UNIVERSITE DU QUEBEC

MEMOIRE

présenté

à

L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (EAU)

comme exigence partielle

de la

maîtrise ès Sciences (eau)

par

MICHEL LAGACE

B.Sc. (biologie)

"LE RYTHME CIRCADIEN D'ACTIVITE LOCOMOTRICE, EN LABORATOIRE, DU CRAPET-SOLEIL (*Lepomis gibbosus*) ET DE LA PERCHAUDE (*Perca flavescens*)"

AVRIL 1975

Ce mémoire est dédié à mon épouse, Noëlla, et à mes parents pour l'aide et l'encouragement qu'ils m'ont apportés durant ce travail.

TABLE DES MATIERES

Page

REMERCIEMENTS..... iv

SOMMAIRE..... vi

LISTE DES FIGURES..... vii

LISTE DES TABLEAUX..... x

1. INTRODUCTION..... 1

2. REVUE DE LA LITTERATURE ET THEORIE..... 4

2.1 Activité locomotrice..... 4

2.2 Eléments environnementaux ayant des effets sur l'activité locomotrice des poissons..... 6

2.2.1 Eléments chimiques..... 6

2.2.2 Eléments physiques..... 8

2.2.3 Eléments biologiques..... 12

2.3 Caractéristiques éthologiques et patron d'activité locomotrice du crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*) et de la perchaude (*Perca flavescens*)..... 15

2.4 Relation entre le patron d'activité locomotrice naturel et celui qui se manifeste en laboratoire..... 25

3. MATERIEL ET METHODE..... 27

3.1 Préparation et maintien des spécimens..... 27

3.2 Système d'observation..... 28

3.2.1 Aquariums expérimentaux et matériel de support vital..... 28

3.2.2 Matériel d'acquisition de données..... 28

3.2.3 Matériel de contrôle..... 37

3.3 Protocole expérimental..... 39
3.4 Méthode d'analyse des données..... 42
3.4.1 Stationarité..... 42
3.4.2 Périodicité..... 43

4. RESULTATS..... 46
4.1 Résultats d'activité locomotrice..... 46
4.2 Qualité du milieu expérimental..... 46
4.3 Caractéristiques métriques et âge des spécimens..... 58

5. DISCUSSION..... 61
5.1 Patron d'activité..... 63
5.1.1 Crapet-soleil..... 64
5.1.2 Perchaude..... 65
5.2 Rythmes d'activité locomotrice..... 66
5.2.1 Périodicité..... 66
5.2.2 Influence des cycles de lumière et de nutrition..... 68
5.3 Milieu expérimental..... 72
5.3.1 Variations de l'intensité sonore..... 73
5.3.2 Variation de la sensibilité des appareils..... 74
5.3.3 Effets des opérations..... 74
5.3.4 Evolution de la qualité de l'eau..... 75

6. CONCLUSION..... 77
APPENDICE A - Techniques d'acquisition de données sur l'activité locomotrice des poissons..... 79
APPENDICE B - Circuits imprimés..... 86

APPENDICE C - Formes d'agencement des données..... 90

BIBLIOGRAPHIE..... 93

ADDENDUM..... 104

REMERCIEMENTS

L'auteur de ce mémoire exprime sa profonde gratitude:

au professeur A. Rousseau, de l'Institut national de la recherche scientifique (eau), pour avoir assumé la direction de ce travail et pour sa disponibilité;

aux professeurs J.L. Sasseville et H. Demard de l'INRS-eau, pour leur collaboration et leurs précieux conseils;

à monsieur G. Moreau, professeur à l'université Laval pour la correction de ce mémoire;

à messieurs Y. Moreau et A. Houde, du laboratoire d'électronique du même Institut, pour leur aide technique;

au Service de documentation de l'Institut, ainsi qu'à monsieur A. Parent, dessinateur, et madame M. Tremblay, secrétaire, pour le soin apporté à la recherche de documents, à l'exécution des figures et à la dactylographie de ce mémoire;

au ministère de l'Education du Québec et à l'INRS-eau, pour la bourse d'entretien et le financement des expériences;

au Bureau d'aménagement et de gestion du Complexe scientifique, à la direction des pêches maritimes du ministère de l'Industrie et du Commerce, au service de qualité des eaux du ministère des Richesses naturelles, au service de protection de l'Environnement (recherche et planification), pour leur prêt de locaux ou d'équipements et leurs services;

à tous les professeurs, assistants de recherche, techniciens, étudiants et au personnel de l'INRS-eau qui, de près ou de loin, ont bien voulu m'aider de quelque façon que ce soit au cours de ce travail.

SOMMAIRE

Ce mémoire présente l'étude du rythme circadien (période autour de 24 heures) de l'activité locomotrice de 12 crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*) et de 12 perchaudes (*Perca flavescens*). Ces deux espèces sont soumises simultanément à deux types de conditions: lumière et jeûne constants (Expérience I), et cycle de lumière (L D 12:12 (7-19)) et de nutrition à tous les deux jours (Expérience II).

Comme module de détection de l'activité locomotrice, nous utilisons des cellules photorésistives qui différencient les passages du haut de l'aquarium de ceux du bas. L'évolution de la qualité de l'eau, des aquariums à système fermé, est suivie durant les expériences. Le traitement des données est fait en utilisant des méthodes statistiques d'analyse de série de temps (autocorrélation et analyse de Fourier).

Nous constatons d'abord la différenciation de l'activité locomotrice de ces deux espèces. Leur patron d'activité, établi en laboratoire, semble de plus en accord avec leur patron naturel d'activité. Finalement, nous remarquons l'influence importante qu'ont les conditions cycliques de lumière et de nutrition (Expérience II) par rapport aux conditions constantes (Expérience I), sur leurs rythmes d'activité locomotrice.

LISTE DES FIGURES

Fig. 1 Variations horaires du rapport poids moyen du contenu stomacal sur poids du corps (———) et du pourcentage d'estomacs vides (-----) du crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*) et de la perchaude (*Perca flavescens*). (Tiré de Keast et Welsh, 1968). 13

Fig. 2 Patrons d'activité locomotrice du crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*) selon différents auteurs. 20

Fig. 3 Patrons d'activité locomotrice de la perchaude (*Perca flavescens*) selon différents auteurs. 21

Fig. 4 Patrons d'activité locomotrice de la perchaude (*Perca flavescens*) selon différents auteurs. 22

Fig. 5 Moyenne des nombres de perchaudes du lac Mendota, Wisc., enregistrés au sonar durant les hivers A-1963 et B-1964. (Tiré de Hergenrader et Hasler, 1966). 23

Fig. 6 Vue en plan et en élévation du laboratoire. 29

Fig. 7 Schéma-bloc de la technique d'acquisition de données. 31

Fig. 8 Schéma électrique du piscicompteur. 33

Fig. 9 Matériel d'acquisition de données. 38

Fig. 10 Calendrier des périodes d'adaptation et expérimentales et des opérations durant les expériences I et II. 40

Fig. 11 Graphiques des moyennes journalières horaires d'intensité d'activité locomotrice (comptes) des crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*) et des perchaudes (*Perca flavescens*) en fonction du temps (jour), 48

durant les expériences I et II.

Fig. 12 Graphiques des moyennes horaires journalières (12 jours) de l'intensité d'activité locomotrice (comptes) des crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*) et des perchaudes (*Perca flavescens*) en fonction du temps (heure) durant les expériences I et II. 49

Fig. 13 Diagramme de dispersion des moyennes horaires d'intensité d'activité locomotrice en fonction du % de temps. 50

Fig. 14 Autocorrélogrammes des expériences I et II des crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*) et des perchaudes (*Perca flavescens*). 51

Fig. 15 Evolution de la température (^{o}C), du pH et de l'oxygène dissous (mg./l.) de l'eau des aquariums des crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*) et des perchaudes (*Perca flavescens*) durant les expériences I et II. 55

Fig. 16 Evolution de la conductivité (micro-mho) et de la dureté totale (mg./l.) de l'eau des aquariums des crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*) et des perchaudes (*Perca flavescens*) durant les expériences I et II. 56

Fig. 17 Evolution de l'azote (KJELDHAL) (mg./l.), de l'ammoniaque (mg./l.), des nitrites et nitrates (mg./l.) et du phosphore inorganique total (mg./l.) de l'eau des aquariums des crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*) et des perchaudes (*Perca flavescens*) durant les expériences I et II. 57

Fig. 18 Cycles hebdomadaire et journalier de l'intensité sonore (décibel). 59

Fig. 19 Graphique comparant la moyenne sur 2 jours de 12 jours d'activité locomotrice en fonction du temps des crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*) pour le haut de l'aquarium, durant l'expérience II (cycles de lumière et de nutrition) à la reconstitution des données pour les cycles de périodes de 24, 48 et 24 + 48 heures. 71

Fig. 20 Circuit imprimé du piscicompteur. 87

Fig. 21 Circuit imprimé de l'amplificateur "Printer driver". 88

Fig. 22 Circuit imprimé du chronocompteur "Dual measurement timer". 89

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1: Caractéristiques par rapport à la période de la journée (A) et habitudes (B) du crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*) et de la perchaude (*Perca flavescens*). (Tiré de Emery (1973)). 17

TABLEAU 2: Vérification par la méthode de Hall (1973): A) de la présence d'une variation journalière; B) de la présence d'un rythme circadien pour les expériences I et II. 47

TABLEAU 3: Pourcentage expliqué de la variance pour différentes périodes (analyse de Fourier). 52

TABLEAU 4: Phase (ϕ) et amplitude (R) du cycle d'activité locomotrice des crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*) et des perchaudes (*Perca flavescens*) aux périodes de 1 et 2 jours et pour les expériences I et II. 53

TABLEAU 5: Mesures de la microflore totale à 25°C dans deux aquariums traités à l'ozone et un non traité. 54

TABLEAU 6: Longueur à la fourche (LF), longueur totale (LT), hauteur, poids et âge des crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*) et des perchaudes (*Perca flavescens*) expérimentaux. 60

1. INTRODUCTION

L'optimisation de la productivité des eaux douces, pour une plus grande rentabilité de la pêche commerciale et sportive, est une préoccupation qui est devenue prioritaire pour ceux qui s'occupent de l'aménagement du territoire. Pour cette optimisation les modèles physiques et chimiques de l'écosystème aquatique doivent être complétés par des connaissances biologiques sur les organismes habitant ce milieu et plus spécialement sur les poissons.

Un domaine de ces connaissances qui est moins souvent exploré que peut l'être l'évolution des populations piscicoles, leur physiologie ou leur réaction devant des produits toxiques, est la chronobiologie. Depuis la plus haute antiquité, on s'intéressa aux rythmes biologiques. Cependant, tel que le fait ressortir la revue bibliographique de Sollberger (1965) sur les rythmes biologiques, l'étude de ce sujet ne fut entreprise systématiquement que depuis les quarante dernières années. Durant cette période, la chronobiologie fixe ses principes de base (Brown, Hastings et Palmer, 1970; Cloudsley-Thompson, 1961; Harker, 1958, 1964; Sollberger, 1965; Webb et Brown, 1959). Elle met au point des techniques aussi bien d'acquisition que d'analyse de données. Finalement, elle effectue un grand nombre d'études portant sur différents organismes, surtout des mammifères et des oiseaux, et différents rythmes biologiques.

Les rythmes biologiques sont de deux types: endogènes ou exogènes.

Les rythmes endogènes ne sont pas modifiés quand l'organisme est placé dans des conditions où il n'y a aucune influence de l'environnement. Leur étude, touchant surtout le domaine de la physiologie, demande de l'équipement spécialisé et un contrôle minutieux du milieu où l'expérience s'effectue. Par contre, les rythmes exogènes sont induits par un ou des rythmes de l'environnement. Ces rythmes de l'environnement sont produits par le soleil (rythmes circadiens, saisonniers et solaires), par la lune (rythmes lunaires journaliers et mensuels) et par les autres planètes (rythmes planétaires). Notre étude portera sur un rythme biologique exogène circadien; car l'étude des rythmes exogènes utilise des techniques simples et nécessite peu de contrôle du milieu expérimental. D'autre part, les rythmes circadiens, c'est-à-dire, ayant une période d'environ 24 heures, sont ceux qui sont le plus fréquemment étudiés à cause de leur courte période.

L'activité locomotrice du poisson est un rythme biologique circadien, qui est l'expression de phénomènes internes essentiels à sa vie, qui est facilement observable et qui, dans une optique de compétition entre les espèces piscicoles, est un facteur déterminant de l'occupation des habitats aquatiques. D'abord, durant le début des quarante années de recherche sur les rythmes biologiques, l'étude des rythmes circadiens d'activité locomotrice des poissons se fit, dans le milieu naturel, à des fins d'ordre éthologique. Puis, durant les dix dernières années, on mis l'emphase sur les effets d'éléments environnementaux polluants, sur l'activité locomotrice. Tout en étant faites en laboratoire, ces dernières études développèrent plusieurs techniques et équipements.

Dans le contexte de notre étude, on utilise les connaissances acquises sur les rythmes circadiens d'activité locomotrice des poissons dans

leur milieu naturel et on emploie les techniques et équipements récemment développés en laboratoire. Notre étude se situe dans un bloc d'acquisition de connaissances qui veut caractériser les rythmes circadiens d'activité locomotrice de l'ensemble de la faune piscicole de nos eaux. Cependant, vu le grand nombre d'espèces à caractériser, notre étude se limitera à deux des espèces les plus communes: le crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*) et la perchaude (*Perca flavescens*).

2. REVUE DE LA LITTERATURE ET THEORIE

Nous définirons d'abord le paramètre mesuré, soit l'activité locomotrice. Puis nous ferons un résumé des différents types d'éléments environnementaux ayant des effets sur l'activité locomotrice des poissons. Ensuite, s'intéressant spécifiquement aux deux espèces étudiées, le crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*) et la perchaude (*Perca flavescens*), nous présenterons leurs caractéristiques éthologiques ayant un lien avec l'activité locomotrice et leurs patrons d'activité locomotrice déjà bâtis. Finalement, intégrant une partie des renseignements fournis dans ce chapitre, nous allons examiner la relation entre le patron d'activité locomotrice de ces deux espèces dans leur habitat naturel et leur patron d'activité en aquarium.

2.1 Activité locomotrice

Fry (1947, 1971) constata que le métabolisme dans le sens catabolisme est la somme des réactions approvisionnant un organisme en énergie. Tandis que l'activité en général est le résultat du métabolisme organisé ou tout ce que l'organisme fait avec l'énergie provenant du métabolisme. Cette activité peut prendre entre autre, la forme d'une lutte, d'un mouvement, d'une croissance ou même d'une excrétion.

Deux règles nous montrent la complexité des liens existants entre le métabolisme et l'activité et la difficulté qu'on peut avoir de remonter au métabolisme à partir de mesures d'activité. Il s'agit, selon Fry (1971)

que, premièrement: il faut s'attendre à ce qu'une partie de l'énergie servant à l'exécution d'une activité particulière se perd dans le maintien de l'organisme dans son milieu et dans un coût pour le support des mécanismes auxiliaires à cette activité et que, deuxièmement: qualitativement, la performance est différente de la puissance qui est consacrée à une activité et il n'y a aucune proportionnalité simple entre les mesures des deux.

Les paramètres, comme la consommation d'O_2 ou la production de CO_2, représentent assez fidèlement le métabolisme d'un organisme soumis à différentes conditions environnementales. Par contre, l'activité comme telle est difficile à mesurer, étant constituée de processus physiologiques (croissance et excrétion) et éthologiques (nutrition et activité locomotive) qui demandent chacun des techniques particulières de mesures.

L'activité locomotrice du poisson est l'expression de plusieurs facettes de son comportement écologique. En se limitant aux rythmes circadiens d'activité locomotrice, on peut en extraire des rythmes d'activité de nutrition (recherche de proie), d'activité de comportement (aggrégation, migration d'un habitat nocturne à un habitat de jour, reproduction, etc..) et d'activité locomotrice orientée (pression d'éléments environnementaux sur le poisson).

La forme d'activité locomotrice la plus souvent étudiée et qu'on observera dans nos expériences est l'activité locomotrice comme mouvement. Nous laisserons de côté l'examen de la direction du mouvement de l'activité locomotrice, qui fut fait auparavant par Kapoor (1971), Rousseau (1973) et Timms, Kleerekoper et Matis (1972).

2.2 Eléments environnementaux ayant des effets sur l'activité locomotrice des poissons

Certains éléments de l'environnement ont des effets sur le métabolisme du poisson. L'activité générale, dépendante du métabolisme, est affectée par ces éléments. Ainsi, l'activité locomotrice est assujettie aux différents éléments environnementaux. Une caractérisation des deux espèces étudiées serait donc incomplète sans une incursion dans les effets que certains éléments peuvent produire sur leur rythme circadien d'activité locomotrice.

Trois types d'éléments environnementaux peuvent influencer l'activité locomotrice, soit: les éléments chimiques, physiques et biologiques. Comme éléments chimiques, nous considérons la mise en contact du poisson avec des concentrations anormales de produits chimiques organiques ou inorganiques toxiques, ou avec des produits de sécrétion des autres individus côtoyant le spécimen. Les éléments physiques sont généralement des variations de la température de l'eau, de l'oxygène dissous, du cycle lumineux, de l'intensité lumineuse ou sonore, du champ électromagnétique ou électrostatique. Aux éléments biologiques correspondent les habitudes sociales et alimentaires, la compétition, la prédation, l'influence de l'homme, etc...

2.2.1 Eléments chimiques

Le mode d'action des éléments chimiques se limite surtout à des mécanismes ou des cycles physiologiques. Les organes externes sont les premiers sites affectés par les éléments chimiques. Un bon exemple de leur mode d'action nous est fourni dans les études de l'effet du chlore chez la truite mouchetée (*Salvelinus fontinalis*), Dandy (1970, 1972) et chez le mené à grosse tête (*Pimephales promelas*), Zillich (1972). Cet élément avait un effet

sur le contrôle de l'activité locomotrice et devenait léthal à une concentration de 0.04 ppm. de chlore. A cette concentration qui ne déclenchait pas un réflexe de fuite comme celles de 0.35 ppm. ou de 0.08 ppm., le poisson était tué avec le temps.

Le zinc $^{++}$ ($Zn\ SO4.7H_2O$) à une concentration de 7.5 mg./1. (TL_m 96 heures), d'après l'étude de Cairns et al. (1970), augmente de 10 fois l'activité locomotrice du poisson rouge (*Carassius auratus*) tandis qu'une concentration de 5.6 mg./1. de Zn^{++} produit une inversion de l'activité par rapport à la photopériode. Morgan (1972) a étudié les relations antagonistes et synergétiques de quelques éléments chimiques chez le crapet-commun (*Lepomis macrochirus*). Il constata que le calcium contrôle l'effet du zinc et qu'aucun changement dans l'activité locomotrice du poisson est enregistré. De plus, le zinc et le cuivre n'ont aucune action synergétique pour ce qui regarde leur effet sur l'activité locomotrice des spécimens. L'orientation de l'activité locomotrice peut cependant être affectée par une concentration de cuivre de l'ordre de 50 ug./1. Cu^{++}, comme le démontre l'étude de Timms, Kleerekoper et Matis (1972) sur la barbue (*Ictalurus punctatus*) et le poisson rouge (*Carassius auratus*); par contre, l'achigan à grande bouche (*Micropterus salmoides*) n'était pas affecté.

Kleerekoper, Taylor et Wilton (1961), en plus d'observer chez la lamproie de mer (*Petromyzon marinus*) la présence d'un rythme diurne d'activité qui dépendait d'un cycle lumineux, démontrèrent l'influence d'un stimulus chimique sensoriel sur ce rythme d'activité. Après l'introduction d'eau où séjournaient des truites dans l'aquarium des lamproies, ils constatèrent une augmentation de l'activité pour une période de 6 heures après l'introduction. Dans une autre expérience, durant laquelle les lamproies n'avaient pas de rythmes diurnes, ils rétablirent, en introduisant le même type d'eau,

le rythme diurne qui fut maintenu durant 5 jours.

2.2.2 Eléments physiques

Les éléments physiques n'endommagent pas aussi profondément que les éléments chimiques les structures et les mécanismes physiologiques. Ils ont des effets plus réversibles et moins toxiques. Cette réversibilité fut constatée dans l'étude de Breder et Nigrelli (1935). Ils observèrent qu'il y avait chez le crapet à ventre rouge (*Lepomis auritus*) soumis à de basses températures (4°C à 18°C), une aggrégation des individus et que l'aggrégation se déformait à partir de 18°C. Ils constatèrent de plus, que pour d'autres espèces de crapets (*Lepomis gibbosus, L. macrochirus, L. cyanellus*), l'aggrégation dans ces conditions n'était pas aussi discernable et qu'ils ne montraient qu'une légère tendance à la formation de groupes diffus. Barlow (1958) observa chez le "desert pupfish" (*Cyprinodon macularius*), un poisson du Sud de la Californie, l'influence sur ses déplacements, du changement de la température de l'eau (de 15°C à 20°C). Ses déplacements et la position du poisson étaient réglés par la température de l'eau.

D'autres auteurs tels Pittendrigh et Bruce (1959), Sweeney et Hastings (1960), s'intéressèrent à l'étude des principes régissant l'influence du thermopériodisme sur les rythmes biologiques des animaux. D'autre part, Morgan (1972) étudia plus spécifiquement l'effet de la variation de la température sur l'activité locomotrice des poissons. Par une simulation en laboratoire, il examina chez le crapet-commun (*Lepomis macrochirus*), l'effet qu'a une variation de 5°C produit par le rejet d'une centrale hydrothermique. Il conclua à un changement dans l'activité normale du poisson dû au changement de température. Dans une autre étude, Neill, Magnuson et Chipman (1972), utilisant une technique tenant compte de l'activité locomotrice du poisson,

produisirent les graphiques de la thermorégulation de 6 espèces de poissons d'eau douce. Selon eux, cette thermorégulation varie significativement pour ces 6 espèces et est en accord avec les distributions dues à la température, des mêmes espèces, dans un lac recevant un effluent chauffé.

La basse teneur d'oxygène dissous est un autre élément physique qui peut influencer l'activité locomotrice. Jones (1964) examina la relation entre la teneur d'oxygène dissous et l'activité en général. Withmore, Warren et Doudoroff (1960) ont observé que le saumon "chinook" (*Oncorhynchus tshawytscha*) évitait les eaux ayant 1.5, 3.0 et 4.5 mg./l. d'oxygène dissous, que le saumon "coho" (*Oncorhynchus kisutch*) s'éloignait en plus de celles à 6.0 mg./l. d'oxygène dissous, que l'achigan à grande bouche (*Micropterus salmoides*) évitait celles de 1.5 mg./l. et que le crapet-commun (*Lepomis macrochirus*) fuyait celles de 1.5 et 3.0 mg./l. d'oxygène dissous. Dandy (1970) a constaté que pour la truite mouchetée (*Salvelinus fontinalis*) des concentrations de 1.7 ppm. et 6.0 ppm. d'oxygène dissous produisaient une réponse sur l'activité.

Les variations de l'intensité sonore peuvent aussi influencer l'activité locomotrice. Siegmund et Wolff (1972) ont observé qu'en éclairement continu, (140 lux), une stimulation sonore non spécifique favorise l'activité de l'espèce diurne *Leucaspius delineatus* et supprime en obscurité continue celle de l'espèce nocturne *Acerina cernua*. De plus, pour *Leucaspius delineatus*, la synchronisation de l'activité a pu être momentanément obtenue par l'émission, 12 heures par jour, d'un bruit (15 H_z à 15 k H_z) présentant un niveau de 95 dB.

Les éléments géophysiques tels: la pression barométrique, les champs magnétiques et électrostatiques et les radiations gamma ont, certes, une in-

fluence sur l'activité locomotrice. Brown (1960) étudia l'influence de ces éléments physiques chez plusieurs organismes à l'exception des poissons, et décela d'importantes relations entre les phénomènes géophysiques et l'activité locomotrice.

La lumière est un élément physique important ayant une grande variété d'influences sur l'activité locomotrice. Cette importance s'explique par la nature même de la lumière, qui dans le milieu, est "donneur de temps", générant un rythme cosmique circadien. Son action sur l'activité locomotrice se présente sous trois formes: choc lumineux, variation de l'intensité lumineuse et variation de la photopériode. Davis (1962) a décrit les réactions du crapet-commun à oreilles bleues (*Lepomis macrochirus macrochirus*) soumis à un choc lumineux. Les variations de l'intensité lumineuse ont une influence plus complexe sur l'activité locomotrice, tel qu'on peut le voir dans la loi circadienne.

> "La fréquence instantanée, le rapport du temps d'activité sur le temps de repos dans une période et la somme d'activité, doit augmenter avec l'augmentation de l'intensité lumineuse pour une illumination constante chez les animaux actifs à la lumière et ces trois paramètres diminuent avec une augmentation d'intensité lumineuse pour les animaux actifs au noir." (Aschoff (1960)).

Lisman et Schwassmann (1965) ont montré que pour *Gymnorhamphichthys hypostomus* et *Hypopomus*, deux poissons de l'Amérique du Sud et Centrale, la loi circadienne d'Aschoff s'applique. En effet, la période d'activité locomotrice de ces poissons nocturnes s'allonge avec l'augmentation de l'intensité lumineuse. Kapoor (1971) étudia l'effet de variations de l'intensité lumineuse sur le déplacement du crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*). Il démontra que ce poisson avait différents angles et sens de déplacement selon que

l'intensité lumineuse était normale (1 lux) brillante (1.2 lux), sombre (0.6 lux) ou obscure (< 0.6 lux).

La variation de la photopériode est une forme d'action très puissante de la lumière sur le rythme circadien. Plusieurs études chez un ensemble d'organismes furent faites touchant les principes généraux de ce sujet. Les études de Pittendrigh et Bruce (1959) analysèrent l'influence du photopériodisme et du thermopériodisme sur les rythmes circadiens et celles de Pittendrigh et Minis (1964) examinèrent l'entraînement des oscillations circadiennes par la lumière et leur rôle comme horloges photopériodiques. Tout au long de ces études, on élabora des modèles sur l'influence du photopériodisme sur les rythmes biologiques et on observa des phénomènes comme le changement de phase d'un rythme sous l'induction d'un cycle lumineux artificiel.

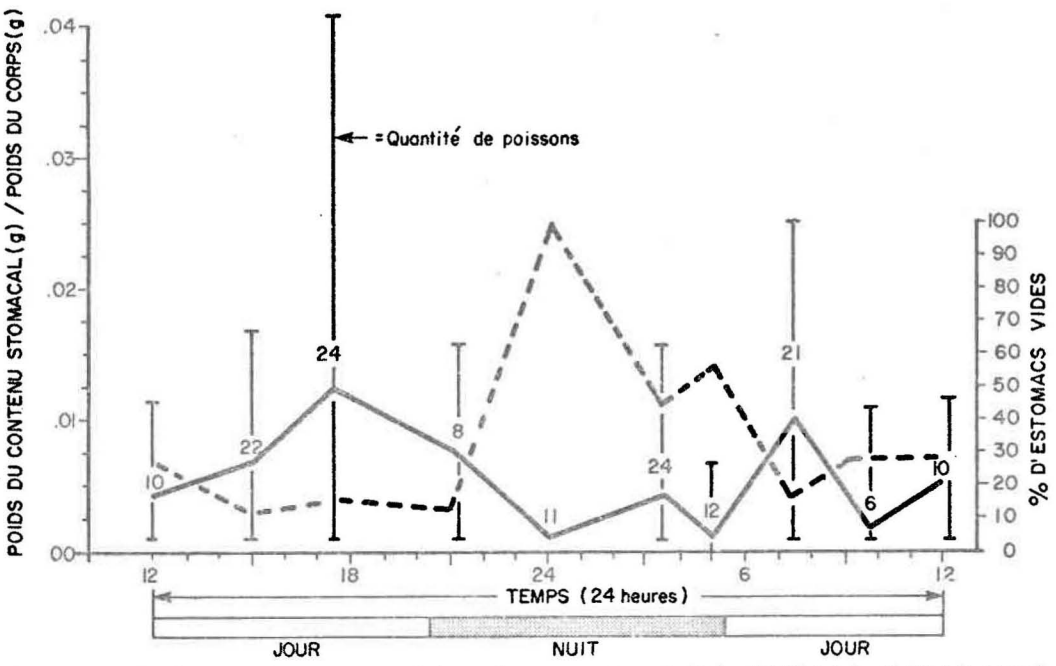
Parmi les études s'intéressant aux poissons, Moreau (1962) observa, durant un an, les rythmes d'activité de recherche et de préhension de nourriture du goujon (*Gobio gobio*). Il constata que ces rythmes avaient des variations saisonnières. De plus, il attribua la disposition des goujons et leur indifférence à l'égard de la nourriture pendant le jour en hiver, à une inversion du phototropisme de ce poisson, inversion déterminée par des facteurs externes (température et photopériode). D'autres s'intéressèrent aux variations journalières, de rythmes biologiques influencés par différentes conditions lumineuses. Ainsi, Richardson et McCleave (1974), dans leur étude sur les rythmes d'activité locomotrice du saumon d'Atlantique (*Salmo salar*), concluent que les transitions lumière-noirceur sont importantes dans la synchronisation des rythmes d'activité locomotrice.

