

RECHERCHES DE PHYSIOLOGIE
APPLIQUÉES A LA PISCICULTURE (1) :
II : L'INTENSITÉ RESPIRATOIRE
DES POISSONS D'EAU DOUCE,
BASE DES RECHERCHES PHYSIOLOGIQUES
SUR LES POLLUTIONS

par RENÉ GUY BUSNEL et ANNE RAFFY

Lauréats de l'Académie des Sciences,
Chargés de recherches.

INTRODUCTION

On sait l'importance capitale que présentent, pour la pêche et la pisciculture, les pollutions des eaux douces. Ainsi que P. VIVIER l'a défini récemment, dans le programme de travaux de la *Station Centrale d'Hydrobiologie appliquée*, l'étude des pollutions offre deux phases. La première est la phase analytique, comprenant les mesures physico-chimiques et les analyses bactériologiques qui donneront le sens et la nature de la pollution (teneur en O_2 , CO_2 , H_2S , taux des matières organiques, nature des radicaux acides ou basiques, teneur en substances toxiques, présence de *B. coli* ou *B. putrefaciens*, sédiments, vases, etc...). La seconde phase est celle de l'expérimentation, qui consiste à faire, soit sur place, soit en aquarium, avec un échantillon de l'eau prélevée, l'essai biologique sur l'animal vivant.

L'essai biologique permet l'observation directe du fait de la souffrance ou de la mort du Poisson. Confronté avec les résultats de l'analyse physico-chimique et avec la connaissance de la physiologie du Poisson, il peut permettre des déductions intéressantes et donner aux problèmes pratiques des solutions efficaces.

L'essai biologique comporte en soi plusieurs autres stades dont, principalement, l'étude dans la nature des réactions des Protozoaires, des Invertébrés, des Végétaux et, enfin, des divers Poissons. Ces observations,

(1) Voir *Bulletin* : — n° 127, Octobre-Décembre 1942, p. 45 ; — n° 128, Janvier-Mars 1943, p. 108.

appuyées sur la connaissance des réactions physiologiques aux variations du milieu, peuvent, parfois à elles seules, être suffisamment indicatrices de l'intensité et de l'étendue d'une pollution.

Nous voudrions donc, sans développer la question de l'analyse biologique de la pollution, qui n'est point de notre ressort, mettre en relief les notions physiologiques et les données expérimentales qui doivent en constituer la base.

Le Poisson est en contact intime avec le milieu extérieur, mais ce contact n'est réalisé, physiologiquement et d'une manière active, qu'au niveau de la branchie, organe lamellaire formé d'un épithélium mince, richement irrigué par un système capillaire. C'est au niveau de la branchie que se font les échanges respiratoires et que l'excrétion ou une partie de l'excrétion se produit. C'est donc l'organe essentiel des relations entre le milieu extérieur et le milieu intérieur du Poisson. Dès que la nature de l'eau présente une modification quelconque, c'est au niveau de la branchie que se produit une première réaction. Or, la branchie est l'organe de la respiration. C'est cette fonction physiologique qui, le plus souvent, est la première atteinte dès la manifestation d'une pollution.

Il est donc utile de préciser, afin de fournir une base aux travaux ultérieurs, quels sont les facteurs physico-chimiques du milieu qui sont capables de modifier la respiration du Poisson. C'est ce but que nous voudrions atteindre en essayant de grouper toutes les données utilisables déjà acquises. En même temps, nous soulignerons les lacunes qui devront être comblées pour les compléter.

Ces résultats, rassemblés dans ce mémoire, pourront être désormais la pierre d'angle de toutes les études à entreprendre dans les analyses biologiques appliquées à la Pêche et à la Pisciculture.

I. — L'EXPÉRIMENTATION PHYSIOLOGIQUE SUR LA RESPIRATION DES POISSONS

A. — *Technique. — Méthodes. — Matériel.*

Des observations et des expériences anciennes ayant établi que les Poissons, comme tous les êtres vivants, absorbent de l'oxygène et rejettent du gaz carbonique, dès le début du XIX^e siècle, de nombreux chercheurs s'efforcèrent de mesurer la quantité d'oxygène absorbé et celle de gaz carbonique rejeté. Depuis la première en date de telles études, celle de HUMBOLDT et PROVENÇAL (1809), bien des dispositifs d'expérimentation ont été proposés, bien des mesures effectuées, bien des résultats donnés comme valables.

Nous ne décrirons pas ici toutes les méthodes imaginées pour l'étude de la respiration des animaux aquatiques. Nous dirons seulement que les unes s'efforcent de maintenir les animaux durant toute l'expérience dans une eau aérée ou renouvelée, tandis que les autres les laissent en milieu

confiné. Ces dernières, plus aisées, sont satisfaisantes à condition de prendre certaines précautions. C'est un tel dispositif qui a été employé pour pratiquer les mesures dont nous rapportons ici les résultats. C'est celui que nous préconisons pour les recherches sur les pollutions.

1° *Dispositif d'expérience.* — Les Poissons mis en expérience sont enfermés dans des flacons de verre soigneusement nettoyés, de capacité bien déterminée, appropriée à leur taille et bouchés hermétiquement à l'émeri ou par un bouchon de caoutchouc. Les très grosses espèces sont placées dans une cage en treillis galvanisé, inoxydable, immergée dans un aquarium ; une couche d'huile de vaseline, épaisse, isole de l'air la surface de l'eau.

