



LA DIGESTION AU COLLÈGE : TRANSFORMATION PHYSIQUE OU CHIMIQUE ?

Marie Sauvageot-Skibine.

Depuis le V^e siècle av.J.C. la digestion a connu des définitions bien différentes. La naissance du mot français au XIII^e siècle, a précédé le concept tel qu'il est connu aujourd'hui. L'étymologie du mot nous renseigne sur un certain nombre d'obstacles qui peuvent encore exister. Le mot digestion recouvre un concept qui n'a été construit qu'au début du XIX^e siècle, avec la découverte des enzymes.

Les manuels de collège montrent une réelle ambiguïté pour présenter la digestion comme transformation chimique, autrement que par des mots. Pourquoi ? Quel est l'obstacle ?

"La digestion est une fonction privilégiée qui est un poème ou un drame, qui est source d'extase ou de sacrifice. Elle devient donc pour l'inconscient un thème explicatif dont la valorisation est immédiate et solide. On a coutume de répéter que l'optimisme et le pessimisme sont questions d'estomac...La digestion correspond en effet à une prise de possession d'une évidence sans pareille, d'une sûreté inattaquable. Elle est l'origine du plus fort des réalismes, de la plus âpre des avarices. Elle est vraiment la fonction de l'avarice animiste."
Ainsi pour Bachelard,

digérer = posséder.

la digestion : une question complexe aux racines préscientifiques très fortes

La question de la digestion est une question complexe qui a des racines préscientifiques extrêmement fortes. L'enseignement a à se situer par rapport à des mythes qu'il doit transformer et déconstruire : *"un des mythes les plus persistants...c'est l'assimilation des semblables par la digestion...On veut toujours que le semblable attire le semblable, que le semblable ait besoin du semblable pour s'accroître."*

Bachelard pointe un autre obstacle, avec la survalorisation de l'estomac, en citant Roy Desjoncades décrivant ainsi ce que l'Antiquité nommait "le roi des viscères" : *"cette meule philosophique et animée qui broie sans bruit, qui fond sans feu, qui dissout sans corrosion...elle agit sans éclat, elle opère sans violence, elle remue sans douleur."* Ce vase de digestion est aussi un récipient de cuisson des aliments : *"la digestion est une lente et douce cuisson, donc toute cuisson est une digestion."* La digestion apparaît comme un des noeuds les plus embrouillés de la biologie, car ce concept est englué dans la connaissance commune.

Il paraît souhaitable d'examiner la construction historique du concept, pour voir comment, dans un premier temps, cette assomption progressive a pu se faire, comment s'est dégagée la connaissance scientifique de la connaissance commune ; dans un second temps, nous essaierons de voir comment ceci se traduit dans les manuels, car les auteurs actuels de manuels, s'ils parlent tous de transformations chimiques, quand ils abordent la digestion, l'expliquent avec un vocabulaire et des schémas qui induisent une ambiguïté pour ne pas dire une confusion.

1. LES ÉTAPES HISTORIQUES DE L'ÉMERGENCE DU CONCEPT

Le concept de digestion semble établi, entre 1752, date à laquelle Réaumur, suivi en 1777 par Spallanzani, a démontré par l'expérience, la qualité indiscutablement chimique de la digestion, et 1833 date de mise en évidence d'une enzyme par Payen.

L'ambiguïté entre transformation physique et transformation chimique peut-elle venir du mot digestion ?

l'étymologie du mot digestion...

Ce mot est attesté pour la première fois dans un écrit du XIII^e siècle, *"Le roman de la Rose"*, poésie didactique de Jean de Meung et de Guillaume de Lorris.

du verbe digerer...

On trouve le verbe latin **digere**, chez Sénèque, employé comme synonyme de diviser, séparer : *"les nuages se condensent, se désagrègent"*.

Le naturaliste Pline (79 av. J.C.) est encore plus explicite : *"les dents qui divisent les aliments"*.

Celse, médecin sous Tibère (1^{er} siècle après J.C.), lui donne le sens de :

distribuer, répartir : *"ces aliments sont distribués par tout le corps"*,

mais aussi de : dissoudre ou fondre en médecine,
relâcher le ventre,
digérer,
affaiblir le corps,
remuer, agiter le corps.

du nom digestio...

Quant au nom féminin **digestio**, il évoque l'image :

- 1- d'une distribution, d'une répartition, d'un classement, d'un arrangement, d'un ordre ;
- 2- en rhétorique chez Cicéron, d'une division d'idée générale en points particuliers ;
- 3- de la répartition de la nourriture dans le corps, chez Quintilien (sous l'empereur Domitien, 1^{er} siècle après J.C.).

ne montre que des transformations physiques

Les Anciens avaient donc perçu dans ce phénomène :

- * un aspect mécanique (diviser),
- * un aspect distributeur (répartir),

- * un aspect physique (dissoudre, fondre),
- * un aspect dynamique par rapport au corps (relâcher, affaiblir, remuer, agiter).

On peut s'étonner que le mot digestion, provenant de **digestio**, ne soit pas attesté en français, avant le XIII^e siècle. On peut émettre l'hypothèse d'un emprunt direct au latin savant quand le besoin s'en est fait sentir, au XIII^e siècle.

La polysémie du mot se cantonne, étymologiquement parlant, dans les transformations physiques !

Si le mot français date du XIII^e siècle, le concept fut défini à la fin du XVIII^e siècle, dans l'Encyclopédie, comme une fonction de "l'oeconomie" animale, une de *"celles que les scolastiques appellent naturelles, dont l'effet le plus sensible est le changement des aliments en chyle et en gros excréments ; changement opéré dans l'estomac et dans les intestins par le concours nécessaire des humeurs digestives et le plus souvent par celui d'une boisson non alimentaire, ou de la partie non alimentaire d'une boisson nourrissante."*

la connaissance scientifique se dégage peu à peu de la connaissance commune

Digérer = Transformer les aliments grâce aux sucs digestifs.

Cette définition fut précédée d'un grand nombre d'affirmations et ceci depuis le V^e siècle avant J.C.

la digestion est une coction...

