISBN 08109 1604-5, 236 p.

BORNENS J. - "Aquaculture nouvelle. Développement actuel, perspectives et exportations de savoir-faire", Institut de Commerce International D.A.I. et D.E;, 1980, Caisse Nationale Crédit Agricole.

BOSTFORD L.W. - "Current economic. Status of lobster culture research. Proc. World Maricult. Soc. 8:723-739 - 1977.

BOSTFORD L.W., GOSSARD T.W. - "Implications of growth and metabolic rates on costs of aquaculture" 1978. Proc. World Maricult. Soc., 9 : 413-423.

BOSERUP C. - "Evolution agraire et Pression Démographique", Sevil, Paris - 1970.

BOUSSARD J.M. - "The introduction of risk into a programming model : different criteria and the actual behavior of farmers" - 1969 - European Economic Review. 1(1): 92-121.

BOUSSARD J.M. - "Time horizon, objective function and uncertainty in a multi-period model of firm growth". 1971. Amer. Journ. Agr. Econ. - 53(3): 467-477.

BOUSSARD J.M. - "A model of the behavior of farmers and its application to agricultural policies". 1971 - European Economic Review. 2 (summer): 436-461.

BOUSSARD J.M. - "Risk in programming model : a review" in ROUMASSET et al., pp. 64-82.

BOUSSARD J.M. - "Uncertainty and dynamic linear programming models in agriculture : recent issues in theory and practice". in "Dynamic linear models for the study of agricultural systems", OSAKE C. and PROPOI A. Editors, May 1982.

BOUSSARD J.M., PETIT M. - "Representation of farmers behavior under uncertainty with a focus-loss constraint". 1976 - Journ. Farm Economics 49 (Nov.): 869-80.

BRESARD - "Bilan et perspectives de l'aquaculture", Printemps 1977, S.E.E.F. 35 p.

BROWN E.E. - "Mariculture and Aquaculture", Food Technology, décembre 1973, 20 p.

BRUNE D.E., MEYER D., HAIGHT B. - "Mathematical and computer modeling of aquatic culture systems" (sous presse). Proc. 1983 Ann. Meet. World Mariculture Society.

BURG et al. - "Avis de la Commission", Commission d'évaluation de l'aquaculture en France, Vol. 1, Conseil d'Etat, 1983.

BURG et al. - "D-TOM Coopération internationale", Commission d'évaluation de l'aquaculture en France, Vol. 2, Conseil d'Etat, 1984.

BUTTIN P. - "L'aquaculture marine en France", ENV, Toulouse, thèse 1979, n° 107.

CHAUVIN R. - "L'aquaculture bretonne face à la presse". Conf. presse CNEXO, 18 et 19 décembre 1970, Rennes.

CHILDE V.G. - "Changing methods and aims in prehistory. Presidential address for 1935", Proceedings Prehist. Society, 1935, 1:1-15.

CHILDE V.G. - "Man makes himself", 1936, London : Watts.

CLARK C.W. - "Mathematical bioeconomic", John Wiley and Sons, New York, 1976, 351 p.

CLEMENT J.C., MAHE L.P. - "Etude économétrique de la pêche bigoudenne de langoustine". in "Pêcherie de langoustines en mer celtique", CLPM Le Guilvinec 1979. pp. 176-268.

CNEXO - "Organisation des pôles d'aquaculture", Miméo, Doc. Interne, 1976.

CNEXO - "Schéma d'organisation de la R. et D. en aquaculture sur le littoral Atlantique", Doc Interne, 14.06.1982.

CNEXO - "Groupe de travail sur l'aquaculture. Projet de rapport à soumettre au Gouvernement", 8 mai 1970, CNEXO/PR/RPO/05-008.

CNEXO - "L'aquaculture au CNEXO", Miméo interne au CNEXO, Février 1982.

CNEXO/Centre de Droit et d'Economie de la Mer - "Les cultures marines et le droit en France", Rapport économique et juridique. 11. CNEXO, 1983, 289 p.

CNEXO - "Fiches biotechniques d'aquaculture : crevette, daurade, loup, palourde, salmonidés, soles, turbot", CNEXO, 1983.

