

CHAP.1 – LA CROISSANCE VEGETALE

LA REGULATION HORMONALE DU DEVELOPPEMENT DES VEGETAUX SUPERIEURS

INTRODUCTION

- 1. LES FACTEURS DE CONTRÔLE DU
DEVELOPPEMENT ET LEURS EFFETS**
- 2. LES HORMONES VEGETALES : GENERALITES**

**1. LES FACTEURS DE CONTRÔLE DU
DEVELOPPEMENT ET LEURS EFFETS**

2. LES HORMONES VEGETALES : GENERALITES

Les caractéristiques du développement des végétaux

- **équilibré**

équilibre des proportions :

- taille relative des \neq organes proportionnée
- surface aérienne / surface partie souterraine \approx cte

- **coordonné**

apparition séquentielle des organes

- **reproductible**

pour une espèce donnée

dans des conditions identiques

Les facteurs de contrôle

Les facteurs contrôle externes

= facteurs de l'environnement

- **Effets trophiques** (T° , lumière, ...)
conditionnent l'intensité du métabolisme et donc de la croissance
- **Effets mécaniques** (vent, ...)
- **Effets signaux**
modification du milieu extérieur => signal qui influence le développement de la plante
avec effets directs ou indirects => hormones

Les facteurs de contrôle

Les facteurs de contrôle internes

- liés à la constitution génétique des individus, à leur génome
- le génome contient une information de base = protéines, enzymes, facteurs de transcription capable de :
 - percevoir et intégrer les signaux externes
 - coordonner leurs effets pour assurer le développement de la plante

**1. LES FACTEURS DE CONTRÔLE DU
DEVELOPPEMENT ET LEURS EFFETS**

2. LES HORMONES VEGETALES : GENERALITES

La notion d'hormone

vient du grec *hormao* = exciter

- mot qui fait son apparition en 1905
- **substance organique biologiquement active** et qui a pour caractéristiques de présenter :
 - une **activité à très faible concentration**
(=> aucun rôle énergétique ni nutritif)
 - une **synthèse réalisée par l'organisme** lui-même
 - un **transport de son site de synthèse à son site d'action** (cellules cibles)

La notion d'hormone

Une hormone

- **porte donc une information** à une cellule de destination = cellule cible,
- **influence, oriente le métabolisme** de celle-ci.

La notion d'hormone

Les hormones permettent donc de :

- **coordonner les évènements normaux** de la vie de la plante
- **déclencher des réactions face** aux **événements anormaux** = **stress**, dans le cas de stress biotiques (champignons, bactéries, virus, insectes, vertébrés divers,...) ou de stress abiotiques (sécheresse, inondation, gel, tempête,..).

→ **rôle capital** car

la plante ne peut pas se déplacer pour échapper à une situation de stress (se mettre à l'abri ou chercher ailleurs sa nourriture)
seule réaction possible = mettre en place très rapidement des réactions de défense par l'intermédiaire de médiateurs chimiques

Les hormones végétales

des similitudes mais aussi des différences avec les hormones animales

- faible PM $< 500 \text{ g. mol}^{-1}$
- structure chimique \neq sauf pour les brassinostéroïdes proches des stéroïdes animaux
- produites dans \neq régions de l'organisme
- parfois actives sur leur lieu de synthèse et sur leur site d'action
- action moins ciblée que celle des hormones animales (balance hormonale, antagonisme, synergie ...)
- effets diversifiés = effets pléiotropiques
- agissent rarement seules (synergie mais aussi antagonisme)
- peu d'hormones végétales (6) \neq hormones animales (40)

La notion de médiateurs chimiques

- substances qui **n'ont pas encore obtenu le statut d'hormones végétales « vraies »**
- les polyamines, le jasmonate, le salycilate, les oligosaccharides ...

La notion de régulateurs de croissance

- substances ayant des **effets analogues** à ceux des hormones mais qui ne sont **pas synthétisées par les végétaux**
- très utilisées en agriculture et en horticulture

Les différentes hormones végétales

- véritable mise en évidence scientifique en 1926
→ travaux de WENT sur l'**auxine**
- 1950 : découverte des **gibbérellines**
- 1955 : découverte des **cytokinines**
- 1960 : découverte de l'**éthylène**
- 1965 : découverte de l'**acide abscissique**
- 1995 : découverte des **brassinostéroïdes**
- **2008** : découverte des **strigolactones**

Les différentes hormones végétales

- **Hormones stimulatrices du développement**

- il s'agit de **familles de molécules actives**

Les auxines

Les gibbérellines

Les cytokinines

Les brassinostéroïdes

Les strigolactones

- **Hormones à effets mixtes**

- dans ce cas **une seule molécule active** a été identifiée

L'éthylène

L'acide abscissique

CHAP.1 – LA CROISSANCE VEGETALE

LA REGULATION HORMONALE DU DEVELOPPEMENT DES VEGETAUX SUPERIEURS

LES AUXINES

- 1. DECOUVERTE DES AUXINES**
- 2. STRUCTURE CHIMIQUE DES AUXINES**
- 3. METABOLISME DES AUXINES**
- 4. MANIFESTATIONS PHYSIOLOGIQUES DES AUXINES**
- 5. MODE D'ACTION DES AUXINES**

1. DECOUVERTE DES AUXINES

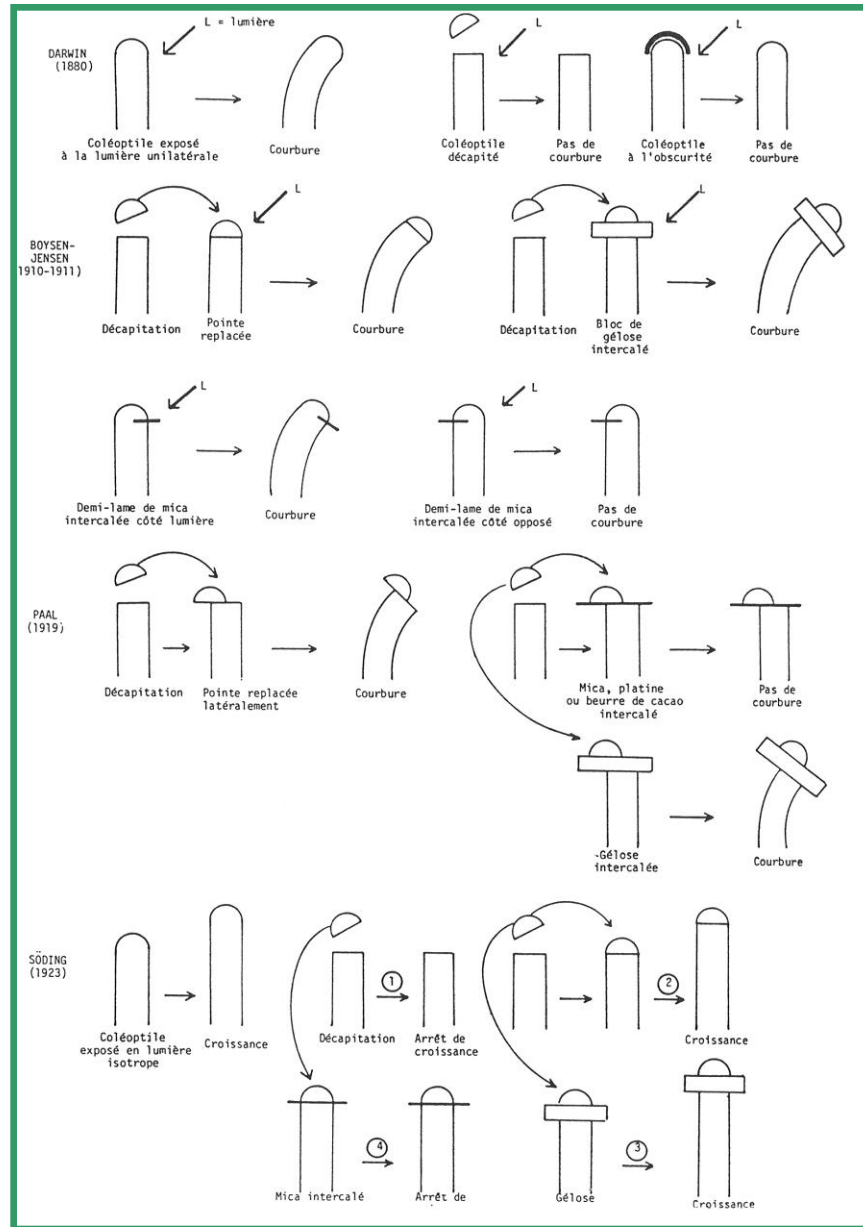
2. STRUCTURE CHIMIQUE DES AUXINES

2.1. Forme libre

2.2. Formes conjuguées

2.3. Auxines non indoliques

Historique de la découverte de l'auxine



1. DECOUVERTE DES AUXINES

2. STRUCTURE CHIMIQUE DES AUXINES

2.1. Forme libre

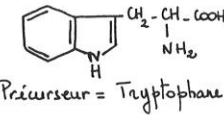
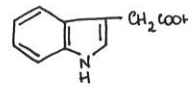
2.2. Formes conjuguées

2.3. Auxines non indoliques

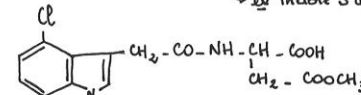
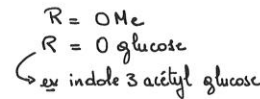
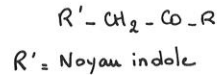
Structure chimique des auxines

AUXINE = ACIDE INDOLE 3 ACETIQUE (PM = 175)

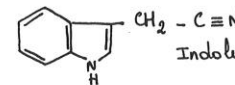
- l'AIA libre



- l'AIA lié

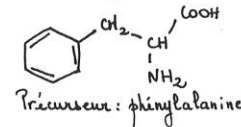
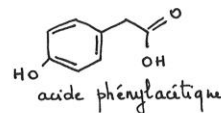


Cl - AIA - acétylaspartate → Légumineuses

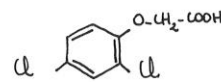


Indole acétonitrile → Crucifères

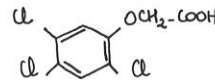
- l'AIA non indolique



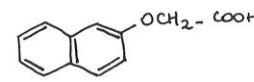
- Auxino-mimétiques



Acide 2-4 dichlorophénoxy-acétique (2-4 D)

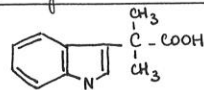


Acide 2-4-5 trichlorophénoxy-acétique (2-4-5 T)

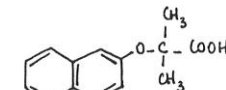


Acide naphthoxyacétique ANA

- Antagonistes de l'AIA

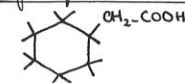


acide indole isobutyrate

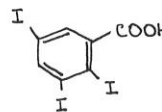


ac. naphthoxy isobutyrique

- Synergistes de l'AIA



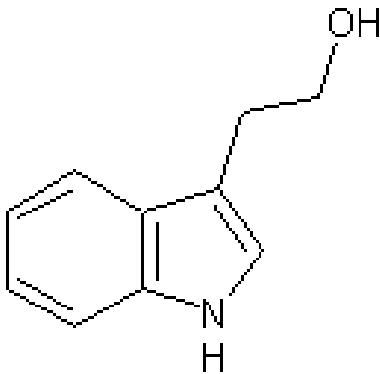
ac. cyclohexane acétique



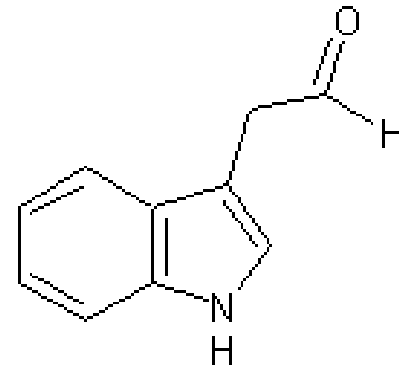
ac. triiodo benzoïque TIBA

Structure chimique des auxines

- plusieurs auxines naturelles
- on ne sait pas bien si leur action auxinique est due à leur molécule ou à l'auxine en laquelle elles se transforment facilement.



