

Histoire des concepts de digestion et de régulation biologique

Aïcha BENAMAR ⁽¹⁾

Introduction

La didactique des sciences s'est toujours intéressée à l'histoire des concepts scientifiques. En revanche, l'histoire des sciences n'a pas encore de place bien définie, en tant que discipline autonome, dans l'enseignement moyen et secondaire en Algérie, contrairement à l'enseignement supérieur scientifique, où elle semble y être intégrée progressivement. Certes, les nouveaux programmes de collèges et de lycées y font allusion à travers une approche historique permettant aux enseignants d'identifier les principaux obstacles épistémologiques. C'est dans ce contexte que nous avons inscrit notre problématique de recherche. Notre question de départ est de savoir comment l'approche historique permet de comprendre l'origine des obstacles à la maîtrise des concepts de digestion et de régulation biologique, par exemple ? Dans une thèse de doctorat de didactique de la Biologie que nous avons soutenue en 1990 à l'université Jussieu (Paris VII), nous avons montré comment l'histoire du concept de reflexe

⁽¹⁾ Centre de Recherche en Anthropologie Sociale et Culturelle, 31 000, Oran, Algérie.

pouvait apporter un éclairage sur les obstacles épistémologiques, didactiques, psychologiques et linguistiques rencontrés régulièrement par les élèves.

Histoire du concept de digestion

Parmi les concepts, dont la maîtrise est programmée en 4^{ème} année moyenne, le concept de digestion a une place de choix. Il faut certainement noter que les racines pré-scientifiques de ce concept sont extrêmement fortes et les mythes qui l'entourent relativement tenaces.

L'enseignement doit se situer par rapport à ces racines et mythes pour les déconstruire. Un des mythes les plus persistants c'est l'assimilation des semblables par la digestion. Qui d'entre nous n'a pas relevé des assertions comme : « Je vais te manger » ou bien : « Je vais te manger tout cru ou encore « Elle est belle à croquer ». Dans notre environnement social il est des assertions que l'on oublie pas, telles:

« تقول نغزه »

« أوه تقول ناكله »

« كوني تماك ناكلك »

« نسرطك »

Par ailleurs le « principe d'incorporation » décrit par Fischler¹ et Rozin² est toujours d'actualité. « Consommer un

¹ Fischler, C. (1990), *L'omnivore*, Paris, Odile Jacob, chap. 7 du livre, p. 181-226.

Fischler, C., (1994), « Editorial : Magie, charmes et aliments », *Autrement*, 149, p. 10-19.

Fischler, C., (1994), « Pensée magique et utopie dans la science », *Cahiers de l'OCHA*, 5, p. 111-127.

² Rozin, P., (1994). « La magie sympathique », *Autrement*, 149, p. 22-37.

aliment, affirme Fischler³ "ce n'est pas seulement le consumer, le détruire, c'est le faire pénétrer en soi, le laisser devenir partie de soi". Par le phénomène d'ingestion, le principe d'incorporation stipule que les individus deviennent ce qu'ils mangent.

Il s'agit bien en effet, avec l'aliment, d'une substance que nous laisserons pénétrer au plus profond de notre intimité corporelle, se mêler à nous, devenir nous ». Cette croyance ne pourra jamais être combattue par des arguments rationnels, puisqu'elle provient d'un conditionnement biologique qui commence chez l'enfant au stade préverbal.

Principales étapes historiques de formation du concept de digestion

De la notion de « coction » à la notion de « fermentation » ou d'Hippocrate à Ibn Sina

Pour Hippocrate (460-377) la digestion est une cuisson ou *coction* des aliments dans l'estomac grâce à la chaleur de cet organe. Galien (131-201) reprenant les idées d'Hippocrate, déclare que les aliments cuisent 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. Pour Ibn Sīna (980-1037) la digestion est une *fermentation*, autrement dit une transformation des aliments causée par un ferment digestif. « Digérer » serait, selon la théorie d'Ibn Sīna, « fermenter ». Les ferments dissolvent les aliments au cours de la digestion. C'est avec Ibn Sīna que la théorie chimique a pris naissance.

³ Fischler, C. (1994), « Editorial : Magie, charmes et aliments », *op.cit.*, p. 10.

De la notion de Broyage à la notion de régulation ou de Réaumur à Claude Bernard

Au XVIII^e siècle, les scientifiques s'interrogent sur le mécanisme de la digestion. Une des théories de l'époque est celle de Giovanni Borelli (1608-1672) pour qui la digestion serait un phénomène purement mécanique : les aliments seraient simplement broyés dans le tube digestif et finissent par y pourrir. Réaumur (1683-1757), quant à lui, définit la digestion comme une trituration chez les animaux à estomac musculéux et une *dissolution* chez les animaux à estomac membraneux. A chaque estomac, dit-il, sa digestion, à chaque espèce, son dissolvant. Pour Réaumur digérer c'est soit *broyer*, soit *dissoudre*. Dans la seconde moitié du XVIII^e siècle, c'est surtout la fonction de l'estomac dans la digestion qui a été étudiée. Spallanzani (1729-1799), réalisant le programme prévu par Réaumur, appliqua une nouvelle technique expérimentale: la digestion *in vitro*. C'est lui qui réussit la première digestion artificielle en plaçant sous ses aisselles, pendant deux ou trois jours, des tubes contenant avec du suc gastrique, de la viande ou du blé écrasé. Il put ainsi constater la dissolution de ces aliments en dehors de toute putréfaction.

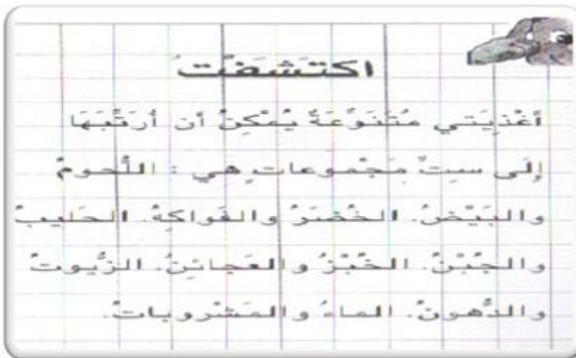
A la même période, Lavoisier (1773-1794) relie la respiration à la digestion. Il parle de trois régulateurs : « la respiration qui consomme de l'oxygène et du carbone fournissant du calorique, *la transpiration* qui augmente ou diminue suivant qu'il est nécessaire d'emporter plus ou moins de calories et enfin *la digestion* qui rend au sang ce qu'il perd par la respiration et la transpiration ». Pour Lavoisier « digérer : c'est réguler ». Claude Bernard (1813-1878) compléta ces travaux pionniers en montrant que la digestion ne se limite pas à l'estomac mais continue dans l'intestin. En étudiant le rôle du pancréas, il montre que la

secrétion pancréatique est sous le contrôle de l'arrivée du chyme acide dans le pancréas. Depuis, la digestion est définie comme une transformation chimique des aliments, en éléments solubles de petites tailles (les nutriments), effectuée grâce à des enzymes digestives contenues dans les sucs digestifs.

