

 ART & SCIENCE

Turner et le Soleil, vu de près !

Grâce à trois textures différentes, le peintre Joseph Turner a représenté un Soleil en accord avec les observations de l'astronome William Herschel.

Loïc MANGIN

Fin avril 1801, à Londres, au siège de l'Académie royale des Beaux-Arts, on prépare activement une prochaine exposition. Le peintre Joseph Turner (1775-1851), membre de l'institution depuis qu'il a 15 ans, est présent et a prévu de montrer *Dutch boats in a Gale* (*Bateaux hollandais dans la tempête*). À cette époque, la Société royale des sciences bruisse des commentaires faits aux exposés donnés par l'astronome William Herschel (1738-1822) sur la nature du Soleil. Or, en ce début de XIX^e siècle, les deux vénérables assemblées se partagent le même bâtiment, la *Somerset House*, et ne sont séparées que par une mince cloison. A-t-elle été suffisamment poreuse pour autoriser les échanges entre artistes et scientifiques ? C'est l'hypothèse défendue par James Hamilton, de l'Université de Birmingham, biographe du peintre. Les idées de Herschel auraient inspiré l'artiste, qui aurait fait du Soleil un objet réel plutôt qu'une simple source de lumière : *The festival of the opening of the vintage at Mâcon* (*Fête pour le début des vendanges dans le Mâconnais, voir page ci-contre*) serait le premier tableau où le Soleil est peint de cette façon.

De fait, le 16 avril 1801, une conférence de Herschel est consacrée aux imperfections de la surface du Soleil et aux causes des variations de ses émissions de lumière et de chaleur. Il décrit les observations qu'il a faites grâce à des filtres (des solutions d'encre diluée) installés sur des télescopes. Selon lui, le Soleil est constitué d'un corps solide opaque entouré d'un milieu élastique transparent le séparant d'une couche lumineuse. Cette dernière est mouvante et l'astronome y a notamment décelé des ouvertures, c'est-à-dire

des trouées qui donnent à voir la surface du corps solide plus sombre. La couche lumineuse est aussi parcourue « de crêtes, d'ondulations, de nodules... ».

Ces trouées sont aujourd'hui nommées taches solaires. On sait qu'elles résultent d'une baisse localisée de la température de la photosphère (la couche lumineuse externe), ce « refroidissement » s'accompagnant d'une diminution de l'émission lumineuse. L'idée de trouée est obsolète.

Étonnamment, Herschel imaginait que des habitants vivaient à la surface du cœur solide ! En outre, en étudiant les variations des taches solaires, il montra que plus elles étaient nombreuses, plus le prix du blé était élevé. C'était le premier lien établi entre l'activité solaire et le climat.

Ainsi, le Soleil cessait d'être inaccessible à l'étude et devenait un objet physique que l'on pouvait analyser et décrire. La nouvelle eut beaucoup de retentissement, même au-delà de la communauté scientifique.

Turner a peint *The festival* au retour de son périple en France et en Suisse en 1803, à un moment où les théories de Herschel étaient connues de tous. Comment s'en est-il emparé ? Un examen minutieux révèle qu'il a utilisé trois techniques différentes pour représenter le Soleil (voir la figure page ci-contre en haut) et lui conférer une réalité physique. Une région du disque de peinture a été tamponnée par des petits coups de pinceaux (*zone 1*) ; dans une autre, un linge fin a été appliqué (*zone 2*) ; une autre encore a été un peu plus lissée (*zone 3*). Au total, trois textures distinctes donnent corps aux observations de Herschel et font apparaître « nodules, crêtes et ondulations ».

