

Histoires chimiques de bouillons et de pot-au-feu

Hervé This

Au commencement, il y avait la viande crue, que nos lointains ancêtres (étaient-ils des « êtres humains » ?) consommaient sans préparation [1]. Ils n'avaient pas besoin d'être très observateurs pour comprendre que la viande d'animaux fraîchement abattus durcit... mais il est vrai qu'ils en ignoraient la raison, à savoir que la contraction désordonnée des muscles, privés du contrôle cérébral, s'accompagne de l'accumulation d'acide lactique (la *rigor mortis* s'apparente à une contracture). Et, toujours sans intelligence particulière, ils savaient sans doute que la viande qui a durci finit par s'attendrir à nouveau [2]. En outre, même sans des sens particulièrement développés, ils savaient certainement que la viande bien rassise avait un goût différent de la viande prélevée sur un animal fraîchement abattu.

Puis il y eut le feu [3]. Le rôtissage est évidemment une opération toute simple, qui fait apparaître encore d'autres goûts... prisés même des animaux, notamment des grands singes [4] ! Toutefois, l'opération a l'inconvénient de contracter les chairs (pourquoi ? On le verra plus loin), ce qui fait couler des jus... qui sont perdus quand la viande est au-dessus du feu [5]. Pis encore, les graisses qui fondent font jaillir des flammes, qui noircissent la viande, lui donnant un goût âcre et un aspect sale...

... Alors que l'on sait bien que le feu chauffe dans toutes les directions, les rayonnements infrarouges étant insensibles (en première approximation) à la force de gravitation. Cela fut sans doute un progrès considérable que de comprendre que l'on pouvait mettre la viande devant le feu, et de ce fait, que l'on pouvait alors mettre un récipient (« lèchefrite ») sous la viande qui cuisait, afin de recueillir les jus et graisses expulsés lors de la contraction des tissus musculaires cuits. Cette récupération était-elle un perfectionnement « secondaire » ? Non, mille fois non : nous oublions trop souvent que nous sommes la première génération de toute l'histoire de l'humanité à ne jamais avoir souffert de la famine ! Nos ancêtres, sans l'appertisation, sans le froid, sans la connaissance des micro-organismes, sans l'acier inoxydable, devaient se battre contre la surproduction des fruits, en période de fructification, et la pénurie hivernale ; ils devaient préserver les moindres nutriments, de sorte que le rôtissage méritait des soins techniques particuliers.



Une autre façon de ne rien perdre des aliments cuits consiste à les traiter thermiquement, dans l'eau par exemple. C'est la « cuisson à l'anglaise » des légumes, et la famille technique des pot-au-feu, bouillons, ragouts, daubes... Nos ancêtres savaient creuser des fosses qu'ils tapissaient d'une peau de bête, emplissaient d'eau, et chauffaient à l'aide de pierres chauffées dans un foyer voisin. Au début du siècle, la pratique subsistait dans quelques régions du monde, mais on comprend qu'elle a été balayée par le « gaz à tous les étages » [6].

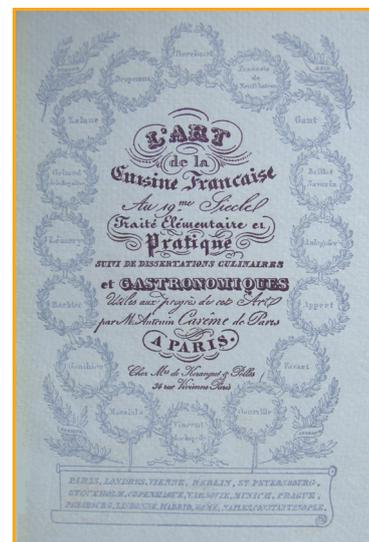
Toutefois, son importance historique est attestée par le fait que la très grande majorité des livres de cuisine en langue française (par exemple), depuis le *Viandier* de Guillaume Tirel, dit Taillevent, commencent par un chapitre sur le pot-au-feu, les bouillons, les consommés et potages. C'est seulement ensuite que, logiquement, les auteurs de ces livres donnent des recettes de sauces, ragouts et daubes, puisque le bouillon de viande préalablement obtenu peut alors servir de liquide de mouillement (les amateurs que nous sommes ignorent souvent que les cuisiniers professionnels savent que l'on ne mouille pas à l'eau, mais avec du bouillon, ou du vin, afin d'enrichir le goût... puisque tel est l'un des objectifs de la cuisine).

