

DIRECTION DES RESSOURCES VIVANTES

STRATEGIES D'ECHANTILLONNAGE  
EN CONCHYLICULTURE

par

Joseph MAZURIE

Laboratoire National Ecosystèmes Conchyliques

Janvier 1988



DRV-88-001-RA/LA TREMBLADE

## INSTITUT FRANCAIS DE RECHERCHE POUR L'EXPLOITATION DE LA MER

IFREMER  
Mus de Loup  
B.P. 133  
17390 LA TREMBLADE  
tél. : 46.36.18.41

DIRECTION DES RESSOURCES VIVANTES

DEPARTEMENT RESSOURCES AQUACOLES

|   |  |
|---|--|
| AUTEUR (S) : Joseph MAZURIE                                     | CODE :<br>N° 88-001-RA/LA TREMBLADE                      |
| TITRE :<br>★ STRATEGIES D'ECHANTILLONNAGE EN<br>CONCHYLICULTURE | Date : Janvier 1988<br>tirage nb : 25                    |
|   | Nb pages : 77<br>Nb figures :<br>Nb photos :             |
|   | DIFFUSION<br><br>Libre x<br>Restreinte<br>Confidentielle |

## RESUME :

Les stratégies d'échantillonnage mises en oeuvre à l'IFREMER dans le domaine du contrôle de la qualité des produits et du milieu conchylicole, le long du littoral et dans les installations à terre sont analysées. En outre, les plans d'échantillonnage pour la gestion des cheptels, l'estimation des stocks, de la production biologique, des ventes et des transferts inter-bassins et de l'état zoosanitaire, sont discutés.

mots-clés : Echantillonnage, conchyliculture.



## AVANT PROPOS

Je remercie Messieurs TROADEC et BONNET de m'avoir fait confiance pour aborder ce sujet des stratégies d'échantillonnage et des statistiques conchyliques.

J'ai trouvé une aide précieuse, particulièrement auprès de :

M. HERAL qui m'a constamment guidé avec la plus grande compétence.

H. GRIZEL soucieux de voir étudiée l'épidémiologie des mollusques avec une plus grande rigueur statistique.

Les responsables du C.S.R.U., Messieurs RAVOUX, POTJI, SAUVAGNARGUES, et leurs collaborateurs qui ont su m'informer dans le domaine de l'hygiène des produits conchyliques.

C. BACHER, qui a éclairé de nombreux aspects mathématiques et statistiques.

Sylvie TAILLADE qui a assuré avec une extrême disponibilité et promptitude la dactylographie de ce rapport.

Qu'ils en soient ici vivement remerciés.



## SOMMAIRE

|   | Pages |
|---|-------|
| RESUME.....   | 1     |
| 1. SALUBRITE DES EAUX ET DES PRODUITS CONCHYLICOLES.....                  | 4     |
| 1.1. Réglementation.....  | 4     |
| 1.2. Les paramètres à contrôler.....                                      | 5     |
| 1.3. Stratégie globale d'obtention de la salubrité.....                   | 7     |
| 1.3.1. Fixation du niveau d'effort en faveur<br>de la salubrité.....      | 7     |
| 1.3.2. Répartition de cet effort.....                                     | 9     |
| 1.4. Stratégies d'échantillonnage dans le milieu naturel.....             | 11    |
| 1.4.1. Reclassement de zones du littoral.....                             | 11    |
| 1.4.2. Contrôles de routine.....  | 13    |
| 1.4.3. Contrôle des eaux colorées (et biotoxines).....                    | 14    |
| 1.5. Stratégies d'échantillonnage dans les établissements<br>à terre..... | 16    |
| 1.6. Contrôle des produits sur les marchés.....                           | 17    |
| 2. GESTION DES CHEPTELS CONCHYLICOLES.....                                | 18    |
| 2.1. Estimations quantitatives.....                                       | 18    |
| 2.1.1. Etudes historiques.....  | 19    |
| 2.1.2. Estimation des stocks et du recrutement.....                       | 20    |
| 2.1.2.1. Stocks.....  | 20    |
| 2.1.2.2. Recrutement.....   | 24    |



|  |    |
|--|----|
| 2.1.3. Transferts inter-bassins et ventes finales.....   | 25 |
| 2.1.4. Production biologique.....  | 27 |
| 2.1.4.1. Cycle court (1 an), 1 recrutement par an :<br>cas de moules sur pieux en Bretagne.....                | 27 |
| 2.1.4.2. Cycle moyen (2 ans) 1 recrutement par an :<br>cas des moules sur pieux en baie de<br>l'Aiguillon..... | 28 |
| 2.1.4.3. Cycle court (1 à 2 ans), plusieurs<br>recrutements par an (cas de l'étang<br>de Thau).....            | 29 |
| 2.1.4.4. Cycle long (3-4 ans) ; 1 recrutement<br>par an mais transferts ; cas de<br>Marennes-Oléron.....       | 30 |
| 2.1.5. Croissance et mortalité.....  | 32 |
| 2.2. Estimations qualitatives.....   | 36 |
| 2.2.1. Mortalité courante et indices physiologiques.....   | 37 |
| 2.2.2. Mortalités anormales.....   | 38 |
| 2.2.3. Taux de parasitisme.....  | 38 |
| 2.2.3.1. Surveillance zoosanitaire de base.....  | 39 |
| 2.2.3.2. Réseau d'alerte.....  | 46 |
| 2.2.4. Contrôle des importations.....  | 47 |
| 2.2.4.1. Réglementation.....   | 47 |
| 2.2.4.2. Analyse du risque zoosanitaire.....   | 48 |
| 2.2.4.3. Prévention du risque zoosanitaire.....  | 49 |
| 3. RELATIONS AVEC L'ENVIRONNEMENT.....   | 52 |
| 3.1. Objectifs et méthodes.....  | 55 |
| 3.1.1. Etudes analytiques de base.....   | 55 |
| 3.1.2. Déterminisme du recrutement.....  | 58 |



|  |    |
|--|----|
| 3.2. Stratégies d'échantillonnage du milieu.....                           | 59 |
| 3.2.1. Etudes analytiques de base.....                                     | 59 |
| 3.2.2. Caractéristiques du milieu à l'entrée d'un<br>système modélisé..... | 61 |
| 3.2.3. Caractéristiques du milieu sur l'ensemble<br>du bassin.....         | 62 |
| 4. STATISTIQUES CONCHYLICOLES.....   | 62 |
| 5. CONCLUSION - SUITE A DONNER.....  | 64 |
| ANNEXE.....  | 69 |
| BIBLIOGRAPHIE.....   | 76 |



## RESUME

Cette étude porte sur les stratégies d'échantillonnage dans les domaines de l'exploitation des ressources conchyliques et du contrôle de l'hygiène des produits.

Le contrôle de la salubrité des coquillages peut s'exercer sur les zones de production, et dans les établissements de traitement et d'expédition, à terre. Il a porté essentiellement dans le passé sur la composition bactériologique des coquillages, mais inclut depuis 1984 la détection des phytoplanctons toxiques et devra en outre prendre en compte les teneurs en micropolluants (pesticides, métaux lourds...) conformément à la Directive CEE de 1979.

Chaque fois que possible, ces analyses doivent concerner les coquillages plutôt que l'eau, sujette à une plus grande variabilité de composition dans l'espace et dans le temps.

Les stations à terre sont à contrôler proportionnellement au risque qu'elles présentent de mise sur le marché de produits insalubres. Par rapport à ce critère, le contrôle actuel apparaît excessif et inégalement réparti.

Le contrôle bactériologique des secteurs conchyliques du littoral doit reposer sur une révision du classement de certaines zones, permettant un contrôle de routine allégé par la suite, sur la base d'échantillonnages aux points les plus suspects et aux moments critiques.

Concernant les micropolluants, il convient d'examiner si la couverture des zones conchyliques, par le Réseau National d'Observation est suffisante, et si les teneurs observées par le passé justifient des mesures spécifiques.

L'interdiction de vente de coquillages dans certains secteurs, au moment de blooms de phytoplancton toxiques a permis une réduction du nombre de cas de gastro-entérites en France les années passées. Cependant, l'efficacité du réseau de surveillance de base de la composition du



phytoplancton est imparfaite en raison d'une maille spatio-temporelle supérieure à celle des phénomènes à mettre en évidence.

L'amélioration de la gestion des cheptels conchylicoles suppose, sur le plan quantitatif, la connaissance des stocks en place, des productions biologiques annuelles, des productions commercialisées et des transferts inter-bassins.

L'estimation des stocks immergés ou sur estran est réalisée dans les principaux bassins, à l'exception de la Bretagne et de la Normandie. L'optimisation des plans d'échantillonnages et l'automatisation des méthodes sont en cours. L'effort consacré à la détection des larves d'huîtres, pour la prévision de la période de pose des collecteurs, dans les zones à captage naturel, pourrait être diminué en limitant l'objectif à un simple diagnostic de présence/absence.

L'estimation annuelle des stocks en place doit être complétée par une étude de dynamique basée sur le suivi de la croissance et de la mortalité principalement dans le courant de l'année. Ce suivi comprend d'une part des analyses ponctuelles de l'effet de tel ou tel paramètre (génétique, paramètres du milieu...) et d'autre part un suivi de chacune des classes de taille dans les principaux secteurs du bassin, destiné à permettre une estimation juste et précise de la production biologique du bassin (estimations annuelles suffisantes, trimestrielles si possible).

La production biologique peut être estimée directement par l'augmentation de poids de chaque classe de taille dans le courant de l'année, mais plus simplement par la différence entre deux stocks annuels successifs, augmentée des sorties (ventes principalement) et diminuée des entrées (de naissains en particulier) dans le courant de l'année.

Une estimation des transferts de naissains ou d'adultes entre régions serait permise si un système de déclaration obligatoire des transports inter-régionaux (bons de transports) était mis au point. Les statistiques des ventes reposent actuellement sur le nombre d'étiquettes de salubrité achetées par les producteurs. Les biais sur cette donnée pourraient être estimés dans le cadre d'enquêtes socio-économiques INSEE prévues dans les principaux bassins.



La confrontation entre les ventes de chaque région et les données de stocks décomposés en classes de taille, et de taux de production, permettra des recoupements utiles et une validation des données.

Sur le plan qualitatif, les récentes épizooties ont montré la nécessité d'accroître la surveillance zoosanitaire des principaux stocks. La méthode proposée est un prélèvement trimestriel d'échantillons sur le même réseau de stations que celui défini pour un suivi de croissance et mortalité sur des lots professionnels répartis dans l'ensemble du bassin.. En cas d'alerte déclenchée par ce réseau de base, ou la déclaration de mortalités anormales par les professionnels, après enquête approfondie, l'effort de suivi sera intensifié, sur un réseau plus dense. Le contrôle zoosanitaire des importations sera fait surtout en début de campagne, et proportionnellement aux quantités importées l'année précédente.

Seule une modélisation des relations entre les mollusques et leur environnement au sein d'un écosystème peut permettre de calculer directement l'impact d'une restructuration des concessions, d'un changement de niveau ou de répartition spatiale du stock, ou de modification de régime hydrologique à la suite de travaux ou d'aménagements. Ces études sont en cours au Laboratoire National Ecosystèmes Conchylicoles IFREMER de La Tremblade, et sur l'étang de Thau. Elles supposent :

- Une analyse de l'effet des principales caractéristiques du milieu sur les différents termes du budget énergétique des mollusques consommateurs (absorption, assimilation, respiration, production). Cette analyse peut être menée lors d'expériences à terre, ou in situ, en des points caractéristiques du bassin, sur des périodes courtes.

- Une fourniture de données en entrée du modèle, composées principalement d'un modèle de courantologie, de mesures rapprochées des quantités de nutriments pour les mollusques entrant aux limites du système (à défaut de modèle prévisionnel des facteurs contrôlant la nourriture) et d'estimation de production primaire dans les principaux secteurs à l'intérieur du bassin.



La France est l'un des premiers pays producteurs de coquillages. C'est à l'IFREMER qu'incombe en partie la responsabilité du contrôle de la qualité des produits de la mer. S'agissant de coquillages souvent consommés crus, la qualité bactériologique requiert une attention particulière. Des toxines d'origines naturelles (phytotoxines) ou industrielles (micropolluants) peuvent aussi altérer la qualité des coquillages.

A cette mission traditionnelle orientée vers la protection des consommateurs se rajoute un effort de recherche et d'assistance technique aux exploitants de coquillages (pêcheurs ou éleveurs), basé sur la connaissance de la dynamique des stocks et des paramètres environnementaux explicatifs.

Ces deux missions impliquent la collecte et l'analyse de données directement sur le terrain, ou par enquêtes auprès de la profession ou des organismes concernés. Il est apparu utile de recenser ces données et de les examiner, particulièrement sous l'angle des stratégies d'échantillonnage employées, afin de dégager des améliorations éventuelles.

## 1. SALUBRITE DES EAUX ET DES PRODUITS CONCHYLICOLES

Nous examinerons successivement :

- l'état de la réglementation
- la nature des paramètres à contrôler
- les stratégies d'échantillonnage à mettre en place pour ce contrôle

### 1.1. Réglementation

La réglementation française en matière de salubrité des huîtres, moules et autres coquillages est issue du décret du 20 août 1939, qui prévoit en particulier le classement du littoral en zones salubres ou insalubres, et donne licence de vente directe à la consommation aux seuls



établissements d'expédition, d'élevage ou d'épuration, sous forme de colis munis d'étiquettes de salubrité.

L'arrêté du 23 novembre 1976 précise que l'établissement de la salubrité des zones conchylicoles doit être basé sur les nombres de coliformes fécaux trouvés dans 100 ml de chair de coquillage, et rappelle que des coquillages récoltés en zones insalubres sont assujettis à un reparcage en zone salubre ou à épuration.

Enfin le Conseil des Communautés Européennes du 30 octobre 1979 a arrêté une directive concernant la qualité des eaux conchylicoles des Etats membres qui prévoit :

- des valeurs souhaitables ou à ne pas dépasser pour un certain nombre de paramètres concernant soit l'eau (pH, température, salinité, oxygène dissous...) soit la chair de coquillage (métaux, substances organo-halogénées, coliformes fécaux).

- une première désignation d'eaux conchylicoles, dans un délai de 2 ans,

- une mise en conformité avec les valeurs prévues dans un délai de 6 ans, confirmée par échantillonnage.

La restructuration en cours du contrôle conchylicole (prise en charge par les services vétérinaires du contrôle des établissements) ainsi que la mise en conformité avec les directives européennes rendent nécessaire un examen détaillé des modalités d'application de ces différentes mesures de protection du consommateur, et des stratégies d'échantillonnage afférentes.

#### 1.2. Les paramètres à contrôler

La qualité bactériologique est le paramètre le plus couramment contrôlé sur les coquillages. Le choix des germes témoins de contamination fécale (coliformes fécaux) ainsi que les méthodes d'analyse sont reconnus et standardisés. En cas de mauvais résultats, il est envisagé et souhaitable de diagnostiquer la présence ou l'absence de germes pathogènes (salmonelles en particulier). Il est préférable, chaque fois



que possible, de faire porter l'analyse sur un échantillon de chair de coquillage plutôt que d'eau ou de sédiment. En effet, la quantité de bactéries présentes dans les coquillages résulte d'une intégration sur plusieurs jours des quantités instantanées très fluctuantes de l'eau filtrée. Héral et al. (1980) ont mis en évidence les grandes variations dans le temps, en particulier saisonnières, de la microflore totale, des coliformes et des entérocoques dans le bassin de Marennes-Oléron. Vouloir saisir ces fluctuations de manière représentative nécessiterait un effort d'échantillonnage sans rapport avec celui représenté par l'analyse des mollusques.

Certaines espèces phytoplanctoniques du groupe des Dinoflagellés, peuvent produire des substances toxiques pour l'homme, qui se concentrent dans les coquillages filtreurs, en particulier les moules. Les troubles induits chez le consommateur de coquillages peuvent être digestifs (diarrhées) ou nerveux (paralysies), en fonction de l'espèce phytoplanctonique responsable. Seuls les Dinophysis, responsables des atteintes du 1er type ont été rencontrés jusqu'à présent sur les côtes françaises. Ceci a justifié la mise en place en 1984 d'un réseau national de surveillance prévoyant l'examen systématique des espèces phytoplanctoniques en un certain nombre de points, et la détermination de la quantité de toxine présente dans les coquillages (par des tests de toxicité sur des souris) en cas d'alerte.

Les pathologies induites par les bactéries pathogènes ou les biotoxines sont à effet immédiat. Il existe des substances plus incidiieuses car plus difficiles à doser et agissant à long terme : ce sont les micropolluants, en particulier les pesticides (organo-halogénés spécialement) et les métaux lourds (zinc, cadmium, mercure...). La directive CEE de 1979 recommande à juste titre la prise en compte de ces paramètres dans les normes de qualité des zones conchylicoles. Des analyses de micropolluants sont réalisées sur de la matière vivante (dont les coquillages), trimestriellement, depuis 1979, sur un réseau de points fixes dans le cadre du RNO (Réseau National d'Observation), dans le but de mettre en évidence les niveaux et grandes tendances de la pollution le long du littoral français.

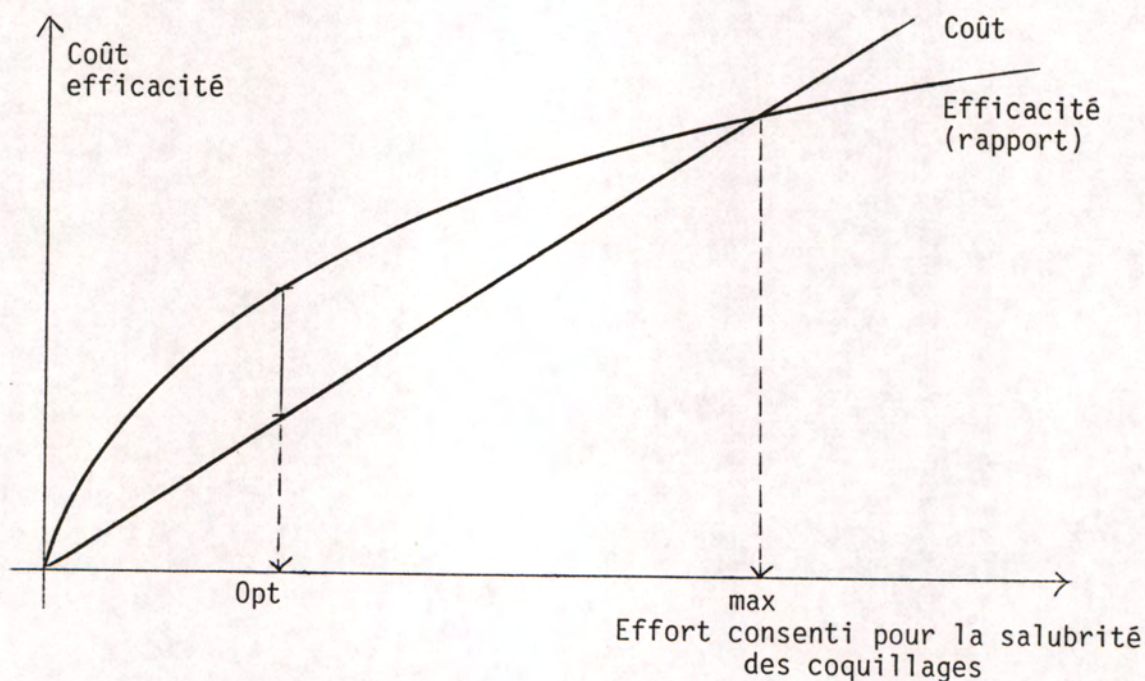


A l'occasion de prélèvements d'échantillons d'eau pour détermination de biotoxines ou micropolluants, il est aisé de caractériser l'eau analysée par des paramètres physico-chimiques simples (température, salinité, oxygène dissous...) selon les recommandations de la directive CEE de 1979, mais ces paramètres ne peuvent en soi suffire à déterminer la qualité d'une eau, et justifier des déplacements pour échantillonnages.

### 1.3. Stratégie globale d'obtention de la salubrité

#### 1.3.1. Fixation du niveau d'effort en faveur de la salubrité

Pour définir la meilleure stratégie de protection des consommateurs, et doser au mieux l'effort à consentir, il faudrait disposer de courbes de coût/efficacité.





Dans une stratégie donnée, on peut admettre, pour l'efficacité des mesures, la loi générale des rendements décroissants des facteurs de production. Au delà d'un certain effort, les mesures prises peuvent coûter plus qu'elles ne rapportent ; en particulier l'objectif d'une garantie de salubrité de 100 % serait irréaliste et extrêmement coûteux.