Indole - 3 - éthanol



Indole - 3 - acétaldéhyde

1. DECOUVERTE DES AUXINES

2. STRUCTURE CHIMIQUE DES AUXINES

2.1. Forme libre

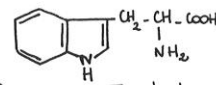
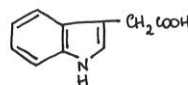
2.2. Formes conjuguées

2.3. Auxines non indoliques

Structure chimique des auxines

AUXINE = ACIDE INDOLE 3 ACETIQUE (PM = 175)

- l'AIA libre

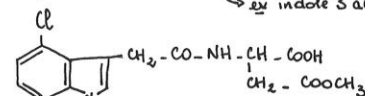


Précurseur = Tryptophane

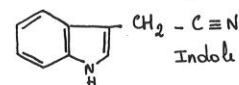
- l'AIA lié

$R' - CH_2 - CO - R$
 $R' =$ Noyau indole

$R = OMe$
 $R = O$ glucose
 \rightarrow indole 3 acétyl glucose

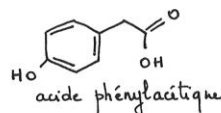


Cl - AIA - acétylaspartate \rightarrow Légumineuses

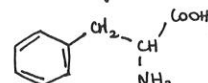


Indole acétonitrile \rightarrow Crucifères

- l'AIA non indolique

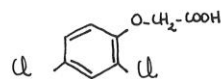


acide phénylacétique

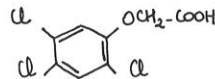


Précurseur : phénylalanine

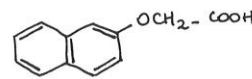
- Auxino-mimétiques



Acide 2-4 dichlorophénoxy-acétique (2-4 D)

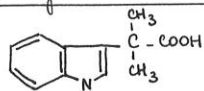


Acide 2-4-5 trichlorophénoxy-acétique (2-4-5 T)

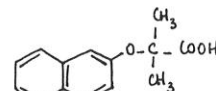


Acide naphthoxyacétique ANA

- Antagonistes de l'AIA

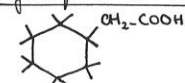


acide indole isobutyrate

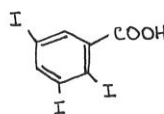


ac. naphthoxy isobutyrique

- Synergistes de l'AIA



ac. cyclohexane acétique



ac. triiodo benzoïque TIBA

1. DECOUVERTE DES AUXINES

2. STRUCTURE CHIMIQUE DES AUXINES

2.1. Forme libre

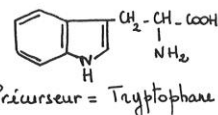
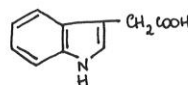
2.2. Formes conjuguées

2.3. Auxines non indoliques

Structure chimique des auxines

AUXINE = ACIDE INDOLE 3 ACETIQUE (PM = 175)

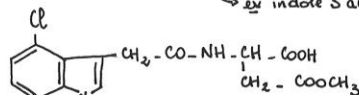
- l'AIA libre



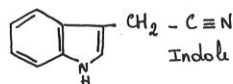
- l'AIA lié

$R' - CH_2 - CO - R$
 $R' =$ Noyau indole

$R = OMe$
 $R = O$ glucose
 \rightarrow indole 3 acétyl glucose

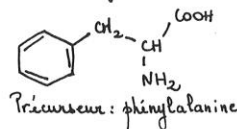
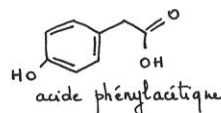


Cl - AIA - acétylaspartate \rightarrow Légumineuses

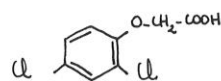


Indole acétonitrile \rightarrow Crucifères

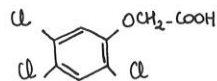
- l'AIA non indolique



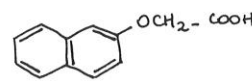
- Auxino-mimétiques



Acide 2-4 dichlorophénoxy-acétique (2-4 D)

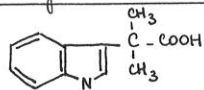


Acide 2-4-5 trichlorophénoxy-acétique (2-4-5 T)

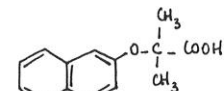


Acide naphthoxyacétique
NAA

- Antagonistes de l'AIA

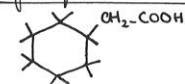


acide indole isobutyrate

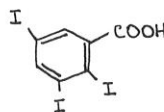


ac. naphthoxy isobutyrique

- Synergistes de l'AIA



ac. cyclohexane acétique



ac. tri iodo benzoïque
TIBA

3. METABOLISME DES AUXINES

3.1. Les sites de synthèse

3.2. Biosynthèse de l'AIA

3.3. Le transport de l'AIA

3.4. Dégradation de l'AIA

3.4.1. Photooxydation de l'auxine

3.4.2. Oxydation par les auxines-oxydases

Les sites de synthèse de l'AIA

- concentration moyenne en AIA = 10^{-9} g/g de tissu
- sites de synthèse :
- production d'AIA par les cellules en division => toute jeune cellule peut produire de l'AIA
- **surtout les méristèmes caulinares** (apicaux, intercalaires) et **foliaires**
- à moindre mesure, les méristèmes racinaires et les tissus âgés (feuilles adultes)

3. METABOLISME DES AUXINES

3.1. Les sites de synthèse

3.2. Biosynthèse de l'AIA

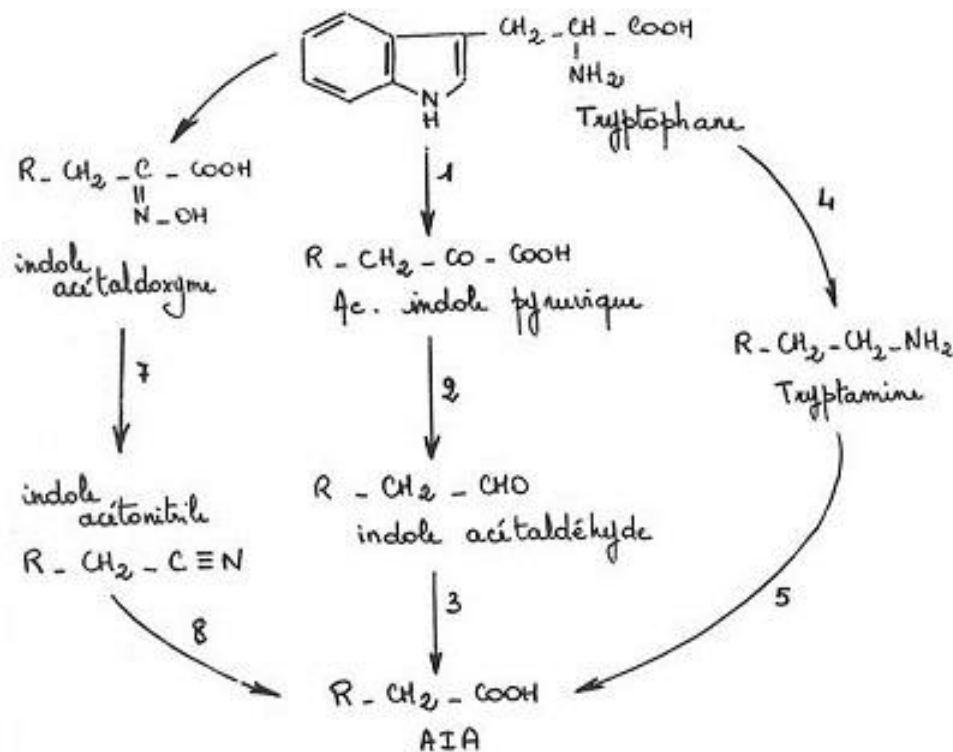
3.3. Le transport de l'AIA

3.4. Dégradation de l'AIA

3.4.1. Photooxydation de l'auxine

3.4.2. Oxydation par les auxines-oxydases

Biosynthèse de l'AIA



VOIE DES CRUCIFERES

VOIE PRINCIPALE

VOIE DE LA TRYPTAMINE

Tomate
Concombre
Tabac
Orge

1 = transaminase

2 = indole pyruvate décarboxylase

3 = indole acétaldéhyde déshydrogénase

4 = aminodécarboxylase (tryptophane décarb.)

5 = aminoxydase (tryptamine oxyd.)

7 = indole acétaldéhyde hydrolase

8 = nitrilase

3. METABOLISME DES AUXINES

3.1. Les sites de synthèse

3.2. Biosynthèse de l'AIA

3.3. Le transport de l'AIA

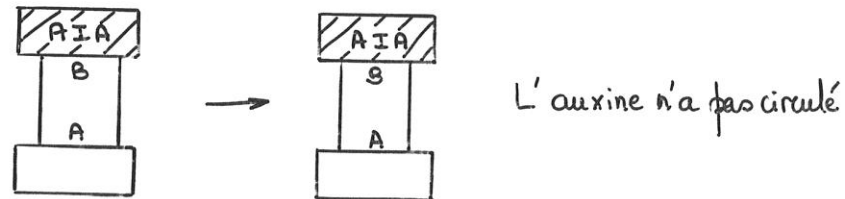
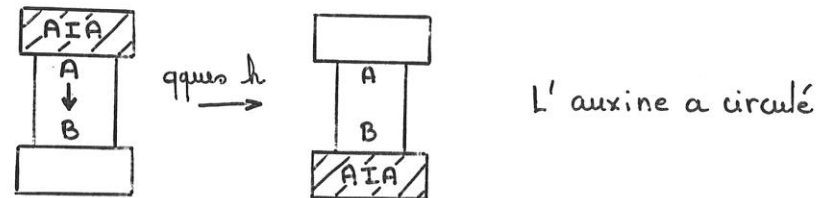
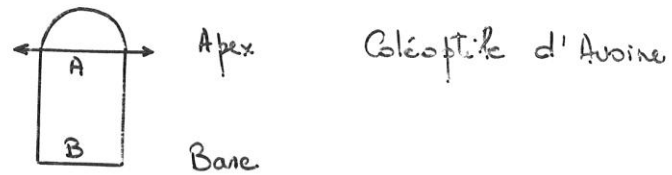
3.4. Dégradation de l'AIA

3.4.1. Photooxydation de l'auxine

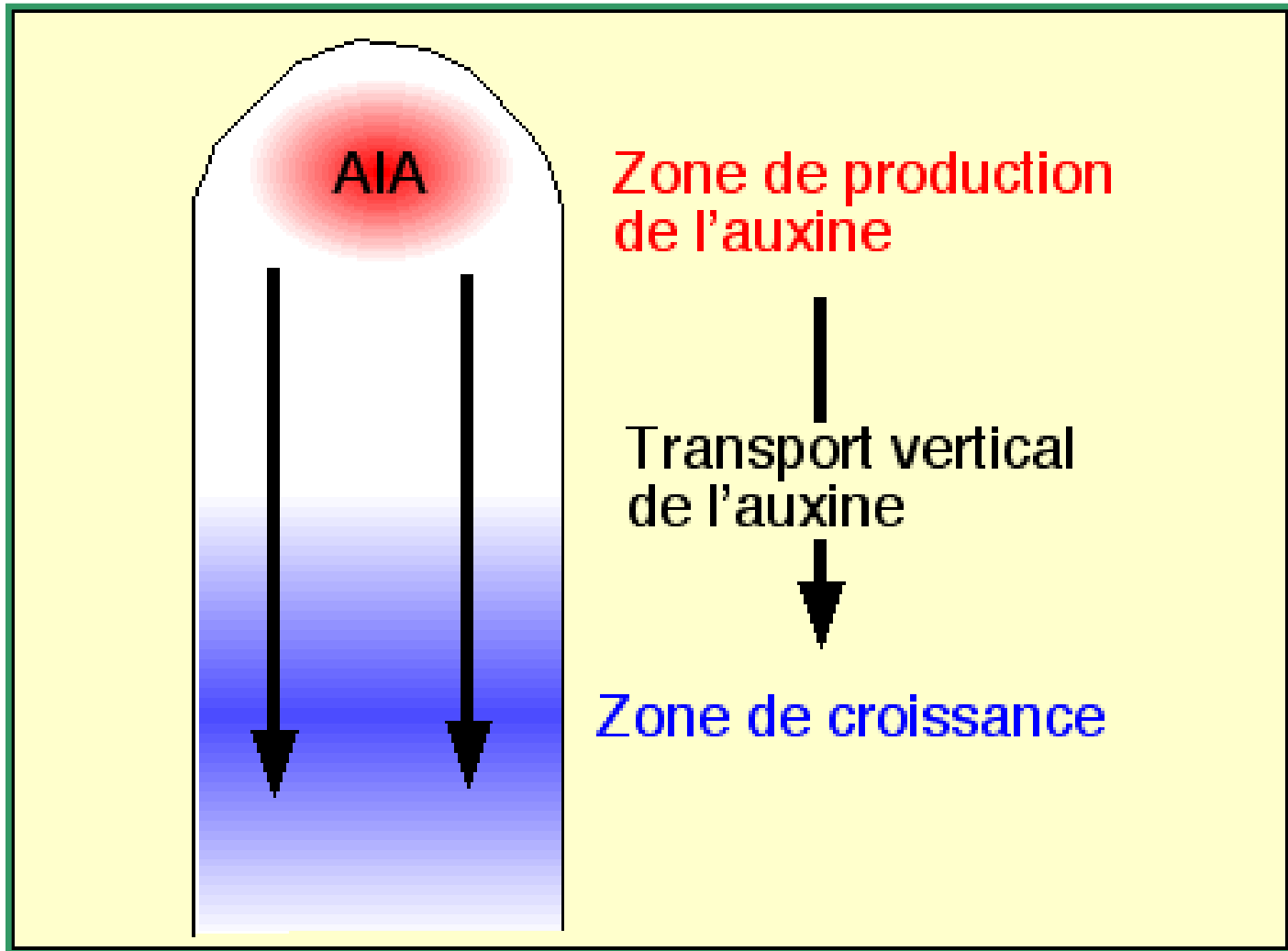
3.4.2. Oxydation par les auxines-oxydases

