

UNIVERSITE DU QUEBEC

MEMOIRE
PRESENTE A
L'UNIVERSITE DU QUEBEC A CHICOUTIMI
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAITRISE EN PRODUCTIVITE AQUATIQUE

par
BERNARD BELANGER
B. SC. BIOLOGIE

ETUDE DE CERTAINS ASPECTS DU DEVELOPPEMENT LARVAIRE
CHEZ LE DORE JAUNE (*Stizostedion vitreum vitreum*)

NOVEMBRE 1992



Mise en garde/Advice

Afin de rendre accessible au plus grand nombre le résultat des travaux de recherche menés par ses étudiants gradués et dans l'esprit des règles qui régissent le dépôt et la diffusion des mémoires et thèses produits dans cette Institution, **l'Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** est fière de rendre accessible une version complète et gratuite de cette œuvre.

Motivated by a desire to make the results of its graduate students' research accessible to all, and in accordance with the rules governing the acceptance and diffusion of dissertations and theses in this Institution, the **Université du Québec à Chicoutimi (UQAC)** is proud to make a complete version of this work available at no cost to the reader.

L'auteur conserve néanmoins la propriété du droit d'auteur qui protège ce mémoire ou cette thèse. Ni le mémoire ou la thèse ni des extraits substantiels de ceux-ci ne peuvent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

The author retains ownership of the copyright of this dissertation or thesis. Neither the dissertation or thesis, nor substantial extracts from it, may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

Résumé

La forte mortalité observée chez la larve de doré jaune (*Stizostedion vitreum vitreum*) en milieu contrôlé est souvent associée à un développement déficient de la vessie natatoire. Trois avenues de recherche ont été explorées dans le but de comprendre ces deux phénomènes.

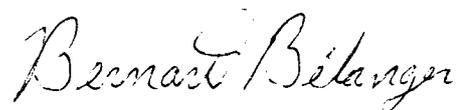
L'une d'entre elles visait à tester l'hypothèse de la nuisance d'un film d'huile à la surface des bassins d'élevage sur le développement de la vessie natatoire. Elle impliquait 1600 larves de sept jours (post-éclosion), réparties dans quatre bassins. Dans deux de ces bassins, les sujets recevaient des proies vivantes tandis qu'une alimentation à base de moulée était offerte aux autres larves. Un groupe pour chaque type d'alimentation évolua dans des bassins où une pellicule recouvrait la surface, alors que les deux autres bassins étaient libres de tout film de surface.

L'hypothèse de la nuisance du film d'huile, déjà émise par quelques auteurs, ne put être validée lors de cette expérience, puisque la seule larve ayant réussi à développer sa vessie natatoire appartenait à un groupe d'un bassin dont l'eau était recouverte d'un film d'huile. De plus, les sujets échantillonnés dans les bassins "avec film de surface" ont montré une meilleure croissance en longueur que ceux issus des autres bassins.

La deuxième avenue de recherche, justifiée par notre connaissance très limitée du développement de la vessie natatoire chez la larve de doré, consistait à étudier ce processus par le biais de coupes histologiques réalisées à partir de spécimens prélevés au cours de l'expérience. Ces coupes démontrèrent le caractère physostome de la larve de doré jaune et la persistance de cet état tout au long du stade larvaire (dans les conditions expérimentales). Le développement observé du conduit pneumatique tend à

suggérer que des interprétations autres que celles impliquant le gobage d'air en surface, ou de bulles d'air dans l'eau, sont tout aussi valides dans l'état actuel de nos connaissances. L'hypothèse de la contribution des gaz produits lors de la digestion des aliments ainsi que celle de la nuisance d'une surabondance alimentaire sont renforcées.

Finalement, une expérience soulignant l'influence des conditions de surface sur le comportement des larves fut réalisée. Elle permit de montrer la préférence des sujets pour une surface propre. Un comportement typique de la larve de doré, la suspension en surface, fut inhibé par la présence de débris ou d'un film d'huile en surface. Les résultats obtenus illustrent l'impact qu'a pu avoir, lors de la première expérience, l'encombrement de la surface par des coques vides de cystes d'artémies.



Bernard Bélanger

Denis Larrivée

Remerciements

Il convient ici de remercier tout particulièrement le Fond Canadien d'Aide à la Recherche et le comité PAIR de l'Université du Québec à Chicoutimi pour le soutien financier qu'ils m'ont offert; et le ministère des loisirs, de la chasse et de la pêche qui, sur l'avis de M. Omer Gauthier, a fourni un support technique et légal essentiel. M. Laurier Coulombe et M. Alain Lapointe, du M.L.C.P. à Jonquière, se sont dévoués lors de la capture des géniteurs.

La participation attentionnée de M. Sylvio Laliberté et de M. Richard Nolin dans les travaux de plomberie mérite également une mention spéciale. Le traitement des sujets lors de l'enrobage et des coupes histologiques fut grandement facilité par la présence de Mme. Linda Bouchard, qui dispensa alors de précieux conseils. L'intervention opportune de M. Vincent Ouellet a permis de fixer sur pellicule photographique des images du dispositif expérimental.

Ces remerciements visent également M. Michel Gagnon, qui a bien voulu nous faire profiter de ses connaissances relativement au comportement des pellicules lipidiques et qui a orienté le protocole expérimental au niveau du mécanisme servant à enlever le film d'huile.

L'ensemble du travail a été réalisé sous la direction de M. Denis Larrivée, professeur et chercheur spécialisé en biologie du développement et de la reproduction, à l'Université du Québec à Chicoutimi. Puisse-t-il en retirer une satisfaction à la mesure de l'énergie et du temps qu'il a dû y consacrer.

TABLE DES MATIERES

v

| | page |
|--|------|
| Résumé | II |
| Remerciements | IV |
| Table des matières | V |
| Liste des tableaux | VIII |
| Liste des figures | IX |
| Liste des annexes | XI |
| | |
| Chapitre 1 INTRODUCTION | |
| 1.1 Cadre de la problématique | 2 |
| 1.2 Objectifs de cette étude | 3 |
| | |
| Chapitre 2 REVUE DE LA LITTERATURE | |
| 2.1 Ecologie et développement | 7 |
| 2.2 Nutrition | 12 |
| 2.3 Température du milieu ambiant | 17 |
| 2.4 Cannibalisme et densité | 18 |

| | | |
|------------|---|-----------|
| 2.5 | Comportement face aux stimuli optiques | 21 |
| 2.6 | Traitement des oeufs | 23 |
| 2.7 | Pathologie | 24 |
| 2.8 | Développement de la vessie natatoire | 26 |

Chapitre 3 MATERIEL ET METHODE

| | | |
|--------------|----------------------------------|-----------|
| 3.1 | Matériel d'aquaculture | 33 |
| 3.1.1 | L'eau | 33 |
| 3.1.2 | Le bassin de stabulation | 34 |
| 3.1.3 | Les bassins d'incubation | 34 |
| 3.1.4 | Les bassins expérimentaux | 37 |
| 3.2 | Matériel biologique | 45 |
| 3.2.1 | Les géniteurs | 45 |
| 3.2.2 | La fécondation | 45 |
| 3.2.3 | L'incubation | 46 |
| 3.3 | L'échantillonnage | 47 |
| 3.3.1 | Première cohorte | 47 |
| 3.3.2 | Deuxième cohorte | 50 |

Chapitre 4 RESULTATS

| | | |
|------------|--|-----------|
| 4.1 | Croissance, survie et gonflement de la vessie natatoire | 54 |
|------------|--|-----------|

| | |
|---|-----------|
| 4.2 Coupes histologiques. | 59 |
| 4.3 Résultats des observations sur le comportement | 73 |

Chapitre 5 DISCUSSION

| | |
|--|-----------|
| 5.1 Considérations générales sur les résultats de la première expérience. | 86 |
| 5.2 Coupes histologiques | 87 |
| 5.3 Comportement | 89 |

Chapitre 6 CONCLUSION

| | |
|--------------------------------|-----------|
| Bibliographie | 97 |
|--------------------------------|-----------|

LISTE DES TABLEAUX

| | page |
|---|------|
| Tableau 1 Régime thermique utilisé lors de l'incubation. | 38 |
| Tableau 2 Cumul des degrés-jours dans les bassins expérimentaux ... | 40 |
| Tableau 3 Evolution des effectifs dans les bassins expérimentaux. ... | 48 |
| Tableau 4 Résultats de l'expérience sur le comportement. | 79 |

LISTE DES FIGURES

| | page |
|---|------|
| Figure 1 Vue d'ensemble du dispositif expérimental..... | 35 |
| Figure 2 Bassins utilisés pour l'incubation des oeufs de doré..... | 36 |
| Figure 3 Dispositif utilisé pour enlever le film d'huile à la surface des bassins expérimentaux..... | 36 |
| Figure 4 Système de distribution de moulée desservant les bassins #1 et #2..... | 43 |
| Figure 5 Croissance des sujets alimentés de proies vivantes comparée à celle des sujets alimentés de moulée..... | 55 |
| Figure 6 Croissance comparée des sujets du bassin #1 et du bassin #2..... | 56 |
| Figure 7 Croissance comparée des sujets du bassin #3 et du bassin #4..... | 57 |
| Figure 8 Section longitudinale d'un spécimen âgé de 3 jours..... | 61 |
| Figure 9 Section longitudinale d'un spécimen âgé de 7 jours..... | 62 |
| Figure 10 Sections longitudinales d'un spécimen âgé de 11 jours..... | 64 |
| Figure 11 Série de coupes sagittales chez une larve âgée de 11 jours..... | 66 |
| Figure 12 Sections longitudinales d'un spécimen âgé de 13 jours..... | 67 |
| Figure 13 Sections longitudinales d'un spécimen âgé de 16 jours..... | 68 |

| | |
|--|----|
| Figure 14 Sections longitudinales d'un spécimen âgé de 18 jours..... | 70 |
| Figure 15 Sections longitudinales de larves âgées de 21 et 22 jours..... | 72 |
| Figure 16 Sections longitudinales d'un spécimen âgé de 45 jours..... | 74 |
| Figure 17 Sections longitudinales d'un spécimen âgé de 31 jours..... | 75 |
| Figure 18 Sections longitudinales d'un spécimen âgé de 81 jours..... | 76 |
| Figure 19 Section longitudinale d'un spécimen âgé de 60 jours ayant gonflé sa vessie natatoire..... | 77 |
| Figure 20 Résumé de l'évolution du conduit pneumatique reliant la vessie natatoire au tube digestif..... | 78 |
| Figure 21 Evolution du temps de présence en surface (alors que celle-ci était dégagée) en fonction de l'âge des sujets..... | 81 |
| Figure 22 Evolution du temps de présence en surface (alors que celle-ci était encombrée) en fonction de l'âge des sujets..... | 81 |
| Figure 23 Temps de "suspension en surface" en fonction de l'âge des sujets..... | 83 |

LISTE DES ANNEXES

| | page |
|---|-------------|
| Annexe 1: Protocole de fécondation des oeufs | 102 |
| Annexe 2: Complément d'information sur la représentation graphique des résultats | 103 |

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

1.1 Cadre de la problématique

Le doré jaune (*Stizostedion vitreum vitreum*) est un poisson d'eau douce appartenant à la famille des Percidés. Répandu en Amérique du Nord, où il occupe une vaste aire de distribution, la qualité de sa chair ainsi que sa taille en font une prise recherchée par les pêcheurs, tant sportifs que commerciaux.

L'élevage du doré jaune se pratique depuis déjà quelques décennies, afin de pourvoir au repeuplement des plans d'eau trop fortement exploités par la pêche. A l'origine, les oeufs de doré, une fois fécondés, étaient disposés dans des étangs où un apport de matières nutritives favorisait le développement d'un réseau trophique en aval duquel les larves de doré s'alimentaient. Ainsi soumis aux aléas d'une variété de facteurs difficilement contrôlables, la production était faible et surtout peu prévisible.

Les nouvelles méthodes de pisciculture appliquées à d'autres espèces, notamment l'alimentation à base de nourriture préparée et l'élevage en milieu "contrôlé" ont été vues comme des alternatives capables de résoudre ce problème, à condition qu'elles fussent adaptées au cas du doré. Ces méthodes furent d'abord employées à partir du stade juvénile, et le succès ne fut obtenu qu'après plusieurs années de recherches en raison de problèmes de cannibalisme et de la sensibilité de cette espèce tant aux maladies qu'aux agents prophylactiques et thérapeutiques usuels.

En ce qui concerne la larve du doré, elle est relativement petite et son écologie, son ontologie ainsi que ses exigences sont peu connues. Les tentatives de production en milieu contrôlé ont rapidement mis en évidence l'existence d'une "période critique" durant laquelle la mortalité emporte typiquement de 95 à 100% des individus. Plusieurs équipes de chercheurs se sont alors penchées sur ce problème. Toutefois, cette forte mortalité affectant le stade larvaire demeure inexpliquée.

1.2 Objectifs de cette étude

Une revue de la littérature scientifique, présentée au chapitre 2, révèle les nombreuses lacunes qui caractérisent actuellement notre connaissance de la biologie de la période larvaire chez le doré jaune. À l'intérieur des nombreux champs d'investigation encore pratiquement vierges, celui du développement de la vessie natatoire apparaît comme l'un des plus susceptibles de générer des informations essentielles à l'avancement des recherches sur l'élevage intensif de cette espèce.

En effet, en dépit du fait que de nombreux chercheurs aient signalé des anomalies au niveau du développement de cet organe, il s'avéra impossible de retrouver dans la littérature une description, même sommaire, de son développement au cours de la période larvaire. Des informations importantes, comme par exemple la chronologie du gonflement de la vessie natatoire ou la durée de l'état physostome (état caractérisé par l'existence d'un lien permettant le passage de l'air entre le tube digestif et la vessie natatoire), pouvaient être acquises par le biais d'un examen de coupes minces de larves à

différents stades de leur développement. C'est donc ce que nous avons choisi de réaliser.

Certaines études ayant fait état d'une possible interaction entre les conditions prévalant à la surface des bassins d'élevage et le succès des spécimens à effectuer le gonflement de leur vessie natatoire, il apparaissait pertinent d'élaborer un système expérimental permettant d'offrir aux sujets deux situations à ce niveau; une surface libre de tout film d'huile et une surface présentant un épais film d'huile.

La survie d'un nombre substantiel de spécimens au terme de la période larvaire n'ayant été généralement obtenue que dans le cas de sujets alimentés de proies vivantes, ce type de nourriture (en l'occurrence des nauplii d'*Artémia salina* fraîchement éclos) fut choisi. De façon à pouvoir documenter également le développement de la vessie natatoire chez les sujets soumis à un régime à base de nourriture préparée (en l'occurrence une moulée spécialement formulée pour les larves de doré), une réplique du système expérimental fut utilisée dans laquelle les sujets devaient être alimentés exclusivement avec de la nourriture de ce type.

Le travail que nous devons réaliser visait donc deux objectifs principaux:

1: Améliorer nos connaissances en ce qui concerne le développement de la vessie natatoire chez la larve du doré jeune.

2: Comparer le développement de cet organe sous deux conditions de surface différentes, chez des sujets nourris de proies vivantes et chez des sujets alimentés de moulée.

Afin de se doter d'une "deuxième chance" au cas où une défaillance d'un des éléments contrôlant les paramètres vitaux du montage expérimental entraînerait la perte des sujets avant la fin de la période larvaire, les oeufs furent séparés en deux groupes et incubés selon deux régimes thermiques , l'un devant produire un temps d'incubation similaire à celui observé dans le milieu naturel, l'autre , caractérisé par un réchauffement moins rapide de la température, devant fournir d'autres spécimens plusieurs jours plus tard.

A l'origine, cette deuxième cohorte n'était donc pas destinée à une expérience différente de la première. Toutefois, lorsqu'elle devint disponible, il apparaissait pertinent, à la lumière des observations réalisées au cours des 17 premiers jours de l'expérience, de tenter une autre expérience. Cette dernière visait à mesurer l'influence des conditions de surface sur le comportement des sujets . En dépit de certaines contraintes ayant affecté cette expérience, les résultats qu'elle a générés sont également présentés, car ils permettent de discuter de façon plus éclairée des résultats de l'expérience menée sur la première cohorte.

CHAPITRE 2

REVUE DE LA LITTERATURE

2.1 Ecologie et développement

Une bonne connaissance de l'écologie du doré ne peut que constituer une base essentielle à la compréhension du développement de la larve de doré et par extension des problèmes rencontrés lors des tentatives d'élevage en milieu contrôlé.

Le doré est un poisson d'eau douce, que l'on retrouve occasionnellement en eau saumâtre. Il fraie en groupe, au printemps, lorsque la température de l'eau atteint entre 6 °C et 8 °C, quoiqu'on l'ait vu fraier dans des eaux aussi froides que 2 °C et aussi chaude que 16 °C (Priegel, 1970).

Le substrat choisi est très variable. Certains stocks s'accomodent d'un rivage lacustre sablonneux ou de berges enherbées; ils constituent toutefois des exceptions, puisque la majorité se reproduisent dans des cours d'eau ou des lacs sur des substrats "nettoyés" par une eau agitée par les vagues ou brassée par le courant.

Les femelles pondent environ 60 000 oeufs par kg de poids corporel (Nickum // Stickney 1986). Ces oeufs, à la surface adhésive, sont relativement petits: 1,5 mm de diamètre (McElman et Balon, 1979). Ils se déposent là où le courant les laisse; aucune forme de nid n'est préparée par les géniteurs.

Après une période d'incubation dont la durée varie en fonction de la

température, la larve éclos et amorce immédiatement une nage plus ou moins verticale qui la porte au sommet de la colonne d'eau. Selon McElman et Balon (1979), ce comportement présente l'avantage d'amener le sujet là où le courant est le plus fort et peut le transporter rapidement et à peu de frais (métaboliques) vers les plans d'eau où la faune zooplanctonique est plus abondante.

La larve de doré habite la zone pélagique des lacs au cours des 4 à 6 semaines suivantes. Houde (1967), la situe alors près de la surface, dans les baies "protégées". Malheureusement, nous ne possédons aucune information relative à l'éthologie des alevins lors de leur période pélagique. Leur comportement et leur développement ont été étudiés chez des sujets élevés en laboratoire.

Le classement des étapes de développement de l'alevin le plus souvent utilisé est probablement celui publié par Li et Mathias (1982). Ceux-ci ont divisé la période larvaire en trois stades apparemment établis à partir de considérations nutritionnelles.

Le premier stade, appelé "pré-larve", débute à l'éclosion et s'étend jusqu'à ce que l'organisme ingère des proies. Il dure donc, selon eux, de 5 à 6 jours à 18-20 °C. Il est caractérisé par la présence de la réserve vitelline et une nage orientée à plus ou moins 30 degrés de la verticale, nage nécessaire au maintien des sujets dans la colonne d'eau. La bouche est déjà équipée de 24 à 40 dents, les mâchoires sont bien développées mais les organes internes ne sont pour la plupart que très rudimentaires.

L'apparition du comportement d'attaque et de préhension des proies, coïncidant avec la disparition de la réserve vitelline, confirme le début du stade "post-larve 1". Nelson (1968), avait adopté comme frontière entre les

stades pré-larve et post-larve 1 la disparition de la globule d'huile, évènement que Li et Mathias (1982) situent plutôt à la fin du stade post-larve 1. Cette globule d'huile étant une réserve nutritive, elle aide le doré à faire la transition entre une alimentation endogène et une alimentation exogène. La nage des larves à ce stade est plus rapide, semble moins erratique car souvent orientée vers une proie et se dirige typiquement à un angle de 30 degrés de l'horizontale. Le système digestif est assez primitif et ses capacités sont encore faibles. Ce stade dure approximativement 5 jours à 18-20 °C.

Lorsqu'il ne lui reste plus de globule d'huile, l'alevin est dépendant de ses aptitudes prédatrices; il entre dans le stade "post-larve 2". C'est une période d'évolution rapide: le tube digestif se contorsionne, l'estomac devient fonctionnel, les arcs branchiaux se différencient, les appendices natatoires s'affinent. En 8 jours (à 18-20 °C), la larve passe de 10-11 mm à 16-19 mm et atteint sa forme juvénile.

McElman et Balon (1979), dans une étude détaillée du développement embryonnaire et larvaire du doré (qui se voulait en même temps une illustration de la théorie de la "saltation"), ont employé une nomenclature différente pour identifier les premières étapes ou "phases" du développement. Celles-ci se sont vue désignées par les lettres "C", pour "cleavage" (division cellulaire), "E" pour "embryonic" (embryonnaire) , "F" pour "free embryo" (embryon libre, éleuthéroembryon), et "PP" pour "protopterygiolarval" (l'équivalent de la post-larve de Li et Mathias).

La théorie de la "saltation" voulant que l'ontogénie des organismes progresse par petits sauts plutôt que selon un *continuum*, un chiffre accompagne la lettre pour identifier l'étape atteinte par chacun des bonds, et

un autre chiffre s'y ajoute pour faire la somme des étapes franchies. Ces deux chercheurs eurent recours au calcul des degrés-jours (la valeur en °C de la température du milieu multipliée par le nombre de jours écoulés depuis la fécondation) pour situer l'âge biologique des sujets.

Leur contribution à la connaissance des processus qui conduisent du zygote au frotin chez le doré est considérable. Les systèmes respiratoire et circulatoire sont particulièrement bien suivis au cours de leur développement. Les transformations qu'ils subissent sont expliquées en fonction des avantages adaptatifs qu'ils confèrent à la larve face à son environnement, changeant lui aussi durant cette période.

McElman et Balon (1979) notent que l'individu adopte, peu après son éclosion, un comportement qui l'amène à se positionner sous la surface de l'eau et à y demeurer immobile. Ce comportement, appelé "*surface suspension*" (suspension en surface) fut l'objet d'observations qualitatives chez les sujets âgés entre 0 et 5 jours (de 135 à 215 degrés-jours). Il serait selon eux l'expression de l'adaptation au transport fluvial combiné à la recherche d'un milieu riche en oxygène nécessaire à la survie d'un organisme dont le système respiratoire repose sur des échanges au niveau cutané.

Constatant que l'épuisement du globule d'huile se produit vers la même époque que le gonflement de la vessie natatoire, ils en déduisent que cette synchronisation est nécessaire afin de conserver à l'individu une flottabilité constante. De plus, ils formulent une hypothèse pour expliquer le fait souvent observé que les larves élevées en laboratoire échouent à gonfler leur vessie natatoire.

Selon cette hypothèse, le synchronisme nécessaire au développement harmonieux de l'organisme est perdu lorsque celui-ci est placé dans des

conditions telles que des facteurs influençant le taux d'utilisation des réserves métaboliques mais non la vitesse de la morphogénèse peuvent intervenir (par exemple l'activité par opposition à des différences de température ou d'oxygénation).

Ainsi, la larve placée dans un contenant où l'eau est relativement calme et qui rencontre des conditions d'oxygénation et d'éclairage optimales ne déploie pas la même énergie que celle qui est charriée au hasard des courants dans une rivière et qui doit souvent lutter pour conserver une position qui lui permettra d'atteindre rapidement les riches eaux lacustres. Puisque la quantité des réserves lipidiques est inversement reliée à l'énergie déployée chez un sujet qui ne s'alimente pas, la larve en laboratoire conservera plus longtemps sa gouttelette lipidique. Celle-ci, par sa forme, sa position et son volume se trouvant à compresser l'oesophage, McElman et Balon (1979) avancent que la réduction du volume du globule lipidique est nécessaire, non seulement à l'ingestion de grosses proies, mais aussi à la consommation de bulles d'air, cette dernière action contribuant, selon eux, au gonflement de la vessie natatoire.

Krise et Meade (1986) nous proposent une autre terminologie appliquée à la description de l'évolution de la larve de doré. Leur publication, fruit d'une synthèse de la littérature existante, semble s'inspirer largement des travaux de McElman et de Balon, en ce qui a trait à la morphogénèse larvaire. Toutefois ils ne comptabilisent les degrés-jours qu'à partir de l'éclosion, contrairement à leurs prédécesseurs.

Pour notre part, et comme plusieurs l'ont fait, nous avons retenu la terminologie de Li et Mathias (1982).

2.2 Nutrition

Des recherches réalisées dans le milieu naturel situent le début de l'alimentation exogène du doré vers la fin du stade pré-larve tel que défini par Li et Mathias (1982), alors qu'un restant de réserve vitelline est encore visible (Bulkley *et al.* 1976). Houde (1967), travaillant sur les larves de doré du lac Oneida (N.Y. Etats-Unis), précise que 31% des sujets à ce stade de développement présentent de la nourriture dans le tube digestif, contre 91% chez les sujets plus âgés. Par contre, et en concordance avec leur propre définition, Mathias et Li (1982) n'ont observé l'ingestion de proies qu'à partir du stade post-larve I.

La nourriture utilisée par la larve de doré est variée, mais en général elle se compose surtout de cladocères et de copépodes. Il semble que les sujets de différents plans d'eau puissent avoir des régimes alimentaires fort variés. Ainsi, les diatomées seraient les organismes les plus fréquemment avalés par les jeunes dorés de moins de 9 mm au lac Erié, tandis que les individus de la même taille au lac Oneida mangent déjà des alevins de poissons-fourrage, une ressource alimentaire présente quoique totalement ignorée au lac Clear (Iowa, Etats-Unis) selon Bulkley *et al.* (1976).

Une variation dans la diète est également observée au fil des ans dans un même lac, les larves de chironomides par exemple pouvant devenir un item important puis presque totalement disparaître du menu (Priegel, 1970), ce qui indique le caractère opportuniste du doré à cet égard.

En laboratoire, des observations ont conduit Mathias et Li (1982) à affirmer que le doré au stade larvaire est dépendant de sa vue pour se nourrir, et que son comportement à ce chapitre est plutôt celui d'un chasseur à l'affût,

qui localise sa proie à courte distance et bondit sur elle instantanément lorsqu'il décide de l'attaquer. A mesure que ses capacités natatoires se développent, il devient capable de poursuivre un organisme en fuite. Cette activité est fréquente puisque les mêmes chercheurs ont évalué à 5% seulement le taux de succès de la larve à capturer une daphnie.