Dans l'analyse des coûts d'une mesure, il faut bien prendre en compte les différents niveaux d'intervention. Selon le niveau et la stratégie retenue, on remarquera que le coût n'incombe pas aux mêmes :

- coût des études de mise en place de la mesure : ainsi, le découpage précis du littoral en zones salubres et insalubres demandera à l'IFREMER un effort d'échantillonnage important.

- coût d'application de la mesure elle-même : coût d'une station d'épuration pour les fauteurs de pollution, coût d'établissements d'expédition... pour la profession.

- coût du contrôle de l'application de la réglementation, par visites d'inspection, échantillonnages... pour les administrations ou établissements publics.

Si le coût des mesures de salubrité des coquillages peut être évalué, il n'en va pas de même de leur efficacité. Cette efficacité dépend directement du nombre de malades par suite de la consommation de coquillages insalubres. Or les enquêtes épidémiologiques sur ce thème font actuellement défaut, et les statistiques de santé publique ne prennent pas en compte ces troubles les plus souvent mineurs. Une composante indirecte de l'efficacité des mesures est l'incidence sur le chiffre d'affaires de la profession conchylicole de l'image de marque des produits. Là encore une enquête permettrait de l'établir.

Cette méconnaissance de l'effet des mesures visant à la qualité des produits directement sur les consommateurs et par retour sur les producteurs est une limitation sérieuse à un choix raisonné de mesures en faveur de la qualité des coquillages, et mériterait une attention particulière.



### 1.3.2. Répartition de cet effort

La commercialisation est l'aboutissement d'un certain nombre d'opérations, dans le milieu marin (pêche ou élevage), puis à terre (conditionnement, expédition, transport), au cours desquelles les coquillages peuvent devenir insalubres. La protection des consommateurs repose sur un ensemble des réglementations et de contrôles par échantillonnage aux différentes étapes du circuit des produits.

L'un des choix de base à opérer est celui du niveau privilégié d'intervention : certains pays (Espagne, Italie) ont adopté la solution d'un certain laisser-faire au niveau du milieu naturel, et en contre-partie d'un traitement de 100 % de la production de coquillages dans des stations de purification. En France, à la suite du décret de 1939, 220 zones du littoral ont été déclarées impropres à l'élevage, le reste étant présumé salubre. Cependant, l'urbanisation ou le développement d'activités agricoles ou industrielles ont rendu insalubres au regard des critères initiaux (80 % de dénombrements de coliformes fécaux inférieurs à 300/ml de chair de coquillage sur 26 analyses annuelles) certains secteurs d'élevage (exemple Baie de Morlaix). Il est donc nécessaire de faire évoluer la réglementation, pour permettre un maintien de l'activité d'élevage dans ces secteurs. Cette évolution ne peut que repousser les niveaux bactériens admissibles en zone d'élevage, pour tenir compte de la situation actuelle, et en compensation imposer un traitement à terre des produits issus de ces zones, garant de la protection des consommateurs.

Entre un traitement unique et maximum des coquillages de toutes provenances, et un traitement modulé en fonction du degré de contamination effectif du secteur d'origine des coquillages, la deuxième solution apparaît plus adaptée au contexte français. En effet, la plupart des établissements d'élevage sont déjà équipés de bassins insubmersibles, développés initialement dans la région de Marennes-Oléron pour obtenir un "dégorgement" des particules de vase présentes dans les huîtres : ces dégorgeoirs individuels permettent une épuration bactérienne suffisante dans les secteurs salubres ou peu contaminés (Degrange, 1981). Quant aux coquillages épurables de secteurs plus contaminés, ils seraient justi-



ciables d'un traitement plus poussé et mieux contrôlé dans des stations de décontamination bactérienne du type de celles existantes.

Le morcellement de ces stations de traitement, simples dégorgeoirs ou stations de purification, est coûteux pour les producteurs et alourdit leur contrôle. La mise en place d'une nouvelle réglementation pourrait être mise à profit par les éleveurs des régions sous-équipées en stations de traitement de coquillages (Bretagne, Normandie), pour créer des stations communes de grande capacité, pouvant bénéficier d'un financement élargi.

Le principe étant admis de l'existence de zones du littoral dont les coquillages seront assujettis à un traitement différencié, il convient de définir la meilleure stratégie aboutissant au classement effectif de chaque zone et à son découpage éventuel en secteurs différemment classés.

La difficulté principale tient à l'existence de grandes fluctuations dans la qualité bactériologique des eaux et des coquillages, dans l'espace et dans le temps. D'autre part, la décision de classement doit s'appuyer sur un certain nombre de connaissances ou d'hypothèses aujourd'hui insuffisamment étayées :

- effet sur les consommateurs de coquillages de différents niveaux de contamination bactérienne

- définition du risque admis (pourcentage de consommateurs malades ou nombre de malades par tonne)

- effet de différents traitements décontaminants (dégorgeoirs, stations de purification) sur la qualité bactériologique des coquillages (cinétique de décontamination).

Pour des raisons pratiques, le classement dans le temps doit être fixe à court terme (quelques années), ce qui n'exclut pas des déclassements temporaires. Pour les mêmes raisons, le découpage spatial ne doit pas aboutir à un trop grand nombre de secteurs de classement différent dans une même zone d'élevage.



Le choix de la finesse du découpage revient à décider quelle partie doit supporter l'effort principal, entre d'une part l'étude et le contrôle du littoral, et d'autre part, le traitement des produits à terre. Un classement "grossier" d'une zone d'élevage consistant à classer toute la zone sur la base des seuls résultats les plus défavorables suppose un effort d'échantillonnage et d'analyse modéré, mais impose un traitement superflu à certains secteurs de la zone. A l'opposé, un découpage très fin nécessitera une étude lourde de la répartition de la pollution bactérienne sur l'ensemble de la zone, mais minimisera les dépenses de traitement à terre des produits en définissant pour chaque secteur le traitement juste suffisant.

Ce choix ne peut donc s'opérer qu'en évaluant pour chaque alternative les coûts respectifs du contrôle du littoral et du traitement à terre des produits.

Dans tous les cas, l'impossibilité de contrôler l'origine des coquillages en cours de traitement à terre implique une responsabilité des professionnels vis à vis du traitement à mettre en oeuvre et de la qualité de leur production, corroborée d'ailleurs par les textes législatifs actuels.

#### 1.4. Stratégies d'échantillonnage dans le milieu naturel

Ces échantillonnages peuvent avoir 3 fonctions principales :

- étude de classements des zones du littoral, en fonction de critères d'insalubrités durables (bactériologie ou micropolluants)
- contrôle de routine dans le milieu naturel
- contrôle des populations phytoplanctoniques pour déceler les risques d'insalubrité temporaire (biotoxines).

##### 1.4.1. Reclassement de zones du littoral

Ce reclassement, dont la nécessité a été rappelée précédemment, repose sur l'étude de la répartition de pollutions éventuelles susceptibles



d'affecter des gisements des mollusques, dans le temps et surtout dans l'espace, à partir d'échantillonnages d'eau ou de coquillages.

a) Critères bactériologiques

S'il s'agissait de définir la teneur bactérienne moyenne des coquillages d'une zone sur une année, les méthodes d'échantillonnage classique seraient adaptées. On pourrait par exemple réaliser un échantillonnage systématique dans le temps (ex. tous les 15 jours), en prélevant à chaque fois en des points répartis de manière aléatoire.

Dans le cas présent, l'échantillonnage doit répondre à certaines spécificités :

- nécessité d'attribuer un résultat à chacun des secteurs de la zone, afin de réaliser une cartographie exhaustive.

- caractérisation de chaque secteur non par son niveau moyen en coliformes fécaux, mais par les plus mauvais résultats susceptibles de l'affecter, sur plusieurs années.

De ces spécificités découle une stratégie d'échantillonnage spécifique et un mode d'interprétation des résultats particulier.

En pratique, devant une zone à étudiée, on devra fixer l'effort d'échantillonnage et d'analyse à consentir, en tenant compte à la fois des moyens disponibles et des contraintes de gestion qui interdisent un découpage trop fin et donc rendent inutile une étude spatiale très poussée. Si l'une ou l'autre de ces limitations conduisent à priori à ne pas subdiviser le secteur étudié, le plan d'échantillonnage visera à une recherche raisonnée du plus mauvais résultat du secteur. On pourrait convenir de standardiser l'effort dans cette recherche à, par exemple, 10 séries d'analyses par an (périodes de pluie, afflux touristique...) sur au moins 3 stations (proximités de rivières, campings, rejets d'eaux usées...). Dans cette hypothèse, le plus mauvais résultat de l'année servira à classer la zone (sous réserve d'une vérification de vraisemblance de cette valeur à définir). Si au contraire il est envisageable de subdiviser la zone, une étude plus poussée de répartition



spatiale sera nécessaire pour fixer les limites entre les secteurs différemment classés. Un plan d'échantillonnage systématique (quadrillage) ou stratifié en fonction de la connaissance préalable de la zone sera à mettre en oeuvre sur une durée d'au moins un an. Au terme de cette étude, le tracé des limites entre classes sera fait dans le sens de la sécurité pour le consommateur (entre 2 stations, la valeur présumée doit être la plus mauvaise des deux).

Par rapport à une stratégie classique reposant sur des données représentatives, l'avantage essentiel d'une stratégie empirique basée sur la recherche des maxima, est l'allègement considérable de l'effort d'échantillonnage.

#### b) Micropolluants

Les coquillages intégrant sur une longue période les teneurs fluctuantes de l'eau, cette mesure est à réaliser sur la chair de coquillages et non sur l'eau, afin d'éviter ces problèmes de variabilité.

Les prélèvements RNO sont-ils suffisants pour attester de la salubrité des zones conchylicoles ? Il conviendrait de s'assurer que toutes les zones de production conchylicole sont couvertes, et à l'intérieur de ces zones spécialement les points les plus suspects (proximité de rivières, d'agglomération...). Une préétude peut donc être nécessaire, en complément des résultats RNO existants pour définir la variabilité spatiale et temporelle des teneurs en micropolluants dans certaines zones sensibles.

#### 1.4.2. Contrôles de routine

Une fois réalisé un classement du littoral en différentes catégories, un contrôle de routine allégé peut suffire à valider ce classement sur le long terme, ou à déceler des évolutions.

#### a) Bactériologie

Les connaissances antérieures ou les études de classement ayant permis de déceler les points et les périodes les plus sensibles, 4 ou 5



séries de prélèvements par an sur ces points devraient suffire à déclasser la zone en cas de franchissement de seuil, ou à la reclasser au bout de plusieurs années de résultats favorables.

Toute autre stratégie ne permet pas d'atteindre l'objectif assigné au contrôle de routine. En particulier, mettre en place un réseau de points fixes, à échantillonner à intervalle rapproché comme il est envisagé, nous paraît coûteux et injustifié.

Le contrôle de routine, comme les études de classements de zones, doit donc se faire en des lieux et moments choisis, et non pas représentatifs de la zone, puisque le résultat significatif n'est pas le résultat moyen de la zone, mais le plus mauvais résultat.

#### b) Micropolluants

La définition de la salubrité des zones conchylicoles ayant pris en compte les teneurs en micropolluants, et les résultats passés permettant de connaître les niveaux moyens et les fluctuations saisonnières, les contrôles de routine peuvent être très limités.

Une analyse trimestrielle dans les secteurs où ont été mesurées certaines valeurs se rapprochant de seuils critiques est souhaitable. Dans les secteurs indemnes de toute pollution, un contrôle annuel semble suffisant.

#### 1.4.3. Contrôle des eaux colorées (et biotoxines)

"Les stations de prélèvement ont été réparties le long du littoral en tenant compte à la fois de l'importance des cheptels en élevage, des zones historiquement favorables à l'apparition de dinoflagellés et d'un besoin de répartition géographique homogène" (Berthomé et al., 1985).

Le nombre de points de prélèvement va de 30, suivis une fois par mois d'octobre à mai et 2 fois par mois de juin à septembre, en routine, à 68 suivis au moins hebdomadairement, en cas d'alerte.



L'effort de suivi de routine ne peut être justifié que s'il est efficace dans la détection des phénomènes d'eaux colorées, et s'il est en rapport avec le risque. L'aptitude du réseau de points existant à déceler les "nappes" d'eaux colorées dépend de leur extension dans le temps et dans l'espace. Plus ces phénomènes peuvent être localisés et de courte durée (mais suffisante pour rendre toxiques les coquillages consommateurs) plus la probabilité de ne pas les déceler est grande. Ainsi, si un bloom de dinoflagellés ne touche un point que durant une semaine, la probabilité n'est que de 50 % de le déceler à raison d'un prélèvement par quinzaine. De même, si ce bloom ne couvre que 10 % du bassin le jour de la mesure, la probabilité de ne pas le déceler avec 4 points de prélèvement par exemple est grande (ici  $(1 - 0,1)^4 = 0,66$ ). L'adéquation entre la maille du réseau spatio-temporel de suivi, et l'étendue du phénomène à déceler peut être déterminée de 2 manières :

- à priori, par un prééchantillon permettant de connaître la durée et l'extension de plusieurs blooms de dinoflagellés. L'aire moyenne couverte par un point de surveillance doit être inférieure à l'étendue de la plupart des nappes de dinoflagellés. L'intervalle entre deux prélèvements successifs doit être inférieur à la durée moyenne du phénomène.

- à posteriori, en considérant le nombre de cas d'alertes déclenchées par le réseau de routine, par rapport aux cas non décelés ou décelés par une autre source.

Sur le plan quantitatif, il est évident que le nombre de dinoflagellés dans un prélèvement en un point ne peut être étroitement corrélé à la toxicité de coquillages au voisinage de ce point (tests souris) en raison de la variabilité spatio-temporelle évoquée ci-dessus. La mise au point de techniques de dosage direct de la toxine dans les mollusques permettrait de résoudre ces problèmes de variabilité temporelle.

La surveillance hivernale peut paraître injustifiée, si l'on considère le risque à cette période.

Le système d'alerte et de fermeture des secteurs dangereux a permis à partir de 1984 une diminution considérable du nombre de cas de gastro-



entérites en France. L'efficacité de la surveillance de routine dans le déclenchement des alertes peut par contre être mise en cause, et mérite pour le moins un examen attentif.

### 1.5. Stratégies d'échantillonnages dans les établissements à terre

Ce contrôle est fait actuellement par l'IFREMER dans les différents types d'établissements à terre :

- établissements ostréicoles d'élevage ou d'expédition, très nombreux dans certaines régions (plus de 1 000 en Charente-Maritime), munis de dégorgeoirs dans lesquels stabulent des huîtres provenant de zones salubres. Un élément de contrôle essentiel est le fonctionnement du dégorgeoir et en particulier la qualité de l'eau d'entrée, spécialement quand un même marais ou chenal alimente un grand nombre d'établissements, comme c'est le cas fréquemment dans le secteur de Marennes-Oléron (Prou et Faury, 1980 ; Inspection de la Tremblade, 1982).

- station de purification de coquillages insalubres, d'origine française ou étrangère. Ces stations doivent subir un contrôle particulier, portant autant sur le bon fonctionnement des systèmes de traitement et le respect des normes (durée, doses...), que sur les coquillages eux-mêmes.

- station d'entreposage de coquillages d'origine étrangère, pour des raisons zoosanitaires. Ces coquillages présentent peu de risques d'insalubrité, étant accompagnés de certificats d'origines salubres reconnus par la France. L'entreposage a en outre un effet d'épuration.

L'effort de contrôle des établissements est à répartir dans l'espace (entre les établissements) et dans le temps.

Un nombre minimum de contrôles peut être jugé nécessaire, pour assurer une fonction d'avis et de conseil par un organisme scientifique : on peut l'estimer à un contrôle par Etablissement et par an, réparti uniformément entre les établissements, et régulièrement dans le temps.



Au-delà de cet effort minimum uniforme, la répartition de l'effort résiduel entre les lots commercialisés mensuellement par chaque établissement devrait être basée sur une estimation du risque associé à chaque lot, proportionnelle à la taille du lot et à son degré de contamination potentielle. Les quantités commercialisées sont connues à l'avance par la délivrance des étiquettes sanitaires. Le risque d'insalubrité de chaque lot peut être apprécié par les contrôleurs du C.S.R.U. en fonction des résultats passés de l'établissement, et de leur connaissance personnelle de la nature et de l'origine des produits, et du sérieux de l'exploitant.

Le choix du nombre d'individus et leur mode de sélection dans l'établissement ne paraissent pas soulever de difficulté. En cas de nécessité, une optimisation fondée sur les techniques classiques de l'échantillonnage pourrait être mise en oeuvre.

Au total, le contrôle des établissements à terre nous paraît, dans la situation actuelle, excessif relativement au risque et mal réparti : dans certaines régions, le contrôle des établissements ostréicoles absorbe la plus grande partie de l'effort d'analyse des laboratoires, alors qu'ils sont responsables d'un nombre minime de cas d'insalubrité.

#### 1.6. Contrôle des produits sur les marchés

Ce contrôle est exercé sur les différents marchés par les Services Vétérinaires, tant sur les produits français que sur les produits d'importation.

Il peut mettre en évidence une carence sanitaire dans le transport ou le conditionnement, ou plus fréquemment jouer le rôle de contrôle supplémentaire de la qualité des produits à la sortie de l'établissement d'origine.

Une bonne stratégie devrait donc s'appuyer sur des études approfondies par asseoir la réglementation, un contrôle allégé, et une dissuasion sévère des infractions. En aucun cas un effort d'échantil-



l'onnage accru ne peut pallier une insuffisance dans la réglementation ou dans son application. Des améliorations paraissent nécessaires principalement dans le classement des zones conchyliques, la réglementation des installations à terre, la réglementation de la pêche à pied. L'impact de ces mesures doit être quantifié par enquêtes et sondages.

## 2. GESTION DES CHEPTELS CONCHYLICOLES

La conchyliculture en milieu ouvert repose sur l'exploitation d'une ressource naturelle limitée, le phytoplancton, ou plus généralement l'ensemble des éléments nutritifs du site. Les éleveurs ont une certaine maîtrise du taux d'exploitation de cette ressource, par l'intermédiaire du recrutement (captage ou achat de naissain), de la répartition spatiale des stocks, des techniques de culture....

La recherche scientifique doit permettre d'une part de conseiller la profession et l'administration pour une exploitation optimale de la ressource et d'autre part de prévoir les conséquences sur les cheptels de modifications éventuelles de l'environnement (travaux...).

Nous tenterons de déterminer la nature des paramètres à suivre et les stratégies d'échantillonnages à appliquer pour répondre à ces objectifs, à la lumière des programmes développés au laboratoire de La Tremblade principalement.

Ce chapitre 2 se limitera aux données quantitatives et qualitatives sur le cheptel (stocks, productions, croissance, mortalités...). Le chapitre suivant prendra en compte la connaissance du milieu comme élément de gestion supplémentaire.

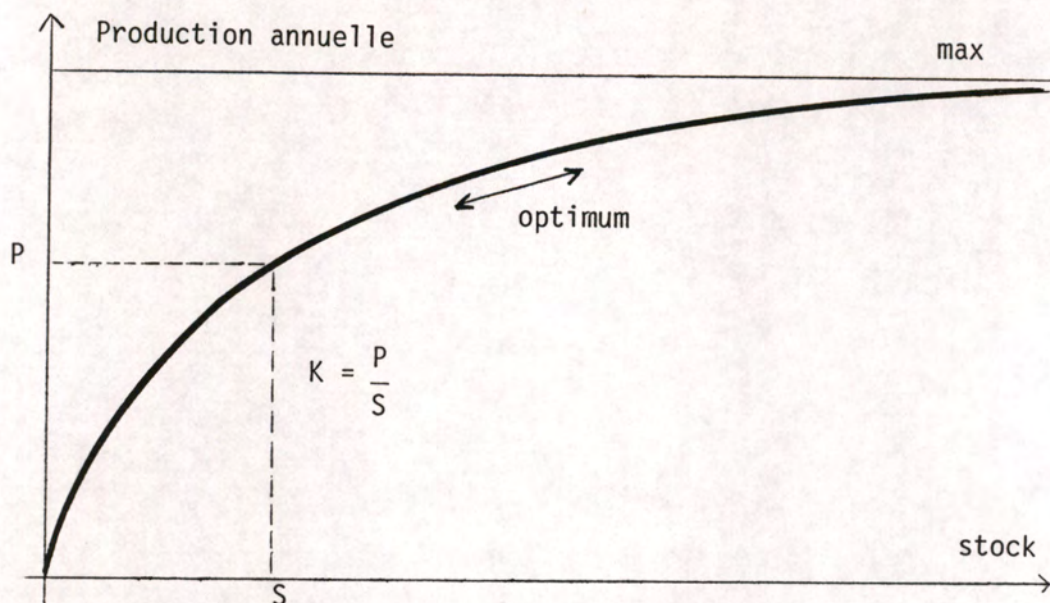
Le tableau 2, en fin de rapport, présente les principaux suivis réalisés sur les cheptels conchyliques, le long du littoral français.

