

**UN MODELE THEORIQUE DE CROISSANCE D'UNE ENTREPRISE D'AQUACULTURE EN
UNIVERS INCERTAIN**

**BERNARD GILLY
DENIS BAILLY**

DRV/SDA Septembre 1987

Présentation à la "Conférence Européenne sur les conséquences des développements technologiques en aquaculture, aspects économiques", MALAGA 30/9 au 2/10/87.

UN MODELE THEORIQUE DE CROISSANCE D'UNE ENTREPRISE D'AQUACULTURE EN UNIVERS INCERTAIN

B. GILLY et D. BAILLY
IFREMER

Département Stratégies de Développement et d'Aménagement

Le secteur des cultures marines en France est souvent assimilé à l'aquaculture nouvelle, dont la production reste dans les faits anecdotique. Les différentes études montrent que les freins au développement se situent au niveau de l'entreprise. Ils sont liés à la nature et au niveau de l'investissement d'une part, et à la dépendance de la production par rapport à l'environnement et aux imperfections des marchés d'autre part. Un modèle théorique d'aide à la décision de l'entreprise utilisant la programmation linéaire est présenté, avec deux objectifs : 1) obtenir une représentation du comportement général d'une firme aquacole indépendamment de sa ou ses productions, en tenant compte des facteurs de risque et d'incertitude, et 2) fournir, par l'utilisation ultérieure de ce modèle, un outil à multiples fonctions aux investisseurs, aux organismes d'aménagement et à la recherche.

1. INTRODUCTION

La production aquacole française représente une part importante des résultats du secteur des pêches maritimes et cultures marines en France. La contribution principale revient à la conchyliculture dont le chiffre d'affaires représente 17 à 20% des résultats de ce secteur. Regroupant les activités dites "traditionnelles" (ostréiculture, mytiliculture), elle s'est développée sur le littoral français depuis la fin du siècle dernier, et plus particulièrement après la guerre. 6000 entreprises procurent aujourd'hui, selon les estimations, 10 à 20000 emplois permanents, et un nombre important d'emplois saisonniers.

La production conchylicole est très variable. Cette forte variabilité interannuelle tient à une dépendance très grande vis à vis des conditions naturelles de l'élevage (productivité du milieu, climat, qualité de l'environnement,...). Outre l'influence des facteurs naturels sur les niveaux de production (abondance du naissain, mortalité, croissance), les biologistes mettent en évidence l'impact de facteurs propres aux élevages (densité, disposition,...) et de facteurs directement liés au développement d'autres activités (pollutions, compétition pour l'occupation de l'espace,...).

Leur combinaison résulte en une évolution en dents de scie de la production, marquée par la disparition de certaines espèces et l'apparition de nouvelles (cf fig.1). L'huître plate est, en France, un produit de haut de gamme, dont la production n'a que très épisodiquement dépassé les 20000 tonnes par an. Plus particulièrement élevée en Bretagne, cette espèce indigène a été frappée par le développement de deux parasites : *Marteilia* en 1974, puis *Bonamia* en 1979, conduisant à des arrêts quasi permanents de la production, et à des reconversions vers la culture de l'huître creuse. L'huître creuse japonaise (*Crassostrea gigas*), qui remplace l'huître portugaise (*Crassostrea angulata*) frappée par une épizootie en 1970, représente actuellement 98% de la production en volume (110000 tonnes) et 96% en valeur. Cette évolution s'accompagne de fortes variations de prix, ceux-ci étant, comme pour la plupart des produits de la mer, très dépendants des variables d'offre.

Cette succession de crises et de périodes fastes, les changements d'espèces accompagnés de profondes mutations techniques, résultent en une réduction du nombre des entreprises, entreprises qui connaissent de plus en plus de difficultés. Ces difficultés ne favorisent pas la reconversion ou la diversification vers des techniques, ou des espèces nouvelles (palourde, coquille Saint-Jacques), demandant parfois des investissements très importants et pour lesquelles le savoir-faire est moins bien maîtrisé.