De même, Davis (1963) chercha les effets que peuvent avoir sur l'activité locomotrice du crapet-commun (*Lepomis m. macrochirus*) et de l'achigan

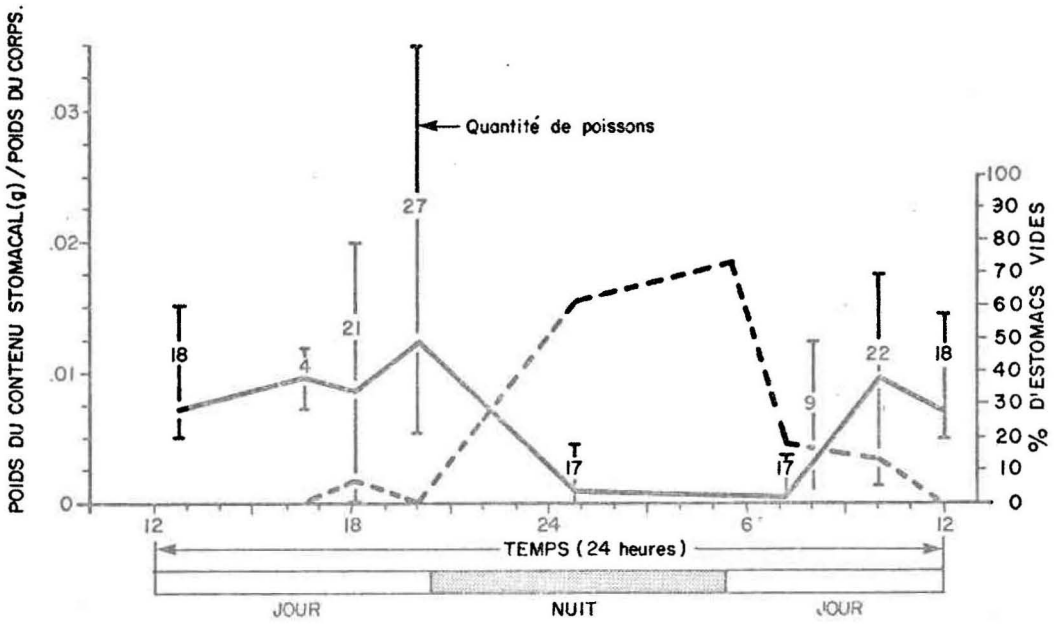
à grande bouche (*Micropterus salmoides*), différentes modifications de la photopériode. Il remarqua que la pointe d'activité locomotrice précédant l'aube est réglée par un mécanisme interne du poisson, mécanisme qui est coordonné par le changement journalier de l'obscurité à la lumière. En ce qui regarde la perchaude (*Perca flavescens*), Hasler et Bardach (1949) observent l'influence marquée du lever et du coucher de soleil sur son activité locomotrice et Scott (1955) conclut que la lumière semble jouer un rôle important dans le minutage du départ et de l'arrêt de l'activité journalière et que le temps de migration des perchaudes change avec le changement durant une saison, du lever et du coucher de soleil.

2.2.3 Eléments biologiques

Les éléments biologiques peuvent aussi influencer l'activité locomotrice. Parmi les plus importants, il y a les habitudes alimentaires, la migration, la prédation, l'influence de l'homme et le comportement social du poisson. Keast et Welsh (1968) ont étudié chez *Perca flavescens*, *Lepomis macrochirus*, *Lepomis gibbosus*, *Fundulus diaphanus* et *Ambloplites rupestris* le cycle journalier de nutrition et leur diète. Ainsi, chez le crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*), trois pics dans le degré de remplissage de l'estomac ont été observés: deux élevés à 8 heures et 18 heures et un moins élevé à 3 heures (fig. 1A). Pour la perchaude (*Perca flavescens*), il y a deux pics dans le poids du contenu stomacal par gramme de poisson (fig. 1B), un élevé au coucher du soleil à 20 heures et un moins élevé au milieu de l'avant-midi, vers 10 heures. Fortin et Magnin (1972b) ont remarqué, dans leur étude de la population des perchaudes du Lac Saint-Louis (Québec) que celles-ci se nourrissent pendant les heures de clarté, le remplissage de l'estomac débutant dès le lever du soleil et se terminant au coucher du soleil, ou occasionnellement 4 à 8 heures avant le coucher du soleil.



A — Cycle journalier de nutrition du crapet-soleil (LEPOMIS GIBBOSUS)



B — Cycle journalier de nutrition de la perchaude (PERCA FLAVESCENS).

Fig. 1 .Variations horaires du rapport poids moyen du contenu stomacal sur poids du corps (———) et du pourcentage d'estomacs vides (- - - - - -) du crapet-soleil (LEPOMIS GIBBOSUS) et de la perchaude (PERCA FLAVESCENS) (tiré de Keast et Welsh, 1968)

L'inanition ou privation de nourriture est un phénomène intéressant si on considère son lien avec l'activité locomotrice. Dandy (1972) étudia ses effets chez la truite mouchetée (*Salvelinus fontinalis*). Il constata une augmentation d'activité locomotrice durant trois heures après le repas. Vingt-quatre heures plus tard, l'activité locomotrice revient au même niveau qu'avant le repas. Ce niveau était égal à celui de spécimens maintenus en jeûne constant.

Hobson (1968, 1972) fit des observations de l'activité locomotrice des poissons récifaux d'Hawaii et du comportement des poissons côtiers du Golfe de Californie. Il s'aperçut que les rythmes d'activité locomotrice de ces poissons étaient régis par des relations intraspécifiques et interspécifiques. Emery (1973) effectua le même type d'observation chez 21 espèces de poissons d'eau douce de l'Ontario et détermina ainsi leur période de repos ou de nutrition. Miller (1963), dans son étude sur les habitudes du crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*) et d'autres espèces de *Lepomis*, décrivit les habitudes sociales ainsi que les habitudes de maintien, de combat et de reproduction d'espèces du genre *Lepomis*. Ces trois dernières recherches fournissent des explications utiles aux causes des déplacements ou mouvements des poissons. Les éléments biologiques, comme on le constate, ont une action moins bien délimitée sur l'activité locomotrice, mais leur influence n'en demeure pas moins très importante.

Parmi tous les éléments environnementaux influençant l'activité locomotrice, notre étude tiendra tout particulièrement compte de deux d'entre eux: le cycle lumineux et la nutrition.

2.3 Caractéristiques éthologiques et patron d'activité locomotrice du crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*) et de la perchaude (*Perca flavescens*)

Ces deux espèces desquelles nous tenterons d'établir le rythme circadien de leur activité locomotrice sont bien caractérisées par des paramètres physiologiques, biochimiques et écologiques. Les descriptions de ces deux espèces, faites par La Monte (1946), Mackay (1963), Mélançon (1946), Spillman (1961) et d'autres auteurs, montrent qu'elles ont certains points de similitude. Ainsi, le coloris de ces deux espèces semi-sportives est remarquable; de plus, elles ont en commun des habitudes d'aggrégation. Cependant, pour l'habitat, le type d'aggrégation, la nutrition et l'activité locomotrice, ces deux espèces sont différentes.

Le crapet-soleil habite les eaux claires, de froides à modérément tièdes, avec un fond de sable et de gravier (Mackay (1963)). A une température d'acclimatation de 25°C à 26°C, sa température léthale est de 34.5°C (Jones (1964)). Il nage près de la surface, entre 0.5 et 1 mètre, longeant les tiges des plantes (Emery (1973)). Il peut vivre aussi bien dans un lac, un étang ou en rivière et se maintient préférentiellement à des profondeurs de moins de 3 mètres (10 pieds) d'eau (Odell (1932)).

D'autre part, la perchaude habite les lacs, les étangs et les rivières stagnantes et préfère les grandes étendues d'eau avec une production moyenne de plantes aquatiques (Mackay (1963)). On la rencontre, elle aussi, sur le bord des rives et à des profondeurs qui peuvent aller jusqu'à 9 mètres (30 pieds)(Monte (1946)), on en a même rencontré jusqu'à une profondeur de 24 mètres (80 pied (Migdalski (1962)). A une température d'acclimatation de 15°C, sa température léthale est de 27.7°C (Jones (1964)). Elle se cache dans les herbages et les amas de roches, préférant les profondeurs de 1.5 à 3 m. (Emery (1973)).

Dans ses observations sous-marines, Emery (1973) a de plus constaté des différences dans le temps, dans la position des deux espèces considérées (tableau 1). Seule la perchaude est active loin du fond dans le jour, tandis que les deux espèces sont actives près du fond le jour. Ainsi, dans notre expérience, nous avons voulu tenir compte de cette différence de profondeur dans l'habitat de nos deux espèces expérimentales en utilisant une technique d'acquisition de données discernant le haut et le bas de l'aquarium.

L'aggrégation est un mode de groupement communautaire qui peut prendre deux formes. Nous avons l'aggrégat qui est un petit groupe d'individus (3 à 5) qui est plus ou moins diffus; de plus, il y a le groupe ou "school" qui peut contenir un plus grand nombre d'individus (5 à 200), qui est plus compact et forme une entité de déplacement. Breder et Halpern (1946) ont étudié en détail les habitudes innées et acquises qui affectent l'aggrégation du poisson. Ils ont conclu avec d'autres auteurs que la vision était nécessaire pour le maintien d'un groupe et ont étudié les éléments l'influençant, ainsi que ses mécanismes.

Les crapets-soleil forment des groupes de 5 à 20 individus, qui se tiennent surtout sur le bord des rivages. D'autre part, les crapets-soleil adultes forment de petits aggrégats (3 à 4 individus) dans les eaux de plus de 1 mètre. Les perchaudes s'amassent en groupes ayant une plus grande quantité d'individus (10 à 50). Ces groupes sont en mouvement à des profondeurs entre 10 et 20 pieds et sont constitués d'individus d'une même génération ou d'une même grosseur (Mélançon (1946)). Hasler et Bardach (1949) observèrent que 40 à 60 minutes avant le lever du soleil, les perchaudes s'amassent en groupes de 50 à 200 poissons. L'hiver, les groupes de per-

TABLEAU 1: Caractéristiques par rapport à la période de la journée (A) et habitudes (B) du crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*) et de la perchaude (*Perca flavescens*). (Tiré de Emery (1973)).

A) Caractéristiques/Période de la journée

	CRAPET-SOLEIL (*Lepomis gibbosus*)				PERCHAUDE (*Perca flavescens*)			
		+	M	-		+	M	-
sur le fond	repos	C		N	repos	C		N
Position près du fond	actif				actif			
	repos				repos		J	N
loin du fond	actif		J		actif		J	
	repos				repos			
	actif				actif		J	
Formation de nage	individu	C	J	N	individu	C	J	N
	aggrégat (3 à 4 ind.)				aggrégat (3 à 4 ind.)	C	J	
	groupe (5 à 200 ind.)		J		groupe (5 à 200 ind.)			
Activité de nutrition — Temps	J				J			
Activité de nutrition — Location	FOND				FOND + MILIEU			

C = crépuscule, N = nuit, J = jour, M = moyen

B) Habitudes

Changement dans l'abondance apparente (nuit)	Diminution	Augmentation
Location du mouvement vertical (nuit)	Eau peu profonde	Eau peu profonde
Habitat (nuit)	sous couvert	sous couvert
Changement de couleur (nuit)	plus pâle et marbrée	plus pâle
Réaction au bruit et à la lumière (plongée de nuit)	Fortement orientée	Fortement orientée

chaudes sont moins compacts (longueur > 2 pieds, largeur 22.1 pieds) que l'été (longueur > 1.5 à 2 pieds, largeur 8.5 pieds) (Hergenrader et Hasler (1968)). Dans le tableau 1, nous énumérons les habitudes sociales dans la formation de nage de nos deux espèces en fonction de la période de la journée. On remarque que seule la perchaude se groupe en aggrégats pour nager au crépuscule et durant le jour.

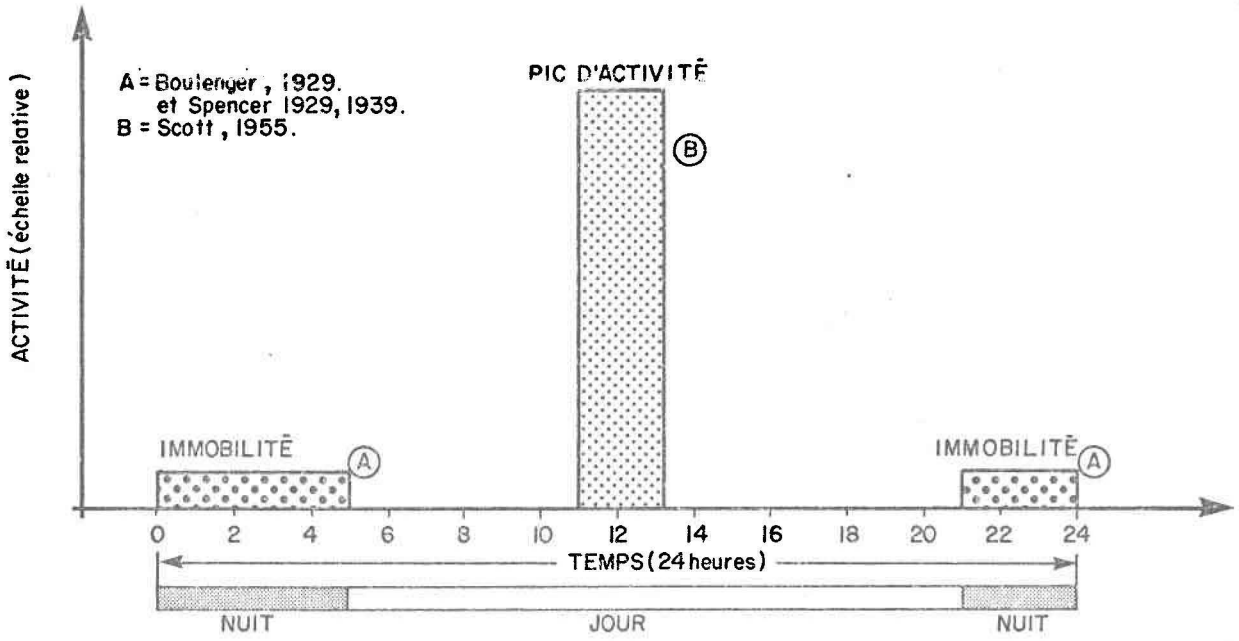
Si on considère la nutrition de ces deux espèces, on constate qu'il y a des différences dans leur cycle de nutrition ainsi que dans leur diète. Dans la figure 1, nous avions déjà montré les cycles de nutrition de ces deux espèces. De plus, tel qu'on le remarque dans le tableau 1, la localisation de l'activité de nutrition se situe au fond de l'eau pour le crapet-soleil, tandis que la perchaude se nourrit au fond et au milieu de l'eau. Fortin et Magnin (1972b) ont fixé à 14 heures le temps de digestion de la perchaude, dans une eau de 22°C et que sa ration journalière dépend de sa longueur et de la saison. L'étude de Keast et Welsh (1968) sur la variation dans le temps de la diète de nos deux espèces fait ressortir une autre différence de ces deux espèces. La diète du crapet-soleil varie significativement durant ses trois périodes de nutrition (18 heures, 8 heures, 3 heures) et ceci, conformément au cycle d'activité de sa nourriture, composée surtout: d'amphipodes, d'isopodes, de nymphes de zygoptères et d'asinoptères, de larves de tricoptères et de chironomidées, de pupes de chironomidées et de pélécypodes. Tandis que la diète de la perchaude est semblable pour les deux périodes de nutrition (10 heures et 20 heures), les organismes étant consommés en plus petite quantité durant l'avant-midi. Elle se nourrit surtout: d'isopodes, d'amphipodes, de nymphes d'éphéméroptères, de zygoptères et d'asynoptères, de larves de chironomidées et de cladocères.

Finalement, après avoir traité de l'habitat, de l'aggrégation et de la nutrition de nos deux espèces, nous ferons une revue des différents patrons d'activité locomotrice, observés par différents auteurs, sur le crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*) et la perchaude (*Perca flavescens*).

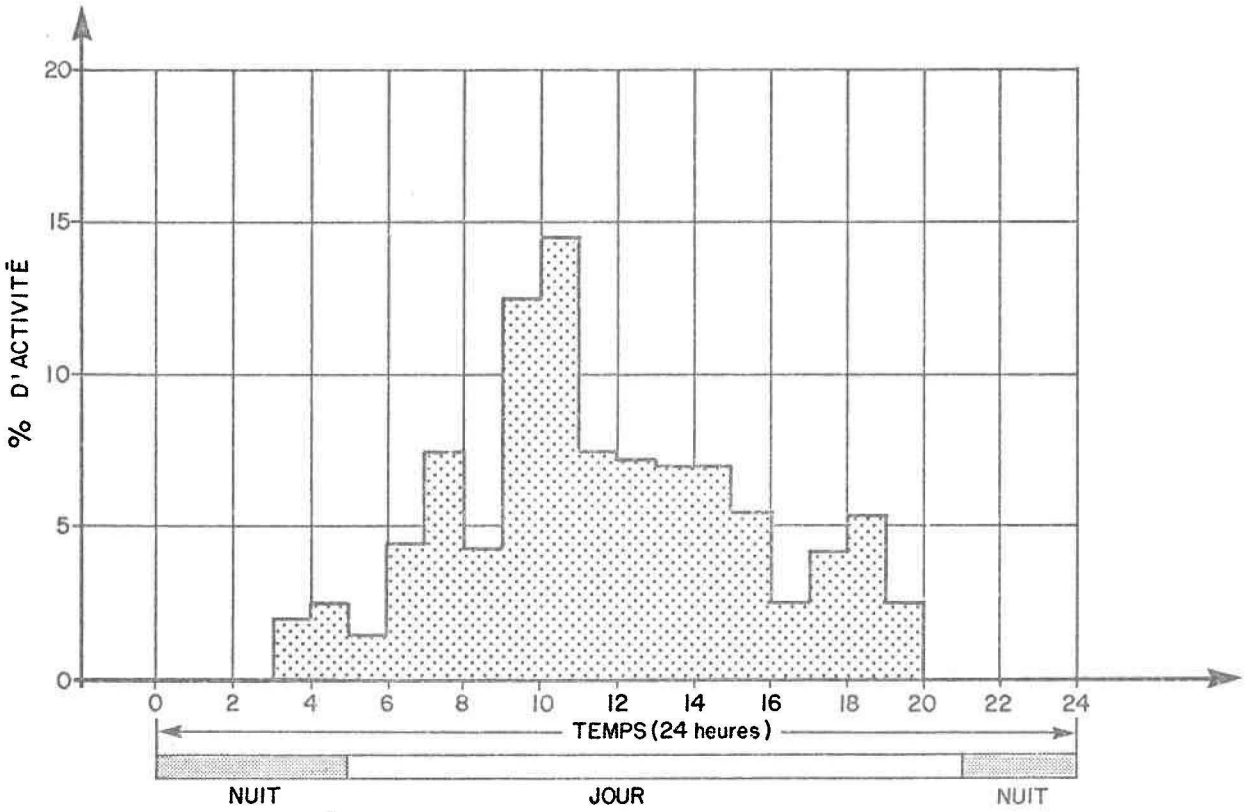
Pour le crapet soleil, l'ensemble des auteurs ont constaté que son activité locomotrice se manifeste durant le jour. Boulenger (1929) et Spencer (1929, 1939) observent qu'entre 21 heures et 5 heures il se maintient dans une immobilité presque totale (figure 2-A). Scott (1955) signale qu'il a, au milieu de la journée, un maximum d'activité. Plus récemment, Rousseau (1973), dans ses patrons d'activité des poissons du Lac Quenouille (Québec), a obtenu sur le crapet-soleil, des résultats confirmant les études antécédentes (figure 2-B). Il a montré que l'activité du crapet-soleil débute vers 3 heures, a un maximum entre 9 heures et 11 heures, diminue jusqu'à 20 heures, puis s'annule dans la soirée.

Toutes les études précédentes sur l'activité locomotrice du crapet-soleil furent faites dans le milieu naturel. Kapoor (1971) entreprit d'étudier en laboratoire le patron d'activité du crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*) soumis à différentes illuminations. Il observe que ce poisson bouge peu dans les 4 à 6 premières heures de son introduction dans l'aquarium, qu'il est ensuite plus actif tôt le matin et tard l'après-midi, que son activité a lieu surtout durant les périodes d'illumination et que si la lumière passe de vive à obscure, il y a une diminution appréciable d'activité.

La perchaude est, elle aussi, un poisson plus actif le jour que la nuit. (Carlander et Clearly, 1949; Fortin et Magnin, 1972a; Hart, 1931; Rousseau, 1973; Scott, 1955; Sieh et Parsons, 1950) (figures 3, 4 et 5). Cette diminution d'activité durant la nuit est telle que Boulenger (1929), en laboratoi-

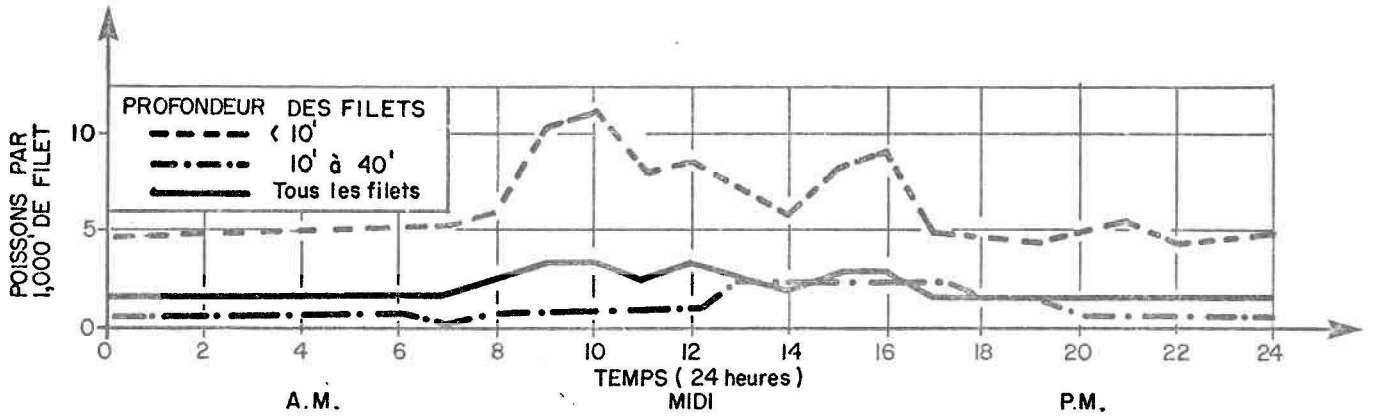


A - Patron d'activité du crapet-soleil (LEPOMIS GIBBOSUS)
(tiré de Boulenger (1929), Spencer (1929, 1939) et Scott (1955).

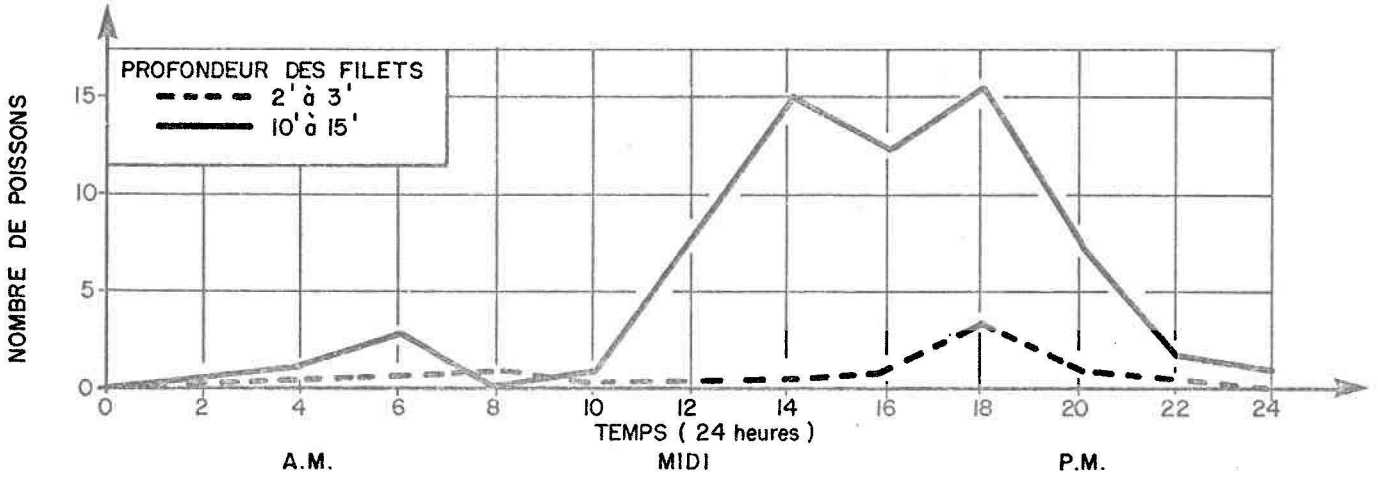


B - Patron d'activité du crapet-soleil (LEPOMIS GIBBOSUS)
(tiré de Rousseau (1973)).

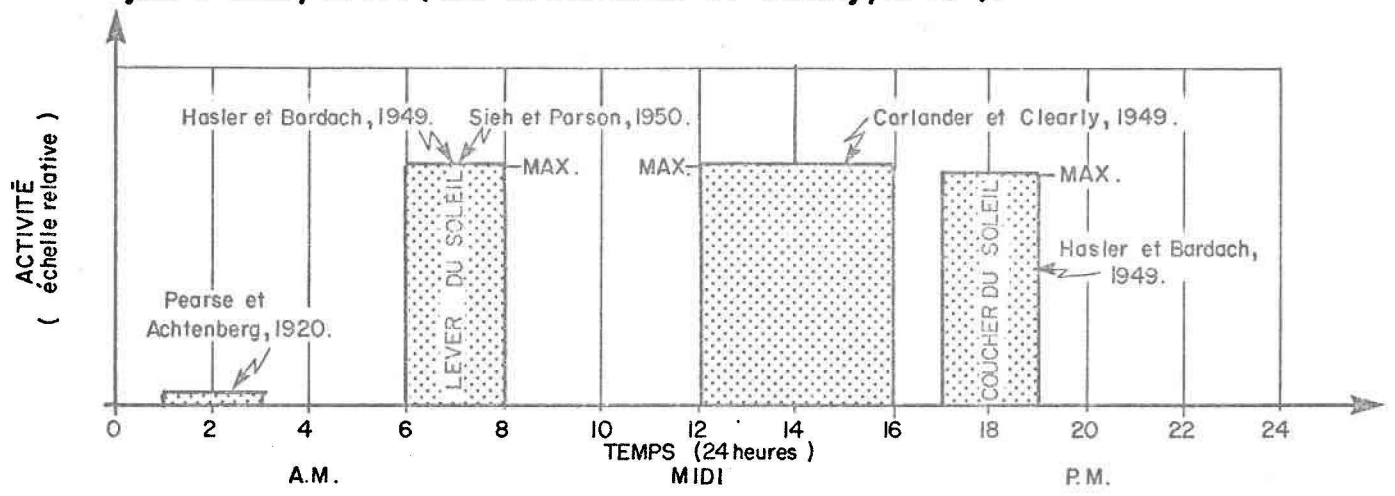
Fig. 2 . Patron d'activité locomotrice du crapet-soleil (LEPOMIS GIBBOSUS), selon différents auteurs.