### 2.1. Estimations quantitatives

La meilleure illustration de l'importance des études quantitatives sur l'état des stocks et des productions d'un bassin conchylique est la courbe figurant la relation entre le stock d'huîtres et la production du



bassin de Marennes-Oléron, sur les 90 dernières années (Laboratoire National Ecosystèmes Conchylicoles, 1986).



Au-delà d'une certaine biomasse en élevage, la production n'augmente plus proportionnellement et tend vers une limite asymptotique liée à la limitation de la ressource nutritive. Seule la connaissance de la forme de cette courbe peut permettre de définir le niveau optimum au-delà duquel les dépenses marginales liées à une petite augmentation de stock dépassent le produit marginal.

#### 2.1.1. Etudes historiques

Dans les cas favorables, cette courbe peut être obtenue par dépouillement et analyse de données passées, à condition qu'il y ait eu sur la période analysée de grandes variations de stocks. Les données nécessaires sont :

- les ventes annuelles à partir des seules productions du bassin. La donnée la plus significative serait la production biologique (répartie sur toutes les classes d'âge), mais sur plusieurs années, il s'établit obligatoirement un équilibre entre production biologique et production commercialisée.

- La vitesse de croissance et le taux de mortalité moyens pour chaque classe d'âge et chaque année.



A partir de ces données, un calcul à rebours permet aisément de calculer l'importance numérique et pondérale de chaque classe d'âge et donc les stocks annuels ainsi que la production biologique.

L'intérêt principal de l'analyse historique est de mettre en évidence le concept de surcharge, et de fournir une indication de tendance pour la relation entre le stock et la production de mollusques cultivés.

Cependant la méthode utilisée ne peut pas être employée pour le calcul des stocks et des productions actuels : en effet, elle suppose le suivi de la croissance et de la mortalité de catégories non identifiables à l'avance, car ne correspondant ni à des classes de taille, ni à des classes d'âge bien définies (l'ensemble des individus qui sera vendu la même année). De plus, elle ne fournirait le stock de l'année en cours qu'une fois entièrement commercialisé, c'est à dire 3 ou 4 années plus tard dans certains cas.

De plus, la courbe stock-production ainsi établie est à utiliser avec prudence : reposant sur des évaluations de ventes, transferts, croissances, mortalités passées imprécises, elle est nécessairement d'une grande imprécision. D'autre part, elle reflète les conditions de milieu passées. Une approche concurrente, basée sur un calcul du potentiel trophique du bassin étudié, sera présentée dans le paragraphe 3.

Pour les années présentes et à venir, on déterminera directement les stocks au moins une fois par an, dans les principaux bassins (§ 2.1.2.) et on calculera la production biologique soit directement à partir des données de croissance et de mortalité, soit indirectement en utilisant une information extérieure sur les ventes et les transferts (§ 2.1.3., 2.1.4., 2.1.5.).

## 2.1.2. Estimation des stocks et du recrutement

### 2.1.2.1. Stocks

L'objectif essentiel de l'étude des stocks de mollusques cultivés d'un bassin est donc de déterminer le niveau de surexploitation des ressources



trophiques du bassin, le meilleur indicateur de ce niveau étant le taux de production des mollusques en élevage, rapport de la production biologique annuelle au stock moyen (figure 2). Cette surexploitation peut être en partie le fait de mollusques non cultivés ou d'autres espèces de compétiteurs benthiques ou planctoniques (zooplancton). Il est donc nécessaire d'estimer les stocks et les consommations de ces compétiteurs, parallèlement.

L'estimation des stocks d'huîtres en élevage est actuellement réalisée en routine sur l'étang de Thau, à Arcachon, à Marennes-Oléron et en baie de Bourgneuf.

a. Stocks découvrants :

La technique d'échantillonnage et les calculs statistiques applicables aux stocks d'huîtres découvrants ont été déterminés par C. Bacher (1984) à la suite d'une étude préliminaire par Latour (1983).

La méthode la plus simple serait un échantillonnage aléatoire simple consistant à tirer au hasard, sur la surface totale concédée, un certain nombre d'unités élémentaires de  $1 \text{ m}^2$ .

Le regroupement de ces unités élémentaires d'échantillonnage au sein d'unités primaires ou grappes plus importantes permet une économie de déplacements. Les calculs d'optimisation pour le bassin de Marennes-Oléron prenant en compte en outre les variances intra et inter unités primaires aboutissent à un groupement de 2 à 3 unités secondaires par unité primaire de 1 ha.

La technique la plus utilisée pour réduire la variance entre unités est la stratification. Le premier critère de stratification retenu est le découpage du bassin en grandes zones naturelles correspondant à des bancs différents. Un deuxième critère de stratification intéressant est le type cultural (élevage à plat ou en surélevé, poches ou collecteurs). La couverture exhaustive du bassin par photos aériennes au 1/10 000ème permet d'une part de disposer de surfaces exploitées au lieu de surfaces concédées, et d'autre part de déterminer avec une bonne précision la taille des strates "plat" (en  $\text{m}^2$ ) et "surélevé" (en m



linéaire), à partir d'un tirage de points régulièrement espacés sur photos (échantillonnage systématique). Un échantillonnage aléatoire simple de photos à plus basse altitude (1/1500ème environ), permet en outre d'établir le pourcentage de poches et de collecteurs, parmi le surélevé. L'exploitation des photos aériennes ayant fourni la taille des strates (plat, poches, collecteurs), l'échantillonnage de terrain peut alors se limiter à la détermination des densités (poids par  $m^2$  ou  $m$  linéaire), sur les points tirés. Une stratification supplémentaire sur le terrain (exemple 2 classes de taille d'huîtres en poches, ou collecteurs 1 an/collecteurs 2 ans) peut présenter un intérêt intrinsèque et éventuellement réduire la variance, mais rend nécessaire à nouveau une détermination de longueurs sur le terrain, pour déterminer la taille des strates respectives. La décomposition du stock en classes de taille permet une prévision intéressante des quantités vendables en fin d'année et, avec une moins bonne précision, les années suivantes.

La détermination automatique des taux d'exploitation de l'élevage en surélevé (nombre de  $m$  cultivés par ha) et éventuellement la séparation entre poches et collecteurs, à partir de photos aériennes basse altitude ou d'images vidéo, numérisées, actuellement à l'étude, permettrait d'épargner une phase de dépouillement manuel longue et fastidieuse.

On dispose donc d'une panoplie de moyens, des plus simples aux plus sophistiqués (exploitation manuelle de photos aériennes à différentes altitudes, traitement d'images par ordinateur, échantillonnage de terrain) pour déterminer la biomasse exploitée globale ou par classe de taille. Ces moyens pouvant en partie se substituer les uns aux autres, il est indispensable de calculer la meilleure allocation de l'effort global, pour une précision donnée, ainsi que la courbe de précision en fonction de l'effort consenti.

L'estimation des stocks découvrants de moules sur pieux (bouchots) se limite en Bretagne (Baie du Mont St Michel) au simple comptage du nombre de pieux en culture au mois d'avril, avant le nouveau captage. Cette technique ne fournit pas véritablement les stocks, mais la production de la campagne à venir, après enquête auprès des professionnels sur la production moyenne d'un pieu. Une estimation des stocks de moules cultivées sur pieux dans le bassin de Marennes-Oléron a été faite en 1984-1985 par échantillonnage stratifié (haut, milieu, bas)



de sections de pieux. Une évaluation des stocks de moules sur bouchots est prévue en Baie de l'Aiguillon à partir de 1987, basée sur des estimations indépendantes de chacun des 4 termes du produit :

$$\text{stock} : N \times \bar{L} \times \bar{S} \times \bar{d}, \text{ avec}$$

N : Nombre de pieux

$\bar{L}$  : Longueur moyenne occupée par des moules, sur 1 pieu

$\bar{S}$  : Section nette de moules, moyenne

$\bar{d}$  : Densité moyenne des moules en place

Cette méthode présente l'avantage de réduire au maximum le nombre de prélèvements à réaliser sur les pieux.

#### b. Stocks immergés :

Les stocks en culture sur corde, de l'étang de Thau en particulier, sont estimés en 2 étapes :

- estimation du nombre de cordes de chaque type (moules, huîtres plates, huîtres creuses collées individuellement ou en lots) par échantillonnage en plongée, stratifié selon la profondeur du bassin, et à 2 degrés (1er degré = tables de culture).

- estimation du poids moyen de chaque type de corde par pesée d'échantillons de cordes ou groupes de cordes, à terre, chez les professionnels.

Des estimations supplémentaires seront réalisées en cours d'année à partir de 1987, afin d'estimer le nombre de cordes nouvellement entrées ou récemment sorties du bassin (voir § production).

Les stocks en culture sur le fond peuvent être estimés au moyen de dragages expérimentaux. La méthode a été appliquée en 1987 aux stocks naturels de moules de la Baie de Bourgneuf par tirage aléatoire simple d'unités primaires de 250 m x 250 m à l'intérieur de l'aire de répartition spécifiée par les pêcheurs, et tirage d'une unité secondaire de dragage, dans chaque unité primaire.



Une étude de l'estimation des stocks profonds d'huîtres en Bretagne est également menée par le laboratoire de la Trinité, associant les techniques de drague expérimentale, de plongée et de vidéo.

#### 2.1.2.2. Recrutement

Dans les secteurs où existe un captage naturel de naissain d'huîtres, l'IFREMER apporte à la profession une aide appréciée dans l'estimation de la période optimale de pose des collecteurs, par le biais du comptage de larves dans des échantillons d'eau. Des décisions sont à prendre concernant la date de début et de fin de campagne, la fréquence des prélèvements, et leur localisation.

Le début de la campagne de prélèvements peut être déterminé par les somme de température des mois précédents. La stratégie d'échantillonnage optimale dépend de l'objectif recherché :

- s'il s'agit d'un simple diagnostic de présence/absence, les prélèvements doivent être rapprochés (hebdomadaires) jusqu'à l'apparition des premières larves donnant ainsi le signal de pose des collecteurs. A ce moment, ils peuvent être espacés jusqu'à disparition des larves. Le nombre de points de prélèvement dépend de la dispersion des larves, en fonction des stocks de géniteurs, des courants, des marées... Il peut être optimisé à partir des données des années passées.

- La détermination d'un indice d'abondance et de survie larvaire dans un objectif d'estimation du recrutement demanderait un effort d'échantillonnage beaucoup plus important. Le nombre de larves par litre d'eau doit en effet fluctuer considérablement dans l'espace et dans le temps (proximité du lieu et du moment de ponte...). Les données passées peuvent à nouveau donner une indication de ces variations, et du nombre d'échantillons qui serait nécessaire pour une estimation juste et précise.

Le suivi actuel tente de remplir ces 2 objectifs : les 2 prélèvements par semaine réalisés dans les secteurs de La Rochelle, Marennes-Oléron et Arcachon, en plusieurs points, représentent une lourde charge de travail en période estivale, pour une estimation quantitative illusoire. Il



paraît souhaitable, en accord avec la profession de limiter le suivi de routine à un objectif de présence/absence, des études quantitatives plus complètes pouvant être menées par ailleurs dans le cadre du programme sur le déterminisme du recrutement.

Ultérieurement, au moment de l'étude des stocks dans ces secteurs à captage naturel, l'estimation de la classe d'âge la plus jeune, est particulièrement importante, car elle est le point de départ de toute la production française.

### 2.1.3. Transferts inter-bassins et ventes finales

La détermination de la production biologique annuelle d'un bassin nécessite la connaissance des "entrées" et des "sorties" du bassin, en cours d'année, constituées par les transferts et les ventes finales.

Les transferts entre bassins répondent à deux objectifs principaux :

- transfert de naissain ou de demi-élevage (collecteurs) depuis les zones de captage jusqu'aux zones d'engraissement. Ainsi, de Marennes-Oléron et Arcachon, vers la Bretagne et Normandie où le captage naturel d'huîtres creuses ne se fait pas.

- transfert à la taille commerciale vers les établissements d'expéditions de régions auxquelles est attachée une image de qualité (Marennes-Oléron, spécialement).

#### a) Estimations à partir des transactions à terre

Des bons de transports à viser par l'IFREMER ont été rendus obligatoires pour tout transport en vrac hors de la commune d'origine des produits, dans le but de contrôler les conditions sanitaires du transport. Cependant, le contrôle de ces transports s'est révélé une trop lourde charge, les informations fournies par ce système devant alors sujettes à cautions et inexploitable.

Une solution envisagée est de libéraliser les transports entre communes d'une même région d'élevage, et d'exercer un contrôle effectif



sur les transferts inter-bassins, les seuls importants en termes de calculs de production par bassin.

La seule source d'information actuelle sur les ventes finales d'une région donnée est le nombre d'étiquettes de salubrité achetées par les établissements de la région, dans les différents points de vente tenus par l'IFREMER. Cependant, cette donnée est entachée d'imprécision ou de biais importants :

- non prise en compte de l'auto-consommation par les producteurs et leurs familles

- fraude éventuelle par transport et vente de colis sans étiquettes

- vente directe sur les marchés ou dans les établissements, les mêmes étiquettes pouvant aisément servir à plusieurs lots

- variations dans le poids unitaire des colis

Seule une étude spécialisée associant enquêtes, sondages et contrôles de terrain permettrait de fournir une estimation de ces biais.

#### b) Estimations par enquêtes

Des enquêtes spécialisées auprès des producteurs de chaque région peuvent fournir des estimations de ces mouvements de naissain et d'animaux à la taille commerciale, ainsi que des ventes finales.

Des enquêtes de consommation peuvent aussi permettre de vérifier le cumul de ces données au plan national.

#### c) Estimations sur les lieux d'élevage

Les entrées ou sorties de naissain d'une région peuvent être estimées par différence entre les estimations de stock de chaque classe de taille et leur montant théorique calculé à partir de la croissance et de la mortalité de la classe immédiatement inférieure, de l'année précédente.



L'estimation de la classe de taille la plus grande, dans les stocks annuels, permet d'évaluer les quantités vendables chaque année, à partir des productions locales.

d) Recoupement de statistiques (cf tableau 1)

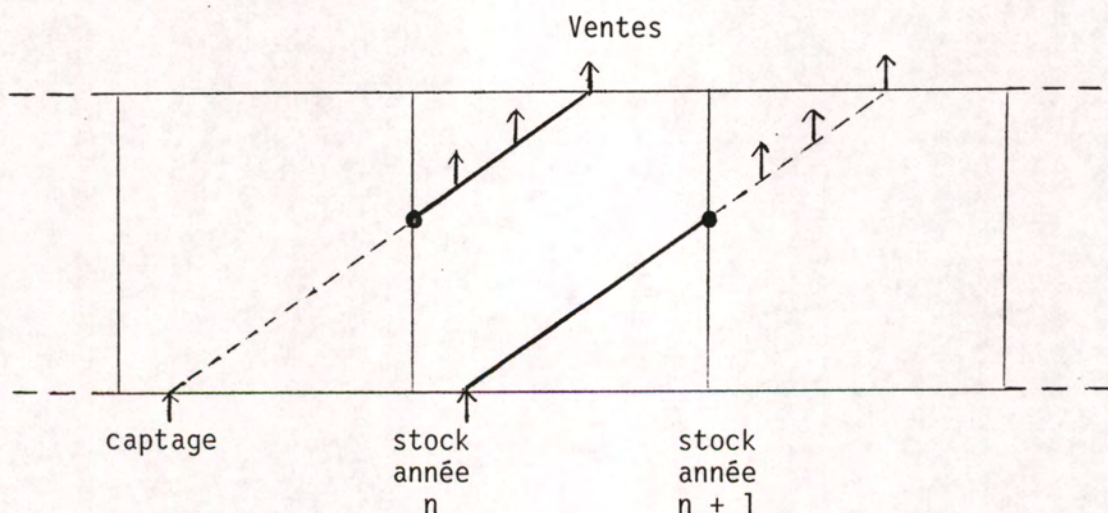
Pour chaque région, la différence entre les quantités vendables estimées à partir des stocks, et les quantités vendues selon les étiquettes sanitaires (corrigées de leur biais) fournit une estimation des transferts d'adultes à recouper avec les statistiques directes de bons de transports.

Le solde de tous les mouvements de stocks, au plan national doit être nul (somme des entrées = somme des sorties).

2.1.4. Production biologique

Les méthodes d'estimation de la production biologique sont à adapter au mode de culture, à la durée du cycle...

2.1.4.1. Cycle court (1 an), 1 recrutement par an :  
cas de moules sur pieux en Bretagne



La méthode la plus simple est de dénombrer les pieux occupés (une seule classe d'âge si la période est judicieusement choisie). Les ventes



de l'année seront obtenues en multipliant ce nombre de pieux par la récolte moyenne par pieu, obtenue par enquête ou par échantillonnage :

$$\text{Ventes} = \text{Nb pieux} \times \text{Recolte moyenne par pieu}$$

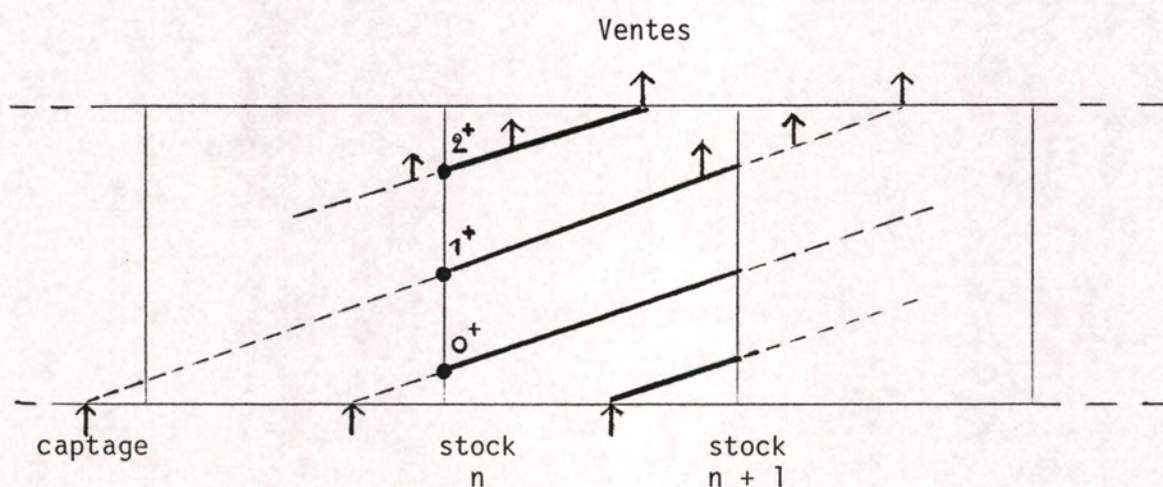
Cette technique simple qui ne nécessite pas d'estimation de poids de moules en culture permet d'établir la relation entre le nombre de pieux mis en élevage l'année  $n$  et les ventes de l'année  $n + 1$ .

Pour calculer la production biologique sur la période comprise entre 2 estimations de stock, il faudrait en outre estimer le poids moyen ( $P_m$ ) des pieux en culture.

$$\text{Prod. biol.} = \text{stock}(n + 1) - \text{stock}(n) + \text{ventes de l'année}$$

$$\text{avec stock} = \text{nb pieux} \times P_m \text{ pieu}$$

#### 2.1.4.2. Cycle moyen (2 ans) 1 recrutement par an cas des moules sur pieux en baie de l'Aiguillon



##### a) Estimation des ventes annuelles

On peut connaître le nombre de pieux en culture pour chaque classe d'âge : les pieux de l'année sont facilement repérables. Les pieux d'1 an ont été estimés par le même procédé l'année précédente. Le nombre de pieux de 2 ans est égal à la différence entre le nombre total de pieux occupés et le nombre des 2 catégories précédentes.