COMITE ECONOMIQUE ET SOCIAL - "L'aquaculture. P.V. de l'audition de G. PIKETTY, PDG-CNEXO", 10 décembre 1980, (rapport J. LE HENAFF pour le C.E.S.).

COMMISSARIAT GENERAL DU PLAN - "Rapport du Groupe de Travail Mer et Littoral", La Documentation Française, VIIIeme Plan, 1981-1985.

CORBIN J.S., GIBSON R.T. - "Planning Aquaculture Development : the first time is always the hardest", Proc. World Maricul. Soc. 10: 21-27 (1979).

COREY D., LEITH D.A., ENGLISH M.J. - "A growth model for coho salmon including effects of varying ration allotment and temperature", Aquaculture, 30:pp. 125-144, 1983.

COSTE M. - "Voyage d'exploration sur le Littoral de la France et de l'Italie" - Paris, Imprimerie Impériale, 1861. 264 p.

CRESSWELL. - Articles "néolithique", Encyclopedia Universalis, 2nd édition - 1985.

DANTZIG - "Applications et prolongements de la programmation linéaire." Dunod, Paris, 433 p. - 1966

DASTE P., NEUVILLE D. - "Aliments tirés de la mer et énergie", la Pêche Maritime, Avril 1980.

DATAR-SESAME - "L'aquaculture, Perspectives pour l'Aménagement du Littoral Français", Rapport au Gouvernement, Novembre 1973, pp. 95-112.

DAY R.H. - "On aggregating linear programming models of production. J.F.E.. Vol. 45, Nov 1963, pp. 797-813

DEVORETZ D. - "The uses and abuses of econometric models in Sea Food industry". Proc.1st Intern. Seafood Trade Conf., IIFET 1982. pp. 413-426.

DORFMAN, SAMULESON P.A., SOLOW R.H. - "Programmation linéaire et gestion économique". Dunod, Paris 550 p. - 1962

DOUMENGE F. - "Un défi américain : le plan de développement de l'aquaculture jusqu'en 1985", La Pêche Maritime, 1977, septembre.

DOUMENGE F. - "L'aquaculture française : bilan et perspectives", Norois n° 121, janvier-mars 1984, Poitiers.

DUBY G. - "Les Trois Ordres ou l'Imaginaire du Féodalisme" Gallimard 1982.

DUMET P. - "Aquaculture : un démarrage timide", Industries et Techniques, 1er janvier 1981.

DUMONT P. - Analyse de l'ostréiculture (marché, production, utilisation du littoral). INRA Economie et sociologie rurale . Rennes 1986. 371 + annexes.

DUPONT P. - "Ethnologie des entreprises ostréicoles à Marennes Oléron". Contrat d'incitation IFREMER - MSH - 1986 121 p.

ENCARNACION J. - "Constraints and the firm's utility function". Rev. of Econ. Studies. 1964. 31, pp. 113-120.

ERNOULT P., RICARD J.M. - "L'aquaculture", Cahiers Français, octobre-décembre 1982, n° 208 pp. 42-43.

ERNOULT P., RICARD J.M. - "L'aquaculture : technique et économie", Miméo CNEXO, janvier 1982.

ESSIG M. - "Conclusions des journées 1980", C.R. des 2èmes journées nationales de l'aquaculture 1980. Direction des Pêches Maritimes.

FAURE A. - "Intérêt de la connaissance des variations des cours de la marée pour l'aquaculture", Mémoire n° 4, CTGREF (DALA), septembre 1984.

FERGUSON C.E., GOULD J.P. - "Théorie économique - Economica Paris - 1982 (1ère édition 1966).

FERLIN et al. - "L'élévage des salmonidés au Danemark et en Norvège", CTGREF/DALA, Rapport de mission, Novembre 1973-Mai 1974.

FERLIN P. - "L'aquaculture dans le monde", IIIèmes Journées de l'Aquaculture, Paris, Avril 1982.

FISHER F.M. - "Identifiability criteria in non linear systems, Econometrica Vol. 29 n° 4. Oct. 1961. pp. 574-590.

FISHER F.M. - "Identifiability criteria in non linear systems : a further note", Econometrica, Vol 33 n° 1, janv. 1965, pp. 197-205.

FLAMBARD M.M. - "Synthèse des colloques sur l'évaluation de la recherche en aquaculture nouvelle", CEASM, Décembre 1982.