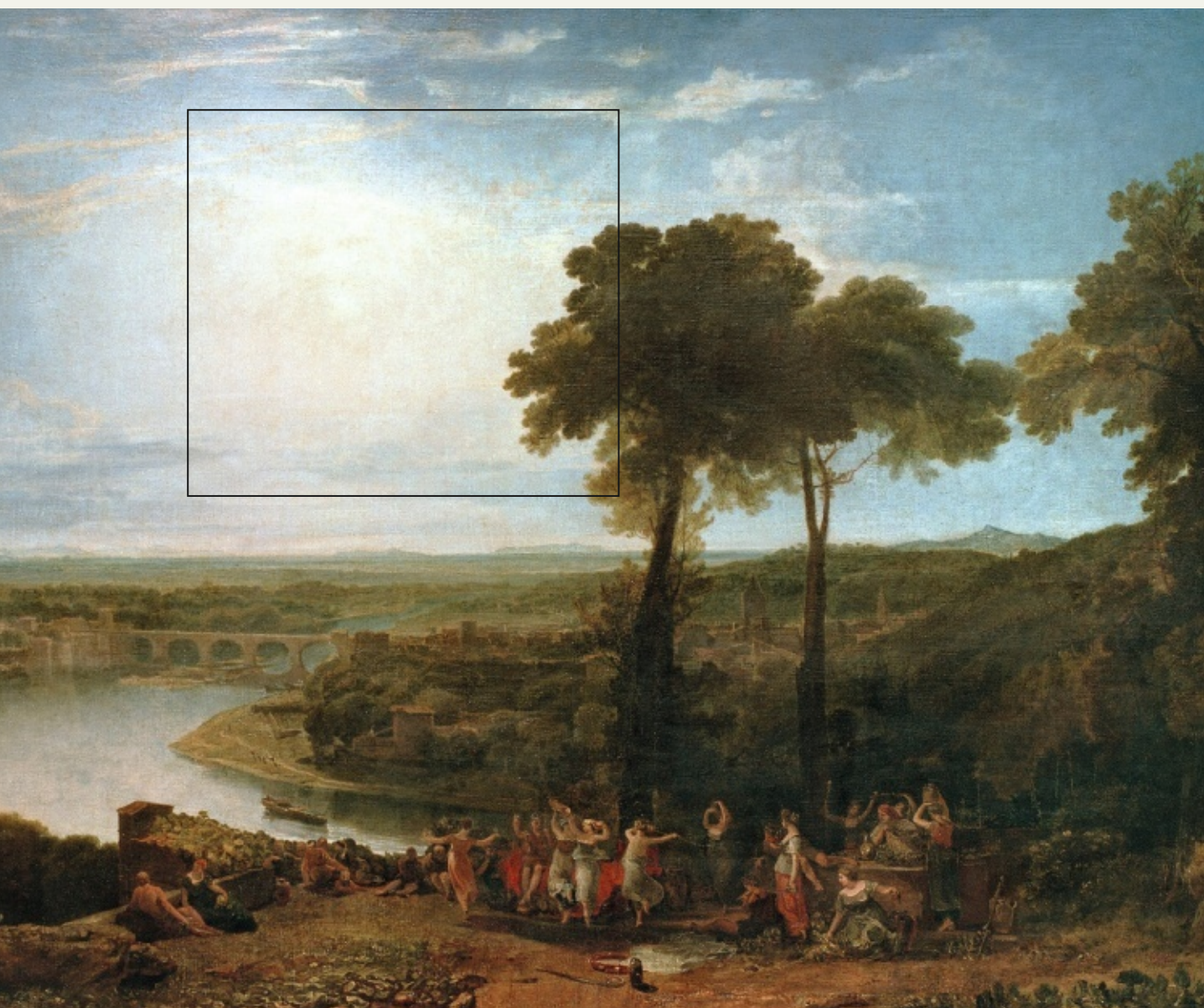
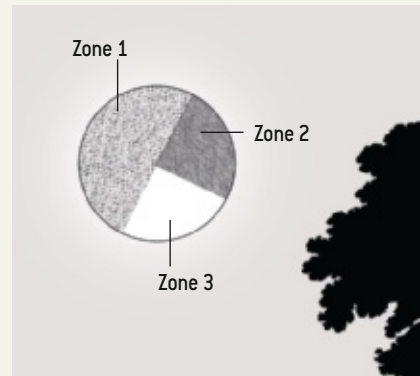


On ne dispose d'aucun témoignage d'une communication directe entre Herschel et Turner, mais on sait que le peintre connaissait plusieurs scientifiques, notamment le paléontologue Richard Owen, la mathématicienne Mary Somerville et le chimiste Humphry Davy. Même si on en ignore le truchement, on ne peut douter que Turner ait eu vent des travaux de Herschel.

