

De l'histoire naturelle à la biologie moderne en passant par la chimie

Claude BALNY* et Bernard LEBLEU**

*Directeur de recherche Emérite INSERM ; **Professeur Emérite Université de Montpellier

Membres de l'Académie des Sciences et Lettres de Montpellier

MOTS-CLÉS

Chimie, phlogiston, Lavoisier, alchimie, vitalisme, biotechnologie, biologie, OGM

RÉSUMÉ

Jusqu'au XVII^{ème} siècle, l'alchimie, le vitalisme et la toute puissance de l'Église dominent encore largement les sciences de la nature. Inspirés par Newton et Descartes entre autres, D'Alembert et les encyclopédistes vont contribuer à faire émerger l'empirisme comme socle de la connaissance et à jeter ainsi les bases d'une démarche scientifique expérimentale. Au travers de quelques exemples nous illustrerons la lente et difficile apparition d'une chimie et d'une biologie modernes aux XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècles qui trouveront leur épanouissement actuel dans les sciences de la vie.

Le lecteur peut visionner l'enregistrement vidéo de cette conférence

1. La chimie, parent pauvre de l'Encyclopédie

Contrairement aux progrès spectaculaires des mathématiques, de la physique ou de l'astronomie, la chimie (comme la biologie d'ailleurs et pour les mêmes raisons sans doute) ne va pas progresser beaucoup jusqu'à la fin du XVIII^{ème} siècle comme le regrettait en 1753 Gabriel François Venel (1723-1775) dans son article de l'Encyclopédie intitulé « *Chymie* ». Il notait : « *La chimie est peu cultivée parmi nous ; cette science n'est que très médiocrement répandue, même parmi les savants..* » puis un peu plus loin « *Les chimistes forment encore un peuple distinct ayant sa langue, ses lois, ses mystères...* ». Par contre, il soulignait que « *l'on doit se représenter la digestion comme une opération chimique, ou plutôt comme un procédé ou une suite d'opérations chimiques* » énonçant intuitivement l'action des protéases et faisant le lien entre chimie et biologie.

Plusieurs traités de chimie imprimés au XVII^{ème} siècle seront réédités tout au long du XVIII^{ème} siècle sans nécessiter de remaniements notables, signe d'une stagnation des connaissances. Rappelons-nous que, de nos jours, les bons ouvrages scientifiques, et ce, quelle qu'en soit la discipline, doivent être profondément remaniés au bout de quelques années sous peine de devenir obsolètes.

Il semblerait que les esprits n'aient pas été mûrs pour rationaliser la chimie, confondant souvent science, traditions et philosophie. Les encyclopédistes vont, par exemple, encenser Georg Ernst Stahl (1659-1734), médecin et chimiste réputé de

l'Université de Halle. Il eut le grand mérite de proposer un système chimique cohérent et de se démarquer de l'alchimie. Par contre, il va se déconsidérer en affirmant que la perte de masse liée à la combustion est due au départ d'un fluide, comme déjà proposé par Becher (1635-1682). La chaleur était donc composée d'un fluide, un « élément-flamme », appelé *phlogiston*.

Il faudra attendre 1772 pour qu'Antoine Lavoisier construise les bases d'une chimie moderne avec en particulier ses travaux sur la combustion et le rôle qu'y joue l'oxygène. Ce brillant chercheur va mener de front des carrières de scientifique et d'économiste, talents qu'il va mettre au service de la Révolution. Comme Fermier Général, il sera l'un des Commissaires aux finances de la Convention. Cela ne l'empêchera pas d'être guillotiné à 50 ans avec d'autres Fermiers Généraux dès l'avènement de la Terreur. La France perdait ainsi prématurément celui que l'on considère toujours, et à juste titre, comme le père de la chimie moderne. Ceci fit dire courageusement au grand mathématicien Louis Lagrange : « *Il ne leur a fallu qu'un moment pour faire tomber cette tête et cent années peut-être ne suffiront pas à en produire une semblable* ».

Il serait impossible de résumer en quelques mots les contributions nombreuses de Lavoisier à l'essor d'une chimie enfin débarrassée des références au phlogistique, ce cinquième élément inaccessible - et pour cause - à l'observation directe à côté de la terre, de l'eau, de l'air et du feu, les quatre éléments de la théorie aristotélicienne. Il va entre autres démontrer expérimentalement que la matière change d'état au cours d'une réaction chimique, mais que la masse totale des réactifs et des produits reste inchangée, base de la loi de conservation de la matière. On lui doit cette phrase devenue célèbre « *Rien ne se perd, rien ne se crée, tout se transforme* » où nous retrouvons le premier principe de la thermodynamique.

