

La Vision des Formes chez les Poissons

PAR

R. MAES, DR. SC.

Cette note est un résumé des recherches de physiologie expérimentale et d'histologie, qui ont fait l'objet de ma thèse de doctorat à l'Université de Bruxelles (juillet 1928).

" Les Poissons voient-ils les Formes ? " Telle est la question que différents auteurs ont examinée aux points de vue morphologique, physiologique et histologique, sans parvenir à des résultats concordants.

Je me suis proposé d'élucider le problème et pour cela j'ai tout d'abord contrôlé et complété les expériences faites antérieurement. Ensuite, par des recherches personnelles originales, variées, multiples, vérifiées et concluantes, je me suis efforcée de dissocier la vision de toute autre association d'un sens quelconque et d'éliminer de la vision totale tout ce qui n'avait pas exclusivement trait à la forme.

La physiologie animale m'a permis, grâce au comportement des bêtes observées, de me rendre compte de la nature et de l'acuité de la vision chez les Poissons. Mais la physiologie ne permet pas de déduire a priori quelle sera la structure histologique de l'œil, pas plus que l'histologie rétinienne ne peut suffire pour admettre ou non la vision des formes chez les Vertébrés inférieurs. La physiologie expérimentale et l'histologie doivent se compléter l'une l'autre, aussi l'Étude physiologique qui constitue la première partie de cette note est-elle suivie de l'Étude histologique de l'œil des Poissons que j'ai expérimentés physiologiquement ; cette dernière étude formant la deuxième partie de ce travail.

PREMIÈRE PARTIE

ÉTUDE PHYSIOLOGIQUE

Les travaux de physiologie et dans ces dernières années de psychophysiologie de la vision sont nombreux et d'orientations bien diverses.

Les résultats auxquels ont été conduits les auteurs sont malheureusement souvent différents et même contradictoires.

Chez les Poissons, la vision des objets en mouvement est reconnue unanimement. La vision des couleurs est contestée par certains, admise en tout ou en partie par d'autres.

La vision des formes n'a fait l'objet que d'un nombre très restreint de recherches dont les conclusions non analogues sont quelquefois même opposées les unes aux autres. Examinons les opinions émises par ceux qui ont fait l'étude physiologique de la vision des formes chez les Poissons.

DUMÉRIL (13) pense que les Poissons ne peuvent apprécier la forme des corps (considérés dans les trois dimensions) puisque la vue seule leur en fait connaître les dimensions, tandis que dans les autres classes de Vertébrés il y a presque toujours deux sens qui interviennent pour cette connaissance. Par exemple, chez l'Homme, la vision et le toucher se complètent pour lui donner la notion de la forme d'un objet.

PIÉRON (30) affirme qu'il n'est pas exact que les Poissons ne visent que les objets en mouvement et n'aient que des moto-réactions comme le prétend NUEL (27).

OXNER (28) étudie expérimentalement la mémoire chez les Poissons. Il résulte de l'ensemble de ses travaux qu'il s'établit d'abord une association avec la forme, ensuite avec la couleur, cette dernière définitive.

M. GOLDSMITH (15). Ses recherches la font aboutir aux conclusions suivantes :

1° Les objets environnants sont caractérisés pour les Poissons en plus de leur emplacement, par leur couleur et par leur forme.

2° Les deux paraissent être saisies avec la même facilité, mais l'impression produite par la forme paraît être dominante (opinion différente de celle d'OXNER).

3° La durée du souvenir de la forme est plus longue que celle du souvenir de la couleur.

G. H. WHITE (45), quelques années plus tard, ne peut obtenir d'association de forme. Pour l'auteur rien n'indique que les Poissons soient capables de se souvenir d'une image d'une expérience passée.

F. BUYTENDYK (6) admet que les animaux, qui se nourrissent d'objets non mobiles sont réduits à la reconnaissance optique de la forme, de la couleur et de la structure superficielle, tandis que les animaux qui chassent une proie vivante (mobile) sont plutôt adaptés à l'impression optique du mouvement.

En ce qui concerne la nature de l'aliment, la nidification et les autres

fonctions vitales, l'auteur croit que tous les animaux sont susceptibles de percevoir des formes.

SCHALLER (36) est parvenu à dresser des Vairons à distinguer des formes géométriques.

CHARVOZ (10) prétend que les Poissons reconnaissent par la vue les objets, à leurs mouvements d'abord, puis à leurs formes et enfin à leur couleur.

Ces observations peu nombreuses et parfois incomplètes, menant à des conclusions variées et dissemblables m'ont incitée à entreprendre de nouvelles recherches au sujet de la vision des formes chez les Poissons.

Le plus grand nombre de mes expériences ont été effectuées sur des *Gasterosteus aculeatus*, Poissons dont la capacité de distinguer les formes est admise par certains et contestée par d'autres. M'ont servi de sujets pour les autres expériences des *Phoxinus laevis* et des *Julis vulgaris*, *Crenilabrus pavo*, *Coricus rostratus*, *Castagnolla Heliases chromis*, *Oblata melanura*, *Sargus rondeleti*, que j'ai eu l'occasion d'observer au laboratoire de Villefranche.

Sauf indication contraire, je n'expérimente que sur des poissons adultes, isolés chacun dans un aquarium.

La nourriture habituellement offerte consiste en Vers de terre finement hachés pour les Épinoches et les Vairons, en morceaux de sardine pour les autres poissons.

J'exposerai tout d'abord la vérification des expériences faites précédemment par différents auteurs. Ensuite, je développerai mes recherches personnelles.

I. — Contrôle d'expériences faites antérieurement par différents auteurs

GROUPE I

Une des expériences, qui ont amené M. CHARVOZ (10) à admettre chez les Poissons la reconnaissance par la vue de la forme des objets, consiste en ce qui suit : l'auteur présente à 2 Épinoches des morceaux de papier rouge. Les Épinoches s'avancent vers ces objets, mais ne les mordent pas malgré qu'elles n'aient rien mangé depuis 5 jours. L'auteur admet qu'elles ont reconnu que les bouts de papier ne sont pas les Vers de vase dont elles se nourrissent habituellement. Cette reconnaissance se serait faite par la forme qui est très différente. En tous cas, ce n'est

pas par le mouvement, car ces morceaux de papier rouge ont même flotté sur l'eau pendant quelques instants. L'auteur n'a pas vérifié si le sens chimique intervient dans cette reconnaissance. Pour m'assurer de la chose, je refais l'expérience et la complète d'observations de contrôle.

PREMIÈRE SÉRIE. — Je nourris des Épinoches avec des Vers de vase durant 15 jours. Après cela je leur présente alternativement et avec la même pince soit un Ver de vase (légèrement aplati pour annihiler ses mouvements), soit un morceau de papier rouge de couleur semblable à celle des Vers. J'alterne les présentations de façon à obtenir 2 présentations de Ver de vase pour 8 présentations de papier.

Expérience I. — Semblable à celle de M. CHARVOZ.

Je présente à 3 Épinoches soit un Ver de vase, soit un papier rouge carré de 7 mm.². J'expérimente simultanément sur les 3 *Gasterosteus aculeatus* qui ont été nourris préalablement avec des Vers de vase.

Chaque fois que je présente un Ver de vase les Poissons le happent.

Voici noté (par dizaines successives de présentations) le nombre de fois que les Poissons viennent mordre au papier : 69, 67, 51, 86, 25, 34, 15, 7, 3, 6, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0. Ce n'est donc qu'après dressage que les Poissons distinguent le papier rouge du Ver de vase. La couleur provoque d'abord la confusion des 2 sortes d'appâts (un carré d'une autre couleur n'attire pas les Épinoches). Après quelques exercices seulement les différentes formes semblent remarquées car les Épinoches ne viennent plus mordiller le papier. Comme on le voit, je n'obtiens pas le résultat indiqué par M. CHARVOZ, à savoir que les Épinoches ne viennent jamais happer le papier rouge.

Expérience II. — Je vérifie si c'est seulement la vue des différentes formes qui a permis leur distinction.

Je présente dans l'aquarium le papier carré rouge trempé dans du jus de Ver de vase, les Épinoches ne mordent pas le papier. J'offre des simili-Vers de vase découpés dans le même papier, chaque fois les Poissons se précipitent sur l'offre. Le sens chimique n'intervient donc pas ici. Seule la forme a pu guider les Poissons comme le pensait M. CHARVOZ. Toutefois ce n'est qu'après dressage que les Épinoches ont pu discriminer le carré des Vers ou simili-Vers de vase.

DEUXIÈME SÉRIE. — Quatre Épinoches habituées à se nourrir de Vers de vase sont placées dans un 1^{er} aquarium, dans un 2^e aquarium se trouvent 4 Épinoches non habituées à ce genre de nourriture.

Expérience I. — Je fais 300 présentations de Vers de vase et de

papier rouge carré (de 7 mm.²) dans chaque aquarium. Je compte comme erreur le fait que le Poisson vient mordiller le papier. Je note une moyenne de 122 erreurs par Épinoche chez celles habituées à se nourrir de Vers de vase. Chez les autres Épinoches la moyenne n'est que de 44 erreurs, mais la différenciation des 2 formes d'appâts nécessite un plus grand nombre d'exercices.

Les *Gasterosteus aculeatus* habitués à se nourrir de Vers de vase ont été attirés davantage vers le papier rouge, mais ont reconnu plus rapidement l'inutilité de ce papier, que les Épinoches non accoutumées aux Vers de vase.

Expérience II. — Les Épinoches ont-elles reconnu l'utilité exclusive du Ver de vase et l'inutilité de toute autre forme ?

Je tends à mes Poissons 250 fois soit un Ver de vase, soit un papier triangulaire de 7 mm. de côté. Je constate une moyenne de 49 erreurs chez les Épinoches habituées à se nourrir de Vers de vase et de 2 erreurs seulement chez les autres. Les premières Épinoches n'avaient donc appris que l'inutilité du carré, tandis que les autres se sont rendu compte dès l'expérience I de l'utilité exclusive du Ver de vase et de l'inutilité de toute autre forme.

