

TOUS  
DROITS  
RESERV

### III – Expansion & Morphogenèse

TOUS  
DROITS  
RESERV



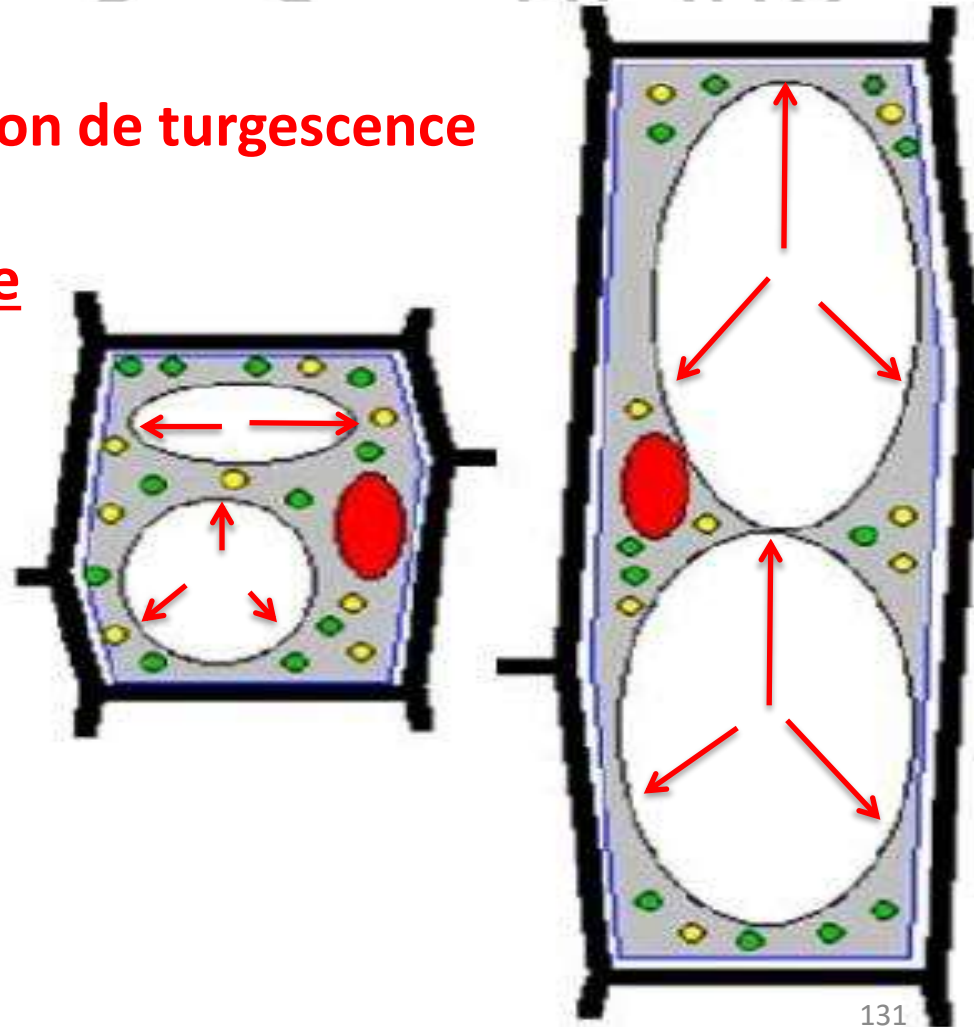
# 1 – Expansion Cellulaire

1 – 1 Importance de la paroi

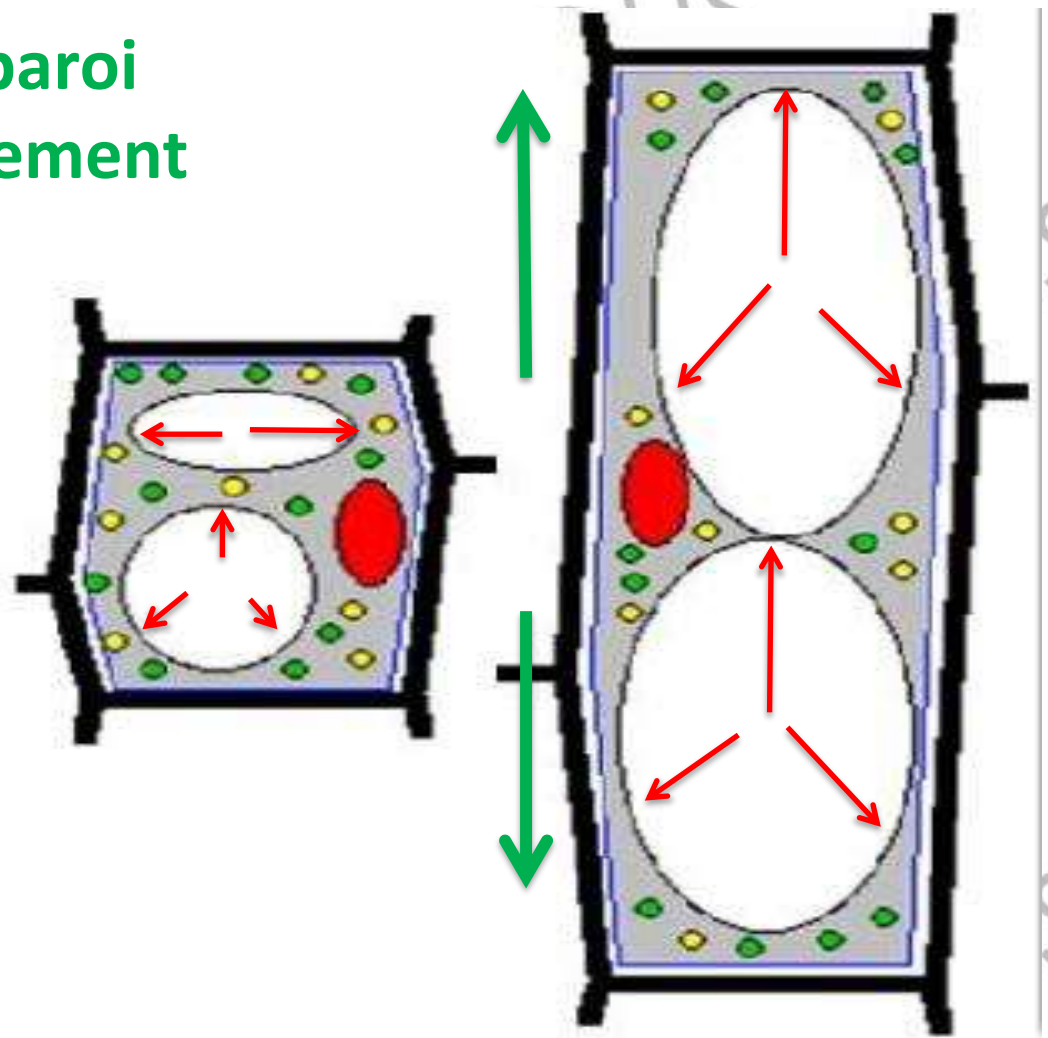
2 composantes:

