

In = Stratégie d'échantillonnage en écologie
S. FRONTIER (Ed.), collection d'Ecologie, 17
Marian et Cie, Paris : 312.322, 1983
ISBN 2-225-76186-8

CHAPITRE 7

ÉCHANTILLONNAGE
D'UN PEUPLEMENT DE POISSONS
EN MIGRATION

par

Jacques QUENSIÈRE et Vincent BÉNECH

Après avoir étudié la systématique des poissons du bassin tchadien puis les caractéristiques biologiques des principales espèces d'intérêt commercial, les ichthyologistes de l'O.R.S.T.O.M. se sont intéressés à partir de 1972, en utilisant les échantillonnages antérieurs et postérieurs à cette date, à l'étude globale du peuplement de poissons du bassin, et plus précisément du lac et des biefs inférieurs du Logone et du Chari. Il importait en effet d'essayer de comprendre au mieux les répercussions, sur l'hydrologie du bassin et la dynamique des peuplements en place, de la période de sécheresse sévissant alors sur le Sahel.

Cette réorientation des programmes de travail impliquait une remise en question de la méthodologie, l'échantillonnage d'ensemble multisécifiques soulevant en ichthyologie des difficultés. L'exemple que nous avons choisi de présenter ici constitue une solution très spécifique, dont nous ne prétendons pas faire un modèle mais seulement un support de réflexion et un bilan de nos efforts en matière d'échantillonnage d'un objet particulièrement hétérogène.

Nous commencerons cet exposé par une esquisse de l'hydrologie et de l'ichthyologie du système fluvio-lacustre, qu'il est nécessaire d'aborder dans son ensemble. Nous détaillerons ensuite les raisons pour lesquelles nous avons entrepris l'étude de la plaine inondée du Nord-Cameroun, les questions auxquelles nous souhaitons répondre, et les raisons qui nous ont conduits aux options choisies pour bâtir le protocole expérimental. Enfin, après avoir exposé les limites d'une telle procédure, nous tenterons un élargissement de la discussion au problème des protocoles d'échantillonnage en ichthyologie.

Fonds Documentaire ORSTOM

Cote: Bx 20315 Ex: 1



010020315

1. — TRAITS ESSENTIELS DE L'HYDROLOGIE ET DE L'ICHTHYOLOGIE DU SYSTEME FLUVIO-LACUSTRE TCHADIEN ET JUSTIFICATION DE L'ETUDE

1.1. — Hydrologie

Le Tchad est un lac endorhéique peu profond, aux rives le plus souvent plates et indécises. Sa situation géographique aux confins du Sahara et sa morphologie particulière font que son extension est éminemment variable. On distingue depuis Tilho (1928) un état "Tchad normal" correspondant à des superficies de l'ordre de 18 000 à 20 000 km², et un état "petit Tchad", de 8 000 à 10 000 km². Dans l'état "petit Tchad" seule la cuvette sud du lac reste en eau toute l'année; la cuvette nord, qui constitue le milieu lacustre le plus stable en phase "Tchad normal", n'est plus alors qu'un marécage temporaire. Depuis le début du siècle deux périodes de "petit Tchad" ont été observées: la première entre 1908 et 1916, la seconde de 1975 à nos jours, déclenchée par les crues exceptionnellement faibles de 1972-73 et 1973-74.

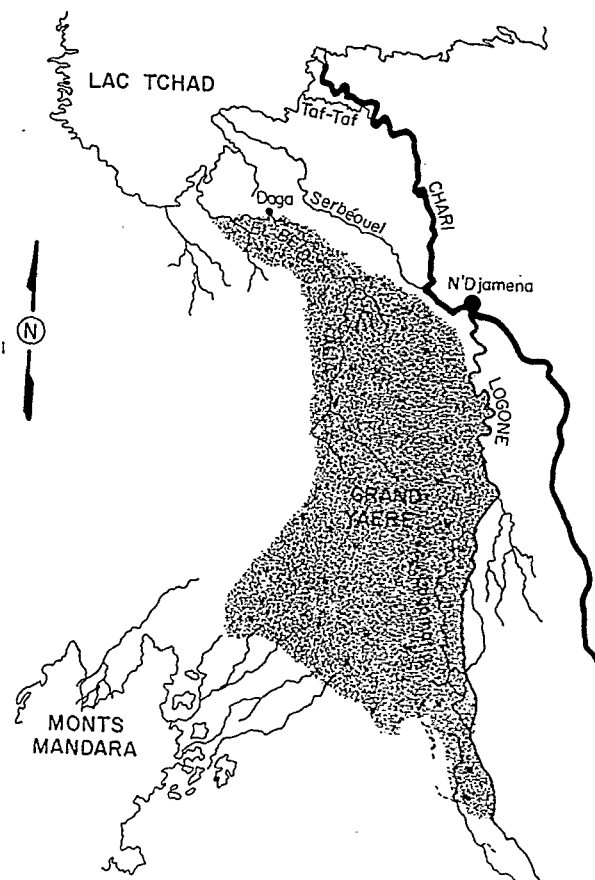


FIG. 7.1. — Le Grand Yaéré du Nord-Cameroun. Carte de situation.