2° *Remplissage des bocaux d'expérience.* — Une masse d'eau doit être prélevée plusieurs heures auparavant. Elle est alors en équilibre de température et de tension gazeuse avec l'atmosphère. Les récipients d'expérience sont rapidement remplis de cette eau par siphonage ; l'animal y est introduit et le récipient bouché.

3° *Précautions durant l'expérience.* — Pour maintenir les animaux à la même température au cours des séries d'expériences, les récipients contenant l'animal sont immergés dans un aquarium rempli d'eau et recouvert par une caisse de bois noirci intérieurement. L'ensemble fait un thermostat et supprime l'action de la lumière. Il faut éviter le bruit pour assurer l'immobilité des sujets en expérience.

4° *Prélèvement des échantillons.* — Un premier échantillon d'eau est prélevé lors du remplissage du flacon. C'est le témoin, milieu initial offert aux Poissons. A la fin de l'expérience, un nouvel échantillon de l'eau où ils ont respiré est prélevé. Le transvasement se fait dans les deux cas par un siphonage rapide à l'aide d'un petit tube de caoutchouc amorcé par aspiration, qui plonge dans le flacon émeri jaugé où doit se faire l'analyse, en évitant tout barbotage.

5° *Durée de l'expérience.* — Elle doit être soigneusement notée à une minute près. Suffisante pour permettre une disparition d'oxygène mesurable, elle doit être assez courte pour que la teneur en oxygène ne descende pas au-dessous de 4 à 5 centimètres cubes par litre et qu'un tiers à un quart seulement de l'oxygène initial soit consommé. Dans ces conditions, le gaz carbonique produit ne peut influencer la respiration.

6° *Technique des analyses.* — Partant d'une atmosphère dissoute initiale connue, analysant l'atmosphère restante, il est facile de déterminer la quantité d'oxygène consommée, au moyen de deux dosages d'oxygène dissous. Ceux-ci peuvent être pratiqués par la méthode de WINKLER. Chaque dosage d'une eau où un animal a respiré est accompagné du dosage de l'eau témoin. Celle-ci, prélevée de la même façon dans un flacon semblable

au vase d'expérience, est conservée durant le même temps et dans les mêmes conditions ; ceci afin d'égaliser les pertes d'oxygène pouvant provenir de Bactéries.

D'autres techniques de dosages d'oxygène dissous peuvent être employées : celles de NICLOUX, de LEVY et MAOBOUTIN sont parfois utiles.

7° *Pesée et volume des animaux.* — En fin d'expérience les Poissons rapidement essuyés au papier filtre sont pesés dans un récipient de verre, à couvercle taré, plein d'eau. Le volume s'obtient en plongeant les animaux dans des éprouvettes graduées.

8° *Expression des résultats.* — Il est commode, pour la comparaison des espèces entre elles et des divers individus d'une même espèce, de rapporter la consommation d'oxygène en une heure, exprimée en centimètres cubes, à l'unité de poids de l'animal (kilo ou gramme). On évalue ainsi *l'intensité respiratoire*, du Poisson considéré.

9° *Autres moyens d'appréciation de l'activité respiratoire.* — La numération par minute du nombre de battements des opercules renseigne également bien sur la fonction respiratoire des Poissons et de ses modifications éventuelles. Cette numération procède d'une technique simple qui sera celle des pisciculteurs ou des gardes-pêche qui n'ont pas à leur disposition le matériel spécial ni l'habitude des dosages chimiques.

On doit la faire en aquarium, par comparaison avec des Poissons dans une eau témoin. Les sujets doivent être préparés plusieurs heures à l'avance ; ils seront à jeun, reposés par une demi-obscurité et le calme. On les étalonnera par plusieurs mesures successives faites sur quatre à cinq sujets, de manière à grouper des Poissons ayant sensiblement le même rythme. On les introduira ensuite dans les eaux à étudier, en les ayant mises à la température du bain d'eau normale, témoin.

Peu de chiffres précis nous renseignent sur les valeurs observées ainsi dans la nature. De quelques-unes de nos expériences nous notons les valeurs suivantes :

Truite arc-en-ciel de 125 grammes, en Avril, à 10°C. : 50 à 60 battements operculaires par minute.

Truite arc-en-ciel de 70 grammes, en Août, à 20°C. : 75 à 85 battements operculaires par minute.

Truite arc-en-ciel de 70 grammes, en Août, à 25°C. : 100 à 110 battements operculaires par minute.

Carpe de 1 kilo en hivernage, en Janvier, à 4°C. : 4 à 5 battements operculaires par minute.

Carpe de 1 kilo en activité, en Avril, à 10°C. : 30 à 40 battements operculaires par minute.

Carpe de 1 kilo en activité, en Juillet, à 18°C. : 45 à 50 battements operculaires par minute.

10° *Choix des animaux à mettre en expérience.* — Ce seront, bien entendu et de préférence, les espèces intéressant la pisciculture qui seront mises en expérience. Mais on peut également apprécier l'action des eaux supposées polluées sur un « Poisson test » le Cyprin, qu'il est toujours commode d'avoir au laboratoire, ou sur d'autres petites espèces faciles à se procurer : Bouvière, Perche-Soleil, Epinoche. L'Anguille, la Loche, le Chabot, sont à éviter par suite de leurs besoins respiratoires et de leurs possibilités respiratoires spécifiques.

