

Investigation de la stabilité en solution de colorants naturels

Les anthocyanines

Résumé L'étude de la stabilité des colorants reste une problématique importante en chimie et un enjeu industriel. En effet, les colorants utilisés doivent être suffisamment stables dans le temps pour assurer la qualité des produits. La compréhension des mécanismes mis en jeu dans leur stabilité thermique et photochimique est ainsi indispensable. En s'appuyant sur le cas des anthocyanines – colorants naturels rencontrés notamment dans le domaine alimentaire, par exemple dans les boissons –, une démarche d'investigation incluant les principales techniques utilisées pour l'étude de la stabilité de colorants en solution aqueuse est présentée dans cet article, en particulier le vieillissement accéléré des solutions, la spectrométrie UV-visible, la modélisation moléculaire, la résonance paramagnétique électronique (RPE) et la voltamétrie cyclique.

Mots-clés Décoloration, colorants, anthocyanines, vieillissement accéléré, spectrométrie UV-visible, modélisation moléculaire, RPE, voltamétrie cyclique.

Abstract Investigation of stability in solution of natural dyes: the anthocyanins

The study of colorants remains a challenging issue from a chemical and industrial point of view. Indeed, the dyes need to be sufficiently stable in time to ensure the good quality of the products. The understanding of the mechanisms involved in their thermal and photochemical stability is therefore essential. This article presents an investigation approach, introducing the main techniques used for characterizing the stability of colorants in solution by focusing on one example, anthocyanins, which are natural colorants mainly used in food industry, for instance in beverages. This includes in particular the accelerated ageing of the solutions, the UV-visible spectrometry, the molecular modelling, the electron spin resonance (ESR) and the cyclic voltammetry.

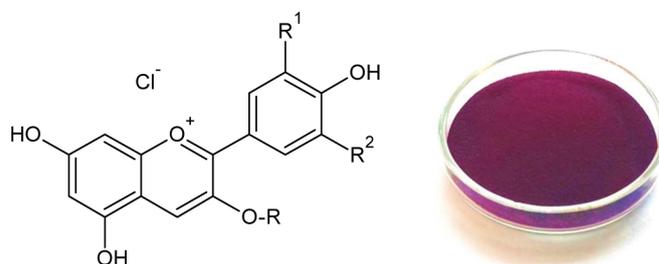
Keywords Colour fading, dyes, anthocyanins, accelerated ageing, UV-visible spectrometry, molecular modelling, electron spin resonance (ESR), cyclic voltammetry.

L'étude des colorants d'origine naturelle est un sujet de recherche en pleine expansion. En effet, ils attirent de plus en plus l'attention des industriels désireux de satisfaire les consommateurs sensibles aux problématiques environnementales et à l'innocuité des produits [1]. Parmi ces colorants, un engouement a été observé pour les anthocyanines, ou anthocyanes, solubles dans l'eau et appréciées pour leurs couleurs attractives allant du rouge au bleu [2]. Ces pigments sont contenus dans des fleurs, feuilles, légumes, fruits et racines (par exemple dans le raisin, les baies de cassis, le chou rouge, les orchidées, etc.). Les extraits contenant des anthocyanines sont constitués d'une multitude de molécules généralement dérivées des six structures polyphénoliques principales listées en figure 1. La composition en anthocyanines dépend de la nature des extraits et du procédé d'extraction utilisé.

Comme en témoignent des études archéologiques [4], les extraits naturels contenant des anthocyanines entraient autrefois dans la composition de certaines peintures. Actuellement, les anthocyanines sont particulièrement utilisées dans le domaine de l'alimentaire [1-2, 5]. En effet, elles ont l'avantage d'offrir une source renouvelable de pigments de couleur intense solubles dans l'eau. De plus, elles apportent des vertus bienfaites pour la santé grâce à leur activité antioxydante [6]. Des études commencent également à s'intéresser à leur utilisation pour la teinture de textiles [7].

Les colorants naturels sujets à un manque de stabilité

Les anthocyanines, comme la plupart des colorants naturels, sont sensibles aux facteurs environnementaux tels que la



	R ¹	R ²	Couleur
Pelargonidin	H	H	Orange
Cyanidin	OH	H	Rouge-orange
Peonidin	OCH ₃	H	Rouge
Delphinidin	OH	OH	Violet
Petunidin	OCH ₃	OH	Violet
Malvidin	OCH ₃	OCH ₃	Violet

R: groupement glucoside

Figure 1 - Structures et couleurs des principales formes d'anthocyanines [3]. L'extrait en poudre correspond à un mélange d'anthocyanines extraites de carottes noires.

lumière, la chaleur, la présence d'oxygène, le pH et à la réactivité avec les autres molécules en présence [8]. En dehors d'une éventuelle toxicité que pourraient avoir les produits de dégradation, ce manque de stabilité conduit souvent à une décoloration du milieu contenant les anthocyanines et affecte négativement la perception de la couleur. C'est pour cela que de nombreuses études s'intéressent à la stabilité des colorants