Pour Hippocrate (460-377 av. J.C.) la digestion est une coction des aliments sous l'action de la chaleur animale.

Digérer = Cuire.

Au IV^e siècle av. J.C., Plistonius pense que les aliments pourrissent dans l'estomac.

Asclépiade (124-40 av. J.C.) conteste les affirmations d'Hippocrate et assure que *"les matières passent dans le sang aussi crues qu'elles avaient été avalées."*

Galien (131-201) reprend les idées d'Hippocrate et fait cuire les aliments dans le foie. Son ouvrage *"De la Digestion"* fera autorité pendant treize siècles ! Pour lui les aliments passent de l'estomac au foie où ils se transforment en "esprit naturel", qui remontera au cœur droit par la veine cave. Pour Galien, le sang se forme dans le foie.

De la chute de l'empire romain à celle de Constantinople, la dissection des cadavres humains est interdite, bien que ce soit une pratique très ancienne, puisque Anaxagore disséquait les cadavres au V^e siècle av. J.C. Les chercheurs disséquent donc des porcs et des singes et ils pratiquent la vivisection. C'est au cours d'une opération sur un chien, qu'Aselli redécouvre les vaisseaux chylifères déjà aperçus par Hérophile et Erasistrate qui ne leur avaient pas accordé d'importance.

Après les découvertes de Pecquet en 1651, qui montre que les vaisseaux chylifères rejoignent le système veineux, et la

Jusqu'à la découverte du système lymphatique

mise en évidence des vaisseaux lymphatiques par Bartholin en 1653, tout le système lymphatique est connu et avec lui sera revu le rôle du foie et le trajet des aliments.

Après la découverte des anatomistes, les aliments vont de l'estomac aux intestins, et de là dans le sang et la lymphe, d'où la couleur blanche des vaisseaux chylifères chargés des graisses, qui ont traversé la paroi intestinale, la théorie de Gallien ne fera plus l'unanimité.

la digestion est une fermentation pour les chimistes

Comme l'affirme l'Encyclopédie : *"la secte des chimistes renverse le dogme des galénistes."* Pour eux les aliments subissent toutes *"les espèces d'altération que les sujets chimiques éprouvent dans les laboratoires."* Le suisse Paracelse (1493-1541), le flamand Van Helmont (1577-1644) et le hollandais François Le Boë dit Sylvius (1614-1672) sont tous trois iatrochimistes c'est-à-dire médecins et chimistes à la fois. Pour eux :

Digérer = Fermenter.

Mais qu'appellent-ils ferments ? Van Helmont en donne la définition suivante : *"...ce sont des puissances propres à chaque espèce et à chaque digestion qui sont vitales et qui véritablement transmutent les aliments."* Selon lui, les ferments dissolvent les aliments, au cours de six digestions.

Pour François Le Boë, la salive, le suc pancréatique et un suc sécrété par le foie digèrent les aliments. Les sucs agissent comme l'eau forte sur les métaux. La digestion appelée dissolution, est taxée de chimique par comparaison avec l'action de l'acide sur les métaux.

la digestion est un broyage pour les mécanistes

Pour l'Encyclopédie, *"la secte des solidistes mécaniciens réfute les chimistes."* La conception mécaniste prend une très grande importance au début du XVII^e siècle avec la parution du *Discours de la méthode* de Descartes en 1637. C'est Borelli (1608-1679) physicien, physiologiste et mathématicien italien qui fut le fondateur de l'iatromécanique. Redi (1626-1697), Baglivi (1668-1707), docteur en philosophie et en médecine de l'Université de Salerne, Claude Perrault architecte, médecin et physicien français et Boerhaave (1668-1738) médecin et chimiste hollandais en furent des partisans convaincus. Pour eux :

Digérer = Broyer.

Les aliments sont broyés par les dents et la paroi de l'estomac. Borelli compare les mâchoires à des espèces de tenailles et le gésier à un pressoir.

1752 : Réaumur

Le 18 mars 1752, René Antoine Ferchault de Réaumur, physicien et naturaliste français (1683-1757) communique à l'Académie des Sciences deux mémoires intitulés : *"Sur la*

digestion des oiseaux." A l'aide d'une expérimentation précise, Réaumur arrive aux conclusions suivantes :

- la digestion est surtout une trituration chez les animaux à estomac musculueux,
- la digestion est surtout une dissolution chez les animaux à estomac membraneux.

A chaque estomac sa digestion, à chaque espèce son dissolvant. Pour Réaumur :

Digérer = soit Broyer, soit Dissoudre.

1777 : Spallanzani

la digestion est une dissolution, dans tous les estomacs

C'est en 1777, que l'Abbé Lazzaro Spallanzani reprend et poursuit les travaux de Réaumur. Ses très nombreuses expériences devaient lui permettre de trancher entre les opinions émises jusqu'alors : la digestion est-elle due à une trituration ? une dissolution ? une fermentation ? une putréfaction ? ou est-elle l'effet de toutes ces causes réunies comme Boerhaave l'avait pensé ? Pour Spallanzani :

Digérer = Dissoudre, dans tous les estomacs.

la digestion est une régulation

C'est également à la fin du XVIII^e siècle que Lavoisier relie la respiration à la digestion, qu'il définit ainsi : *"la machine animale est principalement gouvernée par trois régulateurs principaux : la respiration qui consomme de l'oxygène et du carbone et qui fournit du calorique ; la transpiration qui augmente ou diminue suivant qu'il est nécessaire d'emporter plus ou moins de calorique ; enfin la digestion qui rend au sang ce qu'il perd par la respiration et la transpiration."* Pour Lavoisier:

Digérer = Réguler.

la découverte de la première diastase...

En 1833, Payen isole le catalyseur biologique qui transforme l'amidon au cours de recherches sur les fermentations, et lui donne le nom de diastase et plus particulièrement d'amylase.

Claude Bernard permet une avancée décisive dans la construction du concept de digestion. Sa thèse de doctorat de 1853 s'intitule : *"Recherches sur une nouvelle fonction du foie considéré comme producteur de matière sucrée chez l'homme et les animaux."*

Auparavant il travaille *"Sur le suc gastrique et son rôle dans la nutrition"* sujet de sa thèse de médecine, en 1843, et sur le rôle du suc pancréatique (1849). Pour Claude Bernard :

Digérer : Dissoudre et Digérer = Réguler

et des autres...

