

UNIVERSITE DU QUEBEC

MEMOIRE

présenté

à

L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (EAU)

comme exigence partielle

de la

maîtrise ès Sciences (eau)

par

PIERRE BRUNEAU

B. Sc. (physique)

"APPLICATION DE L'ANALYSE EN SERIE DE
FOURIER A L'ETUDE DE L'ACTIVITE CIRCADIENNE
DES POISSONS DU LAC CROMWELL (QUEBEC)

JANVIER 1979

Au commencement, Dieu créa le ciel et la terre. Or la terre était vague et vide, les ténèbres couvraient l'abîme, l'esprit de Dieu planait sur les eaux.

Dieu dit: "Que la lumière soit" et la lumière fut. Dieu vit que la lumière était bonne, et Dieu sépara la lumière et les ténèbres. Dieu appela la lumière "jour" et les ténèbres "nuit". Il y eut un soir et il y eut un matin: premier jour.

(Gen. 1, 1-5)

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier tout d'abord monsieur le professeur Armand Rousseau de nous avoir fourni les données nécessaires à la réalisation de cette étude ainsi que pour ses conseils tout au long de ce travail. Nous remercions également monsieur le professeur Hubert Demard pour son aide précieuse dans la partie mathématique ainsi que pour la revision du texte. Nous voulons aussi mentionner les discussions constructives que nous avons eu avec messieurs les professeurs Jean-Pierre Villeneuve et Guy Morin. Nous sommes aussi reconnaissants aux membres de l'INRS-Informatique d'avoir résolu certaines difficultés relevant de leur compétence.

Nous ne voudrions pas oublier non plus monsieur le professeur Jean-Guy Pilon de l'Université de Montréal pour un certain support financier à même son C.N.R. ainsi que pour son aide à la mise à notre disposition des facilités de la station de biologie de l'Université de Montréal. Un grand merci aussi à monsieur Carol Bouchard qui a eu le courage et la persévérance d'accomplir les relevés nécessaires durant les périodes de 24 heures, ainsi que le Ministère des Affaires Culturelles qui a fourni une certaine aide financière.

Nous remercions enfin monsieur André Parent de l'INRS-Eau pour la réalisation des figures ainsi que mademoiselle Lise Raymond pour la dactylographie du manuscrit.

TABLE DES MATIERES

	PAGE
REMERCIEMENTS	ii
TABLE DES MATIERES	iii
LISTE DES TABLEAUX	v
LISTE DES FIGURES	vii
LISTE DES ABBREVIATIONS	ix
RESUME	xi
INTRODUCTION	1
1. LA CHRONOBIOLOGIE	3
1.1 Les rythmes biologiques	4
1.2 Historique de la chronobiologie	6
2. OBJECTIFS	10
3. ACQUISITION DES DONNEES	14
3.1 Chronologie de l'expérience	15
3.2 Description physique du milieu	16
3.3 Technique de pêche	17
3.4 Espèces capturées	19
3.5 Résultats globaux	20
3.6 Limitations dues aux données	21

4.	METHODOLOGIE D'ANALYSE MATHEMATIQUE ET STATISTIQUE	23
4.1	Hypothèses	24
4.2	Filtrage des données	25
4.3	Standardisation des données	30
4.4	Transformée de Fourier discrète	35
5.	RESULTATS	45
5.1	Distribution spatiale des poissons et stations choisies	46
5.2	Périodes et phases	48
5.3	Comparaison entre les deux niveaux de signification statistique	51
5.4	Explication des pics d'activité	52
5.5	Analyse des résultats	54
5.6	Efficacité de la méthode	59
	CONCLUSION	60
	PROSPECTIVES	61
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	63
	TABLEAUX I à XVII	73
	FIGURES 1 à 19	119

LISTE DES TABLEAUX

		PAGE
I	Total des prises sur 14 jours et activité aux deux heures	74
II	Résultat détaillé des 2016 heures.nasses de pêche sur la section 6a) du lac Cromwell à l'été 1965	76
III	Résultat détaillé des 4080 heures.nasses de pêche sur la section 5 du lac Cromwell à l'été 1968	78
IV	Résultat détaillé des 1920 heures. nasses de pêche sur la section 6 du lac Cromwell à l'été 1968	80
V	Résultat détaillé des 4800 heures.nasses de pêche sur la section 7 du lac Cromwell à l'été 1968	82
VI	Total des prises en fonction de la profondeur en 1965 et en 1968	84
VII	Total des prises et effort de pêche par espèce en 1965 et en 1968	86
VIII	Résultats de l'analyse de variance pour chacune des cinq espèces	88
IX	Test de Bartlett appliqué aux données de chacune des cinq espèces avant la correction pour la tendance	91
X	Test de Bartlett appliqué aux données de chacune des cinq espèces après la correction pour la tendance	97

XI	Stations acceptées par le premier critère de sélection	103
XII	Stations acceptées par les deux critères de sélection	105
XIII	Résultats détaillés de l'analyse de Fourier	107
XIV	Différences de pourcentages de variance expliquée	112
XV	Position des maxima d'activité	114
XVI	Moyennes aux deux heures (en % du total journalier) après élimination de la tendance	116
XVII	Pourcentage de variance expliquée par les douze moyennes aux deux heures et quatre fréquences de Fourier	118

LISTE DES FIGURES

		PAGE
1	Dimensions du lac Cromwell	120
2	Disposition des nasses à l'automne 1964 et à l'été 1965	121
3	Disposition des nasses à l'été 1968	122
4	Activité moyenne aux deux heures de <u>Notropis cornutus</u> avant la sélection des nasses	123
5	Activité moyenne aux deux heures de <u>Notropis cornutus</u> après la sélection des nasses	124
6	Activité moyenne aux deux heures de <u>Semotilus atromacu-</u> <u>latus</u> avant la sélection des nasses	125
7	Activité moyenne aux deux heures de <u>Semotilus atromacu-</u> <u>latus</u> après la sélection des nasses	126
8	Activité moyenne aux deux heures de <u>Catostomus commersoni</u>	127
9	Activité moyenne aux deux heures de <u>Chrosomus sp.</u>	128
10	Activité moyenne aux deux heures de <u>Exoglossum maxilingua</u>	129
11	Schématisation des deux critères de sélection des nasses	130
12a)	Un signal discret obtenu par l'échantillonnage d'un signal continu	131
12b)	Les sinusoides: fondamentale et harmoniques	131
13a)	Pseudo-cycles (aliases)	132
13b)	Exemple de courbe non-sinusoidale obtenue par l'addition algébrique de trois sinusoides	132

14	Activité de <u>Notropis cornutus</u> reconstruite à partir des quatre cycles acceptés à 5% et 1%	133
15	Activité de <u>Semotilus atromaculatus</u> reconstruite à partir des trois cycles acceptés à 5% et 1%	134
16	Activité de <u>Chrosomus sp.</u> reconstruite à partir des trois cycles acceptés au niveau 1% et des quatre cycles acceptés au niveau 5%	135
17	Activité de <u>Exoglossum maxilingua</u> reconstruite à partir des deux cycles acceptés au niveau 1% et des cinq cycles acceptés au niveau 5%	136
18	Activité de <u>Catostomus commersoni</u> reconstruite à partir des cinq cycles acceptés au niveau 1% et des six cycles acceptés au niveau 5%	137
19	Essai de séparation de deux types d'activité chez <u>Catostomus commersoni</u>	138

LISTE DES ABREVIATIONS

A, B, A_m et B_m	:	coefficients de Fourier
e	:	espèce
F	:	test statistique F ou valeur distribuée suivant une loi F
fig.	:	figure
f_k ou f	:	fréquence de l'harmonique "k"
h	:	heure
j	:	jour
m	:	mètre
n	:	nasse
p	:	nombre de prises
P_m	:	pourcentage de la variance d'un signal expliquée par la m-ième harmonique
R_m	:	amplitude de la m-ième harmonique
R_o	:	moyenne d'un signal pendant la durée de l'échantillonnage
s	:	l'une des trois sections de prises de mesures en 1968 ou la section de 1965
S	:	écart-type des totaux par nasse pour l'espèce "e" sur la section "s"
s^2	:	estimateur non-biaisé de la variance
T_n	:	total des prises par espèce dans la nasse "n"
\bar{T}	:	moyenne sur toutes les nasses de la section "s" des totaux des prises par nasse et par espèce
T_b	:	période théoriquement probable pour des raisons de stabilité biologique ou écologique
T_m	:	période obtenue mathématiquement

u	:	variable statistique pour le test de Bartlett distribuée suivant une loi χ^2
α	:	niveau de signification statistique
$\Delta_{e,n}$:	pourcentage des mesures différentes de zéro
ν	:	nombre de degrés de liberté
ϕ, ϕ_m	:	phase de la m-ième harmonique
σ^2	:	valeur quadratique moyenne autour de R_0 ; communément appelée variance
Σ	:	signe de sommation
H, J $\sum_{h,j}$:	sommation sur les "H" mesures par jour et sur les "J" jours
χ^2	:	test statistique, loi statistique ou variable distribuée selon cette loi
%	:	pourcentage

RESUME

Les résultats de quatorze jours de captures à la nasse, comptabilisées à toutes les deux heures, ont été analysés par décomposition en série de Fourier. L'étude portait sur cinq espèces: le Notropis cornutus, le Semotilus atromaculatus, le Catostomus commersoni, le Chrosomus sp. et l'Exoglossum maxilingua.

Le traitement en série de Fourier a permis de déterminer avec précision l'amplitude relative et la position de chacun des pics d'activité de ces espèces.

INTRODUCTION

Comme l'a si bien exprimé Le Comte du Nouÿ, "ce qui est complexe n'est pas toujours profond; mais ce qui est profond n'est pas forcément simple" et, bien que la modélisation de l'activité circadienne par les cycles de Fourier ne soit sans doute pas "LA" solution, nous croyons néanmoins que cette technique d'analyse mathématique, en dépit des difficultés d'apprentissage qu'elle présente, peut devenir un outil extrêmement utile pour le chercheur s'intéressant aux biorythmes.

Dans le premier chapitre, nous présenterons le domaine général dans lequel s'inscrit notre étude, soit la chronobiologie; nous exposerons ensuite les objectifs immédiats que nous désirons atteindre, soit l'extraction des fréquences, phases et amplitudes relatives de mesures de l'activité de cinq espèces de ménés du lac Cromwell. La description de ces données et de la technique utilisée pour leur acquisition constituera l'essentiel du troisième chapitre.

La présentation des hypothèses et des traitements préliminaires auxquels doivent être soumises les données brutes pour les rendre aptes à une analyse en série de Fourier sera faite en première partie du quatrième chapitre, la seconde partie traitant de l'analyse de Fourier elle-même. N'ayant pas l'intention de présenter ici un traité sur ce dernier sujet puisque plusieurs auteurs, Jenkins et Watt (1968) entre autres, l'ont déjà fait de brillante façon, nous nous satisferons donc d'une courte présentation de ses principes et propriétés.

Enfin, nous présenterons les résultats de cette application de l'analyse de Fourier, ainsi que diverses interprétations pouvant s'appliquer à ces résultats.

CHAPITRE 1

LA CHRONOBIOLOGIE

1.1 Les rythmes biologiques

Sans que nous ne nous en rendions compte, la plupart de nos fonctions biologiques connaissent, durant la journée, des hauts et des bas qui reviennent à des intervalles réguliers: on dit qu'elles suivent un rythme circadien, c'est-à-dire d'environ une journée.

Par exemple, la composition du sang varie durant la journée au point qu'une analyse effectuée à une certaine heure pourrait donner une composition qui semblerait quasi-pathologique, alors que celle faite quelques heures plus tard donnerait un résultat normal.

Chez l'homme, la division cellulaire connaît un maximum pendant les périodes de sommeil, sauf dans les tissus cancéreux où les maxima surviennent plus fréquemment.

A ces rythmes microscopiques, s'ajoutent des rythmes macroscopiques: par exemple, le rendement au travail est maximal à 10 heures et à 19 heures alors que le nombre d'erreurs commises est maximal à 3 heures du matin, que le sujet ait dormi ou non. Les exemples ci-dessus sont extraits de Gauquelin (1973) qui en donne de nombreux autres.

Ces rythmes physiologiques ont des répercussions importantes en pharmacologie. En effet, on a constaté que l'efficacité d'un médicament dépend de l'heure où il est administré et il en est de même pour la résistance aux microbes et aux poisons.

Cette dernière propriété intéresse fortement ceux qui font des recherches sur les bio-essais puisque cette cyclicité quotidienne dans la résistance aux poisons se manifeste chez de nombreux animaux dont les poissons qui sont utilisés depuis quelque temps pour détecter en milieu aquatique certains polluants comme le zinc. Cette sensibilité aux poisons étant reliée à l'intensité de leur activité, il est donc important d'en connaître le cycle si on veut standardiser les bio-contrôles (Luk'yanenko et Flerov, 1964; Thomas et Legault, 1967; Waller et Cairns, 1972).

Une autre application importante des biorythmes chez les poissons se situe au niveau de l'aménagement des lacs et rivières. En effet, plus il y a d'espèces et de niveaux trophiques dans un écosystème, plus il est résistant et productif. Mais si on y introduit un carnivore ayant le même cycle que les autres habitants du lac, on peut s'attendre à une forte décimation de la population autochtone. Par contre, si leurs maxima d'activité sont décalés, le carnivore ne capturera qu'un minimum d'individus et comme on a constaté qu'il s'agissait habituellement des plus faibles, cela ne peut être qu'excellent pour la santé de l'écosystème. La connaissance des biorythmes apporte donc un degré de liberté supplémentaire à l'aménagiste de la faune.

La perspective d'une famine mondiale préoccupe de nombreux chercheurs depuis plusieurs années. Devant l'occupation grandissante des terres cultivables, l'homme se tourne de plus en plus vers la mer comme source de nourriture. Tous les aspects du comportement des poissons et particulièrement leurs périodes d'activité, présentent un intérêt pour la pêche commerciale ou sportive (Hoar, 1942; Brawn, 1960; Swift, 1962; Kravk, 1963; Henderson, 1963; Hunter, 1966; Richardson et McLeave, 1974; Mason, 1975).

Cependant, les pêcheries étant soumises à de nombreux aléas, on s'intéresse de plus en plus à l'élevage (Swift, 1964; Huet, 1970), d'abord pour les truites à cause de leurs attraits "culinaires et touristiques", mais aussi à d'autres espèces moins "nobles" mais plus productives et moins exigeantes, tels les ménés. Forney (1957) cite la chatte de l'est (Notemigonus crysoleucas), le meunier noir (Catostomus commersoni) et le tête-de-boule (Pimephales promelas) comme étant particulièrement productifs.

C'est d'ailleurs sur cinq espèces de ces ménés que portera notre étude.

1.2 Historique de la chronobiologie

Dès la fin du XIX^e siècle, des articles sur les rythmes biologiques sont publiés, principalement par des médecins qui avaient remarqué ces variations cycliques chez leurs patients: ce ne sont que des rapports d'observations ou la description de trucs de calculs (Sollberger, 1965).

Ce n'est qu'en 1941 que Park posa certains fondements de l'analyse des causes des rythmes circadiens. Dans cet article important, il définit trois types d'activité périodique: d'abord, le type exogène dont le patron est induit par l'environnement; puis le type endogène dont le patron réside à l'intérieur même de l'individu; enfin, le type composé dont le patron est partiellement exogène et partiellement endogène. Evidemment, Park n'oublie pas la possibilité d'absence totale de rythme et parle dans ce cas d'activité "arythmique ou apériodique". Il introduit de plus une subdivision dans le

type endogène qui peut être dû soit à une habitude contractée par un individu après sa naissance, soit à l'hérédité.

Blnning dans son livre (1964) ainsi que dans un exposé sur l'état de la question en 1971 cite des exemples d'observations démontrant l'existence de chacun de ces types d'activité. Bien que ces deux dernières publications définissent beaucoup plus précisément, et avec beaucoup plus d'exemples à l'appui, les différents types mentionnés par Park, cela n'enlève rien à l'importance historique et théorique de son article.

Dans le même article, il établit ensuite les règles à suivre pour en arriver à établir à quel type appartient une espèce donnée et à la situer ainsi dans le schéma général défini précédemment:

"(Ce schéma) est établi pour l'analyse en laboratoire puisque la localisation exacte d'un patron ne peut être faite définitivement sur des données non-controlées. Par exemple, la grande majorité des animaux ont une activité périodique, mais on ne peut découvrir si un individu en particulier a son patron induit et contrôlé par l'environnement, ou s'il a un patron endogène, qu'en plaçant l'animal dans un environnement constant. Sous des conditions constantes, si le patron persiste, l'activité peut être habituelle ou inhérente, et ces deux types ne peuvent être séparés avec certitude que par l'étude de la reproduction de l'espèce sous des conditions constantes. Il est également évident que des appareils enregistreurs objectifs doivent être employés... Un contrôle complet est désirable, ainsi que l'absence de perturbation de l'animal causée par le changement du support d'enregistrement, le réapprovisionnement en nourriture et en eau, le bruit, etc".

Ces règles sont toujours valides et Blnning (1964) insiste beaucoup sur "l'absence de perturbation" puisqu'il a été constaté par exemple qu'une exposition à la lumière pendant une durée aussi faible qu'une minute suffit pour déclencher une activité cyclique.

Après la parution de l'article de Park, il se déroulera toutefois plusieurs années avant que l'importance des applications de la chronobiologie ne soit reconnue, de sorte que l'intérêt pour cette science est tout récent.

Bien que la période antérieure à 1960 ait vu la publication d'un assez grand nombre d'articles sur le sujet (Webb et Brown, 1959, en cite 272), le "25ième Symposium de Cold Spring Harbor sur la Biologie quantitative" marque néanmoins un tournant: quatre domaines scientifiques y sont réunis, la physiologie, l'écologie, la physique et la mathématique; le compte-rendu constitue une excellente référence de base en chronobiologie.

Depuis, de nombreux articles et volumes ont été publiés sur le sujet et au moins deux symposia importants ont eu lieu: celui de l'American Society of Naturalists (compte-rendu dans "The American Naturalist", 1964) et celui de Wageningen tenu en 1971.

Quelques auteurs ont présenté soit une "revue de l'état de la question" (Bellamy, 1970; Burns, 1975), soit des livres entièrement consacrés à ce sujet (Cloudsley-Thompson, 1961; Blüning, 1964; Harker, 1964; Aschoff, 1965; Richter, 1965; Sollberger, 1965; Still, 1972). Des manuels de biologie contiennent désormais un ou plusieurs chapitres s'y rapportant (Salisbury et Ross, 1969). Ces condensés ne mentionnent que rarement les rythmes des poissons d'eau douce, mais Lagacé, 1975 dans sa thèse de maîtrise a fait une importante revue de la littérature ichthyologique sur le sujet.

Notre étude apparaît donc dans un foisonnement de publications

sur le même sujet général; elle porte toutefois sur des espèces peu étudiées jusqu'à maintenant et avec une technique d'analyse connue depuis fort longtemps, mais qui n'avait, du moins à notre connaissance que très rarement été appliquée dans le domaine de la chronobiologie, soit l'analyse de Fourier.

CHAPITRE 2

LES OBJECTIFS

En 1965 et en 1968, pendant un total de quatorze jours, des ménés furent capturés et comptés à toutes les deux heures. Les résultats furent analysés suivant les méthodes habituelles: répartition spatiale et graphiques des moyennes aux deux heures. Cependant, face au nombre de jours de captures, relativement grand pour ce type d'expérience, il est possible d'aller plus loin dans le traitement de ces données, en particulier du point de vue de l'activité circadienne.

Evidemment, plusieurs méthodes auraient pu être utilisées; nous avons choisi l'analyse de Fourier qui nous permet d'extraire, directement des données disponibles, la fréquence des différents cycles d'activité ainsi que leurs phases pour chacune des cinq espèces.

La méthode de prises utilisée ne nous permet pas de connaître l'amplitude absolue de l'activité circadienne spécifique. En effet, cette amplitude absolue est donnée par la formule suivante:

$$\sum_{i=1}^n N_i \times V/v_i$$

où

- N_i = nombre de prises dans un intervalle de temps donné et par la nasse "i";
- V = volume du lac;
- n = nombre de nasses;
- v_i = volume d'influence de la nasse "i".

Les trois premières valeurs sont connues, mais la détermination du volume d'influence de la ième nasse est, à toute fin pratique, impossible. Nous nous sommes donc contentés des valeurs relatives (en pourcentage de l'activité totale journalière spécifique) des divers cycles, ce qui est, à notre avis, plus intéressant puisque ces valeurs, contrairement aux valeurs absolues, ne devraient avoir que de faibles variations d'un lac à un autre, sauf en présence de facteurs externes (polluants, stress, etc.) qui modifieraient ou annihileraient l'activité circadienne de certaines espèces de poissons (Waller et Cairns, 1972).

Déterminer si les rythmes circadiens sont endogènes ou exogènes constituerait également un point très intéressant que plusieurs auteurs ont d'ailleurs développé (Fry, 1947; Aschoff, 1961; Harris, 1963; Sollberger, 1965; Brown *et al.*, 1970; Enright, 1970). Cependant, comme nous l'avons vu précédemment, Park (1941) a formulé clairement les conditions dans lesquelles une telle information peut être obtenue: un environnement constant est nécessaire.

Nos mesures faites en nature n'obéissant évidemment pas à ces critères, nous ne chercherons pas à faire une telle étude. En effet s'il est relativement intéressant pour le chercheur et pour l'écologiste de savoir académiquement si le rythme est endogène ou exogène, pour l'aménagiste et pour le gestionnaire il leur suffit de savoir que le rythme observé se conservera et de connaître ses caractéristiques. Il est normal et naturel que ces cycles se répètent d'une journée à l'autre et d'une année à l'autre dans un milieu quasi-stable, car s'ils étaient distribués au hasard, comment pourrions-nous en arriver à expliquer la stabilité d'un écosystème, sa productivité, sa durée?

En résumé, notre analyse ne vise qu'à obtenir les fréquences, les phases et les amplitudes relatives des cycles d'activité de période inférieure ou à peu près égale à vingt-quatre heures et à les interpréter autant que possible.

CHAPITRE 3

ACQUISITION DES DONNEES

3.1 Chronologie de l'expérience

C'est en novembre 1964 que les premières mesures de l'activité circadienne des poissons au lac Cromwell furent effectuées (Rousseau, 1970); dû à la période de l'année, le nombre de poissons capturés fut trop faible pour que les résultats soient probants.

Une autre série de captures était donc nécessaire et elle eut lieu l'été suivant (août 1965): le nombre de poissons capturés fut beaucoup plus élevé et devenait significatif.

Cependant, le nombre de jours (4) sur lequel s'étendait l'expérience était nettement insuffisant pour qu'on puisse en extraire des cycles qui soient eux-mêmes statistiquement significatifs. C'est pourquoi une série de dix jours de mesures vint compléter les données en juillet 1968.

Il est généralement reconnu qu'une série donnera des résultats statistiquement valables pour les cycles de période inférieure à 10% de la longueur de la série: les dix jours de mesures faites en 1968 seraient donc suffisants pour une étude de l'activité circadienne. Cependant, afin d'augmenter la précision statistique des cycles, les quatre jours de prises de 1965 peuvent être associés aux dix jours de 1968 avec, toutefois, certaines précautions qui seront expliquées plus loin, dans la partie sur l'analyse mathématique. A notre avis, cette association de données d'activité circadienne séparées dans le temps est permise en autant que le milieu n'a pas subi de modifications appréciables. La raison qui justifie cette position vient de ce que le comportement général d'une population et son activité circadienne ne peuvent changer au hasard sans risques pour elle-même. Il est presque

certain que, d'une année à l'autre, les mêmes cycles se produiront à peu près au même moment (ex. la reproduction). C'est aussi la position qui a été tenue par Spoor et Schloemer (1938) dans leur étude de l'activité circadienne des Catostomus commersonnii et des Ambloplites rupestris.

Notons enfin que ces quatorze jours sont situés en dehors de la période de reproduction puisqu'il a été vérifié que les femelles ne contenaient pas d'oeufs.

3.2 Description physique du milieu

Le lac Cromwell est situé sur le territoire de la Station de Biologie de l'Université de Montréal à 80 km (50 milles) au nord de Montréal.

D'orientation générale est-ouest, le lac Cromwell mesure environ 490 mètres (1600 pieds) de longueur sur une largeur moyenne de 142 m (465 pieds). La superficie du lac est approximativement de 7.3 hectares (18 acres) (fig. 1).

Sa profondeur au centre varie entre neuf et dix mètres. La plus grande partie du fond est presque entièrement boueuse et se trouve à moins de 6 mètres (20 pieds) de la surface.

On trouvera une description plus complète dans Rousseau (1970).

3.3 Technique de pêche

3.3.1 Description des nasses

Les nasses utilisées dans cette étude sont celles vendues aux pêcheurs, soit pour capturer, soit pour conserver de petits poissons. Elles sont fabriquées de fil métallique et elles sont de forme circulaire, de diamètre légèrement plus grand au centre que dans les bouts: longueur: 45 cm.; diamètre central: 23 cm.; diamètre des bouts: 17 cm.; diamètre de l'ouverture: 5 cm.; grandeur des mailles: 0.9 cm. (mesures approximatives).

3.3.2 Localisation des stations de pêche

Les 9, 10, 11, 12 et 13 août 1965, un système de 21 nasses fut installé entre les repères 6 et 10 pêchant à la fois en surface et en profondeur (fig. 2).

Entre le 23 juin 1968 et le 25 juillet 1968, 10 journées complètes de mesures furent prises séparées l'une de l'autre par 2 ou 3 jours d'arrêt afin d'éviter un éventuel phénomène d'habitude ou de fatigue chez les poissons. Suite à la session d'août 1965, seulement huit nasses furent installées sur la section 6-10. Deux autres sections furent ajoutées: celle entre les repères 5 et 11 et celle entre les repères 7 et 9. Les sections seront désormais désignées par leur repère portant le numéro le plus faible; nous avons donc, d'est en ouest, les sections 5,6 et 7 (et la ligne 6a pour 1965). La section 5 comptait 17 nasses et la section 7 en avait 20.