Pourquoi ce retard pris dans le développement de la chimie au cours du siècle des Lumières par rapport à ceux des mathématiques, de la physique ou de l'astronomie ? Il faut peut-être l'imputer à la toute puissance des théories de Descartes, sans en minimiser l'apport fondamental. La méthode cartésienne déduit les faits scientifiques de principes métaphysiques. D'Alembert et beaucoup de scientifiques français de l'époque vont rester proches de cette démarche en demandant à l'expérience de vérifier l'exactitude des déductions logiques formulées à partir des conjectures de départ. Ceci convient tout à fait aux sciences dites « dures » dans lesquelles mathématiques et physique jouent un rôle essentiel, mais moins aux disciplines très expérimentales que sont la chimie et la biologie.

Ce sont les philosophes et savants anglais comme Francis Bacon (1561-1626), John Locke (1632-1704) ou Isaac Newton (1643-1727) qui insistèrent les premiers sur la primauté de l'observation et de l'expérience. Newton est sans doute le véritable précurseur de la démarche scientifique moderne quand il affirme : « *Tout ce qui n'est pas déduit des phénomènes, il faut l'appeler hypothèse, et les hypothèses, qu'elles soient métaphysiques ou physiques, qu'elles concernent les qualités occultes ou qu'elles soient mécaniques, n'ont pas leur place dans la philosophie expérimentale* ».

Il faut cependant relativiser le peu de progrès faits par la chimie pendant cette période. Peu d'avancées théoriques auront effectivement été réalisées jusqu'à la fin du XVIII^{ème} siècle. Par contre, et suivant des traditions anciennes, les applications de la chimie dans de nombreux domaines vont contribuer à l'essor d'une industrie manufacturière que ce soient la teinture des tissus, la distillation, la métallurgie ou la pharmacie (rôle des apothicaires).

2. La chimie avant l'Encyclopédie

2.1. Chimie pratique ancestrale

La chimie, science qui étudie la constitution de la matière et les interactions de ses constituants, remonte au paléolithique (400 000 ans avant J.C.) où le rôle du feu, source de lumière et de chaleur, était primordial aussi bien pour la fabrication des armes que pour la cuisson des aliments. Le néolithique vit naître la réaction chimique de transformation de l'ocre jaune en ocre rouge par chauffage. C'est également au néolithique que l'on pratiqua la cuisson de l'argile. Dès 5 000 ans avant J.C., la métallurgie se développa avec la production de cuivre, de bronze, puis du fer à partir de minerais. Un millénaire plus tard, la trempe fut découverte pour « durcir » le fer et le laiton fut fabriqué. Durant toute cette période, une chimie domestique vit aussi le jour autour de la teinturerie et de la fabrication des couleurs. [Rosmorduc]

Alors que les acquis précédents étaient le fruit de l'empirisme, les Grecs, désireux de connaissance pure, produiront de grands ensembles fondés sur la raison. Il y aura dissociation entre le travail quotidien de l'artisan et les préoccupations philosophiques. Les théories élaborées alors sont à l'origine de nos conceptions de la chimie contemporaine avec deux ensembles différents : la « théorie des éléments » et la « théorie atomique ».

La pensée de ces anciens donna naissance à cette philosophie chimique expérimentale que l'on nomma l'alchimie où se mêlent science et mysticisme.

2.2. Alchimie

Chimie et alchimie sont deux notions associées jusqu'à la fin du XVII^{ème} siècle [Vidal]. Tandis que de grands savants et penseurs de l'époque comme Robert Boyle ou Isaac Newton que nous venons d'évoquer continueront à s'intéresser à l'alchimie, c'est Lavoisier qui contribua à lui donner le coup de grâce en démontrant que la combustion ne résultait pas de la libération du fameux phlogistique, mais de la captation de gaz.

L'alchimie est l'art de purifier l'impur en imitant et en accélérant les opérations de la nature afin de parfaire la matière. Elle est en partie rationnelle lorsque des théories sont avancées : théorie des éléments, théorie des principes. Elle l'est moins lorsqu'elle prend en compte les planètes et considère que tout vit et possède une âme. Elle est surtout connue bien évidemment par la recherche de la pierre philosophale devant permettre la transmutation des métaux comme la transformation du plomb en or ou en argent. Moins souvent cités comme objectifs sont la recherche de la panacée (ou médecine universelle) et le désir de prolonger la vie par l'élixir de longue vie. Utopies certes, mais sont-elles totalement abandonnées avec le développement actuel des rêves transhumanistes ?