FLYNN, MARTIN, HANSON - "Effects of capital rationing and tax incentives on the internal growth of an aquaculture firm", Aquaculture 38 (1984), pp. 261-273.

FORTES M., EVANS PRITCHARD F. - "Systèmes Politiques Africains", L'Homme d'Outre-Mer, PUF-Paris - 1964.

FRANCE AQUACULTURE - "Indications sommaires de caractère général sur les projets d'aquaculture marine", Miméo interne, 12 juin 1979.

FRANCE AQUACULTURE - "Etude technico-économique d'une ferme de grossissement de loups en Corse d'une capacité de production de 30 T/an", 30 mars 1981, Doc. interne, 93 p.

FURNESTIN J. - "Point de vue non conformiste sur l'intérêt de l'aquaculture marine en France", J. Marine March., 25 juin 1970.

GANS H. - "Aquaculture : un défi, une nouvelle aventure humaine", la Pêche Maritime, Décembre 1983, pp. 714-718.

GATES J.M., GILLY B. - "Risk, market imperfections and the growth of an aquacultural firm". 3rd IIFET Conference, Rimouski (CANADA). 10-15 Août 1986. 10 p.

GATES J.M., MAC DONALD C.R., POLLARD B.J. - "Salmon culture in water reuse systems : an economic analysis" 1980. University of Rhode Island, Marine Tech Report 78, 86 pp.

GILLY B. - "Le transfert de technologie halieutique : Coopération internationale et développement". DEA Economie Industrielle. Université de Rennes I - 1983.

GILLY B., LENT R., L'HOSTIS D. - "La régulation des marchés des produits de la mer en France. Bilan et perspectives", FIOM. AGRAP. Ed. Paris. 1984. 184 p + annexes.

GILLY B., MEURIOT E. - "L'apport des modèles bio-économiques à l'analyse de la conchyliculture". Colloque IFREMER La Rochelle 1985.

GIRIN M. - "L'élevage des poissons marins", La Recherche, 107, Janvier 1980, Vol. 11, p. 36-44.

GOODWIN L. - "Aquaculture in the Pacific Basin", Food & drugs from the sea.Proceedings 1974, Marine Technology Society, pp. 24-37.

GRIFFIN W.L., HANSON J.S., BRICK R.W., JOHNS M.A., - "Bioeconomic modeling with stochastic elements in shrimp culture" 1981. J. World Maricult. Soc., 12:94-103.

GRIZEL H., MEURIOT E. - "Note sur l'impact économique des maladies de l'huître plate en Bretagne. Rapport technique ISTPM n° 12 - 1984 - 20 p.

GROSRICHARD F. - "L'aquaculture, avec des promesses mais sans illusion", Le Monde, 9 juin 1982.

GROUPE DE TRAVAIL TECHNOLOGIE CROISSANCE-EMPLOI - "Aquaculture", Ecole Pratique des Hautes Etudes, Station Marine d'Endoume. 1984. 468 p.

HAGOOD R.W., WILLIS S.A. - "Cost comparisons of rearing larvae of freshwater shrimps, M. achanthurus and M. rosengergii to juveniles" Aquaculture 7 (1976) pp. 59-74.

HANSON J.A., GOODWIN H.L. - "Shrimp and prawn farming in the western hemisphere", Dowden, Hutchinson and Ross, Inc. 1977.

HARKER M.K. - "Aquaculture in the Developing World", Eng. J., Vol. 65 n° 5, novembre 1982, pp. 16-19 (1976-1 Q 13).

HAZELL P.B.R. - "A linear alternative to quadratic and semi-variance programming for farm planning under uncertainty". 1971. Amer. Journ. Agr. Econ. 53(1):53-62.

HENRY, DESHAYES, BADOR, GILOTAUX - "Analyse économique et financière des entreprises aquacoles" ; IGIA R/892, Juillet 1983.

HERAL M., DESLOUS-PAOLI J.M., PROU J. - "Dynamique des productions et des biomasses des huîtres creuses cultivées dans le bassin de Marennes Oléron depuis un siècle". CIEM - 1986/F:41 - 23 p.