1855 : Découverte de la pepsine.

1890 : Découverte de la trypsine.

1906 : Conheim découvre une enzyme dans le suc intestinal. Il l'appelle érepsine.

permet de définir
le concept

Le concept de digestion semble construit. Le *Précis de Physiologie* de Vander et Sherman le définit ainsi : *"La fonction du système digestif consiste à transporter des molécules organiques, des sels et de l'eau, du milieu extérieur au milieu intérieur où ces éléments peuvent être distribués aux cellules, par le système circulatoire."* La digestion est une dégradation des aliments en molécules isolées et plus petites, capables de traverser la paroi du tube digestif. Cette simplification moléculaire est réalisée principalement sous l'effet de l'acide chlorhydrique, de la bile et des enzymes digestives.

La digestion est bien une suite d'hydrolyses, transformations chimiques par excellence.

au départ le
même
problème...

Cette histoire du concept de digestion, met en évidence les différents sens de ce mot : cuire, pourrir, fermenter, broyer, dissoudre, réguler, qui ont été, à un moment ou un autre, des synonymes de digérer.

Tous ces chercheurs tentaient de répondre à la même question, jamais formulée : qui est responsable, des transformations subies par les aliments, entre l'ingestion et la sortie des excréments, à l'intérieur de l'organisme ?

Les médecins grecs et romains, qui sont aussi des philosophes, essaient d'expliquer la digestion, à l'intérieur de leur système de pensée.

les médecins
grecs et romains
raisonnent à
l'intérieur de leurs
théories

Dans sa théorie des trois âmes, Platon loge l'âme immortelle dans la tête et l'âme mortelle dans la poitrine et l'abdomen : *"Pour la partie de l'âme qui a l'appétit du manger et du boire et de tout ce que la nature du corps lui rend nécessaire, les dieux l'ont logée dans l'intervalle qui s'étend entre le diaphragme et le nombril, et ont construit dans tout cet espace une sorte de mangeoire pour la nourriture du corps, et ils ont enchaîné là cette partie comme une bête sauvage, mais qu'il faut nourrir à l'attache, si l'on veut qu'il existe une race mortelle."* Ayant ainsi situé l'estomac, vraisemblablement, Platon émet une théorie sur la digestion, en accord avec son grand principe explicatif, selon lequel *"le semblable se porte toujours vers son semblable."*

Hippocrate, lui émet sa théorie des quatre humeurs et Galien sa théorie des quatre tempéraments, qui emprunte beaucoup à ses deux illustres prédécesseurs.

des emprunts à
la chimie au XVI^e
siècle par les
iatrochimistes

Il faut attendre le XVI^e siècle, et les travaux des médecins-chimistes, pour apporter une autre réponse à la question posée. La digestion devient fermentation, avec Van Helmont, qui argumente contre Galien à la lumière des connaissances acquises dans les laboratoires de chimie.

XVII^e siècle :
terme à la
théorie de Galien
avec les
anatomistes

L'apport des anatomistes, au XVII^e siècle, contribuera très fortement à faire sombrer définitivement la théorie de Galien, qui aura vécu quinze siècles !

Le XVII^e siècle voit arriver *"les solidistes mécaniciens"*, médecins-physiciens cartésiens qui font de la digestion un broyage par les dents et l'estomac.

les iatrochimistes
sont cartésiens

De la fin du XVII^e siècle à 1752, de nombreux et obscurs médecins français font un grand nombre d'observations décrites, dans les publications de l'Académie des Sciences. Ils essaient d'expliquer la digestion à partir de ce qu'ils voient. Pour eux l'anatomie est la clé de la découverte. De grandes divergences subsistent entre les partisans du broyage et ceux qui croient à une dissolution.

le triomphe de
l'expérience
avec Réaumur et
Spallanzani

C'est dans cette atmosphère, que Réaumur commence ses très nombreuses expériences, pour essayer de trouver où est la vérité. En 1752, l'Académie Royale des Sciences publie ses deux mémoires, en les présentant ainsi : *"Toute question physique dont on ne cherche la solution que par la voie du raisonnement est sujette à rester longtemps indécidée. M. de Réaumur a cru devoir tenter de décider celle-ci d'une manière plus sûre, c'est-à-dire par l'expérience."* Pour Réaumur la digestion varie selon le type d'estomac, mais se limite à l'estomac. De plus chaque espèce possède son dissolvant propre.

Trente cinq ans plus tard, Jean Senebier publie les écrits de l'Abbé Spallanzani, après les avoir traduits. Pour lui la question n'est pas tranchée : *"Il me fallut rechercher si elle (la digestion) s'opérait par la trituration, ou par des liqueurs dissolvantes, ou par la fermentation, ou par un principe de putréfaction, ou enfin si elle était l'effet de toutes ces causes réunies, comme Boerhaave l'avait pensé."* Les très nombreuses expériences réalisées, relatées au long de six *"Dissertations"*, vont lui permettre de donner une réponse. Il reprend, les expériences de Réaumur, améliore les dispositifs expérimentaux, et surtout recommence les essais de digestion in vitro, dont Réaumur avait eu l'idée. Il conclut que la trituration prépare les aliments, à la digestion opérée par les sucs gastriques, dans les estomacs musculeux. Dans les estomacs moyens et membraneux, *"les sucs gastriques sont la seule cause efficiente de la digestion."* Et, de plus, *"les sucs gastriques de ces animaux ne perdent pas leur propriété digestive, quand ils sont tirés hors du corps de l'animal."*

Comme pour Réaumur, l'estomac reste le seul lieu de digestion. La découverte de l'action du suc gastrique, hors de l'organisme, fait reculer les idées vitalistes. Les conclusions de Spallanzani déstabilisent également la théorie de Boerhaave, *"qui sut accorder toutes les opinions de son temps."*

1824 : de l'acide
chlorhydrique
dans l'estomac

Le début du XIX^e siècle voit persister l'intérêt des chercheurs pour le suc gastrique. En 1824, William Prout démontre que l'acidité du suc gastrique est due à la présence d'acide chlorhydrique. William Beaumont publie ses travaux, en 1833. Il a pu prélever très facilement du suc gastrique, grâce à une ouverture fistuleuse de l'estomac d'un patient, blessé par balles. Cette situation accidentelle fut à l'origine d'une technique très couramment utilisée par la suite, en particulier chez les chiens, pour se procurer ce suc digestif.

