

**Hormone Végétale**  
**ou**  
**Phytohormone**

# 1/Définitions :

## 1-1- Phytohormone :

- Une **phytohormone**, ou **hormone végétale**, est une hormone produite par une plante.
- C'est une substance chimique organique qui régule la croissance végétale (assurer la croissance de la plante ou sa morphogenèse).
-

- Ou qui intervient dans la communication entre **individus végétaux différents** (un **arbre stressé** peut émettre une **hormone** informant d'autres arbres qu'une cause de stress est présente.
- Ce stimulus peut augmenter la production de **tanins** ou de **molécules** défensives de la plante réceptrice.

- On parle parfois *d'hormones de stress* pour décrire les molécules émises par des plantes en état de **manque d'eau** ou **blessée**, lesquelles peuvent attirer des prédateurs, mais aussi les prédateurs de ces prédateurs.

- Leur **effet** varie en fonction de leur **concentration** (ex : à **faible concentration**  $10^{-10}$  g/mL, l'auxine a un effet discret positif sur la **croissance racinaire**).
- À de plus **fortes concentrations**,  $10^{-8}$  g/mL, elle **inhibe l'élongation** et induit la **rhizogenèse**)

- Elles agissent rarement seules : leurs effets résultent bien souvent d'une action coordonnée de plusieurs hormones (ex : stimulation de la division cellulaire grâce à l'action conjuguée de l'auxine et des cytokinines).

- Chez les végétaux, les hormones sont soit véhiculées par la sève, soit transportées activement par les cellules, soit elles sont diffusées entre les cellules dans la paroi ou vers l'extérieur, avec émissions éventuelles dans l'atmosphère sous forme gazeuse (éthylène par exemple) ou dans la rhizosphère dans le sol.

- Les hormones végétales ou **phytohormones** sont impliquées à tous les stades de la vie d'une plante depuis la pollinisation provoquant la fécondation et le développement de l'**embryon zygotique**, tout au long du développement de celui-ci en **plante adulte** jusqu'au contrôle de la floraison, de la fructification et de la sénescence.



- Les mêmes **phytohormones** ne font pas que diriger les processus de **croissance** et de **développement**: elles sont pour cela obligatoirement impliquées dans des mécanismes spécifiques de division, d'élongation et de différenciation cellulaire, mais aussi nécessairement dans les métabolismes primaire et secondaire.

# 1-2- Croissance végétale :

- La **croissance végétale** d'une plante est l'ensemble des changements quantitatifs irréversibles de la plante qui se produisent au cours du temps. Elle comprend:
  - **L'allongement** des entrenœuds et des racines.
  - La **multiplication** des cellules.
  - La **multiplication** et la **croissance** des feuilles.

# 1-3- La morphogenèse :

- **La morphogenèse** est l'ensemble **des lois** qui déterminent **la forme**, la **structure** des **tissus**, des **organes** et des **organismes**. Par extension, on parle aussi de morphogénèse dans d'autres domaines comme celui de la formation de **villes**.

# 1-4-Les tanins :

- Les **tanins** sont des substances naturelles phénoliques qui peuvent précipiter les protéines à partir de leurs solutions aqueuses. Ce sont des métabolites secondaires des plantes supérieures que l'on trouve dans pratiquement toutes les parties des végétaux (écorces, racines, feuilles, fruits etc.) où ils jouent le rôle d'armes chimiques défensives contre certains parasites.

# 1-5- Rhizogenèse :

- **Rhizogenèse** est un processus qui conditionne la formation et le développement de racines chez les végétaux.
- Rhizogenèse

- **2/ Les différents hormones** : Les phytohormones impliquées dans la croissance sont : **L'auxine**, **Cytokinine** , **Gibbérélline** , **Éthylène** et **Acide abscissique** .
- Peut être favorisée par application d'auxine. Les cytokinines sont antagonistes de la rhizogénèse, c'est-à-dire qu'ils inhibent le développement des racines.

