

Les **métabolites secondaires des plantes** sont des composés chimiques synthétisés par les plantes, c'est-à-dire des **composés phytochimiques**, qui **remplissent des fonctions non essentielles**, de sorte que leur absence n'est pas mortelle pour l'organisme, contrairement aux métabolites primaires. **Les métabolites secondaires sont impliqués dans les interactions écologiques entre la plante et son environnement.**

Les différents métabolites secondaires ont une distribution restreinte dans le règne végétal et certains ne se trouvent que chez une seule espèce ou un seul groupe taxonomique, de sorte qu'ils sont souvent utiles en chimiotaxonomie.

Des études biologiques plus récentes ont permis de démontrer que la plupart des **métabolites secondaires exercent des fonctions de défense contre les prédateurs et les agents pathogènes. En outre, ils peuvent intervenir aussi comme écrans UV pour protéger contre les rayonnements ionisants ou pour fournir une coloration (pigments végétaux).**

La reconnaissance des différentes propriétés biologiques de nombreux métabolites secondaires a encouragé les recherches sur des **applications telles que les médicaments, les antibiotiques, les insecticides et herbicides, et a conduit à une réévaluation des divers rôles qu'ils jouent dans la physiologie des plantes, en particulier dans le contexte des interactions écologiques.**

Les métabolites secondaires des plantes appartiennent à trois groupes en fonction de leurs origines biosynthétiques :

1- Terpénoïdes

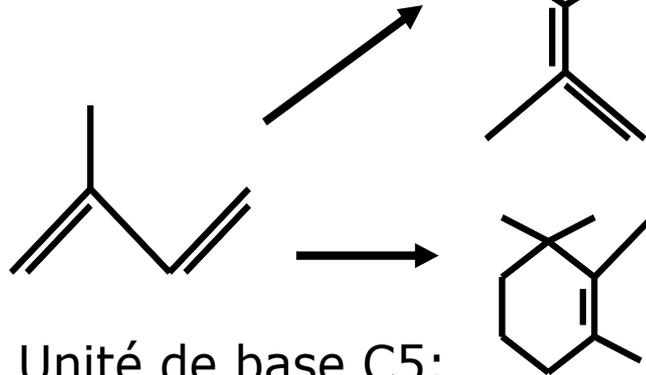
Les terpénoïdes dérivent du composé IPP ([isopentényl diphosphate](#) ou 5-carbono-isopentényl diphosphate) formé dans la [voie](#) de l'[acide mévalonique](#). Ils apparaissent chez de nombreux types de plantes et ont une activité biologique importante. Parmi eux figurent des [huiles essentielles](#) limitées à quelques espèces.

2- Composés phénoliques et leurs dérivés

3- Composés azotés ou alcaloïdes

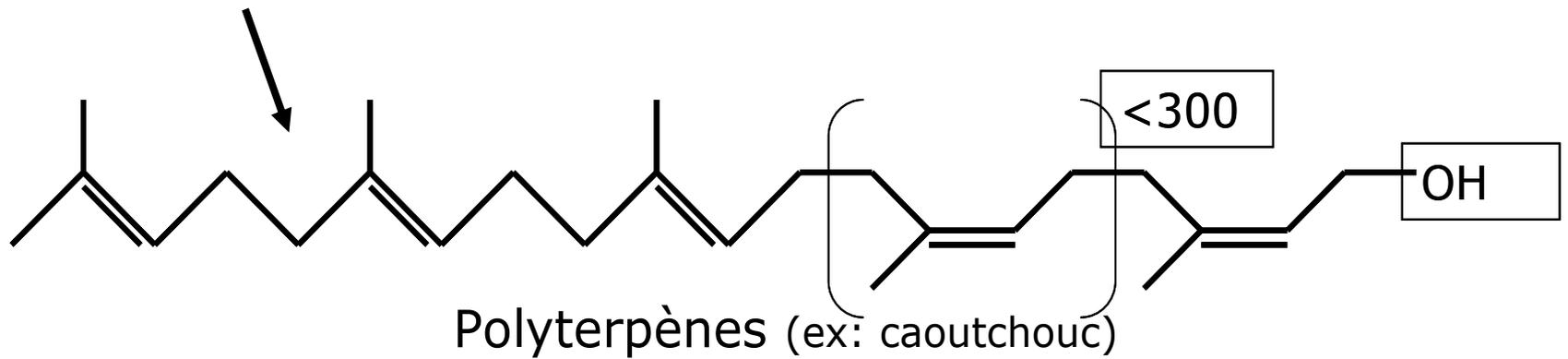
On connaît environ douze mille [alcaloïdes](#) qui contiennent un ou plusieurs atomes d'[azote](#) . Ils sont principalement biosynthétisés à partir d'[acides aminés](#). Les alcaloïdes présentent une grande diversité de structures chimiques (Robinson 1981⁸). Ils sont physiologiquement actifs chez les animaux, même à faible concentration, et ont de ce fait de nombreux usages en médecine. Des exemples connus sont la [cocaïne](#), la [morphine](#), l'[atropine](#), la [colchicine](#), la [quinine](#), et la [strychnine](#).

C10 Monoterpènes (ex: limonène)



Unité de base C5:
isoprène

C40 Tetraterpènes (ex: β -carotène)



Polyterpènes (ex: caoutchouc)

On appelle **huile essentielle** le liquide concentré et hydrophobe des composés aromatiques (odoriférants) volatils d'une plante. Il est obtenu par extraction mécanique, entraînement à la vapeur d'eau ou distillation à sec.

Huiles essentielles de romarin, de lavande, de citron, d'eucalyptus, de menthe, de thym, de clou de girofle...

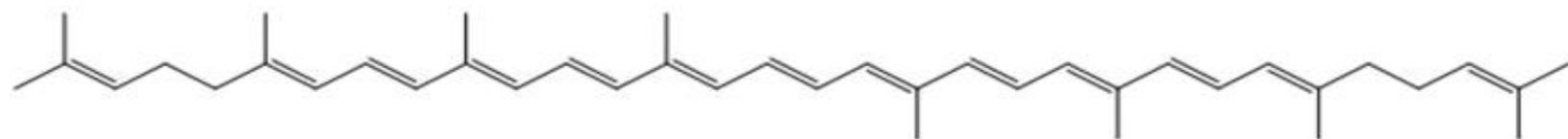
Les **huiles essentielles** sont des substances hydrophobes de composition complexe, **dérivées de plantes**, contenant des **composés organiques volatiles** tels que des alcools, des aldéhydes, des cétones, des phénols, des esters, des éthers et des terpènes, en proportions variables.

Les caroténoïdes sont des pigments naturels et liposolubles avec plus de **750 structures différentes**. Ils peuvent se présenter sous forme libre ou estérifiée avec des acides gras tels que les acides palmitique, stéarique et linoléique.

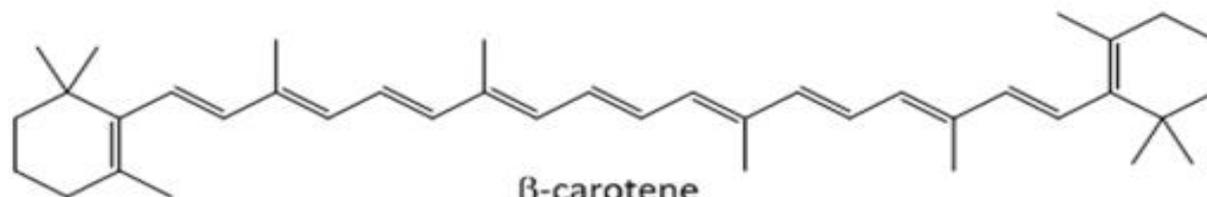
Les caroténoïdes se composent de **huit unités isoprènes**. Les **carotènes** (l' α -carotène, la β -carotène et la lycopène) et les **xanthophylles** (la lutéine, la zéaxanthine...) sont les principaux groupes de caroténoïdes.

Les doubles liaisons conjuguées très étendues des caroténoïdes les rendent idéaux comme pigments accessoires dans les étapes de collecte de lumière de la photosynthèse.

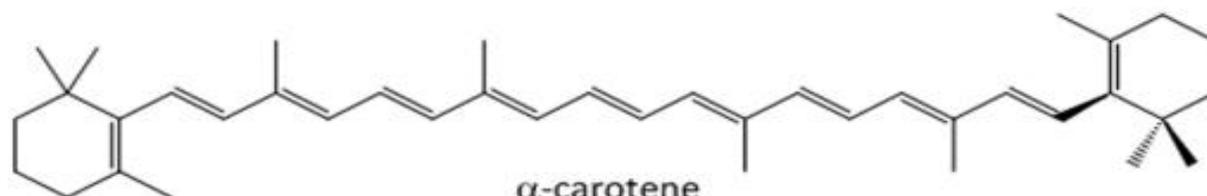
Les mêmes systèmes de doubles liaisons conjuguées sont responsables de la coloration intense des caroténoïdes, propriété que les plantes exploitent comme pigments pour attirer les insectes, les oiseaux et les animaux vers leurs fleurs et leurs fruits.



