

*nutritive agent* (*Boston med. and surgical Journal*, juin 1872, LXXXVI, 413). — *Ueber die Interferenz des retardirenden und beschleunigenden Herznerven* (A. P., 1872, 259-280). — *The lymph spaces in fasciæ* (*Proceedings of the American Acad.*, 11 févr. 1873). — *Reports on Physiology* (*Boston med. and surg. Journal*, 1873-1876). — *The influence of anesthetics on the vasomotor centres* (En collabor. avec C. S. MINOT. *Boston med. and surg. Journ.*, 21 mai 1874, 493-498). — *Force of ciliary motion* (*Ibid.*, 10 août 1876, 159-164). — *A new form of inductive apparatus* (*Proceedings of the Am. Acad.*, 12 oct. 1875). — *The growth of children* (8<sup>e</sup> Ann. *Reports state Bd. of Health* of May 1879, 51 p., 13 fig.). — *Does the apex of the heart contract automatically?* (*J. P. Cambridge*, I, n<sup>o</sup> 1, 104-107). — *The growth of children, supplementary investigation* (10<sup>e</sup> Ann. *Rep. state Bd. of Health* of May, 1879). — *The effect of the respiratory movements on the pulmonary circulation* (En collabor. avec GARLAND. *J. P.*, Cambridge, II, n<sup>o</sup> 2, 91-109). — *A new form of Plethysmograph* (*Proceedings of the Am. Acad.*, 14 mai 1879). — *Physiological apparatus in use at the Harvard medical School* (*J. P.*, Cambridge, II, n<sup>o</sup> 3, 202-205). — *The relation between growth and disease* (*Transactions of the Am. med. Assoc.*, 1881). — *A comparison of sight and touch* (En collabor. avec SOUTHARD. *J. P.*, Cambridge, III, n<sup>o</sup> 3, 232-245). — *Optical illusions of motion* (En collabor. avec HALL. *J. P.*, Cambridge, III, n<sup>o</sup> 5, oct. 1882, 297-307). — *On the collection of data at autopsies* (*Boston med. and surg. Journ.*, 19 oct. 1882, II, 365-366). — *Plethysmographische Untersuchungen über die Gefässnerven der Extremitäten* (En collabor. avec WARREN. *Centralblatt für die med. Wissensch.*, Berlin, 1883, 513-514). — *Force production* (*Boston med. and surg. Journ.*, 1883, CVIII, 385). — *Note on the nature of nerve force* (*J. P.*, Cambridge, VI, n<sup>o</sup> 3, mai 1885, 133-135). — *What is nerve force?* (*Proceedings of the Am. Assoc. for Adv. of Sc.*, XXXV, août 1886). — *Plethysmographic experiments on the vasomotor nerves of the limbs* (En collabor. avec WARREN. *J. P.*, Cambridge, VII, nos 5 et 6, nov. 1886, 416-450). — *The action of sulphuric ether on the peripheric nervous system* (*Am. Journ. of med. sciences*. Philadelphie, avril 1887, 444-455). — *The reinforcement and inhibition of the Knee-jerk* (*Boston med. and surg. Journ.*, 31 mai 1888, 542-543). — *Hints for teachers of physiology* (*Boston, D. C. Heath*, 1889). — *The Knee-jerk and its physiological modifications* (En collabor. avec WARREN. *J. P.*, Cambridge, XI, 1890, 25-64). — *Phys. of women in Massachusetts* (*Ann. Rep. of the state Bd. of Health* of May, 1889). — *Ueber den Nachweis der Uermüdlichkeit der Säugethiernerven* (A. P., Leipzig, 1890, 505-508). — *The growth of children studied by Galton's method of percentile grades* (22<sup>e</sup> Ann. *Rep. of the state Bd.* May 1890, 479). — *Is Harvard a University?* (*Harvard Monthly*, janv. 1890, IX, 143-151). — *Are Composite photographs typical pictures?* (*Mc Clur's Magazine*, sept. 1894). — *A card catalogue of scientific literature* (*Science*, 15 fév. 1895).

**BRANCHIE et Respiration branchiale.** — Les branchies sont les organes respiratoires des animaux aquatiques, formés par des replis des téguments, flottant librement dans l'eau, et à l'intérieur desquels circulent le sang et la lymphe.

L'oxygène dissous dans l'eau passe par diffusion à travers la membrane de la branchie et est absorbé par le sang qui le distribue ensuite aux différents organes du corps. De même l'acide carbonique, résidu de la combustion organique, chemine en sens inverse, c'est-à-dire du sang vers l'eau extérieure. Le même phénomène d'absorption d'oxygène et d'exhalation de CO<sup>2</sup> se produit d'ailleurs par toute la surface de la peau chez la plupart des animaux aquatiques. Chez les Protozoaires, les Coelentérés, un certain nombre d'Annélides et de Mollusques, il n'y a pas de vraies branchies : la respiration est exclusivement cutanée.

D'ailleurs cette respiration cutanée peut suffire à entretenir la vie chez d'autres animaux aquatiques qui possèdent cependant des branchies. L'Axolotl (P. BERT) supporte fort bien l'amputation de ces organes, ainsi que celle des poumons, et continue à absorber l'oxygène et à rejeter CO<sup>2</sup> dans l'eau extérieure.

Pour que la branchie puisse remplir sa fonction respiratoire, il faut que les deux liquides en présence, eau et sang, se renouvellent constamment. Nous n'avons pas à nous occuper de la circulation du sang à l'intérieur des vaisseaux afférents et efférents des branchies. Quant au renouvellement de l'eau, il est réalisé par différents procédés. Chez les Echinodermes, les Annélides, les Mollusques, les Ascidiées et les larves de Batraciens. au premier stade du développement, la surface des branchies est recouverte de cils vibra-

tiles qui attirent l'eau extérieure vers la surface respiratoire, puis la repoussent au loin. C'est ce que l'on reconnaît parfaitement aux mouvements des corpuscules solides que l'eau tient en suspension. Si l'on détache un fragment de branchie, les mouvements des cils continuent à se produire et déplacent assez rapidement le fragment qui les porte (STEINBUCH, FÜRTH et SHARREY, Cités par J. MÜLLER).