Expérience III. — Je présente aux mêmes Épinoches 10 fois, 1 losange, 1 carré, 1 triangle disposé sur sa base et sur son sommet (le tout de 7 mm. de côté) et un disque de 7 mm. de diamètre. Les Épinoches des 2 aquariums ne happent aucune fois le papier. Je montre des simili-Vers, les Poissons s'acharnent sur ces simili.

Cette fois-ci les Épinoches, habituées (préalablement aux expériences) à se nourrir de Vers de vase, se sont rendu compte de l'utilité exclusive de la forme du Ver de vase, ce dont les autres Épinoches s'étaient aperçu dès la première expérience.

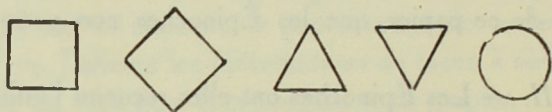
Les Épinoches ont différencié les formes d'appâts. Elles happent les simili-Vers, leur forme étant semblable aux véritables Vers de vase.

TROISIÈME SÉRIE. — Dans une autre expérience M. CHARVOZ présente non plus alternativement mais simultanément de faux et de véritables Vers de vase. Il remarque que les Épinoches se dirigent toujours vers les véritables proies. Comment cela se peut-il ? Si l'on admet comme M. CHARVOZ que les Épinoches reconnaissent la différence de 2 appâts de même couleur grâce uniquement à la vue des différentes formes, il est à supposer que 2 appâts de même couleur et de même forme seront confondus.

Je refais l'expérience de M. CHARVOZ et j'obtiens pour 40 présenta-

tions de Vers et simili-Vers de vase une moyenne de 53 happements de Vers de vase et 51 de simili-Vers. Les Vers et simili-Vers étant de couleur et forme semblables les Épinoches les confondent. Il fallait s'y attendre.

Conclusions. — De ces expériences il résulte que les Épinoches distinguent la forme d'un Ver de vase des formes suivantes :



et ce après dressage seulement.

GROUPE 2

Quelques recherches relatives à la vision des formes chez les Poissons sont relatées dans la thèse de Mlle GOLDSMITH (15). L'auteur observe des *Gobius* et des *Gasterosteus aculeatus* et prouve qu'il s'établit une association entre la perception visuelle d'une pince et la sensation gustative d'un *Mys*'s. Mais une fois trompé, l'animal devient plus circonspect et ne se précipite plus vers la pince que s'il est assuré de la présence d'une proie.

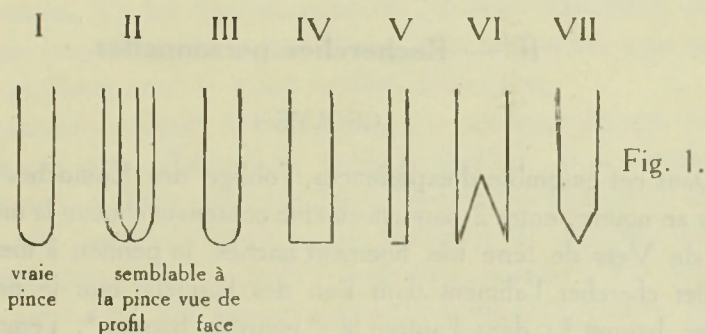
PREMIÈRE SÉRIE. — Je refais l'expérience à l'aide d'Épinoches. Mes résultats confirment ceux de Mlle GOLDSMITH. Mais cette assurance de la présence d'une proie s'obtient-elle grâce à la vision seule, ou bien le sens chimique intervient-il ? Pour le vérifier je procède comme suit :

Je laisse voir à l'extérieur de l'aquarium, non loin d'une des parois, la pince avec et sans nourriture. Les Épinoches cognent 126 fois la paroi lors des 20 présentations de pince enserrant une proie, sinon elles ne viennent buter contre l'aquarium que 3 fois. Le sens chimique n'a donc aucune influence et la vue seule permet aux Épinoches de découvrir la présence de nourriture au bout de la pince.

DEUXIÈME SÉRIE. — Voici maintenant une nouvelle épreuve à laquelle Mlle GOLDSMITH soumet des *Gasterosteus* habitués à venir manger à une pince déterminée. Elle leur présente des formes semblables et différentes de la 1^{re} pince. Elle leur tend toujours 2 objets simultanément, ou bien une simili-pince et une forme différente de la pince, ou bien deux formes dissemblables et elle obtient chez ses Poissons une discrimination des formes.

Expérience I. — Je refais l'expérience.

Je nourris 4 Épinoches à l'aide de la pince I (fig. 1) et cela durant 15 jours. Après ce laps de temps j'offre (sans nourriture) aux poissons la pince nickelée I et les formes II, III, IV, V, VI et VII (fig. 1) découpées dans une feuille d'étain.



La partie immergée est seule dessinée. Le reste de l'objet est caché par la main.

Voici les résultats des offres simultanées soit de 2 formes, soit d'une forme et de la pince I :

La pince I est préférée à toutes les autres formes sauf à la forme II pour laquelle il y a égalité du nombre de venues.

Pour les formes II et III il y a égalité, sinon la pince II est préférée aux formes IV, V, VI et VII. La forme III est préférée aux formes IV, V, VI et VII dont généralement les Épinoches ne s'approchent pas. Toutefois elles ont mordillé 5 fois la forme VII lorsqu'elle fut introduite dans l'aquarium en même temps que la forme V. La forme VII étant allongée vers le bas a rappelé davantage la véritable pince.

Les Épinoches savent fort bien distinguer la forme de la véritable pince des autres formes. Elles ne sont attirées que vers la pince ou les simili-pinces.

Ces résultats concordent pleinement avec ceux de Mlle GOLDSMITH.

Expérience II. — Le souvenir de la forme de la pince persisterait-il encore si chaque forme était présentée séparément ? Essayons.

Après avoir nourri de nouveau mes Épinoches pendant un jour à l'aide de la pince I, je leur tends séparément chacune des 7 formes de la fig. 1.

Les Poissons ont mordillé 387 fois la pince I, 105 fois la forme II, 89 fois la forme III, 6 fois la forme VII et 0 fois les formes IV, V et VI.

Les Épinoches ont reconnu les différentes formes. Les simili-pinces

les attirent, mais moins que la véritable pince qui offre plus de relief.

Conclusions. — Dans ce groupe d'expériences il y a eu distinction de nourriture au bout d'une pince, et souvenir de la forme d'une pince, et reconnaissance de cette forme parmi d'autres présentées simultanément et isolément.

II. — Recherches personnelles

GROUPE I

Dans cet ensemble d'expériences, j'oblige des Épinoches à choisir, pour se nourrir, entre 2 baquets en zinc contenant chacun la même quantité de Vers de terre très finement hachés. Je permets à mes Poissons d'aller chercher l'aliment dans l'un des baquets, que je nommerai le " bon baquet " ; dans l'autre, le " mauvais baquet ", j'empêche leur venue par la production d'un courant électrique au moment où ils plongent dans le baquet en question. Au cours des exercices, j'intervertis irrégulièrement la position des bacs.

PREMIÈRE SÉRIE. — Des formes géométriques différentes pour chaque bac sont peintes sur les parois extérieures de ceux-ci.

Expérience I. — Voir planche III, fig. 1, le dispositif du bon baquet (b. b.) dans lequel les Poissons peuvent se nourrir et du mauvais baquet (m. b.) auquel j'empêche leur venue.

Au bout de 100 exercices, la différence entre le nombre de prises de nourriture au bon baquet et le nombre de méprises au mauvais baquet est insuffisante pour pouvoir conclure.

Expérience II. — Semblable à la précédente, mais les formes géométriques peintes à l'extérieur des baquets sont différentes. Voir pl. III, fig. 2, bon baquet (b. b.) et mauvais baquet (m. b.).

Après 100 exercices je note 539 prises convenables et 324 méprises. Il y a progrès au cours de l'expérience ce qui permet de croire qu'il y a eu distinction entre les formes géométriques peintes sur les parois des baquets.

J'ai pensé qu'une entrave à l'efficacité des expériences antérieures était peut-être le fait d'avoir peint les formes à l'extérieur du bac. En effet, les Épinoches ne voient que rarement ces formes au moment où elles plongent dans les récipients pour y saisir leur nourriture. J'ai donc changé ma façon de procéder.

DEUXIÈME SÉRIE. — Les Poissons ont à choisir, pour se nourrir, entre

2 baquets semblables dont les ouvertures sont recouvertes d'une lame de zinc dans laquelle est découpée une forme différente pour chaque bac.

Expérience I. — Voir dispositif du bon et mauvais baquet pl. III, fig. 3. Après 80 exercices, je remarque un commencement d'éducation.

Expérience II. — Voir dispositif pl. III, fig. 4. 80 exercices me donnent 306 prises de nourriture au bon baquet (b. b.) et 204 méprises au mauvais baquet (m. b.). La discrimination des 2 formes d'ouverture est plus simple que dans l'expérience précédente et je m'aperçois que les résultats sont meilleurs pour un même nombre d'exercices.

Ces 4 expériences auraient dû être prolongées, malheureusement j'ai dû les interrompre avant d'obtenir un dressage définitif. Je m'étonnais cependant de ne pas obtenir plus rapidement de résultat probant et me demandais quelle pouvait en être la cause, lorsque je me rappelai que les Épinoches employées au cours de ces expériences avaient été nourries précédemment dans des baquets cubiques identiques à ceux des expériences. Toutefois ces premiers baquets n'étaient pas bariolés de formes géométriques ni recouverts de lame de zinc obturant en partie l'ouverture. Avant d'être expérimentées ces Épinoches avaient donc acquis l'habitude de se nourrir sans entrave dans ces bacs. Cette habitude a pu modifier les résultats des expériences de la première et deuxième série, expériences qui changent fort peu les conditions ordinaires de vie des Poissons.

TROISIÈME SÉRIE. — J'entreprends de nouvelles observations qui me permettent de constater si l'habitude de se nourrir dans des baquets cubiques a modifié les résultats des recherches antérieures.

Je prends des Épinoches habituées à se nourrir dans des baquets cubiques.

