

Histoire de soufflés

Hervé This

Les échanges avec des lecteurs de *L'Actualité Chimique* me montrent à l'envi que ce que je crois connu de tous ne l'est pas. Par exemple, j'étais effaré, récemment, d'apprendre qu'un collègue chimiste ignorait que le blanc d'œuf était composé de 90 % d'eau et de 10 % de protéines, environ... mais je me suis repris : pourquoi ce collègue qui, de son côté, savait parfaitement le mécanisme de la synthèse de la 1-phénylisoquinoline de Bischler-Napieralski, se serait-il encombré l'esprit avec une donnée si particulière ? Du coup, je me suis souvenu que je n'avais pas fait état, dans ces pages destinées à la communauté des chimistes, de résultats obtenus à propos des soufflés, même si j'ai publié certains de ces résultats dans d'autres revues [1]. D'ailleurs, des décennies d'étude des mécanismes des transformations culinaires (« gastronomie moléculaire ») m'ont montré qu'il était temps de donner une perspective plus large que je ne le faisais par le passé. Considérons donc le soufflage, en général.

Longtemps, les cuisiniers ont pensé que « l'œuf fait souffler ». La « preuve » ? Les soufflés contiennent de l'œuf (pour les références à des « recettes », voir par exemple [2]), et ils soufflent (dans les bons cas) ; les choux et leurs dérivés, telles les gougères, soufflent également, et ils contiennent de l'œuf ; nombre de gâteaux, des biscuits à la cuiller jusqu'au quatre quarts, soufflent, et ils contiennent de l'œuf. L'œuf aurait-il donc une « vertu soufflante » ?

Le chimiste, lui, a de quoi être sceptique, car il a réussi à se dégager de la gangue des croyances pour atteindre le ciel des théories établies par la méthode hypothético-déductive et, sachant que le blanc d'œuf est d'environ 90 % d'eau et 10 % de protéines [3], que le jaune est fait de 50 % d'eau, 15 % de protéines et 35 % de lipides, il comprend mal pourquoi l'œuf aurait des vertus soufflantes en tant qu'œuf. D'autant que le pain ou les pommes de terre gonflent aussi à la cuisson, alors qu'ils ne contiennent pas d'œuf [4] !

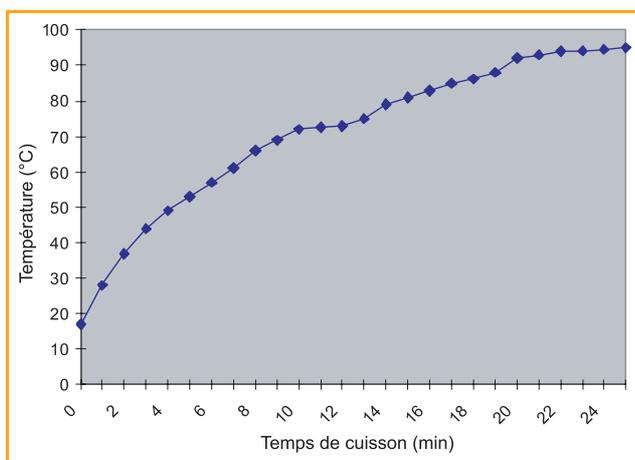


Figure 1 - Suivi de la température au cours du temps dans un soufflé au fromage cuit dans un ramequin de 10 cm de diamètre et de 10 cm de hauteur.

Le ramequin était initialement rempli jusqu'à une hauteur de 8,2 cm.