1 → Augmentation de la pression de turgescence

moteur de l'expansion cellulaire



**2 → Relâchement de la paroi  
pour permettre le changement  
de forme de la cellule**

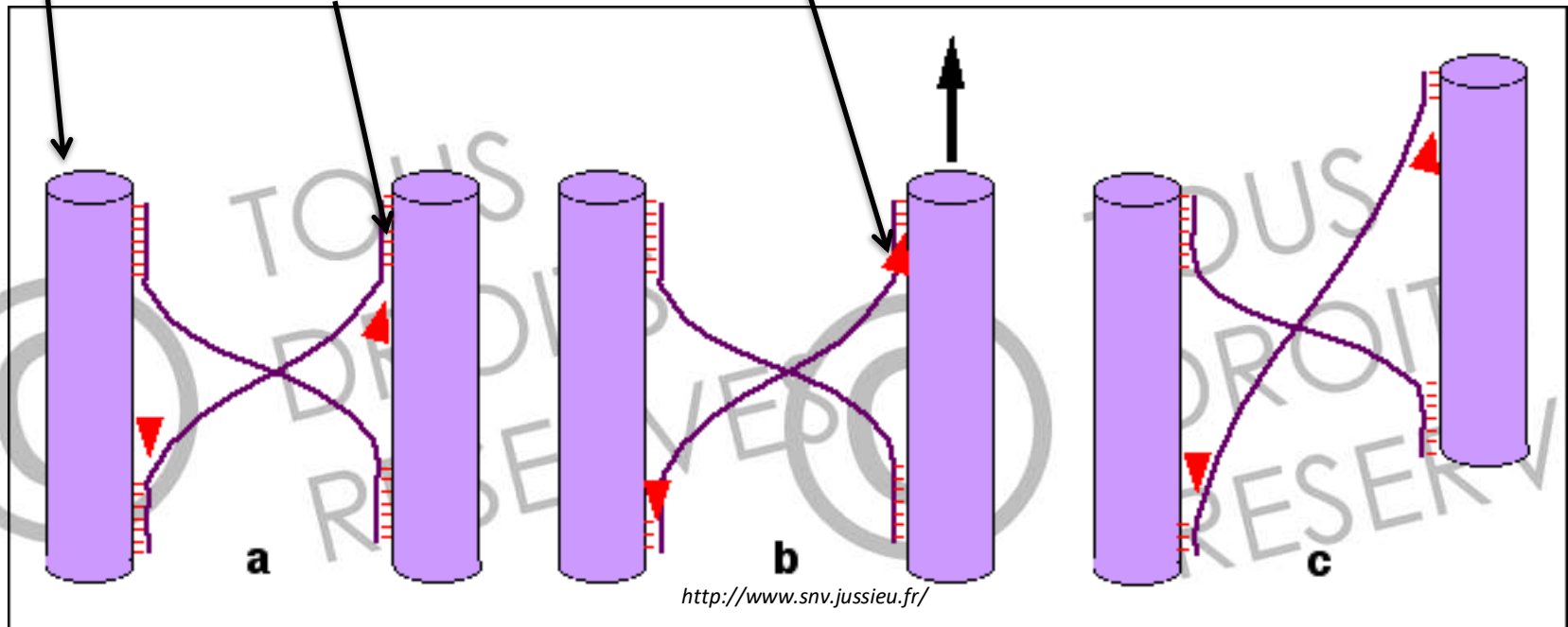


# Présence de protéines pariétales qui permettent la déformation des parois = **relâchement pariétal**