HERAL M., DESLOUS-PAOLI J.M., PROU J. - "Analyse historique de la production conchylicole du bassin de Marennes Oléron (FRANCE). Colloque interdisciplinaire Franco - Japonais d'Océanographie. Marseille 16.21/09/85.

HIGGS S.E. - "Papers in economic prehistory", 1972, Cambridge University Press, Cambridge

HIGGS S.E. - "Les origines de la domestication", La Recherche, 1976, n° 66, pp. 308-315

HINDGSTAM J. - "Economics of research and development in the sea farming of salmonid species", Fish Farming International, Irish National Science Councils Mariculture Workshop, Ireland 1975.

HJUL A.H. - "Aquaculture as a non limited protein source" Institute for Marine Studies, Ejberjg, DK, 1976 - 63 p.

HOPKINS K.D., CRUZ M.E. - "The Iclarm CLSU integrated animal- fish farming project : final report", Fresh water aquaculture center, Central Luzon State University, ICLARM, Technical report 5.

HUGUENIN J.E., ANSUINI F.J. - "A review of the technology and economics of marine fish cage systems", Aquaculture 15 (1978), pp. 151-170.

JARRY J. - "Etat de la recherche aquacole aux Etats-Unis". Ambassade de France à Washington. 1981.

JOHNSTON G. et al. - "A study of managerial processes of midwestern farms" Ames, Iowa State Univ. Press.

KENNEDY J.O.S., FRANCISCO E.M. - "On the formulation of risk constraints for linear programming". Journ. Agr. Econ. 25(2):129-146.

KEYNES J.M. - "A treatrise on probability", 7th ed., McMillan and Co, Ltd, 1963.

KIRK R.G. (CEE) - "Marine fish and shellfish culture in the member states of the european economic community" ; Aquaculture 16 (1979), pp. 95-122.

KINNE O. - "Aquaculture : a critical assessment of its potential and future", Interdisciplinary Science Reviews, Vol. 5 n° 1, 1980, Heyden and Son Ltd.

KNETZ P., SMITH V.L., WILLIAMS A.W. - "Individual rationality, market rationality and value estimation". Amer. Econ. Review. 75 (2): 397-402 , 1985.

KUTTY M.N. - "Aquaculture in South East Asia : some points of emphasis", Aquaculture 20 (1980) pp. 159-168.

LAGADEC P. - "Evaluation de l'aquaculture comme projet de développement régional", Penn ar Bed n° 77, Juin 1974 ; pp. 381-387.

LA PRAIRIE Y. - "A la conquête des Océans", Sciences et Vie n° 86, 1969, (H.S.).

LA PRAIRIE Y. - "L'aquaculture demain", Sciences et Vie n° 86, 1969.

LA PRAIRIE Y. - "L'aquaculture dans le monde. Etat actuel et potentialités ; le programme du CNEXO et sa réalisation", Centre de Perf. Technique, Journées de l'exploration et de l'exploitation des océans, Nantes, Novembre 1969.

LAUBIER L. - "Aquaculture 1974", La Revue Maritime, Mai 1974.

LAUBIER L. - "Qu'est-ce-que l'Aquaculture", 1975, Contribution n° 282, Colloque CNEXO.

LAUBIER L. - "Tendances récentes des recherches fondamentales et appliquées en aquaculture en France et dans le monde", IIIèmes Journées Nationales de l'Aquaculture, 1982, 19-21 avril.

LE HENAFF J. - "L'Aquaculture", Rapport du C.E.S. 1981.

LE NOAN J. - "Premiers développements prévisibles de l'aquaculture en France", Miméo interne CNEXO, 1974, 46 p.

LEE C.S. - "Production and marketing of milkfish in Taïwan : an economic analysis" ICLARM Technical Reports 6, Manila (1983).

LEE J., DEVORE P.H. - "Man the Hunter" - 1ère Conf. Anthrop. Hist. - LEE and DEVORE Ed ; LONDON - 1968.

LENT R. - "The Economic response of increased salmon landinds Salmonid Enhancement Symposium, Arcata, Calif. Oct. 1983.

LEONARD H.B., ZEEKHAUSES R.J. - "Financial risk and the burdens of contracts". Amer. Econ. Review. 75(2): 375-385.

LEONARD S. - "L'aquaculture marine", La pisciculture française n° 57, 1979.