L'estimation de la production moyenne commercialisée dans l'année par pieu 1<sup>+</sup>an et par pieu 2<sup>+</sup>ans suppose une collecte des récoltes réalisées par les mytiliculteurs sur un échantillon de ces pieux, ou le recueil de ces données par enquête.

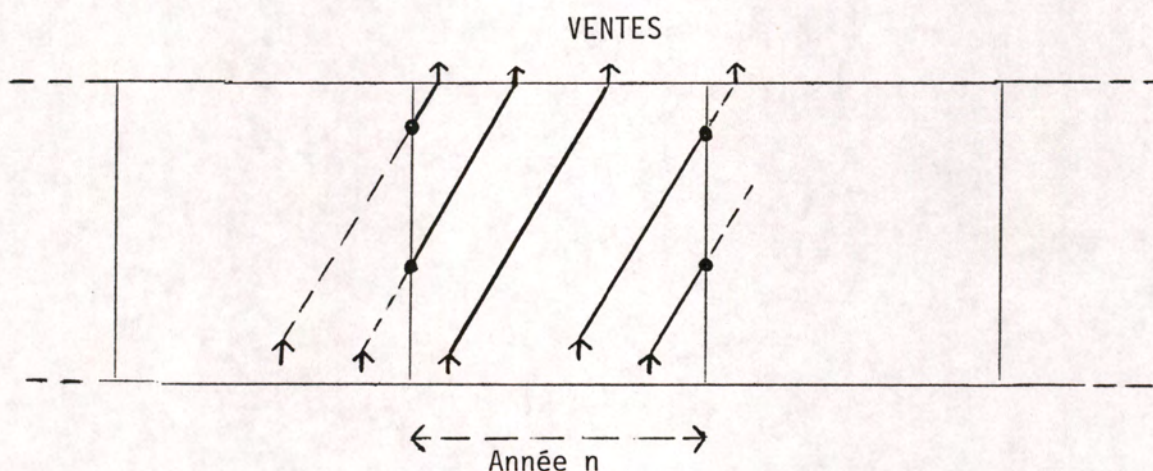
#### b) Production biologique annuelle

Pour calculer la production de l'ensemble des classes dans l'année, il faut disposer en plus d'une estimation des stocks en place.

$$\text{Prod. biol.} = \text{stock année } n+1 - \text{stock année } n + \text{ventes de l'année}$$

Il n'est pas possible de calculer directement l'augmentation de poids annuelle de chaque classe d'âge du fait de récoltes partielles réalisées sur certains pieux.

#### 2.1.4.3. Cycle court (1 à 2 ans), plusieurs recrutements par an (cas de l'étang de Thau)



#### a) Estimation des ventes annuelles

- Nombre de cordes récoltées par an

$$\begin{array}{l} \text{Nb cordes} \\ \text{récoltées} \end{array} = \begin{array}{l} \text{Nb cordes} \\ \text{année } n \end{array} - \begin{array}{l} \text{nb cordes} \\ \text{année } n+1 \end{array} + \begin{array}{l} \text{Nb cordes} \\ \text{nouvelles dans} \\ \text{l'année} \end{array}$$



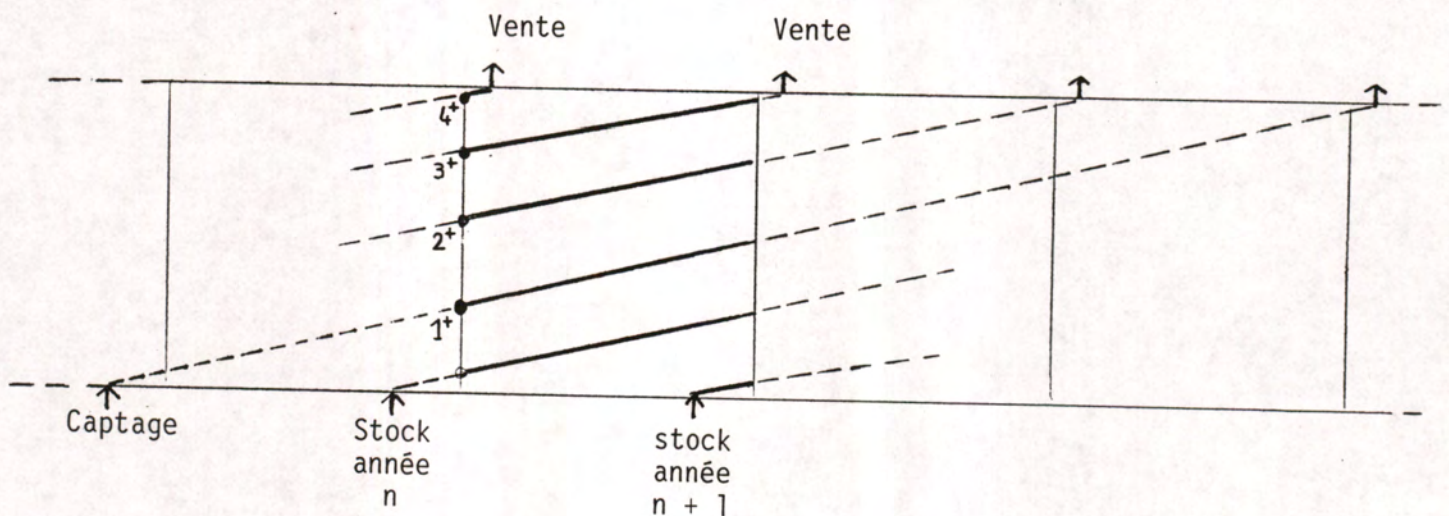
L'estimation du nombre total de cordes peut être faite au moment de l'étude annuelle des stocks en plongée. L'estimation du nombre de cordes nouvellement entrées dans l'année nécessitera des plongées supplémentaires.

- Poids moyen des cordes à la récolte : à obtenir par échantillonnage à terre, tout au long de l'année.

#### b) Production biologique

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Prod. biol.} & = & \text{stock} & - & \text{stock} & - & \text{Entrées} & + & \text{Ventes} \\ & & \text{année} & & \text{année} & & \text{dans} & & \text{de} \\ & & n + 1 & & n & & \text{l'année} & & \text{l'année} \end{array}$$

#### 2.1.4.4. Cycle long (3-4 ans) ; 1 recrutement par an mais transferts ; cas de Marennes-Oléron



Deux méthodes de calcul de la production biologique de l'année sont utilisables.

#### a) Méthode indirecte

$$\begin{array}{ccccccc} \text{Prod. biol.} & = & \text{stock} & - & \text{stock} & - & \text{"entrées"} & + & \text{"sorties"} \\ \text{annuelle} & & \text{année} & & \text{année} & & \text{de} & & \text{de} \\ & & n + 1 & & n & & \text{l'année} & & \text{l'année} \end{array}$$



Les stocks doivent être estimés à la même période chaque année. Les entrées sont représentées par le naissain éventuellement, et surtout par les entrées d'animaux à la taille commerciale peu avant la vente, dans le cas de Marennes-Oléron. Les "sorties" comprennent les transferts de naissains et surtout les ventes finales en fin d'année.

L'utilisation de cette méthode suppose une source d'information extérieure sur les ventes et les transferts.

#### b) Méthode directe

On peut penser calculer la production biologique annuelle directement à partir de la croissance et de la mortalité mesurées pendant 1 an (ou durant leur temps de présence s'il est inférieur à 1 an), sur un échantillon de chacune des catégories identifiées lors de l'étude des stocks, et sur les classes introduites en cours d'année.

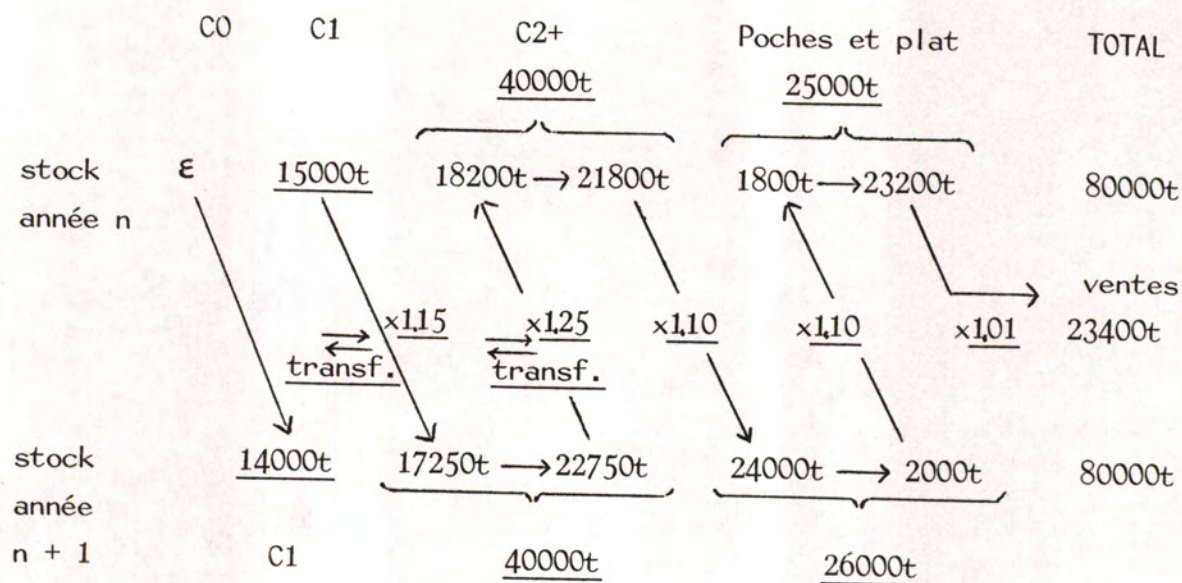
Plusieurs difficultés se présentent, outre celle d'obtenir pour chaque catégorie des valeurs de production représentatives de la valeur moyenne du bassin (voir § 2.1.5 b) :

- chaque classe identifiée au moment de l'étude des stocks n'a pas un devenir homogène sur l'année, ainsi, parmi les collecteurs de 2 ans, une partie seulement sera détournée et mise en poches ou à plat dans le courant de l'année, donnant un taux de production différent de la sous-classe restée sur collecteur. La taille de ces sous-classes à devenir homogène peut être estimée a posteriori, en se recalant sur les stocks de l'année suivante, à condition de disposer d'une estimation extérieure des transferts de naissain.

- La deuxième difficulté est d'estimer la production des catégories dont le temps de présence dans le bassin est inférieur à 1 an : le naissain transféré en cours d'année, et les lots vendus dans l'année.

La méthode proposée ci-après fournit (a posteriori), une estimation des ventes effectives réalisées à partir des productions du bassin lui-même, et pas seulement des quantités vendables.





Les chiffres soulignés sont les données estimées par enquêtes ou estimations de terrain. Le sens des flèches indique l'ordre des calculs ; Les sous-classes distinguées, à devenir homogène sont :

- collecteurs d'1 an
- collecteurs de 2 ans restant sur collecteurs
- collecteurs de 2 ans passés en poches
- poches invendues
- poches vendues dans le courant de l'année

#### 2.1.5. Croissance et mortalité

Trois objectifs sont à distinguer, qui conduisent à des stratégies totalement différentes :

a) Suivi ponctuel d'un nombre limité de lots, en relation avec un ou plusieurs paramètres contrôlés ou mesurés. Exemples : comparaison de variétés différentes (expériences de génétique) ; comparaison de coefficients d'émersion différents dans une zone à marée ; comparaison de milieux différents. Le nombre de lots qu'il est nécessaire de suivre, pour mettre en évidence l'effet éventuel du paramètre étudié dépend de l'ampleur de cet effet et de la variabilité de réponse pour un même traitement (méthodes classiques de comparaison de moyennes ou d'analyse de variance). L'étude sur le terrain de l'influence du milieu sur la



croissance est particulière en ce sens que durant l'intervalle de temps nécessaire pour pouvoir mesurer une augmentation de poids significative (de l'ordre de 15 jours), le milieu fluctue considérablement, en particulier dans les zones à marée. Dans une telle étude, (1) on doit adopter une stratégie d'échantillonnage du milieu susceptible de fournir des valeurs moyennes représentatives (précises et non biaisées), (2) on doit faire l'hypothèse que c'est le niveau moyen de ces paramètres qui détermine la croissance et (3) il est nécessaire de trouver la même quinzaine en des lieux différents ou en un même lieu à des moments différents, des niveaux moyens très différents du paramètre que l'on veut étudier. Ainsi, les corrélations entre différents paramètres du milieu et la croissance des huîtres à Marennes-Oléron ont été établies essentiellement à partir du suivi sur plusieurs années, à raison d'une pesée tous les mois, d'échantillons situés en un seul point de bassin. Ce type d'expériences in situ peut être utilement complété par des expériences à terre où il est possible de contrôler en partie le milieu. Dans ces suivis, la technique de culture peut être identique ou non aux techniques utilisées par les professionnels, selon que l'on désire en tirer des résultats absolus, extrapolables à la réalité, ou que l'on ne s'intéresse qu'à l'aspect relatif des données. Ainsi l'effet niveau sur estran été mesuré à Marennes-Oléron dans des structures particulières (huîtres isolées individuellement), tandis que les mesures de consommation et biodépôts doivent se faire sous des poches normalement chargées et disposées.

Les protocoles de suivi (nature des paramètres mesurés, nombre de lots, fréquence...) sont donc à adapter, dans chaque cas en fonction du site et de l'objectif recherché.

b) Estimation représentatives des différents secteurs et des différentes catégories, afin d'en tirer la production biologique du bassin par la méthode directe. Ceci suppose :

- de réaliser un suivi de nombreux lots placés dans des conditions professionnelles, c'est à dire subissant les pratiques culturelles habituelles



- de faire subir à ces lots les déplacements les plus représentatifs de leur catégorie : en particulier, les secteurs de grossissement en poches différent de ceux des collecteurs.

- de mettre en place un plan d'échantillonnage optimisé, fixant le nombre de lots et leur répartition entre les différentes strates à partir de la précision souhaitée et des variances observées.

Outre la stratification habituelle en fonction d'une zonation naturelle, et des différentes catégories rencontrées (supports, classes de taille...), une stratification supplémentaire s'impose ici en fonction de la bathymétrie, spécialement dans les zones à marées où la production par unité de stock est en relation directe avec la durée d'émersion. Si cette corrélation est étroite, les techniques d'estimation par régression peuvent être utilisées, le coefficient d'émersion servant de variable auxiliaire, connue à l'avance (cf annexe).

A la différence des suivis expérimentaux pour lesquels la fréquence de mesures doit être souvent rapprochée, il suffit ici d'obtenir des augmentations de poids annuelles (ou durant le temps de présence, s'il est inférieur à 1 an), sur un très grand nombre de lots. Par conséquent, les mesures peuvent être couplées avec les estimations annuelles de stocks qui impliquent des déplacements dans l'ensemble du secteur étudié. Ce réseau fixe de stations à large couverture géographique pourrait constituer la base d'un réseau de suivi multiparamètres. En pratique, ce suivi de croissance et mortalité dans une optique quantitative pourra être trimestriel afin de mieux valoriser les données qualitatives recueillies, elles, trimestriellement.

Le protocole minimum de mesure d'une unité (un ou plusieurs collecteurs, une ou plusieurs poches...) consiste donc à peser le lot dans son ensemble, après avoir retiré les mortes éventuelles. Compter en plus le nombre d'individus vivants permet de séparer la production en ses composantes croissance et mortalité. Les pesées individuelles ne sont pas ici indispensables.



Le dénombrement des mortes, aisé dans le cas d'élevages en poches, ou sur collecteurs, peut se révéler difficile dans d'autres types d'élevages : élevages à haute densité d'individus fixés (pieux ou cordes), élevages sur le fond. Il peut être alors nécessaire soit de se contenter du rapport global entre le nombre semé et le nombre récolté (sur une corde ou sur une aire donnée) soit de marquer des portions de corde ou de surface de fond qui seront recensées à chaque fois.

Une autre technique est envisagée au Laboratoire Régional de La Tremblade, susceptible de fournir des estimations non plus annuelles mais pluriannuelles, de croissances et de mortalités : elle consisterait à marquer un millionième par exemple des jeunes huîtres d'un an (type de marque à définir) et à recenser ultérieurement les marques repérées par les professionnels au moment des opérations de détrocage ou de commercialisation, à terre. Le système suppose une incitation à la déclaration des marques par les professionnels, et une estimation des biais par sondage (biais par non déclaration volontaire ou involontaire des marques). Il permettrait de vérifier les estimations fournies par le réseau de stations, et mérite d'être examiné attentivement.

Actuellement, aucun laboratoire ne réalise véritablement d'estimation représentative de la croissance et de la mortalité d'un bassin permettant de calculer la production biologique. A Marennes-Oléron et à Bourgneuf, les suivis portent essentiellement sur les poches et selon une sélection non aléatoire ; à Arcachon le nombre de stations (3) est trop limité pour fournir des données représentatives. Sur l'étang de Thau, la croissance (mais pas la mortalité) est mesurée sur un seul type de cordes (huîtres collées). En Bretagne, ce type de suivi n'est pas réalisé sur l'huître creuse. Pour l'huître plate, le calcul des productions est considérablement simplifié par l'obligation de déclaration des semis et des récoltes institué dans le cadre du plan de relance. Par conséquent, un suivi trimestriel de la croissance sur les principaux semis, sans relation avec des paramètres du milieu ou autres, paraît excessif.

#### c) Suivi minimum d'un bassin

Les estimations précédentes nécessitent un gros effort d'échantillon-



nage, qui ne pourra pas être mené dans certains bassins d'importance secondaire, ou très morcelés. Dans ce cas un suivi de type professionnel ou expérimental, de fréquence annuelle, en un minimum de sites caractéristiques, et sur un nombre de catégories non exhaustif peut suffire à donner une indication de la qualité du site, et de son évolution au cours des années.

Le suivi de la mortalité revêt une importance particulière, en tant que paramètre indicateur de l'état de santé des cheptels, et éventuellement d'épizooties. Il est développé dans le paragraphe suivant.

## 2.2. Estimations qualitatives

L'histoire de la conchyliculture, en France et dans le monde est jalonnée d'épizooties périodiques décimant les cheptels. En France, dans les années 1970-1980, les huîtres creuses C. angulata ont été frappées d'une infection branchiale d'origine virale, tandis que l'huître plate O. edulis était parasitée successivement par deux protistes du groupe des haplosporides, Martelia refringens et Bonamia ostreae.

Si dans le premier cas on peut soupçonner un lien entre la surcharge des bassins et le développement de la maladie virale sur des stocks fragilisés par un déficit nutritionnel, il n'en va pas de même pour la Marteliose qui a frappé un stock vigoureux, mais sans résistance face à un agent pathogène exotique.

Pour lutter efficacement contre ces épizooties, il est nécessaire de les déceler au plus tôt, afin de mettre en place un plan de prophylaxie zoosanitaire, à la lumière des recherches sur l'épidémiologie du parasite sur le terrain et en laboratoire. Ceci suppose une stratégie globale basée sur le suivi coordonné de différents types de données dans les principales zones conchyliques :

- les mortalités courantes et indices physiologiques à considérer comme des facteurs prédisposants
- les mortalités anormales
- le taux de parasitisme
- le contrôle des importations



Quel est le suivi actuel de l'état sanitaire du cheptel indigène ? Les deux laboratoires de Sète et La Trinité analysent des échantillons de moules ou d'huîtres prélevés chaque mois ou chaque trimestre. Ce suivi est axé principalement sur l'évolution des maladies déclarées (Marteliose et Bonamiose de l'huître plate en Bretagne, Marteliose des moules de l'étang de Thau), et se limite aux régions d'implantation de ces laboratoires (Bretagne et Méditerranée). De plus, les stratégies d'échantillonnage ne sont pas clairement définies. Les stocks les plus importants ne sont donc pas suivis actuellement sur le plan pathologique (Arcachon, Marennes-Oléron, Bourgneuf, Normandie).

Pour le contrôle des importations, des prélèvements sont effectués dans les stations réceptrices les plus proches des laboratoires, et analysés, sans que les nombres, lieux et moments de prélèvements aient été préalablement déterminés en fonction d'un objectif défini.

#### 2.2.1. Mortalité courante et indices physiologiques

Le réseau de suivi de la croissance et de la mortalité, défini dans le paragraphe 2.1.5.b permet donc d'obtenir des données représentatives de mortalité pour les différentes catégories et les différents secteurs, dans une optique quantitative : calculer la production annuelle du bassin.