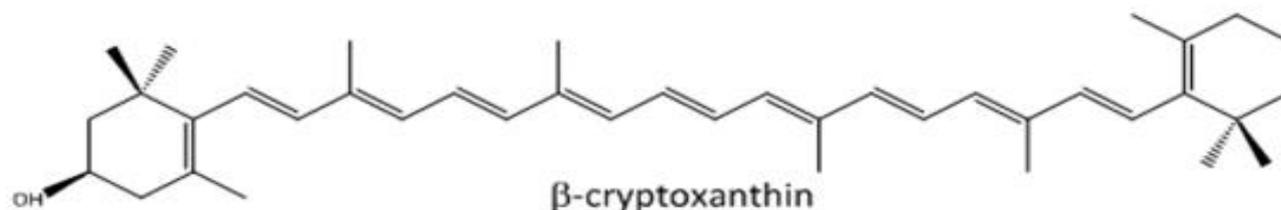
Lycopene



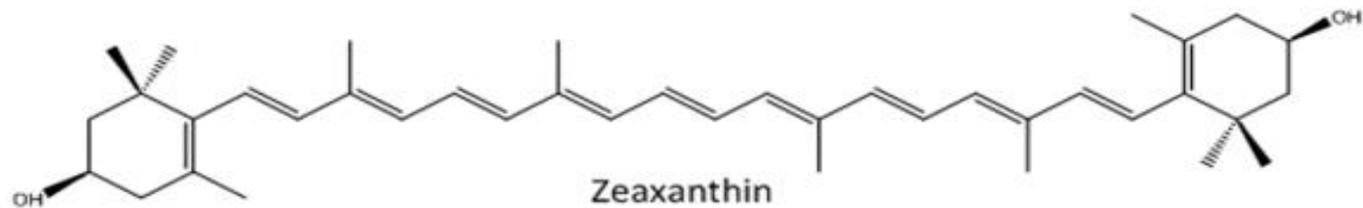
β -carotene



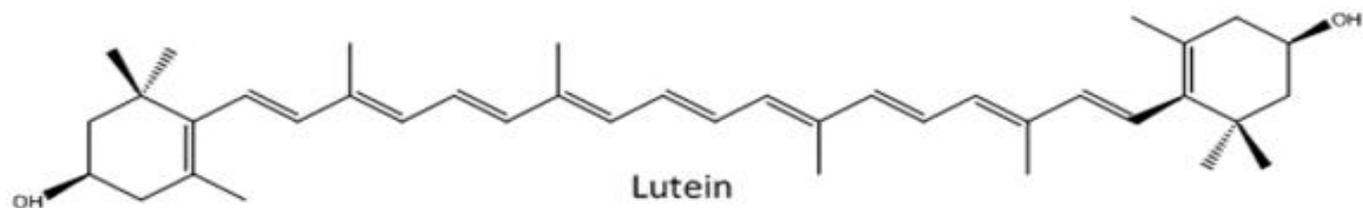
α -carotene



β -cryptoxanthin

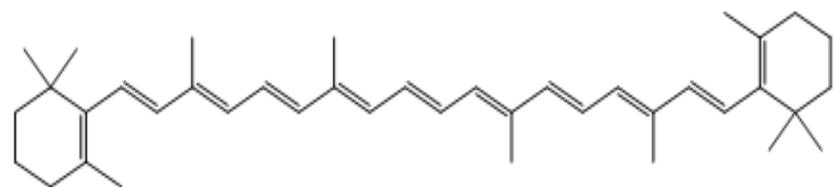


Zeaxanthin

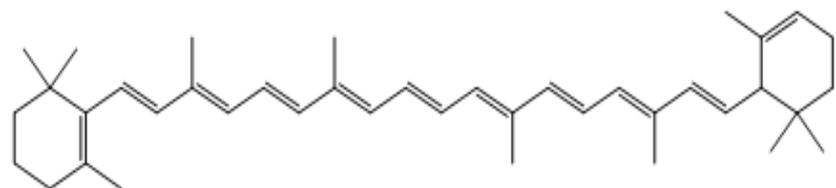


Lutein

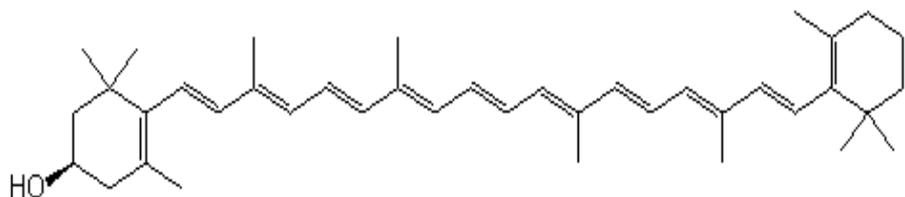
Provitamin A Carotenoids



β -Carotene



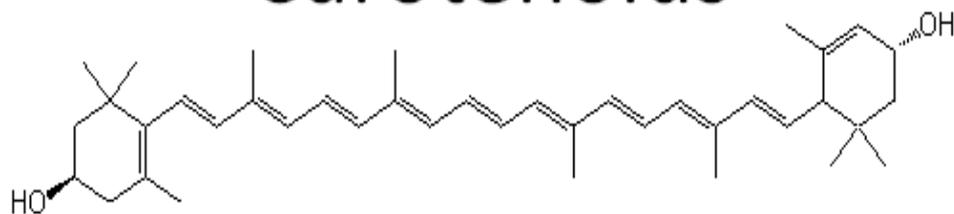
α -Carotene



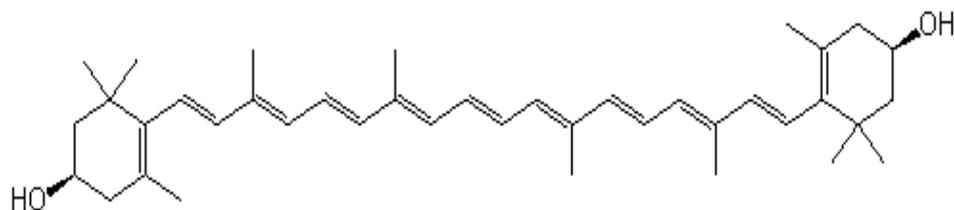
β -Cryptoxanthin

Nonprovitamin A Carotenoids

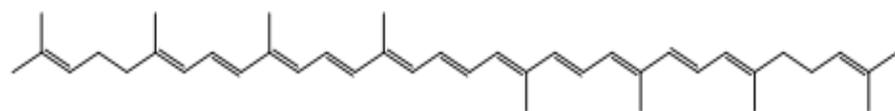
Carotenoids



Lutein



Zeaxanthin



Lycopene

Carotenoids

```
graph TD; A[Carotenoids] --> B[Carotenes]; A --> C[Xanthophylls]; B --> D["α-carotene<br/>β-carotene<br/>Lycopene"]; C --> E["Lutein<br/>Neoxanthin<br/>Violaxanthin<br/>Zeaxanthin"];
```

Carotenes

Linear
Hydrocarbons

α -carotene
 β -carotene
Lycopene

Xanthophylls

Oxygenated
Derivatives

Lutein
Neoxanthin
Violaxanthin
Zeaxanthin

Carotenoid application

Bioactive agent

Supplement

- Lycopene
- β -Carotene
- Astaxanthin
- Lutein
- Zeaxanthin
- β -Cryptoxanthin
- Fucoxanthin
- Canthaxanthin

Cosmetic

- Lycopene
- β -Carotene
- Astaxanthin
- Canthaxanthin

Color

Food & beverage

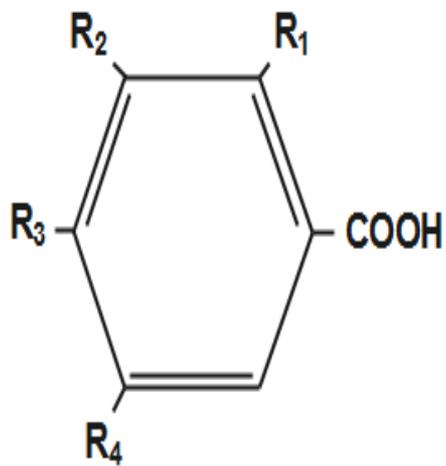
- Lycopene
- β -Carotene
- Lutein
- Canthaxanthin
- Capsanthin

Animal & fish feed

- β -Carotene
- Astaxanthin
- Lutein
- Zeaxanthin
- Canthaxanthin
- Capsanthin

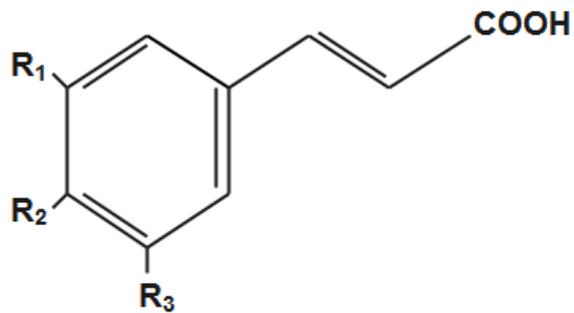
Les différentes classes de polyphénols





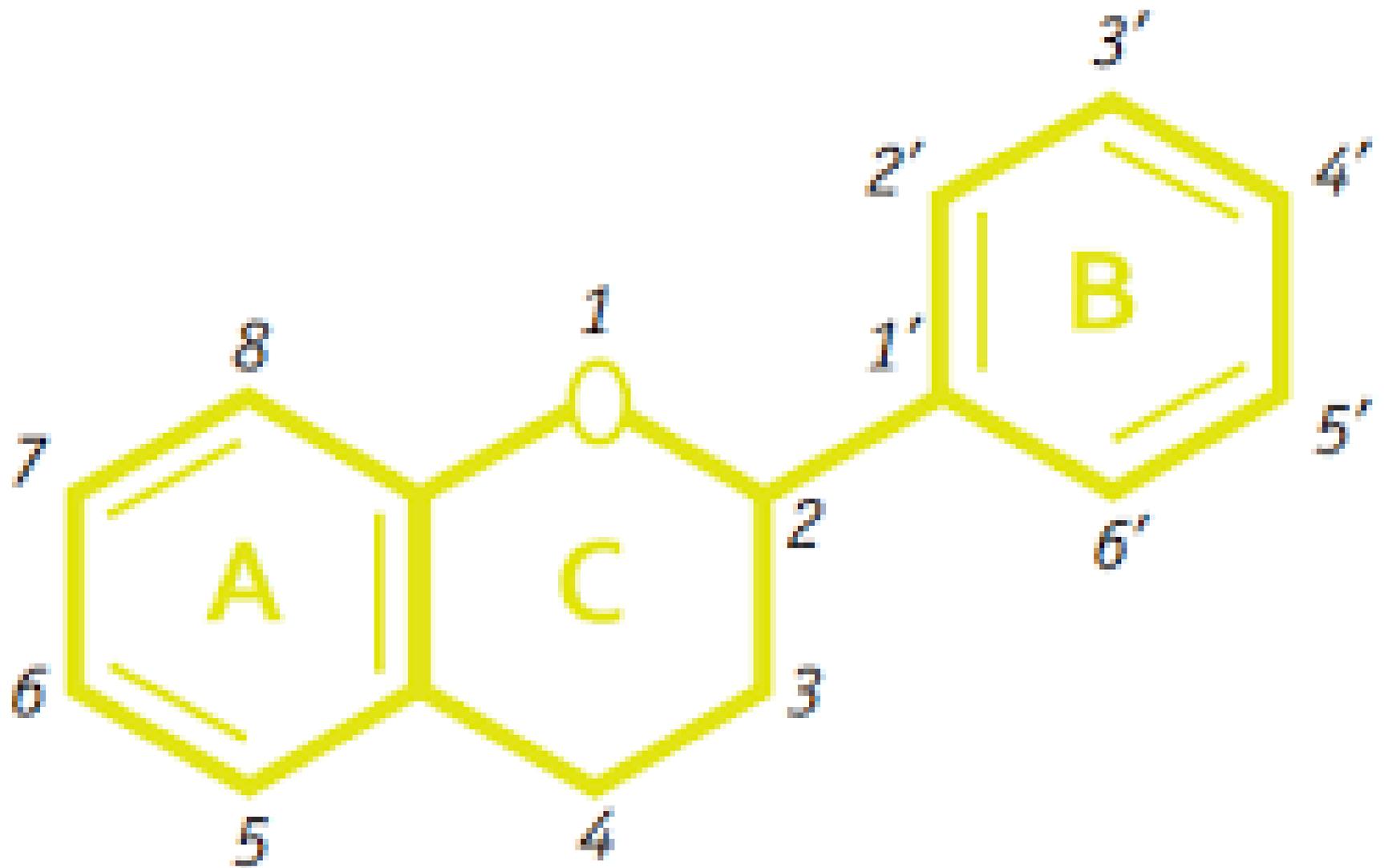
R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	Nome de composé
H	H	H	H	acide benzoïque (non phénolique)
H	H	H	OH	acide <i>p</i> -hydroxybenzoïque
H	H	OH	OH	protocatéchique
H	OCH ₃₊	OH	H	acide vanillique
H	OH	OH	OH	acide gallique
H	OCH ₃₊	OH	OCH ₃₊	acide syringique
OH	H	H	H	acide salicylique
OH	H	H	OH	acide gentisique

