

## Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur stockage

Marie-Elisabeth CUVELIER  
Marie-Noëlle MAILLARD

AgroParisTech, Inra UMR1145  
Ingénierie Produits Aliments, 91300  
Massy, France  
<marie-noelle.maillard@agroparistech.fr>

### **Abstract: Stability of edible oils during storage**

Vegetable oils are chemically unstable due to the sensitivity to oxidation of their unsaturated fatty acids. The oxidative mechanisms are based on complex and radical reactions that always result in a significant loss of oil quality in both sensorial (rancidity) and nutritional values (loss of polyunsaturated fatty acids and vitamin E). Monitoring the oxidation state of oil can be performed using different markers, each bringing a partial information of the whole phenomenon, but unable to predict by itself the future stability of the oil. The accelerated ageing tests used in reasonable heating conditions are useful for measuring the resistance of oil to oxidation but are difficult to extrapolate to normal storage conditions. The oxidative degradation of oil during storage can be delayed by protecting it from light, heat, oxygen and metals. Another way consists to increase the retention of endogenous antioxidants naturally contained in the oil seeds, such as tocopherols (vitamin E), which are partially removed during conventional operations of extraction and refining.

**Key words:** oxidative degradation, polyunsaturated fatty acids, tocopherols, antioxidants

### **Contexte, problématique**

Les huiles végétales sont principalement constituées de triglycérides (> 95 %), encore appelés *triacylglycérols* (TAG). Elles peuvent également contenir des vitamines liposolubles et, lorsqu'elles ne sont pas raffinées, des phytostérols, des pigments naturels et des phospholipides. Les acides gras (AG) constitutifs des TAG diffèrent entre eux par la longueur de la chaîne carbonée et le nombre de doubles liaisons entre 2 atomes de carbone (C), ces liaisons se trouvant naturellement sous la forme *cis* (ou *Z*). On trouve ainsi des acides gras à chaînes courtes (AGCC : 4 à 6 atomes de C), moyennes (AGML : 8 à 12 C), longues (AGCL : 14 à 18 C) et très longues (AGCTL : 20 C ou plus). Ils peuvent être saturés (AGS) c'est-à-dire sans aucune double liaison, mono-insaturés (AGMI) ou polyinsaturés (AGPI) selon le nombre de doubles liaisons. Les huiles végétales se caractérisent par leur composition en ces différents acides gras (figure 1).

Les huiles végétales jouent un rôle essentiel dans notre alimentation. Elles assurent tout d'abord une fonction nutritionnelle : elles contribuent à l'apport d'énergie, sont sources d'acides gras indispensables, en particulier d'acide linoléique (C18:2, précurseur des oméga-6, 4 % de l'apport énergétique sans alcool selon les ANC 2010) et d'acide alphalinoléique (C18:3, précurseur des oméga-3, 1 % de l'apport énergétique sans alcool), et participent à l'apport et au transport de vitamines liposolubles (dont E, D et pro-A) et d'autres constituants d'intérêt nutritionnel comme des phytostérols ou des composés phénoliques (cas de l'huile d'olive notamment). Elles contribuent à la qualité organoleptique des produits, leur apportant une texture onctueuse, crémeuse, fondante, un aspect brillant et une saveur spécifique. Enfin, elles assurent des fonctions technologiques, en particulier comme moyens de transfert de chaleur en cuisson (exemple des huiles de friture), agents d'enrobage et de démoulage ou

comme supports d'arômes et de colorants lipophiles.

Ces huiles végétales, du fait de leur richesse en acides gras mono- et/ou polyinsaturés, sont sujettes à des réactions chimiques telles que l'isomérisation et l'oxydation des acides gras. L'isomérisation conduit à la génération d'acides gras *trans* qui, s'ils sont consommés en excès, sont associés à une augmentation du risque de maladies cardiovasculaires, d'où les recommandations de l'ANSES (2005, 2009) visant à limiter leur consommation à moins de 2 % de l'apport énergétique total. La peroxydation lipidique, quant à elle, est un ensemble complexe de réactions qui se produisent en présence d'oxygène et conduisent à ce que l'on appelle couramment le *rancissement*. Ses répercussions économiques peuvent être importantes puisqu'il aboutit à la perte de denrées alimentaires devenues souvent inconsommables en raison de l'altération de la saveur. Au plan

Pour citer cet article : Cuvelier ME, Maillard MN. Stabilité des huiles alimentaires au cours de leur stockage. OCL 2012 ; 19(2) : 125-132.  
doi : 10.1684/ocl.2012.0440