Cependant l'état de santé des cheptels doit être suivi avec une fréquence plus courte qu'annuelle, afin de comprendre les causes de mortalité et de tenter de réagir. A cet effet pourrait être mis en place un suivi trimestriel de la mortalité et d'indices physiologiques sur les mêmes lots que ceux suivis dans une optique quantitative.

L'indice physiologique le plus simple est l'indice de condition, rapport du poids de chair au poids total. La mesure de la charge énergétique, développée par Samain et Moal (travaux en cours), reste trop complexe pour être utilisée en routine.

L'intérêt d'un suivi parallèle des mortalités courantes et indices de condition d'une part et du taux de parasitisme d'autre part est qu'une



dégradation des premiers peut être considérée comme un facteur de risque justifiant un resserrement du pas d'échantillonnage du second. Eventuellement, en cas de maladie déclarée, si une corrélation étroite était observée entre l'indice de condition et la présence de la maladie, la mesure de cette variable auxiliaire, plus rapide que l'analyse histologique, pourrait accroître la précision dans l'estimation du nombre d'individus atteints (cf estimation par régression, en annexe).

Ce réseau de suivi trimestriel est destiné à mettre en évidence l'évolution de l'état moyen du cheptel dans les différents secteurs sous l'effet de facteurs à large rayon d'action, tels que la sous-nutrition, mais il ne peut suffire à déceler des taches ponctuelles de mortalités anormales. Il faut donc disposer pour ce cas d'un système d'information complémentaire.

#### 2.2.2. Mortalités anormales

Il peut exister un nombre très restreint de "taches" de mortalités anormales sans grande incidence sur le taux de mortalité moyen du bassin. Ces taches peuvent correspondre à une toxicité limitée d'origine naturelle (planctons toxiques) ou industrielle (rejets polluants) destinée à s'éteindre, mais elles peuvent aussi être les foyers d'infection initiaux d'un agent très pathogène (à la suite de l'immersion illicite de coquillages étrangers parasités par exemple), et sont alors hautement significatives.

Il est donc indispensable de s'appuyer parallèlement sur un système de déclarations de mortalités anormales par les professionnels et par les personnels d'IFREMER du CSRU et des laboratoires régionaux. Toute déclaration de mortalité anormale entraîne la mise en place d'un dispositif d'alerte basé sur la recherche des causes et une étude plus poussée de la répartition de cette mortalité à partir d'enquêtes approfondies et d'échantillonnages de terrain (cf. 2.2.3.2. parasitisme).

#### 2.2.3. Taux de parasitisme

Même en l'absence d'épizootie déclarée ou de mortalité anormale, il est utile d'exercer une veille pathologique, surveillance régulière par



un réseau d'échantillonnage lache du pourcentage d'individus atteints par différents agents potentiellement pathogènes.

En cas de mortalités anormales, ou d'une augmentation alarmante du taux d'un agent pathogène dangereux, un système d'alerte doit être déclenché, comprenant un effort d'échantillonnage accru sur le terrain, et des investigations ou expérimentations fines en laboratoire.

Une limitation actuelle du nombre d'individus observés tient à la lenteur du diagnostic histologique, basé sur la recherche, par observation microscopique de coupes dans différents tissus, de protozoaires (haplosporidies ou autres), de rickettsies, de formations virales, de trematodes, de mytilicola... Des techniques nouvelles d'immunodiagnostic (méthode ELISA) sont en cours de mise au point, et devraient permettre, sous peu, de suivre un plus grand nombre d'échantillons. Ces techniques ont en outre l'avantage de fournir une réponse quantitative sur chaque individu, mais demeurent limitées pour l'instant au diagnostic de *Bonamia*.

#### 2.2.3.1. Surveillance zoosanitaire de base

L'objectif principal est d'établir un point zéro dans les principaux bassins et en particulier les bassins les plus surchargés de Marennes-Oléron et Bourgneuf, pas suivis actuellement, avant que ne se déclarent d'éventuelles épizooties. Il s'agit donc de recenser et décrire les différents agents pathogènes présents, et d'aborder leur étude afin de disposer à l'avance du maximum d'informations en cas d'alerte.

Quel effort d'échantillonnage faut-il consacrer à cette surveillance de routine, et quelle stratégie adopter pour déterminer la prévalence d'un agent pathogène dans une population (pourcentage d'individus atteints) ?

La répartition spatiale des points de prélèvement est à optimiser selon les méthodes classiques d'estimation d'un pourcentage dans une population (cf annexe). Une stratification sera d'autant plus intéressante qu'elle parviendra à séparer dans des strates différentes



les lots les plus atteints et les lots les moins atteints (en effet, la variance  $p(1-p)/n$  est minimale quand  $p$  tend vers 0 ou vers 1). Dans le cas d'une région constituée de gisements très distincts telle que la Bretagne, on peut se contenter d'échantillonnages aléatoires simples sur chacun des gisements importants, sans calculer une moyenne pondérée pour la région, ce qui nécessiterait de connaître l'effectif de chacune des strates. Le regroupement de points de prélèvements en unités primaires (exemple sur 1 ha), intéressant par l'économie des déplacements réalisée, peut être envisagé à condition que l'unité primaire soit suffisamment grande pour recouvrir plusieurs concessions (une concession risquant d'être homogène). Les formules d'optimisation prenant en compte les coût d'accès aux unités et la répartition de la variance permettent, à la suite d'un prééchantillon, de répartir au mieux les nombres de prélèvements.

La répartition dans le temps des prélèvements pourrait être régulière, si l'on considère que le développement d'une épizootie est imprévisible. Cependant, on peut penser que certaines périodes sont plus favorables au développement d'épizooties, en raison du cycle de certains parasites ou pour cause d'affaiblissement des mollusques (déficit nutritionnel ou reproduction). Ainsi a-t-on mis en évidence, pour Martelia refringens une infestation exclusivement estivale. Il conviendrait alors d'intensifier le rythme de prélèvements à ces périodes. Un rythme de suivi trimestriel en moyenne semble une bonne base de départ.

Pour une variance donnée, et une répartition donnée des points de prélèvement dans l'espace, le nombre d'individus à analyser dépend de l'objectif : être sûr de déceler une augmentation de prévalence donnée entre 2 échantillons successifs ou déceler au plus tôt l'apparition d'un nouvel agent pathogène.

Dans le premier cas, supposons que l'on veuille pouvoir déceler une augmentation de la prévalence d'un agent pathogène déjà installé de 10 points (passage de 10 % à 20 %, ou de 20 % à 30 %...). Le nombre à échantillonner dépendra de :

.  $p_1$  et  $p_2$ , les 2 pourcentages que l'on veut être "sûr" de différencier.



.  $\beta$  , le risque de 2ème espèce de ne pas mettre en évidence cette différence, quand elle existe.

.  $\alpha$  , le risque de 1ère espèce de conclure à une différence quand il n'y en a pas.

Snedecor et Cochran (1957) proposent :

$$n = (Z_{\alpha} + Z_{\beta})^2 (p_1q_1 + p_2q_2) / (p_2 - p_1)^2$$

( $Z_{\alpha}$  et  $Z_{\beta}$  , écarts normaux pour les risques  $\alpha$  et  $\beta$  )

Cette formule suppose que la loi de distribution binomiale des pourcentages puisse être approximée par une loi normale ( $p$  proche de 0.5 ou  $n$  très grand).

Ainsi, pour  $\alpha = 5\%$  (bilatéral) et  $\beta = 10\%$  (unilatéral),  $p_1 = 20\%$ ,  $p_2 = 30\%$ , on obtient :

$$n = (1,960 + 1,282)^2 (20 \times 80 + 30 \times 70) / 100 = 388$$

Sokal et Rohlf (1969) proposent une transformation angulaire des pourcentages pour les normaliser et la formule :

$$n = \left[ t(\alpha, 2(n-1)) + t(\beta, 2(n-1)) \right]^2 \times 2 s^2 / (\arcsin \sqrt{p_1} - \arcsin \sqrt{p_2})^2$$

( $t$ , écarts de Student)

Pour  $p_1 = 20\%$  et  $p_2 = 30\%$ , et les mêmes risques  $\alpha$  et  $\beta$  que précédemment, on obtient :

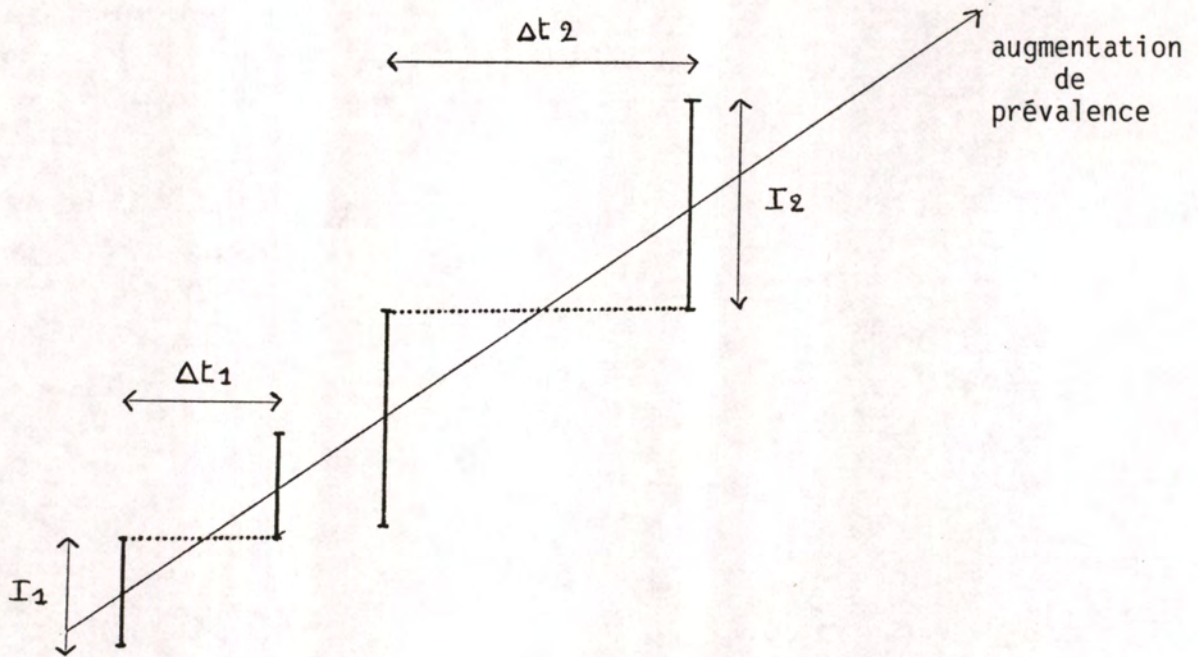
$$n = (1,96 + 1,282)^2 \times 2 \times 820,8 / (\arcsin \sqrt{0.2} - \arcsin \sqrt{0.3})^2$$
$$= 390$$

Il faut donc près de 400 individus par échantillon pour être quasiment sûr (à 90 %) de distinguer une prévalence de 30 % d'une prévalence de 20 %.

De plus, il s'agit de 400 individus par strate, dans la mesure où il suffit d'une hausse de 10 points dans une seule des strates et non pas



seulement sur la moyenne, pour déclencher l'alerte. On notera le lien entre la précision et le pas de temps minimum :



Relation entre intervalles de confiance (I) et pas de temps ( $\Delta t$ )

(représentation approximative basée sur le non recouvrement des intervalles de confiance).

Une bonne précision permet de déceler tôt une petite augmentation de prévalence, et à l'inverse il faudra attendre plus longtemps, pour déceler une augmentation plus grande, en cas de mauvaise précision.

Le second objectif, déceler tôt l'apparition d'un nouvel agent pathogène, à partir de ce réseau de surveillance, peut être plus exigeant encore quant au nombre d'individus à analyser :

S'il y a une proportion  $p$  d'individus atteints dans une population, le nombre le plus probable d'individus atteints dans un échantillon aléatoire de taille  $n$  est  $np$ , et la probabilité d'un nombre quelconque  $x$  est (Loi Binomiale) :



$$P(x) = \frac{n!}{x! (n-x)!} p^x (1-p)^{n-x}$$

$$(x! = x (x-1) (x-2) \dots 2.1)$$

Si p est petit, et n grand, la loi Binomiale peut être approximée par une loi de Poisson

$$P(x) = e^{-m} \frac{m^x}{x!} \quad (m \text{ nombre moyen d'individus parasités})$$

Si p est petit (en début d'épizootie), la probabilité de n'avoir aucun individu atteint dans l'échantillon est très grande (et à l'inverse la probabilité d'en avoir au moins un est très petite).

Exemples, pour n = 100 individus échantillonnés

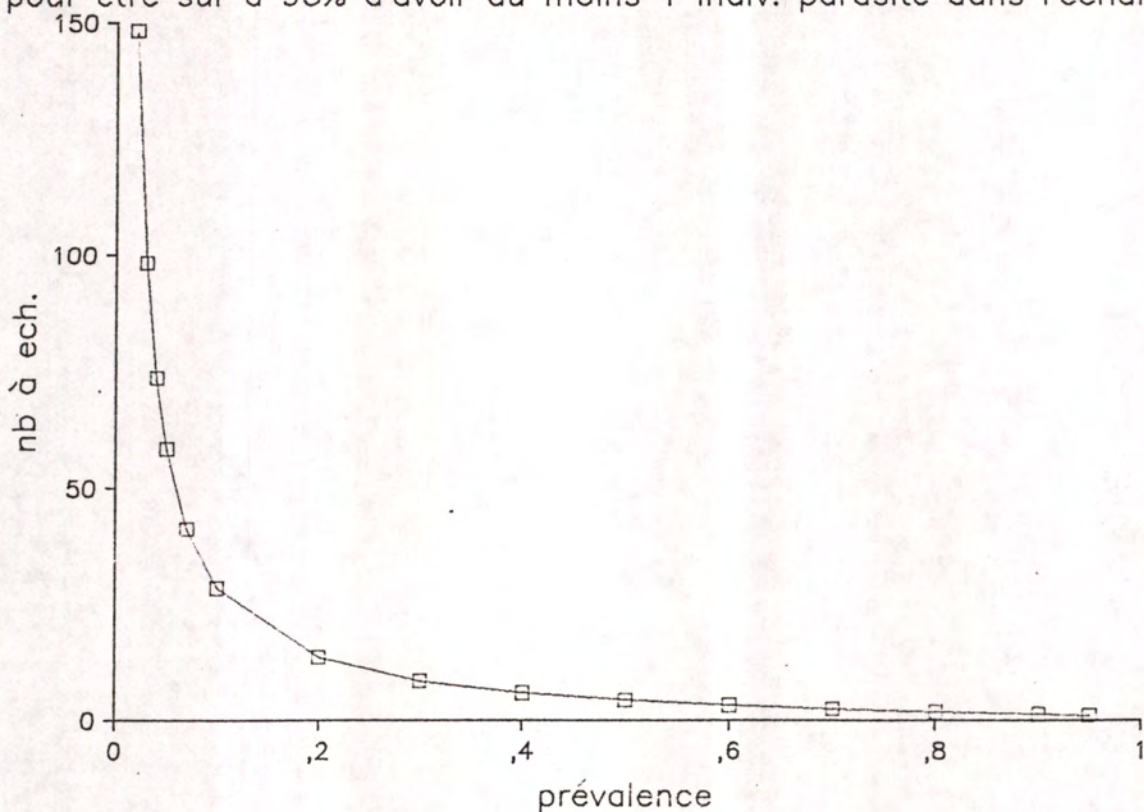
| p             | m    | Proba (zéro)<br>$(1-p)^n$<br>$= e^{-m}$ | Proba (au moins un)<br>$1 - (1-p)^n$<br>$= 1 - e^{-m}$ |
|---------------|------|---|--|
| <u>0,03</u>   | 3    | 0,05                                    | <u>0,95</u>  |
| 0,01          | 1    | 0,37                                    | 0,63   |
| 0,001         | 0,1  | 0,90                                    | 0,10   |
| <u>0,0005</u> | 0,05 | <u>0,95</u>                             | 0,05   |
| 0,0001        | 0,01 | 0,99                                    | 0,01   |

Le tableau ci-dessus montre que pour 100 individus échantillonnés, c'est seulement à partir de 3 % de la population atteinte que l'on sera "sûr" (au risque d'environ 5 %) de trouver au moins 1 individu atteint dans l'échantillon. A moins de 5 pour 10 000 individus atteints, on sera "sûr" (au risque d'erreur 5 %) de n'en trouver aucun dans un échantillon aléatoire de 100 individus.



L'effort d'échantillonnage pour être quasiment sûr de trouver au moins une réalisation d'un évènement rare dans un échantillon est nécessairement élevé : la courbe suivante représentative de  $1-(1-p)^n = 0,95$  soit  $n = \ln(0,05)/\ln(1-p)$  en est une illustration :

Nb à échantillonner en fonction de la prévalence  
pour être sûr à 95% d'avoir au moins 1 indiv. parasité dans l'échantillon



Ce second objectif, qui donne sa spécificité à ce type de suivi est dû à ce que, entre les 2 états de la variable qualitative étudiée (présence ou absence de l'agent pathogène), l'un (la présence) revêt une importance particulière. En conséquence, il est essentiel de déceler un faible pourcentage d'un agent très pathogène ; une tache réduite de prévalence élevée (liée par exemple à l'introduction d'animaux parasités sur une seule concession), même si elle influe peu sur la prévalence moyenne, est hautement significative.

Face à ces exigences en nombre d'individus à analyser en fonction des objectifs, quels sont les moyens d'analyse et les contraintes de prélèvement ?

Le nombre d'analyses réalisées en 1986 au laboratoire de la Trinité est de :



|                    |                              |
|--------------------|------------------------------|
| cheptels indigènes | 7 684 Huîtres plates         |
|                    | 699 Moules                   |
|                    | 482 Huîtres creuses          |
|                    | 334 Palourdes                |
|                    | 105 Divers                   |
| importations       | 441 Naissains toutes espèces |
|                    | 546 adultes toutes espèces   |

Si l'on prend pour ordre de grandeur 4 000 analyses par an sur l'espèce principale, réparties en 2 000 pour le suivi d'alerte et 2 000 pour le suivi de base, on obtient le chiffre de 500 analyses par trimestre pour la surveillance de base d'une espèce, dans une région, toutes strates et tous secteurs confondus, ce qui ne permet pas une étude épidémiologique très fine compte tenu des considérations ci-dessus.

La deuxième contrainte est celle du prélèvement des échantillons sur le terrain. Si l'on veut valoriser au mieux les déplacements réalisés pour d'autres programmes, et permettre l'établissement de corrélations entre différents types de données, le plus simple est de calquer le réseau de prélèvements zoosanitaires sur le réseau de suivi de la croissance et de la mortalité, de type professionnel, avec un rythme de prélèvements trimestriel. Ce réseau a été optimisé sur des critères de croissance et de mortalité et non de taux de parasitisme, mais constitue néanmoins une base de suivi pathologique acceptable pour plusieurs raisons :

- Les calculs d'optimisation de plans d'échantillonnages pour différents agents pathogènes conduisant très probablement à des réseaux de points de prélèvements différents, un compromis doit être nécessairement trouvé entre des différents plans, pour aboutir à un réseau unique.

- Les moyens nécessaires pour mettre en évidence à coup sûr toute augmentation alarmante d'un taux ou l'apparition d'un nouveau pathogène paraissent hors de portée, ce qui conduit à assigner à cette veille pathologique un objectif assez modeste (établir l'état zéro et mettre en



évidence les grandes tendances), et à s'appuyer parallèlement sur un système d'alerte.

#### 2.2.3.2. Réseau d'alerte

Si des mortalités anormales sont signalées, une enquête sera réalisée auprès des professionnels et des investigations approfondies seront faites au laboratoire pour rechercher un éventuel agent pathogène responsable. Si un agent pathogène est mis en cause, ou si une augmentation alarmante d'un taux est mise en évidence par le réseau de base, l'effort d'échantillonnage doit être intensifié. L'objectif est alors de "cerner" les contours de la maladie, son étendue spatiale, sa répartition selon le mode de culture, la profondeur, la densité... ou tout autre critère susceptible de dégager une méthode de lutte. A l'intérieur de chacune des strates ainsi définies, la position des points de prélèvements pourra être dispersée régulièrement dans l'espace (échantillonnage systématique), ce qui ne permet pas de calculer la précision sur la moyenne obtenue, mais apporte une information supplémentaire importante sur la répartition spatiale de la maladie (Chessel, dans Legay et Tomassone, 1978).