Ex: les **expansines** cassent les liaisons entre cellulose et hémicelluloses

Microfibrilles de cellulose  
= Hémicellulose  
xyloglucanes

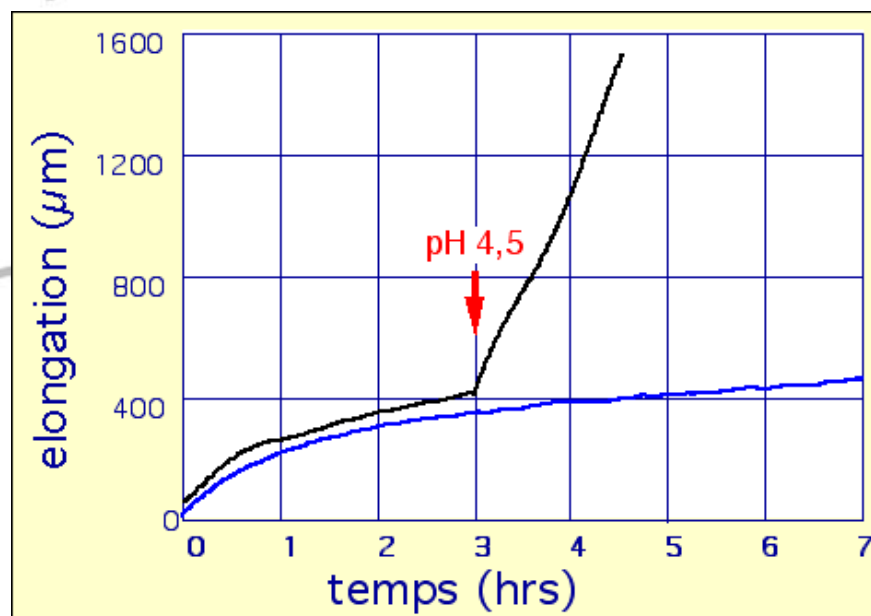
Expansines



## Quels sont les facteurs de relâchement de la paroi?

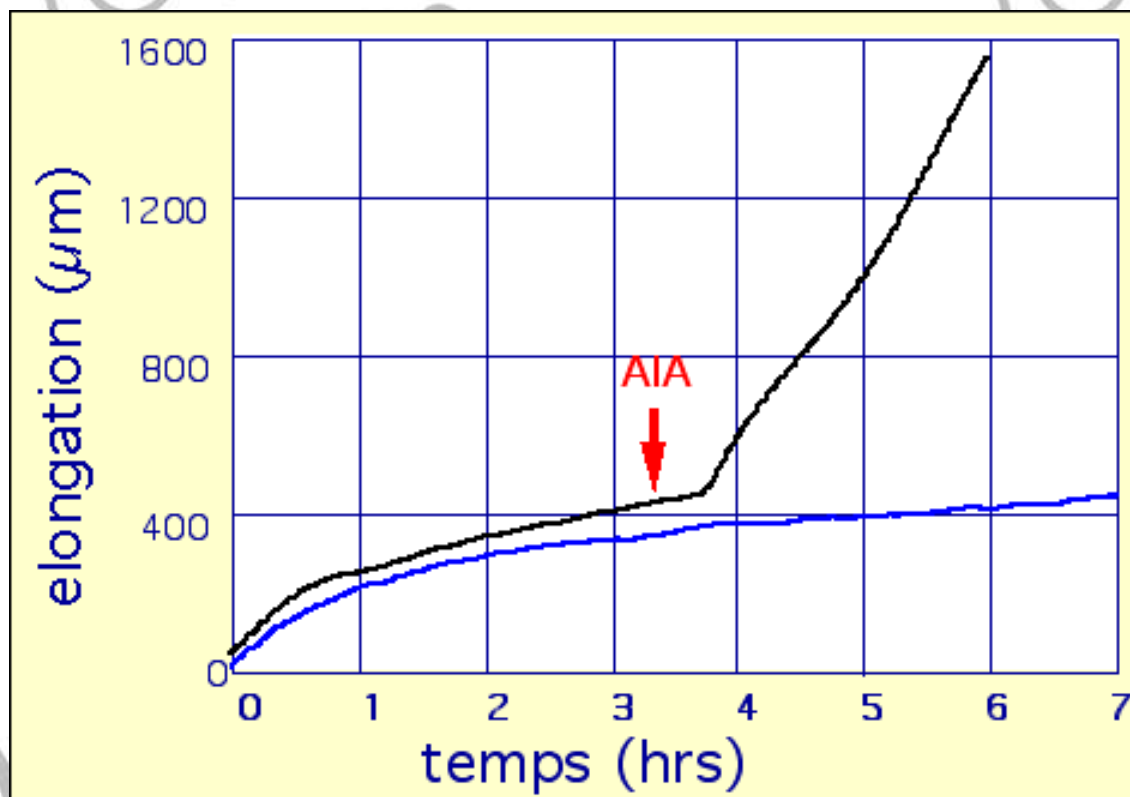
### 3 constats:

1. Une acidification de la paroi favorise le relâchement pariétal et donc l'élongation



<http://www.snv.jussieu.fr/>

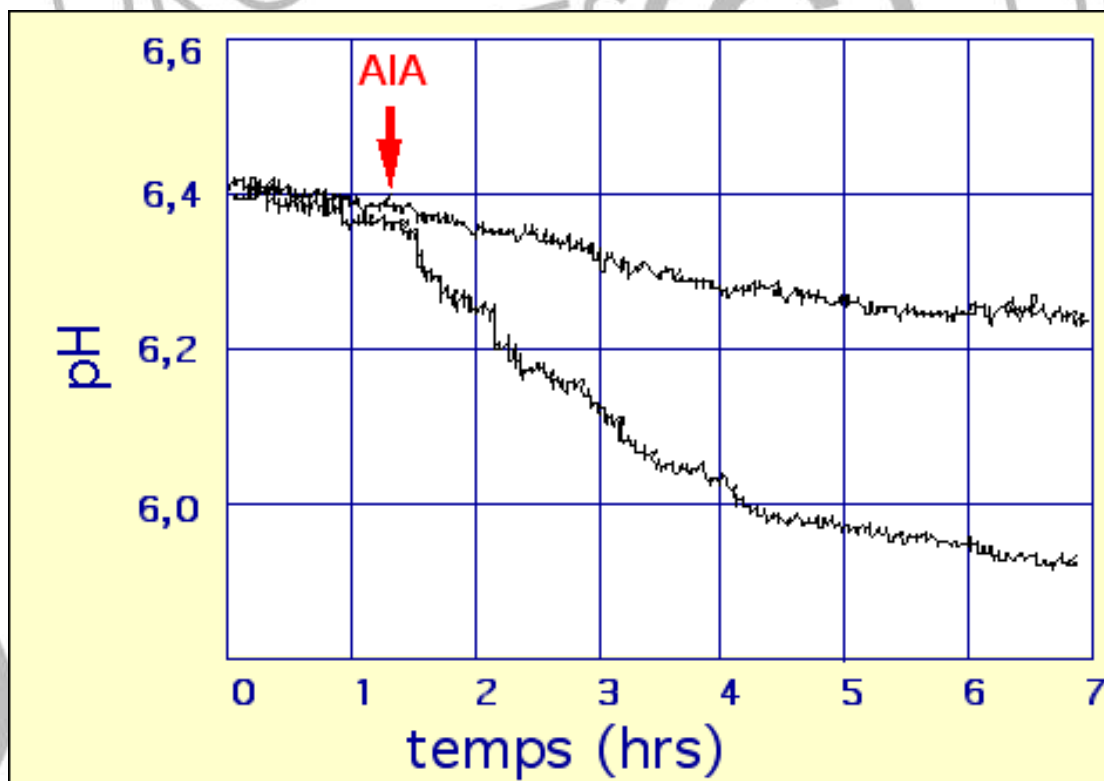
## 2. L'auxine\* stimule l'élongation cellulaire



<http://www.snv.jussieu.fr/>

\* Auxine = AIA= Acide-Indole-3-Acétique. (Phytohormone qui contrôle l'élongation cellulaire)

