

La couleur des bouillons

Hervé This

Le bouillon de carotte semble piètre bombance... mais il réserve des surprises intellectuelles qui compensent largement son goût faible... que l'on peut toutefois augmenter à condition de disposer des clés du goût.



Le bouillon de carotte ? Rien de plus simple, semble-t-il : on épluche des carottes, on les coupe en rondelles, on les met dans de l'eau que l'on chauffe... Simple description, mais piètre protocole pour qui a la pratique de la science et sait, en conséquence, que l'on doit être en mesure de justifier toute particularité de la méthode expérimentale. Des carottes : de quoi s'agit-il ? Combien ? Des rondelles : de quelle taille ? De l'eau : laquelle ? Combien ? On chauffe : combien de temps et à quelle température ?

Oui, tout d'abord, dans une revue scientifique de bonne tenue, l'expression « bouillon de carotte » détonne, et il est exact que l'on devrait dire « solutions aqueuses obtenues par traitement thermique en solution aqueuse de racines de *Daucus carota* L. » [1]. Toutefois, on me passera l'expression, par souci de simplicité. D'autre part, il faut quand même signaler que la « recette » donnée initialement n'est pas une recette de cuisine : ce serait la moindre des choses, pour un cuisinier français, que de ne servir qu'un consommé de carottes, et non un bouillon de carottes, la différence étant dans la nature de la solution aqueuse utilisée, bouillon de volaille dans le premier cas, eau dans le second [2].

Cela dit, nous nous intéresserons ici moins au goût qu'à la couleur du bouillon... à cela près que le goût est une composante de la couleur, puisque l'on sent plus acides des vins légèrement teintés de vert par des colorants pourtant inodores et insipides [3], par exemple, ou bien que des professionnels de la dégustation du vin décrivent les vins par comparaison avec des objets de la même couleur : des objets de couleur rouge ou sombre pour décrire les vins rouges (griottes, framboise...) et de couleur claire pour décrire les vins blancs (lilas, havane, banane...) [4]. De fait, les cuisiniers ne sont pas étrangers à la pratique qui consiste à colorer les mets : certaines épices (safran, curry, rocou...) ou des extraits végétaux (le « vert » d'épinard, obtenu par broyage de feuilles puis séparation des pigments hydrophobes, par chauffage modéré) sont utilisés depuis

des siècles par les cuisiniers français. Les consommés n'échappent pas à la pratique : les livres de cuisine recommandent d'ajouter aux bouillons un demi-oignon roussi afin de leur communiquer une belle couleur ambrée.

Oui, car la couleur des bouillons – de carotte notamment – est paradoxale : les pigments de type caroténoïdes présents dans les carottes ne sont pas solubles dans l'eau [5] ! Pourquoi les bouillons auraient-ils alors une couleur ? Comment les bouillons de carotte auraient-ils une couleur orange ? Évidemment, la présence de doubles liaisons conjuguées sur les caroténoïdes (figure 1) fait penser au chimiste que ces molécules peuvent être sensibles à l'oxydation et à la chaleur, de sorte que des composés de dégradation pourraient passer en solution... mais que vaut cette intuition ? Et puis, si de tels produits passent en solution et viennent colorer le bouillon, il faut douter que la couleur du bouillon soit alors orange !

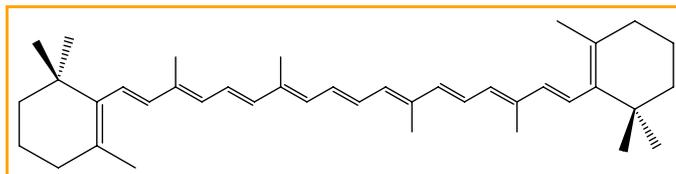


Figure 1 - Le β -carotène.

Le hasard sourit...

Toutes ces considérations nous « baladent », mais où irons-nous, ce mois-ci, dans cette rubrique affectée au Groupe français de chimie des aliments et du goût ? Je rappelle que cette rubrique n'est pas ma chronique, et je me réjouis que dans le numéro précédent, un collègue se soit lancé et ait proposé un texte – et j'invite les autres collègues à faire de même, évidemment !

Où allons-nous, donc ? Je veux montrer que des courbes de couleur souvent observées dans des publications scientifiques de science des aliments trouvent une explication toute évidente. Et les études que nous avons faites, dans l'équipe de gastronomie moléculaire, au cours de la thèse d'Anne Cazor et des études effectuées par quelques autres étudiants, nous serviront de support.