Les apports du lac proviennent essentiellement du Chari grossi du Logone, seuls grands fleuves permanents du bassin, à régime hydrologique de type tropical, avec une crue annuelle bien individualisée et un étiage prolongé. A la crue, les déversements importants du Logone ont lieu dans les plaines latérales, et tout particulièrement sur sa rive gauche vers le Grand-Yaéré du Nord-Cameroun (fig. 7.1), vaste plaine sédimentaire sans relief, couverte au moment de l'inondation d'une abondante végétation. Seule une faible partie des déversements retourne au Logone, l'essentiel progressant vers le nord en suivant la pente du terrain pour être ensuite drainé vers le lac par l'El Beïd (Benech *et al.*, à paraître).

1.2. — Ichtyologie

Au cours de la période "Tchad normal", on observe des bancs de poissons en voie de maturation quittant le lac pour effectuer, au tout début de la crue du Chari, des migrations anadromes les conduisant en amont de N'Djaména, à proximité des zones inondées bordant le cours des fleuves (Loubens, 1973). Des juvéniles sont ensuite trouvés dans les zones inondées elles-mêmes, où, grâce à des conditions d'alimentation et d'abri favorables, ils effectuent une première croissance optimale. Parmi ces zones inondables, le Grand-Yaéré occupe une position privilégiée par son étendue mais surtout par sa conformation, une grande partie des poissons qu'il accueille participant directement au renouvellement des stocks lacustres en empruntant l'El Beïd. Ce schéma de cycle de reproduction, bien qu'il n'ait été réellement démontré que pour *Alestes baremoze* par Durand (1978), correspond aux observations faites en divers endroits du système fluvio-lacustre pour d'autres migrateurs et semble pouvoir être extrapolé sans risque à une trentaine d'espèces constituant l'essentiel des peuplements lacustres pendant la période "Tchad normal".

Au cours de l'évolution hydrologique récente du Tchad, les peuplements ichthyologiques ont subi de profonds bouleversements. Pendant la phase d'assèchement qui a conduit en deux ans d'un faciès "Tchad normal" à un faciès marécageux instable, une sélectivité s'est effectuée, favorisant des espèces manifestant des adaptations de régime alimentaire, de reproduction et de respiration leur permettant de survivre en milieu instable, aux dépens d'espèces effectuant de grandes migrations et à préférences plus stricts (Benech *et al.*, à paraître). La sélection s'est opérée à la fois sur les stocks eux-mêmes de ces dernières (fort accroissement de la mortalité totale) et sur le renouvellement des stocks en raison de la fragmentation du lac, isolant les stocks des frayères et contrariant la mise en eau de celles-ci (crues de 1972-73 et de 1973-74 trop faibles pour atteindre les zones inondables: Benech *et al.*, à paraître).

1.3. — Justificatif de l'étude entreprise

La crue de 1974-75 marque le retour à une hydraulité normale et donc la fin de la période d'assèchement. Le lac se stabilise dans son faciès "petit Tchad", le niveau de la cuvette sud remonte, les zones inondables sont à nouveau remises en eau par les débordements de la crue. A partir de 1974 on pouvait donc prévoir une nouvelle évolution du peuplement, qu'il était essentiel de suivre du plus près possible pour une meilleure compréhension du système fluvio-lacustre et pour une meilleure gestion des pêches qui s'y exercent. Dans ce contexte, l'étude du Yaéré était intéressante à plus d'un titre. Elle pouvait permettre d'estimer à partir de la composition du peuplement de juvéniles l'influence réelle de la sécheresse sur les différents stocks de migrateurs. Elle pouvait permettre également de vérifier que, par sa morphologie particulière, le Yaéré jouait un rôle déterminant dans le renouvellement des stocks lacustres: dans ce cas, une analyse de son peuplement ichthyologique permettrait de mieux percevoir les tendances évolutives générales des peuplements lacustres dans le nouveau contexte de "petit Tchad".

Un motif supplémentaire de l'étude du Yaéré nous a été fourni par les projets de mise en valeur du bassin du Logone, prévoyant une modification profonde des caractéristiques hydrologiques par créations de retenues d'eau, écrêtage et régularisation des crues, création de digues, mise en culture de portions de la plaine, etc.

Dans cette optique, l'étude synécologique du peuplement de poissons a été menée suivant deux axes définis par deux questions nous paraissant primordiales :

— l'influence de la sécheresse est-elle perceptible sur la composition du peuplement ichtyologique de la plaine du Nord-Cameroun ?

— l'influence des conditions mésologiques, et particulièrement des caractéristiques de la crue du Logone, est-elle perceptible dans les variations de composition, de diversité et de structuration de ce peuplement ?