Analysons le cas du soufflé, par exemple. Pour un soufflé au fromage, on part d'un velouté, c'est-à-dire essentiellement une suspension émulsionnée de grains d'amidon gélatinisés en solution aqueuse. Stop ! La description non formelle est devenue incompréhensible. Reprenons donc le formalisme CDS introduit il y a quelques mois [5] et récemment perfectionné [6]. La recette stipule de partir de farine et de matière grasse que l'on chauffe : la farine est essentiellement faite de grains d'amidons et de protéines. Lors du traitement thermique, une foule de transformations moléculaires ont lieu, à commencer par la dégradation des protéines (la preuve : la farine traitée thermiquement n'est plus propre à faire du pain). Puis l'ajout d'un liquide (souvent du lait, c'est-à-dire une émulsion de type eau dans huile W/O) et un second traitement thermique conduit à la libération dans la solution aqueuse de molécules d'amylose, libérées par les grains d'amidon, tandis que des molécules d'eau s'infiltrèrent entre les molécules d'amylopectine (W/S). Le « roux s'empêse », disait-on naguère ; on dirait aujourd'hui que l'amidon se gélatinise, ou que des micro-gels se forment ; ils sont dispersés dans la solution aqueuse, où la matière grasse est émulsionnée, d'où la formule $(O + (W/S))/W$, pour décrire le système colloïdal qu'est le velouté. Ajoutons du fromage, du sel, du poivre... et quand la température est inférieure à 60 °C environ, ajoutons les jaunes d'œufs et le fromage.

À ce stade, observons que nous avons déjà modernisé la recette en la rationalisant : les cuisiniers de naguère se contentaient de dire qu'il fallait « ajouter les jaunes d'œufs deux par deux » [7]. Étrange prescription que nous pouvons aujourd'hui interpréter en supposant que les praticiens avaient perçu que l'ajout des jaunes tous ensemble, à une température supérieure à celle de coagulation des jaunes, « cuisait » ces derniers ; l'ajout progressif donnait du temps à la préparation pour refroidir, de sorte que si les premiers œufs ajoutés coagulaient, les derniers conservaient leurs protéines dans un état natif, susceptible de...

N'anticipons pas. Nous avons maintenant une préparation aqueuse, majoritairement, avec des protéines susceptibles de « coaguler » la masse, c'est-à-dire de former un gel chimique par l'établissement de ponts disulfures. À cette masse, la recette stipule d'ajouter une mousse de blancs d'œufs battus en neige, c'est-à-dire en réalité une préparation thermiquement isolante, apportant de l'eau et des protéines susceptibles de coaguler. Thermiquement isolante : je recommande, pour le montrer expérimentalement, l'expérience qui consiste à utiliser un blanc d'œuf que l'on bat en neige et que l'on sucre ; on dépose la mousse sur un carreau de paille, avec un thermocouple dessous, et on chauffe la mousse à l'aide d'un chalumeau ; la température indiquée par le thermocouple n'augmente que très lentement, malgré la température élevée de la flamme.

Revenons à notre système, dont la formule est maintenant $G/[(O + (W/S))/W]$. Cet « appareil » (le mot que les cuisiniers donnent à des préparations destinées à être cuites) est mis dans un ramequin beurré et fariné, puis il est enfourné, à la température de 200 °C environ.

Quelques réflexions, pendant la cuisson

À la relecture de ce qui précède, j'entends certains de mes chers collègues dire que tout cela manque de rigueur. Pour eux, j'ai produit le document suivant :