POLARITE DU TRANSPORT DE L'AUXINE

Expérience de WEIS (1934)



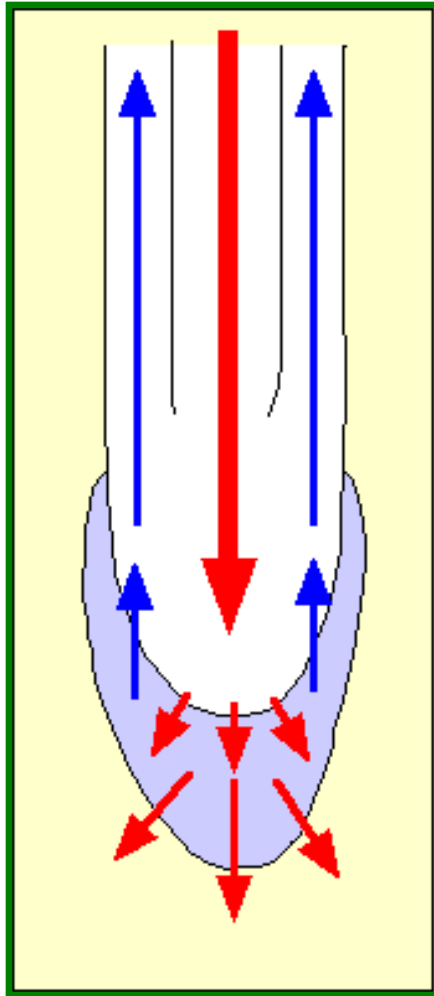
Circulation de l'auxine dans la tige



d'après Rubinstein et Prat (2005)

Bio et Multimédia – Université Pierre et Marie Curie – UFR de Biologie

Circulation de l'auxine dans la racine



L'auxine, en provenance des jeunes tiges, circule de haut en bas dans le cylindre central des racines (voie de la sève élaborée) puis remonte dans la région corticale (de cellule à cellule) de manière symétrique mais en faible dose.

3. METABOLISME DES AUXINES

3.1. Les sites de synthèse

3.2. Biosynthèse de l'AIA

3.3. Le transport de l'AIA

3.4. Dégradation de l'AIA

3.4.1. Photooxydation de l'auxine

3.4.2. Oxydation par les auxines-oxydases

3. METABOLISME DES AUXINES

3.1. Les sites de synthèse

3.2. Biosynthèse de l'AIA

3.3. Le transport de l'AIA

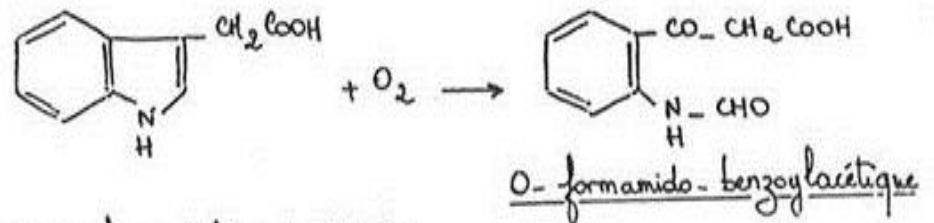
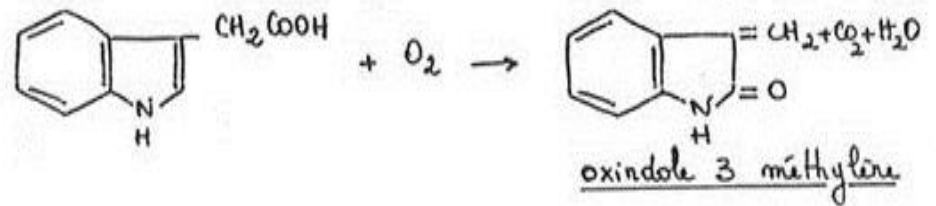
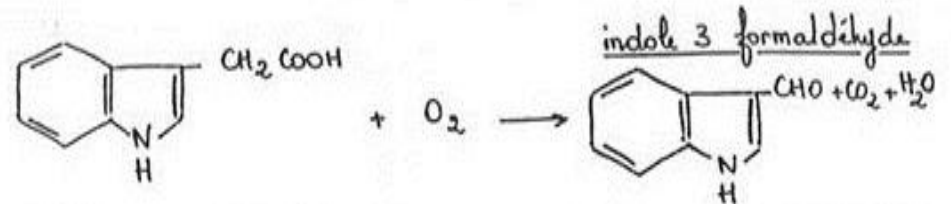
3.4. Dégradation de l'AIA

3.4.1. Photooxydation de l'auxine

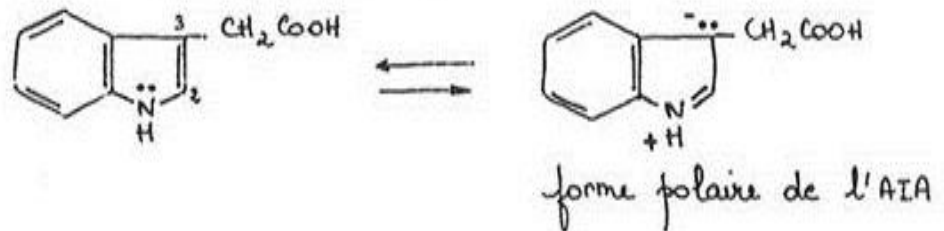
3.4.2. Oxydation par les auxines-oxydases

Dégradation de l'AIA

DEGRADATION DE L'AIA



Mise sous forme polaire de l'AIA :



4. MANIFESTATIONS PHYSIOLOGIQUES DES AUXINES

4.1. Action sur l'élongation

4.1.1. Action au niveau des organes

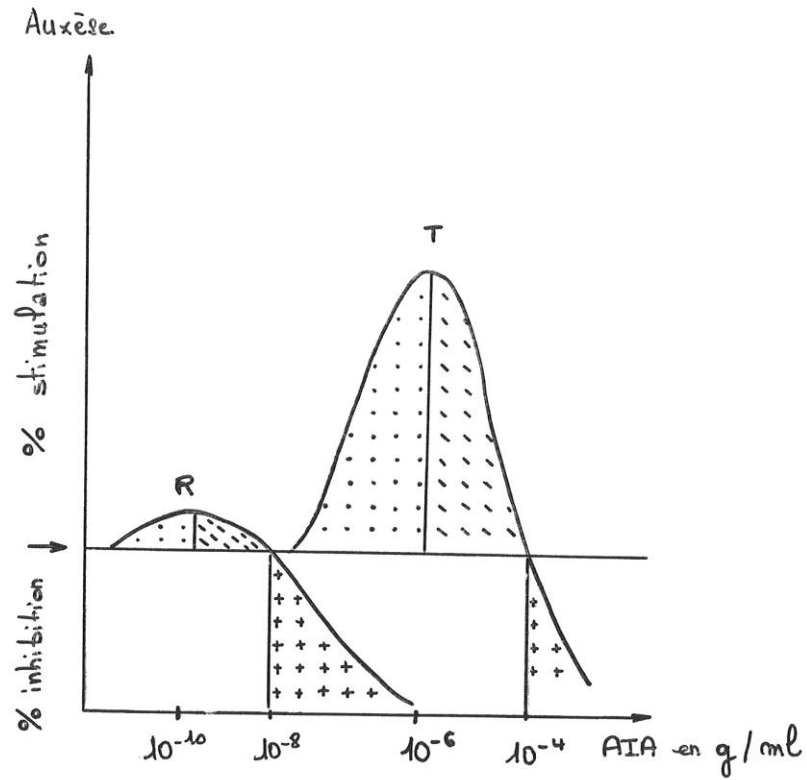
4.1.2. Effet sur la paroi squelettique

4.1.3. Rôle dans les phénomènes de tropismes

4.1.3.1. Généralités sur les tropismes

4.1.3.2. Action sur le phototropisme

4.1.3.3. Action sur le gravitropisme



T = tige
R = racine

∴ doses infraoptimales
+++ doses toxiques
... doses supraoptimales

Action de l'auxine vis-à-vis de l'auxèse

L'auxine et la dominance apicale

- premières ramifications → à une certaine distance du bourgeon apical
- suppression du bourgeon apical
=> développement immédiat des bourgeons axillaires situés en dessous de lui
- le bourgeon apical exerce une **action inhibitrice** sur les bourgeons axillaires situés immédiatement en dessous
→ **la dominance apicale**
- phénomène bien connu des horticulteurs

L'auxine et la dominance apicale

- application d'AlA sur une tige sectionnée au niveau du bourgeon apical
=> pas de développement des bourgeons axillaires
=> maintient la dominance apicale exercée par le bourgeon apical.

L'auxine et la dominance apicale

- le bourgeon apical synthétise de l'AIA
- l'AIA circule vers le bas => inhibe le développement des bourgeons axillaires
- mais [AIA] diminue progressivement => inhibition seulement sur une partie plus ou moins grande de la tige, variable selon les plantes.
- mutants auxotrophes pour le tryptophane = très ramifiés
 - pas d'inhibition exercée par le bourgeon apical
 - dominance apicale inexistante
 - => développement des bourgeons axillaires

4. MANIFESTATIONS PHYSIOLOGIQUES DES AUXINES

4.1. Action sur l'élongation

4.1.1. Action au niveau des organes

4.1.2. Effet sur la paroi squelettique

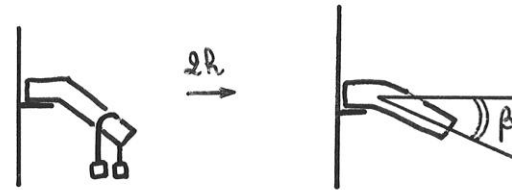
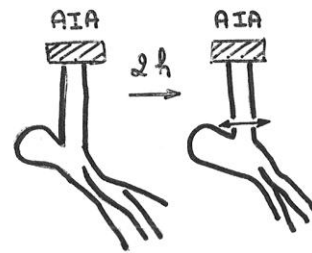
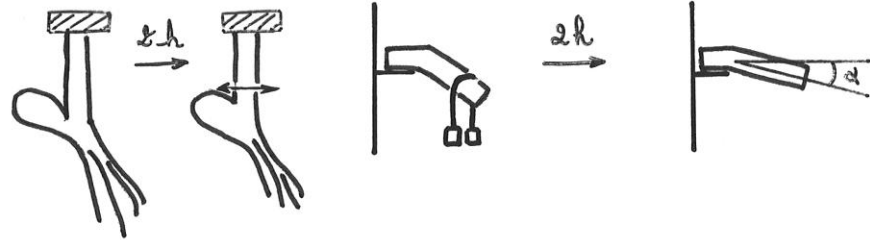
4.1.3. Rôle dans les phénomènes de tropismes

4.1.3.1. Généralités sur les tropismes

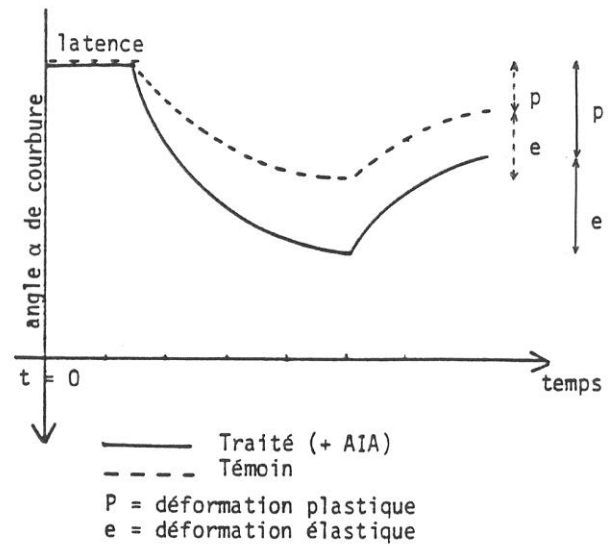
4.1.3.2. Action sur le phototropisme

4.1.3.3. Action sur le gravitropisme

Expérience de HEYN (1932)



Expérience de HEYN (1932)