Chez beaucoup de Mollusques, les branchies sont protégées par des replis de la peau et comme renfermées dans des sacs, à l'intérieur desquels le courant aqueux suit une direction déterminée. Un certain nombre de Lamellibranches ont une cavité branchiale qui communique avec l'extérieur par deux longs tuyaux accolés constituant le siphon : l'un sert à l'entrée de l'eau, l'autre à la sortie.

(C. ALDER et HANCOCK. *On the branchial currents in Pholas and Mya*, *Annals of nat. History*, (2), vol. VIII, 3-70, 1851.)

Chez d'autres animaux aquatiques où les branchies ne sont pas recouvertes de cils vibratiles, le renouvellement de l'eau est assuré par de véritables mouvements respiratoires des branchies ou des cavités dans lesquelles ces organes sont contenus. Ainsi chez l'écrevisse, et chez le homard, la chambre respiratoire située sur le côté du thorax est traversée d'arrière en avant par un courant d'eau entretenu par les mouvements rythmés d'une palette mobile, le fouet ou appendice externe de la deuxième mâchoire. MILNE-EDWARDS a montré qu'en sectionnant les muscles qui animent cette palette mobile, on supprime le renouvellement de l'eau, et qu'on fait périr l'animal par asphyxie. Il a étudié le mécanisme des mouvements respiratoires dans les différents groupes de crustacés. (H. MILNE EDWARDS. *Mécanisme de la respiration chez les articulés*; *Ann. des sc. nat. Zoologie*, (2), XI, 129, 1839. *Leçons sur la physiologie et l'anatomie comparée de l'homme et des animaux*, I et II, 1857.)

Chez les mollusques céphalopodes le sac qui contient les branchies exécute de véritables mouvements rythmés d'inspiration et d'expiration. A l'inspiration, le sac se dilate, l'eau se précipite à droite et à gauche par la large fente qui fait communiquer le sac avec l'extérieur. A l'expiration, cette fente se referme; le sac se resserre, et l'eau est lancée à l'extérieur par l'orifice de l'entonnoir, contre lequel viennent s'appliquer les bords de la fente respiratoire. Le mouvement d'inspiration est d'ailleurs accompagné d'un mouvement d'expansion des branchies. (PAUL BERT. *Mémoire sur la physiologie de la seiche*. — LÉON FREDERICQ. *Sur l'organisation et la physiologie du poulpe*. *Arch. zool. exp.*, 1878. — S. FUCHS. *Beiträge zur Physiologie des Kreislaufes bei den Cephalopoden*. *A. Pf.* LX, 173, 1895. — JOUBIN. *Struct. et développ. de la branchie de quelques Céphalopodes*. *Arch. zool. exp.*, 1885, p. 75. — J. V. UEXKÜLL. *Rhysiol. Unters. an Eledone moschata*. *Z. f. Biologie*, XXVIII, 562.)

Chez les poissons, le renouvellement de l'eau est également assuré par des mouvements alternatifs de dilatation et de resserrement des parois de la cavité branchiale. Chez les poissons osseux, la bouche s'ouvre en même temps que les opercules des ouïes s'écartent; il en résulte un agrandissement de la cavité respiratoire qui provoque l'entrée d'un flot de liquide, principalement par la bouche. L'eau n'entre guère par les fentes branchiales : il y a là une membrane flottante faisant plus ou moins office de soupape. A l'expiration, la bouche se referme et les opercules s'abaissent, d'où resserrement de la cavité : l'eau, qui était entrée surtout par la bouche, sort par les fentes branchiales, sa sortie du côté de la bouche étant empêchée par un repli valvulaire. Au reste, ces valvules sont loin d'être d'infranchissables obstacles; pour peu que la respiration devienne difficile, on voit l'eau entrer et sortir à la fois par la bouche et les ouïes. PAUL BERT a conservé en vie de petites carpes, dont les unes avaient les opercules liés des deux côtés, de manière à empêcher la sortie de l'eau, dont les autres avaient la bouche cousue, de manière à empêcher l'entrée de l'eau; chacun des orifices restés libres jouait alternativement chez ces poissons le rôle d'orifice inspirateur et expirateur.

FLOURENS a montré qu'outre les mouvements de totalité de l'appareil respiratoire, les lamelles branchiales étaient agitées elles-mêmes de mouvements propres. D'une manière générale, elles s'écartent les unes des autres durant l'inspiration, pour se rapprocher jusqu'à se juxtaposer au moment où se resserrera tout l'appareil maxillo-branchial. (FLOURENS. *Mémoires d'anatomie et de physiologie comparée*, 3<sup>e</sup> mém : *expériences sur le mécanisme de la respiration des poissons*, 75, Paris, 1844. — Voir aussi : CONSTANT

DUMÉRIL. *Mémoire sur le mécanisme de la respiration des poissons. Magasin encyclopédique*, VI, 35, Paris, 1807. — DUVERNOY. *Du mécanisme de la respiration des poissons. Ann. des sc. nat. Zool.*, (2), XII, 65, 1839. — REMAK. *Bemerkungen über dieäusseren Athemmuskeln der Fische. MÜLLER'S Archiv*, 1843, X, 190.)