« Dans un contenant thermorésistant et de conductivité thermique supérieure à $10 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ sont d'abord placés 50 g d'un système physico-chimique complexe de type (W/O)/S ; dans ce système, W représente une solution aqueuse ionique (concentration en ions calcium II : environ 0,01 M) de divers oses (principalement du β -D-galactopyranosyl-(1→2)- α -D-glucopyranoside), avec diverses protéines en solution (notamment β -lactoglobuline : 3,2 g/L ; α -lactalbumine : 1,2 ; sérum albumine : 0,4 ; immunoglobulines : 0,8 ; protéases, peptides : 1,0) ; O représente une fraction lipidique à l'état liquide (la proportion dépend de la température) ; et S représente, sous la forme solide, le complément à 100 % de la fraction lipidique/liquide. Un premier traitement thermique (application d'une température de 100 °C jusqu'à disparition de la recondensation de la phase vapeur formée) conduit à une vaporisation partielle de la phase aqueuse et à la liquéfaction complète de la phase lipidique, tandis que certaines protéines sont dénaturées, et éventuellement, agrégées par la formation de ponts disulfure. Sont alors ajoutés 50 g d'un milieu granulaire obtenu par division des graines de *Triticum triticum* jusqu'à obtention de granules complexes formés par association dirigée, lors de la phase végétale de stockage, de deux polymères, respectivement linéaires et ramifiés, dont les monomères sont des unités D-glucosyle liées par les liaisons α -(1,4) (ou α -(1,6) pour les ramifications). Un deuxième traitement thermique (maintien d'une température de 100 °C \pm 4 °C pendant 1 min) engendre des modifications chimiques mal connues, que l'on peut caractériser par une diminution d'environ 50 % du paramètre L^* dans le système CIELAB⁽¹⁾. Puis sont ajoutés 150 mL d'une émulsion dont la phase aqueuse contient notamment 4,9 % d'oses divers, avec 3,5 % de lipides, la dispersion des globules gras étant assurée par des assemblages complexes de protéines et de paracasinate de calcium. Le système est agité mécaniquement (*Rotavax* modèle 2000, 7 t/s), tandis qu'un troisième traitement thermique est appliqué (augmentation de la température jusqu'à l'obtention d'une température de 100 °C dans l'ensemble du système). Après l'arrêt de ce traitement, lorsque la température du système est devenue inférieure à 62 °C, 120 g de vitellus de *Gallus gallus* sont ajoutés, puis 120 g d'albumen préalablement séparés, foisonnés jusqu'à stabilisation du volume de mousse G/W (diamètre des bulles de gaz inférieur à 0,1 mm). L'ensemble est malaxé jusqu'à disparition de zones de type G/W de diamètre supérieur à 1 cm. Après un éventuel transvasement du système dans un récipient dont la partie inférieure doit avoir une conductivité thermique aussi élevée que possible, un dernier traitement thermique est appliqué (180 °C, 20 min) » [5].

Chers collègues, n'est-ce pas inutilement compliqué ?

L'œuf fait moins souffler que l'eau

Le soufflé cuit : progressivement, il gonfle, « souffle ». Pourquoi ? Le *Larousse gastronomique*, repris par nombre d'ouvrages de cuisine, a longtemps expliqué que l'air des bulles du blanc battu en neige se dilatait [2]. C'est exact que l'air chauffé se dilate, mais pas au point d'expliquer le gonflement du soufflé. Si l'air est assimilé à un gaz parfait,

l'équation d'état $PV = nRT$ conduit à un bien faible gonflement. Supposons en effet que la pression reste constante et égale à la pression atmosphérique, le soufflé gonflant précisément pour équilibrer les pressions interne et externe ; supposons que la masse d'air emprisonnée ne change pas au cours de la cuisson ; supposons que la température initiale soit égale à 293 K et que la température soit égale à... combien, au fait ?

Dans les années 1980, avec mon ami Nicholas Kurti (1908-1998), nous avons mesuré la température dans nombre de soufflés : dans des ramequins étroits à bords élevés, dans des ramequins larges à bords bas, dans des ramequins en porcelaine, en acier inoxydable... mais nous avons été surpris de voir que la température restait inférieure à 70 °C environ (*figure 1*). Faisons le calcul suivant :

$$P_f V_f / P_i V_i = T_f / T_i$$

les indices i représentant l'état initial et les indices f l'état final. On obtient un volume final V_f égal à $P_i V_i T_f / T_i P_f$, qui se simplifie en $V_i T_f / T_i$. Avec les valeurs numériques indiquées précédemment, on obtient un volume final égal à 1,17 fois le volume initial.