## Auxines

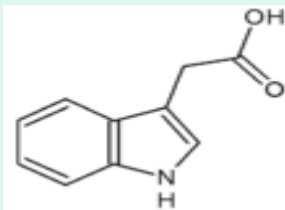
Acide indole 3-acétique (AIA ou IAA),  
Acide naphthalèneacétique (ANA),  
Acide 2,4-dichlorophénoxyacétique (2,4-D)

### Exemples

stimulation de la croissance, stimulation de l'élongation cellulaire, régulation de la division et de la différenciation cellulaire, messager des réponses géotropiques et phototropiques, régulation de l'abscission, stimulation de rhizogène adventive.

### Propriétés

### Représentation

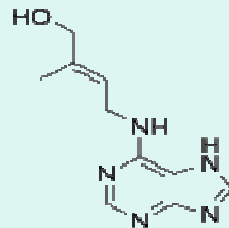


Acide indole 3-acétique

## Cytokinines

Zéatine ou N<sup>6</sup>-isoentényladénine,  
Isopentényladénine (IPA)

stimulation de la division cellulaire, régulation de la différenciation cellulaire, des bourgeons et des racines  
grandissement des cellules foliaires, inhibition de la sénescence des feuilles.

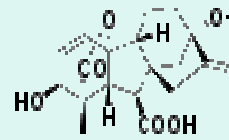


Zéatine

## Gibbérellines

Acide gibbérellique  
GA3,  
il existe de nombreuses gibbérellines (de GA1 à GA110)

élongation des entrenœuds (forte stimulation chez les mutants nains), montaison des plantes en rosette, levée de dormance des graines et des bourgeons, régulation de l'utilisation des réserves lors de la germination

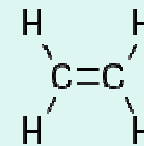


GA3

## Éthylène

Éthylène (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> ou CH<sub>2</sub>=CH<sub>2</sub>)

perturbation de l'élongation cellulaire, perturbation des réponses géotropiques, accélération de la sénescence foliaire et de la maturation des fruits, stimulation de l'abscission.

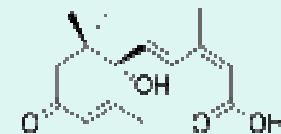


Éthylène

## Acide abscissique

Acide abscissique (ABA)

effet inhibiteur général de la croissance cellulaire, régulation de la dormance des bourgeons et des graines, régulation de l'abscission des feuilles, des fleurs et des fruits, régulation du fonctionnement des stomates en situation de stress.

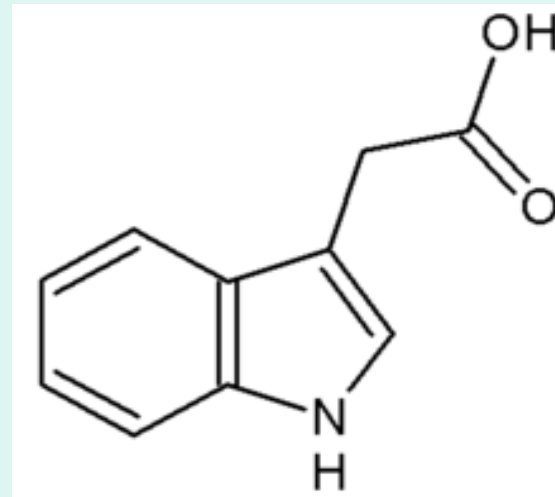


Acide abscissique

# 2-1-Auxine :

- **L'auxine** est, en physiologie végétale, une phytohormone de croissance végétale qui est indispensable au **développement** des plantes. Le terme d'auxine a été étendu à un **ensemble** de **substances naturelles** aux propriétés analogues ainsi qu'à des hormones de synthèse.

Acide indole 3-acétique ou AIA





# A-L'effets:

- Les rôles de l'auxine sont nombreux. Son action dépend très fortement à la fois de sa concentration et du tissu sur lequel elle agit. Par exemple, une même concentration peut **inhiber** le **développement** d'un **bourgeon** alors qu'elle favorisera **l'élongation** d'une **tige**.