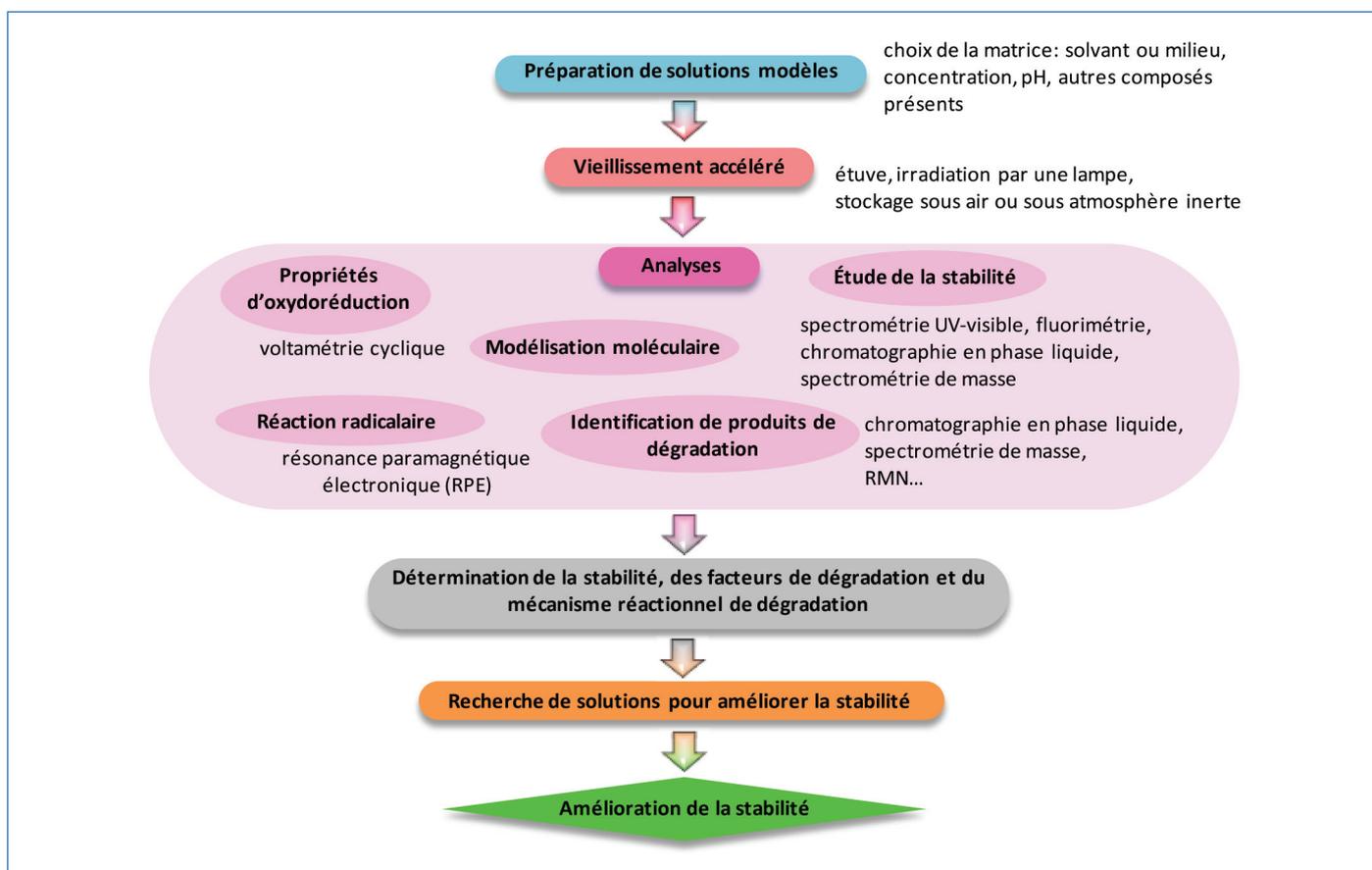


Figure 2 - Schéma d'un protocole de recherche pour l'étude de la stabilité de colorants en solution aqueuse et de leur mécanisme de dégradation sur des échantillons modèles.

naturels et aux mécanismes de dégradation afin de pouvoir améliorer leur stabilité et les rendre aptes à être utilisés industriellement.

En prenant l'exemple d'anthocyanines extraites de carottes noires, un protocole de recherche est présenté ici pour l'étude de la stabilité des colorants en solution aqueuse et de leur mécanisme de dégradation (figure 2) : vieillissement accéléré des solutions, spectrométrie UV-visible, modélisation moléculaire, résonance paramagnétique électronique (RPE) et voltamétrie cyclique. Dans le cas des boissons, ce type d'étude a pour but le développement de nouvelles formulations plus saines pour le consommateur.

Vieillessement accéléré

Il est nécessaire tout d'abord de préparer des solutions modèles pour se rapprocher des conditions réelles. Dans le cas des anthocyanines utilisées comme colorants dans les boissons, on se place par exemple dans une solution aqueuse d'acide citrique à un pH ≈ 3 correspondant à celui de nombreuses boissons, et à des concentrations significatives. Pour l'étude de leur stabilité, un vieillissement accéléré est ensuite effectué. Afin de différencier les principales voies de dégradation, les facteurs environnementaux potentiels de dégradation (*i.e.* thermiques et photochimiques) font l'objet d'études séparées (figure 3). Pour simuler un stockage dans un environnement non tempéré (stabilité thermique), les échantillons sont placés dans le noir dans une étuve à température élevée mais réaliste, par exemple 45 °C, température qui pourrait être atteinte en été dans un container. Pour l'effet de la lumière (stabilité photochimique), les échantillons peuvent être soumis à l'irradiation d'une lampe simulant le