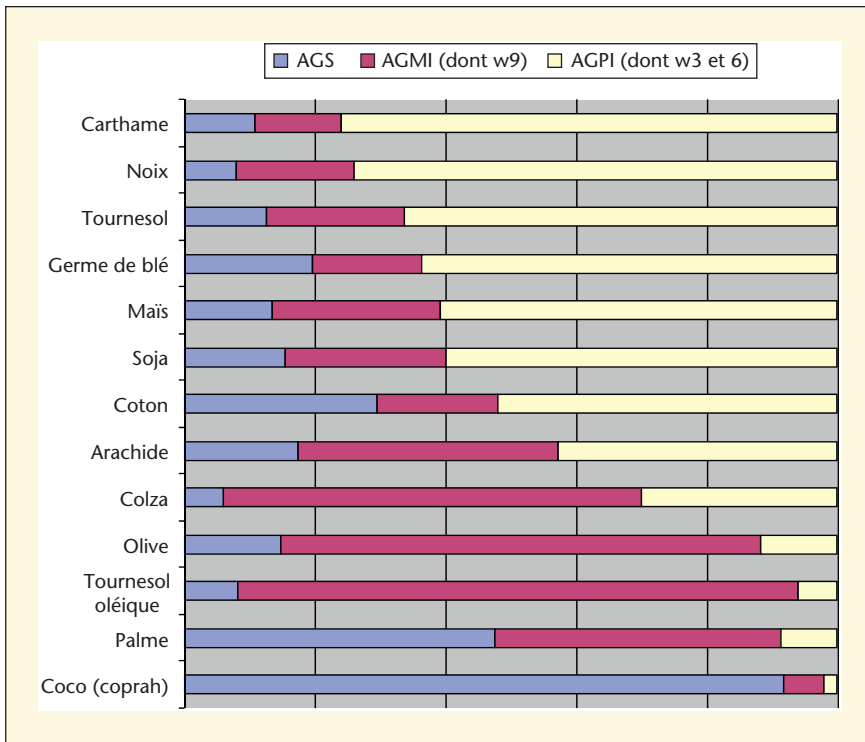


Figure 1. Classement des huiles végétales en fonction de leur composition en acides gras (% saturés AGS, mono-insaturés AGMI et polyinsaturés AGPI).

nutritionnel, l'oxydation des huiles conduit peu à peu à une perte de leur qualité, en raison notamment de la dégradation partielle des AG indispensables et des vitamines E et A (sous la forme de son précurseur). On suspecte également une toxicité potentielle de certains composés de dégradation oxydative des acides gras insaturés, dont les monomères cycliques, les polymères, les furanes ou le 4-hydroxynonéal (HNE), particulièrement en cas de dégradation oxydative associée à une dégradation thermique. Enfin, lorsque ces huiles sont incorporées dans des produits alimentaires, il est à craindre des réactions de co-oxydation initiées par les produits d'oxydation des acides gras, pouvant notamment conduire à une perte en acides aminés essentiels et à une diminution de la digestibilité des protéines.

La stabilité oxydative des huiles dépendra en particulier de leur teneur et de leur composition en acides gras insaturés (AGI). Ainsi, les huiles les plus insaturées seront les moins stables à l'oxydation, et ce d'autant plus que le nombre de doubles liaisons sur les acides gras est élevé. Ainsi, l'huile de tournesol (plus de 85 % d'AGI dont 60 % d'AGPI) sera plus oxydable que

l'huile de colza (environ 90 % d'AGI dont 20 à 30 % d'AGPI) ou l'huile de tournesol oléique (environ 90 % d'AGI

dont moins de 10 % d'AGPI). Cette stabilité sera également dépendante de la teneur en tocophérols dans l'huile (dont vitamine E), susceptibles d'exercer une action protectrice antioxydante (Frankel, 2007 ; Graille, 2003).

## Oxydation des lipides : mécanismes, méthodes de suivi

Les principales réactions d'oxydation des lipides insaturés sont complexes mais bien connues (Frankel, 2007 ; Jeantet *et al.*, 2006). On peut les représenter schématiquement à la figure 2. Elles constituent une suite de réactions en chaîne qui aboutissent à l'accumulation d'hydroperoxydes (LOOH). Les réactions d'initiation de cette chaîne, qui consistent en l'arrachement d'un proton  $H^\circ$  au voisinage d'une double liaison d'un acide gras, vont aboutir à la formation des premières molécules lipidiques radicalaires, les radicaux alkyles notés  $L^\circ$  sur le schéma de la figure 2. Dans le cas de deux doubles liaisons séparées par un C (diènes), l'arrachement du proton s'accompagne d'un déplacement des liaisons qui se retrouvent alors consécutives (dites conjuguées). Ces réactions d'initiation sont spontanées mais naturellement lentes en conditions douces.

