

UNIVERSITE DU QUEBEC

THESE

présentée

à

L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (EAU)

comme exigence partielle

de la

maîtrise ès Sciences (eau)

par

Paul Meunier

B. Sp. Sc.

"RELATIONS BIOCHIMIQUES, CALORIMETRIQUES ET  
ECOLOGIQUES DE CYPRINIDES GARDES EN  
BASSINS EXPERIMENTAUX"

JUILLET 1976

## REMERCIEMENTS

Nous désirons remercier tout d'abord monsieur le professeur Armand Rousseau pour son aide sur le terrain et au laboratoire ainsi que pour ses conseils et sa disponibilité tout au long de cette étude. Nous remercions aussi monsieur le professeur Raymond Van Collie pour son aide durant la phase expérimentale ainsi que pour la révision du texte. Nous voulons aussi mentionner l'aide apportée à différents moments par messieurs les professeurs André Caillé, Peter Cambell et Simon Visser.

Nous sommes aussi reconnaissant à messieurs Bernard Veilleux, François Roberge et Lévis Talbot pour l'aide apportée sur le terrain lors de l'installation des bassins expérimentaux ainsi que lors de la récupération des spécimens.

Mes remerciements vont aussi à mademoiselle Renée Morin, technicienne, pour son travail assidu lors des expériences de calorimétrie et de biochimie.

Nous remercions aussi monsieur Brisson du département des vivres de l'Université Laval d'avoir permis d'utiliser à l'occasion ses locaux et instruments, ainsi que monsieur Jean Bricaux pour son aide dans la préparation des déterminations d'azote.

Nous voulons enfin remercier Mlle Lyne Côté, dessinatrice au Ministère des Richesses naturelles, ainsi que mesdemoiselles Colette Damasse et Viviane Whalen pour la dactylographie du manuscrit.

# TABLE DES MATIERES

|                                                                            | Page   |
|----------------------------------------------------------------------------|--------|
| REMERCIEMENTS.....                                                         | I      |
| TABLE DES MATIERES.....                                                    | II     |
| LISTE DES TABLEAUX.....                                                    | V      |
| LISTE DES FIGURES.....                                                     | VI     |
| LISTE DES ABREVIATIONS.....                                                | VIII   |
| RESUME.....                                                                | XI     |
| <br>INTRODUCTION.....                                                      | <br>1  |
| 1. Contexte de l'étude.....                                                | 1      |
| 2. Objectif et réalisation de l'étude.....                                 | 1      |
| 3. Plan de l'étude.....                                                    | 2      |
| <br>1. ASPECTS CALORIMETRIQUES.....                                        | <br>4  |
| 1. Intérêt.....                                                            | 4      |
| 2. Méthode.....                                                            | 6      |
| 3. Calcul de la valeur calorimétrique des lipides<br>et des protéines..... | 7      |
| 4. Détermination des cendres.....                                          | 10     |
| 5. Reproductibilité des mesures.....                                       | 10     |
| 6. Résultats calorimétriques.....                                          | 11     |
| <br>2. ASPECTS BIOCHIMIQUES.....                                           | <br>12 |
| 1. Généralités sur les lipides.....                                        | 12     |
| 2. Méthodes d'extraction des lipides.....                                  | 13     |
| 3. Résultats lipidiques.....                                               | 14     |

|                                                                                                                   | Page |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4. Généralités sur les protéines.....                                                                             | 15   |
| 5. Méthode de détermination de l'azote dans les protéines.....                                                    | 16   |
| 6. Résultats protéiques.....                                                                                      | 17   |
| 7. Détermination des valeurs calorimétriques à partir des<br>résultats biochimiques et détermination inverse..... | 17   |
| 3. ASPECTS ECOLOGIQUES.....                                                                                       | 20   |
| 1. Dimension écologique du problème.....                                                                          | 20   |
| 2. Coefficient de condition.....                                                                                  | 20   |
| 3. Evolution de la biomasse des poissons dans le temps.....                                                       | 22   |
| 4. INTEGRATION DES RESULTATS.....                                                                                 | 26   |
| 1. Résultats calorimétriques.....                                                                                 | 26   |
| a) Comparaison entre les piscines.....                                                                            | 26   |
| b) Essais de regroupement des piscines.....                                                                       | 27   |
| 2. Résultats biochimiques.....                                                                                    | 28   |
| a) Classement des piscines selon la teneur en lipides.....                                                        | 28   |
| b) Valeurs calorimétriques des lipides et protéines.....                                                          | 29   |
| c) Validation des résultats biochimiques et calorifiques...                                                       | 29   |
| 3. Résultats écologiques.....                                                                                     | 31   |
| a) Coefficients de condition.....                                                                                 | 31   |
| b) Evaluation des milieux.....                                                                                    | 31   |
| c) Taux de transfert.....                                                                                         | 32   |
| d) Détermination des bilans énergétiques.....                                                                     | 32   |
| e) Taux de mortalité.....                                                                                         | 33   |
| f) Utilisation d'un modèle exponentiel à la mortalité et à<br>la croissance.....                                  | 34   |
| g) Biomasse exprimée en calories pour les différentes<br>piscines.....                                            | 37   |



|                                                                 | Page |
|-----------------------------------------------------------------|------|
| h) Caractérisation bio-énergétique des groupes de piscines..... | 39   |
| CONCLUSION.....                                                 | 40   |
| TABLEAUX I à XXIV.....                                          | 42   |
| FIGURES 1 à 7.....                                              | 66   |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....                                | 74   |
| ANNEXE.....                                                     | 78   |

# LISTE DES TABLEAUX

|                                                                                                                                                                                                          | Page |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tableau I: Résultats calorimétriques des muscles dorsaux de <u>Notropis cornutus</u> .....                                                                                                               | 42   |
| Tableau II: Valeurs calorimétriques de certaines espèces de poissons.....                                                                                                                                | 43   |
| Tableau III: Résultats biochimiques des muscles dorsaux de <u>Notropis cornutus</u> .....                                                                                                                | 44   |
| Tableau IV: Coefficients d'estimation du % des protéines à partir de la teneur en azote pour divers tissus.....                                                                                          | 45   |
| Tableau V: Relations entre les résultats biochimiques du tableau III et les résultats calorimétriques du tableau I.....                                                                                  | 46   |
| Tableau VI: Comparaison entre les résultats biochimiques précisés par calorimétrie et les résultats biochimiques déterminés expérimentalement pour les muscles dorsaux de <u>Notropis cornutus</u> ..... | 47   |
| Tableau VII: Coefficients de condition des <u>Notropis cornutus</u> .....                                                                                                                                | 48   |
| Tableau VIII: Valeurs logarithmiques des coefficients de condition des <u>Notropis cornutus</u> .....                                                                                                    | 49   |
| Tableau IX: Tests F et T sur les données calorimétriques du tableau I.....                                                                                                                               | 50   |
| Tableau X: Test de Duncan sur les données calorimétriques du tableau I avec 95% de probabilité.....                                                                                                      | 51   |
| Tableau XI: Test de Duncan sur les données calorimétriques du tableau I avec 90% de précision.....                                                                                                       | 52   |
| Tableau XII: Test de Duncan complémentaire au tableau X avec 90% de probabilité.....                                                                                                                     | 53   |
| Tableau XIII: Test de Duncan complémentaire au tableau X avec 95% de probabilité.....                                                                                                                    | 54   |
| Tableau XIV: Test de Duncan complémentaire aux tableaux X et XII avec 90% de probabilité.....                                                                                                            | 55   |
| Tableau XV: Test de Duncan complémentaire aux tableaux X et XII avec 95% de probabilité.....                                                                                                             | 56   |
| Tableau XVI: Classement des piscines selon les résultats lipidiques et calorimétriques.....                                                                                                              | 57   |

|                                                                                                                                                         | Page |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Tableau XVII: Comparaison entre les résultats calorimétriques obtenus par calcul et ceux déterminés expérimentalement pour les groupes de piscines..... | 58   |
| Tableau XVIII: Valeurs calorimétriques corrigées pour les groupes de piscines.....                                                                      | 59   |
| Tableau XIX: Juxtaposition des valeurs calorimétriques, biochimiques et écologiques des groupes de piscines.....                                        | 60   |
| Tableau XX: Bilans énergétiques des groupes de piscines.....                                                                                            | 61   |
| Tableau XXI: Classement des groupes de piscines selon les bilans énergétiques.....                                                                      | 62   |
| Tableau XXII: Potentiels bioénergétiques des poissons des groupes de piscines durant l'expérience.....                                                  | 63   |
| Tableau XXIII: Bilan énergétique global et taux moyen de mortalité pour la catégorie "a" des groupes de piscines à haut transfert d'énergie.....        | 64   |
| Tableau XXIV: Bilan énergétique global et taux moyen de mortalité pour la catégorie "b" des groupes de piscines à bas transfert d'énergie.....          | 65   |

# LISTE DES FIGURES

|                                                                                                                                               | Page |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Figure 1: Site du futur réservoir de Victoriaville.....                                                                                       | 67   |
| Figure 2: Disposition des piscines expérimentales au site du futur réservoir de Victoriaville.....                                            | 68   |
| Figure 3: Exemple de thermogramme.....                                                                                                        | 69   |
| Figure 4: Relation entre les valeurs calorimétriques déterminées par calorimétrie et celles déduites à partir des résultats biochimiques..... | 70   |
| Figure 5: Relation entre les pourcentages et les valeurs calorimétriques déterminées par calorimétrie.....                                    | 71   |
| Figure 6a: Modèles des taux de mortalité et de croissance en poids dans la catégorie "a" des piscines.....                                    | 72   |
| Figure 6b: Modèles des taux de mortalité et de croissance en poids dans la catégorie "b" des piscines.....                                    | 72   |
| Figure 6c: Potentiels énergétiques des poissons des catégories "a" et "b" des piscines.....                                                   | 72   |

# LISTE DES ABREVIATIONS

|                |                                                                                |
|----------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| a              | : catégorie des piscines 1, 2B, 7 et 8,                                        |
| b              | : catégorie des piscines 3, 4, 5, 6 et 9                                       |
| c              | : nombre de calories/gramme de poissons                                        |
| Cal            | : calories                                                                     |
| cm             | : centimètre                                                                   |
| C°             | : degré Celsius                                                                |
| E              | : énergie                                                                      |
| E <sub>t</sub> | : énergie totale                                                               |
| F              | : test statistique F                                                           |
| fig.           | : figure                                                                       |
| g              | : gramme                                                                       |
| J              | : jour                                                                         |
| K              | : coefficient de condition écologique des poissons<br>(formule, voir page 21 ) |
| $\bar{K}$      | : coefficient moyen de condition écologique des poissons                       |
| kcal           | : kilocalorie                                                                  |
| L <sub>F</sub> | : longueur à la fourche des poissons                                           |
| $\bar{L}_F$    | : longueur moyenne à la fourche des poissons                                   |
| m              | : mètre                                                                        |
| mg             | : milligramme                                                                  |
| mm             | : millimètre                                                                   |
| N              | : nombre de poissons                                                           |
| P              | : poids des poissons                                                           |
| $\bar{P}$      | : poids moyen des poissons                                                     |
| S              | : écart-type                                                                   |

|           |   |                                                                             |
|-----------|---|-----------------------------------------------------------------------------|
| $S_K$     | : | écart-type de K                                                             |
| $S^2$     | : | variance                                                                    |
| $S_K^2$   | : | variance de K                                                               |
| t         | : | durée                                                                       |
| T         | : | test statistique T                                                          |
| $\alpha$  | : | coefficient de mortalité des poissons<br>(formule, voir page 34)            |
| $\beta$   | : | coefficient de poids des poissons<br>(formule, voir page 34)                |
| $\lambda$ | : | coefficient de dérivation pour le taux de mortalité                         |
| $\delta$  | : | constante de dérivation pour le taux de croissance en<br>poids des poissons |
| $\chi^2$  | : | valeur statistique                                                          |
| $\Sigma$  | : | somme de valeurs                                                            |
| %         | : | pourcentage                                                                 |

#### CODE DES PISCINES (voir figure 2)

|    |   |                                                                             |
|----|---|-----------------------------------------------------------------------------|
| 1A | : | poissons de la piscine 1A (sol marne argileuse silteuse<br>non décapé)      |
| 1B | : | poissons de la piscine 1B (sol marne argileuse silteuse<br>non décapé)      |
| 2A | : | poissons de la piscine 2A (sol marne argileuse silteuse<br>décapé)          |
| 2B | : | poissons de la piscine 2B (sol marne argileuse silteuse<br>décapé)          |
| 3A | : | poissons de la piscine 3A (sol marne argileuse sablonneu-<br>se non décapé) |
| 3B | : | poissons de la piscine 3B (sol marne argileuse sablonneu-<br>se non décapé) |
| 4A | : | poissons de la piscine 4A (sol marne argileuse sablonneu-<br>se décapé)     |
| 4B | : | poissons de la piscine 4B (sol marne argileuse sablonneu-<br>se décapé)     |
| 5A | : | poissons de la piscine 5A (sol marne argileuse non décapé)                  |

5B : poissons de la piscine 5B (sol marne argileuse non décapé)  
 6A : poissons de la piscine 6A (sol marne argileuse décapé)  
 6B : poissons de la piscine 6B (sol marne argileuse décapé)  
 7A : poissons de la piscine 7A (sol argile non décapé)  
 7B : poissons de la piscine 7B (sol argile non décapé)  
 8A : poissons de la piscine 8A (sol argile décapé)  
 8B : poissons de la piscine 8B (sol argile décapé)  
 9A : poissons de la piscine 9A (sans sol)  
 9B : poissons de la piscine 9B (sans sol)  
 PJ : poissons de 5 à 6 cm pris en juin  
 GJ : poissons de 6 à 20 cm pris en juin  
 PO : poissons de 5 à 6 cm pris en octobre  
 GO : poissons de 6 à 20 cm pris en octobre

## RESUME

Dans le cadre d'un projet visant à déterminer l'évolution de la qualité de l'eau dans un réservoir après sa mise en opération, nous avons effectué une étude sur l'acclimatation d'une population de Notropis cornutus à 9 milieux expérimentaux allant du sol marécageux à la roche mère.

Au bout de 130 jours, des tests biochimiques, calorimétriques de même que des relations écologiques furent réalisés sur les spécimens récupérés. Des valeurs de 5.3 calories/g pour les protéines et de 8.6 calories/g pour les lipides ont été déterminées par calorimétrie. Ces mêmes valeurs ont aussi été déduites à partir des bilans biochimiques.

L'utilisation combinée des bilans calorimétriques et de la croissance en poids de même que l'utilisation d'un modèle de mortalité et de croissance nous ont permis de classer et d'évaluer les différents milieux quant à leur capacité de support.



## INTRODUCTION

### 1. Contexte de l'étude

Cette courte recherche se situe à l'intérieur d'un projet plus vaste présentement en cours à l'INRS-EAU. De fait, en collaboration avec le M.R.N. (Ministère des Richesses Naturelles), une équipe de chercheurs de l'INRS-EAU étudie depuis trois ans les différents aspects de la mise en eau d'un réservoir. De nos jours, les projets d'aménagement hydrique doivent être polyvalents quant à leur utilisation ultérieure; il faut alors tenir compte des possibilités de pêche, de récréation, de baignade, d'eau de consommation, etc... Dans le cas présent, il s'agit d'assurer à la municipalité de Victoriaville d'une alimentation en eau pour les trente prochaines années.

Un des principaux aspects de l'étude effectuée par les chercheurs de l'INRS-EAU était de déterminer si le fait de décaper, c'est-à-dire enlever la première couche superficielle du sol (la couche arabe qui contient plus de 2% de matière organique), avait une influence sur la qualité physico-chimique de l'eau du réservoir. Dans cette optique, on réalisa dans des piscines expérimentales au laboratoire et dans des piscines au futur site du réservoir des études sur le potentiel de fertilité (Toerum *et al* 1971), la toxicité et les algues.

### 2. Objectif et réalisation de l'étude

Des études sur la toxicité de l'eau dans les piscines\* expéri-

---

\* Ces piscines expérimentales avaient un diamètre de 4.55 m et une hauteur de 1.21 m.

mentales ont montré durant l'été 1973 que des Cyprinidés autochtones (Notropis cornutus) utilisés lors de cette expérience ont eu une croissance normale durant les cinquante-sept jours qu'a duré l'expérience (INRS-EAU, rapport scientifique numéro 37). Nous avons ensuite décidé de pousser un peu plus loin les expériences sur l'acclimatation de ces Cyprinidés dans le futur réservoir. A cette fin, nous nous sommes servi durant l'été 1974 des dix-huit piscines expérimentales localisées au réservoir (fig. 1 et fig. 2). Pour chacun des quatre types de sol utilisé, il y avait quatre piscines, deux contenant du sol de surface et deux contenant du sol de profondeur, tandis que deux piscines-témoins étaient dépourvues de sol. Une alimentation continue en eau de la rivière était maintenue dans chacune des piscines, le surplus d'eau débordant par le haut. La quantité d'eau renouvelée chaque jour ( $0.364 \text{ m}^3/24 \text{ heures}$ ) correspondait au renouvellement d'eau du futur réservoir. Pour cette étude, les Notropis cornutus ont été capturés dans la rivière Bulstrode à une cinquantaine de mètres du site expérimental à l'aide d'une seine (maille carrée: 8mm; longueur: 40 mètres). Les poissons étaient ensuite transportés sur le site et placés dans de l'uréthane pour fins d'anesthésie. Après mesure de leur longueur, quarante poissons ont ainsi été placés dans chaque piscine. Un groupe-témoins de 120 poissons a été préservé dans le formol. Notons ici que les Notropis cornutus dont la taille était inférieure ou supérieure à ceux utilisés dans l'expérience ont également été conservés dans le formol afin d'établir une courbe longueur-poids pour l'ensemble de la population. A la fin de l'expérience à l'automne, nous avons seiné chacune des piscines pour récupérer les poissons. Parallèlement, nous avons aussi seiné dans la rivière Bulstrode afin de comparer la croissance en piscine à celle qui s'était déroulée dans la

rivière durant la même période. Les poissons destinés aux études calorimétriques ont été conservés dans de la glace sèche jusqu'au laboratoire et ensuite dans une chambre froide à  $-20^{\circ}\text{C}$ .