1833 :
découverte de la
première
diastase, par des
chimistes
travaillant sur les
fermentations

La première diastase est découverte en 1833, par des chimistes travaillant sur les fermentations. L'apport des chimistes à la biologie va augmenter tout au long du XIX^e siècle, et atteindre son apogée au XX^e siècle, avec la biochimie.

Une autre avancée très importante est due à Claude Bernard. Contrairement à l'idée répandue à l'époque, il va affirmer, que, comme les plantes, *"les animaux sont capables de produire des principes immédiats ; de sorte qu'il n'est pas nécessaire, pour qu'un animal vive, qu'il prenne absolument dans ses aliments, tous les principes immédiats dont son corps est constitué. Il faut sans doute, qu'il prenne les éléments de ces principes immédiats ; mais il peut les modifier pour en faire des principes immédiats nouveaux et les approprier à sa substance."*

Il peut paraître étonnant de constater, que Claude Bernard affirme que *"la salive n'est pas un fluide actif dans les actes chimiques de la digestion"*, de même que *"le suc gastrique agit comme la cuisson dans l'eau bouillante"*, et que *"le suc intestinal n'est pas la sécrétion d'une glande particulière."* Pour lui la digestion est due à l'action des sucs gastrique et pancréatique, et à l'action de la bile.

la physiologie
explique la
présence du
sucre dans le foie

A propos de la présence du sucre dans le foie, l'idée couramment répandue était *"que cette matière était d'origine végétale et avait été introduite par l'alimentation."* Claude Bernard explique lui-même, pourquoi le rôle du foie n'a pas été découvert plus tôt : *"D'abord quand on cherche à pénétrer les phénomènes de la vie, on a toujours l'habitude de se tenir à un point de vue anatomique, ou chimique, ou physique, et l'on ne se place pas assez du point de vue du phénomène vital, qu'il faut cependant toujours considérer quand on veut faire de la physiologie."*

l'analyse
chimique des
aliments permet
l'idée de
simplification
moléculaire

En 1853, apparaît l'idée que la digestion implique la formation de substances plus simples. Pour arriver à la notion de simplification moléculaire, il faut intégrer l'idée que beaucoup d'aliments sont constitués de molécules complexes, ce qui ne sera possible qu'après l'analyse chimique des aliments. Celle-ci commencée en 1827, prendra tout son sens avec les travaux de Graham en 1861, lorsque la taille des molécules de protéines sera mise en relation avec la traversée de la paroi de l'intestin grêle.

La seconde moitié du XIX^e siècle et le début du XX^e verront la découverte des autres diastases, grâce aux progrès de la biochimie. Ce n'est donc qu'au début du XX^e siècle, que les lieux de la digestion sont précisés comme lieux d'action des enzymes. Le concept de digestion se détache peu à peu de celui d'absorption et d'assimilation.

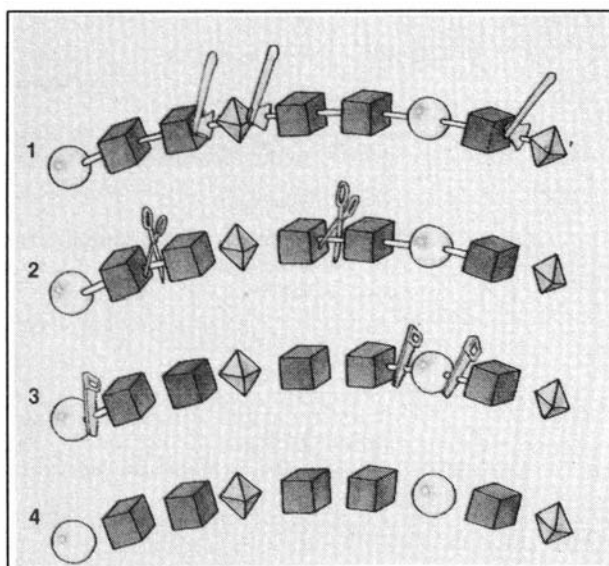
2. QUE SIGNIFIE DIGÉRER DANS LES MANUELS ?

la digestion est due à l'action des sucs digestifs et des enzymes

Sous le titre, *"La digestion dans l'organisme"*, le manuel de sixième des éditions Belin (1986) note : *"la plupart des substances organiques sont démolies sous l'action des sucs digestifs. Les substances organiques donnent des produits plus petits, solubles dans l'eau. On peut comparer cette action à celle d'un maçon qui démonte un mur et en récupère les briques intactes."* La représentation graphique modélise les enzymes sous forme de haches, de ciseaux et de scies ; pour ce manuel :

digérer = couper, scier, trancher, démolir.

enzyme-hache,
enzyme-ciseaux,
enzyme-scie



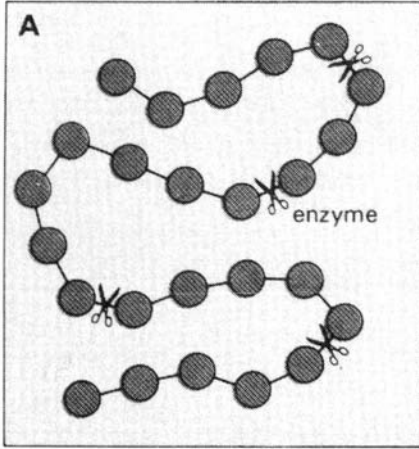
Doc. 3 Représentation schématique de l'action des sucs digestifs sur une substance organique.

