

LA DIGESTION DES MATIÈRES ALBUMINOÏDES

CHEZ QUELQUES INVERTÉBRÉS

PAR

LE DOCTEUR LÉON FREDERICQ.

Pendant un court séjour que je fis à Strasbourg au mois de juillet 1877, M. le professeur Hoppe-Seyler, directeur du laboratoire de chimie physiologique, m'engagea à entreprendre quelques recherches sur les phénomènes de la digestion chez les invertébrés. A cette époque, cette étude n'avait été faite que pour les animaux articulés¹ et l'on ne possédait aucun travail spécial sur le chimisme de la digestion chez les autres groupes d'invertébrés².

Cependant l'on pouvait légitimement espérer d'arriver à des résultats concluants, rien qu'en appliquant aux invertébrés les méthodes déjà usitées dans l'étude de la digestion des animaux supérieurs. J'expérimentai, sous la direction de M. le professeur Hoppe-Seyler, l'action des sucs digestifs de la limace rouge (*Arion rufus*) et du lombric (*Lumbricus terrestris*); j'essayai ensuite de retrouver chez eux les acides et les pigments biliaires des vertébrés. Le résultat de ces recherches a été brièvement cité dans Hoppe-Seyler (*Physiologische Chemie*, Berlin, 1878, t. II, p. 248, note). Krukenberg a depuis publié un travail sur la digestion chez quelques mollusques, quelques articulés et le ver de terre³. Les conclusions auxquelles il est arrivé

¹ Voir HOPPE-SEYLER, *Arch. f. d. ges. Phys.*, Bd XIV, p. 394. — F. PLATEAU, Diverses mémoires sur la digestion chez les Insectes, les Arachnides et les Myriapodes dans les publications de l'Académie des sciences de Belgique de 1874 à 1878. — JOUSSET DE BELLESME, *Recherches expérimentales sur la digestion des Insectes et en particulier de la Blatte*, 1875.

² On trouvera quelques données sur les phénomènes de la digestion chez plusieurs invertébrés dans : CL. BERNARD, *Mémoire sur le pancréas*, 1856. — *Id. Ann. des sc. nat.*, 3^e série, Zoologie, t. XIX, 1853, p. 331. — SCHLEMM, *De hepate ac bile, etc., Dissertatio*, Berolini, 1844. — LINDNER, *Nonnulla de hepate, etc. Dissertatio*, Berolini, 1844. — P. BERT, *Physiologie de la seiche*. — RICHET, *Recherches sur le suc gastrique*, 1878.

³ KRUKENBERG, *Vergl. physiol. Beitr. z. Kent. d. Verdauungsvorgange. Unters. aus d. physiol. Inst. in Heidelberg*, 1878.

s'écartent assez notablement des miennes ; c'est ce qui m'engage à ne pas différer plus longtemps la publication des expériences que j'ai faites à Strasbourg. J'y joins une série d'essais exécutés depuis au laboratoire de physiologie de l'Université de Gand sur la digestion de quelques autres invertébrés pris dans les principales divisions du règne animal.

Chez les vertébrés, on se procure ordinairement les sucs digestifs naturels par l'établissement de fistules permanentes ou temporaires, ou bien on sacrifie un animal en digestion et l'on recueille les liquides qui se trouvent dans les cavités digestives. Je ne pouvais songer à utiliser le premier de ces procédés ; le second peut être appliqué dans quelques cas exceptionnels, chez les limaces, par exemple, dont le tube digestif renferme souvent de grandes quantités de sucs.

Il est en général plus commode de faire ce que l'on appelle un suc artificiel, c'est-à-dire un extrait aqueux (alcalinisé ou acidulé, suivant les cas) de la glande digestive. L'expérience a montré que ces liquides agissaient de la même façon que les sucs naturels. Cette méthode est excellente quand il s'agit d'animaux dont les glandes digestives offrent un volume suffisant ; je l'ai appliquée avec succès aux cæcums glandulaires des astéries, aux foies et aux glandes salivaires des limaces.