Le concept de digestion dans l'enseignement : quels niveaux de formulation dans l'obligatoire ?

1^{er} niveau de formulation : à l'issue de la 5^{ème} année primaire (5^{ème} AP), les élèves sont supposés avoir retenu que : « les aliments sont transformés dans le tube digestif. Les résultats de ces transformations donnent de l'énergie au corps »

Le manuel scolaire de 5^{ème} année réserve un espace graphique présentant les catégories d'aliments (encadré 1)
2^{ème} niveau de formulation: à l'issue de la 4^{ème} année moyenne (4^{ème} AM), les élèves sont supposés avoir intégré la physiologie de la digestion et l'anatomie de l'appareil digestif.



« La plupart des aliments consommés sont transformés dans l'appareil digestif en nutriments qui passent dans le

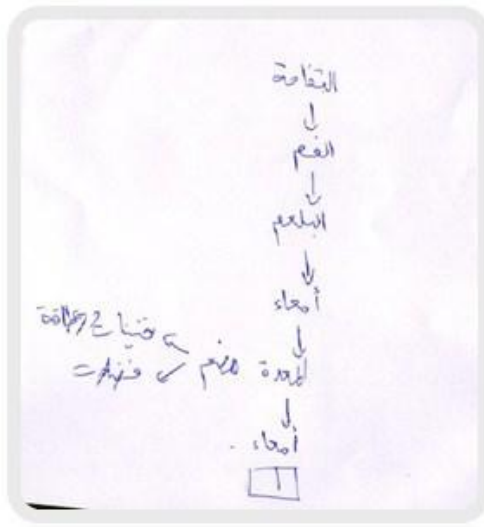
sang. Cette transformation physique et chimique des aliments en nutriments est appelée la digestion ».

Que reste-t-il des acquis intégrés sur la digestion à l'issue de la 4^{ème} AM ?

Nous avons remis du papier et des stylos à des jeunes sortant du système, auxquels nous avons demandé de nous expliquer la digestion, soit en schématisant soit en modélisant. Toutes les productions obtenues décrivent le phénomène sous forme de tuyauterie continue. Il s'agit du même obstacle qui perdure : obstacle à la compréhension de l'assimilation et à la construction du concept de surface d'échange avec le milieu intérieur. Nous ne présentons ici que quatre productions, récurrentes, sur les 25 obtenues.

Dans le premier schéma, les jeunes ont placé l'intestin avant l'estomac. Ils parlent de bouche sans préciser le rôle des dents et de la salive. Les intestins ne sont pas différenciés.

Schéma 1



Selon le schéma 1⁴, le lieu de l'ingestion n'est pas oublié⁵; mais à l'observation la pomme entière est avalée. Au cours de la discussion, par contre, les jeunes interrogés, prennent conscience de l'omission de la mastication et semblent avoir totalement oublié le rôle de la salive. La digestion commencerait dans « l'intestin » ; on ne sait pas, en outre, s'il s'agit du gros intestin ou de l'intestin grêle ! Le tube se termine certes par un intestin il est fermé, en revanche, à son extrémité.

Schéma 2

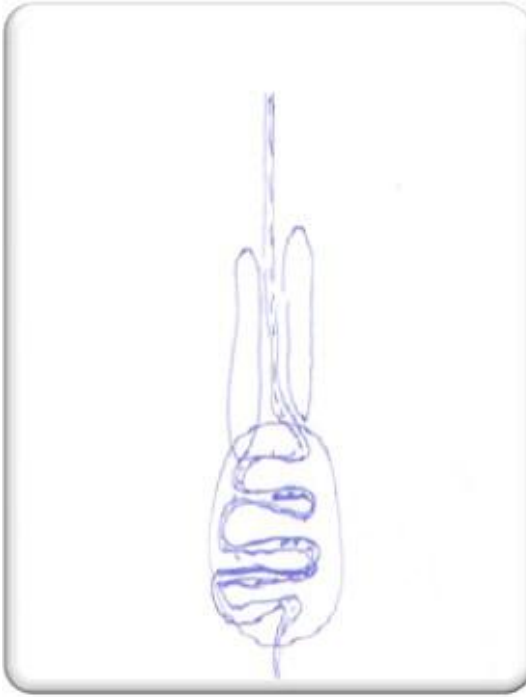


Dans le schéma 2, quasi-similaire pour 5 jeunes, les auteurs n'ont apporté aucune légende mais ont représenté une tuyauterie avec deux ouvertures. Là aussi l'intestin précède l'estomac auquel est rattaché l'anus.

⁴ Se retrouvant de manière relativement proche dans cinq productions.

⁵ La bouche n'est pas oubliée.

Schéma 3



Le schéma trois⁶ non légendé représente un tube, ouvert à ses deux extrémités, avec deux poumons dans la région thoracique et un intestin dans la zone abdominale. Au cours de la discussion, de vagues réminiscences ont émergé quant à la digestion à travers les organes du tube digestif.

⁶ Se retrouvant dans trois productions.

Schéma 4



Dans le quatrième schéma, l'estomac se retrouve entre l'intestin grêle et le gros intestin. Au cours de la discussion les auteurs de ce type de schéma ont pris conscience de leur erreur.

A la question de savoir où se passe la digestion, les réponses sont quasi similaires : dans l'intestin pour les uns et dans « l'estomac » pour les autres. La survalorisation de ces deux organes constitue un obstacle à la compréhension des sièges de transformation des aliments.

L'approche historique dans les discours d'acteurs et dans la littérature

Des entretiens individuels ont été menés avec huit enseignants de sciences de la nature et de la vie de 4^{ème} année moyenne dans les collèges Bouhafs et Ibn Khaldoun et six de 2^{ème} année secondaire dans les lycées Ibn Badis et El Hayat. Ils nous ont permis d'approcher la place de l'histoire des sciences dans les discours de ces acteurs (encadré 2).