Structure chimique de quelques acides hydroxybenzoïques



R ₁	R ₂	R ₃	Nome de composé
H	H	H	acide cinnamique (non phénolique)
H	OH	H	acide <i>p</i> -coumarique
OH	OH	H	acide caféique
OCH ₃ ⁺	OH	H	acide férulique
OCH ₃ ⁺	OH	OCH ₃ ⁺	acide sinapique

Structure chimiques de quelques acides hydroxycinnamiques



Structure de base des flavonoïdes

	Composés phénoliques	Formule brute	Type du miel
Flavonoïdes	Apigénine	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	<i>Acacia</i> , Tualang, Fraise, <i>Eucalyptus</i> , <i>Apiaceae</i> , <i>Citrus</i>
	Catéchine	C ₁₅ H ₁₄ O ₆	Tualang, Pin
	Chryssine	C ₁₅ H ₁₀ O ₄	<i>Manuka</i> , <i>Acacia</i> , Tualang, Bruyère, Thym, Romarin,
	Galangine	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	<i>Manuka</i> , <i>Acacia</i> , Fraise, Bruyère
	Génistéine	C ₁₅ H ₁₀ O ₅	<i>Acacia</i> , <i>Eucalyptus</i> , <i>Erica arborea</i> , <i>Apiaceae</i> , <i>Citrus</i>
	Isorhamnétine	C ₁₆ H ₁₂ O ₇	<i>Manuka</i> , <i>Eucalyptus</i> , <i>Apiaceae</i> , <i>Citrus</i> , <i>Trifolium</i>
	Kaempférol	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	<i>Manuka</i> , <i>Acacia</i> , Tualang, Fraise, Thym, Romarin, <i>Citrus</i>
	Lutéoline	C ₁₅ H ₁₀ O ₆	<i>Manuka</i> , <i>Acacia</i> , Tualang, Fraise, Thym, Romarin, <i>Eucalyptus</i> , <i>Erica arborea</i> , <i>Apiaceae</i> , <i>Citrus</i>
	Myricétine	C ₁₅ H ₁₀ O ₈	<i>Acacia</i> , Bruyère, Thym
	Pinobanksine	C ₁₅ H ₁₂ O ₅	<i>Manuka</i> , <i>Acacia</i> , Fraise, Romarin
	Pinocembrine	C ₁₅ H ₁₂ O ₄	<i>Manuka</i> , <i>Acacia</i> , Fraise, Romarin
	Quercétine	C ₁₅ H ₁₀ O ₇	<i>Manuka</i> , <i>Acacia</i> , Trèfle, Thym
Rutine	C ₂₇ H ₃₀ O ₁₆	Fraise, Lavande, Cèdre, <i>Eucalyptus</i> , Pin, Tournesol, <i>Citrus</i>	



Contents lists available at ScienceDirect

LWT - Food Science and Technology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/lwt



Characterisation of phenolic compounds in Algerian honeys by RP-HPLC coupled to electrospray time-of-flight mass spectrometry



Salim Ouchemoukh ^{a,*}, Nadia Amessis-Ouchemoukh ^b, María Gómez-Romero ^f,
Farid Aboud ^d, Alonzo Giuseppe ^d, Alberto Fernández-Gutiérrez ^c,
Antonio Segura-Carretero ^{c,e}

^a *Laboratoire de Biochimie appliquée, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Bejaia, Route de Targa-Ouzemour 06000 Bejaia, Algeria*

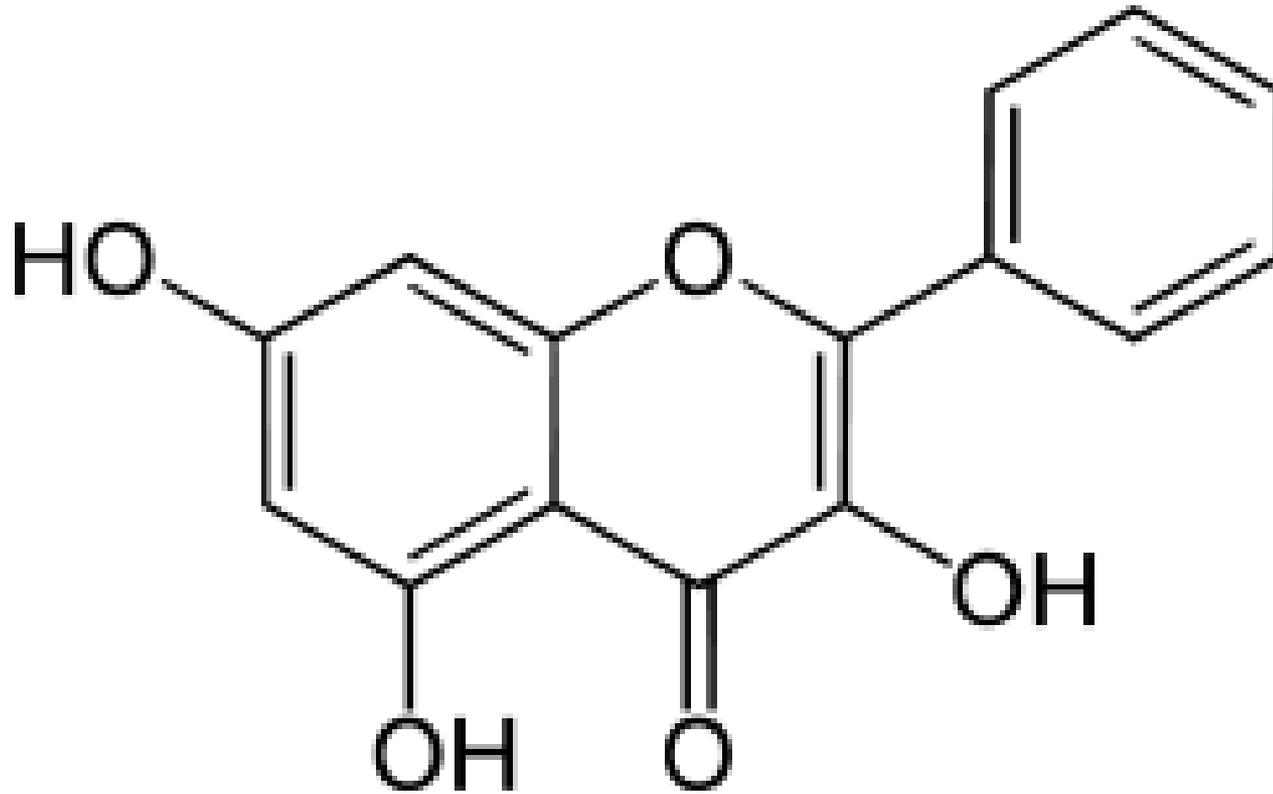
^b *Laboratoire de Biomathématique, Biochimie, Biophysique et Scientométrie, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université de Bejaia, 06000 Bejaia, Algeria*

^c *Department of Analytical Chemistry, Faculty of Sciences, University of Granada, c/Fuentenueva s/n, 18071, Granada, Spain*

^d *Department of Agriculture and Forestry, University of Palermo, Viale delle Scienze edificio 4, 90128 Palermo, Italy*

^e *Functional Food Research and Development Center, PTS Granada, Avd. del Conocimiento, Edificio Bioregion, 18016 Granada, Spain*

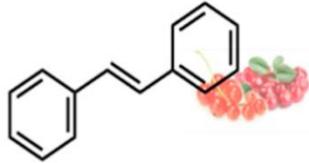
^f *Computational and Systems Medicine, Department of Surgery and Cancer, Imperial College London, South Kensington Campus, SW7 2AZ London, UK*



Galangine

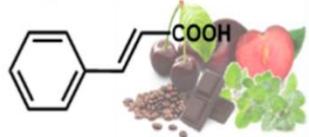
NON-FLAVONOIDS.

Stilbenes



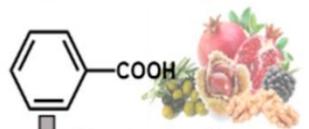
resveratrol

Hydroxycinnamic acids



ferulic acid
caffeic acid
coumaric acid
caffeoylquinic acid

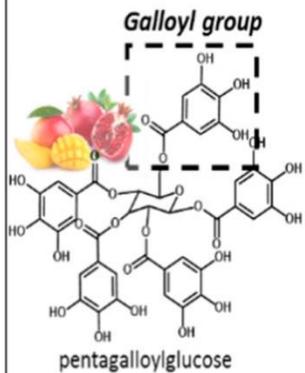
Hydroxybenzoic acids



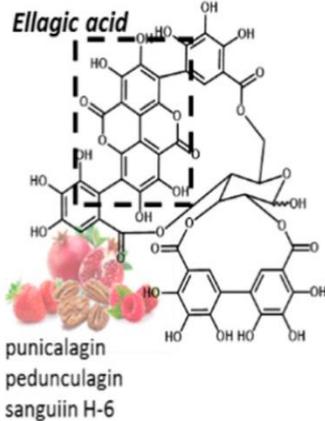
gallic acid
ellagic acid
syringic acid
protocatechuic acid

Structural units

HYDROLIZABLE TANNINS.