PAUL BERT a le premier réalisé l'inscription des mouvements respiratoires des poissons au moyen d'ampoules en caoutchouc reliées chacune à un tambour à levier. Ces ampoules étaient placées soit dans une fente branchiale, soit dans la cavité buccale; soit au niveau de l'orifice buccal. Les mouvements de l'opercule ont été enregistrés par PAUL BERT et par M'KENDRICK au moyen d'un explorateur formé d'une capsule à air munie d'un bouton et reliée à un tambour à levier. Le bouton était appliqué contre la face extérieure de l'opercule. (PAUL BERT. *Leçons sur la physiologie comparée de la respiration*, 1870, 225. — M'KENDRICK. *The respiratory movements of Fishes. The journal of Anatomy and Physiology*, 1879, XIV, 461-466. pl. XXVIII.) Les graphiques publiés par PAUL BERT et par M'KENDRICK rappellent les graphiques respiratoires des mammifères. Grâce à l'emploi de la méthode graphique, PAUL BERT a pu rectifier les idées erronées que DUVERNOY avait émises au sujet du mécanisme respiratoire des poissons.

Nous renvoyons au livre de PAUL BERT pour l'étude du mécanisme de la respiration chez l'Amphioxus, les Myxines, les Lamproies et les Plagiostomes.

Il nous reste à signaler un fait extrêmement intéressant qui nous est présenté par les branchies d'un certain nombre de larves aquatiques d'insectes, notamment des libellules. Chez ces animaux, comme l'a vu RÉAUMUR, l'eau entre et sort d'un mouvement alternatif et régulier par l'orifice anal, elle vient baigner les feuilletts branchiaux qui garnissent les parois du rectum. Mais l'oxygène dissous dans l'eau ne passe pas ici directement dans le sang, il pénètre sous forme gazeuse dans les tubes trachéens contenus dans les lamelles branchiales et de là se répand par les trachées dans les différents organes du corps. (DUTROCHÉ. *Du mécanisme de la respiration des insectes*, II, Paris, 1837. — LÉON DUFOUR. *Études et observations anatomiques et physiologiques sur les larves de libellules. Ann. des sc. nat. Zool.*, (3), XVII, 65, 1852.)

**Échanges respiratoires chez les animaux aquatiques.** — Ainsi que SPALLANZANI l'a montré le premier (voir SPALLANZANI. *Mémoires sur la respiration*. Genève 1803. — SENEBIER, *Rapport de l'air avec les êtres organisés*, I, 130. — H. DAVY, *Contributions in physical and medical knowledge*, 1799, 138. — SYLVESTRE, *Bulletin de la société philomatique*, I, 17), la respiration branchiale consiste comme la respiration aérienne en une absorption d'oxygène (dissous dans l'eau) et en une exhalation de CO<sup>2</sup> au niveau de la branchie. Comme pour la respiration pulmonaire, il s'agit probablement d'un simple phénomène de diffusion, chacun des gaz considérés cheminant de l'endroit à tension forte vers l'endroit à tension faible.

L'eau saturée d'air à 14° et 760 millimètres de pression contient, d'après PETERS-SON et SONDÉN (*Ber. d. d. chem. Ges.*, XX, 1443) 7,05 centimètres cubes d'oxygène et 14,16 centimètres cubes d'azote (à 0° et 760 millimètres P) par litre d'eau. Ordinairement l'eau des fleuves et des étangs est presque saturée d'oxygène.

H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE (*A. Ch. Ph.*, XXIII, 42) a trouvé par litre : 7,9 centimètres cubes d'oxygène dans l'eau de la Garonne en amont de Toulouse, 8,4 centimètres cubes dans celle du Rhône à Genève, 7,4 centimètres cubes pour le Rhin à Strasbourg et 4,9 dans l'eau de Seine prise à Bercy en juillet. L'eau de Seine contient de 6 à 8 centimètres cubes d'après GRÉHANT, et JOLYET et REGNARD. Ces derniers expérimentateurs ont trouvé 7,9 centimètres cubes pour l'eau de l'étang de Ville-d'Avray et 4,5 à 6,34 centimètres cubes dans l'eau de mer. Un litre d'eau contient donc 25 à 30 fois moins d'oxygène qu'un égal volume d'air. Pour fournir les 70 centimètres cubes d'oxygène que consomme une tanche par heure et kilogramme d'animal, il faudrait donc prendre complètement l'oxygène dissous dans 10 litres d'eau.

Malgré cette faible teneur en oxygène dissous, ce gaz diffuse cependant rapidement et en quantité suffisante de l'eau vers le sang branchial des poissons pour répondre aux besoins de la respiration. La diffusion est favorisée ici par l'énorme surface d'échange que présentent les branchies lorsque leurs lamelles sont suspendues et étalées dans l'eau. Si la plupart des poissons périssent rapidement par asphyxie lorsqu'on les retire de l'eau et qu'on les place à l'air, c'est que leurs lamelles branchiales s'accolent les unes

aux autres et forment ainsi des masses compactes à surface insuffisante pour les échanges respiratoires : c'est ce que FLOURENS a nettement montré le premier. Avant lui, on attribuait à tort la mort des poissons dans l'air à la dessiccation de leurs branchies.

HUMBOLDT et PROVENÇAL (*Mémoires de phys. et de chimie de la société d'Arcueil*, II, 369) cherchèrent à déterminer la valeur de l'absorption d'oxygène et d'exhalation de  $\text{CO}_2$ , en plaçant des poissons pendant un temps donné dans un volume connu d'eau de Seine dont les gaz avaient été dosés, et en analysant pareillement à la fin de l'expérience les gaz contenus dans l'eau employée. Leurs recherches n'ont pour nous qu'un intérêt historique, parce que le procédé d'extraction des gaz de l'eau était imparfait et que les animaux étaient laissés trop longtemps dans un volume de liquide insuffisant. Les poissons n'étaient retirés de l'eau que lorsqu'ils étaient déjà très souffrants et près de mourir.

