

I. Les aliments et l'évolution du secteur agroalimentaire

Françoise Bertrand, médecin, se plaît à reprendre ces paroles du Docteur Kousmine, prononcées dans les années 50 : « **Ce que je mange aujourd'hui devient mon cerveau de demain... toute mes cellules... ma descendance** ».

Elle rappelle que « notre corps, le tractus gastro-intestinal et le métabolisme ont évolué pour assimiler, digérer, absorber et métaboliser **deux tiers provenant des fruits et légumes** et un **tiers provenant d'animaux et de poissons** » et que « notre alimentation a été assez stable pendant des siècles ».

L'industrie nous vend de la malbouffe, le consommateur prend :

- **sept fois moins de légumes** il y a cinquante ans ;
- **deux fois plus de sucre** au début du siècle ;
- **deux fois plus de viande** il y a cinquante ans ;
- **deux fois plus de fromage** il y a vingt ans.

La **consommation de graisses au détriment des sucres complexes** a été fortement **augmentée**.

Résultat : 1,5 milliard de personnes de plus de 20 ans souffrent d'obésité (OMS, 2008) et 43 millions d'enfants de moins de 5 ans sont en surpoids (OMS, 2010). Son bon sens devrait alors le tourner vers davantage de produits de base tels que les céréales, les fruits et les légumes, peu rentables pour l'**agro-industrie**. C'est pourquoi les **spécialistes-marketing du secteur agro-alimentaire** n'ont pas hésité à modifier le contenu de leurs produits (et de leur emballage bien entendu) pour en faire des produits presque entre malbouffe et bonne-bouffe ! De quoi rendre le consommateur lui-même ambivalent.

Depuis plusieurs années fleurissent de nouveaux slogans sur l'emballage des produits industriels :

- « **aliments enrichis en Oméga 3** »,
- « **pauvre en sel** »,
- « **réduit le cholestérol** »,
- « **couvre 20% des besoins journaliers en fibres** », etc.

Toutes les formules existent... Même les briques de lait - dont la composition n'a pourtant

pas changé depuis la nuit des temps – clament leur « **source de calcium** ».

Une étude réalisée a démontré que : « Les marges dégagées sur les produits standards de **X** sont de **12,9 %** alors que sur les **aliments** de cette même marque, elles sont de **19 %** ». Avec ces nouveaux produits, **X** entend jouer un rôle de prévention. Des maladies comme l'obésité, le diabète ou Alzheimer sont visées.

Des milliers de dollars encaissés sur le dos de bébés nourris avec des poudres de lait à l'huile de palme et aux protéines en quantités telles qu'elles ont déformé les courbes de croissance proposées et augmenté les cas d'obésité.

Par exemple la composition complète du produit **Y** est : Lait écrémé et lait écrémé concentré, **stérols végétaux** (1,6%), fruits rouges 1% (fraise 0,5%, cerise acide 0,3%, framboise 0,2%), **polydextrose**, **oligofructose** (fibre alimentaire), épaississants (amidon modifié de maïs, pectine, gomme guar), arôme, colorants (jus concentré de raisin, cochenille), correcteurs d'acidité (acide citrique, citrate de sodium, citrate de calcium), ferments lactiques du yoghourt, édulcorants (aspartame, acésulfame K). Contient une source de phénylalanine. Contient: lait.) : Ce produit est truffé de sucres, de colorants, de correcteurs d'acidité, d'édulcorants (**aspartame compris !**), des additifs alimentaires aux noms chimiques incompréhensibles et aux effets sur la santé controversés, voire cachés.

L'agro-industrie détourne les bonnes résolutions en proposant des aliments à savoir des produits chimiques bourrés de sucre, d'additifs et d'arômes et **enrichis artificiellement en fibres, stérols végétaux** ou autres qui servent soi-disant à prévenir certaines maladies modernes liées à la surconsommation.

Une typologie simplifiée des principaux aliments santé est proposée dans l'encadré ci-dessous :

- **Caractéristiques des produits sur le marché**

Les aliments-santé (du point de vue des consommateurs)

– Les aliments « sans » (appauvris en) :

- - nutriments nocifs en excès : sel, matières grasses, cholestérol,
- - nutriments sources d'intolérances (lactose, gluten) ou d'allergies ;

– Les aliments « avec » (complémentations) :

- - nutriments classiquement reconnus comme bénéfiques : oméga-3, vitamines, minéraux,
 - - molécules ou microorganismes à « effets physiologiques spécifiques » ou « aliments réduisant un facteur de risque de maladie » (phytostérol, antioxydants, probiotiques)*;
- Les aliments dédiés à des personnes fragiles ou malades :
- - aliments diététiques destinés à des fins médicales spéciales (ADDFMS, sous contrôle médical).

** De ces trois exemples, seuls les phytostérols sont réglementairement reconnus comme pouvant réduire un facteur de risque de maladie.*

II. Quelques catégories d'aliments

II/1. Cas des antioxydants

II/1.1. Stress oxydant

II/1.1.1. Définition

Le stress oxydant est un état de déséquilibre entre la production d'éléments oxydants et l'efficacité de système de défense antioxydant résultant au sein d'un individu. Ce déséquilibre provient soit d'une surproduction d'agent oxydant, soit d'une altération de mécanismes de défense.

II/1.1.2. Origine du stress oxydatif

Les radicaux libres sont produits par divers mécanismes physiologiques et qui sont utiles pour l'organisme à dose raisonnable. Cependant, la production peut devenir excessive ou résultant de phénomènes toxiques exogènes d'où la nécessité de se protéger par différents systèmes antioxydants.