### 3. Plan de l'étude.

Les différentes phases expérimentales de cette étude seront traitées en quatre sections. La première traitera de la calorimétrie et la seconde de biochimie (plus précisément les lipides et les protéines). Dans la troisième, nous étudierons les relations calorimétriques et biochimiques tandis que la quatrième sera consacrée aux relations écologiques entre les poissons et leur milieu de support.

## CHAPITRE 1

### ASPECTS CALORIMETRIQUES

#### 1. Intérêt

Depuis les travaux de Lideman (1942) sur les transferts d'énergie aux différents niveaux trophiques, plusieurs écologistes ont étudié la dynamique des écosystèmes. De nombreuses études ont été réalisées sur les budgets énergétiques (Slobodkin, 1960 et 1962; Wiegert, 1964; Cummins, 1970). Un dénominateur commun à ces travaux est le nombre de calories par gramme d'un organisme ou d'une partie d'organisme (Slobodkin et Richman, 1961; Golley, 1961; Cummins et Wuycheck, 1971; Platt et Irwin, 1973).

Les valeurs calorifiques peuvent être calculées de différentes façons (Paine, 1971):

- 1) analyses des composantes organiques et inorganiques;
- 2) oxydation humide;
- 3) méthodes thermochimiques;
- 4) bombe calorimétrique.

Actuellement, c'est la méthode de la bombe calorimétrique qui est la plus utilisée par les biologistes (Paine, 1971). Cette méthode s'avère facile d'application et le matériel biologique se traite aisément et rapidement par ce procédé. En 1881, Berthelot (cité par Paine, 1971) imagine une bombe capable de mesurer les chaleurs de combustion de substances non volatiles dans des contenants sous pression et en présence d'oxygène. Plus récemment, on a mis au point des appareils plus sensibles et plus petits

permettant de travailler avec de petites quantités de matériel (McEwan et Anderson, 1955; Paine, 1971). Pour la présente étude, nous avons utilisé la bombe calorimétrique de type Philipson (distribué par Gentry Wiegert Instruments). Cet appareil possède deux grands avantages; il est rapide (temps de réponse; 10 à 20 minutes) et ne requiert qu'une petite quantité de matériel (10 à 15 mg).

La calorimétrie appliquée à l'écologie peut prendre plusieurs aspects. En effet, on peut calculer les transferts d'énergie d'un niveau trophique à un autre ainsi que les budgets énergétiques aussi bien que les rendements. Quand on détermine la valeur calorimétrique d'un échantillon, on détermine sa chaleur de combustion. L'échantillon étant dans la plupart des cas un mélange de différentes substances, la réponse obtenue résulte de toutes ces composantes. Celles-ci ont des chaleurs de combustion différentes; par exemple, les lipides ont des chaleurs de combustion supérieures à celles des protéines et des hydrates de carbone. Ainsi deux échantillons de muscles dont la composition est en majeure partie protéique et lipidique montreront des valeurs calorimétriques différentes si le taux de lipides est plus élevé dans l'un que dans l'autre. La calorimétrie mettra de ce fait en évidence une composition biochimique différente et par là même un état physiologique différent.

Si l'on se réfère aux notions des budgets énergétiques (Wiegert, 1964; Cummins, 1970), plus riche sera la diète, plus élevé sera le taux de transfert d'énergie. Il s'ensuit que, dans un milieu riche, l'efficacité des taux de transfert sera plus grande que dans un milieu moins favorisé. C'est de cette façon que nous comptons utiliser les données calorimétriques obtenues durant cette phase de l'expérience. Elle nous

servira à évaluer et comparer entre eux les différents "milieux-support" que sont les piscines dans lesquelles nous avons placé les Notropis cornutus.

## 2. Méthode

Pour des déterminations calorimétriques, les spécimens ont été préparés de la façon suivante. Lors des prélèvements sur le terrain en juin et en octobre, les poissons destinés à la calorimétrie ont été conservés dans de la glace sèche. Avant analyse, nous avons pesé, mesuré la longueur à la fourche et prélevé des écailles sur chacun des spécimens; ensuite ceux-ci furent lyophilisés pendant 48 heures et finalement réduits en poudre à l'aide d'un mortier. Avec cette poudre, nous avons préparé des pastilles pour la calorimétrie.

Au début de chaque séance d'analyse, la calibration de la bombe calorimétrique était vérifiée à l'aide de l'acide benzoïque (6.318 cal/g). Aucune recalibration de l'appareil n'a été nécessaire au cours d'une même séance de mesures. Pour brûler les pastilles, nous avons utilisé des fils de platine d'un diamètre de 0.152 mm ainsi que des patelles en platine comme support. Le poids de chaque échantillon a été déterminé 5 fois sur une balance Sartorius au cent millième de gramme près: le poids utilisé pour les calculs correspondait à la moyenne de ces cinq déterminations. Ensuite, on procédait de la façon suivante: la pastille et le fil étaient mis en place dans la bombe, on ajoutait 0.1 ml d'eau dans le fond de celle-ci et on la refermait en y établissant une pression d'oxygène de 465 Kg/cm<sup>2</sup>. La bombe était immergée dans un bassin d'eau pour en vérifier l'étanchéité, essuyée puis placée sur l'appareil. Pour chaque échantillon, nous avons effectué les mesures en triplicata. L'enregistrement

des données fut réalisé avec un "Perkin Elmer 56" dont la vitesse de déroulement du papier graphique était réglée à 20 mm/minute. Un exemple de thermogramme obtenu et de la méthode utilisée pour déterminer le nombre de calories de l'échantillon est illustré à la figure 3.

### 3. Calcul de la valeur calorimétrique des lipides et des protéines

Les valeurs calorimétriques associées aux hydrates de carbone, aux lipides et aux protéines varient d'un auteur à l'autre (Reay et col., 1943; Sherman, 1952; Watt et Merrill, 1963). Il s'ensuit que les valeurs moyennes que l'on retrouve dans bon nombre d'articles ne concordent pas toujours avec celles que les chercheurs retrouvent dans leurs expériences.

Les valeurs calorimétriques moyennes les plus couramment utilisées (Watt et Merrill, 1963) sont pour les

|                          |             |
|--------------------------|-------------|
| hydrates de carbone..... | 4.10 kcal/g |
| lipides.....             | 9.45 "      |
| protéines.....           | 5.65 "      |

En utilisant ces valeurs, il devient donc théoriquement possible de retrouver les pourcentages de chacun de ces composés dans un mélange.

Comme il est indiqué plus bas, pour déterminer si ces valeurs pourront être utilisées dans notre étude, nous avons fait quelques calculs à partir de filets de Notropis cornutus. Prenons le cas de ces poissons à l'automne dans la rivière Bulstrode.

|                                   |                              |
|-----------------------------------|------------------------------|
| Poids du matériel biologique..... | 9.806 mg                     |
| Cendres.....                      | 6.73%                        |
| Calories.....                     | 5,521 cal/g sans les cendres |

Calcul théorique:

Pois du matériel biologique..... 1 g

Poids des cendres..... 0.0673 g

Poids de matériel sans les cendres..... 0.9327 g

Soit x poids des protéines dans l'échantillon

Soit y poids des lipides dans l'échantillon

$$x + y \approx 0.9327 \quad (1)$$

$$5.65 x + 9.45 y = 5.521 \text{ Kcal/g} \quad (2)$$

(selon les moyennes citées plus haut)

$$9.45 x + 9.45 y = 8.814 \text{ Kcal/g} \quad (3) \quad (1) \times 9.45$$

$$5.65 x + 9.45 y = 5.521 \text{ Kcal/g} \quad (2)$$

---


$$3.80 x = 3.293 \quad (3) - (2)$$

$$x = 0.867 \text{ g}$$

$$y = 0.066 \text{ g}$$

Donc, en se basant sur les valeurs caloriques acceptées pour les lipides et les protéines, notre échantillon contiendrait; 0.867 g de protéines et 0.066 g de lipides, c'est-à-dire 92.93% de protéines et 7.07% de lipides. Dans un échantillon d'un gramme de matériel sans cendres, nous aurions dès lors 0.9293 g de protéines et 0.0707 g de lipides. En multipliant ces deux dernières valeurs par leur équivalent calorique (voir plus haut), nous obtenons:

$$0.9293 \times 5.650 = 5.0647$$

$$0.0707 \times 9.450 = \frac{0.6681}{5.733}$$

Or, par calorimétrie, nous avons obtenu 5,521 calories pour cet essai (sans les cendres). Entre ce résultat expérimental et la valeur théorique précisée ci-dessus, il y a 3.84% de différence, laquelle dépasse les



3% d'erreur admis dans des expériences de ce genre et équivalait à près du double de la différence la plus élevée que nous avons déterminée dans nos expériences de calorimétrie. Suite à cette vérification, il nous est apparu que les valeurs généralement accordées aux lipides et aux protéines dans la littérature n'étaient probablement pas assez précises pour la valeur calorimétrique des lipides et des protéines chez les Notropis cornutus. Ceci nous a amenés à séparer les lipides et les protéines totaux et à effectuer des tests calorimétriques sur chacune de ces fractions séparées.

Pour les protéines, la méthode employée a été la même que celle décrite au début de ce chapitre. Par contre, pour les lipides, la procédure fut quelque peu différente. En effet, les lipides isolés des muscles de Notropis étant sous forme émulsionnelle, il était difficile de les brûler au calorimètre. Nous avons alors décidé de les mélanger à une poudre pour pouvoir obtenir une pâte avec laquelle il serait possible de préparer des pastilles. A cette fin, nous avons choisi la silice, composant minéral qui, après vérification, ne dégage pas de chaleur au calorimètre. Cependant, il nous restait encore à déterminer si la silice était endothermique, auquel cas il fallait calculer son coefficient d'endothermie. Pour préciser cet aspect, nous avons préparé des pastilles à partir d'un mélange 50-50 de silice et d'acide benzoïque; l'homogénéité de ce mélange fut vérifiée en faisant brûler des pastilles au four selon la méthode standard de la détermination des cendres (voir ci-après). Dans aucun des tests effectués sur ce mélange n'avons-nous décelé une réaction endothermique. Nous pouvions donc dès lors mélanger nos lipides à la silice.

#### 4. Détermination des cendres

Cette opération a été réalisée en triplicata pour chacun des échantillons. A cette fin, les pastilles étaient placées dans un four à une température de  $260^{\circ}\text{C}$  durant quatre heures, tel que recommandé par Paine (1971) et Cummins et Wuycheck (1971). Il est erroné de penser qu'on peut déterminer les cendres en pesant les résidus de la pastille après combustion dans la bombe. Pour ce faire, il faudrait laisser à l'eau produite lors de la combustion le temps de s'évaporer. De plus, plusieurs sels se décomposent lors de la combustion. Enfin, certains autres éléments, tels K et Na, peuvent se volatiliser sur les parois de la bombe et de minuscules fragments du fil de platine peuvent adhérer à la pastille et être difficilement décelables lors de la pesée.

#### 5. Reproductibilité des mesures

Le manuel de la compagnie Parr (1945) stipule que l'"American Society for testing Materials" demande une précision de 0.3% sur des tests faits sur un même échantillon par le même laboratoire et de 0.5% entre des tests effectués par des laboratoires différents. Golley (1961) et Paine (1971) s'accordent à dire qu'on peut accepter une variation n'excédant pas 3% entre les mesures effectuées sur un même matériel biologique soit par des méthodes chimiques, biochimiques ou calorimétriques. Dans ces conditions, nous n'avons pas accepté des variations supérieures à 3.0% pour les mesures calorimétriques effectuées en triplicata; ceci implique que, dans certains cas, nous avons dû faire plus de trois mesures.

En plus des variations dues à la nature même du matériel biologique, il faut mentionner les erreurs expérimentales. Il s'agit notamment de la pesée de la pastille ainsi que de la lecture et de l'interprétation

du thermogramme. En ce qui concerne la pesée, nous avons procédé avec grand soin en ne commençant à enregistrer les résultats que lorsque le poids était parfaitement stabilisé. Nous n'avons accepté que des variations de poids inférieures à  $10^{-4}$  g; la moyenne de cinq mesures répondant à ces exigences a servi pour nos calculs. En outre, l'exactitude de la balance était périodiquement vérifiée à l'aide de poids standards. Quant à la lecture et l'interprétation des thermogrammes, elle a été effectuée en déterminant des hauteurs avec une exactitude de  $\pm .5$  mm, ce qui se traduit par  $\pm 30$  à  $50$  cal ou  $0.5$  à  $1\%$  de différence.

#### 6. Résultats calorimétriques

Le tableau I expose les valeurs calorimétriques obtenues pour les poissons des différentes piscines et de la rivière en juin et en octobre ainsi que pour les lipides et les protéines des Notropis cornutus. On constate que les valeurs calorimétriques acquises pour les poissons des piscines et de la rivière sont du même ordre de grandeur que celles obtenues par Cummins et Wuycheck (1971) pour quelques espèces de poissons (tableau II).

Les résultats précisés pour les protéines s'avèrent légèrement inférieurs ( $5,300$  cal/g à ceux trouvés dans la littérature vu que la valeur de  $5,650$  cal/g est généralement citée pour les protéines (voir I: 3).

Les résultats les plus marquants sont sans contredit les valeurs trouvées pour les lipides ( $8,600$  cal/g) puisque cette valeur se situe autour de  $9,500$  cal/g dans la littérature (voir I: 3). Cet aspect sera discuté ultérieurement (voir IV).

## CHAPITRE 2

### ASPECTS BIOCHIMIQUES

#### 1. Généralités sur les lipides

La teneur en lipides chez les poissons varie selon plusieurs facteurs: conditions de vie dans le milieu, saison de l'année, la nature et l'intensité de l'alimentation, l'âge, le sexe, l'état de maturité des organes reproducteurs (Bruce, 1924; Lovern, 1938; Groves, 1970; Ringrose, 1971). Lors d'une étude, il faudra donc que les poissons soient du même âge et de la même taille et, si nécessaire, il faudra séparer les poissons selon leur sexe et la maturité de leurs gonades. De plus, la teneur en lipides des poissons est sujette à des variations individuelles qui peuvent être dans certains cas assez importantes. C'est pourquoi, lorsqu'on fait ce genre de détermination et qu'on désire obtenir des résultats comparables et représentatifs, il faut grouper plusieurs individus tout en respectant les critères cités plus haut.

Les lipides sont des constituants importants de la cellule. Quelques-uns (phospholipides, cholestérol) sont des constituants majeurs des membranes biologiques. D'autres (acides gras, rétinoïdes) peuvent s'accumuler dans les cellules sous forme de globule libres. Quelques cellules animales (cellules adipeuses) accumulent tellement de lipides que leur protoplasme se trouve réduit à une mince enveloppe entourant le globule de graisse. Chez divers vertébrés, les lipides s'avèrent une réserve d'énergie importante. On retrouve ainsi de telles accumulations lipidiques avant les migrations chez les poissons et les oiseaux de même que chez certains mammifères avant la période d'hibernation (Grassé et Devilliers,

1965). Ce matériel gras se révèle intéressant car il libère à poids égal deux fois plus d'énergie que les hydrates de carbone ou les protéines (Giese, 1966). De plus, il n'y a pas d'eau déposée dans les tissus avec les graisses comme c'est le cas avec les hydrates de carbone et les protéines. Les graisses étant d'une densité inférieure à l'eau, elles jouent aussi un rôle important dans la capacité de flottaison des organismes aquatiques.

## 2. Méthodes d'extraction des lipides

Il existe de nombreuses méthodes d'extraction des lipides. Une des méthodes les plus utilisées est celle de Folch et Lees (1957). Elle consiste en une homogénéisation du tissu avec un mélange 2:1 de chloroforme-méthanol et un lavage de l'extrait par addition de 0.2 fois son volume d'eau ou d'une solution saline appropriée. Le mélange résultant de cette opération se sépare en deux phases. La phase inférieure renferme les lipides. On effectue finalement un lavage pour éliminer les contaminants non lipidiques.

Une autre méthode couramment employée est celle de Bligh and Dyer (1959). Elle se réalise ainsi: le tissu est homogénéisé avec un mélange de chloroforme et de méthanol 1:2 durant 2 minutes; on ajoute ensuite une (1) partie de chloroforme, on homogénéise durant trente (30) secondes, on ajoute une partie d'eau et on continue l'homogénéisation durant trente (30) secondes. Le tout est finalement filtré et les lipides se retrouvent dans la couche chloroformique.

