

Couleur et coloration des aliments,

une simple affaire de chimie ?

Avant de goûter un aliment, nous commençons par l'apprécier des yeux ; la première chose qui nous marque l'esprit, c'est sa couleur. À cette vue, sommes-nous dans une bonne disposition à son égard, avant même de le porter à la bouche ? Cette première sensation sera de fait déterminante et conditionne fortement notre envie d'entamer le met : elle stimule notre appétit. En témoignent ces pommes d'amour d'un rouge vif éclatant (Figure 1), qui n'auront sûrement laissé personne indifférent...

Par la couleur d'un aliment qui nous sollicite au premier regard, nous l'avons identifié, et nous nous le sommes dès lors approprié. Un rouge aussi vif est sûrement le présage de bonnes pommes ! Les industriels ont bien compris cela ; ils utilisent de la couleur pour capter l'attention des consommateurs que nous sommes, pour les mettre à l'aise dans

une attitude d'attente et de désir vis-à-vis des produits alimentaires. C'est un fait, nous classons fort aisément nombre de produits tels que le vin dans des catégories faciles à distinguer. Et qu'y a-t-il de plus parlant que la couleur ? Vin rouge, vin blanc, vin rosé... chacun sait à quoi s'en tenir. Les bières n'échappent pas non plus à la règle (Figure 2).

Sylvain Guyot Couleur et coloration des aliments,
une simple affaire de chimie ?

Figure 1

Ces pommes d'amour ont un rouge d'un tel éclat qu'elles doivent sûrement être bonnes !



Figure 2

Vin rouge ou blanc (A), bière blonde, brune ou rousse (B) ? Chacun sait ce qu'il veut !

Qu'en est-il du cidre ? Cela devient plus flou... il y a encore du travail à faire là-dessus !

Pour en revenir à la couleur qui met en appétit, nous ne sommes pas dupes bien longtemps quand la déception suit la tentation et l'espoir, car il arrive que la couleur soit trompeuse. Qui n'a pas eu l'occasion de goûter à ces fameuses pommes d'amour que l'on trouve dans les fêtes foraines ? Quand on les voit, surtout quand on est un enfant, on les trouve si belles que l'on s'attend à déguster quelque chose de formidable ; puis finalement quand on mord dedans, derrière ce croquant et ce sucre, se révèle souvent une pomme de mauvaise qualité, et l'on est bien déçu. Alors la couleur des aliments, quand elle nous trompe une fois, on peut finir par s'en méfier – l'expérience de la pomme d'Adam aura été la première d'une longue série, et avec quels désastres pour l'humanité !

Le travail sur la couleur est délicat et l'analyse de la psychologie du consommateur en est un élément clé. Mais nous ne soupçonnons sans doute pas toujours combien ce travail peut être complexe et élaboré. Derrière la couleur, ce sont des mélanges de molécules, lesquelles sont loin d'être simples à maîtriser. Nous avons entendu parler des fameux polyphénols qui colorent les myrtilles, le cassis, le chocolat (abordé dans le *Chapitre de M. Barel*)... et les pommes, puisque nous parlions du cidre. Les polyphénols des pommes tiennent

même un rôle clé ; ce sont eux qui gouvernent le destin d'une pomme : deviendra-t-elle cidre ou pomme de table ? Tout va dépendre notamment des teneurs en différents polyphénols. On comprend alors que le travail sur le cidre repose en grande partie sur ces molécules, la couleur y étant intimement mêlée.

Univers des polyphénols, univers de la chimie... nous sommes en plein dedans sans toujours en être conscient ! Effectivement, pas loin de 80 % des aliments que nous consommons sont des produits transformés. Pour reprendre simplement la pomme : de son séjour dans des chambres froides où elle est stockée, sous atmosphère contrôlée, il résulte déjà une transformation du fruit. Bien plus importantes encore sont les transformations qui aboutiront au vin ou au chocolat : un long scénario de réactions chimiques se joue, au cours duquel s'installe entre autres... la couleur.

On peut construire ce scénario de différentes manières, suivant la couleur que l'on souhaite donner au produit final. Dans un premier cas, on souhaite que la couleur du produit rappelle celle de la matière première de départ. Ainsi on fabriquera de la confiture de fraise rouge, des coulis de fruits rouges et des glaces à la fraise... rouges ; on aurait du mal à imaginer qu'elles soient incolores. Dans un second cas, la transformation d'une matière première incolore va conduire à une nouvelle couleur. Ainsi l'incolore sucre deviendra un caramel brun-doré, très

appétissant (*Figure 3*). Le secret des couleurs réside donc pour l'essentiel dans la chimie, qu'il s'agisse d'art culinaire ou d'art pictural !

1 Les aliments et leurs couleurs

1.1. Comment les molécules colorent-elles les aliments ?

Une question de physico-chimie...

Tout un chacun le sait, quand on voit qu'un objet est de telle ou telle couleur, c'est parce que cet objet absorbe une partie de la lumière – composée de toutes les couleurs de l'arc-en-ciel – dans certaines longueurs d'onde ; et l'on ne percevra que les couleurs correspondant aux longueurs d'ondes non absorbées (sur la perception des couleurs, voir [1]). C'est ainsi que les carottes, ou plus précisément les molécules de β -carotène, absorbent les longueurs d'onde comprises entre le violet et le vert ; d'où la couleur orange dominante que l'on perçoit de ce légume.

Le comportement de toute molécule vis-à-vis de la lumière est intrinsèquement lié à sa structure. Il existe certains agencements moléculaires – atomes, liaisons entre les atomes, enchaînements d'atomes – qui confèrent à des molécules organiques leur capacité particulière à absorber la lumière : ce sont les chromophores (du grec *khroma* = couleur ; *phoros* = produit). Lorsqu'on regarde la structure d'une molécule, on peut détecter la présence de



Figure 3

Il nous semble naturel que la confiture de fraise doive être rouge. Nous sommes d'autre part habitués à la couleur brune du caramel.

chromophores, dont les plus fréquents sont des groupements carbonyles, parfois des groupements « azo », plusieurs doubles liaisons, des cycles aromatiques... qui ne doivent pas se trouver isolés dans la molécule, mais associés entre eux dans un enchaînement défini – on dit qu'ils sont « conjugués » (*Figure 4*). C'est cette conjugaison qui permet à la molécule d'absorber certaines longueurs d'onde et d'apparaître colorée.