Ils ont également fait des tests en laboratoire visant à déterminer les préférences alimentaires de l'alevin en lui présentant un éventail de proies choisies parmi ses cibles naturelles. On constata alors que les sujets avaient tendance à consommer les plus petits représentants possible des espèces présentes, en dépit de l'augmentation graduelle de leur capacité buccale à mesure qu'ils approchent du stade juvénile. Signalons que d'autres études (section 2.4) avaient déjà démontré la capacité de la larve de doré à avaler de très grosses proies.

Raisanen et Applegate (1983) observèrent le même comportement face aux copépodes, mais non face aux cladocères, que les dorés choisissaient de plus en plus gros. Par ailleurs, Hokanson et Lien (1986) ont trouvé une sélection négative envers les copépodes plus petits que 0.6 mm et contre les cladocères plus grands que 1,1mm.

Quant à la densité de nourriture (proies vivantes) permettant au poisson une consommation maximale, Mathias et Li (1982) l'ont évalué à 10 g m^{-3} , la consommation étant proportionnelle à la densité jusqu'à 5.3 g m^{-3} . Ceux-ci, dans une autre publication (Li et Mathias 1982) avancent le chiffre de 100 daphnies par litre comme étant la densité de proies optimale, selon leurs expériences.

Pour obtenir une telle densité et surtout la maintenir le plus longtemps possible, il faut que les intervalles entre les distributions de nourriture

soient très brefs. La plupart des équipes de recherche ont réglé la fréquence de cette opération pour avoir des intervalles de 2,5 min à 10 ou 15 min, au-delà de quoi la quantité de nourriture administrée et inutilisée cause rapidement des problèmes de qualité d'eau et de développement fongique.

Facile à produire et déjà utilisée comme nourriture pour beaucoup d'autres espèces, *Artémia salina* fut comparée à d'autres diètes pour l'alimentation de la larve de doré. Hokanson et Lien (1986) obtinrent un taux de croissance supérieur chez des sujets au stade post-larve II en utilisant ce crustacé plutôt que du zooplancton provenant d'un plan d'eau.

L'expérience décrite par Colesante *et. al.* (1986) donne des résultats similaires. La survie des larves alimentées à partir d'un mélange d'artémies et de zooplancton fut inférieure à celle observée chez des sujets recevant uniquement des Artémies. Ces chercheurs mentionnent toutefois que l'effet inverse se produisit chez les sujets de plus de 30 jours.

Si la littérature nous présente quelques comparaisons entre différentes diètes de proies vivantes, les expériences impliquant des diètes de proies vivantes (incluant *Artémia salina*) et des diètes inertes (des moulées) sont relativement nombreuses. En effet l'effort de recherche a surtout visé à définir un aliment qui pourrait être fabriqué en grande quantité, conservé facilement et distribué aux sujets par un mécanisme automatique tout en leur assurant un développement normal. Notons que les chercheurs commencèrent à travailler en ce sens sans qu'au préalable on ait réussi à bien établir les normes garantissant le succès de l'élevage à partir de proies vivantes, à moins qu'on ait accepté de prendre comme point de référence (comme étant un résultat acceptable) un taux de survie approchant les 15% sur 30 jours, soit les meilleurs résultats obtenus alors avec des

diètes de proies vivantes.

Le premier pas à franchir vers cet objectif était de faire en sorte que les sujets s'intéressent à la moulée et l'ingèrent. Des modifications apportées au milieu d'élevage, à l'éclairage, à la moulée et à la grosseur des particules ont permis de progresser assez rapidement dans ce sens.

Ainsi, on statua que les particules de moulée devaient avoir au moins un axe d'un diamètre inférieur à 0,4 mm (Nickum // Stickney, 1986), ou selon McElman et Balon (1979), un diamètre variant entre 0,3 et 0,5 mm; être de couleur rouge ou orange et être présentées dans un aquarium aux parois sombres et non-réfléchissantes. Dans ces conditions, les moulées furent acceptées par les larves comme premiers aliments, mais malgré cela très souvent la perte complète de la cohorte survenait après environ trois semaines.

Toutefois, vers la fin des années 1970, on réussit à faire survivre au-delà du stade larvaire des dorés alimentés à partir de moulées, les taux de survie approchant 1%. Les travaux dans la dernière décennie ont donné des progrès notables à ce chapitre, progrès dont les principaux artisans sont incapables de dire s'ils sont liés à l'amélioration de la qualité nutritive des moulées ou aux modifications apportées aux aquariums, qui procurent un environnement plus favorable à la survie des alevins. L'introduction des bassins d'alevinage à courant ascendant, initialement conçus pour l'élevage du bar rayé (*Morone saxatilis*), a marqué une étape importante à cet égard.

Colesante *et al.* (1986), entre autres, ont obtenu un taux de survie de 20,4% en alimentant des larves de doré avec des Artémies et du zooplancton dans ce type de bassins. La survie de leurs congénères, élevés à une densité comparable dans des bassins d'alevinage conventionnels avec le même régime

alimentaire ne fut que de 11%.

Dans cette expérience, différentes moulées furent également testées. Les sujets nourris exclusivement avec des aliments préparés ont survécus un maximum de 39 jours. Aucun d'entre eux n'avait développé de vessie natatoire normale. Ceux ayant d'abord reçu des artémies et du zooplancton, pour passer à la moulée au 16^{ième} jour post-éclosion ont eu un taux de survie de 6,0% sur 65 jours, bien qu'ils eussent été stockés à une densité de près du double.

Le recours généralisé aux bassins d'alevinage à courant ascendant (qui permet notamment de maintenir en suspension plus longtemps les particules de moulée) et le fait qu'une majorité de chercheurs basent leurs conclusions sur des taux de survie portant sur des périodes aussi brèves que 30 jours (Loadman *et al.* 1989, Colesante *et al.* 1986) et même 21 jours (Kindschi et MacConnell, 1989, Barrows *et al.* 1988) rendent l'interprétation des bioessais très difficile. En effet, comme le reconnaissent eux-mêmes certains chercheurs (Loadman *et al.* 1989), le courant ascendant généré dans ces bassins aide les poissons n'ayant pas gonflé leur vessie natatoire à se maintenir dans la colonne d'eau tout aussi bien qu'il resuspend les particules de moulée, retardant leur mort au-delà du terme de l'expérience. Ainsi, cette équipe de chercheurs, échantillonnant des fretins 100 jours après la conclusion de l'expérience, trouva 40% des individus dépourvus de vessie natatoire bien qu'aucune différence de taille ne permette de distinguer ceux-ci des fretins normaux.

Il convient cependant de reconnaître que les dernières études publiées sur le sujet ont au moins prouvé qu'il est possible d'élever le doré exclusivement à partir de diètes "artificielles", bien qu'il soit évident que ces diètes et/ou les méthodes d'élevage soient encore perfectibles.

Les taux de survie obtenus récemment oscillent entre 5,7% sur 28 jours (Barrows *et al.* 1988) , 15,6% sur 20 jours (Kindschi et MacConnell 1989) et 28% sur 30 jours (Loadman *et al.* 1989). Le principal obstacle à la survie des sujets obtenus demeure un faible taux de gonflement de la vessie natatoire.

2.3 Température du milieu ambiant

Pour le développement d'un organisme tel que la larve de doré jaune, une bonne gestion des températures d'élevage est une des conditions essentielles de succès. Déjà, travaillant sur des sujets d'âge juvénile, Huh *et al.* (1976) avaient démontré que la croissance de ce poisson était dépendante de la température, alors que des sujets d'une espèce apparentée, la perchaude (*Perca flavescens*), n'avaient réagi de façon significative qu'à des variations dans la photopériode.

Les alevins de doré ne possèdent qu'une faible réserve nutritive et ne développent que tardivement leur aptitude à appréhender la nourriture et le plein potentiel de leur système digestif (Li et Mathias, 1982). En outre, ils affectent une partie de leur réserve alimentaire à une métamorphose presque complète de leur organisme. Pour survivre au-delà du stade larvaire, ils doivent rencontrer des conditions thermiques qui permettent une activité métabolique optimale.

Koenst et Smith (1976) ont réalisé une série d'expériences visant à déterminer les températures optimales de fécondation, d'incubation et de croissance (post-éclosion) des premiers stades de doré jaune et de doré noir (*Stizostedion canadense*). Reflétant l'évolution normale des températures

dans le milieu naturel durant ces étapes chez le doré, les températures considérées optimales sont de 6,2 °C lors de la fécondation jusqu'à 22,0 °C pour la croissance des juvéniles. Une température de 12,0 °C confère aux sujets une longueur maximale à l'éclosion tandis qu'un milieu ambiant de 15 °C à 20,9 °C assure une survie maximale des alevins vésiculés. Pour illustrer l'importance du facteur thermique, disons qu'à 15,0 °C, aucun sujet n'a atteint le stade juvénile, contre 1% à 18,0 °C .

Cette étude, la seule visant spécifiquement l'obtention de renseignement sur les températures optimales aux différents stades de croissance du doré, nous a servi de point de référence principal pour la gestion de ce paramètre lors de nos travaux.

2.4 Cannibalisme et densité.

Le cannibalisme fut le premier obstacle majeur rencontré par les pionniers de l'élevage intensif du doré. Même dans la nature, c'est un comportement typique de cette espèce, qui fut d'abord décrit comme étant la prédation qu'un individu exerce sur un sujet de taille ou de force inférieure.

Selon Cheshire et Steele (1972), le doré connaît deux périodes de pointe de cannibalisme, la première survenant dans la semaine suivant l'éclosion et la seconde au milieu de l'été, alors qu'ils transitent d'une alimentation à base de zooplancton vers une alimentation à base de poissons.

Cuff (1980), à la suite d'une série d'observations qualitatives en laboratoire faites sur des larves de doré nourries de jeunes stades d'*Artémia salina*, confirma l'existence de la première période de cannibalisme, mais la

situa plus tard dans le développement, soit entre le septième et le vingtième jour, le début coïncidant avec celui de l'alimentation exogène. Selon ce chercheur, la poussée de cannibalisme s'estomperait vers la fin de la troisième semaine, alors que le doré développe son aptitude à esquiver les attaques des prédateurs. Cuff (1980) observa des situations où une larve tentait d'ingérer une larve qui avalait elle-même une larve qui dévorait encore une congénère, soit des chaînes de quatre individus.

Précédemment, ce dernier (Cuff, 1977) avait conduit des expériences qui l'amènèrent à conclure que chez la larve de doré, les sujets peuvent être classés en deux catégories; l'une constituée des individus qui réussissent à s'alimenter, et l'autre de ceux qui ne s'alimentent pas. Cuff (1977) statua que seuls ces derniers devenaient victimes des premiers, et parfois également victimes de sujets pour qui c'était là la première fois qu'ils réussissaient à capturer de la nourriture. Toutefois, les larves qui se nourrissent sont aussi sujettes à des agressions, mais peuvent s'échapper grâce à une vitesse de réaction et de nage supérieure.

Cherchant à expliquer la forte mortalité prévalant chez cette espèce au stade larvaire, Li et Mathias (1982) ont montré que l'intensité du cannibalisme augmente avec la densité de l'élevage. Ils firent également la preuve qu'une période de jeûne imposée au début du stade post-larve l conduit à une augmentation du cannibalisme proportionnelle à la longueur de la période de jeûne.

Ces chercheurs ont statué qu'une densité de un individu par litre était un maximum à respecter en vue de minimiser la mortalité, notamment due au cannibalisme. De plus, ils montrèrent qu'une forte augmentation de la densité de nourriture (de 80 jusqu'à 480 proies/litre) ne parvenait pas à réduire

significativement la mortalité due aux agressions intra-spécifiques. Cette affirmation contredit les conclusions de Cuff (1977), qui réussit à éliminer presque complètement le cannibalisme en augmentant la quantité de nourriture disponible, ce qui selon lui réduisait le nombre de sujets affaiblis par un jeûne et donc susceptibles de succomber à une attaque cannibale.

Les expériences menées par Loadman *et al.* (1986) ont jeté un éclairage nouveau sur ce sujet. Observant le cannibalisme chez des sujets âgés de 4 jours et plus, donc à partir du tout début de la période d'alimentation mixte (endogène et exogène), ils purent classer les agressions cannibales en deux types distincts, soit les attaques dirigées au niveau du tronc, très fréquentes (92% du total des tentatives) mais très brèves (20 secondes en moyenne) et inefficaces (98% des victimes réussissent à s'échapper bien que 19% en meurent dans les 24 heures) et les attaques orientées vers la queue de l'adversaire, très longues (3,5 heures en moyenne) car se complétant généralement par l'ingestion de la proie et donc très efficaces.

Leur étude a de plus révélé que le taux de survie des cannibales ne différait pas de celui des sujets témoins s'alimentant de zooplancton lorsque celui-ci est abondant. Le taux de croissance des cannibales n'est pas plus élevé non plus: le cannibalisme ne confère donc pas à son auteur un avantage marqué sur ses congénères non-cannibales. Tout au plus, le cannibalisme pourrait être un comportement adapté aux conditions naturelles où la densité de proies se maintient habituellement sous les valeurs considérées comme optimales en laboratoire (Mathias et Li, 1982).

Toutefois, les auteurs de ces travaux font valoir que dans la nature, la densité relativement faible des dorés au stade post-larve I (estimée entre 0,1 et 100 individus/litre) réduit de beaucoup les chances de rencontre et

donc de cannibalisme.

En résumé, le cannibalisme observé en laboratoire serait le produit de l'interaction de facteurs favorisant ce comportement, en particulier la forte densité imposée aux sujets, densité qui multiplie les chances de rencontre entre des individus déjà équipés pour la piscivorie. Le très fort pourcentage d'attaques inefficaces est un argument de plus en faveur du caractère fortuit, non-obligatoire du cannibalisme chez un organisme dont la survie dépend habituellement de la capture de proies moins grosses et moins difficiles à maîtriser.

2.5 Comportement face aux stimuli optiques

Le doré adulte est un lucifuge notoire (Nickum *in* Stickney, 1986), tandis qu'au contraire, la larve est tellement attirée par la lumière que, (mis à part le contact physique direct), c'est là le stimulus le plus puissant agissant sur elle (Ryder, 1977). Des tests effectués par le New York Cooperative Research Unit (Nickum, 1978) ont montré que les alevins de doré choisissaient à 95% les sections d'aquarium dont les parois étaient blanches et désertaient les sections à parois noires. Ce même rapport indique que les sujets étaient tellement attirés par les parois blanches où pâles qu'ils ignoraient toute nourriture. Par contre, dans un environnement plus sombre (parois noires ou grises) les larves se distribuaient uniformément dans la colonne d'eau et se nourrissaient.

Corazza et Nickum (1981), se basant sur l'indice de dispersion des larves dans des contenants à parois blanches, jaunes, vertes ou grises, ont

trouvé que la dispersion était significativement supérieure dans les bassins gris, tandis qu'elle ne différait pas significativement dans les trois autres. Puisque l'intensité de lumière réfléchie par le vert et le gris est très semblable (à toutes les longueurs d'ondes), ils expliquèrent l'attraction exercée par le vert par une caractéristique de la rétine de l'oeil du doré dont les pigments des cônes ont une sensibilité maximale dans la région du vert, (Ali et Anctil, 1977). Chez le doré adulte, en effet, on sait que les pigments des cônes ont une capacité d'absorption accrue dans les teintes de vert et de rouge (Levine et Mac Nichol, 1982).

L'évolution du comportement du doré face à la lumière se fait surtout à l'intérieur des 8 ou 9 premières semaines suivant l'éclosion. Dans une expérience destinée à faire la lumière sur cette facette encore méconnue de la biologie de cette espèce, Bulkowski et Meade (1983) ont placé des larves âgées entre 1 et 11 semaines dans un environnement où elles avaient le choix entre différentes intensités lumineuses. Les résultats obtenus indiquent que les sujets âgés de 1 à 4 semaines préfèrent nettement le plus fort éclairage possible, tandis que les sujets vieux de 5 à 8 semaines connaissent une période de transition durant laquelle ils se retrouvent de plus en plus fréquemment dans les zones plus sombres. Vers la 9^{ième} semaine, les juvéniles montrent une préférence pour les régions les moins éclairées du bassin, attitude qui se confirme par la suite.

Une autre des conclusions de cette étude est que la taille des individus constitue un meilleur indice que leur âge pour prédire leur comportement face à la lumière.

2.6 Traitement des oeufs

Les oeufs de doré ont la propriété de devenir collants peu après la fécondation, ce qui en complique la manipulation et conduit à la formation de masses d'oeufs dont seules les couches périphériques reçoivent une eau suffisamment oxygénée.

La première méthode employée pour contourner cette difficulté consistait à brasser continuellement les oeufs dans un bol contenant de l'eau à l'aide d'une plume de dinde durant une heure et demie à deux heures, jusqu'à ce qu'ils soient "durcis" et non-collants. Plusieurs chercheurs ont travaillé à mettre au point des méthodes impliquant l'utilisation de produits destinés à éliminer rapidement le caractère adhésif des oeufs et donc à réduire le temps de brassage requis.

Initialement, de l'amidon et de la poudre d'argile "bentonite" ont été employés. Dumas et Brand (1972), font état de leurs études pionnières impliquant l'ajout d'acide tannique. Ils l'utilisent à raison d'une cuillère à thé (*s/c*) de poudre d'acide tannique dans cinq gallons d'eau, aussitôt après la fécondation et jusqu'à ce que les oeufs ne manifestent plus de tendance à coller. Ils rapportent alors une économie de temps de 45 minutes par rapport à la méthode antérieure.

Colesante et Youmans (1983) publient les résultats de tests où des concentrations allant jusqu'à 400 mg l^{-1} d'acide tannique sont utilisées, les zygotes ne baignant toutefois dans ces solutions que durant un maximum de 9 minutes, pendant lesquelles ils sont brassés. On les place ensuite dans de l'eau fraîche pour une heure, en ne les remuant qu'une minute toutes les 10 à 15 minutes. Les taux de survie jusqu'au stade de l'oeuf embryonné ont été

égaux ou supérieurs à ceux des témoins.

La dernière méthode trouvée à ce jour pour faciliter la reproduction artificielle du doré fait appel à une enzyme protéolytique (d'origine pancréatique, Sigma Chemical Co., St-Louis Missouri). Cette méthode est d'origine européenne tout comme celle impliquant l'acide tannique.

Elle fut expérimentée d'abord par Krise (1988), qui rapporte alors une nette supériorité de cette technique sur les autres (soit: 166 mg l⁻¹ de poudre de bentonite, 250 mg l⁻¹ d'acide tannique et 90 minutes de brassage dans l'eau pure).

La solution de protéase employée à la concentration de 0,01% eut en outre l'effet de raccourcir à deux jours la période d'éclosion, comparativement à quatre jours pour les autres, ce qui lui confère un net avantage lorsqu'on considère l'ampleur que peut prendre le cannibalisme lorsque des sujets de tailles différentes sont en présence.

Dans la section "matériel et méthodes" nous décrivons la méthode que nous avons suivie pour la fécondation et le traitement des oeufs, elle s'inspire largement de celle de Colesante et Youmans (1983).

2.7 Pathologie

Nous ne savons que peu de choses des diverses pathologies pouvant affecter la larve de doré. L'utilisation de fongicides pour prévenir ou contrôler les attaques fongiques durant le stade embryonnaire est une pratique courante. Les oeufs morts n'étant généralement pas séparés des embryons vivants, ces derniers sont tôt ou tard menacés par la prolifération

des hyphes qui s'établissent d'abord sur les oeufs morts. Un traitement quotidien de formaline (1/600 pendant 17 minutes) est suggéré à titre préventif (Nickum, 1978). Hnath (1975) mentionne l'emploi de wescodyne (1/150 pour 10 minutes) à cet effet. Toutefois l'efficacité de ce procédé n'est pas certaine, puisqu'on dit qu'il n'affecte pas la survie des oeufs sains.

Comme c'est le cas pour les poissons adultes en général, les branchies de la larve de doré sont un site de prédilection pour les maladies. Selon Nickum (1978), des *Myxobacter* et des champignons ont envahi les régions buccales et branchiales lors de tentatives d'élevages intensifs, et le fait d'augmenter le débit d'eau dans les bassins a éliminé ce type de problème dans les essais subséquents. Nickum (1978) conseille de fournir aux sujets un débit minimum équivalent à deux changements d'eau par heure afin de réduire les risques de propagation des maladies.

Par le biais de coupes histologiques, Kindschi et MacConnell (1989) ont montré la présence de bactéries infectant la vessie natatoire de leurs spécimens. Ces pathogènes, *Pseudomonas aeruginosa* et *Aeromonas hydrophila* ont été identifiés et provenaient vraisemblablement de l'eau de surface des bassins.

Hnath (1975) énumère une liste de traitements ayant été testés chez le doré en pisciculture pour contrer différentes maladies infectueuses. Le stade de développement des sujets n'est cependant pas mentionné. Nickum (1978) invite à la prudence en ce domaine, car la larve de doré elle-même semblerait particulièrement vulnérable face à plusieurs agents thérapeutiques couramment employés pour d'autres espèces de poissons.

2.8 Le développement de la vessie natatoire

De nombreuses conditions, nous l'avons vu, doivent être respectées afin de permettre l'élevage en milieu "contrôlé" de la larve du doré. A mesure que ces conditions devinrent mieux connues et que les différents expérimentateurs les intégraient dans leurs systèmes d'alevinage, il devint évident qu'une lacune persistait dans nos connaissances, car même des groupes de sujets s'alimentant et croissant "normalement" étaient décimés massivement vers la troisième semaine suivant l'éclosion, et ce sans que des agents pathogènes ne puissent être identifiés.

Vers 1978, on supposait que la malnutrition était l'explication la plus plausible de ce phénomène, mais déjà Nickum (1978) avançait que le fait que ces alevins ne réussissaient pas à gonfler leur vessie natatoire pouvait contribuer à cette mortalité.

Jusqu' à maintenant, l'hypothèse de la malnutrition n'a pas été écartée; toutefois, aucune des différentes diètes testées n'a permis d'enrayer le problème de gonflement de la vessie natatoire. Cet organe mérite donc, selon nous, une attention spéciale.

La plupart des poissons possèdent une vessie natatoire, également appelée vessie gazeuse, dont le rôle principal est de maintenir l'équilibre hydrostatique du poisson mais qui peut aussi servir à produire et à recevoir des vibrations sonores, en plus d'être chez certaines espèces un poumon accessoire ou occasionnel.

Le doré appartient au groupe de poissons dits "physoclistes", c'est-à-dire dont la vessie gazeuse ne comporte pas d'ouvertures visibles sur

le monde extérieur, par opposition aux "physostomes", chez lesquels elle se prolonge vers le tube digestif par un conduit souvent nommé "conduit pneumatique". On peut en général associer la condition physocliste aux poissons ayant des nageoires à rayons épineux (les Acanthoptérygiens) et la condition physostome aux poissons à rayons mous (les Malacoptérygiens) (Lagler *et al.* 1977).

La démarcation n'est pas nette entre ces deux groupes, et plusieurs espèces appartiennent à un groupe intermédiaire, les "paraphysoclistes", chez lesquels le conduit se perd entre la période juvénile et l'âge adulte. Ceux-ci, comme les "vrais" physoclistes, dépendent ensuite entièrement des mécanismes de sécrétion et de résorption des gaz fonctionnant à partir du système circulatoire pour régler le volume de leur vessie natatoire.

Toutefois, on sait que même chez les physoclistes, de nombreuses espèces de poissons ont durant leur période larvaire un épisode physostome, durant lequel la larve doit ingérer de l'air ou en tout cas faire passer des gaz par le conduit pneumatique afin d'amorcer le gonflement de sa vessie natatoire, comme c'est le cas pour les espèces physostomes. Chez le doré, cette obligation ne semble pas avoir été démontrée jusqu'à maintenant, bien que les chercheurs ayant abordé ce sujet soient unanimes à reconnaître que c'est là une possibilité, sinon un fait probable.

Loadman *et al.* (1989) parlent du conduit pneumatique comme étant "l'avenue présumée par laquelle la larve (de doré) effectue le remplissage initial de sa vessie natatoire". Pour leur part, Barrows *et al.* (1988) disent que ce mécanisme est inconnu chez les physoclistes, en mentionnant que les diverses hypothèses à ce sujet sont:

- gobage d'air à la surface (Doroshev et Cornacchia, 1979);

- gobage de bulles d'air dans l'eau (McElman et Balon, 1979);
- influx de gaz provenant de la digestion (Johnston, 1953);
- et production de gaz, (tout comme chez l'adulte) par une glande spécialisée.

Balon *et al.* (1977), mentionnent que l'état physostome chez le doré se termine lorsque la larve atteint 7,5 mm. Ils ne divulgent pas la source de cette information. Si tel était le cas, l'éleuthéroembryon n'aurait alors que très peu de temps pour se servir de son conduit pneumatique, puisque les tailles moyennes à l'éclosion sont, selon les auteurs: 7,6 mm (Priegel, 1970) ; 6,45 mm (Nelson, 1968) ; 7,3 mm (Corazza et Nickum, 1981) ; 7,1 mm (Koenst et Smith, 1976) et 7,4 mm (McElman et Balon, 1979). Dans l'éventualité où la larve de doré amorcerait le gonflement de sa vessie natatoire avant d'avoir atteint la taille de 7,5 mm, ce processus coïnciderait avec une période où elle passe une grande partie de son temps à se suspendre à la surface de l'eau ou à tenter de regagner cette position.

La plupart des chercheurs situent cette étape critique plus tard dans le développement. Colesante (1989) a observé chez ses sujets expérimentaux les signes initiaux du gonflement de cet organe 6 jours après l'éclosion à 14,0 °C et 12 jours post-éclosion à 10,5 °C. McElman et Balon (1979) ont commencé à la distinguer à partir de 214 degrés-jours, soit approximativement 5 jours et quart après le "pic" d'éclosion à 15 °C.

Barrows *et al.* (1988) ont échantillonné des sujets ayant une vessie natatoire gonflée à 5 jours (21 °C), toutefois le pourcentage de sujets ayant cette caractéristique augmenta très rapidement entre 6 et 9 jours, pour culminer à 11 jours. La stagnation du pourcentage de sujets "normaux" dans les jours subséquents indiqua que la survie de ceux-ci n'était pas meilleure

que celle des sujets n'ayant pas développé de vessie natatoire fonctionnelle.