BIOLOGIE 6^e, éd. Belin (1986), p. 33

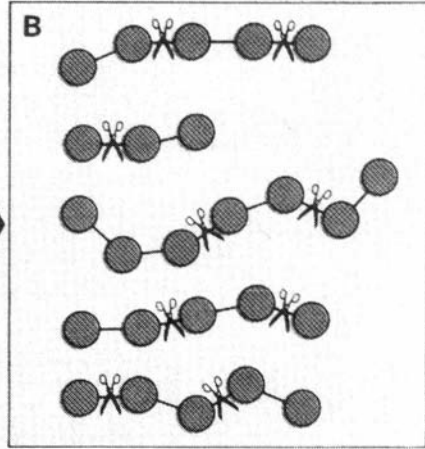
Le manuel de sixième des éditions Bordas et Fils (1986) titre *"Des transformations chimiques"*, et explique: *"Les enzymes contenues dans les sucs digestifs "simplifient" les aliments. Ainsi, dans la bouche, sous l'action, d'une enzyme de la salive, les grosses molécules d'amidon (féculent du pain) sont découpées en de très nombreuses petites molécules de sucre."* Simplifier, quand on ne peut faire le lien avec le sens chimique de molécule, ce qui est le cas des élèves de sixième, renvoie au verbe découper de la phrase suivante. Quant au passage de l'amidon en sucre, c'est une opération magique.

digérer = simplifier = découper.

**Une grosse molécule
(exemple : amidon)**



**Plusieurs molécules
plus petites**



Doc. 4 Une simplification : les enzymes sont des substances capables de «couper» les molécules.
BIOLOGIE 6^e, éd. Bordas et fils (1986), p. 21.

Le schéma montre des enzymes-ciseaux coupant un collier de perles-molécules, pour obtenir un grand nombre de diades. Malgré le titre du paragraphe, le vocabulaire et l'image des ciseaux, laissent croire que la digestion est une transformation physique.

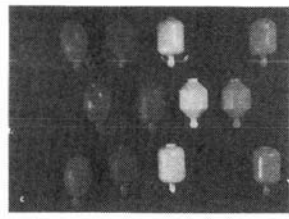
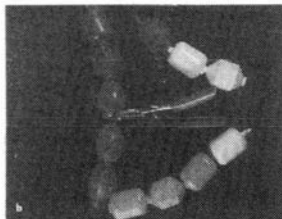
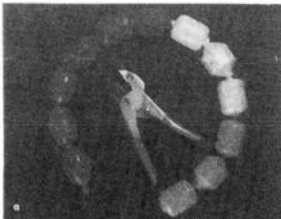
Dans le manuel des Editions Magnard (1989) pour la classe de troisième, la modélisation utilisée en sixième est reprise, à ce détail près que l'enzyme est devenu sécateur : "le sécateur représente l'enzyme qui attaque cette protéine."

Le verbe attaquer donne à l'enzyme un statut agressif étonnant, qui ne va pas manquer dans l'esprit des élèves, de rejoindre l'acide qui attaque le fer, prototype de la réaction chimique pour eux. Par contre l'eau qui attaque l'aliment, est absente, comme si cette image de l'eau gênait.

enzyme-sécateur

L'enzyme-belligérant fait songer à une réaction chimique, mais pas à une hydrolyse, dans laquelle l'enzyme est un catalyseur, et non un des deux acteurs de la réaction.

digérer = couper.

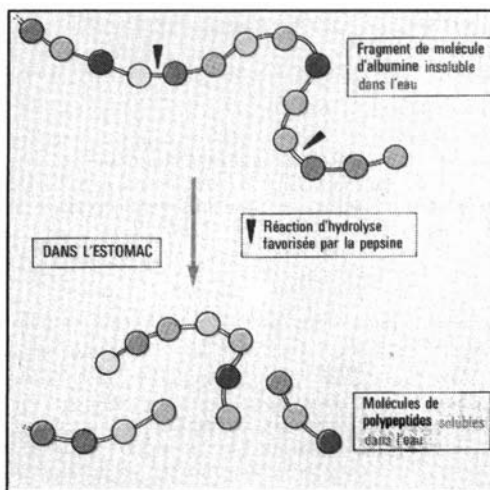


4 a. On a modélisé de façon simple un fragment de molécule de protéine. La couleur et la forme des éléments différencient les acides aminés qui la composent. Le sécateur représente l'enzyme qui attaque cette protéine.

En b, les liaisons sont rompues en deux endroits distincts. La position du sécateur indique l'impact de la prochaine coupure. **En c,** 12 molécules simples d'acides aminés sont isolées : de proche en proche, toutes les liaisons ont été "cassées".

Le manuel de troisième istra, des éditions Casteilla (1989), précise que la digestion est "une réaction d'hydrolyse favorisée par" une enzyme, mais les schémas ne montrent pas de molécules d'eau ! L'enzyme, modélisée sous forme de deux flèches, est aussi une enzyme-sécatteur.

digérer = couper.



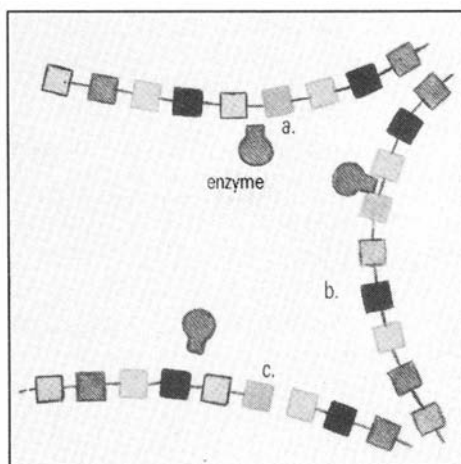
11. Digestion de l'albumine sous l'action de la pepsine contenue dans le suc gastrique.

BIOLOGIE 3^e, istra, éd. Casteilla (1989), p. 62.

Le Biologie 3^e de chez Hatier (1989), évoque la fixation de l'enzyme à un endroit précis de la molécule : "La pepsine se fixe en un endroit précis sur la macromolécule, et y provoque la rupture de la chaîne d'acides aminés la découpant ainsi en deux fragments ; la molécule enzymatique libérée se fixe à un autre endroit..."

Les formes de l'enzyme et de la macromolécule permettent de penser que cette introduction peut se faire n'importe où.

digérer = découper.