1.2. Quels colorants dans nos aliments ?

Ainsi les couleurs des produits alimentaires résultent de la présence de ces molécules, d'origine naturelle ou synthétique. Elles peuvent faire partie de la composition naturelle d'un aliment, tel le β -carotène (*Figure 4*). Ce même et unique β -carotène – qui peut aussi bien être extrait de végétaux comme la carotte, ou d'algues, parfois obtenu par fermentation de bactéries, que synthétisé chimiquement – peut être employé en tant qu'additif dans divers aliments, comme certains jus d'orange. L'ajout de colorants,

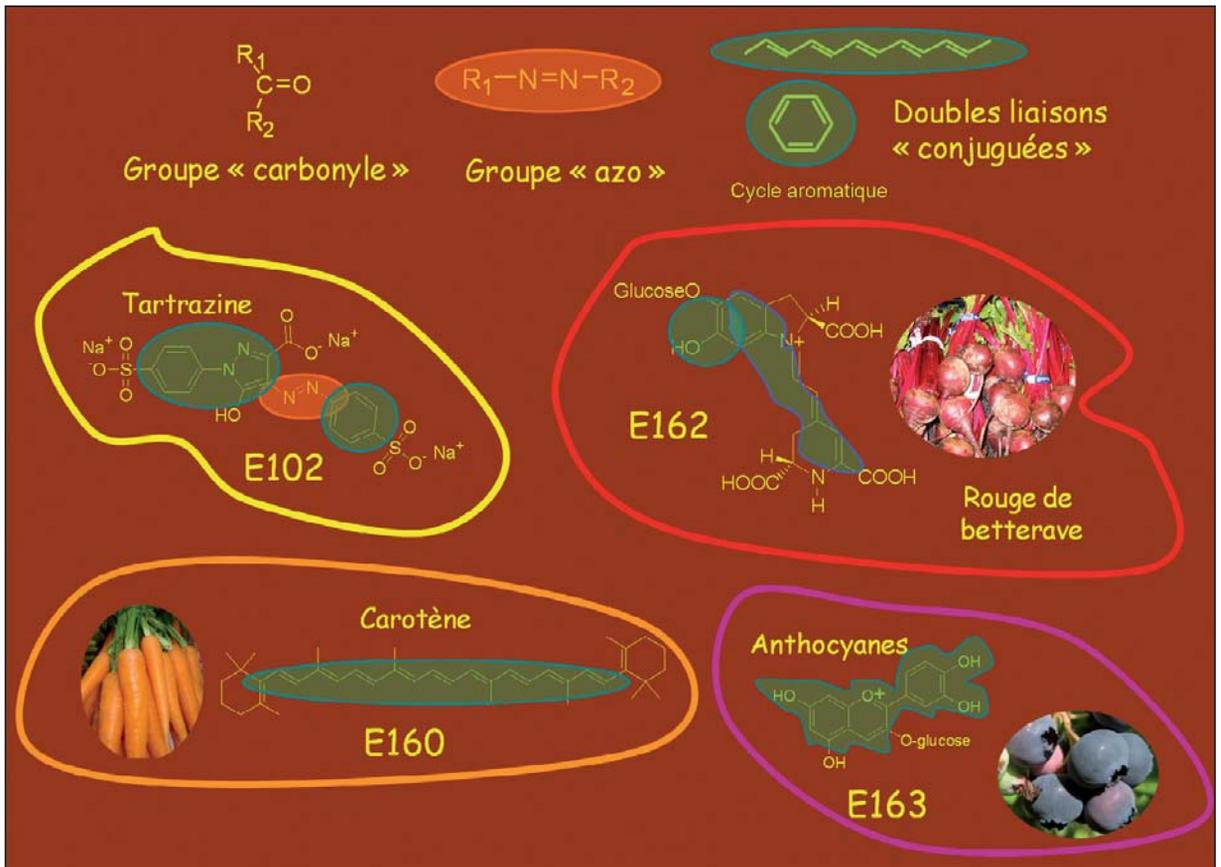


Figure 4

La tartrazine jaune-orange, le rouge de betterave, le carotène orange (carotte), les anthocyanes rouge-violet (mûres, framboises, fraises)... Les molécules colorées ont des motifs structuraux très caractéristiques à l'origine de leur capacité à absorber la lumière.

nous l'avons bien compris, a pour but de rendre le produit alimentaire plus appétissant. Ces additifs sont indiqués sur les étiquettes des emballages alimentaires sous un code de la série des E100 (E160 pour le β -carotène, quelle que soit son origine, laquelle ne change absolument en rien sa nature chimique) (Figure 5).

Outre le β -carotène (E160), d'autres colorants d'origine naturelle sont également bien connus, tel le rouge de betterave, qui donne naturellement la couleur rouge à ce légume, et qui est codifié E162 quand il est utilisé comme additif (Figure 4). N'oublions pas les molécules de la famille des anthocyanes, que nous connaissons forcément si nous buvons du vin rouge, (voir le *Chapitre de M. Barel,*

paragraphe 1.2) : ces pigments naturels donnent leur couleur au raisin, aux myrtilles, aux fraises et cerises... Ils sont également prisés par les industriels qui les utilisent sous la dénomination E163 dans divers produits finis (yaourts, jus, etc.).

Quelques colorants alimentaires sont d'origine exclusivement synthétique. Citons la tartrazine E102 (Figure 4), dont la structure chimique est intéressante à examiner : elle comporte le fameux groupement « azo », conjugué avec des cycles aromatiques, à l'origine de sa belle et franche couleur jaune. Elle est alors utilisée pour colorer des sodas, des pâtisseries ou du riz (dans la paëlla par exemple).