Pour leur part Loadman *et al.* (1989) obtenaient à 9 jours plus de 20% des sujets avec une vessie natatoire gonflée (24 °C), et observaient un maximum de 36% à 17 jours. A la température de 19 °C, près de 5% seulement des sujets avaient atteint cette étape à 9 jours, contre 20,6% , le pourcentage maximum obtenu à 16 jours.

Il convient ici de souligner que ces données sont sujettes à caution et impossibles à comparer entre elles, puisque dans aucun cas on a précisé la signification exacte de l'expression "vessie natatoire gonflée" (*inflated swim-bladder*) et que les seules informations disponibles sur la chronologie de ce phénomène (McElman et Balon, 1979) sont incomplètes.

Soutenant l'hypothèse du gobage d'air en surface, Colesante *et al.* (1986) font remarquer que la présence d'un "épais film d'huile à la surface des bassins" peut avoir joué un rôle dans l'échec massif des sujets à gonfler leur vessie gazeuse. Ils ne se prononcent pas, cependant, sur le mécanisme de cette nuisance. Ayant tenté d'influer sur cette situation par la production d'un bullage d'air à partir du fond des bassins, ils constatèrent l'inefficacité de ce procédé.

Barrows *et al.* (1988) ont utilisé pour leurs expériences un "*feeding ring*" constitué d'un tube de plastique de 20 cm de haut par 25 cm de diamètre se prolongeant 5,1 cm sous la surface de l'eau. Guidant la nourriture (moulée) vers un périmètre réduit de la surface du bassin d'élevage, il permettait d'y confiner la "tache d'huile" créée par la moulée. Considéré comme peu efficace suite à des essais préliminaires publiés en 1985 (Loadman *et al.* 1989), les travaux de Barrows et de son équipe (1988) montrèrent l'efficacité de ce système face à l'amélioration du pourcentage

de larves développant une vessie natatoire normale; jusqu'à 80% des sujets avaient atteint ce stade de développement 10 jours après l'éclosion, à 21 °C. Sans l'emploi du tube, ces chercheurs n'obtenaient dans des essais antérieurs qu'un maximum de 5% de vessies natatoires normales.

Un dispositif semblable fut mis à l'épreuve par Kindschi et MacConnell (1989). Les résultats furent décevants: il n'y eut pas de différences significatives au niveau de l'évolution des vessies gazeuses entre les groupes de sujets ayant bénéficié du tube d'alimentation et les groupes témoins. Ils testèrent également les effets d'un bullage et de la supersaturation de l'eau (123% de la pression totale des gaz à l'équilibre). Aucune de ces conditions n'améliora le sort des alevins, au contraire; les taux de vessies natatoires normales furent inférieurs à ceux des témoins.

Il convient, avant de clore ce chapitre, de situer le problème dans un contexte plus général. En effet, le doré n'est pas le seul poisson à connaître des ennuis avec le développement de sa vessie natatoire lorsqu'élevé dans des conditions artificielles. Plusieurs espèces de poissons physoclistes, qu'elles soient marines ou d'eau douce ont des problèmes de ce genre (Spectorova et Doroshev, 1976).

Le bar rayé (*Morone saxatilis*) est une de ces espèces. Membre de la famille des Serranidés et ayant possiblement un ancêtre commun avec les Percidés (Collette et Banarescu, 1977), ce poisson anadrome présente aussi, par sa stratégie de reproduction, certaines analogies avec le doré jaune.

Doroshev et Cornacchia (1979), lors d'une expérience où des larves de bar rayé étaient confinées dans des bassins sans possibilité d'accès à la surface (un grillage les en séparait) n'ont obtenu qu'un faible pourcentage de gonflement de la vessie natatoire (14,3% , 0% , 0% et 0%), comparé à celui

enregistré dans les bassins sans grillage (80,7% en moyenne).

Les coupes histologiques qu'ils ont réalisées mettent en évidence la présence d'un épithélium glandulaire hautement différencié avant le gonflement de la vessie natatoire, comparable à celui existant chez les tilapies (*Tilapia mossambica*) qu'ils étudièrent parallèlement et qui effectuent le gonflement initial de leur organe hydrostatique sans l'aide d'un conduit pneumatique (sans avoir besoin non plus d'un accès à l'air en surface).

Reprenant ces recherches mais avec un protocole expérimental mieux adapté (car dans celui dont nous venons de traiter, les niveaux d'oxygénation et la présence de bullage distinguaient les deux montages impliquant le bar rayé) Chapman *et al.* (1986) montrèrent qu'un accès à l'air en surface était nécessaire au développement normal de la vessie natatoire chez le bar rayé.

Ils soulevèrent également le problème potentiel représenté par le film d'huile de surface provenant de la désagrégation de la nourriture, des déjections animales ou des globules d'huile des sujets morts. Un système d'alevinage comportant une aération de l'eau par bullage contribuerait selon eux à briser ce film d'huile et à améliorer ainsi le contact avec l'air atmosphérique pour les petites larves telles que celles du bar et du doré.

Chez d'autres espèces, comme le bar de mer (*Dicentrarchus labrax*) et le mullet gris (*Mugil cephalus*), (ce dernier possédant un conduit pneumatique jusqu'au 6 ou septième jours post-éclosion (Nash *et al.* 1977)), les malfunctions de la vessie natatoire se traduisent plutôt par une hypertrophie de cet organe; les causes en sont également inconnues.

Chapitre 3

Matériel et méthode

3.1 Matériel d'aquaculture

3.1.1 L'eau

L'eau utilisée lors de cette expérience provenait du système d'aqueduc municipal de Chicoutimi. Cette eau était d'abord passée sous pression dans un cylindre de 10 cm de diamètre et 4 m de longueur contenant du charbon activé. Elle se déversait ensuite dans un bassin surélevé qui se drainait dans un système de filtration au charbon activé (filtreur Jacuzzi modèle 24FM) qui la traitait et la repompait (pompe Jacuzzi modèle 1PK-S/A) immédiatement dans ce même bassin. Une série de tubes percés de petits orifices et alimentés en air comprimé filtré assurait l'oxygénation de l'eau dans ce bassin.

Le pH de l'eau était de 7,5, la dureté de 30 mg l^{-1} de CaCO_3 . Testé périodiquement à l'aide d'une trousse Baush & Lomb, le taux de chlore libre varia entre $0,014 \text{ mg l}^{-1}$ et le seuil de détection ($0,010 \text{ mg l}^{-1}$).

Trois types de bassins ont été utilisés pour les dorés ; un bassin de stabulation pour les géniteurs, des bassins d'incubation pour les oeufs et des bassins d'élevage pour les larves, ou bassins "expérimentaux". Pour des raisons techniques, l'eau alimentant les bassins d'incubation n'était pas filtrée par le filtreur Jacuzzi; provenant du filtreur cylindrique au charbon activé, elle était acheminée dans un réservoir où elle était oxygénée par bullage et refroidie aux températures requises.

3.1.2 Le bassin de stabulation des géniteurs

L'aquarium de stabulation était muni d'un système permettant la réutilisation de l'eau. Celle-ci était tout d'abord filtrée dans une colonne de charbon activé, sa température était contrôlée grâce à un système de réfrigération agissant dans un bassin-réservoir et l'aération était assurée par une cascade se déversant dans le compartiment réservé aux géniteurs. Ce système permettait une gestion de la température de l'eau à plus ou moins un degré Celsius de celle désirée. L'eau était remplacée partiellement à tous les quatre ou cinq jours selon l'augmentation de la concentration des produits azotés dans le milieu. La majeure partie de la surface du bassin était recouverte de panneaux de styro-mousse, afin de respecter le caractère lucifuge du doré et d'empêcher les sujets de sauter par dessus-bord.

3.1.3 Les bassins d'incubation

Les bassins d'incubation et les bassins expérimentaux logeaient dans le même meuble. La figure 1 illustre l'ensemble du dispositif tel qu'il fut utilisé lors de l'expérience. La figure 2 présente deux des quatre bassins d'incubation. L'eau en provenance des réservoirs supérieurs arrivait par gravité dans les tubes percés, générant un courant ascendant à partir du fond du bassin, passait au travers du grillage et de la rangée d'oeufs déposés sur celui-ci et sortait en traversant un grillage pour aboutir dans un bassin adjacent, dont la sortie était munie de larges "filtres", afin de réduire la vitesse du courant à cet endroit, vitesse qui si elle avait été excessive aurait pressé les larves fraîchement écloses contre les grillages entravant la sortie. Le grillage séparant les deux parties de ce système était enlevé lors de l'éclosion. Les larves de doré étant animées d'un mouvement de nage vers

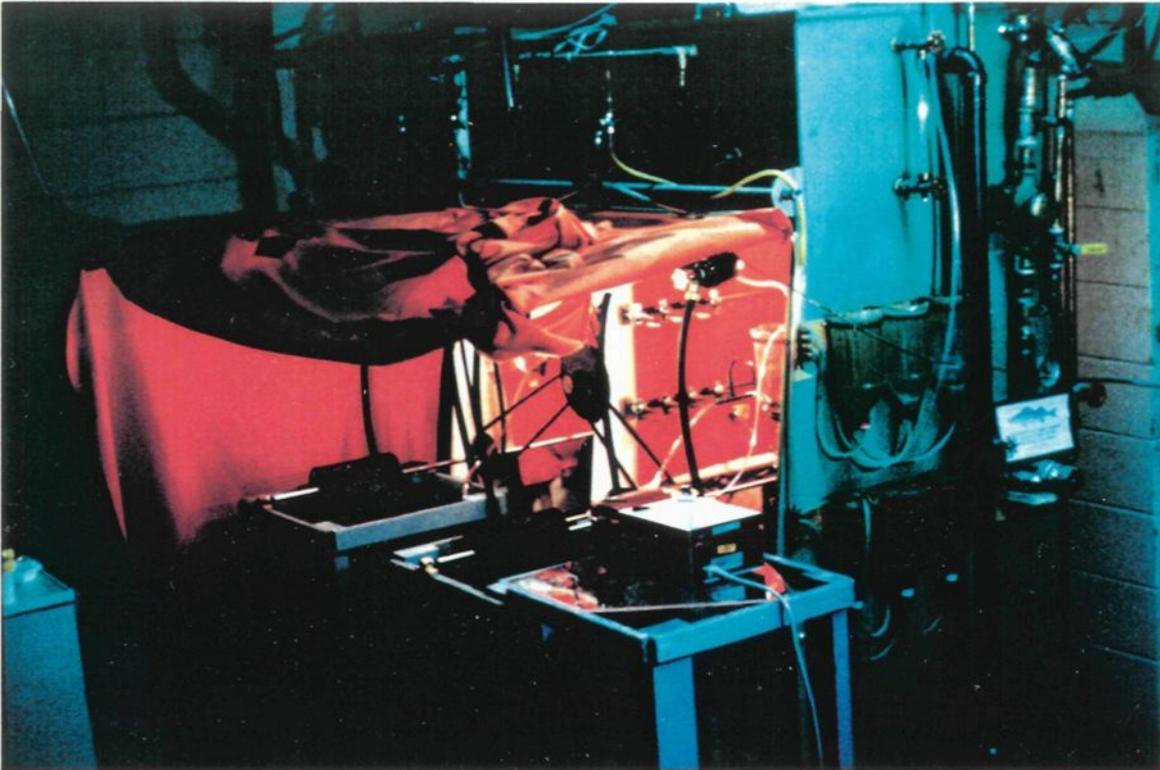


Fig.1 Vue d'ensemble du dispositif expérimental.

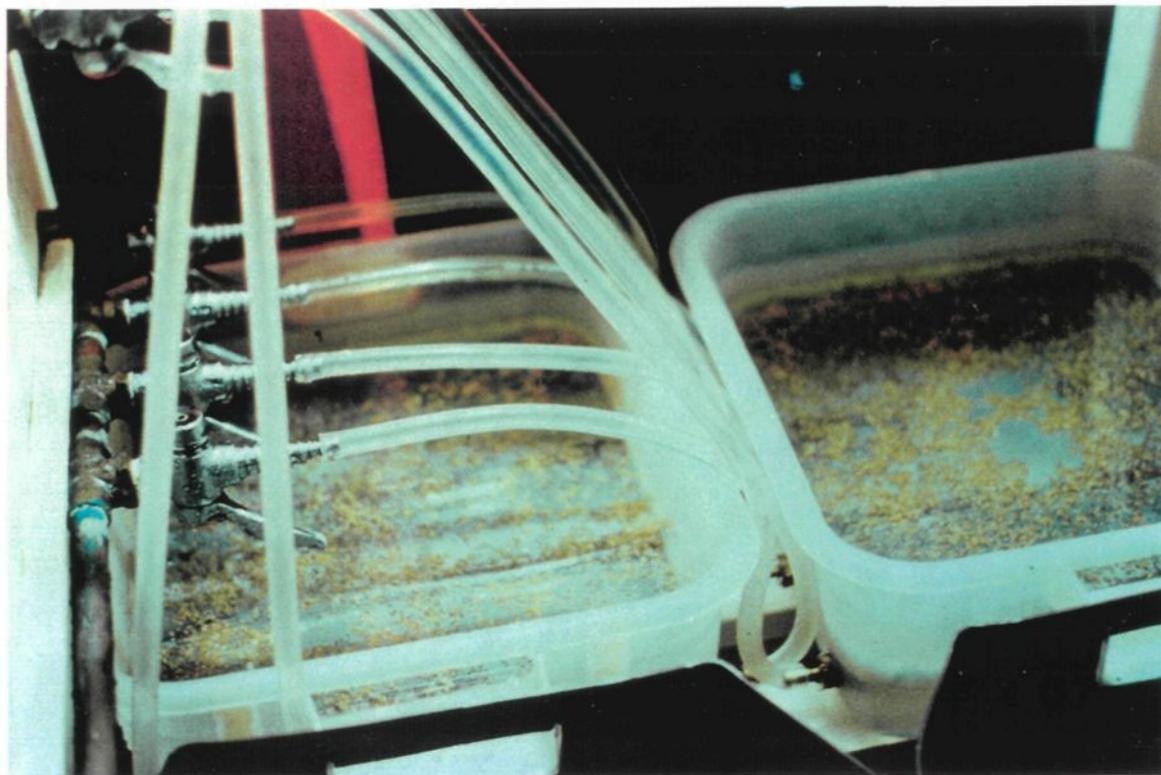


Fig.2 Bassins utilisés pour l'incubation des oeufs de doré.

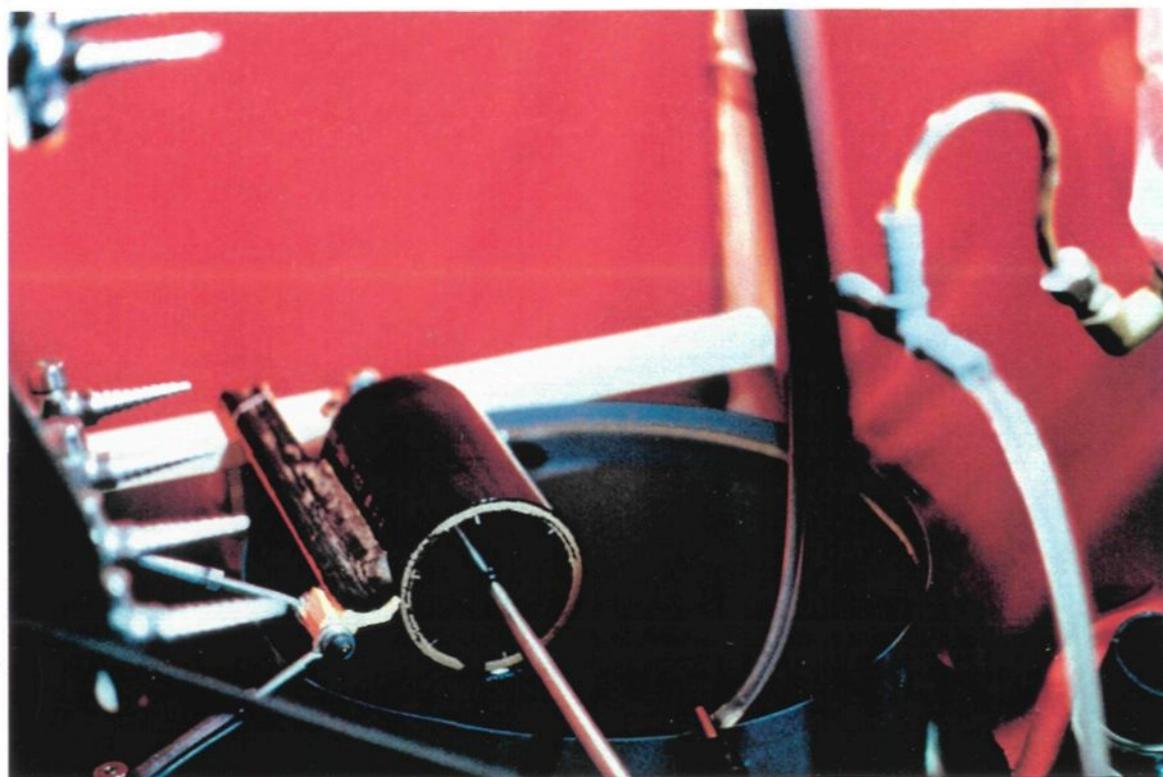


Fig.3 Dispositif utilisé pour enlever le film d'huile à la surface des bassins expérimentaux.

la surface dès leur émergence de l'oeuf, le courant les entraînait dans le deuxième bassin, permettant ainsi leur récupération sans risque pour les oeufs encore en incubation. De plus, McElman et Balon (1979) ayant constaté que la phase de l'éclosion s'accompagne d'une diminution de la concentration de l'oxygène dissout dans les bassins d'incubation, il apparaissait opportun de séparer le plus tôt possible les sujets éclos de ceux qui luttent encore pour se libérer, ces derniers étant confinés dans un espace relativement restreint. Les bassins d'incubation possédaient chacun un volume de 8,5 l dans la partie réservée aux oeufs et de 28,0 l dans celle destinée à recueillir les larves. Le débit était de 20 l h^{-1} .

Le contrôle de la température s'effectuait au moyen d'un refroidisseur et de chauffe-eaux portatifs installés dans les réservoirs supérieurs du meuble. Afin d'obtenir deux cohortes de sujets séparées dans le temps par un intervalle de plusieurs jours, les bassins d'incubations furent séparés en deux groupes de deux, appelé groupe "hatif" (comprenant les bassins "A" et "B") et groupe "tardif" (comprenant les bassins "C" et "D"). Les bassins "C" et "D" recevaient une eau provenant du réservoir où agissait le refroidisseur, tandis que les bassins "A" et "B" étaient alimentés par le deuxième réservoir, où intervenaient les chauffe-eaux. Les régimes thermiques utilisés pour produire ces deux cohortes sont présentés au tableau 1.

3.1.4 Les bassins expérimentaux

La conception générale des bassins d'expérimentation est basée sur un article de Lewis et Heidinger (1981), qui soulignent l'importance d'obtenir une configuration du fond du bassin et du courant d'eau susceptible de maintenir en suspension les petites particules de nourriture offertes aux

TABLEAU 1 : Régime thermique utilisé lors de l'incubation.

| Jour | Température (°C) | |
|------|------------------|-------------------|
| | Bassins "hatifs" | Bassins "tardifs" |
| 1 | 9,1 | 6,8 |
| 2 | 10,4 | 7,2 |
| 3 | 10,6 | 7,0 |
| 4 | 11,5 | 7,3 |
| 5 | 11,9 | 7,4 |
| 6 | 12,1 | 7,4 |
| 7 | 12,5 | 7,8 |
| 8 | 13,0 | 8,2 |
| 9 | 13,2 | 8,1 |
| 10 | 12,9 | 8,0 |
| 11 | 13,3 | 8,0 |
| 12 | 13,7 | 8,7 |
| 13 | 13,4 | 9,2 |
| 14 | 14,8 | 8,8 |
| 15 | 13,0 (éclosion) | 8,4 |
| 16 | -- | 9,6 |
| 17 | -- | 9,3 |
| 18 | -- | 9,0 |
| 19 | -- | 9,4 |
| 20 | -- | 9,1 |
| 21 | -- | 9,4 |
| 22 | -- | 9,2 |
| 23 | -- | 9,5 |
| 24 | -- | 9,3 |
| 25 | -- | 9,7 |
| 26 | -- | 9,9 |
| 27 | -- | 10,1 |
| 28 | -- | 10,0 |
| 29 | -- | 10,1 |
| 30 | -- | 10,8 |
| 31 | -- | 10,2 |
| 32 | -- | 10,5 |
| 33 | -- | 12,5 (éclosion) |

larves du bar rayé (*Morone saxatilis*). D'autres auteurs (Krise et Meade, 1978, Nickum, 1978 et Nickum *in* Stickney, 1986) ont émis des recommandations semblables. En accord avec l'avis de Nickum (1978) qui mentionne que le taux de renouvellement de l'eau devrait être de 200% par heure au moins afin de minimiser les risques de propagation des maladies, un débit de 200 l h^{-1} fut maintenu durant l'expérience, dans chacun de ces bassins de 100 l.

Le maintien d'une température adéquate était assuré par l'injection d'eau chaude dans le système d'alimentation en eau en amont du bassin de réserve où s'effectuaient la filtration et l'oxygénation de l'eau. Le cumul des degrés-jours auxquels furent exposés les sujets dans ces bassins (à partir de l'éclosion) est présenté au tableau 2.

C'est donc un courant ascendant et giratoire qui était produit au fond du cône. Le niveau de la surface était réglé par la hauteur du coude dans le tuyau d'évacuation. Soulignons encore ici la nécessité de recourir à un dispositif de drainage de l'aquarium qui offre suffisamment de surface pour ne pas générer une vitesse de courant trop forte à la sortie.

Au nombre de cinq, ces bassins dont les parois furent fabriquées selon nos spécifications par "Solar Component Corporation", (Manchester, N.H. U.S.A.), ont été percés d'un orifice de 5 cm de diamètre dans la partie supérieure afin d'y aménager une fenêtre permettant d'observer les spécimens. Les bassins #1 et #2 devaient recevoir de la nourriture "préparée", c'est-à-dire de la moulée pour larves de doré et les bassins #3 et #4 devaient recevoir de la nourriture vivante en l'occurrence des Nauplii d'*Artémia salina*. Le bassin #5 pour sa part ne servait qu'à générer (suite aux applications de moulée ou autres substances contenant des huiles) un film d'huile qui serait acheminé au bassin #4 par un canal reliant la surface des

TABLEAU 2 : Cumul des degrés-jours dans
les bassins expérimentaux

| JOUR | TEMPERATURE (°C) | DEGRES-JOURS |
|------|------------------|--------------|
| 1 | 13,5 | 200,4 |
| 2 | 13,2 | 213,6 |
| 3 | 15,0 | 228,6 |
| 4 | 15,7 | 244,3 |
| 5 | 17,0 | 261,3 |
| 6 | 16,0 | 277,3 |
| 7 | 17,0 | 294,3 |
| 8 | 17,8 | 312,1 |
| 9 | 18,5 | 330,6 |
| 10 | 19,0 | 349,6 |
| 11 | 20,0 | 369,6 |
| 12 | 20,0 | 389,6 |
| 13 | 20,0 | 409,6 |
| 14 | 20,0 | 429,6 |
| 15 | 21,0 | 450,6 |
| 16 | 22,0 | 472,6 |
| 17 | 23,0 | 495,6 |
| 18 | 19,0 | 514,6 |
| 19 | 21,0 | 535,6 |
| 20 | 20,5 | 556,1 |
| 21 | 20,5 | 576,6 |
| 22 | 18,2 | 594,8 |
| 23 | 17,3 | 612,1 |
| 24 | 17,5 | 629,6 |
| 25 | 18,0 | 647,6 |
| 26 | 17,0 | 664,6 |
| 27 | 17,0 | 681,6 |
| 28 | 17,0 | 698,6 |
| 29 | 17,5 | 716,1 |
| 30 | 18,0 | 734,1 |
| 31 | 18,5 | 752,6 |
| 32 | 19,0 | 771,6 |
| 33 | 19,5 | 791,1 |
| 34 | 20,0 | 811,1 |
| 35 | 20,5 | 831,6 |
| 36 | 21,0 | 852,6 |
| 37 | 22,0 | 874,6 |
| 38 | 21,5 | 896,1 |

deux aquarium , le niveau de ce dernier étant légèrement inférieur.

Sachant (Krise et Meade, 1986) que des parois d'aquariums de couleurs claires ou réfléchissantes ont la propriété nocive d'attirer les larves de doré qui négligent ainsi de s'intéresser à la nourriture qui leur est offerte, nous avons recouvert les parois internes des quatre bassins d'élevage d'une couleur gris-foncée mate et non-toxique. Cette teinte était recommandée par Corazza et Nickum (1981).

Le protocole expérimental visant à obtenir des situations d'élevage où, pour chaque type d'aliment (préparé et vivant), on retrouverait des conditions avec et sans film de surface, un dispositif (figure 3) fut installé afin de prélever ce film à la surface des bassins #1 et #3.

Conçu d'après les conseils du Dr. Michel Gagnon, de l'Université du Québec à Chicoutimi, ce dispositif se composait d'un cylindre de polychlorure de vinyle de 10 centimètres de diamètre animé d'une rotation de deux tours min^{-1} et d'une lame de néoprène qui en assurait le nettoyage. Le caractère fortement hydrophobe de la couche d'huile en surface la faisait adhérer au cylindre qui la déposait ensuite avec un peu d'eau sur la lame dont la légère inclinaison assurait l'égouttement.

Les bassins #2 et #4 furent équipés d'un système semblable, non-opérationnel cependant, dans le but d'uniformiser les conditions expérimentales.

La nourriture offerte étant de deux types différents, deux systèmes d'alimentation distincts ont été utilisés pour l'administration de cette nourriture. Les deux systèmes fonctionnaient en permanence, et la distribution des aliments était organisée de telle façon qu'il y en ait constamment à la portée des sujets, dans la colonne d'eau.