4. MANIFESTATIONS PHYSIOLOGIQUES DES AUXINES

4.1. Action sur l'élongation

4.1.1. Action au niveau des organes

4.1.2. Effet sur la paroi squelettique

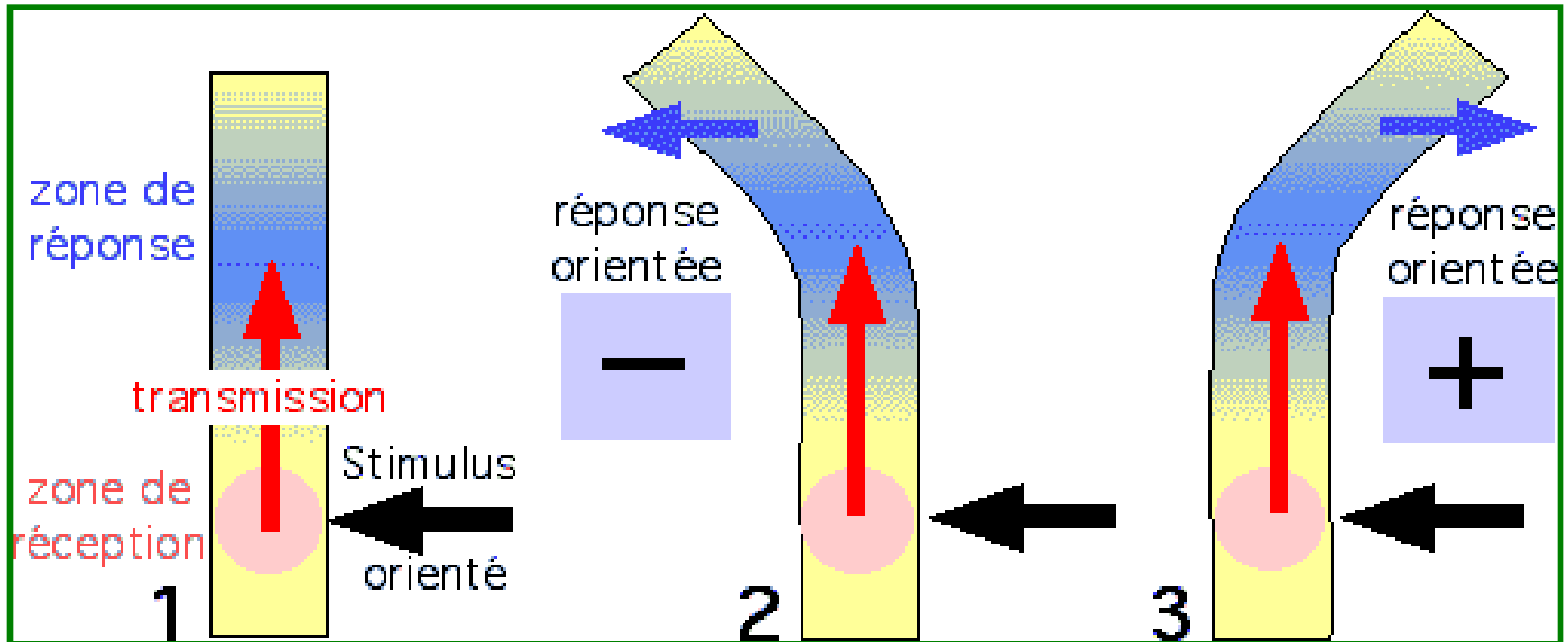
4.1.3. Rôle dans les phénomènes de tropismes

4.1.3.1. Généralités sur les tropismes

4.1.3.2. Action sur le phototropisme

4.1.3.3. Action sur le gravitropisme

Auxine et tropisme



1- Un stimulus orienté agit sur une zone de réception de l'organe. Un message est transmis jusqu'à une zone de réponse (zone de croissance).

2- Tropisme négatif (-) :
Une réponse de courbure (croissance différentielle) est orientée dans le sens contraire à la direction du stimulus.

3- Tropisme positif (+) :
Une réponse de courbure (croissance différentielle) est orientée dans le sens de la direction du stimulus.

4. MANIFESTATIONS PHYSIOLOGIQUES DES AUXINES

4.1. Action sur l'élongation

4.1.1. Action au niveau des organes

4.1.2. Effet sur la paroi squelettique

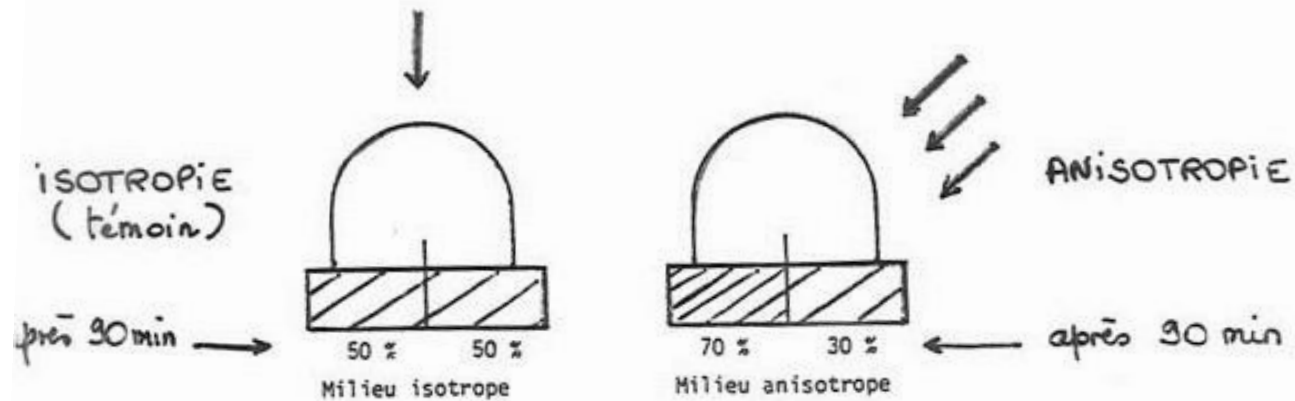
4.1.3. Rôle dans les phénomènes de tropismes