100 Curcumines	160a Carotènes	162 Rouge de betterave
101 Riboflavines	160a (i) Béta-carotène (synthétique)	163 Anthocyanines
102 Tartrazine	160a (ii) beta-carotène (légume)	163 (i) Anthocyanines
103 Orcanète	160a (iii) beta-carotène (Blakeslea trispora)	163 (ii) Extrait de peau de raisin
104 Jaune de quinoléine	160a (iv) beta-carotène (algue)	163 (iii) Extrait de cassis
107 Jaune 2G	160b Extraits d'annatto	163 (iv) Colorant du maïs pourpre
110 Jaune soleil FCF	160b(i) Extraits d'annatto, basée sur la bixine	163 (v) Colorant du chou rouge
120 Carmins	160b(ii) Extraits d'annatto, basée sur la norbixine	164 Jaune de gardénia
121 Rouge citrus 2	160c Oléorésines de paprika	165 Bleu de gardénia
122 Azorubine	160d Lycopènes	166 Bois de santal
123 Amanthe	160d (i) Lycopène (synthétique)	170 Carbonates de calcium
124 Ponceau 4R	160d (ii) Lycopène (synthétique)	170 (i) Carbonate de calcium
125 Ponceau SX	160d (iii) Lycopène (Blakeslea trispora)	170 (ii) Carbonate acide de calcium
127 Érythrosine	160e beta-apo-8'-caroténal-(C30)	171 Bioxyde de titane
128 Rouge 2G	160f Acide beta-apo-8'-caroténique, ester méthylique ou éthylique	172 Oxydes de fer
129 Rouge allura AC	161a Flavoxanthine	172 (i) Oxyde de fer noir
130 Manascorubine	161b Lutéines	172 (ii) Oxyde de fer rouge
131 Bleu patente V	161b (i) Lutéine de <i>Tagetes erecta</i>	172 (iii) Oxyde de fer jaune
132 Indigotine	161b (ii) Extrait de <i>Tagetes</i>	173 Aluminium
133 Bleu brillant FCF	161c Kryptoxanthine	174 Argent
140 Chlorophylles	161d Rubixanthine	175 Or
141 Chlorophylles cupriques	161e Violoxanthine	180 Fuchsine lithol
142 Vert S	161f Rhodoxanthine	181 Tanins de qualité alimentaire
143 Vert solide FCF	161g Canthaxanthine	182 Orseille
150 Caramel	161h Zéaxanthines	
151 Noir brillant PN	161h (i) Zéaxanthine (de synthèse)	
152 Noir de carbone	161h (ii) Zéaxanthine riche en extrait de <i>Tagetes erecta</i>	
153 Charbon végétal		
154 Brun FK		
155 Brun HT		

1.3. Pomme et cidre : comment ça se passe pour la couleur ?

Dans l'étude des colorations alimentaires, le cas du cidre est particulièrement intéressant. Cette boisson légèrement alcoolisée, obtenue à partir de la fermentation du jus de pomme, jouit d'une très bonne image auprès de la population, bien que moins consommée que le vin (en moyenne deux litres par an et par habitant en France). L'excellente réputation, justifiée par ailleurs, du cidre vient de son origine, car il est produit exclusivement avec des pommes « naturelles ». En effet, les vergers qui ont été exploités pour fabriquer le cidre sont moins traités que ceux destinés à récolter des pommes de table. La raison en est que pour faire du cidre,

on ne se soucie pas de l'aspect du fruit. D'autant qu'il n'a pas besoin d'être standardisé, calibré, et qu'il peut s'agir d'une variété ancienne, savoureuse, mais peu esthétique.

Il n'existe traditionnellement pas de diversification claire basée sur la couleur du cidre, au contraire de ce que l'on connaît pour le vin ou la bière. Les industriels et transformateurs de pomme cherchent à sensibiliser le consommateur sur ces aspects de la coloration. Ils parviennent ainsi à obtenir des jus de pomme de couleurs différentes – certains sont jaunes, d'autres rouges (*Figure 6A*) –, grâce au recours à des variétés de pommes différentes. Ils peuvent aussi produire du cidre très pâle (*Figure 6B*), dont la couleur se rapproche de celle des vins de champagne, tel le célèbre cidre « Guillevic ».

Figure 5

Carotènes, curcumines, anthocyanes, caramel... la série des E100 constitue l'ensemble des colorants dans nos produits de consommation. La plupart de ces colorants sont d'origine naturelle.

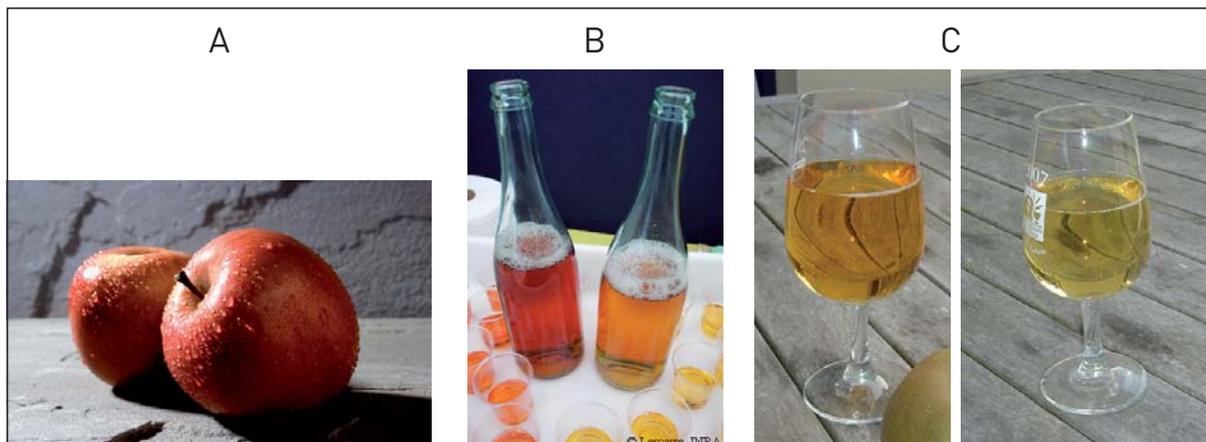


Figure 6

On peut jouer sur les variétés de pommes (A) pour obtenir des jus de pomme (B) ou des cidres (C) de couleurs différentes.