### 3. L'auxine favorise l'acidification pariétale

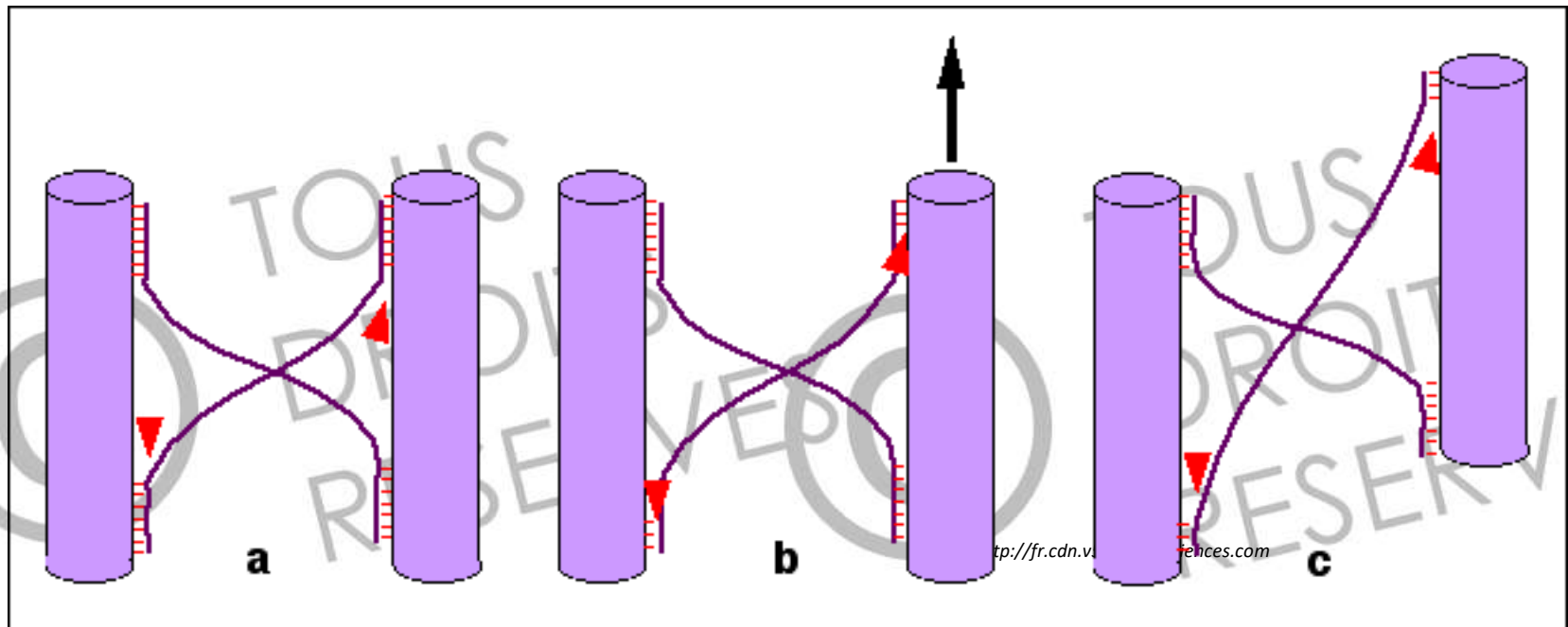
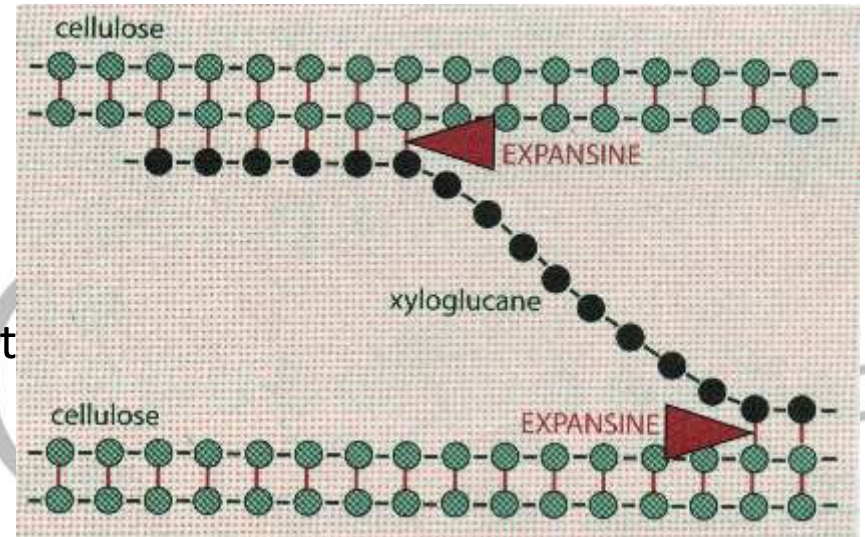


<http://www.snv.jussieu.fr/>

## Quel est le lien entre l'acidification de la paroi et l'expansion cellulaire?

= Rôle des expansines

La baisse de pH va provoquer un affaiblissement des liaisons hydrogènes et faciliter l'action des expansines