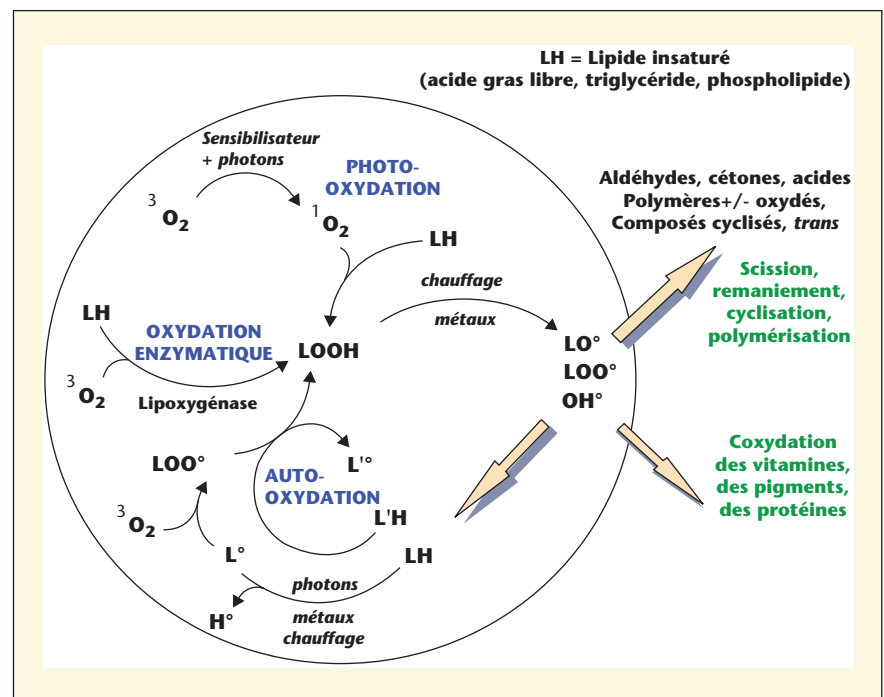


Figure 2. Schéma des réactions d'oxydation des lipides (d'après Berset et Cuvelier, 1996).

En revanche, elles sont fortement accélérées par une élévation de la température, un éclaircissement du produit ou encore la présence d'ions métalliques qui vont réagir avec des hydroperoxydes déjà présents dans l'huile pour former des radicaux initiateurs de l'oxydation. Les radicaux libres  $L^\circ$  vont se combiner immédiatement avec l'oxygène dissous dans l'huile, et les radicaux  $LOO^\circ$  ainsi formés, très réactifs, vont aller à leur tour arracher un  $H^\circ$  à une autre molécule d'acide gras, libérant alors un nouveau radical  $L^\circ$  et formant un hydroperoxyde  $LOOH$ . Il s'agit bien d'un mécanisme de propagation radicalaire, autocatalytique, qui devient très rapidement irréversible. Les hydroperoxydes peuvent aussi provenir de réactions catalysées par la lumière à travers un mécanisme de photo-oxydation mettant en œuvre un pigment photosensibilisateur, ou encore par des enzymes telles que la lipoxygénase (figure 2).

Qu'ils soient formés par l'un ou l'autre des mécanismes décrits ci-dessus, les hydroperoxydes  $LOOH$  s'accumulent dans l'huile. Ce sont des molécules instables, surtout en présence d'ions métalliques tels que  $Fe^{2+}$  et  $Cu^+$  ou à des températures dépassant  $60^\circ C$ . Les nouveaux radicaux qu'ils produisent, notamment les alcoxyles  $LO^\circ$  et les hydroxyles  $OH^\circ$ , vont à leur tour alimenter l'auto-oxydation des AGI ou trouver pour cibles d'autres composés tels que les vitamines, les pigments, ou encore les protéines dans le cas de

produits formulés. Les radicaux alcoxyles sont également à l'origine de réactions de scission, de cyclisation et de polymérisation. Ces réactions, dites de terminaison, vont donner naissance à une multitude de composés, parmi lesquels des composés volatils et très odorants responsables de l'apparition de la note rance. Les produits non volatils sont plus ou moins oxygénés, cyclisés et polymérisés. S'y ajoutent les polymères d'origine thermique en cas de chauffage intensif, qui peu à peu vont contribuer à l'augmentation de la viscosité de l'huile.

Ainsi après une période de latence plus ou moins longue, appelée aussi période d'induction, l'oxydation se manifeste par une réduction significative de la qualité de l'huile ou des produits alimentaires dans lesquels elle est incorporée.

L'état d'oxydation dans lequel se trouve une huile peut être mesuré de diverses manières, selon que l'on dose l'apparition des produits primaires d'oxydation (diènes conjugués, hydroperoxydes) ou des produits secondaires (polymères, composés volatils...), la consommation d'oxygène ou des acides gras insaturés, ou encore la co-oxydation d'autres substrats, tels que des pigments ou des protéines. Le tableau 1 présente les diverses méthodes et normes françaises ou internationales actuellement disponibles.

La diversité des techniques avec leurs limites, leurs sensibilités et leurs

spécificités rend difficile la comparaison des résultats. L'analyse sensorielle reste bien sûr la méthode de choix puisqu'elle est la seule à rendre compte parfaitement de l'état d'acceptabilité mais elle reste lourde à mettre en œuvre.

Chaque mesure apporte ainsi une information partielle sur un phénomène global, l'idéal étant d'évaluer l'état d'oxydation par plusieurs méthodes complémentaires, permettant de suivre en parallèle la formation des produits primaires et secondaires (Cuvelier et Maillard, 2007 ; Frankel, 1998).

Il faut également avoir conscience que l'oxydation est un phénomène évolutif, comme le schématise la figure 3, et qu'une mesure seule, à un temps donné, ne permet pas toujours de rendre compte de l'état réel d'oxydation, ni de savoir à quel stade d'avancement des réactions on se situe. Il est donc intéressant d'établir les cinétiques d'évolution des marqueurs d'oxydation, ce qui permet de repérer le temps d'induction, c'est-à-dire le moment où commence à apparaître le phénomène d'oxydation.

En présence d'antioxydants dans les huiles, la mesure de l'état d'oxydation renseigne également sur l'effet protecteur de ces derniers vis-à-vis des AGI, qui se marque notamment par un retard ou un ralentissement dans l'apparition des produits d'oxydation.