B. — *Variations de l'intensité respiratoire des Poissons dans les conditions normales.*

1° *Variations dues à l'animal.* — En l'absence de toute variation de facteurs externes, l'intensité respiratoire d'un même individu ne se maintient pas rigoureusement constante. Elle est, en effet, soumise aux modifications de tout un ensemble d'éléments qui constituent l'état de l'animal, à un moment donné. Un même individu diffère de lui-même selon son état d'activité ou de repos, son état de nutrition ou de jeûne. Dans une même espèce, les individus diffèrent entre eux par l'âge et la taille, par le sexe et l'état général.

De nombreuses données, relatives à des Poissons très divers, ont déjà été recueillies sur tous ces points. Nous donnerons ici celles qui peuvent intéresser le pisciculteur.

2° *Influence du mouvement musculaire.* — Les Poissons mis en expérience selon les méthodes que nous venons d'indiquer manifestent des consommations d'oxygène horaires très irrégulières selon qu'ils sont paisibles ou agités.

Lorsqu'on supprime les causes perturbatrices (lumière-bruit) il est possible d'obtenir une respiration constante pendant quelques heures. Durant la première heure de l'expérience (période d'adaptation de l'animal au récipient), elle est toujours plus forte. Puis la respiration se régularise et l'intensité respiratoire est alors caractéristique de l'animal en état de repos. Le tableau I présente, par exemple, les consommations d'oxygène successives d'un même Cyprin. Si, au contraire, on provoque des mouvements de natation, le Poisson manifeste une respiration d'exercice très accrue (tableau II).

TABLEAU I

Poisson rouge *Carassius auratus* à 20°C. : poids 9.5 g.

RESPIRATION D'HEURE EN HEURE	OXYGÈNE CONSOMMÉ EN CM ³	
	par heure	par g. heure
1 ^{re} détermination.	2.052	0.216
2 ^e —	1.884	0.198
3 ^e —	1.860	0.195
4 ^e —	1.875	0.197
5 ^e —	1.800	0.189

TABLEAU II

ESPÈCE ET COMPORTEMENT	OXYGÈNE CONSOMMÉ EN CM ³ .	
	par heure	par g. heure
BOUVIÈRE (<i>Rhodeus amarus</i>) 16°C.		
Calme.	0.097	0.136
Agitations provoquées.	0.154	0.216
PERCHE SOLEIL, 20°C (<i>Pomotis gibbosus</i>) 3 g.		
Calme.	0.440	0.146
Agitations provoquées.	0.800	0.226
Agitations naturelles.	0.644	0.214

D'après ce tableau, sous l'influence de la natation, les accroissements de consommation d'oxygène sont de l'ordre de 58 % (*Rhodeus*), 82 % (*Pomotis*) : (agitations provoquées), 46 % (agitations causées par le voisinage d'autres Poissons).

Le mouvement est donc une cause importante de l'accroissement de l'intensité respiratoire. Il va influencer directement ou expliquer l'influence d'autres facteurs tels que la taille et le sexe.

3^e Influence de l'état de nutrition. — Il semble ressortir de plusieurs travaux, que l'activité respiratoire des Poissons s'accroît lorsqu'ils sont nourris après une période de jeûne. Van DER HEYDE (1923) mesure chez une Carpe de 6 g. 15 une consommation d'oxygène de 68 à 69 centimètres cubes par kilo-beure, puis de 91,8 centimètres cubes après un repas. Une autre de 8,39 grammes passe de 72,3 centimètres cubes à 92,2 centimètres cubes après nourriture. L'un de nous a suivi au cours de douze semaines les intensités respiratoires de deux Cyprins, l'un régulièrement nourri, l'autre à jeun, puis nourri.

TABLEAU III

POISSON ROUGE (*Carassius auratus*), 20°C.

Influence d'une alimentation régulière et du jeûne suivi d'alimentation sur la consommation d'oxygène.

OXYGÈNE CONSOMMÉ EN CM ³ PAR HEURE, MOYENNE PAR SEMAINE					
Cyprin I régulièrement nourri			Cyprin II à jeun, puis nourri		
1 ^{re} semaine. . . .	3,4 g.	0.403	1 ^{re} semaine. . .	4,2 g.	0.489
2 ^e —	3,5 g.	0.503	2 ^e —	4 g.	0.437
3 ^e —	3,5 g.	0.639	3 ^e —	4 g.	0.434
4 ^e —	3,5 g.	0.673	4 ^e —	4 g.	0.434
5 ^e —	3,5 g.	0.785	5 ^e —	3,2 g.	0.381
6 ^e —	3,5 g.	0.531	6 ^e —	3,2 g.	0.318
7 ^e —	3,5 g.	0.621	7 ^e —	3,2 g.	0.284
8 ^e —	3,7 g.	0.631	8 ^e —	3,2 g.	0.317
9 ^e —	3,7 g.	0.764	alimentation..		
10 ^e —	3,7 g.	0.690	9 ^e semaine. . .	3,2 g.	0.336
11 ^e —	4,2 g.	0.684	10 ^e —	3,2 g.	0.558
12 ^e —	4,2 g.	0.804	11 ^e —	4 g.	0.562
			12 ^e —	4,3 g.	0.645

Le tableau III montre qu'une alimentation suffisante pour permettre à l'animal de constituer des réserves est accompagnée d'un relèvement de la consommation d'oxygène. Le jeûne l'abaisse par périodes successives d'intensité à peu près constante. Quand le jeûne cesse, l'intensité revient très rapidement à son taux initial.