2. — ÉLABORATION DU PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE

2.1. — Lieux d'échantillonnage

La nature des questions impliquent d'une part une étude de l'évolution hydrologique, d'autre part une analyse de la composition spécifique et de la répartition des peuplements ichtyologiques du Yaéré au cours de son inondation. La démarche la plus naturelle consistait à bâtir un plan d'échantillonnage dans la plaine elle-même. Pour pouvoir comparer les nouvelles données avec celles acquises avant la phase d'assèchement du lac (Durand, 1970, 1971), nous avons décidé d'échantillonner parallèlement les dévalaisons de juvéniles à partir d'une station fixe sur l'El Beïd, lieu de passage obligatoire des poissons du Yaéré lors de son assèchement. Cette précaution devait s'avérer judicieuse, car l'échantillonnage des juvéniles directement dans la plaine apparut rapidement difficile. Les résultats de plusieurs campagnes de prospection montrèrent que la faible hauteur d'eau moyenne, la très grande superficie du Yaéré (de l'ordre de 64 000 ha), l'absence de voies de pénétration, la grande difficulté d'échantillonner les poissons dans la plaine pendant les différentes phases de l'inondation, rendaient cette entreprise hasardeuse eu égard aux moyens dont nous disposions.

2.2. — Choix des descripteurs

2.2.1. — *Descripteurs mésologiques.* La limitation de l'étude à l'El Beïd restreignait considérablement les possibilités de description des conditions rencontrées par les poissons dans la plaine. Cependant les travaux de Roche (1973) montrent que certaines caractéristiques de l'eau (conductivité, transparence)

permettent de reconstituer l'histoire des masses d'eau entre leur entrée dans le Yaéré et leur écoulement par l'exutoire. Nous avons complété ces observations par des relevés de température et de hauteur d'eau. Le calibrage de l'El Beïd n'ayant pas pu être assuré par le Service Hydrologique de l'O.R.S.T.O.M., nous avons dû nous contenter des débits calculés à Tildé, quelque 15 kilomètres en amont. Il importait enfin de caractériser la crue du Logone par des mesures de hauteur d'eau et de débit du fleuve à la station hydrologique la plus proche en amont des déversements dans le Yaéré (village de Bongor). Enfin à défaut d'observations directes dans la plaine, nous avons pu suivre l'évolution de la crue à partir des données recueillies en routine par le satellite Landsat.

2.2.2. — *Descripteurs biologiques.* Le choix des descripteurs biologiques découle des orientations de travail définies plus haut. L'étude du peuplement ichtyologique du Yaéré dévalant vers le Tchad par l'El Beïd, que nous appellerons "peuplement de dévalaison", nécessite l'acquisition d'informations sur le maximum d'espèces ; l'étude de la diversité et de la structure de ce peuplement implique une description quantitative, ou au moins semi-quantitative. Nous avons donc recherché une description de toutes les espèces capturées comprenant le dénombrement de chaque espèce, complété par le relevé des poids spécifiques dans chaque échantillon. L'hétérogénéité possible de chaque population quant aux âges et aux caractéristiques de croissance nécessite en outre la prise en compte d'un descripteur permettant de distinguer d'éventuelle cohortes : tailles ou poids individuels, ou indicateurs biométriques classiques de l'âge tels que lecture des épines, écailles etc. Dans un premier temps nous avons opté pour l'information la moins coûteuse à acquérir, à savoir la taille individuelle, nous réservant la possibilité d'en comparer les variations aux poids moyens individuels.

2.3. — Fréquence d'échantillonnage

Outre les connaissances, résumées ci-dessus, que nous avions des mécanismes fluvio-lacustres, une première série d'observations (Durand, 1970, 1971) nous permit de définir plus précisément un prémodèle de dévalaison par l'El Beïd. Une des conclusions essentielles de ces observations est que ces dévalaisons se produisirent, en 1968-69, en deux vagues successives de compositions spécifiques différentes : la première correspondait au maximum de la crue de l'El Beïd, la seconde à la décrue. En outre les influences du rythme lunaire et du rythme nyctéméral sur l'activité de certaines espèces s'avérèrent vraisemblables. La mise en évidence de structures du peuplement de dévalaison (deuxième axe de recherche) nécessitait donc un échantillonnage répété de périodicité inférieure à vingt-quatre heures, le traitement mathématique devant restituer le lien chronologique existant entre relevés successifs au moyen de méthodes exigeant une fréquence d'échantillonnage régulière.

En outre les relevés successifs devaient être comparables non seulement pour une même espèce afin de suivre ses variations d'abondance, mais entre

espèces afin que des comparaisons puissent être établies entre les peuplements de dévalaison d'une saison à l'autre et d'une année à l'autre.

Le problème de la comparabilité de deux échantillons est complexe. Dans notre optique deux échantillons sont comparables si (i) ils sont prélevés avec le même engin ou deux engins de caractéristiques identiques mis en œuvre de la même façon ; (ii) ils résultent d'efforts de pêche identiques ; (iii) ils sont de taille suffisante pour permettre le prélèvement de toutes les espèces présentes et capturables par l'engin considéré.