- Selon les plantes, une même **concentration** sur un même **organe** peut entraîner des **conséquences différentes**. Par exemple, l'auxine stimule la **croissance du limbe** des monocotylédones alors qu'elle inhibe celle des dicotylédones.
- L'auxine a aussi une action cambioestimulante et est responsable du phototropisme.

# A-1-Elongation cellulaire :

- Elle favorise la croissance en longueur en agissant sur l'élongation cellulaire ou auxèse.

## A-2-Phototropisme :

- L'auxine joue également un rôle dans le phototropisme positif des tiges.
- Un éclairage **dissymétrique** de la tige entraîne une migration latérale de l'auxine du côté éclairé vers le côté sombre. Celle-ci favorisant la croissance, le côté sombre grandit plus vite et la tige se tourne alors vers la lumière, d'où le qualificatif de phototropisme positif

# Le phototropisme

- Le **phototropisme** est la **capacité** des **plantes** à **s'orienter** par rapport à (**tropisme**) la **lumière**.
- En biologie, certaines espèces font preuve de phototropisme. C'est particulièrement le cas des **organes aériens** des **végétaux**.



## A-3-Contrôle de la dominance apicale :

- L'auxine joue un rôle pour Contrôler la dominance apicale
- Le bourgeon apical profite de sa position haute pour dominer les bourgeons latéraux. Il synthétise de l'auxine (apex) qu'il évacue via le phloème.
- Les bourgeons sous-jacents subissent alors des concentrations en auxine trop fortes qui sont inhibitrices.

## A-4-Formation des racines latérales :

- L'auxine a aussi des rôles dans l'organogénèse. Elle agit aussi à forte concentration (de l'ordre de  $10^{-5}$  g/L) sur la rhizogenèse, favorisant l'apparition de racines sur les boutures.
- Une forte **concentration** en **auxine** permet la mise en route des gènes impliqués dans l'initiation des méristèmes racinaires latéraux. Toutefois, si la teneur en **auxine** reste **forte**, la **croissance racinaire** sera **ralentie**.



- Ainsi, une **forte concentration** en **auxine** favorise **l'élongation** d'une **tige** alors qu'une plus **faible concentration** ne favorise pas cette croissance et favorise cette fois la **rhizogenèse** et la **croissance racinaire**.

## A-6-Développement des fruits:

- Si on retire une partie des akènes en développement alors le fruit se développe mal. L'ajout d'auxine rétablit un développement normal du fruit. Exemple : la fraise.
- L'action de l'auxine est très importante dans l'induction florale.

- L'action de cette hormone issue des apex, bourgeons terminaux, est contrecarrée par les gibbérélines venues des racines.
- Un rameau fructifère est un végétal où l'action de l'auxine est suffisamment forte pour produire l'induction florale ou pour l'avoir produite. Le cas du greffon de pêcher qui fleurit l'année de la greffe s'explique ainsi.

- Les plants de semis, vigoureux, tout en bois et **racines**, ont une physiologie où dominant **gibbérélines** et cytokinines.

## B- L'utilisation:

- L'**auxine** de synthèse la plus utilisée est l'acide naphthalène acétique (ANA). L'utilisation principale est le traitement local des boutures, on la trouve sous la dénomination *hormone de bouturage*. Elle a remplacé petit à petit l'utilisation de l'eau de saule.
- L'**auxine** à un rôle fondamental dans les biotechnologies végétales, elle permet par exemple le **développement** des fruits sans fécondation (comme la banane ).

-

## 2-2-Cytokinine :

- **Les cytokinines** sont des substances proches des bases puriques. Sont des adénines substituées ; l'adénine (ou 6-aminopurine) est une base purique qui intervient dans la synthèse des acides nucléiques.

- C'est une famille de phytohormones indispensables au développement de la plante tout comme l'auxine, ayant fonction d'hormones chez les végétaux.
- Les **cytokinines** sont synthétisées au niveau de l'apex racinaire.