Déformation irréversible de la paroi



# Rôle des expansines

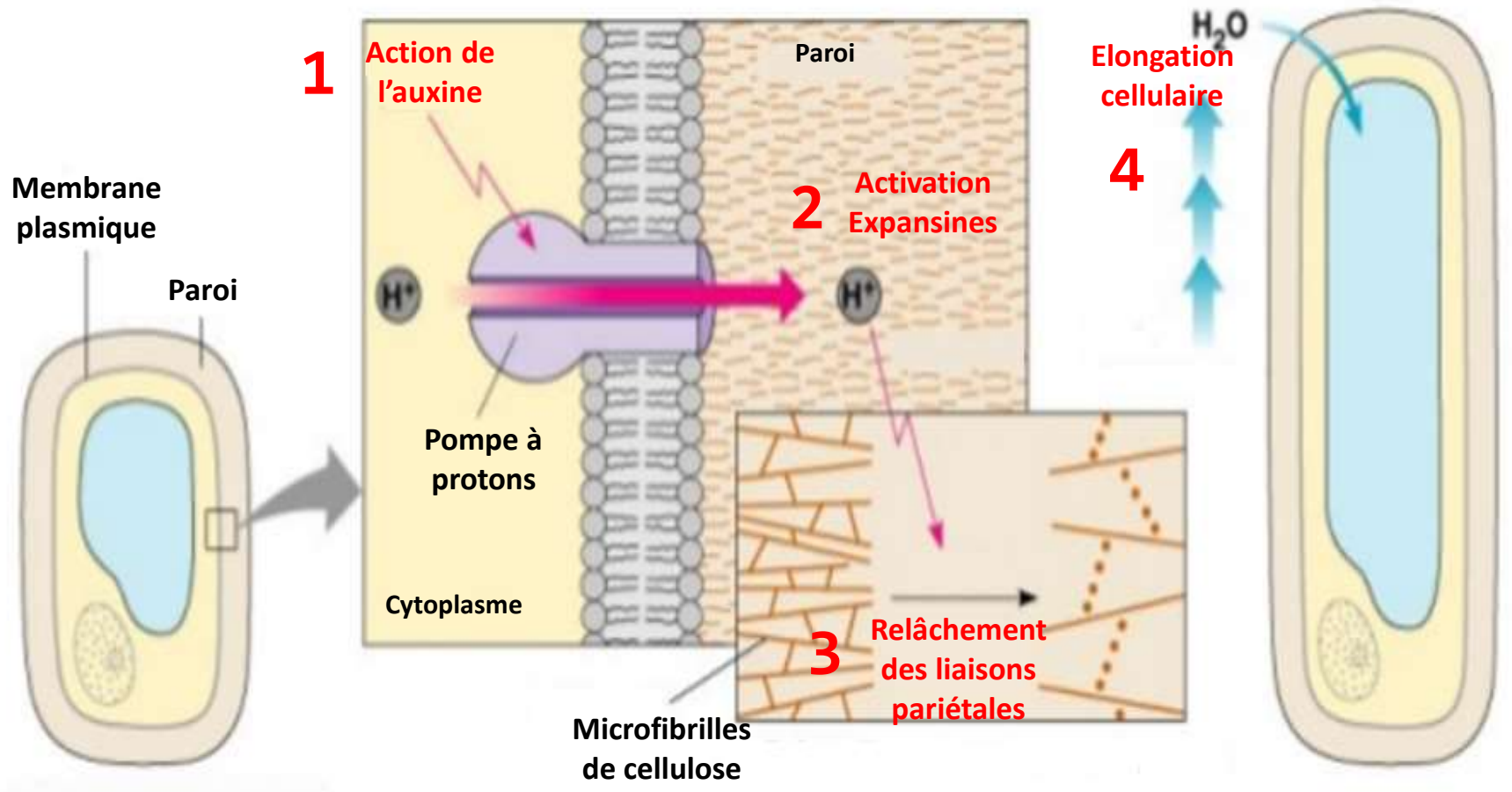
Exemple d'un mutant de perte de fonction chez *Arabidopsis thaliana*



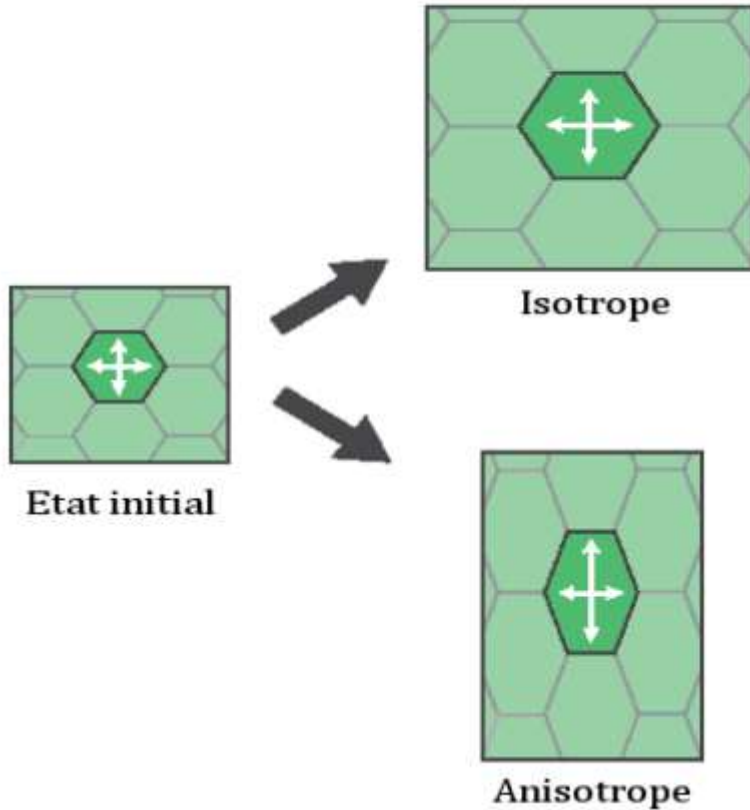
WT

*aik1*

➔ Théorie de la « croissance acide »