4° *Influence de la taille.* — Les représentants d'une même espèce diffèrent entre eux par l'âge et la taille. Il est établi depuis longtemps déjà que la consommation d'oxygène est d'autant plus intense que le poids est plus faible. L'activité respiratoire est fonction inverse de la taille.

W. EDWARDS entrevoit ce fait dès 1824 en constatant que chez les Poissons, ce sont les petits qui asphyxient le plus vite quand on les maintient dans l'eau privée d'air.

QUINQUAND (1873) établit numériquement que « la puissance relative du travail respiratoire diminue avec le poids », ce qui revient à dire que les petits sujets consomment relativement plus que les gros. Les alevins, moins résistants que les adultes à l'asphyxie, présentent une activité respiratoire plus grande encore.

Les différences de taille s'accompagnent parfois de différences morphologiques correspondant à des stades différents de développement. Là encore, le stade le plus jeune se révèle le plus actif au point de vue respiratoire. Mais il faut remarquer que les individus les plus petits, ou les plus jeunes, sont en même temps les plus mobiles, si bien que l'influence de la taille se confond avec celle de la rapidité de la natation.

Un exemple très net est fourni par l'Anguille dont le cycle de métamorphoses compte une série de formes, de poids et de mouvements très inégaux.

TABLEAU IV

ANGUILLE COMMUNE (*Anguilla anguilla* L.).

CONSOMMATION D'OXYGÈNE DES DIFFÉRENTES FORMES DANS L'EAU DOUCE A 17° C.			
STADES DE L'ANGUILLE	OXYGÈNE CONSOMMÉ EN CM ³		
	Poids moy. (g.)	Par heure	Par g. h.
Civelles.	0.231	0.037	0.161
Anguilles jaunes de Brière . . .	33	3.346	0.100
— jaunes de la Sarthe.	40	3.540	0.088
— argentées mâles.	54	4.935	0.091
— jaunes femelles.	90	7.435	0.082
— jaunes femelles.	430	29.580	0.069
— argentées femelles.	485	33.8	0.069
— argentées femelles.	1191	52.7	0.044

5° *Influence du sexe.* — Des déterminations sur des espèces présentant un dimorphisme sexuel accusé ont montré que le sexe n'intervient que par la différence de taille et d'agilité qu'il entraîne.

6° *Comparaison des espèces entre elles.* — Chaque espèce présente une intensité respiratoire dont l'ordre de grandeur est en relation avec la mobilité de l'espèce. Le tableau V met ce fait en évidence.

TABLEAU V

Comparaison de l'intensité respiratoire de diverses espèces de Poissons.

MOYENNES DE PLUSIEURS DÉTERMINATIONS		
Température	Espèces	Oxygène consommé en cm ³ par g. heure
14° C.	<i>Cyprinus carpio.</i>	0.091
	<i>Anguilla anguilla.</i>	0.060
18° C.	<i>Gasterosteus leirurus.</i>	0.379
	<i>Carassius auratus.</i>	0.198
	<i>Civelles</i>	0.158
	<i>Tinca vulgaris.</i>	0.132

Autrefois (1905) BOUNHIOL avait déjà comparé les espèces selon leur agilité. Il groupait les Poissons en deux catégories : 1° Les Poissons marins bons nageurs et les Poissons des torrents (Truites) qui consomment beau-

coup d'oxygène ; 2° Les Poissons marins de fond peu mobiles et la plupart des Poissons d'eau douce à respiration faible. Les espèces d'eau douce seraient, par rapport aux espèces marines voisines, des animaux à respiration ralentie.

En résumé, tous les facteurs définissant l'état physiologique de l'individu au cours de son existence (repos ou mouvement musculaire, jeûne ou nutrition) ou caractérisant les individus les uns par rapport aux autres (taille, stade de développement, sexe) influent sur leur consommation d'oxygène. Le mouvement joue un rôle évident et prépondérant. Il explique les différences d'exigence respiratoire des divers individus d'une même espèce et rend compte des différences de comportement respiratoire entre les espèces.

II. — VARIATIONS DE L'INTENSITÉ RESPIRATOIRE EN FONCTION DU MILIEU EXTÉRIEUR

1° *Influence de la température.* — La vie et la température sont étroitement liées. La vie n'est assurée qu'entre les températures qui laissent intactes la structure et la composition de la matière vivante ; mais entre ces températures extrêmes, des limites beaucoup plus étroites sont compatibles avec un fonctionnement physiologique normal. En particulier, la respiration dépend étroitement de la température. Elle croît lorsque celle-ci s'élève, jusqu'à un maximum au delà duquel commence une désorganisation profonde. Tant que ce maximum n'est pas atteint, la température accroît la consommation d'oxygène selon une loi mathématique, la loi de Van't Hoff, d'après laquelle la vitesse des phénomènes chimiques est doublée ou même triplée pour une élévation de 10°C. Il faut, du reste, apporter certaines corrections à l'application stricte de cette loi aux phénomènes respiratoires.