Mais chez les animaux de très petite taille, dont les glandes digestives s'isolent difficilement, il vaut mieux procéder autrement. Je cherche alors à extraire les ferments digestifs, comme s'il s'agissait d'un vertébré en employant les méthodes usitées pour la préparation de la pepsine, de la thrypsine, etc., mais en opérant sur un grand nombre d'individus réunis. Je les hache en entier et je les broie au besoin avec du sable ; je traite la masse ainsi obtenue par une grande quantité d'alcool ou par un mélange d'alcool et d'éther ; les sels solubles, un grand nombre de substances organiques cristallisables et de matières colorantes passent dans la solution alcoolique et peuvent y être recherchées ultérieurement. Le résidu insoluble dans l'alcool contient les matières albuminoïdes coagulées et les ferments digestifs. Je dessèche ce résidu à l'air pour en chasser l'alcool et j'en extrais ensuite les ferments en traitant la masse pulvérisée soit par l'eau pure, soit par l'eau contenant un peu d'acide chlorhydrique (de 4 à 12 centimètres cubes d'acide fumant pour un litre d'eau), soit par l'eau alcalinisée par le carbonate de sodium (25 centimètres cubes d'une solution saturée de carbonate de sodium pour un litre d'eau).

La présence de la pepsine se reconnaîtra dans ces extraits à ce que la fibrine s'y dissoudra, mais seulement dans la solution acide ; un flocon de fibrine porté dans le liquide s'y gonflera, deviendra transparent, puis fondra peu à peu par les bords. La solution obtenue donnera au bout d'un certain temps la réaction des peptones (coloration rose à froid par la potasse et le sulfate de cuivre).

Si les extraits contiennent de la thrypsine (ferment du pancréas) ils digéreront rapidement la fibrine en solution alcaline, un peu moins bien en solution neutre, mal ou pas du tout en solution acide. La fibrine n'y gonflera pas, mais se résoudra en fragments, puis en un détritus finement granuleux. La solution donnera également la réaction des peptones.

Pour rechercher le ferment diastatique, il suffira d'ajouter aux liquides un peu d'empois d'amidon et de constater sa transformation en glycose. Le liquide ne bleuirait plus par l'iode, il réduira à l'ébullition le sulfate de cuivre en présence de la potasse avec précipitation d'oxyde cuivreux rouge, il réduira de la même façon le nitrate de bismuth avec précipité noir, etc.

Ces différents essais sur la force digestive des extraits obtenus, s'effectuent fort bien dans des tubes à réaction : on peut suivre à la vue les changements qu'offre le flocon de fibrine¹ qu'on y place, surtout quand on opère sur des liquides peu colorés et filtrés au préalable. Si l'on ne dispose que d'une très petite quantité de liquide, il vaut mieux opérer dans un verre de montre que l'on recouvre d'un second verre pour éviter l'évaporation. On les maintient appliqués l'un contre l'autre à l'aide d'un petit ressort. La digestion s'effectue normalement chez tous les invertébrés à une température voisine de celle de l'air. Cependant une température plus élevée favorise en général l'action des ferments digestifs². On obtiendra, par conséquent, des résultats beaucoup plus nets en effectuant les digestions artificielles dans une étuve chauffée par une petite flamme entre $+ 40^{\circ}$ et $+ 45^{\circ}$.

La méthode que je viens de décrire n'oblige pas à opérer sur des animaux frais, elle permet d'utiliser des échantillons conservés dans l'alcool depuis longtemps. Je l'ai appliquée à trois espèces d'anné-

¹ La fibrine employée dans ces expériences provient du sang de porc. Elle est conservée dans la glycérine : on la lave au moment de s'en servir et on l'emploie crue ou bouillie au préalable.

² La température exerce une influence considérable sur la rapidité d'action de la pepsine. Cette action est beaucoup moins marquée pour la thrypsine.

lides, un ver cestoiide, un mollusque gastéropode, deux mollusques lamellibranches, des ascidies simples et composées, un bryzoaire, un échinoderme, un coelentéré et des spongiaires.

LUMBRICUS TERRESTRIS.