Des traités et des pratiques d'alchimie ont été proposés par toutes les grandes civilisations, que ce soit en Chine (dès le IV^{ème} siècle), en Inde (à partir du VI^{ème} siècle) ou plus près de chez nous dans l'Égypte hellénistique (avec des papyrus datés du III^{ème} siècle de notre ère) et surtout des traités arabes des VIII^{ème} et IX^{ème} siècle. C'est d'ailleurs cette alchimie arabe qui va principalement se diffuser dans le monde occidental grâce à des traductions latines à partir du XII^{ème} siècle et des noms restés célèbres comme celui de Paracelse (qui vécut au XVI^{ème} siècle) [Rossi].

2.3. Bilan de l'alchimie : Alchimie, discipline pré-scientifique ?

Si la transmutation des métaux en argent ou en or ne fut évidemment pas réalisée, l'on doit aux recherches des alchimistes d'avoir proposé le mode de fabrication de plusieurs alliages comme le laiton ou le bronze.

L'alchimie a, avant tout, favorisé l'observation et, suite aux échecs de la transmutation, elle se séparera en deux courants : l'un, mystique et illuminé, qui continuera à s'appeler alchimie, l'autre, dans le cadre d'un renouveau intellectuel au service de l'homme, qui aboutira à l'émergence de la chimie. Au XVI^{ème} siècle, Paracelse amorcera cette mutation.

2.4. Que reste-t-il de l'alchimie ?

Au XX^{ème} siècle, Fulcanelli développa un ésotérisme autour de symboles, alors que Jung a cherché l'alchimie dans les troubles de l'âme. C'est en philosophe que Gaston Bachelard a interrogé les rapports entre la littérature et la science en s'intéressant à l'alchimie : « ...nous croyons possible de fixer, dans le règne de l'imagination, une loi des quatre éléments qui classe les diverses imaginations matérielles suivant qu'elles s'attachent au feu, à l'air, à l'eau ou à la terre ». [Bachelard]

Signalons que la physique nucléaire nous a démontré qu'il était possible de transformer certains éléments et Jean Perrin, prix Nobel de Physique en 1926, n'hésita pas à qualifier les chercheurs de sa discipline d'alchimistes du XX^{ème} siècle.

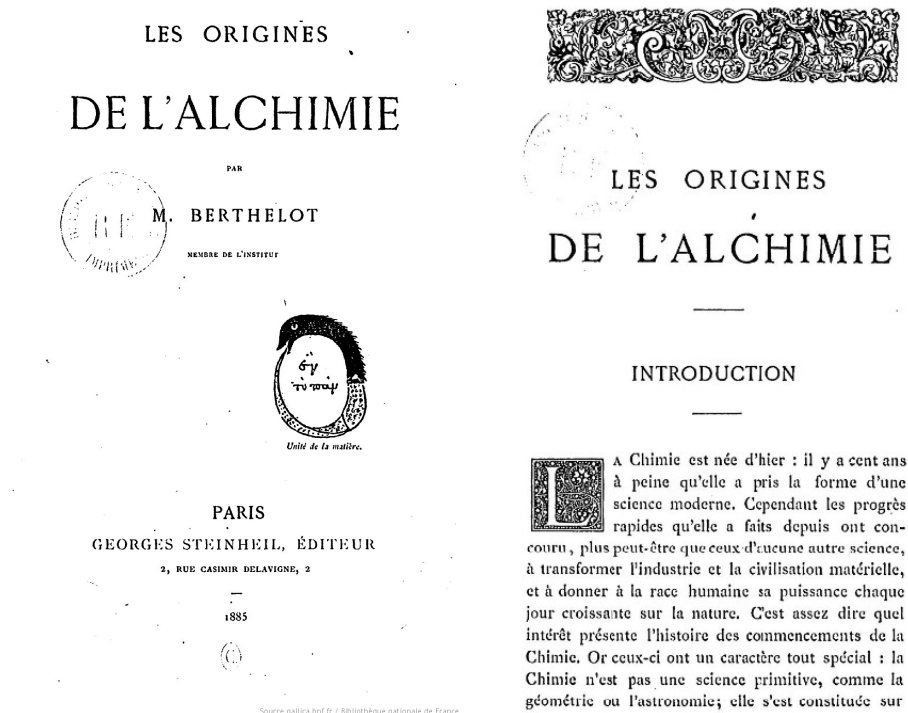


Figure 1 : Publication de Marcellin Berthelot (1822-1907) relative aux origines de l'alchimie [Gallica.bnf.fr].

L'alchimie a été, jusqu'à récemment, un sujet qui a préoccupé les chimistes tel Marcellin Berthelot (figure 1), spécialiste de la chimie organique de synthèse. En 1886, dans son ouvrage « Les origines de l'alchimie », il note que « c'est une science sans racine apparente...les savants et les philosophes s'y mêlent et s'y confondent, sans sortir de l'état de doctrine occulte et persécutée... »

L'Encyclopédie se devait de traiter cette discipline encore très présente au XVII^{ème} siècle. Plusieurs articles consacrés à l'alchimie, rédigés essentiellement par Paul-Jacques Maloin (1701-1778), figurent dans le premier tome de l'Encyclopédie et ne font pas clairement la distinction entre chimie et alchimie.