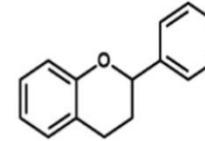
Gallotannins



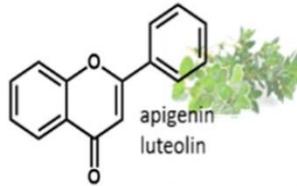
Ellagitannins

FLAVONOIDS.

Flavanic core

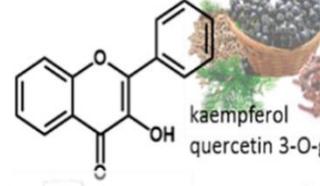


Flavones



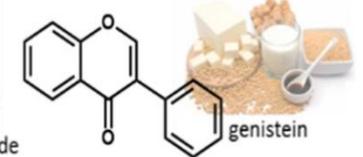
apigenin
luteolin

Flavonols



kaempferol
quercetin 3-O-glucoside

(iso)-Flavanones



genistein

Flavan-3-ols



(epi)catechin
(-)-epigallocatechin

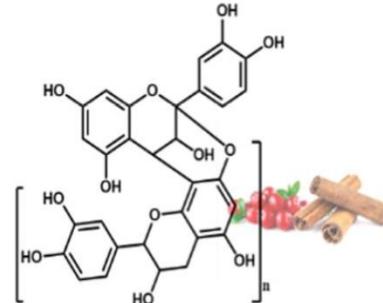
Structural units

Anthocyanins

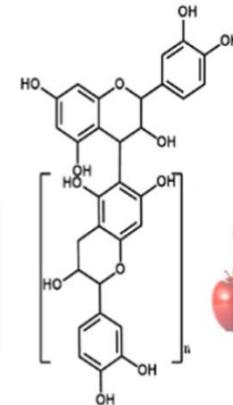


cyanidin-3-glucoside
malvidin-3-glucoside

CONDENSED TANNINS.

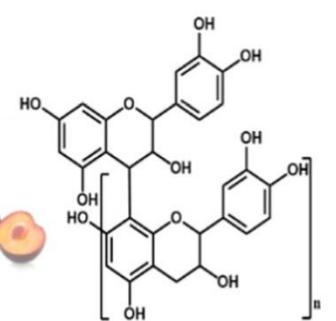


Proanthocyanidins A
(interflavanic bonds C8-C4
and C2-O-C7)



procyanidin B5
procyanidin B7

Proanthocyanidins B
(interflavanic bond C8-C6)