Pour la nourriture préparée, en l'occurrence la moulée AP-100 (Zeigler Bros., Pa. U.S.A.) de 250 et 500 u, un mécanisme automatique inspiré de celui mis au point par Charlon et Bergot (1986) fut installé et permettait de distribuer 30 fois par heure une petite quantité de moulée (de l'ordre de quelques mg). Toutefois, la petite taille des particules de cette moulée de type "calante" en rendait l'immersion impossible à moins qu'elle ne fut préalablement mouillée par un brassage dans l'eau. Ce problème fut résolu en plaçant la distributrice au-dessus d'un récipient qui, lorsqu'il était rempli jusqu'à un certain niveau coïncidant avec celui du coude du tube d'évacuation, se vidait aussitôt dans celui-ci en produisant un mouvement de tourbillon qui mélangeait la nourriture à la masse liquide. Un tube en "Y" séparait ensuite le flot en deux parts égales, qui étaient acheminées directement sous la surface de l'eau des bassins d'élevage destinés à recevoir ce type de traitement. La figure 4 montre une partie de ce système, qui assurait un apport de nourriture fraîche à toutes les quatre à cinq minutes.

La dose de moulée par sujet par jour correspondait à plus de 100% du poids vif de ceux-ci au début de l'expérience, ce qui est justifié par le faible attrait exercé par cet aliment sur les jeunes dorés. L'application d'une dose trop forte de moulée devait toutefois être évitée, étant susceptible d'engendrer une baisse de la qualité de l'eau et un besoin accru de nettoyage du milieu, une opération toujours délicate lorsqu'on travaille avec de petits organismes.

Les données retrouvées dans la littérature divergent considérablement en ce qui concerne la quantité d' *Artemia salina* à fournir aux alevins. Colesante *et al.* (1986), par exemple suggèrent une ration de 445 Nauplii par jour par individu. Li et Mathias (1982), quant à eux ont trouvé que la densité

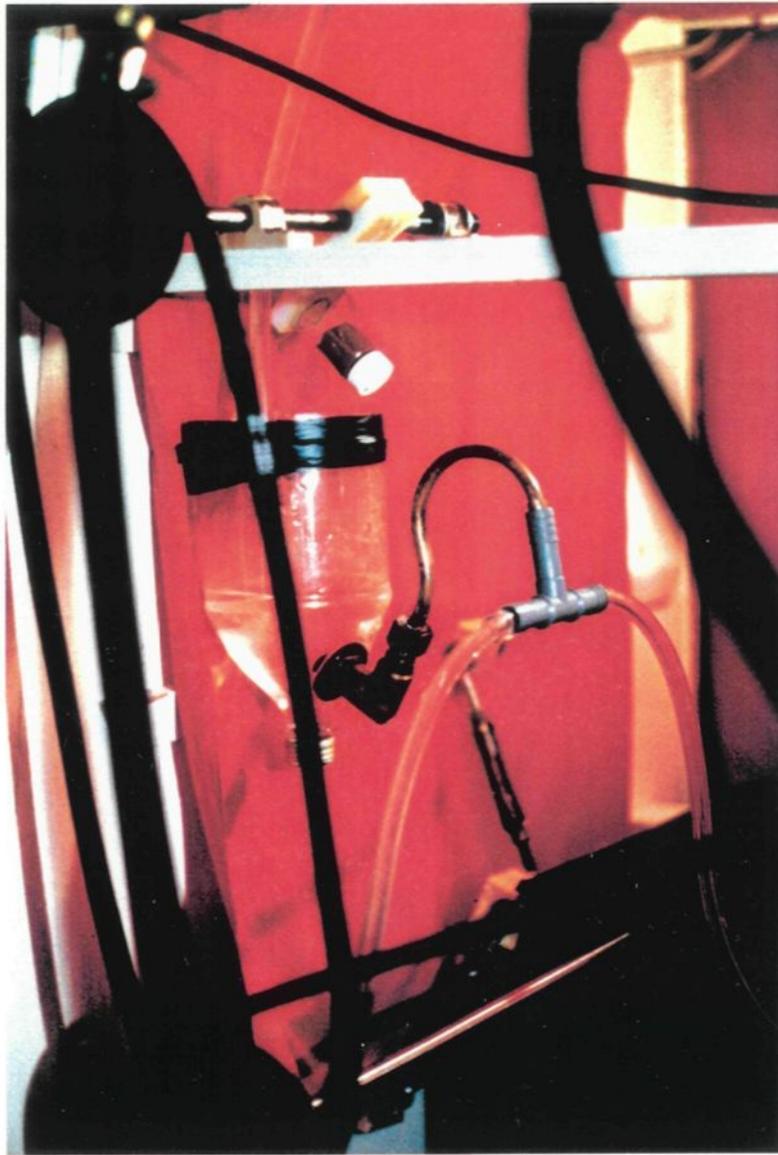


Fig.4 Système de distribution de moulée desservant les bassins #1 et #2.

optimale de proies était de 100 à 200 par litre pour une densité de 1 à 10 larves par litre, dans un aquarium sans échange d'eau. Notre système fonctionnant avec un taux de renouvellement d'eau de 200% par heure, il eut fallu, pour fournir 150 Artémies par litre en tout temps faire éclore 1400000 oeufs par jour, ce qui correspond à la mise en incubation de 9,33 g d'oeufs par jours, (en tenant compte de notre succès d'incubation moyen mesuré de 67%). Nous avons choisi d'incuber 4,5 g d⁻¹, donc d'assurer la présence d'approximativement 70 Nauplii l⁻¹ à tout moment, ce qui équivaut, pour un effectif initial de 400 larves par bassin, à 844 Nauplii par jour par individu.

Des oeufs d'Artémies étaient mis en incubation à tous les 8 heures dans une eau à 10 pour mille de salinité agitée par un fort bullage et laissée à la température ambiante (21 à 24 °C). Quelques heures seulement après leur éclosion, les Nauplii étaient conduits dans leur solution saline par une pompe péristaltique vers un récipient (semblable à celui utilisé pour humecter la moulée) qui se vidait lui aussi à intervalle de 4 à 5 minutes dans les bassins expérimentaux. Approximativement 1,6 litre d'eau à 10 pour mille de salinité était ainsi ajouté trois fois par jours à 3 200 litres d'eau, ce qui ne lui confèrait qu'une très faible salinité.

3.2 Matériel biologique

3.2.1 Les géniteurs

Les poissons utilisés pour la production des sujets expérimentaux provenaient de l'embouchure de la rivière Belle-Rivière (71°47" longitude ouest, 48°25" latitude nord), à l'endroit où elle se jette dans le lac St-Jean. Avec l'assistance du Ministère des Loisirs, de la Chasse et de la Pêche, deux séances de capture furent effectuées.

Le 11 mai 1989, alors que la température de l'eau atteignait 8,5 °C, quatre dorés, un mâle et trois femelles gravides, furent capturés. Le 15 mai, alors que la température de l'eau était de 11,0 °C, une femelle ayant frayé fut capturée et relâchée sur le site de frai situé quelques kilomètres en amont. Un mâle fut également capturé et gardé. A l'embouchure, où la température de l'eau s'était réchauffée à 13,5 °C, six mâles et deux femelles gravides furent pêchés.

Nous disposions donc de 8 mâles et de 5 femelles pour procéder à la reproduction. Malgré la forte fécondité de cette espèce le prélèvement d'un tel nombre de géniteurs était nécessaire en raison d'une possible asynchronie entre l'état reproducteur des sujets.

3.2.2 La fécondation

En effet, une seule des femelles capturées était prête à pondre ; elle fut utilisée le 18 mai, ainsi que trois mâles. Les sujets furent préalablement anesthésiés dans une solution de 1/7000 de MS 222. Le protocole détaillé suivi lors de la fécondation des oeufs est présenté à l'annexe 1. Un volume de 500 ml d'oeufs fut réparti dans les quatre bassins d'incubation.

Évalué aussitôt à partir de l'apparence des oeufs (seuls les oeufs fécondés conservent leur apparence translucide), le succès de la fécondation atteignait 76,5%.

3.2.3 L'incubation

Le 27 mai, quelques oeufs du bassin "B" présentaient une apparence légèrement duveteuse, premier symptôme d'une attaque de la couvée par des champignons. Un traitement à la formaline (1/600) fut appliqué le lendemain, à l'aide d'une pompe péristaltique injectant une solution plus concentrée de formaline dans le réservoir supérieur. Cette procédure fut répétée le 30 mai à deux reprises.

Le 31 mai les premières larves éclosaient. Notre expérience exigeant l'utilisation d'un grand nombre de sujets (2000 ayant le même âge à un jour près) en raison du fort taux de mortalité prévu, ces premiers spécimens furent placés dans un aquarium (bassin *6) qui devait finalement recueillir près de 5 600 larves dont le développement fut suivi à des fins complémentaires à notre expérience.

La période d'intensité maximale d'éclosion dura du 3 au 4 juin pour les bassins d'incubation "A" et "B" et du 20 au 21 juin dans le cas des bassins "C" et "D". Les sujets de l'expérience menée sur la première cohorte ont éclos le 3 juin et ceux qui ont servi à l'expérience réalisée avec la deuxième cohorte ont éclos entre le 21 et le 23 juin.

3.3 L'échantillonnage

3.3.1 Première cohorte

Afin de permettre à un nombre suffisant de spécimens d'atteindre la fin du stade larvaire dans les bassins expérimentaux, l'échantillonnage en cours d'expérience se devait d'être limité à de petits nombres et ajusté en fonction de la survie observée. Entre l'introduction des larves tout juste écloses et le début de l'application des conditions expérimentales différentielles (film d'huile et alimentation), les sujets morts pouvaient être ramassés et comptés, ce qui a permis d'ajuster les effectifs à 400 sujets par bassins au jour 7 de l'expérience. Par la suite, l'accumulation de débris au fond des bassins et le cannibalisme ont rendu impossible le décompte des morts. Une évaluation quotidienne subjective de la situation était alors réalisée, basée sur les niveaux d'activité observables dans chacun des bassins. Le tableau 3 résume, dans les colonnes de gauche, l'évolution des effectifs en fonction du temps selon les trois seuls points connus avec certitude et précision, tandis que les colonnes de droite indiquent la fréquence ainsi que les effectifs des échantillonnages de sujets sains.

Cet échantillonnage était réalisé à l'aide d'une petite épuisette qui était plongée dans les bassins de façon à recueillir des larves nageant dans la colonne d'eau. Occasionnellement, des sujets inertes étaient prélevés au fond des bassins à l'aide d'un siphon. Plusieurs de ces spécimens furent examinés par le moyen de coupes histologiques. L'objectif principal poursuivi par cette intervention était le suivi de l'évolution du conduit pneumatique et de la vessie natatoire. Des spécimens furent également recueillis du bassin #6, ce qui a permis de comparer le développement de ceux-ci avec les alevins des

TABLEAU 3 : Evolution des effectifs dans les bassins expérimentaux

| Jours | Bassins | | | | | | | |
|-------|---------|--------|------|-----|------|-----|------|-----|
| | *1 | | *2 | | *3 | | *4 | |
| | eff.(1) | pr.(2) | eff. | pr. | eff. | pr. | eff. | pr. |
| 7 | 400 | | 400 | | 400 | | 400 | |
| 9 | | 5 | | 5 | | 5 | | 5 |
| 10 | | 2 | | 2 | | 2 | | 2 |
| 11 | | 2 | | 2 | | 2 | | 2 |
| 12 | | 28 | | 25 | | | | |
| 13 | | 3 | | 3 | | 3 | | 3 |
| 14 | | | | | | 7 | | 5 |
| 15 | | 5 | | 5 | | 5 | | 5 |
| 17 | 24 | 24 | 115 | 115 | | 5 | | 5 |
| 21 | | | | | | 18 | | 18 |
| 27 | | | | | | 10 | | 10 |
| 34 | | | | | 1 | 1 | | |
| 38 | | | | | | | 6 | 6 |

(1) effectifs

(2) prélèvements

bassins expérimentaux et de poursuivre l'étude morphologique au-delà du stade de développement ultimement atteint dans les conditions expérimentales. Lorsque l'état ou le petit nombre des survivants forçait l'interruption de l'expérience en cours dans un bassin, les sujets encore vivants étaient repérés par l'aspect translucide de leurs tissus ou leur réaction au contact de la solution de formaldéhyde 10% dans laquelle les sujets échantillonnés étaient conservés.

Une centaine de spécimens furent enrobés dans la parafine selon la méthode standard. Approximativement 12 000 coupes de 12 microns d'épaisseur (plus ou moins 2 microns) en ont été obtenues puis colorées par la méthode du trichrome de Masson. Plusieurs de celles-ci ne présentaient pas d'intérêt pour l'étude du développement de la vessie natatoire, tandis que d'autres, mieux localisées, ont été endommagées au cours du montage sur lame, ce qui rendait nécessaire la préparation et l'enrobage d'un spécimen supplémentaire (du même âge et provenant du même bassin), lorsque disponible. Les coupes les plus pertinentes furent réexaminées plusieurs fois, à mesure que s'ajoutaient des éléments nouveaux susceptibles d'améliorer notre compréhension de l'organisation et du développement de la vessie natatoire.

Des mesures de croissance en longueur furent réalisés sous binoculaire à l'aide d'un micromètre à cadran permettant une précision de plus ou moins 0,05 mm sur 318 des spécimens préservés. Afin d'éviter de biaiser les comparaisons entre les bassins "avec" et "sans" film d'huile en surface, lorsque des données provenant de sujets inertes furent utilisés, ils le furent de façon similaires (dans le temps et en nombre) . Les données furent traitées à l'aide du logiciel de traitement statistique "Stat View 512+".

3.3.2 Deuxième cohorte

Les spécimens utilisés lors de la deuxième expérience étaient issus des bassins d'incubation "C" et "D" dont la conception et le fonctionnement est décrit à la section 3.1.4. Les conditions de développement qu'ils ont connus sont donc différentes de celles du groupe de spécimens ayant servis lors de la première expérience, principalement en ce qui concerne le régime thermique durant la période d'incubation. Rappelons toutefois que l'origine génétique de ces sujets est la même que celle de la première cohorte, puisqu'ils proviennent des mêmes géniteurs.

Quelque 33 jours après la fécondation, les éclosions atteignaient une fréquence maximale dans les bassins d'incubation "C" et "D". Les bassins expérimentaux #1 et #2, disponibles, furent dès lors numérotés respectivement #7 et #8 et reçurent alors 300 sujets chacun. Le débit fut fixé à $1,1 \text{ l m}^{-1}$, assuré par les bassins d'alimentation en eau du système d'incubation. La température fut augmentée graduellement de 13,5 à 18,5 °C tout au long de cette expérience, qui s'étala sur 17 jours.

Dès le début, il apparut clairement que les larves de cette cohorte n'étaient pas aussi animées que celles de la précédente, en dépit d'une apparence physique normale. L'eau alimentant ces bassins provenant désormais d'un système de filtration moins performant au niveau de l'élimination du chlore, ce facteur fut soupçonné d'être à l'origine du problème, mais la concentration de chlore libre, testée, demeurait sous le seuil de détection. Néanmoins, au jour 4 de cette expérience, la grande majorité des sujets étant de toute évidence morts (confirmé par l'opacité des tissus) ou inertes, les bassins furent vidés et quelques spécimens conservés dans une solution de formaldéhyde à 10%.

Les bassins d'incubation "C" et "D" ayant généré de nouveaux spécimens, 100 d'entre-eux furent introduits dans un des bassins expérimentaux. L'âge de ces spécimens devait se situer entre 0 et 4 jours, ce qui fut confirmé par l'examen visuel (ouverture de la bouche et présence de réserves vitellines encore abondantes).

Quatre conditions de surface furent utilisées; la surface était alternativement propre, recouverte d'un film d'huile, constellée de coquilles d'oeufs d'artémies ou encombrée par un film d'huile incluant des coquilles d'oeufs d'artémies. Le film d'huile était créé par l'addition à la surface du bassin d'un mélange de 2,5 grammes d'oeufs de doré (séchés à froid) dans 100 ml d'eau, tandis que la couverture de coquilles de crevettes était générée par l'ajout de 2 centimètres cubes de ce matériel prélevé sur les parois d'un incubateur d'artémies. Le nettoyage de la surface était effectué en ramassant l'eau en surface à l'aide d'un récipient, au moins 45 minutes avant les séances d'observations. Entre les séances (à l'exclusion de ce délai de 45 minutes), la surface du bassin était laissée dans l'état qui prévalait lors de la dernière séance. Un total de 24 séances d'observation de 15 minutes chacune furent réalisées, dont 11 avec une surface propre et 13 avec une surface encombrée. Parmi ces dernières, 2 séances comportaient l'utilisation d'un film mixte d'huile et de coquilles, 7 séances furent réalisées sous un film d'huile et 4 séances eurent lieu alors que la surface était constellée de coquilles. Signalons que dans le but d'éviter l'interférence causés par l'accumulation de coquilles en surface provenant de la solution d'artémies fraîchement écloses administrée aux sujets à des fins alimentaires, les oeufs (cystes) utilisés étaient préalablement "décapsulés" par la méthode décrite par Sergeloos *et al.* (1977) impliquant un bain d'acide

hypochlorique.

Les temps de présence en surface furent chronométrés par un observateur situé sur le côté du bassin et mesurant l'activité en surface d'un alevin à partir du moment où celui-ci faisait contact avec la surface et jusqu'à ce qu'il descende à plus de 0,5 cm approximativement sous la surface. Advenant le cas où deux sujets ou plus fréquentent la surface simultanément, le temps de présence en surface d'un seul alevin était mesuré.

Un comportement spécial fut remarqué chez les sujets lors de ces périodes d'observation, soit celui qui consiste à nager vers la surface pour ensuite s'immobiliser dans une position quasi-verticale mais souvent légèrement renversée sur le dos, avec l'extrémité de la mâchoire inférieure semblant s'être "accrochée" à la surface. Bien que ce type de comportement ait été considéré comme faisant partie du "temps passé en surface" pour fins de comparaisons entre les deux groupes d'observation, ces périodes de "temps en suspension" furent consignées de façon distincte de la simple présence en surface, de façon à ce les différences éventuelles à ce niveau puissent être mises en évidence. Le total des temps en surface et des temps en suspension par séance fut compilé et les données furent traitées à l'aide du logiciel de traitement statistique "Stat View 512+".

Chapitre 4

Résultats

4.1 Croissance, survie et gonflement de la vessie natatoire des sujets dans les bassins "expérimentaux".

Peu après le début de l'alimentation exogène, il devint évident que malgré le fait que la moule AP 100 soit ingérée, dans une certaine proportion, par les alevins des bassins #1 et #2, ceux-ci ne connaissaient pas le même rythme de croissance que leur congénères alimentés avec des artémies. Le cannibalisme s'y développa par contre plus rapidement et prit des proportions plus grandes. Les courbes reproduites à la figure 5 illustrent la différence de croissance observée. (Un complément d'information sur les courbes est présenté en annexe 2.)

Des différences furent également mesurées entre les bassins #1 et #2 (figure 6) et entre les bassins #3 et #4 (figure 7). En fonction d'un test "t de Student" réalisé sur des sujets au douzième jour de l'expérience, la différence observée entre les longueurs totales moyennes des échantillons des bassins #1 (n=23) et #2 (n=20) est significative au seuil de confiance de 95%. Les spécimens ayant vécu dans un bassin avec un film d'huile en surface étaient donc plus longs que ceux ayant évolué dans le bassin où le film de surface était enlevé. La différence entre les longueurs moyennes atteint 5,2% (0,44 mm).

Le même patron se répète dans le cas des bassins #3 et #4. Dans ce

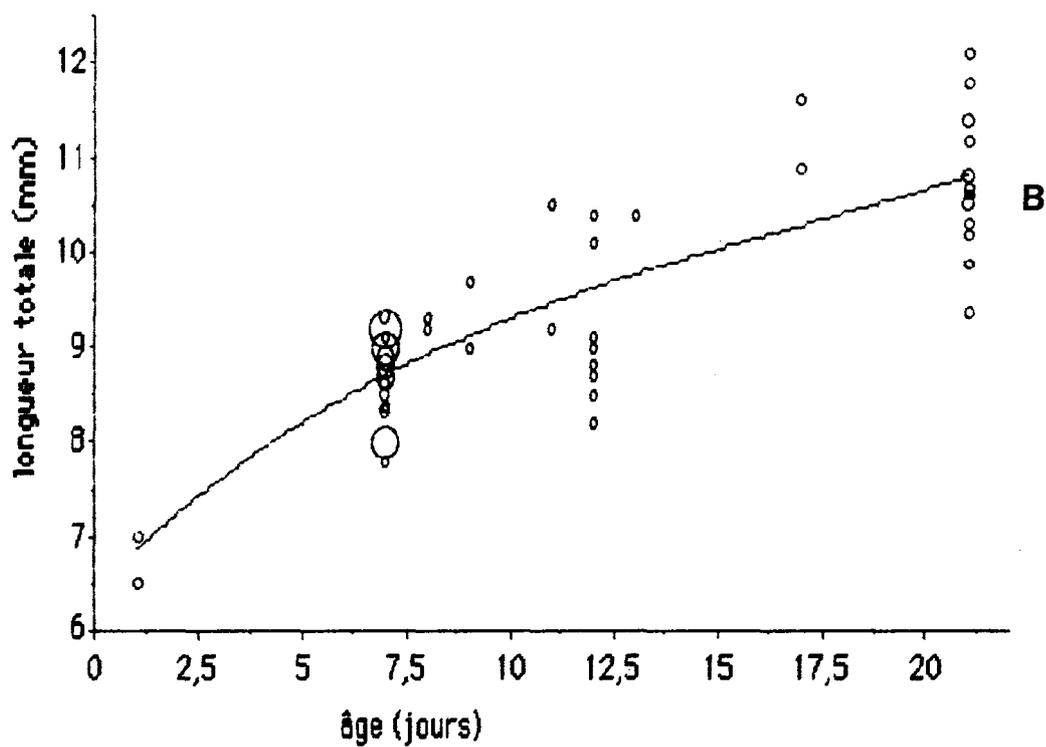
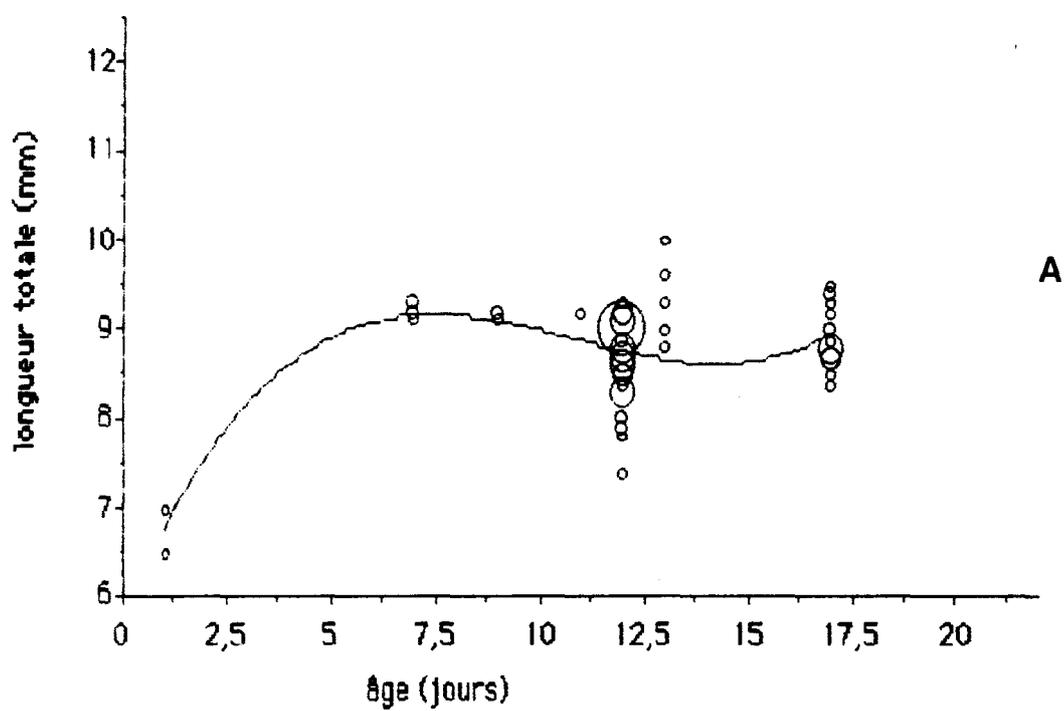


Fig. 5 Croissance des sujets alimentés de proies vivantes (bassins #3 et #4 :B) comparée à celle des sujets alimentés de moulée A-P 100 (bassins #1 et #2 :A).

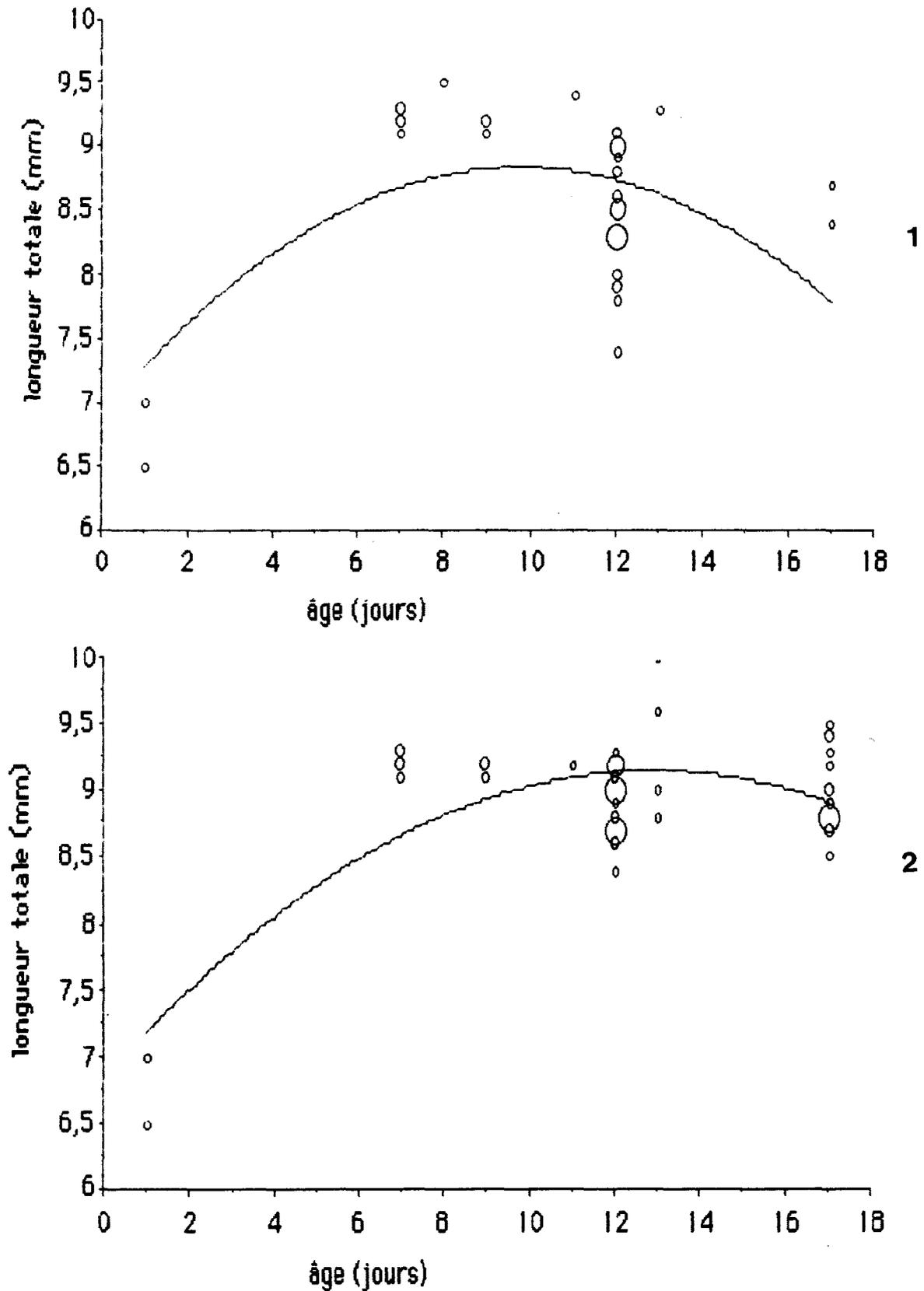


Fig. 6 Croissance comparée des sujets du bassin #1 (sans film de surface) et du bassin #2 (avec film de surface).