C'est ainsi que KNAUTHE trouve un accroissement irrégulier dans le cas de la Carpe ; EGE et KROGH, au contraire, établissent une courbe très régulièrement croissante de la consommation d'oxygène chez *Cyprinus auratus* immobilisé par l'anesthésie. GARDNER (1922-1923) admet une proportionnalité approximative entre l'élévation de température et la consommation d'oxygène chez plusieurs Poissons d'eau douce.

TABLEAU VI

Intensité respiratoire comparée de divers Poissons
(d'après GARDNER et KING)

Températures	OXYGÈNE CONSOMMÉ EN CM ³ PAR KILO-HEURE		
	Brochet	Cyprin doré	Anguille
5-6° C.	24,44	16,07	9,28
16° C.	76,79	50,09	44,40
22° C°	102,58	83,81	51,29

La question se pose alors de savoir si le maximum de l'intensité respiratoire constitue pour l'animal l'état le plus favorable ; autrement dit, est-ce en même temps un optimum ? Il est évident que non, l'excès des oxydations fatiguant l'organisme. Il importe donc de ne pas prolonger l'action des températures accrues.

2° *Influence des variations de la teneur en oxygène dissous.* — Cette influence est importante pour les transports de Poissons en bacs munis de diffuseurs d'oxygène et où des accidents se produisent parfois.

La présence d'oxygène dans les milieux aquatiques est indispensable pour assurer la vie des êtres qui les peuplent. Ceux-ci ne pouvant respirer que grâce à cette atmosphère dissoute. On peut alors se demander si leur intensité respiratoire ne dépend pas de la proportion d'oxygène qui leur est offerte.

Les différents auteurs ont donné des réponses diverses à cette question relativement aux Poissons :

WINTERSTEIN (1908) conclut à l'indépendance de l'absorption d'oxygène vis-à-vis de la tension de ce gaz.

HENZE (1910) fait la même constatation pour des Poissons marins.

GAARDER (1918) pense que la consommation d'oxygène de la Carpe n'est pas influencée par la teneur du milieu environnant tant que l'hémoglobine du sang n'est pas pleinement saturée. Quand il y a une élévation considérable de la tension d'oxygène, la consommation s'accroît.

DAKIN et CATHERINE (1925) notent l'indépendance de la respiration du Cyprin, HEE et BONNET (1925) celle de la Tanche.

Au contraire, d'après POWERS et SHIDE (1928) les Poissons respirent d'autant moins que la teneur en oxygène est plus basse. HAEMPEL (1928) soumet à l'action prolongée d'un courant d'oxygène des Poissons d'eau douce qui, d'abord nerveux et agités, s'épuisent et subissent une narcose allant jusqu'à la mort chez les jeunes sujets. Les plus âgés s'adaptent et reprennent une respiration normale au bout de 48 heures.

F. G. HALL (1929) s'adresse à des Poissons, les uns très actifs, les autres plus ou moins lents : il semble y avoir une corrélation entre cette activité et l'influence de la tension d'oxygène. L'espèce la plus active montre une plus grande résistance aux variations de cette tension que les Poissons lents.

D'après RAFFY (1933) tant que les variations de la quantité d'oxygène dissous sont faibles et progressives, la consommation en demeure inchangée. C'est ainsi que les Cyprins absorbent des quantités d'oxygène sensiblement les mêmes, quelle que soit la proportion d'oxygène qui leur est offerte, lorsque ces teneurs restent voisines de celles qu'une eau peut naturellement contenir. Mais pour les teneurs très fortes, les consommations sont nettement relevées. Du reste, si le Poisson subit d'une manière prolongée l'action d'une eau riche en oxygène, on s'aperçoit que la consommation, d'abord relevée, baisse et revient bientôt à son taux normal primitif.

TABLEAU VII

Influence de la teneur en oxygène de l'eau sur la consommation d'oxygène du Poisson rouge *Carassius auratus* 18-20°C.

Poids (g.)	Teneurs en oxygène en cm ³ p. 1000	OXYGÈNE CONSOMMÉ EN CM ³	
		par heure	par g. heure
2.642	5,9	0.284	0.107
	6,6	0.284	0.107
	11	0.292	0.110
3.458	6,97	0.400	0.115
	7,3	0.379	0.109
	11,75	0.413	0.119
	16	0.402	0.115
2.441	7,29	0.517	0.211
	9,36	0.554	0.226
	23,95	0.838	0.343
1.663	6,11	0.303	0.185
	7,4	0.229	0.140
	18,75	0.348	0.213
1.500	5,64	0.186	0.124
	25,122	0.291	0.194
2.351	5,68	0.510	0.216
	7,84	0.474	0.201
	27,08	0.624	0.265
3.294	6,969	0.247	0.107
	7,329	0.253	0.110
	19,846	0.480	0.213
Action d'un courant d'oxygène pendant deux heures.			
	23,482	0.288	0.125
Truitelles de <i>Salmo fario</i> , 20° C.			
2.259	5,75	0.764	0.338
	7,67	0.747	0.330
	16,75	0.873	0.386
2.243	23,47	0.949	0.420
	6,02	0.580	0.267
	7,62	0.704	0.313
1.973	16,165	0.800	0.356
	5,331	0.698	0.353
	23,144	0.852	0.431
2.324	5,45	0.727	0.312
	7,42	0.810	0.348
	23,044	1.042	0.448
9.664	10,260	2.394	0.247
	12,084	3.320	0.343
	15,288	3.600	0.372
Action prolongée d'un courant d'oxygène.			
	21,638	2.480	0.256

Les jeunes Truites sont plus sensibles envers la teneur en oxygène de l'eau. Dès que l'oxygène dissous atteint 16 centimètres cubes par litre, dose très supérieure à la dose maxima de saturation, la consommation augmente nettement. Mais une action prolongée d'une eau parcourue par un courant d'oxygène la ramène à la valeur initiale (tableau VII).