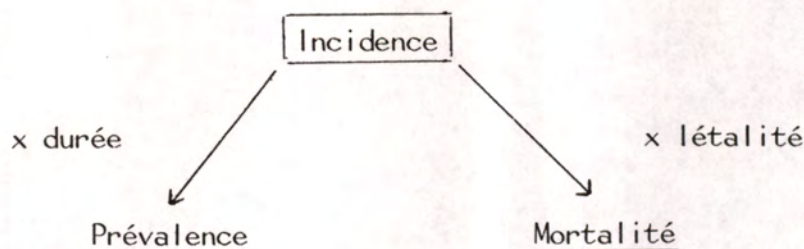
L'effort d'échantillonnage consacré à ce suivi d'alerte est fonction de la gravité de la situation (nature du parasite, pourcentage de mortalité...).

Des précisions sont à apporter sur ces suivis de morbidité et mortalités :

- Le taux de mortalité par maladie est le produit de 2 composantes. L'incidence (pourcentage de nouveaux malades par unité de temps) x la létalité (pourcentage d'individus qui mourront de leur maladie).

- La prévalence, pourcentage d'individus atteints par la maladie est le produit de l'indence par la durée moyenne de la maladie.





La prévalence ne suffit pas à caractériser la gravité d'une maladie : ainsi, une même prévalence de 10 % peut être obtenue par une incidence de 10 % par mois et une durée de 1 mois ou par une incidence de 1 % et une durée de 10 mois. Cependant, à létalité égale, la mortalité sera 10 fois plus élevée dans le premier cas que dans le second.

Les échantillonnages de terrain sont donc à compléter par des expériences in situ et au laboratoire pour déterminer ces paramètres explicatifs de l'évolution de la maladie.

#### 2.2.4. Contrôle des importations

##### 2.2.4.1. Réglementation

Les épizooties qui ont décimé les élevages d'huître plate en Bretagne dans les années 1970-1980, dues à des agents pathogènes très probablement d'origine étrangère (Martelia refringens et Bonamia ostreae) ont provoqué une prise de conscience du risque zoosanitaire inhérent à toute immersion incontrôlée de coquillages d'importation dans les eaux françaises, et entraîné une réglementation plus stricte des dérogations à l'immersion de coquillages d'origine étrangère prévues dans l'arrêté n° 4160 du 31 novembre 1969, par plusieurs circulaires ministérielles à partir de 1981.

Actuellement, l'importation de coquillages destinés à la consommation se fait par 2 voies :

- en colis munis d'étiquettes de salubrité, pour mise à la consommation directe. Cette voie concerne un certain nombre de produits et de pays dont les certificats d'origine salubre sont agréés par la France.



- en vrac, pour mise à la consommation différée, après entreposage dans des établissements agréés munis d'installations permettant un traitement des effluents pour éviter tout risque de contamination du cheptel indigène. S'il n'y a pas d'équivalence de salubrité avec le pays exportateur, les coquillages étrangers réputés insalubres devront subir en plus une purification (traitements de l'eau en entrée). Pour ces produits de taille marchande destinés à la consommation et importés en vrac, l'établissement agréé (station d'entreposage-expédition ou entreposage-purification) dépose chaque année, pour la période de mai à mai une demande d'autorisation d'importation, pour une espèce donnée, en provenance d'un pays donné. L'IFREMER doit donc proposer chaque année à l'administration une liste d'espèces et de pays pour lesquels pourront être déposées des demandes de dérogation à l'interdiction d'immersion de coquillages étrangers.

La réglementation a donc mis à 2 niveaux des barrières à l'introduction de parasites d'origine étrangère, par les coquillages destinés à la consommation.

a) Limitation des importations en vrac à une liste de pays et de produits présentant certaines garanties zoosanitaires,

b) Interdiction d'immersion en dehors de stations agréées dont les effluents sont traités pour détruire d'éventuels parasites.

Les coquillages importés en vue de l'élevage ou d'un complément d'élevage (naissain le plus souvent) doivent être consignés dans des stations de quarantaine équipées des mêmes installations de traitement des effluents, jusqu'à autorisation définitive d'immersion.

#### 2.2.4.2. Analyse du risque zoosanitaire

La réglementation et les contrôles ne peuvent empêcher tout risque d'introduction accidentelle, ou liée à des pratiques illicites, de parasites d'origine étrangère dans les eaux françaises.



a) Risque lié à l'immersion dans le milieu naturel de produits ne présentant pas de garanties zoosanitaires

Le risque principal provient du retrempage frauduleux de produits importés en colis pour consommation directe, et qui ne figurent pas forcément sur la liste annuelle de dérogation à l'interdiction d'immersion (exemple : huîtres plates de Grande-Bretagne).

L'immersion frauduleuse de naissain d'origine étrangère, facilitée par les faibles volumes représentés, est une autre source de contamination potentielle.

L'autorisation d'immersion accordée aux bigorneaux enfin n'est pas justifiables par des raisons zoosanitaires.

b) Parcage illicite dans le milieu naturel de coquillages figurant sur la liste de dérogation à l'interdiction d'immersion. Cette pratique notoirement répandue entraînera d'autant moins de risques pour le cheptel indigène que la liste de dérogation reposera sur des bases solides.

c) Contamination accidentelle du milieu ouvert par mauvais fonctionnement du traitement des rejets d'une station d'entreposage.

#### 2.2.4.3. Prévention du risque zoosanitaire

Des mesures réglementaires sont envisagées pour faire obstacle plus efficacement à l'introduction de parasites d'origine étrangère, telle la suppression de l'autorisation d'importation de coquillages vivants pour la consommation immédiate.

L'analyse précédente du risque zoosanitaire met en évidence l'importance de la liste de pays et produits proposée chaque année par l'IFREMER pour dérogation à l'interdiction d'immersion (sous réserve d'entreposage en station agréée), sur des critères zoosanitaires. Cette liste est fondée sur la connaissance de l'état zoosanitaire du produit susceptible d'être importé, par enquêtes auprès des organismes scientifiques des pays concernés. En sont exclus notamment les coquilla-



ges susceptibles d'être parasités par des parasites très pathogènes tels que *Bonamia*. D'autre part, elle est validée chaque année par des analyses faites sur des échantillons de produits importés, prélevés par les agents du C.S.R.U. dans les stations d'entreposage, au moment de la vérification de l'immersion sans stratégie d'échantillonnage précisément définie.

Quel effort d'échantillonnage pour ce contrôle des importations dans les stations d'entreposage ? Pour certains agents peu pathogènes, l'objectif sera d'être sûr que le pourcentage d'individus atteints, pour un pays x produit est inférieur à un seuil  $P_{max}$ , quand on en a trouvé un nombre parasité donné dans un échantillon de  $n$  individus. Les tables ou abaques d'intervalles de confiance autour de pourcentages (loi binomiale) permettent de répondre à cette question. Par exemple, pour être sûr, à 95 % qu'il y a moins de 30 % d'individus parasités dans un échantillon, il faut en trouver au maximum 0 sur 10, 1 sur 20, 3 sur 30, 20 sur 100...

Pour les agents très pathogènes, l'objectif souhaitable serait  $P_{max} = 0$ , mais l'échantillonnage ne peut y répondre : même si l'on n'a aucun individu parasité dans l'échantillon de taille  $n$ , on peut seulement être sûr (au risque d'erreur donné) que le pourcentage dans la population est inférieur à  $P_{max}$  avec :

$$n = \ln(0,05) / \ln(1 - P_{max}) \quad (1)$$

(cf § 2.2.3.1., pour un risque d'erreur de 5 %)

Cette garantie sur  $P_{max}$ , quand on n'a pas trouvé d'individu parasité dans le lot, et donc quand les importations sont restées ouvertes, peut se traduire en une garantie sur le nombre maximum d'individus parasités qui risquent d'être immergés dans le milieu naturel :

$$I_{max} = E \times f \times P_{max} \quad (2)$$

$E$  représentant les importations de la période considérée et  $f$  le taux d'immersion illicite dans le milieu naturel.



de (1) et (2) on peut tirer :

$$n = \text{Ln} (0,05) / \text{Ln} (1 - I_{\text{max}} / E \times f) \quad (3)$$

C'est le nombre minimum à échantillonner si l'on veut être quasiment sûr (à 95 %) que moins de  $I_{\text{max}}$  individus parasités seront immergés dans le milieu naturel.

Si l'on considère que le pourcentage d'individus atteints peut varier de façon indépendante d'un mois à l'autre, cet échantillonnage d'un nombre  $n$  sur les  $E$  entrées du mois est à refaire chaque mois. Dans la réalité, il y a un double avantage à concentrer la plus grande partie de l'effort d'échantillonnage en début de campagne d'importation. En effet en augmentant ses chances d'en trouver 1 parasité, s'il y en a, on diminue le risque d'introduction de pathogènes dans le milieu naturel. D'autre part, on peut admettre que l'évolution du pourcentage parasité est lente, et que donc, si on n'en a pas trouvé le 1er mois, on n'en aurait pas trouvé les mois suivants.

En pratique, la relation (3) montre qu'il y a presque proportionnalité entre le nombre à échantillonner et les importations d'un produit  $\times$  pays, si on admet les mêmes valeurs pour  $I_{\text{max}}$  et  $f$  des différents produits  $\times$  pays.

Un plan d'échantillonnage plus rigoureux pourrait être mis en place simplement, sur la base d'un nombre de prélèvements pour un pays et un produit donné proportionnel au tonnage importé les années précédentes pour ce pays  $\times$  produit, ou au nombre d'opérations d'importations. La répartition du nombre de prélèvements pour un pays  $\times$  produit entre les stations d'entreposage pourrait être fixée à l'avance en tenant compte des charges de travail respectives des deux laboratoires d'analyse au cours de l'année. La répartition dans le temps pourrait reposer sur un effort maximum en début de campagne d'importation de chaque espèce  $\times$  pays (afin de sortir le plus vite possible de la liste un produit parasité), suivi d'un effort résiduel de contrôle tout au long de l'année, spécialement les mois les plus suspects (souvent l'été).



Les autorisations d'importation de naissain devraient, dans l'idéal, être conditionnées par un envoi préalable d'échantillon pour analyse ou une expertise française dans le pays exportateur. A défaut, et en l'absence de double sécurité, pour un produit destiné à la mise en élevage, un contrôle par échantillonnage de 100 % des lots consignés en station de quarantaine apparaît indispensable.

Seuls ces contrôles peuvent permettre de mettre en évidence, auprès des ministères ou des organisations professionnelles la nécessité des mesures de prophylaxie zoosanitaire, ainsi que du renforcement de la législation et des sanctions sans lequel cet ensemble complexe d'installations et d'analyses ne peut prendre toute sa valeur.

En conclusion à ce chapitre 2 sur les estimations quantitatives et qualitatives des cheptels conchyliques, il nous paraît utile de rappeler l'intérêt d'unifier les différents réseaux de collecte de données en un réseau unique multi-paramètres, afin d'une part de minimiser les coûts et les contraintes, et d'autre part d'accroître les possibilités d'interprétation en disposant aux mêmes points et aux mêmes moments d'un ensemble d'informations complémentaires.

### 3. RELATIONS AVEC L'ENVIRONNEMENT

L'évolution des stocks naturels ou cultivés de mollusques, en milieu ouvert, dépend étroitement des conditions de milieu. L'intervention humaine peut se faire, directement par le choix d'un mode de culture et d'une densité, ou indirectement par le rejet dans le milieu d'éléments nutritifs ou polluants, mais la dépendance est totale vis à vis du climat, des courants...

La relation entre le stock et la production d'un bassin, établie à partir de données passées, fournit un élément de gestion essentiel en permettant de calculer un stock optimum, ceci sans avoir recours aux études du milieu. Cependant, cette relation globale pour l'ensemble d'un bassin ne permet pas d'optimiser la répartition du stock entre les différents secteurs. D'autre part, si on suspecte une évolution significative du milieu (ex. : augmentation des apports de sels minéraux)



ou que des travaux ou aménagements importants sont envisagés sur le bassin (dragage, endiguements...), cette relation établie dans d'autres conditions n'est plus utilisable. Il se peut enfin, pour des sites nouveaux ou par manque de données fiables ou variations de stocks insuffisantes, que cette relation ne puisse être établie.

Dans tous ces cas, il faut avoir recours à un modèle explicatif des relations milieu-mollusques, établi à partir de la situation présente, mais permettant de déterminer par calcul les productions de mollusques en cas de changements de milieu ou de stocks.

Les chercheurs se sont attachés très tôt à mettre en relation les résultats de croissance, mortalité, reproduction des différentes espèces, avec les conditions physico-chimiques et trophiques de leur environnement immédiat. Les travaux sur ce thème sont innombrables mais trop souvent analytiques, et ne permettant pas de déboucher sur la compréhension du fonctionnement d'un système naturel pris dans son ensemble.

Une démarche nouvelle est initiée au Laboratoire National Ecosystèmes Conchylicoles, basée sur la détermination, pour l'ensemble du bassin d'une part des apports alimentaires, liés aux densités instantanées en éléments nutritifs et aux déplacements des masses d'eau, et d'autre part des besoins de l'ensemble des consommateurs pour leur respiration et leur production, ceci en termes énergétiques, ce qui permet de condenser en une seule valeur un grand nombre de caractéristiques du milieu, et autorise les bilans quantitatifs.

Il faut donc distinguer plusieurs niveaux dans les études de relation entre les mollusques et leur environnement (fig. 3) : au niveau le plus bas, on tente d'expliquer la croissance ou la production individuelles, en un point, par les caractéristiques du milieu en ce point. Ces études analytiques (niveau 1) peuvent servir de base à l'élaboration d'un modèle global de fonctionnement de l'écosystème, qui nécessite des données supplémentaires, de courantologie en particulier. Les modèles peuvent être plus ou moins sophistiqués : plus le niveau d'entrée des paramètres est situé en amont, dans la série de causalités qui aboutit aux mollusques, plus le pouvoir explicatif du modèle est élevé, mais plus il



est nécessaire d'établir de relation entre variables (cf niveaux 2 et 3). L'intérêt de modéliser le fonctionnement d'un bassin conchylicole est d'une part de comprendre la situation présente et d'autre part de pouvoir simuler l'effet de modifications de l'environnement, de réaménagements dans la répartition spatiale des stocks, de changements de biomasses.

Après avoir précisé les données nécessaires en entrée, nous tenterons de définir les stratégies d'échantillonnage les plus adaptées, pour chacun de ces objectifs.

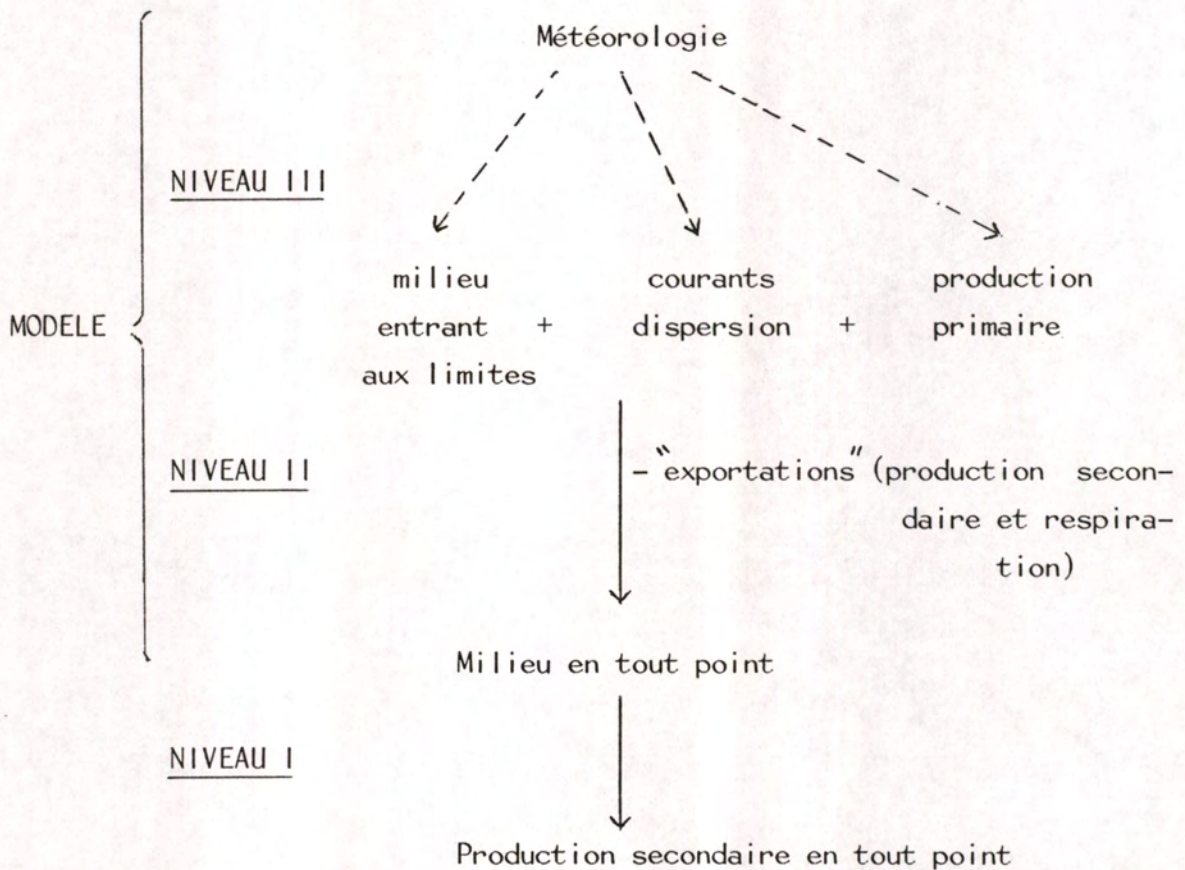
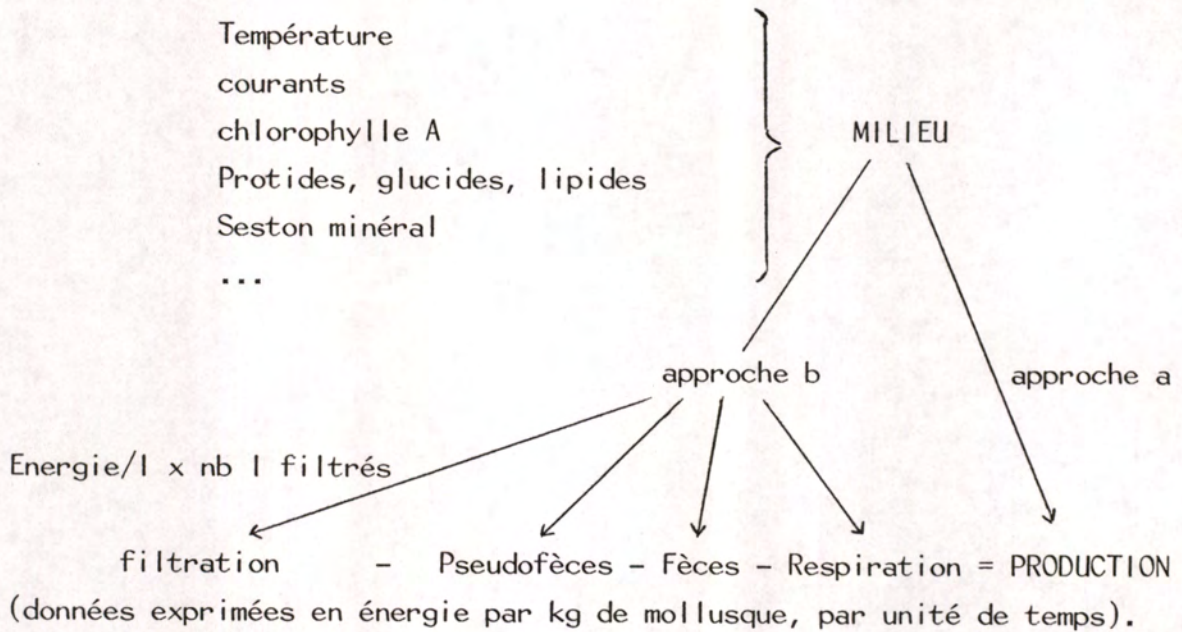


Figure 3 : Plan d'étude des relations milieu-mollusques.



### 3.1. Objectifs et méthodes

#### 3.1.1. Etudes analytiques de base



L'objectif est de comprendre les relations qui lient le mollusque et son milieu ambiant. Deux approches sont possibles :

a) On tente d'établir directement la relation entre certaines caractéristiques du milieu et la production d'un mollusque filtrant ce milieu, par un ajustement mathématique sans fondement biologique (régression multiple).