Mais d'où viennent donc les couleurs des jus de pomme et des cidres ? Quelle chimie se cache derrière le rouge de certains jus de pomme, tandis que notre bon sens nous indique que la pomme est peu colorée, et, aussi rouge ou verte puisse-t-elle être, la peau de la pomme ne passe à aucun moment dans le jus au cours du procédé de fabrication (c'est d'ailleurs cette peau qui contient les fameux pigments d'anthocyanes). Il nous faut alors suivre les étapes du procédé de transformation des pommes en jus ou en cidres (Figure 7) : les pommes sont d'abord lavées, avant d'être broyées et râpées. C'est là qu'apparaît au grand jour une coloration intense. Les étapes suivantes permettent ensuite d'obtenir, en tonnage très important, du moût d'un côté et du marc de l'autre (lequel est

un sous-produit qui est valorisé en extrayant la pectine, utilisée comme additif gélifiant, comme décrit dans le *Chapitre de M. Desprairies*. Il peut être aussi valorisé en cosmétique, avec l'huile de pépin qu'il contient).

Mais examinons de près les processus chimiques qui se passent au cours des étapes de transformation des matières premières comme la pomme, là où apparaît pour la première fois la couleur.

2 Entrent en scène les acteurs de la couleur

2.1. De la pomme au jus/ cidre, évolue la couleur

2.1.1. Au broyage : brunissement enzymatique et apparition des quinones

Nous avons tous observé qu'une pomme épluchée et/ou

Figure 7

Au cours de la transformation des pommes apparaît une coloration intense, qui va donner une couleur au jus ou au cidre.



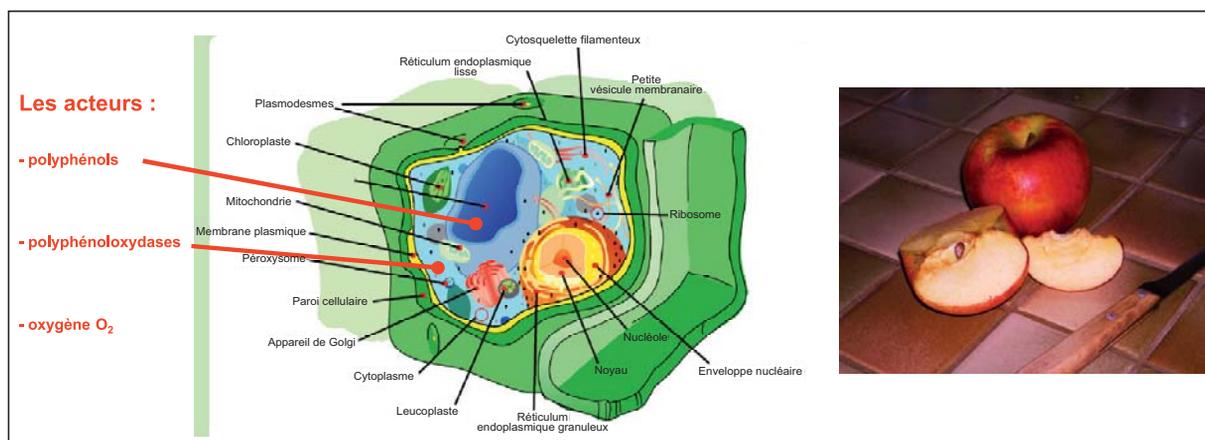


Figure 8

Dans la cellule de la pomme coupée, les trois acteurs sont réunis pour démarrer son brunissement.

coupée se met rapidement à brunir au seul contact de l'air : une réaction d'oxydation a eu lieu. Et contrairement au cas de la caramélisation, où c'est une réaction purement chimique qui est responsable du brunissement du sucre (voir le **Chapitre « Bienfaits et risques : la recherche de l'équilibre »**), il se produit ici un « brunissement enzymatique ».

Cette réaction d'oxydation fait intervenir trois acteurs : les polyphénols de la pomme, les polyphénoloxydases (les enzymes qui oxydent les polyphénols en présence d'oxygène), et bien sûr l'oxygène de l'air. Les acteurs ne sont pas

encore réunis sur la scène tant que la pomme n'a pas été coupée (quand on coupe la pomme : levée du rideau ; le brunissement démarre !). La scène, ce sont les cellules de la pomme (**Figure 8**) : les enzymes polyphénoloxydases occupent de petites structures de la cellule que sont les plastides, tandis que les polyphénols sont localisés dans ce que l'on appelle les vacuoles (**Encart « Les nombreux polyphénols de la pomme »**). C'est aussi dans celles-ci que se trouvent les sucres et les acides organiques (qui sont responsables de l'acidité du jus de pomme).

LES NOMBREUX POLYPHÉNOLS DE LA POMME

Tout comme le vin (le raisin), le thé ou le chocolat (cacao), la pomme ne comporte pas qu'un seul type de polyphénol. Toute une famille est présente et répartie aussi bien dans la peau qu'à l'intérieur du fruit. Certains ont des « rôles » importants. D'autres sont des acteurs secondaires dans le scénario du brunissement de la pomme. À les regarder de près, ils possèdent effectivement des airs de famille, des similitudes dans leurs structures chimiques, à commencer par la présence de groupes phénols (d'où la dénomination générique « poly-phénol »), qui sont des cycles aromatiques substitués par un groupement hydroxyle « OH ». Plus précisément, ces cycles aromatiques sont substitués par deux hydroxyles adjacents : on les appelle « *o*-diphénols » (**Figure 9**).