Environ 200 grammes de lombrics hachés sont traités par une grande quantité d'alcool fort. On laisse agir l'alcool pendant plusieurs heures en ayant soin d'agiter de temps en temps, puis on le décante et on le met de côté. Cet extrait alcoolique servira plus tard à la recherche des acides biliaires, etc. Le résidu insoluble dans l'alcool est exprimé entre plusieurs doubles de papier à filtre, séché à l'air et pulvérisé dans un mortier. On y recherche la pepsine, la thrypsine et la diastase. A cet effet, on en prépare un extrait aqueux, un extrait alcalin et différents extraits acides, en laissant macérer pendant vingt-quatre heures différentes portions de cette poudre avec de l'eau, de l'eau alcalinisée et avec de l'eau acidulée par l'acide chlorhydrique (à différents degrés de concentration : de 6 à 12 centimètres cubes d'acide chlorhydrique fumant pour un litre d'eau). On place dans des tubes à réaction des quantités égales de ces différents liquides filtrés et l'on suspend dans chacun d'eux un flocon de fibrine. Le tout est placé dans l'étuve chauffée à environ + 40 degrés. Au bout d'un temps assez court (une à deux heures au plus) la fibrine qui baigne dans le liquide alcalin a disparu presque entièrement, ne laissant après elle qu'une petite quantité d'un détritrus finement granuleux. Le liquide donne la réaction des peptones.

L'extrait neutre se comporte de la même façon ; seulement la fibrine s'y dissout un peu plus lentement : il faut jusqu'à cinq et six heures pour que la digestion soit complète. Le liquide obtenu contient également des peptones. Au contraire, le suc acide le plus concentré paraît sans action sur la fibrine qui gonfle, mais s'y maintient intacte pendant plusieurs jours. La fibrine finit en général par se dissoudre plus ou moins complètement dans les liquides acides les plus dilués, mais seulement au bout d'un temps fort long (36 heures, 48 heures, etc.).

Le ferment qui chez le lombric dissout la fibrine agit donc bien en solution neutre, mieux en solution alcaline, mal ou pas du tout en solution acide ; ces propriétés le rapprochent entièrement de la thrypsine ou ferment du pancréas.

L'action du liquide neutre fut essayée sur l'empois d'amidon. Au bout de peu de temps le liquide ne bleuit plus par l'iode et montre très nettement les réactions de la glycose. L'extrait aqueux contient donc une substance agissant à la façon de la diastase.

Pour m'assurer que le ferment diastatique et le ferment qui dissout la fibrine appartiennent bien au tissu du lombric et qu'ils n'ont pas été introduits du dehors à l'intérieur de son tube digestif, j'opérai comme précédemment, mais avec des lombrics disséqués sous l'eau et dont l'intestin avait été soigneusement vidé. En expérimentant sur différentes portions du tube digestif, je pus m'assurer que les parties fortement colorées en jaune commençant au second quart de sa longueur fournissent surtout un liquide actif. Il suffit d'isoler ces portions sur quelques individus frais de grande taille, de les piler avec un peu d'eau pour obtenir un suc légèrement alcalin qui digère parfaitement la fibrine. Une alcalinité faible m'a semblé être la règle pour le tube digestif des lombrics.

Les dénominations de bile et de foie ont été employées à tort et à travers par un grand nombre de ceux qui se sont occupés de l'anatomie des invertébrés. Cependant les principes caractéristiques de la bile (pigments et acides biliaires) n'ont jamais été déterminés avec certitude que chez les vertébrés crâniens. Ce fait n'a rien qui doive surprendre, puisqu'il est établi que les matières colorantes de la bile sont les dérivés immédiats de l'un des produits de décomposition de l'hémoglobine (probablement l'hémochromogène), substance qui ne se rencontre qu'exceptionnellement chez les invertébrés.

Le Lombric est un de ces animaux riches en hémoglobine chez lesquels on pouvait espérer de retrouver les pigments ou les acides biliaires. J'utilisai pour cette recherche la solution alcoolique jaunâtre dans laquelle le hachis de lombrics avait macéré en premier lieu. Elle se décolora assez rapidement par l'exposition au grand jour ; mais à côté de la matière colorante sensible à la lumière, elle contenait encore des traces de chlorophylle (provenant sans doute des aliments) comme le montra l'examen spectroscopique. Cette solution alcoolique fut évaporée à sec au bain-marie, puis reprise par l'éther. La solution étherée fut mise à part. Le résidu insoluble dans l'éther fut dissous dans un peu d'eau. La solution aqueuse filtrée servit à la recherche des acides biliaires par la réaction de Pettenkofer (sucre et acide sulfurique.) L'essai donna un résultat absolument négatif.