Elle nécessite un grand nombre de données de croissance, à chaque donnée de croissance étant associées les valeurs d'un certain nombre de paramètres du milieu.

|                       |                 | Point 1 | ... | Point n |
|-----------------------|-----------------|---------|-----|---------|
| Croissance (15 jours) |                 | C1      |     | Cn      |
|                       | Vitesse courant | V1      |     | Vn      |
| milieu                | Température     | t1      | ... | tn      |
| (moy. 15 jours)       | Chlorophylle A  | ch1     |     | chn     |
|                       | seston minéral  | s1      |     | sn      |
|                       | ...             |         |     |         |



On en tire une relation du type :

$$\text{croissance} = f(\text{courant, température, chloro A....})$$

Une fois déterminés par cette méthode les paramètres du milieu explicatifs de la croissance, il est possible, par la seule mesure de ces paramètres en un point, d'expliquer la croissance des mollusques en ce point. Par contre, cette méthode n'est pas une base suffisante pour l'élaboration de modèles, car elle ne permet pas de calculer l'effet inverse du mollusque sur le milieu, ne prenant en compte qu'une partie du prélèvement opéré par le mollusque (la production).

b) Une approche plus complète est de décomposer l'effet du milieu en effets élémentaires sur chacun des termes du budget énergétique.

$$\text{FILTRATION} - \text{BIODEPOTS} - \text{RESPIRATION} = \text{PRODUCTION}$$

Ceci suppose un grand nombre de données, observées sur le terrain ou contrôlées lors d'expériences à terre. Les expériences à terre permettent de mesurer les effets séparés des principaux paramètres du milieu, et leurs interactions au moyen de plan d'expériences à plusieurs facteurs.

|                           |                          | Point 1 | ... | Point n |
|---------------------------|--------------------------|---------|-----|---------|
| milieu<br>(moy. 15 jours) | composition              | C1      |     | Cn      |
|                           | Kcal par litre           | K1      |     | Kn      |
|                           | température              | T1      | ... | Tn      |
|                           | vitesse courant          | V1      |     | Vn      |
|                           | Seston minéral           | S1      |     | Sn      |
| ...                       |                          |         |     |         |
| mollusque                 | Kcal absorption (1 jour) | A1      |     | An      |
|                           | Kcal biodepôts           | B1      | ... | Bn      |
|                           | Kcal respiration         | R1      |     | Rn      |
|                           | Kcal production          | P1      |     | Pn      |



De cet ensemble de données seront recherchées des relations entre les caractéristiques du milieu et chacun des termes du bilan énergétique.

Absorption =  $f_1$  (milieu, mollusque)

Biodépôts =  $f_2$  (milieu, mollusque)

Respiration =  $f_3$  (milieu, mollusque)

Production =  $f_1 - f_2 - f_3$

La mesure des biodépôts est essentielle, car non seulement ils sont l'un des termes du bilan, mais encore ils servent au calcul des quantités filtrées, à partir de l'enrichissement en matières minérales (servant de marqueur) entre le milieu ambiant et les biodépôts. Cette approche pose des problèmes méthodologiques imparfaitement résolus : mesure des biodépôts, mesure in situ de la respiration, coefficients énergétiques... Ainsi, les calculs indirects de production par différence, selon cette méthode, ne sont pas actuellement concordants avec les mesures directes (sous évaluation des biodépôts par lessivage des éléments solubles ?). Cependant, cette approche aboutit à une compréhension des mécanismes (la lenteur de la croissance est-elle due à une faible filtration ou à une mauvaise assimilation ?) et surtout, elle seule peut permettre de calculer la ponction réalisée par les mollusques sur le milieu en prenant en compte non seulement la production secondaire, mais encore la respiration et la part des biodépôts rendue indisponible par sédimentation.

L'inconvénient principal de ces expériences in situ est la variabilité du milieu durant la période de croissance, spécialement dans les sites à marée.

Ces analyses ponctuelles de l'influence du milieu sur la production individuelle des mollusques ne peuvent être une finalité en soi. En effet, dans la mesure où elles ne suffisent pas pour calculer l'effet inverse des stocks sur le milieu (ce qui nécessite des calculs d'importations de nutriments et de production primaire), elles ne sont d'aucune utilité prévisionnelle : elles ne permettent de comprendre la production en un site qu'en analysant le milieu en ce site. Par contre, elles sont une base essentielle de la modélisation du fonctionnement global d'un écosystème.

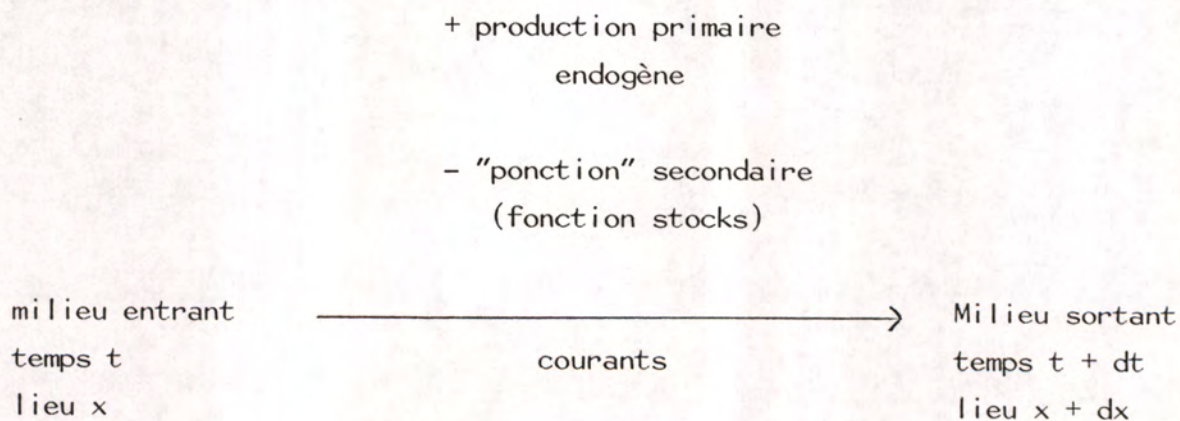


### c) Déterminisme du recrutement

Un cas particulier d'étude de l'influence du milieu sur les mollusques est l'étude du déterminisme du recrutement. Il trouve sa justification dans l'existence d'années sans recrutement dans les bassins de Marennes-Oléron et plus fréquemment d'Arcachon. La date de ponte répond à un déterminisme de type somme de degrés-jours rarement pris en défaut sauf conditions trophiques particulièrement déficientes. La survie larvaire dépend des conditions de milieu rencontrées, parfois limitantes sur le plan thermique (huître plate en Bretagne) ou nutritionnel (déficits phytoplanctoniques du bassin d'Arcachon sous l'effet des sels d'étain des peintures antifouling). Les problèmes d'échantillonnage rencontrés dans ces études sont trop spécifiques pour être traités sur un plan général.

#### 3.1.2. Modélisation

Un modèle se propose, à partir des caractéristiques du milieu entrant aux limites du système étudié, des flux de matière par les courants et la dispersion, de la production primaire endogène, et des "prélèvements" réalisées par les stocks de mollusques présents, de calculer la production de mollusques et le milieu résultant, à tout moment et en tout point du bassin.



Les études analytiques précédentes servent de base au calcul de la part d'éléments nutritifs du milieu soutirée par les mollusques. Les données supplémentaires en entrée (calculées à l'avance ou mesurées) sont les stocks de mollusques, la production primaire, et un modèle physique de courantologie en fonction des marées et conditions météorologiques



(vent...), pour calculer les flux de matière entre les différents compartiments du système. L'avantage de ce modèle (au niveau II) est de ne plus nécessiter de données de milieu qu'aux limites du système (quelques points internes servant à recalculer le modèle). A un niveau supérieur (niveau III), les seules données en entrée pourraient être les conditions météorologiques (pluviométrie, ensoleillement).

Si les principes définis pour le bassin de Marennes-Oléron sont généraux, la nature et la localisation des paramètres à mesurer, en entrée du modèle, seront à adapter à chaque site. Sur la côte atlantique, les marées, facteurs déterminant de la dynamique des eaux, peuvent être entrées à l'avance dans le modèle. Dans l'étang de Thau, par contre, c'est un paramètre imprévisible, le vent, qui joue le rôle dominant, constituant par là une mesure supplémentaire, en entrée du système. Dans plusieurs sites (Thau, Arcachon...), les points d'entrée de sels minéraux et de phytoplancton dans le système sont plus diffus, en l'absence de grande rivière, ce qui multipliera les points de mesure aux limites.

### 3.2. Stratégies d'échantillonnage du milieu

#### 3.2.1. Etudes analytiques de base

L'objectif est donc de déterminer les paramètres explicatifs du milieu, et les relations qui les relient à la consommation, l'assimilation et la production de mollusques.

La stratégie retenue à Marennes-Oléron repose sur :

- le choix d'un nombre limité de stations (1 à 2) suivies sur plusieurs années (il aurait été possible de suivre plusieurs stations moins longtemps)
- des mesures de milieu tous les 15 jours en moyenne (1 jour de vives eaux et 1 jour de mortes eaux par mois), avec une mesure par heure durant le jour,
- des mesures de biodépôts certains jours
- des mesures de production de chair tous les 15 jours.



La période de mesure est au minimum de 1 jour pour la mesure de biodépôts, et de 15 jours pour la mesure de production de chair, pour des raisons de sensibilité de mesure.

Le premier choix à opérer est celui des lieux et périodes de mesure les plus aptes à mettre en évidence l'effet du milieu : le meilleur choix est celui qui offre le plus large spectre de conditions de milieu caractéristiques (température faible/élevée ; seston minéral pauvre/abondant ; courant fort/faible ; matière organique vivante/détritique...).

Le second choix est celui de la stratégie d'échantillonnage des paramètres du milieu à l'intérieur de la période de mesure (1 jour pour les mesures indirectes de biodépôts, 15 jours pour les mesures de croissance) : c'est en effet la moyenne des paramètres du milieu sur cette période qui sera prise en compte.

A l'intérieur d'une période de 24 heures, le tirage des moments de mesure peut être fait par échantillonnage aléatoire simple ou par échantillonnage systématique (ex : une mesure toutes les heures) dans le cas où les fluctuations de milieu ne sont régies par aucun mécanisme simple connu par ailleurs. Le nombre de mesures dépend alors de la variance observée dans un prééchantillon. Sur la côte atlantique, ces fluctuations sont étroitement liées au jeu des marées (les courants principalement, mais aussi la composition du milieu). Dans ce cas, le tirage aléatoire n'est pas le plus adapté : une première stratification jour/nuit est intéressante, permettant de n'échantillonner que la strate jour, sous réserve que des différences systématiques de milieu n'existent pas entre le jour et la nuit. Dans la strate jour, 2 solutions sont possibles : soit sous stratifier heure par heure (une étude des variations à l'intérieur d'une heure permettant de vérifier si 1 point par heure est suffisant), ce qui implique au moins une mesure par heure, soit déterminer l'heure de la marée où les paramètres sont au niveau moyen de la journée, et n'échantillonner que cette heure-là. Si la relation entre l'heure de la marée (ou la hauteur d'eau) et les caractéristiques du milieu est étroite, la hauteur d'eau peut constituer une variable auxiliaire dans une estimation par régression (cf. annexe) permettant de n'échantillonner que certaines heures de la journée (1 à la limite).



A l'intérieur d'une période de 15 jours le même raisonnement peut être suivi :

- si les fluctuations d'un jour à l'autre sont aléatoires, échantillonnage aléatoire simple ou systématique des jours de mesure et détermination du nombre de jours de mesures en fonction de la variance et de la précision souhaitée. Ainsi, la densité de phytoplancton est sous la dépendance de facteurs imprévisibles tels que l'ensoleillement, la pluviométrie, la durée des blooms et la phase à l'intérieur du bloom... Si le prééchantillon (mesures quotidiennes) a mis en évidence des cycles courts, 8 jours par exemple, la variance inter-jours sera élevée sur ces 8 jours, ce qui nécessitera plusieurs jours de mesure par semaine.

- Certaines fluctuations peuvent être corrélées à des paramètres connus, en particulier la marée : c'est le cas des courants et de la matière organique détritique remise en suspension. Si la corrélation est imparfaite, il est possible de stratifier en fonction des coefficients de marée : exemple : 2 strates (7 jours de vives eaux et 7 jours de mortes eaux), le nombre d'unités primaires que sont alors les jours à échantillonner dans une strate étant déterminé par la variance inter-jours. Si la corrélation est étroite, la meilleure méthode est d'utiliser les coefficients de marée des jours successifs comme variable auxiliaire, dans une estimation par régression.

- la stratégie d'échantillonnage à l'intérieur des jours de mesure sélectionnés reste celle définie précédemment.

### 3.2.2. Caractéristiques du milieu à l'entrée d'un système modélisé

Comme dans l'analyse des relations milieu/mollusque, le nombre de stations de mesure est limité (6 dans le cas de Marennes-Oléron) : elles seront situées principalement aux limites du système (aux points d'entrée de sels minéraux ou de phytoplancton), des stations intérieures servant à "recaler" le modèle. Le nombre de stations de mesure dans chaque zone d'entrée devrait être déterminé à partir de la variabilité spatiale observée et de la précision souhaitée.



A nouveau, il est nécessaire d'avoir en ces points une bonne représentativité des variations du milieu dans le temps. Le modèle va calculer la production générée par les stocks de mollusque en place, à partir des caractéristiques du milieu entrant. Ce calcul sera d'autant plus précis qu'il sera effectué sur un pas de temps court à l'intérieur duquel les fluctuations de milieu peuvent être considérées comme négligeables. Ces fluctuations dans le temps posent les mêmes problèmes de stratégie d'échantillonnage que dans les études analytiques, et sont à l'étude en 1 point (estuaire Charente) du bassin de Marennes-Oléron au moyen de campagnes d'enregistrement des paramètres du milieu en continu, sur la période de croissance. Ces campagnes serviront de prééchantillons permettant d'optimiser la stratégie ultérieure.

### 3.2.3. Caractéristiques du milieu sur l'ensemble du bassin

Aux éléments nutritifs entrant aux limites d'un système modélisé est à rajouter la production primaire interne phytoplanctonique et benthique. Il s'agit là du seul paramètre pour lequel une stratégie prenant en compte à la fois l'espace et le temps est à définir. Ce thème fait l'objet de la thèse en cours de O. Raillard, au Laboratoire Ecosystèmes Conchylicoles de La Tremblade.

En l'absence de modélisation, il n'apparaît en aucun cas justifié de tenter d'obtenir une image représentative du milieu sur un bassin dans son ensemble, à partir d'un large échantillon de stations de mesure. Il est plus simple et plus précis de caractériser les potentialités d'un bassin en différents secteurs par des mesures directes de croissance et mortalité que par des mesures de milieu.

## 4. STATISTIQUES CONCHYLICOLES

Les stratégies d'échantillonnage étant optimisées, pour chacun des paramètres du suivi conchylicole (stocks, productions, ventes, potentiel trophique...), il est envisageable de centraliser certaines données synthétiques utilisables à des fins administratives (statistiques officielles, CEE...), économiques ou scientifiques.



La base de ces statistiques est la production annuelle commercialisée à partir de chaque région, estimée actuellement par le nombre d'étiquettes sanitaires achetées par les producteurs de la région (données collectées par l'IFREMER et transformées en données pondérales et centralisées par les Affaires Maritimes). Pour affiner ces statistiques et estimer leur biais, le "Bureau Central des Statistiques" de la Direction des Pêches et des Cultures Marines qui garde la responsabilité de l'élaboration des statistiques de production annuelle de mollusques commercialisées, doit faire réaliser par l'INSEE des enquêtes régionales auprès des exploitants, à l'objectif socio-économique (structure des exploitations, moyen, équipements, productions...).

Parallèlement, le département R.A. (et ultérieurement CSRU) de l'IFREMER, réalise pour ses besoins propres des estimations annuelles de stocks en place et de taux de production qui peuvent permettre d'estimer les mouvements de naissain, et les ventes réalisables à partir des stocks en place, région par région.

La confrontation de ces deux sources de données pour l'ensemble des régions françaises peut permettre de les valider, et de vérifier leur cohérence (cf exemple fictif de statistiques dans le tableau ci-après).

Pouvoir disposer de l'ensemble des informations synthétiques sur les mollusques des principales régions françaises peut faciliter la prise de décisions concernant par exemple la fixation des prix de vente de la campagne, en fonction des quantités totales disponibles à la taille commerciale, les autorisations de transferts entre régions en fonction de l'état zoosanitaire respectif de leurs cheptels... Un tel archivage peut aussi permettre de déceler des tendances, des évolutions comparatives.

Néanmoins, on ne peut établir que des comparaisons très limitées avec le système mis en place pour les statistiques de pêche. La plupart des données recueillies sont à archiver et exploiter localement, seules les données synthétiques (totaux, moyennes annuelles...) méritant d'être centralisées : c'est le cas pour les détails des études de stock, de croissance, de taux de parasitisme, de conditions de milieu... Plusieurs de ces données sont encore expérimentales et en cours d'élaboration (état zoosanitaire des cheptels, conditions trophiques...).



Les données conchyliques sont de nature très diverse, à la différence des données de pêche, et surtout aucun traitement complexe utilisant l'ensemble des données recueillies sur tout le littoral, du type modèle de pêche, n'est envisageable. Les seuls traitements d'ensemble sont à base d'archivage, de consultation et d'édition de statistiques et de statistiques simples.

## 5. CONCLUSION - SUITE A DONNER

Le terme de statistiques conchyliques s'applique le plus souvent aux statistiques de commercialisation régionales ou nationales. D'autres données, plus qualitatives, justifient un recueil statistique au plan national et européen : ce sont celles relatives à la salubrité des coquillages et à leur état zoosanitaire. Cependant nous avons jugé utile d'étendre cette étude aux données d'intérêt essentiellement local (évaluation des stocks, des productions, des potentiels trophiques des différents bassins conchyliques) dans la mesure où leur analyse soulève des problèmes méthodologiques généraux, et permet de conforter ou préciser les statistiques de ventes.

Des statistiques conchyliques valables ne peuvent être établies que si les données de base ont été collectées avec une stratégie d'échantillonnage appropriée. Cependant il nous est apparu nécessaire dans bien des cas de rechercher plus généralement la meilleure stratégie d'action, ensemble des règlements, mesures, protocoles d'expériences et de suivis, les plus efficaces pour atteindre l'objectif fixé.

Les principales actions proposées dans le but d'améliorer le contrôle de la qualité des eaux conchyliques et des produits et la gestion des cheptels sont :

- expérimentation sur la décontamination bactérienne des coquillages en fonction du traitement appliqué (dégorgeoirs et purifications expérimentales),

- meilleure définition de l'impact de la consommation des coquillages sur la santé publique,



- définition de nouvelles "normes milieu", susceptibles d'être appliquées à l'ensemble des pays de la CEE, et échantillonnages en vue du classement et suivi du littoral français selon ces normes,

- réexamen de l'effort d'échantillonnage de routine en vue de la détection des phytoplanctons toxiques, et recherches parallèles de facteurs explicatifs et prévisionnels,

- modulation de l'effort de contrôle zoosanitaire des coquillages importés, par pays, produit, saison,

- réduction du suivi des larves pour prévision de captage, et prise en compte des données météorologiques,

- recherche de données historiques de croissances, mortalités, productions, à corrélérer avec l'évolution des stocks, l'évolution climatique ou des évènements exceptionnels,

- réalisation d'enquêtes auprès des producteurs afin d'estimer les productions, transferts entre régions...

- confrontation entre données de production issues d'échantillonnages et suivis sur les cheptels, et données d'enquêtes et déclaration des producteurs,

- suivi multiparamètres sur un réseau de stations représentatives, à fins d'estimation directe de la production biologique, de suivi de la mortalité, et de veille pathologique,

- optimisation de l'échantillonnage du milieu pour évaluation du potentiel trophique, et plus largement de la qualité biotique des sites.

Plusieurs de ces actions relèvent d'une concertation entre l'IFREMER et l'administration (Affaires maritimes, Services Vétérinaires, Bureau central des statistiques du Secrétariat d'Etat à la mer...). D'autre part, une participation honnête et bienveillante de l'ensemble de la profession à certaines de ces opérations, enquêtes en particulier, est une contrepartie nécessaire à l'efficacité de l'ensemble. La procédure



d'enquêtes apparaît d'ailleurs aujourd'hui sous-utilisée, par rapport à son intérêt potentiel.