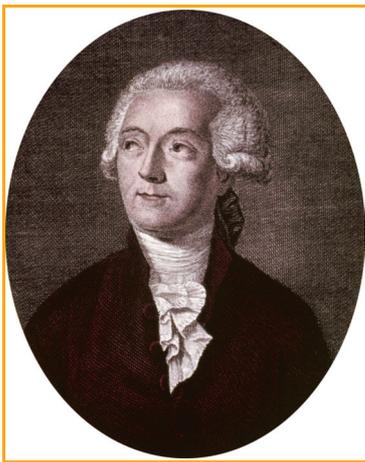
Bref, le pot-au-feu fut historiquement important... Au point que le grand Antoine-Laurent de Lavoisier l'a étudié ! Son article est d'une rare intelligence... qui ne doit pas nous étonner. Relisons-le [7].

Lavoisier, de la science et de la technologie

Le texte de Lavoisier commence par : « *La Société royale de médecine ayant été consultée, par le ministre de la marine, sur le régime qu'on doit faire observer aux malades dans les hôpitaux, elle s'est aperçue, dans les conférences nombreuses qui ont été tenues à cet effet, qu'on n'avait pas de connaissances assez précises sur la nature du bouillon qu'on donne aux malades, sur la proportion d'eau et de viande qu'on donne aux malades pour le composer, sur la quantité de matière gélatineuse ou extractive qu'il contient, sur les différences qu'apportent dans sa qualité les différentes espèces de viandes ; sur le degré de force que doit avoir le bouillon, suivant les différents états de maladie ou de convalescence ; enfin, sur les caractères au moyen desquels on peut connaître sa qualité.* »

C'est donc une commande de l'État à l'Académie des sciences, qui faisait office de bureau scientifique, technologique et technique. Cela étant, la tradition de donner des bouillons aux convalescents est intéressante et mérite une histoire séparée, puisque c'est ainsi que Justus von Liebig, plus tard, justifia d'abord les extraits de viande qu'il voulut commercialiser, en reprenant des idées d'Augustin Parmentier (dans un second temps, comprenant sans doute que l'énergie apportée ne pouvant être notable dans un cube





de bouillon, il cessa de prôner la qualité nutritive de ses extraits et mit en avant le goût).

Puis Lavoisier écrit : « *On ne peut s'empêcher d'être surpris, toutes les fois qu'on s'interroge soi-même sur les objets qui nous sont les plus familiers, sur les choses les plus triviales, de voir combien nos idées sont souvent vagues et incertaines, et combien, par conséquent, il est important de les fixer par des expériences et par des faits.* »

Ici, la phrase est intéressante en elle-même, mais aussi parce que, plus tard, Benjamin Thompson (1753-1814), anobli sous le nom de comte Rumford (il épousa d'ailleurs la veuve de Lavoisier), écrivit en 1798 : « *It is really astonishing how little attention is paid to events which happen frequently, however interesting they may be as objects of curious investigation, or however they may be connected with the comforts and enjoyments of life. Things near us, and which are familiar to us, are seldom objects of our meditations. How few persons are there who ever took the trouble to bestow a thought on the subject in question, though it is, in the highest degree, curious and interesting!* » Je m'étonne de ne pas avoir vu, après ces mots, de référence à notre grand chimiste français !

Revenons à nos bouillons. Lavoisier précise ensuite explicitement qu'il fait œuvre de technologie (l'application des sciences pour l'amélioration des techniques), et non de science : « *M. Geoffroy a communiqué à l'Académie des sciences, en 1730, un travail sur le même objet ; mais, comme son but était différent du mien, nous ne nous sommes rencontrés ni dans les moyens, ni dans les résultats. L'objet de ce chimiste était de connaître, par l'analyse chimique, la nature des différentes substances nourissantes, soit animales, soit végétales ; en conséquence, dans les expériences qu'il a faites sur les chairs des animaux, il les a successivement fait bouillir dans un grand nombre d'eaux différentes, qu'il renouvelait jusqu'à ce que la viande fût entièrement épuisée de toute matière extractive ; alors il faisait évaporer toute l'eau qui avait passé sur la viande, et il obtenait ainsi séparément toute la partie gélatineuse et extractive qu'elle contenait. Mon objet, au contraire, était d'acquérir des connaissances purement pratiques et de déterminer, non ce que la viande contient de substances gélatineuse et extractive, mais ce qu'elle en peut communiquer par une ébullition lente et longtemps continuée, à une quantité donnée d'eau.* »

Un modèle du bouillon

Arrêtons ici la lecture pour nous consacrer à la compréhension de la formation de ces « *solutions aqueuses obtenues par traitements thermiques de tissus musculaires de Bos taurus* » (bouillon de bœuf).