Les activités d'"aquaculture nouvelle" (élevage de poissons ou de crevettes) se déroulent dans des conditions plus contrôlées, mais présentant généralement un caractère plus risqué. C'est une des raisons pour lesquelles l'élevage de poissons marins n'a pas généré un secteur d'activité conforme aux espérances. En quinze ans, à partir de plusieurs centaines de projets, soixante dix entreprises ont vu le jour et à peine une vingtaine arrive à survivre aujourd'hui. L'analyse de ces échecs (GILLY-WEBER 1985, BENGUIGUI-CHAVE 1986) ne fait pas apparaître de causes techniques ou économiques particulières. En revanche, la variabilité des résultats biologiques et commerciaux d'une part et l'insuffisance de la trésorerie nécessaire

pour faire face à des événements non attendus d'autre part, semblent à l'origine de la plupart des échecs. Comme une analyse technico-économique classique ne suffisait pas à comprendre le mécanisme par lequel des changements exogènes affectent les résultats, nous avons essayé de construire un modèle d'entreprise intégrant l'incertitude sur la production, et surtout l'attitude de l'entrepreneur vis à vis des risques liés à son activité.

En raison de la disponibilité des données nous avons été amenés à choisir comme activité aquacole nouvelle, l'élevage d'huîtres plates en eau profonde. Après quelques rappels théoriques nous présenterons la structure mathématique du modèle.

2. RAPPELS THEORIQUES

L'impossibilité d'optimiser de façon universelle les activités de production s'est illustrée de façon décisive lorsque l'économie rurale a cherché à généraliser au secteur agricole les modèles de programmation linéaire développés à l'échelle de l'exploitation individuelle. Les problèmes d'agrégation se sont rapidement révélés insurmontables dans la plupart des cas. Un certain nombre de théorèmes relatifs à l'agrégation de modèles de programmation linéaire ont bien été développés mais leur principale implication est justement l'impossibilité pratiquée d'une telle agrégation. Cela ne signifie pas bien sûr qu'il faut récuser ces approches : le fait que l'on ne puisse pas prouver la validité permanente d'un processus ne signifie pas que les résultats empiriques observés n'existent pas. Néanmoins, il faut concéder que la puissance de la programmation linéaire est plus importante pour des applications individuelles, lorsque les questions à résoudre présentent certains aspects normatifs : comment réduire le coût de production, accroître la production... Lorsque les données (sous formes de séries chronologiques ou horizontales) n'existent pas, la programmation linéaire permet le recours à des méthodes plus synthétiques.

La représentation des comportements économiques en univers incertain a attendu l'évolution des formulations statistiques et mathématiques. En effet, l'hypothèse d'utilité maximum génère une contrainte forte : les individus doivent maximiser une combinaison linéaire du revenu et des (co) variances du revenu. Dans cette combinaison linéaire, on trouve un coefficient de risque qui pondère (probablement de façon négative) les composantes variables de la fonction objectif. Cette conclusion coïncide avec celle du modèle de programmation quadratique de MARKOWITZ pour le choix de portefeuille. De nombreuses applications des modèles de programmation quadratique ont été développées en agriculture, certains auteurs montrant même qu'il y avait une plus forte corrélation entre des décisions observées avec les résultats du modèle quadratique qu'avec ceux d'un modèle de programmation linéaire. D'autres applications plus récentes ont jeté un doute important sur ces modèles en montrant que le coefficient du comportement face au risque était significativement instable (posant ainsi la question (i) de son interprétation et (ii) de savoir s'il s'agit d'un paramètre d'état et non d'un artefact).