Encadré 2 : Place de l'histoire des sciences dans les discours d'acteurs

- *Ce n'est pas une discipline, disent-ils, qui viendrait se « connecter » à la matière enseignée.*
- *Elle pourrait être une approche didactique à développer.*
- *Certains sont disposés à l'introduire de manière épisodique en cours de sciences mais ils ne savent pas comment faire pour ne pas surcharger l'élève, dans le sens où le programme ne la prend pas en charge.*
- *D'autres manifestent leur refus de l'introduire affirmant ne pas avoir été formés pour.*
- *Un consensus pourtant : l'histoire des concepts et théories scientifiques permet de fournir des indicateurs importants sur les conditions d'évolution du savoir scientifique*
- *Si certains acteurs du système plaident pour son intégration dans les curricula scientifiques, elle reste du domaine de l'initiative personnelle (pas de formation spécifique en histoire des sciences).*
- *Certains déclarent qu'elle est déjà intégrée, grâce à quelques références dans les manuels.*
- *Il s'agit d'une culture scientifique qui ne nécessite ni programme officiel ni horaire supplémentaire, mais une formation des enseignants et une documentation riche et diversifiée.*
- *L'absence de contenus spécifiques permettra, en s'appuyant sur des savoirs choisis de se centrer sur la méthode*

Certains auteurs parlent de deux approches historiques, l'une internaliste et l'autre externaliste⁷. L'approche internaliste se préoccupe avant tout de l'invention conceptuelle ; elle s'attache à la découverte des faits et aux grands noms, aux scientifiques les plus reconnus dans le domaine en question. On y décrit le travail du scientifique comme étant indépendant du reste du monde. Dans cette approche, les portraits de grands scientifiques, accompagnés d'explications concernant les découvertes réalisées, sont présentés. On y retrouve parfois des anecdotes à propos de la vie du scientifique ou de sa découverte. L'approche externaliste insiste quant à elle sur l'influence des facteurs sociaux, économiques, culturels, politiques ou institutionnels sur le travail du scientifique et les théories qu'il élabore. On y souligne l'influence des présupposés et des demandes de l'époque dans l'orientation et le conditionnement des recherches, l'influence des conflits de points de vue et des débats au sein de la communauté scientifique, ainsi que les difficultés des scientifiques à imposer leur modèle. En outre on y montre l'importance des cadres conceptuels du scientifique dans l'interprétation des phénomènes étudiés. Cette deuxième approche propose de donner aux élèves une image plus valide de ce qu'est la science.

Histoire du concept de régulation biologique : exemple de la régulation de la glycémie

Au cours d'une précédente recherche⁸, nous avons montré à travers l'exemple du concept de réflexe que la

⁷ Lacombe, G. (1987), « Pour l'introduction des sciences dans l'enseignement du second cycle », INRP, *Revue Aster*, n° 5, p. 117-141.

⁸ Cf. ouvrage « Apports de l'histoire et de l'épistémologie des sciences à la didactique des mathématiques et de la Biologie », Pr Djebbar, A. (s. dir.) (2014), Alger, éd. DGRSDT/CRASC, p. 79-142.

régulation, apparaissant comme une nécessité du système, constitue un concept fondamental en physiologie. Nous admettons qu'à toute activation ou amplification doit nécessairement correspondre une fonction négative : inhibition ou suppression, sinon le système risque de s'emballer. Dès 1906, Sherrington analyse la contraction d'un muscle extenseur obtenu en réaction à son étirement, puis l'inhibition de cette contraction réflexe lors de la traction sur le muscle antagoniste fléchisseur⁹.

Selon Canguilhem¹⁰, ce concept « recouvre aujourd'hui la quasi-totalité des opérations de l'être vivant : morphogénèse, régénération des parties mutilées, maintien de l'équilibre dynamique, adaptation aux conditions de vie dans le milieu. Si pour Canguilhem (1996), la régulation est le concept biologique par excellence, pour Jacob (1970), c'est l'un des concepts sur lequel repose toute la biologie.

Penser le vivant, disait Rumelhard¹¹ « oblige à penser à la régulation et l'organisation à travers des boucles de rétroaction d'où émergent à chaque instant les phénomènes vivants auxquels le chercheur est confronté : de la moindre membrane cellulaire jusqu'au moindre écosystème ». L'histoire du concept de régulation, ajoute Rumelhard¹² peut s'écrire de plusieurs façons selon les positions épistémologiques que l'on adopte. Le fait de préciser ces choix devrait permettre de clarifier certaines stratégies d'enseignement du concept et d'orienter les recherches en didactique. Notre réflexion portera sur les approches historique et didactique

⁹ Dewaele, J. (1994). « Activité de modélisation dans l'enseignement du réflexe myotatique », *La régulation en biologie*, Paris, NRP, p. 107-129.

¹⁰ Canguilhem, G. (1996), *Le normal et le pathologique*, Paris, Quadrige PUF, p. 81.

¹¹ Rumelhard, G. (1994), *La Régulation en biologie : approche didactique : représentation, conceptualisation, modélisation*, Paris, INRP, p. 7.

¹² *Ibid.*, p. 39.

du concept de régulation à travers un exemple celui de la régulation de la glycémie.

La régulation : essai de définition

Pour retracer l'histoire du concept de régulation, il est nécessaire d'essayer d'en donner une définition, c'est-à-dire de préciser l'état du savoir qui sert de point de départ pour remonter le temps. Le mot « régulation » désignant une fonction apparaît dans le dictionnaire Le Littré en 1872 mais uniquement comme terme de technologie mécanique. Pour Le Larousse, « en cybernétique la régulation est l'action de régler, d'assurer un bon fonctionnement, un rythme régulier et en physiologie les fonctions de régulation assurent la constance des caractères du milieu intérieur d'un animal en dépit des variations du milieu extérieur ». Pour Le Robert réguler c'est « maintenir constante la valeur d'une grandeur quelles que soient les perturbations qui pourraient la faire varier ». Le terme de régulateur est utilisé en physiologie animale par Lavoisier dès 1789, Flourens (1794-1867) en 1823 et Claude Bernard. Il a été donc importé de la technologie à la physiologie animale. C'est à partir du XX^e siècle que le concept de régulation recouvre toutes les opérations des êtres vivants animaux et plus tardivement végétaux.

Le concept de régulation reste au cœur des nouveaux courants de pensée qui se développent en biologie. Certaines propriétés complexes du vivant, longtemps attribuées à des forces vitales ou spirituelles, commencent à apparaître comme des émergences de systèmes régulés à partir des caractéristiques simples des éléments qui les constituent et de leurs interactions. Ce concept apparaît en 1882 dans le mémoire de Léon Frédéricq (1851-1935) sur la régulation de la température chez les animaux à sang

chaud¹³ et en 1901 dans l'article d'Emile Achard sur le mécanisme régulateur de la composition du sang¹⁴. C'est en 1840 que le concept finit par s'imposer.