Au départ, il y a l'eau et la viande, c'est-à-dire le tissu musculaire (30 à 40 % de la masse d'un animal [8]), ensemble de cellules dotées d'une structure et d'une fonction commune : fixé aux os par des tendons, le tissu musculaire squelettique intervient généralement dans les mouvements volontaires du corps et dans les mouvements

réflexes associés à l'équilibre statique et dynamique [9]. Le muscle strié squelettique est constitué de cellules allongées : les fibres musculaires, disposées parallèlement. Associées en faisceaux, ces fibres sont rendues solidaires par des enveloppes essentiellement protéiques.

Au premier ordre, les fibres sont composées d'eau (76 %) et de protéines (22 %), de lipides (1-13 %) et d'oses (1 %) [10-11]. Les protéines sont soit les protéines qui assurent la contraction (actines, myosines), soit celles du tissu – collagénique – qui gaine les fibres ou les regroupe en faisceaux, superfaisceaux, super-superfaisceaux. On peut hésiter à écrire « le collagène est la protéine qui forme les tissus conjonctifs », ou bien « les collagènes sont des protéines qui cimentent les tissus », non pas en ce qui concerne la seconde moitié de ces phrases, mais surtout parce que, comme pour d'autres protéines (actine, myosine, etc.) ou polysaccharides, les diverses molécules de collagène ne sont pas toutes identiques.

Le tissu collagénique (façon commode d'éviter la question précédente) est le tissu protéique le plus abondant chez l'animal, présent dans les os, les tendons, les muscles [12], et la masse molaire des collagènes (cette fois, on prend un parti) est voisine de 300 000 [13]. Dans les muscles (sa proportion est de seulement 2 % des protéines totales), le tissu collagénique forme un réseau de fibres qui permet au muscle de résister à des tensions qui pourraient endommager les tissus, mais son rôle le plus important est la transmission efficace de la force contractile.

La structure du collagène

Il ne s'agit pas, ici, de faire un cours sur la constitution chimique des collagènes, mais il n'est pas inutile de savoir, pour comprendre la question étudiée par Lavoisier, que les collagènes forment une grande famille de protéines, partageant quelques traits communs, mais montrant également des différences importantes. Les collagènes qui forment des structures fibrillaires sont les types biochimiques I, II, III, V et XI ; les collagènes de type I sont majoritaires dans le muscle. Tous les gènes codant les chaînes α des collagènes fibrillaires descendent d'un ancêtre commun, mais la correspondance nucléotide/acide aminé n'est pas simple, puisque tous les collagènes subissent des modifications après la traduction.

Au premier ordre, les collagènes des viandes sont des répétitions de la séquence suivante résidu de glycine/ résidu X/résidu Y, où X et Y sont souvent la proline et l'hydroxyproline. D'ailleurs, ce dernier acide aminé est utilisé comme marqueur du collagène dans les tissus conjonctifs, car il est trouvé presque exclusivement dans les collagènes, dont il représente environ 13 % du contenu en résidus d'acides aminés [14-15]. Des modifications post-traductionnelles incluant l'oxydation de résidus de lysine et d'hydroxylysine en groupes aldéhyde, la glycosylation des résidus d'hydroxylysine en galactosyl- ou en glucosylgalactosyl-hydroxylysine, ou encore des glycosylations non enzymatiques [16] conduisent à la formation de produits glycosylés.

Comme les autres protéines, les collagènes ont une structure secondaire : leurs chaînes α se plient en hélices α droites, avec un pas d'environ 0,29 nm et une séparation angulaire de 108° [17], notamment en raison de la répulsion stérique des résidus de proline et des résidus d'hydroxyproline. Puis, selon le type de collagène et le tissu considéré, les hélices α (de masse molaire égale à 95 000 ou 120 000) peuvent être homo- ou hétéro-trimères. La formation de la triple hélice

mène à celle d'une longue tige, avec une structure raide mais flexible, de 1,5 nm de diamètre et plus de 300 nm de long, terminée aux deux extrémités par des domaines globulaires. Sous cette forme, nommée procollagène, la molécule est excrétée dans l'espace extracellulaire. La structure du collagène est stabilisée par des interactions polaires, hydrophobes et autres non covalentes et, à un niveau d'organisation supérieur, par des réticulations covalentes.

