

## Le métabolisme secondaire

**Métabolisme = réaction**

**Métabolite = molécule**

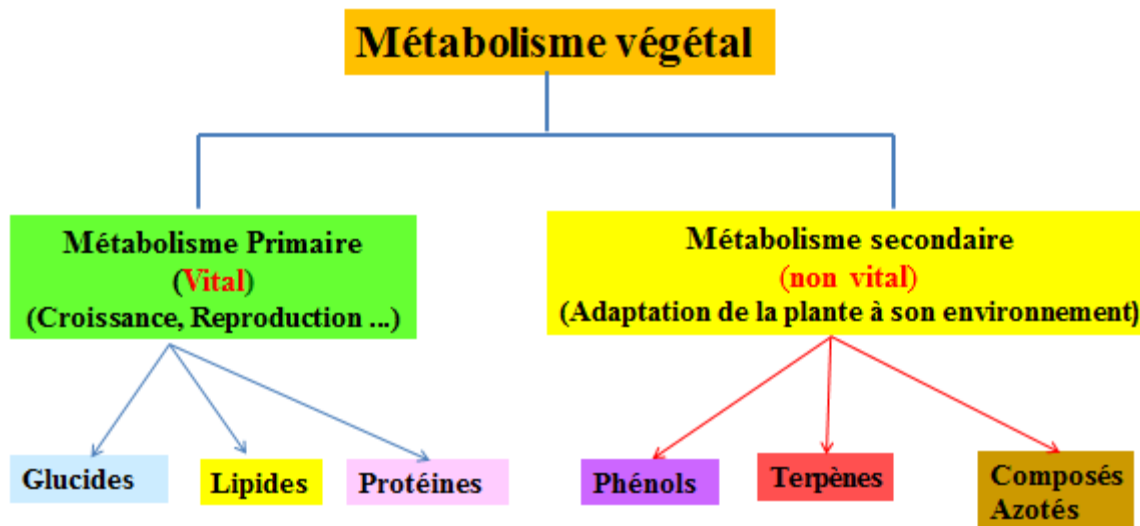
Un métabolite est un composé organique intermédiaire ou issu du métabolisme.

Le métabolisme est l'ensemble des réactions biochimiques qui se déroulent au sein de la cellule et qui conduisent à la synthèse des molécules nommées métabolites.

Chez les végétaux, on distingue deux classes de métabolismes/métabolites:

\* **Métabolisme primaire, qui produit des métabolites primaires**

\* **Métabolisme secondaire, qui produit des métabolites secondaires**



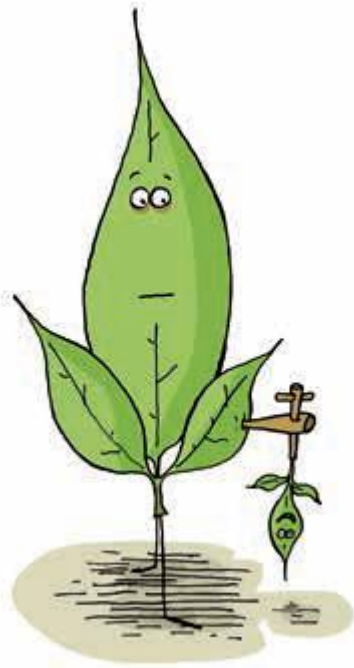
### Que trouve-t-on dans les plantes ?

Tous les êtres vivants (les plantes y compris) ont un métabolisme primaire, qui fournit les molécules de base : **Glucides, Lipides et Protéines**.

Chez les plantes, il existe un métabolisme secondaire (**c'est une spécificité du monde végétal**).

Les molécules produites par ce métabolisme secondaire ne paraissent pas essentielles à la vie de la plante. Ces produits à structure chimique souvent complexe sont très différents selon les espèces et c'est seulement à partir de la seconde moitié du XXe siècle, qu'il y a eu une explosion des recherches dans ce domaine, grâce à l'évolution du matériel d'analyse devenu très sophistiqué, comme les différents types de chromatographies, la résonance magnétique, la spectrographie de masse, la spectrophotométrie, etc...

Il existe sans doute plus de 200000 métabolites secondaires classés selon leurs appartenances chimiques (composés acétyléniques, mycotoxines, composés phénoliques, terpènes, alcaloïdes, amines et polyamines, glycosides cyanogéniques, glucosinolates, etc...).