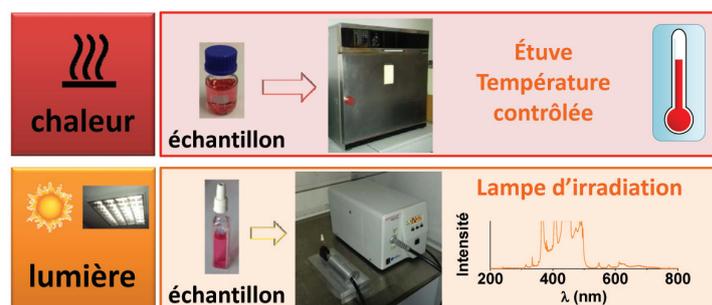


Figure 3 - Vieillessement accéléré par voies thermique et photochimique.

spectre solaire ou artificiel. Le choix de la durée de vieillissement accéléré est déterminé de sorte qu'elle corresponde aux conditions extrêmes de transport ou de stockage des boissons.

L'atmosphère joue également un rôle important sur la stabilité. Connaître son effet sur le mécanisme de dégradation des colorants permet de les conditionner au mieux pour leur stockage. Ainsi, il est utile d'étudier séparément les colorants en solution aqueuse sous air, pour l'action de l'oxygène (O_2), et sous une atmosphère inerte, par exemple sous azote (N_2).

Suivi de la stabilité en solution aqueuse par spectrométrie UV-visible

Les colorants tels que les anthocyanines ont l'avantage d'absorber dans le visible, ce qui permet de suivre leur stabilité dans le temps par spectrométrie d'absorption UV-visible [9]. L'absorbance du colorant en solution étant proportionnelle à la concentration selon la relation de Lambert-Beer,

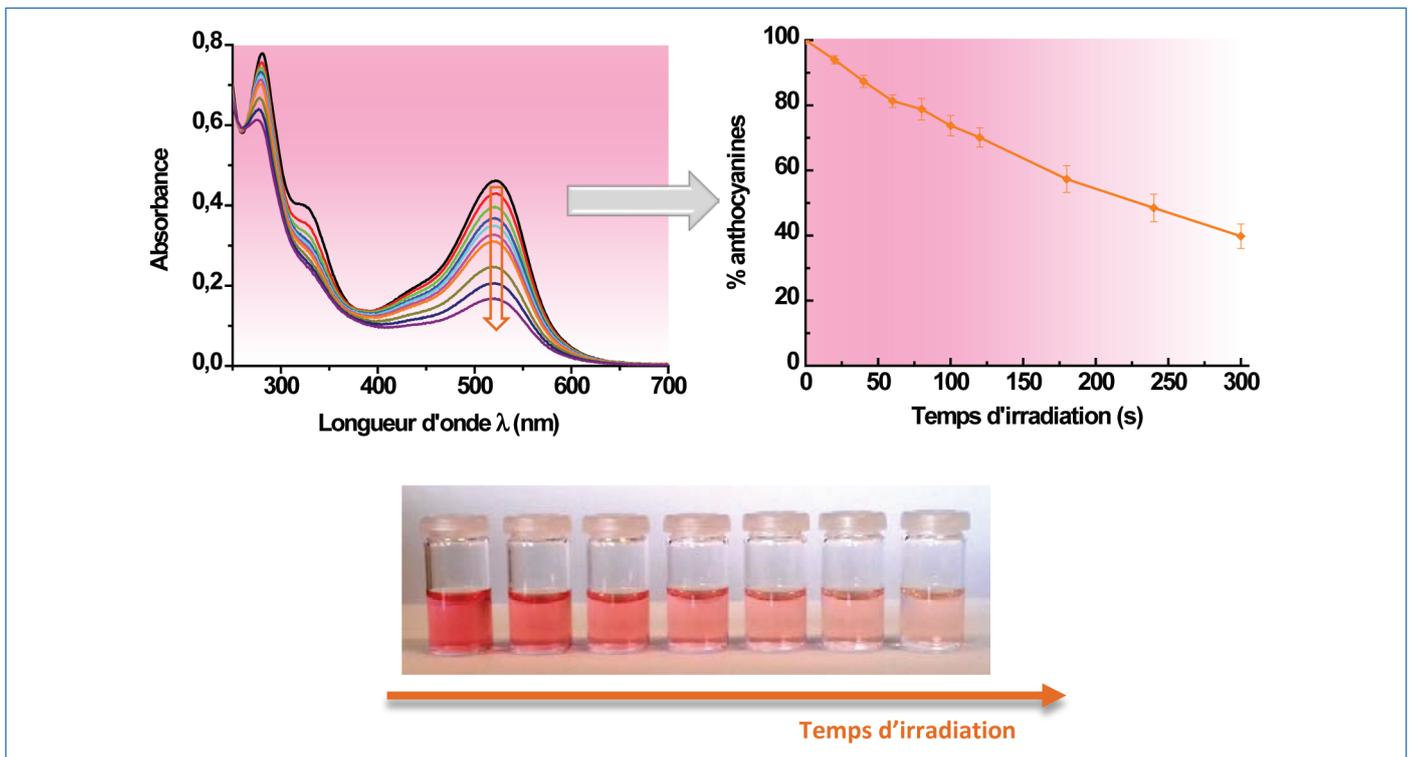


Figure 4 - Suivi par spectrométrie UV-visible de la décoloration photochimique sous air d'anthocyanines extraites de carottes noires, en solution acide (tampon citrate pH 3 ; $C_{\text{anthocyanines}} : 500 \text{ mg L}^{-1}$; irradiation : 18 W cm^{-2}). À noter : les concentrations en anthocyanines précisées dans la légende des figures correspondent à la masse d'extrait de carottes noires contenant les anthocyanines par volume de solution à pH 3.

sa stabilité peut être déterminée par l'évolution de l'absorbance maximale (figure 4).