Retour au bouillon

Si le tissu musculaire est composé de nombreuses molécules, le génie de Lavoisier fut notamment de comprendre que le bouillon de viande est composé essentiellement d'eau et de protéines, mais, surtout, de caractériser les bouillons par leur densité (« pesanteur spécifique »). Lavoisier utilisait à cette fin un « pèse-liqueur », mais il l'utilisait d'une façon merveilleuse, qui montre combien la chimie a été en avance sur la physique.

Avant d'en venir à ce point particulier, il n'est pas inutile de rappeler que Jacobus Henricus van't Hoff dessinait, dès 1874, des conformations spatiales de cycles, précédant de beaucoup les physiciens dont on a fautiveusement dit qu'ils auraient montré l'existence des molécules (Jean Perrin, Albert Einstein) ! Lavoisier, lui, précéda Antoine-Marie Ampère dans la mise au point de la « méthode du zéro » (on rappelle qu'il s'agit de devenir capable de mesurer de petites variations de courant électrique, par exemple dans un signal très intense, en soustrayant à ce signal très grand un signal très grand, constant, de même ordre de grandeur que le premier).

Lavoisier écrit ainsi : « *Le pèse-liqueur dont je me sers est un cylindre creux formé d'une feuille d'argent mince, assez forte cependant pour ne pas se plier et se déformer quand on essuie l'instrument. Ce cylindre est lesté par le bas avec de l'étain fin, et il est surmonté, à son extrémité supérieure, par une tige de fil d'argent de $\frac{3}{4}$ de ligne environ de diamètre, à laquelle est adapté un petit godet destiné à recevoir des poids ; j'ai fait une marque sur la tige à l'endroit jusques auquel le pèse-liqueur doit être enfoncé. Lorsque cet instrument est construit et qu'il est lesté de manière à être un peu plus léger que le volume d'eau qu'il déplace, on le pèse à une balance très exacte, on le plonge dans de l'eau distillée, puis on ajoute, sur le petit bassin supérieur, le nombre de grains et de fractions de grain nécessaire pour le faire enfoncer jusqu'à la marque pratiquée sur la tige ; on fait la même opération avec la liqueur dont on veut déterminer la pesanteur spécifique, et par le rapport du poids total, tant du pèse-liqueur que des grains qui y ont été ajoutés, on conclut la pesanteur spécifique en millièmes. Le pèse-liqueur que j'emploie déplace un peu plus de 9 onces d'eau distillée. Je suis entré dans quelques détails sur cet instrument, parce qu'il peut être d'un usage commode dans un grand nombre d'opérations de pharmacie, et que, d'ailleurs, quoique je m'en serve habituellement, je n'en ai donné la description dans aucun autre mémoire. »*

Admirons ce beau morceau de « Matériels et méthodes », montrons-le en exemple aux étudiants (que nous n'oublions pas d'être : Michel Eugène Chevreul, alors centenaire, disait qu'il était le doyen des étudiants de France). Tout d'abord, il y a un calcul simple à faire pour montrer que les pèse-liqueurs et autres aéromètres ne sont précis que si le diamètre de la tige émergente est très petit : l'importance de la variation de hauteur du pèse-liqueur varie comme le carré du rayon. D'autre part, l'idée de la cupule supérieure, et des masses que l'on pèse, ramène la question des densités à des mesures de

masses, extrêmement précises. Surtout, nous avons ici la merveilleuse méthode du zéro, inventée par notre grand Lavoisier. Quel homme !

Évidemment, la mesure d'une densité n'éclaire pas la question de la composition, mais il fallut attendre bien longtemps pour que l'on puisse interpréter les faits établis par Lavoisier (il s'intéressait à la question de savoir si l'on extrait plus de « matière » de la viande en cuisant dans beaucoup d'eau qu'en cuisant dans peu d'eau). Il fallut l'idée de molécules, l'idée de polymère et nos données actuelles sur l'hydrolyse de la liaison pour comprendre enfin que les bouillons doivent être cuits longuement, afin de bien dissocier le tissu collagénique, et, aussi, d'hydrolyser le collagène en acides aminés, savoureux.