Le métabolisme secondaire des plantes, aussi appelé métabolisme spécialisé, fait référence à la synthèse et l'identification d'un ensemble de biomolécules de structures et de fonctions variées qui interviennent dans **l'interaction des plantes** avec leur environnement **biotique** et **abiotique**.

Le métabolisme secondaire des plantes regroupe un ensemble de molécules de structures et de fonctions très diverses dont la synthèse, l'accumulation ou l'émission permet à la **plante** d'interagir avec son **environnement**.

Des composés **ne sont pas** produits directement lors de la **photosynthèse**, mais résultent de réactions chimiques

ultérieures. On les appelle donc des métabolites secondaires.

### Les métabolites secondaires, qu'est-ce que c'est ?

Les métabolites secondaires sont des composés phyto-chimiques non directement impliqués dans les processus vitaux de bases (croissance, la division cellulaire, la respiration, la photosynthèse, reproduction), contrairement aux métabolites primaires.

### Mais pourquoi les plantes fabriquent-elles des métabolites secondaires ?

Les métabolites secondaires sont impliqués dans le processus de survie de l'espèce végétale:

- dans une stratégie de protection contre les prédateurs, par exemple des odeurs qui repoussent les herbivores, par une toxicité que les animaux reconnaissent et les dissuade...
- dans une forte attirance des insectes pollinisateurs: certaines plantes (orchidées par exemple) synthétisent des phéromones sexuelles, substances émises pour attirer les insectes mâles et permettre plus facilement la fécondation des fleurs par le transport des pollen...
- dans une action d'inhibition de la croissance d'autres plantes... Cette science, appelée **allélopathie**, permet de comprendre par exemple le cas du noyer qui produit de la **juglone**, une substance qui inhibe la croissance des autres plantes dans un rayon de plusieurs mètres autour du tronc...

Les métabolites secondaires vont avoir des fonctions spécifiques en réponse à une adaptation à un environnement. Certains des principaux rôles pour la plante sont :

- La protection des plantes contre ravageurs et pathogènes

- L'allélopathie (compétition plante-plante)
- La symbiose plante-microbe au niveau des nodules racinaire
- l'odeur et le goût. Ils peuvent donc servir d'attractifs pour les pollinisateurs.

Pour s'adapter à leur environnement, les plantes ont développé de nombreuses stratégies. La plus complexe, la plus intrigante et peut-être la moins prospectée de ces stratégies est la synthèse d'une grande diversité de molécules dont la plupart est associée au métabolisme secondaire. **La composition en métabolite secondaire est spécifique à chaque famille botanique.** La capacité de synthèse de ces molécules, de structures souvent complexes, s'est acquise par le développement de voies de biosynthèse faisant appel à des cascades de réactions dont chacune est catalysée par une enzyme spécifique.

Les plantes se sont adaptées à leur environnement en développant tout un arsenal de molécules ayant des propriétés physico-chimiques intéressantes. Chaque espèce végétale dispose de son propre spectre de métabolites spécialisés. Ces molécules leur permettent de se protéger de contraintes environnementales et de se défendre contre les agressions d'insectes, d'herbivores, ou encore de microorganismes. Si ces molécules actives sont très utiles aux plantes, elles sont souvent utilisées par l'homme pour des applications dans les domaines de la pharmacutique, la cosmétique, de l'agrochimie, etc...

Ces molécules, souvent très complexes du point de vue de leur structure chimique, sont généralement synthétisées grâce à des voies de biosynthèse faisant intervenir de nombreuses étapes catalysées par des enzymes spécifiques (Cytochromes P450s, Dioxygénases, Prényltransférases, Méthyltransférases...)

Actuellement les recherches se sont accentuées sur la reproduction de ces molécules d'intérêt pour l'homme: **le génie métabolique.**

### **I. Les métabolites primaires**

Un métabolite **primaire** est un type de métabolite qui est directement impliqué dans la **croissance**, le développement et la **reproduction** normale d'un organisme ou d'une cellule. Ce composé a généralement une fonction physiologique dans cet organisme, c'est-à-dire une fonction intrinsèque. Les métabolites primaires rassemblent les **acides aminés** (source primaire de construction des protéines), les **lipides** (réserve d'énergie, membranes cellulaires), les **glucides** (réserve d'énergie, paroi cellulaire) et les acides nucléiques. Un métabolite primaire est également désigné par métabolite central, qui prend même le sens plus restrictif de métabolite présent dans tous les organismes ou cellules en croissance autonome.