La mesure de l'état d'oxydation dans lequel se trouve une huile à un temps donné ne permet en général pas de

Tableau 1. Méthodes d'évaluation de l'état d'oxydation des huiles.

Marqueurs d'oxydation	Méthodes
Niveau d'insaturation	Indice d'iode (mesure colorimétrique) (Norme AFNOR NF EN ISO 3961)
Profil en acides gras	Dosage par chromatographie en phase gazeuse après méthanolyse des triglycérides (Norme AFNOR NF EN ISO 12966-2 et 5508)
Teneur en acides gras libres	Indice d'acide par colorimétrie (Norme AFNOR NF EN ISO 660)
Teneur en diènes conjugués	Mesure par spectrophotométrie UV (Norme AFNOR NF EN ISO 3656)
Taux de peroxydes	Indice mesuré par iodométrie (Norme AFNOR NF EN ISO 3960) ou potentiométrie (ISO 27107)
Présence d'aldéhydes	Indice de <i>para</i> -Anisidine par spectrophotométrie (Norme AFNOR NF EN ISO 6885) Test TBA (acide 2-thiobarbiturique) par spectrophotométrie
Taux de polymères	Mesure directe par chromatographie liquide haute performance d'exclusion (AFNOR NF EN ISO 16931) ou par viscosité
Taux de composés polaires	Chromatographie liquide d'absorption et gravimétrie (Norme AFNOR NF EN ISO 8420)
Composés volatils	Mesure par chromatographie en phase gazeuse de l'espace gazeux (AOCS Recommended Practice Cg 1-83, 4-94)
Rancidité	Analyse sensorielle avec juges experts (AOCS Recommended Practice Cg 2-83)

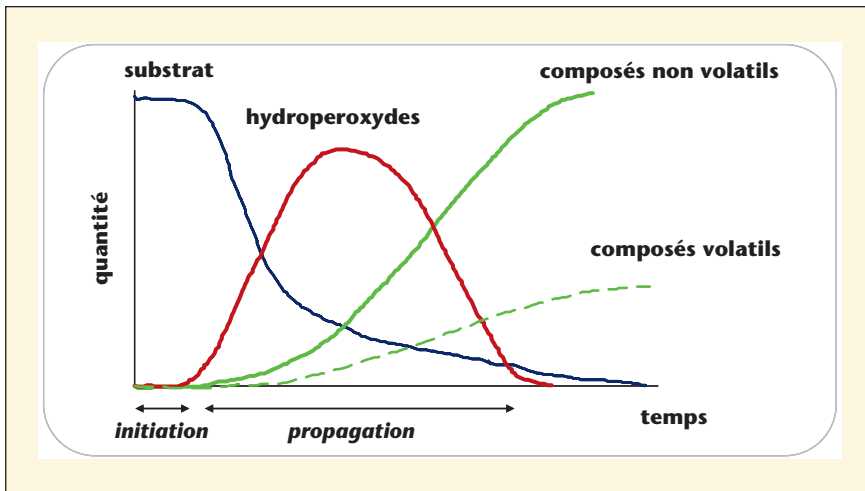


Figure 3. Évolution schématique de l'auto-oxydation des acides gras insaturés au cours du temps (adapté de Labuza et Dugan, 1971).

prédire son évolution. En revanche, il est possible de mesurer son oxydabilité ou sa résistance à l'oxydation en mettant en œuvre des tests accélérés. On peut citer le test de Schaal ou à l'étuve, le test de Swift ou AOM (*Active Oxygen Method*) et des tests plus récents, automatisés tels que Rancimat ou OSI, Oxidograph et Oxipress. Dans ce type de tests, l'huile est soumise à des conditions favorisant les réactions d'oxydation : éclairage, élévation de température, oxygénation. L'extrapolation aux conditions réelles de stockage s'avère néanmoins délicate et fonction de chaque matrice. On veillera à ne pas appliquer des conditions trop drastiques, notamment avec des températures très élevées car alors, on génère des réactions de dégradation des acides gras ou des antioxydants qui n'ont pas lieu dans les conditions habituelles de stockage et les résultats sont donc difficilement extrapolables (Frankel, 1998). Néanmoins, une telle approche, plus rapide, permet de comparer les performances de plusieurs huiles et peut apporter des éléments intéressants quant à des applications particulières, telles que la friture. Elle permet également d'évaluer l'efficacité relative de molécules ou d'extraits antioxydants.

## Stabilisation de la qualité des huiles au cours du stockage

Plusieurs facteurs vont intervenir pour favoriser ou au contraire freiner les

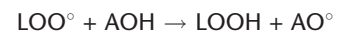
réactions d'oxydation de l'huile. Les conditions de stockage telles que la chaleur et la lumière vont bien sûr augmenter la vitesse d'auto-oxydation. Mais celle-ci dépend en premier lieu de la composition en acides gras de l'huile, en particulier en AGPI, et de sa composition en composés mineurs pro-oxydants tels que des traces d'ions métalliques ou de pigments comme les chlorophylles. Au contraire, l'oxydation est réduite en présence de tocophérols ou autres composés phénoliques antioxydants. Ainsi, les huiles végétales naturellement riches en tocophérols et les huiles peu ou pas raffinées telles que l'huile d'olive riche en divers composés phénoliques, sont naturellement protégées par les antioxydants endogènes.