## 1 – 2 Différents types d'expansion cellulaire



**ISOTROPE** = Expansion cellulaire équivalente dans toutes les directions

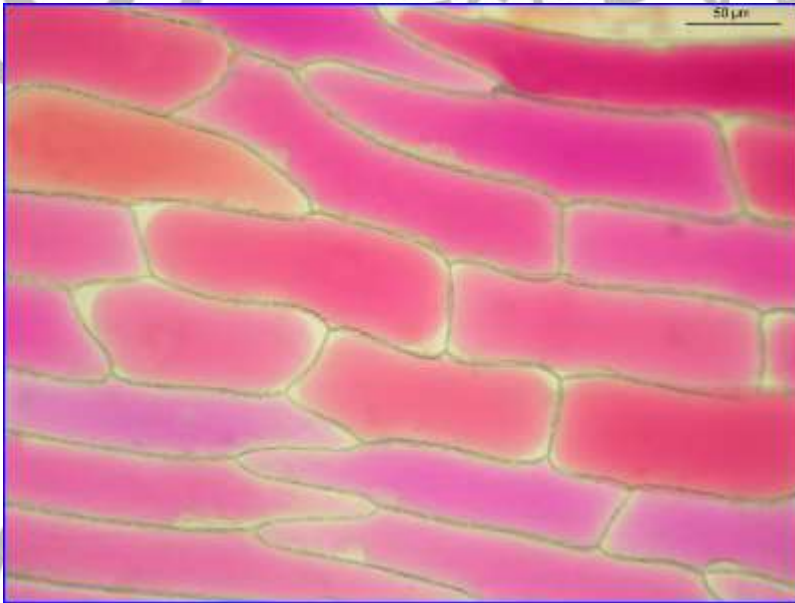
**Croissance non polarisée très rare pour les cellules végétales**

**ANISOTROPE** = Expansion cellulaire selon un axe de croissance privilégié

**Croissance polarisée**

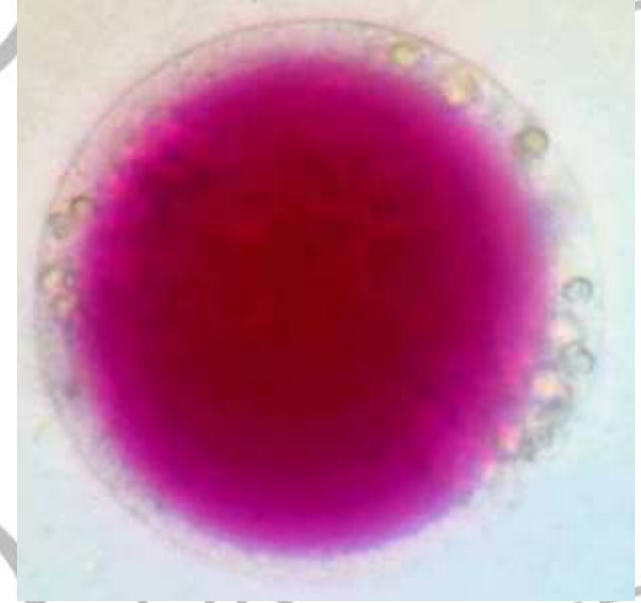
# 1-2-1 La paroi détermine la **forme** de chaque cellule et donc celle des organes

Une cellule sans paroi (= **protoplastes sphériques**)



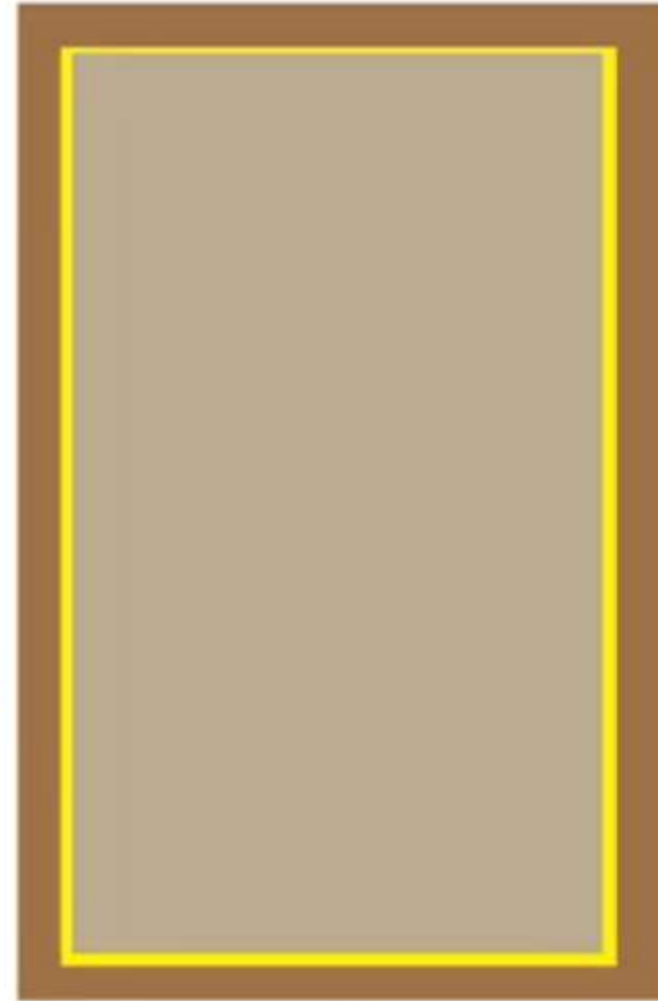
Cellules d'épiderme d'oignon rouge avec leur paroi