Bien sûr, il faut discuter les hypothèses. D'abord, il est exact que si la température atteint 200 °C à la surface extérieure, elle atteint toutefois 100 °C à l'intérieur de ce qui devient une croûte, dont l'épaisseur augmente progressivement. Autrement dit, la température varie en fin de cuisson entre 100 et 70 °C, à l'intérieur. Supposons, pour obtenir une borne supérieure du gonflement prédit, que la température soit de 100 °C : le volume final ne serait que 1,27 fois le volume initial. La pression augmenterait ? On voit que, cette fois, le taux de gonflement tend à diminuer, et ce n'est donc pas en mesurant la pression dans le soufflé (*figure 2*) que l'on parviendra à expliquer les 200 à 300 % de gonflement qu'obtiennent certains cuisiniers.

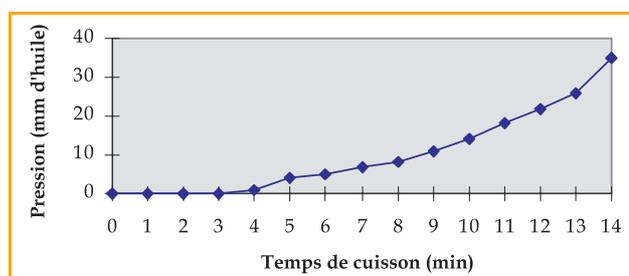


Figure 2 - Suivi de la pression dans un soufflé (en mm d'huile).

Ici, je dois faire état de mes insuffisances : quand nous avons commencé ces études, et que régnait la théorie de la dilatation des bulles d'air, ce fut une sorte de victoire sur l'Everest que de comprendre que seule l'évaporation de l'eau pouvait expliquer les gonflements. Piètre découverte ! Il suffisait, en réalité, de regarder à travers la porte du four pour voir que des bulles venaient crever en surface des soufflés. Il suffisait de peser un soufflé avant et après cuisson pour comprendre qu'une préparation de 300 g environ perdait 10 g... d'eau, nécessairement ! Pourquoi avons-nous eu tant de mal à comprendre ? Rétrospectivement, je crois que les mesures de la température au centre des soufflés, au cours du temps de cuisson, nous ont fourvoyés : nous voyions parfois la température augmenter, puis décroître... ce qui laissait imaginer des mécanismes compliqués, alors qu'en réalité, c'est la montée de couches froides jusqu'au niveau



Figure 3 - Le secret des soufflés ? À rechercher dans l'œuf !

du thermocouple qui était en cause. Bref, nous n'avons pas été bien malins.

Tiens, à l'heure où paraît le *Cours de gastronomie moléculaire n° 1* sur le thème des relations entre science et technologie [8], il n'est pas déplacé de nous interroger sur la nature du travail précédemment rapporté. Oui, la confection d'un soufflé est un travail technique, de *techne*, « faire ». L'étude (*logos*, en grec) de la réalisation des soufflés pourrait donc se nommer « technologie »... si, par ailleurs, on ne nommait pas « science » la recherche des mécanismes des phénomènes. Le gonflement des soufflés étant un phénomène, l'étude de ce phénomène est un travail scientifique, pas technologique, et il faut, en conséquence, nommer technologie la recherche des applications de la science, ce qui n'était pas le cas de nos études des soufflés.

Une foule de précisions

Revenons à de vraies questions. Certains chefs (trois étoiles Michelin) disaient que les blancs d'œufs battus en neige faisaient des soufflés mieux gonflés, et d'autres (également trois étoiles Michelin) disaient, au contraire, que les blancs d'œufs ne devaient pas être trop fermes pour que les soufflés gonflent bien [9]. Que penser ? La *figure 3* montre deux soufflés identiques, à l'exception de la fermeté des blancs : c'est le soufflé avec les blancs les plus fermes qui monte le mieux... et c'est une sorte d'évidence pour qui comprend le mécanisme du gonflement des soufflés.