Au sein même de l'IFREMER, l'application des mesures proposées suppose une remise en cause fréquente des finalités et stratégies d'action en fonction des résultats acquis et des nouvelles perspectives, une concertation accrue entre services ou unités, et parfois l'acquisition de compétences complémentaires et une spécialisation. Ainsi, une meilleure connaissance des techniques de sondage et l'échantillonnage est-elle indispensable au C.S.R.U.

A la suite de ces recommandations tous azimuts en matière de programmes et stratégies d'échantillonnage en conchyliculture, nous nous proposons de participer à l'application de certaines d'entre elles jugées prioritaires, à partir de 1987-1988 :

- définition d'une stratégie optimale pour le classement et le suivi de la salubrité du littoral, à partir de cas concrets

- réalisation d'enquêtes et sondages pour évaluer la production par une source indépendante des étiquettes sanitaires

- méthodologie d'échantillonnage pour l'évaluation des stocks, des productions et de la qualité biotique du milieu.



Tableau 1 : EXEMPLE DE STATISTIQUES CONCHYLICOLES (HUITRES CREUSES)  
D'UNE ANNEE FICTIVE (été → été).

|                 |            | ESTIMATION DES STOCKS CULTIVES   |                    |                    |                    |                                   | IFREMER                                       | BUREAU CENTRAL STAT.                       |  |
|-----------------|------------|--|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------------------------|---|--|--|
|                 |            | (1) Décomposition du stock, l'été de l'année n<br>(2) Transfert de naissain entre l'été n-1 et l'été n |                    |                    |                    | (3) vendable<br>jusqu'à été n + 1 | (4) ventes réelles<br>(statistiques de prod.) | (5) transferts<br>d'adultes<br>= (3) - (4) |  |
|                 |            | 1 an <sup>+</sup>  | 2 ans <sup>+</sup> | 3 ans <sup>+</sup> | 4 ans <sup>+</sup> |                                   |   |  |  |
| NORMANDIE       | (1)<br>(2) | 2000t<br>(+1000t)  | 10000t<br>(+1000t) | 20000t             |                    | 25 000t                           | 20 000t                                       | -5000t                                     |  |
| BRETAGNE        | (1)<br>(2) | 2000t<br>(+1000t)  | 10000t<br>(+2000t) | 20000t             |                    | 25 000t                           | 20 000t                                       | -5000t                                     |  |
| BOURGNEUF       | (1)<br>(2) | 2000t<br>(+1000t)  | 5000t<br>(+1000t)  | 10000t             | 15000t             | 16000t                            | 14000t  | -2000t                                     |  |
| MARENNES-OLERON | (1)<br>(2) | 8000t<br>( )   | 16000t<br>(-3000t) | 24000t             | 30000t             | 32000t                            | 47000t  | +15000t                                    |  |
| ARCACHON        | (1)<br>(2) | 3000t<br>( )   | 10000t<br>(-1000t) | 20000t             |                    | 25000t                            | 22000t  | -3000t                                     |  |
| MEDITERRANEE    | (1)<br>(2) | 5000t<br>(+1000t)  | 10000t<br>(+1000t) |                    |                    | 15000t                            | 15000t  |  |  |

- (1) Le tonnage de chaque classe d'âge est obtenu par l'étude de stocks annuelle
- (2) Les mouvements de naissain en cours d'année peuvent être obtenus par estimation directe (THAU) ou à partir de leur apparition dans les stocks de l'année suivante.
- (3) Les quantités vendables sont calculées à partir de la croissance et de la mortalité des lots présents au moment de l'étude des stocks ou entrés en cours d'année
- (4) Les ventes réelles sont issues des statistiques d'étiquettes sanitaires
- (5) Les transferts sont calculés par différence avec les quantités vendables, et vérifiés par les statistiques de bon de transports.



Tableau 2 : Suivi des cheptels conchylicoles dans les principaux laboratoires IFREMER du littoral français.

|                   | Etude historique stocks/prod. | Estimation recrutement   | Estimation stocks  | Croissance-mortalité expérimental   |  | suivis milieu  | suivi cheptel indigène  | suivi zoosanitaire importations                             | Divers  |
|-------------------|-------------------------------|--|--|---|--|--|---|---|---|
| MARENNES-OLÉRON   | Faite 1885-1984               | compt. larves  | huîtres depuis 1983  | relation avec le milieu depuis 1979 - effet émigration 1985-1986 (pesées individuelles 15 poches)                     | 1985-1986 - 3 poches suivies chez 22 professionnels à partir 87 collecteurs vente huîtres en 4 ans                   | 6 stations 1 prélèvt./15j physico-chim + nutritif 2 stations en cycle de marée 1jour/15 j 1 station en continu sur 1 cycle de marée en 1986-87 | pas de suivi systématique   | pas de prélèvement régulier                                 | bassin pilote étude écosystème (Labo. Nat.)             |
| LA ROCHELLE       |                               | Estimation nb de collecteurs   | moules 1984, 1985 (Marennes Oléron), 1987 (Aiguillon)  |   |  |  |   |   |   |
| ARCACHON          | en cours                      | -Compt. larves 6 points bi hebdo Juin-sept. - évaluation captage en 1985                                 | huîtres depuis 1985  | 3 stations 1 poche à faible densité   | 3 stations à 5 poches huîtres suivi mensuel, crois., mort., bioch.   | 3 stations 1 prélèvt./15j (pleine mer ME) phys-chim + nutrit.  | envoi échantillons huîtres en cas de mortalités signalées Sète  |   |   |
| BOURGNEUF         |                               | pas captage huîtres  | huîtres depuis 1984 moules de pêche depuis 1986  | 4 stations casiers huîtres suivi mensuel crois.individ. + indice cond. et composition bioch.                          | 4 stations 3 poches poids total, mort./2 mois  | 4 stations depuis 1987 (prééchantillonnage) 1 VE/mois prélevt. horaires 1 ME/mois 1 prélevt.   |   |   |   |
| BRETAGNE          | NON                           | H. plate compt.larves<br><br>estimation nb tuiles et captage sur coquilles de moules en Baie de Quiberon | H. creuse enquête schémas d'expl. Baie de Quiberon<br>H. plate et creuse<br>Mise au point des techn. appl. aux stocks profonds<br><br>Moules Baie Mt St Michel comptage nb pieux | H. plate Concession IFREMER, eau prof. Baie de Quiberon suivi trimestriel croiss. et mortalité                        | H.plate tous semis profess. Suivi trimestriel croiss.<br><br>vente en 2-3 ans<br><br>Moules : 2 stations suivi/2mois | NON<br>sauf temper., sal. sur le réseau eaux colorées<br><br>et en juin (prévision captage)  | H.plate Bonamia/Martelia stocks profonds 1 éch. (100 indiv.) /semis/trim.<br><br>stocks découvrants 1 éch. /semestre<br><br>Moules : 2 stations Mytilicola Trematodes/ 2 mois<br>Autres sp. examens épisodiques | suivi régulier (mensuel) sur les produits les plus importés |   |
| NORMANDIE         | en cours                      |  | huîtres à partir 1987  |   |  |  |   | pas de contrôle   |   |
| MEDITERRANEE THAU | Non faite                     | pas de captage H. creuse   | THAU H.plate, H. creuse, Moules depuis 1984<br><br>trimestriel à partir 1987-1988  | Huîtres 7 stations suivi mensuel croiss. (dont 2 biochimie) + exp.densité 1987<br>Moules 4 stations suivi trimestriel | Huîtres (collées) 33 stations à 1 point/an (vente en lan) "pignes" 1987<br><br>Moules X stations                     | Phys.chim/sels min : 5 stations/15j Chlorophylle 14 stations/ 15 j<br><br>ramené à 6 stations communes en 1987                                 | Huîtres 2 campagnes d'analyse/an<br><br>Moules suivi mensuel Martelia/13 points   | suivi régulier  | programme ECOTHAU en collaboration avec les universités |



ANNEXE1

DEFINITION D'UNE STRATEGIE D'ECHANTILLONNAGE

De nombreux ouvrages ou articles traitent de ce sujet, en particulier Cochran (1977) et Scherrer, dans Frontier (1983) pour les aspects généraux, Elliot (1977) pour les transformations de données, Chessel (1978) pour la description de la dispersion spatiale. Nous ne ferons ici que rappeler les principes pour les principaux types d'échantillonnages abordés dans le texte :

- contrôle des établissements d'expédition de coquillage
- étude d'une zone du littoral, en vue de son classement en zone salubre et insalubre
- contrôle de routine de la qualité des zones conchyliques
- détection des blooms de phytoplancton toxique
- estimation des stocks de mollusques d'un bassin
- détection de larves d'huîtres pour pose des collecteurs
- estimation de la production annuelle des différentes classes de mollusques cultivés présentes dans un bassin
- surveillance zoosanitaire de base
- étude zoosanitaire en cas d'alerte
- contrôle des produits importés
- détermination des caractéristiques du milieu en un point sur une période courte, pour les corrélés à la production de mollusques à la même période, au même point



- détermination de l'énergie entrant aux limites du système étudié, en continu

L'échantillonnage est la sélection d'un sous-ensemble des unités d'une population sur lesquelles on mesure un paramètre donné (qualitatif ou quantitatif), afin d'estimer certaines caractéristiques de ce paramètre (valeur moyenne, dispersion...) applicables à l'ensemble de la population. Le plan d'échantillonnage vise à choisir au mieux la taille des unités, leur nombre, leur emplacement dans l'espace et dans le temps, en fonction de contraintes pratiques (engin d'échantillonnage...), des variations observées dans un prééchantillon ou par le passé, de connaissances extérieures et de la précision souhaitée.

Dans certains types d'échantillonnages, le choix des lieux ou moments de prélèvements n'est pas fait au hasard, et les conclusions qu'on en tire ne paraissent pas s'appliquer à l'ensemble de la population. En réalité, une définition précise des termes utilisés permet de rattacher ce cas au précédent (§2).



## 1. ECHANTILLONNAGES ALEATOIRES

### 1.1. Variable aléatoire étudiée ; définition des unités d'échantillonnage

- Variables quantitatives :

- . études de stocks : poids total par m ou m<sup>2</sup>
- . productions : augmentation de poids annuelle d'un lot donné
- . milieu : poids de nutriments ou énergie par litre

- Variables qualitatives :

- . présence/absence de larves d'huîtres dans un litre d'eau
- . nombre de dinoflagellés par litre au-dessus/au-dessous d'un certain seuil
- . huîtres parasitées/non parasitées par un agent pathogène donné

### 1.2. Loi de distribution de la variable aléatoire

L'intervalle de confiance autour d'une estimation d'une variable aléatoire se calcule simplement à partir d'une estimation de son erreur-type, à condition que la variable suive une loi normale.

L'approximation normale est valable dans le cas de moyennes d'échantillons de variable quantitative, dès que le nombre d'unités échantillonnées est grand ( $n > 30$ ), même si ces unités n'ont pas elles-mêmes une distribution normale (théorème central limite).

La loi exacte du nombre de réalisations d'une modalité d'une variable aléatoire qualitative à 2 modalités, lors d'un tirage dans une population infinie est la Loi Binomiale.

L'intervalle de confiance autour d'un pourcentage est donc à rechercher dans les tables de la Loi Binomiale, exemple : si un individu est parasité dans un échantillon de 30, la prévalence estimée est de 3,33 % et l'intervalle de confiance, au risque d'erreur 5 % est de 0,08 % - 17,23 % (Rohlf and Sokal, 1969 ; Statistical tables, Freeman and Co). Les



conditions d'approximation par une loi normale, qui évitent les recours à une table et permettent des calculs de précision avec des plans complexes (stratifiés...) sont rarement réalisées quand le pourcentage de l'une des modalités est faible. Ainsi, pour  $p = 10 \%$ , il faut au moins 60 individus dans la plus petite classe, soit 600 au total (Cochran, 1977). Certains auteurs proposent des conditions moins strictes d'approximation normale (exemple  $np > 20$ ).

Si le nombre échantillonné est très grand ( $n \rightarrow \infty$ ), et la probabilité de l'une des modalités très petite ( $p \rightarrow 0$ ), le nombre de réalisations de l'évènement rare suit une loi de Poisson (exemple : nombre d'individus atteints en début d'épizootie), et l'intervalle de confiance autour d'une estimation de prévalence moyenne est à rechercher dans une table de loi de Poisson.

Quand un petit nombre d'unités ( $n < 30$ ) est échantillonné, d'une population à distribution contagieuse (variance supérieure à la moyenne), dont on veut estimer l'effectif, les données doivent être transformées afin de les normaliser (Elliot, 1977).

### 1.2. Echantillonnage aléatoire simple

La méthode la plus simple pour répartir les mesures dans l'espace est l'échantillonnage aléatoire simple. Elle consiste à tirer les unités dans la même probabilité de tirage pour chacune. Pour un tirage d'individus dans un secteur donné, une solution, en l'absence de liste exhaustive d'unités, peut être de tirer avec remise des coordonnées sur un plan du secteur.

Cette méthode conduit à des calculs simples mais peut nécessiter un grand nombre de mesures si la variance est élevée.

### 1.3. Echantillonnages systématique

Au lieu d'être tirées au hasard, les mesures sont réparties régulièrement dans l'espace ou dans le temps. L'inconvénient est qu'il n'existe aucun moyen de connaître la variance des estimateurs (et donc la précision des estimations), sauf hypothèse de répartition aléatoire de la



variable étudiée. Une solution est de réaliser plusieurs échantillons systématiques pour obtenir une variance : c'est ce qui est fait dans l'estimation du pourcentage exploité sur photos aériennes, à partir d'une grille de points régulièrement espacés.

Un échantillonnage systématique peut être réalisé dans l'espace (grille de points, transects...) quand on s'intéresse plus à la description de structures spatiales, à la cartographie du paramètre étudié, qu'à l'estimation de sa valeur moyenne. Exemples : étude épidémiologique de la répartition d'un parasite déclaré, étude de l'étendue d'une pollution.

De même, la répartition de mesures peut être régulière dans le temps (toutes les heures, tous les mois, tous les trimestres...) quand on veut mettre en évidence la courbe d'évolution du paramètre (cycle...) plus qu'estimer sa valeur moyenne sur la période, ou dans le cas fréquent où existent des phénomènes d'auto-corrélation entre éléments rapprochés.

#### 1.4. Stratification

La technique la plus largement utilisée pour améliorer la précision sur une estimation est la stratification. Elle consiste en un découpage exhaustif de la population en sous-ensembles ou strates plus homogènes à l'intérieur desquelles la variance sera plus faible que la variance totale. Exemple : strates par zone ou par type de culture (plat, collecteurs, poches) dans l'étude des stocks. L'estimation par strate peut présenter un intérêt intrinsèque et justifier à lui seul la stratification. Ainsi, dans une étude épidémiologique, il est utile de rechercher l'agent pathogène séparément dans les différentes classes d'âge, les différents biotopes, les différentes techniques culturales...

La difficulté principale sera généralement d'estimer précisément le poids de chaque strate (par exemple), la stratification collecteurs 1 an/collecteurs 2 ans impose une estimation supplémentaire de longueurs sur le terrain).



Dans l'idéal, la répartition de l'effort d'échantillonnage entre les strates est faite proportionnellement à leur taille et à leur écart-type.

#### 1.5. Regroupement des unités d'échantillonnage au sein d'unités primaires (ou grappes)

Ce regroupement répond plus à des considérations pratiques et économiques que statistiques généralement. Il est d'autant moins préjudiciable sur le plan de la précision que la variabilité est grande à l'intérieur des unités primaires. Des calculs prenant en compte les coûts d'accès aux grappes et aux unités secondaires ainsi que les variances intra et inter-unités primaires permettent d'optimiser les nombres d'unités secondaires à échantillonner par unité primaire.

#### 1.6. Echantillonnage avec régression

L'échantillonnage avec régression permet d'utiliser un grand nombre de valeurs d'une variable auxiliaire aisément mesurable, ou connue par ailleurs, pour l'estimation de la variable principale à laquelle elle est reliée par une régression linéaire (à établir sur un sous-ensemble de couples de données).

Dans le cas où peut être établie une régression linéaire entre la variable étudiée et le critère de stratification, cette méthode peut remplacer la stratification. Ainsi, si le taux de production est une fonction linéaire du coefficient d'émersion, l'utilisation de cette régression peut remplacer par exemple une stratification à 3 niveaux (les hauts, les bas, la zone médiane). De même, la matière organique détritique à la même heure de marée, les jours successifs, peut être liée linéairement au coefficient de marée du jour.

### 2. ECHANTILLONNAGE "RAISONNE"

Quand on recherche non pas la valeur moyenne d'une variable aléatoire dans une population, mais une valeur particulière, il est plus efficace d'effectuer une sélection de points de mesure non aléatoire. Ainsi, il suffit d'un minimum de mauvais résultats d'analyse en zone salubre pour



infirmier le classement de cette zone. Ces mauvais résultats sont donc à rechercher en priorité. De même, si des informations extérieures peuvent faire douter de la qualité zoosanitaire d'un produit en provenance d'un pays donné, les contrôles accrus porteront sur ce produit. Dans ces cas, il reste possible de fournir des résultats moyens pour l'ensemble de la population, à condition d'affecter la valeur la plus probable à la strate non mesurée.

La répartition de l'effort dans les contrôles de qualité répond à une stratégie similaire : l'objectif n'est pas de calculer un pourcentage de mauvaise qualité, mais de protéger le plus efficacement possible le consommateur ou les cheptels d'où un effort de contrôle des établissements d'expédition ou importateurs, proportionnel aux quantités traitées et au risque unitaire (quand il est connu). Ce protocole de sélection s'apparente au tirage d'unités avec probabilité proportionnelle à leur taille. Pour la même raison, le contrôle des produits importés sera fait principalement en début de campagne d'importation.



## BIBLIOGRAPHIE

- BACHER C., 1984. Echantillonnage du stock d'huîtres du bassin de Marennes-Oléron. Rapport de DEA, Université de Paris, 38 p.
- BACHER C., DESLOUS-PAOLI J.M., HERAL M., PROU J., 1986. Amélioration de l'évaluation des stocks de mollusques cultivés en Charente-Maritime. Compte rendu n° 2 sur l'état d'avancement des travaux Convention de recherches Conseil Régional Poitou-Charentes-IFREMER.
- BERTHOME J.P., BELIN C., LASSUS P., LE BAUT C., 1985. Eaux colorées, planctons toxiques et cultures marines. Equinoxe N° 5 et 6.
- CHESEL D., 1978. Description non paramétrique de la dispersion spatiale des individus d'une espèce. Dans J.M. LEGAY et R. TOMASSONE. Biométrie et Ecologie.
- COCHRAN W.G., 1977. Sampling techniques. John WILEY and Sons.
- DEGRANGE J.M., 1981. Aspects sanitaires du procédé dit de dégorgement des huîtres. Thèse université de Bordeaux II, UER sciences pharmaceutiques.
- ELLIOT J.M., 1977. Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates. Freshwater Biological Association, Scientific publication n° 25.
- HERAL M., 1986. L'ostréiculture française traditionnelle. Aquaculture.
- HERAL M., PROU J., 1980. Etude de la biomasse bactérienne dans le bassin de Marennes-Oléron. CIEM C.M. 1980/L : 46.
- Inspection de La Tremblade, 1982. Optimisation des prélèvements et analyses bactériologiques dans les chenaux et ruissons.



- Laboratoire National Ecosystèmes Conchylicoles, IFREMER/DRV, 1986. Evolution et état du cheptel conchylicole dans le bassin de Marennes-Oléron : intérêt d'une régulation.
- LATOUR, 1983. Mise au point d'une méthode d'estimation de la biomasse d'huîtres en élevage dans un site test du bassin de Marennes-Oléron. Mémoire de DAA, ENSA de Rennes.
- PROU J., FAURY N., 1980. Etude de la pollution bactérienne d'un chenal ostréicole : le chenal de Putet à La Tremblade. Influences respectives du tourisme et de la station d'épuration des eaux usées.
- SCHERRER B., 1983. Techniques de sondage en écologie (Dans Frontier, stratégies d'échantillonnage en écologie). Masson.
- SNEDECOR G.W. et COCHRAN W.G., 1957, 6ème édition. Méthodes statistiques. Ed. Association de coordination technique agricole.
- SOKAL R.R. and ROHLF F.J., 1969. Biometry. N.H. FREEMAN and Co.





Siège social 66, avenue d'Iéna 75116 Paris  
Tél. 47 23 55 28 Télex 610775