La formulation quadratique a été critiquée à la fois au niveau technique et théorique :

a) Au niveau théorique, certains économistes dont SHACKLE (1961) ont montré que la recherche de l'utilité maximale présentait des aspects fondamentalement irrationnels si les pertes potentielles étaient susceptibles de détruire brutalement l'entreprise (en d'autres termes, tout investisseur s'assurera qu'il est capable de subsister dans son entreprise avant d'employer une stratégie de maximisation - le cas contraire relevant plus du tirage aléatoire que de la stratégie). Ces critères ont conduit BOUSSARD et PETIT (1976) à développer l'approche du foyer de perte dont la formulation dérive de celle de ROY (1952) et SHACKLE (1961). Ce modèle remplace l'hypothèse de maximisation de l'utilité et de sa variance (E-V) par une fonction objectif de maximisation de l'utilité sous contrainte que la probabilité d'une perte "ruineuse" ne dépasse pas un niveau arbitrairement choisi. Ainsi, cette approche suppose des comportements différents (en particulier que la notion de "ruine" soit définie et perceptible) et débouche sur l'utilisation de la programmation linéaire plutôt que quadratique. On ne discutera pas ici de savoir si les différences d'hypothèses de comportement sont ou non les plus fondamentales ; à l'évidence, même si elles ont toutes les deux des implications observables, les difficultés techniques de l'algorithme priment.

b) Au niveau technique, beaucoup d'auteurs ont souligné la faiblesse de l'algorithme d'optimisation par programmation quadratique par rapport à la programmation linéaire ; en particulier ces faiblesses techniques sont liées à l'unicité de la solution, à la convergence des solutions et aussi à des problèmes de taille des matrices utilisées. Mais la principale critique tient au fait que dans la formulation quadratique, les écarts à la moyenne sont pénalisés également, qu'ils soient positifs ou négatifs. Le développement du modèle MOTAD par HAZELL (1971) a permis toutefois de pallier partiellement à cet

inconvenient (MOTAD : Maximum of Total Absolute Deviation)

D'un point de vue pratique, quelle est la véritable importance du choix d'une formulation quadratique, linéaire ou même des versions modifiées (E-V, MOTAD) ? Probablement aucune ainsi que le suggère BOUSSARD (1982) et cela parce que dans toutes les approches le choix du coefficient de comportement face au risque comporte une grande part d'arbitraire ; dans ces conditions, il reste toujours possible d'obtenir des résultats similaires par les diverses méthodes en ajustant les coefficients. (Plus simplement, on peut comparer cela aux premières polémiques sur l'analyse coût-bénéfices où l'on avait toujours la possibilité de choisir un taux d'actualisation (éventuellement négatif) permettant d'obtenir le résultat voulu). Ainsi, dans le choix de la méthode entre les types de formulation, il faudrait disposer d'une large gamme de tests empiriques sans que les résultats ne soient connus à l'avance.

3. CONTRAINTES THEORIQUES DE BASE

L'hypothèse de fonctionnement parfait des marchés n'est jamais vérifiée en recherche appliquée. Dans le domaine de l'aide de la décision d'investissement, cette assertion implique de parler de l'indisponibilité partielle ou totale du capital et de sa plus ou moins grande mobilité. Cette adhérence du capital est envisagée soit au niveau externe (accès aux capitaux extérieurs) soit au niveau interne (capacité de mobilisation de l'épargne) et elle dépend également de facteurs purement économiques que de mécanismes non financiers. Ainsi, si le coût de l'accès au capital croît avec la proportion des dettes de l'entreprise par rapport à son épargne (ce qui est le cas le plus évident) alors le comportement d'emprunt optimal d'un investisseur neutre vis à vis du risque se référera, en plus des conditions marginales classiques, à la flexibilité du prix du capital par rapport au taux dette/épargne, reflétant ainsi une imperfection du marché.

