**APERÇU ÉCOLOGIQUE DE LA RÉGULATION
DE LA MÉCANIQUE RESPIRATOIRE
D'UN TÉLÉOSTÉEN DULCICOLE
LA CARPE : (*CYPRINUS CARPIO* L.)**

par A. SERFATY et C. PEYRAUD¹.

En dehors de la période d'engourdissement hivernal, la vie d'un Poisson dans son biotope apparaît, durant un nycthémère, comme une succession de phases d'activité au cours desquelles l'animal se déplace, — le plus souvent à la recherche de sa nourriture —, séparées par des phases de repos pendant lesquelles il demeure immobile.

Les manifestations d'activité du Poisson entraînent des modifications corrélatives de sa mécanique respiratoire. Ainsi, au cours de ces phases d'agitation s'observe une respiration régulière dont la fréquence et l'amplitude varient en fonction de la dépense de l'organisme.

Au contraire, pendant les périodes de repos, l'enregistrement de la mécanique operculaire met en évidence une respiration périodique, analogue dans son tracé au rythme respiratoire de CHEYNE-STOKES, et caractérisée par des phases d'activité respiratoire au cours desquelles le Poisson effectue quelques mouvements operculaires séparées par des phases d'apnée.

Aux phases d'activité respiratoire se superposent des phases de tachycardie, aux périodes d'apnée correspondent des phases de bradycardie. Cela met en relief une étroite corrélation centrale cardio-respiratoire et suggère une alternance cyclique, chez le Poisson au repos, d'hypertonie et d'hypotonie vagale.

Il est possible expérimentalement d'induire l'apparition progressive et d'assurer la persistance de ce type très particulier de tracé respiratoire pendant de longues périodes (5 à 6 jours) en imposant au Poisson un repos artificiel par immobilisation dans un appareil de contention.

Pour un sujet donné, maintenu dans des conditions expérimentales bien précises, apparaît après un certain délai d'adaptation, une respiration périodique dont le tracé demeure pratiquement invariable.

1. Pour les cinquante années de recherches scientifiques du Professeur Marcel PRENANT, en hommages respectueux.

A partir de ce terme de référence que constitue la stabilité du tracé, il devenait possible d'analyser l'influence des variations du taux des gaz dissous dans l'eau sur la mécanique respiratoire du Poisson.

Or, tout d'abord, que se passe-t-il à l'état naturel dans le biotope? Au cours d'une même journée, la teneur en oxygène d'un milieu aquatique déterminé présente de très notables variations, régies beaucoup plus par le jeu de la photosynthèse que par les lois physiques de la dissolution des gaz. La teneur en gaz carbonique reste toujours basse et varie peu, car les bases libres en solution dans l'eau retiennent ce gaz sous forme combinée.

Donc, le taux d'oxygène dissous, bien plus que celui du gaz carbonique, apparaît comme un facteur écologique essentiel du biotope aquatique; car il est susceptible de présenter normalement, dans la nature, la plus grande amplitude de variation.

Nous avons rapporté dans un précédent compte rendu [C. PEYRAUD et A. SERFATY, 1962], les résultats obtenus en réalisant des variations expérimentales du taux d'oxygène dissous :

- soit en modifiant le débit de l'eau circulant dans l'aquarium expérimental,
- soit en faisant arriver dans cet aquarium un courant d'oxygène gazeux, réduit par un diffuseur à l'état de fines bulles, et nous avons pu montrer qu'à chaque débit correspond un tracé respiratoire caractéristique. En outre, sous l'effet de la dissolution d'oxygène gazeux dans l'eau non renouvelée de l'aquarium, le caractère asphyxique de la respiration du sujet s'estompe rapidement : la respiration redevient eupnéique et présente une allure périodique typique.

Toutefois, un tel protocole expérimental permettait de suspecter l'intervention de facteurs autres que les variations du taux d'oxygène lui-même : agitation mécanique de l'eau dans le cas des variations de débit, action nocive de l'accumulation des déchets métaboliques dans le cas d'une eau non renouvelée. C'est pourquoi, il nous est apparu rationnel de réaliser un montage expérimental permettant sans modifier le débit de circulation d'eau, d'obtenir des taux connus d'oxygène dissous dans l'aquarium d'expérience.

Technique.

Le cliché de la figure 1 reproduit le montage expérimental utilisé.

Chacun des trois récipients (R) constitue une importante réserve d'eau dans laquelle nous pouvons établir à volonté des taux donnés d'oxygène dissous.