Enfin, les Anguilles jaunes et les Civelles respirent sans modification, lorsque varient les teneurs en oxygène. Toutefois les Civelles sont influencées par une forte teneur de l'eau en oxygène.

L'action très prolongée de fortes teneurs entraîne pourtant de graves troubles pathologiques, parfois observés dans la nature même et obtenus aussi expérimentalement.

PLEHN a rencontré, dans la nature, des Truites atteintes de la maladie des « perles de gaz » avec une vessie natatoire fortement agrandie, les globes oculaires exorbités, des bulles sur les nageoires et sous la peau. HAEMPEL a noté successivement chez des Salmonidés soumis au passage d'un courant d'oxygène de la dyspnée, de l'apnée, une exagération de la sécrétion du mucus, de l'instabilité et finalement de la narcose et de l'asphyxie.

L'action des faibles teneurs en oxygène est également importante à envisager.

GUTSELL transporte des Truites d'eaux riches dans des eaux pauvres en oxygène et note qu'elles asphyxient à partir de 2,5 % et sans exception au-dessous de 1,3 %.

WINTERSTEIN, étudiant des Gardons et des Rotangles, constate qu'une teneur de 0,7 centimètres cubes d'oxygène par litre fut très bien supportée pendant plusieurs jours. Une dose de 0,38 centimètres cubes par litre amène l'asphyxie. La teneur de 0,4 centimètres cubes serait minima pour ces espèces.

Le Poisson réagit à cette diminution de la teneur en oxygène en augmentant la fréquence des mouvements respiratoires qui, au contraire, se ralentissent quand l'eau s'enrichit en oxygène. Dans les deux cas cette cadence anormale fatigue le Poisson et l'auteur conclut qu'un excès d'oxygène est aussi peu désirable que l'est une carence en oxygène.

Les Poissons ne sont pas tous influencés de la même façon par la teneur en oxygène dissous. Certains, à faible besoin respiratoire, ne souffrent pas de la pauvreté en oxygène, qui porte au contraire préjudice à ceux qui exigent des teneurs élevées.

Pratiquement, pour l'élevage, deux groupes sont à envisager ; les Poissons du type Salmonidé, qui ont un besoin élevé d'oxygène, exigent des eaux froides courantes et propres, et les Poissons du type Cyprinidé, qui subsistent dans les eaux stagnantes.

D'après PLEHN, la Carpe se contente de 5 centimètres cubes d'oxygène

par litre. Elle subsiste encore avec 2 centimètres cubes et même 0,5 centimètres cubes au froid, pendant un temps court.

3° *Influence des variations de la réaction ionique.* — La réaction ionique de l'eau est un facteur de milieu extérieur dont les variations peuvent avoir une répercussion sur toutes les fonctions physiologiques. La vie globale n'est du reste possible qu'entre pH 6 et 8,25 d'après Mac CLENDON (1916) et, pour les effets sur la respiration des Poissons, POWERS (1922) indique qu'elle est activée entre pH 7 et 8 et plus diminuée par l'acidité que par l'alcalinité.

La nature chimique de l'acide ou de la base qui détermine la concentration en ions H de l'eau n'est d'ailleurs pas indifférente. Elle apporte un élément de toxicité particulier.

D'après les travaux de RAFFY (1933), la consommation d'oxygène est maxima dans une eau nettement alcaline de pH voisin de 8,5. De pH 8 à 7, se manifeste une baisse rapide et plus ou moins accentuée selon la nature de l'acide.

L'acide lactique et l'acide acétique produisent un abaissement des oxydations particulièrement marquée à un pH voisin de 7. L'acide phosphorique cause des oscillations plus ou moins accentuées. Parmi les bases, la potasse est plus toxique que la soude.

4° *Influence de la teneur en gaz carbonique.* — Des expériences anciennes concordent pour établir qu'un excès de gaz carbonique dissous immobilise les Poissons et que la narcose peut être suivie de mort. D'après P. BERT, 40 à 50 % de CO_2 tuent les Cyprins, 36 % suffisent d'après WELLS.

Plusieurs auteurs insistent sur la toxicité du gaz carbonique pour divers êtres aquatiques et notent un abaissement de leur consommation d'oxygène.

5° *Influence de la salinité.* — La plupart des Poissons d'eau douce ne peuvent supporter l'eau de mer. Néanmoins, certains font exception à la règle, soit qu'ils quittent les eaux douces pour aller pondre en mer (Poissons catadromes), soit qu'ils frayent en eau douce et retournent ensuite en mer (Poissons anadromes).