4.1.3.1. Généralités sur les tropismes

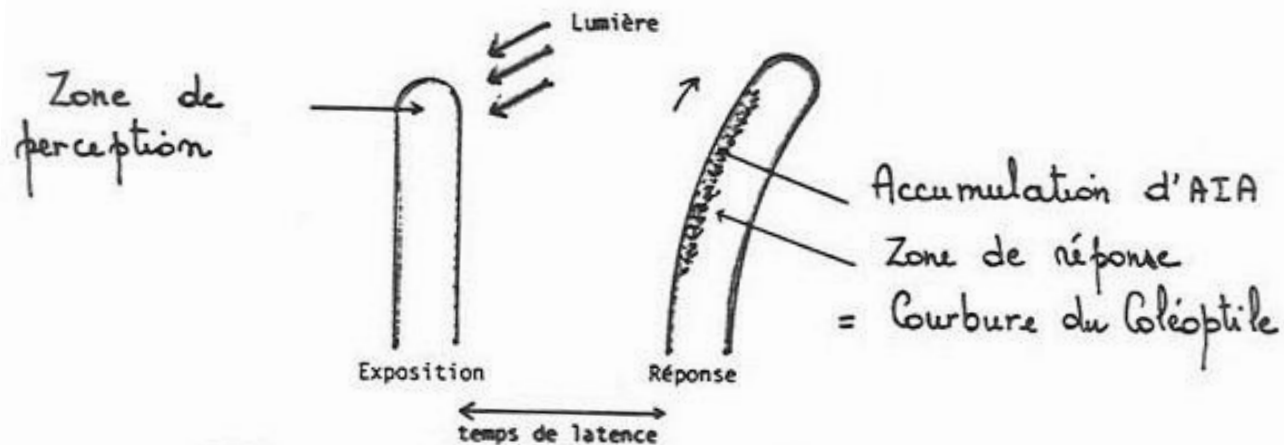
4.1.3.2. Action sur le phototropisme

4.1.3.3. Action sur le gravitropisme

Auxine et phototropisme

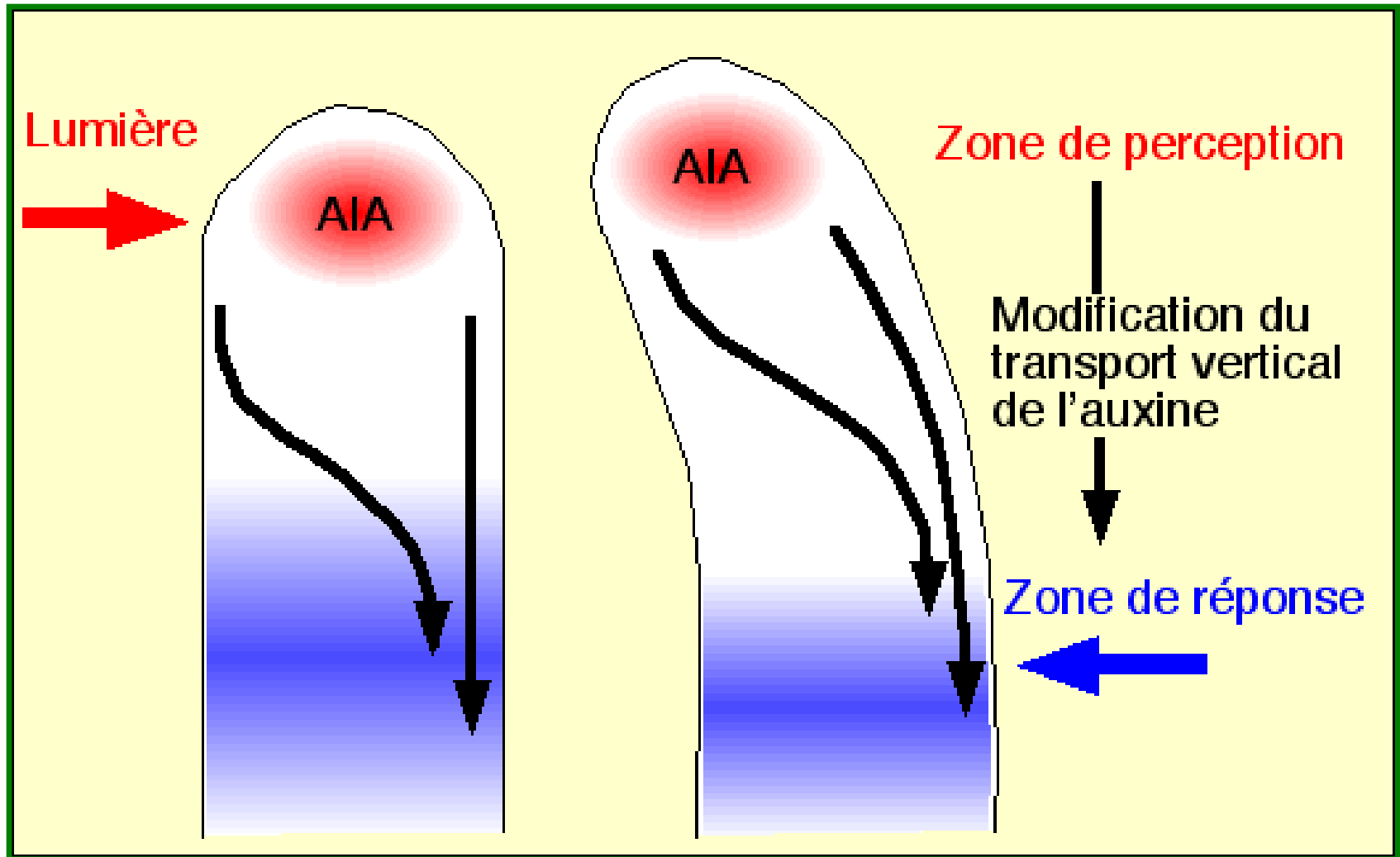


Migration de l'auxine sous l'effet de la lumière



Phototropisme positif du coléoptile

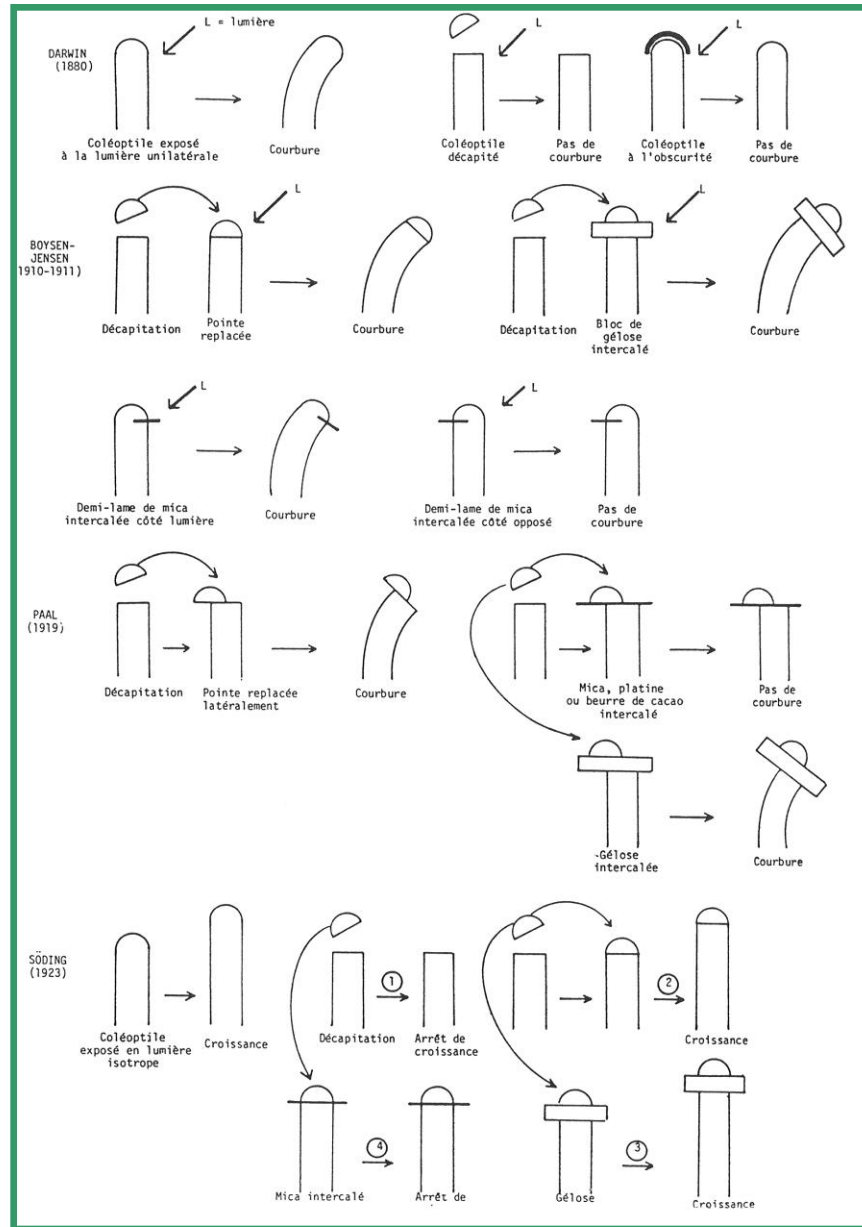
Auxine et phototropisme



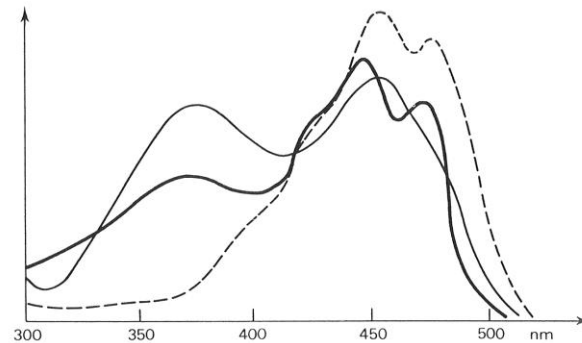
d'après Rubinstein et Prat (2005)

Bio et Multimédia – Université Pierre et Marie Curie – UFR de Biologie

Historique de la découverte de l'auxine



Spectre d'action de la courbure du coléoptile d'avoine



- Courbure du coléoptile
- Spectre d'absorption de la riboflavine
- - Spectre d'absorption du β -carotène

4. MANIFESTATIONS PHYSIOLOGIQUES DES AUXINES

4.1. Action sur l'élongation

4.1.1. Action au niveau des organes

4.1.2. Effet sur la paroi squelettique

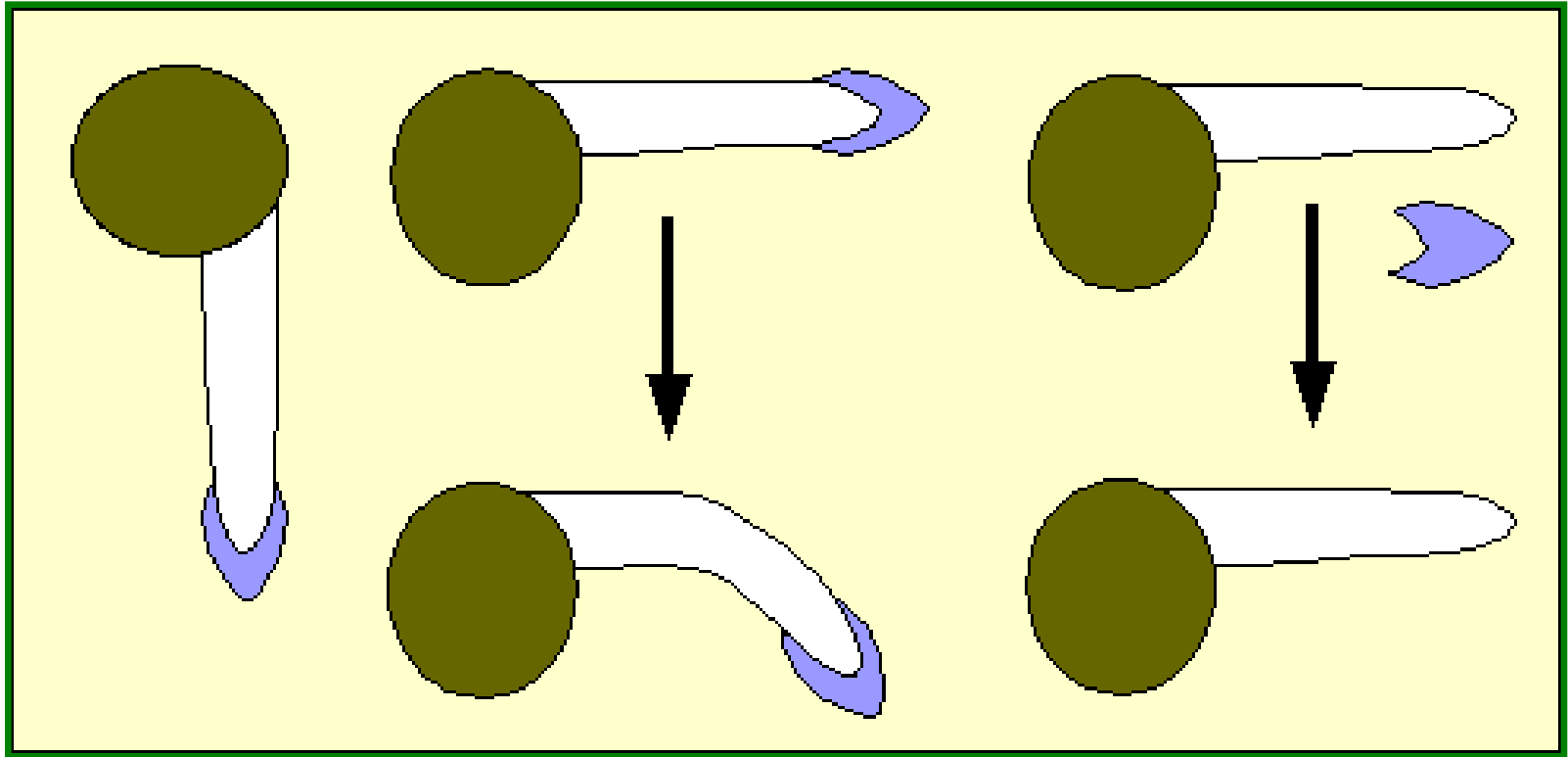
4.1.3. Rôle dans les phénomènes de tropismes

4.1.3.1. Généralités sur les tropismes

4.1.3.2. Action sur le phototropisme

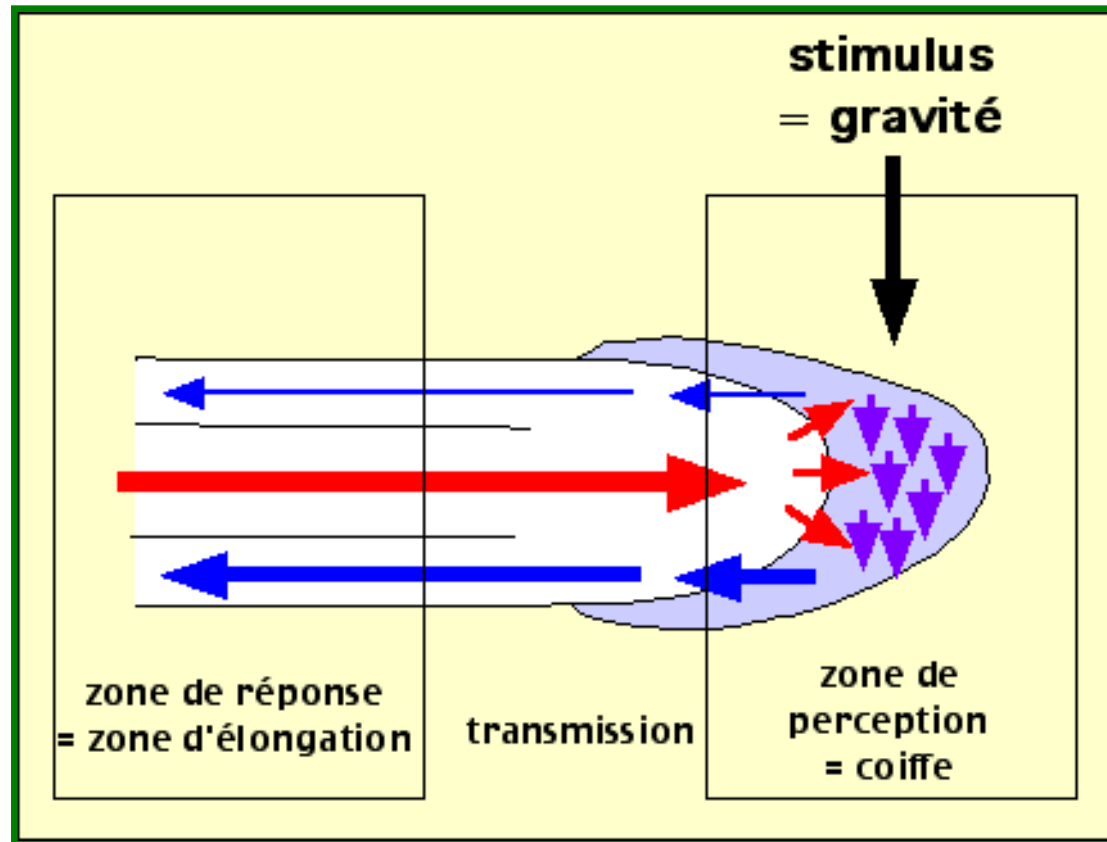
4.1.3.3. Action sur le gravitropisme

Auxine et gravitropisme



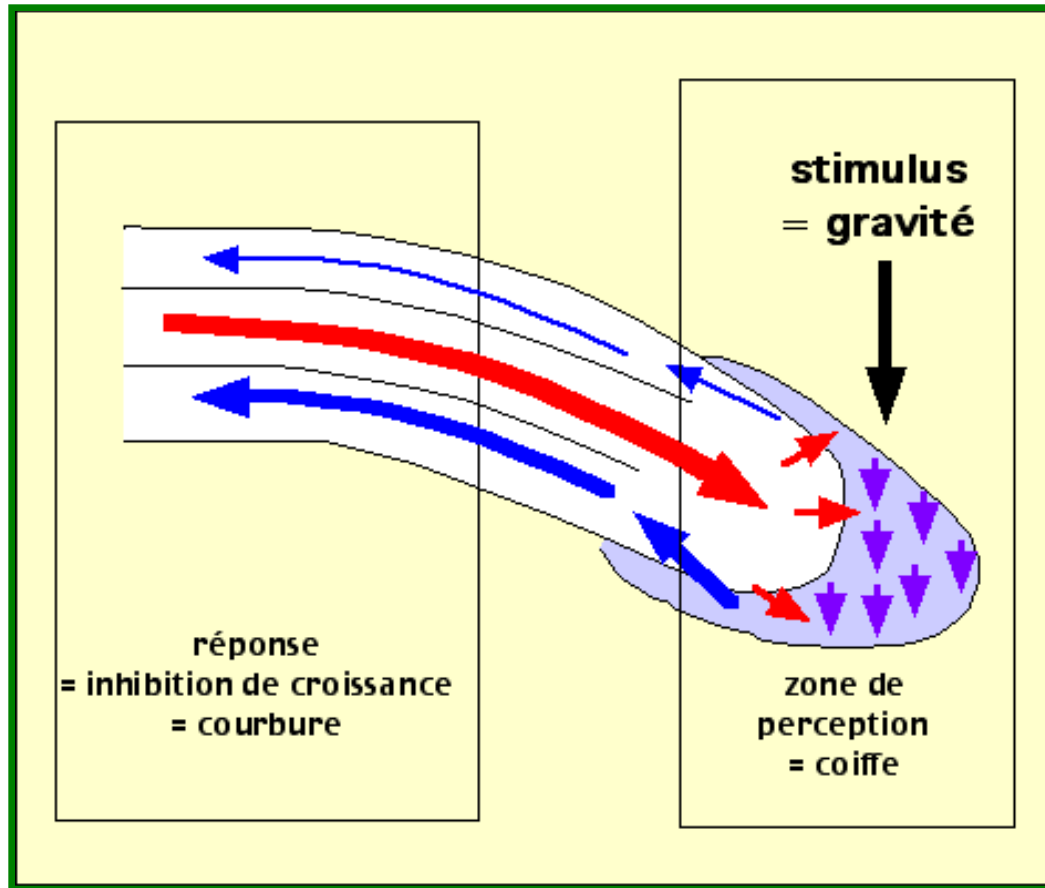
d'après Rubinstein et Prat (2005)
Bio et Multimédia – Université Pierre et Marie Curie – UFR de Biologie