LE PENSEC H., Ministre de la Mer - "Adresse aux aquaculteurs" cité par Ouest-France. 21.04.82.

LEQUENNE P. - "Les fermes marines", EDISUD, La Calade, Aix-en-Provence, 1984.

LEVI-STRAUSS C. - "Tristes tropiques", 1955, Paris : Plon.

LEVI-STRAUSS C. - "Anthropologie structurale", 1958, Paris;Plon.

L'HERROUX M. - "Dix ans de recherche aquacole", INNOTERMER Brest, 4 novembre 1982.

LIAO D.S. - "Test marketing of freshwater shrimp, Machrobrachium Rosenbergii, in South Carolina". Aquaculture, 23 (1981), pp. 219-222.

LORING R.H. - "Twenty years of frustations in mariculture" Proc. World Maricul. Soc., 10 : 590-595 (1979).

LOW A.R.C. - "Decision taking under uncertainty : a linear programming model of peasant farmer behaviour". Amer. Jour. Agr. Econ. 25(3) : 311-320.

LUCAS A. - "La culture de la palourde : tradition et voies nouvelles" - La Pêche Maritime, 20 août 1977, pp. 475-478.

LUCAS A., LUCAS N. - "L'aquaculture dans les mers tempérées", Norois n° 106, avril-juin 1980, pp. 237-250.

MACVEY J.P. - "Current developments in the penaeid shrimp culture industry (1980)", Aquaculture Mag., July-August 1980.

MADAMBA J.C. - "Substitence aquaculture and technology transfer among developed and developing countries", Proc. World Maricul. Soc., 10:182-193 (1979).

MANDERSCHEID L.V. - "Significance level - 0.05 or 0.01 or ?" J. Farm Economics - 47:1381-85, Déc. 1965.

MANN R. - "Exotic species in aquaculture", Oceanus 22, (1), 1979, pp. 29-35.

MARKOWITZ H. - "Portfolio selection Efficient Diversification of investments", New Haven ; Yale Univ. Press. 1970.

MARSAUD J.L. - "Le transfert des technologies halieutiques", La Pêche Maritime, 20 août 1980, pp. 462-465.

MAURIN C. - "Avenir de l'aquaculture", Penn ar Bed n° 77, 9 juin 1974, pp. 388-392.

MAZEAUD F. - "Saumon, le sea ranching", La Pêche Maritime, 20 septembre 1981, pp. 514-519.

MCINERNNEY J.P. - "Linear programming game theory models - some extensions". Journ. Agr. Econ. 20(May):269-278.

MEILLASSOUX C. - "Recherche d'un niveau de détermination dans la société cynégénétique", L'Homme et la Société, n° 6 - 1967.

MEURIOT E., GILLY B. - "Prix moyen mensuel des espèces démersales en France et à Boulogne-sur-Mer : étude économétrique de la période 1974-1983 - IFREMER - Doc. Travail - DRV/SDA - 86.12, 1986, 24 p + annexes.

MICHA J.C. - "Aquaculture, potentialités actuelles et futures en eaux douces", 1981, UNECED-FUN, rue de Bruxelles 61 B 5000, Namur.

MICHEL A. - "Orientations en aquaculture", Note interne IFREMER n° 206, 26 juin 1984, DRV.RA à DRV.

MORGAN L.H. - "Ancient Society" 1877, New York : Holt.

MOSS et al. - "Auburn university's philosophy and strategy for international aquacultural development and technology transfer", Proc. World Maricul. Soc., 10:68-78 (1979).

NASH C.E. - "Ocean ranching, the achievments, the problems and the possibilities", Fish farming international 4(3), 1977.

NEAL R.A. - "Alternatives in aquacultural development : consideration of extensive vs intensive methods", J. Fish. Res. Board Can., 30 : 1973, Vol. 12 pt 2, pp. 2118-2222.

ORME B. - "The advantages of agriculture", in MEGAW J.V.S. "Hunters, gatherers and first farms beyond Europe", Leicester University Press, 1977, 41-49.

ORTH D.J. - "Applications of operations research and systems science in aquaculture", Fisheries, Vol. 5 n° 1, janvier-février 1980.

OUEST-FRANCE - "L'aquaculture à petits pas", O.F. Documents, tiré-à-part, 1983.