L'apport de l'azote gazeux de la bouteille (N) assure la désoxygénation de l'eau. La bouteille (O) permet au contraire l'enrichissement en oxygène dissous. Les réservoirs (R) sont connectés avec

FIG. 1. — Montage expérimental permettant d'obtenir, — à débit constant, — une variation connue du taux d'oxygène dissous dans l'aquarium expérimental. R : Réservoir d'eau à taux d'oxygène donné. — N : bouteille d'azote. — B : bac régulateur de débit. — O : bouteille d'oxygène. — V : vase de contrôle dans lequel plonge l'électrode de l'appareil (D). — C : capteur de déplacement. — E : chaîne de mesure électronique. — T : table d'enregistrement.

une cuve à flotteur (B) assurant le rôle de régulateur du débit de l'eau alimentant l'aquarium d'expérience. Ensuite, sur le trajet d'évacuation de l'eau provenant de cet aquarium, est interposé un vase de contrôle (v), dans lequel plonge l'électrode d'un appareil (D) de dosage polarographique de l'oxygène dissous.

Le Poisson est maintenu immobile dans un appareil de contention constitué par un grillage à fines mailles épousant la forme de son corps. Un capteur de déplacement (C) relié à une chaîne de mesure électronique (E), permet l'enregistrement de la mécanique operculaire sur la table (T).

Les évaluations quantitatives du volume respiratoire étaient effectuées par planimétrie du tracé obtenu en se référant à une courbe d'étalonnage antérieurement établie.

Résultats.

L'effet de l'appauvrissement graduel en oxygène dissous de l'eau circulante se traduit par la disparition du caractère périodique de la respiration. Progressivement d'abord, la durée des périodes

d'activité respiratoire augmente, tandis que diminue corrélativement celle des phases d'apnée. Puis, à partir d'un certain taux critique d'oxygène dissous (variable selon les conditions de l'expérience), le phénomène s'accélère considérablement : l'enregistrement de la mécanique respiratoire met alors en évidence une polypnée et une hyperpnée de plus en plus marquées.

La courbe de la figure 2 traduit quantitativement les résultats d'une expérience-type effectuée avec un sujet d'un poids voisin de 400 g; la température de l'eau circulante demeure voisine de 20° C.

Cette courbe exprime, en fonction du taux d'oxygène dissous, les variations du volume respiratoire, c'est-à-dire la quantité d'eau traversant par minute l'appareil respiratoire du Poisson. Ce mode d'expression des résultats nous apparaît plus rationnel que celui utilisé jusqu'alors par les chercheurs antérieurs et selon lequel seules étaient prises en considération les variations de la fréquence respiratoire du Poisson. En effet, en négligeant délibérément les variations concomitantes de l'amplitude des mouvements respiratoires, il n'était possible de prétendre qu'à une analyse partielle et donc incomplète des modifications de la mécanique respiratoire.

En outre, l'effet de l'appauvrissement du milieu en oxygène dissous est d'autant moins sensible que la température de l'eau est plus basse. A taux égaux d'oxygène dissous, l'hypothermie progressive qu'entraîne l'apport d'eau froide dans l'aquarium expérimental se traduit par une réduction de l'amplitude et de la fréquence des mouvements operculaires, corrélatrice d'un allongement des phases d'apnée.

Discussion.

Dans le milieu aérien, les animaux terrestres trouvent toujours à leur disposition un taux d'oxygène pratiquement invariable et très suffisant à leurs besoins. Par contre, dans un biotope aquatique, la quantité d'oxygène, susceptible de fluctuations amples et rapides, se situe normalement à la limite de la satisfaction des exigences respiratoires. En particulier, pour le Poisson, le taux d'oxygène dissous dans l'eau constitue l'élément déterminant de la répartition écologique des espèces.

Généralement, la complexité réduite de la régulation de leurs fonctions physiologiques permet aux Vertébrés inférieurs aquatiques une adaptation plus souple à des variations notables des facteurs de leur biotope. Toutefois, au-delà de certaines limites, le sujet n'est plus apte à mettre en jeu les mécanismes compensateurs nécessaires à sa survie. Par exemple, des vagues brutales de chaleur estivale, entraînent chez les Poissons, une exaltation métabolique corrélatrice d'un appauvrissement de l'eau en oxygène dissous (diminution du coefficient de solubilité). Après une phase de

FIG. 2. — Variation du volume respiratoire en fonction d'une décroissance progressive du taux d'oxygène dissous (débit de circulation de l'eau : 40 l/h.).

polypnée et d'hyperpnée, insuffisantes pour combler le déficit de l'organisme en oxygène, le Poisson meurt d'asphyxie.