De nombreuses espèces supportent d'ailleurs des eaux saumâtres dans les estuaires et les lagunes littorales. Certaines remontent dans les fleuves assez loin des embouchures. Au contraire, d'autres sont très sensibles aux variations de salinités et ce n'est que par des transitions très ménagées que l'on peut leur faire supporter de faibles variations de salinité.

La plupart des Poissons d'eau douce ne peuvent supporter des mélanges salins plus concentrés que l'eau de mer au tiers. C'est ainsi que F. GUY-LARD constate que le Cyprin, la Perche, le Goujon, le Gardon ne survivent pas aux concentrations supérieures à 12 grammes pour 1.000 de sel dans l'eau. Une concentration de 15 pour 1.000 tue Goujon et Gardons en deux ou trois heures et laissent vivre un jour Cyprin et Perche. Les Carpes succombent rapidement lorsque la salinité est de 15 pour 1.000 (DUVAL).

Au point de vue respiratoire, il se produit parfois une baisse progressive de la consommation d'oxygène, puis un relèvement peu avant la mort.

Le tableau VIII en donne l'exemple :

TABLEAU VIII

	OXYGÈNE CONSOMMÉ EN CM ³ PAR HEURE	
TANCHES à 20° C.		
<i>Première journée, eau douce.</i>	N° 1 (41 g.)	N° 2 (18,5 g.)
Moyenne.	6.355	3.490
Eau contenant 11,4 g. ClNa ‰.		
Première heure.	5.978	3.534
<i>Deuxième journée.</i>		
Eau contenant 11,4 g. ClNa ‰.		
Moyenne.	4.012	2.330
Eau contenant 14 g. ClNa ‰.		
Moyenne.	3.389	2.678
<i>Troisième journée.</i>		
Eau contenant 17 g. ClNa ‰.		Morte
Première heure.	1.920	
Deuxième heure.	1.200	
Troisième heure.	Morte	
POISSONS ROUGES à 20° C.		
	Cyprin n° 1 (5,4 g.)	N° 2 (4,5 g.)
<i>Première journée.</i>		
Eau douce moyenne 11,4 g. ClNa ‰.	0.504	0.613
Première heure, 14 g. ClNa ‰.	0.466	0.611
<i>Deuxième journée, 11,4 g. ClNa ‰.</i>		
Moyenne.	0.327	0.471
Première heure, 14 g. ClNa ‰.		0.360
Première heure, 17 g. ClNa ‰.	0.333	
<i>Troisième journée, 17 g. ClNa ‰.</i>		
Moyenne.	Mort	0.432
<i>Quatrième journée.</i>		Mort

6° *Influence de la variation des facteurs dans les conditions naturelles : Journée, saisons.* — Un même habitat aquatique ne demeure pas toujours identique à lui-même. Température, éclaircissement, teneur en gaz dissous, réaction ionique, varient au cours d'une journée. Les variations sont encore plus accusées selon les saisons. La répercussion de telles variations sur la respiration n'a pas été fréquemment étudiée chez les Poissons.

Pourtant l'un de nous a suivi durant la belle saison les variations survenant dans une même station au cours des heures successives d'une même journée, en évaluant leurs effets sur la respiration de quelques êtres qui y étaient directement soumis. Les tableaux IX et X reproduisent les résultats obtenus avec un Vairon et une Loche.

On constate que l'intensité respiratoire est éminemment variable. Le Vairon passe de 0,360 à 1,609 centimètres cubes par heure (4,4 fois plus). Le *Cobitis* de 0,046 à 0,132 (2,8 fois plus). La respiration a été la plus active quand les animaux ont fait des mouvements de natation provoqués par la présence d'autres Poissons libres dans le lit du ruisseau.

Au cours de l'année, des variations saisonnières importantes sont à prévoir : — l'hibernation. (La Carpe pendant l'hivernage fait trois à quatre mouvements respiratoires par minute; au printemps à 10°, elle en fait trente à quarante; — le réveil, — la période de la fraye, — l'activité estivale sont certainement accompagnées de grandes modifications de l'intensité respiratoire. Nous ne possédons pas encore de documents sur la question.

TABLEAU IX

Respiration d'un Vairon (2,16 g.) dans les conditions naturelles
pression atmosphérique 774^{mm}

CARACTÉRISTIQUES DE L'EAU DU RUISSEAU							
Dates	Heures	Observations	Température	pH	Oxygène en cm ³ p. 1000	Consommation d'oxygène en cm ³	
						en 2 h.	en 1 h.
17-VIII	21 h.	Nuit après une journée soleil.....	24° C.	8,1	6,17	.	0.360
18-VIII	5 h. 30	Ombre un peu avant le lever du soleil	22°	7,7	2,283		
	7 h. 50	Ombre; le soleil gagne peu à peu..	22°	7,9	2,401	0.786	0.390
	9 h. 50	Plein soleil.....	22° 1/2	7,9	3,26	1.140	0.570
	12 h.	Plein soleil.....	24°	8,1	5,17	1.594	0.797
	14 h.	Plein soleil.....	26°	8,1	7,24	2.566	1.283
	16 h.	Plein soleil.....	27°	8,2	7,88	3.218	1.509
			Nombreux animaux dans le lieu de l'expérience.				
18 h.	18 h.	Ombre.....	26°	8,1	7,17	2.640	1.320
20 h.	20 h.	Nuit.....	25°	8,1			