3. La chimie et l'Encyclopédie

Une évolution va cependant se faire au cours des années et ce seront Venel ou le baron von Holbach (1723-1789), qui rédigeront la plupart des articles consacrés à la chimie et à ses applications à partir du Tome III de l'Encyclopédie. Venel fera la distinction entre chimie et alchimie et mettra en doute les prétentions des alchimistes. Il écrit par exemple que « l'alchimie est un goût qui n'est ni de notre siècle ni de notre nation ». Plusieurs chimistes français (et montpelliérains en particulier) vont avoir une renommée importante : en voici quelques portraits.

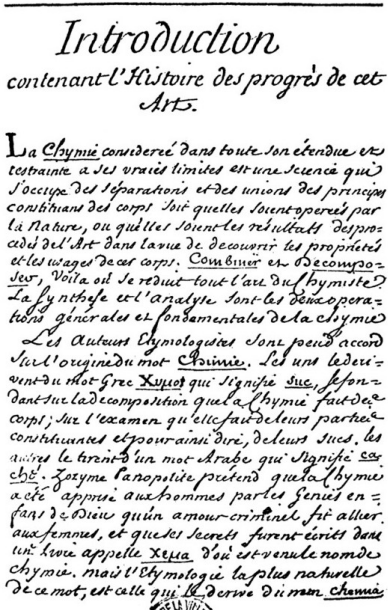


Figure 2 : Première page d'un manuscrit de Guillaume-François Rouelle concernant l'Histoire des progrès de cet Art : la Chymie (rhe.ish-lyon.cnrs.fr)

Classe des SELS NEUTRES rangés par ordre méthodique suivant les phénomènes qu'ils présentent dans la cristallisation.

I. Section.	Genres.	Espèces.
1. Sels qui ont des acides en leur base... 2. Sels qui ont des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
3. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
4. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
5. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
6. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
7. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
8. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
9. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
10. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
11. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
12. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
13. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
14. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
15. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
16. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
17. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
18. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
19. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
20. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
21. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
22. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
23. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
24. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
25. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
26. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
27. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
28. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
29. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
30. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
31. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
32. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
33. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
34. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
35. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
36. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
37. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
38. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
39. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
40. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
41. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
42. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
43. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
44. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
45. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
46. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
47. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
48. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
49. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
50. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
51. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
52. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
53. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
54. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
55. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
56. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
57. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
58. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
59. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
60. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
61. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
62. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
63. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
64. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
65. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
66. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
67. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
68. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
69. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
70. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
71. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
72. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
73. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
74. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
75. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
76. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
77. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
78. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
79. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
80. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
81. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
82. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
83. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
84. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
85. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
86. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
87. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
88. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
89. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
90. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
91. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
92. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
93. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
94. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
95. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
96. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
97. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
98. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
99. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖
100. Sels qui ont des acides et des bases en leur base...	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖	⊕ ⊖ ⊕ ⊖ ⊕ ⊖

Figure 3 : Classification des sels neutres d'après Rouelle : « je me suis servi d'une petite croix pour exprimer l'union d'un acide à une substance quelconque... »

Cette petite croix est le même signe « + » utilisé de nos jours entre deux réactifs interagissant. (commons.wikipedia.org)

Guillaume-François Rouelle (1703-1770) eut une influence considérable. Apothicaire de formation, il fut nommé en 1742 « Démonstrateur de Chimie » au Jardin du Roy à Paris. Ses cours publics connurent un énorme succès à tel point que l'amphithéâtre d'anatomie d'une capacité de 600 personnes ne suffisait souvent pas à accueillir tous les auditeurs qui se pressaient à ses démonstrations. Pour la petite histoire, l'amphithéâtre était réservé à des cours d'anatomie l'hiver, mais se libérait au printemps et à l'été pour des exposés de chimie et de biologie, car la température trop élevée à ces saisons ne permettait pas de conserver correctement les cadavres.

Ces conférences de chimie au Jardin du Roy (figure 2) ou dans son laboratoire de la place Maubert (il était à l'époque courant pour les Professeurs d'université y compris à Montpellier de dispenser des enseignements particuliers contre rétribution) furent aussi suivies par de nombreux chimistes comme Venel, Macquer (1718-1784), Brogniart (1770-1847) ou Lavoisier ainsi que par de grandes figures des Lumières comme Condorcet, Turgot, Rousseau ou Diderot. Scientifiques et philosophes n'étaient cependant pas les seuls à se presser à ces exposés reflétant un engouement populaire pour les sciences que nous aimerions voir se poursuivre à l'heure actuelle.