2.4. — Technique d'échantillonnage

2.4.1. — Choix de l'engin. L'El Beïd est un milieu très particulier qu'il est très difficile d'échantillonner correctement par les méthodes ichtyologiques classiques, principalement en raison de son hétérogénéité spatiale et de son instabilité. Des divers essais d'échantillonnage classiques effectués par Durand (1970), aucun n'a donné entière satisfaction, soit à cause d'un rendement très médiocre, soit d'une sélectivité trop prononcée, soit d'une mise en œuvre délicate, soit en raison des particularités du milieu prospecté. Pour notre part, nous avons tenté de mettre en œuvre des méthodes électriques. L'épuisette électrifiée ne permet pas de relevés quantitatifs ; son emploi est très lié à l'attention et à l'adresse du manipulateur ; elle ne peut être utilisée efficacement que sur fonds de moins d'un mètre et lorsque la turbidité n'est pas trop forte. Le barrage électrifié est délicat à mettre en œuvre ; il nécessite la présence quasi-permanente d'un personnel qualifié, ce qui ne peut être envisagé pour de longues périodes. Le chalut électrifié nécessite des fonds réguliers et propres, rares dans l'El Beïd, et ne peut s'appliquer qu'à la prospection du lit mineur. D'une façon générale les engins électrifiés provoquent d'assez fortes perturbations du milieu et se prêtent donc assez mal à un échantillonnage fréquent.

En fin de compte, la méthode traditionnelle en usage sur l'El Beïd s'est révélée préférable en raison de l'économie de moyens qu'elle permet, des rendements qu'elle autorise, enfin de la bonne définition possible de l'effort de pêche — critère indispensable à la comparaison des données recueillies.

2.4.2. — La pêche traditionnelle dans l'El Beïd. L'originalité et probablement l'efficacité de la pêcherie de l'El Beïd réside dans l'utilisation de barrages de pêche. Ce type d'ouvrage (fig. 7.2b) comporte une partie rectiligne assez longue placée perpendiculairement au cours du fleuve dans le lit mineur, prolongée dans le lit majeur par une ou deux ailes selon la conformation des berges. Le barrage est constitué d'un entrelac de branchages solidement maintenu en place par une rangée de piquets. Il n'est étanche ni à l'eau, ni aux poissons, mais présente une résistance au flot de crue. Il provoque ainsi une diminution du courant dans le bief amont, qui est mis en charge par rapport au bief aval, créant une zone de calme qui peut servir d'abri aux poissons, particulièrement à proximité du fond où l'épaisseur de l'ouvrage est plus grande et le long

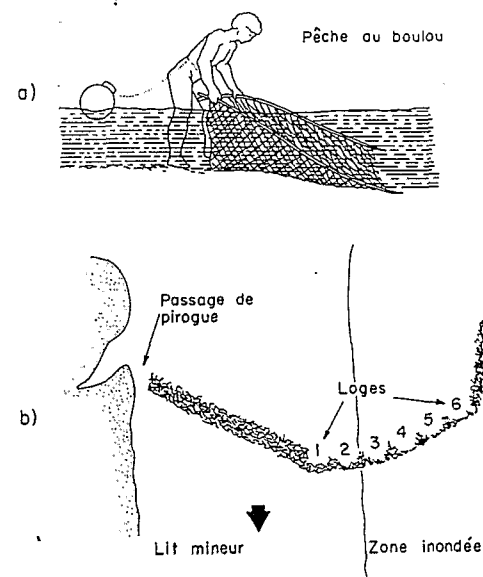


FIG. 7.2. — Plan d'un barrage de pêche.

des ailes qui s'étendent dans le lit majeur, où le courant est plus faible. Par ailleurs l'amas de branchages présente un obstacle à la dévalaison puisque les poissons doivent prospecter pour y trouver un passage. Dernier point : en filtrant l'eau, le barrage retient la dérive du matériel animal et végétal, et de plus offre un support au développement de la végétation fixée — autant de sources de nourriture pouvant contribuer à retenir les poissons ou à en ralentir la dévalaison.

Par toutes ces propriétés le barrage constitue un "concentrateur de poissons". Son rôle précis est lié à l'éthologie de chaque espèce : certaines espèces trouvent en effet dans ce micro-milieu des conditions les incitant à s'y maintenir, alors que d'autres ne sont que retardés par l'obstacle.

La pêche traditionnelle s'effectue à l'aide d'un filet triangulaire nommé "boulu" (fig. 7.2a) supporté et maintenu ouvert par deux perches et mis en œuvre par un pêcheur à pied : plongé dans l'eau, l'engin est remonté à intervalles réguliers. L'opération s'effectue dans une loge du barrage, où le pêcheur est environné par les branchages. Le choix de la loge dépend de la profondeur de l'eau : la pêche s'effectue sur fond d'un mètre environ car au-dessous, le rendement est médiocre et au-dessus, le maniement du filet est difficile. On voit l'importance dans ce mode d'échantillonnage de la composante humaine, conduisant à imposer au protocole d'échantillonnage des règles drastiques pour minimiser le biais.