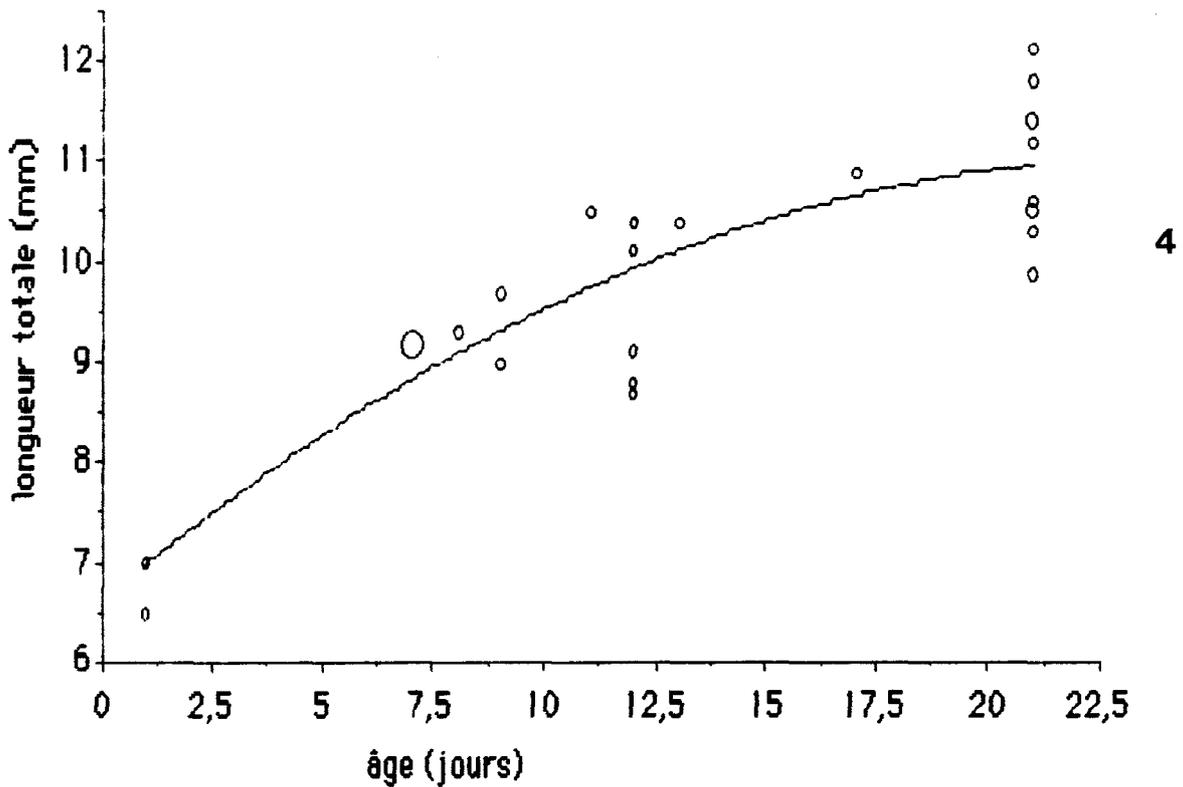
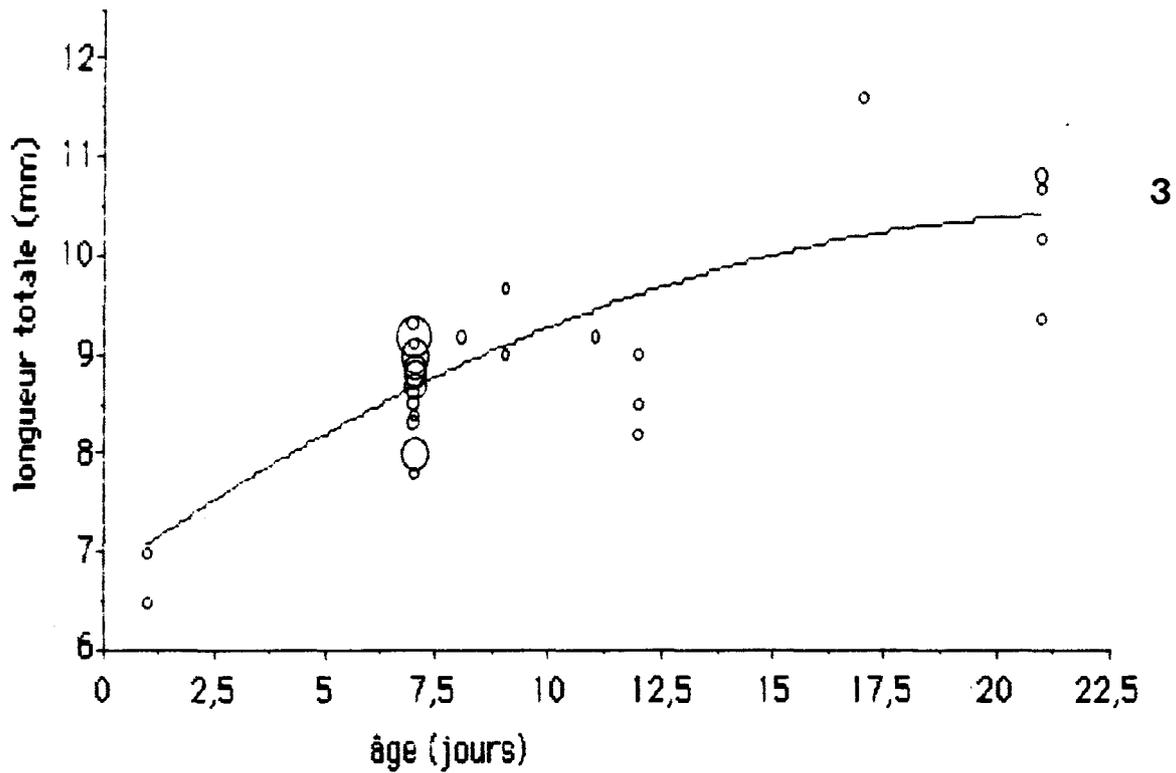


Fig. 7 Croissance comparée des sujets du bassin #3 (sans film de surface) et du bassin #4 (avec film de surface).

cas-ci, la longueur moyenne des sujets du bassin #4 (n=10) à 21 jours est supérieure de 5,7% (0,59 mm) à celle des sujets du bassin #3 (n=5). Toutefois, ce n'est qu'en adoptant un intervalle de confiance de 90% pour la moyenne du bassin #3 que la longueur moyenne des sujets du bassin #4 s'en détache de façon certaine, tandis que la réciproque est vraie même avec un intervalle de confiance de 95% autour de la moyenne de ceux du bassin #4.

L'expérience fut interrompue au 17^{ième} jour dans les bassins #1 et #2, en raison du piètre état des survivants, de leur nombre qui semblait décroître rapidement et des niveaux d'activité réduits observés dans ces bassins. Quelques 24 spécimens vivants furent alors retirés du bassin #1, alors que le bassin #2 en contenait encore 115. Au 34^{ième} jour, le bassin #3 fut vidé alors qu'un seul spécimen y demeurait toujours en vie. Quatre jours plus tard, les six derniers sujets survivants dans le bassin #4 étaient retirés. Aucun de ceux-ci ne semblait être en bonne condition.

Les spécimens issus des bassins où était administrée la moulée furent examinés sous binoculaire, ce qui permettait, les tissus étant encore translucides, de statuer sur l'état de développement de la vessie natatoire. Aucun des spécimens n'avait gonflé sa vessie natatoire au terme de l'expérience. Les coupes histologiques, réalisées sur 10 sujets du bassin #1 et sur 17 sujets du bassin #2, tous âgés de 17 jours; confirmèrent les observations faites au binoculaire en plus de générer des informations sur le processus de développement du conduit pneumatique reliant la vessie natatoire au tube digestif (section 4.2).

L'état translucide des tissus des larves de doré persista suffisamment jusqu'au 20^{ième} jour dans les deux autres bassins expérimentaux pour qu'une évaluation visuelle de l'état de développement de la vessie natatoire soit

réalisée lors de l'observation des sujets dans leur milieu. Bien que certains alevins semblaient présenter une vessie natatoire plus volumineuse que d'autres lors de ce type d'examen, aucun n'avait une vessie natatoire gonflée. Quelques 18 sujets par bassins furent prélevés et examinés en coupes minces au 21^{ème} jour. Un seul de ces spécimens, provenant du bassin #4, avait gonflé sa vessie natatoire.

4.2 Coupes histologiques

La comparaison du développement de la vessie natatoire entre les quatre bassins expérimentaux n'a pas permis de déceler de différences entre eux, dans la mesure où les spécimens connaissaient une croissance générale semblable. En d'autres mots, les sujets présentent une évolution comparable de leur organe hydrostatique tant que leur état général est comparable. Les différences observées par la suite sont attribuables à un retard de croissance engendré par des problèmes d'alimentation. En effet, le développement de la vessie natatoire est homogène dans tous les bassins de l'éclosion jusqu'au douzième jour approximativement, après quoi il ralentit et plafonne chez les sujets des bassins #1 et #2, visiblement sous-alimentés. Vers le milieu de la troisième semaine, la croissance des sujets des bassins #3 et #4 montre à son tour des signes évidents de retard sur celui des alevins du bassin #6, retard qui se répercute de façon marquée au niveau de la vessie natatoire et du conduit pneumatique. Il ne fut pas possible, par contre, d'établir une corrélation entre le développement de ces organes et les conditions prévalant à la surface.

Dans ces conditions, seules furent retenues, pour la description du développement présentée ici, les images générées par l'examen de sujets appartenant à des groupes dont la croissance (en longueur) était optimale. Dans la majorité des cas, les structures principales (le conduit pneumatique et la vessie natatoire) étaient visibles sur plusieurs coupes de sujets du même âge, ce qui permettait de choisir les images les plus représentatives de chaque étape du développement. Notre revue de la littérature n'ayant pas permis de trouver de descriptions, de schémas ou de photographies du conduit pneumatique chez le doré, celui-ci fut identifié par défaut, les autres structures susceptibles de remplir ce rôle ne présentant pas de *lumen*. Cette décision fut ensuite confirmée par la similitude observée avec celui du bar rayé (*Morone saxatilis*) (Doroshev et Cornacchia, 1979). Le conduit pneumatique étant particulièrement facile à identifier au cours de la première semaine post-éclosion, l'examen de sujets prélevés à quelques jours d'intervalle constitue un facteur de sécurité supplémentaire dans le suivi du développement de cette structure.

Chez des sujets âgés de 3 à 4 jours, en effet, l'oesophage et la vessie natatoire sont reliés directement par un conduit pneumatique relativement rectiligne et bien développé par rapport au reste de l'organisme (figure 8). Des coupes de larves de 7 jours (figure 9) montrent que le point de jonction du conduit pneumatique avec le tube digestif subit rapidement un déplacement vers la région gastrique tandis que son point d'insertion dans la vessie natatoire subit une rotation de 180 ° qui l'amène dans la zone supérieure et postérieure à celle-ci.

Vers le onzième jour, le point de rencontre entre les tubes digestif et pneumatique se situe maintenant immédiatement à l'entrée de l'estomac, ce

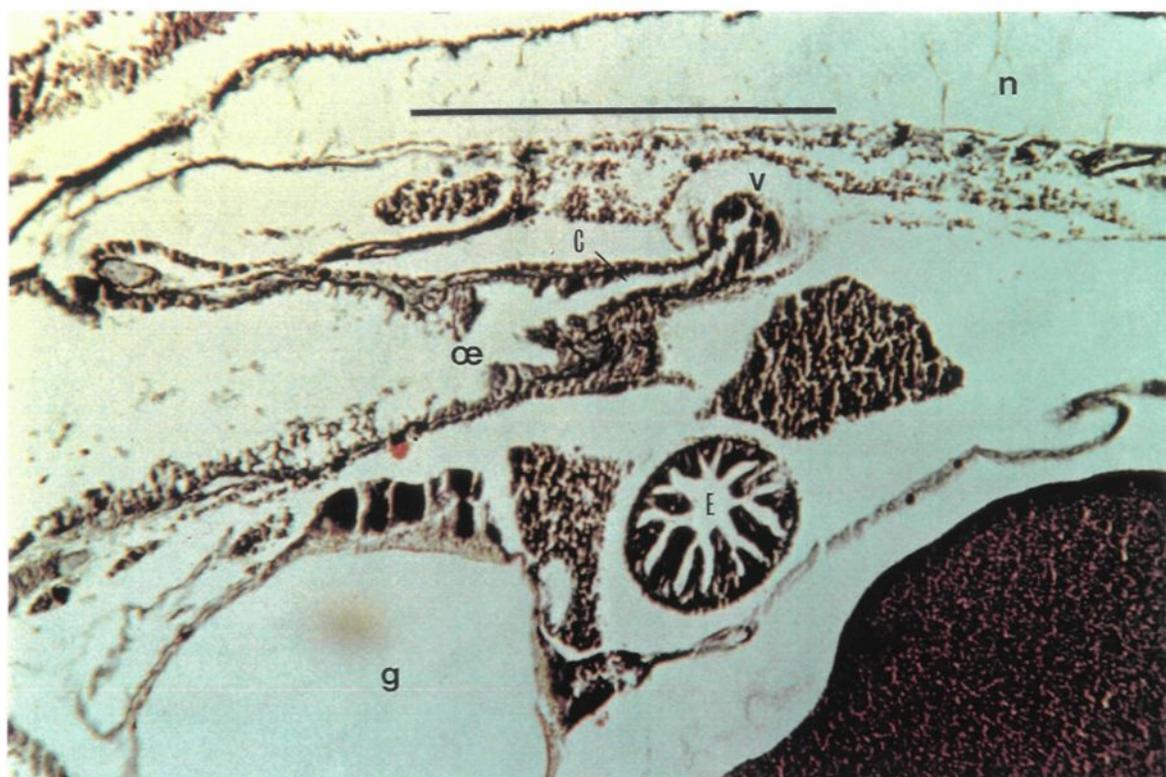


Fig.8 Section longitudinale d'un spécimen âgé de 3 jours montrant le lien entre la vessie natatoire et l'oesophage.

Légende utilisée pour les figures 8 à 20.

- = le trait noir représente 0.5mm
- a = cystes d'artémies
- C = conduit pneumatique
- E = estomac
- f = foie
- g = globule d'huile
- n = notochorde
- œ = oesophage
- r = réserve vitelline
- t = tube digestif
- V = vessie natatoire

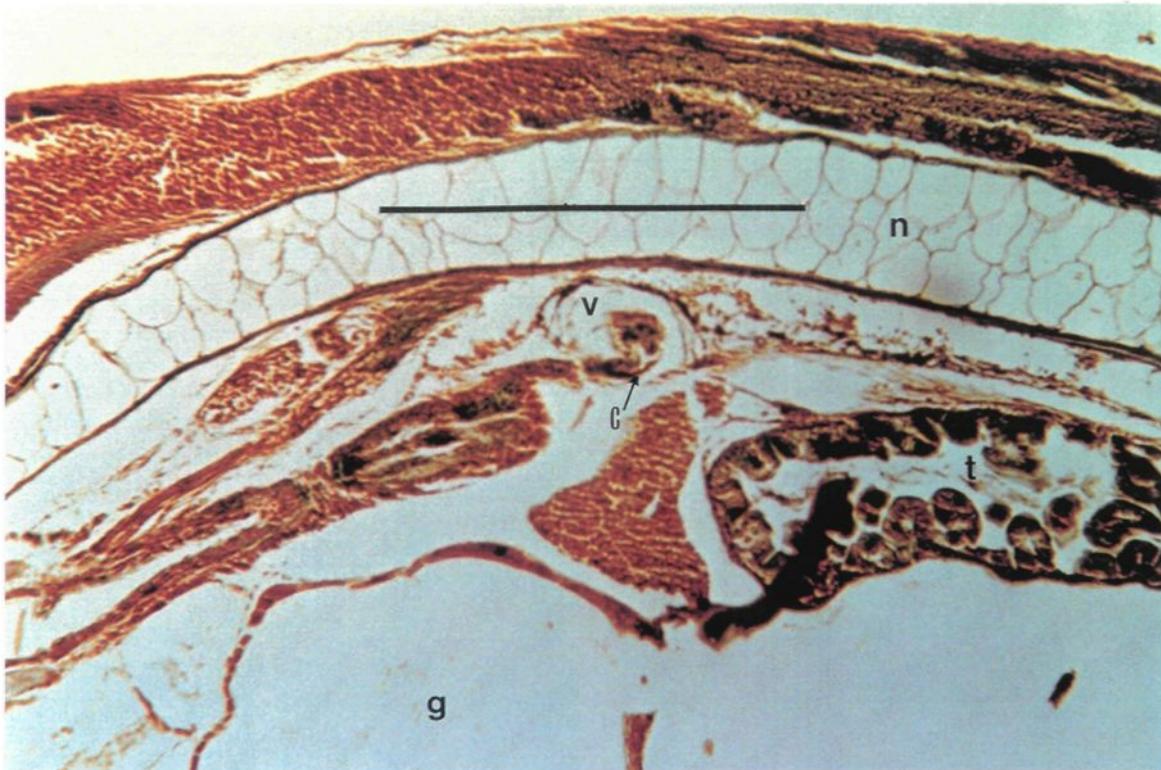
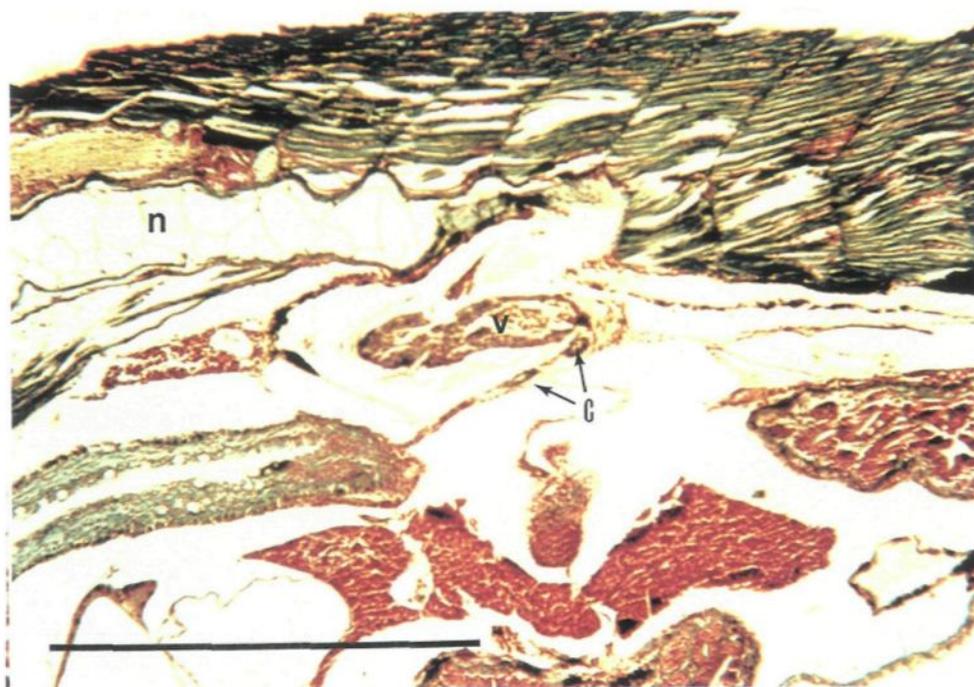


Fig.9 Section longitudinale d'un spécimen âgé de 7 jours.

qui confère au conduit pneumatique une trajectoire plutôt verticale (figure 10 et 11). Les parois de cette structure sont minces et le diamètre de sa lumière est relativement petit et variable. Les spécimens échantillonnés deux jours plus tard révèlent que le tube pneumatique aborde désormais le "carrefour gastrique" par l'arrière (figure 12). En vertu de cette configuration, le conduit pneumatique perd son association avec l'oesophage, ce qui n'est pas sans conséquences au niveau du mécanisme de gonflement de la vessie natatoire (section 5.2).

À 16 jours (figure 13), les parois du conduit pneumatique se sont développées considérablement. Celui-ci amorce un allongement qui lui fera décrire un méandre qui prend les allures d'une excroissance du tube digestif chez des sujets âgés de 18 jours (figure 14). À partir de ce stade, on constate qu'un grand nombre de coupes sont nécessaires afin de suivre le cheminement du conduit pneumatique. Les coupes de sujets de 21 et 22 jours (figure 15) ont montré des vessies natatoires pour la plupart non-gonflées mais plus volumineuses. Le diamètre de la lumière du conduit pneumatique semble variable entre les individus, mais il demeure toujours bien dégagé, ce qui lui confère l'apparence d'une structure fonctionnelle. À partir de cette phase du développement, la section du conduit pneumatique adjacente au tube digestif et se dirigeant vers l'arrière présente, chez la plupart des spécimens, des parois plus épaisses et un diamètre interne largement supérieur à celui observé sur la section adjacente à la vessie natatoire. En fait, la première portion a alors l'aspect d'une section de tube digestif et sera pour cette raison appelée dorénavant "section gastrique" du conduit pneumatique, par opposition à la section "pneumatique" du conduit. Souvent, d'ailleurs, des particules d'origine alimentaire y ont été observées. Ce



A

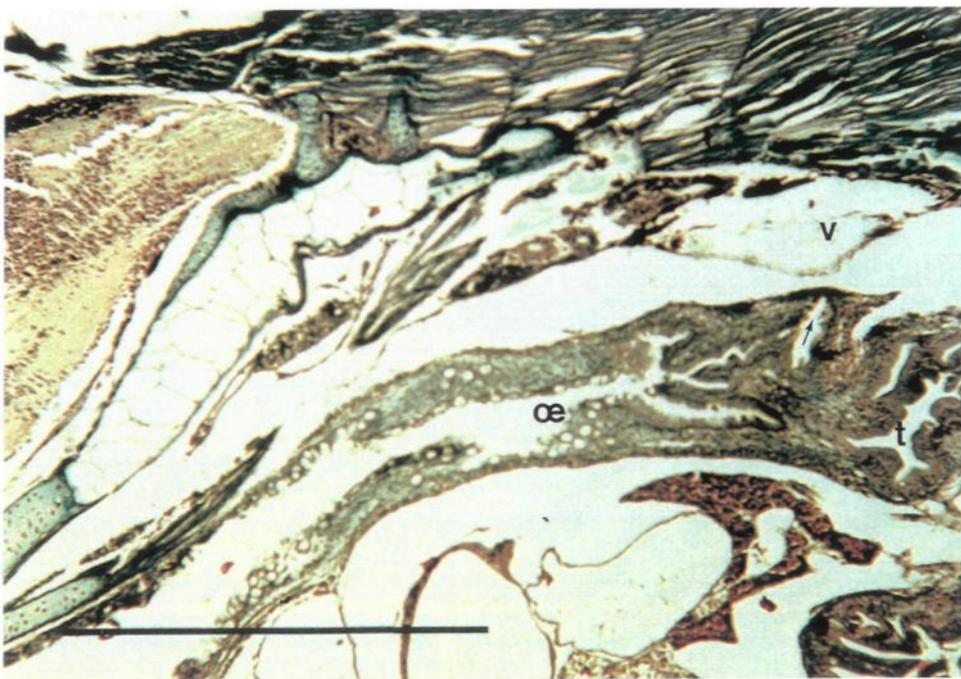


B

Fig.10 Sections longitudinales d'un spécimen âgé de 11 jours. **A**: le conduit pneumatique sectionné près de la vessie natatoire. **B**: quelques coupes plus loin.

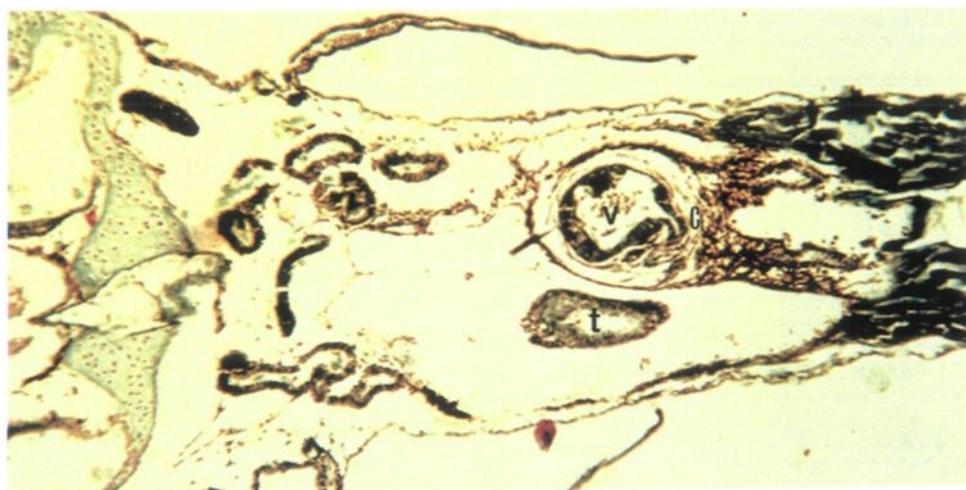


C



D

Fig.10(suite). C:Section réalisée à l'endroit où le conduit pneumatique atteint le tube digestif. Notons l'emplacement et la dimension de la globule d'huile. D:Section illustrant la lumière du tube digestif dirigée vers la vessie natatoire.