A l'état naturel, les radicaux libres sont produits en permanence en faible quantité tels que les médiateurs tissulaires ou les résidus des réactions énergétiques ou de défense; la balance antioxydants/ prooxydants est dite qu'elle est en équilibre. Toutefois, dans le cas inverse, soit par déficit en antioxydants ou par une surproduction très importante des radicaux libres, cet excès est appelé « **stress oxydant** ».

• Définition des radicaux libres



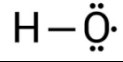
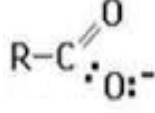

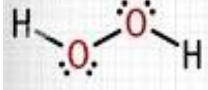
Un radical libre (RL) est une espèce chimique (atome ou molécule, neutre ou chargée)

possédant un électron non apparié sur sa couche périphérique. Cette caractéristique lui confère une réactivité importante et réagit avec d'autres molécules plus stables pour capter ou céder leurs électrons, créant ainsi de nouveaux radicaux en initiant des réactions en cascade.

Les espèces dérivées de l'oxygène dites espèces actives de l'oxygène, comme l'oxygène singulet $^1\text{O}_2$, le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) ou le nitroperoxyde (ONOOH), ne sont pas des radicaux libres, mais sont des réactives et peuvent être des précurseurs de radicaux. L'ensemble des radicaux libres et de leurs précurseurs est souvent appelé espèces réactives de l'oxygène (ERO).

• Principaux radicaux libres de l'oxygène

Les principaux radicaux libres dérivent de la molécule d'oxygène par addition successive d'un électron comme suit :

Radicaux libres de l'oxygène	Structures
Oxygène fondamentale	
Anion superoxyde $\text{O}_2^{\cdot -}$	
Radical hydroxyl OH^{\cdot}	
Radical peroxyde ROO^{\cdot}	
Oxygène singulet $^1\text{O}_2$	
Peroxyde d'hydrogène H_2O_2	

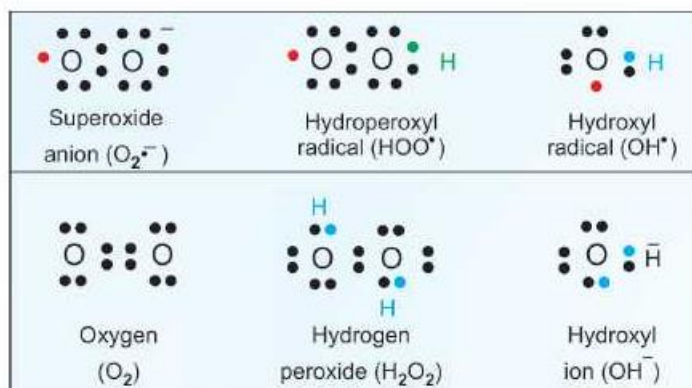
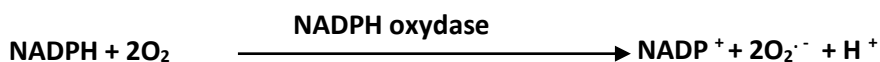


Fig. : Some free radicals. Please compare hydroxyl radical (free radical) with hydroxyl ion, which is not a free radical. Also compare oxygen with superoxide anion

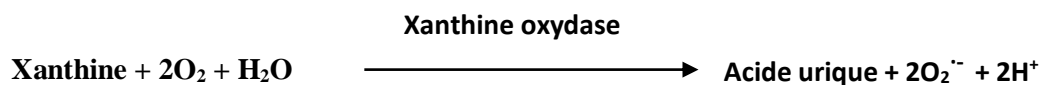
• Origine des radicaux libres

Ils sont produits par divers mécanismes physiologiques afin de détruire les bactéries au sein des cellules phagocytaires (macrophages, polynucléaires) ou pour réguler des fonctions cellulaires létales telle que la mort cellulaire programmée ou l'apoptose.

Les espèces réactives ne sont pas produites uniquement en réponse à un stress (pollution, fumée de tabac, ultraviolets, pesticides...), mais également elles sont produites dans la mitochondrie au cours de la respiration cellulaire pour fournir de l'énergie nécessaire à la cellule. La principale source étant la réduction d'une molécule d' O_2 en radical anion superoxyde $\text{O}_2^{\cdot -}$ qui est catalysée par NADPH oxydase membranaire qui sont généralement des transports d'électron de la chaîne respiratoire (flavoprotéines, cytochrome et les quinones).



Le système enzymatique xanthine / xanthine oxydase est également considéré comme une source biologique importante de radicaux superoxyde. En effet, en présence d'oxygène la xanthine oxydase catalyse l'oxydation de la xanthine (c'est une substance issue de la dégradation des bases puriques) en acide urique selon la réaction suivante:

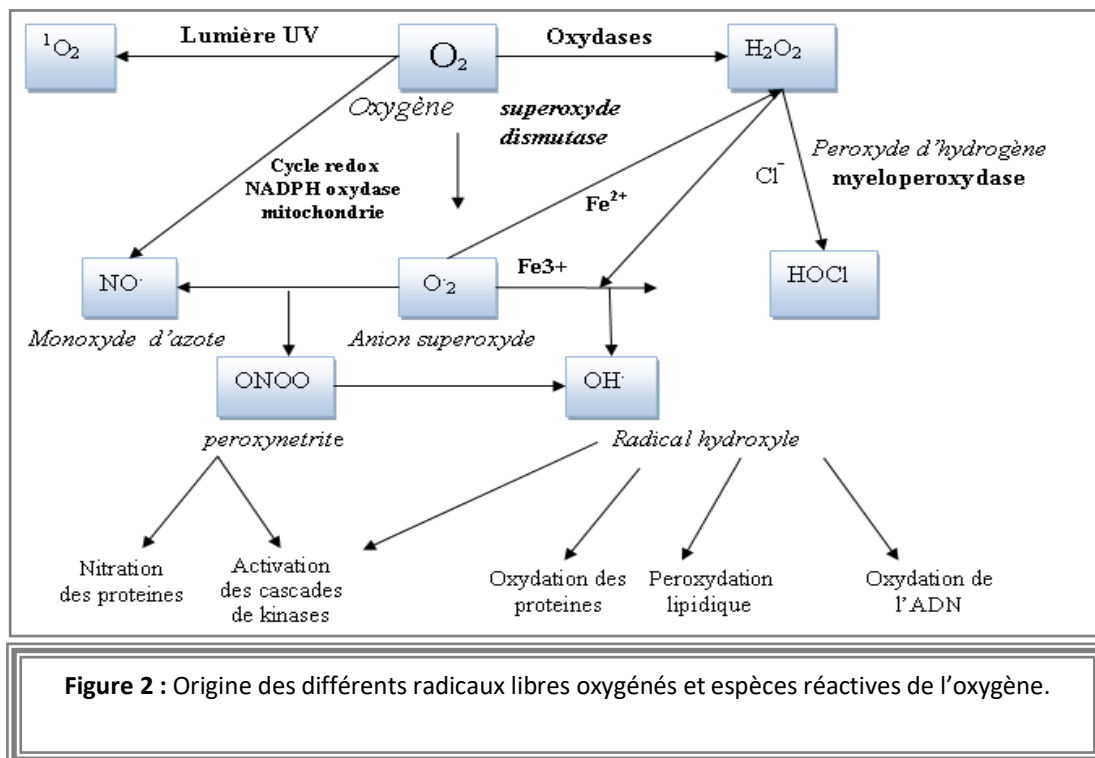


Environ 5% de l'oxygène au niveau de la mitochondrie devient anion superoxyde et les 95% restant utilisé par la cellule est réduit en eau en vue de la formation de l'ATP. Au niveau de RE (réticulum endoplasmique) et les microsomes le fer présent dans le cytochrome P450 est capable de réagir avec l'oxygène et produire ainsi l'anion superoxyde qui sera le déclencheur de la peroxydation lipidique.

Les rayonnements sont capables de générer des radicaux libres, soit en scindant la molécule d'eau, lorsqu'il s'agit des rayons ionisants X ou gamma, soit en activant des molécules photosensibilisantes lorsqu'il s'agit des rayons ultraviolets qui vont produire des anions superoxydes et de l'oxygène singulet.

Les métaux possèdent des capacités privilégiées d'interaction avec l'oxygène et cela pour le lier ou bien pour lui échanger des électrons, c'est le cas de l'hémoglobine et de l'oxydase. Le cuivre et le fer libres génèrent des radicaux hydroxyles, très réactifs, à partir de l'espèce peu réactive H_2O_2 , par une réaction appelée réaction de Fenton (réaction catalysée par du Fer).

D'autres origines des radicaux libres tel qu'une défaillance nutritionnelle, carence en un ou plusieurs antioxydants apportés par la nutrition (les vitamines, les oligo-éléments), la mauvaise adaptation résultant soit des anomalies génétiques responsables d'un mauvais codage des enzymes catalysant la réaction antioxydante ou bien celles impliquées dans la synthèse des antioxydants.



• Conséquences du stress oxydant

Les radicaux libres font partie intégrante du fonctionnement de l'organisme et jouent un rôle dans la reproduction, la nidation de l'œuf fécondé, le développement de l'embryon, et ils peuvent être nécessaires dans les processus tels que la transmission de message intracellulaire, la défense contre les microorganismes, et la régulation des fonctions cellulaires (vasodilatation, prolifération, apoptose). Cependant, la production excessive de radicaux libres provoque des lésions directes de molécules biologiques (oxydation de l'ADN, des protéines, des lipides, et des glucides), mais aussi des lésions secondaires dues au caractère cytotoxique et mutagène des métabolites libérés notamment lors de l'oxydation des lipides (figure 2).

• Oxydation des acides nucléiques

Les radicaux libres peuvent induire des effets mutagènes ou l'arrêt des réplifications de l'ADN. Ils agissent en provoquant des altérations de bases comme la guanine (G) qui conduit à la formation de 8-oxo-guanine, qui est à l'origine de mutations géniques.

Le stress oxydant peut aussi attaquer la liaison entre la base et le désoxyribose, créant un site abasique, ou attaquer le sucre lui-même, formant une coupure de chaîne simple brin. Ces

lésions auront des conséquences sur le contrôle du cycle cellulaire et sur l'expression génique; le stress oxydant provoque la répression de gène de cycle cellulaire et l'augmentation de la durée de la phase G1, pendant cet arrêt la cellule vérifie son matériel génétique et entre en apoptose.

- **Peroxydation lipidique**

La peroxydation lipidique est considérée comme phénomène naturel lorsqu'elle est contrôlée par des enzymes telle que la prostaglandine synthétase (cette enzyme intervenant dans l'étape finale de la biosynthèse de la prostaglandine E_2 à partir de l'acide arachidonique), la 5-lipoxygénase (est responsable de la synthèse des leucotriènes, principaux médiateurs lipidiques de l'inflammation), mais elle devient pathologique quand son mécanisme est non enzymatique.