Cette méthode permet de suivre facilement la stabilité des anthocyanines dans différentes conditions. La figure 5 montre que les anthocyanines se dégradent à la fois sous l'effet de la chaleur mais également de la lumière, avec une dégradation plus élevée en présence d'oxygène (au contact de l'air) que sous atmosphère inerte. Dans l'optique d'empêcher la dégradation des anthocyanines, ces paramètres sont à prendre en compte dans le conditionnement et le stockage des boissons.

Ajout d'antioxydants en solution

Afin d'améliorer la stabilité de la couleur de la solution et puisque les colorants alimentaires sont rarement seuls en solution, l'effet d'autres composés en solution, tels que des antioxydants, doit être étudié.

Prenons l'exemple de l'acide ascorbique, aussi appelé vitamine C, qui est l'un des antioxydants les plus utilisés dans les boissons. La figure 6 met en évidence l'effet positif de son ajout sur la photostabilité des anthocyanines en solution.

L'effet observé peut également renseigner sur le mécanisme pouvant être impliqué dans la dégradation des anthocyanines. En effet, l'augmentation de la photostabilité des anthocyanines en présence d'acide ascorbique, alors connu pour son rôle de piègeur de radicaux, suggère un mécanisme radicalaire induit par l'irradiation.

Pour aller encore plus loin dans l'amélioration de la stabilité des colorants dans les boissons, des antioxydants supplémentaires peuvent être ajoutés en plus de l'acide ascorbique, par exemple des composés phénoliques pouvant jouer le rôle de « filtres UV » [10], tels que l'acide chlorogénique, extrait des grains de café, ou encore l'acide sinapique, issu des graines de colza.

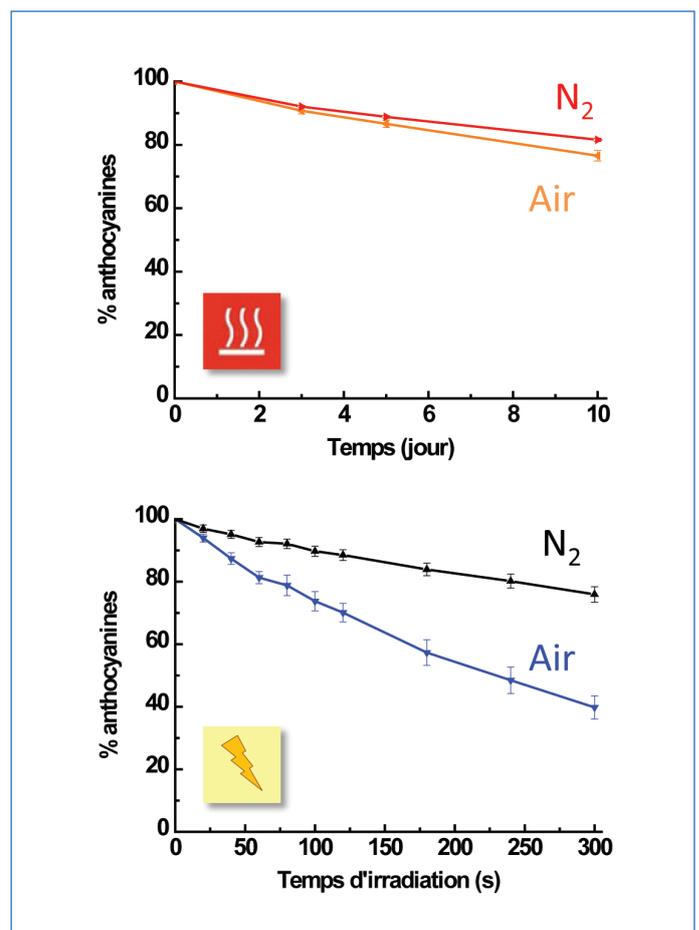


Figure 5 - Effet du mode de stockage sur la stabilité d'anthocyanines extraites de carottes noires, en solution acide (tampon citrate pH 3 ; $C_{\text{anthocyanines}} : 500 \text{ mg L}^{-1}$) : stabilité thermique à 45 °C (stockage dans le noir) et photochimique (irradiation : 18 W cm^{-2} ; température ambiante) sous air et sous azote.