Les cours de Rouelle constituaient un véritable spectacle au cours desquels il affirmait ses opinions avec véhémence se débarrassant parfois de son habit et de sa perruque devenus trop encombrants. Dans sa distraction, il provoqua à plusieurs reprises des explosions dont l'une coûta la vie à l'un de ses assistants. Ce personnage haut en couleurs fut aussi un novateur avec, par exemple, une classification des sels acides, neutres et basiques (figure 3). Ses cours n'ont jamais été publiés, bien qu'il se soit décidé à écrire à la fin de sa vie, et nous n'en avons conservé que des notes prises par plusieurs de ses élèves.

L'un de ses élèves les plus talentueux fut Gabriel-François Venel déjà cité. Auteur prolifique, il fut le rédacteur de très nombreux (673) articles de l'Encyclopédie traitant de médecine et de chimie. Après un début de carrière parisienne, il revint à Montpellier comme Professeur de Médecine, mais enseigna aussi la pharmacie et la chimie et eut entre autres Lavoisier comme élève. Il fut nommé membre de la Société Royale des Sciences de Montpellier en 1768. Il fut l'un des premiers à distinguer chimie et alchimie. Il aura aussi pour mérite d'établir une liste des très nombreux domaines que les progrès de la chimie, quelque fragmentaires qu'ils aient été à l'époque, vont influencer tels la métallurgie, la poterie, la pharmacie ou la médecine. Ceci va se refléter dans la liste des articles de l'Encyclopédie consacrés à la chimie : « Chimie, pharmacie et matière médicale » ou « Médecine, diète et chimie ».

En 1753, dans le tome III de l'Encyclopédie, il défendait ardemment la chimie : « *Il est clair que la révolution qui placera la chimie dans le rang qu'elle mérite, qui la mettra au moins à côté de la physique calculée, que cette révolution, dis-je, ne peut être opérée que par un chimiste habile, enthousiaste et hardi, qui, se trouvant dans une position favorable, et profitant habilement de quelques circonstances heureuses, saura réveiller l'attention des savants, d'abord par une ostentation bruyante, par un ton décidé et affirmatif, et ensuite par des raisons, si ses premières armes avaient entamé le préjugé* ».

4. De l'histoire naturelle à la biologie : de la classification à la compréhension

Tout comme pour la chimie, l'observation influencera les sciences naturelles, faisant évoluer son caractère de classification vers celui de compréhension, démarche

sous-tendue par l'idée d'évolution. Une découverte primordiale fut celle du microscope en 1590, invention aussi déterminante que le fut celle de l'imprimerie, plus d'un siècle plus tôt, en 1450.

Le début de l'anatomie végétale date de cette époque, et moins d'un siècle plus tard, en 1682, le botaniste John Ray (1627-1705) répertoriait déjà 18.655 plantes. [Guyénot]

Alors que jusqu'à la fin du XVII^{ème} siècle, la classification des animaux d'Aristote s'imposait, Robert Hooke (1635-1703), grâce à ses observations au microscope, employa le mot cellule en 1667 et dessina ses premières observations de coupes d'écorce.

Tout comme pour la chimie, engluée dans les traditions, la scolastique, les croyances inspirées de la tradition biblique, la pensée des scientifiques générant des hypothèses stériles, d'incroyables stupidités entrecoupées d'éclairs de génie, mais qui sclérosait les progrès de la connaissance.

Le brassage des idées encyclopédiques a permis à l'esprit humain de devenir plus exigeant en pratiquant l'observation directe, l'expérimentation et le perfectionnement des méthodes. Les manipulations chimiques issues de l'alchimie ont certainement favorisé ces courants de pensée.

Les philosophes de l'Encyclopédie préparèrent l'arrivée de la théorie transformiste sur l'évolution de Lamarck (1744-1829), prémisse au darwinisme qui montra que l'évolution se fait par sélection naturelle.

Ces méthodes expérimentales ont diffusé jusqu'en médecine. Le XIX^{ème} siècle fut fortement marqué par la pensée de Claude Bernard (1813-1878) qui a montré que la science moderne se règle sur l'expérience en se dégagant des principes, favorisant l'esprit critique (figure 4).



Figure 4 : Claude Bernard donnant une leçon de physiologie. « Il faut admettre comme axiome expérimental, que chez les êtres vivants aussi bien que dans les corps bruts les conditions d'existence de tout phénomène sont déterminées d'une manière absolue (...). Tous les phénomènes de quelque ordre qu'ils soient existent virtuellement dans les lois immuables de la nature, et ils ne se manifestent que lorsque leurs conditions d'existence sont réalisées ».