L'ensemble des nasses étaient distribuées tel que le montre la figure 3. Elles étaient séparées verticalement de 60 centimètres de centre à centre et horizontalement de 38 mètres et 30 mètres pour les sections 5 et 7 respectivement. Pour la section 6, la distance horizontale était de 36 mètres en 1965 et 71 mètres en 1968. Les nasses sont désignées du nord au sud par les lettres "A" à "E" et de haut en bas par les chiffres "1" à "6".

Les nasses étaient retenues en surface par des flotteurs et maintenues en place par une roche au fond de l'eau.

Les nasses furent visitées toutes les deux heures, les poissons étant comptés, identifiés et remis à l'eau à une quinzaine de mètres de la station de capture.

La disposition des nasses telle que décrite permet:

- a) de visualiser la distribution des espèces à la fois en surface et en profondeur;
- b) d'obtenir une mesure de l'activité de chaque espèce dans toute l'étendue de sa distribution verticale ou horizontale.

3.3.3 Sélectivité des nasses

L'efficacité d'une nasse dépend des mouvements des poissons, de leur abondance et de leur distribution. Certains autres facteurs entrent aussi en ligne de compte tels que: la grandeur de l'ouverture de la nasse, la grandeur de ses mailles, le genre d'appât utilisé, la présence d'appendice sur l'animal et, finalement, le comportement même du poisson. La

nasse peut donc être à la fois sélective pour l'espèce et la taille. L'avantage de la nasse est de permettre un échantillonnage à la fois en nombre et en espèce de petits poissons.

L'appât utilisé a été le bacon. On peut se demander si les captures donnent des informations sur l'activité naturelle des ménés ou leur goût et leur activité vis-à-vis du bacon; on ignore jusqu'à quelle distance les ménés peuvent être attirés par le bacon dans l'eau.

3.4 Espèces capturées

En 1963, année de l'ouverture de la Station de Biologie, un relevé topographique des lacs fut effectué ainsi qu'un inventaire sommaire de la flore et de la faune du territoire sous la direction de feu le révérend Frère Robert, c.s.v., alors directeur de la station.

Lors de ce premier inventaire du lac Cromwell, les espèces suivantes furent relevées:

<u>nom vernaculaire*</u>	<u>nom scientifique</u>
meunier noir	<u>Catostomus commersoni</u> (Lacépède)
bec-de-lièvre	<u>Exoglossum maxilingua</u> (Le Sueur)
	<u>Chrosomus sp.</u>
méné à nageoires rouges	<u>Notropis cornutus</u> (Mitchill)

* d'après Scott et Crossman, 1973.

omble de fontaine (truite mouchetée)	<u>Salvelinus fontinalis</u> (Mitchill)
mulet à cornes	<u>Semotilus atromaculatus</u> (Mitchill)

L'omble de fontaine ne fait pas partie de l'échantillonnage obtenu, la méthode de pêche utilisée ne permettant leur capture qu'en de rares occasions.

3.5 Résultats globaux

Les résultats totaux horaires sont donnés au tableau I pour les données originales des cinq espèces avec, en plus, les données filtrées par deux critères dans le cas du méné à nageoires rouges et par un critère pour le mulet à cornes. Ces critères et les raisons de leur emploi pour ces deux espèces seront donnés plus loin, aux chapitres sur le traitement mathématique et sur les résultats.

Les résultats totaux par espèce et par station sont présentés dans les tableaux II à V et le total pour chaque profondeur en 1965 et en 1968 sans tenir compte de l'espèce est indiqué au tableau VI.

En utilisant la journée comme unité de temps, l'effort de pêche¹ pour les cinq espèces est donné au tableau VII.

¹

Effort de pêche: nombre de captures par engin de pêche par unité de temps.

La variation de l'effort de pêche entre 1965 et 1968 pour le Notropis et le Semotilus nous semble négligeable. Par contre, les trois autres espèces ont des variations beaucoup plus prononcées. Le meunier noir et le bec-de-lièvre ont diminué leur fréquence de capture, probablement à cause d'une diminution relative de leurs populations respectives due à l'extension de la zone de pêche à des lieux moins attrayants pour ces espèces puisque l'examen des tableaux II à VII ne permet pas de conclure à une diminution en nombre. Inversement, il est permis de supposer que la population de Chrosomus a augmentée.

Il ne s'agit là évidemment que d'hypothèses puisque ces variations pourraient être dues à d'autres causes telles que des différences climatiques entre les deux sessions, différences ressenties diversement par chaque espèce.

La résolution de ce problème n'entre pas dans les objectifs de cette étude et les effets de ces disparités pouvant nuire éventuellement à la validité de l'interprétation des résultats seront éliminés par les techniques mathématiques décrites au prochain chapitre.

3.6 Limitations dues aux données

L'analyse mathématique que nous présentons dans les prochains chapitres nous permettra d'identifier et de situer de façon précise les pics d'activité de chaque espèce; toutefois, l'interprétation de ces pics quant à leurs causes (activité purement locomotrice, activité nutritive, etc.) ne peut se faire qu'avec l'appui de mesures s'appliquant spécifiquement à un

type d'activité, la précision et la durée de celles-ci étant alors de moindre importance puisqu'elles ne serviront qu'à identifier la cause de pics dont l'existence et l'heure auront été certifiées par l'analyse de Fourier.

Bien que nous ne disposions pas de telles mesures pour le lac Cromwell, il sera tout de même possible de procéder, dans certains cas, à l'identification du type d'activité puisque de telles mesures ont été faites par d'autres auteurs, particulièrement pour le meunier noir, et qu'il est permis de supposer que le cycle d'activité d'une espèce dans des conditions semblables est intrinsèque à cette espèce.

CHAPITRE 4

METHODOLOGIE D'ANALYSE MATHEMATIQUE ET STATISTIQUE

4.1 Hypothèses

Au cours de ce chapitre, nous supposerons que les données analysées satisfont aux hypothèses suivantes.

1. Persistance du comportement

Nous avons déjà discuté de cette hypothèse au chapitre 3 (section 3.1 Chronologie de l'expérience). Nous y avons vu que toute espèce doit s'y conformer tant que les conditions environnementales demeurent les mêmes: sa survie en dépend.

2. Homogénéité spatiale des nasses conservées

Nous supposerons que les nasses (i.e. dans le sens élargi des valeurs qu'elles ont fournies) qui serviront à l'établissement final des cycles ont toutes le même comportement en moyenne vis-à-vis de ces rythmes. Cette hypothèse pourrait être vérifiée par une division du lac en sections (nord-sud, surface-profondeur ou autre) et la comparaison des phases, principalement, obtenues pour chacune de ces sections. Malheureusement, les contraintes de temps dont nous devons tenir compte pour la présentation de ce mémoire nous ont empêchés de faire cette étude exhaustive.

3. Le phénomène de défiance ou d'affection est négligeable.

Bien que pouvant être important d'une journée à l'autre, le phénomène de défiance ou d'affection envers les nasses ("trap shy" ou "trap

addict"), peut être négligé sur une journée donnée.

4.2 Filtrage des données

4.2.1 Le bruit

Dans la majorité des collections de renseignements, que ce soit en physique, en biologie, en sciences sociales ou en toute autre science, s'introduit du "bruit". Ce phénomène a d'abord été étudié en électronique, mais le mot lui-même est maintenant adopté par l'ensemble du secteur scientifique pour désigner la partie des données dont l'évolution ne peut être prévue exactement, c'est-à-dire la partie stochastique qui se superpose à la partie dite déterministe qui elle peut être prédite avec certitude. Un exemple de ce type de bruit serait celui dû aux fluctuations d'origine thermique dans le voltage aux bornes de chaque composante électronique d'un émetteur radio.

Cette définition du bruit s'applique aux données constituées par le total des prises à chaque heure. L'élimination de ce bruit sera faite par l'analyse de Fourier que nous expliquerons plus loin dans ce chapitre.

La présente section est concernée par une autre forme de bruit: si on se reporte à l'analogie de l'émetteur-radio, ce serait un bruit dû à la distance trop grande entre l'émetteur et le récepteur, le signal étant capté, faiblissant, disparaissant même, puis revenant soudainement et de façon aléatoire; il suffit d'avoir écouté une émission à la radio ou à la télévision en provenance d'un poste éloigné ou peu puissant pour connaître ce phénomène.

Si l'on se rappelle que nos mesures ne sont pas continues, mais discrètes et que le nombre de ces mesures n'est pas très élevé (12 par jour pendant 14 jours), on comprendra aisément que le hasard peut créer dans de telles données des cycles n'ayant aucun lien avec le véritable signal: il faut donc éliminer les récepteurs qui sont trop éloignés de la source de signal, c'est-à-dire les nasses qui n'ont pas mesuré une activité d'intensité significative.

Pour faire cette sélection des nasses, nous utiliserons les deux critères que voici.

4.2.2 Critère no. 1

La première obligation à laquelle les données d'une nasse particulière doivent faire face pour être retenues est basée sur un pourcentage minimum de mesures non-nulles prises par cette nasse.

Désignons par " $p_{e,n,h,j}$ " le nombre de poissons de l'espèce "e" pris par la nasse "n" à l'heure "h" du jour "j".

Définissons ainsi la variable $\delta_{e,n,h,j}$:

$$\delta_{e,n,h,j} = 1 \text{ si } p_{e,n,h,j} > 0$$

$$\delta_{e,n,h,j} = 0 \text{ si } p_{e,n,h,j} = 0$$

Calculons maintenant la moyenne de cette variable:

$$\bar{\delta}_{e,n} = \frac{\sum_{h,j}^{H,J} \delta_{e,n,h,j}}{H.J}$$

où

H = nombre de mesures par jour à chaque nasse;

J = nombre de jours complets de mesures.

En multipliant par 100, on obtient:

$$\Delta_{e,n} = 100 \bar{\delta}_{e,n}$$

le pourcentage des mesures qui sont différentes de zéro.

Rappelons que, dans notre cas précis, H vaut 12 mesures par jour et J vaut 14 jours.

Il faut maintenant choisir une valeur limite pour $\Delta_{e,n}$ en dessous de laquelle les résultats de la nasse "n" seront rejetés pour l'espèce "e"; nous utiliserons $\Delta_{\min} = 8.33\%$. Précisons immédiatement que ce choix n'est pas arbitraire. En effet, un examen rapide des valeurs rejetées nous démontre qu'elles sont bien parmi les moins significatives. De plus, cette valeur de 8.33% est tirée de 100/12, c'est-à-dire qu'elle revient à

exiger qu'en moyenne au moins une donnée par jour (il y a 12 mesures par jour) soit différente de zéro. Cette exigence nous semble raisonnable puisque nous voulons étudier les rythmes dont la fréquence est d'au moins un cycle par jour.

Pour éviter tout doute à propos de la possibilité de création de cycles fictifs par un tel critère visant l'élimination de données n'ayant pas suffisamment de non-zéros pour présenter des cycles significatifs, notons ceci: la présence d'un trop grand nombre de zéros dans les données d'une nasse en particulier n'apporte aucune information sur la présence ou l'absence de rythme dans l'activité d'une espèce; ce sont les non-zéros qui apportent l'information. Cette sélection ne vise qu'à éliminer un facteur pouvant être la cause d'un type de bruit particulièrement pernicieux puisque, comme nous l'avons vu, il peut facilement faire apparaître des cycles fictifs.

4.2.3 Second critère

Le premier critère était un critère absolu, c'est-à-dire qu'il s'appliquait à chaque nasse séparément en ne tenant pas compte de la valeur obtenue aux autres nasses.

Ayant éliminé, grâce au premier critère, les nasses présentant un nombre de mesures différentes de zéro beaucoup trop faible pour donner des résultats significatifs, nous voulons maintenant essayer d'augmenter le rapport signal/bruit en éliminant les nasses autour desquelles l'activité (cyclique ou non) était très faible comparativement aux autres nasses (donc

un critère relatif, cette fois-ci).

Le critère que nous avons choisi d'utiliser est le suivant. Soit $T_{e,n,s}$ (ou plus simplement "T"), le total des prises pour l'espèce "e" dans la nasse "n" de la section "s" du lac (cf. chapitre 3); soit également $\bar{T}_{e,s}$ et $S_{T_{e,s}}$ (ou simplement \bar{T} et S), respectivement la moyenne et l'écart-type des totaux des prises pour l'espèce "e" sur la section "s", ces deux valeurs étant calculées en ne tenant compte que des nasses conservées par le premier critère afin d'éviter une diminution exagérée de la moyenne.

Le second critère se ramène alors à ceci: si la moyenne est significativement supérieure à l'écart-type, la nasse est rejetée lorsque T est à plus d'un écart-type sous la moyenne; si la moyenne n'est pas significativement supérieure à l'écart-type, la nasse est rejetée lorsque T est inférieur à la moyenne.

Signalons que le calcul des moyennes et des écarts-types est fait sur chacune des sections séparément, afin de permettre à chacune d'elles de contribuer avec ses valeurs les plus fortes, ce qui nous procure le moyen de conserver une représentation globale du lac.

Ce critère satisfait donc à deux exigences, soit d'éliminer les stations qui sont beaucoup trop faibles par rapport aux autres tout en conservant une certaine représentation à chacune des sections.

La figure 11 présente de façon schématique la méthode d'application de ces deux critères.

4.2.4 Restrictions

Nous tenons à préciser que nous n'avons pas la prétention d'affirmer que ces critères sont les meilleurs possibles; cependant, comme aucune étude n'avait été faite, à notre connaissance, sur l'établissement de critères simples (les méthodes comme l'analyse des composantes principales sont lourdes et donnent souvent des résultats pauvres dans les séries de temps), il nous a fallu les construire. N'ayant ni le temps, ni les données nécessaires à une étude exhaustive, nous avons dû nous contenter d'essayer quelques critères et de choisir ceux qui semblaient donner les résultats les plus probants, soient les deux critères ci-dessus.

4.3 Standardisation des données

4.3.1 Méthode

Lorsqu'une série de mesures s'étendant sur une longue durée est prise en nature sur les animaux, de nombreux facteurs peuvent intervenir pour causer des inhomogénéités entre les différentes journées: la mortalité (et les naissances si on traverse la période de reproduction) ainsi que les cycles annuels ou encore le phénomène d'habitude ou de fatigue face aux nasses, peuvent causer une tendance (augmentation ou diminution continue de la moyenne journalière) plus ou moins marquée dans les données; les

éléments atmosphériques tels le vent ou la pluie peuvent faire en sorte qu'une journée présente une activité moins grande que celle de la veille ou du lendemain.

Pour une application efficace de l'analyse de Fourier, il est essentiel que toutes les discontinuités ainsi que la tendance soient éliminées soit par modification du procédé expérimental, soit par un traitement mathématique approprié.

La méthode utilisée pour l'acquisition des données faisant l'objet de cette étude est décrite au chapitre 3. Compte tenu du fait qu'il s'agit de mesures faites en nature, l'amélioration technique la plus importante que nous pourrions apporter, puisque les éléments météorologiques ou physico-chimiques ne peuvent être contrôlés comme en laboratoire, serait d'obtenir une mesure en continu de l'activité plutôt que des mesures discrètes à toutes les deux heures. Plusieurs techniques permettent d'obtenir une telle mesure (Spoor, 1941; Cummings, 1963; Meffert, 1968; Byrne, 1971; Wildish et Polar, 1972; Peters, 1973; Cripe *et al.*, 1975). Cependant, aucune de ces techniques (électrodes, cellules photoélectriques, senseurs ultrasoniques, etc.) ne permet de différencier les différentes espèces: appliquées à un lac, elles ne fourniraient que l'activité d'ensemble du necton, sauf dans certains cas particuliers où une seule espèce est présente (Richkus, 1974).

Il faut donc faire une élimination post-expérimentale des tendances et discontinuités par un traitement mathématique des données. Granger et Hatanaka (1964) de même que Jenkins et Watt (1969) donnent plusieurs méthodes pour obtenir une série chronologique stationnaire. Cependant,

contrairement à nous, ils sont intéressés par l'amplitude absolue du phénomène, ce qui les oblige à utiliser des méthodes de filtrage plus sophistiquées qu'il n'est nécessaire dans notre cas particulier. Nous préférons donc une méthode plus simple..

Nous appuyant sur les hypothèses de la section 4.1 et nous rappelant que l'obtention de façon significative des cycles dont la période est plus longue qu'une journée nécessiterait davantage de données que nous n'en possédons actuellement (une période T nécessite au moins $10T$), nous éliminerons la tendance et les discontinuités entre les différentes journées par la standardisation de toutes les moyennes journalières à une même moyenne, standardisation obtenue en divisant chaque valeur horaire¹ par le total des prises de la journée correspondante.

Cependant, le fait de diviser la valeur de la dernière heure d'une journée par une moyenne M_1 et la valeur de la première heure de la journée suivante par $M_2 \neq M_1$ pourrait avoir pour effet de créer une discontinuité. Pour éviter cette possibilité, nous avons placé le début de la journée à une heure du matin (donc la première valeur à trois heures puisqu'elle intègre l'activité des deux heures précédentes), car les résultats relevés à trois heures du matin démontrent que l'activité des cinq espèces est, à toutes fins pratiques, nulle à cette heure.

¹

Sommation sur les nasses conservées par les critères 1 et 2 (section 4.2) des prises pour chaque espèce "e" à l'heure "h" du jour "j" = T_{ehj} .

Les figures 4 à 10 présentent l'activité moyenne sur deux heures par espèces avant et après l'opération que nous venons de décrire.

Les tableaux VIII et IX donnent respectivement les résultats de l'analyse de variance et du test de Bartlett sur les données brutes, servant à vérifier respectivement l'égalité des quatorze moyennes et celle des quatorze variances journalières. Le tableau X présente l'application du test de Bartlett sur les données corrigées pour la tendance.

On trouvera une description très complète de ces deux tests statistiques dans Bailey (1959) ou Ostle (1963). Une description plus simple et plusieurs exemples en biologie sont donnés dans Elliot (1971) pour l'analyse de variance. Ces tests étant bien connus, il n'est pas nécessaire de les décrire ici.

4.3.2 Résultats des tests

Nous avons quatorze jours ($=k$) de données à douze données par jour, soit $N=168$, $\nu_1=13$ et $\nu_2=154$.

Nous appuyant sur les travaux d'Anderson et McLean (1974), nous utiliserons le niveau de signification statistique $\alpha = 0.01$ pour le test d'homogénéité et le niveau $\alpha = 0.001$ pour le test de Bartlett. Les valeurs limites correspondantes sont:

$$F_{0.01} (13,154) = 2.24$$

$$\chi^2_{0.001} (13) = 34.53$$

Les valeurs de F et de $\bar{\mu}$ sont données aux tableaux VIII et IX respectivement, pour les données brutes. Pour les données standardisées, on ne donne que les valeurs de μ au tableau χ puisque les moyennes sont rendues rigoureusement égales par la standardisation.

On voit que les moyennes journalières brutes sont considérées égales pour les cinq espèces, alors que les variances journalières ne sont considérées égales dans aucun cas avec les données originales.

Par contre, après standardisation, les moyennes journalières sont mathématiquement identiques dans tous les cas et les variances sont statistiquement égales dans les cinq cas.

4.4 Transformée de Fourier discrète

4.4.1 Choix et présentation de la méthode

Une description très détaillée de ce type d'analyse des séries de temps ainsi que des autres méthodes (autocorrélation, densité spectrale, etc.) peut être trouvée dans de nombreux volumes. Citons, par exemple, Granger et Hatanaka (1964), Hannan (1960), Blackburn (1970), Yevjevitch (1972) et particulièrement Jenkins et Watt (1968).

Webb (1970) a écrit une excellente monographie sur l'utilisation d'un algorithme très utile pour traiter un grand volume de données, la transformée de Fourier rapide (TFR). Cependant, n'ayant que peu de temps à consacrer à la programmation proprement dite, nous avons préféré utiliser la

méthode classique beaucoup plus simple; nous pouvions nous le permettre puisque nous n'avions qu'une faible quantité de données à traiter. De plus, cette méthode nous permettait d'améliorer facilement la définition du spectre par la technique fort simple du "remplissage" (Henry et Graefe, 1971) qui consiste, en résumé, à ajouter à la suite des N données réelles un nombre " mN " de zéros. La précision est ainsi améliorée par un facteur " $m + 1$ ".

L'avantage de la transformée de Fourier discrète (classique ou rapide) est qu'elle fournit directement les phases et les amplitudes en plus des fréquences, contrairement à d'autres méthodes, telle la transformée des autocorrélations qui ne fournit pas les phases et ne donne les amplitudes qu'en valeurs relatives, sauf par un passage à la limite nécessitant un très grand nombre de données ($\lim N \rightarrow \infty$).

Cependant, ce n'est que récemment que l'intérêt des chercheurs s'est portée vers l'étude du point de vue statistique de la transformée de Fourier. En effet, le temps de calcul prohibitivement long qu'elle exige pour le traitement d'un gros volume de données a dirigé les statisticiens vers l'utilisation des autocorrélations. Mais l'apparition des ordinateurs et surtout celle de la TFR l'ont remise au premier plan comme en fait foi le nombre de publications récentes sur cette méthode et ses applications (Singleton, 1969; Adamowski, 1971; Delleur, 1971; Kirmse et Westerberg, 1971; Shastry *et al.*, 1972; Triboulet, 1975).

Peu de tests statistiques ont été suggérés jusqu'à présent pour cette technique, mais celui que Jenkins et Watt (1968) présentent aux pages

230 à 233 de leur volume sera suffisant pour nos besoins; nous le résumons à la section 4.4.3.

4.4.2 Description de la technique

4.4.2.1 Périodicité

Une fonction $f(t)$ est dite périodique s'il existe une quantité T telle que

$$f(t+T) = f(t) \quad (4.1)$$

quel que soit t . Le nombre T est alors une période de $f(t)$; naturellement, tout multiple entier de T sera aussi une période, mais on réserve habituellement le terme "période" à la plus petite valeur positive satisfaisant l'équation ci-dessus.

La fonction peut avoir n'importe quelle forme entre t et $t+T$. Etant donné que $\cos(\mu + 2\pi) = \cos \mu$ et que $\sin(\mu + 2\pi) = \sin \mu$, l'ensemble des fonctions $\cos kx$ et $\sin kx$ (k entier ≥ 0) est un ensemble de fonctions périodiques; la plus petite période commune à toutes les fonctions de l'ensemble est égale à 2π .

Il est possible de représenter les fonctions non-périodiques en utilisant une classe quelconque de fonctions périodiques, l'une des plus simples étant celle des sinus et cosinus; c'est celle qu'utilise l'analyse de Fourier.

Elle possède les importantes propriétés qu'une approximation formée d'un certain nombre de termes donne l'erreur quadratique moyenne minimale entre la fonction signal et l'approximation, et également que les fonctions de cette classe sont orthogonales, de sorte que les coefficients peuvent être déterminés indépendamment l'un de l'autre.

4.4.2.2 Série de Fourier finie

Si nous disposions d'une fonction-signal continue sur un intervalle $(-T/2, T/2)$, elle ne pourrait, en général, être représentée exactement que par un ensemble infini de fonctions.

Cependant, on dispose rarement, et nous ne faisons pas exception, d'une telle mesure. En général, on dispose plutôt d'un nombre fini de valeurs du signal mesurées à des instants séparés. Supposons un espacement constant Δ entre les diverses mesures. Soient un nombre pair N de ces mesures, la durée de l'échantillonnage est donc de $N\Delta$ (fig. 12).

Un théorème démontre qu'une courbe à N paramètres décrira parfaitement ces N points. Nous appuyant sur les avantages décrits précédemment, nous utiliserons la série de Fourier décrite par les équations¹ suivantes:

¹

Bien que différente de la version donnée par Jenkins et Watt (1968), la formulation présentée ci-dessus est tout à fait équivalente (et plus directement applicable à nos données), seul le point de référence des phases est modifié; dans notre cas, la valeur donnée par la phase de chaque période correspond à la position du premier maximum de la journée pour ce cycle.

$$y(t) = \bar{y} + 2 \sum_{i=1}^m A_i \cos \frac{2 \pi i t}{N} + 2 \sum_{i=1}^m B_i \sin \frac{2 \pi i t}{N} \quad (4.2)$$

où "m" est le nombre de cycles que l'on désire utiliser ($m \leq N/2$)

Pour N pair, on a :

$$A_i = \frac{1}{N} \sum_{\tau=1}^N y_{\tau} \cos \frac{2 \pi i \tau}{N}$$

$$B_i = \frac{1}{N} \sum_{\tau=1}^N y_{\tau} \sin \frac{2 \pi i \tau}{N}$$

où τ est l'indice d'une donnée particulière et "i" est l'indice de l'harmonique.

Dans le cas où $m=N/2$, on notera que $A_{N/2} = \frac{1}{2} A_m$ et $B_{N/2} = 0$.

Les A_i et les B_i sont appelés coefficients de Fourier. La fréquence

$$f_1 = 1/(N\Delta)$$

est appelée la fréquence fondamentale du signal y_t et correspond à une période égale à la longueur de l'enregistrement, tel que montré sur la figure 12.

La fonction y_t est donc composée d'une somme de sinus et de cosinus dont les fréquences sont des multiples (ou harmoniques) de la fréquence fondamentale f_1 .

4.4.2.3 Fréquence de Nyquist

Si nous considérons la série $\{y_t\}$ des valeurs échantillonnées comme étant tirées d'une fonction du temps continue $y(t)$ à des intervalles de temps également espacés, il est clair que si $y(t)$ contient une fréquence $1/\Delta$ où Δ est la durée séparant deux échantillonnages successifs, alors $\{y_t\}$ ne contient aucune information sur cette fréquence. Par exemple, si on enregistre la hauteur de la marée à tous les jours à midi on aura les fluctuations mensuelles ou annuelles, mais, peu importe la longueur totale de la série, aucune information sur la variation quotidienne ne s'y trouvera. Cependant, si les mesures sont prises à midi et à minuit, alors l'importance du cycle quotidien pourra être estimée.