La présence d'un groupement peroxy ($ROO\cdot$) perturbe les interactions hydrophobes lipides /lipides et protéines /protéines, ceci conduit à des altérations de la membrane et des lipoprotéines. La fluidité de la membrane diminue et la perméabilité augmente, les enzymes et les récepteurs membranaires sont susceptibles d'être inactivés.

Les principaux produits de cette peroxydation lipidique est : le MDA (malondialdéhyde) et le 4HDN (4-hydroxynonanal). Ces produits sont eux-mêmes des oxydants qui réagissent avec certains acides aminés.

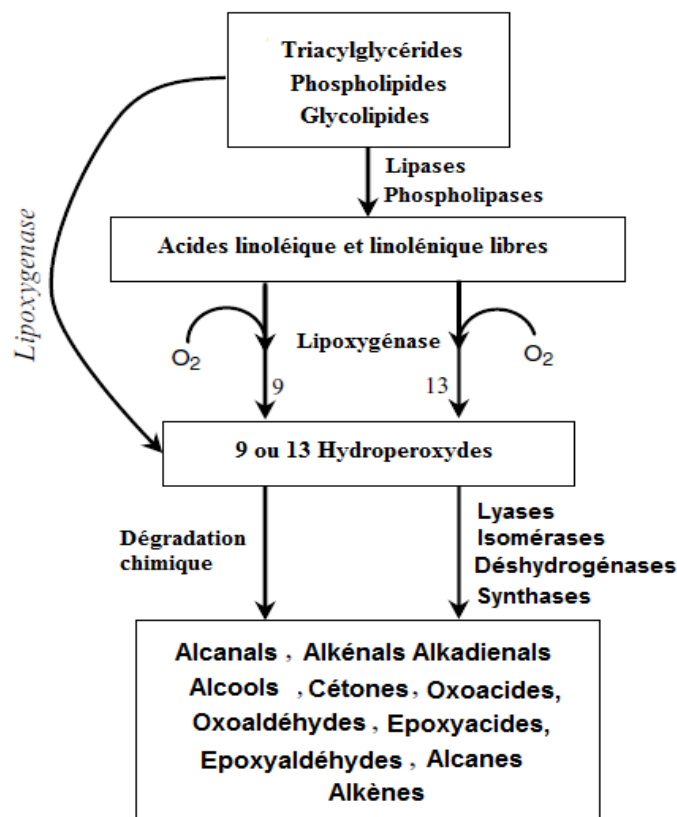


Figure 3 : Oxydation enzymatique des acides gras insaturés

• Oxydation des protéines

L'action des radicaux libres porte sur la chaîne latérale de certaines acides aminés comme le thiol des cystéines ou le méthyle de méthionine.

Les acides aminés comme la méthionine, la lysine, et les acides aminés aromatiques peuvent être oxydés de façon irréversible ce qui modifie la structure des protéines et altère leurs fonctions et devient généralement plus sensible à l'action des protéases et sont donc éliminées.

La glutamine synthétase est l'une des protéines les plus sensibles à cette oxydation, ainsi que le collagène qui se fragmente sous l'effet de ces radicaux libres, générant des lésions tissulaires qui apparaissent au cours de l'inflammation. De même, les produits de la peroxydation lipidique (MDA et HDN) peuvent se fixer sur le collagène et perturber le cycle cellulaire des fibroblastes (Un fibroblaste est une cellule présente dans le tissu conjonctif en assurant la cohérence et la souplesse).

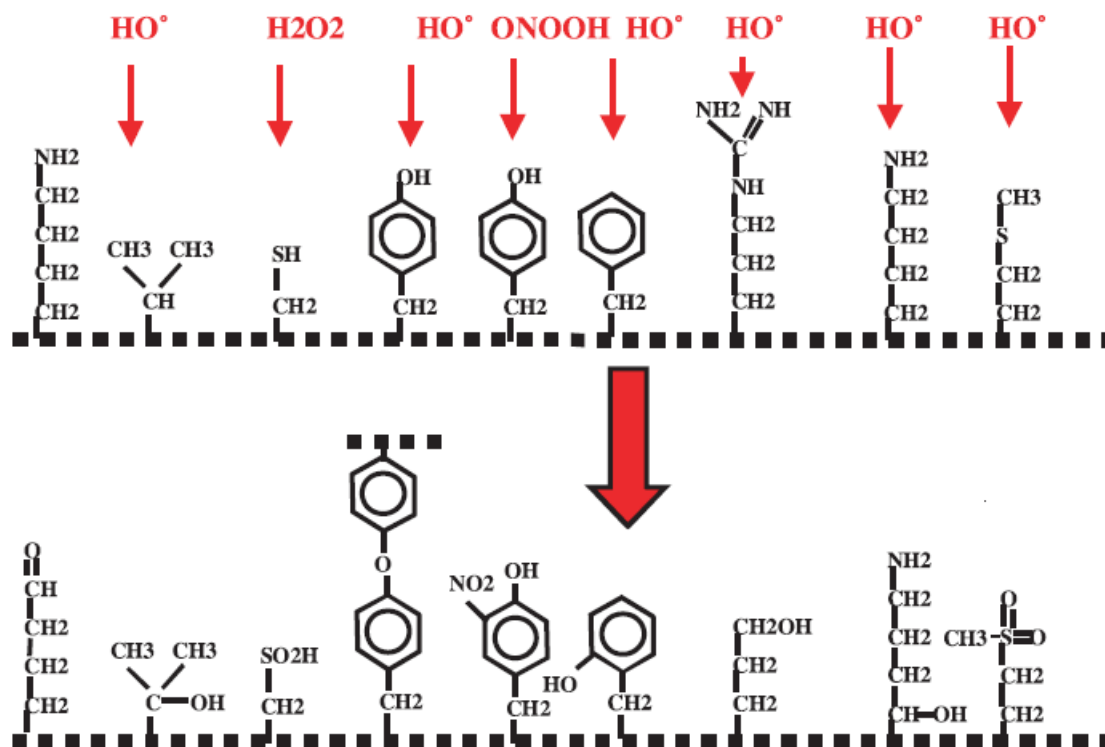


Figure 4 : Nature de quelques modifications des chaînes latérales d'acides aminés des protéines après attaque radicalaire.