Auxine et gravitropisme



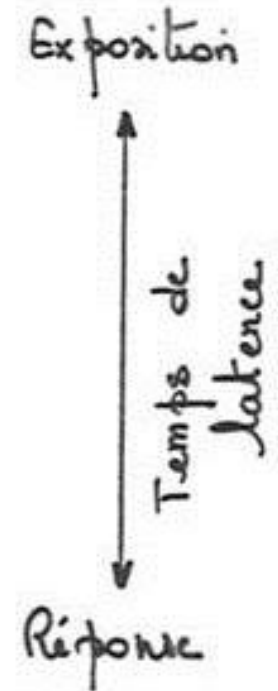
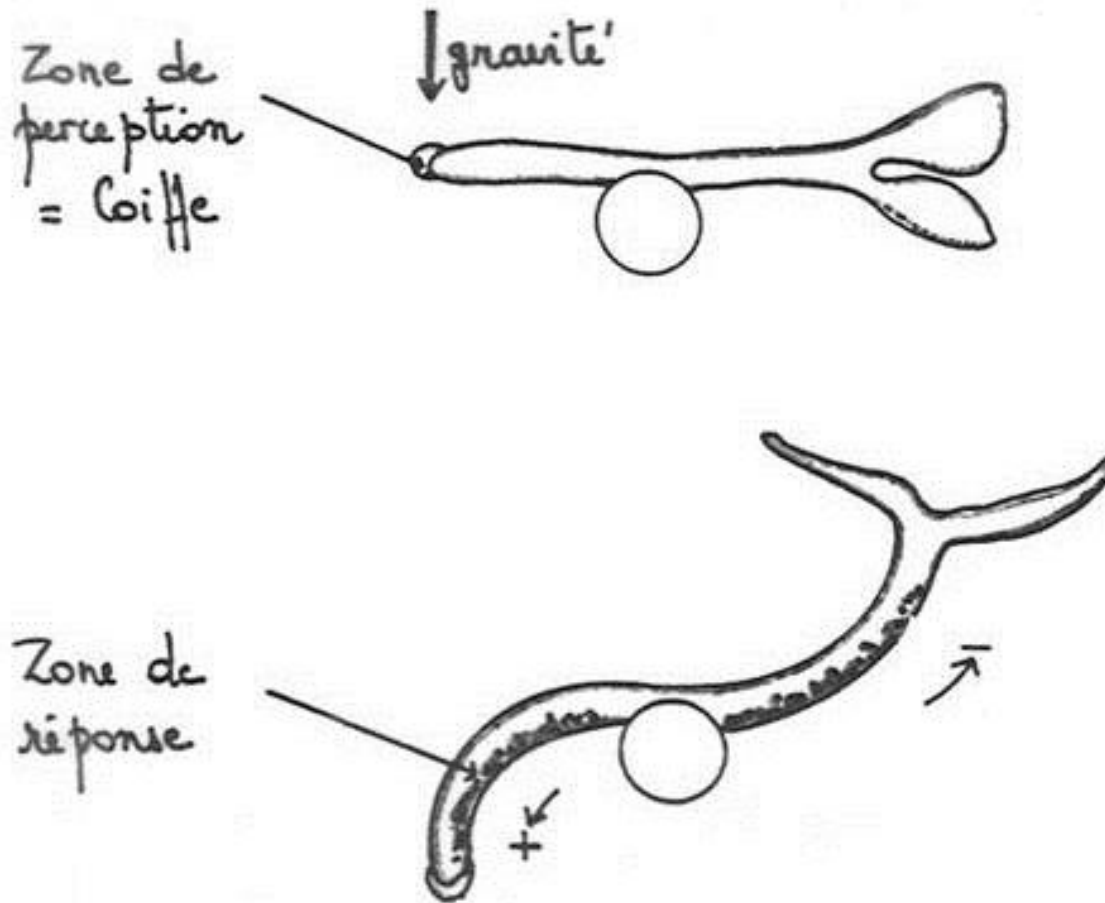
Lorsque la racine est couchée horizontalement, le transport d'auxine est décalé dans le sens de la pesanteur au niveau de la coiffe. L'auxine remonte alors avec une plus forte concentration dans la région basse vers la zone de croissance.

Auxine et gravitropisme



L'auxine étant inhibitrice de la croissance des cellules de racine à forte concentration, la racine se courbe vers le bas.

Gravitropisme d'une jeune racine



Auxine et gravitropisme

- **statocytes** = cellules spécialisées dans la perception de la gravité et situées au niveau de la coiffe
- **statocytes** = cellules caractérisées par la présence d'amyloplastes spécialisés = les **statolithes**
- **statolithes** = plastes excentrés au pôle basal de la cellule par sédimentation (gravité)
 - => exercent ainsi une pression sur la membrane des réticulums endoplasmiques, induisant l'activation des transporteurs de l'AIA au pôle basal
 - => changement de répartition de l'AIA dans la racine
 - => **variation dans la croissance** racinaire → courbure

Cas particulier : les nasties

Nasties = mouvements de certains organes d'une plante lié à un stimulus extérieur (température, lumière, humidité).

Une nastie n'est pas orientée en fonction du stimulus (par opposition à un tropisme) mais est déterminée par la structure de l'organe.

2 types de nasties :

- les nasties de turgescence :
mouvements réversibles dus à des variations de turgescence (ouverture des stomates)
- les nasties de croissance dues à des variations de croissance (photonastie, thermonastie, hygronastie)



Photographie
<http://fr.wikipedia.org>
Licence Creative Commons

4.2. Action sur la prolifération cellulaire

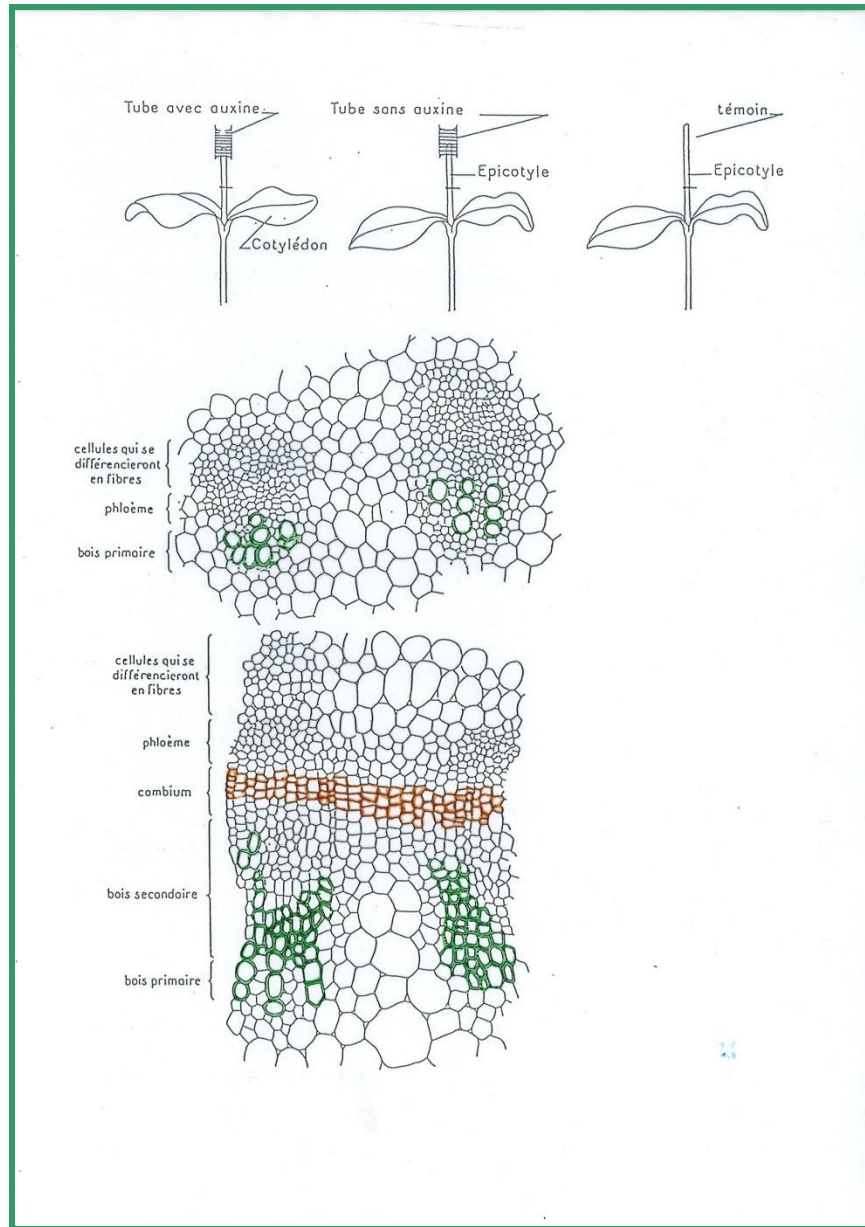
4.2.1. Action cambioène

4.2.2. Auxines et culture de tissus

4.2.3. Développement du péricarpe des fruits

4.2.4. Abscission des feuilles et des fruits

Action cambiogène de l'auxine



4.2. Action sur la prolifération cellulaire

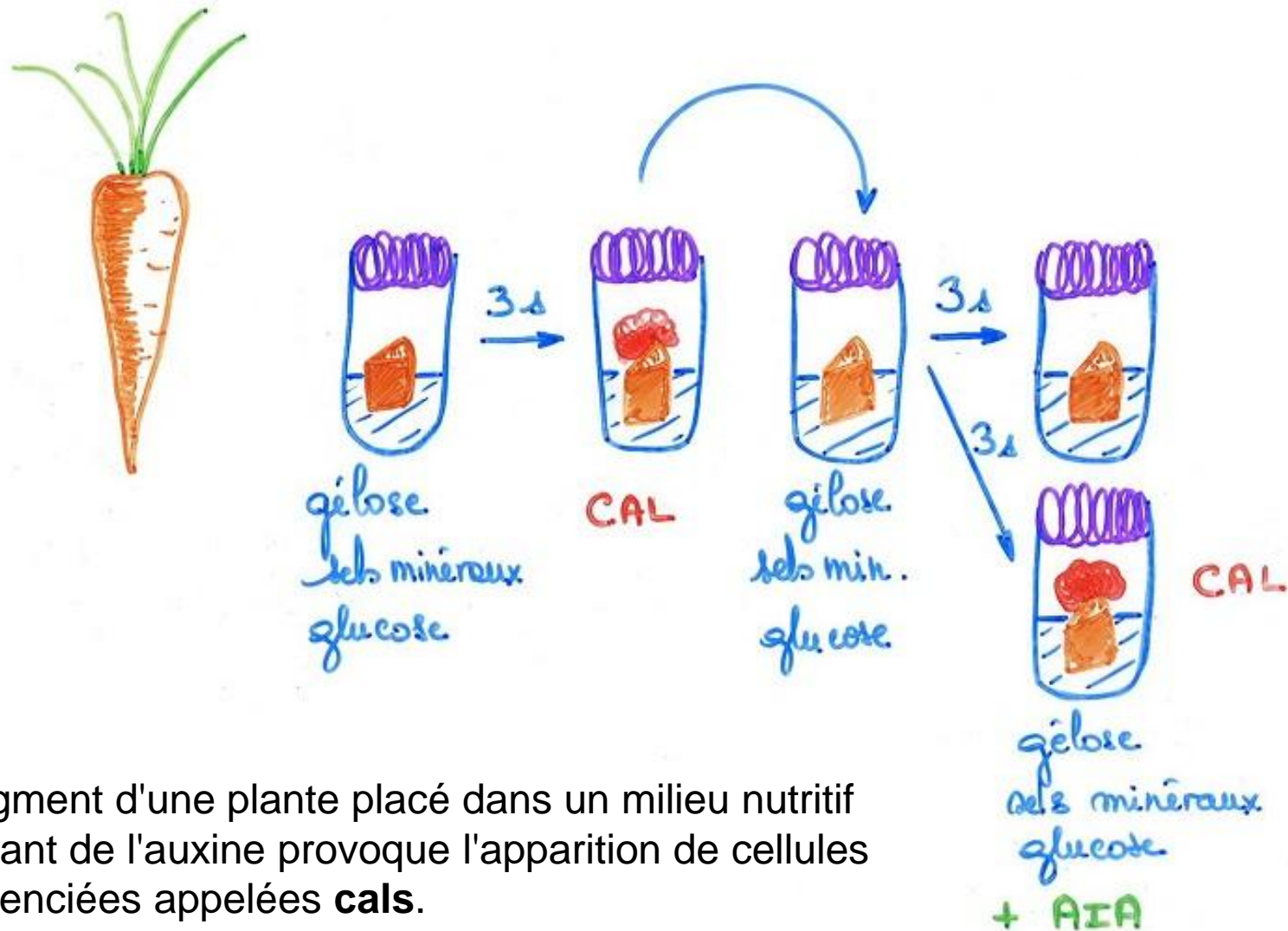
4.2.1. Action cambioogène

4.2.2. Auxines et culture de tissus

4.2.3. Développement du péricarpe des fruits

4.2.4. Abscission des feuilles et des fruits

Expérience de GAUTHERET



Un fragment d'une plante placé dans un milieu nutritif contenant de l'auxine provoque l'apparition de cellules indifférenciées appelées **cals**.