3. — LE PROTOCOLE D'ÉCHANTILLONNAGE. SES LIMITES

3.1. — Description

Le protocole adopté consiste en une série de pêches de deux heures réparties de façon à recouvrir un cycle de vingt-quatre heures en trois jours : 0 à 8 h le premier jour, 8 à 16 h le second, 16 à 24 h le troisième. L'unité d'effort choisie — deux heures de pêche selon la méthode décrite — résulte d'un compromis entre la recherche d'une fréquence maximale d'échantillonnage et celle d'une taille d'échantillon suffisante pour rendre compte de l'abondance des espèces présentes.

Une équipe permanente est installée sur le barrage. Des pêcheurs rémunérés se relaient toutes les deux heures afin de minimiser le biais dû à la fatigue : chaque homme ne pêche ainsi que quatre heures par jour. La répartition de la pêche sur trois jours est imposée par l'option choisie d'utiliser un petit nombre de pêcheurs travaillant régulièrement, plutôt qu'une équipe plus importante impliquant des risques d'irrégularité dans le travail et de défections en cours d'observation. Tous les relevés effectués dans la même station entre 1974 et 1979 ont été réalisés par les mêmes pêcheurs, évitant ainsi une source de biais dans la variabilité interannuelle. Les observations ont démarré chaque année dès que les contraintes matérielles et que la disponibilité des pêcheurs le permettaient : dès le début de la pêcherie traditionnelle les trois premières années ; ensuite, dès la fin de la précure de l'El Beïd.

Après chaque opération de deux heures les captures sont triées, puis pesées et dénombrées par espèce. Les mensurations standard sont effectuées, de sorte qu'à la fin de chaque cycle on dispose des distributions de taille, par classes de 5 mm, pour toutes les espèces capturées. Ces distributions sont établies soit sur la totalité des captures, soit sur des sous-échantillons de 50 individus.

Parallèlement, l'évolution hydrologique et physico-chimique des eaux est suivie au moyen des descripteurs suivants :

- conductivité d'échantillons d'eau prélevés tous les six jours, sous la surface, dans le lit mineur ;
- transparence, mesurée au disque de Secchi tous les jours à midi dans le lit mineur ;
- niveau de l'eau, relevé journalièrement à Daga et à Tildé à partir d'échelles hydrologiques de crue ;
- vitesse d'écoulement, mesurée au milieu du lit en amont et en aval du barrage de Daga, en surface et à 50 cm de profondeur ;
- débit de l'El Beïd à Tildé, débit et hauteur du Logone à Bongor, communiqués par les hydrologues de l'O.R.S.T.O.M. ;

— température de l'eau chaque jour à 7 h et 16 h (horaire correspondant en moyenne aux maximum et minimum thermiques).

Toutes les données sont consignées sur fichier informatique.

3.2. — Sources de biais

Malgré toute l'attention que l'on porte à un protocole, certaines imperfections de l'engin et contraintes matérielles apportent des limitations à la validité des données recueillies, limitations qu'il importe de connaître avant l'élaboration du traitement.

3.2.1. — *Biais d'échantillonnage dû à l'engin.* Du fait de la petitesse des mailles, les possibilités de fuite à travers le filet sont quasi-nulles pour les poissons de taille supérieure à 50 mm (Durand, 1970). La position et la profondeur de l'engin contrarient d'autre part les tentatives d'échappement par saut ; l'échappement ne se produit que par fuite latérale au moment où le filet est sorti de l'eau, et d'autant plus facilement que le poisson est plus gros. En fait, cette sélectivité n'est pas très gênante pour l'échantillonnage des migrateurs qui sont, dans leur grande majorité, des juvéniles de tailles et âges très comparables.

3.2.2. — *Biais d'échantillonnage lié à la technique de pêche.* L'action du barrage, analysée plus haut, provoque une sélectivité interspécifique de l'engin de capture puisque les comportements et temps de séjour différents des espèces à proximité de l'ouvrage induisent une vulnérabilité différencielle. La proportion entre le nombre de captures et le nombre de dévalants présents à un instant donné varie selon l'espèce : les comparaisons directes d'abondance entre espèces n'ont donc pas de sens.

En outre, l'interprétation des données concernant les espèces constamment rares est très incertaine, et nous avons convenu de ne considérer que les espèces présentes dans plus de 16 pour cent des prélèvements et dont le nombre d'individus capturés était supérieur à 50.

Enfin un biais est lié au déplacement du point de pêche sur le barrage (loge) au cours de la décrue, mais nous avons montré que les différences obtenues étaient peu significatives.