II/.1.1.4. Quelques pathologies liées au stress oxydant

• Athérosclérose

C'est une étape de la maladie cardiaque impliquant des dépôts de graisses à l'intérieur parois artérielles. Dans cette pathologie les **LDL oxydés** ne sont plus reconnus par leurs récepteurs habituels, cela conduit à l'absorption massive de cholestérol caractéristique de la phase pré de l'athérome (تصلب الشرايين), et les lésions comme phénomène extracellulaire.

• Infection par le VIH

Cette infection provoque la libération de (TNF) tumor necrosis factor et la production de radicaux libres. Chez les patients séropositifs, la diminution de la vitamine E entraîne la diminution de l'activité de glutathion peroxydase (Elle assure la transformation des hydroperoxydes organiques, lipidiques notamment, de type ROOH en ROH), et les radicaux libres formés sont impliqués dans la réplication de VIH et perturbent ainsi la réponse immunitaire.

la diminution d'IL-2 (Interleukin-2).

- **Diabète (hyperglycémie)**

Chez le diabétique, l'hyperglycémie (diminution de glutathion peroxydase érythrocytaire et augmentation de la lipoperoxydation) entraîne un effet délétère au niveau endothélial en favorisant la production de superoxyde et de peroxy-nitrites, qui réduisent l'activité des enzymes de la glycolyse (la glyceraldéhyde-3- phosphate-déshydrogénase (GAPDH)). De ce fait, le flux de glucose est transformé à une autre voie métabolique, qui est la voie de la glucosamine qui conduit en partie à des effets transcriptionnels (activation de l'expression de gènes contribuant au développement des complications diabétiques).

II/1.1.5. Comment lutter contre le stress oxydant ?

Les antioxydants sont des substances présentes à faible concentration dans les aliments ou dans l'organisme. C'est l'ensemble des molécules susceptibles d'inhiber directement la production, de limiter la propagation ou de détruire les espèces actives de l'oxygène. Ils peuvent agir en réduisant ou en dismutant ces espèces, en les piégeant pour former un composé stable, en séquestrant le fer libre ou en générant du glutathion (une tripeptide antioxydante que l'on retrouve naturellement en concentration élevée dans pratiquement toutes les cellules de notre organisme).

- **Classification**

- ✓ **Antioxydants primaires**

Les antioxydants primaires sont les substances qui peuvent donner un atome d'hydrogène ou un électron à un radical, et perturber ainsi sa capacité à poursuivre le processus de propagation de la chaîne des radicaux libres.

Les substances antioxydantes primaires les plus connues et les plus efficaces sont les **polyphénols**.

- ✓ **Antioxydants secondaires**

Les antioxydants secondaires sont les substances qui réagissent avec les hydroperoxydes, les transformant en produits plus stables et non radicaux. Les hydroperoxydes réagissent avec les métaux pour former des radicaux hydroxyles (HO•) et alcoyle (R-O•) qui peuvent à leur tour extraire l'hydrogène des lipides, générant des radicaux centrés sur le carbone qui poursuivent le

cycle de propagation.

Certains des types les plus importants de mécanismes antioxydants secondaires sont abordés dans les sections suivantes :

❖ **Chélateurs**

Les chélateurs sont des substances qui se lient aux métaux et les empêchent d'amorcer la formation de radicaux. L'acide éthylènediaminetétraacétique (EDTA), l'**acide citrique**, l'**acide phytique** et l'acide phosphorique présentent quelques exemples de ces chélateurs.

❖ **Quenchers**

Les quenchers sont des substances qui désactivent les espèces à haute énergie telles que l'oxygène singulet (1O_2) ou d'autres et détournent cette énergie vers des voies moins nuisibles. Les **phénols**, les **caroténoïdes** en sont des exemples.

❖ **Piégeurs d'oxygène**

Les piégeurs d'oxygène sont des substances qui réagissent avec l'oxygène et l'éliminent du système à stabiliser. L'**acide ascorbique** (vitamine C) est un exemple d'antioxydants qui fonctionnent de cette manière.

❖ **Régénérateurs d'antioxydants**

Les régénérateurs d'antioxydants sont des substances qui réduisent les radicaux formés lorsqu'un antioxydant primaire donne un atome d'hydrogène ou un électron à un radical libre. Exemple : Le **tocophérol** (vitamine E), un antioxydant primaire actif, est régénéré lorsque le radical tocophéryle est réduit par l'**acide ascorbique**.

• **Différents Types d'antioxydants**

✓ **Antioxydants synthétiques**

Pour pouvoir être utilisé comme antioxydant, un composé synthétique doit répondre aux exigences suivantes : il ne doit pas être toxique ; il doit être très actif à de faibles concentrations (0,01-0,02%) ; il doit se concentrer à la surface de la phase grasse ou huileuse.

Les antioxydants synthétiques les plus utilisés dans les aliments sont : l'hydroxyanisolebutylé (BHA), l'hydroxytoluènebutylé (BHT), le gallate de propyle (PG) et la tert-butylhydro quinone (TBHQ) (figure 5). Les antioxydants synthétiques utilisés dans l'industrie alimentaire peuvent être ajoutés comme additifs directs ou indirectement par diffusion à partir

des matériaux d'emballage.