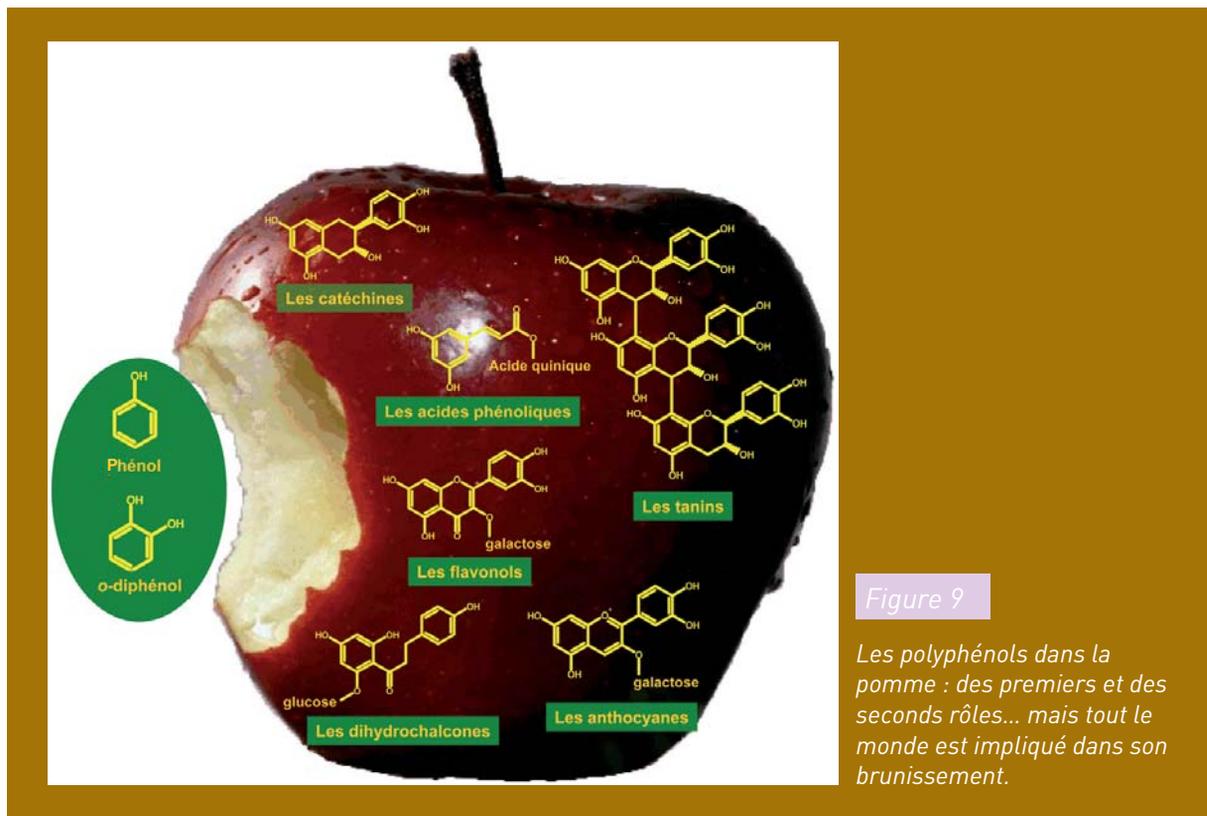
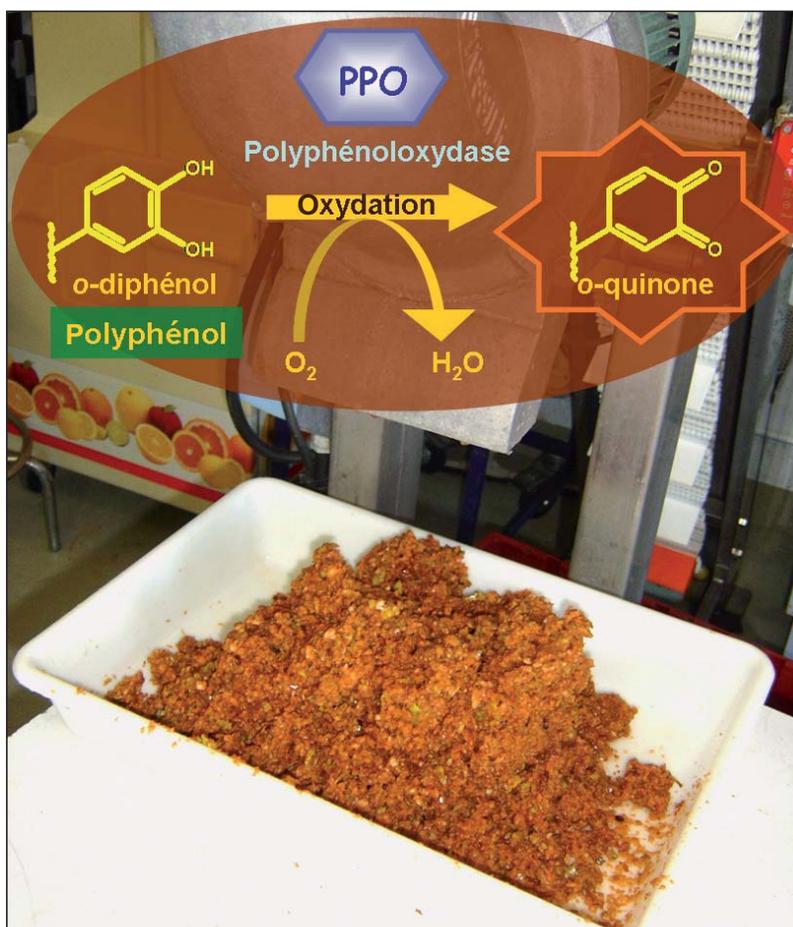


Figure 9
 Les polyphénols dans la pomme : des premiers et des seconds rôles... mais tout le monde est impliqué dans son brunissement.



Le broyage des pommes en usine est une étape agressive qui contribue à une destruction de leurs cellules ; polyphénols, polyphénoloxydase et oxygène ambiant vont entrer en contact, conduisant à l'apparition de la couleur brune. D'un point de vue chimique, les enzymes vont oxyder les groupements *o*-diphénols en *o*-quinones (Figure 10), tandis que l'oxygène va être transformé en eau. C'est la présence des quinones qui donnent à ce stade la coloration brune.

Figure 10
 Les pommes broyées sont le siège d'une réaction chimique, où, en présence de l'oxygène ambiant, l'enzyme polyphénoloxydase catalyse l'oxydation des polyphénols des pommes en quinones, molécules de couleur brune.

2.1.2. Intensification de la couleur : les quinones évoluent

Les quinones étant des molécules très instables, elles ne demandent qu'à évoluer. Différentes réactions chimiques peuvent alors se produire (Figure 11).

Un scénario possible est une réaction de **polymérisation** : une quinone réagit avec un polyphénol, pour générer une nouvelle molécule de polyphénol un peu plus grosse, mais ayant perdu la couleur brune ; celle-ci peut à son tour réagir avec une autre quinone, conduisant à une molécule encore plus grosse, toujours incolore ; et la chaîne peut ainsi s'allonger, encore et encore jusqu'à extinction des molécules disponibles. Cette réaction de polymérisation peut se produire avec n'importe quelle molécule de polyphénol. Or, nous avons vu combien les types de polyphénols sont nombreux dans la pomme ; on imagine alors le nombre de possibilités quasi infini !