A

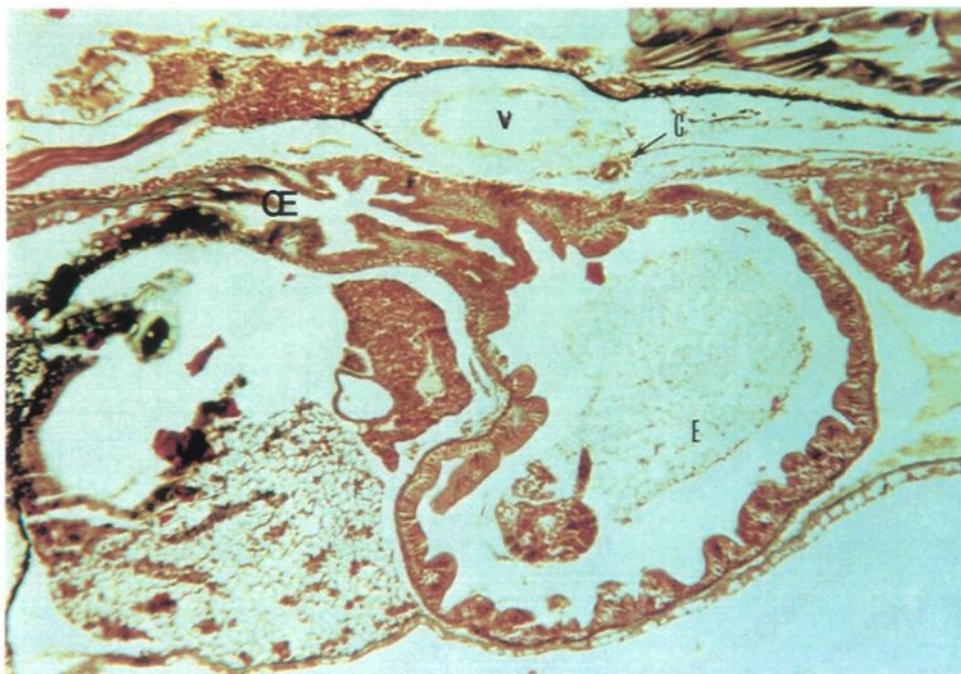


B

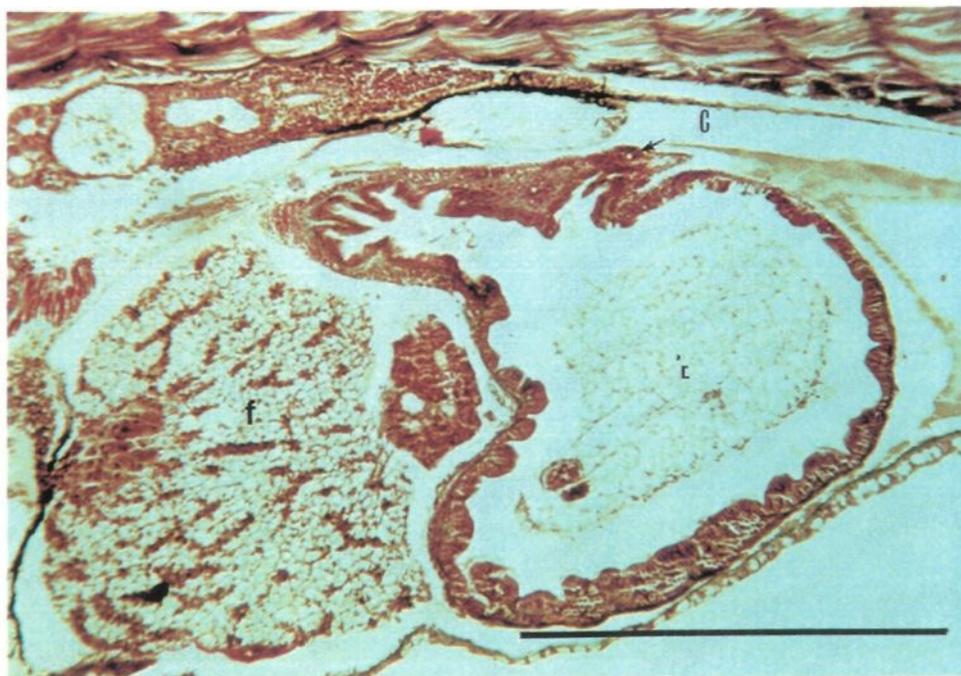


C

Fig.11 Série de coupes sagittales illustrant la disposition du conduit pneumatique chez une larve de doré âgée de 11 jours. A: alors qu'il quitte la vessie natatoire. B: à mi-chemin. C: abordant le tube digestif.

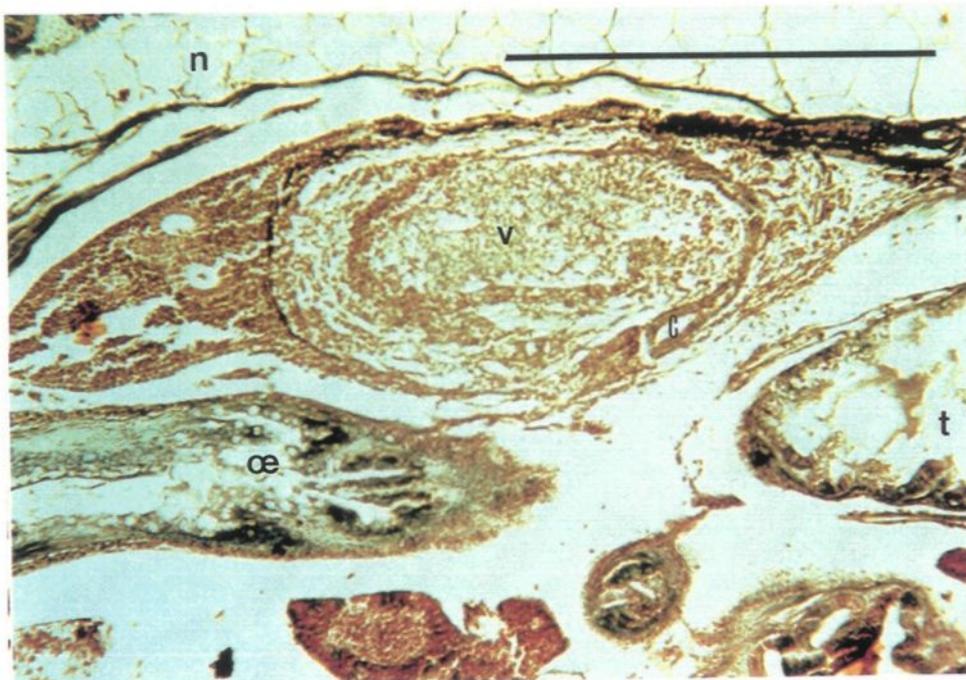


A

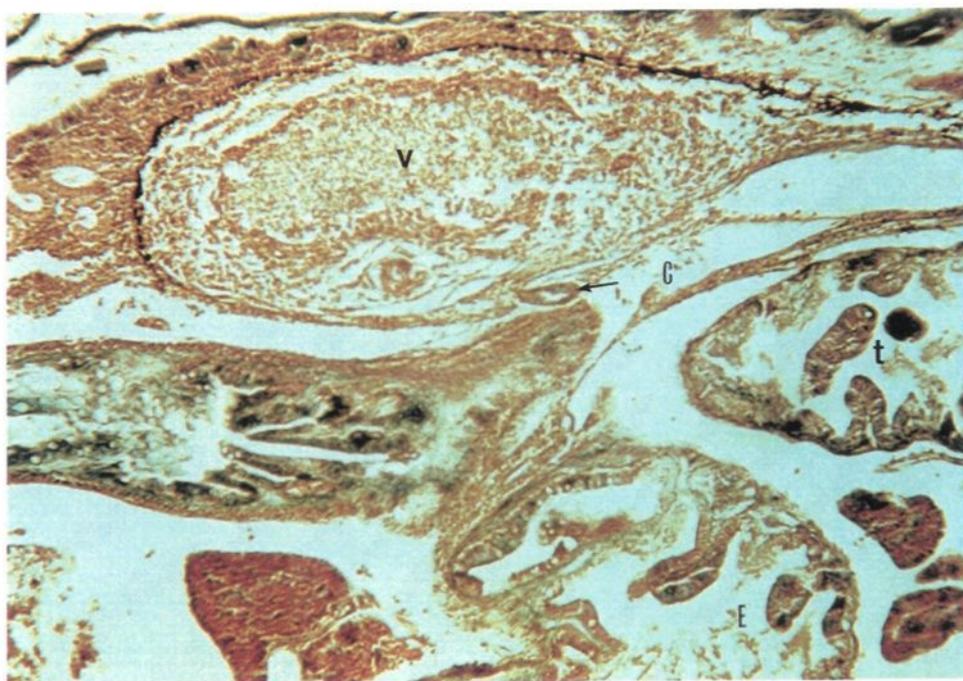


B

Fig.12 Sections longitudinales d'un spécimen âgé de 13 jours.
 A: le conduit pneumatique quitte la vessie natatoire. B: il aborde le tube digestif au-dessus de l'estomac.



A



B

Fig.13 Sections longitudinales d'un spécimen âgé de 16 jours. A: le conduit pneumatique quitte la vessie natatoire. B: il aborde le tube digestif au-dessus de l'estomac.

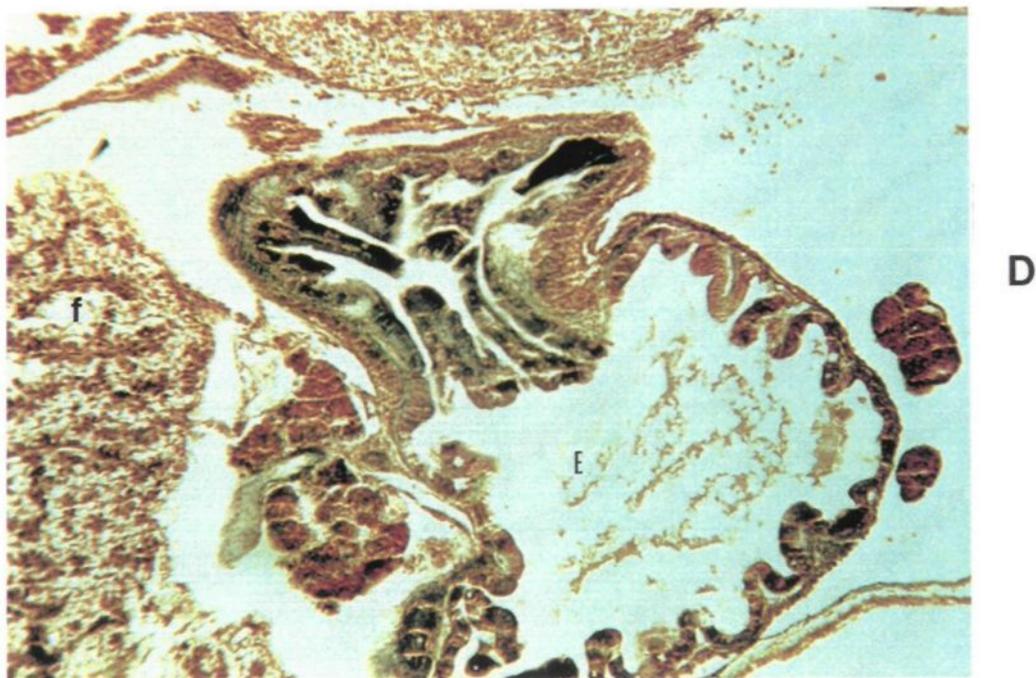
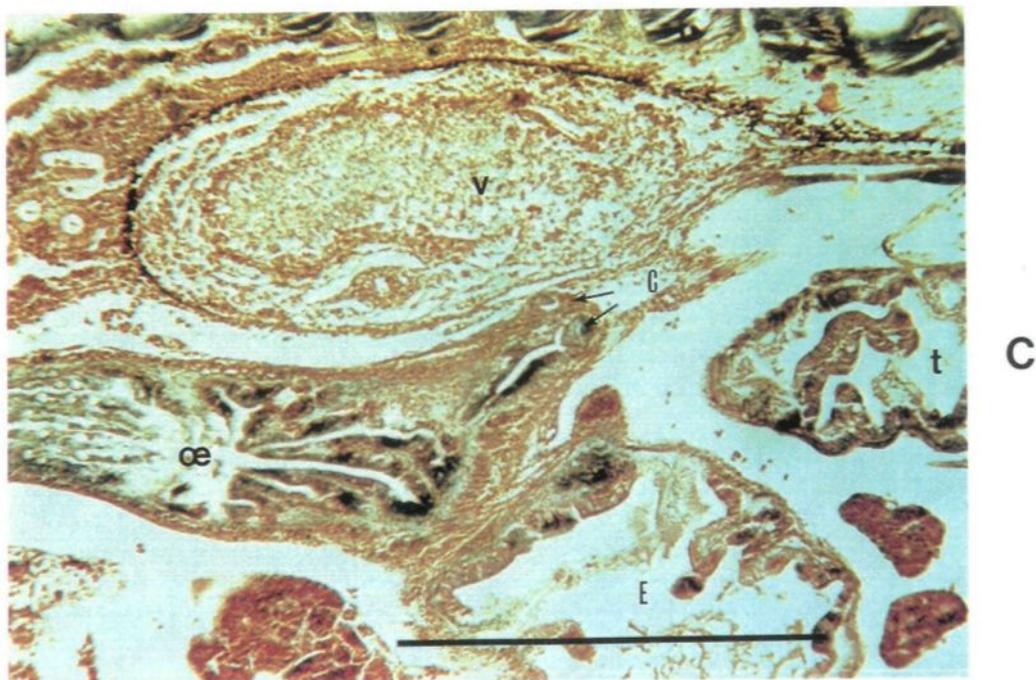
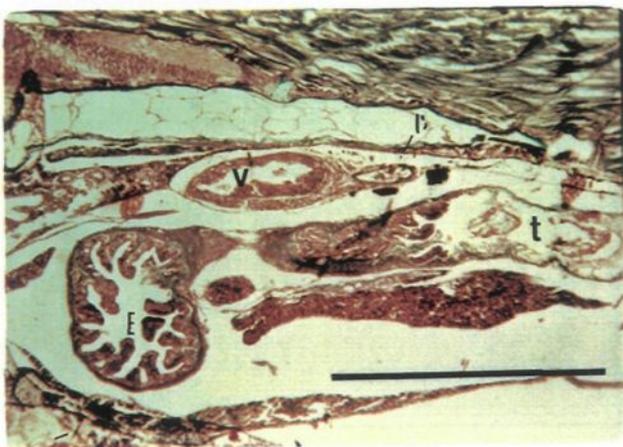
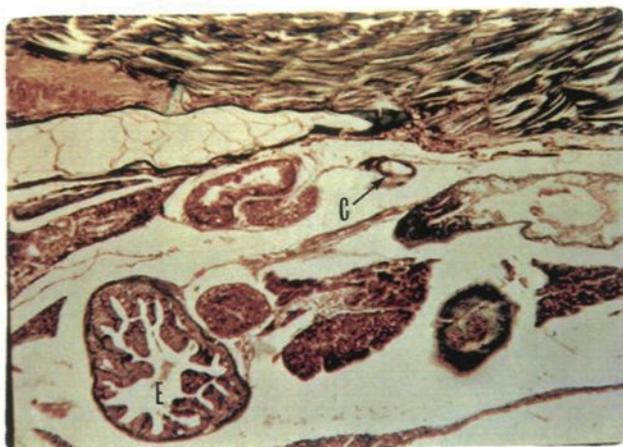


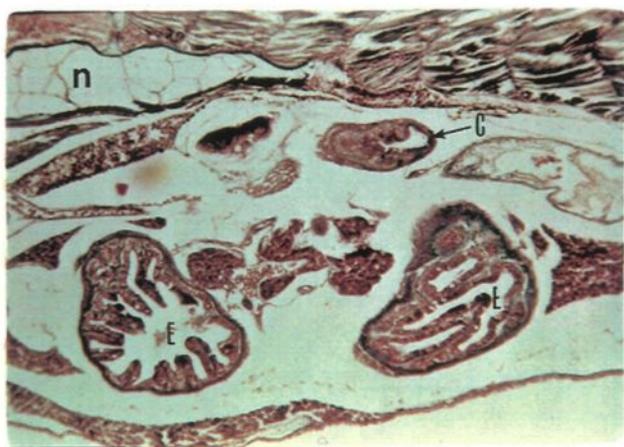
Fig.13(suite). C:section montrant le conduit pneumatique peu avant sa jonction avec la lumière du tube digestif. D:section montrant le lien direct entre le conduit pneumatique et le "carrefour gastrique".



A: le conduit pneumatique quitte la vessie natatoire,

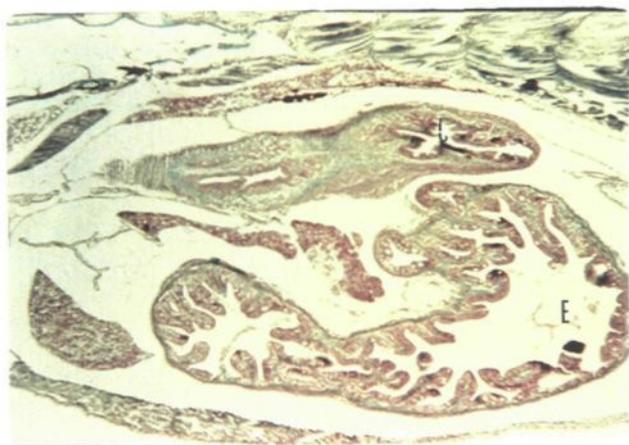


B: il poursuit son trajet vers l'arrière du spécimen,

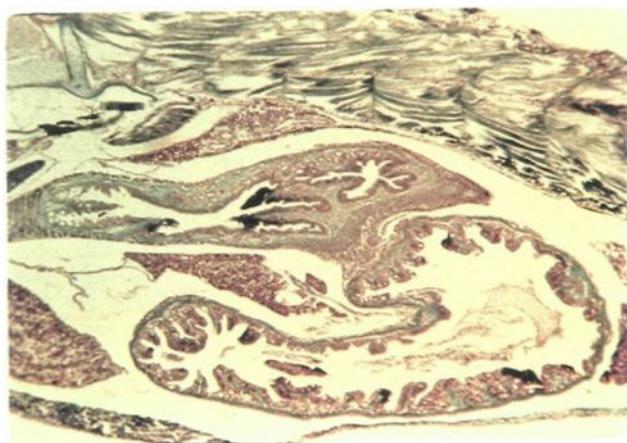


C: puis amorce un virage de 180° , alors que sa gaine s'est épaissie.

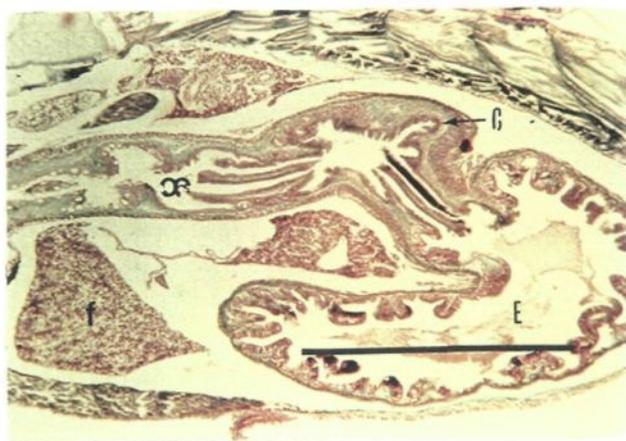
Fig.14 Sections longitudinales d'un spécimen âgé de 18 jours.



D: le conduit pneumatique apparait maintenant comme le prolongement du tube digestif

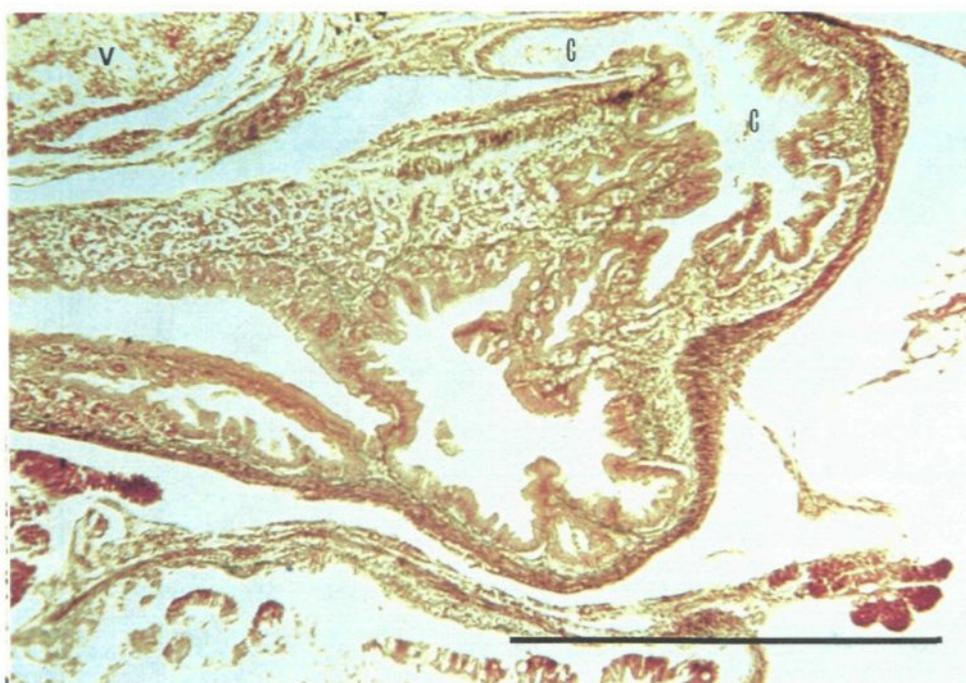


E: il semble rejoindre ici la lumière de l'oesophage...

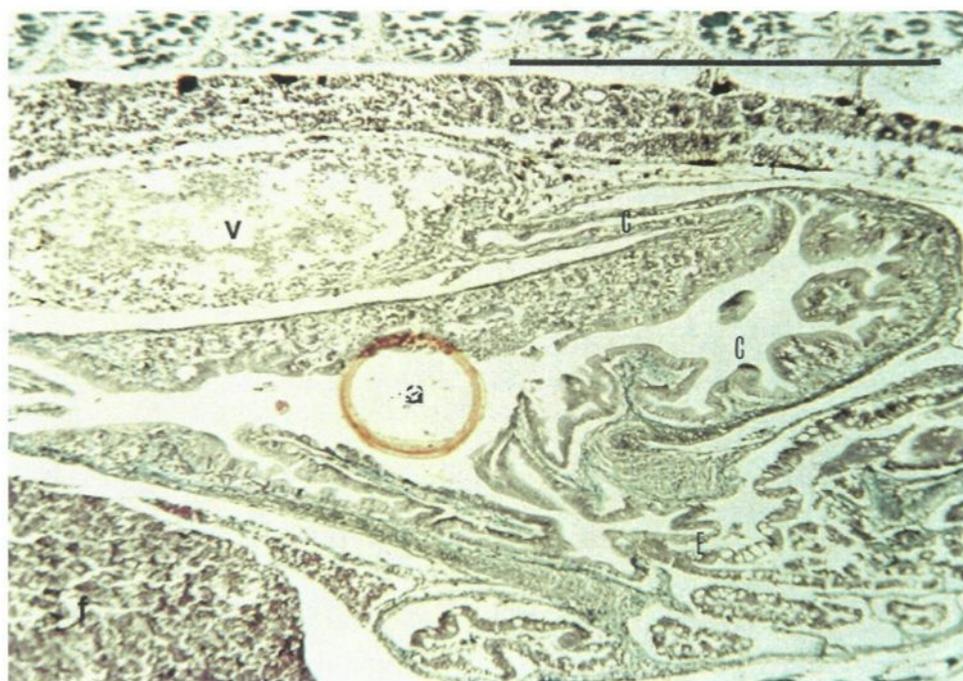


F: sur cette coupe on voit qu'il communique également avec le sac gastrique

Fig.14(suite). Sections longitudinales d'un spécimen âgé de 18 jours.



A



B

Fig.15 Sections longitudinales de larves âgées de 21 jours (A) et 22 jours (B) . Notons la présence d'une coque vide d'artémie chez le spécimen de 22 jours.

phénomène prenait parfois des proportions extrêmes, comme on peut le voir à la figure (16), impliquant un spécimen de 45 jours ayant rempli cette section d'artémies.

Des images du conduit chez un spécimen de 31 jours illustrent bien à quel point celui-ci peut se développer et devenir difficile à suivre (figure 17). Les sujets ont alors quitté le stade larvaire et leur vessie natatoire devrait normalement être gonflée, ce qui n'était pas le cas chez la majorité des spécimens échantillonnés. Il semble que dans ces conditions, la suite du développement implique la dégénérescence de la section "pneumatique" du conduit pneumatique, tandis que la section "gastrique" persiste et continue même à prendre de l'importance, comme l'illustre des images provenant d'un fretin de 81 jours (figure 18). Chez les quelques sujets échantillonnés ayant gonflé leur vessie natatoire (figure 19), la section "gastrique" est également bien visible, tandis qu'il fut impossible de retracer ne fut-ce qu'un vestige de la section du conduit en amont.

Les schémas de la figure 20 résument l'évolution des structures observée par le biais de ces coupes.