Puisque nos aliments sont principalement des tissus (végétaux ou animaux) traités thermiquement, soit dans l'air, soit en solution aqueuse, il était légitime que des études soient consacrées aux bouillons. Puisque la « gastronomie moléculaire » n'est pas de la « cuisine pour riches », en dépit de son nom – mais il faut rappeler que beaucoup d'entre nous confondent « gastronomie » avec « cuisine d'apparat », alors que le mot signifie en réalité « la connaissance raisonnée de tout ce qui se rapporte à l'être humain en tant qu'il se nourrit » [6] –, il était légitime que nous nous consacrons aux tissus végétaux les plus prosaïques : la carotte s'imposait.

De fait, l'idée de base était de comprendre quels composés sont extraits, au cours du traitement thermique, et surtout, comment ils sont extraits : la science est la recherche des mécanismes, et non seulement la caractérisation ! Dans la thèse mentionnée et dans diverses autres études effectuées par notre équipe, nous avons étudié ainsi les variations de composition des bouillons de carotte au cours du temps... lorsqu'un événement inattendu se produisit : un jour, deux demi-carottes qui « cuisaient » à reflux, dans de l'eau distillée, dans deux réacteurs voisins, montrèrent des couleurs différentes ! Pourtant, elles provenaient de la même carotte, fendue en deux dans le sens de la longueur – on savait que les diverses parties de la carotte, à la base ou au sommet, ont des compositions chimiques très différentes –, et elles étaient chauffées dans de l'eau maintenue à 100 °C, pendant le même temps.

Un effet lumineux

L'analyse [7] montra que la pénurie de chauffe-ballons adaptés nous avait conduits sur une piste : un des réacteurs était chauffé par un chauffe-ballon, alors que l'autre était dans un bain d'huile. Certes, les deux bouillons étaient à la température de 100 °C, mais l'un d'eux recevait plus de lumière que l'autre. Les doubles liaisons conjuguées des caroténoïdes auraient-elles été plus modifiées dans un cas que dans l'autre ?

Nous avons d'abord établi la « courbe de couleur » d'un bouillon de carotte (figure 2). La colorimétrie utilisée représente les couleurs mesurées dans un espace $L^*a^*b^*$, où L^* indique la luminosité, a^* représente l'axe rouge → vert, et b^* l'axe bleu → jaune [8]. Pour nos bouillons, la variation selon L^* est faible, et l'on observe une courbe spiralée dans le plan (a^*, b^*) , avec une évolution qui dure dix jours environ (ensuite, la spirale s'arrête).

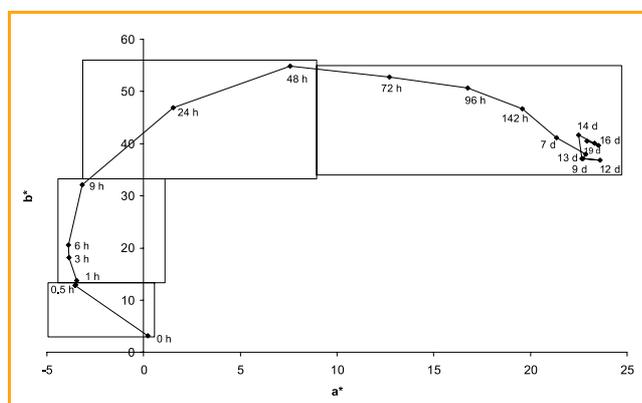


Figure 2 - La variation de couleur d'un bouillon de carotte.

Puis nous avons confirmé l'hypothèse de l'activation par la lumière en produisant des bouillons soit dans l'obscurité, soit éclairés, et en mesurant la couleur des bouillons, exprimée par les paramètres L^* , a^* et b^* .

Une courbe « naturelle »

Comment expliquer ces phénomènes ? Supposons qu'un premier composé C_1 , capable d'absorber la lumière, passe des tissus végétaux en solution. Si la couleur de ce composé à la saturation est décrite par un vecteur unitaire c_1 , de coordonnées (a_1^*, b_1^*) dans le plan (a^*, b^*) , alors la