Peinture de Léon Lhermitte, Académie nationale de Médecine.

4.1. Avènement de la biochimie contemporaine

Libérée des concepts alchimiques et du vitalisme, forte de la méthode expérimentale, la biologie pouvait alors se développer car l'interprétation des processus de la vie avait longtemps manqué de bases indispensables et d'outils d'expérimentation que ne pouvaient fournir ni la physique, ni surtout la chimie de l'époque.

Bien que tous les détails du fonctionnement des organismes vivants ne nous soient toujours pas connus, nous avons progressé de manière spectaculaire dans leur connaissance au cours du XX^{ème} siècle. Nous pouvons désormais affirmer qu'une cellule (figure 5a) est une véritable usine chimique obéissant aux lois de la chimie et de la physique (figure 5b).

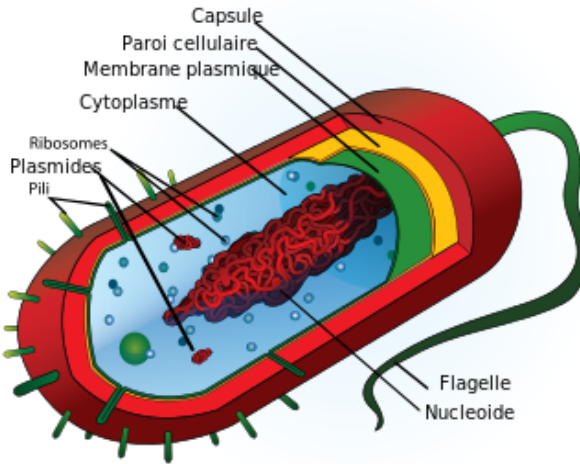


Figure 5a : Constitution d'une cellule

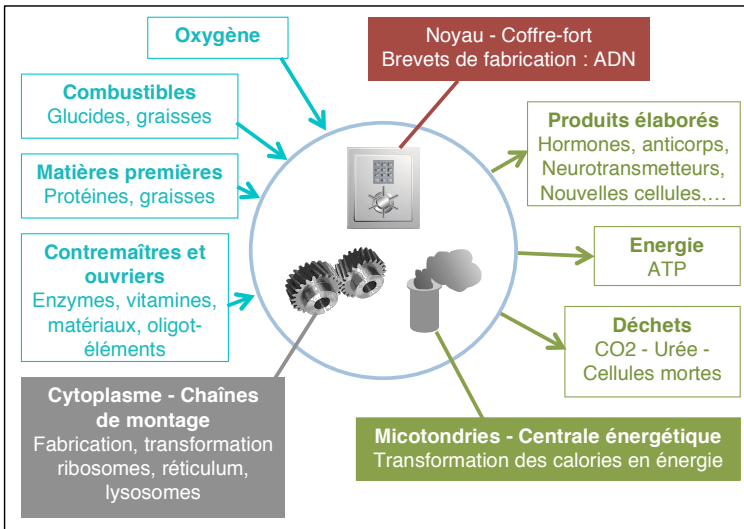


Figure 5b : Fonctionnalités d'une cellule : une petite usine à fabriquer la vie

Les cellules végétales sont assez extraordinaires en termes d'autonomie dans la mesure où elles sont capables de synthétiser des centaines de molécules très complexes appelées macromolécules (comme des protéines, des acides nucléiques ou des lipides) à partir d'eau, de dioxyde de carbone et d'azote réduit en utilisant comme seule source d'énergie la lumière solaire. Nous sommes un peu plus dépendants de notre environnement qui devra nous procurer vitamines ou acides aminés essentiels, mais n'en sommes pas moins capables d'effectuer de manière parfaitement coordonnée et contrôlée la synthèse de très nombreux composés chimiques.

Ces milliers de biomolécules dont sont composés tous les êtres vivants sont bâtis à partir d'un nombre très restreint d'éléments dont principalement le carbone, l'hydrogène, l'azote et l'oxygène. Nos cellules font donc essentiellement de la chimie

organique. Pourquoi avoir sélectionné ces quelques éléments parmi les dizaines d'éléments stables que répertorie le fameux tableau de Mendeleïev? (figure 6)



Figure 6 : Tableau périodique des éléments. Quatre composants de base suffisent pour qu'il y ait vie :

- Carbone
- Hydrogène
- Azote
- Oxygène

L'atome de carbone a pour propriété d'être capable de former des liaisons stables (jusqu'à quatre) avec d'autres atomes, par exemple l'hydrogène (dans la molécule de méthane) ou d'autres atomes de carbone. Chaque atome de carbone occupera alors le centre d'une structure à trois dimensions qu'on appelle un tétraèdre. On peut facilement comprendre qu'il est ainsi possible de générer une grande variété de structures tridimensionnelles qui se retrouvent, par exemple, dans les protéines.