Ces deux méthodes ont été utilisées avec succès sur plusieurs types de tissus (Anderson et Ravesi, 1968), en particulier celle de

Bligh et Dyer (1959) qui a été mise au point avec des poissons d'eau salée (morue, flétan, etc...). Pour notre étude, toutefois, les quantités de chair nécessaires pour l'homogénéisation rendaient presque impossible l'emploi d'une de ces méthodes. En effet, un filet de Notropis pesant environ 0.2 à 0.3 g, on n'obtenait pour 40 poissons que 8 à 12 g de muscle (poids humide), laquelle quantité est trop petite pour être traitée avec un mélangeur surtout pour des expériences en triplicata.

Dans ces conditions, afin de bénéficier d'une méthode rapide et adaptée aux petites quantités, nous avons décidé d'extraire les lipides avec des micro Soxhlet (Standard Methods; Giese, 1966). Pour cela, nous avons extrait les filets des poissons des piscines et de la rivière et nous les avons déposés dans un lyophilisateur à  $-50^{\circ}\text{C}$  durant 36 heures. Nous obtenions ainsi un produit stable et facile à manipuler.

Des expériences faites avec une poudre de protéines dont le pourcentage de lipides présents et/ou ajoutés était connu ont donné des rendements de 95% à 99% en utilisant la méthode prédécrite. Le solvant employé fut l'éthyl éther. Nous avons aussi déterminé le temps optimum pour les extractions; une durée de 4 heures à  $55^{\circ}\text{C}$  fut adoptée durant cette phase expérimentale, ce qui nous permettait d'effectuer 12 extractions par jour.

### 3. Résultats lipidiques

Les résultats de cette partie de l'expérience apparaissent au tableau III: nous les discuterons en détail dans le chapitre IV.

Signalons ici que, dans l'établissement de ces résultats, nous avons tenu compte d'une source d'erreur. Effectivement, pour déterminer

la quantité de lipides, il fallait évaporer l'éther en disposant les ballons contenant l'extrait dans un bain-marie (la température de l'eau était d'environ 45°C). Or, après quelques expériences, nous nous sommes aperçus qu'en plus de l'éther nous perdions par évaporation une partie des lipides, les plus volatiles sans doute. De simples calculs à partir des doigts d'extraction ont confirmé cette perte. C'est pourquoi la teneur en lipides apparaissant dans les tableaux et ayant servi pour tous les calculs a été obtenue en faisant la différence du doigt d'extraction contenant la poudre de muscle avant et après l'extraction.

#### 4. Généralités sur les protéines

Bien qu'on connaisse aujourd'hui moins de choses sur la composition des protéines chez les poissons que chez les homéothermes (Watt et Merrill, 1963), la composition en protéines et en acides aminés des muscles de poissons a été étudiée par certains chercheurs. Dyer (1949) en modifiant une méthode de Smith (1937) obtint pour la morue les fractions suivantes:

| Fractions protéiniques | %  |
|------------------------|----|
| Myosine                | 76 |
| Globuline y            | 8  |
| Myogène                | 6  |
| Myoalbumine            | 7  |
| Stroma                 | 3  |

Les chercheurs qui désirent étudier la composition des protéines d'une plante ou d'un animal sont confrontés avec une littérature aussi abondante que confuse. La raison en est bien simple: les protéines forment un groupe très diversifié de composés d'une très grande complexité dont la composition et les propriétés varient grandement d'une à l'autre. Il est donc relativement difficile de les isoler complètement

ou de les purifier. De fait, on les retrouve la plupart du temps dans des mélanges dont les concentrations varient beaucoup; de plus, elles existent aussi sous différents états, solides ou dissous. Dans les études du genre de celles que nous avons entreprises, on se limite dès lors à déterminer la teneur totale en protéines.

La méthode la plus classique à cette fin consiste à préciser la teneur en azote. Plusieurs méthodes ont été mise au point dans ce but et donnent des résultats précis et reproductibles; parmi les plus connues, citons celles de Dumas (1881) et de Kjeldahl (1883).

#### 5. Méthode de détermination de l'azote dans les protéines

La méthode que nous avons choisie pour cette partie de l'expérience est une variante de la méthode Kjeldahl (1883). Le matériel dans lequel nous déterminions l'azote était celui dont nous avions extrait les lipides. Pour cela, des digestions appropriées ont été effectuées dans des ballons à long col de 200 ml selon la méthode Technicon N<sub>3</sub>b (1965). Les solutions étaient ensuite analysées par un appareil "Technicon auto analyser". A tous les 10 échantillons, une série de 7 solutions standards de  $\text{SO}_4(\text{NH}_4)_2$  de différentes concentrations étaient analysées selon le même processus afin de vérifier la calibration de l'appareil tout au long des mesures.

Notons ici que la détermination de la teneur en azote traduit non seulement la quantité en protéines mais aussi la quantité en autres produits organiques azotés non protéiques, à savoir les acides nucléiques, divers radicaux tels que la choline, certains sucres aminés, etc... Toutefois, l'abondance en protéines étant très prononcée dans le vivant par rapport à la quantité assez réduite de ces autres produits (Giese,



1970), la proportion azotée de cette dernière peut être considérée comme négligeable dans la méthode de Kjeldahl.

Dans la plupart des publications, les valeurs trouvées pour les protéines sont d'ailleurs calculées à partir de la détermination de l'azote. Les premières protéines qui ont été analysées contenaient environ 16% d'azote (Watt et Merrill, 1963). De ce fait, lorsqu'on désire connaître la quantité de protéines dans un tissu, on y détermine tout d'abord la quantité d'azote et on multiplie ensuite cette valeur par un coefficient. On a calculé de façon précise ce facteur pour différents tissus animaux et végétaux. Le tableau IV présente ces facteurs pour plusieurs tissus (Watt et Merrill, 1963). Les poissons ne figurent pas dans cette liste. Cependant, la plupart des publications traitant de ce sujet suggèrent 6.25 comme coefficient, c'est-à-dire le même facteur que pour les viandes (Watt et Merrill, 1963, Groves, 1970). Nous avons donc calculé les pourcentages de protéines en combinant le facteur 6.25 aux résultats des tests de Kjeldahl.

#### 6. Résultats protéiques

Les % en composition protéique obtenus à l'aide de la méthode décrite ci-dessus sont exposés au tableau III et seront discutés au chapitre IV.

#### 7. Détermination des valeurs calorimétriques à partir des résultats biochimiques et détermination inverse

Les deux phases expérimentales décrites plus haut (voir II et III: 1 à 6) visaient à déterminer la valeur calorimétrique des muscles de Notropis cornutus ainsi que leur composition biochimique. La valeur calorimétrique d'un échantillon étant le reflet de sa composition biochi-

mique, il nous est possible à partir des résultats de l'une de ces expériences de retrouver ceux de l'autre. En effet, à partir des valeurs calorimétriques des lipides et des protéines qui ont été précisées lors de la calorimétrie (voir II: 6), on peut trouver la composition chimique des tissus musculaires et réciproquement, à partir des résultats d'analyses biochimiques (% en protéines et en lipides) des échantillons, on peut en utilisant les valeurs calorimétriques de 5,300 cal/g pour les protéines et de 8,600 cal/g pour les lipides (voir II: 6) retrouver la valeur calorimétrique total de l'échantillon. Lorsque la méthode employée nous permet de déduire les valeurs obtenues expérimentalement par l'autre méthode à l'intérieur des erreurs expérimentales acceptées, on peut conclure à la validité des résultats.

Pour déterminer la valeur calorimétrique d'un échantillon à partir des concentrations biochimiques, il suffit de multiplier les données du tableau III par les valeurs calorimétriques citées ci-dessus.

- Détermination de la valeur calorimétrique due aux lipides:

$$\% \text{ lipides } \times 8,600 = n \text{ de calories pour les lipides}$$

- Détermination de la valeur calorimétrique due aux protéines:

$$\% \text{ protéines } \times 5,300 = n \text{ de calories pour les protéines}$$

Les résultats de ces calculs apparaissent au tableau V. Tel qu'explicité dans ce tableau, la différence entre le bilan calorimétrique calculé à partir des expériences biochimiques et celui calculé directement par calorimétrie est très faible. En effet, l'écart maximum que nous retrouvons entre les résultats obtenus par ces deux méthodes pour un même groupe expérimental est de 1.86%, ce qui s'avère très acceptable compte tenu des variantes inhérentes au matériel biologique.

Par ailleurs, en utilisant les valeurs de 5,300 cal/g pour les protéines et de 8,600 cal/g pour les lipides, il nous est possible à l'aide d'un système d'équation à deux inconnues (voir I: 3) de calculer la composition biochimique théorique en protéines et en lipides. Les résultats de ces calculs sont exposés au tableau VI. La signification des résultats de ces calculs sera discuté au chapitre IV.

### CHAPITRE 3

#### ASPECTS ECOLOGIQUES

##### 1. Dimension écologique du problème

Pour les biologistes, il n'existe plus de doute en ce qui concerne l'influence du milieu sur le développement des individus et des populations. Compte tenu de cette relation, il devient possible d'évaluer la qualité d'un milieu en examinant les populations qui s'y développent. De nombreuses méthodes d'évaluation existent à cette fin. En ce qui a trait aux populations piscicoles, les mesures qui sont le plus souvent effectuées dans cette optique sont celles du coefficient de condition, des réserves en graisse et/ou de l'état de maturité sexuelle des gonades en fonction de la taille et du poids (Carlander, 1953; Le Gren, 1971; Fortin, 1967; Lagler, 1971). Le but de notre étude étant d'évaluer les différents milieux quant à leur capacité de support d'une population de poissons, nous avons décidé d'utiliser les données sur la croissance en longueur et en poids, c'est-à-dire le coefficient de condition. Par rapport au groupe témoin de poissons pris dans la rivière en juin, nous désirons ainsi préciser l'influence écologique des différentes piscines sur le développement général des Notropis cornutus.

##### 2. Coefficient de condition

La formule employée pour calculer le coefficient de condition est la suivante (Le Gren, 1951):

$$K = \frac{W \cdot 100}{L_F^3}$$

ou K = Coefficient de condition en g/cm

W = Poids en grammes

$L_F$  = Longueur à la fourche en centimètre

100 = Facteur plaçant le point décimal après la lère unité

Etant donné que les piscines A et B contenaient le même type de sol (voir fig. 2), nous les avons groupées pour effectuer les calculs des coefficients de condition. Les résultats de ces calculs apparaissent au tableau VII. Les coefficients K variant de 1.22 à 1.45, nous avons tenté de faire des regroupements.

A cette fin, nous avons tout d'abord effectué un test de Bartlett (Dixon et Massey, 1969) pour vérifier l'égalité des variances des moyennes des coefficients de condition. En prenant les piscines et le groupe P.J.\*, nous obtenons un  $\chi^2$  de 256 à 9 degrés de liberté. Cette valeur est plus grande que celle tabulée au niveau de 5% d'erreur, à savoir 16.9. Si nous éliminons de nos résultats la piscine 2B ( $S^2 = 0.308$ ), nous obtenons un  $\chi^2$  de 41 avec 8 degrés de liberté. Ceci s'avère une valeur plus grande que celle tabulée au niveau de 5% d'erreur, à savoir 15.5. Dans ces conditions, pour analyser l'ensemble des résultats obtenus dans les piscines, nous avons décidé de transformer nos données en logarithmes et de calculer la variance de logarithme de K, à savoir  $S^2K$ , tel que décrit au tableau VIII.

---

\* P.J. Poissons de la rivière Bulstrode en juin

Malgré l'utilisation des valeurs logarithmiques, nous obtenons à l'aide du test de Bartlett un  $\chi^2$  de 121.4, lequel est supérieur à la valeur tabulée pour 8 degrés de liberté à 5.0% à savoir 15.5. Il appert donc que l'analyse de variance sur les coefficients de conditions ne donne pas de résultats significatifs et que, dans ces conditions, il n'est guère possible de départager les résultats obtenus dans les différentes piscines en se servant des seuls coefficients de conditions. Il faut donc utiliser un autre genre de relation écologique pour parvenir à ce but.

Vu que le coefficient de conditions écologiques ne peut servir à évaluer la qualité du milieu support dans ce cas, nous avons choisi d'analyser les changements en biomasse et en nombre dans le temps pour estimer la capacité de support de chaque groupe de piscines.

### 3. Evolution de la biomasse des poissons dans le temps

Au début de l'expérience en juin, nous avons mis 40 Notropis cornutus dans chacune des piscines. La biomasse moyenne de toutes les piscines A et B équivalait alors à 184 g. Tel qu'indiqué dans la colonne N des tableaux VII et VIII, nous n'avons pas retrouvé 100% des spécimens que nous y avons placés; de fait, le meilleur taux de recouvrement a été d'environ 90% pour la piscine 2B et 30 à 50% pour les autres.

Plusieurs causes peuvent expliquer de tels taux de recouvrement. Il y a tout d'abord les premières manipulations au début de l'expérience. Les Notropis ont été capturés à l'aide d'une seine. Une fois celle-ci ramenée sur le rivage, nous les prenions à la main et nous les déposions dans un récipient contenant de l'eau de la rivière. Arrivés près de la piscine, nous transvasions les poissons dans une cuve contenant de l'eau

de la rivière et de l'uréthane (pour fin d'anesthésie). Les poissons dont la taille était comprise entre 5 et 6 cm étaient transférés de cette cuve dans une autre; lorsqu'il y en avait 40, nous les mettions dans une des piscines. Ces transferts avaient lieu en présence de Mainages bronzées (Quiscalus versicolor) qui se régalaient des succulents cyprinidés ne répondant pas aux normes. Il n'est pas impossible que ces oiseaux aient dévoré quelques individus dans les piscines. Par ailleurs, l'eau étant renouvelée en continu et le surplus débordant par le haut, quelques poissons ont pu être entraînés par le courant. Il faut aussi compter la mortalité naturelle comme une cause de diminution de la population. Enfin, lors du recueil à la seine des poissons en octobre, il se peut que la récupération n'ait pas été totale. Ainsi, les piscines 1A et B ont posé des problèmes lors de cette récupération à cause des deux faits suivants: d'une part, la texture du fond faite de mottes de terre rectangulaires non jointes permettait aux poissons de se réfugier entre les mottes et, d'autre part, la présence de Typha latifolia et d'autres plantes aquatiques à tiges rigides (rappelons ici que le sol des piscines 1A et 1B provenait de la région marécageuse) ne favorise pas un taux élevé de récupération à la seine. Les piscines 2 et 3 contenaient aussi beaucoup de plantes aquatiques, ce qui avait tendance à faire rouler la seine. Malgré ces inconvénients, nous avons effectué des recueils à la seine dans chacune des piscines à 5 ou 6 reprises durant les trois jours de récupération, ce qui permet de penser que nous avons récupéré à peu près tous les poissons encore présents dans les piscines à cette époque.

Dans les piscines 1, 2, 7, 8 où nous avons récupéré entre 40 et 50% des effectifsensemencés en juin, la biomasse de poissons varie entre 143

et 165 g: ceci implique que les poissons ont presque doublé de poids durant leur séjour dans les piscines (tableau VII et VIII). Dans les piscines 4 et 5 où nous n'avons retrouvé qu'environ 30% des poissons, la biomasse de ceux-ci se situe autour de 117 g, ce qui révèle là aussi un bon taux de croissance. Les piscines 3 et 9 avaient une biomasse en poisson de 61 et 92 g respectivement; c'est dans ces piscines que l'augmentation individuelle a été la plus faible. Si on compare le poids des poissons provenant de ces piscines avec ceux des piscines 1 et 4, on constate une différence d'environ 45% dans le poids moyen des poissons. En outre, c'est aussi dans ces piscines que la taille des poissons est la plus petite. Rappelons à ce sujet que les piscines 9 (A et B) ne contenaient aucun sol. Les organismes servant à l'alimentation des poissons y provenaient de l'eau de la rivière, la piscine elle-même n'étant pas un milieu de développement aussi favorable que les piscines 1 et 2 par exemple où nombre d'organismes benthiques et périphtiques se sont développés durant la saison estivale.

Si nous prenons comme point de référence le poids et la longueur des Notropis en juin et si nous comparons ces valeurs à celles que nous retrouvons dans les piscines en octobre, nous remarquons qu'il y a eu croissance en poids et en longueur dans l'ensemble des piscines, laquelle croissance est la plus faible dans les piscines 3 et 9 (tableau VII et VIII). Dans quelques piscines, nous avons même trouvé des poissons d'une longueur de 10 à 19 centimètres et d'un poids voisin de 10 g.

Des lectures d'âge sur les écailles ont été faites pour tous les spécimens dépassant 7 cm et pour une grande partie de ceux mesurant entre 5 et 6 cm. L'âge de tous les spécimens examinés équivalait à 2+. Cette constatation permet de croire que les spécimens mesurant entre 10 et 19 cm



provenaient du groupe de ceux que nous avons ensemencé en juin. Ce taux de croissance peut paraître étrange. Il convient cependant de signaler ici à ce propos que des spécimens d'âge 0 capturés en novembre dans la rivière et mesurant alors de 3 cm à 4 cm, lorsqu'ils vivent en aquarium au laboratoire à 22°C et reçoivent de la nourriture à poissons rouges jusqu'en janvier, s'accroissent considérablement en moins de deux mois de telle façon qu'ils mesurent finalement environ 6 cm. Il semble donc qu'avec une température chaude et de la nourriture, les Notropis cornutus aient un taux de croissance très rapide. Or, durant l'été, la température dans les piscines fluctuait de 19 à 25°C et les organismes aquatiques étaient très abondants dans la plupart des piscines. Les conditions expliquent dès lors au moins partiellement le développement remarquable atteint par certains spécimens.