A - Différences horaires dans la pêche aux filets de la perchaude dans le "Lake of the Woods" Minnesota, 1939-1941. (tiré de Carlander et Clearly, 1949).

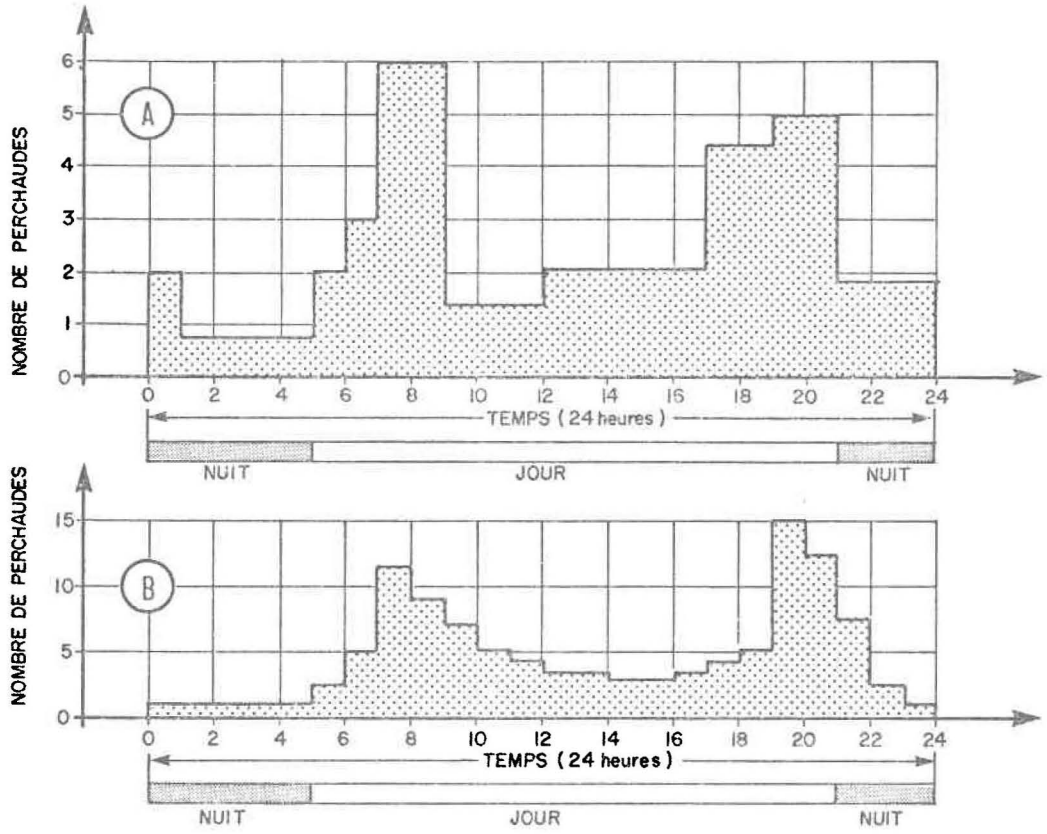


B - Différences horaires dans la pêche aux filets de perchaudes au "Clear Lake", Iowa, juin à août, 1947. (tiré de Carlander et Clearly, 1949).

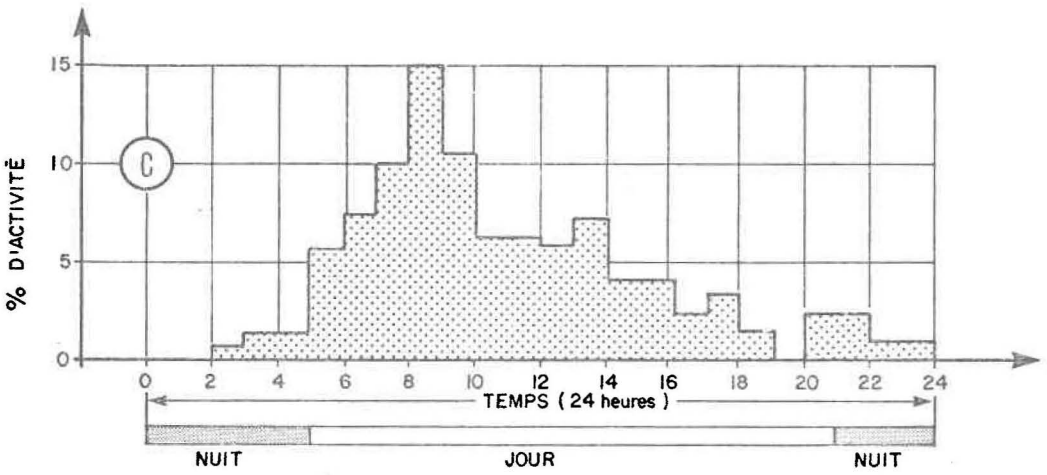


C - Patron d'activié de la perchaude (selon différents auteurs).

Fig. 3 . Patrons d'activité locomotrice de la perchaude (PERCA FLAVESCENS), selon différents auteurs.

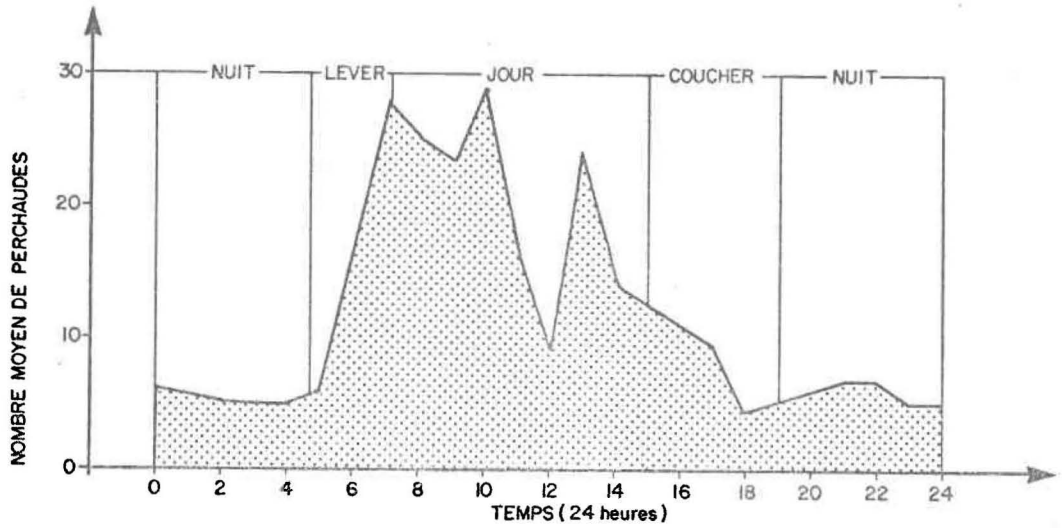


A et B - Patron d'activité des perchaudes capturées aux filets dans la Baie Rondeau du Lac Érié, Ontario ; durant l'été A - 1951, B - 1952. (tiré de Scott, 1955).

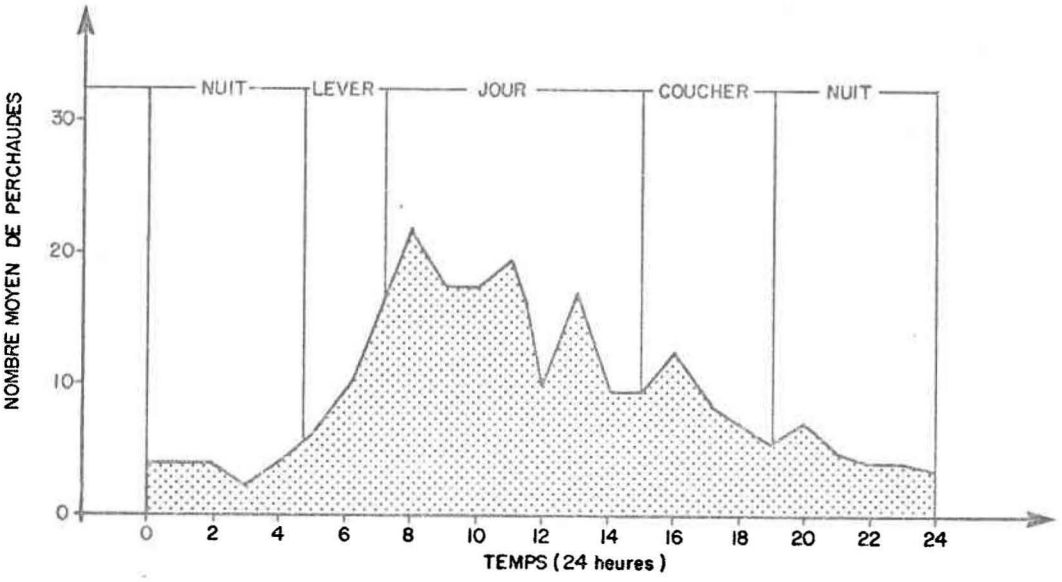


C - Patron d'activité de la perchaude (tiré de Rousseau, 1973).

Fig. 4. Patrons d'activité locomotrice de la perchaude (PERCA FLAVESCENS), selon différents auteurs.



A — HIVER 1963. (PERCA FLAVESCENS).



B — HIVER 1964. (PERCA FLAVESCENS)

Fig. 5 . Moyenne des nombres de perchaudes du Lac Mendota, Wisc., enrégistrés au SONAR durant les hivers A-1963 et B-1964 . (tiré de Hergenrader et Hasler, 1966)

re, et Hasler et Villemonte (1953), en nature, ont observé la perchaude inactive sur le fond.

En analysant les différents patrons d'activité de la perchaude, certains points ressortent. Ainsi, si on se base sur l'étude de Carlander et Clearly (1949), (figure 3-A et B), on constate que le nombre de perchaudes capturées dépend de la profondeur où sont placés les filets. Dans la figure 3-A, on s'aperçoit que l'activité se situe surtout à des profondeurs plus petites que 10 pieds, tandis que dans la figure 3-B, l'activité est minimale pour des profondeurs de 2 pieds à 3 pieds et élevée pour des profondeurs de 10 à 15 pieds. Ainsi, la perchaude est surtout active dans une profondeur de 3 à 15 pieds d'eau. Spencer (1939), en utilisant en laboratoire un petit bassin d'une profondeur d'environ 1 pied d'eau, ne pouvait donc que conclure que la perchaude demeure immobile dans le fond pour de longues périodes (15 minutes à 1 heure) entrecoupées par de courtes périodes où elle se déplace brusquement.

Un second point qu'on peut observer dans la figure 3-A, B et C et la figure 4-A et B, et qui fut constaté par Evermann et Clark (1920), Hasler et Bardach (1949) et Scott (1955) est les pics d'activité locomotrice au lever et au coucher du soleil. Le pic du lever du soleil est dû au retour de la lumière qui permet l'aggrégation des poissons et le déplacement du dortoir au lieu de promenade et de capture de la nourriture. Nourriture, qui de plus, a aussi un cycle d'activité induit par la lumière. Le pic au crépuscule est explicable par le changement aussi bien fonctionnel que spatial des habitudes du poisson qui revient d'une période et d'un lieu de mouvement et de chasse (soit les eaux à profondeur moyenne) vers une période et un lieu de repos et de protection nocturne (soit le fond de l'eau). On remarque cependant, que le pic du coucher du soleil est moins discernable durant l'au-

tomne et l'hiver sous la glace (figures 4-C et 5). Ceci est probablement dû à la différence moins marquée entre l'intensité lumineuse du jour et celle du coucher du soleil, durant ces périodes.

2.4 Relation entre le patron d'activité locomotrice naturel et celui qui se manifeste en laboratoire

On peut dégager des nombreuses observations faites en milieu naturel, des caractéristiques de comportement locomoteur qui se manifesteront en laboratoire.

Ainsi, les éléments chimiques, physiques et biologiques qui ont, dans le milieu naturel, des effets sur l'activité locomotrice continueront à influencer l'activité locomotrice en laboratoire. Par exemple, on a noté l'influence marquée de la variation de la photopériode et du cycle de nutrition sur l'activité locomotrice du poisson dans le milieu naturel. Cette influence devrait se prolonger en laboratoire. La prolongation de l'influence d'un élément environnemental est la source même du principe qui nous permet d'effectuer en laboratoire des essais biologiques vérifiant la toxicité d'éléments du milieu naturel. Cependant, certains éléments tels: des variations prononcées de l'intensité sonore ou la présence humaine près des aquariums peuvent produire des effets sur l'activité locomotrice qui n'ont aucune cause comparable dans le milieu naturel et ainsi fausser la comparaison des deux situations.

Le comportement social, le type d'habitat, les habitudes de nutrition et de reproduction, caractérisant une espèce de poisson, peuvent être observés en laboratoire, si le milieu expérimental est adéquat. Advenant qu'en laboratoire, la reconstitution du milieu naturel soit incomplète par rapport aux caractéristiques de l'espèce étudiée, le poisson se comportera vis à vis

le paramètre mesuré, qui est ici son activité locomotrice, de la même façon que si son milieu naturel était incomplet. Par exemple, étant donné que les aquariums ne peuvent reproduire l'étendue et la variation de profondeur d'un lac, l'activité locomotrice d'un poisson, dont le type d'habitat naturel nécessite ces deux dimensions, diminuera si elle est mesurée en aquarium.

De ces considérations, on peut dégager deux hypothèses générales de similitude de comportement entre l'activité locomotrice du milieu naturel et l'activité locomotrice observée en laboratoire. Premièrement, l'influence d'éléments environnementaux sur l'activité locomotrice demeure malgré le changement du milieu naturel aux aquariums. Deuxièmement, si le milieu expérimental reproduit assez bien le milieu naturel, l'activité locomotrice d'une espèce, mesurée en laboratoire, est induite par les mêmes caractéristiques systématiques qui différencient ladite espèce en milieu naturel.

3. MATERIEL ET METHODE

L'étude du rythme circadien d'activité locomotrice du crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*) et de la perchaude (*Perca flavescens*) s'est faite en soumettant simultanément ces deux espèces à deux types de conditions: d'abord lumière et jeûne constants et ensuite cycles de lumière et de nutrition.

3.1 Préparation et maintien des spécimens

Au mois d'octobre 1973, 22 crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*) et 24 perchaudes (*Perca flavescens*) sont capturés au Lac Saint-Augustin, Cté de Portneuf ($46^{o}45'$, $71^{o}23'$). Chaque espèce de poisson est entreposée séparément dans deux aquariums de 455 litres (100 gal. imp.) en fibre de verre (52 cm. x 58 cm. x 165 cm.). Ces aquariums sont munis de systèmes réfrigérants contrôlables, de pompes filtrantes au charbon activé, d'aérateurs et d'un ozonateur. Les poissons ont demeuré dans ces aquariums d'attente jusqu'au 2 mai 1974.

Le laboratoire temporaire aménagé pour l'expérience se trouvait à proximité de turbines servant à la ventilation des laboratoires; bruit et vibrations étaient transmis aux aquariums. L'électricité y est amenée par l'intermédiaire d'extensions. La plomberie et l'eau y étant absentes, le système fermé, en ce qui concerne la circulation d'eau dans les aquariums, est préféré au système ouvert. A tous les mois, l'eau est changée et les aquariums nettoyés. L'éclairage artificiel minuté provient de quatre tubes fluorescents placés au dessus des aquariums.

Durant la période se situant entre la fin du mois d'octobre 1973 et avril 1974, les poissons sont nourris une fois par semaine avec 191 gr. en moyenne de hareng décongelé et haché en cubes de 1 cm. La température de l'eau a varié entre 15°C et 20°C (moyenne 17°C). Chacun des aquariums était éclairé par un tube fluorescent (350 lux) et occasionnellement par deux tubes fluorescents (700 lux). Cette période constitue la phase de mise au point des appareils d'acquisition de données et de contrôle.

3.2 Système d'observation

3.2.1 Aquariums expérimentaux et matériel de support vital

Les 4 aquariums qui ont servi aux expériences étaient en verre. Deux aquariums (01 et 03) ont comme dimension, 40 cm. x 40 cm. x 92 cm., tandis que les deux autres aquariums (02 et 04) ont 40 cm. x 40 cm. x 76 cm. Au fond de chaque aquarium, il y a une épaisseur de 3 cm. de gravier fin et trois tuyaux de plastique (P.B.C.), de 10 cm. de diamètre et de 25 cm. de long. L'eau de chacun des aquariums est nettoyée par un filtre au charbon activé ("Dynaflow" CSA400). Un ozonateur débitant 30 mg./h. d'ozone, mis en parallèle avec une série de cinq aérateurs, alimente les quatre aquariums en ozone et en oxygène. Finalement, les aquariums sont placés sur des tables par groupe de deux aquariums, séparés l'un de l'autre par une paroi (figure 6).

3.2.2 Matériel d'acquisition de données

Le matériel d'acquisition de données sert à fournir directement des données sur l'enregistrement de l'activité locomotrice des espèces étudiées. A l'appendice A, apparaît la description de plusieurs techniques d'acquisition de données sur l'activité locomotrice des poissons. Parmi ces techni-

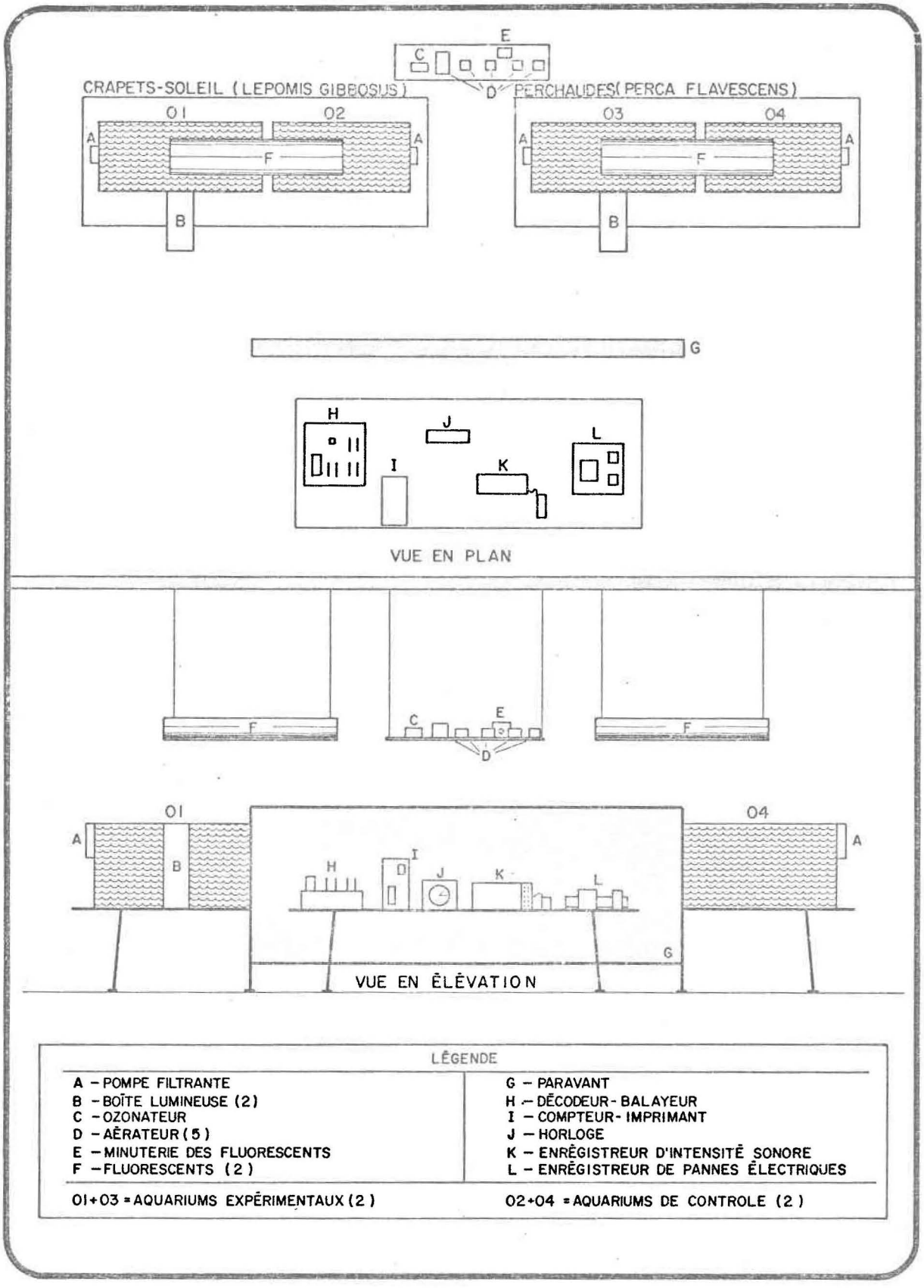


Fig. 6 . VUE EN PLAN ET EN ÉLÉVATION DU LABORATOIRE .

ques, nous avons choisi celle employant des cellules photorésististantes plus, au départ, notre hypothèse fondamentale est: qu'il y a proportionnalité entre l'activité locomotrice des poissons dans tout l'aquarium et le passage de ces poissons dans une section déterminée de cet aquarium.

Notre matériel d'acquisition de données est constitué de quatre éléments: un module de détection, une console de liaison, un module de mémorisation et un module de contrôle (figure 7). Le module de détection de notre technique est composé d'une batterie de cellules photorésistantes située sur la paroi externe de l'aquarium et d'une boîte lumineuse fixée à la paroi opposée aux cellules photorésistantes. Si le faisceau lumineux est interrompu par un poisson, la cellule est moins éclairée et sa résistance augmente. La console de liaison a pour rôle de transformer cette baisse de résistance de la cellule photorésistante, en créneau, pour être mieux emmagasinée par le module de mémorisation. Ce dernier enregistre à un temps fixé (5 min.), les données d'activité locomotrice provenant de la console de liaison.

A Module de détection

Le module de détection est le premier élément que nous avons mis au point. Des cellules photoconductrices au sulfure de cadmium* (CS-120, "International Rectifier") ont été utilisées. Elles furent montées en une batterie de deux groupes de 3 photocellules. Le premier groupe enregistrant les passages dans le haut de l'aquarium et le second groupe dans le bas de l'aquarium. Les cellules sont distantes de 3 cm. l'une de l'autre. La batterie

---

* Caractéristiques de la photocellule CS-120:
Surface: 9cm^2
Maximum de voltage applicable: 20 volts
Maximum de puissance: 0.4 W.
Maximum de résistance: dans le noir 0.11 Ω
devant 100 pieds-chandelles 1,600 Ω

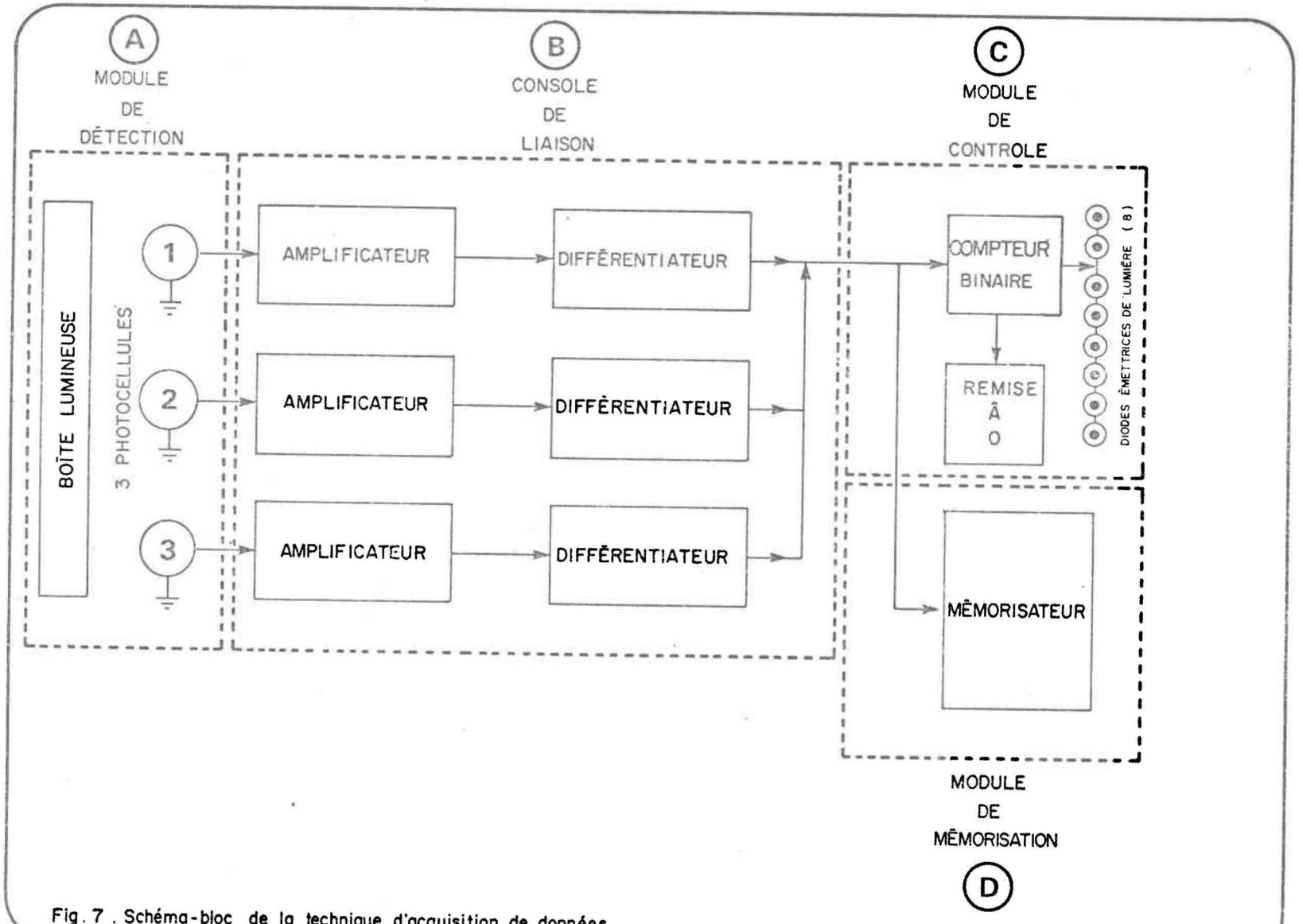


Fig. 7 . Schéma-bloc de la technique d'acquisition de données.

des 6 cellules couvre au centre de l'aquarium une section de 39 cm. de hauteur et de 3 cm. de largeur.

Pour la boîte lumineuse, la difficulté réside dans le fait qu'un faisceau de 39 cm. de haut doit traverser 40 cm. d'eau et être concentré sur une largeur de 3 cm. Le faisceau doit être le moins diffus possible pour ne pas nuire à l'activité locomotrice des poissons, tout en étant assez intense pour influencer les cellules photorésistantes qui sont vis-à-vis. Deux ampoules de 100 watts, assez puissantes pour produire une lumière traversant l'aquarium, sont installées dans une boîte de fer blanc de 12 cm. par 35 cm. par 40 cm. Le faisceau lumineux est produit par une ouverture de 3 mm. de large, faite sur toute la hauteur de la boîte, qui est fixée à la paroi de l'aquarium.

B Console de liaison

Comme console de liaison, à l'atelier d'électronique de l'Institut, nous avons conçu et monté le "piscicompteur". Le piscicompteur est à la sortie des cellules photorésistives et sert premièrement à amplifier et différencier les baisses de résistance de trois photocellules pour qu'elles soient enregistrées par le module de mémorisation, deuxièmement le piscicompteur est aussi un compteur binaire qui sert de module de contrôle. Ce dernier rôle sera expliqué subséquemment.