En fait, tout échantillonnage est caractérisé par la fréquence limite $1/2\Delta$ que l'on désigne par fréquence de Nyquist et qui est la plus haute fréquence sur laquelle nous ayons une information directe. Dans notre cas, cette fréquence est de 1 cycle/4 heures ou 6 cycles/jour.

4.4.2.4 Pseudo-cycles (aliases)

La figure 13a) montre ce qui peut se produire lorsqu'un cycle de fréquence supérieure à la fréquence de Nyquist est présent: des pseudo-

cycles¹ apparaîtront qui n'auront aucune signification réelle.

Il faudra donc choisir la fréquence d'échantillonnage de façon à éviter ces pseudo-cycles.

Dans le cas de l'activité écologique des poissons, il nous est permis de croire qu'aucun cycle dépassant la fréquence de 6 cycles/jour n'existe au niveau de la communauté: nous n'avons donc pas à craindre ce phénomène.

4.4.2.5 Phases, amplitudes et pourcentage de variance expliquée

Il est souvent plus commode d'écrire l'équation 4.2 sous la forme:

$$y(t) = R_0 + 2 \sum_{m=1}^{n-1} R_m \cos (2\pi m f_1 t + \phi_m) + R_n \cos 2\pi n f_1 t \quad (4.3)$$

où $n = N/2$

$$\begin{aligned} R_0 &= \bar{y} \\ R_m^2 &= A_m^2 + B_m^2 \\ \phi_m &= \arctan - \frac{B_m}{A_m} \end{aligned}$$

et inversement

$$A_m = R_m \cos \phi_m \text{ et } B_m = -R_m \sin \phi_m \quad (4.4)$$

R_m est appelée l'amplitude et ϕ_m la phase de la m-ième harmonique par rapport à une origine temporelle arbitraire.

¹

Il n'existe pas, à notre connaissance, de traduction française pour le terme anglais "aliasing". Nous utiliserons le terme "pseudo-cycles", mais "cycles de surpériode" serait à considérer puisqu'il s'agit de cycles de période supérieure à la période réelle.

Cette nouvelle formulation nous procure une caractéristique très importante de la série analysée: la puissance moyenne de ses harmoniques constituantes. En effet, le théorème de Parseval nous permet de dire que "la valeur quadratique moyenne de $y(t)$, ou la puissance moyenne dissipée par $y(t)$, peut être décomposée en contributions venant de chaque harmonique":

$$\frac{1}{N} \sum_{\tau=1}^N y_{\tau}^2 = R_0 + 2 \sum_{m=1}^{n-1} R_m^2 + R_n^2$$

Une mesure plus commode que la puissance moyenne dissipée est le pourcentage de variance expliquée:

$$P_m = \frac{2R_m^2 \times 100}{\sigma^2} \quad ; \quad P_n = \frac{R_n^2 \times 100}{\sigma^2}$$

où σ^2 est la valeur quadratique moyenne autour de R_0 (communément appelée variance).

Remarquons que les cycles pour $m=1$ à $n-1$ contribuent pour $2R_m^2$ alors que celui de $m=n$ ne contribue que pour R_n^2 à cause de la formulation utilisée pour A_m et B_m , formulation basée sur les conditions d'orthogonalité des sinus et cosinus (Jenkins et Watt, 1968). Pour la même raison, la moyenne ne contribue que pour R_0 .

Lorsque ces valeurs sont portées en graphique en fonction de la fréquence de l'harmonique, on obtient un spectre de ligne de Fourier; il suffit alors de modifier l'échelle pour obtenir le pourcentage de variance expliquée.

4.4.3 Test sur les coefficients de Fourier

Appliquons la transformée de Fourier à un processus discret Z_t purement aléatoire (bruit blanc discret). Soient $A' = NA$ et $B' = NB$ avec A et B les coefficients de Fourier, on peut démontrer que $A'(f_k)$ et $B'(f_k)$ sont distribuées normalement, de sorte que les variables

$$\frac{A'^2(f_k)}{\text{Var}(A'(f_k))} = \frac{2 A'^2(f_k)}{N\sigma_Z^2}$$

$$\frac{B'^2(f_k)}{\text{Var}(B'(f_k))} = \frac{2B'^2(f_k)}{N\sigma_Z^2}$$

où σ_Z^2 est la variance de Z_t et f_k (ou f) est la fréquence de la k -ième harmonique.

sont distribuées en χ^2 ($\nu = 1$). De plus, ces variables étant non-corrélées et indépendantes, leur somme

$$\frac{2}{N\sigma_Z^2} (A'^2(f_k) + B'^2(f_k)) = Y(f_k)$$

est distribuée en χ^2 ($\nu = 2$).

$B'(f_k)$ étant identiquement égal à zéro à la fréquence de Nyquist,

$$Y(1/2\Delta) = \frac{A'^2(1/2\Delta)}{\text{var}(A'(1/2\Delta))} = \frac{A'^2(1/2\Delta)}{N\sigma_Z^2}$$

est distribuée en χ^2 ($\nu = 1$) de même que la moyenne A_0 .

Les variables aléatoires $Y(f_k)$ à des fréquences différentes sont non-corrélées et indépendantes.

Il est importante de noter que, même si le processus Z_t n'est pas normal, les variables aléatoires $A'(f)$ et $B'(f)$ sont très près de la Normale d'après le théorème de la limite centrale (Kendall et Stuart, 1969). Ainsi, la distribution de $Y(f)$ sera très proche de χ^2 ($\nu = 2$) indépendamment de la distribution du processus Z_t .

Par conséquent l'hypothèse

H_0 : les coefficients de Fourier $A(f)$ et $B(f)$
sont ceux d'un processus aléatoire

sera vraie au niveau de signification α si

$$Y(f) < \chi_{\alpha}^2 \quad (\nu = 2)$$

ou

$$Y(1/2\Delta) < \chi_{\alpha}^2 \quad (\nu = 1)$$

$Y(f)$ peut être relié au pourcentage de variance expliquée:

$$\begin{aligned} Y(f) &= \frac{2}{N\sigma_Z^2} (A'^2(f) + B'^2(f)) \\ &= \frac{2}{N\sigma_Z^2} N^2(A^2+B^2) = \frac{2N}{\sigma_Z^2} R^2(f) \\ &= 0.01 N P_m \end{aligned}$$

d'après 4.4.

D'où

$$\frac{N P_m}{100} < \chi_{\alpha}^2 \quad (\nu = 2)$$

et

$$\frac{N P_{N/2}}{100} < \chi_{\alpha}^2 (\nu = 1)$$

Donc, si le pourcentage de variance expliquée par l'harmonique m est inférieur à $\frac{100}{N} \chi_{\alpha}^2 (\nu = 2)$, cette harmonique est supposée due à un processus aléatoire et n'est pas prise en considération. Dans le cas contraire, nous supposerons que R_m et ϕ_m sont respectivement l'amplitude et la phase de cycles dont l'existence est démontrée.

Puisqu'aucune étude n'a encore été effectuée sur l'application de ce test à la biologie, nous préférons agir prudemment et utiliser les deux niveaux de signification 5% et 1% dont nous comparerons les résultats respectifs. Nous estimons qu'un niveau supérieur à 5% laisserait trop de place au hasard alors qu'un niveau inférieur à 1% risquerait d'éliminer une information précieuse.

CHAPITRE 5

RESULTATS

5.1 Distribution spatiale des poissons et stations choisies

On trouvera aux tableaux II à V le total des prises par station en 1965 et 1968 respectivement pour chaque espèce. Le tableau XI donne les numéros des stations acceptées par le premier critère et le tableau XII celles acceptées par les deux critères.

Notropis cornutus: on voit que cette espèce avait, en 1965, une forte préférence pour la zone littorale, mais se retrouvait tout de même en assez grand nombre dans le reste de la section, sauf à la profondeur de 3.7 mètres (12 pieds), profondeur correspondant ou légèrement supérieure à celle de la thermocline.

Une distribution semblable se retrouve en 1968 sauf pour la ligne 7D beaucoup plus forte que l'ensemble. De plus, il semble que cette espèce se retrouve plus profondément qu'en 1965.

Dû à cette répartition homogène des ménés à nageoires rouges, pour l'année 1968, très peu de nasses sont rejetées par l'un et l'autre des critères de sélection. Notons la station 6C1 qui, malgré ses 47 prises de cette espèce, est rejetée par le critère no. 1 à cause du trop grand nombre de mesures nulles, ce qui la rend probablement non-significative.

Par contre, en 1965, bien que la plupart des nasses aient compté suffisamment souvent pour être acceptées par le premier critère, seules trois nasses sont acceptées par le second car elles sont beaucoup plus fortes que les autres.

Semotilus atromaculatus: les individus de cette espèce sont très localisés tant en 1968 qu'en 1965. On ne les retrouve, à toute fin pratique, que près des berges. On comprendra donc aisément que le premier critère ne conserve que ces stations et que le second ne conserve, en tout, que sept stations, soient celles qui ont les effectifs les plus nombreux.

Catostomus commersoni: on ne capture que très peu d'individus de cette espèce. Ils sont répartis dans l'ensemble du volume du lac avec une certaine préférence pour les profondeurs intermédiaires.

A cause du faible taux de capture, la plupart des stations sont rejetées par le premier critère.

Chrosomus sp.: la distribution de cette espèce est semblable à celle du mullet à cornes mais avec un nombre de captures de 2 à 4 fois plus faible.

Exoglossum maxilingua: la distribution est semblable à celle du mullet à cornes et du Chrosomus sp., mais le nombre de captures est très bas, sauf pour la station de la rive Nord de la section 7; notons que cette station est, parmi les stations riveraines, celle qui a compté le moins de Chrosomus.

Face à ces deux espèces, les critères de sélection agissent de la même façon que pour le mullet à cornes.

La répartition spatiale de l'activité de l'ensemble des cinq espèces pour 1965 et 1968 est donnée à titre de référence au tableau VI.

5.2 Périodes et phases

On trouvera aux tableaux XIII a, b et c les valeurs obtenues par l'analyse de Fourier des données standardisées dans les trois cas suivants:

- toutes les stations sont utilisées;
- seules les stations satisfaisant au critère no. 1;
- seules les stations satisfaisant aux deux critères.

Pour chaque cycle deux périodes sont données: " T_B " la période "biologique"¹; nous en supposons six possibles, soit celles correspondant aux fréquences 1, 2, 3, 4, 5 et 6 cycles par jour; " T_M " la période mathématique² pour laquelle le pourcentage de variance expliquée est maximal; la précision³ avec laquelle cette période mathématique peut être déterminée dépend de façon inverse de l'intervalle de fréquence entre les cycles calculés ou, de façon directe, du nombre de cycles utilisés dans l'analyse de Fourier.

¹

Il s'agit là des périodes que l'on s'attend à observer dans une communauté stable dont l'activité est régie par le seul cycle externe quotidien connu, celui de la rotation de la Terre sur son axe. Il est raisonnable de penser que, si les autres conditions externes étaient maintenues constantes, cette activité se répéterait exactement d'une journée à l'autre et pourrait par conséquent être décrite uniquement par des harmoniques entières de la fréquence de base imposée par la rotation terrestre. Il s'agit là également de la valeur moyenne vers laquelle tendrait le cycle journalier une fois éliminée la variation saisonnière, le bruit ayant une moyenne nulle.

²

Le bruit sur un nombre limité de journées de mesures n'ayant pas nécessairement une valeur moyenne nulle, la période obtenue mathématiquement pourra être légèrement différente de celle définie précédemment (T_B).

³

A ne pas confondre avec l'intervalle de confiance de la période qui dépend lui-aussi du nombre de données mais qu'on ne peut améliorer que par des journées supplémentaires d'expérimentation. Il s'agit plutôt ici de déterminer la période qui minimise l'écart quadratique moyen entre une fonction théorique et les données disponibles.

Ce nombre est généralement de $N/2$ où N est le nombre de données, mais il peut être augmenté en modifiant les équations du chapitre 4 section 4.3, ou plus simplement en utilisant la technique du remplissage (Henry et Graefe, 1971) qui consiste, rappelons-le, à ajouter à la suite des N données réelles, un nombre " mN " de zéros. La précision est ainsi améliorée par un facteur " $m+1$ ". Nous avons utilisé la valeur $m=3$, ce qui nous est apparu comme une valeur amplement suffisante.

Dans ces tableaux, on trouvera également les pourcentages de variance expliquée par ces cycles, les coefficients de Fourier A_m et B_m et les "phases" correspondantes. Pour plus de clarté, les phases sont données, non en radian ou en degrés, mais en heures et en minutes; il s'agit de l'heure où se situe le premier maximum de la journée pour chaque cycle isolé moins une heure puisque les mesures d'une heure donnée correspondent en fait à la sommation de l'activité sur les deux heures précédentes.

Le tableau XIV présente, pour le pourcentage de variance expliquée par une fréquence acceptée statistiquement au niveau de 1%, la différence entre la valeur obtenue en utilisant un ou deux critères de sélection et celle obtenue en utilisant toutes les stations.

En se basant sur la somme de ces différences, on peut déterminer que les résultats sont meilleurs avec deux critères pour le méné à nageoires rouges, un seul critère pour le mulot à cornes et aucune sélection pour les

¹

Notre but étant d'expliquer le plus de variance avec le moins de paramètres (donc le moins de cycles) possible, nous avons choisi le niveau $\alpha = 1\%$ parce qu'il est plus sévère que le niveau 5%.

autres; en terme de nombre de prises, on peut dire que l'espèce qui en compte le plus accepte une sélection sévère des stations, celle qui compte un nombre moyen d'individus peut être sélectionnée modérément alors que celles qui ne présentent qu'une faible population ne doivent pas l'être, du moins avec les présents critères. En effet, si on assimile la sélection des stations au filtrage d'un mélange signal-bruit, d'autres sciences (la physique atomique et moléculaire tout particulièrement) qui utilisent depuis longtemps les filtres tant analogiques que numériques nous enseignent que plus un signal est faible, plus le filtre utilisé doit être sophistiqué. Cependant, une autre explication peut être envisagée soit que les espèces à faible population n'aient pas besoin d'être "filtrées" ou sélectionnées du fait que mêmes les stations qui comptent très peu d'individus représentent néanmoins un signal et non un bruit. En d'autres mots, lorsqu'il y a peu d'individus, on ne peut les capturer que lorsqu'ils sont en pleine activité, alors que lorsque la population est grande on peut capturer quelques individus en dehors tant de leur période que de leur lieu habituels d'activité.

Les résultats présentés aux figures 14 et suivantes utilisent pour chaque espèce le type de sélection qui permet d'expliquer le plus de variance avec le minimum de cycles.

Ne sont considérés comme étant statistiquement significatifs que les cycles dont le pourcentage de variance expliquée est supérieur à:

$$\frac{100}{N} \chi^2 (1\%) = \frac{100}{168} \times 9.21 = 5.48\%$$

Pour les raisons présentées au paragraphe 4.4.3, nous utiliserons également, à titre de comparaison, les cycles qui ne sont pas considérés comme aléatoires au niveau 5% i.e. $\% V.E. > \frac{100}{168} \times 5.99 = 3.57\%$

5.3 Comparaison entre les deux niveaux de signification statistique

Comme nous l'avons vu, la série des données pour chaque espèce peut être décomposée en une ou plusieurs courbes de forme sinusoïdale, celles qui nous intéressent tout particulièrement présentant une fréquence de un à six cycles par jour. Il est possible que la présence de l'une ou l'autre de ces fréquences soit liée à un phénomène cyclique externe présent ou passé, mais la présente expérience ne permet pas de vérifier cette hypothèse, les paramètres extérieurs ne pouvant être suffisamment contrôlés; nous avons d'ailleurs discuté ce point au chapitre 2 traitant des objectifs.

Cela ne constitue d'ailleurs pas pour nous un inconvénient majeur puisque ce qui est important pour l'équilibre du lac ce n'est pas une composante déterminée de l'activité d'une espèce mais la résultante (qui peut n'avoir qu'une lointaine ressemblance avec une courbe sinusoïdale, cf. fig. 13b) des diverses composantes de cette activité, c'est-à-dire cette activité elle-même une fois débarrassée du "bruit". C'est cette résultante que nous donnons aux figures 14 et suivantes pour chacune des cinq espèces échantillonnées.

Tel que mentionné précédemment, deux niveaux de signification statistique d'élimination du bruit sont utilisés pour fin de comparaison.

Pour le méné à nageoires rouges et le mullet à cornes, il n'y a aucune différence puisque les mêmes cycles sont acceptés à 5% et 1% pour ces deux espèces, les cycles réels dominant largement le bruit.

Pour le meunier noir et le Chrosomus sp., on accepte une fréquence additionnelle à 5% par rapport à 1%, mais elle n'apporte que de très faibles modifications tant dans les amplitudes que dans la position des divers maxima et minima.

Par contre, pour le bec-de-lièvre, on passe de cinq fréquences acceptées à 5% vers deux seulement pour $\alpha = 1\%$ et ceci modifie largement l'amplitude de trois pics d'activité, mais laisse inchangée celle du quatrième; cependant, la position d'aucun de ces pics ne subit de modification notable.

Ainsi, nous voyons que pour une étude comparative des phases, nous pouvons utiliser indifféremment $\alpha = 5\%$ ou $\alpha = 1\%$; les conclusions seront les mêmes. Finalement, nous avons choisi d'utiliser $\alpha = 1\%$ pour limiter autant que possible le nombre de variables explicatives (trois par fréquence), mais nous nous référerons également au niveau 5% pour le bec-de-lièvre.

5.4 Explication des pics d'activité

La comparaison des graphiques d'activité moyenne reconstituée à partir des cycles de Fourier nous permet de constater la très grande similitude entre les patrons de quatre des cinq espèces, chacune d'elles présentant deux pointes majeures d'activité, une pointe mineure et une quatrième

négligeable ou même inexistante (Chrosomus). Quant à la cinquième espèce, le bec-de-lièvre, elle présente également deux pics majeurs, mais pour $\alpha = 1\%$ on trouve deux (et non une) crête mineure non négligeable; cependant, si on monte à $\alpha = 5\%$, on obtient un schéma se rapprochant beaucoup plus de celui des quatre autres espèces, ce qui procure un préjugé favorable pour ce dernier schéma, bien que la conclusion soit rendue d'autant plus difficile pour cette dernière espèce que ce niveau statistique implique neuf valeurs explicatives supplémentaires. Ce problème ne se pose aucunement ni pour le schéma complet des quatre autres espèces ni pour les deux maxima majeurs du bec-de-lièvre.

Après cette brève comparaison d'un point de vue qualitatif, nous pouvons maintenant faire un parallèle semblable au niveau quantitatif: l'une des valeurs écologiquement importantes est l'heure (ou les heures) à laquelle chaque espèce exerce son maximum (ou ses maxima) d'activité.

La dimension temps peut constituer l'élément distinctif de la niche écologique d'une espèce par rapport à celle d'une autre espèce; cela n'est manifestement pas le cas pour les cinq espèces de ménés peuplant le lac Cromwell. En effet, comme on peut le constater au tableau XV, les pointes d'activité des cinq espèces correspondent à une heure près, laps de temps inférieur à l'intervalle entre deux relevés des nasses (deux heures) de même qu'à la largeur des pics (largeur à mi-hauteur de l'ordre de quatre heures).

5.5 Analyse des résultats

Il nous apparaît maintenant que les cinq espèces de ménés qui peuplent le lac Cromwell suivent le même patron de base dans leur activité quotidienne durant les mois d'été.

Cette conclusion est-elle en accord avec les études antérieures sur ces mêmes espèces? En ce qui concerne l'Exoglossum maxilingua, il n'existe, à notre connaissance, aucune autre étude qui puisse permettre une comparaison de son activité circadienne.

Une seule espèce du genre Chrosomus, C. erythrogaster a fait l'objet d'une étude: Phillips (1969) constate une activité nutritive presque exclusivement diurne ce qui est en accord avec nos propres constatations sur une espèce du même genre.

Il n'en est pas exactement de même pour le S. atromaculatus puisque Barber et Minckley (1971) ont déterminé que cette espèce se nourrissait d'avantage en soirée ce qui est en accord avec ce que nous trouvons nous-même, mais par contre le maximum de 9 heures A.M. n'apparaît nullement dans leurs résultats. Cependant, leur étude ne s'étend que sur deux jours et leurs prises d'échantillons sont ponctuelles dans le temps, distantes de 4 heures et basées sur le volume moyen de nourriture contenue dans l'estomac des poissons; ainsi, si nous supposons que la moyenne sur deux jours est valable, nous devons conclure que le pic d'activité du matin a un but autre que la nutrition; ce pourrait être, par exemple, la recherche d'un endroit dont la température serait plus adéquate.

Deux expériences reliées à l'activité circadienne chez le Notropis cornutus nous sont connues: la première remonte à 1936 alors que R.G. Clausen mesura la consommation horaire d'oxygène chez quatre individus de cette espèce.

Cette consommation s'abaisse fortement entre onze et seize heures mais reste relativement constante le reste du temps. Cependant cette expérience fut conduite en laboratoire à température quasi-constante et les aquariums étant maintenus dans une obscurité constante, de sorte qu'une comparaison avec nos résultats n'a que peu de signification. La seconde observation de l'activité de cette espèce est celle d'Emery (1973):

"the common shiner... (was) seen on several occasions at night with no color change, resting on their pectoral fins on the bottom in very shallow water near rocks, in the area normally frequented in the daytime".

En résumé, bien que peu nombreuses, les études sur l'activité des cyprinidés semblent conclure à une activité de type diurne.

Le Catostomus commersoni a été beaucoup plus étudié, sans doute parce que l'on a cru longtemps qu'il faisait concurrence à la truite et à d'autres poissons dits nobles ou sportifs.

L'un des premiers articles où il en est question est celui de Spoor et Schloemer (1939) qui trouvent deux maxima; entre trois et cinq heures et entre dix-neuf et vingt et une heures à une profondeur de six mètres. Cependant, comme un certain nombre de meuniers noirs sont capturés dans le jour

à huit mètres, les auteurs concluent que la variation dans le nombre de prises n'est pas due à un cycle d'activité mais à un déplacement vers les profondeurs durant le jour.

En 1946, Andrews découvre que, pour une intensité lumineuse donnée, le meunier noir a une certaine profondeur préférentielle directement fonction de sa taille. Cependant, l'expérience se déroulait dans un bac qui n'avait que deux pieds de profondeur et l'auteur ne donne pas de relation entre cette profondeur et l'intensité lumineuse.

Carlander et Cleary (1949) écrivent:

"The common suckers, Catostomus commersoni (Lacépède), show in a striking degree a change of habitat. In the deeper waters they are caught mostly during the day time, but during the night they are taken in the shallow water".

"Shallow water" signifiait pour eux une profondeur inférieure à 10 pieds (3 mètres).

Carlander (1953) ne trouve aucun cycle journalier.

Campbell (1971) constate que les meuniers noirs en captivité se regroupent durant le jour mais se dispersent et sont plus actifs la nuit.

On aura remarqué que toutes les observations que nous venons de citer sont en désaccord avec nos propres résultats puisque pour le meunier noir nous trouvons une activité forte le jour et quasi-nulle la nuit.

On pourrait en attribuer la cause à une différence de latitude puisque les expériences citées ci-dessus ont toutes été faites aux Etats-Unis, mais cette hypothèse est démentie par les résultats de Fortin (1967) au lac Assomption (province de Québec) et de Emery (1973) dans deux lacs de l'Ontario, résultats qui sont en concordance parfaite avec tous les autres.

Il est possible que cette disparité dans leur comportement soit due à une différence d'âge. En effet, alors que les autres expérimentateurs travaillaient avec des filets maillants, les données qui font l'objet de la présente analyse ont été acquises avec l'aide de nasses, d'où la possibilité d'une différence de taille et, par corrélation, d'une différence d'âge.

Toutefois, une autre explication nous apparaît tout aussi plausible; il est, en effet, possible que, en dépit de l'apparente contradiction entre les résultats de nos prédécesseurs et les nôtres, ceux-ci soient en fait une confirmation de ceux-là. Pour expliquer cette affirmation, il nous faut rappeler le but de cette expérience; mesurer l'activité nutritive. Or, il nous apparaît maintenant que, pour le meunier noir, cela n'est pas possible avec l'agencement utilisé pour les nasses dans notre expérience (du moins, pas avec les méthodes classiques d'analyse).

En effet, supposons que les meuniers noirs du lac Cromwell se comportent exactement comme les autres individus de cette espèce; nous savons alors, d'après les auteurs cités précédemment, qu'ils seront en surface pendant le jour et en profondeur la nuit; nous savons également qu'ils ne se

nourrissent que la nuit, donc en profondeur. Or, c'est près de la surface que nous avons le plus de nasses. On comprendra alors aisément pourquoi un si petit nombre de meuniers noirs furent comptés et pourquoi le bruit était si difficile à éliminer pour cette espèce.

Nous avons expliqué précédemment pourquoi il était préférable d'analyser la résultante de l'activité au lieu de prendre chaque cycle indépendamment. Ceci était valable pour les quatre autres espèces, mais le meunier noir est un cas particulier; en effet, pour cette espèce, deux types d'activité cyclique se superposent, la nutrition et la migration, les prises dues au premier étant beaucoup moins nombreuses que celles dues au second. Il nous faut donc faire un pas de plus et analyser les cycles individuellement ou mieux, dans différents groupements. On trouvera le résultat de ces groupements à la figure 19 qui présente deux courbes intitulées respectivement activité "primaire" et activité "secondaire". Cette dernière présente quatre pics; deux d'entre eux correspondent à ceux de l'activité primaire et s'y ajouteront pour en modifier l'amplitude relative. Le troisième correspond au pic de 14 heures. Mais celui qui nous intéresse tout particulièrement, c'est le pic de nuit dont l'amplitude, de négligeable qu'elle était dans la fig. 18 est maintenant nettement visible. D'après les publications antérieures, ce pic correspondrait à l'activité nutritive nocturne en eau profonde. Cependant, nous la situons entre minuit et une heure plutôt qu'à trois heures. Rappelons que l'activité indiquée dans nos graphiques correspond à l'activité moyenne au cours des deux heures précédentes; il faut donc effectuer un décalage d'environ une heure en moyenne.