## CHAPITRE 4

### INTEGRATION DES RESULTATS

Nous allons maintenant intégrer et discuter les résultats des trois chapitres précédents en essayant de faire ressortir l'effet du milieu sur le développement des Notropis cornutus.

#### 1. Résultats calorimétriques

a) Comparaison entre les piscines: dans le but de vérifier si les valeurs calorimétriques des piscines A et B (voir tableau I) se rapprochent assez pour qu'il soit possible de les grouper, nous avons effectué un test F sur l'égalité des variances ainsi qu'un test T sur l'égalité des moyennes (tableau IX). Les variances se sont révélées égales avec 95% de probabilité dans tous les cas y compris pour les poissons de la rivière en juin et en octobre. La moyenne entre les essais A et B ainsi qu'entre PJ, PO et GJ-GO représente une moyenne d'échantillon homogène avec 95% de probabilité, tel qu'explicité par le test T. De ce fait, pour les prochains calculs, nous utiliserons la moyenne des piscines A et B.

Nous avons par la suite effectué un test de Bartlett au niveau des variances. Pour les 8 couples de piscines regroupées, nous avons obtenu un  $\chi^2$  de 0.92 avec 7 degrés de liberté, ce qui indique que les variances des 8 couples de piscines sont égales avec 95% de probabilité. Nous avons alors fait une analyse de variance sur ces 8 couples de piscines afin de vérifier l'égalité de leur moyenne. Cette égalité des moyennes ne se vérifie pas à l'échelle des 99% de probabilité. Si l'on se rappelle que les piscines A et B contenaient un type de sol identique

(fig. 2) et si l'on mentionne ici que les deux essais n'ont pas révélé de différences significatives quant à leur comportement physico-chimique durant la première année mais que, par contre, on en a retrouvées entre les piscines contenant différents types de sol (INRS-EAU, rapport technique numéro 37, 1976), il semble normal de déceler une différence entre les valeurs calorimétriques des piscines.

b) Essais de regroupement des piscines: si toutes les piscines ne sont pas semblables au niveau de la calorimétrie, il devrait être possible de les fractionner en groupes. Nous avons voulu étudier cette hypothèse en nous servant du test de Duncan. Les résultats de ce test apparaissent aux tableaux X et XI. A l'échelle de 95% de probabilité, deux groupes ressortent: l'un constitué de la seule piscine 3 et l'autre comprenant toutes les autres piscines. A l'échelle de 90% de probabilité, la piscine 3 se retrouve encore seule, les deux autres groupes ne différant l'un de l'autre que par une piscine (piscine 9 pour le premier groupe et piscine 1 pour le deuxième). Il appert donc que la piscine 3 se trouve isolée dans un groupe.

Si nous ajoutons aux groupes de piscines les témoins de juin (PJ) de quelle façon le regroupement sera-t-il modifié? A l'échelle de 90% de probabilité, rien ne change: en effet, la piscine 3 (A + B) constitue encore à elle seule un groupe (tableau XII). A l'échelle de 95% de probabilité, la piscine 1, les poissons de la rivière en juin et la piscine 3 constituent un groupe distinct (tableau XIII). Si nous refaisons les mêmes tests en employant cette fois-ci les poissons pris dans la rivière en octobre (PO), à l'échelle de 90% de probabilité, nous retrouvons ensemble la piscine 3 et l'ensemble PO par rapport aux autres piscines (tableau XIV);

à l'échelle de 95% de probabilité, les piscines 1, 3 et le groupe PO sont séparés des autres piscines (tableau XV).

Cette première étape du traitement des données avait pour but de vérifier si l'utilisation des résultats de calorimétrie pouvait mettre en évidence une différence dans la capacité de support des différents milieux expérimentaux. L'utilisation du test statistique de Duncan aurait alors permis de fractionner l'ensemble des piscines en 2 ou 3 groupes. Après analyse des résultats obtenus (chap. 4, 1<sup>b</sup>) il devient évident que les seuls résultats calorimétriques ne peuvent séparer les piscines en quelques groupes. Ainsi dans quelques uns de ces essais de groupement, la piscine 3 (A+B) constitue à elle seule un groupe auquel toutes les autres piscines sont opposées. Cependant si l'on consulte le tableau VII on constate que la piscine 3 à l'un des plus fort taux de mortalité (80%). et une des plus faible augmentation de poids par spécimen ce qui résulte dans la plus faible biomasse terminale exprimée en gramme de poissons. C'est ainsi que l'évaluation de la capacité de support des piscines ne pourra se faire qu'en tenant compte conjointement des résultats calorimétriques, biochimiques et écologiques.

## 2. Résultats biochimiques

a) Classement des piscines selon la teneur en lipides: on peut se servir des résultats des analyses biochimiques (tableau III) pour classer les piscines selon les pourcentages de lipides contenus dans les filets de Notropis cornutus. Le tableau XVI présente ce classement par ordre décroissant et le compare à celui qui est fait à partir des résultats calorimétriques. On constate une certaine équivalence entre ces deux classements. De fait, dans les deux cas, la piscine 3 est en première position et la piscine 8 en dernière position. Certes, les piscines 4-9 et

6-7 ne se retrouvent pas exactement dans le même ordre mais leur valeur calorimétrique ne diffère que de 1 calorie et leur pourcentage de lipides ne diffère que de 0.10%, ce qui permet de considérer que les classements correspondent bien dans les deux cas. Notons toutefois que le classement des piscines 1 et 5 est inversé au niveau des calories par rapport à celui des lipides.

b) Valeurs calorimétriques des lipides et des protéines: les valeurs expérimentales de 8,600 cal/g pour les lipides et de 5,300 cal/g pour les protéines (voir I: 6 et tableau I) sont valides. La faible différence entre les valeurs calorimétriques déterminées par calorimétrie et celles déduites des résultats biochimiques le démontre pour les groupes de piscines (tableau XVII). La corrélation demeure aussi bonne si nous effectuons une analyse par régression entre les pourcentages de protéines ou de lipides et les valeurs calorimétriques (fig. 4 et 5). Cette régression confirme aussi les valeurs de 5,300 calories précisées pour les protéines et de 8,600 calories précisées pour les lipides.

c) Validation des résultats biochimiques et calorimétriques: lorsqu'on examine le tableau VI, on remarque que les écarts entre les teneurs en lipides et en protéines déterminées par la méthode biochimique et celles précisées à partir de la calorimétrie ne diffèrent pas plus de 3%. Une telle concordance permet en consultant l'ensemble des données de déterminer dans les cas de grande différence entre des valeurs, laquelle de celles-ci est sous ou surestimée. Par exemple, les poissons de la piscine 5B ont une valeur calorimétrique de 5,393 cal/g. Le pourcentage théorique de lipides n'est alors que de 2.78%, ce qui est faible comparativement au 4.23% obtenu à partir des analyses biochimiques. En examinant

les résultats de la piscine 5A (milieu identique à 5B; 5459 calories et 5.32% de lipides) par rapport à ceux de la piscine 5B, on peut soupçonner qu'une erreur expérimentale s'est produite lors des expériences calorimétriques avec les poissons de la piscine 5B et qu'une valeur de 5,446 cal/g calculée à partir des bilans biochimiques s'avère plus réaliste que celle de 5,393 cal/g. Il en est de même pour la piscine 9A où la valeur de 5,324 cal/g n'implique que 0.65% de lipides; en consultant les données sur le pourcentage de lipides déterminé lors des expériences biochimiques ainsi que les résultats de deux tests pour la piscine 9B, il apparaît que la valeur calorimétrique de la piscine 9A est trop faible et sous-estime la teneur en lipides des poissons. De fait, la valeur calorimétrique calculée à partir des expériences biochimiques faites dans la piscine 9A est plus conforme aux résultats de la piscine 9B calculés par l'une ou l'autre des méthodes. Le même type de constatation s'applique au groupe GJ où la valeur calorimétrique acquise à partir des résultats biochimiques semble plus réaliste. Par contre, si l'on examine les résultats des groupes PO et GO, on peut soupçonner que la teneur en lipides obtenue à partir des expériences biochimiques est trop faible et que la valeur de 7.14% obtenue à partir des résultats de la calorimétrie reflète mieux le phénomène d'accumulation des lipides dans les tissus musculaires à la fin de l'été.

En tenant compte de ces différentes observations et corrections, il est possible d'établir un tableau avec des valeurs calorimétriques corrigées (tableau XVIII). Ce tableau permettra de juxtaposer les mesures thermodynamiques et biochimiques aux observations écologiques dans la section suivante au tableau XIX.

### 3. Résultats écologiques

a) Coefficients de condition: les tentatives de regroupement des piscines au moyen des coefficients de condition en valeurs réelles ou logarithmiques n'ont pas apporté les résultats escomptés (voir III: 2). Il en fut de même lorsque nous avons voulu effectuer un regroupement à l'aide de valeurs calorimétriques (voir IV: 1). Il n'en reste pas moins que le développement des poissons ainsi que leur composition biochimique ne sont pas les mêmes dans toutes les piscines (voir III: 3 et IV: 2).

b) Evaluation des milieux: la biomasse ainsi que le nombre de poissons changent nettement dans les piscines au cours de l'expérience (voir III: 3 et tableau VII). La mortalité naturelle seule n'explique pas la diminution du nombre de poissons dans certaines piscines. Il y a aussi certains facteurs expérimentaux précisés antérieurement. En outre, la capacité de support du milieu s'avère également un facteur important. Par exemple, les piscines 9A et 9B dépourvues de sol n'avaient comme source principale de nourriture que ce que l'eau de la rivière apportait. Sans sol nutritif et sans plantes aquatiques, la productivité primaire de ces piscines était sûrement inférieure à celle des piscines 1 et 2 où nous retrouvions beaucoup de plantes aquatiques. Par contre, certains milieux ont été plus favorables que d'autres à la croissance (piscines 1, 4 et 6) et la reproduction (piscines 4, 3 et 6).

Compte tenu de ce qui précède et malgré le fait qu'une seule variable (soit les calories, soit la composition biochimique, soit le coefficient de condition écologique) ne puisse servir à classifier les piscines, l'utilisation simultanée de deux ou plusieurs paramètres devrait per-

mettre une certaine classification des piscines. Un calcul des taux de transfert semble un bon moyen d'aborder ce problème.

c) Taux de transfert: plusieurs écologistes ont traité des taux de transfert et des flux d'énergie dans l'écosystème (Fisher, 1973; Wiegert, 1964; Lindeman, 1942; Slobodkin, 1960; Cummins, 1970). Pour préciser cet aspect dans notre étude, nous avons choisi d'utiliser conjointement les valeurs calorifiques et la biomasse et, en multipliant la valeur calorimétrique des poissons de chacune des piscines par la biomasse des poissons à la fin de l'expérience, nous avons obtenu une valeur énergétique pour chacune des piscines. Ensuite, en analysant ces différentes valeurs énergétiques qui reflètent l'efficacité des taux de transfert, il devient possible d'évaluer lequel des milieux est le plus favorable au développement de nos poissons.

d) Détermination des bilans énergétiques: tel que stipulé ci-dessus, les résultats calorimétriques du tableau I et les biomasses du tableau XIX permettent de déterminer la biomasse exprimée en calories de chaque groupe de piscines. Ces bilans figurent au tableau XX.

Au cours de l'expérience, un incident provoqua l'assèchement de la piscine 2A, ce qui élimine une piscine témoin du groupe 2. C'est pourquoi nous n'avons pas effectué de mesures calorimétriques et biochimiques sur ce groupe de piscines. Cependant, étant donné l'excellent rendement de la piscine 2B, à savoir 36 individus sur 40 en octobre (taux de survie de 90%), nous avons jugé bon de l'incorporer à cette étape du traitement des données. Pour cela nous avons procédé comme suit: le poids moyen et la longueur moyenne à la fourche pour l'ensemble des poissons



des piscines étant de 3.8 g et 6.3 cm respectivement et lesquelles valeurs étant très voisines de celles obtenues pour la piscine 2B (3.9 g et 6.3 cm, voir tableau XIX), nous avons utilisé pour celle-ci la valeur calorimétrique moyenne pour l'ensemble des poissons, c'est-à-dire 5,426 cal/g. A l'aide de cette valeur, nous avons évalué le bilan énergétique de la piscine 2B, lequel a été estimé à 759,000 calories (tableau XX).

Pour évaluer la biomasse exprimée en calorie du futur réservoir, nous avons utilisé les valeurs moyennes (biomasse, calories) obtenues pour l'ensemble des piscines, il en a été de même pour le taux de mortalité. La valeur calorimétrique ainsi extrapolée équivaut à 659 Kcalorie par piscines ou 405,800 kcalories/hectare. Il va sans dire que cette approximation ne saurait être valable pour le réservoir que si les différents types de sol ne s'y retrouvent dans les mêmes proportions que dans les piscines et que si les Notropis cornutus ne constituent que la seule espèce et ce, avec la même structure de population que celle établie lors de nos expériences.

Les différents bilans énergétiques pour les groupes de piscines, pour la piscine 2B et pour le futur réservoir nous ont permis de les classer en deux catégories "a" et "b" selon que leur bilan énergétique est supérieur ou inférieur à la valeur estimée pour le futur réservoir (tableau XXI).

e) Taux de mortalité: il existe très peu de travaux sur les taux de mortalité des cyprinidés en milieu naturel. Il a cependant été signalé que des alevins de truites Salvelinus fontinalis ensemencés en juin dans une rivière avaient numériquement diminué de 50% au début de l'automne\*. Compte tenu de cette donnée, le taux moyen de mortalité de 60% que nous constatons pour l'ensemble de nos piscines de semble pas exagéré. Nous avons dès lors retenu

---

\* Renseignement obtenu du Ministère du Tourisme, de la chasse et Pêche, district de Montréal

ce taux pour estimer le nombre de poissons dans le futur réservoir (voir IV: 3d).

F) Application d'un modèle exponentiel à la mortalité et à la croissance: La mortalité survenue dans les groupes de poissons, a été estimée à partir du modèle simple suivant:

$$\frac{dN}{dt} = -\alpha N$$

$$\frac{dN}{N} = -\alpha dt$$

$$\ln N = -\alpha t + \ln \lambda$$

où  $\lambda$  est la constante de dérivation.

Au temps  $t=0$ ,  $\ln N = \ln \lambda = N_0$

$$\text{d'où } N = N_0 e^{-\alpha t} \quad (1)$$

De même, pour formuler la croissance en poids des poissons dans les groupes de piscines, nous avons choisi le même modèle tel qu'explicité ci-après:

$$\frac{dP}{dt} = \beta P$$

$$\frac{dP}{P} = \beta dt$$

$$\ln P = \beta t + \ln \delta$$

où  $\delta$  est la constante de dérivation.

Au temps  $t=0$ ,  $\ln P = \ln \delta = P_0$

$$P = P_0 e^{\beta t} \quad (2)$$

L'application de la formule (1) pour la mortalité dans la catégorie 2 des piscines (1, 2B, 7 et 8) s'effectue en fonction des données suivantes:

$$\text{à } t_0 = 0 \text{ jour} \qquad N_0 = 280 \text{ individus}$$

$$\text{à } t = 130 \text{ jours} \qquad N_{130} = 148 \text{ individus}$$

$$\text{d'où } \alpha = 0.00490$$

$$\text{Donc } N_{t_a} = 280 e^{-0.00490t} \quad (\text{Fig. 6a})$$

Pour la catégorie "b" des piscines (3, 4, 5, 6 et 9), on procède similairement:

$$\begin{aligned} \text{à } t_0 &= 0 \text{ jour} & N_0 &= 400 \text{ individus} \\ \text{à } t &= 130 \text{ jours} & N_{130} &= 128 \text{ individus} \end{aligned}$$

$$\text{d'où } \alpha = 0.00876$$

$$\text{Donc: } = 400 e^{-0.00876t} \quad (\text{fig. 6b})$$

En appliquant la formule (2), on obtient pour la catégorie "a" des piscines (1, 2B, 7 et 8) le modèle ci-après de croissance en poids:

$$\begin{aligned} t_0 &= 0 \text{ jour} & P_0 &= 2.30 \text{ g} \\ t &= 130 \text{ jours} & P_{130} &= 4.05 \text{ g} \end{aligned}$$

$$\text{d'où } \beta = 0.00435$$

$$\text{donc: } P_{ta} = 2.30 e^{0.00435t} \quad (\text{fig. 6a})$$

Un calcul analogue pour la catégorie "b" des piscines (3, 4, 5, 6 et 9) donne:

$$\begin{aligned} t_0 &= 0 \text{ jour} & P_0 &= 2.30 \text{ g} \\ t &= 130 \text{ jours} & P_{130} &= 3.55 \end{aligned}$$

$$\text{d'où } \beta = 0.00334$$

$$\text{d'où } P_{tb} = 2.30 e^{0.00334t} \quad (\text{fig. 6b})$$

g) Biomasse exprimée en calories pour les différentes piscines:

on peut estimer l'énergie moyenne contenue par gramme de poisson durant le temps de l'expérience en combinant les modèles exponentiels de mortalité et de croissance déjà utilisés. Cette énergie moyenne intitulée C permet ensuite de déterminer la biomasse, exprimée en calories, des poissons des groupes de piscines, à savoir  $E_t$ .

$$E_t = N_t P_t C$$

où  $E_t$  = Energie contenue dans les poissons des différentes piscines

$N_t$  = Nombre de poissons dans les piscines considérées

$$N_t = N_o e^{-\alpha t} \quad (\text{voir formule 1})$$

$P_t$  = Poids moyen des poissons

$$P_t = P_o e^{\beta t} \quad (\text{voir formule 2})$$

C = Nombre moyen de calories par gramme de poisson

$$\begin{aligned} \text{Donc: } E_t &= C N_o e^{-\alpha t} \cdot P_o e^{\beta t} \\ &= C N_o P_o \cdot \frac{e^{\beta t}}{e^{\alpha t}} \\ &= C N_o P_o e^{(\beta - \alpha)t} \end{aligned}$$

La valeur C peut être précisée par catégorie a ou b des piscines (catégorie a: piscines 1, 2B, 7 et 8; catégorie b: piscines 3, 4, 5, 6 et 9)

$$C_a = \frac{\text{Cal/g en juin} + \text{cal/g en octobre}}{2}$$

$$C_a = \frac{5445 + 5421 \text{ cal/g}}{2} = 5,433 \text{ cal/g}$$

(selon tableaux XX et XXI)

$$C_b = \frac{\text{cal/g en juin} + \text{cal/g en octobre}}{2}$$

$$C_b = \frac{5445 + 5432 \text{ cal/g}}{2} = 5438 \text{ cal/g}$$

(selon tableaux XX et XXI)

Le tableau XXII présente les résultats du calcul du potentiel énergétique de poissons des deux catégories de piscines et la figure 6C constitue la représentation graphique de ces résultats.

h) Caractérisation bioénergétique des groupes de piscines: en comparant les biomasses à la fin de l'expérience des différents groupes de piscines par rapport à celui estimé pour le futur réservoir (voir tableau XXI) et en tenant compte lors de cette comparaison du potentiel énergétique des poissons en juin dans toutes les piscines, on peut arriver à déterminer les piscines ayant eu le meilleur taux de rendement.