4.3 Résultats des observations sur le comportement en fonction de la qualité de la surface.

Les résultats de cette expérience (tableau 4) ont été traités en fonction du temps total passé en surface et du nombre de visites en surface par séance. La figure 21 illustre les temps mesurés alors que la surface était propre, tandis que la figure 22 présente ceux enregistrés lorsque la surface

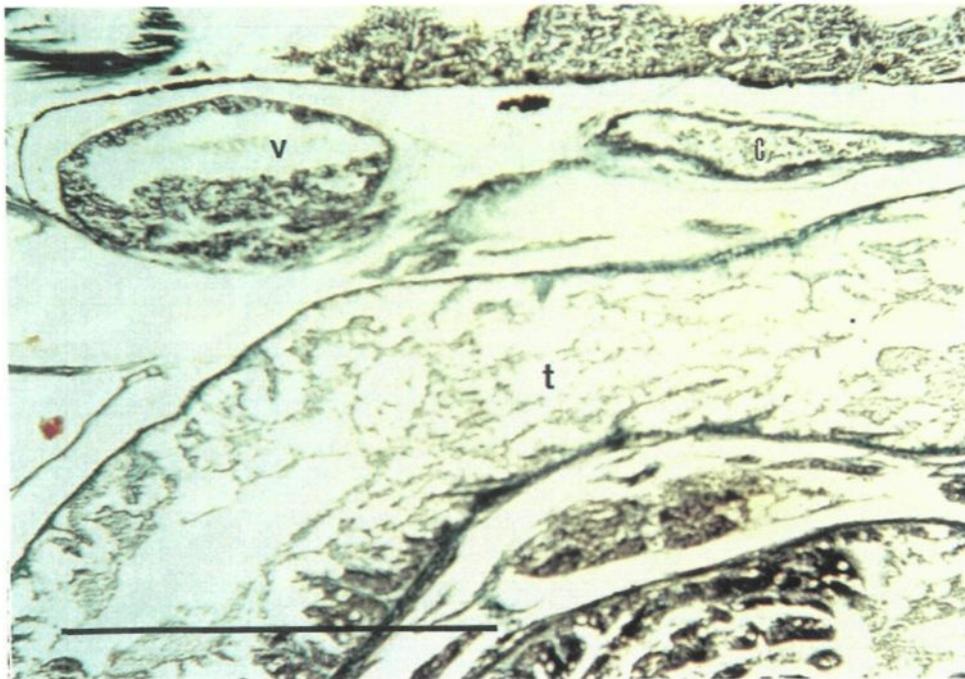


A

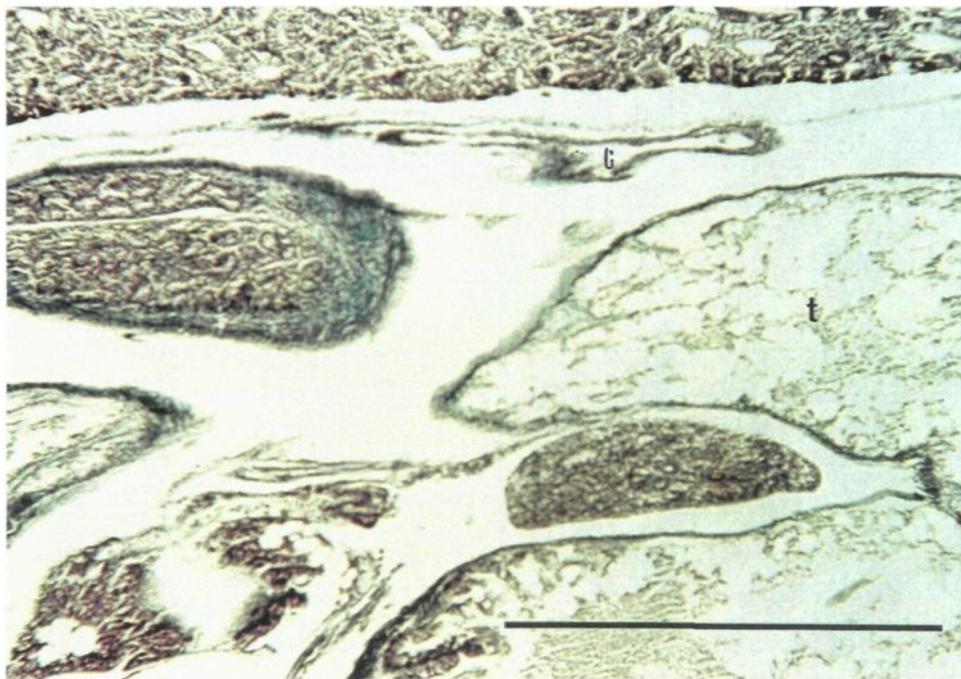


B

Fig.16 Sections longitudinales d'un spécimen âgé de 45 jours.
 A: la section "gastrique" (GG) du conduit pneumatique contient des cystes d'artémies. B: une autre coupe montre une partie de la section "pneumatique" (GP) du conduit pneumatique.

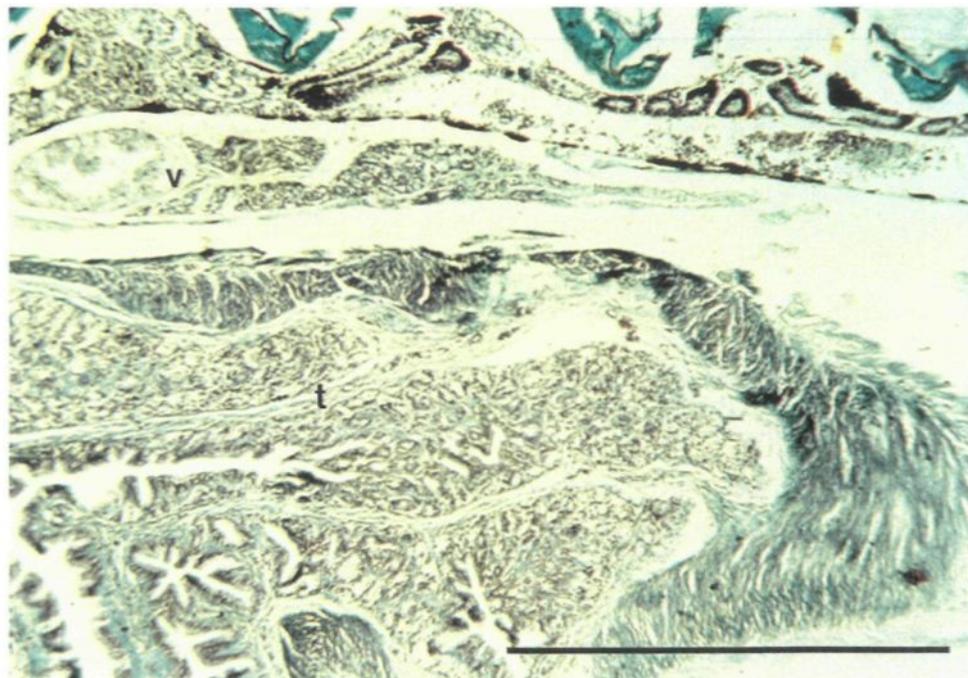


A

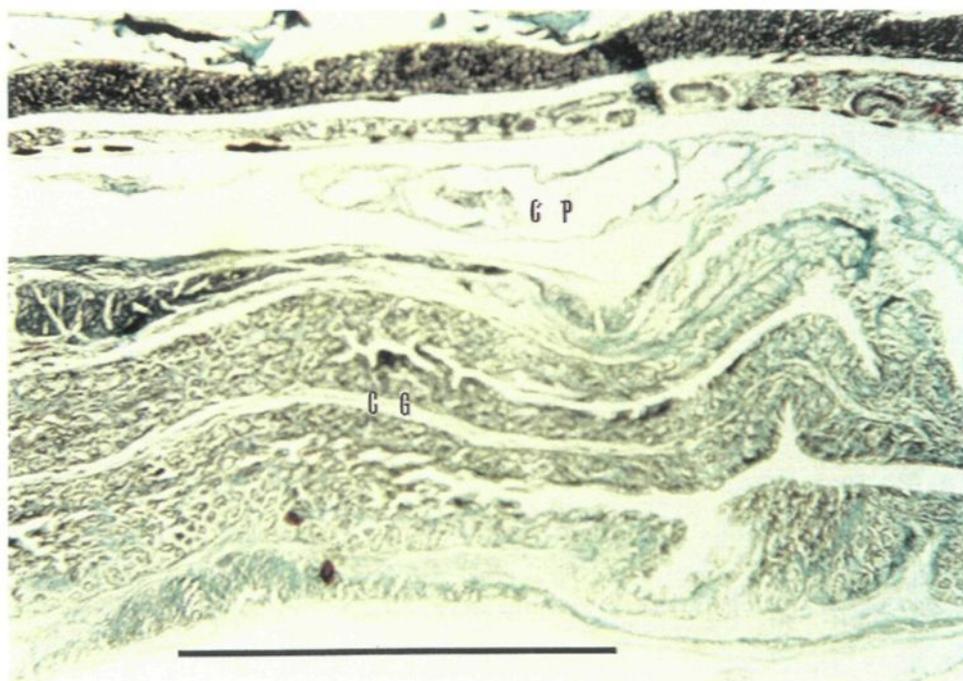


B

Fig.17. Sections longitudinales d'un spécimen âgé de 31 jours. A: la vessie natatoire et une partie du conduit pneumatique. B: autre section montrant une partie du conduit pneumatique.



A



B

Fig.18 Sections longitudinales chez un sujet âgé de 81 jours.
 A: vessie natatoire non-gonflée. B: point de rencontre entre les sections "gastrique" et "pneumatique" du conduit pneumatique. Notons les cloisons apparentes dans la section "pneumatique".

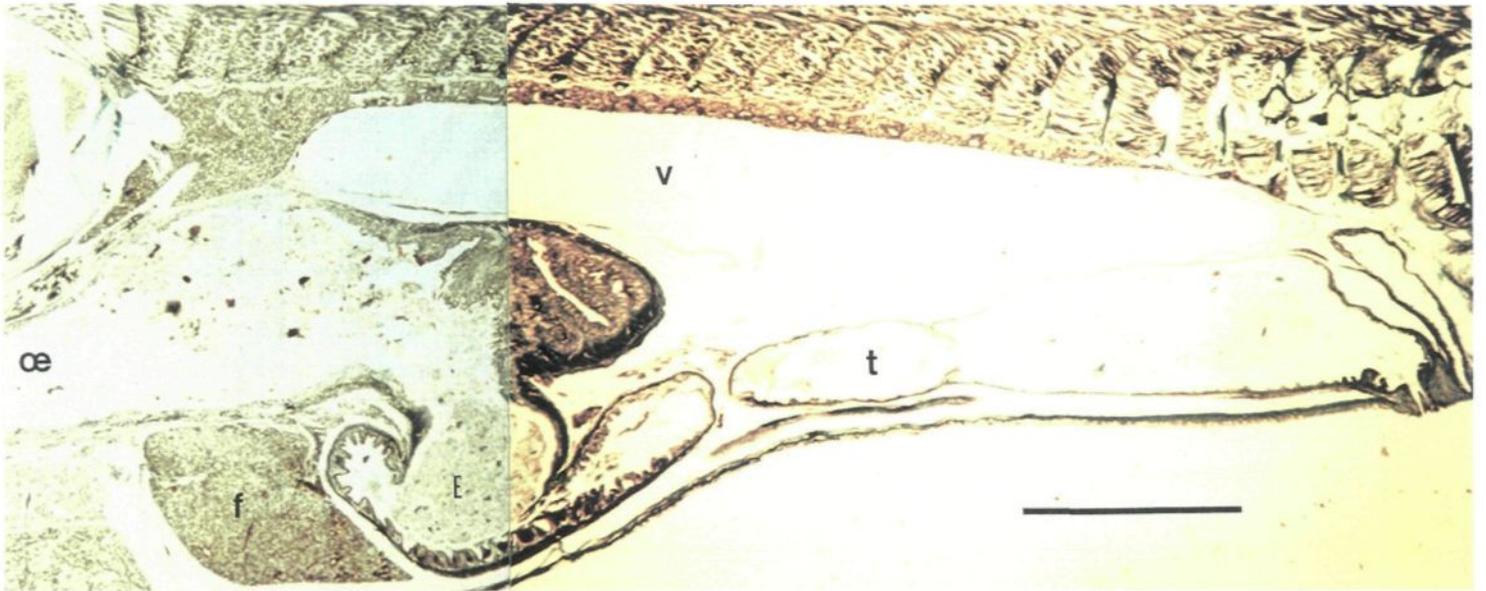


Fig.19 Section longitudinale d'un spécimen âgé de 60 jours ayant gonflé sa vessie natatoire.

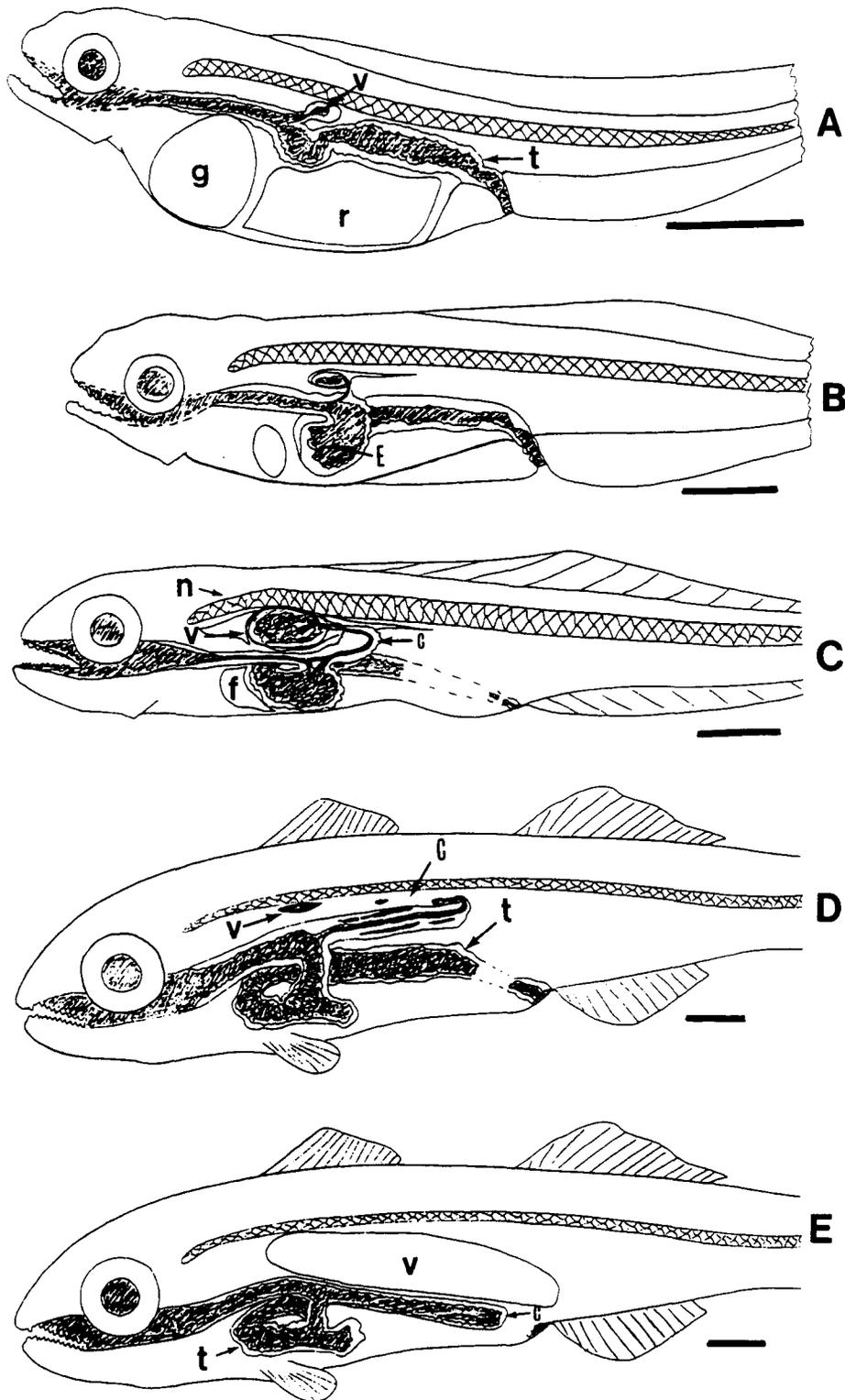


Fig.20 Résumé de l'évolution du conduit pneumatique reliant la vessie natatoire au tube digestif. A:sujet âgé de 3 jours. B:sujet âgé de 13 jours. C:sujet âgé de 18 jours. D:juvénile n'ayant pas gonflé sa vessie natatoire. E:juvénile avec sa vessie natatoire normalement gonflée. Le trait noir représente 1 mm.

Tableau 4 Résultats de l'expérience sur le comportement

| Jour | Nb. de visites | Temps total en surf. (secondes) | Suspension (secondes) | Nature du film |
|------|----------------|------------------------------------|--------------------------|----------------|
| 3,4 | 1 | 24 | 0 | Huile |
| 3,5 | 6 | 121 | 0 | Aucun |
| 4,4 | 2 | 53 | 0 | Huile |
| 4,5 | 6 | 82 | 0 | Aucun |
| 4,7 | 6 | 111 | 0 | Aucun |
| 4,8 | 1 | 3 | 0 | Huile |
| 5,5 | 1 | 4 | 0 | Huile |
| 11,6 | 6 | 198 | 106 | Aucun |
| 11,8 | 10 | 213 | 64 | Aucun |
| 11,8 | 8 | 332 | 296 | Aucun |
| 11,9 | 8 | 64 | 0 | Coquilles |
| 12,5 | 18 | 62 | 0 | Coquilles |
| 12,6 | 9 | 103 | 0 | Huile |
| 12,7 | 10 | 47 | 0 | Mixte |
| 12,8 | 14 | 658 | 291 | Aucun |
| 12,9 | 15 | 36 | 0 | Huile |
| 13,5 | 7 | 350 | 0 | Mixte |
| 13,6 | 0 | 0 | 0 | Aucun |
| 13,6 | 9 | 223 | 0 | Huile |
| 13,7 | 3 | 12 | 0 | Aucun |
| 14,6 | 3 | 840 | 825 | Aucun |
| 14,6 | 12 | 219 | 0 | Huile |
| 14,7 | 5 | 553 | 549 | Aucun |
| 14,9 | 8 | 175 | 0 | Coquilles |

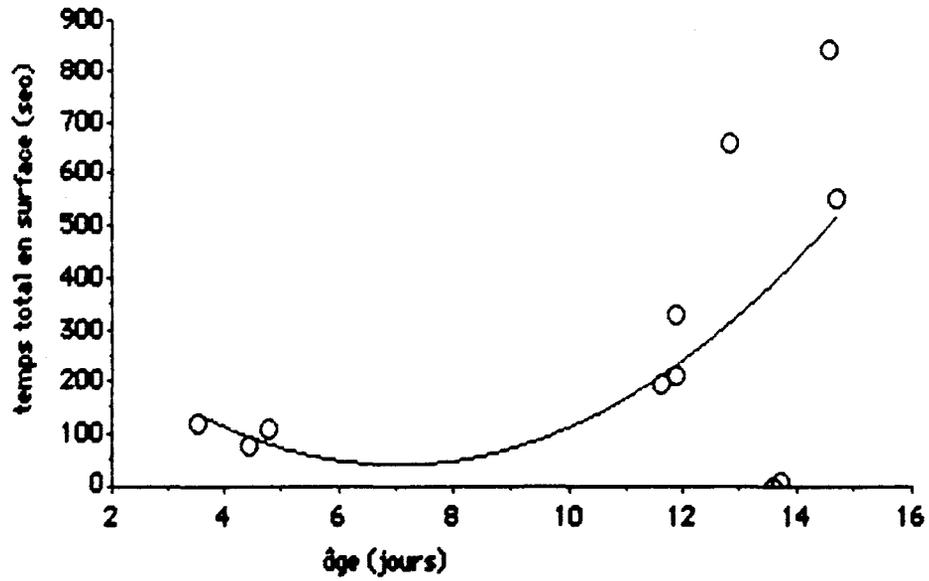


Fig. 21 Evolution du temps de présence en surface (alors que celle-ci était dégagée) en fonction de l'âge des sujets.

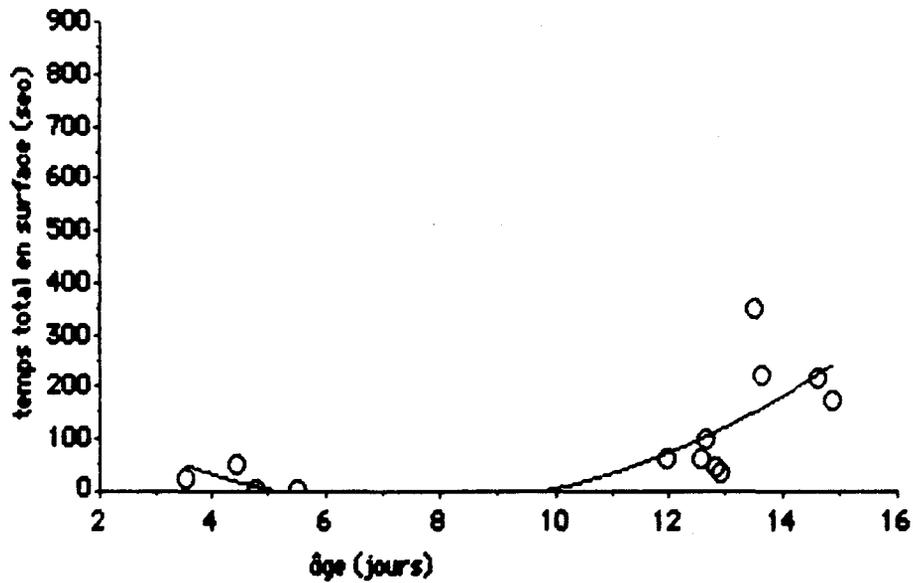


Fig. 22 Evolution du temps de présence en surface (alors que celle-ci était encombrée) en fonction de l'âge des sujets.

était encombrée. Dans les deux cas, la tendance, exprimée au moyen d'une courbe polynomiale du deuxième degré, est semblable. Au début, malgré un nombre supérieur de sujets (une centaine), l'activité en surface est relativement faible et elle tend à diminuer. La présence en surface ayant pratiquement cessée entre le 6^{ième} et le 11^{ième} jour (post-éclosion), les séances d'observation furent interrompues durant cette période. Ensuite, en dépit de la forte mortalité affectant cette cohorte de spécimens, les temps totaux de présence en surface augmentent jusqu'au jour 15, après quoi les observations ne révèlent plus d'activité en surface, faute de sujets bien portants. Six spécimens actifs seulement ont été dénombrés lors de la dernière journée d'observation.

Une comparaison de ces deux courbes révèle que les sujets avaient davantage tendance à s'attarder en surface lorsqu'elle était propre que lorsqu'elle était encombrée. Un test "t" de Student visant à comparer les temps totaux moyens en surface des deux groupes d'observations indique que le temps moyen passé en surface encombrée est significativement distinct (au seuil de confiance de 95%) du temps moyen passé en surface propre. La réciproque n'est vraie que si un seuil de confiance de 90% est utilisé.

À l'intérieur des deux groupes, le coefficient de variation des temps totaux atteint près de 100%, ce qui explique l'étalement considérable des intervalles de confiance.

Afin de tenter d'évaluer l'influence de la nature du film de surface sur le comportement des larves, nous avons comparé les résultats obtenus (à partir du onzième jour) en fonction du matériel utilisé pour obstruer la surface. Le temps en surface atteint une valeur moyenne maximale (198.5 sec., n=2) lors

des séances impliquant l'utilisation d'un film composé d'oeufs de doré et de coquilles vides, et une valeur moyenne deux fois moindre (100.3 sec., n=3) lorsque seules des coquilles d'artémies sont utilisées. L'application d'un film généré par l'émulsion d'oeufs de doré donna des résultats intermédiaires, soit un temps moyen en surface de 145.25 secondes (n=4). Les forts coefficients de variation autour des moyennes rendent ces différences non-significatives du point de vue statistique.

La différence la plus marquée entre les deux groupes d'observation est l'absence de suspension sous la surface lorsque celle-ci est encombrée, alors que ce comportement devient relativement important lors des dernières séances d'observation en surface propre (figure 23). Lors de la dernière journée de l'expérience, notamment, la suspension en surface accapare 77% du temps d'observation.

Contrastant fortement avec le caractère passif de ce type de comportement, la réaction des alevins faisant contact avec une surface encombrée était d' "attaquer" celle-ci à coups de mâchoires répétés, frénétiques, comme dans une vaine tentative pour pratiquer une ouverture dans le film de surface ou pour s'en dégager.

La fin d'une période de suspension était généralement suivie par une chute libre vers le fond du bassin exécutée d'une façon tout aussi passive, la tête première après que le sujet ait basculé sur lui-même dans les premiers centimètres de sa descente. Celle-ci était parfois interrompue par un brusque "réveil" de la larve qui reprenait alors une nage active menant de nouveau vers la surface.