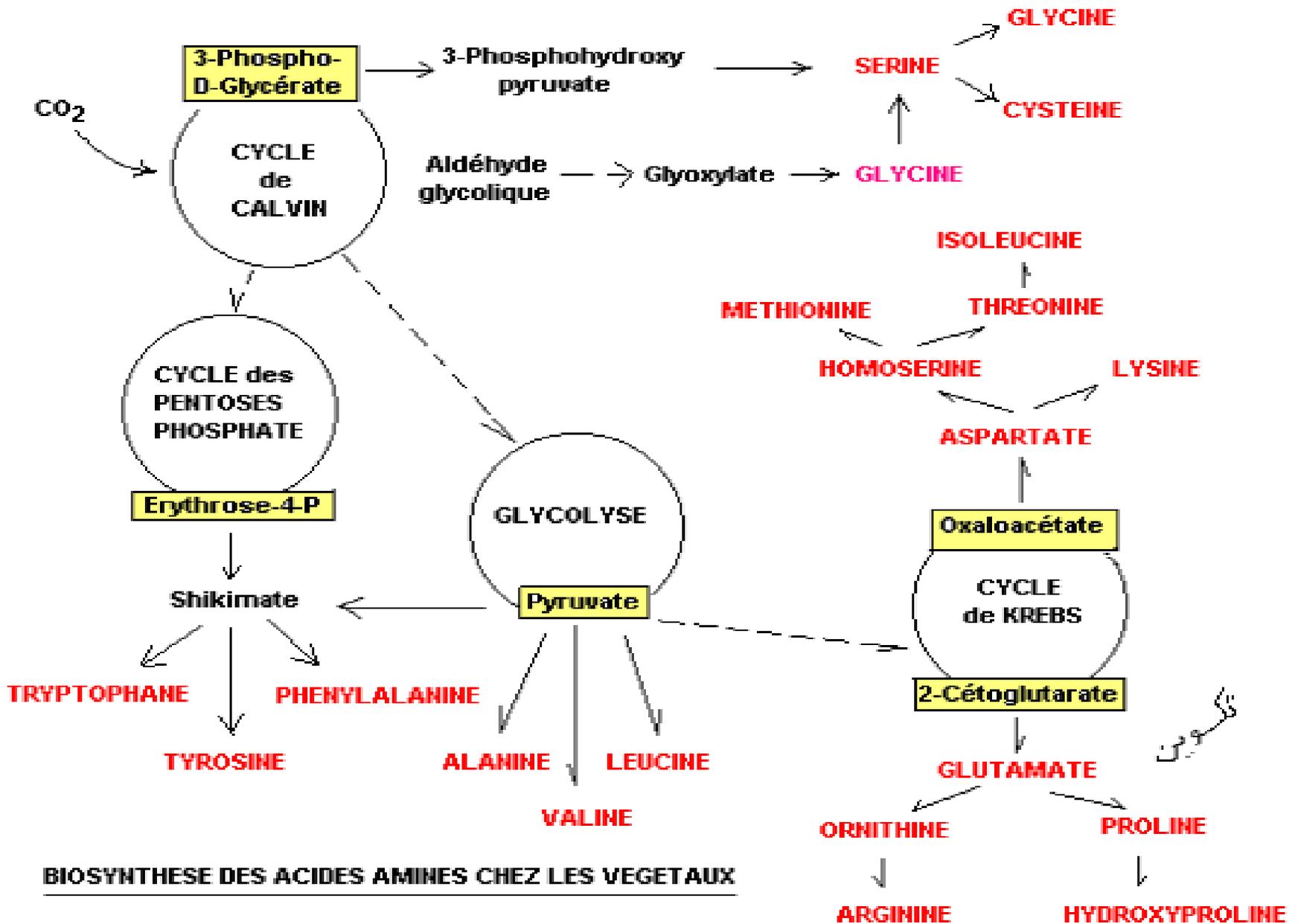


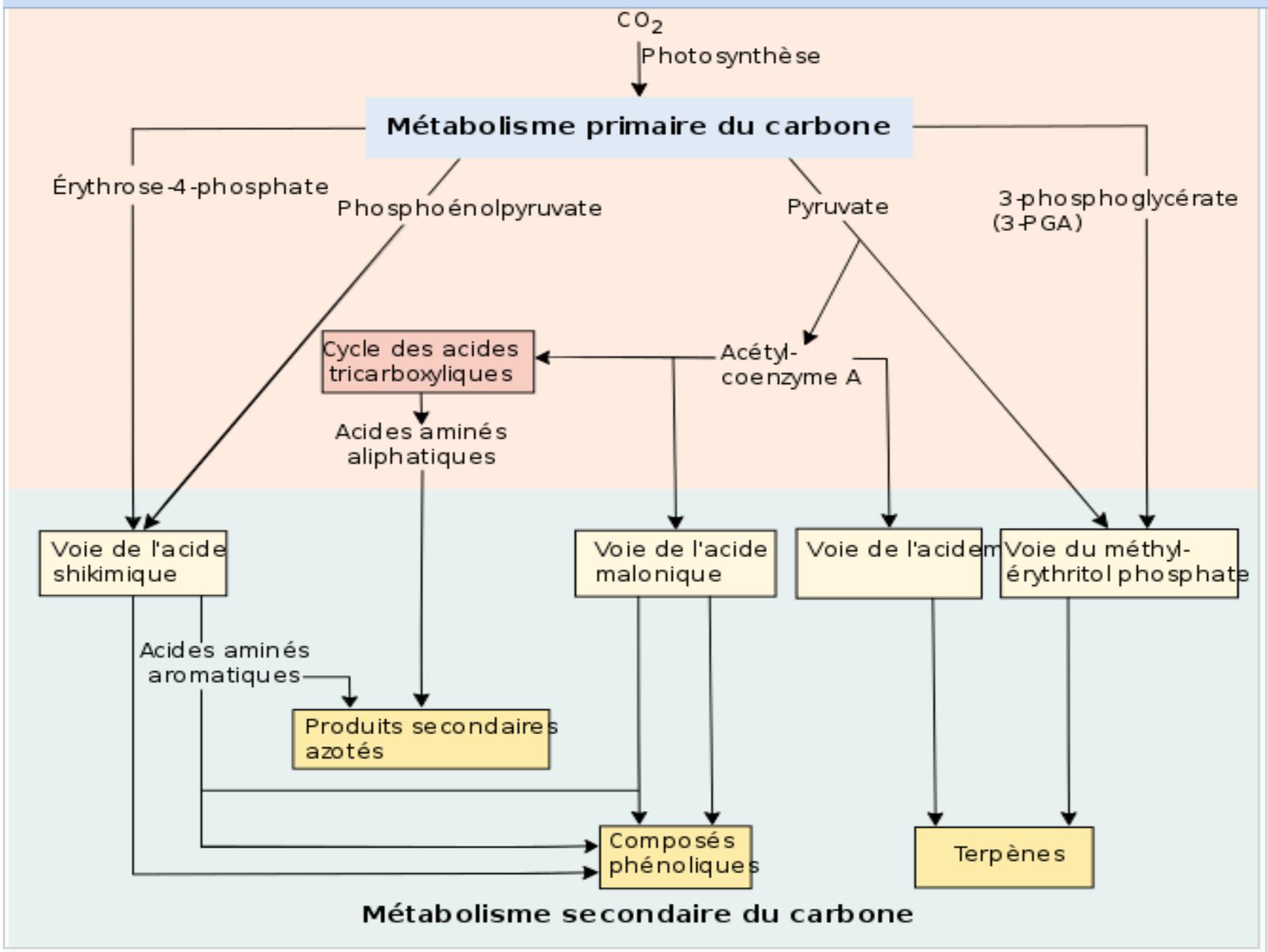
procyanidin B2
procyanidin C1

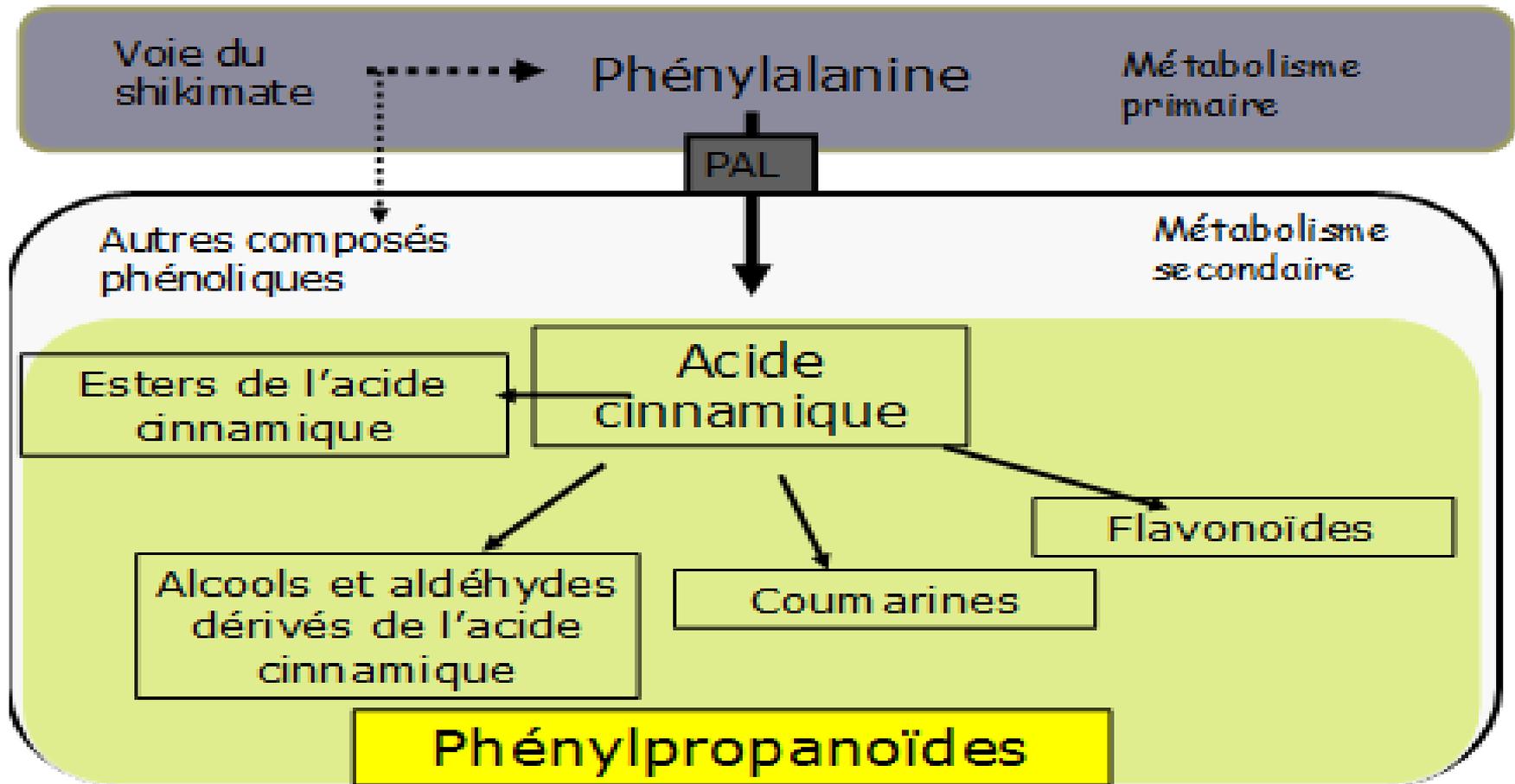
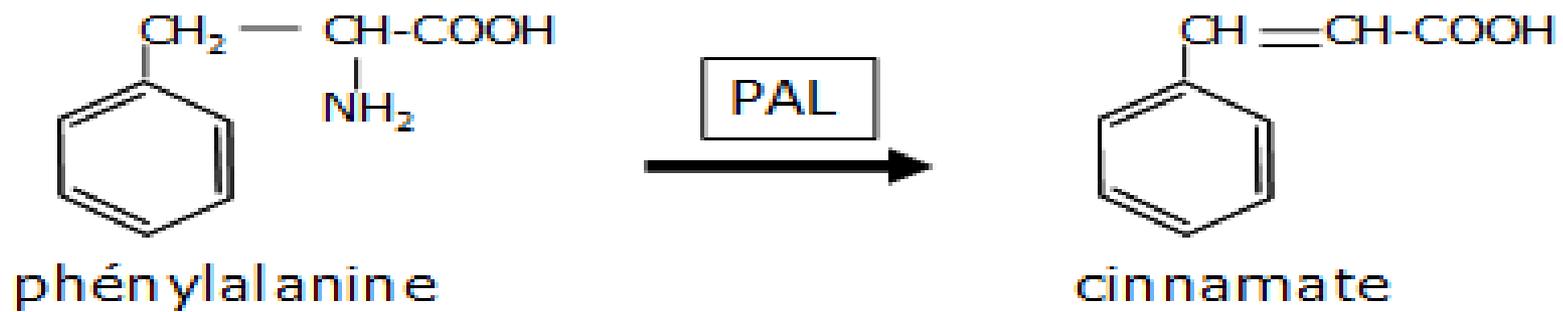
Proanthocyanidins B
(interflavanic bond C8-C4)

Les composés phénoliques sont des métabolites secondaires issus des végétaux et ils représentent la classe la plus importante des molécules bioactives produites par les plantes vasculaires. Ils constituent plus de **8000 structures phénoliques** présentes dans tous les organes de la plante et sont issus de deux principales voies de synthèse : **les voies shikimate et acétate**.

Les composés phénoliques sont caractérisés par une structure qui porte un **noyau benzénique avec un ou plusieurs groupements hydroxyles** qui peuvent être **glycosylés, acylés ou méthylés** (Macheix *et al.*, 2005).



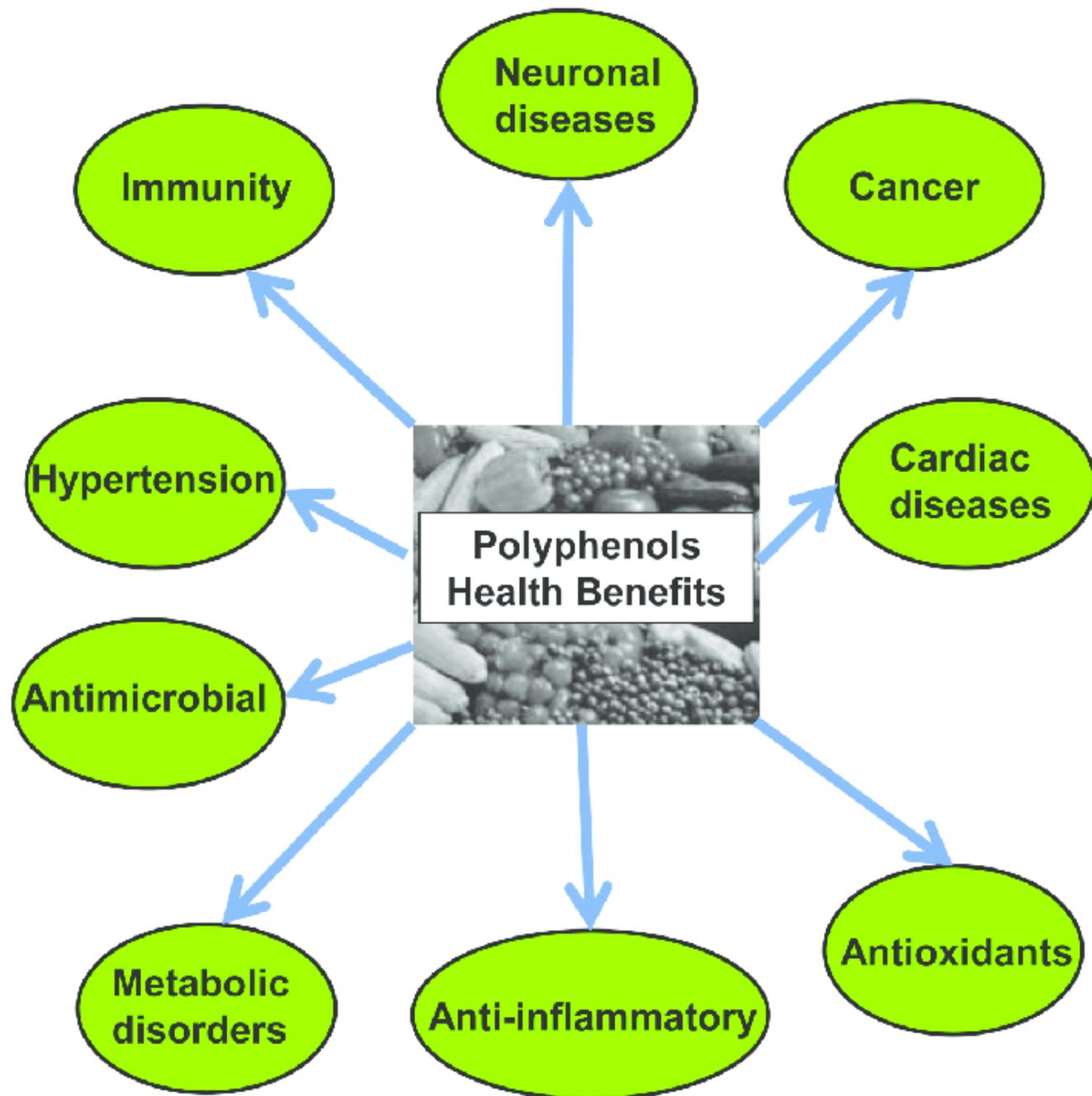




La **voie du shikimate**, ou **voie de l'acide shikimique**, est une voie métabolique aboutissant à la biosynthèse de certains acides aminés aromatiques. Elle est présente chez des bactéries, des mycètes, des algues, des protistes et des plantes, mais est absente chez les animaux. Pour cette raison, les acides aminés produits par ces réactions sont dits essentiels chez les animaux, c'est-à-dire que ces derniers doivent se les procurer à partir de leur alimentation car ils ne peuvent les produire eux-mêmes par leur métabolisme.