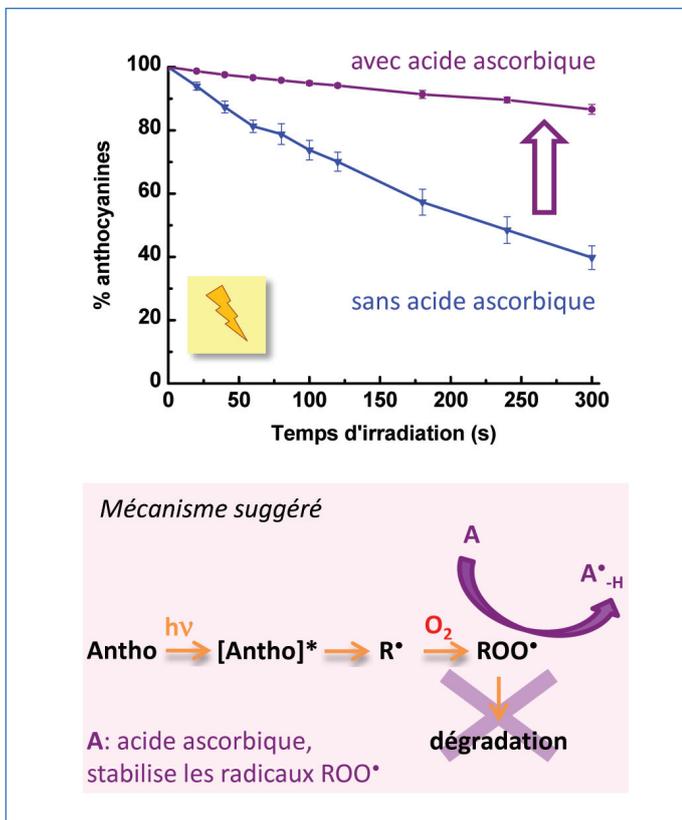


Figure 6 - Effet d'un antioxydant, l'acide ascorbique (A), sur la photostabilité sous air d'anthocyanines (Antho) extraites de carottes noires, en solution acide (tampon citrate pH 3 ; $C_{\text{anthocyanines}} : 500 \text{ mg L}^{-1}$; $C_{\text{acide ascorbique}} : 200 \text{ mg L}^{-1}$; irradiation : 18 W cm^{-2}) et exemple de mécanisme suggéré.

D'autres méthodes pour suivre la stabilité sont également possibles

La spectrométrie UV-visible est une méthode simple et efficace pour l'étude de colorants. Cependant, elle ne peut être utilisée que pour les anthocyanines seules ou en présence d'autres composés qui n'absorbent pas dans la zone 400-600 nm. En effet, si l'absorbance des autres composés se superpose à celle des anthocyanines, il n'est alors plus possible de discriminer le comportement des espèces séparées. Dans ce cas, une autre méthode peut être envisagée [9].

Si le colorant fluoresce, le suivi de la stabilité peut être effectué par émission de fluorescence à une longueur d'onde d'excitation pour laquelle les autres produits en solution ou les produits de dégradation ne fluorescent pas.

La chromatographie en phase liquide ou la spectrométrie de masse sont également des méthodes d'analyse adaptées. Bien que plus contraignantes à mettre en place, elles ont l'avantage de permettre la distinction entre différentes molécules qui auraient des longueurs d'onde d'absorption ou d'émission de fluorescence identiques, grâce à un principe de séparation pour la chromatographie en phase liquide ou par détection de leur masse pour la spectrométrie de masse. De plus, la chromatographie en phase liquide couplée à la spectrométrie de masse permet l'identification des produits de dégradation, ce qui est important à connaître à la fois pour comprendre les mécanismes de dégradation, mais également pour l'étude de la toxicité éventuelle que pourraient engendrer les produits de dégradation des colorants.

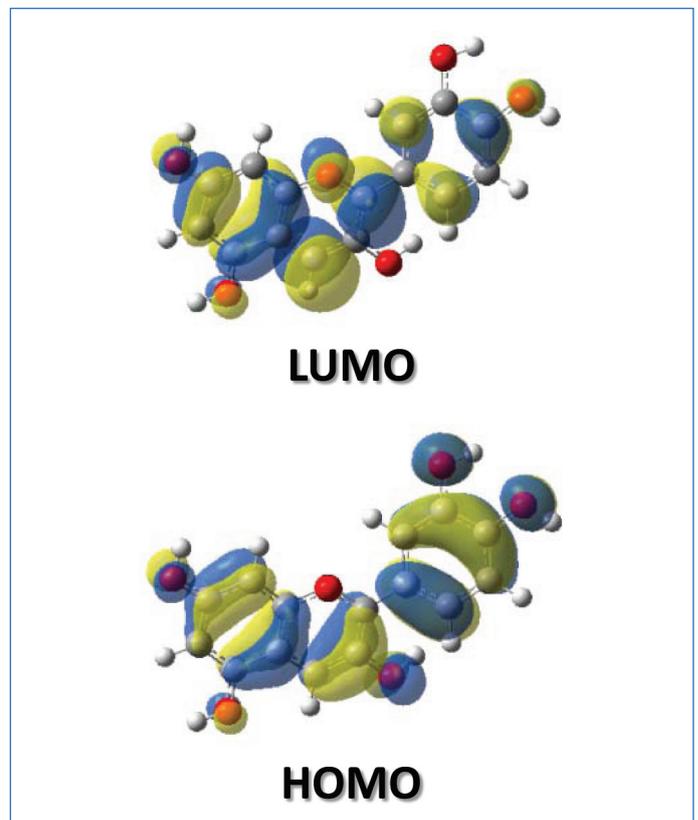


Figure 7 -Modélisation moléculaire de l'orbitale occupée de plus haute énergie (HOMO) et de l'orbitale vacante de plus basse énergie (LUMO) pour la cyanidine.

La modélisation moléculaire pour prédire des mécanismes de réaction

La modélisation moléculaire peut permettre la prédiction ou la compréhension des mécanismes de dégradation, par la simulation des orbitales moléculaires (figure 7) et par le calcul des énergies de liaison des molécules, grâce à la théorie de la fonctionnelle de la densité [11].