Expérience I. — J'offre à mes Poissons 2 baquets contenant de la nourriture. Le bon baquet, dans lequel ils peuvent se nourrir, est prismatique. (voir pl. III, fig. 5, troisième série, expérience I), le mauvais baquet est semblable à celui dans lequel les Épinoches ont l'habitude de se nourrir.

Voici les résultats des 80 exercices effectués en 20 jours à l'aide de 2 Épinoches :

J'inscris chez la première Épinuche 194 prises de nourriture au bon bac et 151 méprises au mauvais baquet. Chez la deuxième Épinuche, 4 prises de nourriture au bon bac et 133 méprises. Ces Épinoches, nourries précédemment dans des baquets cubiques, ont continué à se nourrir à ce même baquet en dépit des secousses électriques qu'elles y

recevaient. Ceci prouve qu'elles ont conservé la mémoire de la forme antérieurement employée et la distinguent de la forme prismatique.

Expérience II. — Semblable à la précédente, mais ici le bon bac est cubique et le mauvais bac est prismatique (voir pl. III, fig. 5, troisième série, expérience II). Au bout de 80 exercices je note chez une première Épinoche 359 bonnes prises et 46 méprises ; chez une deuxième Épinoche 511 bonnes prises et 66 méprises.

Le souvenir de la forme cubique semble avoir aidé la distinction des 2 formes de bac.

QUATRIÈME SÉRIE. — Je refais les expériences de la troisième série à l'aide d'Épinoches témoins qui, préalablement aux expériences, n'ont jamais été nourries dans des bacs.

Expérience I. — Le bon baquet est prismatique, le mauvais est cubique (pl. III, fig. 5, quatrième série, expérience I). Je fais 80 exercices et obtiens pour la première Épinoche 269 bonnes prises et 41 méprises. Pour la deuxième Épinoche 268 bonnes et 42 méprises.

Le résultat est bien meilleur que dans la série précédente, dans laquelle les Poissons avaient l'habitude de se nourrir dans des baquets cubiques.

Expérience II. — Bon baquet cubique, mauvais baquet prismatique (pl. III, fig. 5, quatrième série, expérience II).

Je constate 271 prises de nourriture et 39 méprises chez la première Épinoche ; chez la deuxième 267 prises et 43 méprises. Ce résultat est quelque peu inférieur à celui de la même expérience II de la série précédente, dans laquelle le résultat est à considérer comme ayant été facilité par l'habitude acquise par les Poissons.

Conclusions. — En tenant compte des habitudes éventuellement acquises par les Épinoches antérieurement aux expériences, on peut affirmer, sans crainte d'erreur, que les Épinoches ont différencié les formes que je leur ai présentées. De plus, elles sont capables de se souvenir d'une forme d'une expérience passée. Ceci n'a pu être obtenu par G. WHITE (45) qui prétend que la formation d'association de forme n'a jamais été obtenue dans ses tests. Pour lui, rien n'indique que les Poissons soient capables de se souvenir d'une image d'une expérience passée. Nous voyons qu'il en est autrement.

GROUPE 2

Passons maintenant à un autre genre d'expériences.

Je place dans les aquariums des barrages qui offrent aux Poissons des

passages de formes différentes. Les passages d'une certaine forme sont libres, tandis que ceux d'une autre forme sont obturés par un obstacle. Généralement aucun stimulus n'est employé au cours des expériences, si ce n'est la construction du nid à laquelle plusieurs Epinoches sont occupées.

1^{re} SÉRIE. — Le barrage sépare l'aquarium en 2 compartiments, le dispositif en est figuré pl. III, fig. 6.

Expérience I. — Les Epinoches peuvent passer en (1), mais la chose leur est impossible en (2). Au cours de l'expérience j'interchange (a) et (b). Après 200 exercices, les deux Epinoches ont passé 7191 fois en (1). Elles n'ont tenté de passer en (2) que 13 fois.

Expérience II. — Je diminue les obstacles (b) de telle façon que les Epinoches puissent passer en (2). Je marque 1528 passages en (1) et 18 seulement en (2).

Il y a d'abord eu distinction des passages. Dans la suite, le souvenir de la forme des obstacles a guidé les Poissons indépendamment des dimensions variables des ouvertures.

Expérience III. — Je contrôle si c'est la vue et non le tact, qui a guidé les Poissons lors des expériences antérieures. Pour ce faire, j'aveugle 3 nouvelles Epinoches. Je mets sur la cornée une goutte de collodion de telle manière que le Poisson puisse encore bouger les yeux. Lorsque le collodion est solidifié, je replace l'animal dans l'eau ; au début il s'y tient tranquillement au fond, mais après 20 minutes, il nage dans tout l'aquarium. Je place alors dans celui-ci le barrage et constate que les Poissons aveugles cognent le barrage. S'il leur arrive de passer en (1) c'est dû au hasard. J'ôte le collodion d'un œil et observe que les Épinoches passent au travers des ouvertures et ne cognent plus les obstacles, si ce n'est de rares fois du côté de l'œil qui est encore aveuglé. Je désaveugle tout à fait les Épinoches et remarque qu'elles ne cognent plus le barrage, discernent les passages propices et les traversent impeccablement.

C'est donc la vue seule qui permet aux Epinoches de différencier les passages.

Je ferai remarquer que je n'endommage nullement l'œil des Poissons en les aveuglant, puisque les Epinoches se dirigent parfaitement immédiatement après que j'enlève le collodion.

2^e SÉRIE. — Le barrage dessiné pl. III, fig. 7, est descendu dans l'aquarium de nouvelles Epinoches. Durant les expériences j'intervertis les obstacles (a) de place.

Expérience I. — Pour 200 exercices, je note 7953 passages en (1) et 36 tentatives de passage en (2).

Expérience II. — Je diminue la largeur des obstacles (a) de façon que mes 2 sujets d'expérience puissent passer en (2). Je compte 80 passages en (1) et 3 passages seulement en (2).

Expérience III. — Je présente le barrage à des Epinoches aveuglées et désaveuglées et j'observe le même résultat que précédemment. Ici aussi la vue seule a permis la distinction des passages.

Après 200 exercices le souvenir de la forme des passages a guidé les Epinoches indépendamment des dimensions variables des ouvertures.

3^e SÉRIE. — En même temps j'entreprends une autre recherche à l'aide d'Epinoches auxquelles je présente un barrage percé d'ouvertures représentées pl. III, fig. 8. Lors de l'expérience je plonge les Epinoches dans l'obscurité en recouvrant le côté de l'aquarium où elles se trouvent. L'ouverture carrée est obturée par une lame de verre, l'autre ouverture est libre et lorsque les Poissons y passent je leur offre une proie.

Les 4 Epinoches différencient les ouvertures (1) et (2) après avoir effectué 327 passages au triangle et 37 tentatives de passage au carré. Durant la 1^{re} dizaine d'exercices il y a 11 tentatives en (2), lors de la 6^e dizaine il n'y en a plus qu'une. Il y a donc progrès au cours de l'expérience.

4^e SÉRIE. — Un nouveau barrage est disposé dans l'aquarium. Il présente 2 passages figurés pl. III, fig. 9. Les 2 ouvertures laissent passer la même quantité de lumière. Pendant les expériences, je change les passages de place.

Expérience I. — a) L'ouverture (2) est obturée par une lame de verre. J'offre une proie aux Epinoches chaque fois qu'elles passent en (1). A l'ouverture (1) 2559 passages sont à inscrire ; 641 fois les Poissons ont tenté de passer en (2). Le nombre de tentatives décroît au cours de l'expérience.

b) J'enlève la plaque de verre mise devant l'ouverture (2). J'observe 20 passages en (1) et 1 seulement en (2). La plaque de verre n'a donc pas guidé tactilement les Poissons lors de l'expérience antérieure. Si les Epinoches ont distingué les 2 passages, c'est grâce à la vue uniquement.

Expérience II. — Je vérifie si les résultats précédents n'ont pas été influencés par le fait d'avoir pris, comme bon passage, le carré (1) dit-

posé obliquement. Je refais l'expérience ci-dessus en obturant cette fois le carré (1) et en rendant libre le carré (2).

Je note 2458 bons passages et 742 tentatives de passages en (1). Ici aussi la vue a permis le dressage.

Le résultat est à peu près semblable à celui de l'expérience I. L'Épinoche ne paraît pas avoir grande préférence entre les 2 carrés semblables mais disposés différemment.

Le nombre d'erreurs est plus grand ici que dans les expériences antérieures (3^{me} série, p. 114) dans lesquelles les bêtes ont dû choisir entre un carré et un triangle. Ces surfaces de passages sont plus petites que celles employées dans ces expériences ci. Elles ont exigé des exercices moins nombreux pour obtenir la discrimination des formes. Il paraît y avoir une certaine grandeur de passage qui est plus efficace que d'autres. Nous verrons dans la suite qu'il en est ainsi.

Expérience III. — J'ai 9 Castagnolles *Heliases chromis* dans un aquarium. J'introduis dans celui-ci le barrage dont les ouvertures sont figurées pl. I, fig. 9. 2 Castagnolles chassent toutes les autres de l'autre côté du barrage, de sorte que des 9 Castagnolles, 7 seulement passent par les ouvertures. J'obture le passage (2) au moyen d'une lame de verre. Au bout de 45 exercices, 5 poissons ne se trompent plus. Les 2 autres commettent des erreurs de moins en moins nombreuses.

J'enlève la plaque de verre et obtiens le même résultat.

Cette expérience est semblable à celle faite à l'aide d'Épinoches. Mais le nombre d'exercices nécessaires pour aboutir au même résultat est de beaucoup supérieur chez les Épinoches. Cette différence est due je pense, au fait que le passage (1) offre une ouverture assez grande pour la Castagnolle et beaucoup trop grande pour l'Épinoche qui en remarque sans doute moins les contours.

5^{me} SÉRIE. — Dans un aquarium où nagent des *Julis vulgaris* (Girelles) j'introduis les formes dessinées pl. III, fig. 10. Les Girelles passent en 1 et 2 et même restent blotties sous les formes.