Il s'agit d'une série de réactions convertissant le phosphoénolpyruvate et l'érythrose-4-phosphate en chorismate, précurseur commun d'acides aminés aromatiques tels que la phénylalanine, le tryptophane et la tyrosine.

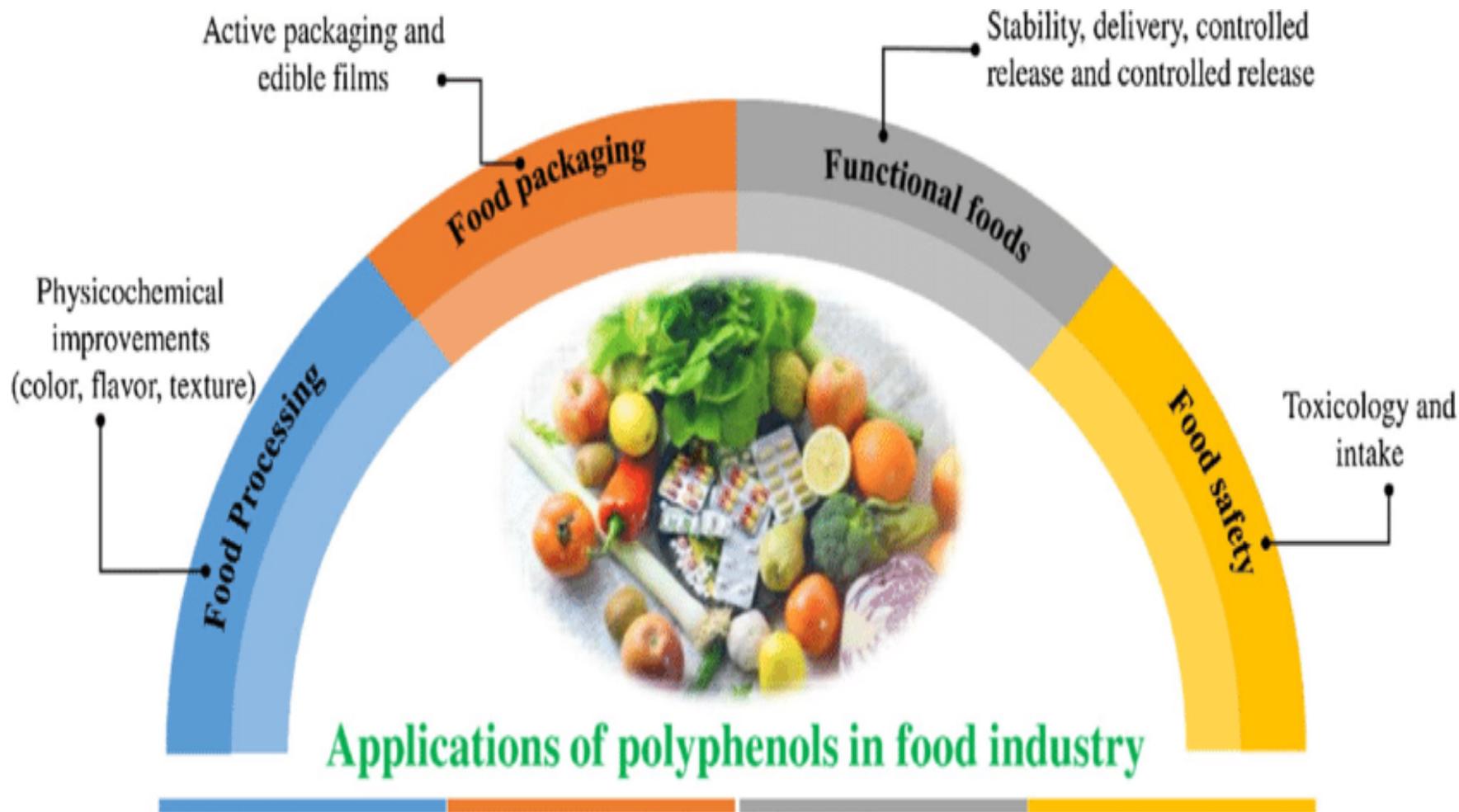
Si les grandes lignes de cette voie métabolique sont communes aux organismes qui l'utilisent, chacun d'entre eux la met en œuvre d'une manière qui lui est propre, de sorte qu'il en existe de nombreuses variantes.



Health Benefits of Polyphenols

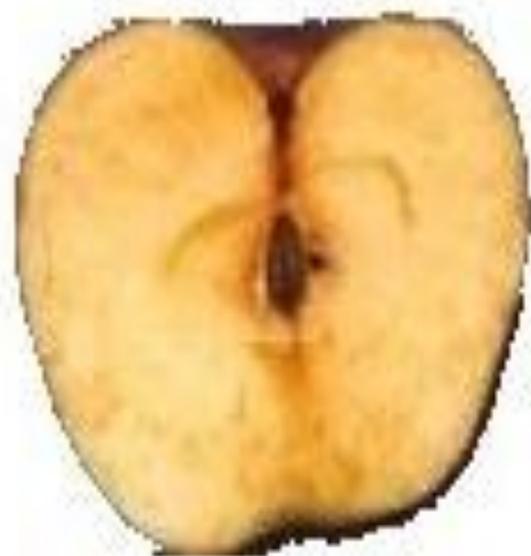
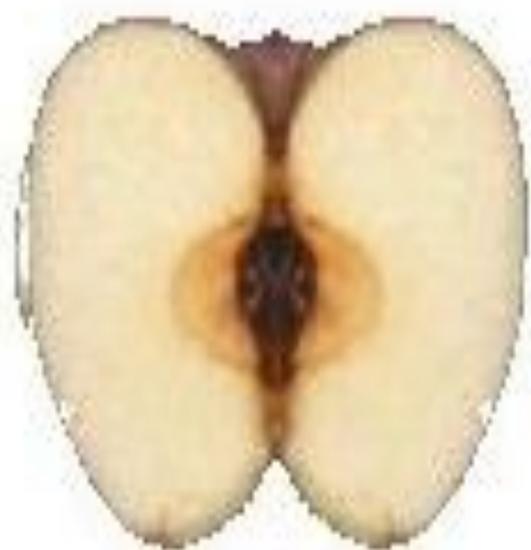
- Lower blood sugar
- Increase insulin sensitivity
- Decrease cancer risk
- Reduce inflammation
- Improve heart health and digestion
- Boost brain function