La catégorie a de groupes de piscines (1, 2B, 7 et 8), laquelle a un bilan énergétique supérieur à celui estimé pour le futur réservoir (tableau XXI), présente un taux moyen de mortalité de 47% et un bilan énergétique global dont l'efficacité équivaut à 93% de celui présent au début de l'expérience (tableau XXIII). Les spécimens de cette catégorie s'avèrent dès lors assez efficaces pour le transfert d'énergie.

Par contre, la catégorie b des groupes de piscines (3, 4, 5, 6 et 9), montre un taux moyen de mortalité de 68% et un bilan énergétique global dont l'efficacité ne vaut que 49% de celui du départ (tableau XXIV). Les taux de transfert d'énergie dans cette catégorie s'avèrent donc relativement faibles.

## CONCLUSION

L'utilisation conjointe des paramètres calorimétriques et écologiques mesurés au cours de cette expérience nous a permis de comparer le potentiel de différents milieux comme support d'une population de Notropis cornutus.

Les valeurs généralement admises pour les lipides et les protéines différaient à ce point d'avec nos résultats biochimiques et calorimétriques, qu'une partie du travail a été consacrée à la détermination séparée des valeurs calorifiques des lipides et des protéines chez Notropis cornutus.

C'est ainsi que la concordance entre les bilans et les résultats biochimiques et calorimétriques relativement à la valeur calorimétrique des lipides et des protéines de Notropis cornutus confirme les valeurs de 8,600 cal/g pour les lipides et de 5,300 cal/g pour les protéines, obtenues lors de nos expériences calorimétriques.

L'utilisation séparée des paramètres calorimétriques, biochimiques ou écologiques n'a pas permis une classification des piscines par rapport à leur capacité de support.

L'emploi de la biomasse combiné aux valeurs calorimétriques, nous a permis de déterminer des bilans énergétiques grâce auxquels il a été possible de comparer la capacité de support des différentes piscines expérimentales.

Parmi celles-ci les piscines 1, 2B, 7 et 8 (catégorie a) donnent un rendement supérieur à celui estimé pour le futur réservoir. Les piscines 1 et 2B contenant le sol de marécage en surface et en profondeur ont permis un développement important des plantes aquatiques et d'organismes benthiques et péri-



phétiques, qui constituent une part importante de la nourriture des poissons. Le sol des piscines 7 et 8 était de nature argileuse, on y retrouvait aussi des plantes aquatiques et divers invertébrés benthiques.

Pour les autres piscines 3, 4, 5, 6 et 9 (catégorie "b"), la capacité de support s'est révélée inférieure. Les substrats argileux et sablonneux (marne argileuse, sablonneuse) sont reconnus comme étant peu propice à l'établissement d'une végétation aquatique. Etant donné l'importance de la végétation comme source de nourriture et d'abri, il est dès lors normal que les populations de Notropis cornutus se développant dans ces milieux n'aient pas obtenu les mêmes taux de rendement que ceux des piscines où la végétation était présente.

TABLEAU I: Résultats calorimétriques des muscles dorsaux de Notropis cornutus

| Piscine   | 1er essai | 2e essai | 3e essai | Moyenne | Ecart-type |
|-----------|-----------|----------|----------|---------|------------|
| 1A        | 5423      | 5360     | 5409     | 5397    | 33         |
| 1B        | 5440      | 5524     | 5538     | 5500    | 53         |
| 3A        | 5595      | 5581     | 5561     | 5579    | 17         |
| 3B        | 5552      | 5526     | 5437     | 5505    | 60         |
| 4A        | 5375      | 5529     | 5442     | 5448    | 77         |
| 4B        | 5514      | 5418     | 5359     | 5430    | 77         |
| 5A        | 5507      | 5469     | 5402     | 5459    | 53         |
| 5B        | 5351      | 5416     | 5414     | 5393    | 34         |
| 6A        | 5475      | 5304     | 5409     | 5396    | 86         |
| 6B        | 5394      | 5401     | 5370     | 5388    | 16         |
| 7A        | 5473      | 5403     | 5405     | 5427    | 39         |
| 7B        | 5364      | 5407     | 5488     | 5419    | 63         |
| 8A        | 5381      | 5451     | 5398     | 5410    | 36         |
| 8B        | 5383      | 5346     | 5348     | 5359    | 21         |
| 9A        | 5277      | 5377     | 5318     | 5324    | 50         |
| 9B        | 5505      | 5364     | 5441     | 5436    | 70         |
| PJ*       | 5352      | 5473     | 5511     | 5445    | 83         |
| GJ*       | 5418      | 5375     | 5304     | 5365    | 57         |
| PO*       | 5521      | 5616     | 5521     | 5552    | 54         |
| GO*       | 5636      | 5621     | 5581     | 5612    | 28         |
| Lipides   | 8282      | 8623     | 8673     |         |            |
|           | 8673      | 9069     |          | 8668*   | 279*       |
| Protéines | 5230      | 5338     | 5342     |         |            |
|           | 5599      | 5244     |          | 5310*   | 71*        |

PJ Poissons en juin (5-6 cm)  
 GJ Poissons en juin (6-20 cm)  
 PO Poissons en octobre (5-6 cm)  
 GO Poissons en octobre (6-20 cm)  
 \* Résultats de cinq (5) essais

TABLEAU II: Valeurs calorimétriques de certaines espèces de poissons  
(Tiré de Cummins et Wuycheck, 1971)

| Nom de l'espèce       | Valeur calorimétrique par gramme |                                          |
|-----------------------|----------------------------------|------------------------------------------|
|                       | Par gramme de poids sec          | Par gramme de poids sec sans les cendres |
| Lepomis macrochirus   | 3719 ± 32                        | 4973 ± 280                               |
| " "                   | 5102                             |                                          |
| " "                   | 5820                             |                                          |
| Lipomis gibbosus      | 4065 ± 47                        | 5285 ± 177                               |
| Rhinichthys atratulus | 7285 ± 340                       |                                          |
| " "                   | 6540                             |                                          |
| " "                   | 6342                             |                                          |
| Oncorhynchus keta     | 3061                             | 3745                                     |

TABLEAU III: Résultats des analyses biochimiques des muscles dorsaux de Notropis cornutus

| Piscine | % cendre<br>(1) | % lipides<br>(2) | % protéines<br>(3) |
|---------|-----------------|------------------|--------------------|
| 1A      | 6.09            | 3.34             | 91.32              |
| 1B      | 4.38            | 5.69             | 92.28              |
| 3A      | 6.26            | 8.89             | 85.95              |
| 3B      | 5.44            | 6.18             | 88.70              |
| 4A      | 5.23            | 3.39             | 91.81              |
| 4B      | 4.75            | 3.87             | 90.42              |
| 5A      | 6.36            | 5.32             | 89.09              |
| 5B      | 6.20            | 4.23             | 91.00              |
| 6A      | 5.28            | 2.86             | 90.70              |
| 6B      | 6.32            | 2.65             | 92.21              |
| 7A      | 5.71            | 2.49             | 92.97              |
| 7B      | 4.76            | 3.15             | 93.07              |
| 8A      | 5.62            | 2.68             | 93.42              |
| 8B      | 5.33            | 1.82             | 92.93              |
| 9A      | 4.80            | 3.29             | 92.17              |
| 9B      | 4.59            | 4.12             | 94.16              |
| PJ      | 3.75            | 4.47             | 92.06              |
| GJ      | 3.79            | 4.84             | 92.22              |
| PO      | 6.73            | 4.53             | 91.58              |
| GO      | 6.31            | 9.21             | 86.13              |

PJ Poissons en juin (5-6 cm)  
 GJ Poissons en juin (6-20 cm)  
 PO Poissons en octobre (5-6 cm)  
 GO Poissons en octobre (6-20 cm)  
 (1) Par incinération à 550 C°  
 (2) Par extraction à l'éther  
 (3) Par méthode Kjeldahl

TABLEAU IV: Coefficients d'estimation du % des protéines à partir de la teneur en azote pour divers tissus (tiré de Watt et Merrill, 1963)

Origine animal

|          |      |
|----------|------|
| Oeuf     | 6.25 |
| Gélatine | 5.55 |
| Viande   | 6.25 |
| Lait     | 6.38 |

Légumes

|          |      |
|----------|------|
| Fèves    |      |
| Lima     | 6.25 |
| Soya     | 5.71 |
| Pourprée | 6.25 |
| Arachide | 5.46 |

Origine végétal

Grains et céréales

|        |      |
|--------|------|
| Orge   | 5.83 |
| Maïs   | 6.25 |
| Millet | 5.83 |
| Avoine | 5.83 |
| Riz    | 5.95 |
| Seigle | 5.83 |

Noix

|              |      |
|--------------|------|
| Amandes      | 5.18 |
| Chataignes   | 5.30 |
| Noix de coco | 5.30 |
| Pistaches    | 5.30 |

Graines

|            |      |
|------------|------|
| Cantaloupe | 5.30 |
| Citrouille | 5.30 |
| Sésame     | 5.30 |
| Tournesol  | 5.30 |

TABLEAU V: Relations entre les résultats biochimiques du tableau III  
et les résultats calorimétriques du tableau I

|    | % lipides | % protéines | Calories<br>par<br>biochimie | Calories<br>par calo-<br>rimétrie | % de<br>différence |
|----|-----------|-------------|------------------------------|-----------------------------------|--------------------|
| 1A | 3.34      | 96.66       | 5410                         | 5397                              | 0.24               |
| 1B | 5.69      | 94.31       | 5491                         | 5500                              | 0.16               |
| 3A | 8.89      | 91.11       | 5609                         | 5579                              | 0.54               |
| 3B | 6.18      | 93.82       | 5514                         | 5505                              | 0.18               |
| 4A | 3.39      | 96.61       | 4417                         | 5448                              | 0.57               |
| 4B | 3.87      | 96.13       | 5435                         | 5430                              | 0.09               |
| 5A | 5.32      | 94.68       | 5485                         | 5459                              | 0.47               |
| 5B | 4.23      | 95.77       | 5446                         | 5393                              | 0.97               |
| 6A | 2.86      | 97.14       | 5400                         | 5396                              | 0.07               |
| 6B | 2.65      | 97.35       | 5392                         | 5388                              | 0.07               |
| 7A | 2.49      | 97.51       | 5386                         | 5427                              | 0.76               |
| 7B | 3.15      | 96.85       | 5404                         | 4419                              | 0.28               |
| 8A | 2.68      | 97.32       | 5392                         | 5410                              | 0.33               |
| 8B | 1.82      | 98.18       | 5363                         | 5359                              | 0.07               |
| 9A | 3.29      | 96.71       | 5413                         | 5324                              | 1.64               |
| 9B | 4.12      | 95.88       | 4438                         | 5436                              | 0.04               |
| PJ | 4.47      | 95.53       | 5452                         | 5445                              | 0.13               |
| GJ | 4.84      | 95.16       | 5464                         | 5365                              | 1.81               |
| PO | 4.53      | 95.47       | 5455                         | 5552                              | 1.86               |
| GO | 9.21      | 90.79       | 5618                         | 5612                              | 0.04               |

TABLEAU VI: Comparaison entre les résultats biochimiques précisés par calorimétrie et les résultats biochimiques déterminés expérimentalement pour les muscles dorsaux de Notropis cornutus

|    | Lipides<br>théori-<br>ques | Lipides<br>détermi-<br>nés | %<br>diffé-<br>rence | Protéines<br>théoriques | Protéines<br>déterminés | %<br>diffé-<br>rence |
|----|----------------------------|----------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| 1A | 2.96                       | 3.34                       | - 0.38               | 96.94                   | 96.66                   | + 0.28               |
| 1B | 5.85                       | 5.69                       | + 0.16               | 93.87                   | 94.19                   | - 0.32               |
| 3A | 7.90                       | 8.89                       | - 0.99               | 93.80                   | 90.63                   | + 3.17               |
| 3B | 5.86                       | 6.18                       | - 0.32               | 95.49                   | 93.49                   | - 2.00               |
| 4A | 4.27                       | 3.39                       | + 0.88               | 95.49                   | 96.44                   | - 0.95               |
| 4B | 3.76                       | 3.87                       | - 0.11               | 96.05                   | 95.90                   | + 0.15               |
| 5A | 4.55                       | 5.32                       | - 0.77               | 95.14                   | 94.37                   | + 0.77               |
| 5B | 2.78*                      | 4.23                       | - 1.45               | 97.04                   | 95.56                   | + 1.48               |
| 6A | 2.72                       | 2.86                       | - 0.14               | 97.13                   | 96.94                   | + 0.19               |
| 6B | 2.51                       | 2.65                       | + 0.14               | 97.32                   | 97.21                   | + 0.11               |
| 7A | 3.63                       | 2.49                       | + 1.14               | 96.15                   | 97.39                   | - 1.24               |
| 7B | 3.43                       | 3.15                       | + 0.28               | 96.40                   | 96.73                   | - 0.33               |
| 8A | 3.15                       | 2.68                       | + 0.47               | 96.66                   | 97.21                   | - 0.05               |
| 8B | 1.55                       | 1.82                       | - 0.27               | 98.36                   | 98.08                   | + 0.28               |
| 9A | 0.65*                      | 3.29                       | - 2.64               | 99.32                   | 96.55                   | + 2.77               |
| 9B | 3.95                       | 4.12                       | - 0.17               | 95.86                   | 95.81                   | + 0.05               |
| PJ | 4.23                       | 4.47                       | - 0.23               | 95.61                   | 95.37                   | + 0.24               |
| GJ | 1.87*                      | 4.48                       | - 2.87               | 98.06                   | 95.01                   | + 3.05               |
| PO | 7.14                       | 4.53*                      | + 2.61               | 92.34                   | 95.29                   | - 2.95               |
| GO | 8.86                       | 9.21                       | - 0.35               | 90.54                   | 90.34                   | + 0.20               |

\* Valeurs sous-estimées (Voir IV: 2b)

TABLEAU VII: Coefficients de condition des Notropis cornutus

| Piscine | N   | $\bar{P}$<br>en g | $\overline{L.F.}$<br>en cm | $\bar{K}$ | $SK^2$ | SK   | $\Sigma P_{1+}$ | $\Sigma P_{0+}$ | $\Sigma P_{1+0}$ |
|---------|-----|-------------------|----------------------------|-----------|--------|------|-----------------|-----------------|------------------|
| 1 A+B   | 33  | 4.9               | 6.7                        | 1.44      | .011   | .105 | 162             | 0               | 162              |
| 2 B     | 36  | 3.9               | 6.3                        | 1.36      | .308   | .555 | 140             | 0               | 140              |
| 3 A+B   | 17  | 2.6               | 5.7                        | 1.37      | .009   | .096 | 45              | 16              | 61               |
| 4 A+B   | 20  | 4.8               | 6.6                        | 1.45      | .062   | .250 | 96              | 18              | 114              |
| 5 A+B   | 28  | 3.9               | 6.2                        | 1.34      | .020   | .144 | 109             | 0               | 109              |
| 6 A+B   | 16  | 4.2               | 6.3                        | 1.38      | .051   | .227 | 67              | 12              | 79               |
| 7 A+B   | 41  | 3.8               | 6.3                        | 1.29      | .022   | .149 | 156             | 0               | 156              |
| 8 A+B   | 38  | 3.7               | 6.1                        | 1.31      | .022   | .150 | 141             | .2              | 141              |
| 9 A+B   | 34  | 2.7               | 5.9                        | 1.22      | .021   | .146 | 92              | .1              | 92               |
| PJ      | 120 | 2.3               | 5.5                        | 1.38      | .0152  | .123 | 276             | 0               | 276              |
| PO      | 20  | 1.6               | 5.1                        | 1.22      | .085   | .291 | 32              | 0               | 32               |