Je mets une lame de verre devant les ouvertures (2) et observe les passages en (1) et les tentatives de passage en (2). Après une moyenne de 47 tentatives en (2), j'obtiens chez mes Girelles, une discrimination entre les deux formes de passages. En effet, elles ne viennent plus se heurter contre les lames de verre mises en (2).

6^{me} SÉRIE. — J'expérimente ensuite sur des *Crenilabrus pavo*, *Oblata melanura*, *Coriscus rostratus*, *Julis vulgaris* et des *Sargus rondeleti* auxquels je présente un barrage percé des 4 passages reproduits pl. III, fig. 11.

Les Poissons, qui ne peuvent pas franchir verticalement les passages, se penchent souvent sur le côté de façon à traverser l'ouverture en diagonale. Mes Poissons différencient les passages qu'ils traversent un nombre de fois relatif à la largeur de ceux-ci. Ils traversent le passage (2) 11 fois, le passage (3) 28 fois, le passage (4) 70 fois et le passage (1) qui est le plus large 79 fois.

Peut-être les dimensions des passages influencent-elles les Poissons indépendamment de leur forme ? Je vérifie la chose en procédant de la façon suivante :

7^{me} SÉRIE. — J'ai une quarantaine d'Épinoches dans un aquarium. J'introduis dans celui-ci un barrage percé d'une ouverture devant laquelle je glisse un des 25 passages dessinés pl. III, fig. 12 (en dessous de chaque ouverture est inscrit un numéro d'ordre I, II, III, etc.).

Le chiffre marqué dans chaque ouverture indique le nombre de passages de Poissons au travers de l'ouverture. Ces passages sont laissés chacun 3 heures dans l'aquarium. Pour des passages de même forme (forme carrée) mais de surfaces différentes, tels que les passages I, VII, XIII, XIX et XXV par exemple, le nombre de passages est relatif aux dimensions qui ont influencé les Poissons indépendamment de la forme qui est semblable pour tous les passages.

Pour les passages de même surface mais de formes différentes, les passages II et VI par exemple, ou encore III et XI, ou X et XXII, ou XX et XXIV, le nombre de passages dépend de la forme indépendamment des dimensions qui sont identiques mais disposées différemment. Les expériences, dans lesquelles j'ai présenté aux Poissons un barrage percé de 2 ouvertures carrées identiques mais disposées de façon non analogue (pl. III, fig. 9), nous ont conduits aux mêmes conclusions.

En comparant le nombre de passages par les ouvertures de XVI à XX et de XXI à XXV j'observe que malgré la surface plus grande des ouvertures XXI, XXII, XXIII, XXIV et XXV il n'y a pas augmentation du nombre de passages. Il paraît donc y avoir une grandeur efficace maxima.

Conclusions. — De cet ensemble d'expériences il résulte que la rapidité de différenciation entre 2 objets de même grandeur est en raison inverse de la dimension de ces objets ; c'est-à-dire que les Poissons distingueront plus rapidement l'un de l'autre 2 objets de petite dimension que 2 objets de grande dimension.

Dans le choix de passages de dimensions différentes les Poissons préfèrent les plus grands passages, mais il y a une grandeur efficace maxima.

Les dimensions des passages peuvent guider les Poissons indépendamment de la forme et la forme seule peut guider les Poissons indépendamment des dimensions.

GROUPE 3

1^{re} SÉRIE. — Au cours d'une huitaine d'expériences différentes, j'offre à plusieurs Poissons des barrages dissemblables présentant des passages libres et des passages tendus de fils.

Les *Gasterosteus aculeatus*, *Phoxinus laevis*, *Crenilabrus pavo*, *Oblata melanura*, *Coricus rostratus*, *Castagnolla Heliases chromis* et *Sargus rondeleti* que j'ai observés, évitent les fils et ne franchissent que les passages libres. Ils ont donc perçu les fils. (La première mise en présence des Épinoches avec les fils se caractérise souvent par quelques simples mordillements, qui semblent constituer une épreuve de résistance du fil en question).

2^{me} SÉRIE. — *Expérience I.* — Dans l'aquarium de ces mêmes Poissons, je place une plaque de verre transparent. Les animaux semblent ignorer la plaque contre laquelle ils viennent buter comme s'ils supposaient pouvoir continuer leur route. Ce n'est pas l'image du Poisson réflétée par la vitre qui attire l'animal car, si l'on place derrière la plaque de verre une plaque non transparente, le poisson longe la plaque (sur laquelle cependant son image continue à se refléter) et ne s'y heurte plus.

Expérience II. — Je dispose dans l'aquarium 2 plaques de verre transparentes accolées l'une à l'autre. Entre ces plaques je tends de très fins fils, distants les uns des autres de 3 cm. Grâce à ce dispositif il est impossible que les Poissons perçoivent les fils autrement que par la vue.

Les Poissons ont cogné les plaques de verre de nombreuses fois, mais ne se sont jamais heurtés à celles-ci à l'endroit où passe un fil. Souvent même ils ont esquissé un mouvement afin d'éviter les fils. Ces derniers quoique fort minces ont donc été vus par les *Gasterosteus aculeatus*, *Phoxinus laevis*, *Crenilabrus pavo*, *Oblata melanura*, *Coricus rostratus*, *Castagnolla Heliases chromis* et les *Sargus rondeleti*.

3^{me} SÉRIE. — Mes Épinoches seraient-elles capables de reconnaître un certain nombre de fils simples du même nombre de fils doubles ? Voyons.

Expérience I. — Je présente à 3 Épinoches simultanément 2 baquets semblables dans lesquels de la nourriture est disposée. Chaque bac a

son ouverture barrée de fils métalliques minces. Un des récipients a toujours son ouverture barrée de 5 fils doubles. La distance qui sépare ces fils doubles est suffisante pour permettre aux Épinoches d'y passer leur museau. L'autre récipient est barré de fils simples, 17 pour commencer (les Poissons ne peuvent pas saisir leur nourriture à travers ces fils simples) puis un nombre de moins en moins grand jusqu'à 5 fils simples.

Je note le nombre de fois que les Épinoches sont venues

au bac à 17 fils simples				3 fois,	au bac à 5 fils doubles				297 fois
"	11	"	11	"	"	"	"	"	289 "
"	9	"	13	"	"	"	"	"	287 "
"	8	"	24	"	"	"	"	"	276 "
"	5	"	49	"	"	"	"	"	251 "

Toutes les fois les Poissons ont remarqué le changement dans le nombre de fils. Plus le nombre de fils simples se rapproche de 5, plus l'espace entre les fils devient grand et plus il y a de tentatives au baquet à fils simples.

Expérience II. — Je prends des Épinoches témoins auxquelles je présente directement le baquet à 5 fils simples et celui à 5 fils doubles.

J'inscris 152 prises de nourriture au premier baquet et 148 à l'autre.

Dans l'expérience I je ne notais que 49 prises au premier bac et 251 au dernier. Cette différence de comportement découle du fait que dans l'expérience précédente les Poissons se sont souvenus des épreuves antérieures dans lesquelles le bac à 5 fils doubles fut toujours utile, tandis que le bac à fils simples fut tout-à-fait inutile au début.

Les Épinoches ont donc distingué les fils simples des fils doubles.

Conclusions. — Résumons ces dernières expériences en disant que les *Gasterosteus aculeatus*, *Phoxinus laevis*, *Crenilabrus pavo*, *Oblata melanura*, *Coricus rostratus*, *Castagnolla Heliases chromis* et *Sargus rondeleti* ont distingué les fils placés devant divers passages, ou tendus entre 2 plaques de verre. De plus, les Épinoches ont distingué les fils simples des fils doubles.

III. — Conclusion de l'étude physiologique.

Au cours de ces recherches, je me suis proposé d'étudier expérimentalement le problème de la vision des formes chez les Poissons. A cet effet, j'ai multiplié, varié et contrôlé les épreuves. J'ai tâché d'éliminer par des artifices divers tout ce qui pouvait fausser l'interprétation de mes

périences quant au but et aux résultats probants. Je me suis efforcée de dissocier la vision de toute autre association d'un sens quelconque. Je pense avoir éliminé convenablement ce qui pouvait être attribué aux sens chimique, au toucher ou à la vision des couleurs et des mouvements.

I. Comme contrôle d'expériences faites antérieurement par différents auteurs, j'ai nourri mes Poissons avec des Vers, des simili-Vers et différentes formes de papier de couleur identique aux Vers (Groupe 1) et j'ai également présenté de la nourriture au moyen de pinces véritables, avec ou sans nourriture et au moyen de pinces artificielles (Groupe 2).

II. Au cours de recherches personnelles, j'ai employé successivement des baquets bariolés de différentes formes géométriques et j'ai donné à ces récipients différentes formes (Groupe 1). J'ai fait choisir aux Poissons les passages de formes et de dimensions différentes (Groupe 2). J'ai varié des passages à l'aide de fil abrités ou non, par des plaques en verre ; j'ai couvert les baquets à nourriture d'un réseau de fils simples et doubles et j'ai aveuglé partiellement et totalement mes sujets (Groupe 3).

De toutes ces expériences, il résulte indubitablement que les Poissons étudiés : *Gasterosteus aculeatus*, *Phoxinus laevis*, *Crenilabrus pavo*, *Oblata melanura*, *Coriscus rostratus*, *Castagnolla Heliases Chromis*, *Sargus rondeleti*, voient les formes immobiles et peuvent apprendre dans une certaine mesure à dissocier la forme des objets de leur couleur et de leur grandeur et réciproquement.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE HISTOLOGIQUE

Examinons les différentes opinions émises au sujet de l'histologie rétinienne du Poisson et tout d'abord celles relatives à la présence ou non de cônes dans la rétine.

En 1842, PAPPENHEIM (29), ne remarque pas de cônes chez l'Anguille. Chez le Brochet il en distingue 1 pour 12 bâtonnets. Il ne trouve que peu de cônes chez les Sélaciens.

Max SCHULTZE (38) n'aperçoit pas de cônes chez l'Anguille et les Sélaciens (39); quatre ans plus tard (41), il en reconnaît chez l'Esturgeon.