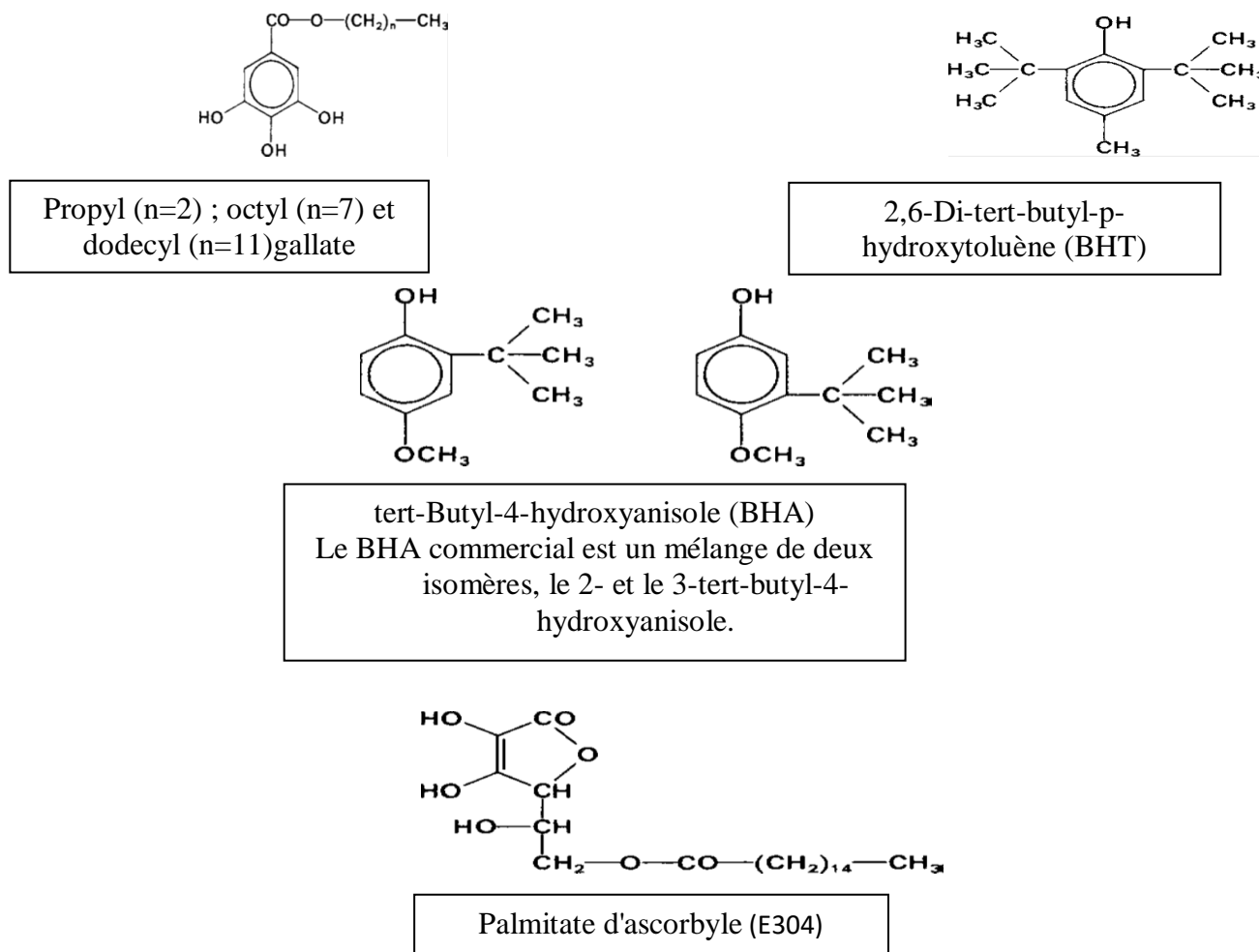


Figure 5 : Exemple des antioxydants synthétiques utilisés.

✓ Quelques antioxydants Naturels

L'alimentation contient un grand nombre d'antioxydants, non seulement les vitamines (E, C, Q, β carotène) et les oligo-éléments (sélénium, cuivre, zinc, manganèse), mais aussi 600 sortes de **caroténoïdes**, 4 000 **polyphénols et flavonoïdes** (trouvés dans les choux, le thé, les céréales, les fruits, les raisins rouge, la curcumine ...), des **alcaloïdes**, des **acides organiques**, des **phytates**, des **dérivés soufrés** de l'ail et de l'oignon, des **dérivés indoliques** du chou...

En dehors de la prévention primaire, l'apport d'antioxydants pourra être utile pour éviter les

récidives. Il permettra aussi de stabiliser la tolérance à l'insuline, d'améliorer l'immunité.

Enfin, les antioxydants pourront être utilisés pour diminuer la toxicité des médicaments, souvent générateurs de radicaux oxygénés dans leur métabolisme. **Toutefois, il faudra se méfier des effets paradoxaux de fortes doses d'antioxydants, car tous deviennent prooxydants s'ils sont administrés en excès. De plus, il ne faut pas supprimer le bruit de fond physiologique des radicaux libres. Nous avons vu leur utilité dans la défense anti-infectieuse. N'oublions pas que l'apoptose est aussi un phénomène utile qui supprime les cellules infectées par des virus ou les cellules cancéreuses.**

Les antioxydants naturels permettent **aux transformateurs de produits alimentaires** de fabriquer des produits stables avec des étiquettes "propres" d'ingrédients entièrement naturels. En plus de leur activité antioxydante, certains antioxydants naturels, tels que les vitamines, les minéraux et les enzymes, sont également considérés comme des nutriments en raison de leur bioactivité.