Biomasse de départ dans les piscines (A+B)  $\approx$  184 g



TABLEAU VIII: Valeurs logarithmiques des coefficients de condition des  
Notropis cornutus

| Piscine | N   | $\bar{P}$<br>en g | $\overline{L.F.}$<br>en cm | $\bar{K}$ | $S^2$ | S    |
|---------|-----|-------------------|----------------------------|-----------|-------|------|
| 1 A+B   | 33  | 4.9               | 6.7                        | .160      | .001  | .032 |
| 2 B     | 36  | 3.9               | 6.3                        | .119      | .010  | .101 |
| 3 A+B   | 17  | 2.6               | 5.7                        | .137      | .000  | .030 |
| 4 A+B   | 20  | 4.8               | 6.6                        | .153      | .005  | .071 |
| 5 A+B   | 28  | 3.9               | 6.2                        | .124      | .002  | .049 |
| 6 A+B   | 16  | 4.2               | 6.3                        | .136      | .004  | .068 |
| 7 A+B   | 41  | 3.8               | 6.3                        | .109      | .003  | .055 |
| 8 A+B   | 38  | 3.7               | 6.1                        | .115      | .002  | .047 |
| 9 A+B   | 34  | 2.7               | 5.9                        | .085      | .003  | .055 |
| PJ      | 120 | 2.3               | 5.5                        | .142      |       |      |
| PO      | 20  | 1.6               | 5.1                        | .084      |       |      |

TABLEAU IX: Tests F et T sur les données calorimétriques du Tableau I

| Piscine | Moyenne <sub>a</sub> | S <sub>a</sub> | N <sub>a</sub> | Piscine | Moyenne <sub>b</sub> | S <sub>b</sub> | N <sub>b</sub> | T cal-<br>culé | F cal-<br>culé |
|---------|----------------------|----------------|----------------|---------|----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 A     | 5397                 | 33             | 3              | 1 B     | 5500                 | 53             | 3              | 2.87           | 2.57           |
| 3 A     | 5579                 | 17             | 3              | 3 B     | 5505                 | 60             | 3              | 2.05           | 12.46          |
| 4 A     | 5448                 | 77             | 3              | 4 B     | 5430                 | 78             | 3              | 0.29           | 1.02           |
| 5 A     | 5459                 | 53             | 3              | 5 B     | 5393                 | 36             | 3              | 1.76           | 2.07           |
| 6 A     | 5396                 | 86             | 3              | 6 B     | 5388                 | 16             | 3              | 0.15           | 0.01           |
| 7 A     | 5427                 | 39             | 3              | 7 B     | 5419                 | 62             | 3              | 0.17           | 2.50           |
| 8 A     | 5410                 | 36             | 3              | 8 B     | 5359                 | 20             | 3              | 2.10           | 0.29           |
| 9 A     | 5324                 | 50             | 3              | 9 B     | 5436                 | 70             | 3              | 1.97           | 2.25           |
| PJ      | 5445                 | 83             | 3              | P.O.    | 5552                 | 54             | 3              | 1.87           | 2.29           |
| GJ      | 5365                 | 57             | 3              | G.O.    | 5612                 | 28             | 3              | 4.10           | 6.66           |

Degré de liberté pour le test de T = 4

Degré de liberté pour le test de F = 2/2;

Valeur tabulée de T à 0.95 = 2.77;

Valeur tabulée de F à 0.95 = 19

TABLEAU X: Test de Duncan sur les données calorimétriques du tableau I avec 95% de probabilité

| 1er groupe |               | 2e groupe |               |
|------------|---------------|-----------|---------------|
| Piscine    | Moyenne cal/g | Piscine   | Moyenne cal/g |
| 9 A+B      | 5380          |           |               |
| 8 A+B      | 5384          |           |               |
| 6 A+B      | 5392          |           |               |
| 7 A+B      | 5423          |           |               |
| 5 A+B      | 5426          |           |               |
| 4 A+B      | 5439          |           |               |
| 1 A+B      | 5449          |           |               |
|            |               | 3 A+B     | 5542          |

TABLEAU XI: Test de Duncan sur les données calorimétriques du tableau I avec 90% de probabilité

| 1er groupe |              | 2e groupe |              | 3e groupe |              |
|------------|--------------|-----------|--------------|-----------|--------------|
| Piscine    | Valeur Cal/g | Piscine   | Valeur Cal/g | Piscine   | Valeur Cal/g |
| 9 A+B      | 5380         |           |              |           |              |
| 8 A+B      | 5384         | 8 A+B     | 5384         |           |              |
| 6 A+B      | 5392         | 6 A+B     | 5392         |           |              |
| 7 A+B      | 5423         | 7 A+B     | 5423         |           |              |
| 5 A+B      | 5426         | 5 A+B     | 5426         |           |              |
| 4 A+B      | 5439         | 4 A+B     | 5439         |           |              |
|            |              | 1 A+B     | 5449         |           |              |
|            |              |           |              | 3 A+B     | 5542         |

TABLEAU XII: Test de Duncan complémentaire au tableau X avec 90% de probabilité.

| 1er groupe |       | 2e groupe |       |
|------------|-------|-----------|-------|
| Piscine    | Cal/g | Piscine   | Cal/g |
| 9 A+B      | 5380  |           |       |
| 8 A+B      | 5384  |           |       |
| 6 A+B      | 5392  |           |       |
| 7 A+B      | 5423  |           |       |
| 5 A+B      | 5426  |           |       |
| 4 A+B      | 5439  |           |       |
| PJ         | 5445  |           |       |
| 1 A+B      | 5449  |           |       |
|            |       | 3 A+B     | 5542  |

TABLEAU XIII: Test de Duncan complémentaire au tableau X avec 95% de probabilité.

| 1er groupe |                 | 2e groupe |                 |
|------------|-----------------|-----------|-----------------|
| Piscine    | Valeur<br>Cal/g | Piscine   | Valeur<br>Cal/g |
| 9 A+B      | 5380            |           |                 |
| 8 A+B      | 5381            |           |                 |
| 6 A+B      | 5392            |           |                 |
| 7 A+B      | 5423            |           |                 |
| 5 A+B      | 5426            |           |                 |
| 4 A+B      | 5439            |           |                 |
| PJ         | 5445            | P.J.      | 5445            |
| 1 A+B      | 5449            | 1 A+B     | 5449            |
|            |                 | 3 A+B     | 5542            |

TABLEAU XIV: Test de Duncan complémentaire aux tableaux X et XII avec 90% de probabilité

| 1er groupe |                 | 2e groupe |                 |
|------------|-----------------|-----------|-----------------|
| Piscine    | Valeur<br>Cal/g | Piscine   | Valeur<br>Cal/g |
| 9 A+B      | 5380            |           |                 |
| 8 A+B      | 5384            |           |                 |
| 6 A+B      | 5392            |           |                 |
| 7 A+B      | 5423            |           |                 |
| 5 A+B      | 5426            |           |                 |
| 4 A+B      | 5439            |           |                 |
| 1 A+B      | 5449            |           |                 |
|            |                 | 3 A+B     | 5542            |
|            |                 | P0        | 5552            |

TABLEAU XV: Test de Duncan complémentaire aux tableaux X et XII avec 95% de probabilité

| 1er groupe |              | 2e groupe |              |
|------------|--------------|-----------|--------------|
| Piscine    | Valeur Cal/g | Piscine   | Valeur Cal/g |
| 9 A+B      | 5380         |           |              |
| 8 A+B      | 5384         |           |              |
| 6 A+B      | 5392         |           |              |
| 7 A+B      | 5423         |           |              |
| 5 A+B      | 5426         |           |              |
| 4 A+B      | 5439         |           |              |
| 1 A+B      | 5449         | 1 A+B     | 5449         |
|            |              | 3 A+B     | 5542         |
|            |              | PO        | 5552         |



TABLEAU XVI: Classement des piscines selon les résultats lipidiques et calorimétriques

| % lipides | Piscine | Piscine | Cal/g |
|-----------|---------|---------|-------|
| 6.82      | 3       | 3       | 5561  |
| 5.12      | 1       | 5       | 5465  |
| 4.46      | 5       | 1       | 5450  |
| 3.78      | 9       | 4       | 5426  |
| 3.68      | 4       | 9       | 5425  |
| 2.87      | 7       | 6       | 5396  |
| 2.82      | 6       | 7       | 5395  |
| 2.27      | 8       | 8       | 5377  |

TABLEAU XVII: Comparaison entre les résultats calorimétriques obtenus par calcul et ceux déterminés expérimentalement pour les groupes de piscines

| Piscine<br>A+B | % lipides | Calorie-<br>Calorimétrie<br>(expérimentaux)<br>Cal/g | Calorie-<br>Biochimie<br>(théorique)<br>Cal/g | % différence |
|----------------|-----------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|--------------|
| 1              | 5.12      | 5449                                                 | 5450                                          | 0.02         |
| 3              | 6.82      | 5542                                                 | 5561                                          | 0.34         |
| 4              | 3.68      | 5439                                                 | 5426                                          | 0.24         |
| 5              | 4.46      | 5426                                                 | 5465                                          | 0.71         |
| 6              | 2.82      | 5392                                                 | 5396                                          | 0.07         |
| 7              | 2.87      | 5423                                                 | 5395                                          | 1.33         |
| 8              | 2.27      | 5384                                                 | 5377                                          | 0.13         |
| 9              | 3.78      | 5380                                                 | 5425                                          | 0.83         |
| PJ             | 4.47      | 5445                                                 | 5452                                          | 0.13         |
| GJ             | 4.84      | 5365                                                 | 5464                                          | 1.85         |
| PO             | 4.53      | 5552                                                 | 5455                                          | 1.75         |
| GO             | 9.21      | 5612                                                 | 5618                                          | 0.11         |

TABLEAU XVIII: Valeurs calorimétriques corrigées pour les groupes de piscines

| Piscine | Nombre de calories/g<br>sans les cendres |
|---------|------------------------------------------|
| 1 A+B   | 5455                                     |
| 3 A+B   | 5442                                     |
| 4 A+B   | 5439                                     |
| 5 A+B   | 5452                                     |
| 6 A+B   | 5392                                     |
| 7 A+B   | 5423                                     |
| 8 A+B   | 5375                                     |
| 9 A+B   | 5424                                     |
| PJ      | 5445                                     |
| PO      | 5552                                     |
| GJ      | 5464                                     |
| GO      | 5612                                     |

TABLEAU XIX: Juxtaposition des valeurs calorimétriques, biochimiques et écologiques des groupes de piscines

| Piscine | Lipides | Protéines | Calories | Nombre | Poids | Taille | K    | Bio-masse <sup>+</sup> <sub>0 +2</sub> |
|---------|---------|-----------|----------|--------|-------|--------|------|----------------------------------------|
| 1 A B   | 4.52    | 95.43     | 5455     | 33     | 4.9   | 6.7    | 1.44 | 162                                    |
| 2 B     |         |           |          | 36     | 3.9   | 6.3    | 1.36 | 140                                    |
| 3 A+B   | 7.54    | 92.06     | 5542     | 23*    | 2.6   | 5.7    | 1.37 | 61                                     |
| 4 A+B   | 3.63    | 96.17     | 5439     | 24*    | 4.8   | 6.6    | 1.45 | 114                                    |
| 5 A+B   | 4.78    | 94.97     | 5452     | 28     | 3.9   | 6.2    | 1.34 | 109                                    |
| 6 A+B   | 2.76    | 97.08     | 5392     | 19*    | 4.2   | 6.3    | 1.38 | 79                                     |
| 7 A+B   | 3.39    | 96.44     | 5423     | 41     | 3.8   | 6.3    | 1.29 | 156                                    |
| 8 A+B   | 2.25    | 97.65     | 5375     | 38     | 3.7   | 6.1    | 1.31 | 141                                    |
| 9 A+B   | 3.71    | 96.18     | 5424     | 34     | 2.7   | 5.9    | 1.22 | 92                                     |
| PJ      | 4.47    | 95.37     | 5445     | 120    | 2.3   | 5.5    | 1.38 | 276                                    |
| PO      | 7.14    | 92.34     | 5552     | 20     | 1.6   | 5.1    | 1.22 | 32                                     |
| GJ      | 4.84    | 95.01     | 5464     |        |       |        |      |                                        |
| GO      | 9.21    | 90.34     | 5612     |        |       |        |      |                                        |

\* Dans ces piscines le nombre de poissons a été calculé en ajoutant aux poissons expérimentaux le nombre équivalent de poissons représenté par les jeunes de l'année, lequel a été estimé en divisant le poids des jeunes de l'année par le poids moyen des poissons expérimentaux. C'est ce nombre-là de poissons et la biomasse totale qui ont servi dans les calculs et les tableaux subséquents.

TABLEAU XX: Bilans énergétiques des groupes de piscines

| Piscine                                         | Biomasse<br>g | Valeur calorimé-<br>trique moyenne<br>Cal/g | Bilan énergéti-<br>que<br>Cal/g |
|-------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------|---------------------------------|
| 1                                               | 162           | 5,449                                       | 882,738                         |
| 2B                                              | 140           | 5,426**                                     | 759,640*                        |
| 3                                               | 61            | 5,561                                       | 339,221                         |
| 4                                               | 114           | 5,439                                       | 620,046                         |
| 5                                               | 109           | 5,426                                       | 591,434                         |
| 6                                               | 79            | 5,392                                       | 425,968                         |
| 7                                               | 156           | 5,423                                       | 845,988                         |
| 8                                               | 141           | 5,384                                       | 759,144                         |
| 9                                               | 92            | 5,380                                       | 494,960                         |
| Piscines<br>1 à 9 en<br>juin et<br>PJ           | 184           | 5,445                                       | 1,001,880                       |
| Estimation<br>dans le fu-<br>tur résér-<br>voir | 122***        | 5,426**                                     | 661,972                         |

\* Valeur estimée

\*\* Valeur calorimétrique moyenne des poissons pour l'ensemble des piscines

\*\*\* Nombre estimé d'après le taux de mortalité moyen pour l'ensemble des piscines

TABLEAU XXI: Classement des groupes de piscines selon les bilans énergétiques

|               | Piscine | Valeur énergétique<br>Cal |
|---------------|---------|---------------------------|
| Catégorie "a" | 1       | 882,738                   |
|               | 7       | 845,988                   |
|               | 2B      | 759,640                   |
|               | 8       | 759,144                   |

Estimation pour les poissons du futur réservoir: 662,000

|               |   |         |
|---------------|---|---------|
| Catégorie "b" | 4 | 620,046 |
|               | 5 | 591,434 |
|               | 9 | 494,960 |
|               | 6 | 425,968 |
|               | 3 | 339,221 |

TABLEAU XXII: Potentiels bioénergétiques des poissons des groupes de piscines durant l'expérience

| Catégorie a          |     |      |      |                 | Catégorie b            |     |      |      |                 |
|----------------------|-----|------|------|-----------------|------------------------|-----|------|------|-----------------|
| Piscines 1, 2b, 7, 8 |     |      |      |                 | Piscines 3, 4, 5, 6, 9 |     |      |      |                 |
| J                    | N   | P    | Cal. | Energie totale* | J                      | N   | P    | Cal. | Energie totale* |
| 0                    | 280 | 2.30 | 5433 | 999,700         | 0                      | 400 | 2.30 | 5438 | 1,000,600       |
| 10                   | 266 | 2.40 | "    | 994,200         | 10                     | 366 | 2.37 | "    | 947,800         |
| 20                   | 253 | 2.50 | "    | 988,700         | 20                     | 335 | 2.45 | "    | 897,800         |
| 30                   | 241 | 2.62 | "    | 983,000         | 30                     | 307 | 2.54 | "    | 850,400         |
| 40                   | 230 | 2.73 | "    | 977,900         | 40                     | 281 | 2.62 | "    | 805,600         |
| 50                   | 219 | 2.83 | "    | 972,600         | 50                     | 258 | 2.71 | "    | 763,100         |
| 60                   | 208 | 2.98 | "    | 967,200         | 60                     | 236 | 2.81 | "    | 722,800         |
| 70                   | 198 | 3.11 | "    | 961,900         | 70                     | 216 | 2.90 | "    | 684,700         |
| 80                   | 189 | 3.23 | "    | 956,600         | 80                     | 198 | 3.00 | "    | 648,600         |
| 90                   | 180 | 3.40 | "    | 951,400         | 90                     | 181 | 3.10 | "    | 614,300         |
| 100                  | 171 | 3.55 | "    | 946,200         | 100                    | 166 | 3.21 | "    | 581,900         |
| 110                  | 163 | 3.71 | "    | 941,000         | 110                    | 152 | 3.32 | "    | 551,200         |
| 120                  | 155 | 3.87 | "    | 935,900         | 120                    | 139 | 3.43 | "    | 522,100         |
| 130                  | 148 | 4.04 | "    | 930,700         | 130                    | 128 | 3.55 | "    | 494,600         |

\* Valeurs complétées au centième près

TABLEAU XXIII: Bilan énergétique global et taux moyen de mortalité pour la catégorie "a" des groupes de piscines à haut transfert d'énergie

| Piscine | N de poissons | Taux de mortalité moyen | Bilan énergétique global                                                  |
|---------|---------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 1       | 33            | 47%                     | Au début: 3,506,580 cal.<br>A la fin: 3,247,510 cal.<br>Efficacité de 93% |
| 2 B     | 36            |                         |                                                                           |
| 7       | 41            |                         |                                                                           |
| 8       | 38            |                         |                                                                           |
| Total:  | 148           |                         |                                                                           |

Estimation pour le futur réservoir:

32

60%

Au début: 1,001,900 cal.  
 A la fin: 659,801 cal.  
 Efficacité de 66%



TABLEAU XXIV: Bilan énergétique global et taux moyen de mortalité pour la catégorie "b" des groupes de piscines à bas transfert d'énergie

| Piscine | N de poissons | Taux de mortalité moyen | Bilan énergétique global                                                  |
|---------|---------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 3       | 23            | 68%                     | Au début: 5,009,400 cal.<br>A la fin: 2,471,629 cal.<br>Efficacité de 49% |
| 4       | 24            |                         |                                                                           |
| 5       | 28            |                         |                                                                           |
| 6       | 19            |                         |                                                                           |
| 9       | 34            |                         |                                                                           |
| Total:  | 128           |                         |                                                                           |

Estimation pour le futur réservoir:

|    |     |                                                                         |
|----|-----|-------------------------------------------------------------------------|
| 32 | 60% | Au début: 1,001,880 cal.<br>A la fin: 659,801 cal.<br>Efficacité de 66% |
|----|-----|-------------------------------------------------------------------------|

Liste des figures

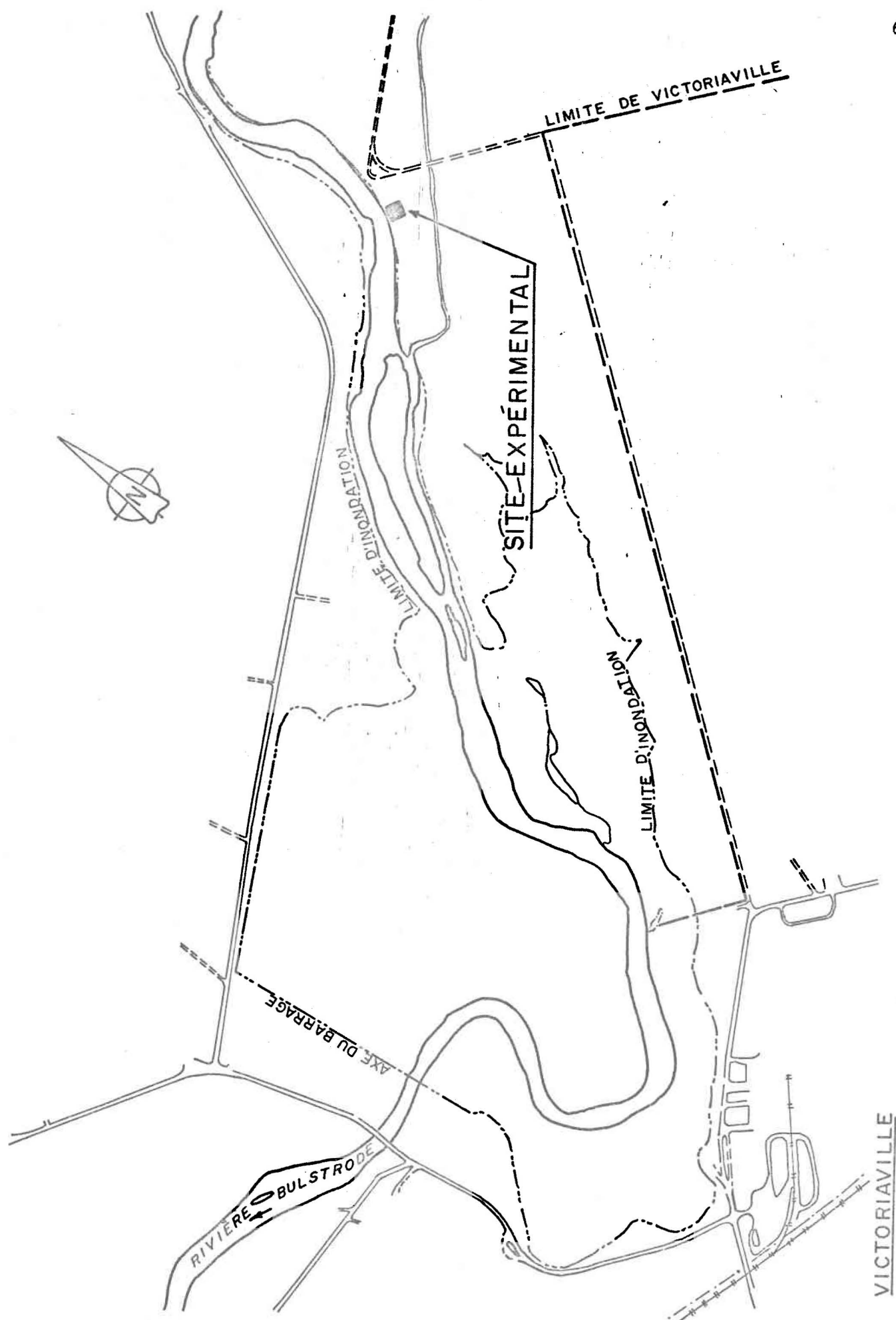


FIGURE 1: PLAN DE LOCALISATION

# LÉGENDE

- SOLS**
- 0 = Sans sol (témoin)
  - 1 = Marne argileuse, silteuse
  - 2 = Argile
  - 3 = Marne argileuse
  - 4 = Marne argileuse, sablonneuse

- HORIZON**
- 1 = Non découpé
  - 2 = Découpé

- ESSAIE**
- 1 = Piscines B
  - 2 = Piscines A

1 2 1 SIGNIFIE :

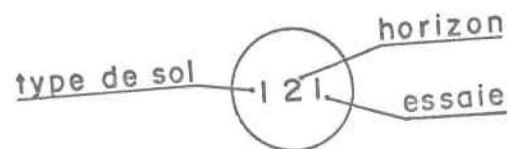
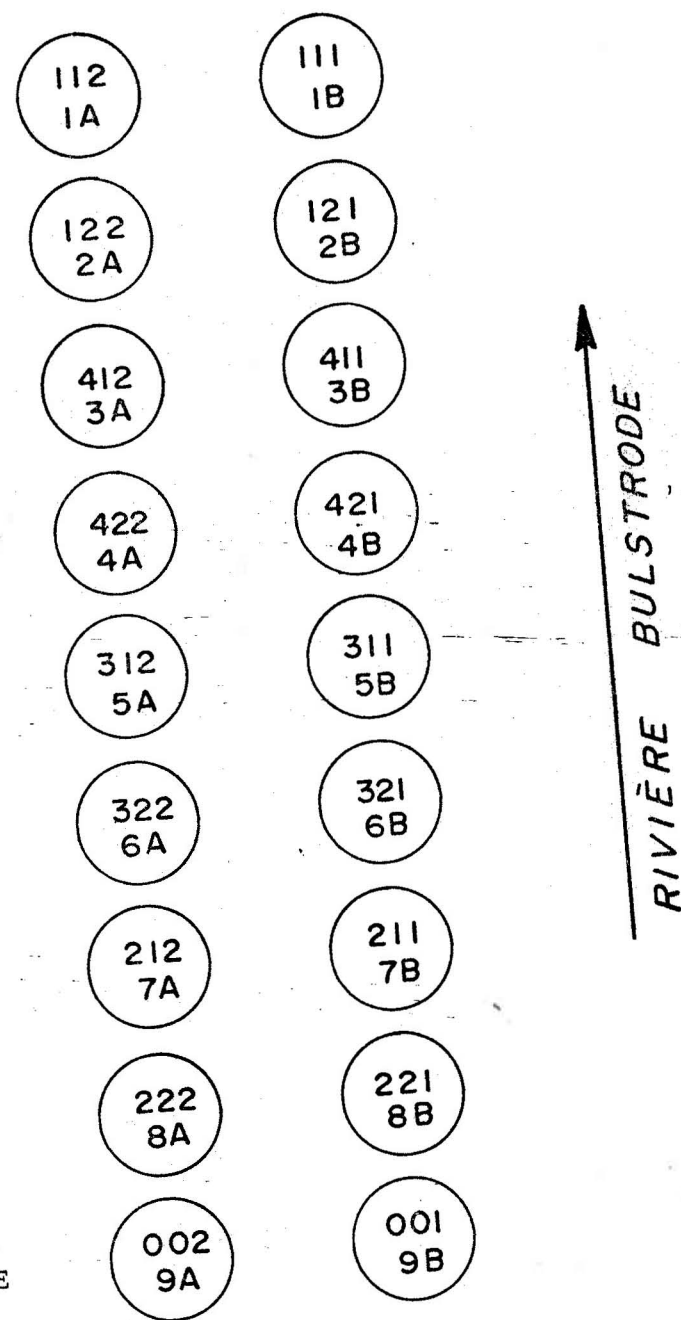
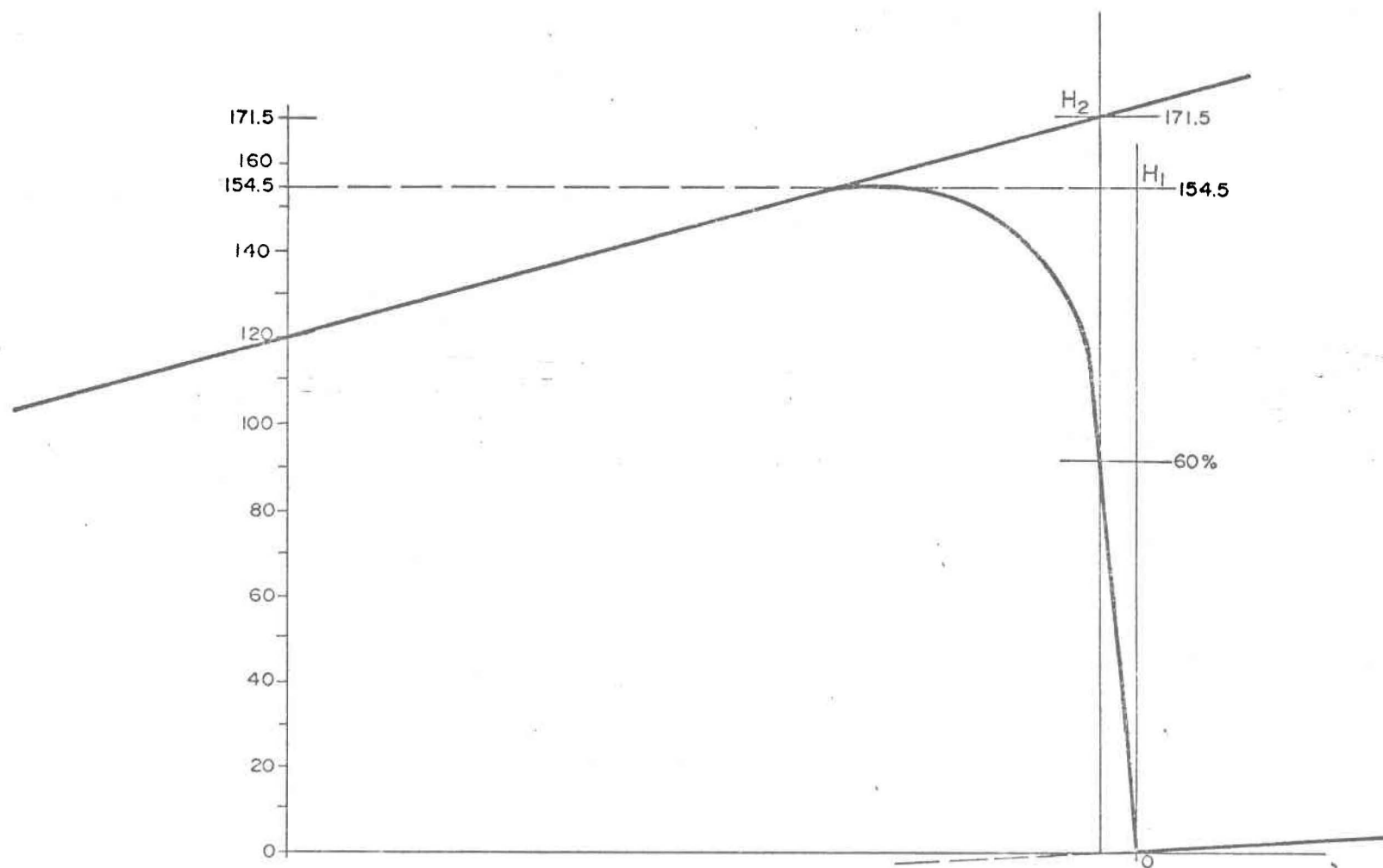


FIGURE 2: DISPOSITION DES PISCINES EXPERIMENTALES SUR LE SITE  
DU FUTUR RESERVOIR DE VICTORIAVILLE





$H_1 = 154.5 \text{ mm}$  à 60% = 92.7  
 $H_2 = 171.5 \text{ mm}$

Sur la courbe de calibration à l'acide benzoïque, 154.5 mm correspondent à 97.5 calories

$$\frac{\text{Nombre de cal} / 2 \times 1,000}{\text{Poids brûlé en mg (sans les cendres)}}$$

$$\frac{97.5 / 2 \times 1,000}{9.018} = 5405 \text{ cal.}$$

9.018

FIGURE 3: EXEMPLE DE THERMOGRAMME

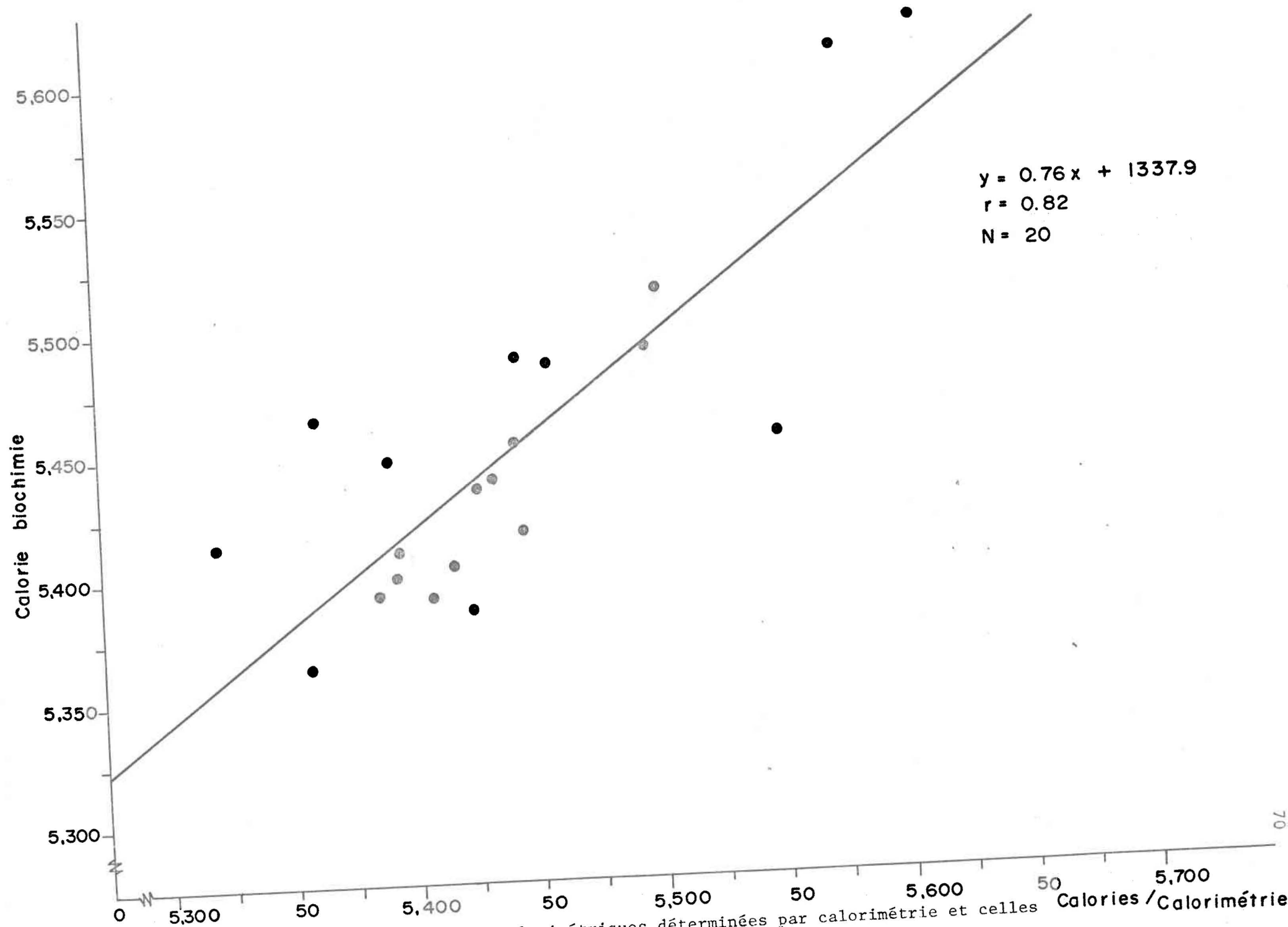


FIGURE 4: Relation entre les valeurs calorimétriques déterminées par calorimétrie et celles déterminées à partir des résultats biochimiques.