# A-Les cytokinines connues:

## A-1-Cytokinines de synthèse :

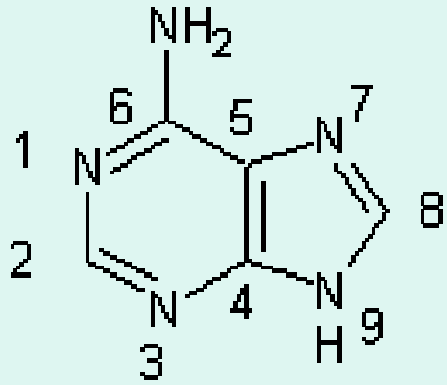
- benzyl adénine ou benzylaminopurine ou BAP,
- kinétine

## A-2-Cytokinines naturelles :

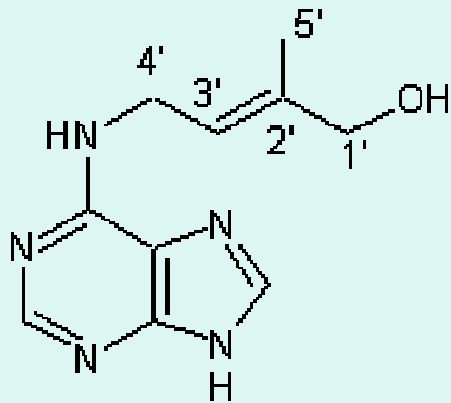
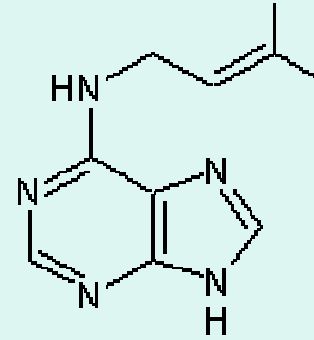
- zéatine (la plus répandue dans le règne végétal)
- isopentényladénine (IPA)



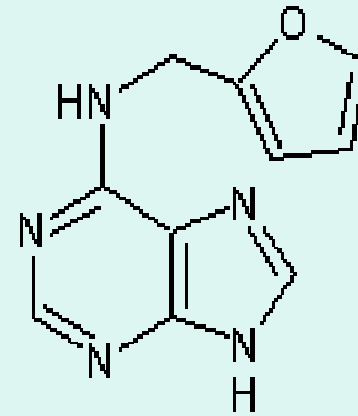
Adénine (ou 6-aminopurine)



Isopentényladénine



La zéatine



Kinétine

## B-L'effets:

Elles ont des propriétés activatrices de la division cellulaire, mais elles sont également impliquées dans la croissance et la différenciation cellulaire, entre autres.

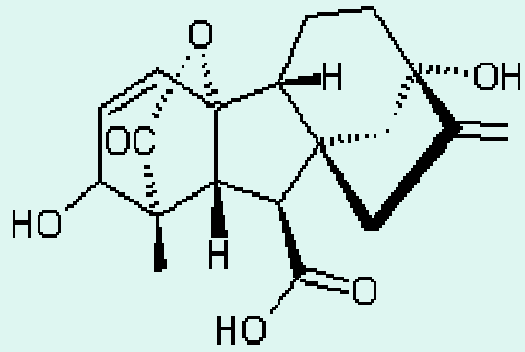
- **Activation** de la **production** de chlorophylle
- **Activation** de **l'ouverture** des feuilles
- Favorisent la croissance cellulaire
- Favorisent la **formation** de **jeunes pousses**
- Favorisent le déchargement de composés sucrés par le phloème

- Retardent la sénescence foliaire (la **sénescence** peut ne toucher qu'une seule partie d'un organisme. C'est le cas de la sénescence des feuilles par exemple qui se caractérise par leur jaunissement puis leur chute en automne, ou encore des fruits lorsqu'ils tombent de la plante).
- Conjuguées à l'auxine, activent la division cellulaire (l'auxine favorise la duplication de l'ADN ; les cytokinines permettent la séparation des chromosomes)
- Impliquées dans les morphogénèses
- Inhibent la photosynthèse des plantes en C4
- Stimulent le métabolisme des cellules de jeunes pousses (qui ne sont pas à leur niveau de métabolisme maximal) en réponse à une augmentation de l'eau et des substances minérales disponibles