Lorsque l'on passe d'un caractère liant dans l'orbitale la plus haute occupée (HOMO) à un caractère anti-liant dans la plus basse vacante (LUMO) lors d'une transition électronique, on peut déstabiliser une liaison chimique et sa rupture devient alors possible. Mais pour que la liaison rompe, l'énergie apportée doit être supérieure à l'énergie de liaison. Pour les liaisons d'énergie inférieure à $5 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ ($\lambda = 400 \text{ nm}$), la rupture est assez favorable car elle correspond à des photons de longueur d'onde générés par la lumière ambiante.

Ainsi, en fonction des conditions de luminosité de stockage, il est possible de prédire les liaisons susceptibles de se rompre (par la visualisation des orbitales HOMO et LUMO ainsi que le calcul des énergies de liaison), et par conséquent d'anticiper certains produits issus de la dégradation photochimique.

Mécanisme radical suspecté ? Confirmation par RPE

Si un mécanisme radicalaire est suggéré, la RPE, appelée également résonance de spin électronique (RSE), est une méthode à privilégier pour le confirmer [12]. Cette méthode est basée sur les propriétés d'absorption de radiations électromagnétiques par les molécules possédant des électrons non appariés (espèces paramagnétiques). Les radicaux ayant cette propriété, la RPE permet ainsi de prouver leur présence en

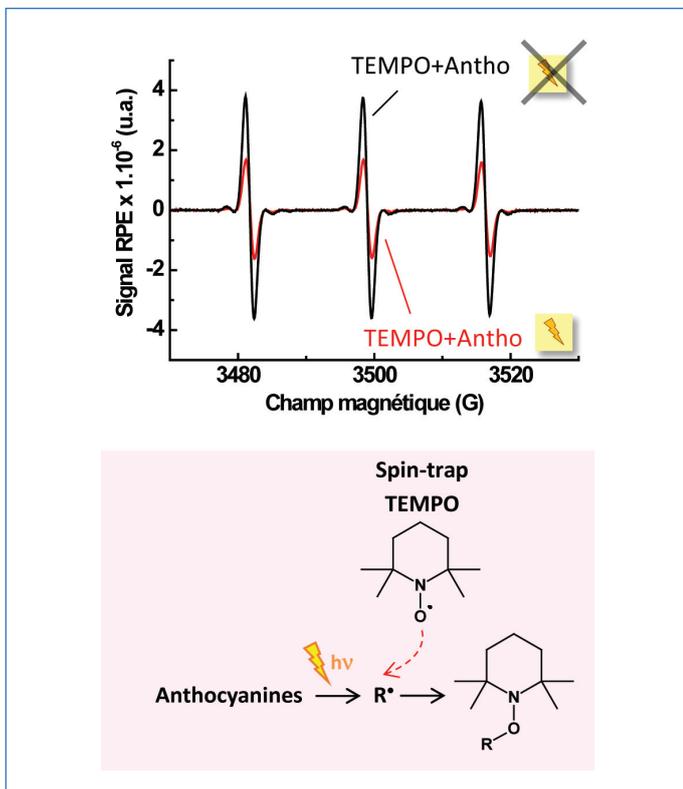


Figure 8 - Spectres RPE sous azote d'une solution acide de TEMPO contenant des anthocyanines extraites de carottes noires, avant et après 100 s d'irradiation (solution aqueuse à pH 3 préparée à partir d'acide chlorhydrique HCl dilué; $C_{\text{TEMPO}} : 10^{-4} \text{ M}$; $C_{\text{anthocyanines}} : 30 \text{ g L}^{-1}$; irradiation: 18 W cm^{-2} ; paramètres d'acquisition: se référer à [10]) et schéma correspondant au mécanisme de piégeage des radicaux par le TEMPO.

solution et par conséquent l'existence d'une réaction impliquant la formation de radicaux.

Cependant, la plupart des radicaux libres en solution ont une durée de vie trop courte pour être détectés par RPE. Ainsi, dans le cas des anthocyanines, un piégeage de spin (« spin trapping ») [13] est nécessaire, ici par le TEMPO (2,2,6,6-tétraméthylpipéridine 1-oxyl).

Seul en solution et étant une espèce radicalaire, le TEMPO donne un signal RPE. Mais lorsqu'un radical libre est présent en solution, il s'associe avec lui et forme une espèce diamagnétique indétectable par RPE, ce qui conduit à une diminution du signal.

Dans la figure 8, une diminution du signal du TEMPO est observée après irradiation d'une solution contenant du TEMPO et des anthocyanines. Cela met en évidence l'existence de radicaux en solution issus de l'irradiation des anthocyanines et renforce le mécanisme radicalaire suggéré en figure 6.

La voltamétrie cyclique pour l'étude des propriétés d'oxydoréduction

Comme observé dans la figure 5, les anthocyanines peuvent également se dégrader sans source lumineuse. Des mécanismes chimiques autres que radicalaires sont alors responsables de la décoloration.