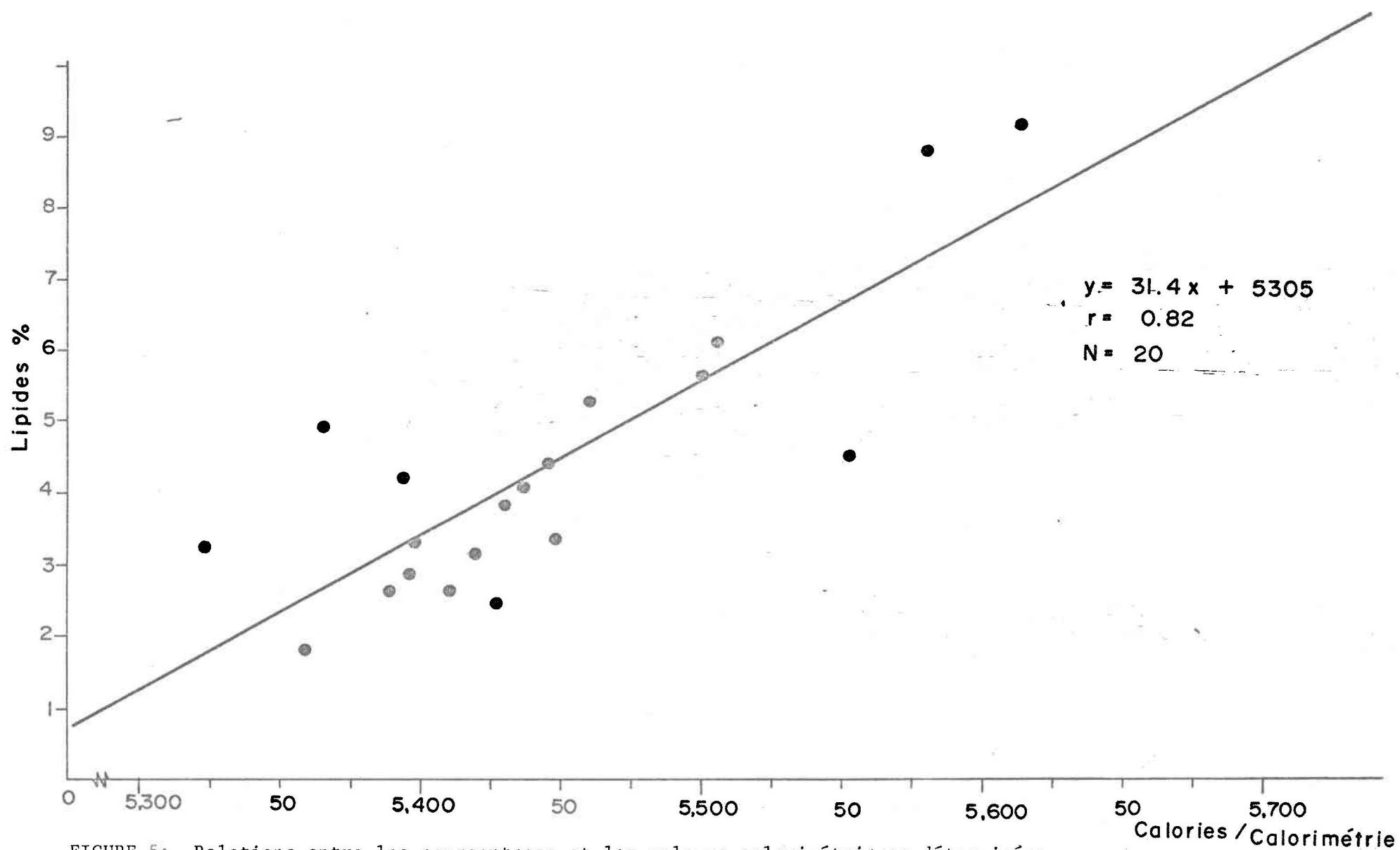
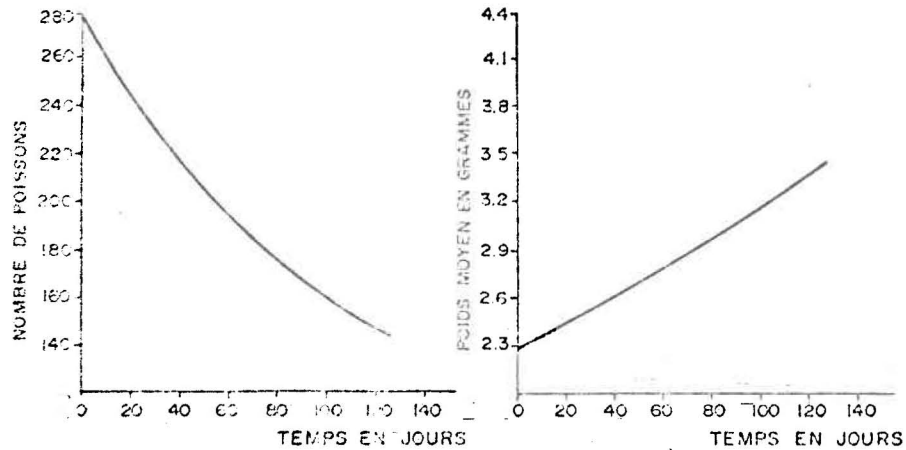
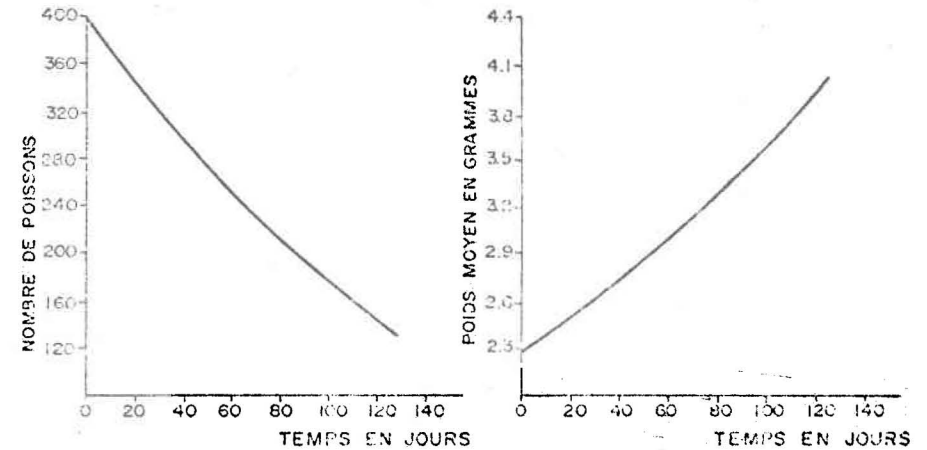


FIGURE 5: Relations entre les pourcentages et les valeurs calorimétriques déterminées par calorimétrie.

# MODÈLES DES TAUX DE MORTALITE ET DE CROISSANCE EN POIDS



6a: DANS LA CATÉGORIE "a" DES PISCINES



6b: DANS LA CATÉGORIE "b" DES PISCINES

6c: POTENTIELS ÉNERGÉTIQUES DES POISSONS DES CATÉGORIES "a" ET "b" DES PISCINES

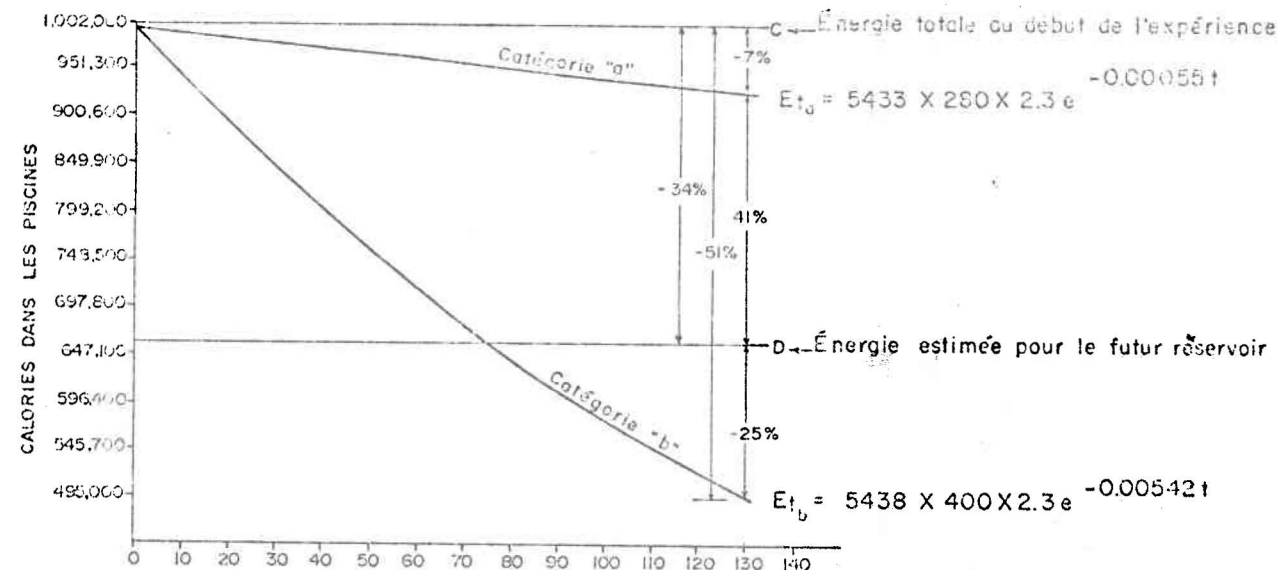


FIGURE 6a: DANS LA CATÉGORIE "a" DES PISCINES

6b: DANS LA CATÉGORIE "b" DES PISCINES

6c: POTENTIELS ÉNERGÉTIQUES DES POISSONS DES CATÉGORIES "a" ET "b" DES PISCINES



## BIBLIOGRAPHIE

1. ANDERSON, M.L. et ELIONOR M. RAVESI, 1968, "Relation between Protein Extractability and Free Fatty Acid Production in Cod Muscle Aged in Ice". J. Fish Res. Bd. Canada 25 (10): 2059-2069.
2. BLIGH, E.G. et W.J. DYER, "A rapid method of total lipid extraction and purification". Can. J. Biochem. Physio. Vol 37, p. 911-917.
3. BRUCE, JOHN ROLAND, 1924, "Changes In The Chemical Composition of The Tissues of the Herring in Relation to Age and Maturity". Chap. LXVI, Biochem. S. 18: 469-485.
4. CARLANDER, KENNETH D., 1953, Handbook of freshwater fishery biology Dubuke, Wm C. Brown Co, V 429 p
5. CUMMINS, KENNETH, 1970, "Energy Budgets". East Lansing, Mich., Michigan State University W.K. Kellogg Biological Station and Institut of Water Research, Tech. rep. 7.
6. CUMMINS, KENNETH W. et JOHN C. WHYCHECK, "Caloric Equivalents for Investigations in Ecological Energetics" Ds Ver, Theor, Angew, Limnol. 18: p 1-158.
7. DAMBERG, N., 1963, "Extratives of fish muscle 3. Amounts, Sectional Distribution and Variations of fat, water solubles, Protein and Moisture in cod (*Gadus morhua* L.) fillets", J. Fish, Res. Bd. Canada, 20 (4).

8. DIXON, WILFRID J., MASSEY FRANK J. JR., 1969, "Introduction to Statistical Analysis". McGraw Hill.
9. DUMAS, J.B.A., 1831, ds Ann. Chim. Phys. 47, 198.
10. DYER, W.H., H.V. FRENCK et J.M. SNOW, 1950, "Proteins in fish muscle I- Extraction of proteins fractions in fresh fish". J. Fish Res. Bd. Can. 7 (10): 585-593.
11. FISHER, STUART G., 1973, Energy Flow in Bear Brook, New Hampshire: "An Integrative Approach To Stream Ecosystem Metabolism". Ecol. Monogr. 43: 421-439.
12. FOLCH, JORDI, M. LEES et G.H. SLOANE STANLEY, 1957, "A simple Method for the Isolation and Purification of Total Lipid from Animal Tissues / J. Biol. Chem. 220: 497-509.
13. FORTIN, REJEAN, 1967, "Recherches sur la croissance en longueur, la croissance en poids, la reproduction, la mortalité et la dynamique de population de Catostomus commersoni du lac l'Assomption", Université de Montréal, 1967. Thèse de Maîtrise.
14. GIESE, ARTHUR C., 1966, "Lipids in the economy of Marine Invertebrates" Physio. Rev. 46: 244-298.
15. GIESE, A.C., 1970, CELL Physiology, Saunders, 2<sup>o</sup> ed.
16. GRASSE, P.P. et DEVILIER C., 1965, "Précis de Zoologie II - Vertébrés" Masson et Cie, Paris.

17. GOLLEY, FRANK B., 1961, "Energy Values of Ecological Materials"  
ds Ecology 42: 581-84.
18. GRAVES, T.D.D., 1970, "Body Composition Changes During Growth in  
Young Sockey (Oncorhynchus nerha) in Fresh Water". J. Fish  
Res. Bd. Canada 27: 929-942.
19. KJELDAHL, J., 1883, Ds Z. Anal. Chem., 22, 366.
20. GOLLEY, FRANK B., 1961, "Energy Values of Ecological Materials"  
Ecology 42: 581-84.
21. GRAVES, T.D.D., 1970, "Body Composition Changes During Growth in Young  
Sockey (Oncorhynchus nerha) in Fresh Water". J. Fish Res. Bd.  
Canada 27: 929-942.
22. KJELDAHL, J., 1883, Ds Z. Anal. Chem., 22, 366 (1883).
23. LAGLER, KARL, F., 1971, Freshwater Fishry Biology, WmmC. Brown Co. Du-  
buke, 421 p.
24. LOVERN, JOHN ARNOLD, 1938, CLXIII. Fat Metabolism in Fishes / XIII.  
Factors Influencing The Composition of the Depot of Fat of  
Fishes, Biochem. J.: 32 p. 1214-1224.
25. LE CREN, E.D., 1951, The Length weight relationship and seasonal cycle  
in gonad weight and condition in the perch (Perca fluviatilis).  
Jour. Animal Ecol., 20 (2): 201-219.
26. LINDEMAN, R.L., 1942, "The trophic dynamic aspect of ecology".  
Ecology 23: 399-418.

27. MCEWAN, WILLIAM S. et CARL M. ANDERSON, 1955, "Miniature Bomb Calorimeter for the Determination of Heats of Combustion of Samples of the Order of 50 mg Mass". The Review of Scientific Instruments Vol 26, No 3.
28. PAINE, ROBERT T., 1971, "The Measurement And Application of the Calorie to Ecological Problems". ds "Annual Review of Ecology and Systematics". Vol 2, 1971, p. 145-164.
29. PLATT, TREVOR et BREAN IRIVEN, 1973, "Caloric Content of Phytoplankton". Limnol. Oceanogr. Vol 18, no 2, March 1973.
30. REAY, G.A., C.L. CULLING et J.M. SHEWAN, 1943, "The Nation's food. IV Fish as food. II The chemical composition of fish". J. Soc. Chem. Ind. p. 77-85.
31. RINGROSE, R.C., 1971, "Calorie to Protein Ration for Brook Trout (*Salvelinus fontinalis*) J. Fish. Res. Bd. Canada 28: 1113-1117.
32. SLOBOCKIN, L.B., 1960, "Ecological Energy Relationship at the Population Level". Amer. Nat. 94: 213-236.
33. SLOBODKIN, L.B. et S. RICHMAN, 1961, "Calories p/gm in species of animals". Nature 191: 299.
34. SLOBODKIN, L.B., 1962, "Energy and Animal Ecology", Advan. Ecol. Res I: 1-69-101.
35. TOERIEN, D.F., C.H. HWANG, J. RADEMSKY, E.A. PEARSON, J. SCHERIY, 1971, "Final Report Provisional Algal Assay Procedures". SERL - Report no 71-6.

36. WATT, B.K. et MERRILL, A.L., 1963, Composition of Foods Raw, Processed, Prepared; Agriculture Handbook number 8, Washington D.C., U.S. Department of Agriculture.
37. WIEGERT, RICHARD G., 1964, Population Energetics of Meadow Spittlebugs (*Philaenus spumarius* L.) as Affected by Migration and Habitat. Ecol. Monog. 34: 3-218-241.

#### PUBLICATIONS ET RAPPORTS

1. PAAR Instrument Company (1948)
2. Oxygen bomb calorimetry and oxygen bomb combustion methods. Manual no 120. Moline, III 80 p.
3. INRS-Eau, Rapport technique no 37, 1976  
- Campbell, P.G. et alles "Effets du décapage de la cuvette d'un réservoir sur la qualité de l'eau emmagasinée: élaboration d'une méthode d'étude et application au réservoir de Victoriaville (rivière Busltrode, Québec) 304 p., 3 appendices (Pour le Ministère des Richesses naturelles, Québec).
4. Technicon, 1965, "Auto Analyser Methodology". Technicon Company Instrumentation corporation.

## ANNEXE

### BUDGET ENERGETIQUE APPLIQUE AUX ECOSYSTEMES

C'est la quantité d'énergie requise par unité de temps pour opérer un système ainsi que les processus par lesquels cette énergie est répartie entre les différentes composantes du système. Ce budget peut être calculé à partir de la sommation des différents processus énergétiques (croissance, reproduction, respiration, excrétion, mortalité, etc.) au niveau des différentes populations de l'écosystème (Cummins, 1970).

### TRANSFERT D'ENERGIE

La notion de transfert d'énergie implique le passage d'une quantité d'énergie  $x$  d'un organisme d'un niveau trophique  $\lambda_i$  vers un autre organisme d'un niveau trophique  $\lambda_{i+1}$ . (Lindeman, 1942).

### TAUX DE TRANSFERT

Le taux de transfert est une quantité d'énergie par unité de temps qui passe d'un organisme à un autre. Ce taux de transfert doit tenir compte de la respiration, de la prédation ainsi que de la décomposition après la mort (Lindeman, 1942).