16. Représentation schématique de l'action de la protéase contenue dans le suc gastrique.

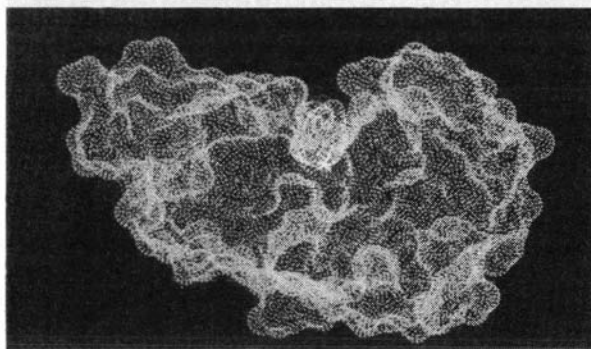
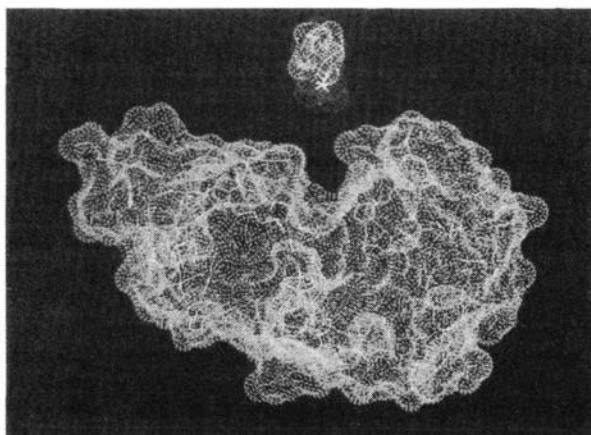
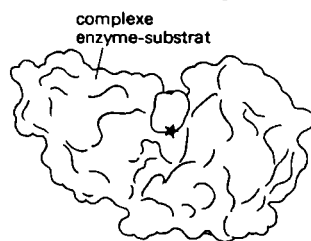
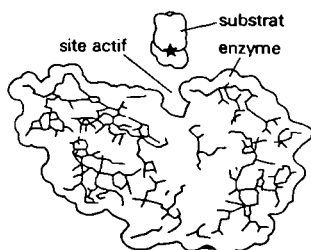
BIOLOGIE 3^e, éd. Hatier (1989), p. 58.

enzyme-clé

Le manuel de troisième de chez Bordas (1989), explique l'action des enzymes à l'aide du modèle clé-serrure, en schématisant une photo d'écran d'ordinateur : "De même qu'une clé doit avoir une forme adaptée à la serrure à laquelle elle est destinée, il y a adaptation de la forme du substrat et du site actif de l'enzyme."

Ce schéma permet de comprendre la spécificité de l'enzyme, mais pas sa façon, d'agir, dans la digestion.

Toutes les enzymes sont des protéines formées de l'enchaînement de centaines d'acides aminés. Ce sont donc des molécules de grosse taille. Ceci explique que sur la photographie présentée ici (il s'agit de l'image d'une enzyme obtenue par ordinateur) l'enzyme est beaucoup plus grosse que la substance sur laquelle elle agit. La spécificité d'une enzyme pour un substrat donné est due à la configuration de la protéine dans l'espace. De même qu'une clé doit avoir une forme adaptée à la serrure à laquelle elle est destinée, il y a adaptation de la forme du substrat et du site actif de l'enzyme.



hydrolyse sans
eau

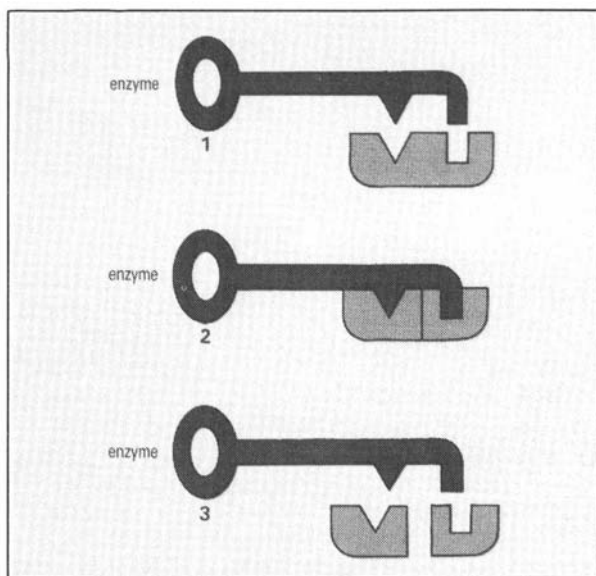
Le Bordas et Fils de troisième (1989), au cours d'un exercice, pose une question : "On compare souvent le mode d'action des enzymes à celle de ciseaux ou à celle d'une clef. Explique pourquoi ces deux comparaisons sont justifiées. Pourquoi une enzyme donnée ne peut-elle agir que sur une molécule précise ?"

La clé qui d'habitude ouvre une porte, est ici une clé-couteau, qui coupe le substrat en deux parties inégales, et se retrouve intacte à la fin de la réaction. La présence d'eau n'est pas signalée. Cette modélisation permet de comprendre la spécificité de l'enzyme mais pas son action.

digérer = ouvrir et couper.