Les acides aminés constitutifs d'une protéine s'enchaînent les uns aux autres selon un plan déterminé génétiquement pour former la structure dite primaire. De nombreuses interactions, qu'il serait trop long de détailler ici, vont permettre à cette protéine de se replier et d'acquérir sa structure tridimensionnelle. C'est cette structure complexe qui assure à la protéine ses propriétés biologiques, sa spécificité et sa capacité à interagir avec d'autres composés cellulaires (figure 7).



Figure 7 : Élément de structure primaire d'une protéine : acide aminé (à gauche) et complexité d'une structure quaternaire d'une protéine (à droite).

Les progrès technologiques dans l'élaboration des moyens d'observation ont été déterminants. La mise en œuvre de techniques élaborées conjointement avec d'autres disciplines comme la physique est innovante, et ce, depuis les Lumières. À titre d'exemples, la microscopie électronique et la microscopie de fluorescence ont permis de décrire l'architecture cellulaire, et la diffraction aux rayons X, celle des protéines.

Cependant, la vie ne saurait exister sans sources d'énergie. Ces dernières sont indispensables pour passer d'un état moléculaire à un autre, comme en chimie. Pour qu'une réaction biochimique se fasse, l'énergie ne pourra évidemment pas provenir

d'un chauffage extérieur comme dans un laboratoire de chimie organique. Le secret de la machinerie cellulaire réside dans l'utilisation de catalyseurs (ou accélérateurs de la vitesse de réaction) très puissants et spécifiques que sont les protéines enzymatiques et, on l'a découvert avec surprise il y a quelques décennies seulement, des acides nucléiques à propriétés catalytiques, les ribozymes.

5. Biochimie et biotechnologies : à la croisée de la biologie et de la chimie

L'utilisation de ce potentiel chimique remarquable des êtres vivants est à la base de l'essor considérable des biotechnologies depuis quelques années, mais revenons brièvement à son histoire [Bourgoin-Voilard *et al.*]

Des boissons fermentées ont été produites plusieurs millénaires avant notre ère en Chine, en Mésopotamie ou en Égypte. Il faudra cependant attendre Louis Pasteur au XIX^{ème} siècle pour attribuer une base scientifique à la fermentation et entrevoir ses applications industrielles.

Comme souvent, les guerres vont donner une large impulsion au développement de la microbiologie industrielle avec la production de glycérol pour la fabrication des obus pendant la Première Guerre mondiale ou celle de pénicilline (découverte par Fleming) pendant la Seconde Guerre mondiale. La découverte du rôle de l'ADN comme support de l'hérédité va donner naissance à la fin des années 40 à l'essor de la génétique moléculaire et à une compréhension de plus en plus fine de la structure des gènes et de leur régulation. De nombreuses découvertes et d'importants développements technologiques, dont les stratégies de plus en plus performantes de séquençage des génomes ou de clonage des gènes, vont se succéder à partir des années 70. Elles vont permettre d'utiliser des organismes unicellulaires (comme des bactéries ou des levures) ou même des organismes pluricellulaires (comme des plantes) pour produire des molécules très variées qu'il aurait été difficile et coûteux, voire impossible, de synthétiser chimiquement. Il serait trop long et hors sujet d'en faire ici un inventaire détaillé, mais citons les protéines thérapeutiques comme l'insuline, les anticorps utilisés dans le traitement de cancers, ou encore les acides nucléiques utilisés dans de nombreux diagnostics et en thérapie génique.

Ces connaissances de plus en plus affinées de la structure des génomes et des mécanismes d'expression de leurs gènes ont aussi permis des avancées considérables dont nous ne faisons encore qu'entrevoir l'énorme potentiel d'applications. Nombreuses sont les maladies génétiques ou acquises dont nous comprenons maintenant les causes et les conséquences. L'identification du (ou des) gènes dont l'expression est anormale dans une pathologie est une première étape qui va permettre, par un travail souvent concerté des chimistes et des biologistes, de concevoir rationnellement ou de cribler dans des banques de molécules chimiques les médicaments du futur. Si l'altération responsable de la pathologie réside dans la structure d'un gène, il sera bientôt possible de remplacer *in situ* la région mutée ou manquante par son homologue fonctionnel. C'est ce que permettent déjà de faire, avec précision, des enzymes nouvellement découvertes agissant comme de véritables paires de ciseaux moléculaires.