PALACIO F. J. - "Aquaculture Policies in Latin America", Marine Policy, Avril 1979.

PASSET R. - "L'économique et le vivant". Coll. Traces. PAYOT Ed. Paris, 1979.

PERES J. M. - "Aquaculture marine", Sciences et Vie, n° 86, 1969 (H.S.), pp. 100-111.

PERROT J. - "Aquaculture, le point sur l'élevage dans le monde des crevettes d'eau de mer (penaeides) et d'eau douce (machrobium)", La Pêche Maritime, avril 1979, pp. 219-222.

PILLAY T.V.R. - "Recent development in aquaculture with particular reference to Southeast Asia", Fisheries Resources and their Management in Southeast Asia, 1976, GFID-FAO, pp. 308-314.

PILLAY T.V.R. - "Aquaculture in Southeast Asia and potential for its development", Fisheries Resources and their Management in Southeast Asia, 1976, GFID-FAO, pp. 300-308.

PINCHOT G.B. - "Marine Farming", Scientific american, Décembre 1970, Vol. 223 n° 6, pp. 15-21.

PLASSARD F., RENE F. - "L'aquaculture... une activité nouvelle en terrain occupé", Miméo, 1981, 35 p.

PRATT J. W. - "Risk aversion in the small and in the large" Econometrica 32:(1-2), pp. 122-136 - 1964.

PYLE D.H., TURNOVSKY J.J. - "Safety first and expected utility maximisation in mean standard deviation portfolio analysis". The Review of Economics and Statistics 1970, 52(1) pp. 75-81.

QUERELLOU J. - "Aquaculture, l'expérience japonaise des repeuplements : introduction générale ; principes généraux et programmes nationaux", CTGREF, Avril 1977, Mémoire n° II.

QUERELLOU J. - "Aquaculture", Extrait de 1981, CGPM, Aménagement des Ressources Vivantes de la zone littorale de la Méditerranée, Etude Rev. CGPM (58), pp. 285-303.

QUERELLOU J., DAO J.C., DUCLERC R., REVECHE C. - "Les récifs artificiels marins : gadget ou moyen d'aménagement à ne pas négliger", La Pêche Maritime, 20 mai 1981, pp. 280-288.

RABANAL H.R. - "Aquaculture in Southeast Asia", 10th WMS Conference, 22-27 janvier 1979, 1977.

RAUCH H.E., BOSTFORD L.W., SHLESER R.A., - "Economic optimization of an aquaculture facility", IEEE Trans. Automatic Control, A C620: pp. 310-319, 1975.

REAY P.J. - "Aquaculture", ed. Arnold, Londres 1979, 60 p.

ROCHE G. - "La culture des Mers en Europe. Piscifacture, Pisciculture, Ostréiculture", Bibliothèque Scientifique Internationale, LXXXVII. Félix ALCA Editeur, 1898.

ROULE L. - "Traité raisonné de la pisciculture et des pêches". Ed. Baillière et fils. Paris 1914. 734 p.

ROUMASSET J.A. BOUSSARD J.M., SINGH I. (eds) - "Risk, Uncertainty and Agricultural Development". ADC-SEARCA, College, Laguna (Philippines), 1979.

ROUZEAUD P. - "Les techniques d'aquaculture", Rev. Int. Océanogr. Med., Tome L., 1978.

ROUZEAUD P. - "Etude technico-économique d'une ferme de grossissement de loup d'une capacité de 34 T/an en bassins sur la commune de Propriano", Miméo, CNEXO, Avril 1981.

ROY A.D. - "Safety first and the holding of assets". Econometrica. 1952. 20(3):431-449.

RYTHER J.H. - "Mariculture, ocean ranching and other culture based fisheries", Bioscience, Vol. 31 n° 3, 1981, pp. 223-230.

SABEAU B. - "Transfert de technologie aquacole", La Pêche Maritime, 20 juin 1982, p. 314.

SAHLINS M. - "Age de Pierre, Age d'abondance - Economie des Sociétés Primitives", Gallimard 1976 - 1972.

SAHLINS M. - "Tribesmen", Prenctice Hall - 1968.

SCHACKLE G.L.S. - "Expectations in Economics". Cambridge, England : Cambridge University Press). 1949.