L'auxine stimule la division cellulaire.

Embryogénèse somatique

- hypocotyle + 2,4D => **apparition de cals.**
- cals cultivés ensuite sur un milieu sans 2,4D
→ certains cals forment un **embryon sans qu'il n'y ait eu fécondation = embryon somatique**
- application pour les laboratoires industriels
→ sélection de nouvelles variétés

4.2. Action sur la prolifération cellulaire

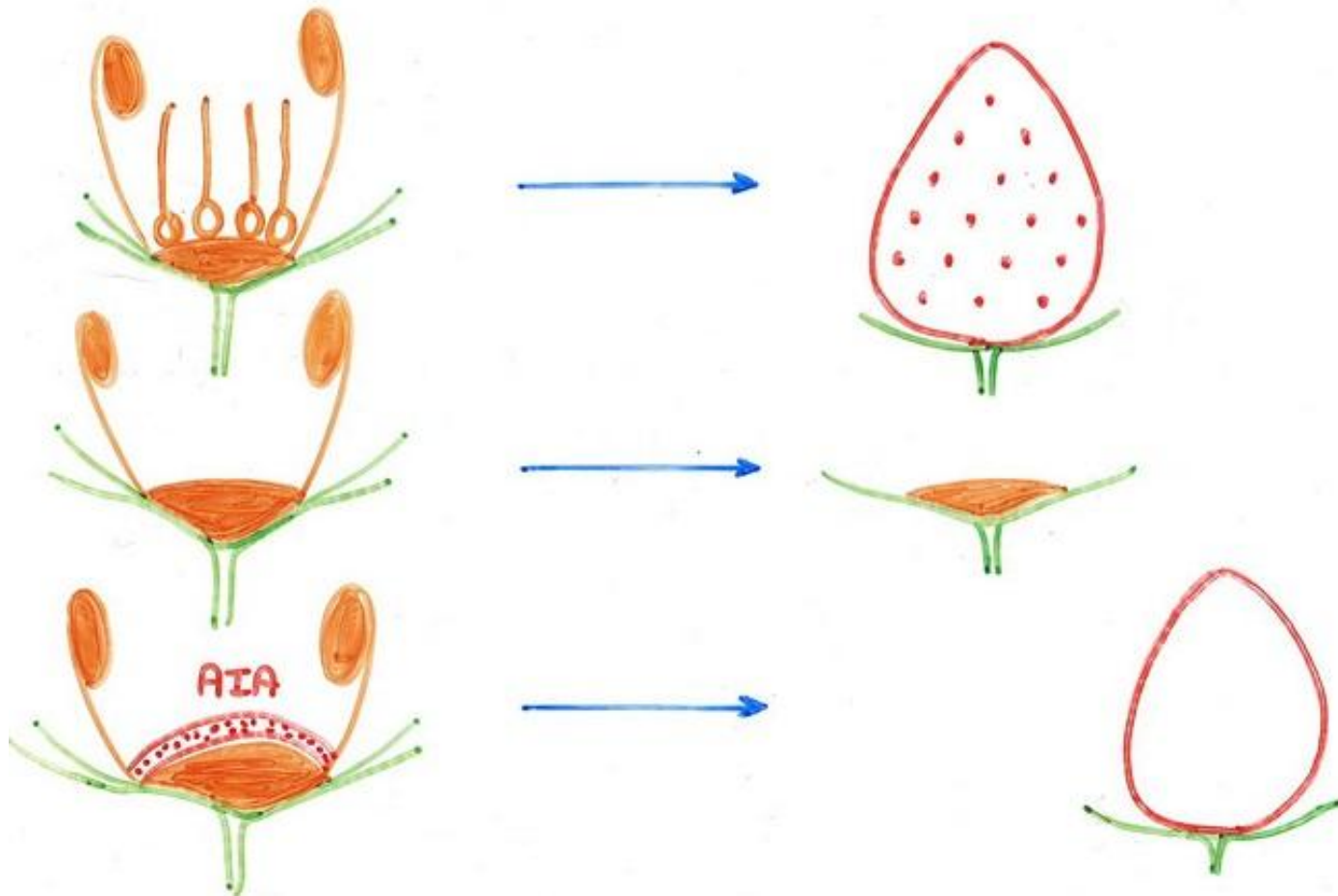
4.2.1. Action cambioogène

4.2.2. Auxines et culture de tissus

4.2.3. Développement du péricarpe des fruits

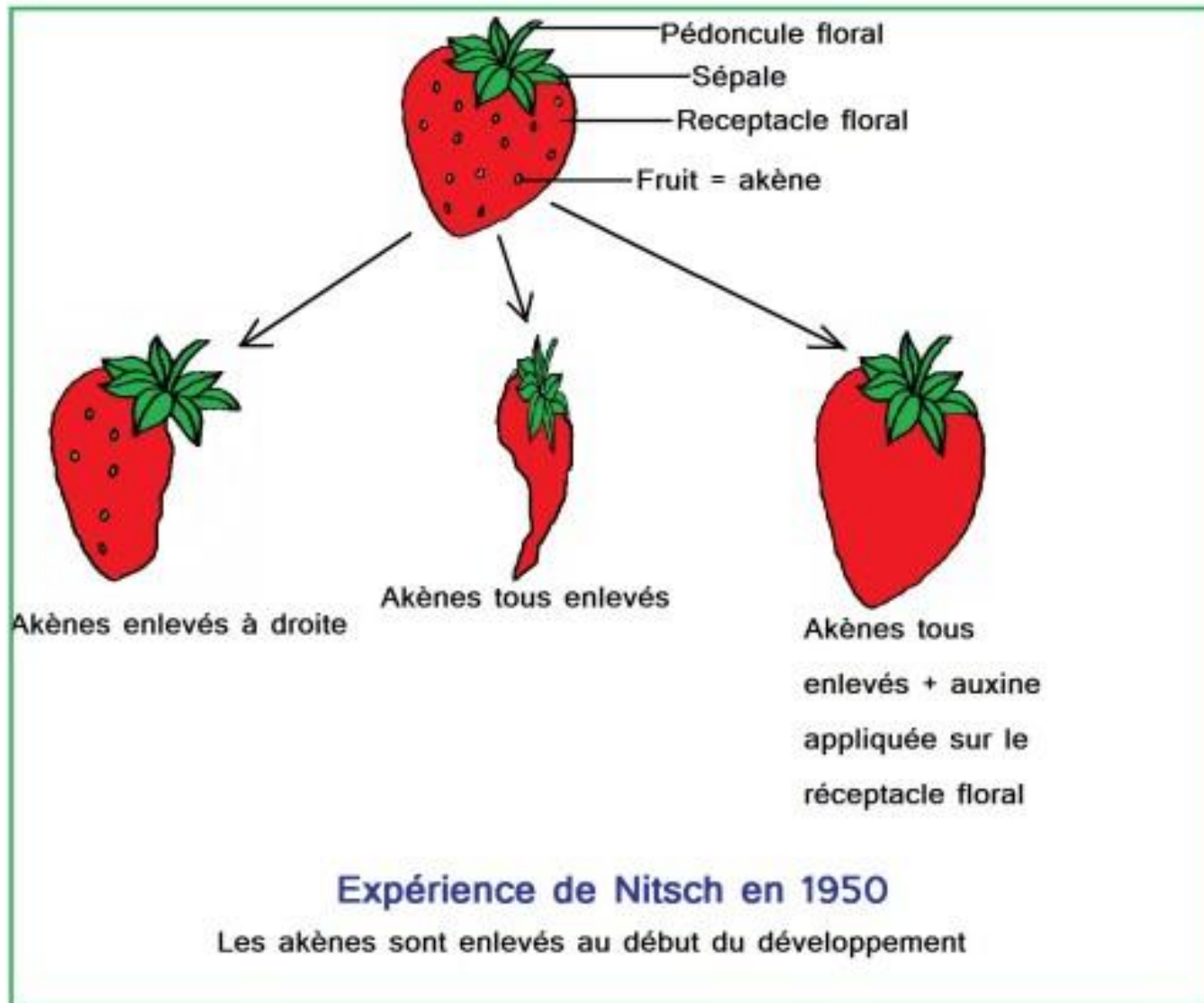
4.2.4. Abscission des feuilles et des fruits

Développement du péricarpe des fruits



Expérience de NITSCH

Développement du péricarpe des fruits



4.2. Action sur la prolifération cellulaire

4.2.1. Action cambioogène

4.2.2. Auxines et culture de tissus

4.2.3. Développement du péricarpe des fruits

4.2.4. Abscission des feuilles et des fruits

Abscission des feuilles et des fruits

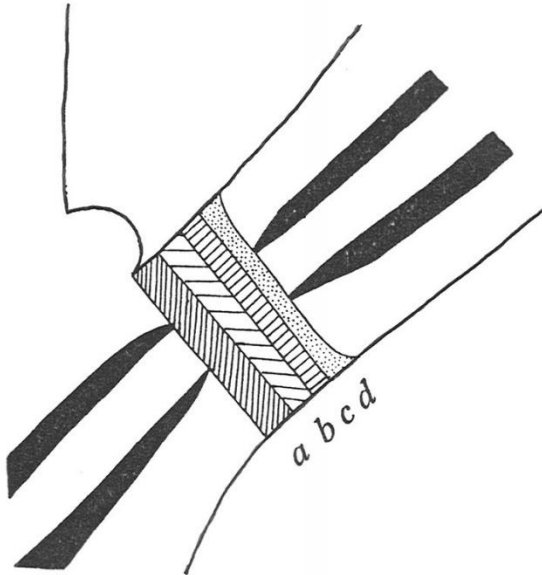


Schéma de la différenciation cellulaire qui prépare la chute des feuilles. a = zone subéroligneuse pétioleuse. b = zone de séparation proprement dite (membranes ou cellules en voie de gélification rapide). c = zone de protection primaire. d = zone de protection péridermique de la tige (d'après PILET).

4.3. Action sur la différenciation

4.3.1. Action sur l'histogénèse

4.3.2. Action sur l'organogénèse

4.3.2.1. Action sur la caulogénèse

4.3.2.2. Action sur la rhizogénèse

4.4. Résumé des principaux effets de l'auxine

4.3. Action sur la différenciation

4.3.1. Action sur l'histogénèse

4.3.2. Action sur l'organogénèse

4.3.2.1. Action sur la caulogénèse

4.3.2.2. Action sur la rhizogénèse

4.4. Résumé des principaux effets de l'auxine

PRINCIPAUX EFFETS DE L'AUXINE..

Concentrations g ml ⁻¹ μM	Faibles 10 ⁻⁸ 0,05	Moyennes 10 ⁻⁷ -10 ⁻⁶ 0,5-5	Fortes 10 ⁻⁵ 50
<i>Élongation</i>			
— coléoptile, tige, pétiole, limbe (Monocotylédones).....	+	+++	+
— limbe (sauf Monocotylédones)	—	—	— — —
— racine	+	—	— — —
<i>Prolifération</i>			
— cambiums, fruits	+	+++	—
— zone d'abscission	—	—	— — —
<i>Différenciation</i>			
— histogénèse	+	+++	—
— bourgeons	+	—	— — —
— rhizogénèse	0	++	+++

4.3. Action sur la différenciation

4.3.1. Action sur l'histogénèse

4.3.2. Action sur l'organogénèse

4.3.2.1. Action sur la caulogénèse

4.3.2.2. Action sur la rhizogénèse

4.4. Résumé des principaux effets de l'auxine

PRINCIPAUX EFFETS DE L'AUXINE..

Concentrations g ml ⁻¹ μM	Faibles 10 ⁻⁸ 0,05	Moyennes 10 ⁻⁷ -10 ⁻⁶ 0,5-5	Fortes 10 ⁻⁵ 50
<i>Élongation</i>			
— coléoptile, tige, pétiole, limbe (Monocotylédones).....	+	+++	+
— limbe (sauf Monocotylédones)	—	—	— — —
— racine	+	—	— — —
<i>Prolifération</i>			
— cambiums, fruits	+	+++	—
— zone d'abscission	—	—	— — —
<i>Différenciation</i>			
— histogénèse	+	+++	—
— bourgeons	+	—	— — —
— rhizogénèse	0	++	+++

4.3. Action sur la différenciation

4.3.1. Action sur l'histogénèse

4.3.2. Action sur l'organogénèse

4.3.2.1. Action sur la caulogénèse

4.3.2.2. Action sur la rhizogénèse

4.4. Résumé des principaux effets de l'auxine

PRINCIPAUX EFFETS DE L'AUXINE..