D'une part, les soufflés gonflent non pas parce qu'ils contiennent de l'œuf, ni parce que l'air se dilate, mais surtout parce que l'eau de l'appareil s'évapore (on se souvient qu'une mole d'eau, soit 18 g, engendre 22,4 L de vapeur dans les conditions standard de température et de pression, donc davantage à 100 °C). On observera d'ailleurs que toutes les préparations culinaires qui soufflent le font parce que de l'eau s'évapore. D'où une première règle technologique : pour faire gonfler davantage, il vaut mieux chauffer par la base que par le sommet, afin que la vapeur engendrée par le chauffage soulève les couches supérieures de l'appareil. Notons aussi que, si toute l'eau de l'appareil était évaporée, un soufflé préparé à partir de trois œufs, 250 mL de lait, 80 g de fromage, 40 g de farine pourrait atteindre un volume de plus de 250 L !

Cette théorie permet de mieux comprendre l'influence de la fermeté des blancs d'œufs battus en neige : si les bulles

de vapeur sont dans un milieu de faible viscosité, alors elles peuvent le traverser et s'échapper par la partie supérieure du soufflé ; en revanche, si l'appareil est bien ferme, alors les bulles de vapeur, qui ne pourront pas le traverser facilement, soulèveront mieux le soufflé et assureront un meilleur gonflement.

Troisième conséquence technologique de l'étude scientifique du soufflé : si un soufflé perd environ 10 g d'eau au cours de la cuisson, on voit que les gonflements couramment obtenus ne sont pas à la hauteur des possibilités. En retenant toute la vapeur, on devrait pouvoir former environ 10 L de soufflé avec 300 g d'appareil. Comment ? En rendant la surface imperméable aux bulles de vapeur. S'impose notamment de faire croûter la surface, avant ou pendant la cuisson.

Évidemment, bien des phénomènes que nous n'avons pas considérés jusqu'ici ont lieu lors de la cuisson : de l'empesage de l'amidon à la coagulation des protéines de l'œuf, dans la matière colloïdale où sont dispersées les bulles d'air et de vapeur. Certains ont été évoqués dans de précédents articles, et d'autres méritent que l'on s'y arrête un peu plus qu'au détour d'un article consacré aux soufflés.

Au fait, tout ce que nous avons examiné est-il de la chimie ? Loi des gaz parfaits, changement d'état, viscosité... font craindre qu'un tel article trouve mieux sa place dans le *Bulletin des physiciens*... sauf que la description serait bien appauvrie, sans la perspective moléculaire qui est celle du chimiste. Vive la chimie !

Notes et références

- (1) Le système CIELAB est un modèle de représentation des couleurs. L^* y représente la clarté, et vaut de 0 à 100.
- [1] This H., *Molecular gastronomy*, *Angew. Chem. Int. Ed. in English*, **2002**, *41*(1), p. 83.
- [2] *Larousse gastronomique*, Larousse, **2008**.
- [3] Thapon J.-L., Bougeois M., *L'œuf et les ovoproduits*, Tec et Doc, Lavoisier, **1994**.
- [4] This H., Kurti N., Soufflés, choux pastry puffs, quenelles and popovers, *The Chemical Intelligencer*, Springer Verlag, New York, **1995**, *1*, p. 54.
- [5] This H., Descriptions formelles pour penser... et pour la formulation, *L'Act. Chim.*, **2008**, *322*, p. 11.
- [6] This H., *Molecular gastronomy, a chemical look to cooking*, *Accounts of Chemical Research*, **2009**, *42*(5), p. 575, publié le 05/19/2009 sur www.pubs.acs.org/acr, doi10.1021/ar8002078.
- [7] Darenne E., Duval E., *Traité de pâtisserie moderne*, 1957, Flammarion, **1974**.
- [8] This H., *Cours de gastronomie moléculaire n° 1 : Science, technologie, technique... culinaires : quelles relations ?*, Quae Belin, **2009**.
- [9] Anonyme, *La cuisine à l'usage des familles*, par la Société des cuisiniers de Paris (le livre de la profession), Eyrolles, Paris (sans date), p. 322 : « Fouettez les blancs dans un bassin en cuivre non étamé jusqu'au moment où ils deviennent fermes au point de pouvoir être pris en bloc avec le fouet. Il n'est pas de soufflé possible si les blancs ne sont pas en neige très ferme. »



Photo : L. Monier

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 214, 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>