Inversement, un métabolite **secondaire** n'est pas directement impliqué dans ces processus physiologiques fondamentaux (indispensables) d'un organisme, mais possède typiquement une **fonction écologique** importante (c'est-à-dire une fonction relationnelle). Un métabolite secondaire est typiquement présent dans un ensemble taxonomiquement restreint d'organismes (**Plantes, Champignons, Bactéries...**).

## II. Les métabolites secondaires

Un métabolite secondaire est une molécule qui, par exclusion, n'appartient pas au métabolisme primaire.

Les métabolites secondaires sont plus **spécifiques aux plantes, bactéries et champignons, mais aussi chez certains animaux**.

On les retrouve dans des compartiments particuliers et à **des moments précis de la vie d'une plante**. Contrairement aux métabolites primaires, ils ne participent pas directement au développement de la plante. Ces composés dérivent parfois des mêmes voies de biosynthèse et certains, comme la chlorophylle et la lignine ont des fonctions indispensables pour la croissance de la plante, et pourraient donc faire partie des métabolites primaires.

Les métabolites secondaires sont des composés organiques :

- molécules existantes en très grand nombre, d'une variété structurale extraordinaire
- marquent l'identité d'une espèce, familles ou genres
- impliqués dans une écologie chimique inter-espèces
- applications pharmaceutiques.

Plus de 100000 métabolites secondaires ont été identifiés et on estime que chaque végétal produit au moins une centaine de molécules différentes. Les métabolites secondaires participent à la vie de relation de la plante, et ils ont des rôles très variés. Ils peuvent servir de **défense** (sécrétions amères ou toxiques pour les prédateurs) ou au contraire, **attirer** certaines espèces ayant des rôles bénéfiques (pollinisateurs). Ils peuvent également permettre la **communication entre les plantes**, par des messages d'alerte par exemple.

### Types et origine des métabolites secondaires

On peut identifier trois types de métabolites secondaires:

- les **composés phénoliques** ou les polyphénols, qui dérivent de la voie de l'**acide shikimique** et acétate/malonate).
- les **alcaloïdes** ou les composés azotés qui dérivent des **acides aminés**.
- les **terpènes** qui dérivent de l'**IPP** (isopentényl pyrophosphate), une molécule à 5C.

Ces métabolites secondaires se caractérisent généralement par de **faibles concentrations dans les tissus végétaux** (généralement quelques pourcents du carbone total, si on exclue la lignine de cette catégorie) ainsi que par leur stockage souvent réalisé dans des cellules ou organes spécialisés.

#### **a- Les terpènes**

Avec plus de 25000 composés, les terpènes sont la classe la plus importante de métabolites secondaires. Naturellement produit par les plantes, ils sont caractérisés par une **nature volatile** et une **forte odeur**. Ils donnent aux fleurs les parfums qui les caractérisent. De plus, ils ont beaucoup d'autres fonctions au niveau de la photosynthèse (**constituant de la chlorophylle**), de la photoprotection (**caroténoïde**).

Certaines études ont montré la relation entre la lumière et la synthèse des terpènes. En effet, on observe une régulation de la synthèse des monoterpène et caroténoïdes par le phytochrome, récepteur de la lumière rouge. Par l'intermédiaire des caroténoïdes les terpènes vont aussi être lié à l'absorption de la lumière bleue.

#### **b- Composés phénoliques**

Les phénols, groupe omniprésent et varié des métabolites secondaires. Les phénols comportent plus de 10000 composés largement répandus dans le règne végétal. La diversité des composés phénoliques va des molécules simples (flavonoïdes, acide phénoliques, phénylpropanoïdes) à des molécules fortement polymérisées (lignine, tanin, mélanine).

Les composés phénoliques sont synthétisés en réponse à des stress abiotiques ou biotique. Ils sont souvent synthétisés en réponse à des attaques de pathogènes et d'insecte, de température élevée ou encore en réponse à une trop forte intensité ou à des longueurs d'onde nocives. Par exemple, les anthocyanines sont une classe de flavonoïdes visibles sous la couleur pourpre/rouge des tissus foliaires. Ils sont **présents en grande quantité dans les feuilles, ils agissent principalement comme écran solaire**.