Cette disponibilité partielle des capitaux se complique lorsque l'on introduit un processus dynamique. En règle générale, la vitesse de remboursement des emprunts garantis fixée par le prêteur est supérieure au rythme de dépréciation de l'actif. L'optimisation dynamique implique de prendre en compte les rigidités liées à l'échéancier mais ces rigidités vont être modulées en fonction de l'origine des flux financiers. Ces rigidités seront plus faibles pour des capitaux prélevés sur l'épargne propre de l'entreprise, pour lesquels l'échéancier sera plutôt réglé par la comparaison des coûts d'opportunité de l'épargne et des emprunts. Les rigidités de l'échéancier entrent en interaction avec les nécessaires flux financiers consommés par l'entreprise qui génèrent à leur tour un pompage de capitaux auprès de sources internes ou externes. Cette adhérence du capital ne concerne pas seulement les emprunts garantis (i(2)) ou la mobilisation de l'épargne (i(1)). Elle concerne également les capitaux participatifs (actionnariat) (i(3)) ou la mobilisation du patrimoine (i(4)). La condition première d'attraction de capitaux participatifs est que la valeur actualisée de la participation initiale soit inférieure au montant actualisé de la part des actionnaires dans la valeur terminale de l'entreprise. Le taux des capitaux participatifs est également une variable de décision dans la mesure où l'entrepreneur dispose d'un pouvoir de négociation face à ses partenaires. Si l'on fait l'hypothèse que les coûts d'accès aux différentes sources varient dans l'ordre suivant : $i(4) > i(3) > i(2) > i(1)$, l'entrepreneur ne fera appel aux dernières sources qu'après avoir épuisé les premières. Cette assertion semble vraie pour la mobilisation du patrimoine, très souvent considéré comme cher car difficilement et lentement mobilisable. En revanche, si le taux marginal de revenu du capital investi est supérieur à $i(3)$, il peut être intéressant de faire directement appel à des capitaux participatifs de manière à éviter les échéances rigides d'un emprunt garanti, en particulier pendant les premières années. Il faut souligner en plus que l'appel à des capitaux participatifs change la nature du risque (i) pour l'entrepreneur qui ne risque la perte que de sa part du capital et (ii) pour l'entrepreneur et ses partenaires puisque la ruine n'est pas sélective et que dans l'entreprise considérée ils survivent ou disparaissent ensemble.

Ces considérations permettent de dessiner le comportement optimal de la firme comme l'interaction, entre autre, de sa structure financière, de sa stratégie d'emprunt et de sa propension à l'épargne. A l'évidence, le comportement face au risque de l'entrepreneur et des détenteurs de capitaux occupe une place prépondérante dans la dynamique de croissance de l'entreprise, même et y compris sur des variables a priori non impliquées dans les conditions marginales de production (par exemple, sur les coûts indivisibles qui vont influencer sur la procédure d'accumulation de capital parce qu'ils sont une source de consommation inéluctable et en partie prévisible).

4. FORMULATION MATHÉMATIQUE

Les contraintes biologiques du modèle d'entreprise ostréicole ne sont pas présentées ici. Seuls

sont développés les aspects liés aux problèmes de financement et de risque : quelques hypothèses de base ont été retenues :

- l'entreprise est soumise à un échéancier de remboursement très stricte, qui la force à emprunter plus (dans la limite de sa capacité d'emprunt maximale) si les résultats ne dégagent pas les fonds nécessaires. Dans le cas contraire, l'entreprise stocke son surplus sous forme d'épargne mobilisable directement ou pour accroître la capacité d'emprunt ;
- l'entreprise ne peut entrer en activité que si elle est en mesure d'assurer à son promoteur un minimum vital d'opportunité. En d'autres termes, en dessous d'un niveau de revenu minimum, l'ostréiculteur quitte l'activité pour n'importe quelle autre qui lui fournira au moins ce minimum ;
- une contrainte de foyer de perte permet de s'assurer que les pertes d'une année sont au plus égales au niveau des pertes maximum admissibles.

Le modèle de programmation linéaire utilisé est un modèle tout à fait conventionnel au sein duquel l'ostréiculteur peut choisir parmi plusieurs techniques d'élevage (surface dévolue à chaque classe d'âge et à chaque mode d'élevage, taille des animaux à la récolte) celle qui lui apportera à terme l'accumulation la plus grande de capital (c'est-à-dire la différence la plus importante entre l'épargne accumulée et l'encours d'endettement), compte-tenu des contraintes de disponibilité de surface et de main d'oeuvre, de productivité naturelle et d'accès aux financements.