REICH (33) découvre des cônes doubles chez le Brochet.

son ouverture barrée de fils métalliques minces. Un des récipients a pour sa partie inférieure son ouverture barrée de 5 fils doubles. La distance qui sépare ces deux ouvertures de fils doubles est suffisante pour permettre aux Épinoches d'y passer sans difficulté. L'autre récipient est barré de fils simples, 17 pour commencer (les Poissons ne peuvent pas saisir leur nourriture à travers ces fils simples) puis un nombre de moins en moins grand jusqu'à 5 fils simples.

Je note le nombre de fois que les Épinoches sont venues au bac à 17 fils simples 3 fois, au bac à 5 fils doubles 297 fois

"	11	"	11	"	"	289	"
"	9	"	13	"	"	287	"
"	8	"	24	"	"	276	"
"	5	"	49	"	"	251	"

Toutes les fois les Poissons ont remarqué le changement dans le nombre de fils. Plus le nombre de fils simples se rapproche de 5, plus l'espace entre les fils devient grand et plus il y a de tentatives au bac à fils simples.

Expérience II. — Je prends des Épinoches témoins auxquelles je présente directement le baquet à 5 fils simples et celui à 5 fils doubles.

J'inscris 152 prises de nourriture au premier baquet et 148 à l'autre.

Dans l'expérience I je ne notais que 49 prises au premier bac et 251 au dernier. Cette différence de comportement découle du fait que dans l'expérience précédente les Poissons se sont souvenus des épreuves antérieures dans lesquelles le bac à 5 fils doubles fut toujours utile, tandis que le bac à fils simples fut tout-à-fait inutile au début.

Les Épinoches ont donc distingué les fils simples des fils doubles.

Conclusions. — Résumons ces dernières expériences en disant que les *Gasterosteus aculeatus*, *Phoxinus laevis*, *Crenilabrus pavo*, *Oblomoloch melanura*, *Coriscus rostratus*, *Castagnolla Heliases chromis* et *Sarotherodon rondeleti* ont distingué les fils placés devant divers passages, ou tenus entre 2 plaques de verre. De plus, les Épinoches ont distingué les fils simples des fils doubles.

III. — Conclusion de l'étude physiologique.

Au cours de ces recherches, je me suis proposé d'étudier expérimentalement le problème de la vision des formes chez les Poissons. À cet effet, j'ai multiplié, varié et contrôlé les épreuves. J'ai tâché d'éliminer par des artifices divers tout ce qui pouvait fausser l'interprétation de nos

expériences quant au but et aux résultats probants. Je me suis efforcée de dissocier la vision de toute autre association d'un sens quelconque. Je pense avoir éliminé convenablement ce qui pouvait être attribué au sens chimique, au toucher ou à la vision des couleurs et des mouvements.

I. Comme contrôle d'expériences faites antérieurement par différents auteurs, j'ai nourri mes Poissons avec des Vers, des simili-Vers et différentes formes de papier de couleur identique aux Vers (Groupe 1) et j'ai également présenté de la nourriture au moyen de pinces véritables, avec ou sans nourriture et au moyen de pinces artificielles (Groupe 2).

II. Au cours de recherches personnelles, j'ai employé successivement des baquets bariolés de différentes formes géométriques et j'ai donné à ces récipients différentes formes (Groupe 1). J'ai fait choisir aux Poissons des passages de formes et de dimensions différentes (Groupe 2). J'ai barré des passages à l'aide de fil abrités ou non, par des plaques en verre ; j'ai couvert les baquets à nourriture d'un réseau de fils simples et doubles et j'ai aveuglé partiellement et totalement mes sujets (Groupe 3).

De toutes ces expériences, il résulte indubitablement que les Poissons étudiés : *Gasterosteus aculeatus*, *Phoxinus laevis*, *Crenilabrus pavo*, *Oblata melanura*, *Coricus rostratus*, *Castagnolla Heliases Chromis*, *Sargus rondeleti*, voient les formes immobiles et peuvent apprendre dans une certaine mesure à dissocier la forme des objets de leur couleur et de leur grandeur et réciproquement.

DEUXIÈME PARTIE

ÉTUDE HISTOLOGIQUE

Examinons les différentes opinions émises au sujet de l'histologie rétinienne du Poisson et tout d'abord celles relatives à la présence ou non de cônes dans la rétine.

En 1842, PAPPENHEIM (29), ne remarque pas de cônes chez l'Anguille. Chez le Brochet il en distingue 1 pour 12 bâtonnets. Il ne trouve que peu de cônes chez les Sélaciens.

Max SCHULTZE (38) n'aperçoit pas de cônes chez l'Anguille et les Sélaciens (39); quatre ans plus tard (41), il en reconnaît chez l'Esturgeon.

REICH (33) découvre des cônes doubles chez le Brochet.

CAJAL (7) décrit des cônes dans la rétine des Poissons.

GREEFF (16) n'observe pas de cônes chez les Sélaciens, mais il constate leur présence chez la Perche (où ils sont les plus grands observés) et chez *Leuciscus* où il existe 4 espèces de cônes, des grands et gros, des grands et fins, des petits et des doubles.

GRYNFELT et EUZIÈRE (17) signalent des cônes chez l'Anguille, alors que PAPPENHEIM et SCHULTZE ne les voient pas.

BRAUER (3) affirme l'existence exclusive de bâtonnets chez les Poissons abyssaux. Cependant il admet qu'il existe des exceptions.

FRANZ (14). Chez le *Periophthalmus*, les cônes seuls forment la couche des cellules visuelles. Chez le *Leptocephalus*, les bâtonnets existeraient seuls.

KARSTEN (22) indique de nombreux cônes dans la rétine du *Periophthalmus*.

K. VON FRISCH (43) montre des cônes et des bâtonnets dans l'œil de l'Épinoche, du Vairon et du Goujon.

WUNDER (46) effectue des recherches de physiologie et d'anatomie comparée sur la rétine des Téléostéens. Il en étudie 24 espèces chez lesquelles il trouve toujours des cônes et bâtonnets de grandeur, forme et nombre variables suivant les espèces.

Voyons maintenant à quels résultats ont abouti les recherches relatives à l'existence de l'*area* et de la *fovea* dans l'œil du Poisson.

En 1856, MÜLLER (26) révèle chez une espèce du genre *Trigla* un amincissement et un allongement des cellules visuelles, ce qui permet une densité plus grande de ces éléments.

GULLIVER (18) reconnaît macroscopiquement l'existence d'une *fovea* chez *Pagellus centrodontus*,

CARRIÈRE (9) en 1885 remarque une *area* et une *fovea* chez l'*Hippocampus*.

SCHIEFFELDECKER (37) signale une *area* chez le Gardon et le Brochet.

KRAUSE (23) indique une *area* et une *fovea* chez le *Syngnatus*. En 1894 il trouve, chez *Orthogoriscus mola*, des cônes doubles dans une certaine partie de la rétine alors que partout ailleurs il n'existe que des cônes simples.

CHIEVITZ (11) distingue une *fovea* dans l'œil de *Siphonostoma typhle*.

BEER (1) observe un tassement marqué des cônes et une pigmentation plus forte dans le fond de l'œil, du côté dorsal, chez la Blennie ocellée.

SLONAKER (42) note une *fovea* chez *Siphostoma*. Il constate une augmentation d'épaisseur dans la rétine de : *Breevoortia*, *Netropis*, *Pomatomus*, *Stromateus*, *Cynoergon*, *Ctenolabrus*, *Prionotus*, *Brachichthys* et *Paralichthys*.

BIAGI (2) admet l'existence d'une *fovea* chez les Lophobranches.

MADDOX (25). Pour cet auteur, la rétine des Poissons n'aurait pas un point de plus grande sensibilité comme la nôtre. Mais elle aurait sur toute son étendue des propriétés qui tiennent le milieu entre celle de notre centre et celles des parties périphériques.

KALT (21) ne discerne pas d'*area* chez les Poissons.

BRAUER (3) affirme l'existence de 2 régions dans la rétine d'un grand nombre de Poissons abyssaux. Une région profonde ou rétine principale, et une région latérale ou rétine accessoire. BRAUER décrit la rétine principale comme étant une *area* pourvue parfois d'une *fovea*. Cette *fovea* formée uniquement de bâtonnets servirait à apprécier les variations d'intensité lumineuse.

HESS (19). D'une manière générale les cellules visuelles lui paraissent moins hautes dans les parties périphériques que dans la partie dorsale du globe oculaire. En 1912 (20) il découvre parmi les Sélaciens une *area* chez le Scyllium et parmi les Téléostéens chez le Rouget et le *Leuciscus*.

WUNDER (47) étudie la constitution de la rétine de Poissons d'eau douce qui vivent à une grande profondeur. Il remarque que chez ces Poissons les cônes d'une partie inférieure de la rétine montrent une plus grande sensibilité.

ROCHON-DUVIGNEAUD (34) reconnaît aux Poissons une exquise vision des petits mouvements rapides, mais prétend que l'acuité visuelle doit être faible. A l'inverse d'un bon nombre d'auteurs, qui pensent que le Poisson est myope, ROCHON-DUVIGNEAUD affirme que les yeux de ces Vertébrés sont généralement hypermétropes. Les images rétinienne sont plus petites que chez l'Homme, il y a un nombre moins grand d'éléments récepteurs (mais de taille plus grande) et un nombre moins grand encore de conducteurs. Il n'y a pas de différenciation fovéale. L'auteur admet d'ailleurs qu'il y a une grande différence suivant les espèces, ainsi l'Anguille et le Congre n'ont pas de cônes. En 1927, ROCHON-DUVIGNEAUD et L. ROULE (35) examinent la structure dans l'œil de *Blennius Basiliscus* L. V. et y trouvent une *fovea*. Cependant ils ne reconnaissent pas à ce Poisson une vision très nette, car l'image projetée sur la rétine doit être petite et diffuse à cause de la minime distance qui sépare l'appareil dioptrique de l'écran réti-

nien. De plus, le nombre des cellules ganglionnaires de la *fovea* étant plus faible que celui de l'Homme, il y a là une deuxième cause de réduction de l'acuité visuelle.

Plus que dans tout autre groupe des Vertébrés, la rétine des Poissons est différente d'une classe à l'autre.