La réaction de Tiedemann et Gmelin, destinée à déceler la pré-

sence des pigments biliaires, fut appliquée, sans plus de succès, aux organes et au suc frais des Lombrics ainsi qu'à l'extrait alcoolique (dont l'alcool avait été chassé au préalable).

L'extrait éthéré obtenu précédemment laissa déposer par évaporation des cristaux de cholestérine et des gouttelettes graisseuses. La cholestérine put en être isolée par saponification des graines (ébullition de la masse avec une solution alcoolique de potasse, évaporation à sec, extraction du résidu par l'éther anhydre, évaporation de la solution éthérée filtrée).

NEREIS PELAGICA.

(Espèce marine.)

Les échantillons employés provenaient de Philippine (près de Terneuzen), où l'espèce se trouve abondamment dans la vase argileuse que chaque marée met à découvert.

Une soixantaine d'individus conservés dans l'alcool depuis six mois furent essuyés, séchés, pulvérisés, puis traités comme les Lombrics par des solutions aqueuses, respectivement neutre, alcaline et acide. La fibrine se dissout en quelques minutes dans la solution alcaline, au bout d'un temps un peu plus long dans la solution neutre et reste intacte pendant plusieurs jours dans la solution acide. Le liquide provenant de la digestion donne nettement la réaction des peptones par le sulfate de cuivre et la potasse. La même expérience, répétée avec des néréis récemment capturées, conduisit aux mêmes résultats.

La force digestive du liquide alcalin est considérable ; il peut digérer en moins de deux heures une quantité de fibrine représentant le podis total des néréis employées à faire l'extrait.

HÆMOPIS VORAX.

(Hirudinée d'eau douce.)

Une douzaine de ces sangsues servirent pareillement à faire deux extraits, l'un acide, l'autre alcalin. La fibrine fut digérée au bout de douze heures dans le liquide alcalin ; elle se maintint intacte pendant plusieurs jours dans le liquide acide.

Chez ces trois vers, la digestion se rapproche donc de la digestion pancréatique des vertébrés. L'action de leurs sucs digestifs est la même sur la fibrine cuite, quoique un peu plus lente que sur la fibrine crue.

TÆNIA SERRATA.

(Ver cestoïde parasite de l'intestin grêle du chien.)

Trois *Tænia serrata*, trouvés dans l'intestin grêle d'un chien tué par le chloroforme, furent lavés à grande eau, puis soigneusement nettoyés à leur surface à l'aide d'un pinceau. On les coupa en petits fragments et on les laissa macérer jusqu'au lendemain dans une grande quantité d'alcool pur. Les différents extraits qu'on en fit se montrèrent complètement inactifs au point de vue de la digestion. La fibrine s'y maintint intacte pendant plusieurs jours.

Ces extraits aqueux offraient une apparence de lait due à une fluorescence intense, ce qui fit immédiatement songer à la présence du glycogène. En effet, le liquide brunit fortement par l'eau iodée, il précipite par l'alcool, il dissout le sulfate de cuivre précipité par la potasse. Enfin l'addition de salive fait disparaître l'opalescence au bout d'un certain temps ; en même temps le liquide devient riche en glucose, comme le prouve l'essai par la liqueur de Fehling¹.

Ces tæniases ne contenaient donc pas de traces de ferments digestifs, ni pepsine, ni thrypsine, ni ferment diastatique. Les sucs de l'intestin grêle dans lesquels ils vivent sont cependant riches en ferment. Les ferments, corps peu diffusibles, ne parviennent sans doute pas à franchir la barrière que leur offre le tégument externe de ces entozoaires. C'est ce que semble indiquer l'expérience suivante. Des *Ascaris marginata* provenant de l'intestin grêle du même chien furent plongés les uns intacts, les autres coupés en plusieurs fragments dans un sac pancréatique artificiel (extrait aqueux d'un pancréas de chien durci dans l'alcool). Les premiers purent y séjourner pendant plusieurs jours sans changements apparents, les seconds furent digérés presque intégralement, ne laissant d'eux que leur tégument corné, hyalin. Ce tégument ne paraît pas être formé de chitine, car il est rapidement attaqué par une lessive de potasse bouillante.