Par exemple, les colorants peuvent subir des réactions d'oxydoréduction, dont les propriétés, telles que les potentiels d'oxydation ou de réduction, peuvent être déterminées par voltamétrie cyclique [14]. Cette technique électrochimique enregistre la réponse en courant résultant de deux balayages de potentiels successifs en sens inverse de l'électrode de

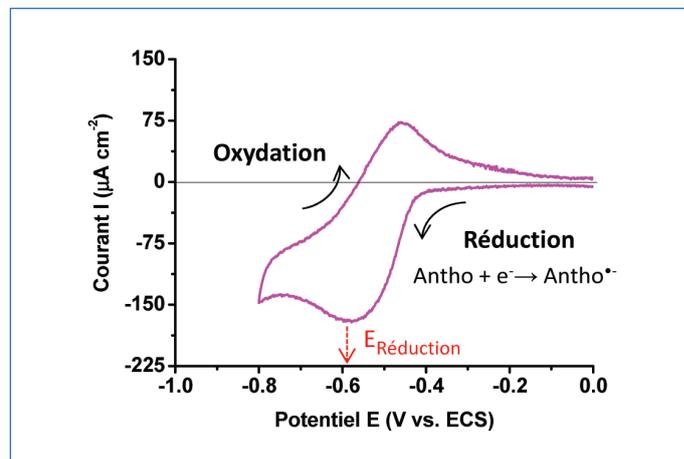


Figure 9 - Diagramme de voltamétrie cyclique sous N_2 d'anthocyanines extraites de carottes noires, en solution acide contenant du chlorure de potassium comme électrolyte de support (solution aqueuse à pH 3 préparée à partir d'acide chlorhydrique HCl dilué; $C_{\text{KCl}} : 3,4 \cdot 10^{-2} \text{ M}$; $C_{\text{anthocyanines}} : 1,4 \text{ g L}^{-1}$).

travail sur laquelle se produit la réaction électrochimique étudiée (figure 9). Le potentiel de réduction, $E_{\text{Réduction}}$, peut être directement extrait du diagramme de voltamétrie cyclique. Par comparaison avec le potentiel d'oxydation d'une autre espèce en solution, par exemple un agent réducteur, la possibilité d'une réaction d'oxydoréduction peut être évaluée.

Dans le cas de l'ajout d'acide ascorbique ($E_{\text{Oxydation}} \approx 0,4 \text{ V vs. ECS}$ (électrode au calomel saturé) [10]), la différence de potentiel redox, $\Delta E = E_{\text{Oxydation}} - E_{\text{Réduction}}$, est inférieure à 1 V. Ainsi, une réaction d'oxydoréduction entre les anthocyanines (Antho) et l'acide ascorbique (A) est possible :



L'allure du voltamogramme renseigne également sur la réversibilité de la réaction d'oxydoréduction. Dans la figure 9, la courbe de voltamétrie cyclique n'est pas symétrique; la réaction de réduction n'est donc pas complètement réversible. Cela est cohérent avec une dégradation de la coloration en milieu réducteur. En effet, alors que l'acide ascorbique améliore la photostabilité des anthocyanines (figure 6), sa présence en solution est néfaste face à la chaleur [10]. Cela peut alors s'expliquer par la réaction d'oxydoréduction qui s'opère entre les anthocyanines et l'acide ascorbique. Dans ces circonstances, pour empêcher ou diminuer cette dégradation, s'il n'est pas possible de retirer l'acide ascorbique de la formulation, des additifs alimentaires supplémentaires doivent être ajoutés, comme l'acide chlorogénique ou l'acide sinapique mentionnés précédemment.

Cette différence de réactivité des composés en solution face aux différents modes de stockage montre qu'il est essentiel de séparer les deux effets (thermique et photochimique) dans la phase de recherche de nouvelles formulations pour mieux comprendre la stabilité des anthocyanines utilisées comme colorants dans les boissons.

Quelles solutions pour empêcher la décoloration ?

L'utilisation de différentes méthodes d'analyse en parallèle permet de suivre la stabilité de colorants en solution et de comprendre les mécanismes de dégradation pouvant être en jeu (mécanisme radicalaire, oxydoréduction...). Les résultats

obtenus donnent les premiers indices permettant d'imaginer des solutions pour la stabilisation de colorants face à leur environnement.

Pour les colorants sensibles aux facteurs environnementaux, tels que les anthocyanines, l'idéal serait évidemment de conserver les solutions à basse température et dans le noir. Cependant, les colorants sont utilisés en industrie pour l'aspect visuel qu'ils confèrent aux produits. Par conséquent, si le contrôle de la température reste relativement possible en pratique, l'effet de la lumière est quant à lui un facteur de dégradation potentiel incontournable. L'ajout de molécules stabilisantes telles que des antioxydants est ainsi indispensable.

L'ajout de tout composé supplémentaire susceptible de dégrader les anthocyanines devrait également être évité. Cependant, cela n'est pas toujours possible, notamment dans le domaine alimentaire, que ce soit pour des raisons de marketing ou tout simplement parce que certains composés sont naturellement contenus dans les fruits ou les plantes à la base de la boisson. De plus, un même composé peut avoir un comportement différent selon son environnement, comme cela a été évoqué pour l'acide ascorbique. Il est alors important de connaître les facteurs critiques sur lesquels se concentrer pour le choix des additifs alimentaires.

Ainsi, il n'est pas toujours possible d'éviter complètement la dégradation, mais elle peut être diminuée ou ralentie.

La démarche d'investigation présentée ici a été élaborée à partir de résultats d'un mélange d'anthocyanines extraites de carottes noires, mais elle reste valable pour d'autres extraits (jus de raisin, patates douces violettes) [10] et peut être appliquée à d'autres colorants naturels (β -carotène) ou synthétiques, en solution.

Évidemment, le choix de solutions pour l'amélioration de la stabilité des colorants dépend de la finalité de la formulation. Dans le domaine des boissons, les additifs alimentaires ainsi que leur concentration sont choisis dans le respect des normes alimentaires en vigueur.