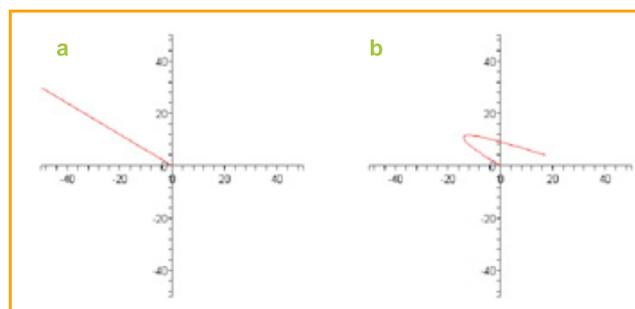


Figure 3 - a) L'extraction d'un composé qui absorbe la lumière conduit à un segment, dans le plan (a^*, b^*) ; b) La couleur d'une solution où deux composés apparaissent avec des vitesses différentes varie comme la couleur d'une solution où un premier composé qui s'introduit se dégrade en un second composé : une spirale est observée dans le plan (a^*, b^*) .

couleur d'une solution contenant une quantité m_1 de ce composé est décrite par :

$$C_1(t) = k \cdot m_1(t) \cdot c_1$$

où $v_1(t) = dm_1(t)/dt$ est la vitesse d'apparition du composé C_1 .

Quelle que soit la vitesse d'extraction, et même si cette vitesse varie avec le temps (on peut supposer que l'extraction est plus rapide au début du traitement qu'à la fin), un segment de droite doit être observé (figure 3a). Toutefois, si un second composé qui absorbe différemment s'extrait plus lentement, ou si le premier composé se dégrade en un second composé, alors une spirale doit être obtenue (figure 3b). En effet, dans le cas d'un composé C_1 introduit qui se transforme en un composé C_2 , la couleur totale est la somme :

$$C(t) = C_1(t) + C_2(t)$$

Si la cinétique d'extraction se fait selon une loi exponentielle décroissante (par exemple), cette équation conduit au système différentiel :

$$\frac{dm_1(t)}{dt} = e^{-t} - \frac{dm_2(t)}{dt}, \quad \frac{dm_2(t)}{dt} = \alpha m_1(t)$$

dont la solution est :

$$m_1(t) = \frac{(-a_1 + \alpha a_1)e^{-\alpha t}}{-1 + \alpha} + \frac{e^{-t}}{-1 + \alpha}$$

où α est une constante à déterminer. Avec la condition $m_1(0) = 0$, soit $a_1 = -1/(-1 + \alpha)$, on peut alors calculer :

$$m_2(t) = \frac{\alpha e^{-t} - a_1 e^{-\alpha t} + \alpha a_1 e^{-\alpha t} + a_2 - \alpha a_2}{-1 + \alpha}$$

Et c'est ainsi que l'on trouve ce à quoi l'on s'attendait : l'équation d'une spirale (figure 3b) !

Quels composés peuvent expliquer la spirale du bouillon de carotte ? Sachant que les tissus végétaux sont composés principalement de cellules « cimentées » par des pectines et que les pectines subissent la réaction de β -élimination (figure 4), il semblait plus logique de suivre la piste des pectines que celles des caroténoïdes ou de leurs résidus, les caroténoïdes restant de surcroît à l'intérieur d'organites, dans les cellules.

Cette réaction conduit à la libération d'acide galacturonique, incolore, mais dont les produits de dégradation sont puissamment colorés... avec, de surcroît,

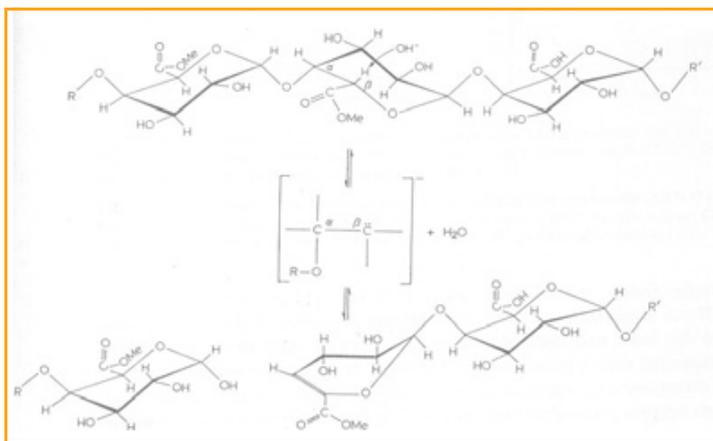


Figure 4 - La réaction de β -élimination des pectines engendre de l'acide galacturonique [9].

une courbe de couleur très semblable au segment initial observé pour la courbe de couleur des bouillons de carotte. D'autres arguments (mesures des variations de couleur dans des solutions tamponnées, études de bouillons où l'on extrait les carottes après la première phase, et que l'on traite ensuite dans l'obscurité ou dans la lumière, etc.) font penser que l'acide galacturonique et ses produits de dégradation sont responsables des variations de couleur, mais... permettez-moi une trivialité, des travaux restent nécessaires pour bien établir le fait.