Deux tendances opposées caractérisent la fréquence des visites en surface en fonction de la qualité de celle-ci. Lors de la première séquence de

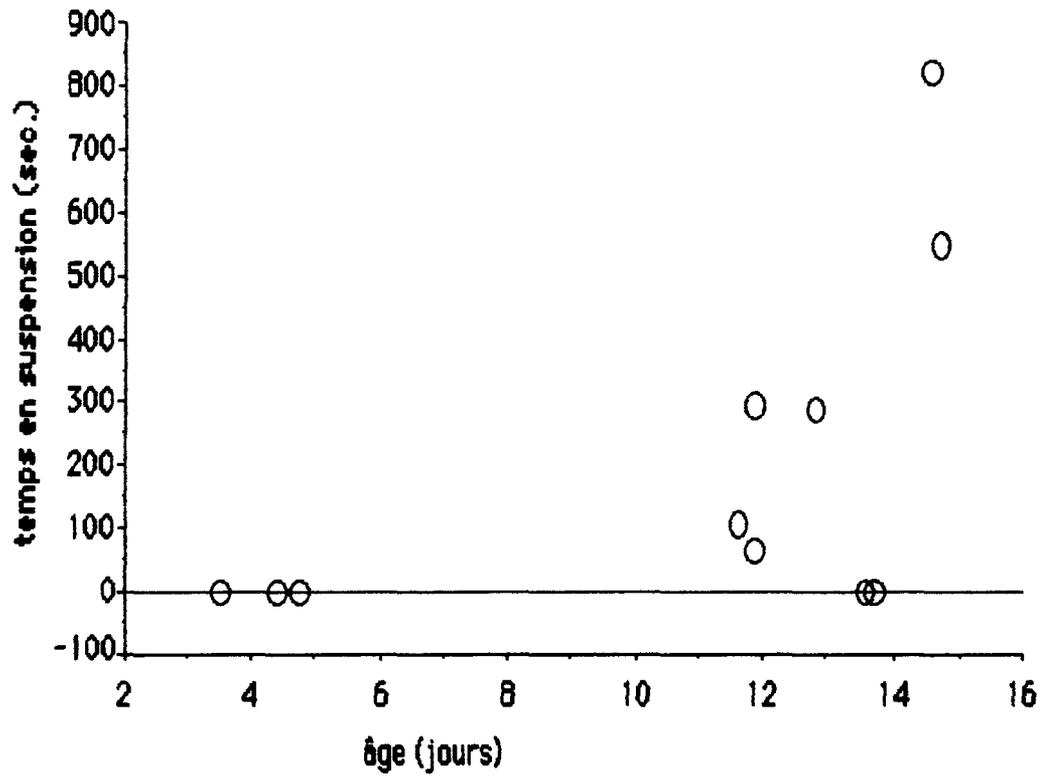


Fig. 23 Temps de "suspension en surface" en fonction de l'âge des sujets.

séances d'observation, soit entre les jours 3 et 6, le nombre de visites en surface est nettement supérieur lorsque celle-ci est propre. Par contre, du jour 11 au jour 15, bien que la tendance soit moins évidente, l'application d'un test "t" de Student révèle que le nombre moyen de visites en surface diffère significativement (au seuil de confiance de 95%), en faveur de la surface encombrée.

CHAPITRE 5

DISCUSSION

5.1 Considérations générales sur les résultats de la première expérience.

L'expérience ne put être menée à son terme dans les bassins #1 et #2. La croissance des sujets y fut plus lente et le cannibalisme s'y développa rapidement et pris des proportions plus grandes que dans les bassins #3 et #4. Ces deux observations nous indiquent que la nourriture offerte aux sujets dans les bassins #1 et #2 ne répondait pas aussi bien à leurs besoins que celle distribuée dans les bassins #3 et #4.

Les résultats obtenus n'ont pas permis de prouver l'effet néfaste de la présence d'un film d'huile en surface. Au contraire, la présence de ce film d'huile fut associée à une croissance plus rapide et à une survie supérieure des sujets (bassins #2 et #4). À la lumière des résultats de la deuxième expérience, il semble cependant probable que le facteur agissant lors de la présence d'un film d'huile en surface soit relié à l' "encombrement" visuel de la surface par plutôt qu'aux propriétés chimiques ou aux autres effets physiques de la substance. Dans ces conditions, on peut également dire que le protocole expérimental suivi n'a pas permis de restreindre aux bassins #2 et #4 l'encombrement de la surface, puisqu'il était également important dans les bassins #1 et #3 en raison de la présence de coquilles d'artémies.

Une comparaison des différences de croissance entre les bassins "avec"

et "sans" film de surface montre que les différences sont semblables: un peu plus de 5% en faveur des groupes ayant "bénéficié" de la présence d'un film d'huile. Cette différence de croissance peut s'expliquer de deux façons. Premièrement, la valeur alimentaire du film d'huile a pu être mise à profit par les larves lors de leurs visites en surface. La deuxième explication résiderait dans le fait que les sujets des bassins #2 et #4 ont évolué sous des conditions de stress moindres, n'ayant pas eu à subir les vibrations engendrées par la rotation du rouleau de polyvinyle, comme c'était le cas à la surface des bassins #1 et #3. La grande sensibilité aux vibrations d'origine mécaniques et acoustiques des larves de poissons est connue chez certaines espèces; elle demeure toutefois à être mesurée chez le doré jaune.

Dans le même ordre d'idées, il est possible que la large gamme et l'intensité des vibrations générées par les différents systèmes motorisés utilisés lors de cette expérience aient été responsable de la piètre croissance ainsi que de la forte mortalité exhibées par les sujets expérimentaux par rapport aux "témoins". Contrairement à ces derniers, incidemment, les larves ayant servis à l'expérience n'ont peut-être pas atteint (en raison de conditions d'élevage inadéquates), un niveau de développement correspondant ou préluant au gonflement de la vessie natatoire.

5.2 Coupes histologiques

La préparation et l'examen de coupes histologiques ont été réalisés dans le but de permettre une comparaison du développement entre les bassins et de

générer une meilleure connaissance des étapes de ce développement. Ce deuxième objectif impliquait qu'un jugement soit porté sur le caractère "normal" de l'évolution des sujets. Ce jugement, quoiqu' appuyé sur le grand nombre de spécimens utilisés et observés au cours de l'expérience, demeure toutefois subjectif et sa validité est limitée par les conditions particulières entourant celle-ci.

La conformation du conduit pneumatique telle que montrée par les sujets à partir de la deuxième semaine (alors qu'il rejoint le tube digestif au-dessus de l'estomac), suggère la possibilité, ainsi que l'affirmait Jonhston (1953), que la production de gaz lors de la digestion contribue ou soit responsable du gonflement de la vessie natatoire. En effet, le conduit responsable d'acheminer le gaz se trouve alors plus près de la source si ce dernier est généré par les organes digestifs que s'il provient de l'extérieur. Le déplacement vers l'arrière de l'embouchure du conduit pneumatique se trouverait ainsi expliqué et justifié.

Cette conformation n'infirmes toutefois pas l'hypothèse impliquant le gobage d'air en surface ou sous forme de bulles dans l'eau. Soutenant cette dernière, MacElman et Balon (1979) ont avancé l'idée que les conditions d'alimentation abondante qui caractérisent l'élevage en laboratoire entraînent une utilisation trop lente de la globule d'huile, laquelle obstrue le passage de l'air vers la vessie natatoire. D'autres chercheurs (Eldridge *et al.* 1981), travaillant, sur le bar rayé (*Morone saxatilis*), ont montré qu'au contraire, de telles conditions induisent une consommation plus rapide de la réserve lipidique, tandis qu'une larve non-nourrie retarde cette utilisation au maximum. Nos propres observations sur le doré jaune montrent que vers le milieu de la deuxième semaine post-éclosion, des sujets connaissant une

croissance relativement normale (bassins *3, *4 et *6) disposent d'une globule d'huile dont ni le volume ni la localisation ne permettent de penser qu'elle constitue une entrave au passage de l'air (figure 10).

L'abondance de nourriture dans les bassins expérimentaux pourrait cependant interférer avec le développement normal de la vessie natatoire d'une autre façon. Les coupes histologiques réalisées sur des sujets provenant du bassin *6 (figure 16) nous ont en effet permis de constater que la section "gastrique" du conduit pneumatique peut être complètement remplie par les aliments ingérés. Dans cette condition, cette structure semble alors incapable de remplir son rôle envers la vessie natatoire. Il faut cependant préciser le caractère exceptionnel d'une obstruction aussi complète du conduit pneumatique, ce phénomène se traduisant plus couramment par la présence de quelques particules alimentaires dans la lumière du conduit .

5.3 Comportement

Certaines réserves s'imposent préalablement à l'interprétation des données générées par l'expérience sur le comportement. Malgré l'écart statistiquement significatif qui sépare les temps totaux moyens des deux groupes, les coefficients de variation des donnée (près de 100% dans chaque groupes) indiquent qu'un nombre supérieur de séances serait requis afin de compenser l'interférence provoquée par des facteurs ou des paramètres non considérés dans le protocole expérimental.

L'application d'un test "t" de Student aux temps moyen en surface est

peut-être incorrect, par ailleurs, en raison de la distribution des données. En effet, les résultats suggèrent que l'activité en surface durant la période larvaire, loin d'être une constante dont les diverses valeurs mesurées exprimeraient une variation "normale" autour d'une moyenne, connaît plutôt des variations importantes en fonction de l'âge des sujets.

Le fait que les observations aient été réalisées sur un groupe de sujets dont l'effectif décroissait rapidement complique davantage l'interprétation des résultats. Toutefois, il est possible de comparer qualitativement nos observations avec l'interprétation de MacElman et Balon (1979).

Selon ces chercheurs, le comportement typique de la larve de doré fraîchement éclosé consiste à nager immédiatement vers la surface afin de profiter au maximum du transport fluvial vers les zones lacustres tout en bénéficiant des conditions optimales d'oxygénation qui prévalent dans les strates supérieures de la colonne d'eau. Nous avons observé ce comportement lors de l'éclosion; d'ailleurs, la conception du système d'incubation visait à tirer profit de cette particularité pour séparer les sujets éclosés des autres. Les séances formelles d'observation n'ayant débuté qu'au troisième jour post-éclosion, il est probable que la période d'activité maximale motivée par le transport fluvial et les besoins respiratoires était déjà passée lors de la première séance. Cette considération peut expliquer le niveau modéré et décroissant d'activité en surface enregistré au début de la série d'observations.

Nous pouvons toutefois nous interroger sur le type de stimulus qui guide les sujets vers la surface. La larve de doré est considérée comme fortement lucitrope, ce caractère tendant à s'estomper pour finalement s'inverser vers la neuvième semaine post-éclosion (Bulkowski et Meade 1983). Si c'est la

luminosité qui guide l'individu vers la surface à ce stade, ce mécanisme rencontrait des conditions adéquates pour fonctionner dans le système expérimental, éclairé par le haut. Toutefois, il faut souligner que la luminosité n'est qu'une des caractéristiques "accessoires" de la surface, et que les paramètres réellement visés, selon MacElman et Balon, sont la vitesse du courant et l'oxygénation. Dans notre montage, la vitesse du courant était supérieure au fond et l'oxygénation était homogène. La nage vers la surface peut également être un comportement inné guidé par le "sens" de la gravité et poussant l'individu à combattre l'attraction terrestre qui tend à le maintenir au fond. Il serait intéressant, à ce sujet, d'observer l'éclosion de larves de doré dans des incubateurs où ces stimuli seraient orientés différemment afin de déterminer lequel a un rôle dominant. La fréquence supérieure des visites en surface propre durant cette période s'accorde bien, toutefois, avec l'hypothèse voulant que le stimulus agissant soit la luminosité, celle-ci étant alors supérieure en surface propre.

Notons également que nous n'avons pas observé de suspension immobile en surface durant ces premières séances d'observation, alors que MacElman et Balon (1979) affirment que c'est là un comportement typique de la larve durant ses 5 premiers jours post-éclosion. Cette discordance nous suggère peut-être que l'on ne peut observer, à ce niveau, un synchronisme parfait, lorsque l'on compare des spécimens appartenant à des populations adaptées à des milieux non identiques. Un tel synchronisme ne saurait se maintenir qu'au détriment de l'ajustement du développement de l'organisme par rapport à son environnement.

Entre le sixième et le onzième jour, nous assistons vraisemblablement à une période "pélagique" pour la larve, qui concentre alors toute son attention

à l'apprentissage de la prédation et de la fuite. Sa globule d'huile, encore volumineuse, lui permet de nager facilement dans la colonne d'eau sans avoir recours à l'assistance d'une vessie natatoire.

L'accroissement considérable de sa présence en surface à partir du onzième jour peut être imputable à une augmentation rapide de l'effort requis pour maintenir sa position sur l'axe vertical suite à la consommation de la globule d'huile. La nécessité de procéder au gonflement de la vessie natatoire se ferait alors pressante, ce qui pousserait les spécimens vers la surface.

Lorsque celle-ci est encombrée, les individus qui se présentent en surface se comportent comme s'ils tentaient de percer le film. Le fait que le temps passé en surface encombrée soit inférieur à celui passé en surface propre indique que les sujets consacrent alors plus de temps et d'énergie à se déplacer dans la colonne d'eau, ce qui augmente leurs chances de "découvrir" un lieu présentant une surface réellement dégagée. Le nombre supérieur de courtes visites en surface exprimerait alors cette vaine quête.

L'occurrence de la suspension en surface est peut-être, en ce qui concerne le gonflement de la vessie natatoire, l'observation la plus significative. En effet, à quelle autre finalité peut-on attribuer ce comportement à ce stade précis du développement de la larve de doré ? La période "transport fluvial" est terminée depuis longtemps, le système respiratoire, plus développé, est amplement suffisant dans ce bassin alimenté par le fond en eau saturée en oxygène et la surface du bassin est particulièrement pauvre en proies. La réaction des sujets au contact d'une surface encombrée pourrait être interprétée comme une tentative pour nettoyer la surface afin d'éviter l'ingestion de matières susceptibles de nuire au développement de la vessie natatoire si elles y étaient introduites

en même temps que l'air de surface. Kindschi et MacConnel (1989) ont, par ailleurs, montré des cas de contamination de la vessie natatoire de larves de doré par des bactéries provenant du film de surface.

La configuration du tube pneumatique s'accorde bien, également, avec cette explication de la suspension en surface. En effet, il est possible d'imaginer que la période de suspension en surface sert à emmagasiner de l'air dans la partie du tube digestif antérieure au "carrefour gastrique", tandis que le doré pourrait profiter de sa chute vers le bas pour faire progresser l'air emmagasiné vers la section "gastrique" du tube pneumatique, qui se trouve alors bien placé pour le recueillir, étant placé en position verticale au-dessus de l'air ingéré. Des contractions de nature péristaltiques permettraient ensuite de forcer cet air vers la vessie natatoire. La durée de la suspension en surface semble cependant inutilement longue dans certains cas (une suspension de 13 minutes fut enregistrée), si l'objet de cette action n'est que le gobage d'air en surface.

CHAPITRE 6

CONCLUSION

La première expérience, conçue en fonction des informations disponibles dans la littérature, visait à démontrer la nuisance de la présence d'un film d'huile en surface des bassins d'élevage sur le processus de gonflement de la vessie natatoire. Les résultats obtenus ne permettent pas de conclure en ce sens. De plus, la forte mortalité observée ne peut pas être attribuée à ce film, les sujets élevés dans les bassins dépourvus de pellicule lipidique ayant montré une survie moins longue et une croissance plus lente. Dans les bassins #1 et #2, il semble qu'une déficience au niveau alimentaire ait été le principal facteur de mortalité, accompagnée par le cannibalisme. Dans les bassins #3 et #4, les facteurs de mortalité sont plus obscurs, mais ici encore il n'est pas possible, en dépit de l'incapacité des sujets à gonfler leur vessie natatoire, d'établir une relation de cause à effet entre cet échec et leur mort. Les conditions expérimentales offertes ne limitaient pas l'encombrement de la surface aux bassins #2 et #4, en raison de la présence de coquilles d'artémies en surface des autres bassins.

Ceci fut confirmé par la deuxième expérience, qui a montré l'attrait supérieur que représente une surface propre pour la larve de doré jaune. Si le développement de la vessie natatoire est dépendant de présences prolongées en surface, il est possible que les sujets des bassins #3 et #4 n'aient pas réussi à gonfler leur vessie natatoire en raison de la piètre qualité de la surface de l'eau de ces bassins.

L'étude morphologique quant à elle, a montré l'évolution du développement du conduit pneumatique, révélant l'importance et la longévité de cette structure, dont la position par rapport au tube digestif ne permet pas d'éliminer la possibilité d'une participation des gaz digestifs au gonflement de la vessie natatoire.

Préalablement à de nouvelles études portant sur l'effet de différentes diètes ou de diverses conditions de surface sur la survie et le gonflement de la vessie natatoire de l'alevin de doré, des informations supplémentaires sur le comportement de celui-ci sont requises. Il conviendrait, avant d'amorcer de nouvelles recherches dans cette voie, d'étayer plus solidement l'existence du phénomène de suspension en surface et de le caractériser par le biais d'une série de séances d'observations impliquant davantage de spécimens. Ceci permettrait d'offrir des conditions expérimentales où les principaux facteurs agissant sur le comportement des sujets sont connus et contrôlés.

Bibliographie

Ali, M. A. et M. Anctil. 1977. Retinal structure and function in the walleye (*Stizostedion vitreum vitreum*) and sauger (*Stizostedion canadense*) Fish. Res. Board Can. 34: 1467-1474.

Balon, E. K., W. T. Momot, et H. A. Regier. 1977. Reproductive guilds of percids: results of the paleogeographical history and ecological succession. J. Fish. Res. Board Can. 34: 1910-1921.

Barrows, F. T., W. A. Lellis, et J. G. Nickum. 1988. Intensive culture of larval walleye with dry or formulated feed: note on swimbladder inflation. The Prog. Fish-Cult. 50: 160-166.

Bulkley, R. V. , V. L. Spykermann, et L. E. Inmon. 1976. Food of the pelagic young of walleye and five cohabiting fish in Clear Lake, Iowa. Trans. Am. Fish. Soc. 1: 75-83.

Bulkowski, L. et J. W. Meade. 1983. Changes in phototaxis during early developpement of walleye. Trans. Am. Fish. Soc. 112: 445-447.

Chapman, D. C., W. A. Hubert, et U. T. Jackson. 1986. Influence of access to air and of salinity on gas bladder inflation in striped bass. Trans. Am. Fish. Soc. pp. 23-27.

Charlon, N., et p. Bergot. 1986. An improved automatic dry food dispenser for fish larvae. The Prog. Fish-Cult. 48: 156-158.

Cheshire, W. F. et K. L. Steele. 1972. Hatchery rearing of walleye using artificial food. The Prog. Fish-Cult. 34: 96-99.

Colesante, R. T. , et N. B. Youmans. 1983. Water-hardening walleye eggs

with tannic acid in a production hatchery. *The Prog. Fish-Cult.* 45(2): 126-127.

Colesante, R. T. , N. B. Youmans et B. Ziolkoski. 1986. Intensive culture of walleye fry with live food and formulated diets. *The Prog. Fish-Cult.* 48: 33-37.

Colesante, R. T. 1989. Improved survival of walleye fry during rearing on brine shrimp and zooplankton. *The Prog. Fish-Cult.* 51: 109-111.

Collette, B. B. et P. Baranescu. 1977. Systematics of the fishes of the family Percidae. *J. Fish. Res. Board Can.* 34: 1450-1463.

Corazza, L. et J. G. Nickum. 1981. Possible effects of phototactic behavior on initial feeding of walleye larvae. *Bio-engineering symposium for fish culture. (F C S Publ. 1)* 48-52.

Cuff, W. R. 1977. Initiation and control of cannibalism in larval walleye. *The Prog Fish-Cult.* 39: 29-32.

Cuff, W. R. 1980. Behavioral aspects of cannibalism in larval walleye, *Stizostedion vitreum*. *Can. J. Zool.* 58: 1504-1507.

Doroshev, S. I. et J. W. Cornacchia. 1979. Initial swim bladder inflation in the larvae of *Tilapia mossambica* (Peter) and *Morone Saxatilis* (Walbaum). *Aquaculture*, 16 : 57-66.

Dumas, R. F., J. S. Brand. 1972. Use of tannin solution in walleye and carp culture. *The Prog. Fish-Cult.* 34, 1: 7.

Eldridge, M. B., J. A. Wipple, D. Eng, M. J. Bowers et B. M. Jarvis. 1981. Effects of food and feeding factors on laboratory-reared striped bass larvae. *Trans. Am. Fish. Soc.* 110 : 111-120.

Hnath, J. G. 1975. A summary of the fish diseases and treatments administered in a cool water diet testing program. *The Prog. Fish-Cult.* 37: 106-107.

Hokanson, K. E. F., et G. J. Lien. 1986. Effects of diet on growth and survival of larval walleyes. *The Prog. Fish-Cult.* 48: 250-258.

Houde, E. D. 1967. Food of pelagic young of the walleye, *Stizostedion vitreum vitreum*, in Oneida Lake, New York. *Trans. Am. Fish. Soc.* 96(1): 17-24.

Huh, H. T., H. E. Calbert, et D. A. Stuibler. 1976. Effects of temperature and light on growth of yellow perch and walleye using formulated feed. *Trans. Am. Fish. Soc.* 2: 254-258.

Kindschi, G. A. et E. MacConnell. 1989. Factor influencing early mortality of walleye fry reared intensively. *The Prog. Fish-Cult.* 51 : 220-226.

Krise, W. F. et J. W. Meade. 1986. Review of the intensive culture of walleye fry. *The Prog. Fish-Cult.* 48: 81-89.

Krise, W. F. 1988. Optimum protease exposure time for removing adhesiveness of walleye eggs. *The Prog. Fish-Cult.* 50: 126-127.

Koenst, W. M. et L. L. Smith. 1976. Thermal requirement of the early life history stage of walleye, *Stizostedion vitreum vitreum* and sauger, *Stizostedion canadense*. *J. Fish. Res. Board Can.* 33: 1130-1138.

Johnston, P. M. 1953. The embryonic development of the swim bladder of the largemouth black bass *Micropterus salmoides salmoides* (Lacepede). *Journal of Morphology* 93: 45-67.

Lagler, K. F., J. E. Bardach, R. R. Miller et D. R. M. Passino. 1977. *Ichthyology*. John Wiley & Sons, New-York. 506 p.

Levine, J. S. et E. F. Mac Nichol. 1982. Color vision in fishes. *Scientific American* 246 (2): 140-149.

Lewis, W. M. et R. C. Heidinger. 1975. Striped bass rearing experiments 1975. Report to Consolidated Edison Company of New-York, New-York.

Lewis, W. M. et R. C. Heidinger. 1981. Tank culture of striped bass production manual. Southern Illinois University, Illinois Striped Bass Project I D C , Federal Aid In Fish Restoration F-26-R, Carbondale.

Li, S. et J. A. Mathias. 1982. Causes of high mortality among cultured larval walleyes. Trans. Am. Fish. Soc. 111: 710-721.

Loadman, N.L., G. E. E. Moodie, et J. A. Mathias. 1986. Significance of cannibalism in larval walleye (*Stizostedion vitreum*). Can. J. Fish Aquat. Sci. 43: 613-618.

Loadman, N.L., G. E. E. Moodie, et J. A. Mathias. 1989. Method for the intensive culture of walleye. The Prog. Fish-Cult. 51: 1-9.

Mathias, J. A. et S. Li. 1982. Feeding habits of walleye larvae and juveniles : comparative laboratories and field studies. Trans. Am. Fish. Soc. 111: 722-735.

McElman, J. F. et E. K. Balon. 1979. Early ontogeny of walleye, *Stizostedion vitreum* , with steps of saltatory developement. Env. Biol. Fish. 4: 309-348.

Nash, C. E. , C. M. Kuo, W. D. Madden et C. L. Paulsen. 1977. Swimm bladder inflation and survival of *Mugil cephalus* to 50 days. Aquaculture 12: 89-94.

Nelson, W. R. 1968. Embryo and larval characteristics of sauger, walleye , and their reciprocal hybrids. Trans. Am. Fish. Soc. 97:167-174.

Nickum, J. G. 1978. Intensive culture of walleyes: the state of the art. Am. Fish. Soc. Spec. Publ. 11: 187-194.

Priegel, G. R. 1970. Reproduction and early life history of walleye in the lake Winnebago region, Wisconsin. Wis. Dep. Nat. Resour. Tech. Bull. 45. 105 p.

Raisanen, G. H. et R. L. Appelgate. 1983. Prey selection in an experimental system. The Prog. Fish-Cult. 45: 209-214.

Ryder, R. A. 1977. Effects of ambient light variation on behaviour of yearling, subadult and adult walleyes (*Stizostedion vitreum vitreum*). J. Fish. Res. Board Can. 34: 1481-1491.

Sergeloos, P., E. Bossuyt, E. Lavina, M. Baeza-Mesa, et G. Persoone. 1977. Decapsulation of *Artemia* cysts: a simple technique for the improvement of the use of brine shrimp in aquaculture. Aquaculture, 12: 311-315.

Spectorova, L. V. et S. I. Doroshev. 1976. Experiment in the artificial rearing of the Black Sea turbot *Scophthalmus maeoticu maeoticus*. Aquaculture, 9 (3): 275-286.

Stickney, R. R. (éd.) 1986. Culture of nonsalmonid freshwater fishes. CRC Press, Inc. 188 p.

ANNEXE 1: Protocole de fécondation des oeufs de doré

- Anesthésier les femelles au MS 222 (1/7000)
- Anesthésier les mâles au MS 222 (1/7000)
- Enrober le spécimen dans un tissu genre coton-fromage pour en faciliter la manipulation
- En pressant les flancs de la femelle dans le sens antéro-postérieur faire tomber les oeufs dans un bol en plastique
- Faire de même avec les mâles, et libérer la laitance sur les oeufs; brasser immédiatement avec une plume d'oie
- Lorsque les produits sexuels sont bien mélangés, ajouter de l'eau distillée et refroidie à 8 ou 9° C
- Attendre 4 min, puis enlever l'eau
- Ajouter une solution d'acide tannique (300mg/litre) à la même température et brasser délicatement pendant 2,5 min puis jeter la solution
- Répéter encore deux fois la dernière opération
- Ajouter de l'eau à la même température et laisser les oeufs dans celle-ci durant 30 min; brasser délicatement au besoin pour éviter que les oeufs ne collent entre eux
- Répéter cette dernière opération encore une fois
- Les oeufs sont maintenant prêts à être placés dans les incubateurs.

ANNEXE 2: Complément d'information sur la représentation graphique des résultats

La dimension des points varie en fonction du nombre d'occurrences des données. Les courbes ont été produites dans le but d'illustrer les tendances observées.

| Figure | R^2 | Type d'équation | Seuil de confiance de la courbe (test F) |
|--------|-------|------------------------------------|--|
| 5 (A) | 0.413 | Polynôme du 3 ^{ème} degré | 0.0001 |
| 5 (B) | 0.720 | Polynôme du 3 ^{ème} degré | 0.0001 |
| 6 (*1) | 0.319 | Polynôme du 2 ^{ème} degré | 0.0012 |
| 6 (*2) | 0.518 | Polynôme du 2 ^{ème} degré | 0.0001 |
| 7 (*3) | 0.629 | Polynôme du 2 ^{ème} degré | 0.0001 |
| 7 (*4) | 0.772 | Polynôme du 2 ^{ème} degré | 0.0001 |
| 21 | 0.230 | Linéaire simple | 0.1358 |
| 22 | 0.395 | Linéaire simple | 0.0215 |