La vitesse d'oxydation dépend également de la qualité initiale de l'huile, en particulier de sa concentration en hydroperoxydes, qui réduira d'autant plus le temps d'induction qu'elle est élevée, les hydroperoxydes exerçant alors une fonction d'initiateurs de radicaux, surtout s'ils sont en contact avec des ions métalliques. Si l'huile est incorporée dans un produit formulé, alimentaire ou cosmétique, d'autres paramètres pourront intervenir, notamment l'état de dispersion de l'huile, la nature des interfaces avec l'huile, la présence de sel ou de tensio-actifs.

Il est possible d'intervenir pour retarder ou ralentir le processus de dégradation de l'huile pendant le stockage. Une première voie consiste à supprimer tous les facteurs favorables à l'initiation ou à

la propagation, c'est-à-dire l'oxygène, l'élévation de température, l'action de la lumière ou la concentration en catalyseurs (métaux, pigments, enzymes). Ces précautions sont mises en œuvre pendant la fabrication des huiles puis au cours du stockage, notamment par un choix d'emballages appropriés et/ou par inertage à l'azote des huiles avant conditionnement afin de réduire le réservoir d'oxygène disponible dans l'espace gazeux qui risque de diffuser dans l'huile au cours de sa conservation. De fait, la DLUO d'une huile est généralement de 12 mois à température ambiante avant ouverture. Après ouverture de la bouteille, un stockage du produit à l'abri de la lumière, éventuellement au froid pour les huiles les plus instables (riches en AGPI, possédant un point de fusion plus faible et ne risquant donc pas de figer à 4 °C), permet de retarder l'apparition de notes rances. Dans certains cas, en particulier dans les produits formulés ou quand la teneur en antioxydants endogènes n'est pas suffisante, même si l'on s'efforce de limiter la détérioration oxydative de l'huile, les moyens de prévention s'avèrent parfois insuffisants ou difficiles à mettre en œuvre. On a alors recours à une deuxième voie qui consiste à ajouter un agent antioxydant qui va ralentir l'activité des catalyseurs de l'oxydation ou limiter la propagation des radicaux libres (Cuvelier et Latino-Martel, 2009 ; Frankel, 2007). Ces additifs viennent compléter ou renforcer le rôle déjà tenu par les composés antioxydants naturellement présents dans les huiles ou dans certains ingrédients des produits formulés.

Les *antioxydants* peuvent être classés en deux groupes selon leur mode d'action. Les antioxydants primaires, également appelés antiradicalaires, sont des molécules capables de bloquer les radicaux lipidiques L<sup>•</sup>, LO<sup>•</sup> et LOO<sup>•</sup> par transfert d'un H<sup>•</sup> :



L'antioxydant devient alors lui-même porteur d'un radical, mais à la différence des radicaux lipidiques, il est peu réactif, ce qui stoppe la propagation radicalaire. Ce groupe d'antiradicalaires est constitué presque exclusivement de composés phénoliques en raison de la grande stabilité apportée par leur cycle aromatique. On trouvera ainsi dans ce groupe les additifs antioxydants, BHA, BHT, TBHQ, gallates, mais aussi les

tocophérols (vitamine E) et les polyphénols végétaux (flavonoïdes, acides phénoliques, diterpénoïdes) (Berset, 2006).

Les antioxydants secondaires agissent par des mécanismes indirects tels que la chélation des ions métalliques ou la réduction d'oxygène. On les appelle aussi antioxydants préventifs car ils viennent compléter les moyens de prévention de l'oxydation, ou encore synergistes car ils sont souvent employés en combinaison avec les antiradicalaires dont ils renforcent l'action. Les agents chélateurs de métaux les plus couramment utilisés sont l'EDTA et l'acide citrique. Certains polyphénols végétaux possèdent également cette capacité grâce à leurs groupements *ortho*-diphénoliques. C'est le cas par exemple de la quercétine, des catéchines et de l'acide carnosique. Parmi les réducteurs d'oxygène, citons principalement les acides ascorbique (vitamine C) et érythorbique. On peut également mentionner le bêta-carotène et le lycopène qui sont des désactivateurs de l'oxygène singulet, forme active de l'oxygène en photooxydation (figure 2).

La présence ou l'ajout d'antioxydant se marque par un effet-retard ou un ralentissement dans l'apparition de l'oxydation, cet effet étant fonction de la nature de l'antioxydant et de sa concentration. En aucun cas, il ne s'agit d'une suppression totale de l'oxydation car une fois les antioxydants consommés, la chaîne de réactions peut se poursuivre (figure 4).

Les antioxydants ajoutés dans les huiles ou les produits alimentaires sont soumis à la législation sur les additifs du règlement CE/1333/2008. Seuls quelques antioxydants sont autorisés et des doses maximales d'utilisation leur sont associées (Cuvelier et Latino-Martel, 2009). Pour répondre à un besoin de naturalité, un grand nombre de sources végétales d'antioxydants a été exploré depuis plusieurs décennies et tout récemment, la directive 2010/67/UE et le règlement 1130/2011 ont donné l'autorisation d'en utiliser quelques-unes (dont les extraits de romarin).