BAUMERT (*Chemische Untersuchungen über die Respiration des Schlammpeizgers. Cobitis fossilis*. Heidelberg, 1852) se servit de procédés plus parfaits pour déterminer la valeur des échanges respiratoires des poissons. Les analyses de gaz furent faites d'après la méthode de BUNSEN; de plus, dans plusieurs de ses expériences, l'eau servant à la respiration des poissons était constamment renouvelée (Voir plus loin les chiffres des expériences de BAUMERT).

On sait que les loches (*Cobitis*) avalent de l'air qui séjourne un certain temps dans l'intestin et est ensuite expulsé par l'anus. Cette respiration intestinale est encore plus active chez un poisson du Brésil, *Callichthys asper* Cuv. (JOBERT. *Ann. des sciences naturelles. Zool.*, (6), V, 1877). BAUMERT a trouvé que l'air expulsé par l'anus chez le *Cobitis* contenait (moyenne de trois expériences) : 87,48 de Az; 12,03 de  $\text{O}_2$  et seulement 0,79 p. 100 de  $\text{CO}_2$ . Il refit deux fois l'analyse chez des poissons qui pendant plusieurs heures avaient été empêchés d'avalier de l'air. Il trouva en moyenne 91,33 de Az, 7,94 de O et 0,73 p. 100 de  $\text{CO}_2$ . La respiration branchiale seule maintient donc dans le sang de la loche la tension de  $\text{CO}_2$  à une valeur inférieure à celle qu'on trouve dans le sang des mammifères.

QUINQUAUD a fait également quelques déterminations d'oxygène consommé par les poissons. L'oxygène était dosé dans l'eau par l'hydrosulfite de sodium (Voir plus loin les chiffres trouvés par QUINQUAUD).

Les expériences de GRÉHANT sur le chimisme respiratoire des poissons ont le défaut d'avoir été prolongées jusqu'à consommation intégrale de l'oxygène dissous dans l'eau. Les poissons étaient donc à la fin de l'expérience dans un état d'asphyxie commençante, et l'on ne peut considérer les chiffres d'oxygène consommé et de  $\text{CO}_2$  produit comme correspondant aux conditions normales de l'existence. Au reste le volume de  $\text{CO}_2$  produit dépassait toujours (parfois du double) le volume d'oxygène consommé (contrairement aux affirmations de HUMBOLDT et PROVENÇAL). GRÉHANT constata aussi que l'extirpation de la vessie natatoire n'a pas, comme le croyaient HUMBOLDT et PROVENÇAL, d'influence marquée sur le chimisme respiratoire de la tanche (GRÉHANT. *Recherches physiologiques sur la respiration des poissons*. Thèse de Paris, 1870, et *Journal de l'anatomie et de la physiologie*, 1870, 213).

GRÉHANT constata que les poissons vivent beaucoup plus longtemps dans de l'eau additionnée de 1/10 de son volume de sang de chien défibriné et artérialisé que dans de l'eau ordinaire, et qu'ils consomment une partie de l'oxygène combiné à l'hémoglobine du chien. Il compare ce mode de respiration avec la respiration placentaire du fœtus de mammifères (GRÉHANT. *C. R.*, LXXV, 621). JOLYET et REGNARD ont contesté les résultats de cette expérience. KRUKENBERG a constaté également que les poissons ne peuvent utiliser l'oxygène de l'hémoglobine dissoute dans l'eau dans laquelle on les place (KRUKENBERG. *Bedenken gegen einige aus neueren Untersuchungen über den Gaswechsel bei Fischen und bei Wirbellosen gezogene Schlussfolgerungen. Physiol. Studien a. d. Küsten d. Adria*. 1 Abth., 160, Heidelberg).

Enfin GRÉHANT a fait avec PICARD une série d'expériences sur l'asphyxie et la cause des mouvements respiratoires chez les poissons, *C. R.*, LXXVI, 646). Si on place un poisson dans de l'eau bouillie, ne contenant pas d'oxygène, jusqu'à ce que les mouvements respiratoires aient disparu, il suffit de replacer l'animal dans de l'eau contenant très peu d'oxygène pour que la respiration se rétablisse. Si on plonge le corps entier du poisson et même les branchies dans l'eau, en ayant soin de tenir l'extrémité de la bouche en dehors de l'eau, la respiration s'arrête en peu d'instant; par contre un poisson que l'on tient

en l'air continue à respirer tant que l'extrémité du museau resté en contact avec la surface de l'eau. Les auteurs admettent que les mouvements respiratoires ont pour point de départ une action sur les nerfs sensibles de la bouche, et que de plus il faut la présence dans le sang d'une certaine quantité d'oxygène.

MORREN (C. R., 1845, cité par JOLYET et REGNARD) avait déjà constaté que, toutes les fois que pour une cause quelconque les eaux de nos rivières et de nos étangs arrivent à ne plus contenir que 2 à 3 centimètres cubes d'oxygène par litre, au lieu de 7 à 8, ou plus, qu'elles contiennent normalement, un grand nombre de poissons mouraient, et que les plus voraces d'entre eux (brochets, perches) étaient frappés les premiers.

JOLYET et REGNARD (A. P., 1877) ont montré que le cyprin doré éprouve un malaise respiratoire très marqué, lorsqu'on soumet le milieu dans lequel il vit à une diminution de pression (abaissement de 76 à 44 centimètres de mercure) correspondant à une tension d'oxygène d'un peu plus de 3 p. 100 d'une atmosphère. Ce n'est pas l'action mécanique de la pression qui intervient ici, puisque le poisson supporte parfaitement une dépression plus forte (pression de 41 centimètres cubes de mercure seulement) si l'on a soin de faire barboter dans l'eau une atmosphère suroxygénée. C'est une question de tension d'oxygène.