Un autre scénario qui peut se produire est un **réarrangement intramoléculaire** de la quinone (Figure 11) : celle-ci se stabilise tout simplement en se transformant en une molécule de structure différente, qui peut ensuite s'oxyder pour conduire à une nouvelle quinone, laquelle évolue vers un produit qui peut cette fois-ci être coloré en brun¹.

1. Notons que le brunissement de la pomme, notamment lorsque l'on fait de la compote, peut être ralenti par ajout de citron, recette de grand-mère bien connue. En effet, l'acidité du citron diminue l'activité des polyphénoloxydases et donc l'oxydation des polyphénols dans l'air.

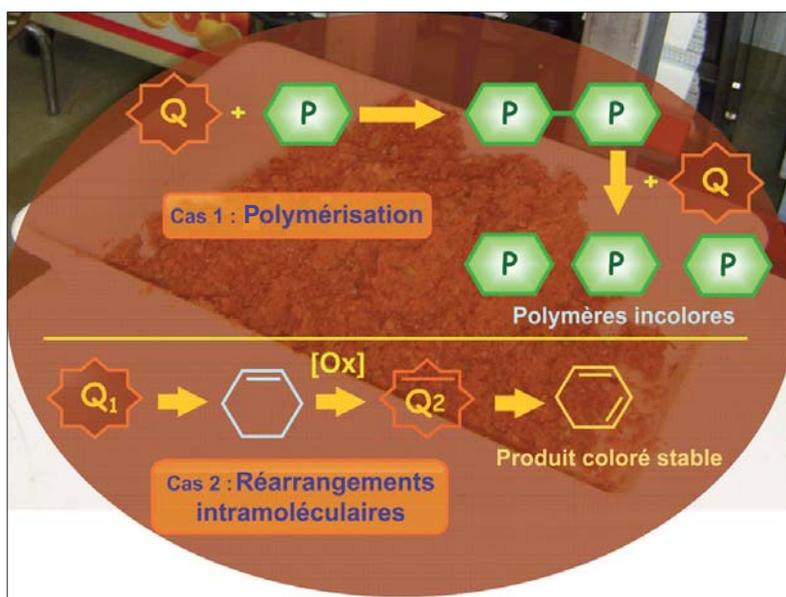


Figure 11

Dans la pomme broyée, les polyphénols subissent une multitude de réactions chimiques !

Voilà donc la chimie complexe, dont on ne connaît pas le détail mais les principes généraux, qui se joue dans la pomme, dès lors qu'elle est broyée, pressée, macérée... de la couleur est générée, et qui explique comment le jus de pomme ou le cidre est coloré.

2.2. Le cas du thé : encore une histoire de polyphénols

On retrouve les transformations chimiques des polyphénols dans de nombreux autres produits alimentaires tels que le thé. Nous connaissons tous le thé vert, le thé noir. Alors les infusions de thé vert, de thé noir, comment ça marche, chimiquement ?

Il faut savoir que près de 25 % du poids sec de la feuille de thé (vert) correspond à des polyphénols, et principalement des molécules de catéchines, ce qui est énorme. Par conséquent, immédiatement après la cueillette des feuilles de thé, on va leur faire subir un traitement thermique en vue de bloquer complètement l'action des fameuses enzymes

polyphénoloxydases qu'elles contiennent, tout comme la pomme. Ceci pour empêcher l'oxydation des feuilles, et pour conserver les catéchines telles quelles, que l'on va pouvoir retrouver intactes dans nos infusions. Et il est communément admis que ces catéchines présenteraient des bienfaits sur notre santé – ce qui reste encore à prouver.

Quant au cas du thé noir, on favorise au contraire son oxydation, afin que se forment ces fameuses quinones, lesquelles vont réagir selon un réarrangement intramoléculaire (que nous avons vu dans la **Figure 11**). Ces réactions génèrent de nouvelles molécules, des théaflavines ou des théarubigines (**Figure 12**) : ce sont elles qui donnent la couleur rouge au thé noir !

3 Vers la création de colorants grâce aux polyphénols

3.1. Un contexte réglementaire contraignant

Nous l'avons vu, les polyphénols, produits naturels par excellence, sont partout dans les aliments – fruits, thé, cacao etc. – et ce sont notamment leurs réactions d'oxydation qui contribuent à la formation de molécules colorées. Mais ne

pourrait-on pas utiliser cette propriété naturelle de la coloration de certains aliments comme le jus de fruit pour créer de nouveaux colorants alimentaires ?

L'enjeu de la synthèse de colorants alimentaires est d'autant plus important que les réglementations sont particulièrement strictes. Celles-ci sont en évolution constante, tant qu'il y aura de nouvelles données sur la toxicité, avérée ou non, de colorants alimentaires (voir l'**Encart : « Les colorants alimentaires, des produits très réglementés »**).

Nous avons évoqué l'exemple de la tartrazine (**paragraphe 1.1**), colorant synthétique qui comporte un groupement « azo ». Si cet additif est autorisé dans la plupart des pays d'Europe, il reste néanmoins interdit en Autriche, Finlande, Norvège et en Suisse. Les industriels essayent actuellement de trouver des colorants de remplacement, mais ce n'est pas si simple. Certes, il existe des colorants jaunes naturels comme la curcumine, le carotène ou la riboflavine, mais ils sont liposolubles (c'est-à-dire solubles dans les graisses) : ils troublent donc les milieux aqueux, qui constituent bon nombre

Figure 12

*Thé vert ou thé noir ?
Les polyphénols y sont
pour quelque chose !*



LES COLORANTS ALIMENTAIRES, DES PRODUITS TRÈS RÉGLEMENTÉS

Législation et définition des colorants

règlement (CE) No. 1333/2008 du parlement européen et du conseil du 16 décembre 2008 sur les additifs alimentaires.

Article 8 (extrait)

Conditions spécifiques applicables aux colorants

Il sert un des objectifs suivants :

- a) rétablissement de l'aspect initial des denrées alimentaires dont la couleur a été altérée par la transformation, le stockage, l'emballage et la distribution et dont l'attrait visuel se trouve ainsi diminué ;
- b) amélioration de l'attractivité visuelle de denrées alimentaires ;
- c) coloration de denrées alimentaires normalement incolores.