Donner une définition du concept est une tâche difficile car aujourd'hui le sens de la régulation est à construire davantage à partir de la cybernétique¹⁵. Il est étroitement associé au concept d'information et à des calculs mathématiques relativement complexes pour nous biologistes (calcul intégral et différentiel). Nous pouvons cependant essayer de donner une définition qui ne fait pas appel *a priori* à des calculs mathématiques et qui pourrait s'appliquer à des situations biologiques. Le concept de régulation réfère à une relation d'interdépendance à des fonctions de repérage ou de détection d'un effet, de détection d'un écart ou d'un décalage et de correction de l'effet. Ces différentes fonctions peuvent être réalisées par des « organes » différents parfaitement identifiables, situés à distance géographique les uns des autres ou au contraire se trouvant toutes condensées dans le même « organe ». La distance implique la genèse et le transport d'une information (hormone, message nerveux, ...).

Daniel Richard (1992)¹⁶ propose de définir un système régulé comme un « ensemble de mécanismes capables de maintenir une variable à une valeur constante en compensant les modifications de cette variable par des effets inverses de ceux de la variation d'origine ».

¹³ Rostand, J. (1954), « Un pionnier de la physiologie », Léon Frédéricq, *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, vol. 7, n° 7-2, p. 188.

¹⁴ Canguilhem, G. (2009), *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie*, Paris, Vrin, p. 99.

¹⁵ Selon L. VonBertalanfy, la cybernétique a montré que « la rétroaction est responsable d'une bonne part des régulations organiques d'homéostasie ».

¹⁶ Richard, D. (1992), *La notion de régulation*, Paris, Hachette, Collection Synapses, p. 53.

Von Bertalanffy (1973)¹⁷ définit deux types de régulation dans l'organisme vivant : les régulations primaires (exemple : le métabolisme cellulaire) et les régulations secondaires (exemple : le contrôle neuro-hormonal). Nous sommes en présence de deux modèles pour décrire les phénomènes de régulation biologique : le modèle du système ouvert (non mécaniste) et le modèle de la rétroaction (feedback) ou approche cybernétique qui explique beaucoup de phénomènes homéostatiques.

La véritable finalité d'un organisme vivant, affirment Laborit et Weber (1958)¹⁸ est « le maintien du degré d'organisation de la matière vivante malgré et contre la tendance au nivellement de l'entropie ». Par conséquent le maintien de la constance des conditions de vie dans le milieu intérieur « l'homéostasie » ne serait pas la finalité de l'organisme, mais le moyen de réaliser cette finalité.

La glycémie, du grec glukus (doux) et haima (sang), exprime la teneur en sucre du sang. La chimie moderne a montré que ce sucre est essentiellement représenté par du glucose libre et que sa concentration varie peu. Chez l'adulte normal et à jeun, la glycémie est comprise entre 0,80 et 1 gramme par litre. L'hypoglycémie est définie par un taux inférieur à 0,70 g/l et l'hyperglycémie par une valeur supérieure à 1,20 g/l¹⁹.

La régulation de la glycémie consiste à maintenir la valeur de référence ou de commande constante. Cette valeur est inscrite dans le patrimoine génétique de

¹⁷ Bertalanffy, L.-Y. (1973), *Théorie générale des systèmes*, Paris, Dunod, Chabrol, J.-B (trad.), p. 162.

¹⁸ Laborit, H. et Weber, B. (1958), *Intérêt de l'application aux régulations physiologiques d'un modèle de représentation cybernétique*, Paris, Presses médicales, 79, p. 1779.

¹⁹ Baillet, J. (2015), Glycémie. Encyclopædia Universalis [en ligne], consulté le 22 mars 2015. URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/glycemie/>

l'individu. Le glucose qui se trouve dans le milieu intérieur provient soit du milieu extérieur soit de la glycogénolyse (transformation du glycogène en glucose) soit de la néoglucogenèse à partir des lipides et des protides. L'utilisation du modèle cybernétique permet de décrire le milieu intérieur comme un système réglé, la glycémie étant la variable de sortie. Le régulateur comprend un capteur, un comparateur et un effecteur :

- Le capteur, support anatomique de cette fonction se trouve au niveau des cellules alpha et beta du pancréas qui transforment les variations du taux de glucose en une grandeur informative exprimée par la modulation des sécrétions des hormones pancréatiques (insuline et glucagon) ;

- Le comparateur, support anatomique de la fonction de comparaison, est situé au niveau du pancréas ;

- L'effecteur, système comprenant le foie, les muscles et le tissu adipeux. Ces tissus sont des producteurs et/ou des consommateurs de glucose. La modification de leurs activités corrige les perturbations de la glycémie.

Approche historique de la régulation de la glycémie

L'histoire des sciences nous informe sur les théories successivement adoptées pour expliquer le diabète : la théorie rénale de Galien, la théorie sanguine de Paracelse, la théorie gastrique de Bouchardat, la théorie hépatique de Claude Bernard et enfin la théorie pancréatique confirmée par la découverte du rôle endocrinien du pancréas. Chacune de ces théories désigne un organe dont le dysfonctionnement serait à l'origine des troubles constatés, attribuant ainsi la maladie à une cause unique. Cette façon de concevoir le fonctionnement de l'organisme a constitué un obstacle à la compréhension de la régulation de la glycémie et du diabète. Les scientifiques n'ont pas soupçonné

la possibilité d'une coordination entre la fonction du foie et celle du pancréas.

On doit, dit-on, le mot *diabète* à Apollonius de Memphis, qui le forge en 250 av. J.-C. à partir des mots *dia* (à travers) et *betos* (fuite). En latin, diabètes signifie « siphon », étant donné que les malades ingèrent une grande quantité d'eau qu'ils éliminent presque aussitôt. Apollonius de Memphis interprète la maladie comme une production de fluide plus importante que ce que le malade peut absorber. On raconte que la détection du diabète remonte à la haute Antiquité, puisque le papyrus d'Ebers (1460 av. J.-C. environ) mentionne les symptômes du diabète, en insistant sur la polyurie²⁰. Ce papyrus écrit environ 1550 ans av. J.-C. et conservé à l'Université de Leipzig comporte de nombreuses prescriptions où figurent les remèdes pour le traitement de la polyurie, signe de diabète non traité. Cependant, sa nature et son origine demeurent parfaitement mystérieuses²¹. La momie de la reine Hatshepsout²², femme obèse d'une cinquantaine d'années, découverte dans les sous-sols du musée du Caire, a subi une analyse ADN qui a permis à une équipe internationale d'émettre une hypothèse selon laquelle, la reine souffrait de diabète

En Inde, les médecins Susruta et Charaka (1500-2000 avant J.-C.) remarquent que des mouches et des fourmis sont attirées par l'urine de personnes atteintes d'un mal mystérieux, cause d'une soif intense (polydipsie). Ils distinguent 2 types de maladies qui présentent les mêmes symptômes. Ils parlent dans un premier cas d'*urine sucrée*

²⁰ Peumery, J.-J. (1987), *Histoire illustrée du diabète : de l'antiquité à nos jours*, Paris, éd. Roger Dacosta, p. 106-123.