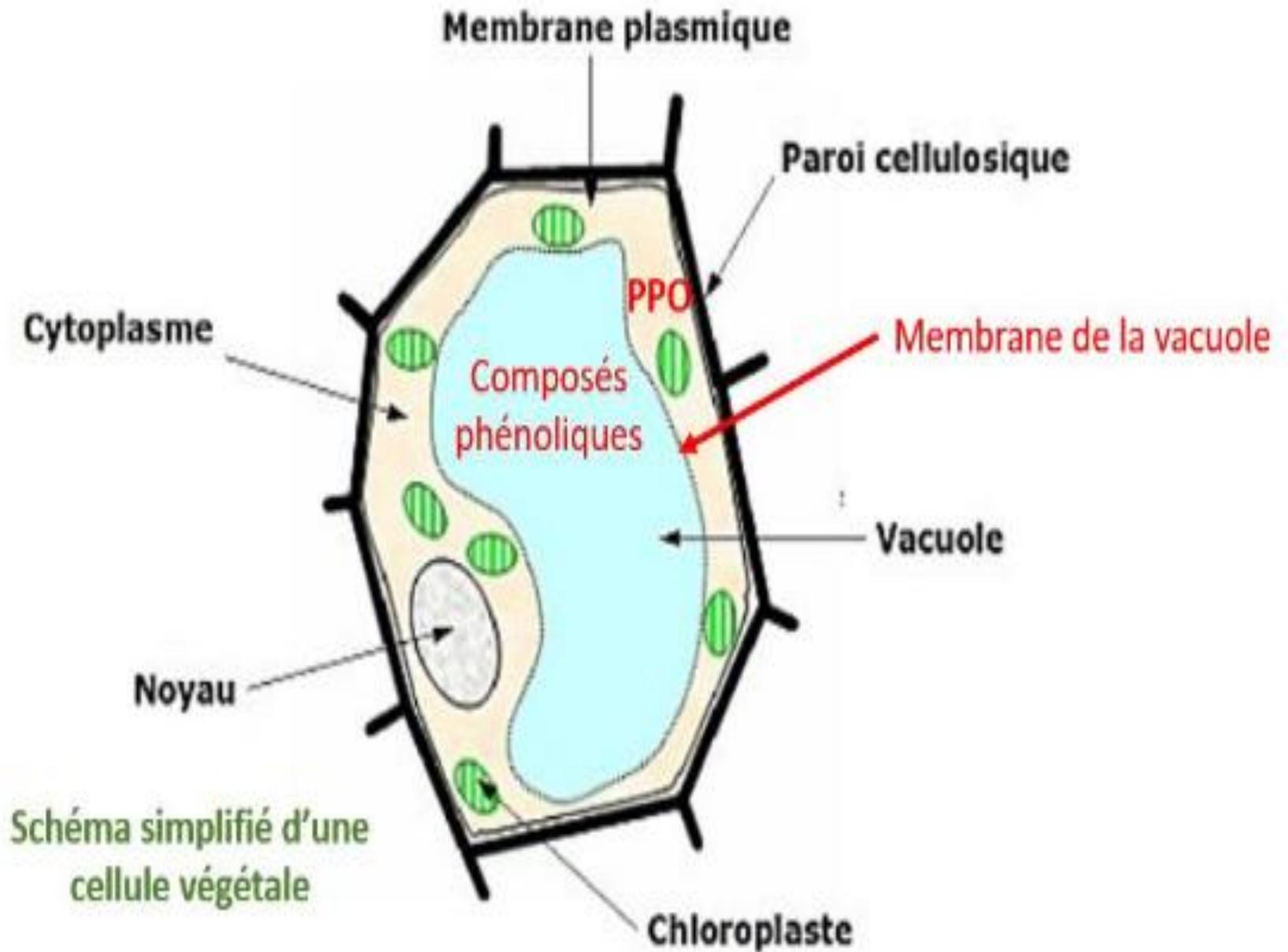
Brunissement enzymatique des bananes



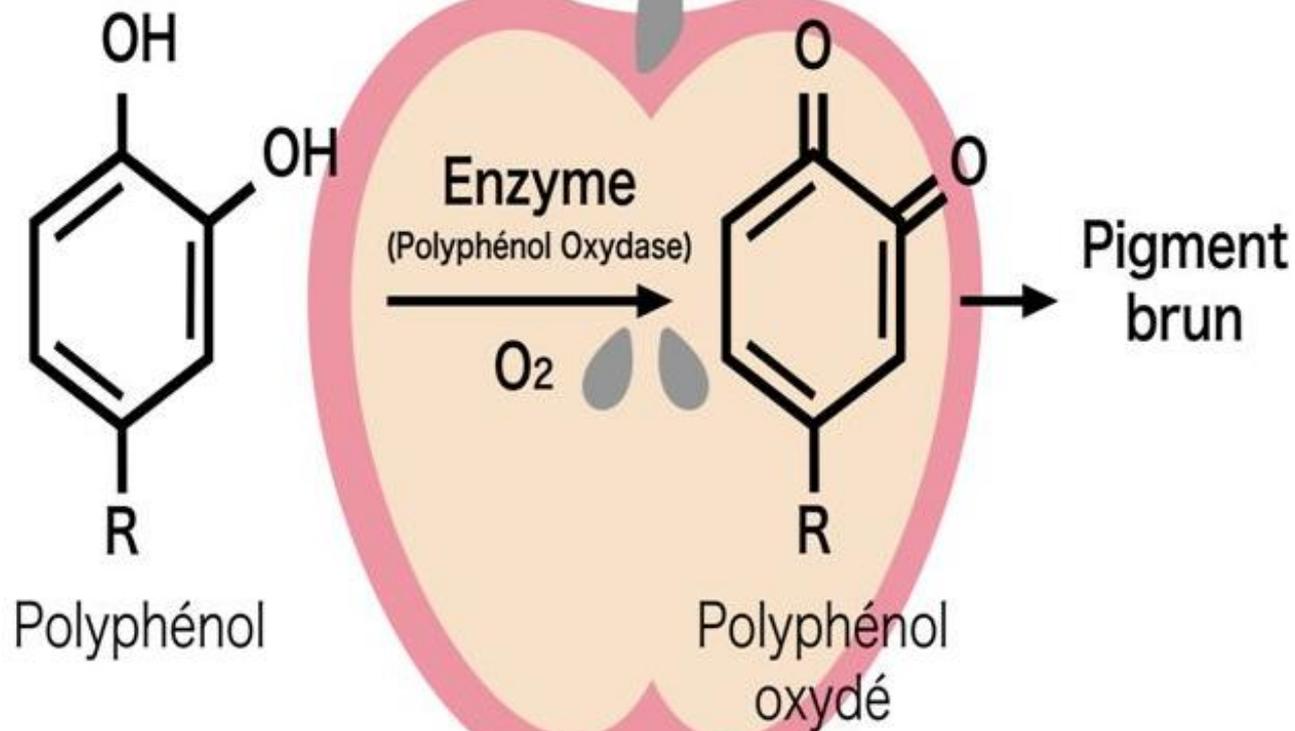
Phénol --> Quinone --> Polymère brun

Définition

- Le **brunissement enzymatique** correspond à la conversion des **composés phénoliques** en **polymères colorés**, le plus souvent bruns ou noirs qui sont désignés **mélanines**.
- Ce **brunissement** entraîne aussi la dégradation de la vitamine C.



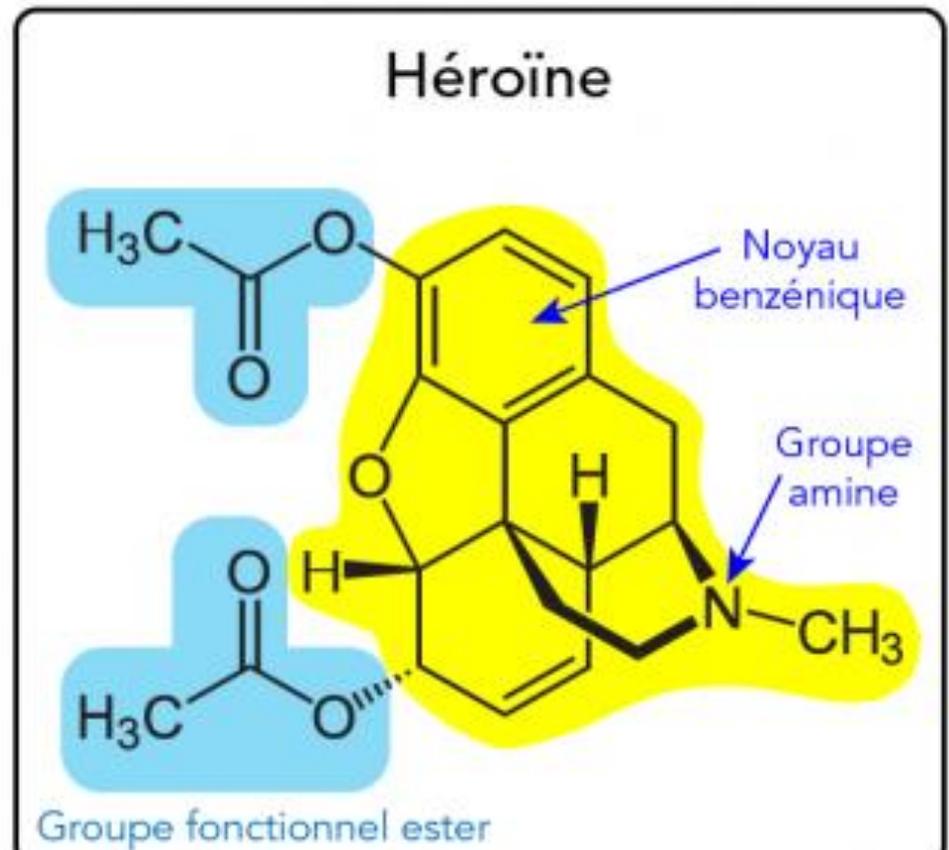
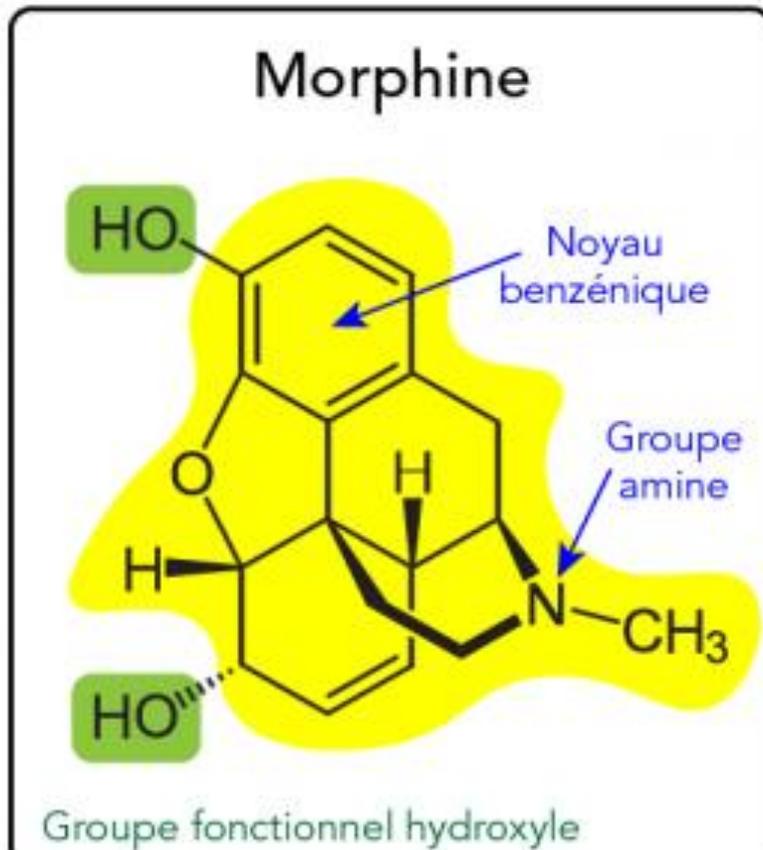
Brunissement enzymatique