[1] Martins N., Roriz C.L., Morales P., Barros L., Ferreira I.C.F.R., Food colorants: challenges, opportunities and current desires of agro-industries to ensure consumer expectations and regulatory practices, *Trends Food Sci. Technol.*, **2016**, 52, p. 1.

[2] Solymosi K., Latruffe N., Morant-Manceau A., Schoefs B., Food colour additives of natural origin, in *Colour Additives for Foods and Beverages*, M.J. Scotter (ed.), Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Elsevier, **2015**, p. 3 ; Sigurdson G.T., Tang P., Giusti M.M., Natural colorants: food colorants from natural sources, *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, **2017**, 8, p. 261.

[3] Melo M.J., Pina F., Andary C., Anthocyanins: nature's glamorous palette, in *Handbook of Natural Colorants*, T. Bechtold, R. Mussak (eds), Wiley Series in Renewable Resource, John Wiley & Sons, **2009**, p. 136.

[4] Melo M.J., History of natural dyes in the ancient Mediterranean world, in *Handbook of Natural Colorants*, T. Bechtold, R. Mussak (eds), Wiley Series in Renewable Resource, John Wiley & Sons, **2009**, p. 9 ; Neven S., The Strasbourg family texts: originality and survival, a survey of illuminating techniques in medieval South Germany, *Revista de Historia da Arte*, **2011**, W(1), p. 75 ; Mounier A. et al., Red and blue colours on 18th-19th century Japanese woodblock prints: *in situ* analyses by spectrofluorimetry and complementary non-invasive spectroscopic methods, *Microchem. J.*, **2018**, 140, p. 129.

[5] Beye C., Tounkara L.S., Seck M.A., Thonart P., Fickers P., Opportunités pour la valorisation des végétaux riches en anthocyanes comme sources de colorants alimentaires (synthèse bibliographique), *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.*, **2015**, 19, p. 392.

[6] He J., Giusti M.M., Anthocyanins: natural colorants with health-promoting properties, *Annu. Rev. Food Sci. Technol.*, **2010**, 1, p. 163 ; Khoo H.E., Azlan A., Tang S.T., Lim S.M., Anthocyanidins and anthocyanins: colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits, *Food Nutr. Res.*, **2017**, 61(1): 1361779.

[7] Bechtold T., Mahmud-Ali A. Mussak R., Anthocyanin dyes extracted from grape pomace for the purpose of textile dyeing, *J. Sci. Food Agric.*, **2007**, 87, p. 2589 ; Yasukawa A., Chida A., Kato Y., Kasai M., Dyeing silk and cotton fabrics using natural blackcurrants, *Text. Res. J.*, **2016**, 87, p. 2379 ; Wang H., Hussain M., Zhou W., A novel method for natural dyeing of cotton fabrics with anthocyanin pigments from *Morus Rubra* fruits, *Text. Res. J.*, **2017**, 87, p. 1896.

[8] Castañeda-Ovando A., Pacheco-Hernández M.L., Páez-Hernández M.E., Rodríguez J.A., Galán-Vidal C.A., Chemical studies of anthocyanins: a review, *Food Chem.*, **2009**, 113, p. 859.

[9] Rouessac F., Rouessac A., Cruché D., Duverger-Arfuso C., Martel A., *Analyse Chimique, Méthodes et Techniques Instrumentales*, 8^e éd., Dunod, **2016**.

[10] Gérard V. et al., Thermal and photochemical stability of anthocyanins from black carrot, grape juice, and purple sweet potato in model beverages in the presence of ascorbic acid, *J. Agric. Food Chem.*, **2019**, 67, p. 5647.

[11] Foresman J.B., Frisch Å., *Exploring Chemistry with Electronic Structure Methods*, 2nd ed., Gaussian, **1996**.

[12] Davies M.J., Detection and characterisation of radicals using electron paramagnetic resonance (EPR) spin trapping and related methods, *Methods*, **2016**, 109, p. 21.

[13] Janzen E.G., Stronks H.J., Dubose C.M., Poyer J.L., McCay P.B., Chemistry and biology of spin-trapping radicals associated with halocarbon metabolism in vitro and in vivo, *Environ. Health Perspect.*, **1985**, 64, p. 151.

[14] Elgrishi N. et al., A practical beginner's guide to cyclic voltammetry, *J. Chem. Educ.*, **2018**, 95, p. 197.

Violaine GÉRARD, chercheuse postdoctorale, **Fabrice MORLET-SAVARY***, chargé de recherche au CNRS, et **Jacques LALEVÉE***, professeur à l'Université de Haute-Alsace, équipe de Chimie radicalaire et macromoléculaire, Institut de Science des Matériaux de Mulhouse (IS2M), CNRS UMR 7361.

*Auteurs correspondants.

Courriels : fabrice.morlet-savary@uha.fr ; jacques.lalevee@uha.fr



Les défis de la Chimie

Les Substances Naturelles : La Panacée ?

Mercredi 27 Novembre 2019

Fondation de la Maison de la Chimie

Conception graphique: C&D DÉRETIN | Photo: © BillionPhotos.com - Visions-AD - kosmos111 / Adobe Stock | le 24/09/19

Inscription gratuite mais obligatoire au plus tard le **20 novembre**.
<https://actions.maisondelachimie.com/colloque/substances-naturelles>