La plupart des huiles alimentaires raffinées restent naturellement riches en antioxydants naturels que sont les tocophérols (ou vitamine E) et/ou les tocotriénols (figure 5, tableau 2), même si une part significative présente dans les matières premières est perdue au cours

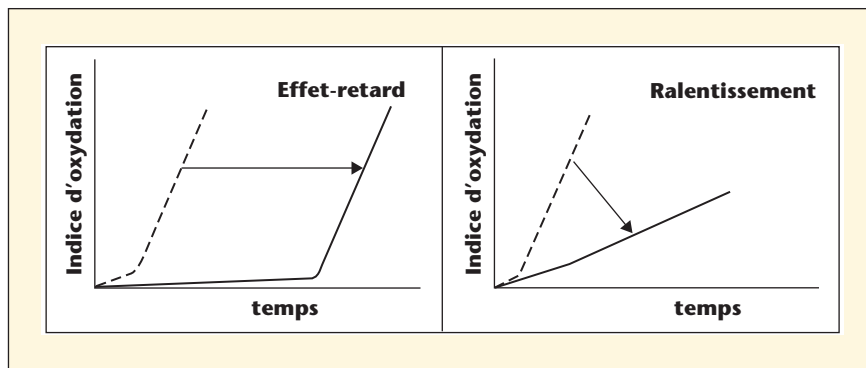


Figure 4. Représentation schématique de l'effet antioxydant (pointillés : cinétique témoin ; traits pleins : cinétique avec antioxydant).

de l'extraction et du raffinage des huiles, notamment pendant l'étape de désodorisation. Certaines huiles, comme l'huile d'olive, contiennent d'autres composés phénoliques, comme le tyrosol, l'hydroxytyrosol, l'oleuropéine ou quelques acides phénoliques, qui contribuent à sa stabilisation au cours de la conservation (figure 5).

De façon générale, la stabilité des huiles végétales pourrait être renforcée si les antioxydants endogènes présents naturellement dans les matières premières dont elles sont issues (graines oléagineuses en particulier) étaient récupérés au cours de leur extraction et conservés pendant le raffinage. D'après les procédés d'extraction mis en œuvre classiquement aujourd'hui, par pression et/ou par solvant (hexane), les composés phénoliques des graines ne sont pas extraits. Ainsi, les huiles de tournesol ou de soja par exemple ne contiennent pas d'antioxydants autres que les tocophérols. Seule l'huile brute de colza contient de l'acide sinapique et surtout du vinylsyringol, produit de décarboxylation de l'acide sinapique formé sous l'effet de la chaleur lors de l'étape de pressage des graines, mais ils sont ensuite éliminés lors des étapes de raffinage. Dans le projet européen Optim'oil (FP6-2005-FOOD 36318, 2006-2010) coordonné par l'ITERG, une nouvelle stratégie visant à modifier et optimiser les procédés actuels d'extraction et de raffinage des huiles a été développée de façon à préserver au mieux les composés d'intérêt des graines, c'est-à-dire les antioxydants naturels (tocophérols, polyphénols, coenzyme Q<sub>10</sub>), mais également d'autres

composés d'intérêt nutritionnel (phytostérols). Au cours de ce projet, une nouvelle huile de colza (« Optim Rap ») a été produite à l'échelle pilote par l'ITERG et CREOL (Pessac, France), par pression à froid, extrusion, extraction à l'hexane et désodorisation (170 °C, 2 h). Elle possède une couleur brune marquée. Ses performances ont été comparées à celle d'une huile de référence (« Rap Ref ») produite par pression, extraction à l'hexane et double raffinage. Ces deux huiles ont été stockées pendant huit mois, à l'abri de la lumière, à température ambiante (21 °C) ou au froid (4 °C), sans ouverture des bouteilles. L'huile de colza optimisée (figure 6) a montré une meilleure stabilité que l'huile de référence si l'on s'en réfère à une production plus faible des produits d'oxydation : diènes conjugués, hydroperoxydes (taux de peroxydes), aldéhydes (indice de *p*-Anisidine) et composés volatils (en particulier 2,4-heptadienal, 1-penten-3-ol, 2-pentenal, propanal, 2-butenal et hexanal) (Ramli, 2010) (figure 6).

Ce résultat s'explique par une teneur plus importante de l'huile de colza optimisée à la fois en tocophérols et en composés phénoliques, teneur qui est maintenue intacte sur les six premiers mois de stockage (figure 6). La stabilité de cette nouvelle huile de colza a également été améliorée par rapport à l'huile de référence lorsqu'il y avait ouverture régulière de la bouteille, prélèvements d'huile et stockage à 4 °C. Dans cet exemple, la présence simultanée de plusieurs familles d'antioxydants (flavonoïdes, acides phénoliques et tocophérols) joue également en