Ces caractéristiques de physiologie écologique se retrouvent sur la courbe diphasique de la figure 2.

Au cours d'une première phase, la décroissance progressive du taux d'oxygène entraîne une augmentation elle-même progressive du volume respiratoire. La portion de droite AB, qui traduit la linéarité de cette correspondance, présente une pente faible.

A partir d'un niveau donné d'appauvrissement de l'eau en oxygène dissous (dans le cas présent : 2,2 ml/l), on assiste sur le graphique à une remarquable rupture de pente. A partir de ce taux critique, une décroissance progressive de la quantité d'oxygène détermine une augmentation extrêmement rapide de la ventilation. La pente abrupte de l'élément de courbe correspondant rend compte de ce phénomène.

La première portion de courbe (de A à B) peut être interprétée comme la traduction graphique d'une adaptation graduelle de l'organisme du Poisson aux variations du taux d'oxygène. Au-delà de la limite critique B, se réalise (de B à C) un déséquilibre des mécanismes adaptatifs : le maintien des conditions défavorables entraîne alors la mort du sujet.

A la faveur de ces quelques remarques, il nous paraît opportun de souligner combien les animaux aquatiques sont défavorisés par rapport aux animaux terrestres, pour satisfaire leurs besoins respiratoires. En effet, une élévation de température de l'eau exalte

leur activité métabolique mais diminue paradoxalement leurs disponibilités respiratoires. Par contre, un abaissement de température augmente le taux d'oxygène dissous du milieu alors que s'opère une réduction corrélative du métabolisme du Poïkilotherme.

Conclusion.

Ces expériences confirment nos résultats antérieurs et soulignent la sensibilité remarquable du Poisson aux variations du taux de l'oxygène dissous dans le milieu.

RÉSUMÉ

L'enregistrement de la mécanique respiratoire de la Carpe met en évidence la grande sensibilité de ce poisson, modérément oxybionte, aux variations du taux d'oxygène dissous d'une eau circulant à débit constant dans l'aquarium d'expérience.

L'étude quantitative des variations du volume respiratoire en fonction des taux décroissants d'oxygène dissous permet de tracer une courbe diphase. Cette courbe traduit une adaptation progressive du poisson jusqu'à un taux d'oxygène critique au-dessous duquel apparaît un déséquilibre des mécanismes adaptatifs.

THE ECOLOGICAL ASPECT OF THE REGULATION OF THE RESPIRATORY MECHANISM OF THE CARP.

The recording of the respiratory mechanism of the Carp shows the great sensibility of this fairly oxybiont fish to the variations of the concentration of dissolved oxygen in the water circulating with a constant flow through the experimental aquarium.

The quantitative study of the variations of the respiratory volume related to decreasing amounts of dissolved oxygen allows to plot a diphase curve. The curve shows a progressive adaptation of the fish to a limiting amount of oxygen under which appears a lack of the adaptive mechanisms.

OEOLOGISCHE ASPEKTE DER REGULIERUNG DER ATEMMECHANIK DES KARPENS.

Die Registrierung der Atemmechanik des Karpens zeigt die grosse Empfindsamkeit dieses ziemlich oxybionten Fisches gegenüber den Veränderungen des Sauerstoffgehalts im Versuchs-Aquarium mit gleichmässiger Menge zur hereinfließen den Wasser.

Die quantitative Untersuchung der Veränderungen des Atemvolumens gemäss der abnehmenden Sauerstoffzufuhr erlaubt die Aufstellung einer diphasischen Kurve. Diese Kurve zeigt eine progressive Anpassung des Fisches bis einen kritischen Sauerstoffgehalt unterhalb dessen eine Gleichgewichtsstörung der Anpassungsmechanismen erscheint.

TRAVAUX CITÉS

PEYRAUD (C.) et SERFATY (A.). 1962. — Influence de l'oxygénation du milieu sur le rythme respiratoire d'un Téléostéen d'eau douce : la Carpe. *J. Physiol.*, **54**, 2 : 396-397.

(Laboratoire de Biologie Animale,
Faculté des Sciences,
38, rue des 36-Ponts, Toulouse.)