²¹ Jouzier, E. (2007), « Diabète et philatélie », *Bulletin de la société de pharmacie*. Bordeaux, p. 159-178.

²² Dates de naissance et de décès inconnues. Son règne a duré 22 ans de 1457 à 1479, selon Jouzier (2007).

qui touchait spécialement les personnes maigres puis dans un deuxième cas d'*urine de miel* qui touchait particulièrement les populations aisées en raison de leur consommation accrue de sucre.

La théorie rénale

Galien (129-201 après J.C.) appelait le diabète *le mal de la soif*. Selon lui, il ne s'agissait pas d'une maladie de l'estomac mais d'une maladie des reins qui étaient inaptes à retenir l'eau. Le traitement qu'il proposait était à base d'aliments qui avaient le pouvoir de resserrer les tissus comme les lentilles par exemple.

Ibn Sīnā (980-1037) découvrit les symptômes du diabète, qu'il appela *aldulab*²³ et réussit à établir un diagnostic différentiel entre la sténose du pylore et l'ulcère de l'estomac. Il décrivit les deux types de diabètes, le goût sucré des urines, leur association à la gangrène et à la perte de fonctions sexuelles.

Au Moyen-âge, ce sont, Ibn Zuhr (1073-1162) et Maïmonide (1135-1204) qui contribuèrent à la connaissance du diabète. « Si le froid et la sécheresse s'associent, selon Ibn Zuhr²⁴, la force attractive est puissante et il en résulte la pire des formes de diabète ; la fin du patient est proche, les forces de tout son être s'épuisent, l'intensité de la soif est moindre comparée à celle qu'éprouve celui dont les reins sont envahis par la chaleur et la sécheresse et qui trouve plus de plaisir dans l'eau tiède que dans l'eau froide ».

« J'ai mentionné l'affection connue sous le nom de diabète, affirme Ibn Zuhr, et détaillé une de ses variétés. Il

²³ Signifiant *roue à eau* à cause de la promptitude avec laquelle la boisson passe dans l'urine.

²⁴ Abû Marwân Abd al-Malik Ibn Zuhr dans son *Kitab Al-Taysîr* traduit comme livre de la simplification.

me reste à parler du second type dont a parlé Galien. Certains ont pensé qu'il s'était contredit en mentionnant l'affection du diabète survenant à cause de la sécheresse du rein ».

Maimonide (1135-1204) discute les symptômes d'une soif intense (polydipsie) et le passage d'un grand volume d'urine. Notant une grande proportion de diabétiques en Egypte, il conclue : « On voit peu de diabète en Europe, continent froid, alors qu'il est fréquent en Afrique, continent chaud ».

La théorie sanguine

Au seizième siècle, Paracelse (1493-1541) remet en question les théories de Galien et d'Ibn Sīnā. Il fait certes mention des mêmes symptômes décrits par les deux mais montre que l'évaporation de l'urine des diabétiques laisse un dépôt cristallin. Le diabète selon lui serait causé par l'accumulation d'un sel nuisible dans l'organisme qui irrite et altère les reins²⁵. Pour affirmer cela, il chauffe l'urine des diabétiques, obtenant une poudre blanche (du sel) : et pour cause, la maladie agit comme un diurétique, en augmentant l'excrétion du chlorure de sodium, par l'urine. Il est également le premier à proposer le jeûne le plus complet aux diabétiques.

Thomas Willis (1621-1675) remarque que le diabète n'est pas une maladie rénale. Il reconnut le premier que les urines des diabétiques pouvaient contenir un principe sucré, caractère important qui fit donner à la maladie le nom de *diabetsmellitus*. Pour lui, c'est une maladie du sang, dont la partie aqueuse s'échappe dans l'urine. Il différencie les diabètes : d'un côté le diabète sucré, de l'autre le diabète insipide. Et c'est en 1788, que Thomas

²⁵ À cette époque, cette substance qui était du glucose fut confondue avec du sel.

Cawley constata la dégénérescence du pancréas de patients décédés du diabète.

La théorie gastrique

Appollinaire Bouchardat (1806-1886)²⁶ affirme que la formation du glucose qui a lieu normalement dans l'intestin, intervient précocement dès le passage gastrique ; ce qui serait à l'origine d'un passage important de sucre dans le sang, source d'hyperglycémie. « Alimentation glycogénique trop abondante, production d'un ferment diastasique trop énergique, dépendance insuffisante, d'où excès de glucose dans le sang », voilà dit-il les principales conditions de la genèse du diabète sucré²⁷.

Il fait évoluer la théorie gastrique du diabète et suggère le rôle du pancréas dans le déclenchement de la maladie. Il présente ses travaux à l'académie des sciences le 20 janvier 1845, soit quatre ans avant que Claude Bernard (1813-1878) ne précise le rôle du suc pancréatique.

Bouchardat part du constat suivant : « toutes les fois qu'il existe, dans le sang, un excès de glycose, ce principe immédiat apparaît dans les urines ». Il démontre qu'il existe un seuil quantitatif à partir duquel on observe le passage du

²⁶ Cf. Bouchardat, A. (1845), « Nouveau mémoire sur la glycosurie », *Comptes rendus des séances de l'académie des sciences*, 20, p. 1020.

Bouchardat, A. (1848), « Considérations sur la nature de la glycosurie et sur les difficultés que présente, dans les hôpitaux, le traitement de cette maladie, avec de nouvelles observations », *Annales de thérapeutique*, 9, p. 227.

Bouchardat, A. (1850), « Affaiblissement de la vue accompagnant les maladies qui ont pour symptôme une modification anormale dans la composition de l'urine », *Annales de thérapeutique*, 11, p. 290.

Bouchardat, A. (1878), « Etat actuel de la question de la glycosurie », *Revue pharmaceutique*, 13.

Bouchardat, A. (1883), *De la glycosurie au diabète sucré, son traitement hygiénique*, Paris, Librairie Germer Baillière (2^{ème} édition), p. 48.

²⁷ Chast, F. et Slama, G. (2007), Appollinaire Bouchardat et le diabète. *Histoire des sciences médicales*, t. XLI, 3, p. 288.

sucre dans l'urine après une injection intraveineuse. C'est la raison pour laquelle il choisit délibérément l'étude de la glycosurie et non de la glycémie (d'un accès trop difficile) pour procéder à l'ensemble de ses études.