Une amitié solide liait également le peintre avec le physicien Michael Faraday. Les deux hommes ont souvent discuté – et testé – les

qualités des pigments et leur dégradation dans le contexte pollué du Londres des XVIII^e et XIX^e siècles. Ils appréciaient aussi les couchers de soleil. Le physicien regrettait le peu d'intérêt des peintres en général pour l'étude de la lumière, mais Turner, le « peintre de la lumière », n'était sans doute pas concerné par cette critique. ■

Turner and the Elements, pp. 52-64, Bucerius Kunst Forum, 2012.
La conférence d'Herschel du 16 avril 1801 en intégralité : <http://tinyurl.com/d9verck>



IDÉES DE PHYSIQUE

Pourquoi le ciel n'est pas bleu

Même par temps dégagé et en l'absence de poussières, le ciel n'est pas d'un bleu uniforme. En cause : l'épaisseur d'atmosphère traversée par les rayons du Soleil.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

De quelle couleur est le ciel quand l'air est pur et sans nuages ? « Bleu », répond-on sans hésiter. Pourtant, cette couleur n'est jamais uniforme et présente de nombreuses nuances. À des bleus plus ou moins sombres – et même du bleu pâle vers l'horizon – durant la journée, succèdent des teintes orange, rose, rouge ou pourpre en début de soirée et au crépuscule.

Un unique mécanisme est à l'origine de ces colorations : la diffusion de la lumière du Soleil par les molécules de l'atmosphère. Comme nous allons le voir, les diverses nuances colorées s'expliquent par la variation, avec la position du Soleil ou la direction du regard, de l'épaisseur d'air traversée par les rayons solaires.

De jour, le ciel n'est pas sombre. Pourquoi ? Parce que chacune des molécules de l'atmosphère (diazote, dioxygène, etc.), éclairées

par le Soleil, renvoie dans toutes les directions une petite quantité de la lumière incidente : c'est la diffusion Rayleigh.

Ce phénomène porte le nom du physicien anglais qui montra en 1871 que l'intensité diffusée pour une lumière monochromatique est inversement proportionnelle à la puissance quatrième de sa longueur d'onde. Il s'ensuit que pour des intensités incidentes égales, une même molécule renvoie 4,3 fois plus le bleu (longueur d'onde vers les 450 nanomètres) que le rouge (vers 650 nanomètres).

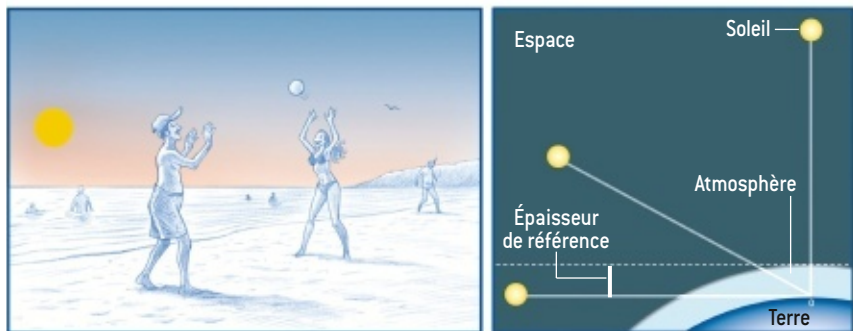
Pourquoi le ciel est bleu... ou presque

Ainsi, éclairée par de la lumière blanche, où toutes les longueurs d'onde sont présentes avec des intensités à peu près égales, comme l'est la lumière du Soleil,

une molécule diffuse plus de bleu que de rouge. C'est pour cette raison qu'un ciel pur nous apparaît bleu : lorsqu'on fixe une direction donnée dans le ciel (distincte de celle du Soleil !), l'œil capte la lumière diffusée selon cette direction par l'atmosphère et qui contient bien plus de bleu que de rouge.

Toutefois, on ne voit pas un bleu uniforme sur tout le ciel. La principale raison est que l'épaisseur d'atmosphère traversée par la lumière solaire dépend de la direction observée. Lorsque nous fixons le zénith, cette épaisseur est minimale, de l'ordre de dix kilomètres. Si nous nous trouvons à la montagne ou à bord d'un avion, l'épaisseur est réduite d'une valeur égale à notre altitude. Par conséquent, le nombre de molécules d'air susceptibles de diffuser la lumière du Soleil vers notre œil diminue en proportion : l'intensité de la lumière diffusée baisse et le ciel devient plus sombre – jusqu'à devenir noir lorsque nous quittons l'atmosphère, comme l'est le ciel vu à partir de la Lune.