Quant aux pics majeurs, ils correspondent non pas à une activité nutritive mais à une migration verticale. Quant au pic de 14 heures, dont

il n'est fait mention dans aucune autre publication, il pourrait correspondre soit à une nutrition, soit à une activité de migration horizontale ou verticale mineure (pour chercher l'ombre par exemple), soit à un bruit.

5.6 Efficacité de la méthode

Lors de l'application d'une nouvelle technique (ou d'une ancienne technique dans un nouveau domaine), il est évidemment important de déterminer si elle est vraiment utile ou si, au contraire, les anciennes méthodes ne seraient pas préférables.

Le tableau XVII permet de comparer le pourcentage de variance expliquée premièrement par les douze moyennes aux deux heures données au tableau XVI et deuxièmement par les quatre cycles (= douze paramètres) les plus intenses de chacune des cinq espèces. On constate que cette deuxième méthode donne un meilleur ajustement dans les cinq cas.

CONCLUSION

Notre étude a porté sur cinq espèces de ménés. Les résultats obtenus concordent avec ceux d'autres auteurs, mais nous avons pu vérifier que l'analyse en série de Fourier, telle que nous l'avons appliquée, permet d'identifier et de situer de façon plus précise les pics d'activité journalière lorsque plus de dix jours de mesures sont disponibles même s'il ne s'agit pas de journées consécutives.

Nous avons également constaté, dans le cas du catostome noir commun en particulier, que, avec l'appui d'autres types de mesures (contenu stomacal, etc.) pouvant être de moins longue durée et n'ayant pas nécessairement été faites en même temps, voire au même endroit, l'analyse en série de Fourier peut permettre d'attribuer à chaque pic d'activité un but spécifique tel que locomotion, nutrition, etc.

Enfin, nous avons démontré que, dans les cinq cas étudiés, la modélisation par les cycles de Fourier permet d'expliquer un pourcentage de la variance plus élevé que celui expliqué par les douzes moyennes aux deux heures.

Nous pouvons donc conclure que, en dépit de sa formulation mathématique plus complexe, l'analyse en série de Fourier présente des possibilités très intéressantes dans l'analyse de l'activité cyclique des poissons.

PROSPECTIVES

Voici, parmi de nombreuses autres possibilités, trois études qui pourraient être faites sur les données que nous avons utilisées dans ce mémoire.

La première aurait pour but de vérifier l'une des hypothèses présentées au chapitre 4, soit celle portant sur l'homogénéité spatiale des données; il serait tout particulièrement intéressant de faire cette vérification au niveau des phases des harmoniques. Par exemple, l'activité du côté ouest du lac pourrait débiter plus tôt que du côté est si le cycle est induit par le soleil, ce qui se traduirait par deux phases différentes. Cependant, étant donné la topographie du lac et des environs, cette différence sera sûrement très faible et, puisque les tests connus actuellement pour étudier la signification statistique d'une telle différence sont très approximatifs, celà constituerait un problème très intéressant pour un statisticien.

La deuxième étude que nous proposons serait de modifier le modèle. Nous avons utilisé un modèle "analogique". Etant donné que l'écologiste veut surtout savoir s'il y a activité ou non, il pourrait être préférable d'utiliser un modèle binaire, c'est-à-dire un modèle où l'activité devient "1" quand elle atteint un certain seuil et devient "0" quand elle ne le dépasse pas.

Enfin, il serait intéressant de connaître quel niveau serait préférable dans l'application du test sur la signification statistique des cycles; cette étude nécessiterait toutefois des données supplémentaires, mais pas nécessairement sur les mêmes espèces animales: des données sur d'autres classes pourraient aussi être utilisées.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ADAMOWSKI, K. (1971).

"Spectral density of a river flow time series". J. Hydrol. (Amst.),
14(1): 43-52.

AMERICAN SOCIETY OF NATURALISTS (1964).

"The time measurement in photoperiodic phenomena (symposium)". Am.
Nat., 98(902): 259-386.

ANDERSON, V.L. et MCLEAN, R.A. (1974).

"Design of experiments". Marcel Dekker, Inc., New York. 418 p.

ANDREWS, C.W. (1946).

"Effect of heat on the light behaviour of fish". Trans. R. Soc. Can.,
sect. 40: 27-31.

ASCHOFF, J. (1961).

"Exogenous and endogenous components in circadian rhythms". Cold
Spring Harbor Symp. Quant. Biol., 25: 11-28.

ASCHOFF, J. (1965).

"Circadian clocks". North-Holland Publishing Co., Amsterdam. 479 p.

BAILEY, N.T.J. (1959).

"Statistical methods in biology". The English Universities Press,
London, 200 p.

BARBER, W.E. et MINCKLEY, W.L. (1971).

"Summer foods of the Cyprinid fish Semotilus atromaculatus". Trans.
Am. Fish. Soc., 100(2): 283-289.

BEAMISH, F.W.H. (1964).

"Respiration of fishes with special emphasis on standard oxygen con-
sumption, II. Influence of weight and temperature on respiration of
several species". Can. J. Zool., 42(2): 177-188.

BELLAMY, D. (1970).

"Animal rhythms". Sci. Prog., Oxford, 58: 99-115.

BLACKBURN, J.A., ed. (1970).

"Spectral analysis: methods and techniques". Marcel Dekker Inc.,
New York. 289 p.

BRAWN, V.M. (1960).

"Seasonal and diurnal vertical distribution of herring (Clupea haren-
gus L.) in Passamaquoddy Bay, N.B." J. Fish. Res. Board Can. 17(5):
699-711.

BROWN, Jr. F.A., HASTINGS, J.W. et PALMER, J.O. (1970).

"The biological clock: two views". Academic Press, New York. 94 p.

BUENNING, E. (1964).

"The physiological clock". Academic Press Inc., New York. 134 p.

BUENNING, E. (1971).

"Symptoms, problems, and common features of circadian rhythms in plants
and animals". Proc. int. Symp. circadian Rhythmicity (Wageningen),
pp. 11-31.

BURNS, E.R. (1975).

"Chronobiology". Pavlovian J. Biol. Sci., 10(3): 161-185.

BYRNE, J.E. (1971).

"A further contribution to using ultrasonic sensors for fish activity
studies". Trans. Am. Fish. Soc., 100(4): 792-794.

CAMPBELL, K.P. (1971).

"Influence of light and dark periods on spatial distribution and acti-
vity of the white sucker, Catostomus commersoni. Trans. Am. Fish. Soc.,
100(2): 353-355.

CARLANDER, K.D. et CLEARY, R.E. (1949).

"The daily activity patterns of some freshwater fishes". Am. Midl. Nat., 41(2): 447-452.

CARLANDER, K.D. (1953).

"When to fish". Iowa Conserv., 12(7): 147.

CLAUSEN, R.G. (1936).

"Oxygen consumption in fresh water fishes". Ecology, 17(2): 216-226.

CLOUDSLEY-THOMPSON, J.L. (1961).

"Rhythmic activity in animal physiology and behaviour". Academic Press, New York. 224 p.

COLD SPRING HARBOR LABORATORY (ed.). (1961).

"Cold Spring Harbor symposia on quantitative biology, vol. XXV: biological clocks". Long Island Biological Association, New York. 524 p.

CUMMINGS, W.C. (1963).

"Using the Doppler effect to detect movements of captive fish in behavior studies". Trans. Am. Fish. Soc., 92(2): 178-180.

CRIFE, C.R., CRIFE, J.H. et LIVINGSTON, R.J. (1975).

"Apparatus for the quantitative determination of locomotor activity patterns of aquatic organisms using infrared light-emitting diodes". J. Fish. Res. Board Can., 32(10): 1884-1886.

DELLEUR, J. (1971).

"Développements récents en matière d'analyse des chroniques d'événements hydrologiques: liaison en chaîne, analyse spectrale". La Houille Blanche, no. 2, p. 147-157.

ELLIOT, J.M. (1971).

"Some methods for the statistical analysis of samples of benthic invertebrates". Freshw. Biol. Assoc. Sci. Publ. no. 25, 148 p.

EMERY, A.R. (1973).

"Preliminary comparisons of day and night habits of freshwater fish in Ontario lakes". J. Fish. Res. Board Can., 30(6): 761-774.

ENRIGHT, J.T. (1970).

"Ecological aspects of endogenous rhythmicity". Annu. Rev. Ecol. Syst., 1: 221-238.

FORNEY, J.L. (1957).

"Bait fish production in New York ponds". N. Y. Fish Game J., 4(2): 150-194.

FORTIN, R. (1967).

"Recherches sur la croissance en longueur, la croissance en poids, la reproduction, la mortalité et la dynamique de la population de Catostomus commersoni du lac l'Assomption". Thèse de maîtrise, Université de Montréal, 83 p.

FRY, F.E.J. (1947).

"Effects of the environment on animal activity". Univ. Toronto Stud. Biol. Ser., no. 55: 1-62.

GAUQUELIN, M. (1973).

"Rythmes biologiques, rythmes cosmiques". Marabout Université, Verviers (Belgique). 256 p.

GRANGER, C.W.J. et HATANAKA, M. (1964).

"Spectral analysis of economic time series". Princeton University Press, Princeton. 299 p.

HANNAN, E.J. (1960).

"Time series analysis". Science Paperbacks, London. 152 p.

HARKER, J.E. (1964).

"The physiology of diurnal rhythms". Cambridge University Press, London. 114 p.

HARRIS, J.E. (1963).

"The role of endogenous rhythms in vertical migration". J. Mar. Biol. Assoc. U.K., 43: 153-166.

HART, J.L. (1931).

"On the daily movements of the coregonine fishes". Can. Field-Nat., XLC: 8-9.

HENDERSON, N.E. (1963).

"Influence of light and temperature on the reproductive cycle of the eastern brook trout, Salvelinus fontinalis (Mitchill)". J. Fish. Res. Board Can., 20(4): 859-897.

HENRY, R.F. et GRAEFE, P.W.U. (1971).

"Zero padding as a mean of improving definition of computed spectra". Marine Sciences Branch, Environment Canada, Dept. of Energy, Mines and Resources, Ottawa. Manuscript Report Series, 20: 10 p.

HOAR, W.S. (1942).

"Diurnal variations in feeding activity of young salmon and trout". J. Fish. Res. Board Can., 6(1): 90-101.

HUET, M. (1970).

"Traité de pisciculture". Editions Ch. de Wyngaert, Bruxelles. 718 p.

HUNTER, J.R. (1966).

"Procedure for analysis of schooling behavior". J. Fish. Res. Board Can., 23(4): 547-562.

JENKINS, G.M. et WATT, D.G. (1968).

"Spectral analysis and its applications". Holden Day, San Francisco. 525 p.

KENDALL, M.G. et STUART, A. (1969).

"The advanced theory of statistics". (3rd edition). Hafner Publishing Co., New York. 3 vol.

KIRMSE, D.W. et WESTERBERG, A.W. (1971).

"Resolution enhancement of chromatograph peaks". Anal. Chem., 43(8):
1035-1039.

KRUVK, H. (1963).

"Diurnal periodicity in the activity of the common sole, Soles vulgaris
(Quensel)". Neth. J. Sea Res., 2(1): 1-28.

LAGACE, M. (1975).

"Le rythme circadien d'activité locomotrice en laboratoire, du crapet-
soleil (Lepomis gibbosus) et de la perchaude (Perca flavescens)".
Thèse de maîtrise, Institut National de la Recherche Scientifique (Uni-
versité du Québec), Québec. 105 p.

LUK'YANENKO, V.I. et FLEROV, B.A. (1964).

"The effect of the seasonal factor on toxicity resistance of fish".
Vopr. Ikhtiol., 4(1(30)): 178-183.

MASON, J.C. (1975).

"Seaward movement of juvenile fishes, including lunar periodicity in the
movement of coho salmon (Oncorhynchus kisutch) fry". J. Fish. Res.
Board Can., 32(12): 2542-2547.

MEFFERT, P. (1968).

"Ultrasonic recorder for locomotor activity studies". Trans. Am. Fish.
Soc., 97: 12-17.

OSTLE, B. (1963).

"Statistics in research". (2nd edition). The Iowa State University
Press, Ames. 585 p.

PARK, O. (1941).

"Quantitative determination of rhythmicity in organisms". Ohio J. Sci.,
41(1): 39-45.

PETERS, R.C. (1973).

"Electro-actography in fresh-water fish". *Experientia*, 29(3): 378-380.

PHILLIPS, G.L. (1969).

"Diet of minnow Chrosomus erythrogaster (Cyprinidae) in a Minnesota stream". *Am. Midl. Nat.*, 82(1): 99-109.

"Proceedings of the international symposium on circadian rhythmicity, Wageningen, the Netherlands, 26-29 April 1971". Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 1972. 212 p.

RICHARDSON, N.E. et McLEAVE, J.D. (1974).

"Locomotor activity rhythms of juvenile Atlantic Salmon (Salmo salar) in various light conditions". *Biol. Bull.*, 147(2): 422-432.

RICHKUS, W.A. (1974).

"Factors influencing the seasonal and daily patterns of alewife migration in a Rhode Island river". *J. Fish. Res. Board Can.*, 31(9): 1485-1497.

RICHTER, C.P. (1965).

"Biological clocks in medicine and psychiatry". C.C. Thomas, Springfield, Ill. 109 p.

ROUSSEAU, A. (1970).

"Activité et répartition journalières des poissons des lacs Cromwell, Croche et Quenouille dans les Laurentides". Rapport d'étude 1964 et 1965. Station de biologie de l'Université de Montréal, St-Hippolyte, P. Qué. 80 p.

SALISBURY, F.B. et ROSS, C. (1969).

"Plant physiology". Wadsworth Publishing Co., California. Chap. 24: the biological clock; Chap. 26: Photoperiodism.

SCOTT, W.B. et CROSSMAN, E.J. (1973).

"Freshwater fishes of Canada". Fish. Res. Board Can., Bull. 184, Ottawa. 966 p.

SHASTRY, J.S., FAN, L.T. et CRICKSON, L.E. (1972).

"Analysis of water quality data using spectral analysis". Water, Air, Soil Pollut., 1(3): 233-256.

SINGLETON, R.C. (1969).

"A short bibliography on the fast Fourier transform". IEEE Trans. Audio and Electroacoustics. AU-17(2): 166-169.

SOLLBERGER, A. (1965).

"Biological rhythm research". Elsevier Publishing Co., Amsterdam. 461 p.

SPOOR, W.A. et SCHLOEMER, C.L. (1938).

"Diurnal activity of the common sucker, Catostomus commersonii (Lacépède), and the rock bass, Ambloplites rupestris (Rafinesque), in Muskegon Lake". Trans. Am. Fish. Soc., 68: 211-220.

SPOOR, W.A. (1941).

"A method for measuring the activity of fishes". Ecology, 22(3): 329-331.

STILL, H. (1972).

"Of time, tides and inner clocks". Stackpole Books, Harrisburg, Pa. 218 p.

SWIFT, D.R. (1962).

"Activity cycles in the brown trout (Salmo trutta Lin.) 1. Fish feeding naturally". Hydrobiologia, 20(3): 241-247.

SWIFT, D.R. (1964).

"Activity cycles in the brown trout (Salmo trutta L.) 2. Fish artificially fed". J. Fish. Res. Board Can., 21(1): 133-138.

THOMAS, P.M. et LEGAULT, R.O. (1967).

"The effects of industrial wastes for Charmin Paper Products Company on fish of the Cheboygan River drainage system". Water Res., 1(3): 217-229.

TRIBOULET, J.P. (1975).

"Modèle stochastique de la température moyenne journalière de l'air".

Thèse de maîtrise ès sciences, Université Laval, Québec. 257 p.

WALLER, W.T. et CAIRNS, J. (1972).

"The use of fish movement patterns to monitor zinc in water". Water Res., 6(3): 257-269.

WEBB, H.M. et BROWN, F.A. (1959).

"Timing long-cycle physiological rhythms". Physiol. Rev., 39: 127-161.

WEBB, C. (1970).

"Practical use of the fast Fourier transform (FFT) algorithm in time-series analysis". Applied Research Lab., University of Texas, Austin. 207 p.

WILDISH, D.J. et POLAR, S.M. (1972).

"An actograph for laterally or ventrally compressed aquatic organisms of medium size". Fish. Res. Board Can. Tech. Rep., 341: 1-14 et appendice.

YEVJEVICH, V. (1972).

"Structural analysis of hydrologic time series". Hydrology Papers, no. 56, Colorado State University, Fort Collins, Colo. 59 p.

TABLEAUX

TABLEAU I

Total des prises sur 14 jours et activité aux deux heures
en pourcentage de l'activité totale journalière; présenté
par espèce et par deux heures.

TOTAL DES PRISES SUR 14 JOURS VS HEURE

HEURE	NOT	NOT	NOT	NOT	SEM	SEM	SEM	SEM	CAT	CAT	CHR	CHR	EXO	EXO
	TOTAL	%	TOTAL	%	TOTAL	%	TOTAL	%	TOTAL	%	TOTAL	%	TOTAL	%
3	35	0.6	26	0.5	7	0.1	5	0.1	2	0.4	3	0.2	4	0.9
5	91	1.6	56	1.1	27	0.6	25	0.5	14	2.7	8	0.6	3	0.7
7	593	10.1	399	7.6	191	4.1	166	3.6	117	22.9	56	4.2	60	14.2
9	1530	26.1	1391	26.3	573	12.2	555	12.0	115	22.5	233	17.5	55	13.0
11	490	8.4	470	8.9	371	7.9	365	7.9	26	5.1	104	7.8	23	5.5
13	258	4.4	238	4.5	326	6.9	313	6.8	24	4.7	87	6.5	29	6.9
15	418	7.1	407	7.7	417	8.8	415	9.0	45	8.8	85	6.4	31	7.3
17	231	3.9	220	4.2	336	7.1	336	7.3	32	6.3	97	7.3	20	4.7
19	613	10.4	569	10.8	644	13.7	626	13.6	71	13.9	299	22.5	53	12.6
21	904	15.4	861	16.3	1307	27.7	1298	28.2	36	7.0	263	19.8	99	23.5
23	456	7.8	429	8.1	459	9.7	454	9.9	23	4.5	94	7.1	39	9.2
1	248	4.2	217	4.1	57	1.2	51	1.1	7	1.4	1	0.1	6	1.4
TOTAL	5867	100.	5283	100.	4715	100.	4609	100.	512	100.	1330	100.	422	100.
	Données originales		Données filtrées par deux critères		Données originales		Données filtrées par un critère		Données originales aucun filtrage		Données originales aucun filtrage		Données originales aucun filtrage	

TABLEAU II

Lac Cromwell. Résultat détaillé des 2016 heures.nasses
de pêche sur la section 6a) à l'été 1965.

Le symbole - indique l'absence de nasse due à la géométrie du lac.

ESPECES	Profon- deur pieds	POSITIONS						
		6	A	B	C	D	E	10
CATOSTOMUS	2		2	0	0	0	0	0
	4		-	0	0	4	1	
	6		-	1	0	2	-	
	8		-	0	0	5	-	
	10		-	8	9	58	-	
	12		-	4	4	21	-	
CHROSOMUS	2		69	0	0	1	15	
	4		-	0	0	1	37	
	6		-	0	0	0	-	
	8		-	0	0	0	-	
	10		-	0	0	1	-	
	12		-	0	0	0	-	
EXOGLOSSUM	2		68	0	0	0	42	
	4		-	0	0	0	19	
	6		-	0	1	0	-	
	8		-	0	1	0	-	
	10		-	0	1	0	-	
	12		-	1	0	0	-	
NOTROPIS	2		126	12	14	7	210	
	4		-	13	17	36	292	
	6		-	13	29	43	-	
	8		-	16	29	52	-	
	10		-	30	26	43	-	
	12		-	4	0	3	-	
SEMOTILUS	2		511	0	1	1	92	
	4		-	0	0	1	82	
	6		-	0	0	0	-	
	8		-	0	4	0	-	
	10		-	0	0	1	-	
	12		-	0	0	0	-	

TABLEAU III

Lac Cromwell. Résultat détaillé des 4080 heures.nasses
de pêche sur la section 5 à l'été 1968.

Le symbole - indique l'absence de nasse due à la géométrie du lac.

ESPECES	Profon- deur pieds	POSITIONS					11
		5	A	B	C	D	
CATOSTOMUS	2		9	3	8	1	3
	4		-	0	3	3	-
	6		-	1	5	4	-
	8		-	-	1	2	-
	10		-	-	12	5	-
	12		-	-	48	4	-
CHROSOMUS	2	203	20	0	0	203	
	4	-	6	0	0	-	
	6	-	14	0	3	-	
	8	-	-	1	1	-	
	10	-	-	0	0	-	
	12	-	-	0	0	-	
EXOGLOSSUM	2	25	12	0	0	12	
	4	-	25	0	0	-	
	6	-	6	1	0	-	
	8	-	-	1	0	-	
	10	-	-	0	0	-	
	12	-	-	0	0	-	
NOTROPIS	2	79	88	45	31	36	
	4	-	69	60	29	-	
	6	-	77	91	95	-	
	8	-	-	64	110	-	
	10	-	-	189	138	-	
	12	-	-	176	103	-	
SEMOTILUS	2	797	161	15	4	431	
	4	-	94	1	6	-	
	6	-	107	0	7	-	
	8	-	-	7	2	-	
	10	-	-	3	1	-	
	12	-	-	12	3	-	

TABLEAU IV

Lac Cromwell. Résultat détaillé des 1920 heures.nasses
de pêche sur la section 6 à l'été 1968.

Le symbole - indique l'absence de nasse due à la géométrie du lac.

ESPECES	Profon- deur pieds	POSITIONS			
		6	A	C	E 10
CATOSTOMUS	2		4	6	2
	4		-	1	-
	6		-	5	-
	8		-	3	-
	10		-	4	-
	12		-	10	-
CHROSOMUS	2		221	0	227
	4		-	0	-
	6		-	1	-
	8		-	1	-
	10		-	0	-
	12		-	1	-
EXOGLOSSUM	2		34	1	10
	4		-	0	-
	6		-	0	-
	8		-	0	-
	10		-	0	-
	12		-	0	-
NOTROPIS	2		86	47	181
	4		-	87	-
	6		-	79	-
	8		-	60	-
	10		-	31	-
	12		-	95	-
SEMOTILUS	2		503	0	564
	4		-	0	-
	6		-	3	-
	8		-	0	-
	10		-	0	-
	12		-	0	-

TABLEAU V

Lac Cromwell. Résultat détaillé des 4800 heures.nasses
de pêche sur la section 7 à l'été 1968.

Le symbole - indique l'absence de nasse due à la géométrie du lac.

ESPECES	Profon- deur pieds	POSITIONS					
		7	A	B	C	D	E
CATOSTOMUS	2		4	4	4	20	7
	4		-	5	4	13	-
	6		-	1	6	20	-
	8		-	15	5	32	-
	10		-	36	5	40	-
	12		-	11	5	9	-
CHROSOMUS	2		97	0	1	0	194
	4		-	0	1	0	-
	6		-	0	1	3	-
	8		-	0	0	5	-
	10		-	0	0	2	-
	12		-	0	0	0	-
EXOGLOSSUM	2		144	0	0	0	15
	4		-	0	0	0	-
	6		-	1	0	0	-
	8		-	0	0	0	-
	10		-	0	0	1	-
	12		-	0	0	1	-
NOTROPIS	2		219	73	68	60	92
	4		-	87	62	205	-
	6		-	71	102	334	-
	8		-	128	112	425	-
	10		-	91	104	299	-
	12		-	84	23	67	-
SEMOTILUS	2		449	3	0	7	755
	4		-	0	1	18	-
	6		-	2	0	30	-
	8		-	0	2	15	-
	10		-	0	0	7	-
	12		-	0	1	11	-

TABLEAU VI

Total des prises pour les 10800 heures.nasses
de pêche de l'été 1968 et les 2016 heures.nasses de pêche de l'été 1965.

Le symbole - indique l'absence de nasse due à la géométrie du lac.

Ligne	A	B	C	D	E	Total
Profondeur (pieds)	<u>Total des prises en 1968</u>					
2	2874	364	195	123	2732	6288
4	-	286	220	274	-	780
6	-	280	294	496	-	1070
8	-	143	257	592	-	992
10	-	127	348	493	-	968
12	-	95	371	198	-	664
Total	2874	1295	1685	2176	2732	10762
	<u>Total des prises en 1965</u>					
2	776	12	15	9	359	1171
4	-	13	17	42	431	503
6	-	14	30	45	-	89
8	-	16	34	57	-	107
10	-	38	36	103	-	177
12	-	9	4	24	-	37
Total	776	102	136	280	790	2084

TABLEAU VII

Total des prises et effort de pêche par
espèce en 1965 et en 1968.