Les concentrations en composés phénoliques d'une plante peuvent être modifiées par la qualité d'un spectre lumineux. Par exemple, le bleu induit une augmentation des composés phénoliques tels que les flavonoïdes.

#### **c- Composés azotés ou alcaloïdes**

Les alcaloïdes sont des composés d'origine naturelle azotés basiques à forte activités biologiques, toxiques pour la plupart, qui sont extrait en majorité de plante à fleurs (8,7% de Phanérogames, Dicotylédones).

Les alcaloïdes sont très souvent localisés dans une partie bien définie de la plante: la racine, pour la Réserpine du *Rauwolfia*, l'écorce pour la Quinine du *Cinchona*, ou le latex pour la morphine du *Papaver somniferum* (Pavot). Les alcaloïdes du *Datura* et du *Nicotiana* (Tabac) sont biosynthétisés

dans la racine avant d'être transférés dans les feuilles. La quantité d'alcaloïdes dans la plante est très variable.

### **Métabolisme secondaire sous contraintes biotiques et abiotiques**

La synthèse des métabolites secondaires dans la plante est soumise à une régulation spatiale et temporelle très fine; certains d'entre eux ne sont produits que lorsque **c'est nécessaire pour la plante**, à un stade phénologique particulier ou **en réponse à des contraintes biotiques ou abiotiques**. L'activation du métabolisme secondaire mobilise les mêmes ressources (carbone, élément minéraux) que celles dont la plante a besoin pour sa croissance. Plusieurs travaux font état d'un antagonisme entre la mise en place de défense chez la plante, essentiellement basée sur le métabolisme secondaire et sa croissance qui repose essentiellement sur le métabolisme primaire. On parle ainsi de compromis pour l'allocation des ressources dans la plante entre sa croissance et sa défense.

La compréhension des mécanismes de régulation du métabolisme secondaire et des déterminismes du compromis entre croissance et défense est essentielle dans l'optique de développer des modes de cultures plus résilients et tout aussi productifs.

### **La recherche moderne sur les plantes**

L'exploration du monde végétal est pourtant encore capitale à l'heure actuelle. Elle est réalisée par :

- l'étude chimiotaxonomique qui consiste à rechercher des catégories de molécules dans les plantes en fonction de leur appartenance botanique (recherche d'alcaloïdes dans certaines familles de plantes comme les *Rutaceae*, les *Rubiaceae*...)
- l'étude ethnopharmacologique qui consiste à recueillir des renseignements sur l'utilisation des plantes auprès des populations vivant encore près de la nature,
- l'étude pharmacologique qui caractérise le comportement des plantes dans leur environnement naturel.

### **Rôles des métabolites secondaires pour l'homme**

Les métabolites secondaires présents dans les plantes ont une forte utilisation en médecine pour des problèmes d'anxiétés et de stress, mais aussi pour atténuer des symptômes de maladies chroniques ou encore, prévenir diverses maladies qui vont de la migraine au cancer.

Par leur activité antioxydante, anticancéreuse, anti-inflammatoire et cardioprotectrice, les composés phénoliques sont bénéfiques pour la santé humaine.

### **Action de l'homme**

Dans un environnement contrôlé, nous pouvons manipuler la synthèse de métabolites secondaires pour influencer les mécanismes de défenses naturelle chez la plante ou encore augmenter la qualité de la plante. En effet, les métabolites secondaires vont être synthétisés en fonction de l'environnement. L'un de ces facteurs environnementaux est la lumière. Cependant, il y a compromis entre croissance et synthèse de métabolites secondaires.

### **Pourquoi étudions-nous les métabolites secondaires?**

Les végétaux produisent des métabolites primaires qui entrent dans le fonctionnement vital de la cellule. Les plantes synthétisent également une grande quantité de composés qualifiés de «secondaires» dont toutes les fonctions n'ont pas encore été identifiées mais qui sont fondamentaux pour les plantes, notamment pour leur adaptation à leur environnement.

Des études récentes sur l'effet bénéfique de la consommation de fruits et légumes chez l'homme, ont suggéré l'implication de ces composés dans la prévention et la lutte contre certaines maladies. **Il est donc important de comprendre les conditions de synthèse et d'accumulation de ces composés, pour améliorer la composition des végétaux aussi bien pour des raisons agronomiques qu'alimentaires et préventives pour la santé humaine.**