Nous examinerons d'abord le mode d'opération de la console de liaison (figure 8). Une cellule photorésistante émet une impulsion (créneau) à l'entrée du circuit. Cette cellule fonctionne selon l'intensité de la lumière; plus la cellule est éclairée, moins elle est résistante. Chaque passage d'un poisson interrompt le faisceau lumineux, augmentant ainsi la résistan-

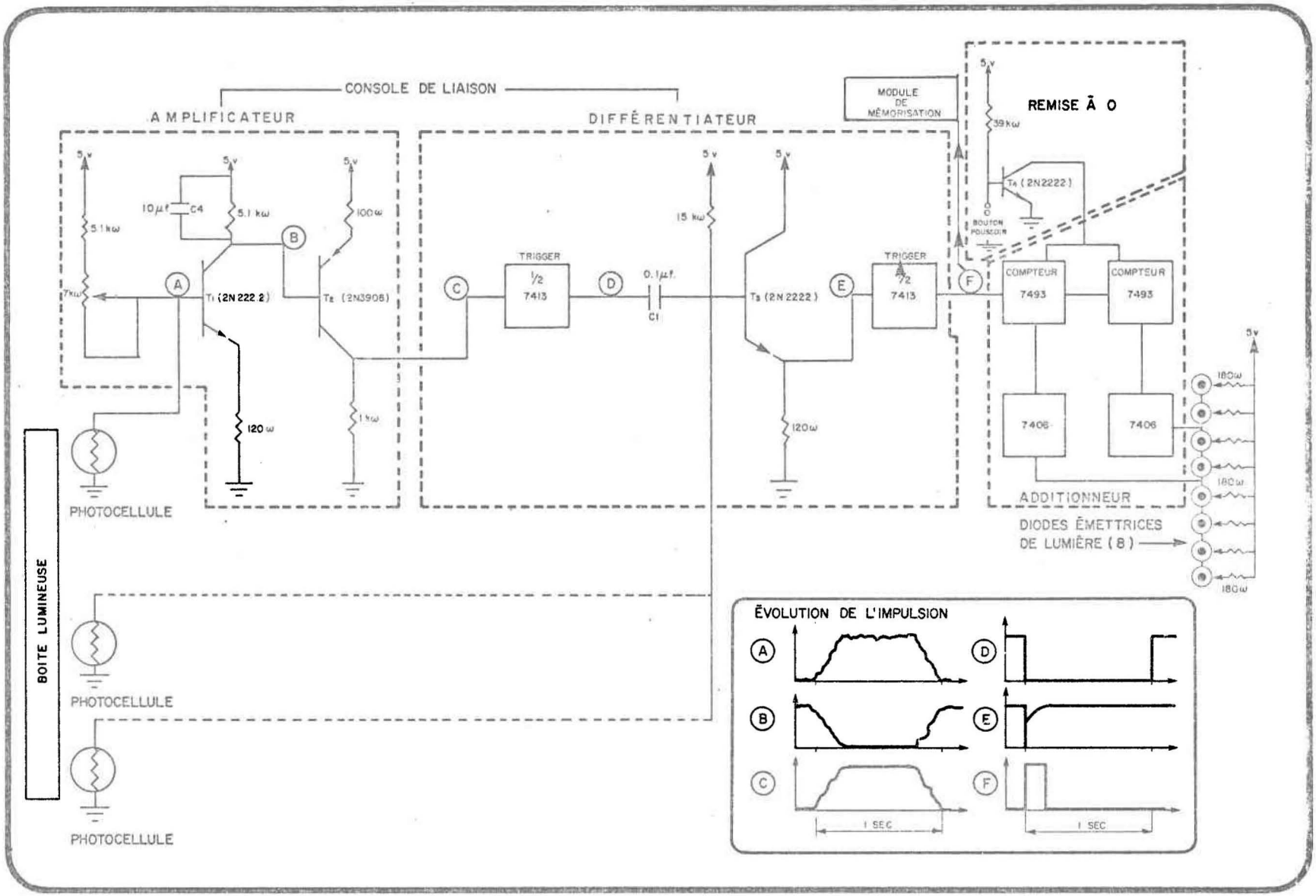


Fig. 8 . Schéma électrique du piscicompteur.

ce de la photocellule. Cette augmentation de résistance transmet une impulsion (créneau) lente et faible dans le circuit.

Le créneau est d'abord capté et augmenté par un amplificateur à émetteur commun (composé de deux transistors T1 et T2). Ce créneau, trop lent pour être capté par le compteur, passe ensuite dans un différentiateur qui donne un impulsion plus brève sur le début de notre créneau d'entrée, c'est-à-dire, juste lorsque le poisson commence à interrompre le faisceau. Le différentiateur se compose d'abord, d'un "trigger" (déclencheur 7413), qui se déclenche à un seuil donné (1.7 v.). Puis un condensateur et une résistance différencient le créneau, i.e. fournissent une brève impulsion au départ de l'autre.

Un transistor (T3) agit comme additionneur des impulsions en provenance des 3 photocellules. Ainsi, si deux ou trois créneaux arrivent au même moment, le deuxième déclencheur (7413), situé à la sortie du transistor additionneur, fournira deux ou trois impulsions brèves et propres à être comptabilisées par le module de mémorisation.

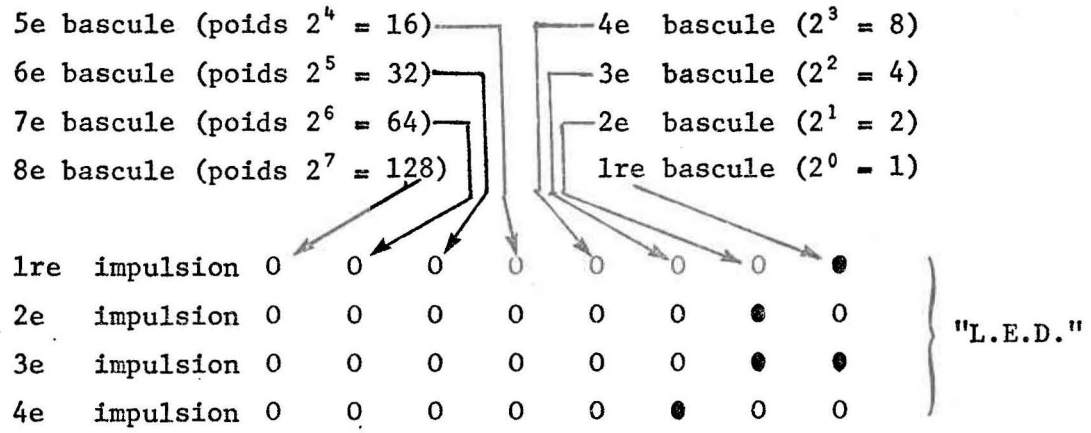
C Module de contrôle

La deuxième partie du "piscicompteur" est un compteur binaire qui est à la sortie du différentiateur (figure 8). Il sert à contrôler visuellement les comptes enregistrés mécaniquement et imprimés par le module de mémorisation. Ses deux principales constituantes sont: une remise à zéro (0) du compteur qui permet de connaître le nombre de passages à partir d'un moment précis et un compteur binaire qui avec ses 8 "L.E.D." ("Light Emitting Diode") peut compter 2^8 soit 256 passages.

Le comptage se fait en binaire, sur huit bascules (quatre dans chacun

des deux circuits intégrés 7493), les états ("haut" ou "bas", "●" ou "0") des bascules sont visualisés par l'intermédiaire de "driver" sur les lampes ("L.E.D.") allumées ou éteintes. La première bascule change d'état à chaque impulsion, la deuxième bascule à chaque passage de l'état haut à l'état bas (transition négative) de la première, donc, une fois toutes les deux impulsions, la troisième bascule à chaque transition négative de la deuxième, etc...

Ce qui donne:



Pour convertir le montant en décimal, il suffit d'ajouter les "poids" des "L.E.D." allumés.

La remise à zéro est composée d'un transistor T4 qui, sur mise à la masse de sa base, mettra chacun des compteurs à zéro. Finalement, le "piscicompteur" se présente sous la forme d'un circuit imprimé (figure 20).

D Module de mémorisation

Un compteur - imprimant de marque "Sodeco" est branché à la sortie du différentiateur (point F, figure 8). Ce compteur - imprimant a deux unités de comptage; une qui est destinée aux 3 photocellules du haut de l'aquarium et l'autre aux 3 photocellules du bas. De plus, celui-ci imprime sur

du papier à un temps fixé le nombre de passages.

Dans le but d'accroître la puissance d'acquisition de notre compteur - imprimant, on lui ajoute un dispositif qui permettra à deux batteries de 6 photocellules, soit 4 "piscicompteurs", d'être enregistrées.

Ainsi, deux aquariums, contenant chacun une espèce différente de poissons et ayant chacun 3 photocellules pour le haut et 3 pour le bas, peuvent être utilisés simultanément pour enregistrer l'activité locomotrice des poissons. Un dispositif est nécessaire à cause des limites du compteur "Sodeco" qui n'a que deux unités de comptage et du fait qu'on veut enregistrer quatre piscicompteurs.

Le dispositif est constitué d'un relais qui assure alternativement la connection de deux des quatre sorties des piscicompteurs aux deux entrées des unités de comptage "Sodeco". On compte ainsi, par exemple, successivement les passages de crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*) pendant cinq minutes, puis les passages des perchaudes (*Perca flavescens*) pendant cinq autres minutes. En fait, l'entrée sur les unités de comptage ne peut être réalisée directement car les impulsions fournies sont de puissance insuffisante et l'on a dû adjoindre un amplificateur "Printer driver" (figure 21). En dernier, pour synchroniser plus exactement l'impression des données et le balayage d'un aquarium à l'autre, on utilise les bascules du chronocompteur "Dual measurement Timer" (figure 22). Pour le temps de balayage, on a intérêt à prendre l'intervalle de temps le plus petit possible car, plus les intervalles de temps sont longs, moins ils sont reliés entre eux. Un temps de balayage de cinq minutes est donc choisi.

La calibration du matériel d'acquisition de données est possible par l'intermédiaire des potentiomètres de la console de liaison. Aucun poisson

doit se situer entre les photocellules et le faisceau lumineux. Ensuite, un voltmètre est branché à la sortie de la capacité de 0.1 µF (point D. figure 8). Le potentiomètre est remis à zéro et on l'augmente jusqu'à ce que l'aiguille du voltmètre bouge et atteigne au moins 1 volt. On doit calibrer ainsi chaque photocellule.

Le module de détection, la console de liaison, le module de contrôle et le module de mémorisation sont finalement reliés entre eux (figure 9) pour constituer notre matériel d'acquisition de données.

3.2.3 Matériel de contrôle

Le matériel de contrôle comprend un enregistreur de l'intensité sonore du laboratoire et un enregistreur des pannes électriques. Les variations d'intensité sonore dans notre laboratoire sont appréciables; elles sont dues au fonctionnement de ventilateurs et de turbines près du laboratoire. L'enregistreur de l'intensité sonore se compose d'un décibelmètre ("Realistic" 33-1028) relié à un enregistreur sur papier (Hewlett Packard 7100BM).

L'enregistreur de pannes électriques est constitué d'un voltmètre, enregistrant sur papier (Rustrak). Le voltmètre indique une tension variant entre 0 et 150 volts. Le moteur permettant de faire tourner le papier gradué est branché sur une batterie de 12 volts par l'intermédiaire d'un inverseur AC-DC. Ainsi, lors d'une panne, le papier continue à avancer, alimenté par la batterie, tandis que le voltmètre, branché sur le circuit électrique du laboratoire, indique 0 volt. On peut savoir de cette façon la durée et le temps de départ et d'arrêt de la panne électrique. Les données sur l'activité locomotrice n'ayant pas de point de repaire temporel, leur succession peut ainsi être reconstituée, advenant un arrêt des appareils dû à une panne électrique.

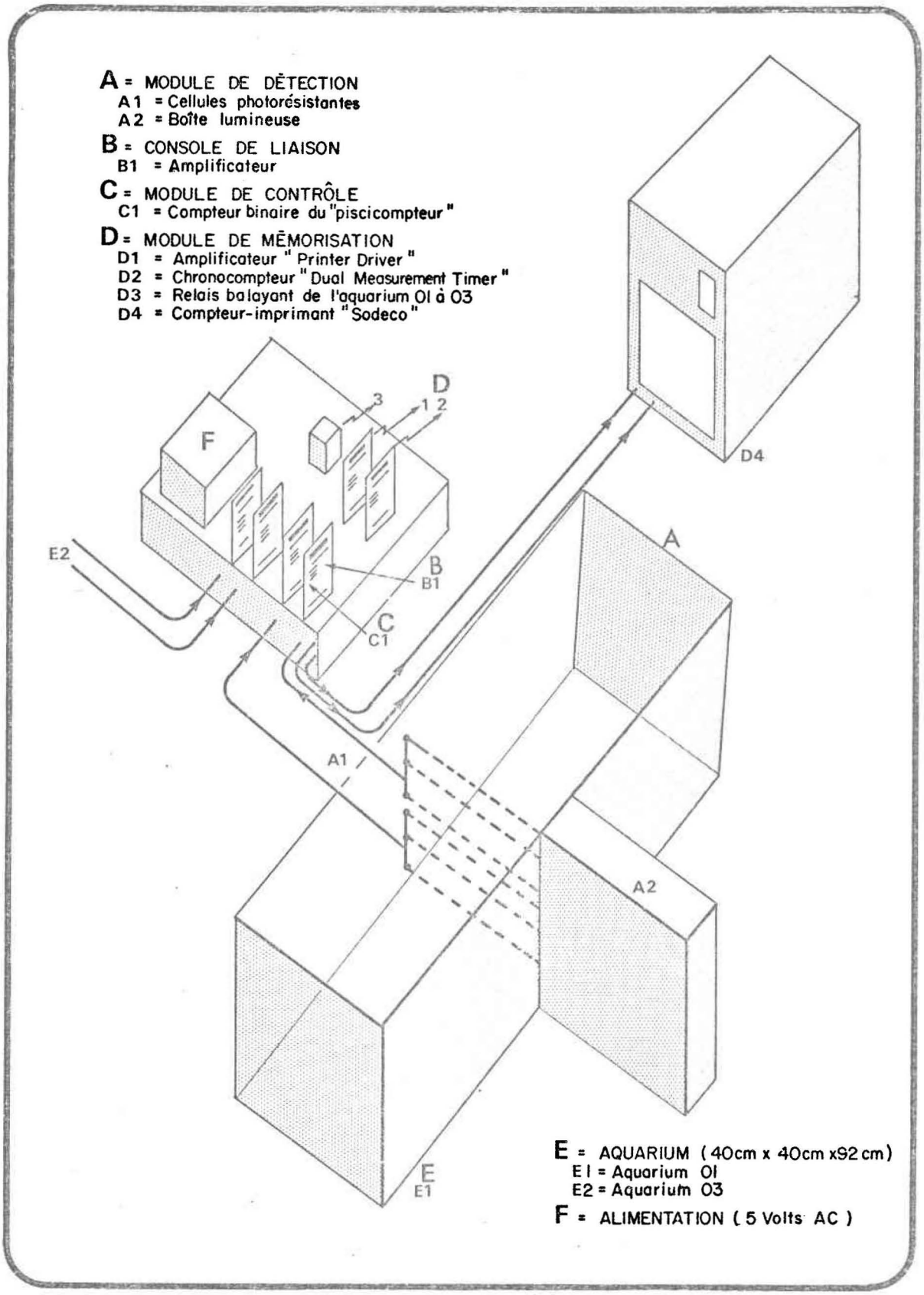


Fig. 9 . Matériel d'acquisition de données.

3.3 Protocole expérimental

Le transfert des aquariums d'adaptation aux quatre aquariums expérimentaux s'est effectué à la fin du mois d'avril 1974. Au hasard, 12 crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*) sont déposés dans l'aquarium 01, qui est un des deux aquariums où s'effectuera l'enregistrement de l'activité locomotrice. Tandis que les 10 autres sont déposés dans l'aquarium 02, pour servir de spécimens de contrôle et de remplacement. De la même façon, 12 perchaudes (*Perca flavescens*) sont déposées dans un aquarium de mesure de l'activité locomotrice (aquarium 03), et le restant, 12 autres perchaudes, sont placées dans l'aquarium 04, comme spécimens de remplacement. Les modules de détections sont ensuite installés sur les aquariums 01 et 03.

Les expériences sont d'abord précédées d'une période d'un mois d'acclimatation aux aquariums expérimentaux et au matériel d'acquisition de données, durant laquelle les poissons sont éclairés par un tube fluorescent (350 lux) et nourris chaque semaine par 191 gr. en moyenne, de hareng.

Les deux expériences ont une période d'adaptation pendant laquelle les spécimens sont soumis aux conditions expérimentales, une période expérimentale où s'effectue l'enregistrement des données sur l'activité locomotrice, des jours d'opérations (physico-chimie, changement d'eau, nutrition) (figure 10). Dans l'expérience I les poissons sont soumis à des conditions de lumière (350 lux) et à des jeûnes constants. Pendant la période d'adaptation, du 1er au 13 juin, l'eau de l'aquarium des crapets-soleil est changée le 6 juin et celle des perchaudes, le 13 juin. L'enregistrement de l'activité locomotrice est fait du 14 au 28 juin. Cependant, les données des 15, 16 et 17 juin sont rejetées à cause de troubles techniques; donc, nous avons 12 jours de données pour l'expérience I.

JUIN 1974 EXPÉRIENCE I (Lumière et jeûne constants)

D	L	M	M	J	V	S
						1 ○
2 ○	3 ○	4 ○ ▲	5 ○	6 ○ △-CS	7 ○	8 ○ ▲
9 ○	10 ○	11 ○	12 ○	13 ○ ▲ △-P	14 □	15 ▨ ▲
16 ▨	17 ▨ ▲	18 □	19 □ ▲	20 □	21 □ ▲	22 □
23 □ ▲	24 □	25 □ ▲	26 □	27 □ ▲	28 □	29
30						

JUILLET 1974 EXPÉRIENCE II (Cycles de lumière et de nutrition)

D	L	M	M	J	V	S
	1 ● ▼	2 ●	3 ●	4 ●	5 ◐ △	6 ◐ ▼ ▲
7 ◐	8 ◐ ▼ ▲	9 ◐	10 ◧ ▼ ▲	11 ◧	12 ◧ ▼ ▲	13 ◧
14 ◧ ▼ ▲	15 ◧	16 ◧ ▼ ▲	17 ◧	18 ◧ ▼ ▲	19 ◧	20 ◧
21 ◧	22	23	24	25	26	27
28	29	30	31			

LÉGENDE		
ADAPTATION	EXPÉRIENCE	OPÉRATIONS
○ LL	□ LL	▲ Physico-chimie
● DD	▨ Trouble technique	△ Changement d'eau
◐ LD 12:12 (7-19)	◧ LD 12:12 (7-19)	▼ Nutrition
L = Lumière	D = Noirceur	

Fig. 10. Calendrier des périodes d'adaptation et expérimentales, et des opérations durant les expériences I et II

Le 1er juillet, le jeûne cesse et les tubes fluorescents sont éteints pour laisser les spécimens dans l'obscurité (0.35 lux) durant quatre jours. Le 5 juillet, l'eau des aquariums des deux espèces est changée et la période d'adaptation de l'expérience II débute. Pour l'expérience II, les poissons sont soumis à un cycle lumineux de 12 heures d'obscurité et de 12 heures de lumière (350 lux); la lumière débutant brusquement à 7 heures et s'éteignant aussi brusquement à 19 heures. De plus, ils sont nourris à tous les deux jours, entre 9 heures et 11 heures, par en moyenne chacun deux vers de terre (*Lumbricus sp.*). L'heure de nutrition est choisie en référence à Keast et Welsh (1968), (figure 1), qui déterminèrent que durant ces heures, la nutrition en milieu naturel de nos deux espèces augmentait. L'enregistrement des données s'effectua durant 12 jours à partir du 10 juillet.

Tout au long des deux expériences, une série de paramètres physico-chimiques sont mesurés pour caractériser la qualité de l'eau des aquariums. A tous les deux jours, la température de l'eau, le pH, l'oxygène dissous (méthode de Winckler) et la conductivité sont enregistrés simultanément; de plus, un échantillon d'eau de 200 ml, acidifié au H_2SO_4 (1.3×10^{-2}M) et conservé à 0°C (Howe et Holley, 1969), est prélevé pour servir à l'analyse de la dureté totale et des nutriments: nitrites, nitrates, phosphate inorganique total, orthophosphate, ammoniaque et azote total. Les méthodes suivies pour ces analyses sont celles données dans le manuel "Technicon autonalyzer methodology", 1969.

A la fin des expériences, on vérifie l'efficacité de l'ozonateur ("Sander type 3") en mesurant la microflore totale à 25°C ("Standard method", 1971), et on prend la longueur à la fourche, la longueur totale, la hauteur, le poids et l'âge des spécimens expérimentaux (tableau 6).

3.4 Méthode d'analyse des données

Nous faisons l'hypothèse que les données recueillies dans notre étude sur l'activité locomotrice du crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*) et de la perchaude (*Perca flavescens*) comprennent entre autres, une composante périodique et une composante aléatoire. Ce type de données provenant d'un processus stochastique peut être analysé par l'approche des séries de temps. En effet, une série de temps est un ensemble de valeurs provenant de la réalisation de "$\chi(t)$", une fonction non déterministe. Blackburn (1970), Jenkins et Watts (1968) et Wastler (1969) sont les références que nous avons utilisées pour l'analyse des séries de temps.

3.4.1 Stationarité

D'une façon simplifiée, on peut dire qu'une série de temps est stationnaire: si les moments de la distribution constituée des valeurs "$\chi(t)$" restent significativement constants au cours du temps. Une façon d'effectuer ce contrôle est d'utiliser le test de Hall (1973) pour savoir s'il y a une variation de jour en jour des données. Le test de Hall est un test du x^2 (chi-carré) sur la variation des données par rapport à la médiane générale, qui est la médiane de l'ensemble des données. On groupe les données par jour et on dénombre les données qui dans un jour sont plus petites ($<$) que la médiane générale et celles qui sont plus grandes ou égales ($\geq$) à la médiane générale. Ensuite, le test statistique du x^2 (chi-carré) est effectué sur ce dénombrement. Ainsi, on a une table de contingence de deux colonnes ($<$ et $\geq$) par douze rangées, le nombre de jours. L'hypothèse nulle est que les dénombrements sont pareils de jour en jour (stationarité) et l'hypothèse alternative est que ces dénombrements pour au moins un jour sont différents de ceux des autres jours.

Advenant que la série de temps est non-stationnaire, on peut effectuer des transformations aux données pour trouver la "tendance" qu'elles ont. Ainsi, s'il y a une "tendance" dans les moyennes, on peut ajuster, puis enlever une fonction f(t) du type exponentiel, polynonial, etc... Si la "tendance" est dans la variance, on peut de la même façon, ajuster puis enlever une fonction f(t) σ. Cependant, si on ne s'intéresse pas à la "tendance" de cette série de temps non-stationnaire on peut, dans certains cas, passer à l'analyse de la périodicité.

3.4.2 Périodicité

L'étude de la périodicité cherche à connaître en premier lieu, la ou les fréquences du phénomène cyclique étudié et, deuxièmement, à déterminer la participation de ces fréquences à la variance du phénomène.

Notre étude sur l'activité locomotrice des deux espèces de poissons s'intéresse principalement à l'activité circadienne, c'est-à-dire, ayant une composante cyclique d'environ vingt-quatre heures. En effectuant le test de Hall non pas sur les données groupées par jour, mais sur les données divisées en vingt-quatre groupes, correspondant aux heures de la journée, on peut déceler la présence de cette composante cyclique. Le test est fait sur une table de contingence de deux colonnes ($<$ et $\geqslant$) par vingt-quatre rangées. L'hypothèse nulle est que les groupes de dénombrement sur la médiane générale sont tous égaux ou qu'il n'y a pas de composante cyclique et l'hypothèse alternative est que les dénombrements pour au moins une heure sont différents des autres groupes de dénombrement.

Une deuxième façon de connaître les fréquences de notre phénomène est d'utiliser l'autocorrélation.

$$C_n = \frac{\sum_{i=1}^{N-n} (x_i - \bar{x})\ (x_{i+n} - \bar{x})}{\sigma^2} \qquad (1)$$

où C_n = Coefficient d'autocorrélation à un décalage "n"
N = Nombre de données
n = Décalage dans le temps ou Période (durée d'un cycle)
x_i = Activité Locomotrice (nombre de passages des poissons) à un temps "i"
$\bar{x}$ = Moyenne des données
σ^2 = Variance des données ou C_o

L'autocorrélation d'une fonction périodique étant elle-même périodique (de même période), l'autocorrélogramme permet de faire ressortir la présence d'un phénomène périodique. On considère généralement que le décalage ne doit pas dépasser 10% du nombre de données. Ainsi, dans notre étude, on a 288 heures de données, donc on peut examiner l'autocorrélation pour 28 périodes s'échelonnant de 1 heure à 28 heures.

Finalement, pour déterminer la participation des fréquences importantes de notre phénomène, on utilise l'analyse de Fourier. Si "Sr" est le "r"ième élément d'une série discrète de "2n" valeurs, on cherche une fonction $\tilde{S}(t)$ qui passe par ces "2n" valeurs. Dans le cas de l'analyse de Fourier $\tilde{S}(t)$ est de la forme:

$$\tilde{S}(t) = A_o + 2 \sum_{m=1}^{n-1} \{A_m \cos 2 \Pi\ m\ f1\ t + B_m \sin 2 \Pi\ m\ f1\ t\} + A_m \cos 2 \Pi\ n\ f1\ t \qquad (2)$$

où A_o = Moyenne des valeurs de la fonction
m = Ordre de l'harmonique ($f = {}^{m}/_{T}$)
$f1$ = $1/N\ \Delta$, fréquence fondamentale de $\tilde{S}(t)$, (Hz)
t = Temps
A_m, B_m = Coefficients de Fourier
N = Nombre de données ($N = 2n$)

A partir de l'équation (2) on peut obtenir les coefficients de Fourier:

$$A_m = \frac{1}{N} \sum_{r=-m}^{n-1} s_r \cos \frac{2 \Pi m r}{N} \qquad (3)$$

$$B_m = \frac{1}{N} \sum_{r=-n}^{n-1} s_r \frac{\sin 2 \Pi m r}{N} \qquad (4)$$

On peut également mettre $\tilde{S}(t)$ sous la forme:

$$\tilde{S}(t) = R_o + 2 \sum_{m=1}^{n-1} R_m \cos (2\Pi m f_1 t + \phi_m) + R_n \cos 2 \Pi n f_1 t \qquad (5)$$

avec l'amplitude, $R_m = \sqrt{A_m^2 + B_m^2}$ (6)

et la phase (radians), $\phi_m = \arctan\left(- \frac{B_m}{A_m}\right)$ (7)

La fréquence ($f_m = {}^m/T$), qui est le nombre de cycle par unité de temps, participe alors pour $2 R_m^2$ à la variance totale σ^2.

4. RESULTATS

4.1 Résultats d'activité locomotrice

On vérifie d'abord la stationarité de nos données en employant la méthode de Hall (1973) (tableau 2-A). Puis la périodicité des données est examinée. En premier lieu, on cherche un cycle circadien (tableau 2-B). Pour analyser d'autres périodes, on emploie l'autocorrélation. Les premières étapes de l'autocorrélation nous fournissent des caractéristiques statistiques des données telles: les moyennes journalières horaires (figure 11) et les moyennes horaires journalières (figure 12). De plus, nous construisons un diagramme de dispersion de ces moyennes horaires en fonction du % de temps (figure 13). Ensuite, à partir des différentes autocorrélations, on trace des autocorrélogrammes (figure 14).

Finalement, l'analyse de Fourier nous donne le pourcentage expliqué de la variance pour différentes fréquences (tableau 3). Cette analyse, telle qu'expliquée dans la description de la méthode d'analyse des données, calcule en plus la phase (ϕ_m) et l'amplitude (R_m) des fréquences étudiées. Dans le tableau 4, nous donnons la phase et l'amplitude des deux périodes les plus significatives (24 et 48 heures) de nos expériences.

4.2 Qualité du milieu expérimental

La qualité du milieu expérimental se définit dans notre étude à partir de trois types de résultats: les paramètres physico-chimiques de l'eau, la

TABLEAU 2: Vérification par la méthode de Hall (1973)
A) De la présence d'une variation journalière
B) De la présence d'un rythme circadien pour les expériences I et II.