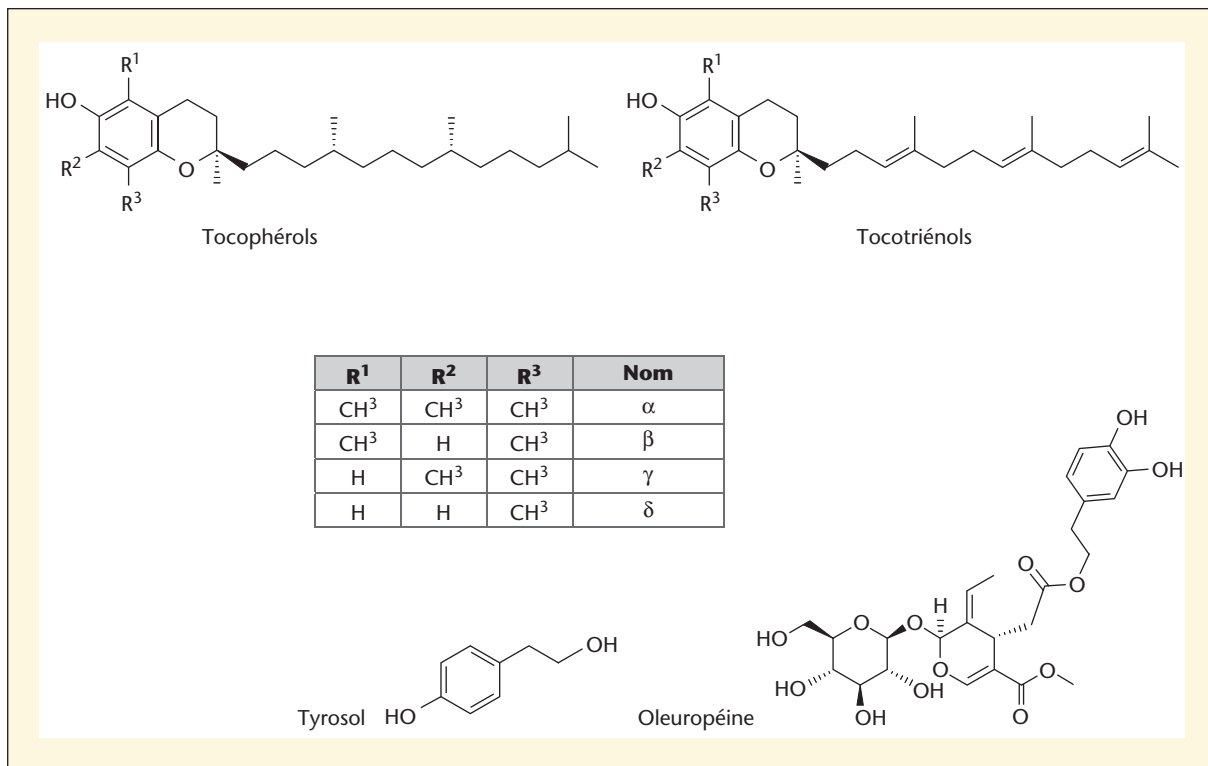


Figure 5. Structures chimiques de quelques composés antioxydants des huiles végétales.

Tableau 2. Composition en tocophérols (mg/kg) des principales huiles végétales (adapté de Gunstone, 2007).

	Tocophérols					Tocotriénols					Total
	α	β	γ	δ	Total	α	β	γ	δ	Total	
Soja	100	-	590	260	960	-	-	-	-	0	960
Maïs	110	50	600	20	780	-	-	-	-	0	780
Colza	170	50	600	20	780	-	-	-	-	0	780
Tournesol	490	-	50	10	550	-	-	-	-	0	550
Olive	200	10	10	-	220	-	-	-	-	0	220
Palme	260	-	320	70	650	140	30	290	70	530	1180

faveur d'effets de synergie qui peuvent se traduire par un mécanisme de régénération des tocophérols.

## Conclusion

Conserver les huiles dans de bonnes conditions permet donc de maintenir

leur qualité nutritionnelle, en garantissant une teneur en acides gras insaturés et la préservation des vitamines, ainsi que leur qualité sensorielle, en retardant l'apparition des composés volatils responsables de la note rance et premiers signes perceptibles d'une dégradation de l'huile. Ainsi, limiter l'exposition à la lumière, à la chaleur ou réduire la

disponibilité de l'oxygène en inertant les huiles sous azote s'avèrent être des moyens efficaces pour lutter contre leur oxydation. S'y ajoute une protection par les antioxydants dont certains, endogènes aux matières premières dont sont issues les huiles, seraient source d'une stabilisation renforcée s'ils étaient mieux valorisés.