Concentrations g ml ⁻¹ μM	Faibles 10 ⁻⁸ 0,05	Moyennes 10 ⁻⁷ -10 ⁻⁶ 0,5-5	Fortes 10 ⁻⁵ 50
<i>Élongation</i>			
— coléoptile, tige, pétiole, limbe (Monocotylédones).....	+	+++	+
— limbe (sauf Monocotylédones)	—	—	— — —
— racine	+	—	— — —
<i>Prolifération</i>			
— cambiums, fruits	+	+++	—
— zone d'abscission	—	—	— — —
<i>Différenciation</i>			
— histogénèse	+	+++	—
— bourgeons	+	—	— — —
— rhizogénèse	0	++	+++

5. MODE D'ACTION DES AUXINES

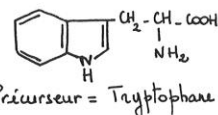
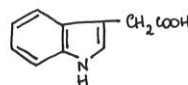
Propriétés auxiniques et règles structurales

- ⇒ Structure indolique pas indispensable
- ⇒ Un noyau non saturé avec double liaison adjacente à la chaîne latérale
- ⇒ Chaîne latérale carboxylée avec carboxyle hors du plan
- ⇒ Chaîne latérale avec nombre de C pair

Structure chimique des auxines

AUXINE = ACIDE INDOLE 3 ACETIQUE (PM = 175)

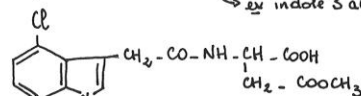
- l'AIA libre



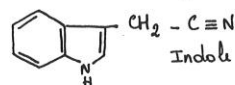
- l'AIA lié

$R' - CH_2 - CO - R$
 $R' =$ Noyau indole

$R = OMe$
 $R = O$ glucose
 \rightarrow indole 3 acétyl glucose

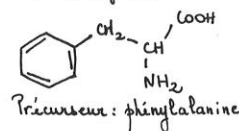
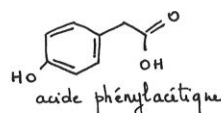


Cl - AIA - acétylaspartate \rightarrow Légumineuses

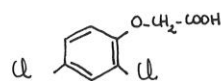


Indole acétonitrile \rightarrow Crucifères

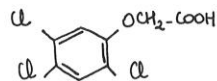
- l'AIA non indolique



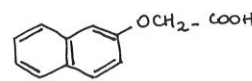
- Auxino-mimétiques



Acide 2-4 dichlorophénoxy-acétique (2-4 D)

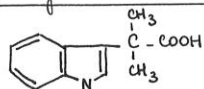


Acide 2-4-5 trichlorophénoxy-acétique (2-4-5 T)

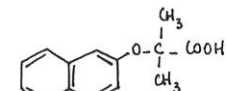


Acide naphthoxyacétique
NAA

- Antagonistes de l'AIA

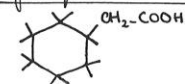


acide indole isobutyrate

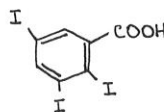


ac. naphthoxy isobutyrique

- Synergistes de l'AIA



ac. cyclohexane acétique



ac. tri iodo benzoïque
TIBA

Liaison auxine récepteur

- **covalente** en 2 points d'attache : le carboxyle et un H en position ortho
- **ionique** : charge – sur le carboxyle et charge + à 0,55 nm du carboxyle
- **type « enzyme substrat »**
Les récepteurs sont des **protéines**
car les seules à pouvoir répondre
aux **exigences de spécificité**.

La liaison active la protéine => changement
conformationnel => réponse physiologique

Les sites de reconnaissance des récepteurs

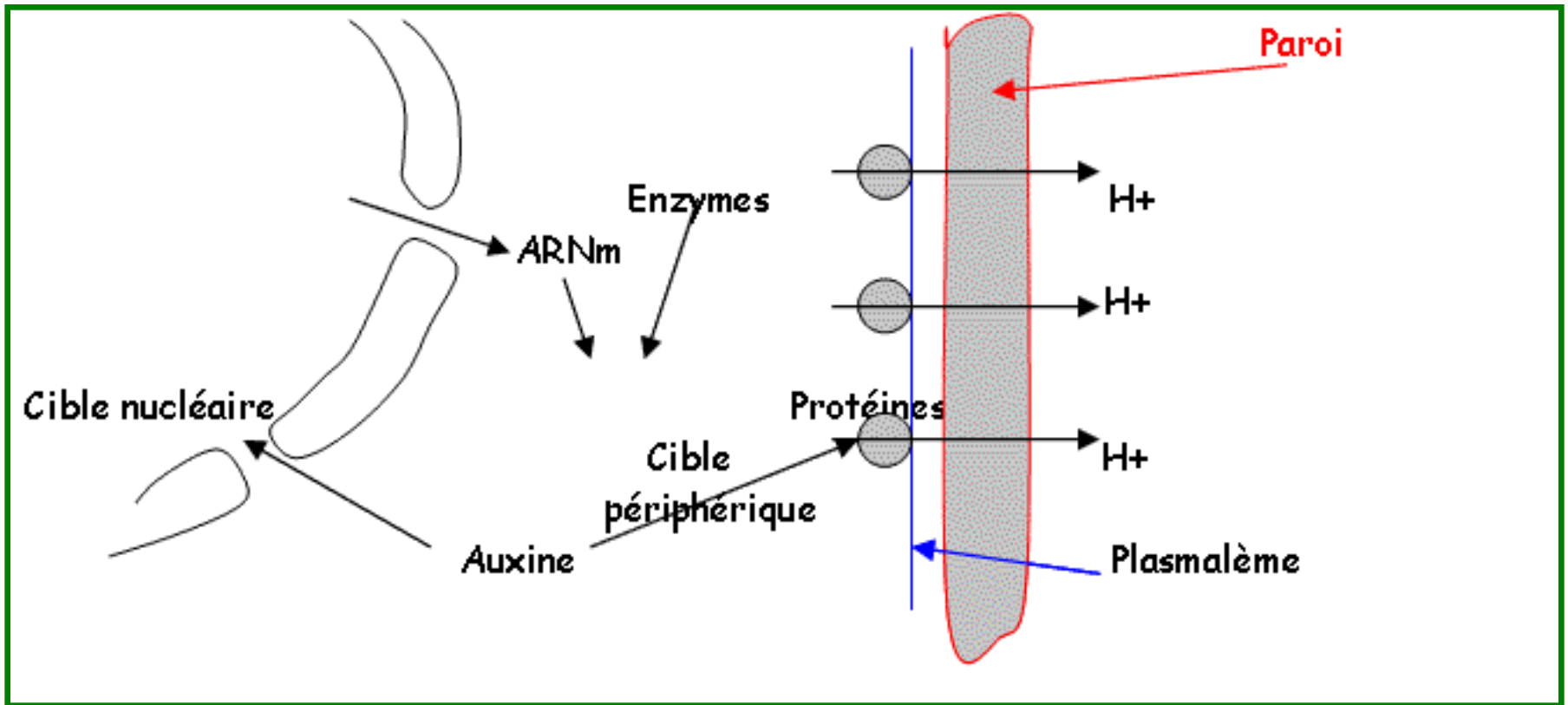
4 zones de reconnaissance :

- ⇒ 2 régions électropositives reconnaissant le carboxyle
- ⇒ 1 région contractant une liaison H avec l'atome N (ou son équivalent)
- ⇒ 1 région hydrophobe interagissant avec le noyau benzénique

Les récepteurs des auxines

1. Les ATP-ases membranaires
2. Les protéines « libres »

Auxine et élongation



d'après Biodeug

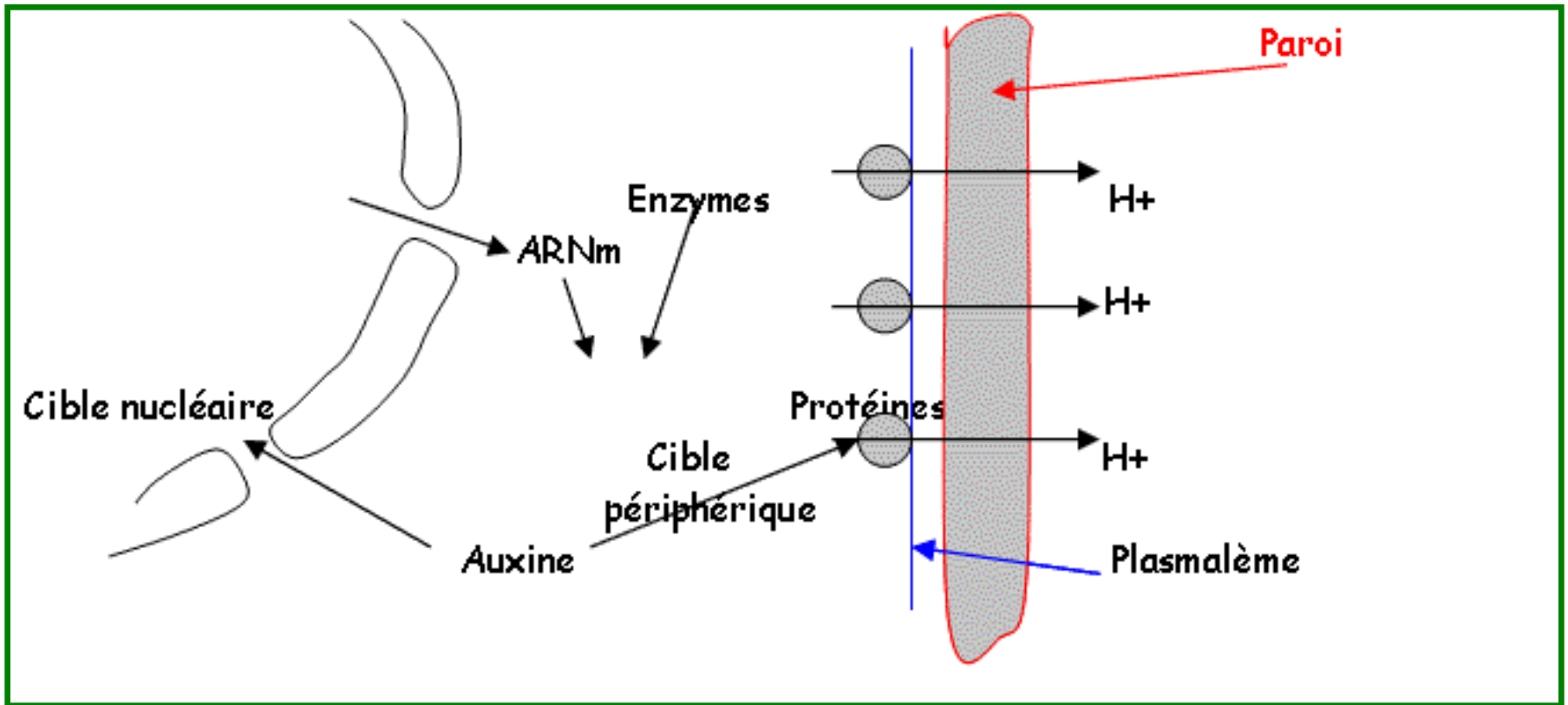
Auxine et élongation

1. Accroissement des propriétés d'extensibilité de la paroi (plasticité et élasticité)
2. Entrée d'eau liée à la pression de turgescence
3. Extension de la paroi
4. Intercalation de nouveaux éléments de construction de la paroi

Les récepteurs des auxines

1. Les ATP-ases membranaires
2. Les protéines « libres »

Auxine et élongation



d'après Biodeug

Les protéines « libres »

- Caractérisation des APB
= Auxin Bindind Proteins
- Dimère de 44 kd = 2 sous unités de 22 kd
- majoritairement présentes sur le réticulum endoplasmique (très peu au niveau du plasmalemmme)

L'auxine et le contrôle de l'expression des gènes

- AIA => **augmentation de l'expression** d'un certain nombre de gènes
en général : **surexpression**
- Mécanisme du contrôle de la transcription par l'AIA plus ou moins identifié

L'auxine et le contrôle de l'expression des gènes

- Tous les promoteurs de gènes sensibles à l'AIA ont des séquences communes

auxine responsive elements = AUX-RE

- Identification de facteurs de transcription capables de reconnaître les séquences AUX-RE

auxine response factor = ARF1

23 gènes ARF1 identifiés chez *Arabidopsis thaliana*

L'auxine et le contrôle de l'expression des gènes

- Autre classe de gènes identifiée : gènes de réponse rapide à l'AIA comportant dans leur séquence des similitudes avec celle des ARF1

AUX/AIA

25 gènes AUX/AIA identifiés chez *Arabidopsis thaliana*

L'auxine et le contrôle de l'expression des gènes

- **Interaction AUX/AIA et ARF1** en raison de leur similitude (identité des domaines protéiques III et IV)

- Système complexe :

Le complexe AUX/AIA / ARF1

stimule ou **inhibe** la transcription

L'auxine et le contrôle de l'expression des gènes

Le complexe AUX/AIA / ARF1

serait un système de **rétro-contrôle** par l'AIA

des phénomènes induits par l'AIA

La **régulation** concerne :

- les **mécanismes**
- l'**intensité** de ses mécanismes

=> empêcher que « la machine s'emballe »