(Voir aussi CH. RICHET, *Observations sur la respiration de quelques poissons marins. Gaz. méd. de Paris*, (6), 2, 1880, 592-593.)

Nous devons également à DUCAND et HOPPE-SEYLER (*Beiträge zur Kenntniss der Respiration der Fische. Zeits. f. physiol. Chemie*, 1893, XVII, 164) une série d'expériences sur l'influence exercée par la quantité d'oxygène dissous dans l'eau sur la respiration de la truite et de la tanche. Lorsque la tension de l'oxygène est comprise entre 8 et 11 p. 100 la respiration des poissons paraît tout à fait normale. Lorsque cette tension descend à 2 à 4. 5 p. 100 les truites souffrent de dyspnée et mourraient assez rapidement si on prolongeait l'expérience. Les tanches supportent une dépression d'oxygène encore plus forte.

Les mêmes expérimentateurs ont constaté l'extrême lenteur avec laquelle l'oxygène diffuse à travers l'eau (*Ueber die Diffusion von Sauerstoff und Stickstoff in Wasser, Arch. f. physiol. Chemie*, 1893, XVII, 147 et 1894; XIX, 410). P. REGNARD a fait des observations analogues. Il faudrait d'après lui un millier d'années pour que l'oxygène pénétrât par la seule action de la diffusion jusqu'au fond de la Méditerranée.

La série la plus complète de recherches sur le chimisme de la respiration chez les animaux aquatiques est due à JOLYET et REGNARD (*Recherches sur la respiration des animaux aquatiques. A. P.*, 1877, 584, (2), IV). L'appareil dont ils se sont servis est construit sur le principe de celui de REGNAULT et REISET. C'est un appareil parfaitement clos, contenant une certaine quantité d'eau où surnage une atmosphère limitée. L'air circule constamment et barbote dans l'eau par le jeu d'une poire en caoutchouc que l'on soumet à des compressions régulières. On maintient la composition de ces milieux constante en faisant passer l'air à travers un flacon laveur contenant une solution de potasse titrée, qui absorbe CO<sup>2</sup>. L'appareil est relié à un réservoir gradué d'oxygène, qui remplace ce gaz à mesure qu'il est consommé. L'air, l'eau et la potasse sont analysés au début et à la fin de l'expérience.

Le tableau de la page 247 reproduit d'après ROSENTHAL (H. H., IV, 2, 149) les résultats des expériences de BAUMERT, QUINQUAUD, JOLYET et REGNARD sur la consommation de l'oxygène et la production de CO<sup>2</sup> chez les animaux aquatiques.

Dans la respiration des animaux aquatiques, l'oxygène et l'acide carbonique traversent la membrane de la branchie en vertu des lois de la diffusion, chacun de ces gaz cheminant de l'endroit à forte tension vers l'endroit à faible tension; il ne semble pas nécessaire de faire intervenir ici une action spécifique de la membrane branchiale.

L'auteur de cet article<sup>1</sup> a montré que chez les invertébrés, mollusques, céphalopodes et crustacés décapodes, les sels dissous dans l'eau du milieu extérieur traversent la branchie par diffusion et tendent à se mettre en équilibre avec les sels dissous dans le sang. La proportion de sels solubles contenus dans le sang des crustacés peut varier dans des

1. LÉON FREDERICQ. *Archives de zoologie expér. et génér.*, 1884. *Livre jubilaire de la Soc. de méd. de Gand*, 1884. *Travaux du laboratoire*, III, 187, 1889-90.