Lorsque Bouchardat entame son étude de la maladie, le diabète n'est caractérisé que par une « élimination excessivement abondante d'urine plus ou moins chargée de matière sucrée ». De 1838 à 1857, il multiplie les travaux visant à mettre au point une mesure précise de la glycosurie. La méthode de quantification utilisée était fondée sur la coloration que prenait l'urine portée à ébullition en présence d'une solution alcaline (potasse, soude ou chaux). La teinte brune du mélange était d'autant plus prononcée que la proportion de sucre était plus élevée.

Il propose d'autres paramètres pour explorer le diabète comme la mesure de la densité urinaire. Il note, en 1837, les modifications de l'urée urinaire en cas de néphropathie, mais aussi lorsque l'alimentation en viande est trop abondante.

La théorie hépatique

Claude Bernard (1813-1878) découvre le rôle du foie dans la sécrétion du glucose dans le sang et isole le glycogène hépatique, révélant la fonction glycogénique du foie. Quel est le contexte qui a amené à cette expérience historique du foie lavé en 1855? Les biologistes de l'époque (vers 1848) pensaient que l'organisme animal détruit le sucre et ne peut en produire contrairement aux végétaux. Claude Bernard cherchait donc les organes responsables de cette destruction. Il réalise de nombreuses expériences, mesurant la quantité de glucose dans le sang en différentes

zones du corps, sur des animaux vivants à jeun et/ou ayant été nourris avec des glucides²⁸.

Il effectue différents prélèvements, en amont et en aval du foie et remarque que la concentration en glucose est supérieure en aval du foie, preuve que le foie synthétise du glucose. Il conclut que « du sucre se forme dans le foie », et continue ses expériences. Selon que l'animal est suffisamment nourri ou non, il remarque que le foie synthétise plus ou moins de glucose. Il y a donc une régulation de la glycémie faisant intervenir le foie. De ses études sur l'animal, puis chez l'Homme, Claude Bernard tire une conclusion remarquable : chez un sujet sain, la glycémie est indépendante de l'alimentation. Elle avoisine en effet le gramme par litre...

La théorie pancréatique de la régulation de la glycémie

Mering (1849-1908) et Minkowski (1858-1931), étudiaient le rôle des enzymes pancréatiques dans la digestion des graisses. En 1890, ils réalisèrent la première ablation totale du pancréas d'un chien. Un résultat inattendu attira leur attention : l'animal ayant subi la pancréatectomie ne pouvait se retenir d'uriner sur le plancher du laboratoire. Cette polyurie s'accompagnait d'une glycosurie intense, le taux de glucose dans les urines atteignait 12 %. La pancréatectomie totale provoquait un amaigrissement, un affaiblissement puis la mort de l'animal au bout d'un mois. C'est grâce à ces travaux que le rôle du pancréas fut découvert à l'université de Strasbourg. L'ablation du pancréas (ou pancréatectomie) chez le chien est suivie d'un diabète ; ce diabète étant corrigé par la greffe de pancréas.

²⁸ Bernard, C. (1877), *Leçons sur le diabète et la glycogénèse animale*, Paris, Baillière et fils, p. 473.

La théorie hormonale de la régulation de la glycémie

La glycémie est largement contrôlée par deux hormones. Quand elle s'élève, les cellules bêta, situées dans le pancréas²⁹, sécrètent plus d'insuline, ce qui stimule l'absorption du glucose dans les cellules adipeuses du corps.

Quand il y en a trop peu, les cellules alpha du pancréas sécrètent plus de glucagon, ce qui stimule le foie pour libérer plus de glucose dans le sang³⁰. Ce système de contrôle peut mal tourner de plusieurs manières différentes ; c'est pourquoi le diabète est vraiment un état plutôt qu'une maladie. Il se peut que le pancréas ne puisse pas produire de l'insuline, généralement parce que les cellules bêta ont été détruites par une réaction auto-immunitaire. C'est le diabète de type 1, aussi connu comme « diabète d'apparition précoce », car il apparaît en général chez des personnes relativement jeunes. Les diabètes de type 1 doivent être gérés par des injections fréquentes d'insuline. De nombreux chercheurs travaillent sur de meilleures façons de fournir la bonne quantité d'insuline pour maintenir la glycémie autour de sa valeur optimale de 5 mmol / litre. D'autres

²⁹ Le pancréas est une glande mixte (exocrine et endocrine) qui est caractérisée par une spécificité à la fois histologique et fonctionnelle. La spécificité histologique a été reconnue par Langerhans (1869) qui a décrit le caractère endocrine des îlots de cellules qui diffèrent des grappes vésiculaires formées de cellules acineuses ou acini. Au sein du tissu pancréatique, ces cellules disposées en îlots ont été appelées « îlots de Langerhans ». La spécificité fonctionnelle a été mise en évidence en 1889 par Von Mehring et Minkowski qui montrèrent que la pancréatectomie totale chez l'animal (chien) provoquait l'apparition de manifestations cliniques similaires à celles obtenues dans le cas du diabète sucré chez l'homme. On a observé que la ligature du canal de Wirsung a entraîné la résorption des acini pancréatiques, laissant intactes les îlots de Langerhans. Cette expérience a permis de distinguer d'une part le pancréas exocrine avec ses canaux excréteurs du suc pancréatique et d'autre part le pancréas endocrine constitué par les îlots de Langerhans.

³⁰ En fait, c'est beaucoup plus compliqué, mais c'est l'image de base des données courantes que nous trouvons dans les manuels.

tentent de découvrir comment restaurer les cellules bêta afin qu'elles n'aient pas besoin de fournir d'insuline.

Dans le cas du diabète de type 2, en revanche, le corps peut encore produire de l'insuline, souvent dans ce qui semble être des quantités appropriées et, pourtant, le sucre sanguin « au repos »³¹ est trop élevé et son taux descend trop lentement par rapport au pic qui survient après un repas. On ne comprend pas bien pourquoi cela arrive. La plupart du temps, on attribue cela à une « résistance à l'insuline », par laquelle il semble que les cellules adipeuses y soient moins sensibles.

Approche didactique de la régulation de la glycémie

La régulation de la glycémie est enseignée en Algérie, en deuxième année secondaire filières sciences expérimentales et mathématiques, en relation avec l'étude du diabète, maladie connue des élèves. Aucune population n'échappe au diabète, maladie universellement répandue. Le diabète sucré a été classé ces dix dernières années comme une maladie épidémique. D'après les estimations de l'OMS, le nombre de diabétiques de type 2 avoisine les 200 millions dans le monde (OMS, 2003) et en Algérie, la prévalence est située entre 1,5 et 3% (INSP, 1998). Cependant le chiffre véritable est vraisemblablement plus élevé et une augmentation est prévisible au cours des prochaines décennies. Le diabète sucré est reconnu comme un syndrome métabolique caractérisé par un trouble de la glycorégulation se manifestant par des hyperglycémies retrouvées à plusieurs reprises dans des conditions basales à jeun ou mises en évidence par des épreuves dynamiques.