A) Présence d'une variation journalière:

	EXPERIENCE I (Lumière et jeûne constants)		EXPERIENCE II (Cycles de lumière et de nutrition)	
DESCRIPTION	X^2	VERDICT	X^2	VERDICT
CRAPETS-SOLEIL				
Haut de l'aquarium	131.5	Refusée	42.0	Refusée
Bas de l'aquarium	83.2	Refusée	167.5	Refusée
Haut et Bas	74.8	Refusée	129.1	Refusée
PERCHAUDES				
Bas de l'aquarium	19.8	Refusée	58.0	Refusée

Ho: Les comptes des médianes sont pareils de jours en jours
Tableau de contingence 2 x 12 (11 d.l.): 19.68 probabilité 0.05
24.72 probabilité 0.01

B) Présence d'un rythme circadien:

	EXPERIENCE I Lumière et jeûne constants)		EXPERIENCE II (Cycles de lumière et de nutrition)	
DESCRIPTION	X^2	VERDICT	X^2	VERDICT
CRAPETS-SOLEIL				
Haut de l'aquarium	17.1	Acceptée	68.6	Refusée
Bas de l'aquarium	19.7	Acceptée	12.3	Acceptée
Haut et Bas	19.0	Acceptée	22.3	Acceptée
PERCHAUDES				
Bas de l'aquarium	35.0	Acceptée	30.6	Acceptée

Ho: Les groupes horaires de médianes sont tous égaux (pas de cycle)
Tableau de contingence 2 x 24 (23 d.l.): 35.17 probabilité 0.05
41.64 probabilité 0.01

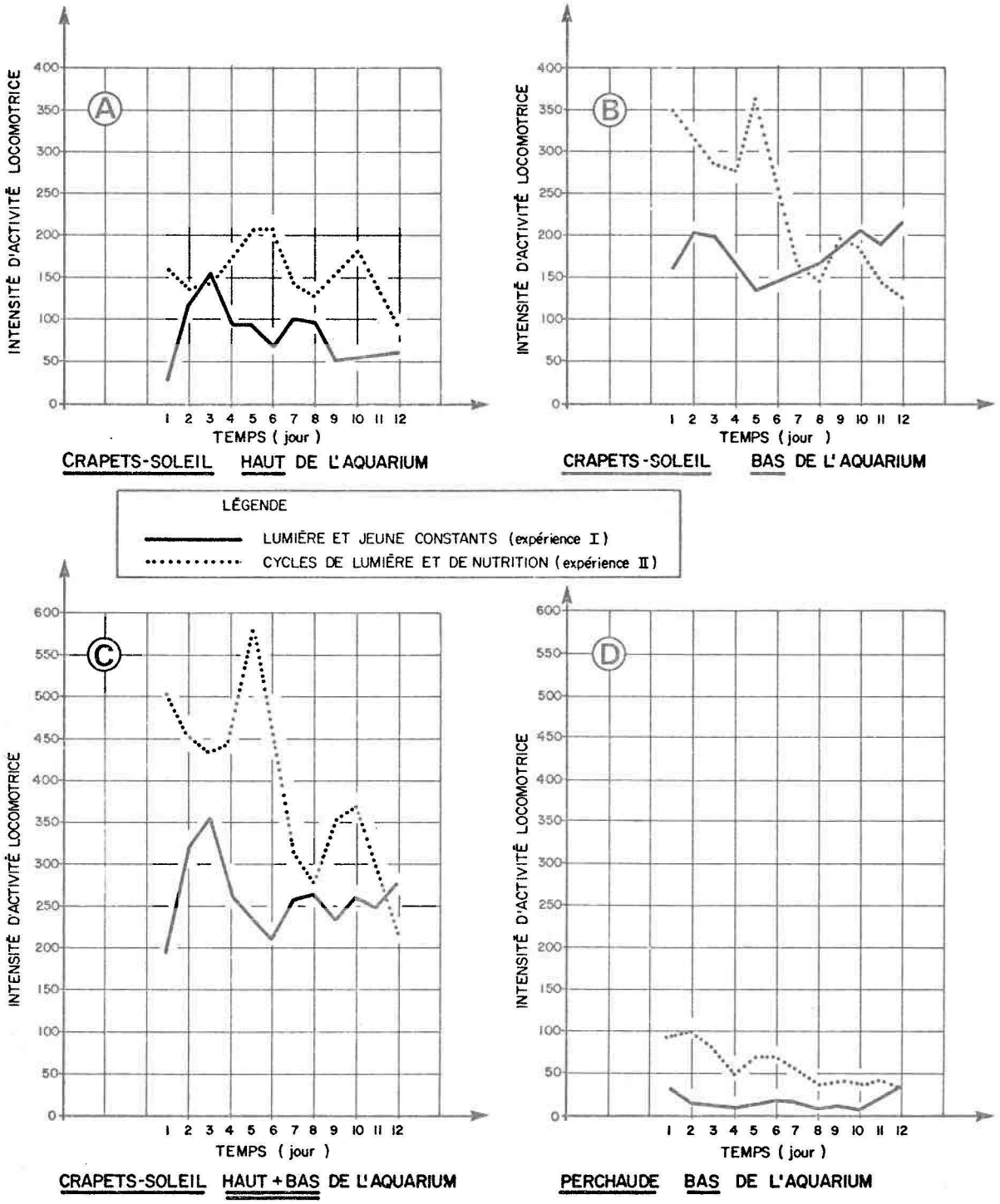


Fig. II . Graphiques des moyennes journalières horaires d'intensité d'activité locomotrice (comptes) des crapets-soleil (LEPOMIS GIBBOSUS) et des perchaudes (PERCA FLAVESCENS) en fonction du temps (jour) , durant les expériences I et II .

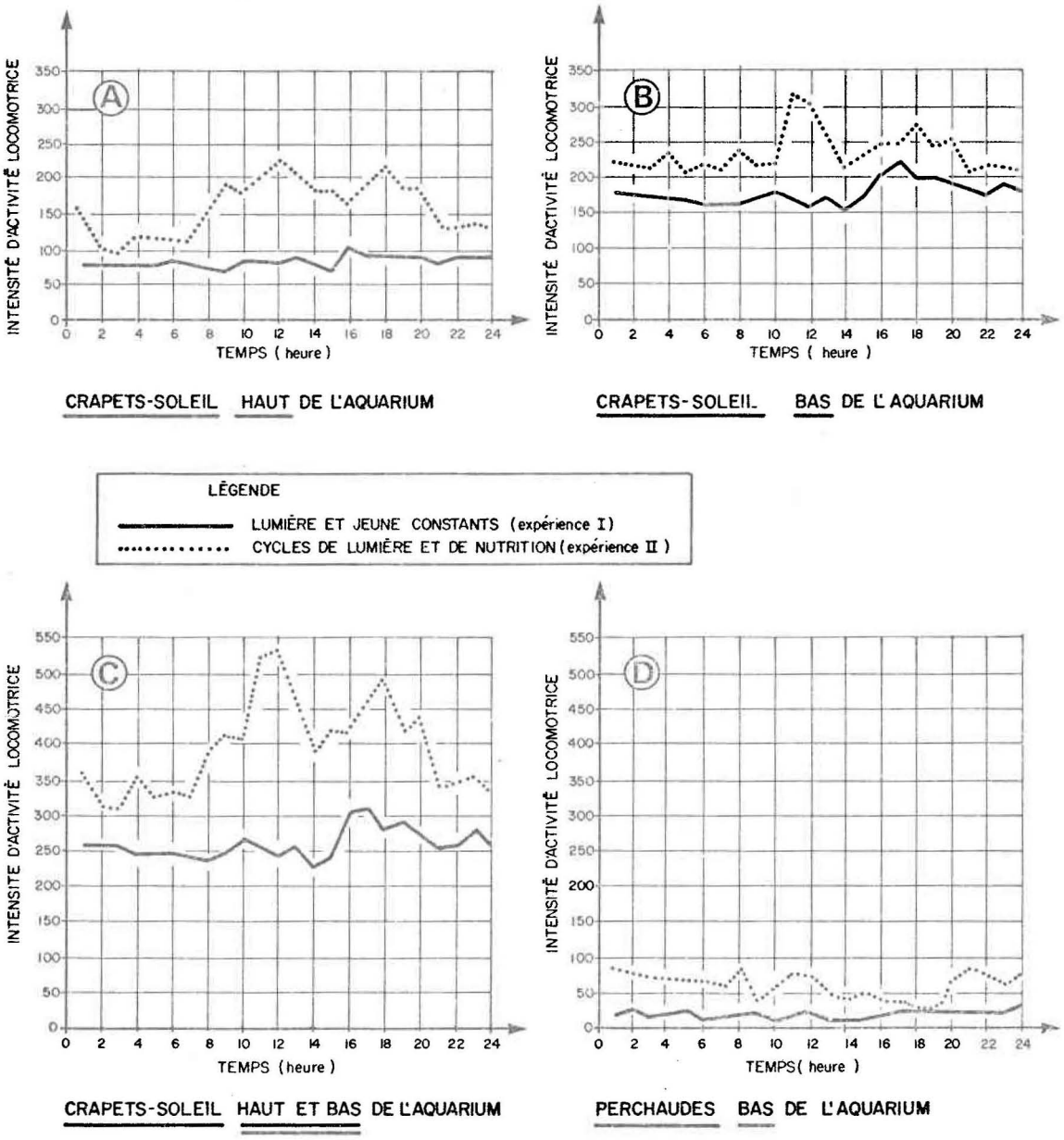


Fig. 12 . Graphiques des moyennes horaires journalières (12 jours) de l'intensité d'activité locomotrice (comptes) des crapets-soleil (LEPOMIS GIBBOSUS) et des perchaudes (PERCA FLAVESCENS), en fonction du temps (heure) durant les expériences I et II .

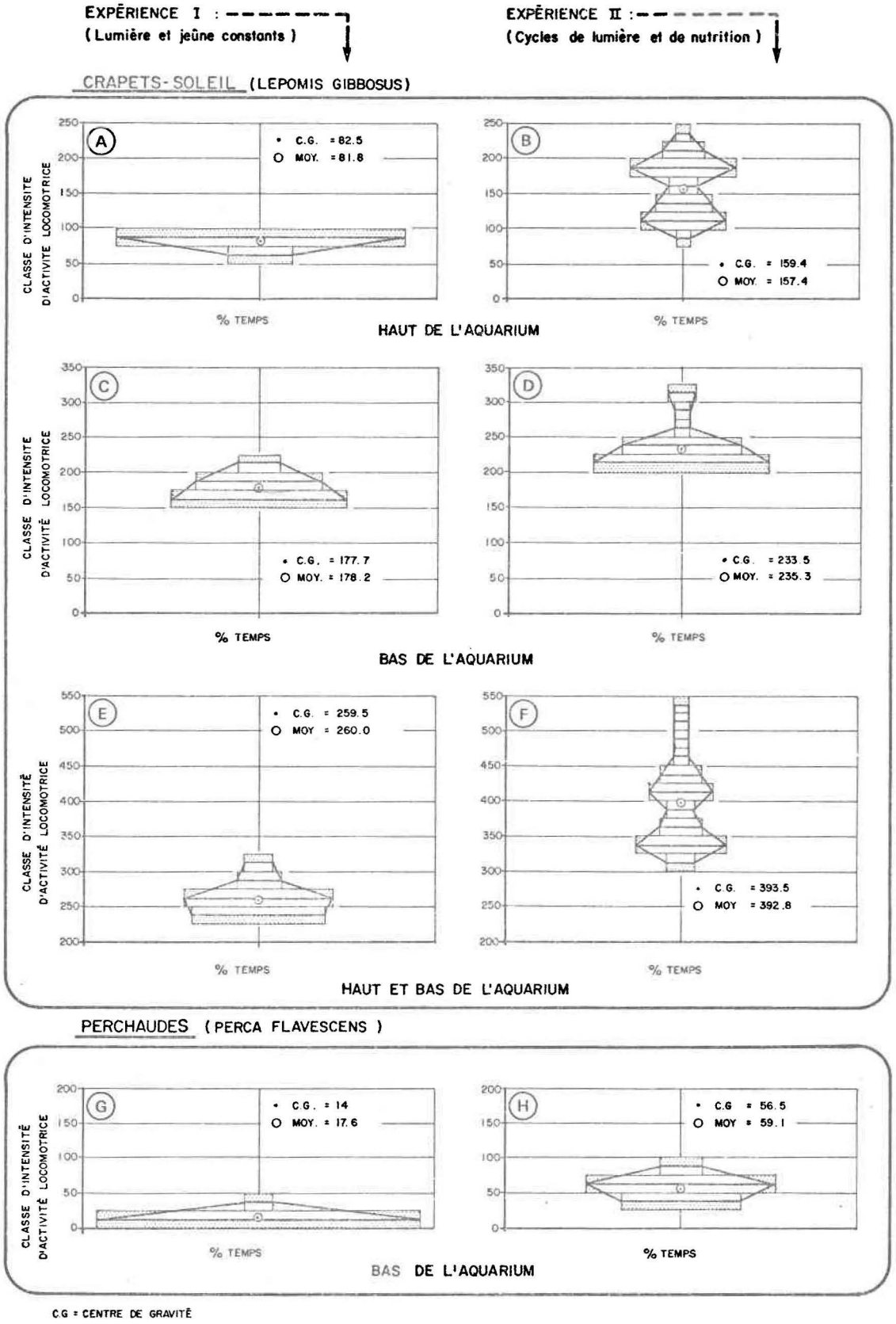


Fig. 13. Diagramme de dispersion des moyennes horaires d'intensité d'activité locomotrice en fonction du % de temps.

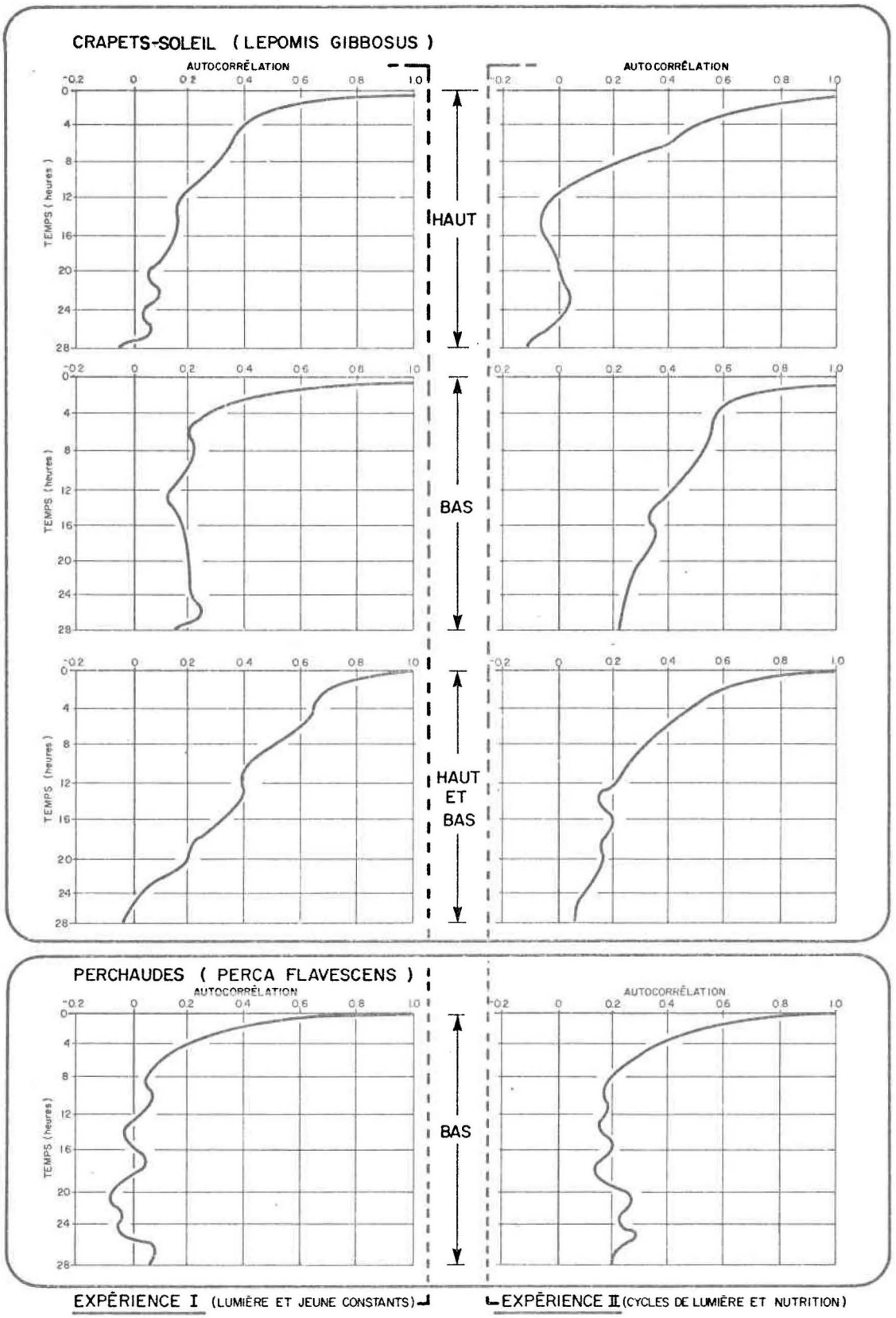


Fig. 14 . Autocorrélogrammes des expériences I et II des crapets-soleil (LEPOMIS GIBBOSUS) et des perchaudes (PERCA FLAVESCENS) .

TABLEAU 3: Pourcentage expliqué de la variance pour différentes périodes (analyse de Fourier)

PERIODE / % expliquée de la variance	CRAPETS-SOLEIL (*LEPOMIS GIBBOSUS*)						PERCHAUDES (*PERCA FLAVESCENS*)	
	EXPERIENCE I			EXPERIENCE II				
	HAUT	BAS	HAUT + BAS	HAUT	BAS	HAUT + BAS	EXP. I BAS	EXP. II BAS
12 jours (288 h.)	22.3	18.2	5.4	5.9	28.7	17.0	5.4	15.8
6 jours (184 h.)	11.1	3.4	9.8	3.2	0.1	0.5	8.4	4.5
4 jours (96 h.)	13.7	1.7	9.6	10.2	19.8	18.4	2.4	7.4
2 jours (48h.)	0.6	1.1	0.8	17.8	7.9	13.6	1.1	2.5
1 jour (24 h.)	0.6	3.7	2.8	16.8	1.9	7.9	1.8	6.5
0.5 jour (12 h.)	0.1	0.7	0.5	0.9	0.1	0.4	0.2	2.5
0.25 jour (6 h.)	0.5	0.9	1.0	0.8	0.8	0.9	0.4	0.1

TABLEAU 4: Phase (ϕ) et amplitude (R) du cycle d'activité locomotrice des crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*) et des perchaudes (*Perca flavescens*) aux périodes de 1 et 2 jours et pour les expériences I et II.

ESPECE	CRAPET-SOLEIL (*LEPOMIS GIBBOSUS*)			PERCHAUDE (*PERCA FLAVESCENS*)
LOCATION	HAUT	BAS	HAUT + BAS	BAS
PERIODE 1 jour (24 h.)				
PHASE (ϕ):				
EXPERIENCE I	1.32	- 1.57	1.50	0.43
EXPERIENCE II	- 0.38	- 0.17	- 0.31	- 0.55
ENTRAINEMENT	1.70	1.40	1.81	0.98
AMPLITUDE (R):				
EXPERIENCE I	2.4	6.4	8.7	2.2
EXPERIENCE II	23.5	11.3	34.6	8.2
DIFFERENCE	$\approx$ X 10	$\approx$ X 1.5	$\approx$ X 4	$\approx$ X 4
PERIODE 2 jours (48 h.)				
PHASE (ϕ):				
EXPERIENCE I	0.13	- 1.28	- 0.72	- 0.71
EXPERIENCE II	0.14	0.69	0.41	0.89
ENTRAINEMENT	0.01	1.97	1.13	1.60
AMPLITUDE (R):				
EXPERIENCE I	2.5	3.6	4.7	1.7
EXPERIENCE II	24.1	23.1	45.4	5.1
DIFFERENCE	$\approx$ X 10	$\approx$ X 6	$\approx$ X 10	$\approx$ X 3

bactériologie de l'eau et l'enregistrement des variations de l'intensité sonore. Les paramètres physico-chimiques qui furent enregistrés sont: la température de l'eau, le pH et l'oxygène dissous (figure 15), la conductivité et la durée totale (figure 16), l'azote (Kjeldahl), l'ammoniaque, les nitrites et nitrates et le phosphore inorganique total (figure 17).

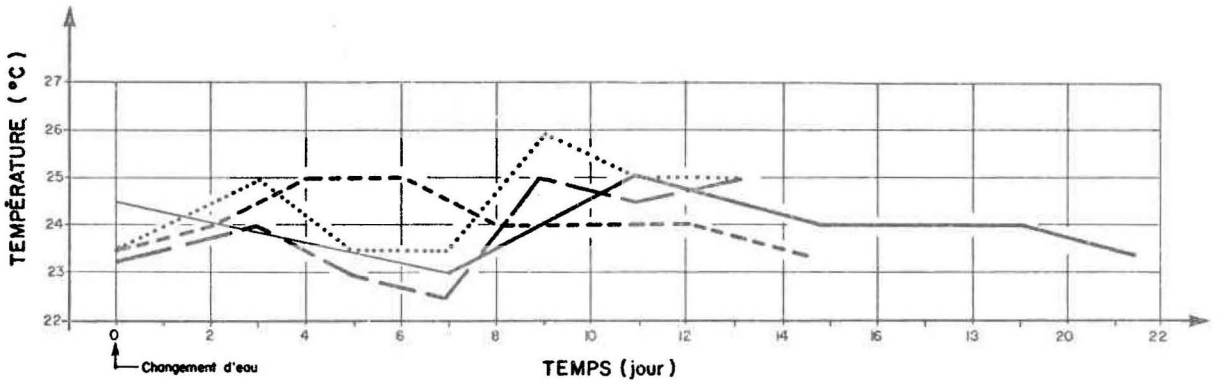
L'enregistrement de l'évolution de ces paramètres débute aux jours de changement d'eau des aquariums. Il se poursuit tous les deux jours durant les expériences I et II pour l'eau des aquariums de nos deux espèces expérimentales.

Un test bactériologique, c'est-à-dire la mesure de la microflore totale de l'eau à 25°C, est fait dans les deux aquariums expérimentaux traités à l'ozone et dans un aquarium non-traité à l'ozone (tableau 5).

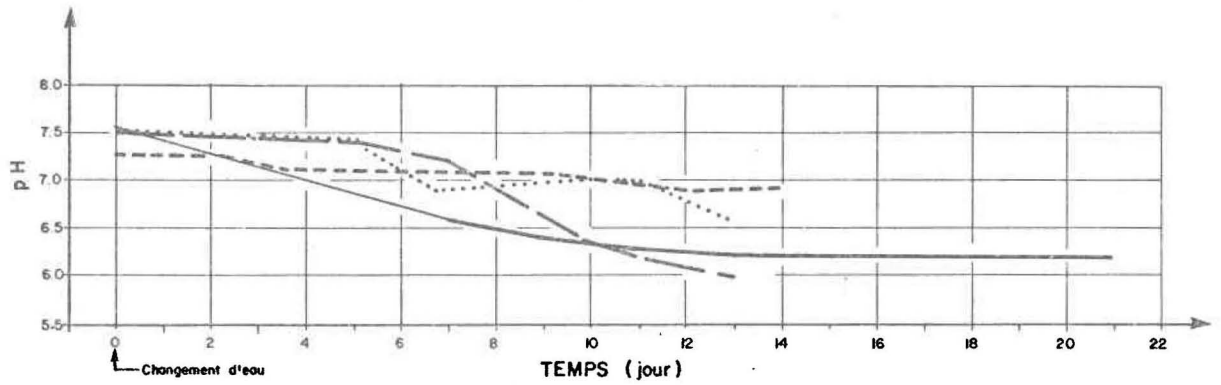
TABLEAU 5: Mesures de la microflore totale à 25°C dans deux aquariums traités à l'ozone et un non-traité:

Aquarium		Poissons	Traitement	Microflore totale à 25°C
01	140 litres	12 Crapets-soleils (*Lepomis gibbosus*)	Ozone 30 mg./heure	840/ml.
03	140 litres	12 Perchaudes (*Perca flavescens*)	Ozone 30 mg./heure	860/ml.
05	40 litres	3 Barbottes (*Ameiurus nebulosus*)	Sans ozone	2700/ml.

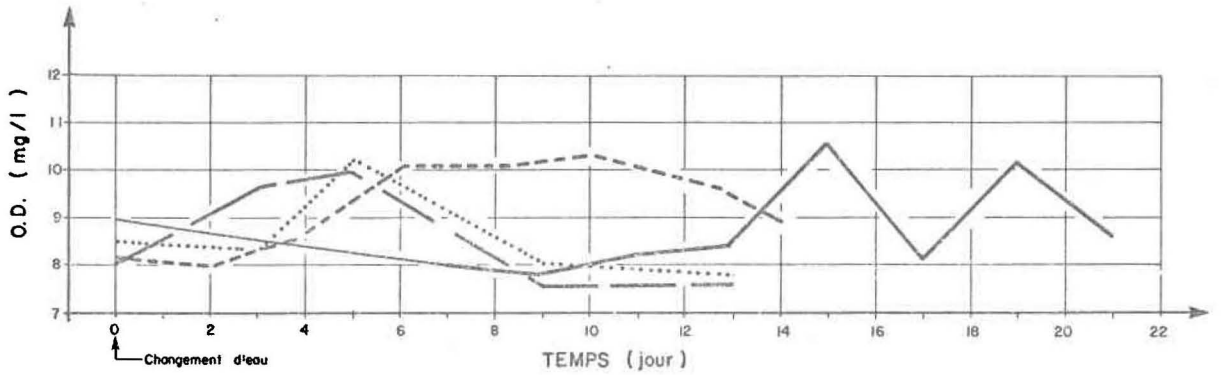
Le troisième type de résultats définissant le milieu expérimental est la mesure de la variation de l'intensité sonore par un décibeltmètre. A cause de l'étendue de ces résultats qui furent enregistrés sur un papier en raison de 30 cm./heure d'enregistrement, une synthèse de ceux-ci représente



A = TEMPÉRATURE



B = pH



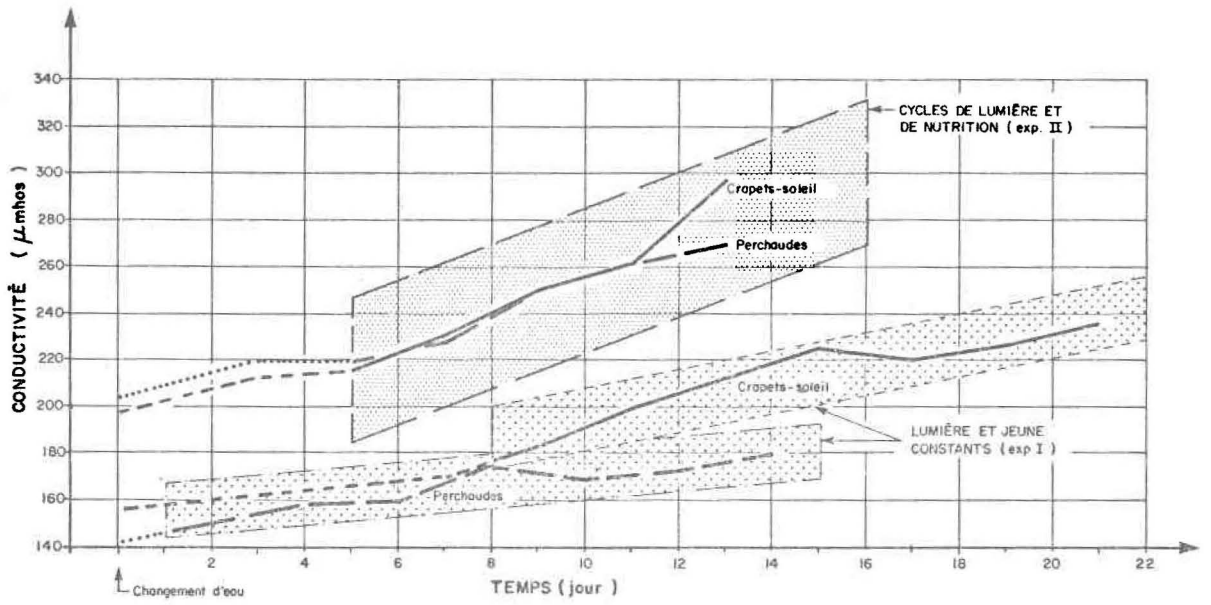
C = OXYGÈNE DISSOUS

LÉGENDE :

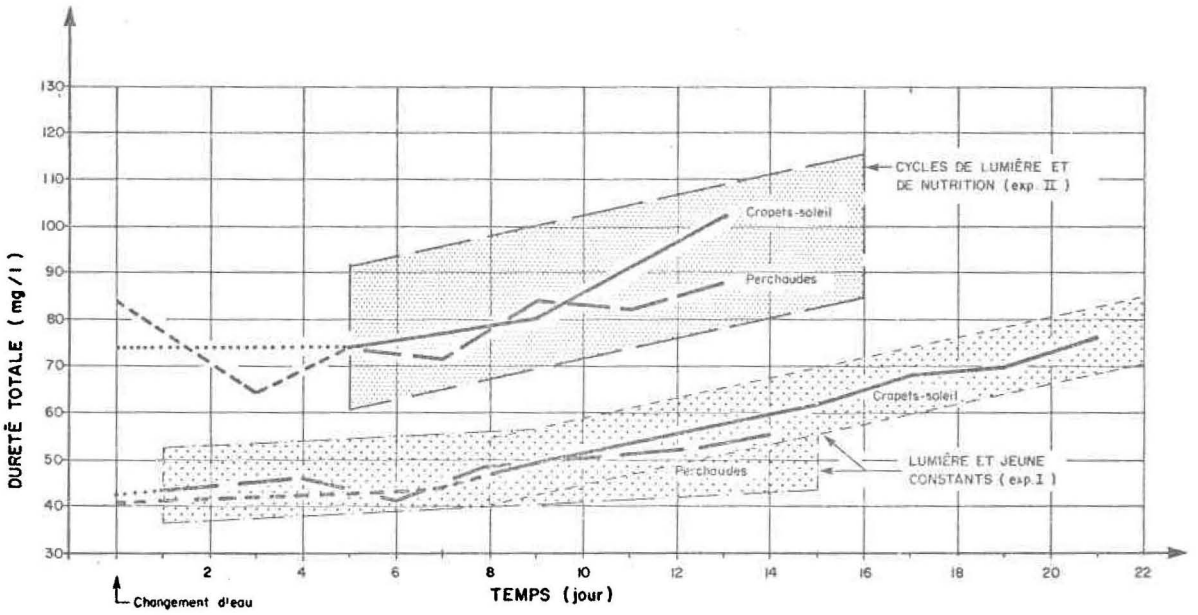
1e Expérience . Lumière et jeune constants
1 = ——— Crapets-soleil
2 = - - - - - Perchaudes

2e Expérience . Cyclelumière et nutrition
1 = — — — Crapets-soleil
2 = ····· Perchaudes

Fig. 15 . Évolution de la température (°C), du pH et de l'oxygène dissous (mg/l) de l'eau des aquariums des crapets-soleil (LEPOMIS GIBBOSUS) et des perchaudes (PERCA FLAVESCENS) durant les expériences I et II.