L'acide ascorbique et les tocophérols sont les antioxydants naturels commerciaux les plus importants. En outre, de nombreux antioxydants phénoliques d'origine naturelle ont été identifiés dans des sources végétales et des extraits de légumes qui peuvent se prêter à une utilisation dans une variété d'applications alimentaires.

- **Acide ascorbique (Vitamine C)**

La vitamine C ou acide ascorbique est le plus important **antioxydant hydrosoluble**. Le mécanisme d'action est mal connu. Il fait intervenir des réactions d'oxydoréduction entre la forme réduite de la vitamine C (l'acide ascorbique) et sa forme oxydée (dehydroascorbate).

Les ascorbates sont des antioxydants très réactifs utilisés comme conservateurs alimentaires. Ce sont par exemple : l'ascorbate de sodium (E301) ; l'ascorbate de calcium (E302) ; l'ascorbate de potassium (E303).

L'ascorbate capte les anions superoxydes ($O_2^{\cdot-}$), hypochlorite ($NaOCl$), hydroxyl ($HO\cdot$) et l'oxygène singulet. *In vitro*, il inhibe la peroxydation lipidique avant la vitamine E et participe également la régénération de cette dernière.

- **Antioxydants naturels de l'huile d'olive**

- ❖ **Caroténoïdes**

Les caroténoïdes sont des **pigments liposolubles** de couleur jaune, orange et rouge, omniprésents dans les plantes vertes, les fruits et les légumes. Les deux classes de caroténoïdes sont **les carotènes** (par exemple, le **β -carotène** et le **lycopène**) et les **xanthophylles** (par exemple, l'**astaxanthine** et la **canthaxanthine**).

Environ 10 % des 600 caroténoïdes ainsi identifiés ont l'activité biologique de la vitamine A et sont appelés composés de provitamine A. Le β -carotène est le plus abondant des caroténoïdes de la provitamine A trouvé dans les aliments et il possède également la plus forte activité de la vitamine A.

Ils empêchent l'initiation des réactions radicalaires en neutralisant l'oxygène singulet. Néanmoins, tous les caroténoïdes n'ont pas la même efficacité pour inactiver l'oxygène singulet. Par ordre décroissant d'efficacité vient le **lycopène** (tomates) puis le **β -carotène** (abricot) et enfin la **lutéine** (carottes, épinards).

❖ Tocophérol (vitamine E)

La grande stabilité des huiles végétales, dans les conditions d'oxydation, est due à la présence d'un taux élevé d'antioxydants naturels dont les plus importants sont **les tocophérols** qui se présentent sous quatre formes isométriques : α , β , δ et γ (Figure 6). Les tocophérols protègent contre l'oxydation naturelle des acides gras, en particulier les acides gras polyinsaturés : une molécule de tocophérol peut protéger 10^3 à 10^6 molécules d'AGPI.

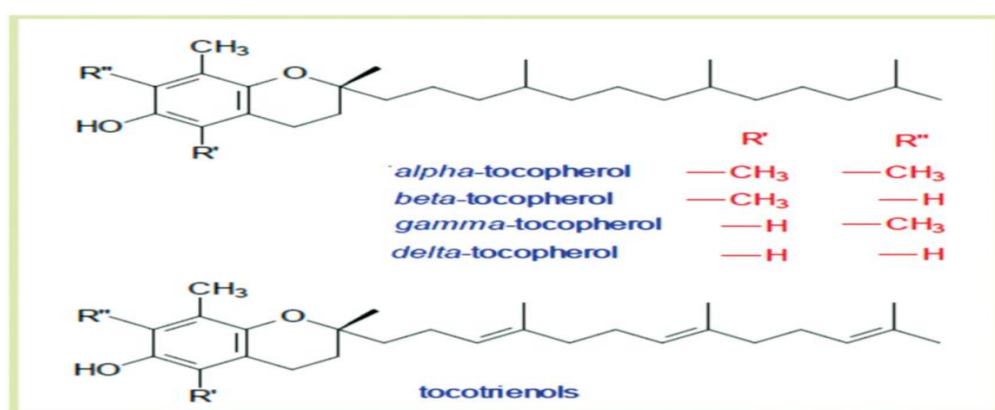
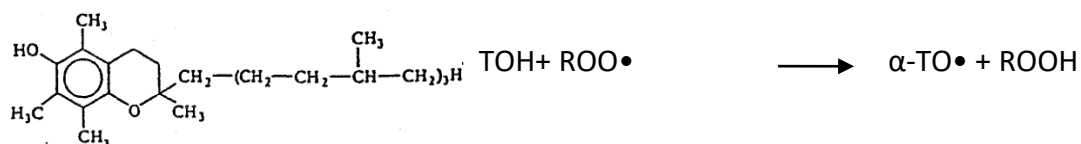


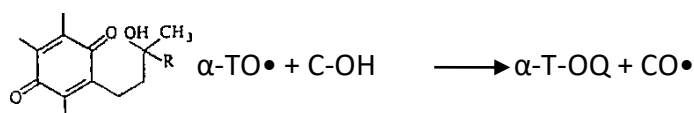
Figure 6 : Différents homologues du tocophérol dans les huiles végétales.