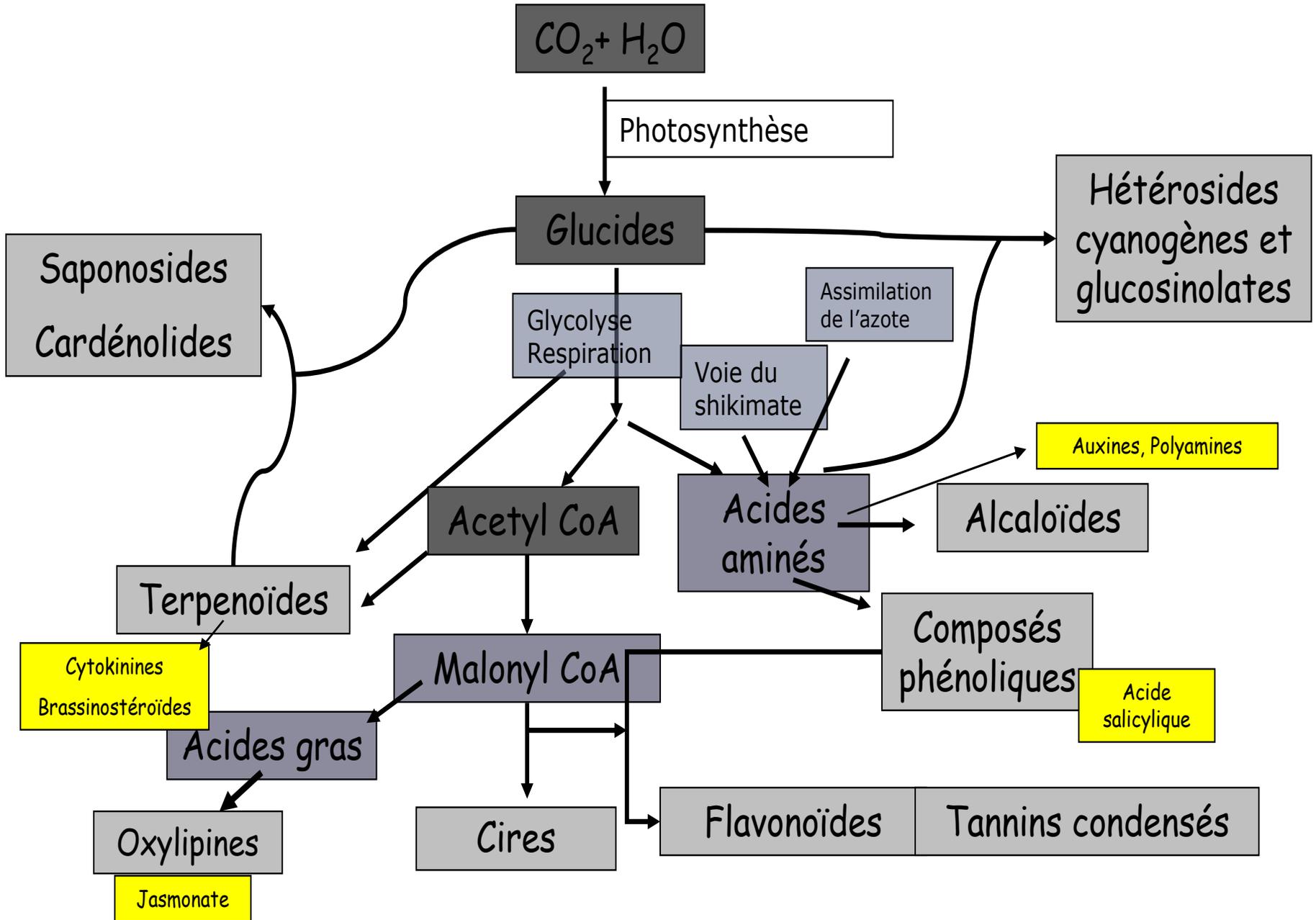


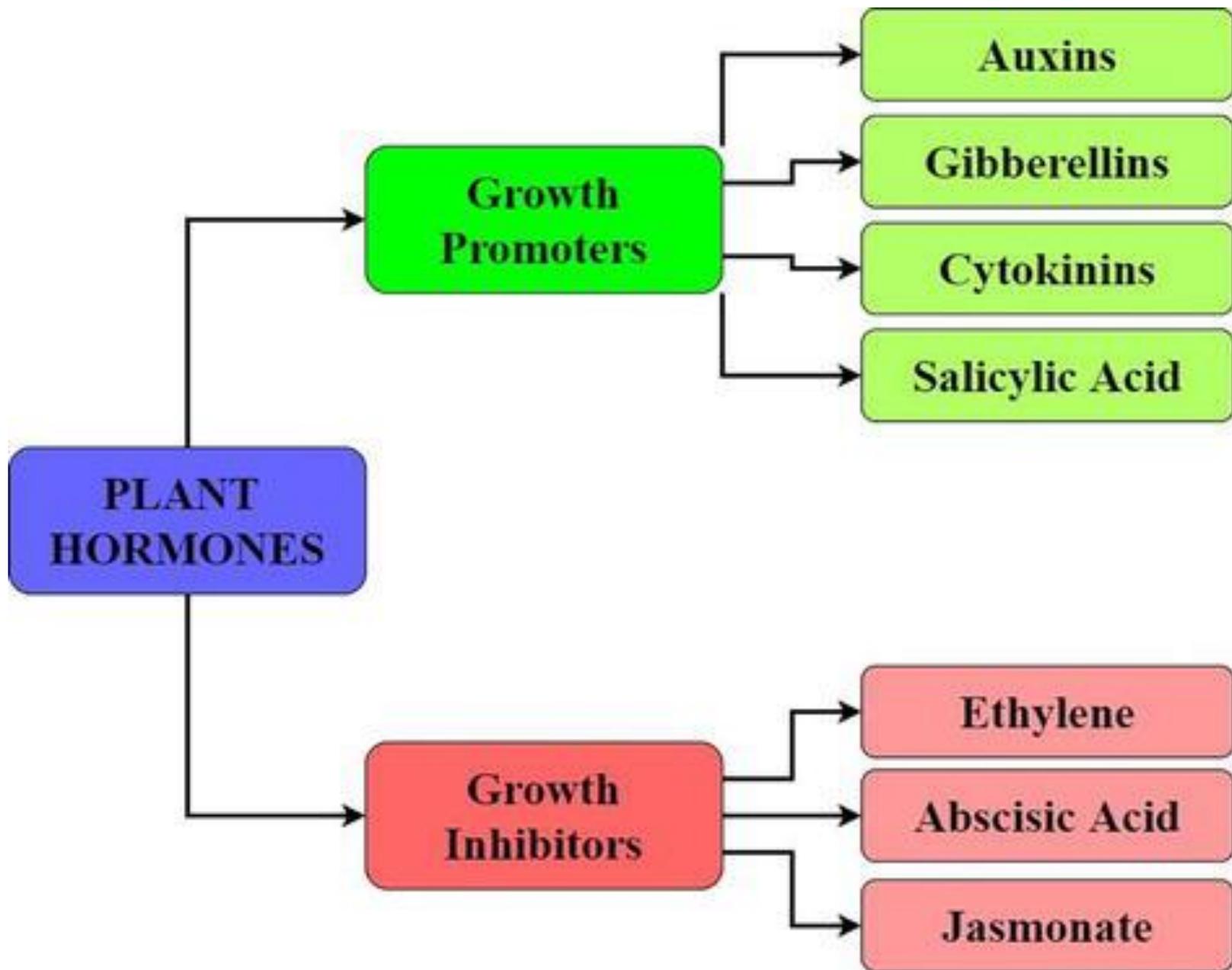
Le citron, le kiwi ou l'orange riches en antioxydants (vitamine C) ne brunissent pas. De plus, la PPO est inhibée par l'acidité.

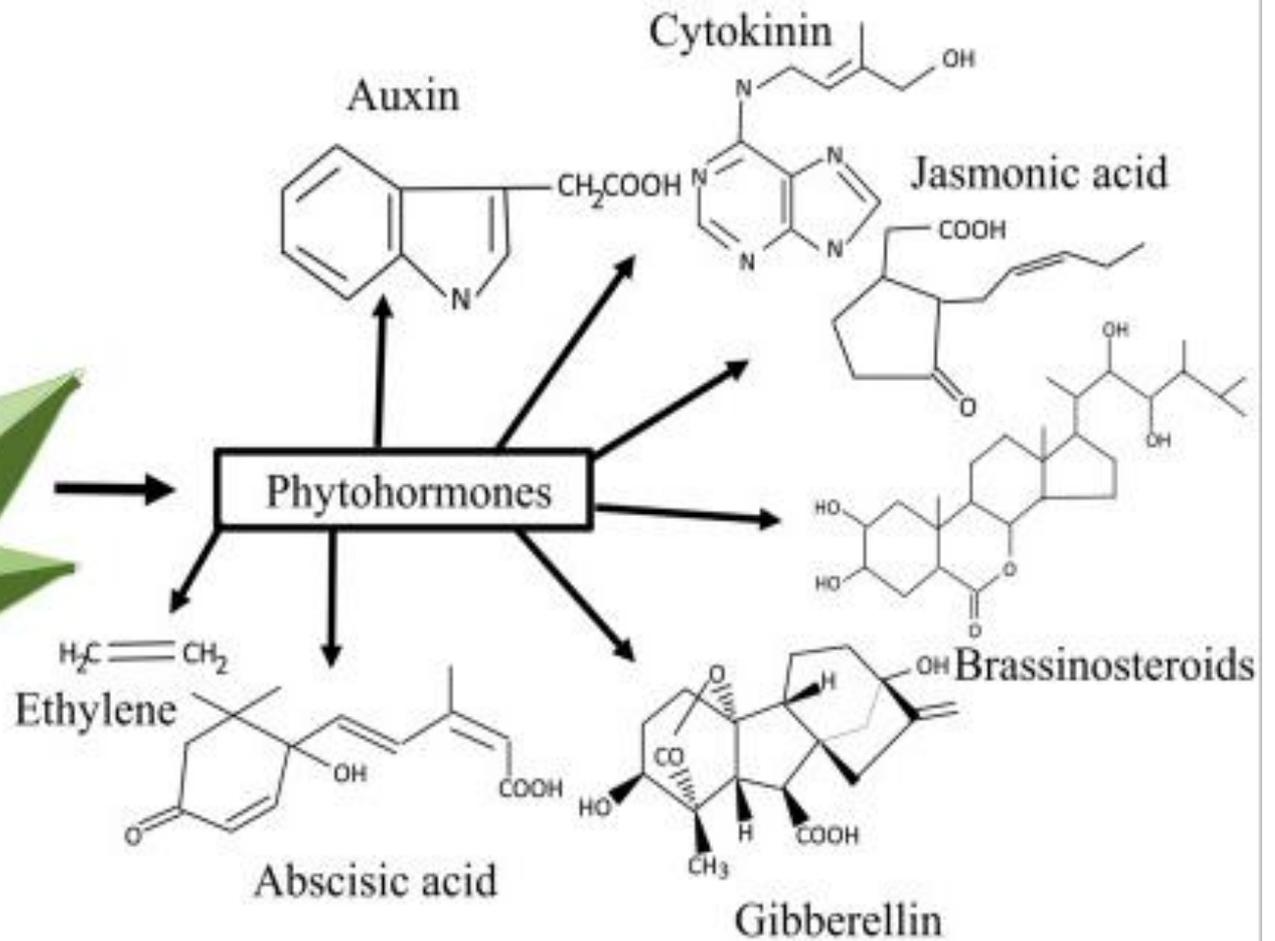
Chauffer le fruit à une température supérieure à 70°C inactive les enzymes, **ce qui explique que votre tarte ou compote de pommes ne finissent pas toutes marron.** Les industriels parlent de **blanchiment**. **Inversement, les morceaux de pomme peuvent être mis au réfrigérateur. Le froid va ralentir l'action des enzymes de brunissement.**

Les **alcaloïdes** sont des molécules à bases azotées, le plus souvent hétérocycliques, très majoritairement d'origine végétale.









Plant Hormones

Auxin

Cell growth, cell elongation, promoting the growth of terminal buds, fruit formation.

Cytokinin

Cell growth, cell division, cell differentiation.

Gibberellin

Stimulates break down of stored food to facilitate germination, sprouting of leaves



Abscisic acid

Dormancy of embryo, dropping of ripened leaves and fruits.

Ethylene

Ripening of leaves and fruits, excess amount of ethylene causes dropping of leaves and fruits.