La fonction objectif retenue est la maximisation de la valeur nette finale des actifs, définie comme la somme de l'épargne accumulée et de la valeur du stock d'animaux, diminuée de l'encours résiduel de l'endettement externe. Afin de tenir compte de la plus ou moins grande ampleur de la valeur initiale des actifs, on s'intéressera en réalité à maximiser l'accroissement de cette valeur.

Les coûts de production sont liés aux activités de croissance et de mortalité (sous modèle biologique), de récolte et de vente. Ces coûts sont en permanence couverts par la trésorerie ou l'épargne accumulée, ou par des emprunts à court terme à l'extérieur. Ces deux sources sont également assimilables à des emprunts à court terme (ECT) mais à des prix variables :

$$\text{COUT}(t) - \sum_{r=1}^2 \text{ECT}(r,t) < 0 \quad ; \quad \begin{array}{l} r = 1 : \text{source interne} \\ r = 2 : \text{source externe} \end{array}$$

La limite de l'endettement à court terme dépend des deux contraintes imposées à l'encours global d'endettement. Pour la période initiale, l'endettement à court terme à l'extérieur ne peut dépasser la capacité d'emprunt de l'entreprise moins l'encours résiduel d'une éventuelle activité précédente et les remboursements d'emprunt de la période considérée. Pour les autres périodes, la contrainte d'endettement impose à la dette externe de rester inférieure à la capacité maximale d'endettement et d'être égale à la somme composée des emprunts auprès des sources extérieures (pour toutes les périodes $j < t$) diminuée de la part des remboursements effectués.

La contrainte d'échéancier de remboursement impose au montant des provisions pour remboursement (EPA(2,T) - forme d'épargne temporaire forcée) d'être au moins égal aux obligations de remboursement générées par les décisions d'emprunt prises au cours des périodes précédentes. Par conséquent, le taux de croissance de l'entreprise se trouve limité par le niveau d'épargne forcée qui reflète en particulier l'appréciation des financiers sur l'entreprise.

$$\sum_d^D \text{am}(i(2), D) * \text{ECT}(t-d) + \text{EPA}(2,T) > 0 \quad ; \quad t=1,T$$

où D est la durée des emprunts et am le taux d'amortissement des emprunts.

Il a été montré que l'entrepreneur devait, pour pérenniser son activité, percevoir un revenu minimum. Il est possible d'exprimer cela au travers d'une contrainte imposant que la somme du revenu net (NET(t)) (éventuellement négatif) et de la balance nette entre emprunts et épargnes, diminuée des coûts fixes incompressibles soit au moins égale à ce revenu minimum (MIN) :

$$\text{NET}(t) + \sum_r [\text{ECT}(r,t) - \text{EPA}(r,t)] - \text{FIXE} > \text{MIN} \quad ; \quad t=1,T$$

La valeur de MIN peut être choisie arbitrairement ; on peut aussi la déterminer à partir d'une enquête auprès d'ostréiculteurs en activité ; on peut également la considérer comme le revenu d'opportunité de l'entrepreneur et utiliser les techniques classiques de calcul des coûts d'opportunité.

La contrainte de foyer de perte est définie de la même façon que l'ont fait BOUSSARD et PETIT : soit $S(s,k,t)$ la surface occupée par chaque classe de taille (s) et chaque technique (k) et γ un coefficient arbitraire de comportement face au risque ($0 < \gamma < 1$) ; soit aussi PERTE (t) le niveau de perte qu'il n'est pas possible de dépasser (ou plus exactement dont la probabilité de dépassement n'est pas supérieure à celle impliquée par γ), et $p(s,k)$ le coefficient de risque associé à chaque paire (s,k) :