	POIDS EN GRAMMES.	TEMPÉRATURE °C.	PAR KILOGRAMME- HEURE		QUOTIENT RESPIRATOIRE.	AUTEURS.	OBSERVATIONS.
			Oxygène consommé, c.c.	CO <sub>2</sub> exhalé.			
<i>Poissons d'eau douce:</i>							
Cyprinus auratus. . . . .	12-14	8	26,3	20,9	0,795	BAUMERT.	Animaux nourris insuffisamment.
— — . . . . .	12-14	11-12	41,3	31,4	0,760	—	Moyenne de 3 expériences.
— — . . . . .	33-40	12	45,8	32,7	0,715	JOLYET ET REGNARD.	Moyenne de 2 expériences.
— — . . . . .	82-130	12	35,03	25,7	0,733	—	Moyenne de 3 expériences.
— — . . . . .	85	2	14,8	»	»	—	} Démonstration de l'influence de la température.
— — . . . . .	85	10	37,8	»	»	—	
— — . . . . .	85	30	147,8	»	»	—	
— phoxinus. . . . .	5	16	140,0	120,4	0,86	—	
— Tinca. . . . .	222	14	55,7	36,7	0,66	—	} C. R., LXXVI, 114-9.
— — . . . . .	500	?	70,0	»	»	QUINQUAUD.	
— — . . . . .	185-224	?	128,0	»	»	—	
— Carpio. . . . .	28	?	128	»	»	—	
— — . . . . .	plus de 4000	?	48	»	»	—	} Animaux nourris normalement
— Tinca. . . . .	190-223	5	11,53	8,09	0,70	BAUMERT.	
— — . . . . .	190-223	8	12,71	9,43	0,74	—	
— — . . . . .	190-223	10	13,22	9,77	0,74	—	
Cobitis fossilis. . . . .	46-61	9-12	31,8	32,2	1,01	—	Moyenne de 6 expériences.
— — . . . . .	43-61	13	27,2	27,4	1,01	—	Moyenne de 4 expériences.
— — . . . . .	43-61	13,5-18	37,0	31,8	0,86	—	Moyenne de 3 expériences.
— — . . . . .	43-61	19-21,5	41,3	35,1	0,85	—	Moyenne de 2 expériences.
— — . . . . .	16	17-22	86,3	67,3	0,78	JOLYET ET REGNARD.	
Muraena anguilla. . . . .	51	14	40,5	32	0,79	—	
— — . . . . .	112	15	48,0	28,8	0,60	—	
<i>Poissons de mer:</i>							
Mullus. . . . .	390	15	171	147	0,86	—	L'animal fait des mouvements énergiques.
— . . . . .	23	14	134,0	108,5	0,81	—	
Sparus auratus. . . . .	75	19	142	90,9	0,64	—	
Trigla hirundo. . . . .	350	15	94,5	68	0,71	—	
Muraena conger. . . . .	545	13	59,8	43	0,72	—	
— — . . . . .	145	16	75,7	50,7	0,67	—	
Raja torpedo. . . . .	315	14,5	47,0	27,5	0,585	—	Moyenne de 2 expériences.
Pleuronectes solea. . . . .	185	14	73,5	59,5	0,81	—	
— maximus. . . . .	320	15	80,0	48	0,60	—	Très vorace — après un repas.
Squalus catulus. . . . .		»	54,5	52,4	0,83	—	
Syngnathus. . . . .	10,5	»	89,9	76,4	0,85	—	
<i>Perennibranchiati:</i>							
Axolotl. . . . .	42	11,5	45,2	25,3	0,56	—	
<i>Crustacés d'eau douce:</i>							
Astacus fluviatilis. . . . .	31	12,5	38,0	32,7	0,86	—	
Gammarus pulex. . . . .	?	12,5	132,0	95	0,72	—	
<i>Crustacés marins:</i>							
Palaemon squilla. . . . .	?	19	125	103,8	0,83	—	
Cancer pagurus. . . . .	470	16	107,0	89,9	0,84	—	
Homarus vulgaris. . . . .	315	15	68,0	54,4	0,8	—	
Palinurus quadricorn. . . . .	520	15	44,2	38,9	0,88	—	
<i>Mollusques:</i>							
Octopus vulgaris. . . . .	2310	15,5	44,1	37,9	0,86	—	
Cardium edule. . . . .	10	15	14,8	12,4	0,84	—	} Les bivalves sont pesés avec leur coquille. — Défalcation faite des coquilles, les échanges respiratoires auraient la même énergie que chez le poulepe.
Mytilus edulis. . . . .	25	14	12,2	9,3	0,76	—	
Ostrea edulis. . . . .	50	13,5	13,4	10,6	0,79	—	
<i>Zoophytes:</i>							
Asteracanthion rubens. . . . .	»	19	52	25,3	0,79	—	
<i>Vers:</i>							
Hirudo officinalis. . . . .	2,2	13,5	22,98	15,9	0,69	—	} Les mêmes animaux gorgés de sang de chien.
Hirudo officinalis. . . . .	»	13,0	39,70	35,7	0,90	—	

	POIDS EN GRAMMES.	TEMPÉRATURE °C.	PAR KILOGRAMME- HEURE		QUOTIENT RESPIRATOIRE.	AUTEURS.	OBSERVATIONS.	
			Oxygène consommé, c.c.	CO <sup>2</sup> exhalé.				
<i>Poissons d'eau douce:</i>								
Cyprinus auratus. . . . .	12-14	8	26,3	20,9	0,795	BAUMERT.	Animaux nourris insuffisamment.	
— — . . . . .	12-14	11-12	41,3	31,4	0,760	—	Moyenne de 3 expériences.	
— — . . . . .	33-40	12	45,8	32,7	0,715	JOLYET ET REGNARD.	Moyenne de 2 expériences.	
— — . . . . .	82-130	12	35,03	25,7	0,733	—	Moyenne de 3 expériences.	
— — . . . . .	85	2	14,8	»	»	—	Démonstration de l'influence de la température.	
— — . . . . .	85	10	37,8	»	»	—		
— — . . . . .	85	30	147,8	»	»	—		
— phoxinus. . . . .	5	16	140,0	120,4	0,86	—	Défaut passager d'oxygène pendant l'expérience.	
— Tinca. . . . .	222	14	55,7	36,7	0,66	—	C. R., LXXVI, 114-9.	
— — . . . . .	500	?	70,0	»	»	QUINQUAUD.		
— — . . . . .	185-224	?	128,0	»	»	—		
— Carpio. . . . .	28	?	128	»	»	—	Animaux nourris normalement	
— — . . . . .	plus de 1000	?	48	»	»	—		
— Tinca. . . . .	190-223	5	11,53	8,09	0,70	BAUMERT.		
— — . . . . .	190-223	8	12,71	9,43	0,74	—	Moyenne de 6 expériences.	
— — . . . . .	190-223	10	13,22	9,77	0,74	—		
Cobitis fossilis. . . . .	46-61	9-12	31,8	32,2	1,01	—		
— — . . . . .	43-61	13	27,2	27,4	1,01	—	Moyenne de 4 expériences.	
— — . . . . .	43-61	13,5-18	37,0	31,8	0,86	—	Moyenne de 3 expériences.	
— — . . . . .	43-61	19-21,5	41,3	35,1	0,85	—	Moyenne de 2 expériences.	
— — . . . . .	16	17-22	86,3	67,3	0,78	JOLYET ET REGNARD.	Moyenne de 3 expériences.	
Muraena anguilla. . . . .	51	14	40,5	32	0,79	—		
— — . . . . .	112	15	48,0	28,8	0,60	—		
<i>Poissons de mer:</i>								
Mullus. . . . .	390	15	171	147	0,86	—	L'animal fait des mouvements énergiques.	
— — . . . . .	28	14	134,0	108,5	0,81	—	Moyenne de 2 expériences.	
Sparus auratus. . . . .	75	19	142	90,9	0,64	—		
Trigla hirundo. . . . .	350	15	94,5	68	0,71	—		
Muraena conger. . . . .	545	13	59,8	43	0,72	—	Moyenne de 2 expériences.	
— — . . . . .	145	16	75,7	50,7	0,67	—		
Raja torpedo. . . . .	315	14,5	47,0	27,5	0,585	—		
Pleuronectes solea. . . . .	185	14	73,5	59,5	0,81	—	Très vorace — après un repas.	
— maximus. . . . .	320	15	80,0	48	0,60	—		
Squalus catulus. . . . .	»	»	54,5	52,4	0,83	—		
Syngnathus. . . . .	10,5	»	89,9	76,4	0,85	—	Les bivalves sont pesés avec leur coquille. — Défalcation faite des coquilles, les échanges respiratoires auraient la même énergie que chez le poulpe.	
<i>Perennibranchiati:</i>								
Axolotl. . . . .	42	11,5	45,2	25,3	0,56	—		
<i>Crustacés d'eau douce:</i>								
Astacus fluviatilis. . . . .	31	12,5	38,0	32,7	0,86	—	Moyenne de 2 expériences.	
Gammarus pulex. . . . .	?	12,5	132,0	95	0,72	—		
<i>Crustacés marins:</i>								
Palaemon squilla. . . . .	?	19	125	103,8	0,83	—	Moyenne de 2 expériences.	
Cancer pagurus. . . . .	470	16	107,0	89,9	0,84	—		
Homarus vulgaris. . . . .	315	15	68,0	54,4	0,8	—		
Palinurus quadricorn. . . . .	520	15	44,2	38,9	0,88	—	Moyenne de 2 expériences.	
<i>Mollusques:</i>								
Octopus vulgaris. . . . .	2310	15,5	44,1	37,9	0,86	—		
Cardium edule. . . . .	10	15	14,8	12,4	0,84	—	Les bivalves sont pesés avec leur coquille. — Défalcation faite des coquilles, les échanges respiratoires auraient la même énergie que chez le poulpe.	
Mytilus edulis. . . . .	25	14	12,2	9,3	0,76	—		
Ostraea edulis. . . . .	50	13,5	13,4	10,6	0,79	—		
<i>Zoophytes:</i>								
Asteracanthion rubens. . . . .	»	19	52	25,3	0,79	—	Les mêmes animaux gorgés de sang de chien.	
<i>Vers:</i>								
Hirudo officinalis. . . . .	2,2	13,5	22,98	15,9	0,69	—		
Hirudo officinalis. . . . .	»	13,0	39,70	35,7	0,90	—	Les mêmes animaux gorgés de sang de chien.	