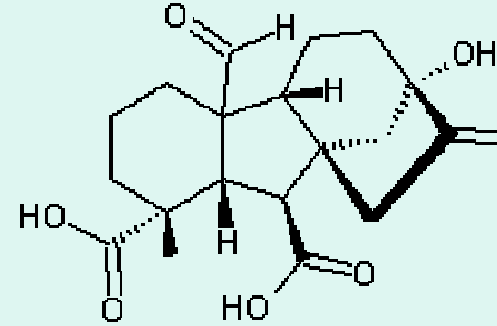
## 2-3-Gibbéréline :

- Les **gibbérélines** (de *Gibberella fujikuroi*) sont une famille de phytohormones. Le composé actif est appelé acide gibbérélique.
- Les gibbérélines sont nommées **G** ou **Ga**. La **Ga3** est la mieux connue. La **Ga1** est la première gibbéréline active. Il existe **130 gibbérélines** différentes.

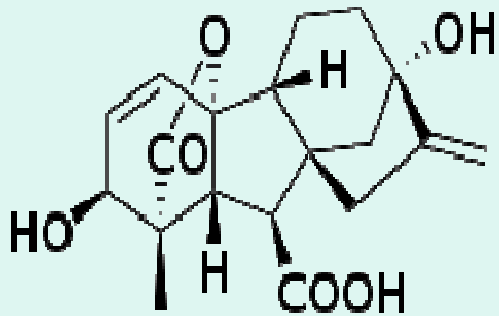
- Les **gibbérellines** peuvent présenter des formes **conjuguées** (c'est-à-dire **associées** avec un sucre tel que le **glucose**).
- Les conjugaisons les désactivent en général, ceci afin soit de **réguler** leurs actions, soit de les mettre en **réserve**.
- La synthèse se déroule au niveau des **méristèmes**, des **bourgeons terminaux racinaires** et **caulinaires**, des **jeunes feuilles**, les **fruits**, les **graines**, et de **l'embryon**.



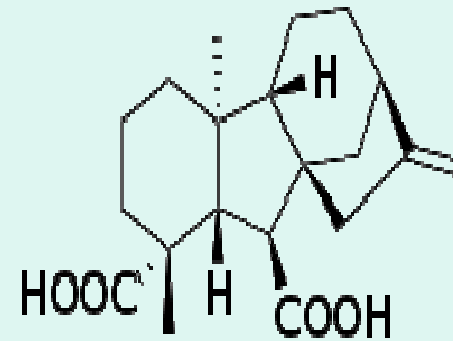
**Acide gibbérellique**



**Gibbérelline GA19**



**gibbérelline A3**



**gibbérelline A12**

# A-L'effets et utilisation :

- Les gibbérellines agissent essentiellement sur les **cellules** des entrenœuds qu'elles **allongent**. Elles ont une influence sur la **levée** ou **interruption** de la **dormance** des **graines** et au **débourrement** des bourgeons (vernalisation). Ce faisant, elles s'opposent donc aux effets de l'acide abscissique ; elles interviennent également sur l'**initiation** de la **floraison** et le **débourrement** des **bourgeons**.
- Elles peuvent **décaler** la mesure du temps chez les **végétaux**.

- Les traitements aux **gibbérélines** se substituent aux jours longs et **provoquent** la **floraison** de plantes durant les jours courts de l'hiver.
- Elles induisent une **masculinisation** des **fleurs** et stimulent la **croissance** du fruit.
- À la différence des **auxines**, les **gibbérélines** **n'inhibent** ni ne stimulent la **croissance** des racines.



- Commercialement, les **gibbérélines** sont employées pour faire **grossir** les **grains** de **raisin** sans **pépin**, ou pour **retarder** la **maturité** des agrumes.
- Elles permettent aussi d'obtenir des **fruits** **parthénocarpiques**.

# A-1-Dormance :

- La **dormance** est une **période** de **repos** des plantes déclenchée par la baisse de la température et par la **diminution** de la photopériode (durée d'exposition à la lumière du jour), due à des **facteurs** internes à la **plante** (par ex. des **régulateurs hormonaux**).