On y reconnaît les 8 couches de la rétine à savoir : la couche de l'épithélium pigmentaire, la couche des cônes et bâtonnets, la couche des grains externes, la couche plexiforme externe, la couche des grains internes, la couche plexiforme interne, la couche des cellules ganglionnaires et la couche des fibres nerveuses.

Au total, la rétine est épaisse, mais elle varie d'une espèce à l'autre.

L'*épithélium pigmentaire* est formé par une seule rangée de cellules.

La couche des cellules visuelles prend en moyenne la $\frac{1}{2}$ de l'épaisseur de toute la rétine comme l'observe Max SCHULTZE (40). Il y a exception pour la Lamproie et quelques Sélaciens où elle est seulement d' $\frac{1}{4}$ ou d' $\frac{1}{3}$ de l'épaisseur totale.

Le nombre, la grandeur et la forme des cônes ainsi que des bâtonnets sont très variables. De plus, l'aspect de la couche visuelle varie beaucoup suivant qu'on a fixé la rétine à la lumière ou à l'obscurité. K. VON FRISCH (43), qui étudia la duplicité de la rétine, constate que dans le 1^{er} cas le pigment va vers la lumière ainsi que l'article externe des cônes rétractés, formant une barrière en arrière de laquelle se trouvent les articles externes des bâtonnets allongés. Dans le 2^e cas, lors de la fixation à l'obscurité, le pigment noir est ramassé, les cônes sont allongés en sorte que l'article externe sensible est repoussé à l'opposé de la direction de la lumière, tandis que les bâtonnets contractés ramènent leur article externe vers la lumière, formant une couche serrée en avant des cônes.

Cônes et bâtonnets ont été observés dans la plupart des rétines de poisson, cependant la bibliographie indique que certains auteurs n'ont remarqué que des bâtonnets dans la rétine de certains Poissons, tandis que chez d'autres Poissons les cônes seuls ont été reconnus. Généralement les bâtonnets sont plus nombreux que les cônes. Ceux-ci peuvent être simples ou doubles. GREEFF (16) reconnaît même chez le *Leuciscus* l'existence de 4 espèces de cônes, des grands et gros, des grands et fins, des petits et des doubles.

On distingue autour des cônes et bâtonnets une espèce de membrane ou manteau, que l'on voit surtout autour des segments externes des bâtonnets et des segments internes des cônes (GREEFF, 16).

La couche des grains externes est épaisse. Les grains sont petits et disposés communément sur 4 rangées. Font exception, la Truite et le Brochet qui ne présentent que 3 rangées, la Lamproie qui présente une rangée et la Tanche et la Brême qui offrent 6 rangées. GREEFF note une différence entre les éléments appartenant aux cônes et ceux appartenant aux bâtonnets. Les premiers sont plus distaux que les seconds.

Couche plexiforme externe. Le prolongement distal cylindraxile des éléments de la couche des grains externes se termine par un bouton pour les bâtonnets et en pied ramifié pour les cellules à cônes. Ces prolongements s'articulent avec les prolongements dendritiques proximaux des cellules bipolaires.

La couche des grains internes est composée : de grandes cellules horizontales disposées du côté des cellules visuelles, (ce sont les cellules étoilées de H. MÜLLER) ; de cellules bipolaires qui d'après CAJAL (7) et GREEFF (16) ont une grandeur différente et se distinguent par la grandeur et la forme des prolongements, différents pour celles qui sont destinées aux bâtonnets et celles qui sont destinées aux cônes ; les premiers en général, sont plus grandes et avec pied ramifié, les deuxièmes plus petites et fines avec extrémité aplatie. Les cellules amacrine constatées par CAJAL (7) sont abondantes dans cette couche. Elles sont situées du côté interne de la couche des grains internes et sont pourvues d'un grand noyau clair.

La couche plexiforme interne est formée d'un réseau de fines fibrilles. Elle est traversée perpendiculairement par les fibres radiées ou fibres de MÜLLER.

La couche des cellules ganglionnaires contient des cellules plutôt grandes.

Couche des fibres nerveuses. Les fibres nerveuses ont une disposition rayonnée près du nerf optique. Plus on s'éloigne de celui-ci, plus les fibres deviennent parallèles entre elles et parallèles à la surface de la rétine. A mesure que l'on se rapproche de l'*ora serrata*, la couche diminue d'épaisseur. Les fibres sont traversées par la partie la plus interne des fibres de MÜLLER.

Area et fovea.

L'*area* a été découverte dans la rétine de certains Poissons où l'on a pu observer en un endroit donné l'amincissement et l'entassement des éléments et surtout des cellules visuelles.

Plus rares sont les travaux qui signalent la présence d'une *fovea* dans la rétine des Poissons étudiés. Plusieurs auteurs prétendent que la *fovea* est inexistante chez la plupart des Poissons.

Histologie rétinienne du *Gasterosteus aculeatus*

Le *Gasterosteus aculeatus* est le Poisson que j'ai soumis aux expériences les plus nombreuses au cours de mon étude physiologique de la vision des formes ; c'est pourquoi j'ai entrepris en premier lieu l'examen de sa rétine. Je me propose d'étudier dans la suite l'œil des autres Poissons que j'ai observés.

La rétine de l'Épinoche est composée des 8 couches (voir pl. IV, fig. 1), que l'on retrouve chez la plupart des Vertébrés, à savoir :

1° *La couche de l'épithélium pigmentaire* formée par une seule rangée de cellules. Dans une coupe parallèle à la couche de l'épithélium pigmentaire (pl. IV, fig. 2) ces cellules apparaissent hexagonales. Dans une coupe perpendiculaire à la précédente, elles ont l'aspect allongées et étroites (pl. IV, fig. 3). Les noyaux se trouvent dans la partie la plus proche de la choroïde. Dans ces noyaux à forme ovale, on distingue généralement un nucléole. Les cellules pigmentaires se continuent du côté interne de la rétine par de longs prolongements riches en pigment, qui viennent se placer entre les segments externes des cellules visuelles. WUNDER (46) y remarque de la mélanine mais pas de guanine.

2° *La couche des cônes et bâtonnets* occupe à peu près la moitié de l'épaisseur de la rétine (pl. IV, fig. 1).

Les cônes du *Gasterosteus aculeatus* sont représentés schématiquement par WUNDER (46) comme étant simples. J'ai toujours trouvé des cônes doubles chez les Epinoches dont j'ai examiné la rétine. Le segment externe est nettement dédoublé, la partie ellipsoïdale du segment interne est divisée longitudinalement par un sillon qui ne descend pas jusqu'au bas de l'ellipsoïde. Voir pl. IV, fig. 4 : a) coupe perpendiculaire à la couche des cellules visuelles ; b) coupes parallèles à la couche des cellules visuelles depuis le sommet du cône jusqu'à la base de l'ellipsoïde.

La fig. 5 indique la disposition des cônes et des bâtonnets en coupe parallèle à la couche des cellules visuelles.

Les fig. 6, 7 et 8 donnent les différents aspects que peuvent présenter les cônes et bâtonnets dans une coupe perpendiculaire à la couche des cellules visuelles, suivant la direction de cette coupe. Dans certaines coupes les cônes apparaissent doubles, s'ils sont vus de face je dirai simples s'ils sont vus de profil.

Les segments externes doubles des cônes sont plus fins que le segment externe des bâtonnets. Le segment interne de ceux-ci est filiforme, tandis que celui des cônes est volumineux et ellipsoïdal à sa partie

externe (voir pl. IV, fig. 1). Entre les segments internes et externes du cône existe un espace clair qui délimite les 2 segments.

Autour des cônes et des bâtonnets on distingue l'espèce de membrane ou manteau dont j'ai déjà parlé.

La limitante externe est située à la base des segments internes des cônes.

3° *La couche des grains externes* renferme des grains disposés en 2 ou 3 rangées comme le montre la fig. 1 (pl. IV). Les noyaux des cônes sont plus grands que ceux des bâtonnets et situés du côté extérieur de la couche.

4° *La couche plexiforme externe* est composée de prolongements distaux cylindraxiles se terminant en bouton pour les cellules à bâtonnet et en pied ramifié pour les cônes. Ces prolongements s'articulent avec les prolongements dendritiques proximaux des cellules bipolaires.

5° *Dans la couche des grains internes*, l'on découvre vers l'extérieur une rangée de grandes cellules horizontales. Cellules et noyaux sont allongés dans le sens parallèle à la limitante externe. Viennent ensuite les cellules bipolaires beaucoup plus petites et plus abondantes. Enfin, du côté interne les cellules amacrines à grand noyau.

Cette couche est beaucoup plus épaisse que la couche des grains internes.

6° *La couche plexiforme interne* est très développée, les fibres de MÜLLER la traversent.

7° *La couche des cellules ganglionnaires* a de grandes cellules.

8° *La couche des fibres nerveuses* à disposition ordinaire, radiées près du nerf optique et de plus en plus parallèles vers l'*ora serrata*. La couche s'amincit vers le bord de la rétine et est traversée par les fibres de MÜLLER.

Fovea. — Je n'ai jamais pu constater de différenciation fovéale dans l'œil du *Gasterosteus aculeatus*. Manque de bâtonnets en un endroit de la rétine, allongement des cônes, amincissement de ceux-ci et leur juxtaposition étroite en un bouquet central dans lequel leur nombre, sur une surface donnée est beaucoup plus grand, qu'en n'importe quel autre point de la rétine, couche des fibres obliques rayonnant des cônes aux cellules, rien de tout cela n'est visible dans la rétine de l'Épinoche. Il y a donc absence de fovea dans la rétine du *Gasterosteus aculeatus*.

Conclusions

Mes observations histologiques m'ont démontré l'existence de cônes doubles et de bâtonnets dans la rétine du *Gasterosteus aculeatus*, et l'inexistence de cônes simples et de fovea.

Au cours de mes recherches physiologiques, j'ai pu constater que l'acuité du *Gasterosteus aculeatus* est moins grande que la nôtre. En effet, lorsque je place des fils dans un aquarium, les Epinoches les évitent ; si je diminue l'épaisseur de ces fils, il arrive un moment où je vois encore les fils et où elles ne les perçoivent plus puisqu'elles s'y cognent.