L' α -tocophérol réagit avec les radicaux peroxydes ($\text{ROO}\bullet$), formés à partir des AGPI à l'intérieur des membranes, en donnant un hydrogène par le groupement hydroxyle du noyau chromane, et bloque ainsi la phase de propagation. Le radical tocophéryl formé ($\alpha\text{-TO}\bullet$) est rapidement transféré en quinone α -tocophéryl :



Le radical tocophéryl ($\alpha\text{-TO}\bullet$) ainsi formé étant de faible réactivité, la réaction en chaîne s'arrête d'elle-même. La régénération de la vitamine E met en jeu l'ascorbate.

Le radical tocophéryl ($\text{TO}\bullet$) est pris en charge par la vitamine C (C-OH) qui le transforme en α -tocophérylquinone ($\alpha\text{-T-OQ}$):



L' α -tocophérylquinone pourra ensuite régénérer l' α -tocophérol en passant par l' α -tocophérylhydroquinone ($\alpha\text{-TQH}_2$).

❖ Composés phénoliques

Les POH sont des antioxydants naturels et des molécules bioactives intégrales d'une huile ou d'une graisse. Les POH agissent comme des piègeurs de radicaux libres et des chélateurs de métaux.

La principale caractéristique structurale responsable de l'activité antioxydante et du piégeage des radicaux libres dans le cas des dérivés phénoliques est le groupe hydroxyle phénolique.

Les phénols sont capables de donner l'atome d'hydrogène de l'OH phénolique aux radicaux libres, arrêtant ainsi la chaîne de propagation pendant le processus d'oxydation (figure 7).

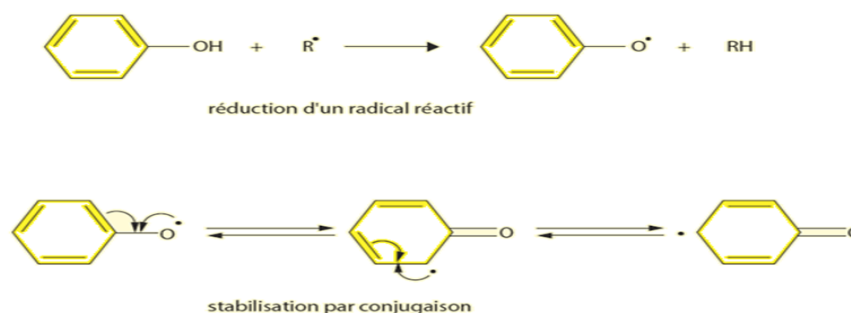


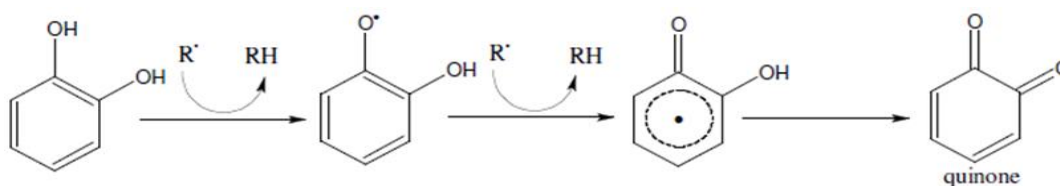
Figure 7 : Propriétés réductrices des polyphénols.

❖ Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont un groupe de polyphénols naturels de faible poids moléculaire d'origine végétale. Ces composés sont présents dans les fruits et légumes régulièrement consommés par l'Homme. La plupart de ces composés appartiennent à quatre groupes principaux : les flavones, les flavonols, les flavanones et les flavanols.

Les premiers flavonoïdes identifiés dans l'**huile d'olive vierge** sont les flavones présentes surtout sous forme libre, la lutéoline et l'apigénine, alors que dans le fruit, les formes glycosidiques sont plus fréquentes.

La propriété des flavonoïdes la mieux décrite est l'activité antioxydante et leur capacité à piéger les radicaux libres ; radicaux hydroxyles ($\text{OH}\cdot$), anions superoxydes ($\text{O}_2\cdot^-$), etc. Le radical flavonoxy ($\text{Fl-O}\cdot$) ainsi formé peut réagir avec un autre radical pour former une structure quinone stable.



Les flavonoïdes sont considérés comme de bons chélateurs des ions métalliques. Cette action est surtout observée dans le cas des flavonols où le groupe 4-céto forme avec les OH en 3 ou en 5 un site idéal pour cette complexation. Un deuxième site peut être présent au niveau des hydroxyles 3' et 4' du noyau B (figure 8).

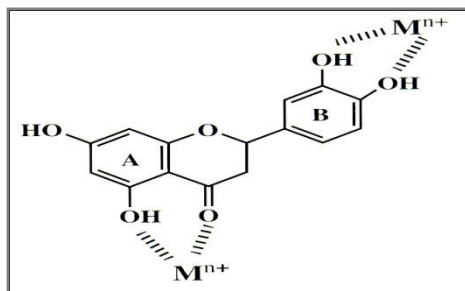


Figure 8 : Chélation de métaux par les flavonols.

I/1.1.6. Antioxydants et secteur agroalimentaire

Les antioxydants constituent un groupe de substances chimiques largement utilisées pour prolonger la durée de conservation d'une grande variété de produits alimentaires.

Un antioxydant alimentaire est considéré comme idéal lorsqu'il est :

- ✓ facilement incorporable
- ✓ efficace à faible dose
- ✓ non toxique
- ✓ n'entraîne ni coloration, ni odeur, ni saveur indésirable
- ✓ résistant aux processus technologiques
- ✓ stable dans le produit fini

Bien que la plupart des matières premières utilisées contiennent déjà des antioxydants naturels, mais durant les procédés de fabrication des aliments, ils en sont appauvris. Cela nécessite donc l'addition d'antioxydants synthétiques.