ARION RUFUS².

Deux catégories de glandes importantes versent leur sécrétion dans le tube digestif des limaces : on les a appelées respectivement glandes salivaires et foie.

Les glandes salivaires ne paraissent pas contenir de ferments diges-

¹ La présence du glycogène a déjà été signalée dans le tégument des Nématodes.

² J'avais réuni à Strasbourg des *Helix pomatia* pour en étudier les sucs diges-

lifs. Le suc que l'on obtient en broyant les glandes d'un grand nombre d'individus se montre inactif vis-à-vis des albuminoïdes et des féculents. Plusieurs glandes salivaires de vertébrés étant dans le même cas, il n'y a, me semble-t-il, aucun inconvénient à leur conserver provisoirement le nom de glandes salivaires.

Le produit de sécrétion du foie est un liquide brun ; en se mélangeant avec la matière verte provenant des aliments végétaux, il forme un suc d'un brun verdâtre très légèrement acide (acidité due probablement aux aliments) dont on peut recueillir d'assez grandes quantités en sacrifiant un grand nombre de limaces fraîchement capturées. Il suffit de les fendre en long, d'extraire le paquet de viscères et de recueillir le liquide qui s'écoule par le bout coupé de l'intestin.

La fibrine ne s'y dissout qu'au bout d'un temps assez long (vingt-quatre heures). Si l'on y ajoute un peu de carbonate de soude, on obtient un liquide beaucoup plus actif, dissolvant la fibrine en quelques heures (la solution de carbonate de sodium seule n'a aucune action sur la fibrine). En solution acide, le ferment se montre inactif ; il suffit d'ajouter un peu d'eau acidulée au suc digestif de la limace pour arrêter complètement la digestion de la fibrine.

Le liquide que l'on obtient en pilant les foies d'un certain nombre de limaces, soit frais, soit durcis dans l'alcool, se montre également plus actif lorsqu'on y ajoute un peu de carbonate de sodium. L'addition d'une petite quantité d'acide abolit, au contraire, ses propriétés digestives vis-à-vis de la fibrine.

Enfin le foie et son produit de sécrétion fournissent un ferment diastatique transformant la fécule en glycose.

Le prétendu foie de limace est donc une glande digestive que l'on ne pourrait mieux comparer qu'au pancréas des vertébrés. Il ne contient ni pigments, ni acides biliaires, comme je m'en suis assuré en traitant les glandes provenant de plusieurs individus de la même façon que les lombrics dont il a été question plus haut. Si l'on songe que le foie des vertébrés n'est pas une glande digestive dans le sens propre du mot, puisque ni la bile, ni l'infusion du tissu hépatique ne contiennent de ferments digestifs, on en conclura que la dénomination de foie ne convient nullement pour désigner la glande digestive des mollusques gastéropodes.

lifs, mais je n'eus pas le temps de terminer ces expériences. C'est donc par erreur que *H. pomatia* est indiquée dans la note de la page 248 du *Traité de chimie physiologique* de Hoppe-Seyler.

MYA ARENARIA ET MYTULUS EDULIS.

(Mollusques lamelibranches.)

Les liquides digestifs préparés en employant le paquet de viscères (foie, intestin, etc.) d'une douzaine de *Mya* conservées dans l'alcool, digèrent assez bien la fibrine en solution acide, mieux peut-être qu'en solution neutre ou alcaline. Il en est de même du liquide que l'on obtient en employant ces organes à l'état frais. Les essais exécutés de la même façon sur la moule commune conduisirent aux mêmes résultats. Ces liquides étaient riches en glycogène.

Le contenu du tube digestif est fortement acide, au moins chez la *Mya*, ce dont on peut s'assurer facilement en extrayant, sur un exemplaire frais, la tige cristalline et en la plaçant sur un papier de tournesol bleu : elle y laissera une empreinte franchement rouge.