L'absence de *fovea* est cause de la réduction de l'acuité visuelle. Cependant, l'appareil dioptrique du *Gasterosteus aculeatus* est suffisamment bien constitué pour lui permettre de distinguer des formes immobiles, comme le prouve mon étude physiologique.

*
* *

Je tiens à remercier tous ceux qui m'ont aidé pour mes travaux tant au laboratoire de Villefranche où j'ai reçu le plus aimable accueil, qu'à l'Université de Bruxelles et tout spécialement M. le professeur VERLAINE. Qu'ils daignent trouver ici l'hommage de ma reconnaissance.

BIBLIOGRAPHIE

1. BEER. — Die Accomodation des Fischeauges. (*Pflüger's Arch. für d. ges. Physiol.*, LXIX, p. 523-560, 1894).
2. BIAGI. — La *fovea* centrale de la rétine des Lophobranches. (*Spezia*, 1899).
3. BRAUER. — Die Tiefseefische. (*Ergebn. d. Deutsch. Tiefsee. Expedition. a. d. Dampfer Valdivia. [Anatom. Teil]*, XV, p. 266, 1908).
4. BULL. — Conditioned responses in Fishes. (*Journal of the marine biological association of the United Kingdom*, new series, vol. XV, n° 2, issued April, 1928).
5. BUYTENDYK et REMMERS. — Nouvelles recherches sur la formation d'habitudes chez les Poissons. (*Archives Néerl. de Phys. de l'Homme et des Animaux*, VIII, p. 165, 1923).
6. BUYTENDYK et RÉVÉSZ. — L'importance spéciale du sens de la vue. (*Archives Néerl. de Phys. de l'Homme et des Animaux*, VIII, p. 14, 1923).
7. CAJAL. — La rétine des Vertébrés. (*La Cellule*, IX, 1. 1892).

8. CAJAL. — *Die Retina der Wirbeltiere. Untersuchungen mit der Golgi Cajalschen Chromsilbermethode und der Ehrlichschen Methylenblau färbung*, Wiesbaden, 1894.
9. CARRIÈRE. — *Die Sehorgane der Tiere. (Vergleichend Anatomisch dargestellt, München, 1885).*
10. CHARVOZ. — *Recherches biologiques sur les fonctions sensorielles et psychiques chez les Vertébrés inférieurs*, 1926.
11. CHIEVITZ. — *Untersuchungen über die Area centralis retinae. (Arch. für Anat. und Physiologie, 1889-91).*
12. CUVIER et VALENCIENNES. — *Histoire naturelle des Poissons*, livre 2^e, chap. VI.
13. DUMÉRIL. — *Ichthyologie analytique*, 1855.
14. FRANZ. — *Sehorgan. Vergleichenden Mikroskopischen Anatomie der Wirbeltiere*, A. Oppel, Jena, p. 1-410, 1913.
15. GOLDSMITH. — *Réactions physiologiques et psychiques des Poissons*. Thèse de doctorat, Paris, 1915.
16. GREEFF. — *Die mikroskopische Anatomie des Sehnerven und der Netzhaut. (Graefe Saemisch's Handb., II, Aufl., Bd. I, Kap. V, 1899).*
17. GRYNFELT F. et EUZIÈRE J. — *Les vaisseaux de la rétine vasculaire chez les Vertébrés inférieurs. (Soc. Sc. Méd., Montpellier, juin 1908).*
18. GULLIVER. — *On fovea centralis in the eye of the fish. (Journ. of Anat. and physiol., vol. 2, 1868).*
19. HESS. — *Die Anomalien der Refraction und Akkomodation des Auges. (Graefe Saemisch's Handb., II, Aufl. VIII, 1903).*
20. HESS. — *Gesichtssinn. (Handbuch der Vergleichenden Physiologie, herausg V. Hans Winterstein, IV, p. 355-840, Jena, 1913).*
21. KALT. — *Encyclopédie Française d'Ophtalmologie*. Lagrange, Valence, II, p. 685-942. Paris, 1905.
22. KARSTEN. — *Das Auge von Periophthalmus Kolreuteri (Jenaische Zeitschr. für Naturwiss., LIX, 1. p. 115-154, 1923).*
23. KRAUSE. — *Die Retina der Fische. (Internat. Monatschr. für Anatomie und Physiologie, III, 1-2, 1886).*
24. KRAUSE. — *Die Retina. (Morph. Jahrb., XI, 1894).*
25. MADDOX. — *Die Motilitätsstörungen des Auges*, Leipzig, 1902.
26. MÜLLER, H. — *Anatomisch-physiologische Untersuchungen über*

- die retina des Menschen und der Wirbeltiere. (*Zeitschr. für Wiss. Zool.*, Bd. 8, 1856).
27. NUEL. — *La Vision*, p. 93.
 28. OXNER. — *Bull. Inst. Océanogr.*, n° 232, 1912.
 29. PAPPENHEIM. — *Die specielle Gewebelehre des Auges*, Breslau, 1842.
 30. PIÉRON. — Etudes des phénomènes sensoriels. (*Bull. de l'Inst. Gén. de Psych.*, 1908.
 31. PRENANT. — *Traité d'Histologie. Cytologie générale et spéciale*. Paris, Masson, 1911.
 32. PÜTTER. — Organologie des Auges. (*Graefe Saemisch's Handb.*, III. 1912).
 33. REICH. — Zur Histologie der Hechtretina. (*Arch. für Ophthalmologie*, XX, 1, 1874).
 34. ROCHON-DUVIGNEAUD. — Quelle peut être la vision des Poissons? (*La Pêche illustrée*, n° 60, avril 1926).
 35. ROCHON-DUVIGNEAUD. — Observations sur le comportement visuel et la structure de l'œil chez *Blennius Basiliscus* C. V. (*Bull. du Museum d'Hist. nat.*, n° 2, 1927).
 36. SCHALLER. — Sinnesphysiologische und psychologische Untersuchung an Wasserkäfern und Fischen. (*Zeits. für Vergleich. Physiologie*, IV, 370-464, 1926).
 37. SCHIEFFERDECKER. — Studien zur Vergleichenden Histologie der retina. (*Arch. für mikrosk. Anat.*, 28, 1886).
 38. SCHULTZE. — Zur Anatomie und Physiologie der retina. (*Arch. für mikrosk. Anat.*, 2, 1866).
 39. SCHULTZE. — Untersuchungen über das zusammengesetzte Auge der Krebse und Insekten, Bonn, 1868.
 40. SCHULTZE. — Ueber die retina der Neunaugen. (*Sitzungsber. Niederrhein Gesell. für Natur- und Heilkunde*, Boon, 1871).
 41. SCHULTZE. — Ueber die retina des Störs. (*Sitzungsber. Niederrhein Gesell. für Natur- und Heilkunde*, Boon, 1872).
 42. SLONAKER. — A comparative study of the area of acute vision in Vertebrates. (*Journ. of Morph.*, vol. 13, 1897).
 43. VON FRISCH, K. — Farbensinn des Fische und Duplizitätstheorie. (*Zeits. für vergl. Physiologie*, II, p. 393-452, 1925).
 44. WASHBURN M. F. et BENTLEY I. M. — The establishment of an association involving color discrimination in the creek chub *Semotilus atromaculatus*. (*Journ. of comp. Neur. and Psychol.*, t. XVI, p. 113, 1906).

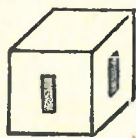
45. WHITE, G. H. — *The Journal of experimental Zoology*, 27, p. 443, 1919.
 46. WUNDER. — Physiologische und vergleichend anatomische untersuchungen an der Knochenfischnetzhaute. (*Zeits. für. Vergleichende Physiologie*, III, p. 1-61, 1925).
 47. WUNDER. — Sur la constitution de la rétine des Poissons d'eau douce, qui vivent à une grande profondeur. (*Zeits. für Vergleichende Physiologie*, IV, p. 22-36, 1926).
-

PLANCHE III

Les figures 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9 et 10 sont réduites aux $\frac{4}{9}$.

La figure 8 est réduite au $\frac{1}{4}$.

Les figures 11 et 12 ont la grandeur naturelle.



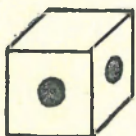
b. b.

Fig. 1.



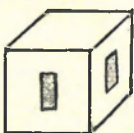
m. b.

GROUPE 1
PREMIÈRE SÉRIE
Expérience I



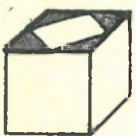
b. b.

Fig. 2



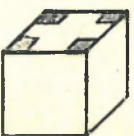
m. b.

Expérience II



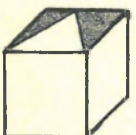
b. b.

Fig. 3



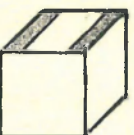
m. b.

DEUXIÈME SÉRIE
Expérience I



b. b.

Fig. 4



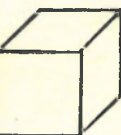
m. b.

Expérience II



b. b.
m. b.

Fig. 5.



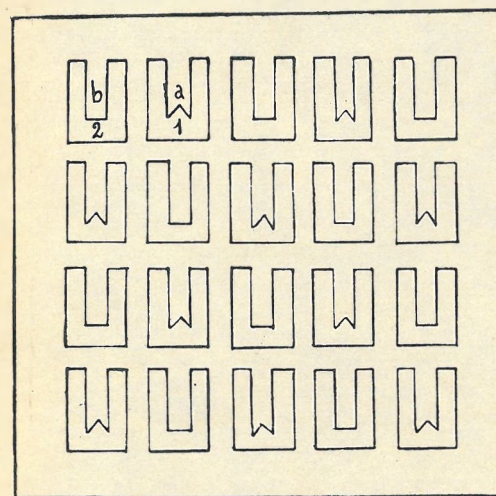
m. b.
b. b.

TROISIÈME SÉRIE
Expér. I
Expér. II

b. b.
m. b.

m. b.
b. b.