-

# 1-1-Types de dormance:

- **inhibition** corrélative (**paradormance**, liée à l'existence de **structures** qui protègent les centres **vitaux**, par exemple le tégument de la graine)
- **dormance vraie** (**endodormance**, causes **hormonales**)
- **quiescence** (**écodormance**) (due aux **conditions** du milieu)
-

# 1-2-Facteurs d'entrée et de sortie de dormance :

## \*Entrée :

- carence
- températures nocturnes fraîches
- photopériode (jours courts)

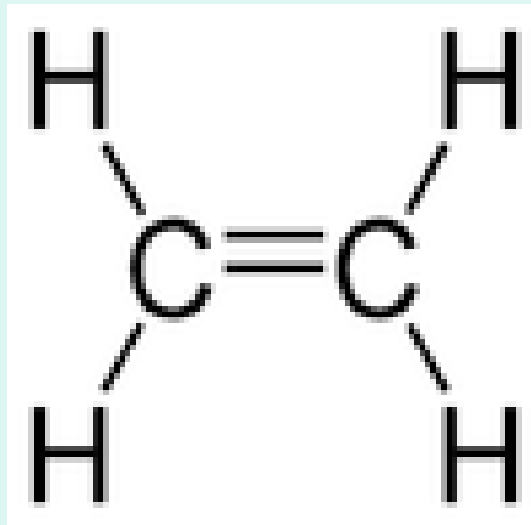
- **\*Sortie :**
- photopériode (jours longs)
- température basse
- régulateurs de croissance
- facteurs artificiels (application de composés chimiques)
- Lorsque les bourgeons s'ouvrent au printemps, on parle de débourrement.
-

# 2-4-Éthylène ou L'éthène:

- L'éthylène est un gaz comprimé incolore, d'odeur caractéristique.
- C'est un gaz très réactif.
- C'est aussi une phytohormone (hormone végétale) aux effets multiples.

- Tous les **tissus végétaux** produisent de **l'éthylène** avec un accroissement de cette production **lors** de la **maturation** des **fruits**, de la **germination**, mais aussi lors d'évènements **climatiques** (**sécheresse**, variations brutales de la **température**...).

## Formule de l'éthylène





## A-L'effets :

- L'éthylène hormone de nombreux métabolismes (réponses des plantes aux stress biotiques et abiotiques), est impliquée dans les étapes de floraison de certain plante (comme chez l'ananas) mais par contre elle inhibe la floraison d'autres espèces et stimule la maturation de nombreux fruits

Elle accélère la sénescence des organes d'une plante et facilite par exemple la mise en place des zones d'abscission des feuilles et des fruits.

# A-1-Maturation des fruits :

- L'éthylène est un catalyseur essentiel de la maturation des fruits. Par exemple, un avocat ne mûrit pas sur l'arbre mais six à huit jours après la récolte.
- On observe alors un pic de production d'éthylène qui déclenche la maturation du fruit.
- Un fruit dont la maturation est dépendante de l'éthylène est classé comme fruit climactérique.

# L'éthylène a un effet sur la maturation des fruits



- La banane produit de l'éthylène pour mûrir. Pour empêcher le murissement, le froid ne suffit pas. Il faut aussi ventiler pour éviter l'accumulation d'éthylène.
- Quand on veut redémarrer le murissement, il suffit de diffuser de l'éthylène.

## A-2-Sénescence des organes :

- La **sénescence** des **organes** est un **processus génétiquement** programmé influençant l'âge physiologique des entités vivantes.
- Un apport **exogène d'éthylène** entraîne une **sénescence** prématurée, alors qu'un apport exogène de **cytokinine** retarde le **processus**.

- Une augmentation de la production d'éthylène est associée à une perte de chlorophylle des feuilles, une dégradation des protéines et des ARN, une perte de pigmentation des fleurs, et autres symptômes de vieillissement.

## A-3-Abscission des feuilles:

- (= chute des feuilles - ou d'autres parties de la plante). Ne pas confondre avec l'acide abscissique.