Revenons sur Terre et abaissons notre regard vers l'horizon : l'épaisseur d'atmosphère traversée par notre ligne de visée se met à croître (voir la figure 1). Pour un angle de 30 degrés au-dessus de l'horizon, l'épaisseur traversée est double de celle au zénith, que nous prenons comme référence. Par conséquent, l'intensité de la lumière diffusée double. Si la Terre était plate, en s'approchant de l'horizon, cette épaisseur traversée tendrait vers l'infini ; mais comme notre globe est sphérique, elle demeure finie. Elle atteint 38 épaisseurs atmosphériques à l'horizon.



1. AU COUCHER DE SOLEIL, les rayons de notre astre traversent une plus grande épaisseur d'atmosphère que lorsque le Soleil est au zénith. Quand le Soleil est au niveau de l'horizon, l'épaisseur traversée est près de 40 fois celle traversée au zénith (le schéma n'est pas à l'échelle). Plus l'épaisseur d'air traversée est grande, plus la lumière incidente est diffusée. Comme les molécules de l'air diffusent davantage le bleu que le rouge, la lumière incidente dans la direction de l'horizon perd ses composantes bleues : elle apparaît donc orange.

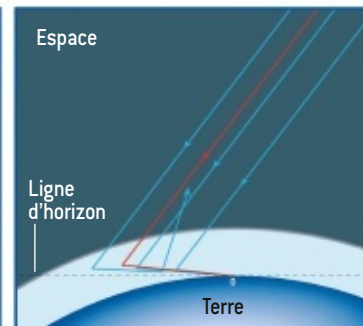
La conséquence sur l'intensité lumineuse est immédiate : plus notre regard s'éloigne du zénith, plus le ciel est lumineux, puisque davantage de molécules diffusent la lumière. Mais ce n'est pas tout : on peut aussi constater que le ciel blanchit (voir la figure 2). Pour en comprendre la raison, remarquons d'abord qu'à cause de la diffusion Rayleigh, l'intensité d'un rayon lumineux diminue à mesure qu'il se propage dans l'atmosphère, jusqu'à s'éteindre presque complètement. Comparons à présent ce qu'il advient à un rayon de lumière bleue et à un rayon de lumière rouge.

Pour de la lumière bleue, il ne reste plus que cinq pour cent de l'intensité initiale après la traversée d'environ dix épaisseurs atmosphériques. Cela signifie que si nous regardons dans une direction pour laquelle l'épaisseur traversée est supérieure (entre 0 et 5 degrés au-dessus de l'horizon), nous ne verrons pas la lumière bleue diffusée par les molécules distantes de plus de dix épaisseurs atmosphériques de nous. Il s'ensuit que l'intensité diffusée dans le bleu cesse de croître lorsqu'on abaisse le regard, et sature avant d'atteindre l'horizon.

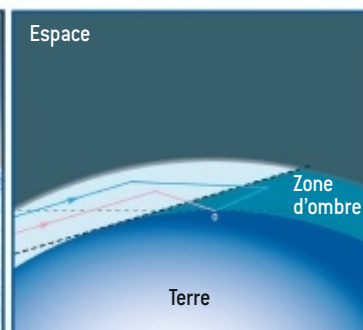
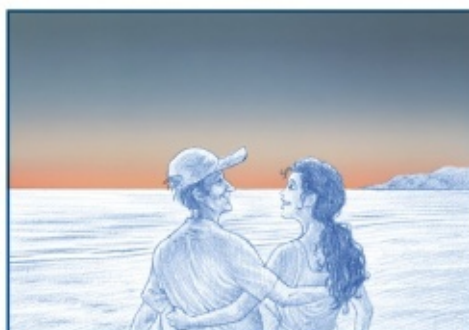
En revanche, pour la lumière rouge, l'épaisseur d'extinction est 4,3 fois supérieure et demeure plus grande que l'épaisseur maximale d'atmosphère : la lumière diffusée dans le rouge ne sature donc pas. Par conséquent, l'horizon envoie autant de lumière bleue que de lumière rouge (cette dernière étant diffusée quatre fois moins que le bleu par chaque molécule, mais par quatre fois plus de molécules) et donc nous retrouvons de la lumière blanche. Ainsi, à mesure que notre regard s'éloigne du zénith, le bleu intense pâlit, jusqu'à devenir presque blanc à l'horizon.