3.2.3. — *Biais lié au facteur humain.* Nous avons dû recruter les pêcheurs du barrage de Daga pour les faire pêcher à notre convenance. Bien que les hommes conservent le bénéfice de leur pêche, leur motivation risque de ne plus être aussi forte puisque leurs ressources ne dépendent plus exclusivement de leur talent ; on peut prévoir une attention moins soutenue pendant l'action de pêche, particulièrement lorsque celle-ci ne donne pas lieu à de bons rendements ou encore ne permet pas la capture d'espèces commercialement intéressantes. A l'inverse, lors des migrations massives, les pêcheurs peuvent être entraînés inconsciemment à intensifier leur effort. Ces réactions provoquent une accentuation des faibles

et des forts rendements et accroissent la variabilité des résultats concernant une même espèce.

Enfin les statistiques réalisées sur l'ensemble des captures montrent des différences d'efficacité entre pêcheurs. Pour des raisons pratiques, il s'est avéré préférable d'attribuer un horaire fixe à chaque pêcheur de sorte que les différences d'efficacité ne pèsent que sur la comparaison des données horaires.

3.3. — Autres sources d'erreur

Certaines formes juvéniles sont difficiles à déterminer au niveau de l'espèce. Pour écarter les doutes, nous avons été amenés à effectuer *a posteriori* des regroupements d'espèces : *Petrocephalus bane* et *bovei*; *Ctenopoma murei* et *petherici*; *Auchenoglanis occidentalis* et *biscutatus*; *Clarias albopunctatus* et *anguillaris*.

La saisie informatique des données comprend un certain nombre d'étapes, où des erreurs diverses peuvent se produire. Pour dépister ces dernières, chaque fichier a été contrôlé par des programmes spécifiques permettant la mise en évidence et la correction de la plus grande partie des erreurs de copie ou de codage. Les erreurs non repérables par contrôle automatique sont minimisées par l'édition de graphiques et de tableaux permettant des contrôles visuels.

4. — APERÇU SUR LE TRAITEMENT DES DONNÉES ET DISCUSSION DES RÉSULTATS

Utilisé cinq années de suite, ce protocole a permis la capture de 435 655 poissons appartenant à 66 espèces. Pour les raisons exposées plus haut, seule une trentaine d'entre elles a été retenue pour les traitements des données. Ces derniers se divisent en quatre rubriques correspondant aux quatre échelles de temps considérées : inter-annuelle, saisonnière, lunaire et nycthémerale. Le détail des calculs sort du cadre de cet exposé (le lecteur intéressé le trouvera dans les articles à paraître de Benech et Quensiére) et nous n'en tracerons ici que la stratégie générale. Pour les trois dernières échelles de temps nous nous sommes d'abord efforcés de rechercher des structures répétitives : événements se reproduisant selon les cas à chaque crue, à chaque lunaison ou à chaque nycthémerale. Puis nous avons étudié la variabilité de ces lois aux échelles de temps supérieures : variations saisonnières des structures lunaires, saisonnières et lunaires de la structure nycthémerale. Ces variations sont plus ou moins marquées selon les espèces prises séparément, mais toujours sensibles au niveau du peuplement.

La variabilité inter-annuelle est plus délicate à interpréter du fait que les séquelles de la sécheresse sur le renouvellement des stocks n'est pas toujours facile à distinguer de la variabilité aléatoire des crues du Logone.

Les méthodes de traitement adoptées sont le classement par classification hiérarchique ascendante et l'ordination par analyse factorielle des correspon-

dances, effectués sur des tableaux de données brutes ou codées ainsi que sur des tableaux de contingence croisant l'abondance des espèces aux descripteurs de l'environnement auxquels on souhaite les relier. L'analyse des séries chronologiques a également été utilisée pour extraire les tendances saisonnières spécifiques et les variations systématiques telles que celles liées à la lunaison.

Le rapprochement des résultats obtenus avec les questions initialement posées montre que, si l'influence des conditions d'environnement sur la composition et la structure des peuplements apparaît de façon satisfaisante, la mise en évidence de l'influence de la sécheresse n'est pas aussi claire qu'on aurait pu le souhaiter. Il faut en chercher la cause dans les imperfections du protocole tant au niveau des hypothèses de travail qu'à celui de l'acquisition des données :

— Au niveau des hypothèses de travail, on peut se demander si les juvéniles observés sur l'El Beïd sont essentiellement issus de géniteurs lacustres plutôt que fluviaux. En période de Tchad normal, on sait que les stocks lacustres sont très largement supérieurs aux stocks fluviaux, dont les possibilités d'extension et de survie sont limitées. Mais en est-il de même après la sécheresse ? Pour le contrôler, nous avons été amené à contrôler en 1976 et 1977 une série d'observations en continu des migrations lac-fleuve afin de comparer l'abondance des bancs de géniteurs lacustres à l'abondance et à la composition du peuplement de juvéniles de l'El Beïd.

La seconde hypothèse majeure est que le retour des poissons de la plaine au Logone est peu important en regard des stocks de juvéniles s'installant dans la plaine pendant l'inondation, et qui dévalent ensuite par l'El Beïd. Pour la vérifier, une seconde station d'observation a été installée à partir de 1977 sur le Logomatia, à l'entrée du Yaéré.