³¹ Niveau de sucre lorsque nous n'avons ni mangé, ni fait d'exercices physiques récemment.

La glycémie est au centre d'une unité du programme, sous le titre de régulation hormonale.



Cette unité d'apprentissage (2), de la page 33 à la page 56, s'articule autour de neuf sous-unités : la glycémie, le diabète, le mécanisme de régulation, l'insuline, l'action de l'insuline,

La page 33 présente les 3 situations d'apprentissage et les neuf sous-unités.

La première activité consacrée au taux de sucre dans le sang est présentée en pages 34 et 35.

En page 34 : Il est demandé à l'élève de déterminer d'une part la valeur normale du glucose chez l'individu en bonne santé et d'autre part les causes de variation de cette constante physiologique. Parallèlement à cela, un histogramme est présenté représentant les mesures de la glycémie effectuées sur un échantillon de 114 individus « à jeun ».

En page 35 : des documents montrent l'évolution journalière de la glycémie chez un individu en bonne santé. Ce qui ressort c'est que :

- Les prises alimentaires provoquent une hausse modérée de la glycémie (+ 0,2 à + 0,3 g/L) ;

- La glycémie varie tout au long de la journée et fluctue modérément autour d'une valeur proche de 1 g/L. Cette valeur définit la constante physiologique qu'est la glycémie.

En page 36, une deuxième activité est proposée. Elle s'articule autour du diabète. Il est demandé de déterminer le rôle du pancréas.

L'accent est mis d'une part sur l'autonomie de l'organisme humain qui exige le maintien de la stabilité de son milieu intérieur (homéostasie) et préserve la stabilité des concentrations des constituants physico-chimiques et d'autre part sur la présence d'un système de communication hormonale qui dirige l'activité de chaque organe impliqué dans cette régulation. Ce système est dit : « activer la mise en réserve du glucose en excès après les repas, et stimuler la libération du glucose dans le sang à partir des réserves, lorsque la concentration de glucose sanguin vient à manquer.

De la page 37 à la page 56, des activités documentaires sont proposées en vue de l'élaboration d'une synthèse où l'idée de mécanisme d'auto-régulation n'apparaît pas.

Certes ce qui est souligné c'est que le glucose qui se trouve dans le milieu intérieur provient soit du milieu extérieur soit de la glycogénolyse (transformation du glycogène en glucose) soit de la néoglucogenèse à partir des lipides et des protides.

Les élèves sont appelés à répondre à de nombreuses questions :

- Que devient le sucre consommé au cours de la digestion ?
- Quel est le rôle du foie ?

- Qu'est-ce qui fait qu'une cellule hépatique stocke ou fournit du glucose ?
- Qu'est-ce qui fait que cette cellule passe d'un type de fonctionnement à un autre ?
- Que se passe-t-il lorsqu'il y a trop de glucose dans le sang ?
- Que se passe-t-il lorsque le taux de glucose sanguin chute ?
- Existe-t-il des liens entre le diabète de type 1 et de type 2 ? Si oui lesquels.

La régulation de la glycémie dans les discours des enseignants

Nous avons mené 16 entretiens individuels avec des enseignants de sciences dans les wilayas de Mostaganem et de Relizane, ayant en charge l'enseignement en 2^{ème} année secondaire. Les questions posées aux enseignants étaient de savoir :

- Comment ils structuraient leurs séances relatives à la régulation de la glycémie.
- Quelles sont les connaissances que l'élève de 2^{ème} année secondaire doit intégrer dans ce domaine ?
- Quelles sont les activités qu'il doit réaliser ?

La majorité des enseignants organisent leurs séances autour d'activités documentaires ; autrement d'analyse de documents permettant aux élèves, entre autres, de :

- Savoir comment la glycémie est régulée dans l'organisme ;
- Déterminer les réserves de glucose dans l'organisme ;
- Déterminer le rôle du pancréas dans la régulation de la glycémie.

Encadré 1 : les connaissances que l'élève de 2^{ème} année secondaire doit intégrer dans ce domaine, selon les enseignants

- Les communications hormonale et nerveuse s'organisent en boucles de régulation. La régulation de la glycémie nécessite un échange d'informations entre organes et cellules par voie hormonale.
- L'hyperglycémie et l'hypoglycémie sont des écarts de la concentration en glucose dans le sang avec la valeur de consigne.
- Les cellules pancréatiques détectent l'écart entre la valeur de la glycémie effective et la valeur de consigne et sécrètent l'insuline ou le glucagon.
- Les organes-cible, le foie, les tissus adipeux et musculaires déclenchent des actions correctives en vue de ramener la glycémie à la valeur de consigne

Encadré 2 : les activités que les élèves doivent réaliser

- Exploiter des ressources documentaires pour :
- Comparer la glycémie effective d'un résultat d'analyse médicale à une valeur de référence ;
 - Schématiser une boucle de régulation de la glycémie ;
 - Mettre en relation la correction de l'écart avec les effets des messages hormonaux sur les structures cibles.

Les approches didactiques ne sont pas connues de tous.

a) L'approche systémique

De nombreuses recherches montrent que l'étude des mécanismes de régulation exige de concevoir les êtres vivants comme des systèmes, c'est-à-dire comme un ensemble d'éléments en interaction. En rupture avec la méthode analytique linéaire privilégiée dans l'enseignement

de la physiologie au lycée, l'approche systémique permet de mettre en valeur non seulement les fonctions impliquées dans une régulation mais aussi les interactions existant entre ces fonctions.

b) La modélisation

Compte tenu de sa complexité, le système vivant doit être appréhendé à travers un modèle. Envisager un enseignement fondé sur la modélisation nous amène à nous questionner sur les problèmes que pose un tel apprentissage. La modélisation d'un système requiert une analyse préliminaire de son organisation (Orange, 1997) qui peut se faire selon deux approches : une approche anatomique et une approche fonctionnelle. Pour l'étude de la régulation de la glycémie, peut-être faut-il privilégier cette deuxième approche qui consiste à subdiviser le système en parties fonctionnelles élémentaires et à rechercher les interactions établies entre ces fonctions. Cette prise de distance avec l'anatomie définit la modélisation formelle dans la biologie.

c) Le débat scientifique en situation d'apprentissage

Il faut certainement noter que le débat constitue l'occasion pour les élèves de formuler des arguments et d'explicitier leurs fondements. Différents travaux en didactique ont montré comment l'argumentation constitue un outil efficace dans la construction du problème, l'exploration des solutions possibles ou la production des énoncés de savoirs.