Des coloris au coucher et au crépuscule

Quand le Soleil se couche, de nouvelles couleurs apparaissent. D'une part, la couleur de notre astre change : il devient rouge profond. En effet, puisque la lumière solaire incidente traverse à l'horizon près de 40 épaisseurs atmosphériques, toutes ses composantes autres que les rouges et les



2. EN PLEINE JOURNÉE, le ciel est bien bleu, mais tire vers le blanc juste au-dessus de l'horizon. Ce phénomène est dû au fait que les composantes bleues et rouges de la lumière (blanche) du Soleil qui parviennent à l'observateur depuis l'horizon s'équilibrent à peu près. Le bleu est environ quatre fois plus diffusé que le rouge par chaque molécule de l'air. Il s'ensuit que les rayons bleus devant traverser plus d'une dizaine d'épaisseurs atmosphériques pour atteindre l'observateur (tel le rayon bleu le plus à gauche dans le schéma) sont très atténués, ce qui n'est pas le cas des rayons rouges. Mais ces derniers sont moins diffusés, d'où la compensation.



3. AU CRÉPUSCULE, quand le Soleil est sous l'horizon, la lumière solaire rasante est diffusée par l'atmosphère. Le ciel garde donc une certaine luminosité, même dans la partie de l'atmosphère qui se trouve dans l'ombre. La lumière en provenance de l'horizon est rougeâtre, car l'épaisseur atmosphérique traversée est très grande. En direction du zénith, le ciel est bleu sombre.

orangés ont diffusé. D'autre part, on remarque que même si le Soleil est passé sous l'horizon, le ciel reste lumineux, parce que la lumière solaire rasante est diffusée par l'atmosphère, que notre regard embrasse (voir la figure 3). On peut constater qu'au crépuscule, la lumière solaire forme une bande jaunâtre qui embrasse l'horizon de part et d'autre de l'endroit où le Soleil se couche, bande dont la luminosité diminue horizontalement à mesure que l'on s'écarte de l'endroit du coucher.

À quoi est due cette arche crépusculaire ? La lumière qui atteint l'atmosphère au-dessus de nous rougit et s'éteint au fur et à mesure que le Soleil s'abaisse vers l'horizon. Il en est de même de la lumière diffusée de l'horizon vers nous, mais, puisque les composantes de petites longueurs d'onde

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>



Retrouvez les articles de J.-M. Courty et E. Kierlik sur www.pourlascience.fr

■ BIBLIOGRAPHIE

D. K. Lynch et W. Livingston,
Aurores, mirages, éclipses...,
Dunod, 2002.

restent les plus diffusées, on passe successivement par le jaune quand le Soleil est, disons, 5 degrés au-dessus de l'horizon, puis par l'orange (–5 degrés), le rouge, le rouge sombre (–10 degrés) quand il est au-dessous. Par ailleurs, puisque la lumière diffusée doit traverser de plus en plus d'atmosphère pour nous atteindre et provient de régions de plus en plus basses vers l'horizon, l'arche crépusculaire s'atténue et perd en extension à la fois verticale et horizontale.

Si cette arche nous apparaît aussi spectaculaire, c'est parce qu'elle bénéficie également d'un fort effet de contraste avec le reste du ciel : au crépuscule, lorsque nous regardons vers le zénith, nous voyons une lumière diffusée qui a traversé une épaisseur d'air bien plus faible. La teinte revient donc vers le bleu tout en s'as-

sombrissant, car le nombre de molécules diffusantes diminue. Pour les angles de regard intermédiaires, on observe un mélange qui peut donner des pourpres magnifiques, au hasard des conditions atmosphériques. Puis, à mesure que le Soleil s'abaisse sous l'horizon, la proportion d'atmosphère située dans l'ombre de la Terre augmente.

Le ciel s'assombrit, sans toutefois être complètement noir : il n'est plus éclairé directement par le Soleil, mais indirectement, par la partie du ciel illuminée par le Soleil. Les rayons qui nous parviennent de cette région du ciel ont donc subi deux diffusions pour nous atteindre. Leur intensité est très faible ; cependant, notre œil est suffisamment sensible pour distinguer ce ciel obscur de la noirceur de la nuit à venir. ■



SCIENCE & GASTRONOMIE

Du vin avec la salade ? Hérésie !

L'astringence, plus une sensation qu'un goût, est multiple.

Hervé THIS



Un vin un peu jeune est astringent : il « resserre la bouche », tout comme le font certains sels de métaux, des acides et des composés déshydratants tels que les alcools. À quoi est dû cet effet ? Une expérience intéressante consiste à mettre en bouche une petite quantité d'un vin astringent, de la faire tourner dans la bouche et de la recracher : on voit apparaître des précipités. On les attribuait à la liaison des tanins du vin aux protéines salivaires, d'où l'astringence.