L'annexe V du règlement CE 1333/2008 rend obligatoire pour tous les produits mis sur le marché après le 20 juillet 2010 et contenant les colorants jaunes E102 (tartrazine), E104 (jaune de quinoléine), E110 (jaune orangé S) et/ou rouges E122 (azorubine), E129 (rouge allura) et E124 (ponceau 4R), l'apposition de la mention :

« Peut avoir des effets indésirables sur l'activité et l'attention chez les enfants ».

des aliments, ce qui les rend impropres à remplacer la tartrazine, additif qui colore des pâtisseries, des biscuits, des bonbons. Le caramel pose également difficulté : brun, orangé, clair, foncé, ... il n'est malheureusement jamais jaune. De plus, il est toujours difficile de maîtriser sa coloration, et il ne constitue donc pas une alternative à la tartrazine.

3.2. Quand les polyphénols inspirent les chimistes

Le développement de la synthèse de nouveaux colorants se révèle de plus en plus nécessaire et utile. Face à ce

défi, le « POP » est peut-être une solution au problème posé par la tartrazine.

Qu'est-ce que les POP ? Ce sigle désigne une catégorie de molécules et signifie « produit d'oxydation de la phloridzine ». Les chercheurs sont partis d'un polyphénol de la pomme, présent en particulier dans les pépins. Ces pépins se retrouvent dans le marc de pomme, un sous-produit de la transformation du jus de pomme et du cidre (voir la *Figure 7*). En tant que polyphénol, la phloridzine (*Figure 13*) n'échappe pas aux transformations chimiques classiques subies par tous ses

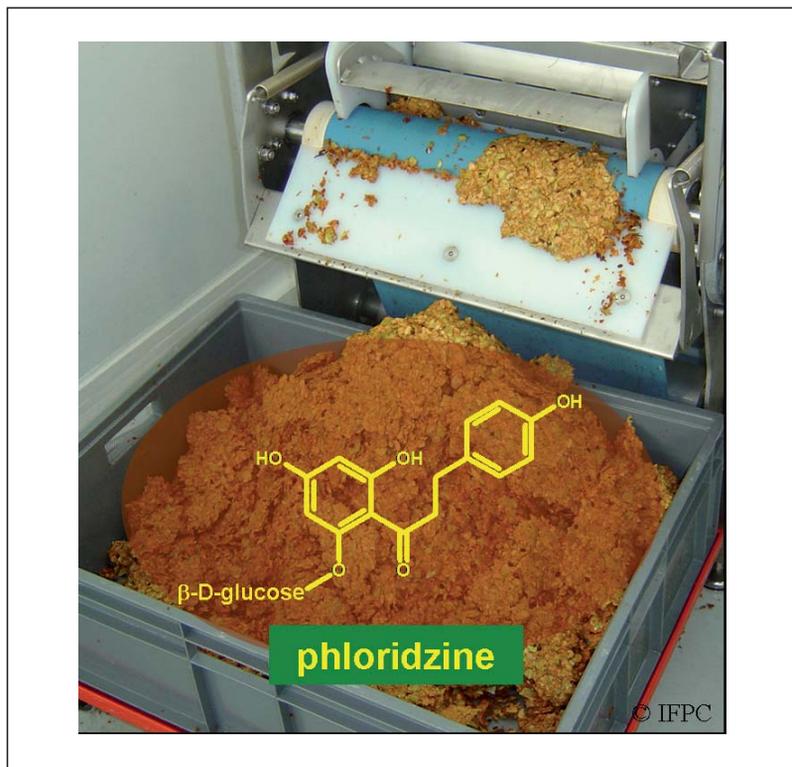


Figure 13

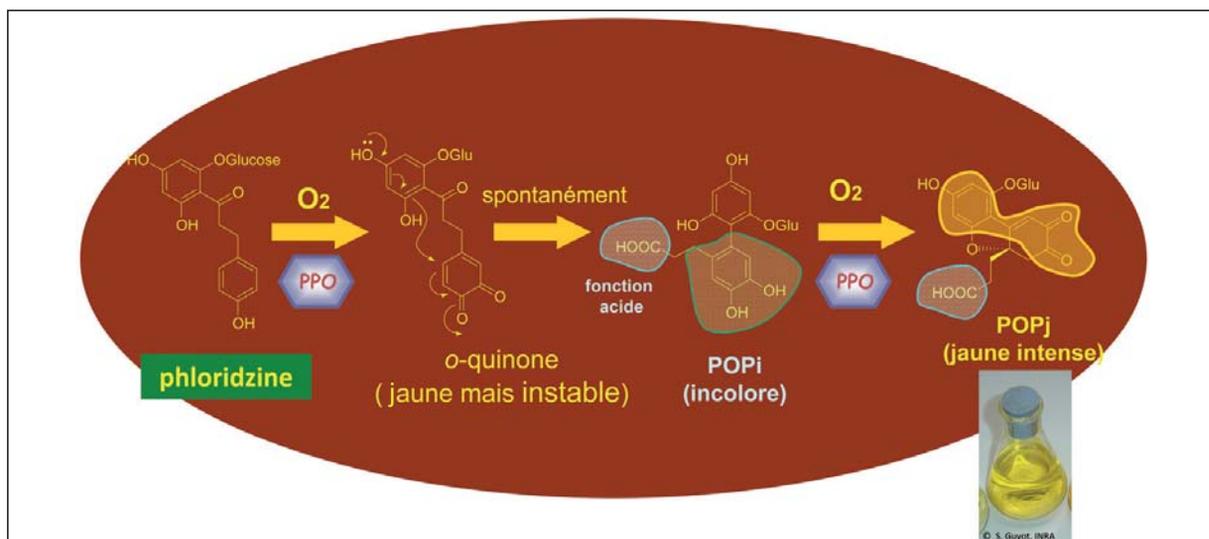
La phloridzine, abondante dans le marc de pomme, pourrait bien se révéler très utile...

Figure 14

L'oxydation enzymatique de la phloridzine, réalisée au laboratoire, conduit à un colorant jaune intense.

congénères (comme illustré par la **Figure 10**), à savoir une oxydation enzymatique en la quinone correspondante. Celle-ci évolue ensuite spontanément pour devenir un premier produit incolore, que l'on va appeler le POPi (i pour incolore) (**Figure 14**). Mais chose intéressante, au cours de cette transformation, d'autres parties de la molécule de départ ont été modifiées, et il apparaît une nouvelle fonction, la fonction carboxyle COOH, qui permet à la molécule d'être soluble dans l'eau ! Mais ce n'est pas encore terminé : cette molécule va ensuite se ré-oxyder et se réarranger pour donner finalement une molécule, POPj (j pour jaune), dont quelques milligrammes dissous dans de l'eau donnent un jaune très intense !