ESPECE	1965		1968	
	TOTAL	EFFORT	TOTAL	EFFORT
<u>Notropis c.</u>	1015	12.08	4852	10.78
<u>Semotilus a.</u>	693	8.25	4022	8.94
<u>Catostomus com.</u>	119	1.42	393	0.87
<u>Chrosomus sp.</u>	124	1.48	1206	2.68
<u>Exoglossum m.</u>	133	1.58	289	0.64

TABLEAUX nos. VIII a) à e)

Résultats de l'analyse de variance par espèce présentés
suivant la disposition suggérée par Ostle (1963).

a) NOTROPIS CORNUTUS

Sources de variations	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	Rapport "F"
Moyenne	1	293916	293916	1.358
Inter-groupes	13	48761	3751	
Intra-groupes	154	425280	2762	
TOTAL	168	767957		

b) SEMOTILUS ATROMACULATUS

Sources de variations	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	Rapport "F"
Moyenne	1	180521	180521	1.991
Inter-groupes	13	56998	4384	
Intra-groupes	154	339050	2202	
TOTAL	168	576569		

c) CATOSTOMUS COMMERSONI

Sources de variations	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	Rapport "F"
Moyenne	1	2499	2499	1.317
Inter-groupes	13	1183	91.0	
Intra-groupes	154	10641	69.1	
TOTAL	168	4723		

d) CHROSOMUS SP.

Sources de variations	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	Rapport "F"
Moyenne	1	12892	12892	1.446
Inter-groupes	13	5221	402	
Intra-groupes	154	42848	278	
TOTAL	168	60961		

e) EXOGLOSSUM MAXILINGUA

Sources de variations	Degrés de liberté	Somme des carrés	Carré moyen	Rapport "F"
Moyenne	1	1962	1962	2.169
Inter-groupes	13	936	72.0	
Intra-groupes	154	5112	33.2	
TOTAL	168	8010		

TABLEAUX no. IX a) à e)

Test de Bartlett appliqué aux données avant la correction pour la tendance. Résultats présentés selon la disposition suggérée par Ostle (1963).

a) NOTROPIS CORNUTUS

Jour	Σy_i^2	DL	1/DL	s_i^2	$\log s_i^2$	DL. $\log s_i^2$
1	62254	11	0.0909	5659.5	3.7528	41.281
2	25510	11	0.0909	2319.1	3.3653	37.019
3	49677	11	0.0909	4516.1	3.6548	40.202
4	69786	11	0.0909	6344.2	3.8024	41.826
5	42862	11	0.0909	3896.5	3.5907	39.497
6	35194	11	0.0909	3199.5	3.5051	38.556
7	1580	11	0.0909	143.6	2.1573	23.730
8	17713	11	0.0909	1610.3	3.2069	35.276
9	4307	11	0.0909	391.6	2.5928	28.521
10	11790	11	0.0909	1071.8	3.0301	33.331
11	43875	11	0.0909	3988.6	3.6008	39.609
12	27201	11	0.0909	2472.8	3.3932	37.325
13	23642	11	0.0909	2149.3	3.3323	36.655
14	9891	11	0.0909	899.2	2.9538	32.492
Σ	425282	154	1.2727			505.320
$s^2 = 2761.6$ $B = 529.94$ $\chi^2_{(k-1)} = 56.686$ $C = 1.0325$ $\chi^2_{(k-1)} \text{ corrigé} = 54.902$						

b) SEMOTILUS ATROMACULATUS

Jour	Σy_i^2	DL	1/DL	s_i^2	$\log s_i^2$	DL. $\log s_i^2$
1	112310	11	0.0909	10210.	4.0090	44.099
2	30551	11	0.0909	2777.4	3.4436	37.880
3	19965	11	0.0909	1815.0	3.2589	35.848
4	18723	11	0.0909	1702.1	3.2310	35.541
5	42746	11	0.0909	3886.0	3.5895	39.484
6	18467	11	0.0909	1678.8	3.2250	35.475
7	1004	11	0.0909	91.2	1.9602	21.562
8	2372	11	0.0909	215.6	2.3338	25.671
9	757	11	0.0909	68.8	1.8375	20.213
10	17181	11	0.0909	1561.9	3.1936	35.130
11	18049	11	0.0909	1640.8	3.2151	35.366
12	6202	11	0.0909	563.8	2.7511	30.263
13	11571	11	0.0909	1051.9	3.0220	33.242
14	39154	11	0.0909	3559.5	3.5514	39.065
Σ	339052	154	1.2727			468.839
$s^2 = 2201.6$ $B = 514.78$ $\chi^2_{(k-1)} = 105.792$ $C = 1.0325$ $\chi^2_{(k-1)} \text{ corrigé} = 102.462$						

c) CATOSTOMUS COMMERSONI

Jour	Σy_i^2	DL	1/DL	s_i^2	$\log s_i^2$	DL. $\log s_i^2$
1	948.66	11	0.0909	86.242	1.9357	21.293
2	218.00	11	0.0909	19.818	1.2971	14.268
3	342.91	11	0.0909	31.174	1.4938	16.432
4	530.92	11	0.0909	48.265	1.6836	18.520
5	100.25	11	0.0909	9.114	0.9597	10.557
6	37.67	11	0.0909	3.424	0.5345	5.880
7	44.92	11	0.0909	4.083	0.6110	6.721
8	74.25	11	0.0909	6.750	0.8293	9.122
9	44.67	11	0.0909	4.061	0.6086	6.694
10	186.00	11	0.0909	16.909	1.2281	13.509
11	6203.23	11	0.0909	563.93	2.7512	30.263
12	1188.88	11	0.0909	108.08	2.0338	22.371
13	215.44	11	0.0909	19.585	1.2919	14.211
14	505.10	11	0.0909	45.918	1.6620	18.282
Σ	10640.88	154	1.2727			208.12
$s^2 = 69.097$ $B = 283.28$ $\chi^2_{(k-1)} = 173.044$ $C = 1.0325$ $\chi^2_{(k-1)} \text{ corrigé} = 167.602$						

d) CHROSOMUS SP.

Jour	Σy_i^2	DL	1/DL	s_i^2	$\log s_i^2$	DL. $\log s_i^2$
1	14464	11	0.0909	1314.9	3.1189	34.308
2	265	11	0.0909	24.08	1.3817	15.199
3	465	11	0.0909	42.24	1.6257	17.883
4	142	11	0.0909	12.88	1.1099	12.209
5	3958	11	0.0909	359.82	2.5561	28.117
6	7912	11	0.0909	719.30	2.8569	31.426
7	821	11	0.0909	74.64	1.8730	20.602
8	1011	11	0.0909	91.90	1.9633	21.597
9	4218	11	0.0909	383.42	2.5837	28.420
10	1788	11	0.0909	162.52	2.2109	24.320
11	436	11	0.0909	39.62	1.5979	17.577
12	494	11	0.0909	44.94	1.6527	18.179
13	102	11	0.0909	9.29	0.9679	10.647
14	6773	11	0.0909	615.72	2.7894	30.683
Σ	42848	154	1.2727			311.167
$s^2 = 278.23$ $B = 376.44$ $\chi^2_{(k-1)} = 150.294$ $C = 1.0325$ $\chi^2_{(k-1)} \text{ corrigé} = 145.567$						

e) EXOGLOSSUM MAXILINGUA

Jour	Σy_i^2	DL	1/DL	s_i^2	$\log s_i^2$	DL. $\log s_i^2$
1	648.25	11	0.0909	58.932	1.7703	19.474
2	158.66	11	0.0909	14.424	1.1591	12.750
3	194.25	11	0.0909	17.659	1.2470	13.717
4	56.92	11	0.0909	5.174	0.7138	7.852
5	352.91	11	0.0909	32.083	1.5063	16.569
6	161.67	11	0.0909	14.697	1.1672	12.840
7	18.92	11	0.0909	1.720	0.2354	2.590
8	28.92	11	0.0909	2.629	0.4198	4.617
9	13.67	11	0.0909	1.242	0.0943	1.037
10	340.91	11	0.0909	30.992	1.4913	16.404
11	652.04	11	0.0909	59.276	1.7729	19.502
12	815.82	11	0.0909	74.165	1.8702	20.572
13	1179.75	11	0.0909	107.25	2.0304	22.334
14	489.80	11	0.0909	44.527	1.6486	18.135
Σ	5112.49	154	1.2727			188.393
$s^2 = 33.198$ $B = 234.25$ $\chi^2_{(k-1)} = 105.593$ $C = 1.0325$ $\chi^2_{(k-1)} \text{ corrigé} = 102.272$						

TABLEAUX nos. X a) à e)

Test de Bartlett appliqué aux données après la correction pour la tendance. Résultats présentés selon la disposition suggérée par Ostle (1963).

a) NOTROPIS CORNUTUS après correction

Jour	Σy_i^2	DL	1/DL	s_i^2	$\log s_i^2$	DL. $\log s_i^2$
1	642.95	11	0.0909	58.45	1.7668	19.435
2	760.96	11	0.0909	69.18	1.8400	20.240
3	1476.75	11	0.0909	134.25	2.1279	23.407
4	1741.63	11	0.0909	158.33	2.1996	24.195
5	1231.34	11	0.0909	111.94	2.0490	22.539
6	1502.38	11	0.0909	136.58	2.1354	23.489
7	649.24	11	0.0909	59.02	1.7710	19.481
8	2292.07	11	0.0909	208.37	2.3188	25.507
9	873.92	11	0.0909	79.45	1.9001	20.901
10	984.81	11	0.0909	89.53	1.9520	21.472
11	1245.31	11	0.0909	113.21	2.0539	22.593
12	616.41	11	0.0909	56.04	1.7485	19.233
13	924.42	11	0.0909	84.04	1.9245	21.169
14	584.31	11	0.0909	53.12	1.7253	18.978
Σ	15526.50	154	1.2727			302.639
$s^2 = 100.82$ $B = 308.55$ $\chi^2_{(k-1)} = 13.605$ $C = 1.0325$ $\chi^2_{(k-1)} \text{ corrigé} = 13.177$						

b) SEMOTILUS ATROMACULATUS après correction

Jour	Σy_i^2	DL	1/DL	s_i^2	$\log s_i^2$	DL. $\log s_i^2$
1	1228.81	11	0.0909	111.71	2.0481	22.529
2	1359.82	11	0.0909	123.62	2.0921	23.013
3	892.38	11	0.0909	81.12	1.9092	21.001
4	574.26	11	0.0909	52.20	1.7177	18.895
5	1392.71	11	0.0909	126.61	2.1025	23.127
6	2242.02	11	0.0909	203.82	2.3092	25.402
7	558.95	11	0.0909	50.81	1.7060	18.766
8	1013.40	11	0.0909	92.13	1.9644	21.608
9	1309.99	11	0.0909	119.09	2.0759	22.835
10	1451.89	11	0.0909	131.99	2.1205	23.326
11	1161.05	11	0.0909	105.55	2.0234	22.258
12	1350.69	11	0.0909	122.79	2.0892	22.981
13	1035.51	11	0.0909	94.14	1.9738	21.711
14	1332.10	11	0.0909	121.10	2.0832	22.915
Σ	16903.57	154	1.2727			310.367
$s^2 = 109.76$ $B = 314.23$ $\chi^2_{(k-1)} = 8.8986$ $C = 1.0325$ $\chi^2_{(k-1)} \text{ corrigé} = 8.6187$						

c) CATOSTOMUS COMMERSONI après correction

Jour	Σy_i^2	DL	1/DL	s_i^2	$\log s_i^2$	DL. $\log s_i^2$
1	616.98	11	0.0909	56.09	1.7489	19.238
2	1682.12	11	0.0909	152.92	2.1845	24.029
3	4077.48	11	0.0909	370.68	2.5690	28.259
4	2403.39	11	0.0909	218.49	2.3394	25.734
5	1375.22	11	0.0909	125.02	2.0970	23.067
6	557.19	11	0.0909	50.65	1.7047	18.751
7	1244.21	11	0.0909	113.11	2.0534	22.589
8	1683.66	11	0.0909	153.06	2.1849	24.034
9	569.72	11	0.0909	51.79	1.7143	18.857
10	1435.17	11	0.0909	130.47	2.1155	23.271
11	4809.20	11	0.0909	437.20	2.6407	29.048
12	3078.68	11	0.0909	279.88	2.4470	26.917
13	2776.18	11	0.0909	252.38	2.4020	26.423
14	1909.71	11	0.0909	173.61	2.2396	24.635
Σ	28218.92	154	1.2727			334.852
$s^2 = 183.24$ $B = 348.51$ $\chi^2_{(k-1)} = 31.445$ $C = 1.0325$ $\chi^2_{(k-1)} \text{ corrigé} = 30.456$						

d) CHROSOMUS SP. après correction

Jour	Σy_i^2	DL	1/DL	s_i^2	$\log s_i^2$	DL. $\log s_i^2$
1	2224.42	11	0.0909	202.22	2.3058	25.364
2	590.15	11	0.0909	53.65	1.7296	19.025
3	2400.09	11	0.0909	218.19	2.3388	25.727
4	566.66	11	0.0909	51.52	1.7119	18.831
5	1626.35	11	0.0909	147.85	2.1798	23.868
6	1562.88	11	0.0909	142.08	2.1525	23.678
7	789.12	11	0.0909	71.73	1.8558	20.413
8	1220.78	11	0.0909	110.98	2.0452	22.498
9	2495.68	11	0.0909	226.88	2.3558	25.914
10	2417.03	11	0.0909	219.73	2.3419	25.761
11	3284.27	11	0.0909	298.57	2.4751	27.226
12	1592.69	11	0.0909	144.79	2.1607	23.768
13	988.89	11	0.0909	89.90	1.9538	21.491
14	3386.13	11	0.0909	307.83	2.4883	27.371
Σ	25145.14	154	1.2727			330.935
$s^2 = 163.28$ $B = 340.79$ $\chi^2_{(k-1)} = 22.695$ $C = 1.0325$ $\chi^2_{(k-1)} \text{ corrigé} = 21.981$						

e) EXOGLOSSUM MAXILINGUA après correction

Jour	Σy_i^2	DL	1/DL	s_i^2	$\log s_i^2$	DL. $\log s_i^2$
1	1633.28	11	0.0909	148.48	2.1717	23.888
2	2023.78	11	0.0909	183.98	2.2648	24.913
3	1783.76	11	0.0909	162.16	2.2099	24.309
4	1969.44	11	0.0909	179.04	2.2529	24.782
5	1597.64	11	0.0909	145.24	2.1621	23.783
6	2391.51	11	0.0909	217.41	2.3373	25.710
7	1119.36	11	0.0909	101.76	2.0076	22.083
8	2389.86	11	0.0909	217.26	2.3370	25.707
9	1366.64	11	0.0909	124.24	2.0943	23.037
10	2028.07	11	0.0909	184.37	2.2657	24.923
11	2465.32	11	0.0909	224.12	2.3505	25.855
12	1536.92	11	0.0909	139.72	2.1453	23.598
13	849.31	11	0.0909	77.21	1.8877	20.764
14	2666.62	11	0.0909	242.42	2.3846	26.230
Σ	25821.51	154	1.2727			339.582
$s^2 = 167.67$ $B = 342.57$ $\chi^2_{(k-1)} = 6.8708$ $C = 1.0325$ $\chi^2_{(k-1)} \text{ corrigé} = 6.6547$						

TABLEAU XI

Stations acceptées par le premier critère de sélection.

<u>Ligne 5</u>				
<u>Notropis</u>	<u>Semotilus</u>	<u>Catostomus</u>	<u>Chrosomus</u>	<u>Exoglossum</u>
A1B1C1D1E1	A1B1 E1	A1	A1 E1	A1
B2C2D2	B2			B2
B3C3D3	B3		B3	
C4D4				
C5D5				
C6D6		C6		

<u>Ligne 6</u>				
<u>Notropis</u>	<u>Semotilus</u>	<u>Catostomus</u>	<u>Chrosomus</u>	<u>Exoglossum</u>
A1 E1	A1 E1		A1 E1	A1
C2				
C3				
C4				
C5				
C6				

<u>Ligne 6a</u>				
<u>Notropis</u>	<u>Semotilus</u>	<u>Catostomus</u>	<u>Chrosomus</u>	<u>Exoglossum</u>
A1B1C1D1E1	A1 E1		A1	A1 E1
B2C2D2E2	E2			E2
B3C3D3				
B4C4D4				
B5C5D5		C5D5		
		D6		

<u>Ligne 7</u>				
<u>Notropis</u>	<u>Semotilus</u>	<u>Catostomus</u>	<u>Chrosomus</u>	<u>Exoglossum</u>
A1B1C1D1E1	A1 E1	D1	A1 E1	A1 E1
B2C2D2	D2	D2		
B3C3D3	D3	D3		
B4C4D4	D4	D4		
B5C5D5		B5 D5		
B6 D6				

TABLEAU XII

Stations acceptées par les deux critères de sélection.

<u>Ligne 5</u>				
<u>Notropis</u>	<u>Semotilus</u>	<u>Catostomus</u>	<u>Chrosomus</u>	<u>Exoglossum</u>
AlB1C1	Al E1	Al	Al E1	Al
B2C2				B2
B3C3D3				
C4D4				
C5D5				
C6D6		C6		

<u>Ligne 6</u>				
<u>Notropis</u>	<u>Semotilus</u>	<u>Catostomus</u>	<u>Chrosomus</u>	<u>Exoglossum</u>
Al E1	Al E1		Al E1	Al
C2				
C3				
C4				
C6				

<u>Ligne 6a)</u>				
<u>Notropis</u>	<u>Semotilus</u>	<u>Catostomus</u>	<u>Chrosomus</u>	<u>Exoglossum</u>
Al E1	Al	Al	Al	Al E1
E2				E2
		D5		

<u>Ligne 7</u>				
<u>Notropis</u>	<u>Semotilus</u>	<u>Catostomus</u>	<u>Chrosomus</u>	<u>Exoglossum</u>
AlB1C1D1E1	Al E1	D1	Al E1	Al
B2C2D2				
B3C3D3		D3		
B4C4D4		D4		
B5C5D5		B5 D5		
B6 D6				

TABLEAUX nos. XIII a) à d)

Résultats détaillés de l'analyse de Fourier.

		1er	2e	3e	4e	5e	6e
N O T R O P I S	Tm	12.000	5.973	4.870	7.906	24.436	4.060
	A	-3.857	-3.445	-3.004	1.711	- 1.597	-0.824
	B	-5.959	2.410	2.442	2.061	1.838	-1.888
	Tb	12	6	4.8	8	24	4
	ϕ	7h54m	2h24m	1h54m	1h06m	8h53m	2h47m
	%	27.260	9.562	8.110	3.883	3.208	2.295
S E M O T I L U S	Tm	12.000	23.579	6.000	4.571	8.400	4.012
	A	-3.169	1.283	-2.278	-1.280	0.836	1.315
	B	-5.618	-5.158	3.623	-2.205	1.708	-0.697
	Tb	12	24	6	4.8	8	4
	ϕ	8h01m	18h36m	2h02m	3h03m	1h30m	3h42m
	%	20.675	14.039	9.100	3.230	1.798	1.100
C A T O S T O M U S	Tm	11.894	4.870	24.436	5.947	7.906	4.036
	A	-1.820	-5.458	-1.744	-4.711	3.813	2.608
	B	-7.273	1.772	4.602	1.050	2.551	-2.340
	Tb	12	4.8	24	6	8	4
	ϕ	8h27m	2h12m	7h31m	2h46m	0h45m	3h34m
	%	16.734	9.801	7.210	6.935	6.264	3.654
C H R O S O M U S	Tm	24.000	12.000	6.054	8.453	4.923	4.085
	A	-3.831	-3.872	3.952	3.444	-0.037	-1.905
	B	-4.729	-4.352	1.269	-1.856	-3.001	0.459
	Tb	24	12	6	8	4.8	4
	ϕ	15h24m	7h37m	0h18m	7h47m	3h41m	1h53m
	%	12.373	11.334	5.755	5.114	3.010	1.283
E X O G L O S S U M	Tm	11.894	5.973	23.579	8.506	4.683	4.036
	A	1.014	-3.644	1.295	-0.348	-3.202	-0.898
	B	-7.148	2.849	-3.445	-3.604	-0.874	-2.097
	Tb	12	6	24	8	4.8	4
	ϕ	9h11m	2h21m	19h02m	6h15m	2h32m	2h46m
	%	16.958	6.960	4.407	4.265	3.583	1.693

- a) Analyse de Fourier sur les données de toutes les stations après élimination de la tendance.

		1er	2e	3e	4e	5e	6e
N O T R O P I S	Tm	12.000	5.973	4.870	7.906	24.436	4.060
	A	-3.881	-3.463	-2.970	1.700	-1.593	-0.783
	B	-5.969	2.379	2.403	2.061	1.747	-1.851
	Tb	12	6	4.8	8	24	4
	φ	7h54m	2h25m	1h54m	1h06m	8h59m	2h47m
	%	27.515	9.582	7.922	3.876	3.034	2.194
S E M O T I L U S	Tm	12.000	23.579	6.000	4.571	8.145	4.012
	A	-3.168	1.372	-2.412	-1.314	-1.523	1.361
	B	-5.644	-5.321	3.642	-2.263	1.157	-0.720
	Tb	12	24	6	4.8	8	4
	φ	8h01m	18h38m	2h04m	3h03m	3h14m	3h42m
	%	20.173	14.539	9.186	3.297	1.761	1.141
C A T O S T O M U S	Tm	11.894	4.870	24.436	5.973	7.906	4.036
	A	-1.305	-5.537	-2.110	-1.491	3.180	3.006
	B	-6.805	1.872	3.737	3.849	2.372	-2.025
	Tb	12	4.8	24	6	8	4
	φ	8h34m	2h11m	8h06m	1h51m	0h48m	3h39m
	%	13.588	9.670	5.214	4.821	4.453	3.719
C H R O S O M U S	Tm	12.000	23.579	8.453	6.054	4.525	4.226
	A	-3.702	0.575	3.933	3.624	2.523	1.787
	B	-4.991	-5.886	-0.924	1.156	2.199	2.739
	Tb	12	24	8	6	4.8	4
	φ	7h47m	18h03m	8h09m	0h18m	0h31m	0h38m
	%	12.188	11.038	5.151	4.566	3.536	3.375
E X O G L O S S U M	Tm	11.894	5.947	23.579	8.506	4.683	4.098
	A	0.816	-4.125	1.815	-0.494	-3.372	-1.702
	B	-6.765	-1.005	-3.660	-3.942	-0.501	-1.006
	Tb	12	6	24	8	4.8	4
	φ	9h09m	3h12m	19h25m	6h13m	2h27m	2h24m
	%	14.540	5.645	5.226	4.942	3.639	1.224

b) Analyse de Fourier sur les données sélectionnées par un critère.

		1er	2e	3e	4e	5e	6e
N O T R O P I S	Tm	12.000	6.000	4.852	24.889	8.195	4.060
	A	-3.408	-1.598	-3.820	-0.815	-0.575	-0.455
	B	-6.253	4.021	-0.146	3.224	-2.184	-1.918
	Tb	12	6	4.8	24	8	4
	ϕ	8h03m	1h52m	2h27m	7h12m	5h49m	2h54m
	%	27.705	10.229	7.985	6.041	2.787	2.122
S E M O T I L U S	Tm	12.000	23.579	6.000	4.571	7.906	4.012
	A	-3.163	1.235	-2.542	-1.489	-1.797	1.551
	B	-6.150	-5.518	3.656	-2.514	-1.561	-1.259
	Tb	12	24	6	4.8	8	4
	ϕ	8h05m	18h30m	2h05m	3h02m	4h51m	3h35m
	%	20.536	13.728	8.512	3.667	2.433	1.713
C A T O S T O M U S	Tm	11.894	4.870	5.973	7.906	24.436	4.036
	A	-1.503	-5.297	-1.787	3.987	-2.562	3.534
	B	-7.062	2.078	4.402	2.467	3.494	-2.011
	Tb	12	4.8	6	8	24	4
	ϕ	8h31m	2h08m	1h51m	0h42m	8h34m	3h42m
	%	12.971	8.057	5.617	5.470	4.670	4.114
C H R O S O M U S	Tm	12.000	23.579	8.453	6.054	7.265	4.525
	A	-3.674	0.610	3.920	3.638	-3.585	2.518
	B	-5.011	-5.939	-0.902	1.128	-0.404	2.169
	Tb	12	24	8	6	8	4.8
	ϕ	7h48m	18h04m	8h09m	0h17m	3h46m	0h31m
	%	12.076	11.151	5.061	4.537	4.071	3.455
E X O G L O S S U M	Tm	11.894	23.579	8.506	5.947	4.683	4.036
	A	0.754	2.470	-0.145	-4.069	-3.944	-1.098
	B	-6.971	-3.803	-4.224	-0.754	-0.370	-1.938
	Tb	12	24	8	6	4.8	4
	ϕ	9h07m	19h51m	6h20m	3h09m	2h25m	2h42m
	%	14.076	5.889	5.116	4.905	4.495	1.421

c) Analyse de Fourier sur les données acceptées par deux critères.

		1er	2e	3e	4e	5e	6e
N O T R O P I S	Tm	12.000	6.000	4.852	24.889	8.195	4.060
	A	-3.408	-1.598	-3.820	-0.815	-0.575	-0.455
	B	-6.253	4.021	-0.146	3.224	-2.184	-1.918
	Tb	12	6	4.8	24	8	4
	φ	8h03m	1h52m	2h27m	7h12m	5h49m	2h54m
	%	27.705	10.229	7.985	6.041	2.787	2.122
	<hr/>						
S E M O T I L U S	Tm	12.000	23.579	6.000	4.571	8.145	4.012
	A	-3.168	1.372	-2.412	-1.314	-1.523	1.361
	B	-5.644	-5.321	3.642	-2.263	1.157	-0.720
	Tb	12	24	6	4.8	8	4
	φ	8h01m	18h38m	2h04m	3h03m	3h14m	3h42m
	%	20.173	14.539	9.186	3.297	1.761	1.141
	<hr/>						
C A T O S T O M U S	Tm	11.894	4.870	24.436	5.947	7.906	4.036
	A	-1.820	-5.458	-1.744	-4.711	3.813	2.608
	B	-7.273	1.772	4.602	1.050	2.551	-2.340
	Tb	12	4.8	24	6	8	4
	φ	8h27m	2h12m	7h31m	2h46m	0h45m	3h34m
	%	16.734	9.801	7.210	6.935	6.264	3.654
	<hr/>						
C H R O S O M U S	Tm	24.000	12.000	6.054	8.453	4.923	4.085
	A	-3.831	-3.872	3.952	3.444	-0.037	-1.905
	B	-4.729	-4.352	1.269	-1.856	-3.001	0.459
	Tb	24	12	6	8	4.8	4
	φ	15h24m	7h37m	0h18m	7h47m	3h41m	1h53m
	%	12.373	11.334	5.755	5.114	3.010	1.283
	<hr/>						
E X O G L O S S U M	Tm	11.894	5.973	23.579	8.506	4.683	4.036
	A	1.014	-3.644	1.295	-0.348	-3.202	-0.898
	B	-7.148	2.849	-3.445	-3.604	-0.874	-2.097
	Tb	12	6	24	8	4.8	4
	φ	9h11m	2h21m	19h02m	6h15m	2h32	2h46m
	%	16.958	6.960	4.407	4.265	3.583	1.693

d) Valeurs choisies parmi les trois tableaux précédents.