Les résultats de ces échantillonnages ne sont pas encore dépouillés, mais en gros les hypothèses sus-mentionnées se sont trouvées validées.

— Au niveau de l'acquisition des données, un certain nombre d'aménagements ont dû être envisagés en cours d'échantillonnage. Dès la seconde campagne, la répartition des pêches horaires a été modifiée pour accroître l'homogénéité des captures sur un cycle de vingt-quatre heures. Lors de la mise en place de la troisième campagne, la difficulté de traiter les données antérieures nous a amenés à informatiser le stockage et le traitement des données recueillies. Malgré ces précautions, l'absence de moyens informatiques adaptés nous a interdit de contrôler rapidement la qualité de l'information recueillie, ce qui nous a conduits à sous-estimer trois défauts d'observation : (i) l'hydrologie du Logone aurait dû être observée au voisinage immédiat du Yaéré et non à Bongor ; (ii) la physico-chimie des eaux de l'El Beïd aurait dû être précisée davantage ; (iii) la fréquence d'échantillonnage du peuplement ichtyologique aurait dû être multipliée par deux, ou même par trois (un cycle complet par jour), même avec un risque de données manquantes, afin de pouvoir mieux préciser l'influence lunaire.

Les deux derniers points auraient permis d'obtenir une définition plus précise du rôle de la crue dans la répartition et l'abondance des différentes

espèces, et une confirmation de certaines tendances suggérées par les distributions de taille des poissons en dévalaison pour des crues d'importances différentes.

Finalement, des améliorations ont pu être apportées au schéma initial d'échantillonnage pendant la réalisation de ce dernier, par des aménagements du protocole mais surtout par la mise sur pied d'observations complémentaires qui s'étaient révélées nécessaires. Cependant des améliorations du protocole, dont certaines facilement réalisables, ont été négligées alors qu'elles auraient permis une meilleure précision des résultats.

6. — RÉFLEXIONS GÉNÉRALES SUR LA CONDUITE D'UN PROGRAMME D'OBSERVATIONS

Comme dans le schéma général (voir Introduction et Chapitre 1 du présent ouvrage) l'étude démarre par un "prém modèle" se résumant à deux points essentiels : (i) le Yaéré joue le rôle de "frayère-nursery" dans un système de migrations qui va du lac au lac ; (ii) les espèces intéressées sont essentiellement les espèces dominantes dans le faciès "Tchad normal". Viennent ensuite les questions issues d'informations complémentaires : (iii) le lac subit une évolution hydrologique catastrophique pendant laquelle la majorité des stocks de "Tchad normal" est détruite ou gravement atteinte et (iv) les caractéristiques de la crue du Logone, responsable de l'inondation du Yaéré, vont être modifiées par un plan d'aménagement. De ces informations résultent les deux questions formulées au début, concernant le rôle de la sécheresse et le rôle de la crue du Logone dans le fonctionnement du Yaéré.

A ce niveau apparaît une étape fondamentale, qualifiée de "problématique de l'étude" dans le schéma général mais pour laquelle les termes de "recherche d'une stratégie d'approche" ou de "définition et conception des solutions" nous semblent mieux adaptés. Le contenu de cette étape peut être résumé en deux questions : existe-t-il une réponse expérimentale aux questions posées ? Comment doivent être envisagées les expériences ? Dans l'exemple choisi cela revient à s'interroger sur la meilleure façon de mettre en évidence les rôles de la sécheresse et de la crue. C'est à ce niveau qu'apparaît la première boucle de rétroaction, puisque la recherche d'une stratégie d'approche peut conduire à modifier la nature des questions posées ou du moins à les mieux préciser. C'est également là que s'affirme, à travers la définition et la conception des solutions envisagées, la subjectivité de l'observateur.

Ces trois premières phases permettent de définir la problématique de l'étude. Aucun problème pratique n'y est abordé, et nous les regrouperons sous le nom d'étape conceptuelle, par opposition à l'étape suivante que nous qualifierons d'analyse organique (terme emprunté aux informaticiens et qui désigne l'ensemble des études technologiques d'une application). Dans le cas présent elle aboutit aux "choix" (cf. Chapitre 1). Dans l'exemple de l'El Beïd, il existe

une chronologie des choix : choix des stations, choix des descripteurs, choix des échelles d'observation, choix des traitements, choix des engins. Dans d'autres exemples la chronologie pourra être différente. Il convient cependant de remarquer que l'ordre n'est pas indifférent et que chacun des choix dépend des options précédemment adoptées. On remarquera également que le choix des variables et de leurs caractéristiques, orienté par l'analyse conceptuelle, précède le choix des outils d'échantillonnage et de traitement car ces derniers doivent être adaptés aux objectifs de l'étude et non l'inverse. On remarquera enfin que les différentes options, par les contraintes qu'elles entraînent, peuvent induire des effets rétroactifs sur les options précédemment adoptées. Ici, le choix de l'engin a conduit à modifier certaines options de traitement ; les contraintes en coût et en personnel, à modifier les descriptions et le choix des stations, etc.