Hélas cette expérience n'était pas tout et le mot « tanin » est imprécis : depuis quelques décennies, on sait que seuls certains de ces composés phénoliques se lient aux protéines. Auxquelles ? D'autres composés que les composés phénoliques se lient-ils aux protéines de la salive ? Et la liaison de composés à des protéines est-elle la seule cause de l'astringence ? C. Lee, B. Ismail et Z. Vickers, à l'Université du Minnesota, viennent de réexplorer la question (*Journal of Food Science*, vol. 77(4), pp. C381-C387, 2012).

Les analyses de l'astringence s'étaient focalisées sur les protéines salivaires PRP riches en proline (un acide aminé) et sur des composés phénoliques nommés tanins condensés. Elles n'avaient pas considéré l'effet d'autres composés sur ces PRP, et n'avaient guère examiné l'effet des divers produits astringents sur d'autres protéines salivaires.

À l'aide d'électrophorèse sur gel (sur un gel, des mélanges de protéines sont soumis à un fort champ électrique : les divers types de protéines migrent alors à des vitesses différentes selon leurs masses et charges électriques), les chimistes américains ont analysé les contenus en protéines salivaires

dans les précipités formés avec les tanins, avec de l'alun (sulfate de potassium et d'aluminium) et avec de l'acide chlorhydrique.

Par ailleurs, afin de déterminer si l'astringence était associée à une lubrification réduite de la bouche, ils ont mesuré le contenu en mucines et en ADN de solutions recrachées après mise en bouche de composés astringents : les mucines sont de grosses protéines salivaires, liées à des sucres, qui sont plus lubrifiantes que les PRP et qui, *in vitro*, sont précipitées par des acides et des tanins.

Dans une telle étude, l'eau distillée est de rigueur, les composés utilisés sont purs, tout est caractérisé et quantifié. Par exemple, les chimistes ont soigneusement consigné et réglementé ce que mangeaient et buvaient les acteurs des tests ; ils ont mesuré la concentration en protéines chaque fois que les dégustateurs recrachaient, en fonction des conditions des tests (le matin, le soir, après s'être rincé la bouche...) ; ils ont cherché si les solutions recrachées contenaient plus d'ADN qu'en période normale, hors sessions expérimentales, ce qui aurait indiqué une desquamation de la muqueuse orale...

Il est apparu que les tanins et l'alun précipitent plusieurs PRP, mais que l'acide est sans effet sur ces protéines. Les mucines, en revanche, étaient précipitées à la fois par l'acide et par l'alun, mais pas par les tanins... ce qui était troublant, car d'autres équipes avaient observé une précipitation : on suppose aujourd'hui soit que la composition en tanins est en cause, soit que ces tanins forment des complexes avec les protéines, mais que ces complexes ne précipitent pas.

Autrement dit, la précipitation des protéines salivaires est une des composantes

de l'astringence, mais la précipitation des PRP n'est pas indispensable. La perte de lubrification n'est pas toujours associée à l'astringence. Par ailleurs, les astringents les plus puissants détachaient notablement plus d'ADN que les autres composés, mais l'interaction des composés astringents et des protéines salivaires ne semble pas éliminer la couche salivaire qui est sur les tissus de la bouche.

Au total, l'astringence n'est pas une, mais multiple dans sa nature et ses sensations. Par exemple, frotter la peau d'une banane verte sur la partie interne des lèvres engendre une sensation de contraction qui n'est pas celle que l'on ressent avec les acides. Pour ces derniers, la désorganisation de la couche lubrifiante semble être en cause. Pour l'alun, des études de tissu porcin semblent montrer que l'astringence est analogue à celle conférée par les acides.

Et à table ? On dit souvent qu'il faut éviter les vins astringents avec la salade. Il est vrai que la sensation est souvent désagréable : plusieurs mécanismes d'astringence pourraient agir en synergie, une astringence due aux composés phénoliques s'ajoutant à l'astringence due aux acides de la vinaigrette.



Hervé This est chimiste dans le Groupe INRA de gastronomie moléculaire, professeur à AgroParisTech et directeur scientifique de la Fondation Science & Culture Alimentaire (Académie des sciences).



Retrouvez les articles de Hervé This sur www.pourlascience.fr