TABLEAU XIV

Différences de pourcentages de variance expliquée en fonction du nombre de critères de sélection des stations. Seules les fréquences acceptées par le test à 1% dans les trois cas sont utilisées.

signifie nombre de critères pour la sélection des nasses.

" T_B " est la période théorique en heures.

SP.	T _B #	24	12	8	6	4.8	Σ Δ
N O T R O P I S	0		0		0	0	0
	1		0.255		0.020	-0.188	0.087
	2		0.445		0.667	-0.125	0.987
S E M O T I L U S	0	0	0		0		0
	1	0.500	-0.502		0.086		0.084
	2	-0.311	-0.139		-0.588		-1.038
C A T O S T O M U S	0		0			0	0
	1		-3.146			-0.131	-3.277
	2		-3.763			-1.744	-5.507
C H R O S O M U S	0	0	0				0
	1	-1.335	0.854				-0.481
	2	-1.222	0.742				-0.480
E X O G L O S S U M	0		0				0
	1		-2.418				-2.418
	2		-2.882				-2.882

TABLEAU XV

Position des maxima d'activité.

	<u>NOTROPIS</u>	<u>SEMOTILUS</u>	<u>CATOSTOMUS</u>	<u>CHROSOMUS</u>	<u>EXOGLOSSUM</u>
HEURE:*	2.0	2.0	0.5	---	1.5
ACTIVI- TE:**	2.4	2.0	1.0	---	6.0
HEURE:	8.0	8.0	7.0	8.0	7.5
ACTIVI- TE:	20.7	16.7	23.8	14.4	18.9
HEURE:	14.0	14.5	14.0	14.5	13.5
ACTIVI- TE:	8.7	10.6	9.7	11.0	6.0
HEURE:	19.5	20.0	19.0	19.5	19.5
ACTIVI- TE:	19.6	21.4	12.5	19.5	18.9

* Une heure de moins que l'heure des prélèvements.

** Activité moyenne sur deux heures en pourcentage de l'activité totale journalière.

TABLEAU XVI

Moyennes aux deux heures (en % du total journalier)
après élimination de la tendance.

HEURE	Notropis	Notropis	Semotilus	Semotilus	Catostomus	Chrosomus	Exoglossum
3	0.6	0.5	0.3	0.3	0.4	0.4	0.9
5	2.0	1.3	0.6	0.5	3.0	0.9	0.4
7	10.9	8.0	4.2	3.8	21.6	2.4	10.5
9	24.4	23.7	17.1	17.1	24.2	16.2	16.8
11	8.9	9.5	9.5	9.6	6.2	10.4	6.0
13	4.4	4.3	6.2	6.1	3.7	7.1	7.4
15	7.9	8.5	10.5	10.6	9.7	10.5	8.0
17	4.2	4.6	7.1	7.2	6.2	9.6	5.8
19	9.8	10.3	12.7	12.7	12.8	17.7	12.7
21	15.8	17.8	22.5	22.9	7.1	20.0	22.4
23	6.9	7.2	8.1	8.2	3.0	4.9	8.0
1	4.3	4.3	1.1	1.0	1.9	0.0	1.1
	Incluant toutes les stations	Stations sélectionnées par deux critères	Incluant toutes les stations	Stations sélectionnées par un critère	INCLUANT TOUTES LES STATIONS		

TABLEAU XVII

Pourcentage de variance expliquée par les douze moyennes
aux deux heures et quatre fréquences de Fourier.

Espèce	Moyennes	Fourier
<u>Notropis cornutus</u>	44.5	52.0
<u>Semotilus atromaculatus</u>	41.7	47.2
<u>Catostomus commersoni</u>	31.8	40.7
<u>Chrosomus species</u>	29.6	34.6
<u>Exoglossum maxilingua</u>	25.9	32.6

FIGURES

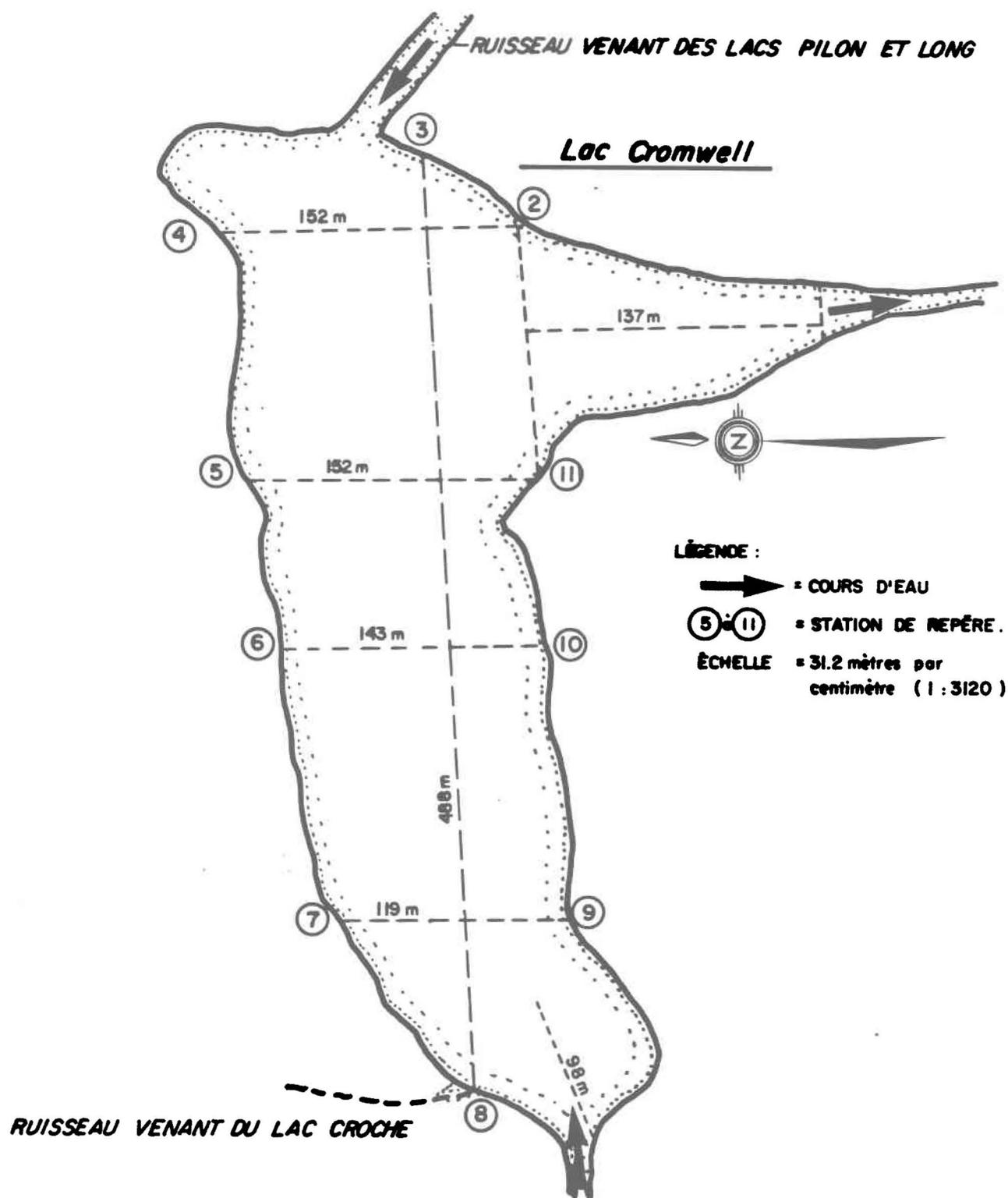


Figure 1. Lac Cromwell, dimensions selon Fr. Robert, c.s.v., 1963.

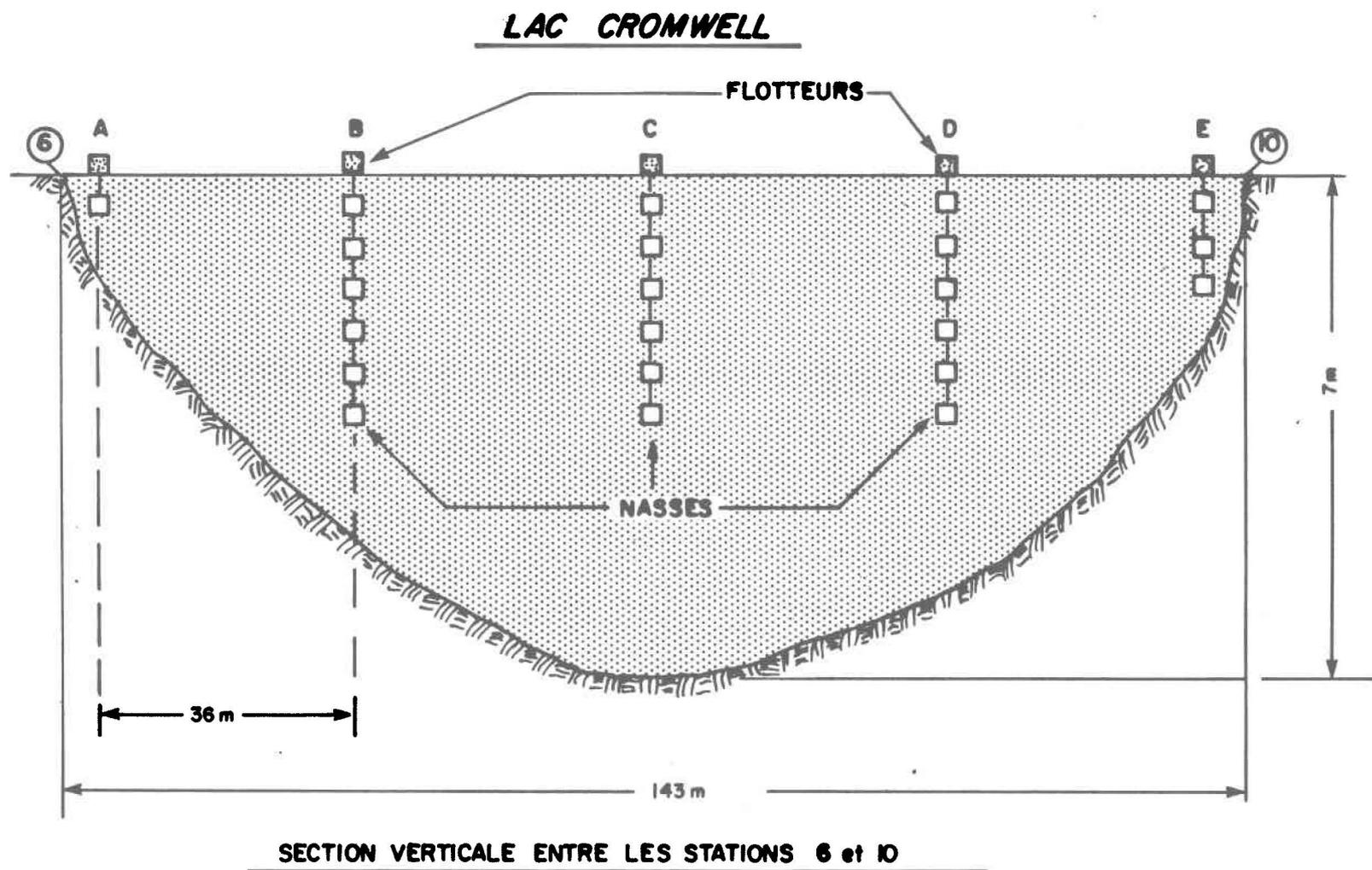


Figure 2 . Lac Cromwell . Disposition des nasses à l'automne 1964 et à l'été 1965 .

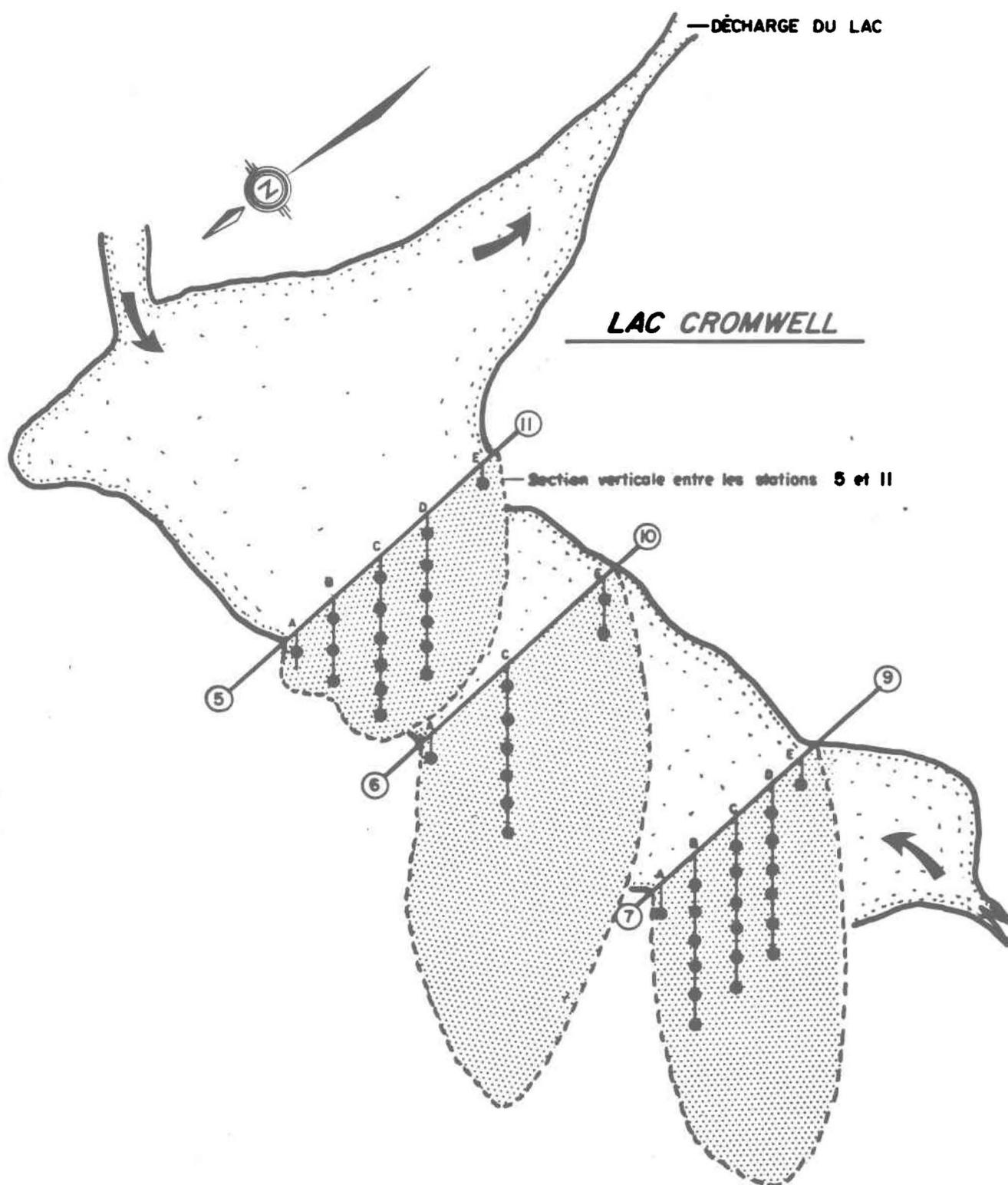


Figure 3 . Lac Cromwell . Disposition des nasses à l'été 1968 .

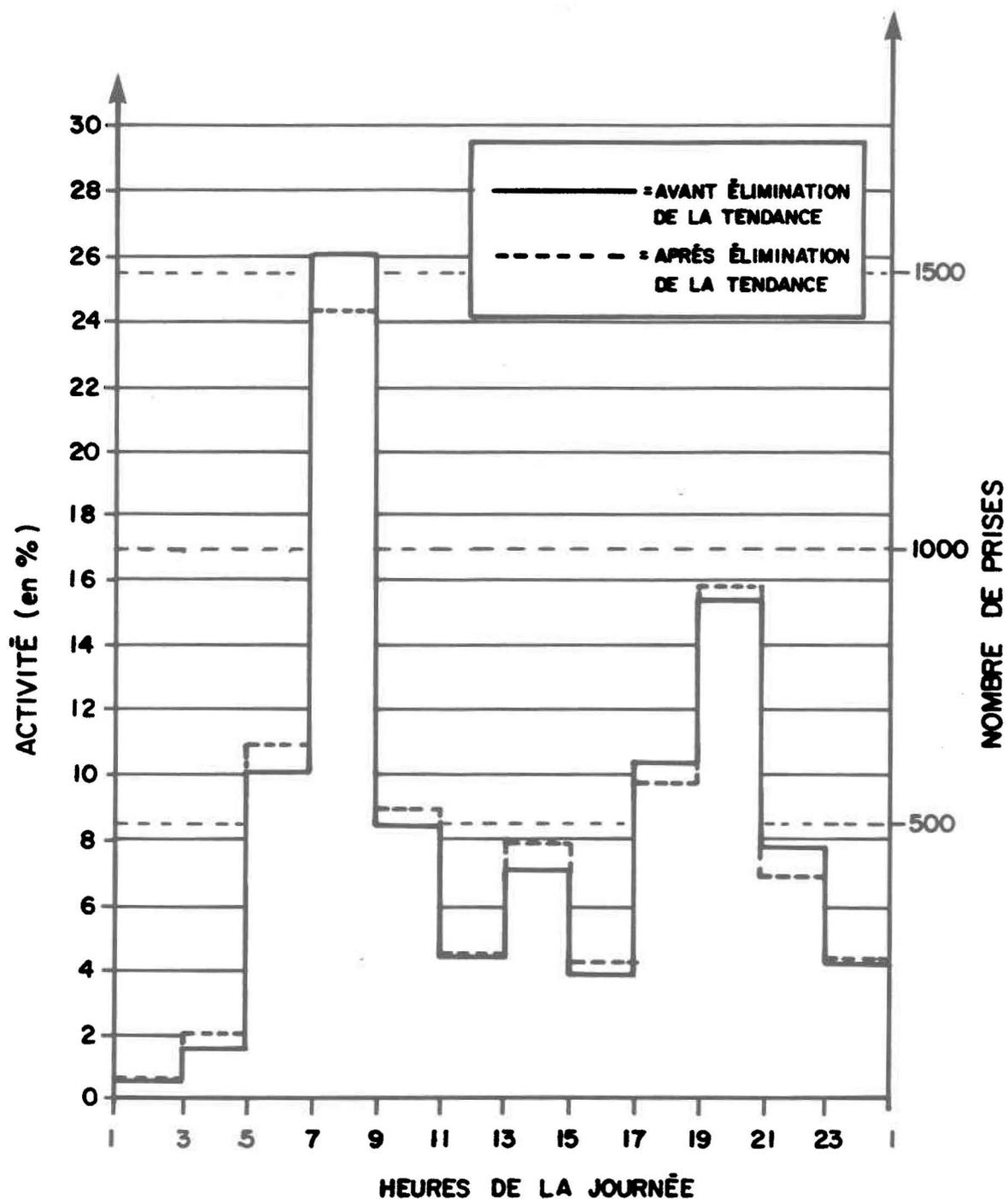


Figure 4 . Activité moyenne aux deux heures de *Notropis cornutus* en pourcentage du total sur quatorze jours avant la sélection des nasses

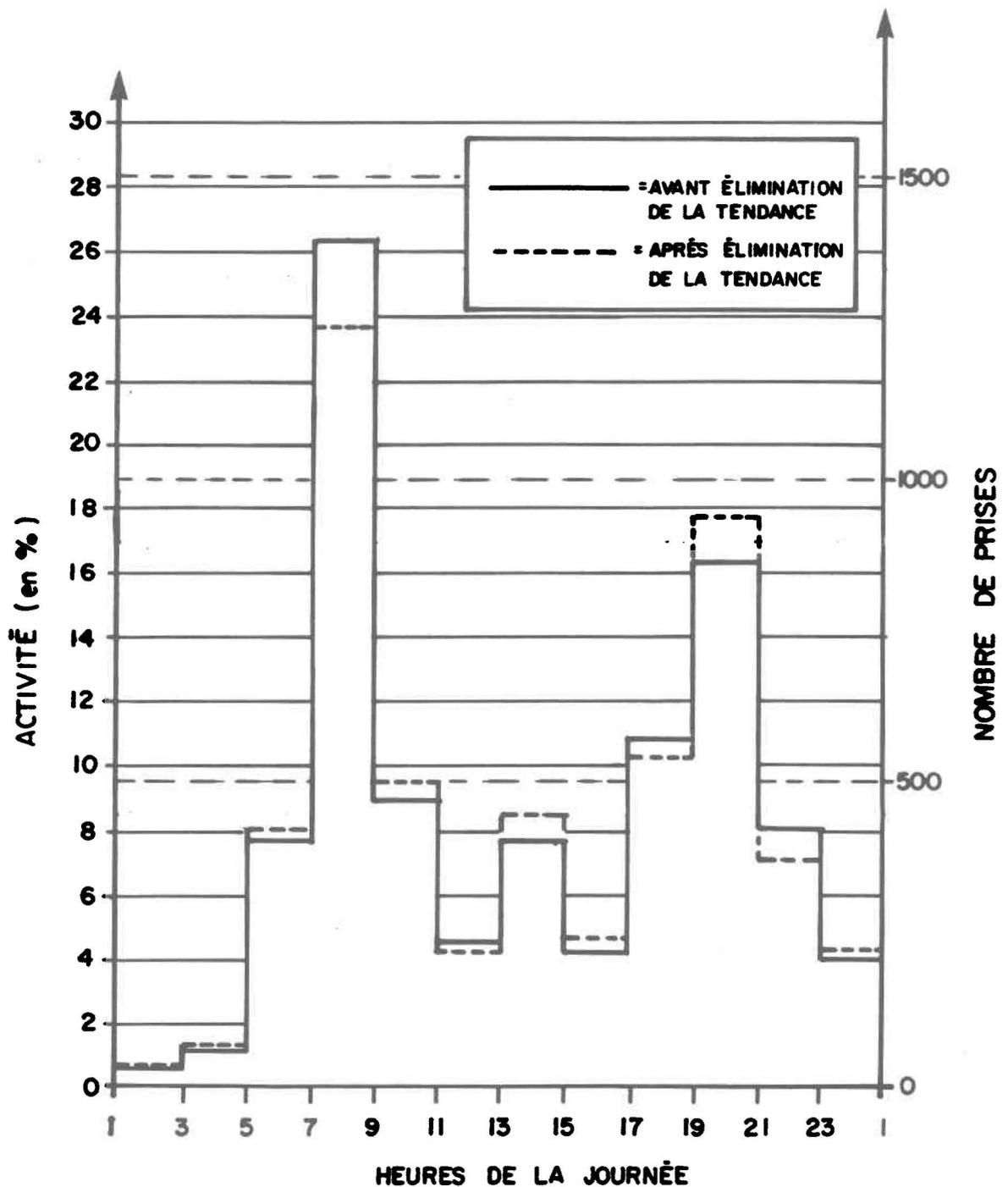


Figure 5 . Activité moyenne aux deux heures de *Notropis cornutus* en pourcentage du total sur quatorze jours après la sélection des nasses (deux critères).