Les applications des biotechnologies sont cependant loin de se limiter à la médecine. Elles ont déjà profondément modifié l'industrie agroalimentaire avec, par exemple, la production de levures génétiquement modifiées pour accroître l'efficacité des processus de fermentation, augmenter les qualités organoleptiques de certains

aliments ou leur conférer des qualités nutritionnelles accrues (augmentation du taux de vitamine D par exemple). Dans l'agriculture, les progrès de la microbiologie ont conduit à l'identification de microorganismes, ou à la modification du patrimoine génétique de nombreuses plantes, permettant de remplacer herbicides et pesticides, en dépit des réticences engendrées par l'utilisation des organismes génétiquement modifiés (les OGM).

La fermentation de biomasses a donné lieu à d'importantes applications industrielles et fait l'objet de nombreuses recherches (figure 8). À titre d'exemple, des acides organiques utilisés dans de nombreux procédés industriels comme l'acide citrique ou l'acide lactique sont issus de la fermentation de biomasse. Des biocarburants, du biogaz et d'autres composés chimiques peuvent eux aussi être produits par conversion microbienne de biomasse avec de sérieux espoirs de réduction de notre dépendance aux résidus fossiles non renouvelables. [Slater *et al.*]

Pour terminer ce rapide tour d'horizon, signalons l'utilisation de microorganismes pour la production de polymères biodégradables ou pour la dépollution de résidus industriels, domaines également en plein essor.

L'extraordinaire diversité des microorganismes (dont beaucoup ne sont d'ailleurs pas encore connus), leur capacité à s'adapter à des environnements très divers jusqu'aux plus extrêmes et la possibilité d'utiliser les ressources de la génétique pour en optimiser les propriétés permettent d'affirmer que nous ne sommes encore qu'au début de leurs nombreuses applications.



Figure 8 : Fermentation de biomasses. (www.congopage.org)

6. Conclusions : le message de l'Encyclopédie

La peur est ancestrale par ignorance et le débat autour des OGM est plus médiatique que scientifique. La plupart des plantes ou des animaux d'élevage dont nous nous nourrissons quotidiennement sont les produits de greffes, de croisements et de sélections, processus au cours desquels se sont faits des transferts de matériel génétique. De plus, la plasticité de nos génomes est désormais bien établie. Bien qu'il faille rester prudents, nous rejoignons Jean-Marie Lehn, prix Nobel de chimie (1987)

quand il affirme : « *Il ne faut pas occulter les bienfaits de la science et de ses applications: elles contribuent à résoudre les problèmes de l'humanité* ».

En conclusion, il paraît important de souligner encore la contribution fondamentale de l'Encyclopédie et de ne pas banaliser son message, celui du Principe du Libre Examen en particulier. Il faut au contraire le réaffirmer dans une période, nous en vivons la triste expérience, où obscurantisme et intolérance religieuse refont surface dans le monde.

Ce message est entendu régulièrement à l'Université Libre de Bruxelles fondée en 1834 par le juriste Théodore Verhaegen pour assurer un enseignement qui répande la philosophie des Lumières. Le premier article des statuts énonce le principe dit du libre examen : « *L'Université Libre de Bruxelles fonde l'enseignement et la recherche sur le principe du libre examen. Celui-ci postule en toute matière le rejet de l'argument d'autorité et l'indépendance du jugement* ». Ceci était rappelé solennellement par le Recteur de l'université lors de chaque rentrée académique et peut-être faudrait-il que de tels principes continuent à être rappelés à tous nos étudiants.

RÉFÉRENCES

- BACHELARD Gaston, *L'eau et les rêves*, Lib. José Corti, 1983 ; *La terre et les rêveries de la volonté*, Lib. José Corti, 1978
- BERTHELOT Marcellin, *Les origines de l'alchimie*. BnF collection ebooks (Edition 1885)
- BOURGOIN-VOILLARD Sandrine, RACHIDI Walid et SÈVE Michel, *Les biotechnologies en santé*, Tome 1. *Introduction aux biotechnologies en santé*, Lavoisier, 2015.
- GUYÉNOT Emile, *Les Sciences de la vie aux XVII^e et XVIII^e siècles. L'idée d'évolution*, Albin Michel, 1941.
- ROSMORDUC Jean, *Une histoire de la physique et de la chimie, de Thalès à Einstein*, Ed. du Seuil, 1985.
- ROSSI Paolo, *Aux origines de la science moderne*, Ed. du Seuil, 1999.
- SLATER Adrian, SCOTT Niger, W. et FOWLER Mark, R., *Plant biotechnology: the genetic manipulation of plants*, Oxford Univ. Press, 2^e édition, 2008.
- VIDAL Bernard, *Histoire de la chimie*, Que Sais-je ?, Presses Universitaires de France, 1985.

Nota : Les illustrations proviennent d'Internet.