A = Conductivité



B = Dureté totale

Fig. 16. Évolution de la conductivité (µmhos) et de la dureté totale (mg / l) de l'eau des aquariums des crapets-soleil (LEPOMIS GIBBOSUS) et des perchaudes (PERCA FLAVESCENS) durant les expériences I et II.

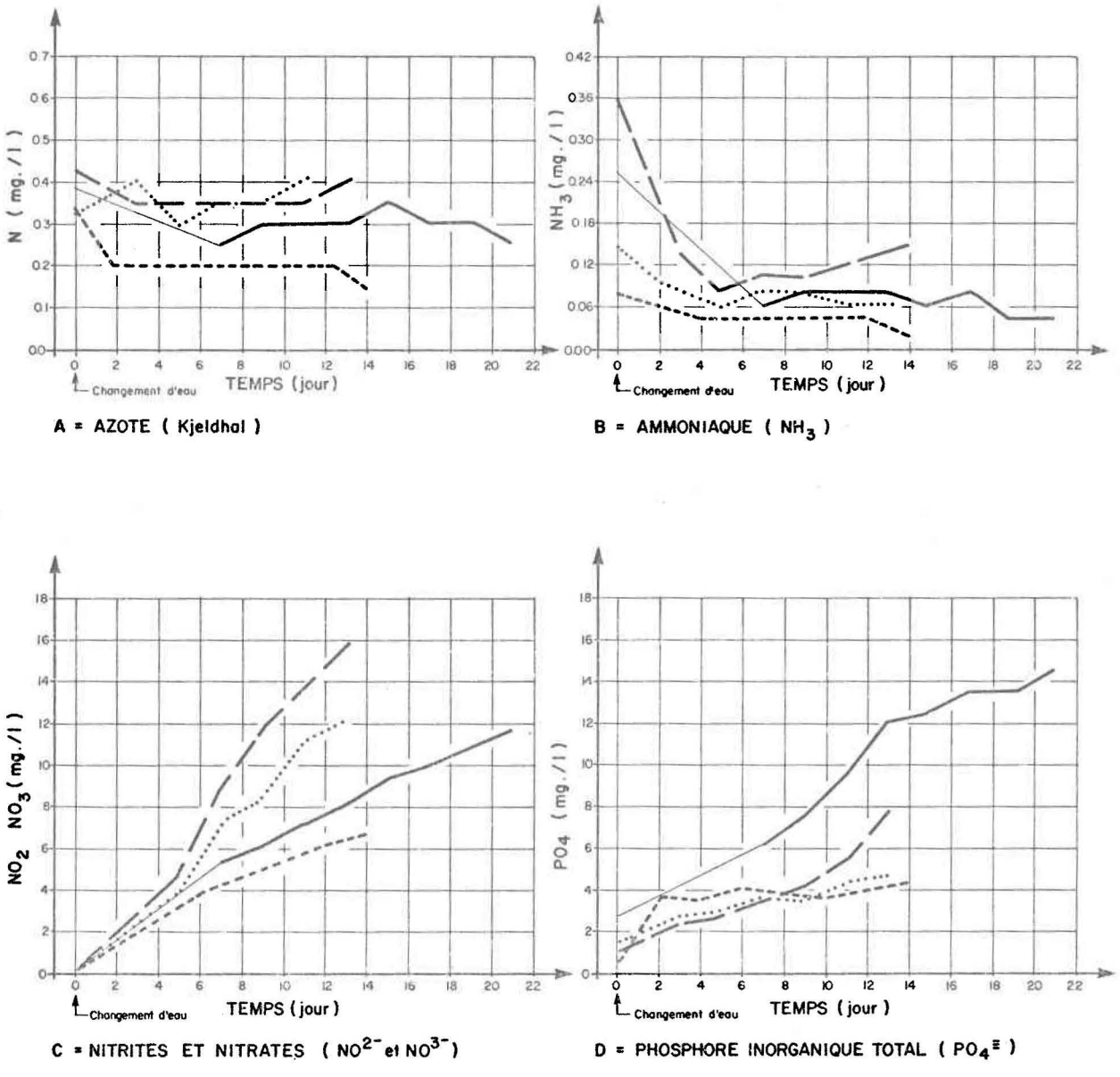


Fig. 17. Évolution de l'azote (Kjeldhal)(mg./l), de l'ammoniaque (mg./l), des nitrites et nitrates (mg./l) et du phosphore inorganique total (mg./l) de l'eau des aquariums des crapets-soleil (LEPOMIS GIBBOSUS) et des perchaudes (PERCA FLAVESCENS) durant les expériences I et II .

plus clairement les phénomènes observés. Cette synthèse est bâtie à partir de 12 jours d'enregistrement sonore durant les deux périodes expérimentales (figure 18). Finalement, en ce qui regarde le contrôle des pannes électriques, aucune panne ne fut enregistrée durant les périodes expérimentales.

4.3 Caractéristiques métriques et âge des spécimens

Les résultats de ces caractéristiques sont présentés sous la forme d'un tableau. La longueur à la fourche, la longueur totale, la hauteur, le poids et l'âge des crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*) et ceux des perchaudes (*Perca flavescens*) (tableau 6) sont les caractéristiques qui furent mesurées.

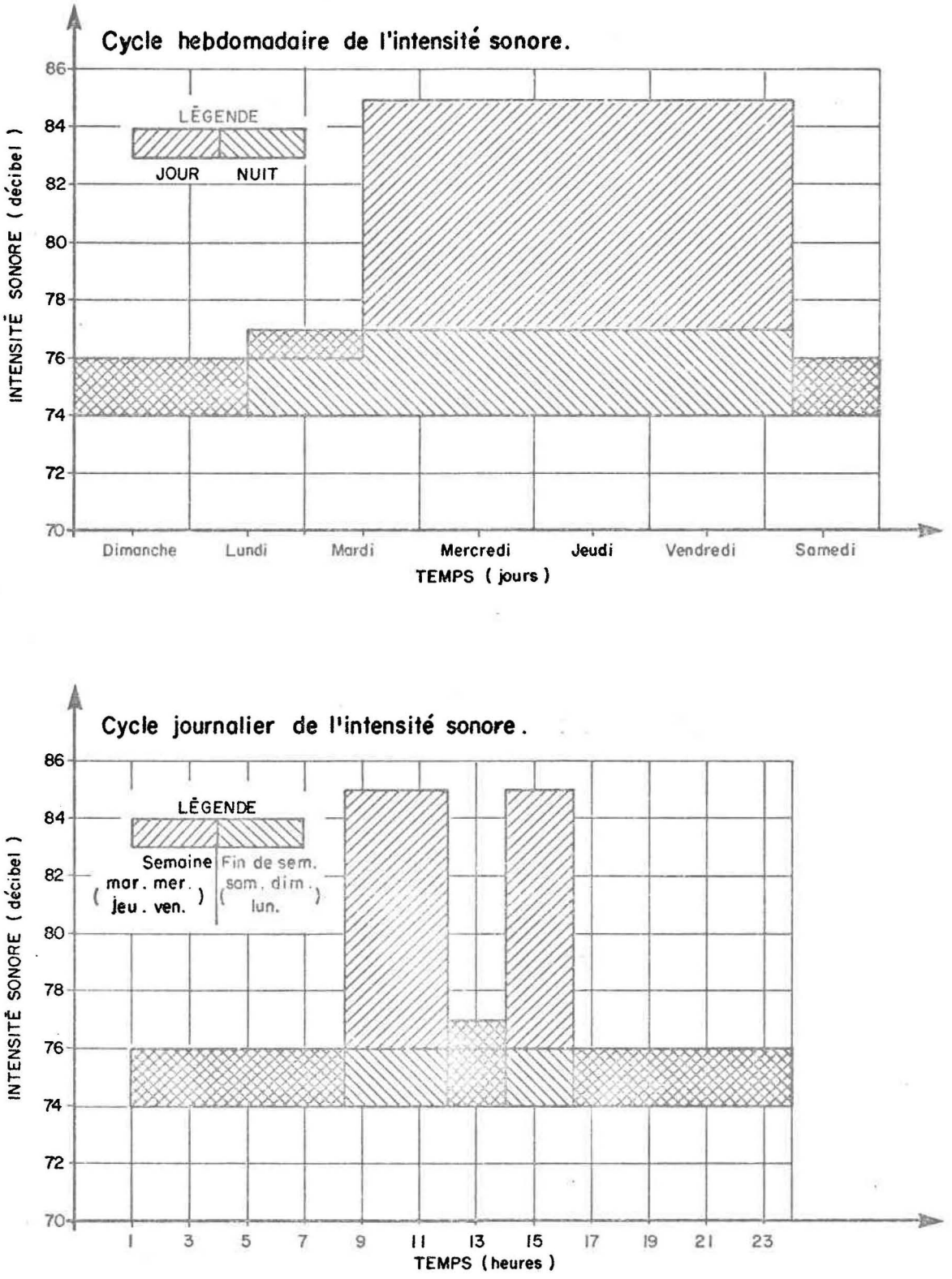


Fig. 18. Cycles hebdomadaire et journalier de l'intensité sonore (décibel).

TABLEAU 6: Longueur à la fourche (LF), longueur totale (LT), hauteur, poids et âge des crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*) et des perchaudes (*Perca flavescens*) expérimentaux.

ESPECE	NO. DU SPECIMEN	LONGUEUR (mm.) à la fourche	LONGUEUR (mm.) totale	HAUTEUR (mm.)	POIDS (gr.)	AGE (an)
Crapets-soleil *Lepomis gibbosus*						
	6	95	97	30	11	3+
	1	109	115	37	22	3+
	9	113	124	37	22	4+
	8	122	128	41	29	4+
	10	125	131	45	36	4+
	11	136	143	52	49	4+
	7	140	146	52	51	4+
	3	157	166	65	89	5+
	12	155	162	65	91	6+
	4	168	175	72	112	6+
	2	177	182	72	127	6+
	5	179	184	72	122	8+
Moyenne		140	146	53	63	4.8
Perchaudes *Perca flavescens*						
	5	123	130	24	19	2+
	12	130	137	26	20	2+
	2	130	137	27	21	3+
	4	140	147	37	29	3+
	3	142	149	29	26	3+
	10	148	157	36	34	3+
	11	157	161	35	44	4+
	7	160	167	36	46	4+
	9	169	178	39	54	4+
	6	217	227	53	125	5+
	8	220	230	53	136	5+
	1	233	242	57	153	6+
Moyenne		164	172	38	59	3.7

5. DISCUSSION

Le crapet-soleil (*Lepomis gibbosus*) et la perchaude (*Perca flavescens*) sont deux espèces de poissons qui sont bien distribuées dans les eaux de l'Amérique du Nord. On les rencontre surtout entre le 50° et 30° latitude Nord. C'est à cause de cette qualité d'espèces communes et de leur facilité de conservation en aquarium, que nous avons décidé d'en faire les deux premières espèces dont nous avons étudié les rythmes circadiens d'activité locomotrice.

Tenant compte de leur comportement d'aggrégation et de la dimension des aquariums expérimentaux, un nombre de douze individus dans chaque espèce est choisi pour former une population expérimentale. La population expérimentale des crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*) et celle des perchaudes (*Perca flavescens*) forment des groupes d'individus représentant plusieurs niveaux d'âges, de longueurs, de poids et de hauteurs (tableau 6).
Considérant la caractéristique morphologique du crapet-soleil qui est arrondie et celle de la perchaude qui est allongée, on constate une différence marquée entre la moyenne des hauteurs du corps des deux espèces.

Ce point est important, car il peut, à cause du type de technique d'acquisition de données employé, produire des erreurs lors de la comparaison des résultats d'activité locomotrice des deux espèces. Notre technique utilise des cellules photorésistives de 3 cm. de haut qui sont espacées de 3 cm. Les crapets-soleil ont pour moyenne de hauteur 53 mm., tandis que les per-

chaudes ont 3.8 mm.. Donc, le nombre probable de cellules obstruables par passage, pour les différentes hauteurs de crapets-soleil, n'est pas le même que celui des perchaudes. En effet, on obtient une possibilité de 1.1 cellule obstruable par passage pour les crapets-soleil et de 0.9 cellule pour les perchaudes. Dans le cas de l'expérience II, pour le bas de l'aquarium, les crapets-soleil ont une moyenne de 235 comptes et les perchaudes de 58 comptes, donc un rapport de 24%. Une fois corrigées, les moyennes passent à 206 passages pour les crapets-soleil et à 64 passages pour les perchaudes tandis que le rapport monte à 31%.

A cause de la forte marge de différence entre les résultats d'activité locomotrice des crapets-soleil et des perchaudes, l'effet de cette anomalie de mesures de notre technique d'acquisition de données se trouve estompé. De plus, d'autres anomalies, telles: les passages parallèles de plusieurs poissons qui ne déclenchent qu'un compte et le mouvement de la nageoire caudale d'un poisson dans la zone d'enregistrement qui déclenche plusieurs comptes pour une activité locomotrice sédentaire rendent difficile la transformation des comptes en nombre de passages. C'est pourquoi notre intensité d'activité locomotrice représente des comptes enregistrés et non des passages. Cependant, lors de l'interprétation et de la comparaison des résultats, il faudra garder à l'esprit l'effet de ces anomalies de mesures ainsi que celles dues aux formes d'agencement des données (Appendice C).

Une fois ces remarques faites sur l'unité de nos données, nous discuterons de leur stationarité. Dans le tableau 2-A, nous donnons les résultats du test de Hall, qui pour l'ensemble des cas présents, rejettent l'hypothèse initiale selon laquelle les comptes de médianes sont pareils de jour en jour. Ainsi, il y a dans tous les cas expérimentés, un jour différent des autres.

Cette non-stationarité des données, décelée par le test est peut-être due à l'influence d'opérations périodiques, telles la prise d'échantillons pour mesurer la qualité de l'eau et la nutrition des spécimens. Cet effet restera cependant à être démontré rigoureusement en effectuant le test de Hall sur les jours avec opérations et sur ceux sans opération. Ensuite, nous pourrions mieux déceler la présence de d'autres tendances dans les données.

En examinant les x^2 du tableau 2-A, nous constatons une différence marquée entre les valeurs des x^2 (chi-carré) des données des crapets-soleil et de celles des perchaudes. Dès ce début d'analyse des résultats, on remarque que ces deux espèces, différentes par leur morphologie et leur écologie, ont deux façons distinctes d'effectuer leur activité locomotrice.

5.1 Patron d'activité

L'étude des patrons d'activité de nos deux espèces s'est faite surtout durant l'expérience II. Les conditions lumineuses et de nutrition de l'expérience II sont plus proches des conditions naturelles que peuvent l'être les conditions de l'expérience I. Si nous analysons les graphiques de moyennes horaires journalières d'intensité d'activité locomotrice (figure 12), nous observons immédiatement des différences frappantes entre le patron d'activité des crapets-soleil et celui des perchaudes. L'activité locomotrice des crapets-soleil s'effectue dans le haut et le bas de l'aquarium, tandis que celle des perchaudes s'effectue uniquement dans le bas de l'aquarium. Exceptionnellement, on a observé que les perchaudes sont actives dans le haut de l'aquarium et surtout tôt le matin. Ce qui confirme l'étude de Pearse et Achtenberg (1920), qui avaient observé, dans le milieu naturel, que la perchaude montait à la surface tôt le matin. Pour une simplification de l'analyse des données, les quelques comptes enregistrés chez les perchaudes, dans le haut de l'aquarium (0.7% des comptes du bas de l'aquarium), fu-

rent ajoutés à ceux du bas de l'aquarium. Un autre point qui est frappant, compte tenu de notre anomalie de mesures due aux différences de hauteurs des deux espèces, est la marge entre l'intensité d'activité locomotrice des crapets-soleil et celle des perchaudes.

Ces différences entre les deux patrons d'activité peuvent être expliquées par les caractéristiques écologiques de ces espèces. Le crapet-soleil est un poisson qui habite les eaux peu profondes du rivage, tandis que la perchaude circule dans les eaux moyennement profondes (Emery, 1973; La Monte, 1946; Migdalski, 1962; Odell, 1932). Ainsi, les aquariums expérimentaux favorisaient une intensité d'activité locomotrice plus élevée pour les crapets-soleil que pour les perchaudes qui auraient préféré un aquarium plus profond.

Le diagramme de dispersion des moyennes horaires d'activité locomotrice, en fonction du % de temps (figure 13), nous fait voir d'un autre angle cette différence. Premièrement, nous observons un plus grand nombre de classes d'intensité d'activité locomotrice dans le cas des crapets-soleil que dans celui des perchaudes. De plus, nous constatons que seules les perchaudes ont des classes qui se situent entre 0 et 50, (bas de l'aquarium, expériences I et II). Ces classes, où le poisson peut être considéré comme au repos, ne se rencontrent pas chez les crapets-soleil. Dans le cas de l'expérience II (cycle de lumière et de nutrition), les perchaudes, à cause de la lumière continue produite par le module de détection, ont une période de repos moins longue. Par contre, dans l'expérience I (lumière et jeûne constants), cette période de repos constitue la presque totalité du % de temps.

5.1.1 Crapets-soleil

Le patron d'activité du crapet-soleil selon les études antérieures ef-

fectuées dans le milieu naturel (figure 2) possède les caractéristiques suivantes: diminution nocturne d'activité et pic d'activité entre 9 heures et 13 heures. Notre patron d'activité des crapets-soleil (figure 12-C) confirme en laboratoire ces deux caractéristiques. De plus, on note un second pic d'activité débutant à 16 heures et ayant son maximum à 18 heures. Ce pic ne ressort pas dans les études antérieures d'activité locomotrice en milieu naturel. Cependant, on peut l'expliquer comme étant dû au pic d'activité de nutrition de 18 heures, que l'on rencontre chez les crapets-soleil (figure 1-A). La prolongation de la période lumineuse qui se termine à 19 heures et l'influence dans le laboratoire d'une période de variation de l'intensité sonore, dont nous discuterons, ont probablement accentué l'effet sur l'activité locomotrice de ce pic d'activité de nutrition.

Une autre conclusion que nous ressortons de notre patron d'activité des crapets-soleil est que le crapet-soleil a une plus grande activité à quelques pieds de surface (bas de l'aquarium) que dans la zone subjacente à la surface (haut de l'aquarium). Ceci est aussi observable dans la figure 13; les données du haut de l'aquarium sont presque toutes inférieures à la classe de 200 et sont réparties sans uniformité dans les classes, tandis que les données du bas sont supérieures à la classe de 200 et réparties dans deux groupes uniformes de classes. L'activité locomotrice du crapet-soleil est donc plus sensible et moins élevée près de la surface et plus stable et plus élevée dans le bas de l'aquarium.

5.1.2 Perchaudes

Pour la perchaude, les études en milieu naturel (figures 4 et 5) font ressortir un pic d'activité immédiatement après le lever du soleil, un palier supérieur d'activité de 12 heures à 16 heures et finalement un pic après le

coucher du soleil. En laboratoire (figure 12-D, perchaudes (exp.II)), nous retrouvons un pic après l'ouverture des fluorescents à 7 heures, puis un palier supérieur d'activité entre 10 heures et 15 heures et finalement le dernier pic d'activité après 19 heures qui est le temps de fermeture des fluorescents. Le déphasage, du début du palier supérieur de 12 heures en milieu naturel à 10 heures en laboratoire, est dû au fait qu'en laboratoire la nourriture était distribuée à partir de 9 heures. On peut facilement expliquer les pics d'activité d'ouverture et de fermeture des fluorescents par la conservation, par les perchaudes étudiées, de leur réflexe migratoire bijournalier.

5.2 Rythmes d'activité locomotrice

La recherche des rythmes d'activité locomotrice du crapet-soleil et de la perchaude est un sujet important de notre étude. Pour déceler ces rythmes, nous avons soumis ces deux espèces à deux types de conditions: lumière et jeûne constants (Expérience I) et cycles de lumière et de nutrition (Expérience II). De plus, nous comparons les résultats de l'expérience I à ceux de l'expérience II, pour mieux connaître l'influence de deux éléments environnementaux, le cycle de lumière et la nutrition, sur l'activité locomotrice de nos deux espèces.

5.2.1 Périodicité

Un examen complet des résultats des expériences I et II comprend l'analyse de la périodicité. Dans une première étape, nous vérifions s'il y a dans les résultats des expériences, présence d'un rythme circadien (période autour de 24 heures). Dans le tableau 2-B, le test de Hall décèle un rythme circadien pour les crapets-soleil dans le haut de l'aquarium durant

l'expérience II. Ce rythme est de plus confirmé par l'autocorrélogramme des données (figure 14, Expérience II, crapet-soleil, haut de l'aquarium) où nous avons une remontée de l'autocorrélation vers + 1.

La valeur du coefficient d'autocorrélation, comme celle du coefficient de corrélation, varie entre -1 et +1. S'il est égal à zéro (0), il n'y a pas de relation linéaire entre les données décalées de "n" ou pour une période de "n". Par contre, s'il est positif, il y a une relation directe entre les données et ceci proportionnellement avec sa tendance vers +1. En dernier lieu, s'il est négatif, la relation est inverse entre les données proportionnellement avec sa tendance vers -1. Seul l'autocorrélogramme du haut de l'aquarium des crapets-soleil (Expérience II) a une remontée perceptible vers +1, les autres autocorrélogrammes n'ont pas une remontée aussi claire de leur autocorrélation. Cette absence de remontée chez les autocorrélogrammes est probablement due aux tendances présentes dans les données qui ont servi à les bâtir.

Dans notre recherche, d'autres périodes par l'analyse de Fourier, nous découvrons en examinant les pourcentages expliqués de la variance (tableau 3) qu'il y a des pourcentages plus élevés que 10% pour des périodes de 12 jours, 6 jours, 4 jours, 2 jours et 1 jour. Pour les rythmes d'une période de 12 jours et 6 jours, nous pouvons associer leur pourcentage expliqué de la variance à la non-stationarité des données.

En ce qui regarde la période de 4 jours, nous sommes, par rapport à la durée de l'expérience, à la limite de précision de notre analyse. Nous pouvons cependant tenter une interprétation; cette période de 4 jours a deux sources possibles: tout d'abord, elle suit un harmonique de la période de 12 jours qui est due à la non-stationarité des données et/ou elle suit

un "donneur de temps" extérieur produit par des éléments perturbateurs du milieu expérimental (variations de l'intensité sonore, opérations dans le laboratoire). Nous remarquerons de plus, que ce rythme est détecté aussi bien dans l'expérience II que dans l'expérience I et uniquement pour les crapets-soleil. Connaissant le rythme de variation de l'intensité sonore (figure 18), nous soumettons des données simulées de ce rythme à l'analyse de Fourier. Nous obtenons, pour une période de 4 jours, 16% d'explication de la variance. Une autre simulation est effectuée pour le rythme de prise d'échantillon d'eau (physico-chimie); dans ce cas, pour la période de 4 jours, la variance expliquée est inférieure à 10%. Ainsi, le rythme d'une période de 4 jours semblerait plus redevable au rythme de variation de l'intensité sonore qu'à celui de prise d'échantillon d'eau.

Si cette hypothèse d'induction du rythme d'activité locomotrice par un rythme de variation d'intensité sonore était rigoureusement confirmée, nous pourrions tirer de la répartition des pourcentages du tableau 3, que: premièrement, le rythme de 4 jours d'activité locomotrice des crapets-soleil, et non celui des perchaudes, est partiellement induit par la variation de l'intensité sonore, deuxièmement que les conditions de l'expérience II permettent plus cette induction que celles de l'expérience I et troisièmement, que le haut de l'aquarium durant l'expérience I est seul affecté par des variations de l'intensité sonore.

5.2.2 Influence des cycles de lumière et de nutrition

En général, l'activité locomotrice des deux espères étudiées est influencée de la même façon par les cycles de lumière et de nutrition. Comme on le remarque dans les figures 11 et 12, l'ensemble et la moyenne de l'intensité d'activité locomotrice sont plus élevés dans l'expérience II (cycles

de lumière et de nutrition) que dans l'expérience I (lumière et jeûne constants). De plus, le diagramme de dispersion des moyennes horaires d'activité locomotrice (figure 13) montre que dans l'expérience II, on a un plus grand nombre de classes que dans l'expérience I.

En examinant l'allure des courbes de la figure 12, on constate que l'expérience II a produit des pics d'activité locomotrice bien définis, répondant aux cycles de lumière et de nutrition et même, confirmant, tel que souligné auparavant, des patrons naturels d'activité. Tandis que les conditions constantes de l'expérience I produisent des courbes uniformes, dont les quelques pics ne sont pas aussi bien découpés et qui sont probablement dus à une nécessité instinctive de fuite ou de réponse d'irritation, induite par des éléments perturbateurs du milieu expérimental.

Certaines particularités de cette influence sont observables dans l'examen des rythmes d'une période de 2 jours et 1 jour décelés dans le tableau 3. Pour ces périodes, on remarque que le pourcentage expliqué de la variance est supérieur à 10% principalement dans l'expérience II (haut de l'aquarium crapets-soleil). Il y a donc un lien entre ces rythmes d'activité locomotrice et le cycle de nutrition d'une période de 2 jours, ainsi que le cycle de lumière d'une période d'un jour; cycles qui sont seulement présents dans l'expérience II. De plus, on remarque que l'influence des cycles de lumière et de nutrition semble moins induire le rythme d'activité locomotrice des perchaudes que celui des crapets-soleil; puisque les pourcentages expliqués de la variance des perchaudes pour ces périodes sont inférieurs à 10%.