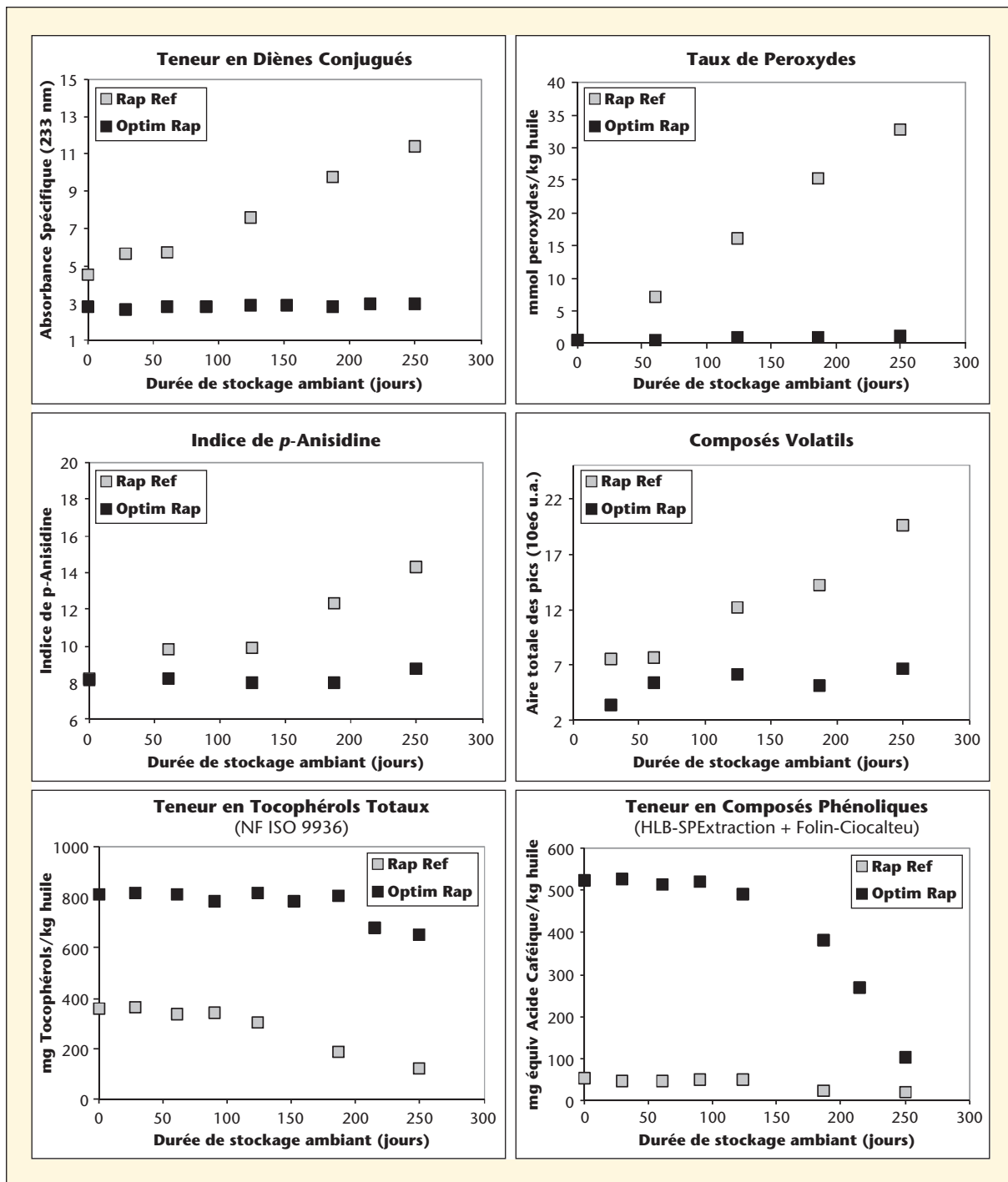


Figure 6. Évolution d'une huile de colza de référence (Rap ref) et de l'huile de colza optimisée (Optim Rap) produite dans le cadre du projet européen Optim'Oils, au cours d'un stockage à 21 °C à l'obscurité.

#### RÉFÉRENCES

Berset C, Cuvelier ME. Méthodes d'évaluation du degré d'oxydation des lipides et de mesure du pouvoir antioxydant. *Science des Aliments* 1996 ; 16 : 219-45.  
 Berset C. Pigments phénoliques : structures, stabilité, marché des colorants naturels

et effets sur la santé. In: P. Sarni-Manchado, V. Cheyrier (coord.), *Les polyphénols en agroalimentaire*. Paris : Lavoisier, 2006.

Cuvelier ME, Latino-Martel P. Additifs antioxygéniques. In : B de Reynal (coord.), *Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries*

*alimentaires*, 4<sup>e</sup> édition. Paris : Lavoisier, 2009 : 183-214.

Cuvelier ME, Maillard MN. Revue : Comment évaluer l'efficacité des antioxydants alimentaires ? *Science des Aliments* 2007 ; 27 : 259-82.  
 Frankel, EN. *Lipid oxidation*. The Oily Press LTD, Dundee, 1998.

- Frankel EN. *Antioxidants in food and biology*. Dundee : The Oily Press LTD, 2007.
- Gunstone F. *Oils and fats in the food industry. Food industry briefing series*. Oxford : Ed. Wiley-Blackwell, 2007.
- Graille J. *Lipides et corps gras alimentaires*. Collection Sciences & Techniques agroalimentaires, Ed. Tec&Doc, Paris : Lavoisier, 2003.
- Jeantet R, Croguennec T, Schuck P, Brulé G. *Science des aliments- Biochimie-Microbiologie-Procédés-Produits. Vol.1 Stabilisation biologique et physico-chimique*. Ed. Tec&Doc, Paris : Lavoisier, 2006.
- Labuza T, Dugan L. Kinetics of lipid oxidation in foods. *CRC Critical Reviews in Food Technology* 1971 ; 2 : 355-405.
- Ramli F. Valorisation des antioxydants du colza, du soja et du tournesol dans le but de protéger les acides gras polyinsaturés des huiles correspondantes au cours de la conservation et de la friture profonde. Thèse de Doctorat de l'Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement (Agro-ParisTech), spécialité Sciences et Procédés Alimentaires, Massy, 20 juillet 2010.