7 L'action des enzymes

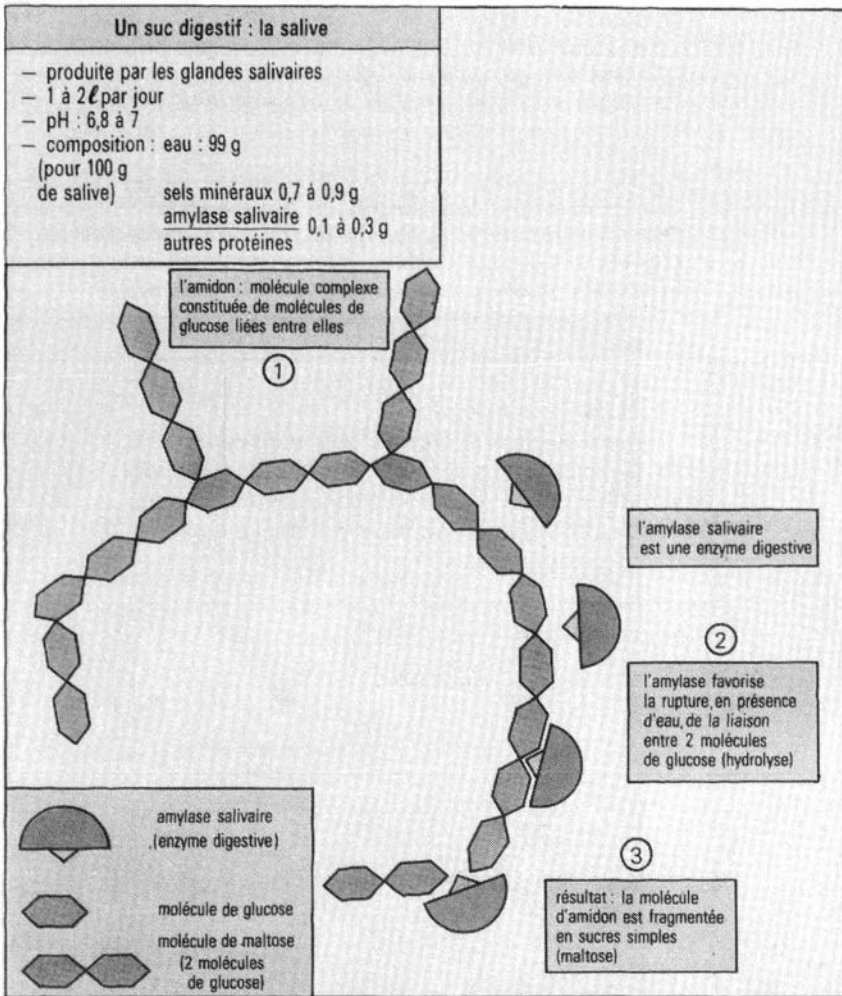
On compare souvent le mode d'action des enzymes à celle de ciseaux ou à celle d'une clef. Explique pour quelles raisons ces 2 comparaisons sont justifiées. Pourquoi une enzyme donnée ne peut-elle agir que sur une molécule précise ?



BIOLOGIE 3^e, Coll. J. Escalier, Ed. Bordas et fils (1989), p. 62.

Le manuel de chez Nathan (1989), présente lui aussi, une enzyme-clé, coupant une chaîne de molécules de glucose, par groupe de deux. L'eau est absente de la réaction.

digérer = couper.



8. Les enzymes sont des substances fabriquées par l'organisme, qui provoquent et accélèrent des réactions chimiques. La salive contient une enzyme, l'amylase salivaire.

BIOLOGIE 3^e, éd. Nathan (1989), p. 57.

Si les manuels de troisième introduisent le terme d'hydrolyse, deux d'entre eux seulement (Hachette et Belin), font apparaître l'eau dans leur modélisation.

Hachette (1989) donne un schéma qui, par les formes emboîtées qu'il présente, introduit un modèle clé-serrure. L'enzyme est présentée dans le texte, comme "une molécule qui facilite la réaction : c'est un catalyseur biologique" ; mais la légende du schéma précisant : "union de l'enzyme et de l'amidon", laisse à penser qu'ils sont les deux acteurs de la réaction chimique ; l'union des deux réactants n'apparaît pas suffisamment. De plus l'eau, représentée par une forme

quels sont les réactants ?

en "cake", se transforme en deux boules, après la réaction, ce qui n'est pas facile à interpréter puisque les liaisons -H et -OH ne sont pas identiques.

digérer = dégrader.

→ 3. De l'amidon au maltose ←

La salive provoque la transformation de l'amidon en sucres réducteurs. Ces molécules plus petites, ou maltose, sont des associations de deux glucoses. Cette transformation se fait à la **température du corps** et bien plus **rapidement** que l'hydrolyse chimique. La salive contient de l'eau, des sels minéraux et une protéine, l'amylase. A 100°C, la protéine est détruite.

◆ a) Citez la partie de la salive qui est responsable de la digestion de l'amidon.

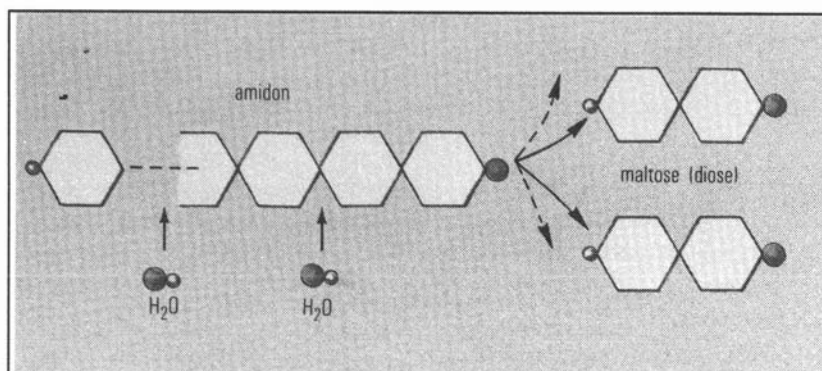
Cette molécule facilite la réaction : c'est un catalyseur* biologique appelé **enzyme**. La figure 4 précise son mode d'action.

◆ b) Pourquoi l'enzyme est-elle comparée à une clé, et le substrat, dont elle favorise la dégradation, à une serrure ?

▼ 4. La digestion de l'amidon par l'amylase salivaire, enzyme contenue dans la salive.

BIOLOGIE 3^e, éd. Hachette (1989), p. 39.

Belin (1989), lui ne schématise pas l'enzyme mais seulement l'amidon, l'eau et le maltose. Le mot enzyme n'apparaît que dans le résumé. La molécule d'eau est schématisée sous forme de deux boules inégales, ce qui respecte la distinction entre la liaison -OH et la liaison -H.



Doc 2. l'hydrolyse de l'amidon. L'analyse chimique montre que l'amidon est un polymère de maltose qui est un diose. Les molécules d'amidon sont cassées par fixation de molécules d'eau, H_2O , sur certaines liaisons. Une telle réaction chimique est une hydrolyse ; elle simplifie les molécules.