Les chimistes ont poussé plus loin l'utilisation potentielle de ce nouveau colorant, en jouant sur l'acidité, c'est-à-dire sur le pH. En effet, selon le pH de la solution, l'intensité du jaune varie sensiblement, et l'on détient ainsi toute une



gamme de nuances du jaune (Figure 15) : en allant vers des pH basiques par exemple, on s'oriente vers des couleurs orangées.

Puis ils ont essayé de décliner cette coloration dans différents aliments, tels que des gélatines, qui pourraient bien séduire nos amis anglo-saxons, friands de *jellies* (Figure 16) ; ou encore du lait, du riz...

Mais où en est-on aujourd'hui avec ce colorant prometteur ? Malheureusement, la molécule de phloridzine reste chère à produire à partir de marc de pommes. De plus, l'enzyme polyphénoloxydase est difficile à manipuler car elle est fragile.

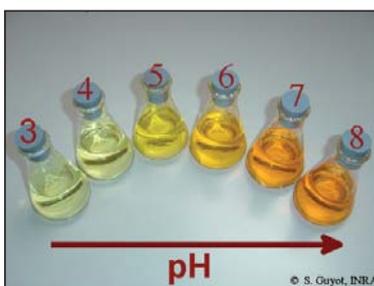
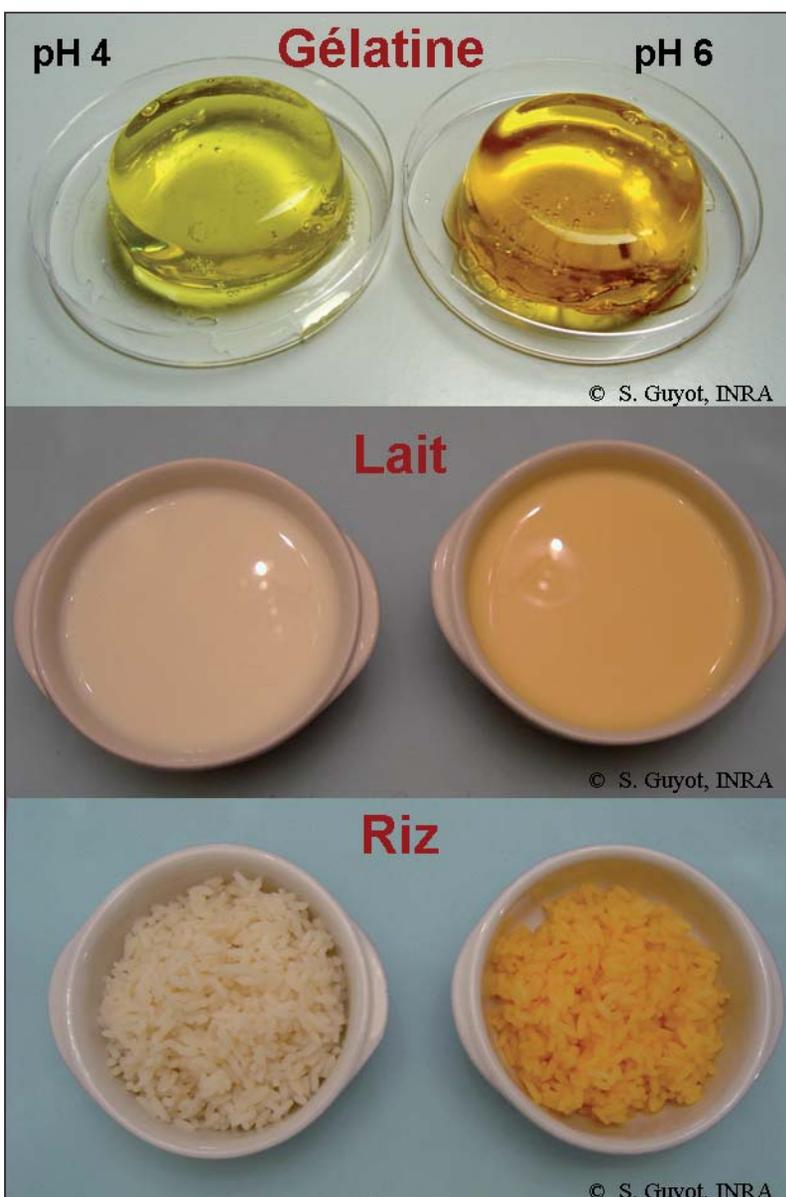


Figure 15

Du jaune à la demande : il suffit de changer le pH, c'est-à-dire l'acidité de la solution.

Figure 16

Du laboratoire à la cuisine.



Les colorants alimentaires et l'avenir ?

Polyphénols, quinones, oxydations... la coloration naturelle des aliments est résolument une histoire de chimie, ne nous leurrions donc pas. E160, E162, E163 et tant d'autres additifs sont toutes des molécules issues de la nature.

Au vu des contraintes auxquelles les industriels sont soumis, car préserver la santé du consommateur est une exigence réglementaire, il reste à développer une chimie qui réponde à ses besoins tout en le protégeant. La piste idéale à ce jour est d'utiliser les processus naturels afin de créer de nouvelles molécules colorantes, et donc pourquoi ne pas utiliser les co-produits, les sous-produits de transformations tel que le marc de pomme, mais également la pulpe de café ? La nature regorge d'assez de polyphénols pour laisser entrevoir des voies intéressantes...

Bibliographie

[1] *La chimie et l'art*, le génie au service de l'homme. Chapitre de B. Valeur. Coordonné par Minh-Thu Dinh-Audouin, Rose Agnès Jacquesy, Danièle Olivier et Paul Rigny, EDP Sciences, 2010.

Crédits photographiques

- Fig 6A : N. Le Marre, INRA
- Fig 6B, 12, 14 et 16 : S. Guyot, INRA
- Fig 7 : lavage et pressurage : IFPC ; râpage : S. Guyot, INRA
- Fig 9 : Minh-Thu Dinh-Audouin