L'utilisation du modèle cybernétique devrait permettre de décrire le milieu intérieur comme un système réglé, la glycémie étant la variable de sortie ; le régulateur comprenant un capteur³², un comparateur³³ et un effecteur³⁴.

³² Support anatomique de cette fonction se trouve au niveau des cellules alpha et bêta du pancréas qui transforment les variations du taux de glucose en une

La modélisation n'est pas proposée, de manière systématique, alors que le concept de régulation inclut la nécessité d'une comparaison à un objet technique qui se présente comme un modèle. Autrement dit, il impose en quelque sorte de dépasser les faits observés.

De l'histoire du concept de régulation à sa construction en situation didactique, ce qu'il s'agit de faire admettre c'est que l'organisme humain est en permanence soumis à des variations dont les origines sont soit internes, en liaison avec l'activité de l'organisme soit externes dues à des modifications de l'environnement. Les réactions à ces variations mettent en jeu des systèmes de contrôle permettant soit de maintenir de façon dynamique un état stationnaire, soit d'adapter le fonctionnement de l'organisme à ces variations. Aussi l'organisme humain est-il soumis à des régulations permanentes permettant de maintenir une variable à une valeur stable. C'est le cas, de la glycémie abordée dans ce texte ou du réflexe myotatique étudié dans le sourcebook (PNR 20)³⁵ Tout système biologique peut être considéré comme un système dynamique dans lequel il existe en permanence un flux d'entrée et un flux de sorties. Or, dans un système dynamique, si l'on désire maintenir un état stable, il est nécessaire de contrôler en continu l'un des paramètres et de compenser exactement les variations de celui-ci par un effet inverse. Un tel système constitue un

grandeur informative exprimée par la modulation des sécrétions des hormones pancréatiques (insuline et glucagon).

³³ Support anatomique de la fonction de comparaison, situé au niveau du pancréas.

³⁴ Système comprenant le foie, les muscles et le tissu adipeux, producteurs et/ou des consommateurs de glucose ; la modification de leurs activités corrigeant les perturbations de la glycémie.

³⁵ Apports de l'histoire et de l'épistémologie des sciences à la didactique des mathématiques et de la Biologie. Sourcebook coordonné par le professeur Ahmed Djebbar.

système régulé pouvant être défini comme un ensemble de mécanismes capable de maintenir une variable à une valeur constante en compensant en permanence les modifications de cette variable par des effets inverses de ceux de la variation d'origine.

Conclusion

Si connaître l'histoire d'un concept est utile pour l'élève elle l'est encore plus pour l'enseignant dont les connaissances acquises à ce sujet, en dehors du cursus universitaire sont relativement limitées. Les retombées didactiques de l'approche historique sont nombreuses même si elles ne sont pas immédiates. L'exploration et la mise en valeur de cette approche, dans une optique de formation à l'enseignement des sciences, implique des travaux d'analyse et de construction pour dégager des idées susceptibles de fonder et de structurer des stratégies de formation concrètes et pertinentes. Concrètement, qu'est-ce qu'il s'agit de faire avec les élèves s'interrogent les enseignants ? Il s'agit peut-être de proposer des activités à partir de documents présentant non seulement des biographies mais donnant également des explications contextuelles, précisant les différentes influences ayant permis la découverte (théories des prédécesseurs), découvertes dans d'autres domaines scientifiques, débats au sein des différentes communautés, etc.

Bibliographie

Baillet, J., « Glycémie », *Encyclopædia Universalis* [en ligne], URL : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/glycemie/> consulté le 22 mars 2015.

Bernard, C. (1877), *Leçons sur le diabète et la glycogénèse animale*, Paris, Baillière et fils.

Bertalanffy, L.-Y. (1973), Paris, Dunod, Chabrol, J.-B (trad.).

Bouamrane, F. (2010) (Traduction), *Le traité médical (Kitab Al-Taysir)* (de IbnZuhr), éd. Vrin.

Canguilhem, G. (2009), *Idéologie et rationalité dans l'histoire des sciences de la vie*, Paris, éd. Vrin.

————— (1996), *Le normal et le pathologique*, Paris, Quadrige PUF.

————— (1968), Article « régulation », *Encyclopaedia Universalis*, vol. XIV.

Chast, F. et Slama, G. (2007), « Appollinaire Bouchardat et le diabète », *Histoire des sciences médicales*, t. XLI., 3.

Dewaele, J. (1994), « Activité de modélisation dans l'enseignement du réflexe myotatique », *La régulation en biologie*, Paris, NRP.

Fischler, C. (1994), « Editorial : Magie, charmes et aliments », *Autrement*, 149.

————— (1994), « Pensée magique et utopie dans la science », *Cahiers de l'OCHA*, 5.

————— (1990), *L'omnivore*, Paris, Odile Jacob, chap. 7 du livre.

Jouzier, E. (2007) « Diabète et philatélie », *Bulletin de la société de pharmacie*, Bordeaux.

Laborit, H. et Weber, B. (1958), *Intérêt de l'application aux régulations physiologiques d'un modèle de représentation cybernétique*, Paris, Presses médicales, 79.

Lacombe, G. (1987), « Pour l'introduction des sciences dans l'enseignement du second cycle », INRP, *Revue Aster*, n° 5.

Laugier, A. et Dumon, A. (2001), « A la recherche des obstacles épistémologiques à la construction du concept d'élément chimique par les élèves de seconde », *Didaskalia*, 22, Paris.

_____ (2001), « Histoire des sciences et modélisation de la transformation chimique en classe de seconde », *BUP*, 94.

Mathy, P. (1997), *Donner du sens aux cours de sciences. Des outils pour la formation éthique et épistémologique des enseignants*, Bruxelles, De Boeck.

Peumery, J.-J. (1987), *Histoire illustrée du diabète : de l'antiquité à nos jours*, Paris, éd. Roger Dacosta.

Richard, D. (1992), *La notion de régulation*, Paris, Hachette, Collection Synapses.

Rostand, J. (1954), « Un pionnier de la physiologie, Léon Frédéricq », *Revue d'histoire des sciences et de leurs applications*, vol. 7, n° 7-2.

Rozin, P. (1994), « La magie sympathique », *Autrement*, 149.

Rumelhard, G. (1994), *La Régulation en biologie : approche didactique : représentation, conceptualisation, modélisation*. Paris, INRP.