Toute cette affaire est merveilleuse de plusieurs points de vue. D'une part, on comprend que les courbes en spirale sont présentes dans bien des cas. Mieux encore, on voit bien que de l'origine du plan (a^* , b^*) à la couleur finale, tous les chemins sont possibles, étant donné un nombre suffisant de composés. On voit aussi... que le chimiste peut se perdre dans les calculs, qui ne lui donneront pas la clé chimique de

son étude. D'autre part – et cela semble bien plus intéressant –, on ne saurait oublier de tirer les leçons de toute cette affaire : ce qui apparaît, c'est que l'on a fait de la chimie organique en solvant eau, et avec des molécules « alimentaires » de surcroît ! À une époque où l'on veut de la chimie verte, on est... servi !

Références

- [1] Cazor A., Deborde C., Moing A., Rolin D., This H., Sucrose, glucose and fructose extraction in aqueous carrot root extracts prepared at different temperatures by means of direct NMR measurements, *J. of Agricultural and Food Chemistry*, **2006**, 54, p. 4681 (doi:10.1021/jf060144i).
- [2] Danjou J.-L., Masson Y., *La cuisine professionnelle : guide des techniques culinaires*, Éditions Jacques Lanore, **2003**.
- [3] Morrot G., Brochet F., La force des représentations dans la dégustation des vins, *Revue des œnologues*, **2000**, 97, p. 27.
- [4] Morrot G., Brochet F., Dubourdiou D., The color of odors, *Brain & Language*, **2001**, 79, p. 309.
- [5] Belitz M., Grosch W., *Food Chemistry*, Springer Verlag, **2000**.
- [6] Brillat-Savarin J.-A., *La physiologie du goût*, Paris, **1825**, chez l'auteur.
- [7] This H., Cazor A., Trinh D., Color evolution of aqueous solutions obtained by thermal processing of carrot (*Daucus carota* L.) roots: Influence of light, *J. of Food Science*, **2008**, 73(4), p. E176 (doi:10.1111/j.1750-3841.2008.00724.x).
- [8] Colantoni P., Color space transformations, **2003**, www.couleur.org/index.php?page=transformations
- [9] Keijbets M.J.H., Pilnik W., β -elimination of pectin in the presence of anions and cations, *Carbohydr. Res.*, **1974**, 33, p. 359.

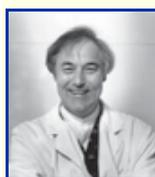


Photo : L. Monier

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>

Le CNRS | Annuaires | Mots-Clefs CNRS | Autres sites

CNRS Formation Entreprises

du 1 octobre au 26 novembre 2009 à GIF-SUR-YVETTE (91) **RMN des macromolécules biologiques**

du 5 au 9 octobre 2009 à VILLEURBANNE (69) **Analyse quantitative de gaz par spectrométrie de masse**

du 12 au 16 octobre 2009 à THIAIS (94) **Aspects fondamentaux de la microscopie électronique en transmission (MET) *Nouveau***

du 13 au 14 octobre 2009 à TALENCE (33) **Formation aux spectrométries Raman**

du 14 au 16 octobre 2009 à SOLAIZE (69) **Assurance qualité dans les laboratoires d'analyses ou d'essai**

du 16 au 20 novembre 2009 à CHATENAY MALABRY (92) **Initiation aux structures formées par les lipides et les tensioactifs : de la micelle aux émulsions**

du 23 au 25 novembre 2009 à MARSEILLE (13) **Caractérisation des solides poreux ou pulvérulents : aire spécifique et taille des pores**

du 23 au 25 novembre 2009 à GIF SUR YVETTE (91) **Le risque chimique : connaissance et prévention niveau II**

Centre de ressources en formation
Un problème de formation particulier ?
N'hésitez pas à nous consulter :
- par mail à ressources@cf.cnrs-gif.fr
- par téléphone au 01.69.82.44.96

Catalogue, programmes et inscriptions : CNRS Formation Entreprises Avenue de la Terrasse Bât. 31 91198 Gif-sur-Yvette Cedex
Tél. : 01 69 82 44 55 - Fax : 01 69 82 44 89 <http://cnrsformation.cnrs-gif.fr>