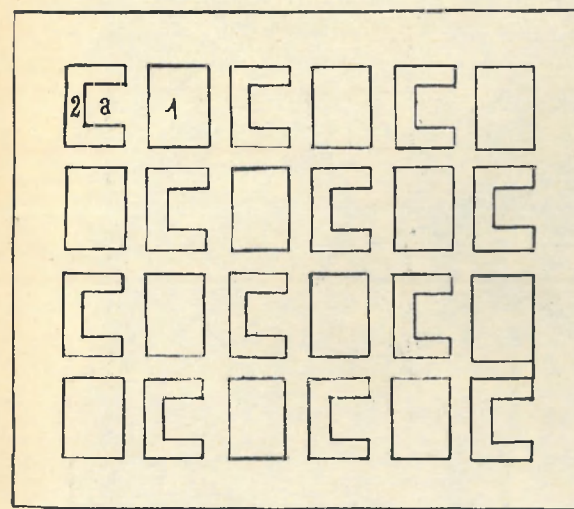
QUATRIÈME SÉRIE
Expér. I
Expér. II



GROUPE 2

1° SÉRIE

Fig. 6



2° SÉRIE

Fig. 7

GROUPE 2
TROISIÈME SÉRIE

Fig. 8

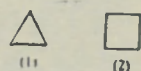
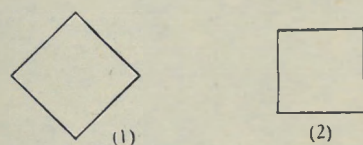


Fig. 9.



passage libre.
passage obturé.
passage libre.

passage obturé.
passage libre.
passage obturé.

QUATRIÈME SÉRIE *Expér. I*
Expér. II
Expér. III

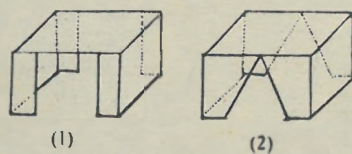


Fig. 10

CINQUIÈME SÉRIE

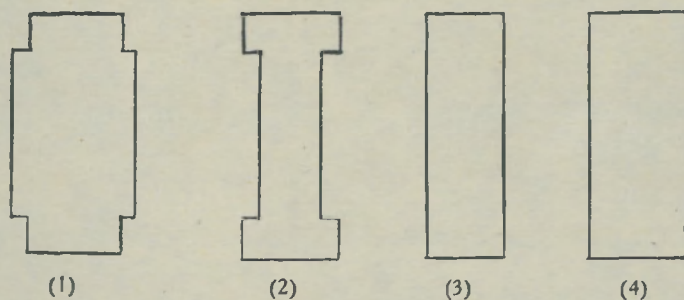


Fig. 11

SIXIÈME SÉRIE

GROUPE 2

7^{me} SÉRIE

Fig. 12

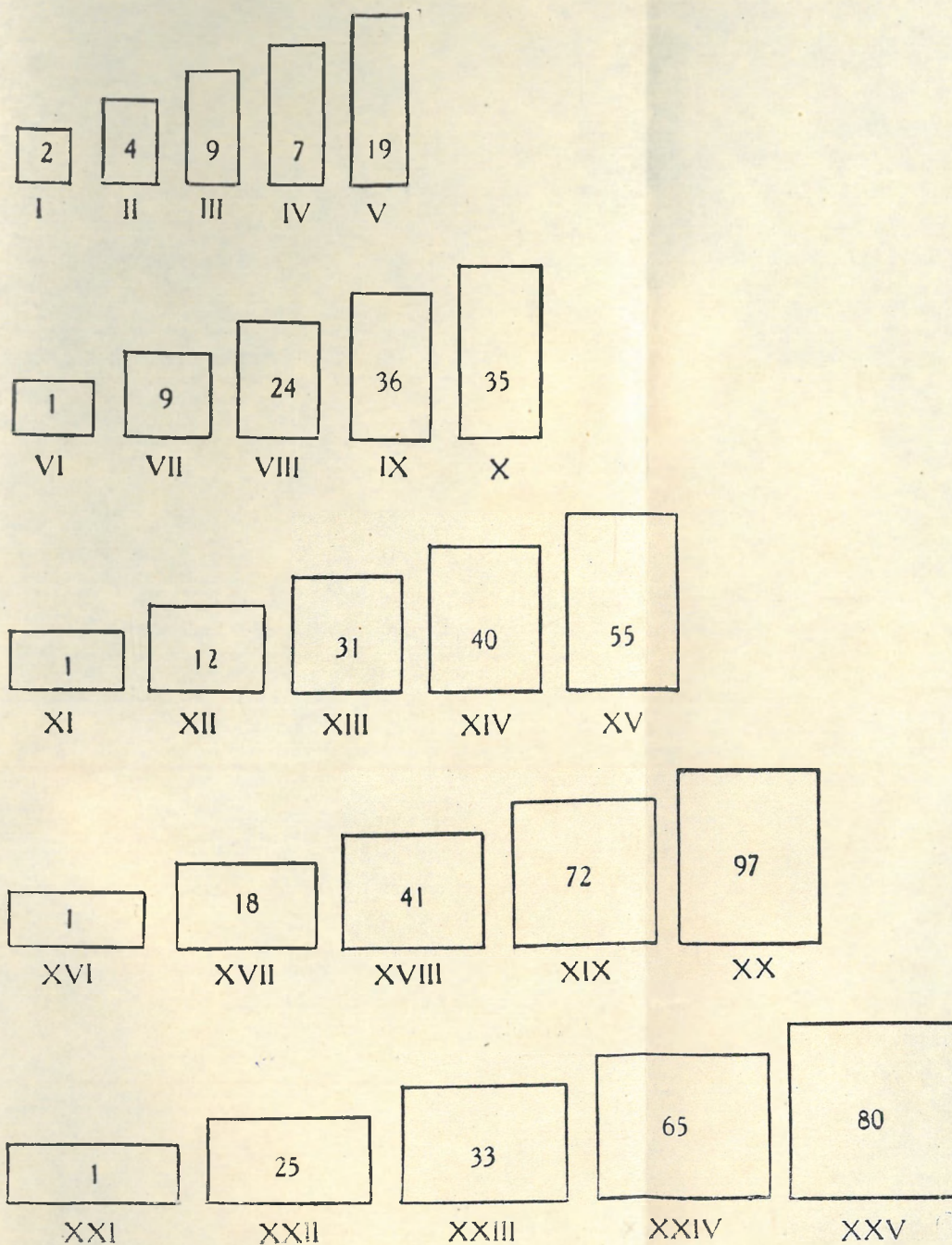
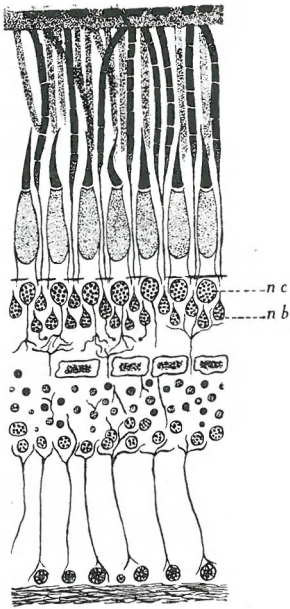


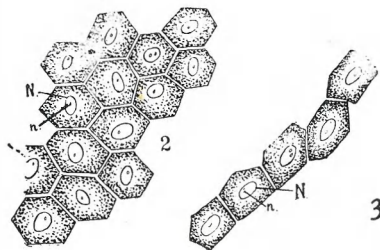
PLANCHE IV

Rétine du *Gasterosteus aculeatus*

- Fig. 1. — Coupe de la rétine.
- Fig. 2. — Epithelium pigmentaire en coupe parallèle à la couche de l'épithélium pigmentaire. N. noyaux, n. nucléole.
- Fig. 3. — Epithelium pigmentaire en coupe perpendiculaire.
- Fig. 4. — a) Cône en coupe perpendiculaire à la couche des cellules visuelles. b) Coupes successives d'un cône, parallèles à la couche des cellules visuelles.
- Fig. 5. — Disposition des C et B en coupe parallèle à la couche des cellules visuelles. 6, 7, 8, direction des figures 6, 7 et 8.
- Fig. 6, 7 et 8. — Différents aspects des C et B en coupes perpendiculaires à la couche des cellules visuelles. Fig. 6. Cônes vus de profil. Fig. 8. Cônes vus de face. Fig. 7. Cônes vus en position intermédiaire.
-

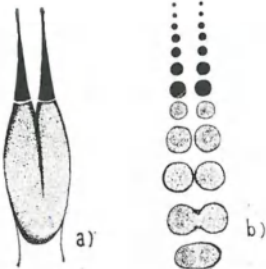


1



2

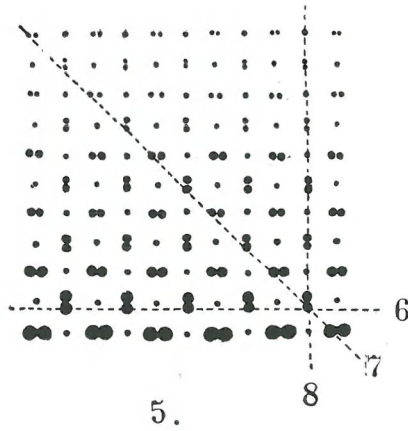
3



a)

b)

4

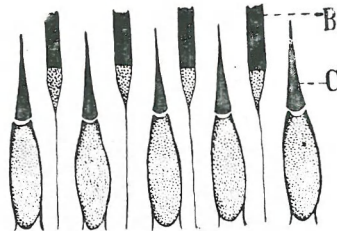


5.

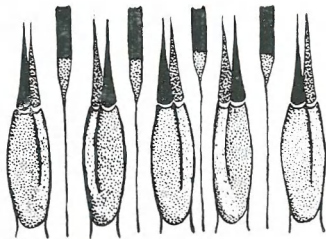
6

8

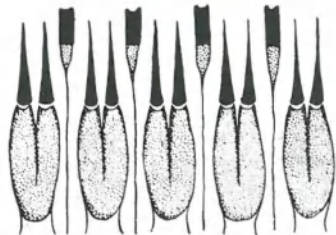
7



6



7.



8.