TABLEAU X

Respiration d'une Loche (0,690 g.) dans les conditions naturelles ;
pression atmosphérique : 762^{mm}

CARACTÉRISTIQUES DE L'EAU DU RUISSEAU									
Dates	Heures	Observations	Température	pH	Teneur en oxygène cm ³ o/100	Consommation d'oxygène en cm ³			
						en 2 h.	en 1 h.		
8-IX	7 h.	Ombre sur le lieu des prélèvements	11° C.	7,9	5.547	0.123	0.061	Poisson calme.	
	8 h.	Ombre sur le lieu des prélèvements	11°	7,95	5.547				
	9 h.	Ombre sur le lieu des prélèvements	11°1/4	8	6.149	0.092	0.046		
	10 h.	Soleil	12°	8	6.88				
	11 h.	Soleil	13°	8,2	7.31	0.264	0.132	Agité, autres poissons autour.	
	12 h.	Plein soleil	13°1/2	8,2	7.611				
	13 h.	Plein soleil	14°1/2	8,2	8.041	0.247	0.123		
	14 h.	Plein soleil	14°1/2	8,3	8.148				
	15 h.	Plein soleil							
			Parfois légers nuages.	15°1/2	8,1	7.998	0.218	0.109	
	16 h.		Parfois légers nuages.	15°1/2	8,2	8.385			
9-IX	17 h.	Ombre sur le lieu	15°1/2	8,1	8.191	0.218	0.109	Agité, mais sans autres poissons.	
	18 h.	Soleil se couche	15°1/4	8,2	7.955				
	19 h.	Soleil bas à l'horizon, ombre	15°	8,2	7.697				
	20 h.	Soleil couché, crépuscule	15°	8,2	7.439				
	2 h.	Nuit	13°	7,8	5.719				
	7 h.	Soleil levé							
	7 h.	Ombre sur le lieu des prélèvements	11°	7,9	5.848				

BIBLIOGRAPHIE DES AUTEURS CITÉS

- BERT (P.), 1874. — *C. R. Soc. Biol.*, I, p. 214.
BOUNHIOL (J. P.), 1905. — *Bull. Sci., France et Belgique*, 39, p. 227.
MAC CLENDON (J. F.), 1916. — *Journ. Biol. Chem.*, 28, p. 35.
DAKIN (W. J.) and CATHERINE (M. G.), 1925. — *British Journal of experim. biol.*, n° 293.
DUVAL (M.), 1925. — *Ann. Inst. Océanog.*, N-s-t-2, fasc. 3.
EDWARDS (W. F.), 1824. — *De l'influence des agents physiques sur la vie*, Paris.
EGE (R.) and KROGH (A.), 1914. — *Internat. Revue f. Hydrobiol. und Hydrogr.* 6, p. 48.
GAARDER (T.), 1918. — *Biochem. Zeitschr.*, 89, p. 94.
GARDNER (Y. A.) and KING (G.), 1922. — *The biochem. Journ.*, 16, pp. 729-736.
GARDNER (Y. A.) and KING (G.), 1923. — *The biochem. Journ.*, 17, p. 170.
GUEYLARD (Fr.), 1924. — *Thèse Fac. des Sc.*, Paris.
GUTSELL (J. S.), 1929. — *Ecology*, 10, p. 77.
HAEMPEL (O.), 1928. — *Zeitschr. für vergl. Physiol.*, 7, p. 553.
HALL (F. G.), 1929. — *Amer. Journ. Physiol.*, p. 212.
HEE (A.) et BONNET (R.), 1925. — *Arch. Int. Physiol.*, 25, p. 279.
HENZE (M.), 1910. — *Biochem. Zeitschr.*, 26, p. 255.
Van der HEYDE (H. C.), 1923. — *Thèse Fac. des Sc.*, Paris.
HUMBOLDT et PROVENÇAL, 1809. — *Mémoires de phys. et chim. de la Soc. d'Arcueil*, 2, p. 359.
JACOBSEN (J. P.), 1921. — *Méthode de Winkler*, *Bull. Inst. Océan.*, n° 390.
KNAUTHE (K.), 1898. — *Pflüger, Arch.*, 73, p. 490.
LEVY (A.) et MARBOUTIN (F.), 1897. — *Bull. Soc. Chim.* (3), 17, p. 624.
NICLOUX (M.), 1930. — *Bull. Inst. Océan.*, n° 563 ou *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 12, p. 1326.
PLEHN (M.), 1924. — *Practicum der Fischkrankheiten*, Stuttgart.
POWERS (E. B.), 1922. — *The Journ. of Génér. physiol.*, 4, p. 305.
POWERS (E. B.) and SHIPE (L. M.), 1928. — *Publ. Puget, Sound Biol. Stat.*, 5, p. 365.
QUINQUAND, 1873. — *C. R. Ac. Sc.*, 76, p. 1141.
RAFFY (A.), 1933. — *Ann. Inst. Océanogr.*, t. 13, fasc. 7, p. 263.
WELLS (M. M.), 1918. — *Bull. Ill. State. Lab. Nat. Hist.*, 11, p. 557.
WINTERSTEIN (H.), 1908. — *Pfl. Arch.*, 125, p. 73.
-