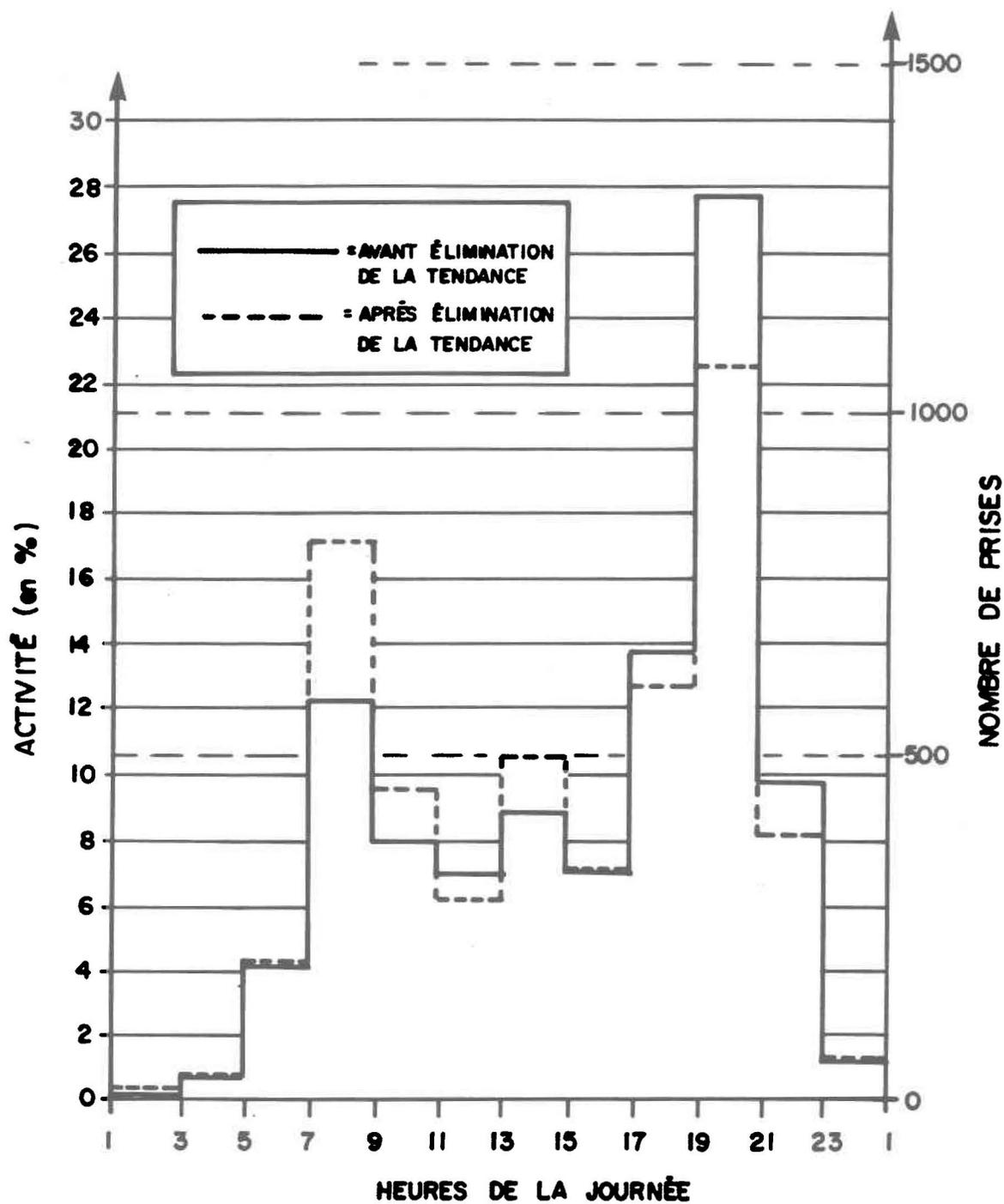


Figure 6. Activité moyenne aux deux heures de *Semotilus atromaculatus* en pourcentage du total sur quatorze jours avant la sélection des nasses.

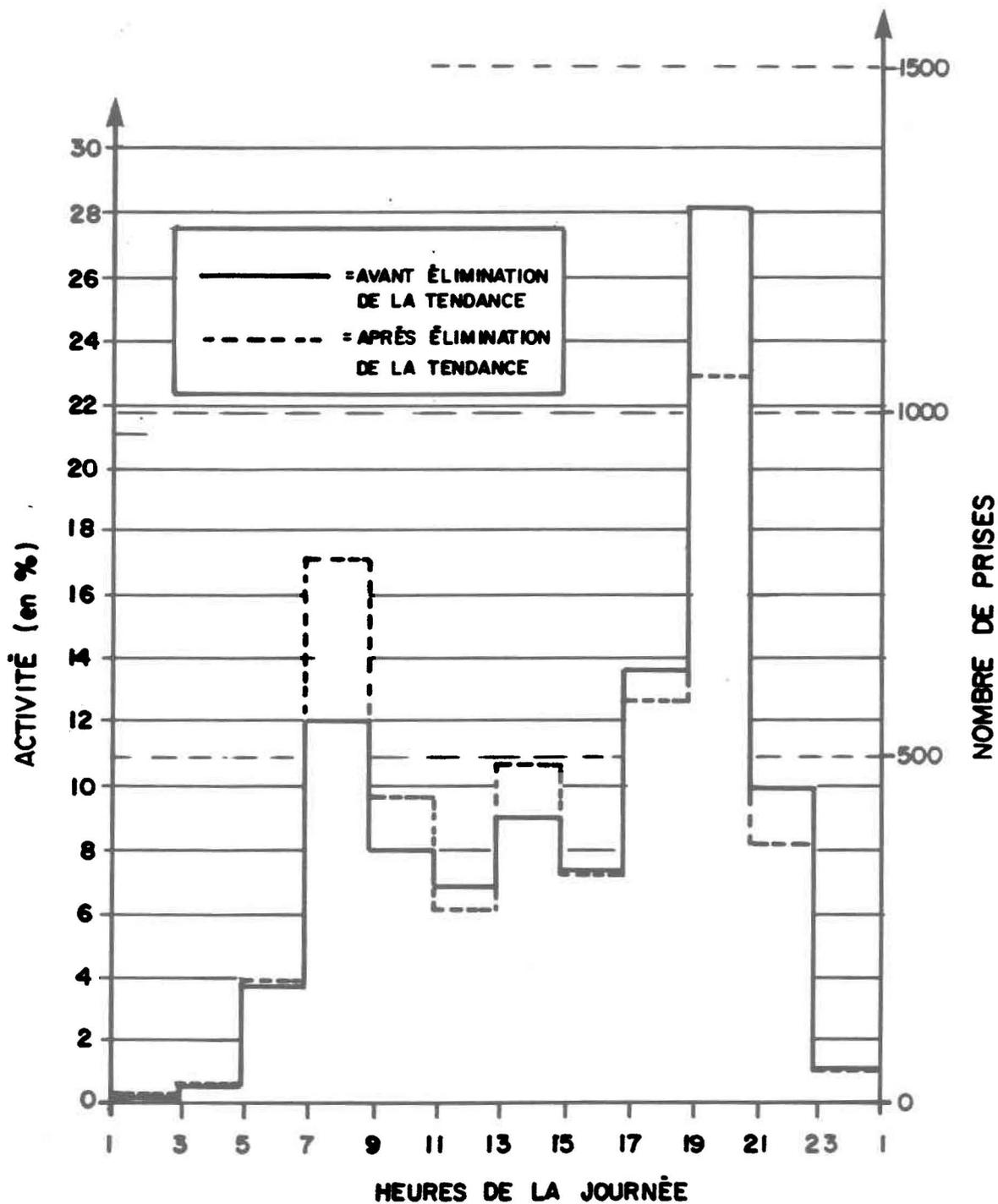


Figure 7. Activité moyenne aux deux heures de *Semotilus atromaculatus* en pourcentage du total sur quatorze jours après la sélection des nasses (premier critère seulement) .

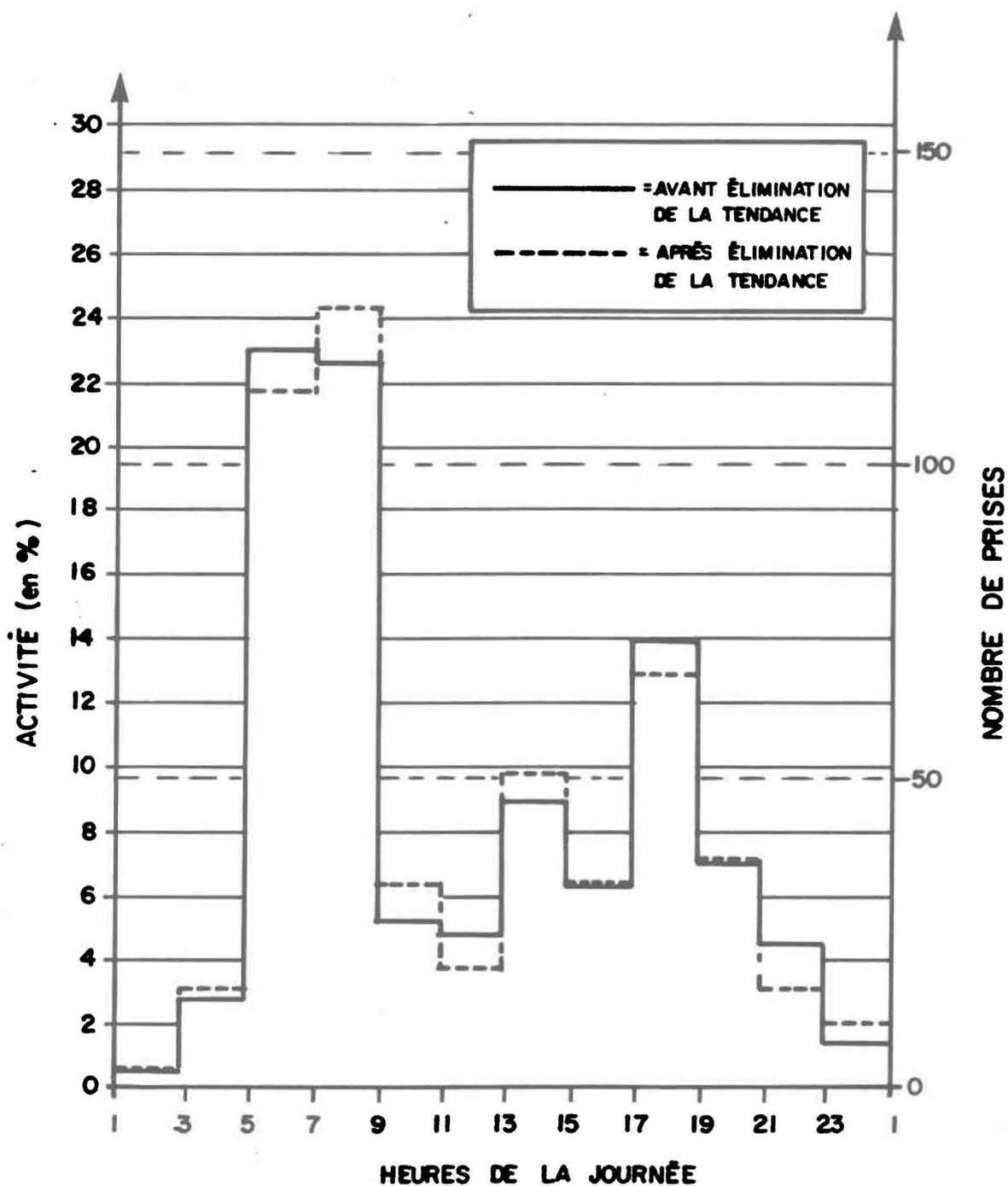


Figure 8. Activité moyenne aux deux heures de *Calostomus commersoni* en pourcentage du total sur quatorze jours (aucune sélection des nasses) .

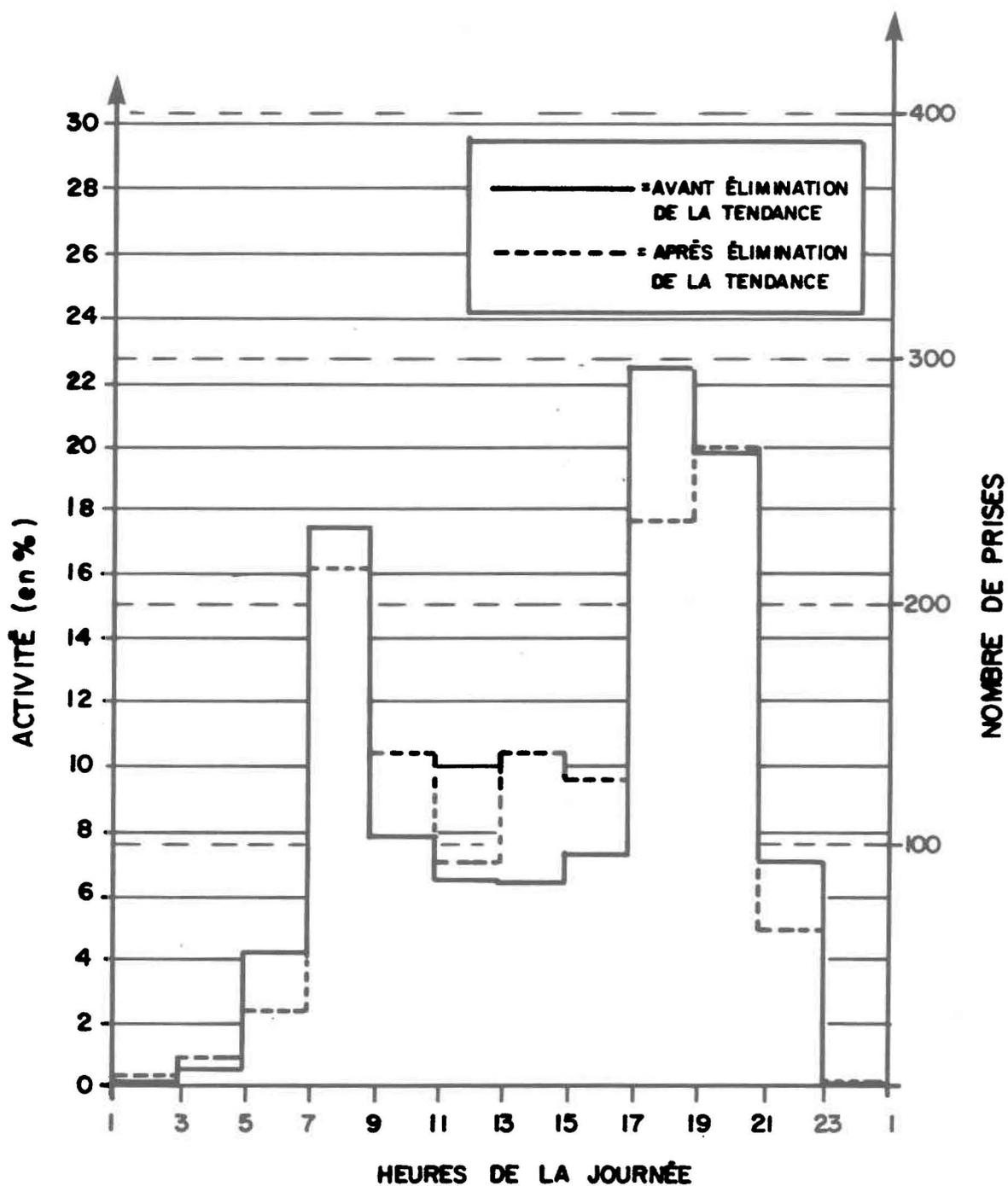


Figure 9. Activité moyenne aux deux heures de *Chrosomus sp* en pourcentage du total sur quatorze jours (aucune sélection des nasses) .

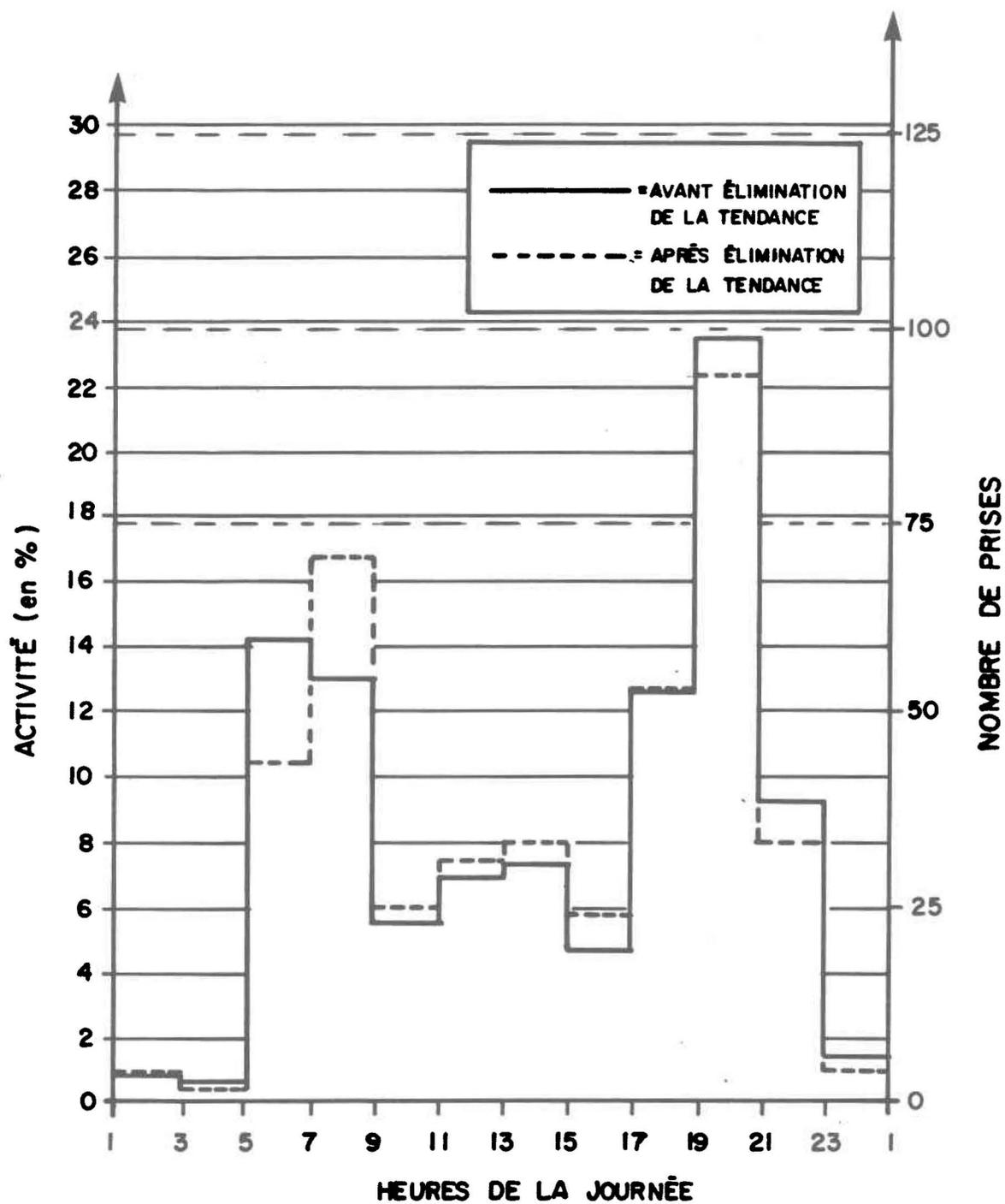


Figure 10. Activité moyenne aux deux heures de *Exoglossum maxilingua* en pourcentage du total sur quatorze jours (aucune sélection des nasses).

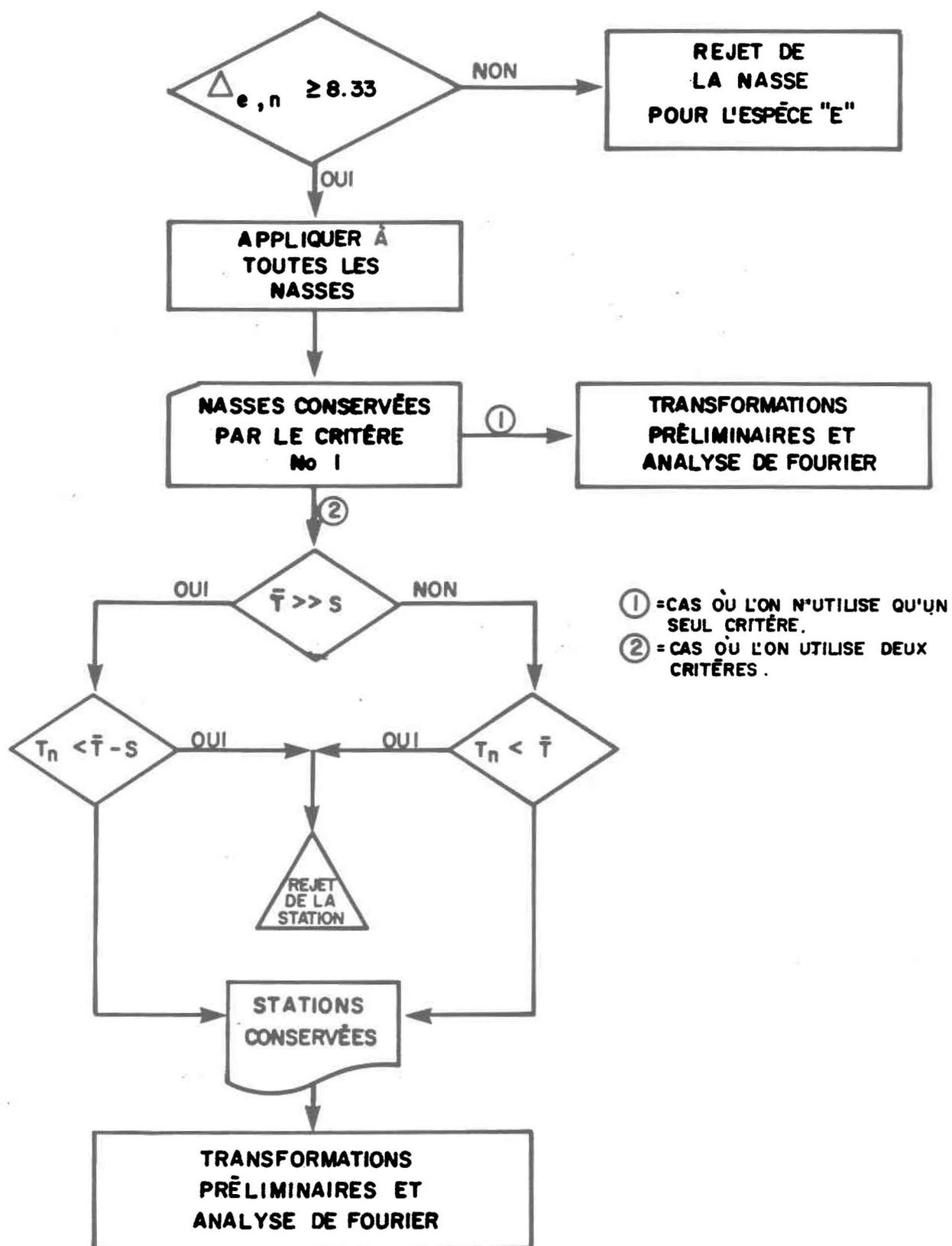


Figure II. Schématisation des deux critères de sélection des nasses.

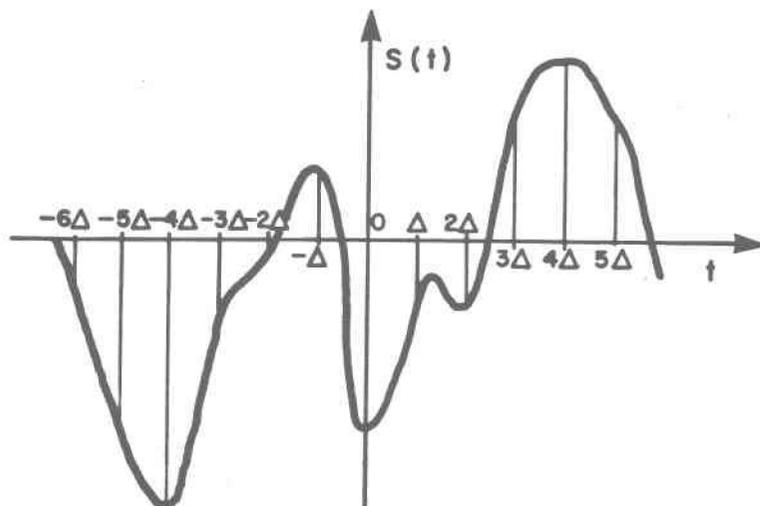


Figure 12a . Un signal discret obtenu par l'échantillonnage d'un signal continu .

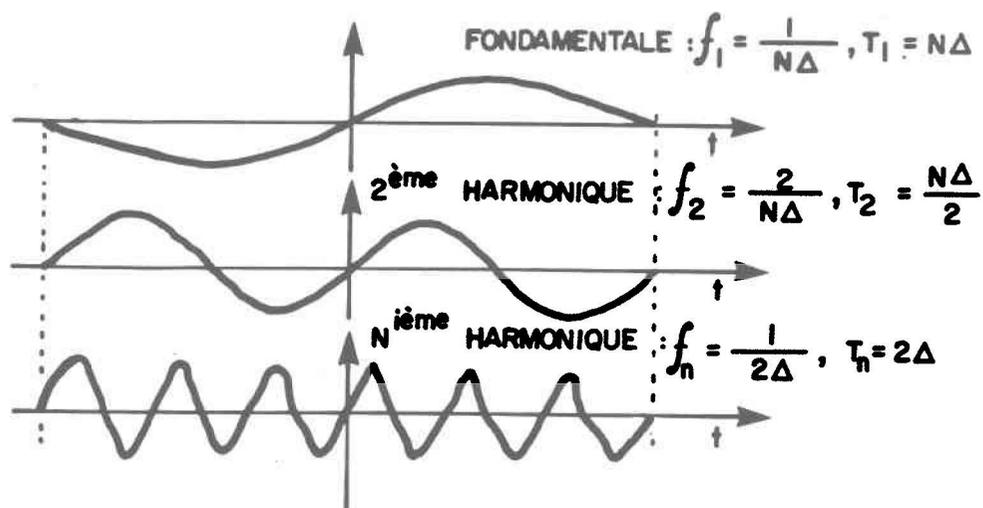


Figure 12b . Les sinusôides : fondamentale et harmoniques .

(a et b-tiré de Jenkins et Watt, 1968)

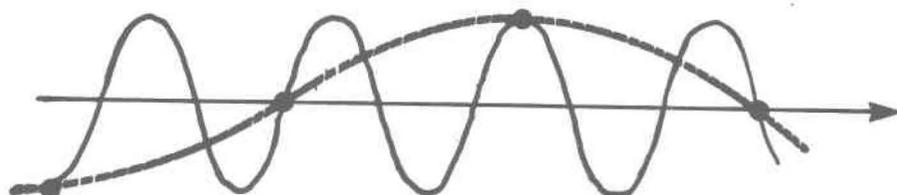


Figure 13a. Pseudo-cycles (aliases) (d'après Granger et Hatanaka, 1964).