Si on étudie la phase et l'amplitude des rythmes de 2 jours et 1 jour (tableau 4), on constate d'abord que dans le cas du haut de l'aquarium pour

les crapets-soleil, nous avons, pour le rythme d'un jour (24 heures), un avancement de la phase d'environ 6 heures (11.7 radians) entre les expériences I et II. Cet entraînement d'un rythme d'activité par un cycle lumineux fut déjà remarqué par Pittendrigh et Minis (1964). Par contre, on n'a presque pas de déphasage entre les expériences I et II pour le rythme de 2 jours. Le cycle lumineux a donc plus de facilité à produire un déphasage du rythme d'activité locomotrice du haut de l'aquarium que le cycle de nutrition.

On constate aussi que pour le haut de l'aquarium des crapets-soleil, l'amplitude de l'expérience II est dix fois plus élevée que celle de l'expérience I, aussi bien pour le rythme d'un jour que celui de 2 jours. Par contre, pour le bas de l'aquarium, le rapport entre l'amplitude de l'expérience I et celle de l'expérience II est de 1/1.5 pour le rythme d'un jour et de 1/6 pour le rythme de 2 jours. Ainsi, l'amplitude de l'activité locomotrice du bas de l'aquarium augmente plus facilement sous l'influence du cycle de nutrition que sous celle du cycle de lumière. Cette remarque est appuyée par l'observation d'Emery (1973) (tableau 1-A) qui constata que le crapet-soleil se nourrit dans le fond de l'eau.

Finalement, dans la figure 19, nous avons un graphique des moyennes sur 2 jours de l'ensemble des données du haut de l'aquarium pour les crapets-soleil durant l'expérience II. A ce graphique, nous superposons les cycles d'un jour (24 heures) et de 2 jours (48 heures) décelés par l'analyse de Fourier. Puis, nous réunissons ces deux cycles en un cycle unique (24 - 48 heures). Ce graphique nous fait voir les parties des données de l'activité locomotrice des crapets-soleil qui sont assujetties à l'influence du cycle de lumière et/ou à l'influence du cycle de nutrition.

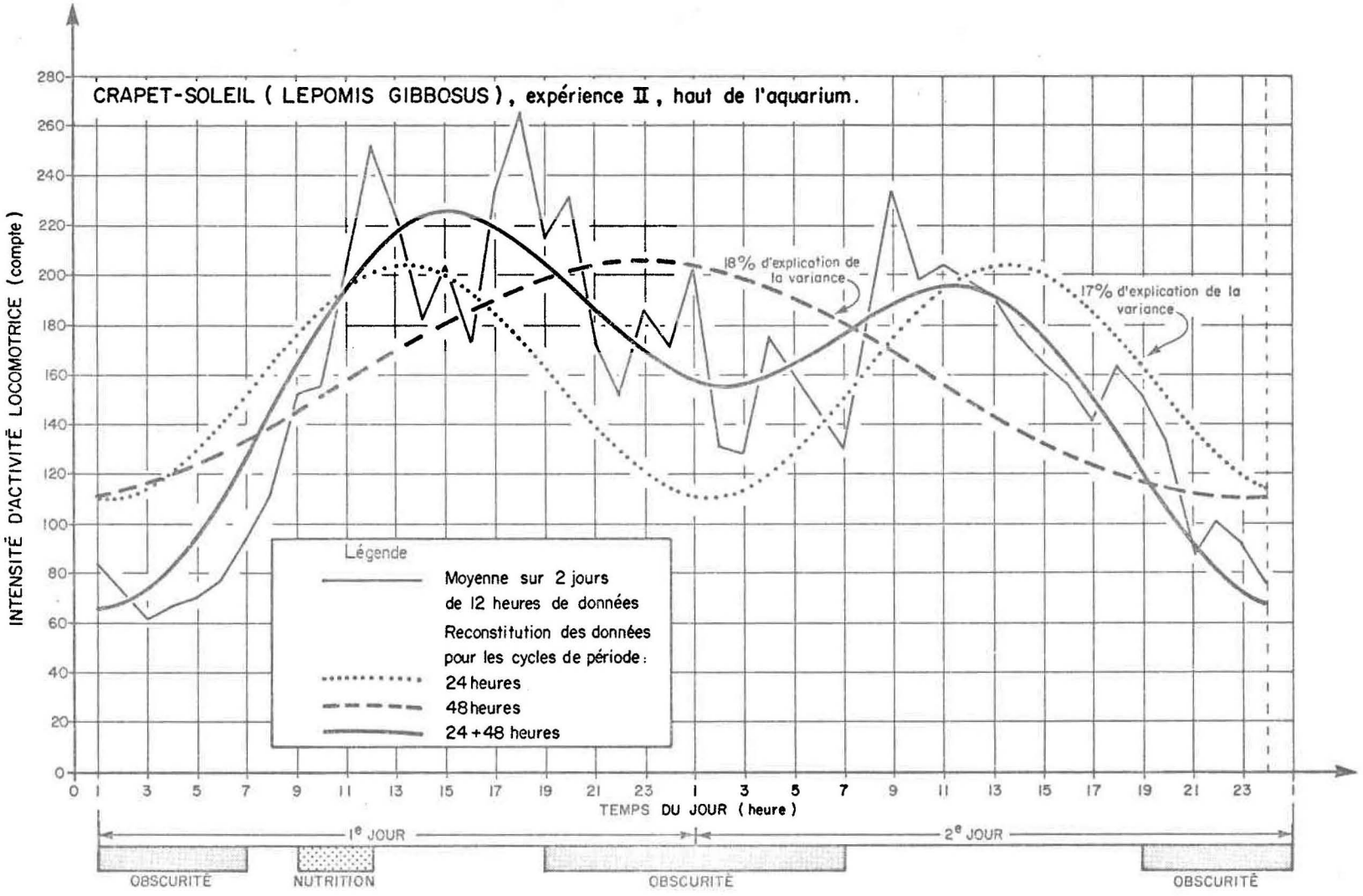


Fig. 19 . Graphique comparant la moyenne sur 2 jours de 12 jours d'activité locomotrice en fonction du temps des crapets-soleil (LEPOMIS GIBBOSUS) pour le haut de l'aquarium durant l'expérience II (cycles de lumière et de nutrition) à la reconstitution des données pour les cycles de périodes de 24, 48, 24 + 48 heures.

5.3 Milieu expérimental

Le milieu idéal pour notre étude doit simuler le plus possible le milieu naturel. Une simulation complète du milieu naturel est impossible à cause de la complexité des conditions qu'il exige. Notre milieu expérimental est donc un compromis qui tient compte des facilités disponibles et qui essaie de maintenir des conditions permettant une bonne conservation des spécimens et dont on connaît les effets possibles sur le phénomène étudié.

Il y a certaines conditions naturelles, telles la forme, la profondeur et la dimension d'un lac, qui ne peuvent être reconstituées en laboratoire. Ainsi, comme on l'a déjà souligné dans notre étude, la petite dimension des aquariums et ainsi le peu d'espace disponible ont probablement diminué l'intensité d'activité locomotrice des perchaudes. De même, la différence d'intensité lumineuse entre la lumière des fluorescents et la lumière naturelle, selon la loi circadienne (Aschoff, 1960), a des effets sur l'activité locomotrice. En ce qui regarde l'ouverture et la fermeture des fluorescents, il aurait été souhaitable que celles-ci soient progressives et contrôlées par un rhéostat. Cependant, l'effet de ce choc lumineux brusque, dû à l'ouverture et à la fermeture des fluorescents, influence peu la période des données d'activité locomotrice. Par contre, le fait de fabriquer des caches artificielles, constituant ainsi un abri de repos pour les poissons, a certes facilité une représentation plus fidèle de l'activité locomotrice naturelle.

D'autres conditions de notre milieu expérimental ont des effets perturbateurs sur l'activité locomotrice. L'étude de leur cause et des effets probables qu'ils produisent sur nos résultats est importante. De plus, des recommandations qui, dans les études subséquentes, pourraient être utilisées, seront énoncées.

5.3.1 Variations de l'intensité sonore

Nous reproduisons dans la figure 18, les cycles hebdomadaire et journalier de la variation d'intensité sonore de notre laboratoire. Ces variations de l'intensité sonore sont dues à la présence de ventilateurs près de notre laboratoire. Pour situer nos valeurs d'intensité sonore, nous énumérerons, selon le manuel technique inclus avec notre décibelmètre, les intensités sonores de bruits qui nous sont familiers: une conversation (moyenne) 65 db., industrie (moyenne) ou circulation lourde à 25 pieds 75 db., hors-bord (10 hp.) à 50 pieds 87 db. Dans notre laboratoire, l'intensité sonore se présente sous deux formes; la forme stable où le son variait très peu et était compris entre 74 et 76 décibels et la forme variable où l'intensité sonore variait beaucoup et se situait dans des valeurs plus élevées (76 à 84 décibels). La forme stable se produisait durant les heures de repos et les jours de congé des utilisateurs des ventilateurs et la forme variable durant leurs heures et jours de travail.

Nous avons vu, dans notre revue de la littérature, à quel point l'intensité sonore peut influencer l'activité locomotrice des poissons (Siegmund et Wolff, 1971). Comme nous avons remarqué auparavant, la présence de la forme variable d'intensité sonore jusqu'à environ 16h30 a probablement accentué l'effet de l'activité de nutrition de 18 heures et produit un pic d'activité locomotrice. Pour les journées où nous rencontrons les deux formes d'intensité sonore (mercredi, jeudi, vendredi), l'activité locomotrice augmente durant la forme variable et diminue durant la forme stable; ainsi, l'effet de l'intensité sonore se trouve compensé. Durant les journées qui ont seulement la forme stable (samedi et dimanche), l'activité locomotrice augmente beaucoup lors d'opérations dans le laboratoire (prise d'échantillons d'eau ou nutrition), tandis que les jours ayant les deux formes d'intensité, l'aug-

mentation d'activité est moins forte lors des mêmes opérations. Les jours où l'intensité sonore passe de la forme stable aux deux formes et vice-versa (mardi et vendredi), il y a une diminution d'activité locomotrice. Ces dernières remarques sont confirmées par les graphiques de moyennes journalières d'intensité d'activité locomotrice des crapets-soleil de l'expérience II (figure 11-A, B, C). On constate donc qu'une isolation du milieu expérimental aurait été nécessaire pour diminuer l'influence des variations de l'intensité sonore.

5.3.2 Variation de la sensibilité des appareils

Un second point qui peut influencer les résultats de notre étude est la variation de la sensibilité de mesure des appareils d'acquisition de données. Cette variation est due à l'augmentation progressive de la turbidité de l'eau qui diminuait la sensibilité de réaction des cellules photorésistantes. Cependant, par un contrôle journalier des appareils et un ajustement des potentiomètres des "piscicompteurs", cette variation de sensibilité fut minimisée et toute influence sur les résultats, écartée. L'utilisation d'appareils autoréglables est tout de même préférable.

5.3.3 Effets des opérations

Les opérations dans notre laboratoire ont aussi influencé nos résultats. Ces opérations sont de trois types: prise d'échantillons d'eau (physico-chimie), contrôle des appareils et nutrition. Les deux premiers types sont présents dans l'expérience I, tandis qu'on rencontre les trois types durant l'expérience II. Ces opérations s'effectuaient simultanément entre 9 heures et 11 heures à tous les deux jours (figure 10).

Nous remarquons dans la figure 11, que les jours de l'expérience II

où il y a des opérations, il y a une augmentation d'activité locomotrice qui est accentuée si l'intensité sonore est stable. Cependant, pour l'expérience I, où l'éclairement était constant et où seulement les opérations d'échantillonnage d'eau et de contrôle des appareils étaient effectuées, l'augmentation d'activité locomotrice est moins prononcée.

L'emploi d'appareils automatiques effectuant des mesures en continu et la présence d'une sortie pour l'eau des aquariums, se terminant en dehors du milieu étudié, s'avèrent donc importants pour diminuer les effets des opérations d'échantillonnage d'eau (physico-chimie). Aussi, il est préférable d'utiliser de la nourriture vivante, placée dans l'aquarium, et qui ne modifie pas les comptes d'activité locomotrice. Ceci rendrait la nutrition plus uniforme et naturelle; malgré que les heures de nutrition utilisées durant notre étude sont celles des poissons en nature (figure 1). De plus, l'effet de la présence humaine durant les opérations de nutrition doit être écarté soit par la solution de la nourriture vivante ou par l'utilisation d'un distributeur automatique de nourriture (sèche ou autre).

5.3.4 Evolution de la qualité de l'eau

Nous abordons globalement cette dernière influence du milieu expérimental sur les résultats qu'est l'évolution de la qualité de l'eau de nos aquariums. Tout d'abord la qualité bactériologique de l'eau des aquariums est très bonne, grâce à l'action de l'ozonateur (tableau 5). Les paramètres physico-chimiques, étant donné que nous avons un aquarium à circulation fermée, varient progressivement tout au long de notre étude à partir du jour de changement d'eau.

La température, le pH et l'oxygène dissous (figure 15) ont des valeurs qui sont dans les limites physiologiques de nos espèces expérimentales. D'au-

tre part, la conductivité et la dureté totale (figure 16) augmentent beaucoup à cause de la décomposition dans l'eau des aquariums de restants de nourriture et d'excréments des poissons. Pour l'expérience II, à cause de la distribution de nourriture, ces deux paramètres ont des valeurs plus élevées. Finalement, à cause des mêmes raisons que pour les deux paramètres qui précèdent, la concentration des nutriments augmente (figure 17). Cependant, l'azote (Kjeldhal) et l'ammoniaque ont des valeurs plus stables, car ils sont plus facilement absorbables par les sédiments et le filtre, que les nitrites et nitrates et le phosphore, qui se rendent à des concentrations élevées.

Une analyse en détail des effets de cette évolution de la qualité de l'eau sur l'activité locomotrice de nos poissons demanderait des mesures en continu des paramètres. On peut cependant conclure que la dégradation de la qualité de l'eau de notre étude produit une autointoxication des spécimens qui expliquerait, en partie, une baisse d'activité locomotrice. Cette baisse apparaît le 5e jour pour les crapets-soleil de l'expérience I et le 6e jour pour ceux de l'expérience II (figure 11-C). Pour éliminer une partie de l'influence de cette dégradation de la qualité de l'eau, il aurait été préférable d'utiliser des aquariums avec un système ouvert de circulation d'eau.

6. CONCLUSION

La nature de cette étude nous amena à faire une revue de la littérature sur la chronobiologie de l'activité locomotrice des poissons, à concevoir et mettre au point une technique d'acquisition de données d'activité locomotrice et à appliquer la méthode statistique d'analyse des séries de temps, à notre type de données. Toutes ces étapes sont riches en renseignements qui pourront être utiles pour des études subséquentes sur la chronobiologie des poissons.

Nos observations nous ont fait constater d'abord, à une différenciation marquée entre l'activité locomotrice des deux espèces étudiées. Différenciation qui ressort aussi bien dans la position que dans l'intensité de cette activité locomotrice et qui semble en accord avec les caractéristiques éthologiques de ces deux espèces.

Quant aux patrons d'activité, celui des crapets-soleil (*Lepomis gibbosus*) est principalement constitué de deux pics d'activité: un entre 12 et 14 heures et l'autre à 18 heures et d'une diminution nocturne de l'activité; tandis que celui des perchaudes (*Perca flavescens*) a trois pics d'activité: un après l'ouverture (7 heures) et la fermeture (19 heures) des fluorescents et le troisième au milieu de la journée (10 heures à 13 heures). Ces patrons d'activité locomotrice, décelés en laboratoire, corroborent ceux observés dans le milieu naturel.

Notre étude démontre bien l'intérêt qu'il y aurait d'effectuer des études de rythmes d'activité locomotrice sur d'autres espèces piscicoles et de vérifier l'influence d'une gamme d'éléments environnementaux sur l'activité locomotrice des poissons.

APPENDICE A

Techniques d'acquisition de données sur l'activité locomotrice des poissons

Techniques utilisées sur le terrain

Parmi les techniques d'acquisition de données sur l'activité locomotrice des poissons qui sont utilisées sur le terrain, celle qui nécessite le moins d'équipement est certes l'observation visuelle directe. Cette technique fut employée pour étudier les mouvements journaliers du "desert pupfish" (*Cyprinodon macularius*) dans des étangs peu profonds de la "Salton Sea" dans le sud de la Californie (Barlow (1958)). L'observation sous-marine directe peut se faire aussi à l'aide d'un équipement de plongée. Hobson (1968, 1972) fit plus de 1200 heures de plongée pour observer les habitudes prédatives et l'activité des poissons côtiers du Golfe de Californie; il se limita surtout à la période crépusculaire (nuit-jour, jour-nuit). Reed (1971) utilisa lui aussi un équipement de plongée sous-marine pour observer les habitudes sociales chez le crapet-soleil.

Plus près de nous, Emery (1973), à l'aide de l'observation sous-marine, étudia 21 espèces de poissons d'eau douce dans les eaux de la baie Georgienne et des lacs du parc Algonquin (Ontario). Il observa les positions et la distribution, les déplacements, les changements de couleur et d'autres caractéristiques de ces 21 espèces dans une optique de comparaison entre les habitudes de nuit et celles de jour. Cette technique d'observation visuelle, directe ou sous-marine, demande une présence continue et ne peut être faite que dans des eaux où la turbidité est faible.

Une seconde technique qui fut certainement la plus utilisée est l'emploi d'engins de pêche (filets, seines, verveux, lignes mortes, etc..). Un prélèvement dans le temps des captures faites par ces engins nous fournit une idée des heures d'activité et même de l'angle de déplacement des espèces capturées. Carlander et Clearly (1949), Hart (1931), Lawler (1969), North-

cote, Lorz et MacLeod (1964), Rousseau (1973), Scott (1955) et Spoor et Schloemer (1939) utilisèrent cette technique dans leurs études. Celle-ci fournit de bons résultats, car les spécimens capturés sont identifiés et conservés. C'est une technique qui, par contre, suppose un protocole de prélèvements de spécimens assez rigoureux et astreignant.

Alors que les premières techniques demandaient un équipement simple, nous abordons maintenant des techniques qui demandent des constituantes électroniques. Hasler et Withney (1946) pensèrent à un module de détection composé d'une cellule photoélectrique et d'une source lumineuse distante d'environ quatre pieds. Ce module était fixé en dessous d'une embarcation et était secondé d'un circuit amplificateur. Les interruptions de la source lumineuse par le passage d'un poisson produisaient la déflexion d'un ampèremètre. La technique est très précise pour mesurer l'activité des poissons ou leur présence, mais beaucoup d'imprécisions résident dans la détermination de l'espèce dont l'activité est enregistrée.

Une technique qui ressemble assez à la précédente est celle employée par Hasler et Villemonte (1953) et par Hergenrader et Hasler (1966). Ces derniers se servaient d'un sonar (marque Bendix Dr-9), qui mesure habituellement la profondeur des lacs, pour étudier la distribution verticale et l'activité journalière de la perchaude (*Perca flavescens*) sous la glace. Cette technique possède le même désavantage que la précédente. Cependant, à l'encontre de celle-ci, elle peut couvrir une plus grande distance verticale. Lisman et Schwassmann (1965) utilisèrent une technique originale pour étudier le rythme d'activité locomotrice du *Gymnorhamphichthys hypostomus*, un poisson d'Amérique du Sud et Centrale. Ils exploitèrent le fait que ce poisson produit différentes fréquences de décharge électrique, dépendant qu'il est au repos ou en mouvement.

En rivière, on peut utiliser un faisceau d'ultra-sons qui balaie une section de la rivière. Ainsi, par cette technique, on peut compter le nombre de saumons passant durant sa remontée pour frayer. Encore ici, il y a certaines aberrations au point de vue identification des poissons. Cependant, les essais de Landel (1972) montrent que la technique est applicable. Le dernier-né des techniques ultra-soniques est une étiquette de 3 cm. de long par 0.7 cm. de diamètre, pesant 5 grammes dans l'air et mise au point par Young, Tyler, Holliday et MacFarlane (1972). L'étiquette émettant des signaux ultra-soniques, captables par des hydrophones directionnels, est fixée à la base de la nageoire dorsale de truites brunes (*Salmo trutta*). On peut, grâce à ces étiquettes, suivre les déplacements du poisson jusqu'à une distance de 200 mètres et connaître sa vitesse de nage. Selon les vérifications faites par les auteurs, l'étiquette n'aurait pas d'influence sur les schèmes d'habitudes du poisson.

Techniques utilisées en laboratoire

Plusieurs principes furent exploités pour l'élaboration de ces techniques. Tout d'abord, il y a eu des principes de détection mécanique de l'activité. Spencer (1929) utilisa un "icthyomètre" qui n'était autre chose qu'un fil, relié à la queue du poisson, qui par l'intermédiaire d'un levier, actionnait un kymographe.

Puis, on mit à profit le courant déplacé par le poisson en mouvement. Un ensemble de deux minces feuilles d'aluminium, suspendues par un fin fil métallique, en étant bougé par le courant mettait en contact le fil métallique et un anneau d'argent à travers lequel le fil passait et complétait ainsi un circuit électrique (Spoor (1941, 1946)). Cette technique électromécanique se présenta sous différentes versions. Ainsi, Davis (1963) changea

les feuilles d'aluminium qui enregistraient les déplacements de l'eau par un support rectangulaire en aluminium suspendu par des élastiques et un fil métallique. Pour son expérience, il avait placé au centre de l'aquarium deux détecteurs à quelques centimètres l'un de l'autre. De plus, ses détecteurs étaient reliés à un circuit thyratron qui enregistrait sur un compteur les mouvements des détecteurs. Richardson et McCleave (1974) utilisèrent deux plaques de plastique, un fil de cuivre et un anneau de carbone. Le fait que les détecteurs de cette technique sont très sensibles est, à la limite, un désavantage.

Une autre technique utilisait une sonde "thermistor" chauffante qui passait à travers le couvercle d'un aquarium (Dandy (1970)). L'activité du poisson produisait un courant qui refroidissait la sonde qui était un élément d'un pont de Wheastone. Un changement dans la résistance, dû à un refroidissement, amenait un changement de voltage dans le pont. Après amplification, la sortie du voltage était intégrée automatiquement à des intervalles d'une minute et enregistrée. L'eau coulait à un débit constant dans l'aquarium et le pont avait été balancé avec un poisson inactif.

Un appareil photographique, une caméra ou un circuit fermé de télévision peuvent être aussi utilisés. Ces appareils sont couplés à un déclencheur qui est relié à une minuterie. Une section de l'aquarium est photographiée ou filmée à un temps fixé. Par la suite, les photographies ou le film sont revus et le comptage des poissons, se situant dans la section observée, est effectué. Cette technique est désavantageuse parce qu'elle utilise la photographie ou la cinématographie, deux arts dont les résultats sont difficiles à contrôler par des non-initiés. La technique a cependant l'avantage d'utiliser un détecteur impersonnel qui cause peu de stress sur le poisson.

L'utilisation plus répandue des cellules photorésistantes développa il y a quelques années, une nouvelle technique. Le principe exploite le fait que si un faisceau lumineux éclairant une cellule photorésistante est interrompu, il y a une chute de résistance à la sortie de la cellule photorésistante. Chaque sortie de cellule photorésistanteou d'un groupe de cellules est branchée à un compteur. La technique est facilement applicable à des aquariums de différentes dimensions et a l'avantage de pouvoir mesurer l'activité à différents niveaux de l'aquarium, puisque les sorties des cellules photorésistantes peuvent être enregistrées individuellement.

Shirer, Cairns et Taller (1968) utilisèrent des cellules photorésistantes ainsi que Cairns et al. (1970, 1971, 1973a, 1973b). Timms, Kleerekoper et Matis (1972) modifièrent un peu la technique et couvrirent le fond d'un aquarium de 1936 cellules photorésistantes éclairées par le haut de l'aquarium. Ils pouvaient ainsi connaître la direction et le degré d'orientation de différentes espèces de poissons soumises à un ensemble de toxiques. Un désavantage de la technique utilisant des cellules photorésistantes est qu'elle nécessite la présence d'un faisceau lumineux continu et ainsi, les poissons peuvent être affectés surtout si l'étude doit se faire en période obscure.

La technique qui semble la plus prometteuse en laboratoire est celle utilisant comme détecteur un champ d'ultra-sons. A l'opposé de la précédente, elle ne nécessite pas de faisceau lumineux; par contre, son application pour mesurer l'activité à différents niveaux d'un aquarium est difficile à réaliser et cette technique nécessite de l'équipement dispendieux. Le faisceau lumineux est remplacé par un faisceau d'ultra-sons. Quand il n'y a pas de poissons dans la zone de détection, l'ultra-son de l'émetteur se trouve constant en amplitude et en phase avec celui du récepteur. Si un poisson traverse le détecteur, il diffracte une partie du signal ultra-sonique. A-

près enregistrement par le récepteur, une pulsation est donnée à un compteur indiquant le nombre de passages. Meffert (1968) utilisa ce type de détecteur dans son étude sur l'effet de période d'alimentation ou d'agitation mécanique sur l'activité des requins (*Archarhinus maculipinnis*, *C. obscurus*, *Carcharias taurus*). De plus, des moniteurs ultra-soniques furent utilisés dans une étude sur l'activité locomotrice du saumon sockeye rouge (*Oncorhynchus nerka*) où l'aquarium était un canal circulaire (Byrne (1971)).

APPENDICE B

Circuits imprimés

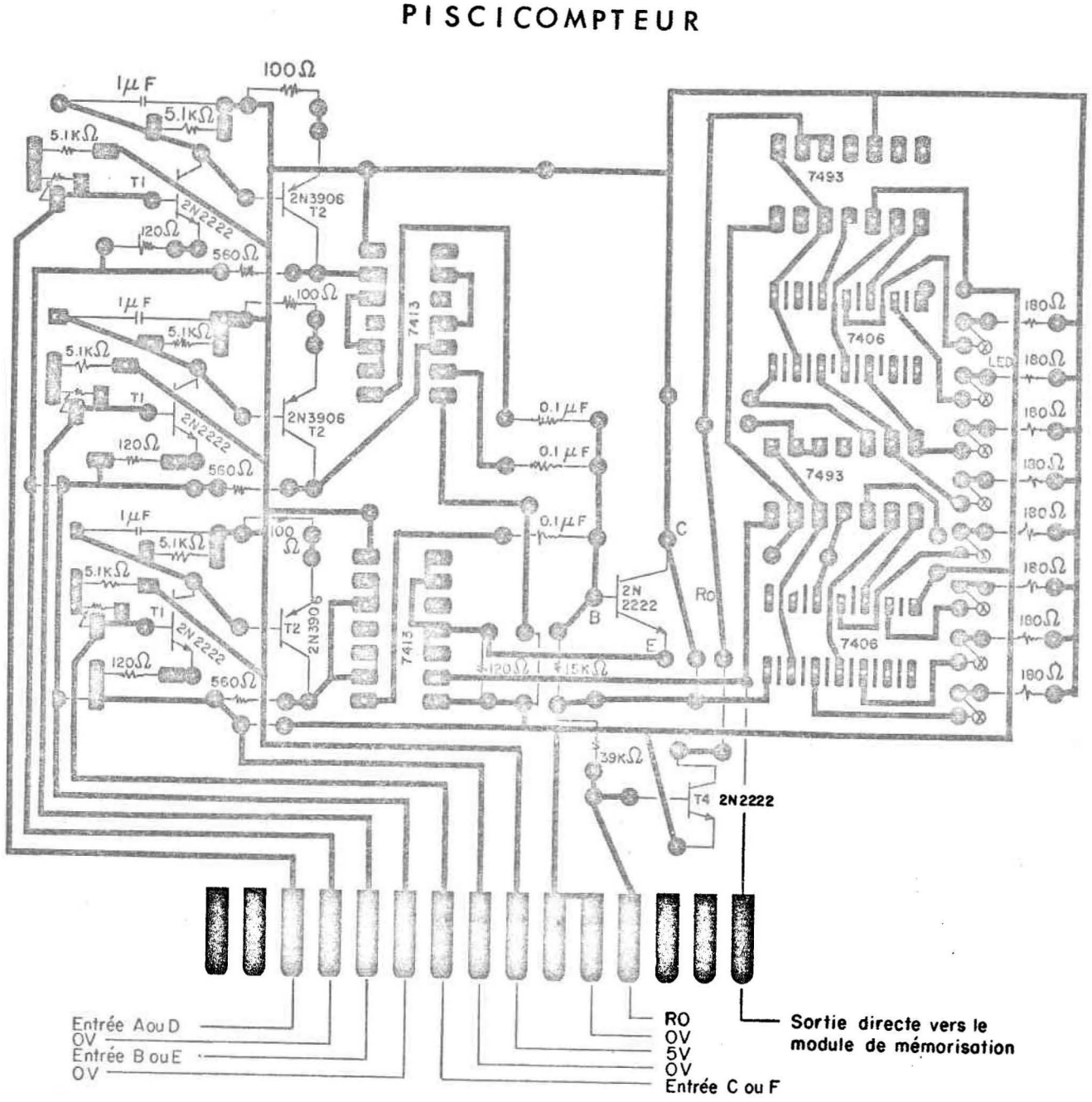


Fig.20 . Circuit imprimé du piscicompteur.