$$p(s,k) * S(s,k,t) - PERTE(t) < 0 \quad ; \quad t = 1, T$$

Cette spécification, qui implique que le foyer de perte d'une activité (s,k) ne peut excéder une fraction γ de la perte globale admissible, la répartition des risques entre les activités étant spécifiée par $p(s,k)$, est la principale cause de la taille importante du modèle (dimension $s*k*t$). Dans un modèle dynamique, il est logique que la perte admissible puisse varier avec les périodes (et on pourrait même considérer que γ varie également suivant la situation de l'entreprise). L'hypothèse est faite que le niveau de perte maximum acceptable s'accroît (ou décroît) en fonction de la valeur nette des actifs ou de la capacité d'emprunt. Une contrainte est aussi rajoutée qui indique que le niveau maximum potentiel de perte ne peut excéder la capacité d'emprunt (CAPE(t)), diminuée d'une réserve de sécurité arbitrairement choisie (RES 1) :

$$PERTE(t) - CAPE(t) < RES 1 \quad ; \quad t = 1, T$$

A son tour, la capacité d'emprunt est fonction de l'accumulation des actifs d'origine (ADO) et de l'épargne (EP(t)), qu'il faut pondérer par un facteur θ , arbitrairement utilisé par les organismes financiers (θ reflète la perception qu'ont les bailleurs de fonds de la valeur de revente des immobilisations ; en règle générale, θ sera faible pour les opérations conchyliques) :

$$CAPE(t) < \theta [EP(t) + ADO] \quad ; \quad t = 1, T$$

Les actifs d'origine (ADO) sont constitués par les immobilisations pouvant servir de garanties et ne se réduisent pas nécessairement aux immobilisations nécessaires à l'élevage et à la vente. KNEZ et al. (1985) ont montré que les individus établissent une hiérarchie parmi leurs actifs lorsqu'ils prennent des décisions en univers incertain, les actifs de type patrimoine étant les derniers et les plus difficilement mobilisables. Cet aspect est très bien important pour la modélisation des fermes conchyliques dans la mesure où il s'agit essentiellement d'exploitations familiales de petite taille dont le patrimoine (souvent important) résulte de l'accumulation de plusieurs générations.

La disponibilité des sources extérieures de capitaux est limitée par la capacité maximale d'emprunt ; en d'autres termes, la somme des emprunts à court terme cumulés au cours des périodes et diminués des remboursements (ENC(t)) s'écrit :

$$ENC(t) < CAPE(t) \quad ; \quad t = 1, T$$

5. CONCLUSION

Deux hypothèses principales ont été faites pour construire le modèle théorique présenté :

- les ostréiculteurs maximisent un revenu net au cours d'une période de temps variable, sous contrainte que la possibilité qu'ils soient ruinés à n'importe quelle période soit très faible ;
- cette contrainte est remplie lorsque le risque de perte sur une activité ou une production est inférieur à une fraction d'une perte considérée comme maximale admissible, niveau que le producteur trouverait très surprenant d'atteindre.

Les premiers résultats obtenus avec ce modèle confirme un certain nombre de limites de l'approche utilisée :

- seules ont été prises en compte les incertitudes sur les rendements et les prix, qui sont très importantes dans la production ostréicole. Néanmoins, d'autres incertitudes existent, en particulier sur la disponibilité de la main d'oeuvre, ou le calendrier des opérations d'élevage ;
- le principal choix laissé aux ostréiculteurs est la taille des animaux à la récolte ; il devrait être également possible de choisir la taille de semis ; par ailleurs, beaucoup d'ostréiculteurs répartissent les risques entre plusieurs bassins ou diverses localisations au sein d'un même bassin ;

- enfin, et c'est la limite principale, les résultats d'une entreprise ne dépendent pas seulement de sa propre stratégie mais des décisions prises par les autres (surface totale exploitée, densité d'élevage, activité concurrentielle). Ces aspects sont actuellement en cours d'analyse pour permettre l'agrégation des modèles d'entreprises au niveau d'un bassin.

REFERENCES

BOUSSARD J.M. - "Uncertainty and dynamic 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 - Jour. Farm Economics 49 (Nov.) : 869-80.

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.