L'analyse organique s'achève par la planification de l'échantillonnage. On aborde alors une troisième étape : la réalisation de l'échantillonnage, qui se subdivise à son tour en trois parties : (a) les tests de bon fonctionnement de l'échantillonnage, (b) l'acquisition des données, (c) le traitement des données et l'acquisition des résultats.

La phase de test est tout-à-fait essentielle. Elle a pour but de s'assurer que l'échantillonnage, tel qu'il a été conçu, correspond bien à ce qu'on en attend. Elle peut conduire à repenser complètement l'étude, non seulement au niveau de l'analyse organique mais également au niveau de l'analyse concep-

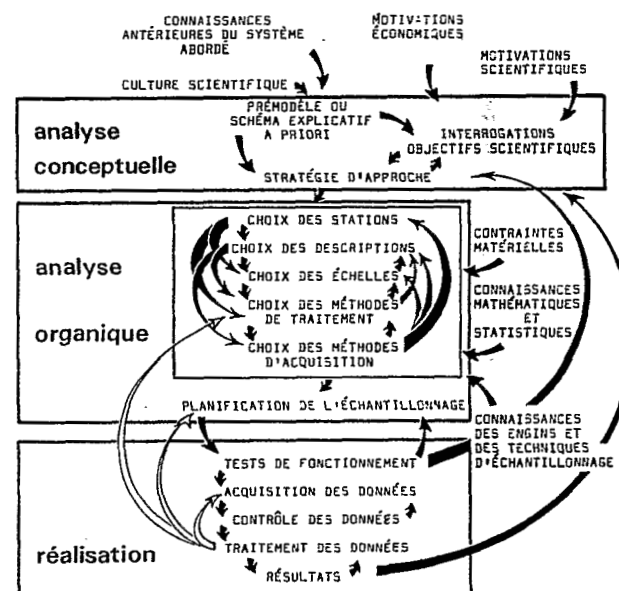


FIG. 7.3. — Organigramme de l'échantillonnage et de l'analyse.

tuelle, par la recherche d'une nouvelle stratégie d'approche mieux adaptée aux conditions matérielles. C'est ainsi que, dans notre exemple, la stratégie d'échantillonnage *in situ* dans la plaine a dû être abandonnée et le protocole expérimental entièrement repensé. Ces essais en vraie grandeur ont également un rôle important dans le rodage de l'équipe ainsi que dans la mise au point du matériel. Ils doivent permettre d'affiner la connaissance de l'engin d'échantillonnage et de ses limites.

Viennent ensuite les phases d'acquisition et de traitement des données, qui aboutissent aux résultats et à une nouvelle conceptualisation du prémodèle fixant les questions posées et la stratégie d'approche : boucle de rétroaction décrite dans le schéma général et qui nous a permis, grâce à l'expérience acquise précédemment (Durand, 1970, 1971) de minimiser les études préalables à la mise en route des observations sur l'El Beïd.

Ce récapitulatif, représenté à la figure 7.3, permet de constater que la cohérence de l'ensemble de l'étude est largement dépendante de la nature et des inter-relations entre les différents éléments qui la constituent. Une telle étude peut être assimilée à un système possédant sa dynamique propre, traversé et entretenu par un flux d'information et organisé dans le but d'acquérir des connaissances sur l'écosystème. Cette approche systémique présente l'avantage de faciliter l'analyse d'un plan d'expérience. Ainsi, *pour déceler les imperfections de l'échantillonnage des poissons du Yaéré il suffit d'inventorier les boucles de rétro-action qui ont été omises*. On constate alors que la dissociation dans le temps entre l'acquisition des données et leur traitement numérique est à l'origine des boucles manquantes et se traduit dans la pratique par une perte en qualité de l'information acquise. Il est en effet logique de constater que l'efficacité d'un échantillonnage est d'autant plus grande que le contrôle de l'adéquation entre les données souhaitées et les données obtenues s'effectue plus rapidement. L'efficacité optimale est obtenue pour un contrôle en temps réel des données acquises et des traitements. Cela implique, pour l'étude de systèmes complexes nécessitant l'acquisition de nombreuses informations (près de 15 000 données chaque année pour l'El Beïd) des moyens informatiques adaptés.

Cette permanence des interactions se généralise à l'ensemble des éléments du système "plan d'expérience". On en vient tout naturellement à contester la conception statique du plan d'expérience, où les différentes étapes se succèdent dans le temps, pour envisager un schéma dynamique et inter-actif où tous les éléments constitutifs du système doivent pouvoir être remis en cause et validés (ou invalidés) à tout moment. Le but recherché est de réduire les délais entre "questions posées au milieu" et "réponses du milieu", afin d'atteindre à une sorte de dialogue entre l'expérimentateur et son objet. Dans ce contexte il nous paraît évident que l'informatique — et plus particulièrement la micro-informatique répartie — est indispensable aux progrès que doivent faire encore les stratégies d'échantillonnage écologique.