Le bouillon ? Des protéines et des acides aminés en solution, avec en plus quelques composés qui contribuent à la saveur, à l'odeur, aux sensations trigéminales (le piquant, le frais...), à la consistance. Plus la cuisson est longue, plus la consistance et la saveur s'enrichissent [18-19], mais le chimiste sait que le couvercle s'impose, parce qu'il évite alors l'entraînement à la vapeur d'eau des composés odorants !

Références

- [1] Je sais que c'est la règle, mais faut-il vraiment une référence scientifique ? À qui doit revenir la charge de la preuve ?
- [2] Warriss P.D., *Meat science - An introductory text*, 2nd ed., CABI Publishing, 2010.
- [3] Webb J., Domanski M., Fire and stone, *Science*, 2009, 325(5942), p. 820.
- [4] Wobber V., Hare B., Wrangham R., Great apes prefer cooked food, *Journal of Human Evolution*, 2008, 55, p. 340.
- [5] Bailey A.J., The role of collagen in the development of muscle and its relationship to eating quality, *Journal of Animal Science*, 1985, 60, p. 1580.
- [6] Luquin A., March R., Méthodes de cuisson pré et protohistoriques : le cas du bouilli, une approche expérimentale, *Le feu domestique et ses structures au Néolithique et aux âges des métaux*, Éditions Montagnac, Rennes, 2003.
- [7] de Lavoisier A.L., Mémoire sur le degré de force que doit avoir le bouillon, sur sa pesanteur spécifique et sur la quantité de matière gélatineuse solide qu'il contient, Expériences de novembre 1783, *Œuvres complètes, t. III*, p. 563.
- [8] Renou J.P., NMR studies in meat, *Annual reports on NMR spectroscopy*, 1995, 31, p. 313.
- [9] Campbell N., Anatomie et croissance des végétaux, *Biologie*, De Boeck-Wesmael, 1995.
- [10] Bertram H.C., Purslow P.P., Andersen H.J., Relationship between meat structure, water mobility and distribution: a low-field nuclear magnetic resonance study, *J. Agric. Food Chem.*, 2002, 50, p. 824.
- [11] Renou J.P., Foucat L., Bonny J.-M., Magnetic resonance imaging studies of water interactions in meat, *Food Chemistry*, 2003, 82, p. 35.
- [12] Von Hippel P.H., Gallop P.M., Seifter S., Cunningham R.S., An enzymatic examination of the structure of the collagen macromolecule, *JACS*, 1960, 82, p. 2774.
- [13] Miles C.A., Bailey A.J., Studies of the collagen-like peptide (Pro-Pro-Gly)₁₀ confirm that the shape and position of the type I collagen denaturation endotherm is governed by the rate of helix unfolding, *J. Mol. Biol.*, 2004, 337, p. 917.
- [14] Delmas P.D., Malaval L., The proteins of bone, *Pharmacology*, 1993, 107, p. 673.
- [15] Belitz H.-D., Grosch W., Schieberle P., *Food chemistry*, 3rd ed., Springer-Verlag Berlin-Heidelberg GmbH & Co, 2004.
- [16] Reiser K.M., Amigable M.A., Last J.A., Nonenzymatic glycation of type I collagen, *J. Biol. Chem.*, 1992, 267-234, p. 24207.
- [17] Ottani V., Martini D., Franchi M., Ruggeri A., Raspanti M., Hierarchical structures in fibrillar collagens, *Micron*, 2002, 33, p. 587.
- [18] Cazor A., *Identification des modifications chimiques et microstructurales de végétaux et de muscle de Villares gallinae lors d'un traitement thermique dans l'eau*, Thèse de doctorat, Université Paris 6, 2007.
- [19] This H., Méric R., Cazor A., Lavoisier and meat stock, *C. R. Acad. Sci. Chimie*, 2006, 9(11-12), p. 1511.



Hervé This

est physico-chimiste INRA* et directeur scientifique de la Fondation « Science et culture alimentaire » de l'Académie des sciences.

* Équipe de gastronomie moléculaire, UMR 1145, INRA/Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement (AgroParisTech), 16 rue Claude Bernard, 75005 Paris.
Courriel : herve.this@paris.inra.fr
<http://sites.google.com/site/travauxdehervethis>