BIOLOGIE 3^e, éd. Belin (1989), p. 34.

transformation chimique dans le texte,
transformation physique dans le modèle

Les manuels de troisième, parlent tous de transformations chimiques mais présentent une modélisation qui amène le lecteur à penser à une transformation physique, puisqu'ils réduisent la transformation à une scission, une coupure. Il faudrait peut-être présenter cette transformation comme une réaction chimique, c'est-à-dire, une équation-bilan équilibrée (la notion de réaction chimique est abordée en quatrième). En respectant les exigences suivantes :

- la présence de deux réactants, dont l'un est l'eau, et l'autre une grosse molécule ;
- la mise en évidence de la spécificité d'une enzyme par rapport au substrat ;
- la présence de l'enzyme intacte à la fin de la réaction ;
- la présence, à la fin de la réaction, de molécules plus courtes et de nature différente de celles des réactants de départ .

Cette façon de faire éviterait la confusion entre enzyme et réactant et favoriserait la construction de la notion de catalyseur.

3. TRANSFORMATION PHYSIQUE, TRANSFORMATION CHIMIQUE ?

Si à la suite des manuels, les élèves pensent que les enzymes sont des instruments coupants, que la digestion est **uniquement** une série de transformations physiques, destinées à réduire les aliments pour qu'ils soient absorbés, on peut se demander ce qu'une telle représentation empêche de construire. En effet, le changement d'aspect et le changement de taille peuvent être obtenus à l'aide de transformations physiques comme la mastication, l'humidification, la dissolution et l'émulsification. On peut donc penser la digestion et l'absorption en termes de transformations physiques.

de la nécessité des transformations chimiques dans la digestion

A quoi cette représentation fait-elle obstacle ? Pourquoi faut-il passer par la notion de nutriment, pourquoi faut-il construire la notion de transformation chimique, impliquant un changement de nature dans les aliments ?

La représentation de la digestion comme transformation physique, n'empêche pas de construire le concept d'absorption. En effet, les élèves peuvent comprendre que les aliments traversent la paroi de l'intestin, uniquement à cause de leur taille très réduite ; la réduction étant due aux différentes transformations physiques subies. Il y a même de grosses molécules qui passent à travers cette paroi!

Le problème posé par la distinction entre transformations physiques et chimiques est celui de la perte de la spécificité des aliments. C'est elle qui rend les transformations chimiques indispensables.

pas d'assimilation
sans
transformations
chimiques

Il semble que ce soit le concept d'assimilation qui oblige à un tel détour. En effet, comme le rapporte Gabriel Gohau, c'est un très vieux problème posé déjà par Anaxagore au V^e siècle av. J.C., "comment du non-cheveu, le cheveu proviendrait-il et la chair de ce qui n'est pas chair ?"

Il faut souligner la **différence** entre les aliments et les constituants du corps humain (ou d'une autre espèce que celle dont proviennent les aliments). Si on en reste au **semblable**, on ne pourra pas passer du poulet ou de la salade à l'homme ou au porc. Il faut que ce que l'on mange soit reconnu différent de notre chair, ce qui ne pose pas de problème, sauf peut-être chez les cannibales ; il faut d'autre part qu'un point commun apparaisse entre la nature des proies et celle des prédateurs, entre les aliments et la chair de celui qui mange, sinon le cheveu ne proviendra jamais du non-cheveu. Ce sera le rôle des nutriments, unités de base de construction, des différents constituants de l'organisme.

Les enzymes ne peuvent rester des sécateurs, elles doivent devenir des catalyseurs de réactions chimiques, qui aboutiront, certes à des molécules plus courtes, mais aussi et peut-être surtout, à des produits différents, capables d'être assemblés autrement pour fabriquer un organisme d'une autre espèce.

propositions...

Peut-être pourrait-on relier un peu plus directement la biologie et la chimie dans l'esprit des élèves, aller vers la biochimie ? Présenter l'hydrolyse sous forme d'une équation-bilan, puisqu'ils en ont étudiées en cinquième, et noter la présence de l'enzyme, comme facilitant la réaction, en laissant à la classe de première le soin d'étudier la catalyse enzymatique.

Marie SAUVAGEOT-SKIBINE
IUFM / MAFPEN
Dijon

BIBLIOGRAPHIE

BACHELARD Gaston. *La formation de l'esprit scientifique*. Chap IX : "Le mythe de la digestion." Paris. Vrin. 1938. p. 169.

BERNARD Claude. *Leçons de physiologie expérimentale appliquée à la médecine*. Paris. Librairie de l'Académie Royale de Médecine. 1855 et 1856.

DIDEROT et D'ALEMBERT. *Encyclopédie ou Dictionnaire raisonné des Sciences, des Arts et des Métiers par une société de gens de lettres*. Article "Digestion". Paris. 1751. p. 999.

GALIEN. *Oeuvres*, traduites par le Dr Daremberg. Paris. Baillière. 1954.

GOHAU Gabriel. *Biologie et Biologistes*. Paris. Magnard. 1978. p.51.

JACOB François. *La logique du vivant*. Paris. Gallimard. 1970.

Mc COLLUM Elmer Verner. *History of Nutrition*. Boston. Houghton Mifflin Company. 1957.

PLATON. *Timée*. Paris. Garnier-Flammarion.

REAUMUR René Antoine Ferchault de. *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences. Sur la digestion des oiseaux. Premier Mémoire*, p. 266. *Second Mémoire*, p. 461. Paris. 1752.

SPALLANZANI Lazzaro. *Opuscles de Physique animale et végétale*. Traduction de Jean Senebier. Pavie. P.J. Duplain. 1787.

VANDER A.J., SHERMAN J.H., LUCIANO D.S., GONTIER J.R., *Physiologie humaine*. Montréal. McGraw-Hill. 1989. p.455.

VAN HELMONT Jean-Baptiste. *Oeuvres*. Traduction de Jean Le Conte. Lyon. J.A. Guyetan et G. Barbier. 1670.