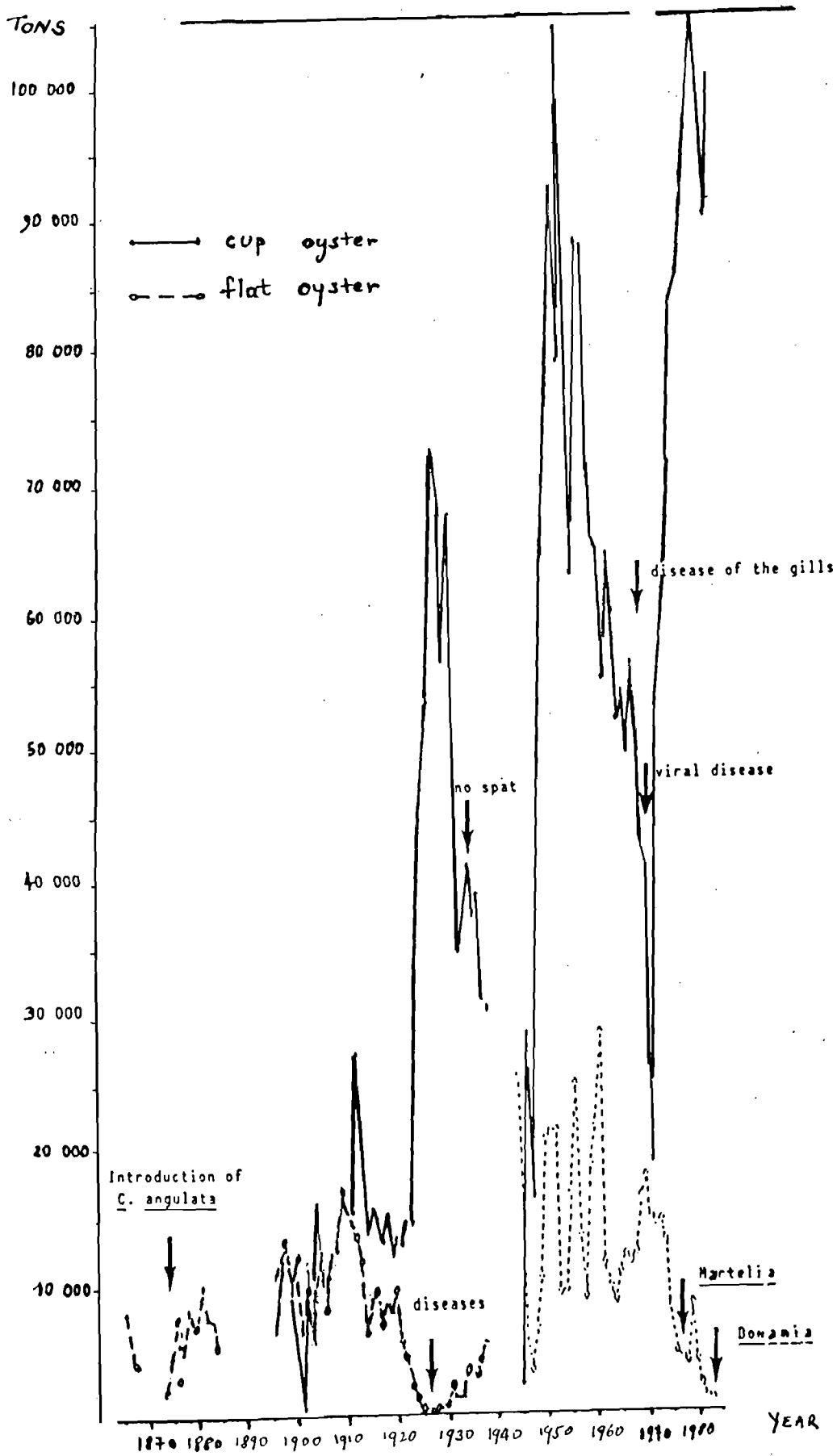
KNETZ P., SMITH V.L., WILLIAMS A.W. - "Individual rationality, market rationality and value estimation". Amer. Econ. Review. 75(2) : 397-402, 1985.