SCHACKLE G.L.S. - "Decision, Order and Time in Human Affairs", Cambridge, England : Cambridge University Press,1961.

SHANG Y.C. - "A comparison of rearing costs and returns of selected herbivorous, carnivorous and omnivorous fishes", (cf BNDO).

SHANG Y.C. - "Comparison of the economic potential of aquaculture, land animal husbandry and ocean fisheries : the case of Taïwan", Aquaculture 2 (1973), pp. 187-195.

SAHNGU Y.C., FUJIMURA T. - "The production economics of freshwater prawn (Macrobrachium ros.) farming in Hawaii", Aquaculture 11, 1977, p. 111-121.

SCHULTZ T.W. - "Transforming traditional agriculture" , New Haven Yale Univ. Press. - 1964.

SHEPHERD C.J. - "The economics of aquaculture, a review", Oceanogr. mar. Biol. ann. Rev. 13, 1974, pp. 413-420.

SILBERBERG E. - "The structure of economics. A mathematical analysis". 1978. McGrawhill Book Company. N-Y.

SMITH C.J., PETERSON S. - "Pitfalls in third world aquaculture development". Oceanus, Col. 25 n° 2, 1982, pp. 30-49.

SMITH P.E.L. - "Food production and its consequences", 1976, Menlo Park : Cummings.

TELSER L. - "Safety and hedging". Rev. of Econ. Studies. 1955, 23(1) pp. 1-16.

THOMSON K.G., HAZELL P.B.R. - "Rehability of using the mean absolute deviation to derive efficient E.V. farm plans". Amer. Journ. Agr. Econ. 54(August):503-506.

TROADEC J.P. - "Orientations en Aquaculture et en pêche", Note interne IFREMER, DRV, 18 juillet 1984.

TURNBULL C. - "Le peuple de la Fôret" - Stock - PARIS, 1961.

VAILLANT R. "Plan Ocean Bretagne" - CNEXO - BAP, 1975.

VAN TILBEURGH V. - "L'exploitation ostréicole, vers une intégration". Contrat d'incitation IFREMER-IERSCO - 267 p. - 1986.

VARD C. - "L'aquaculture" (étude spéciale), Industries et Travaux d'Outre-Mer, Septembre 1983, n° 358.

VARD C. - "Regard sur l'aquaculture mondiale", La Pêche Maritime, 20 décembre 1983, pp. 694-703.

VERLAQUE C. - "L'étang de Mauguio : approche socio-économique", Université Paul Valéry, Montpellier,1984.

VICENTE N. - "L'aquaculture méditerranéenne", Rev. Fond. Océanogr. Ricard, n° 5, 1981, pp. 35-42, ISSN 0243 6663.

VIDAL-GIRAUD B. - "La salmoniculture française marine en 1980, éléments d'appréciation économique des différents systèmes de production", CNEXO/COB, INAPG, Mémoire, Septembre 1980.

VILLE J.A., CHARPY A. - "Exploitation des océans et aquaculture", Tomes I et II, Rapports ANVAR 1981 (Juin), GSI.

VIRMAUX J.F., Directeur des études techniques au COP - Interview publiée par Ouest-France. 2 Septembre 1982.

WATER RESOURCES COUNCIL - "Establishment of Principles and Standards for Planning", Federal Register, vol. 38, n° 174, September 10, 1973.

WARTON C.R. - "Subsistence agriculture and economic development". Chicago Aldine - 1969.

WEBER H.H. - "Risks to the aquaculture enterprise", Aquaculture 2 (1973) pp. 157-172.

WEBER H.H., RIORDAN P.F. - "Criteria for candidate species for aquaculture", Aquaculture, 7 (1976).

WEBER J. - "C = R-I, My God, My Gold", Colloque Georges Bataille et les éthnologues, Paris, EHESS, Décembre 1984.

WILDSMITH B.H. - "Aquaculture : the legal framework", Toronto. Edmond Montgomery Ed., 1982, XII + 313 p.

WHARTON APPLIED RESEARCH CENTER - "A study to examine the capital requirements of the U.S. aquaculture industry", Final report J.S.A., 15 juin 1981.

WOODBURN J. - "Hunters and gatherers today and reconstruction of the past", in GELLNER E. "Soviet and western anthropology", London : Duckworth, 95-117.