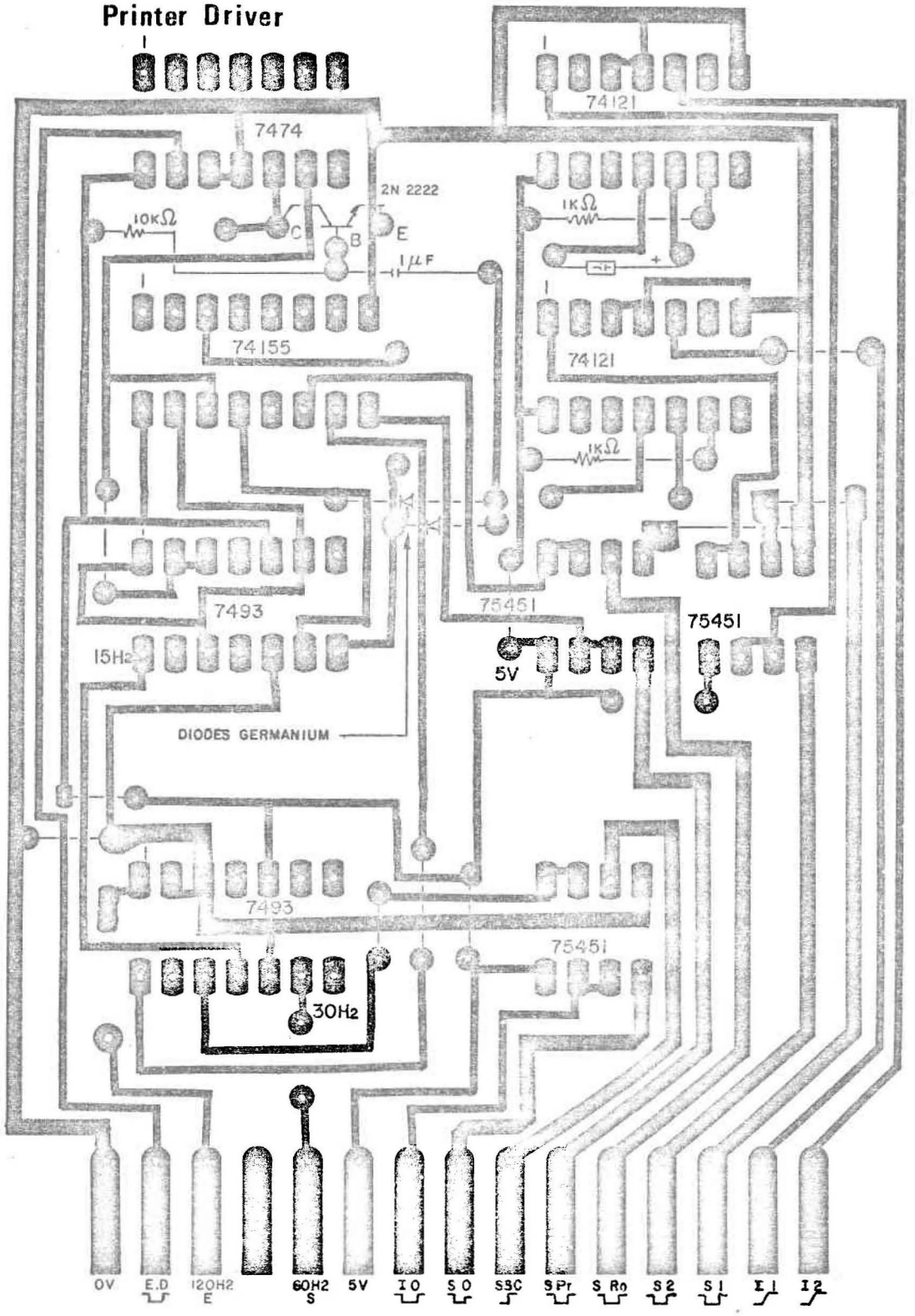


Fig. 21 . Circuit imprimé de l'amplificateur "Printer Driver."

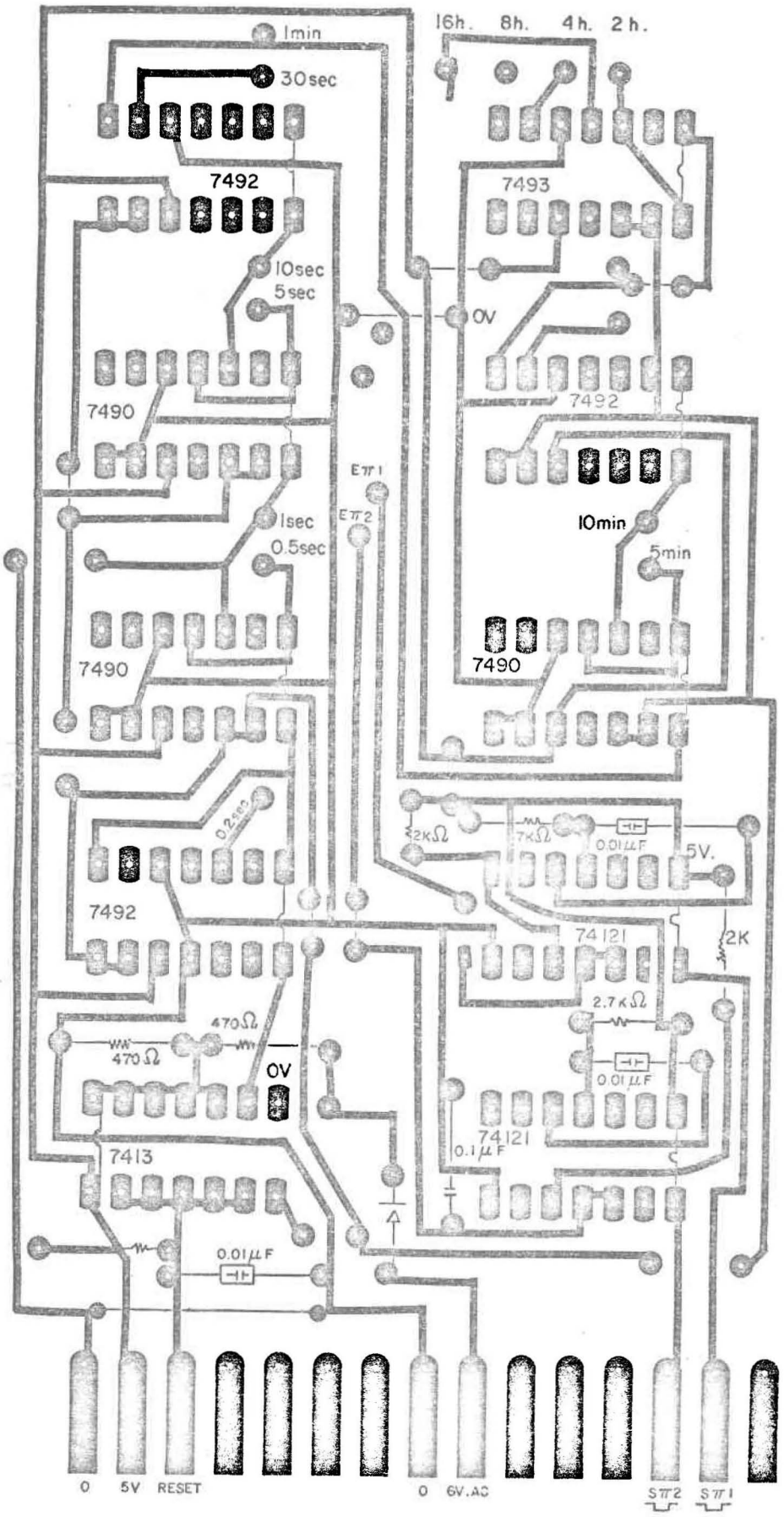


Fig. 22 . Circuit imprimé du chronocompteur. " Dual Measurement Timer ".

APPENDICE C

Formes d'agencement des données

Nous avons analysé nos résultats d'activité locomotrice en les agençant sous deux formes: la forme temporelle et spatiale. En ce qui regarde la forme temporelle, les données sont rassemblées selon un pas de temps de 60 minutes. Ce pas de temps est celui qui est le plus souvent utilisé dans les études antérieures sur l'activité locomotrice (Carlander et Clearly, 1949; Richardson et McCleave, 1974; Rousseau, 1973; Scott, 1955). De plus, après examen des analyses des données assemblées selon des pas de 10 minutes, 30 minutes et 60 minutes, nous constatons que les pas de 10 minutes et 30 minutes ne révèlent que très peu d'informations supplémentaires par rapport au pas de 60 minutes. C'est pourquoi les données seront présentées et discutées uniquement par rapport au pas de 60 minutes.

A cause des caractéristiques d'enregistrement du module de mémorisation, nous avons, dans nos expériences pour un 10 minutes de temps réel, 5 minutes d'enregistrement de l'activité locomotrice des crapets-soleil et 5 minutes d'enregistrement de celle des perchaudes. Ainsi, pour assembler nos données de l'activité locomotrice des crapets-soleil selon un pas de 60 minutes de temps réel, nous devons prendre six "cinq minutes" consécutifs d'enregistrement. Ces "cinq minutes" d'enregistrement de l'activité locomotrice sont alors considérées comme étant de 10 minutes d'enregistrement. Cette considération ne modifie pas la variation de nos données ni la composante rythmique de celles-ci. Par contre, l'amplitude de l'intensité d'activité locomotrice se trouve alors diminuée de moitié. Ainsi, l'intensité d'activité locomotrice d'une heure est en réalité celle d'une demie-heure d'enregistrement, répartie tout au long de l'heure de temps réel, en raison de 5 minutes d'enregistrement par 10 minutes de temps réel.

Nos données sont aussi agencées par rapport à leur forme spatiale. Elles furent analysées en considérant les données du haut de l'aquarium, cel-

les du bas et finalement celles de tout l'aquarium (haut + bas).

Pour la représentation des données, nous avons, à cause de leur grande quantité, préféré faire des graphiques de leurs moyennes journalières et de leurs moyennes horaires. De plus, selon une méthode utilisée par Chauve, Devrolde et Sasseville (1974) nous avons fait des diagrammes de dispersion des moyennes horaires en fonction du % du temps. Il est à noter que dans le cas de graphiques de moyennes horaires et des diagrammes de dispersion, l'étendue de la période sur laquelle les moyennes sont faites est de 24 heures. Le choix de cette période de 24 heures n'implique en rien la composante rythmique des données mais veut plutôt représenter l'ensemble des données par rapport à une période qui est plus facile à relier à une période naturelle.

BIBLIOGRAPHIE

ASCHOFF, J. (1960). Exogenous and endogenous components in circadian rhythms. Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol., 25: 11-28.

BARLOW, G.W. (1958). Daily movements of desert pupfish, *Cyprinodon macularius*, in shore pools of the Salton sea, California. Ecology, 39: 580-587.

BIDER, J.R. (1962). Dynamics and the temporo-spatial relations of a vertebrate community. Ecology, 43 (4): 635-646.

BLACKBURN, J.A. (1970). Spectral analysis: methods and techniques. Marcel Dekter Inc, New York, 289 p.

BOULENGER, E.G. (1929). Observations on the nocturnal behaviour of certain inhabitants of the Society's Aquarium. Proc. Zool. Soc. London, Part.I, pp. 359-362.

BREDER, C.M. and HALPERN, F. (1946). Innate and acquired behavior affecting the aggregation of fishes. Physiol. Zool. 19: 154-190.

BREDER, C.M. and NIGRELLI, R.F. (1935). The influence of temperature and other factors on the winter aggregations of the sunfish, *Lepomis auritus*, with critical remarks on the social behavior of fishes. Ecology, 16 (1): 33-47.

BROWN, F.A. (1960). Response to pervasive geophysical factors and the biological clock problem. Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol. 25: 57-71.

BROWN, F.A., HASTINGS, J.W. and PALMER, J.D. (1970). The biological

clock. Academic Press, London, 94 p.

BYRNE, J.E. (1971). A further contribution to using ultra-sonic sensors for fish activity studies. Trans. Amer. Fish. Soc., 100 (4): 792-794.

CARLANDER, K.D. and CLEARLY, R.E. (1949). The daily activity patterns of some freshwater fishes. Amer. Midland Naturalist, 41 (2): 447-452.

CAIRNS, J., SPARKS, R.E. and WALLER, W.T. (1971). The relationship between continuous biological monitoring and water quality standards for chronic exposure. Présenté devant la Division of water, air and waste chemistry, American chemical Society, Washington D.C.

CAIRNS, J., DICKSON, K.L., SPARKS, R.E. and WALLER, W.T. (1970). A preliminary report on rapid biological information systems for water pollution control. J. Water Pollut. Contr. Fed., 42 (5): 685-703.

CAIRNS, J., LANZA, G.R., SPARKS, R.E. and WALLER, W.T. (1973a). Developping biological information systems for water quality management. Water Ressources Bulletin, 9 (1): 81-99.

CAIRNS, J., HALL, J.W., MORGAN, E.L., SPARKS, R.E., WALLER, W.T., and WESTLAKE, G.F. (1973b). The development of an automated biological monitoring system for water quality. Bulletin 59, Virgina water ressources research center, 50 p.

CHAUVE, A., DEVROEDE, G., and SASSEVILLE, J.L. (1974). Continuous

recording of multiple parameters during perfusion of human colon. J. of Applied Physiology, 37 (2): 241-246.

CLOUDSLEY-THOMPSON, J.L. (1961). Rythmic activity in animal physiology and behaviour. Academic Press, London, 236 p.

COLQUHOUN, W.P. (1971). Biological rythms and human performance. Academic Press, London, 283 p.

DANDY, J.W.T. (1970). Activity response to oxygen in the brook trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill). Can. J. Zool. 48: 1067-1072.

DANDY, J.W.T. (1972). Activity response to chlorine in the brook trout, *Salvelinus fontinalis* (Mitchill). Can. J. Zool. 50: 405-410.

DAVIS, R.E. (1962). Daily rhythms in the reaction of fish to light. Science, 137: 430-432.

DAVIS, R.E. (1963). Daily "predawn" peak of locomotion in fish. Anim. Behav., 12: 272-283.

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.

EVERMANN, B.W., and CLARK, H.W. (1920). Lake Maxinkuckee, physical and biological survey. Ind. Dept. Cons., 1 (7): 286-287.

FOLK, G.E. (1966). Biological Rythms, in: G.E. Folk (Ed.) Introduction to environmental physiology (pp. 43-75). Lea and Febiger, Philadelphia.

FORTIN, R., et MAGNIN, E. (1972a). Dynamique d'un groupement de perchaudes, *Perca flavescens* (Mitchill), dans la Grande-Anse de l'île Perrot, au lac Saint-Louis. Naturaliste can., 99: 367-380.

FORTIN, R., et MAGNIN, E. (1972b). Quelques aspects qualitatifs et quantitatifs de la nourriture des perchaudes, *Perca flavescens* (Mitchill), dans la Grande-Anse de l'île Perrot, au lac Saint-Louis. Ann. Hydrobiol., 3 (2): 79-91.

FRY, F.E.J. (1947). Effects of the environment on animal activity. Univ. Toronto Studies Biol. Ser., 55: 1-62.

FRY, F.E.J. (1971). The effect of environmental factors on the physiology of fish, in: W.S. Hoor, D.J. Randall (Ed.) Fish physiology, Volume VI, Environmental relations and behaviour (pp. 1-98). Academic Press, New York.

GERKING, S.D. (1959). The restricted movement of fish populations. Biol. Rev., 34: 221-242.

HALL, J.W. (1973). Statistical methods for the detection of pollution utilizing fish movements. Ph.D. thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 104 p.

HARKER, J.E. (1958). Diurnal rythms in the animal kingdom. Biol. Rev., 33: 1-52.

HARKER, J.E. (1964). The physiology of diurnal rhythms. Cambridge University Press, London, 114 p.

HART, J.L. (1931). On the daily movements of the coregonine fishes. The Canadian Field-Naturalist, 45: 8-9.

HASLER, A.D. and BARDACH, J.E. (1949). Daily migrations of perch in lake Mendota, Wisconsin. Journ. Wildl. Mgt., 13 (1): 40-51.

HASLER, A.D. and VILLEMONTE, J.R. (1953). Observations on the daily movements of fishes. Science 118: 321-322.

HASLER, A.D. and WHITNEY, L.V. (1946). A combination photoelectric light meter and fish detector. Journ. Wildl. Mgt., 10 (2): 175-177.

HERGENRADER, G.L. and HASLER, A.D. (1966). Diel activity and vertical distribution of yellow perch (*Perca flavescens*) under the ice. J. Fish. Res. Bd. Canada, 23 (4): 499-509.

HERGENRADER, G.L. and HASLER, A.D. (1968). Influence of changing seasons on schooling behaviour of yellow perch. J. Fish. Res. Bd. Canada, 25 (4): 711-716.

HOBSON, E.S. (1968). Predatory behaviour of some shore fishes in the Gulf of California. U.S. Fish Wildl. Serv., Res. Rep. 73, 92p.

HOBSON, E.S. (1972). Activity of Hawaian reef fishes during the evening and morning transitions between daylight and darkness. National Mar. Fish. Serv., Fish. Bulletin, 70 (3): 715-740.

HOWE, L.H. and HOLLEY, C.W. (1969). Comparisons of mercury (II) chloride and sulfuric acid as preservatives for nitrogen forms in water samples. Environmental Science and Technology, 3 (5): 478-481.

JENKINS, G.M. and WATTS, D.G. (1968). Spectral analysis and its applications. Holden-Day Inc., San Francisco Calif., pp. 16-25.

JONES, J.R.E. (1964). Fish and river pollution. Butterworths, London, 203 p.

KAPOOR, N.N. (1971). Locomotory patterns of fish (*Lepomis gibbosus*) under different levels of illumination. Anim. Behav., 19 (4): 744-749.

KEAST, A., and WELSH, L. (1968). Daily feeding periodicities, food uptake rates, and dietary changes with hour of day in some lake fishes. J. Fish. Res. Bd. Canada, 25 (6): 1133-1144.

KLEEREKOPER, H., TAYLOR, G., and WILTON, R. (1961). Diurnal periodicity in the activity of *Petromyzon marinus* and the effects of chemical stimulation. Trans. Amer. Fish. Soc., 90 (1): 73-78.

LAMONTE, F.R. (1946). North American game fishes. Doubleday and Company Inc., New York, pp. 130-139.

LANDEL, D. (1972). Ultrasonic instrument detects and counts fish in river. Ultrasonics (U.K.), Jan, 1972: 3.

LAWLER, G.H. (1969). Activity periods of some fishes in Heming Lake, Canada. J. Fish. Res. Bd. Canada, 26 (12): 3266-3267.

LEGENDRE, V. (1954). Clef des poissons de pêche sportive et commerciale de la Province de Québec, in: Les poissons d'eau douce, tome I. Société Canadienne d'Ecologie, Montréal.

LISSMANN, H.W. and SCHWASSMAN, H.O. (1965). Activity rhythm of an

electric fish, *Gymnorhamphichthys hypostomus*. Z. Vergleich, Physiol. 51: 153-171.

LOVE, R.M. (1970). The chemical biology of fishes. Academic Press, New York, 547 p.

MACKAY, H.H. (1963). Fishes of Ontario. Bryant Press, Toronto, pp. 224-230.

MEFFERT, P. (1968). Ultrasonic recorder for locomotor activity studies. Am. Fish. Society trans., 97: 12-17.

MELANCON, C. (1936). Les poissons de nos eaux. Librairie Granger Frères Limitée, Montréal, pp. 181-184, 203-204, (1946).

MIGDALSKI, E. (1962). Anglers guide to the freshwater sport fishes of North America. Ronald Press Co., New York, pp. 355-356, 377-381.

MILLER, H.C. (1963). The behaviour of the pumpkinseed sunfish, *Lepomis gibbosus* (Linneaus), with notes on the behavior of other species of *Lepomis* and the pigmy sunfish, *Elassoma evergladei*. Behaviour, 22: 88-151.

MOREAU, G. (1962). Etude des variations saisonnières du comportement alimentaire du goujon (*Gobio gobio, L.*). Extrait des Comptes-rendus des séances de l'Académie des Sciences, 9 juillet 1972.

MORGAN, E.L. (1972). Biologically monitoring simulated changes in water quality employing fish swimming activity as sensors. Ph.D. thesis, Virginia Polytechnic Institute and State University, 179 p.

NEILL, W.H., MAGNUSON, J.J. and CHIPMAN, G.G. (1972), Behavioural thermoregulation by fishes: a new experimental approach. Science, 176: 1443-1445.

NORTHCOTE, T.G., LORZ, H.W. and MacLEOD, J.C. (1964). Studies on diel vertical movement of fishes in a British Columbia lake. Verh. Internat. Verein. Limnol. Bd., 15: 940-946.

ODELL, T.T. (1932). The depht distribution of certain species of fish of the lakes of New York. Trans. Am. Fish. Soc., 62: 331-335.

PEARSE, A.S. and ACHTENBERG, Henrietta (1920). Habits of yellow perch in Wisconsin lakes. Bull. U.S. Bur. Fish., 36: 294-366.

PITTENDRIGH, C.S. and BRUCE, V.G. (1959) Daily rythms as coupled oscillator systems and their relation to thermoperiodism and photoperiodism, pp. 475-505, in: R.B. Withrow (Ed.), Photoperiodism and related phenomena in plants and animals. A.A.A.S. bulletin 55, Washington.

PITTENDRIGH, C.S. and MINIS, Dorothea H. (1964). The entrainement of circadian oscillations by light and their role as photoperiodic clocks. The American Naturalist, 98 (902): 261-294.

PITTENDRIGH, C.S., BRUCE, V. and KAUSS, P. (1958). On the significance of transients in daily rhythms. U.S.A. National Acad. of Science Proc., 44: 965-973.

REED, R.J. (1971). Underwater observations of the population density and behaviour of pumpkinseed, *Lepomis gibbosus* (Linnaeus) in Cranberry Pond, Massachusetts. Trans. Amer. Fish. Soc., 100 (2): 350-353

REINBERG, A. et GHATA, J. (1964). Les rythmes biologiques. Collection "que sais-je?", No. 734, PUF, Paris, 128 p.

RICHARDSON, Nancy E., and McCLEAVE, J.D. (1974). Locomotor activity rhythms of juvenile atlantic salmon (*Salmo salar*) in various light conditions. Biol. Bull., 147 (2): 422-432

ROUSSEAU, A. (1973). Activité automnale journalière et direction du mouvement des poissons au Lac Quenouille dans les Laurentides. Rev. Can. Biol., 32 (4): 233-239

SAINT-GIRONS, M.C. (1966). Le rythme circadien de l'activité chez les mammifères holarctiques. Mémoires du muséum national d'histoire naturelle, série A, zoologie, tome XL, fascicule 3. Editions du muséum, Paris, 187 p.

SCHWASSMANN, H.O. (1971). Biological rythms, in: W.S. Hoar, D.J. Randall (Ed.). Fish physiology. Environnemental relations and behaviour. (Volume VI) (pp. 371-428), Academic Press, New York.

SCOTT, D.C. (1955). Activity patterns of perch, *Perca flavescens*, in Rondeau bay of Lake Erie. Ecology, 36 (2): 320-327.

SHIRER, H.W. CAIRNS, J., and TALLER, W.T. (1968). A simple apparatus for measuring activity patterns of fishes. Water Ressources Bull., 4 (3): 27-43.

SIEGMUND, R., and WOLFF, D.L. (1972). Influence of acoustical stimulation on circadian rhythm of locomotor activity in two species of fish. forma et functio, 5: 33-44.

SIEH, J.G. and PARSONS, J. (1950). Activity patterns of some Clear Lake, Iowa, fishes. Iowa Acad. of Sc., 57: 511-518.

SOLLBERGER, A. (1965). Biological rhythm research. Elsevier publishing company, Amsterdam, 461 p.

SPENCER, W.P. (1929). Scientific apparatus and laboratory methods. Science, 70 (1823): 556-558.

SPENCER, W.P. (1939). Diurnal activity rhythms in fresh-water fishes. Ohio J. Sci., 39 (3): 119-132.

SPILLMAN, Ch.J. (1961). Faune de France. Editions Paul Lechevalier, Paris, pp. 200-205.

SPOOR, W.A. (1941). A method for measuring the activity of fishes. Ecology, 22 (3): 329-331.

SPOOR, W.A. (1946). A quantitative study of the relationship between the activity and oxygen consumption of the goldfish and its application to the measurement of respiratory metabolism in fishes. Biol. Bull., 91: 312-326.

SPOOR, W.A., and SCHLOEMER, C.L. (1939). Diurnal activity of the common sucker, *Catostomus commersoni* (Lacépède), and the rock bass, *Ambloplites rupestris* (Rafinesque), in Muskellunge Lake. Trans. American Fisheries Society, 68: 211-220.

SWEENEY, B.M., and HASTINGS, J.W. (1960). Effects of temperature upon diurnal rhythms. Cold Spring Harbor Symp. Quant. Biol., 25: 87-103.

TIMMS, A.M., KLEEREKOPER, H., and MATIS, J. (1972). Locomotor response of goldfish, channel catfish, and largemouth bass to a "cooper-polluted" mass of water in an open field. Water Ressources Research, 8 (6): 1574-1580.

VAN COILLIE, R., ROUSSEAU, A., et VANCOILLIE-BARON, G. (1973). Rythmicité enzymatique saisonnière chez un gastéropode d'eau douce. Annls. limnol., 9 (1): 1-10.

WALDEN, T.H. (1964). Familiar freshwater fishes of America. Harper and Row publishers, New York, pp. 245-249.

WALLER, W.T., and CAIRNS, J. (1972). The use of fish movement patterns to monitor zinc in water. Water Research, 6: 257-269.

WASTLER, T.A. (1969). Spectral analysis - applications in water pollution control. Federal water pollution control administration, U.S. department of the interior, publication CWT-3, 99 p.

WEEB, H. Marguerite, and BROWN, F.A. (1959). Timing long-cycle physiological rhythms. Physiol. Rev., 39: 127-164.

WHITMORE, C.M., WARREN, C.E., and DOUDOROFF, P. (1960). Avoidance reactions of salmonid and centrarchid fishes to low oxygen concentrations. Trans. Amer. Fish. Soc., 89: 17-26.

YOUNG, A.H., TYLER, P., HOLLIDAY, F.G.T., and MacFARLANE, A. (1972). A small sonic tag for measurement of locomotor behaviour in fish. J. Fish. Biol., 4: 57-65.

ZILLICH, T.A. (1972). Toxicity of combined chlorine residuals to fresh-

water fish. J.W.P.C.F., 44 (2): 212-220.

ADDENDUM

PREVOST, G. (1952). Contribution à l'étude du comportement de *Salvelinus fontinalis fontinalis*. Office de Biologie, Ministère de la Chasse et des Pêcheries, Province de Québec, Montréal, (thèse D.Sc., Université de Montréal), 622 p.

Je remercie M. Vianney Legendre du Service de la Recherche biologique, Ministère du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche pour m'avoir fait part de cette dernière référence pertinente à ce mémoire.