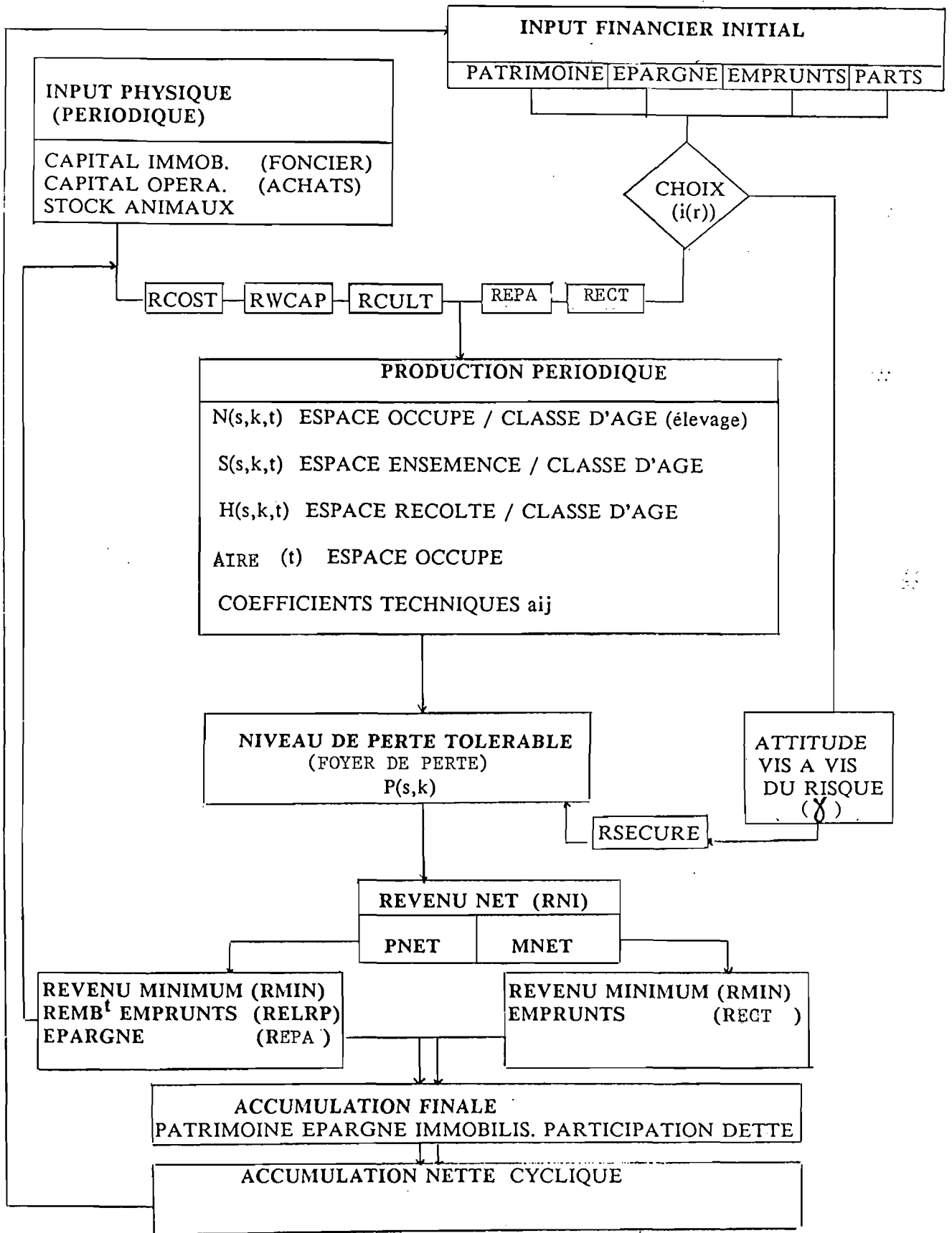
ROY A.D. - "Safety first and the holding of assets". Econometrica. 1952. 20(3) : 431-449.

SCHACKLE G.L.S. - "Decision, order and time in human affairs". Cambridge, England : Cambridge University Press, 1961.

Figure 1 : Production d'huîtres en France.
1970 - 1983.

Source : Héral, 1986.





SCHEMA 4: Organigramme général du modèle