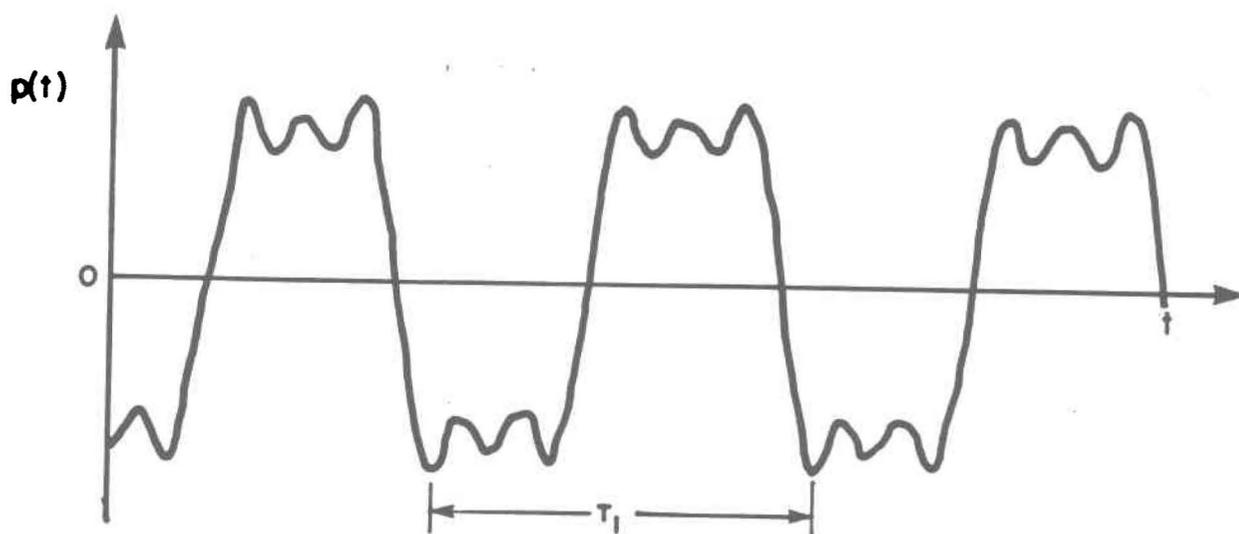


Figure 13 b. Exemple de courbe non-sinusoidale obtenue par l'addition algébrique de trois sinusoides : pression exercée sur le tympan par la superposition des notes C 128, G 384 et E 640 avec les amplitudes et les phases suivantes :

$$p(t) = 1.273 \sin(2\pi \nu_1 t - \pi/2)$$

$$+ 0.424 \sin(2\pi \nu_3 t - \pi/2)$$

$$+ 0.255 \sin(2\pi \nu_5 t - \pi/2)$$

La période T_1 est $1/\nu_1 = 1/128$ sec.

(Tiré de "Berkeley physics course", vol. 3).

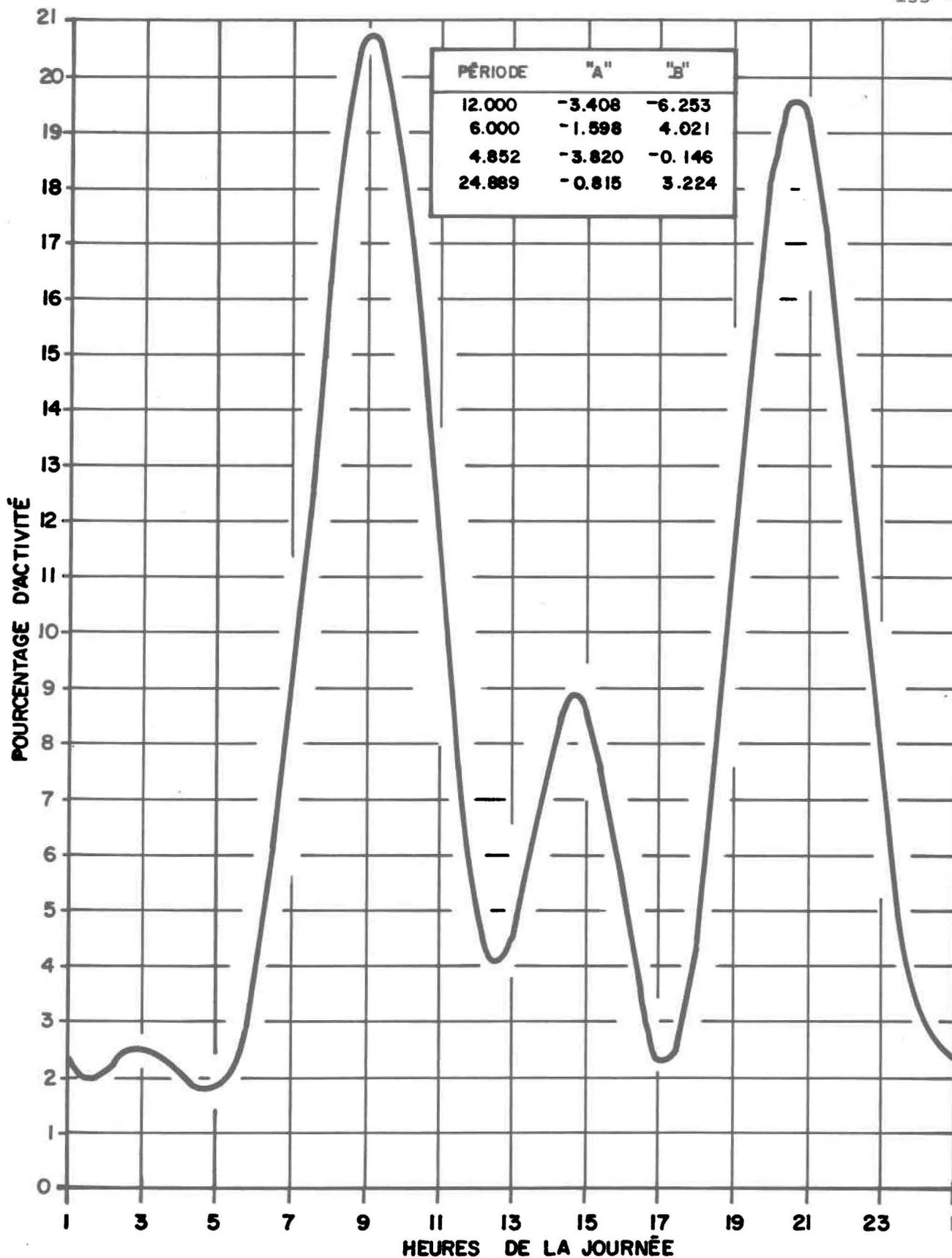


Figure 14 .Activité de *Notropis cornutus* reconstruite à partir des quatre cycles acceptés à 5% et 1% .

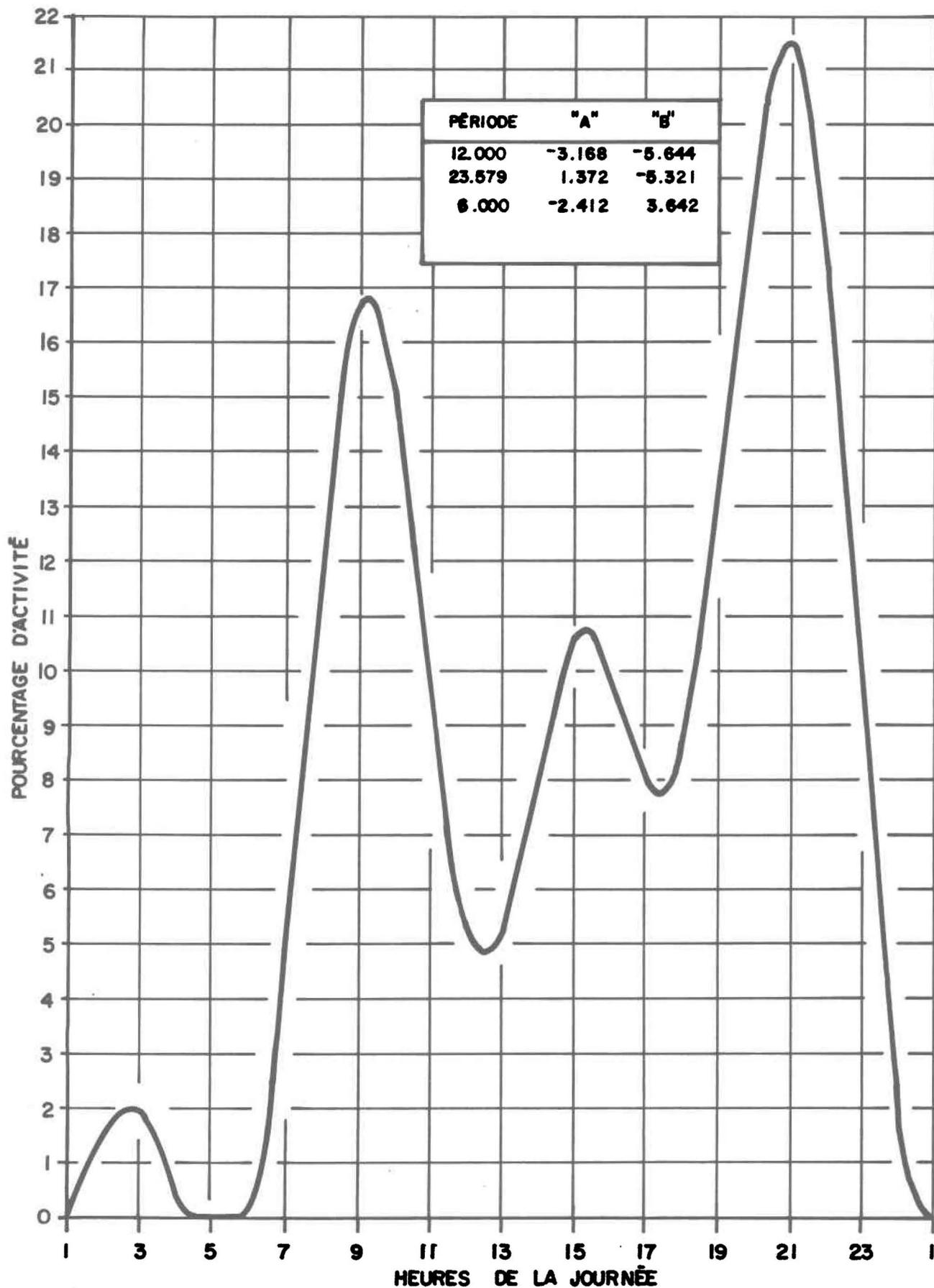


Figure 15 .Activité de *Semotilus atromaculatus* reconstruite à partir des trois cycles de Fourier acceptés au niveau 1% et au niveau 5% .

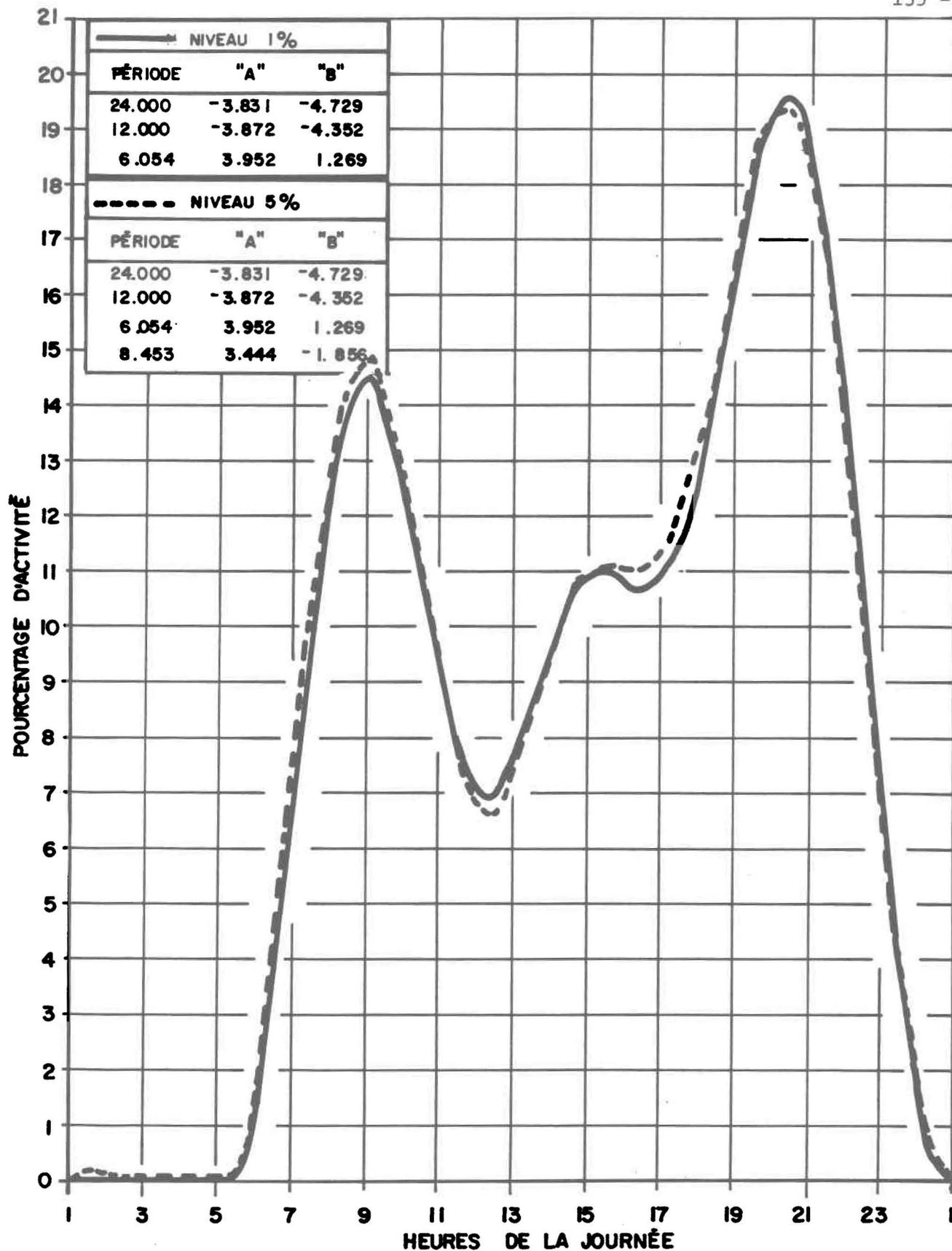


Figure 16 .Activité de *Chrosomus sp.* reconstituée à partir des cycles de Fourier acceptés au niveau 1% et au niveau 5% .

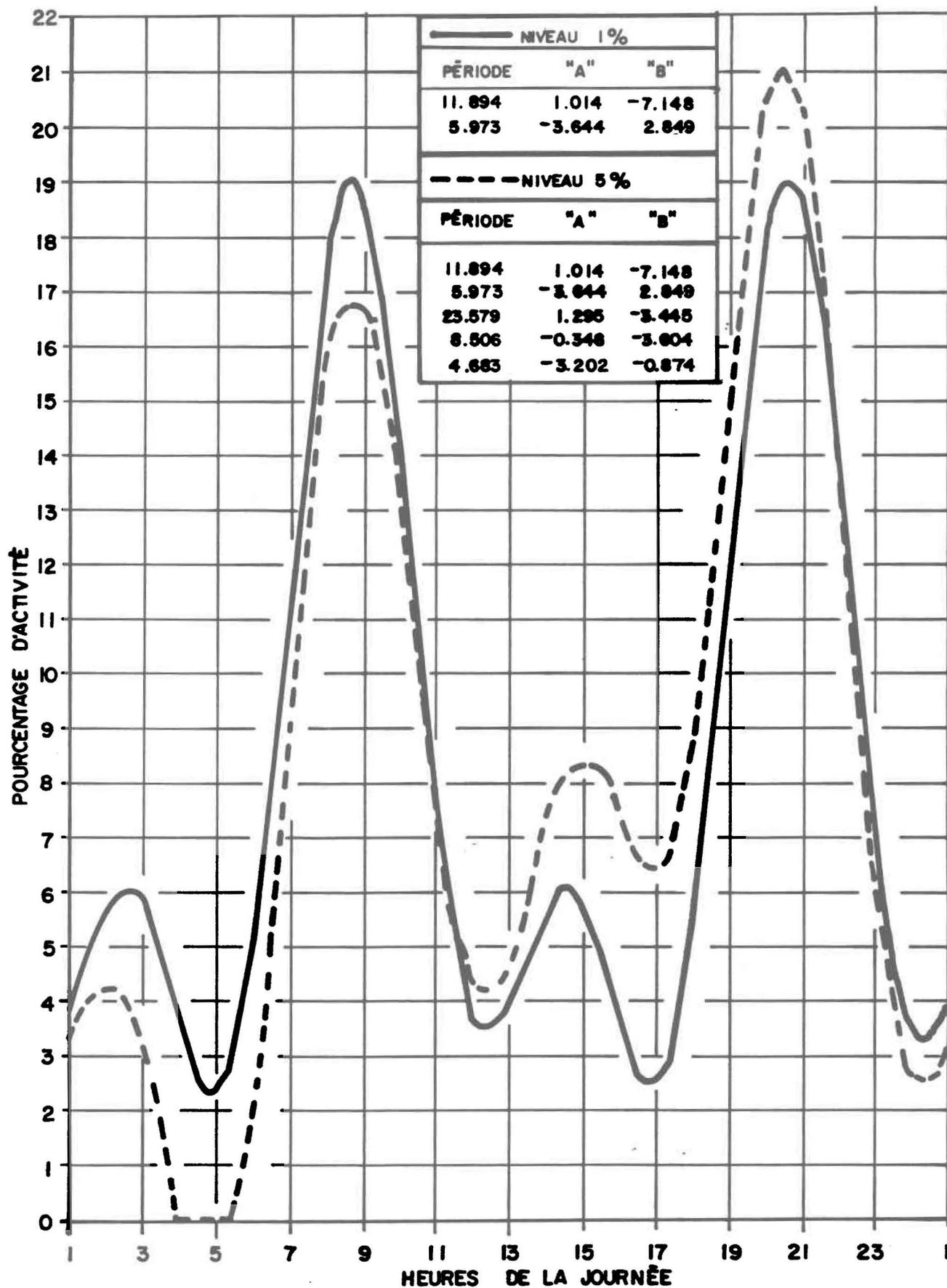


Figure 17 .Activité de *Exoglossum maxilingua* reconstruite à partir des cycles de Fourier acceptés au niveau 1% et au niveau 5% .

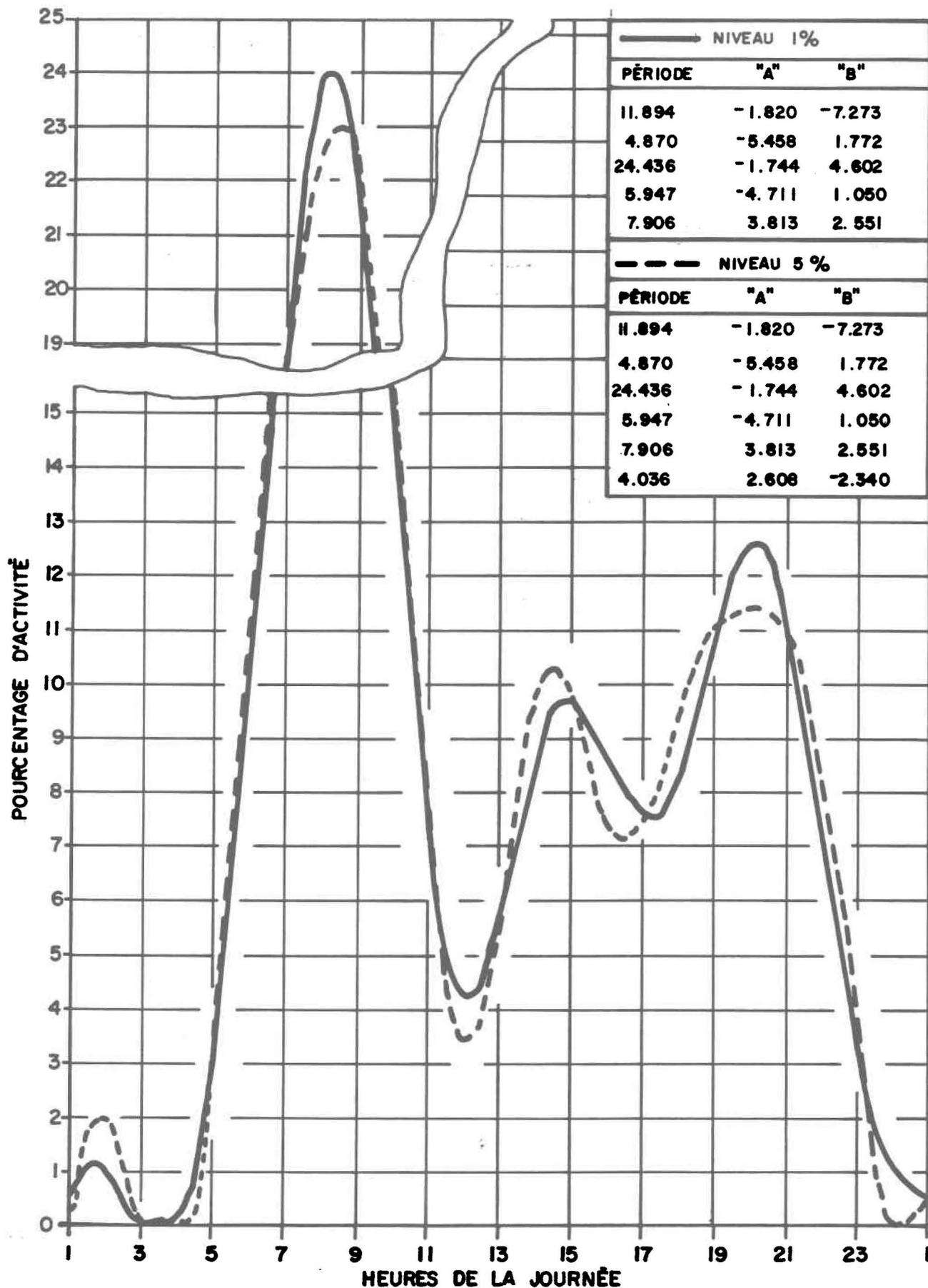


Figure 18 . Activité du *Castostomus commersoni* reconstituée à partir des cycles de Fourier acceptés au niveau de 1% et 5% .

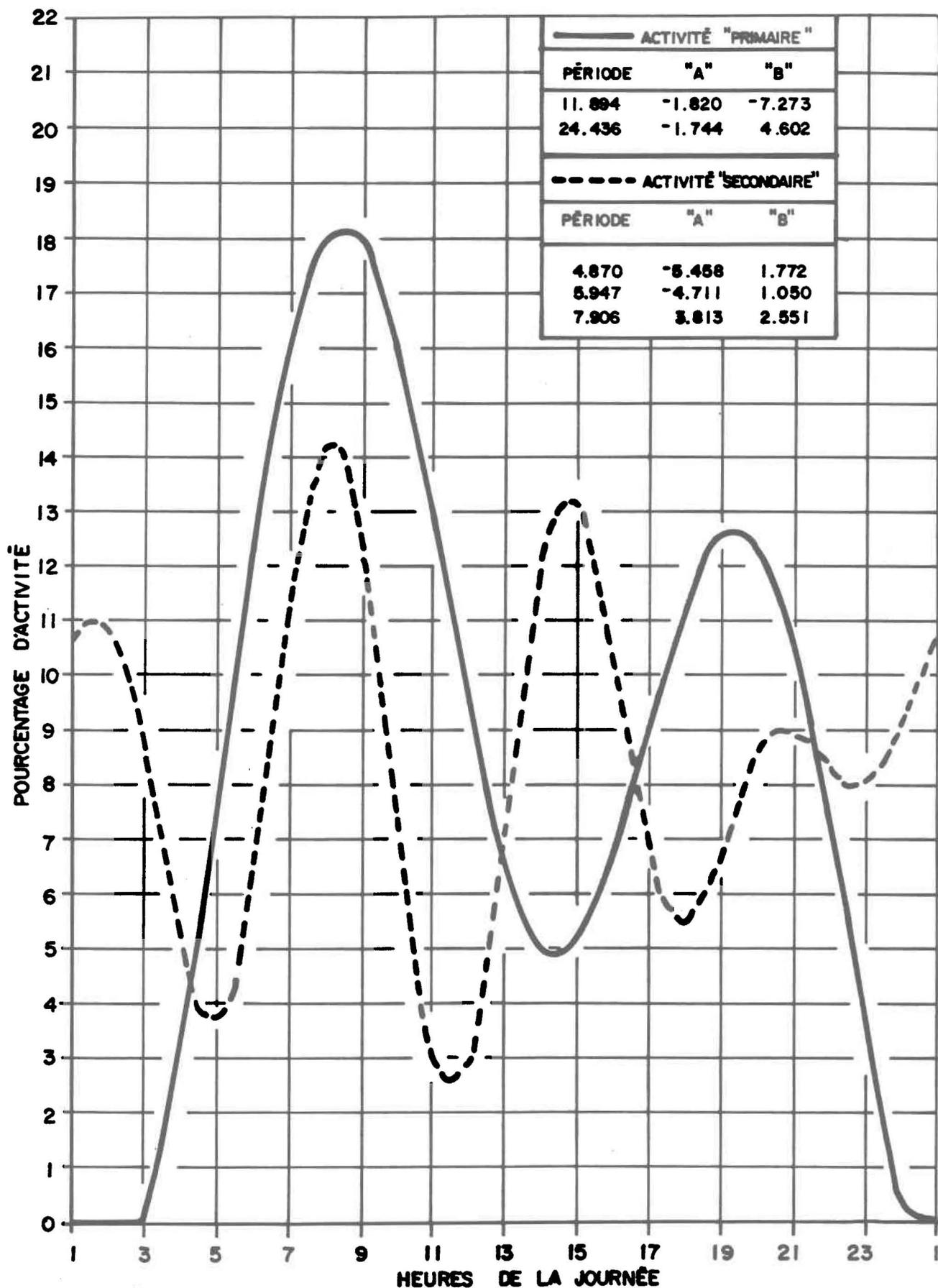


Figure 19 .Activité de Catostomus commersoni. Essai de séparation de deux types d'activité, "primaire" et "secondaire" .