- Les **cellules** des zones nécessitant une **abscission** répondent spécifiquement à **l'éthylène**.
- Une multitude **d'enzymes** hydrolytiques telles que des **pectinases** ou des **polygalacturonases** (qui dégradent l'acide galacturonique) sont alors **stimulées**, lysent les parois cellulaires et fragilisent la **structure** du **végétal**.
- Le plus souvent un agent extérieur tel que le vent, donne le coup de grâce et fait tombé l'organe.

- Les **jeunes feuilles** produisent de l'auxine qui les insensibilise à l'**éthylène**.
- Après le développement de la **feuille**, la **production d'auxine** diminue puis s'arrête :
- les cellules du pétiole sont alors exposées à des **concentrations** de plus en plus fortes d'**éthylène**.
- Au bout d'un certain temps **les zones d'abscission** répondent par **la synthèse d'enzymes hydrolytiques**.

- De très **fortes concentrations** d'auxine stimulent **la production d'éthylène** et donc la **chute des feuilles**.

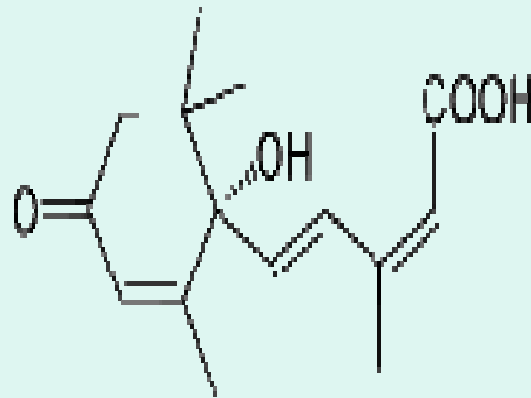
## A-4-La floraison :

- Cette **hormone inhibe** la floraison sauf chez certaines espèces comme la mangue ou l'ananas, chez lesquels on synchronise la floraison des fruits en apportant de l'éthylène sur l'arbre.
- **L'éthylène** peut changer la nature des organes floraux. Chez les espèces monoïques, c'est une hormone féminisante.

## 2-5-Acide abscissique :

- L'**acide abscissique** ou **ABA** (de l'angl. **abscissic acid**) est une phytohormone (hormone végétale).
- C'est également la principale **hormone inhibitrice**, antagoniste des gibbérélines. Cet acide est composé de 15 carbones (C<sub>15</sub>H<sub>20</sub>O<sub>4</sub>).
-

## L'acide abscissique



- Chez les plantes, la production d'acide abscissique est concentrée au niveau du parenchyme des racines et des feuilles matures, à l'intérieur des plastides.
- Le temps de migration est relativement limité puisque l'acide abscissique est très rapidement métabolisé.

- L'ABA est une molécule assez instable qui est rapidement **inactivée**.
- Elle peut l'être par conjugaison avec des oses sous forme **d'ABA- $\beta$ -D-Glucose** ester (**stockage** ou inactivation irréversible) ou par **oxydation** sous forme **d'acide phaséique (PA)** puis acide 4'-dihydrophaséique (DPA).



# A- Propriétés physiologiques:

- **A-1-Dormance et inhibition de germination :**
  - Induction de la sénescence (maturation des graines en produisant de la LEA ou Late Embryogenesis Abundant protein).
  - Prolongation de la **dormance**.
  - Arrêt de croissance de bourgeons ayant démarré et réintroduction de la dormance.
  - Inhibition de la germination des graines par modification de la **perméabilité** des **membranes**.

## A-2-Défense contre différents

### stress :

- - Fermeture des stomates permettant une lutte contre la sécheresse (déficit hydrique), choc osmotique, carence en éléments minéraux, anoxie des racines
  - Implication dans les voies de défense contre les agents pathogènes (cross-talk avec les voies de signalisation acide jasmonique/Éthylène, fermeture des stomates empêchant la pénétration du pathogène déclenchée par un mécanisme de reconnaissance)□.

## A-3-Autres rôles :

- Action négative sur l'élongation des entrenœuds.
- Inversion des conditions photopériodiques nécessaires à la floraison.
- Accélération de l'abscission des feuilles (repos hivernal) sans la déclencher.
- Chute des fruits secs.