Le ferment qui chez ces deux mollusques lamelibranches digère la fibrine s'écarte donc notablement du ferment trouvé chez la limace¹.

Cette différence radicale observée chez les animaux d'un même embranchement zoologique est de nature à nous prémunir contre la tendance aux idées de généralisation prématurée, alors qu'il s'agit d'un sujet sur lequel on ne possède qu'un petit nombre de données isolées.

Des essais analogues tentés sur plusieurs ascidies simples et composées (*Anourella roscoviana*, *Ascidia sanguinolenta*, *Cynthia rustica*, *Botryllus*, *Amarœcium*, *Fragarium*) de Roscoff conservées dans l'alcool et sur un bryzoaire frais d'Ostende (*Halodactylus hirsutus*) fournirent des extraits entièrement dépourvus de propriétés digestives. L'alcool dans lequel étaient conservées les ascidies de Roscoff était peut-être trop faible ; et les halodactyles d'Ostende pouvaient bien être morts depuis quelque temps.

ASTERACANTHION RUBENS.

Les cœcums glandulaires de plusieurs astéries durcis dans l'alcool, puis traités comme précédemment par l'eau, l'eau acidulée, l'eau alcalinisée fournirent des liquides qui se comportèrent également comme des solutions de ferment pancréatique, digérant la fibrine crue et la fibrine crue en solution alcaline, moins bien en solution neutre et mal ou pas du tout en solution acide. Ils contiennent également un ferment diastatique. L'action de ces deux ferments est

¹ Peut-être y aurait-il lieu de recourir ici à l'hypothèse de Krukenberg sur la fréquence de l'existence simultanée de deux ferments, l'un agissant en solution neutre ou alcaline, l'autre en solution acide.

bien moins énergique que chez les annélides dont il a été question. Les mêmes résultats furent obtenus avec des liquides digestifs préparés en pilant les organes frais avec de l'eau, etc. Le contenu et les parois de la cavité digestive des astéries paraissent ne pas contenir des ferments digestifs.

ACTINIE.

Une vingtaine de petites actinies grises d'Ostende furent plongées vivantes dans l'alcool et servirent au bout de quelques jours à faire des extraits de ferments digestifs. Leur pouvoir digestif (assez faible) pour la fibrine ne se manifesta qu'en solution neutre ou alcaline.

Le ferment qui digère les albuminoïdes paraît donc également se rapprocher ici de la thrypsine.

ÉPONGES.

(Espèce indéterminée de Cœlentéré d'Ostende.)

Un certain nombre d'Éponges (d'espèces indéterminées) de Roscoff, conservées dans l'alcool depuis près de deux ans, servirent à la recherche des ferments digestifs. Le liquide alcalin qu'elles fournirent digéra assez bien la fibrine, le liquide acide se montra inactif. Ces éponges paraissent donc également contenir un ferment analogue à la thrypsine. Il existe cependant ici une cause d'erreur assez difficile à éviter. Ces éponges, masses éminemment poreuses, contenaient peut-être dans leurs cavités d'autres petits animaux (crustacés ou autres) dont les ferments digestifs devaient passer dans la solution.

Si l'on rapproche les résultats obtenus par Hoppe-Seyler et Plateau, chez les articulés, de ceux acquis par le présent travail pour d'autres groupes d'invertébrés, on pourra formuler les conclusions suivantes :

Le mécanisme de la digestion paraît être le même dans toute la série animale. Partout la transformation des aliments s'effectue par l'intermédiaire de substances offrant la plus grande analogie avec les ferments digestifs des vertébrés (solubilité dans l'eau, précipitation par l'alcool). Ainsi les méthodes qui servent à extraire ces ferments des glandes digestives des vertébrés réussissent pleinement quand on les applique à des animaux appartenant aux groupes les plus variés d'invertébrés. Enfin les produits de la digestion sont les mêmes.

Contrairement à une opinion émise plus d'une fois, la digestion par un ferment peptique paraît fort peu répandue chez les invertébrés. Un ferment analogue à la thrypsine se retrouverait, au contraire, chez les animaux appartenant aux différents embranchements.