limites fort larges (0,94 à 3,39 p. 100, soit plus que du simple au triple), suivant la composition saline du milieu extérieur, c'est-à-dire suivant la richesse en sels de l'eau dans laquelle vivent les animaux.

J'ai pu, à court intervalle, faire varier du simple au double la proportion de sels du sang des *Carcinus mœnas*, en transportant ces crabes successivement dans de l'eau plus ou moins salée.

Le tableau suivant résume les résultats numériques de ces dosages.

Proportions salines du sang des Crustacés.

ESPÈCE ANIMALE.	SANG.		EAU DANS LAQUELLE L'ANIMAL VIVAIT.	
	DENSITÉ.	PROPORTION des sels solubles. p. 100.	DENSITÉ.	PROPORTION de sels.
<i>Astacus fluviatilis</i> . . . . .	»	0,94	»	Eau douce.
<i>Carcinus mœnas</i> . . . . .	»	1,48	»	Eau saumâtre.
— — . . . . .	»	1,65	1 007	environ 0,9
— — . . . . .	»	1,56	1 010	— 1,3
— — . . . . .	»	1,99	1 015	— 1,9
— — . . . . .	»	3,001	1 026	3,40
<i>Homarus vulgaris</i> . . . . .	»	3,007	»	»
<i>Platycarcinus pagurus</i> . . . . .	»	3,040	1 026	3,41
— — . . . . .	1 037	3,101	»	3,40
<i>Palinurus vulgaris</i> . . . . .	1 036	3,104	»	»
<i>Maja squinado</i> de Roscoff . . . . .	»	2,9	»	»
— — de Naples . . . . .	»	3,045	»	»
	»	3,37	»	3,9

C'est vraisemblablement à travers les branchies que s'établit cet échange de sels entre le sang et l'eau extérieure. La mince paroi branchiale jouerait là un rôle analogue à celui de la membrane d'un dialyseur. Elle permettrait le passage des sels suivant la même facilité avec laquelle elle se laisse traverser par l'oxygène et par l'acide carbonique, dans l'acte respiratoire.

Cette assimilation des téguments branchiaux du crabe avec la membrane inerte d'un dialyseur n'est pas nécessairement infirmée par le fait que la proportion absolue de sels solubles peut présenter certaines différences entre les deux liquides en présence : sang et eau de mer.

Ainsi chez les crabes vivant dans l'eau saumâtre, et surtout chez l'écrevisse, le sang contient notablement plus de sels que l'eau extérieure. Au contraire, le sang des crustacés d'eau de mer est toujours un peu moins riche en sels que l'eau qui baigne la branchie. La présence de substances colloïdes dissoutes dans le sang (hémocyanine, albumines, etc.) peut, en effet, modifier les conditions de l'équilibre osmotique entre le sang et l'eau de mer : en d'autres termes, il est possible que l'équilibre osmotique soit atteint, sans que la quantité absolue de sels solubles contenus dans les deux liquides, sang et eau de mer, soit rigoureusement la même. Ainsi deux crabes (*maia*) vivant dans l'eau de mer de la Méditerranée, contenant 3,955 p. 100 de sels, avaient dans leur sang respectivement 3,39 et 3,34 p. 100 de sels. Des échantillons de sang furent placés dans un dialyseur suspendu dans la même eau de mer contenant 3,955 p. 100 de sels. Après deux jours de dialyse, il y avait, pour l'un des sangs, une légère diminution des sels après dialyse, pour l'autre sang, il n'y avait pas de changement.

La dialyse n'avait en rien modifié le sang n° 1, et avait à peine altéré le sang n° 2. L'équilibre osmotique salin était donc déjà atteint dans le corps de l'animal, entre le sang et le milieu extérieur constitué par l'eau de mer. La branchie du *maia* se comporte pendant la vie comme la membrane inerte du dialyseur.

Chez les poissons, le milieu intérieur, le sang, subit d'une façon moins étroite l'in-



fluence de la composition saline du milieu extérieur. Le sang des poissons de mer n'est pas beaucoup plus salé que celui des poissons d'eau douce. La proportion de sels peut y dépasser légèrement 1,5 p. 100, mais ne semble pas pouvoir atteindre 2 p. 100, quoique l'eau de la mer Méditerranée contienne près de 4 p. 100 de sels. Le sang d'une raie contenant 1,62 de sels fut dialysé pendant quarante-huit heures avec de l'eau de mer contenant 3,955 p. 100 de sels. Après dialyse il renfermait 3,668 de sels. De même le sérum du sang d'une centrine contenait, avant dialyse, 1,72 p. 100, après dialyse 2,97 p. 100 de sels.

L'équilibre osmotique était donc loin ici d'être atteint chez l'animal vivant, entre le sang et l'eau extérieure, comme il l'est chez les crustacés. La branchie de la raie et de la centrine s'oppose donc à cet équilibre. La paroi branchiale des poissons ne se comporte pas sous ce rapport comme une membrane indifférente, inerte : elle laisse passer les gaz, oxygène et acide carbonique, mais elle arrête les sels. Elle fait un véritable choix parmi les substances dissoutes dans l'eau extérieure. C'est probablement le revêtement épithélial extérieur des lamelles branchiales qui est ici l'agent actif de cette sélection : l'endothélium des vaisseaux y contribue peut-être également. Rappelons que CH. RICHET a conclu de ses études sur la vie des poissons dans divers milieux (B. B., 1886, 482) à la difficulté de l'absorption des poisons par les branchies des poissons.

Il serait intéressant de rechercher et de doser, dans le sang des poissons, le sucre, l'urée, etc. Il est probable que la paroi de la branchie qui s'oppose à l'entrée des sels de l'eau de mer, s'oppose pareillement à la sortie du sucre et des autres substances diffusibles qui peuvent être utiles à l'organisme. Elle permet, au contraire, la sortie des substances formées dans l'organisme et dont l'accumulation pourrait lui être nuisible : c'est ce que P. REGNARD a démontré en ce qui concerne les carbonates. Il a constaté que, à côté de la respiration branchiale gazeuse, il existe chez les poissons une vraie respiration solide par la sortie, par diffusion, des carbonates contenus dans le sang. Un poisson qui à 10° excrétrait en vingt-quatre heures 840 centimètres cubes CO<sup>2</sup> libre, excrétrait en même temps 30 centimètres de CO<sup>2</sup> à l'état de carbonate. A 25°, il excrétrait 1440 centimètres cubes CO<sup>2</sup> libre et 218 centimètres cubes CO<sup>2</sup> combiné. A 30°, il excrétrait 2664 centimètres cubes CO<sup>2</sup> libre et 880 centimètres cubes CO<sup>2</sup> combiné. Il s'agit donc bien d'un phénomène respiratoire, puisqu'il progresse ou diminue en même temps que les combustions respiratoires. Une preuve plus complète encore a été fournie par une expérience dans laquelle la tête d'une anguille plongeait seule dans un vase d'eau : le reste du corps de l'animal était dans un autre vase : dans ces conditions la tête a exhalé 172 centimètres cubes d'acide carbonique combiné. P. REGNARD, *De l'excrétion des carbonates par les branchies* (B. B., 1884, 188).

**Bibliographie.** — THOMAS WILLIAMS. *Organs of Respiration in Todd's Cyclopædia of An. a. Phys.*, v., 258, 1859. — *On the mechanic of aquatic respiration and on the structure of the organe of breathing in invertebrate animals. Ann. of nat. hist.*, (2), XII, 243, 233, 393; 1853, et XIV, 34, 241; 1854. — PAUL BERT. *Leçons sur la respiration.* — ROSENTHAL, H. H., et les différents mémoires cités, notamment ceux de JOLYET et REGNARD, HOPPE-SEYLER, etc.

LÉON FRÉDERICQ.

**BRÉSILINE** (C<sup>16</sup>H<sup>14</sup>O<sup>5</sup>). — Matière extraite des bois du Brésil; elle se colore à l'air et à la lumière et se dissout en rouge dans la soude. On peut obtenir le dérivé tri et tétra-méthylque. Ses propriétés et sa composition chimique la rapprochent de l'hématoxylène. Par une oxydation ménagée on la transforme en brésiléine (C<sup>8</sup>H<sup>12</sup>O<sup>5</sup>).

**BROMAL.** — Le composé bromé, découvert par LÖWIG en 1832 (*Ann. de Chimie et Pharm.*, III, 305), est l'aldéhyde acétique tribromée CBr<sup>3</sup>COH. Ce liquide, huileux, bout à 174° à 760 mm. : il a un poids spécifique de 3,34, sa saveur est brûlante; il est très irritant et produit une vive excitation avec hypersécrétion des muqueuses oculaire et respiratoire; ses propriétés hypnotiques seraient nulles (RABUTEAU); comme le chloral, il a la propriété de se combiner avec une molécule d'eau pour former l'hydrate de bromal C<sup>2</sup>HBr<sup>3</sup>O + H<sup>2</sup>O, qui est une substance solide, cristallisant en larges