Cellulases  
→

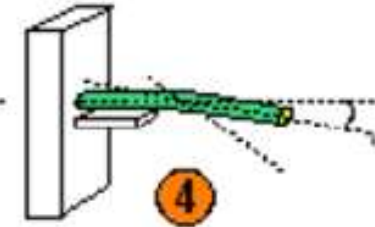
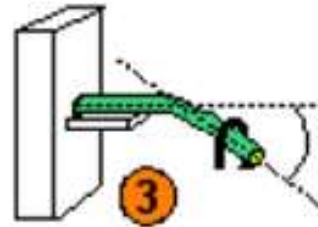
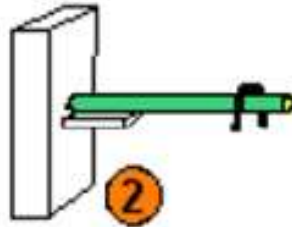
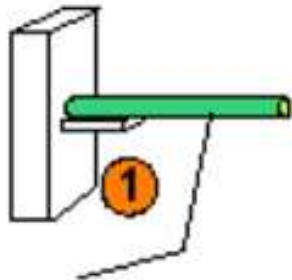


**Protoplaste** dépourvu de paroi

La forme des cellules dépend de différences locales de propriétés de **plasticité** et **d'élasticité de la paroi**.



La paroi est plastique



Coléoptile décapité  
Incubé dans l'eau

Application d'un poids  
(cavalier 220 mg)

Retrait du poids

Heyn, 1931



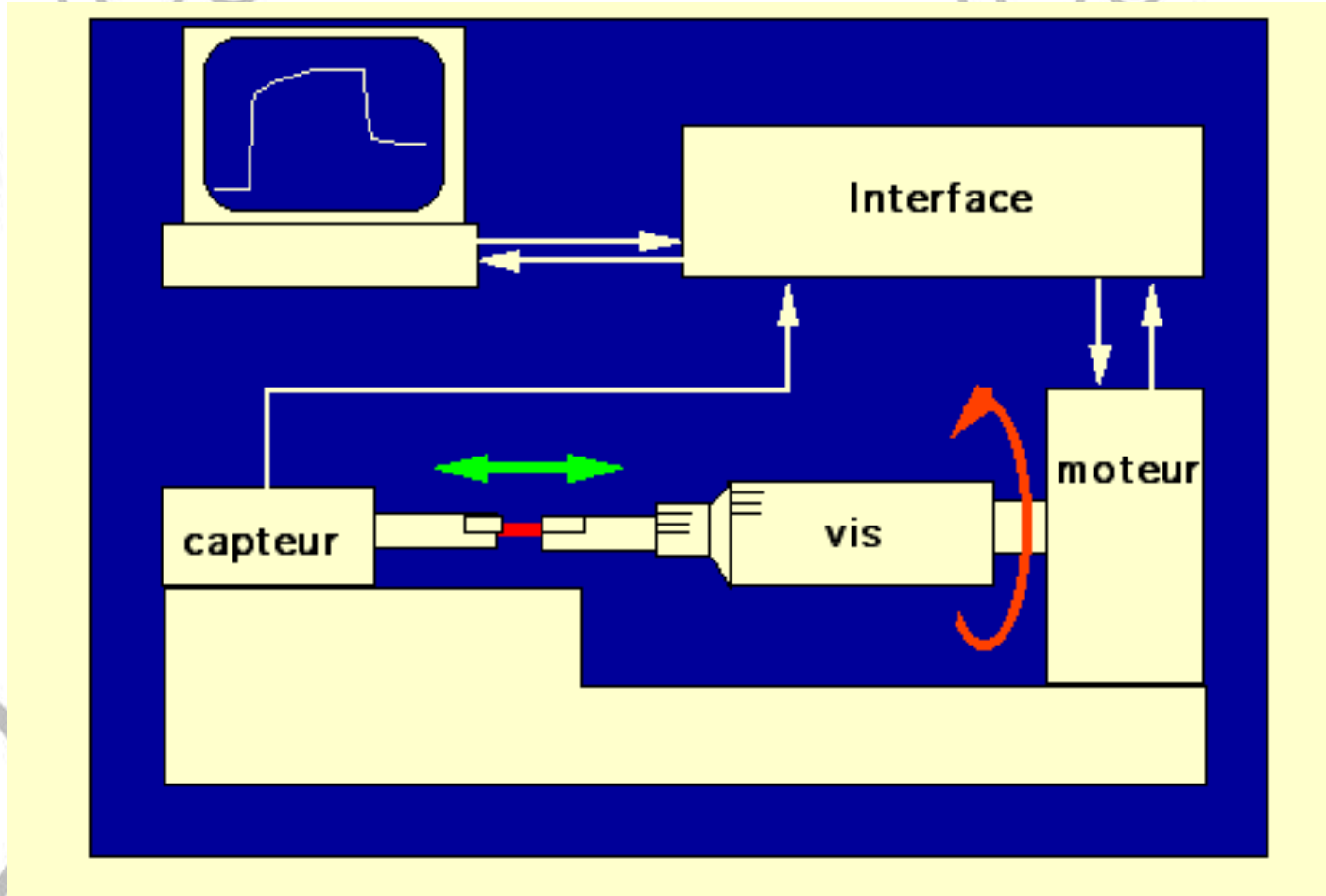
DROITS  
RESERVES



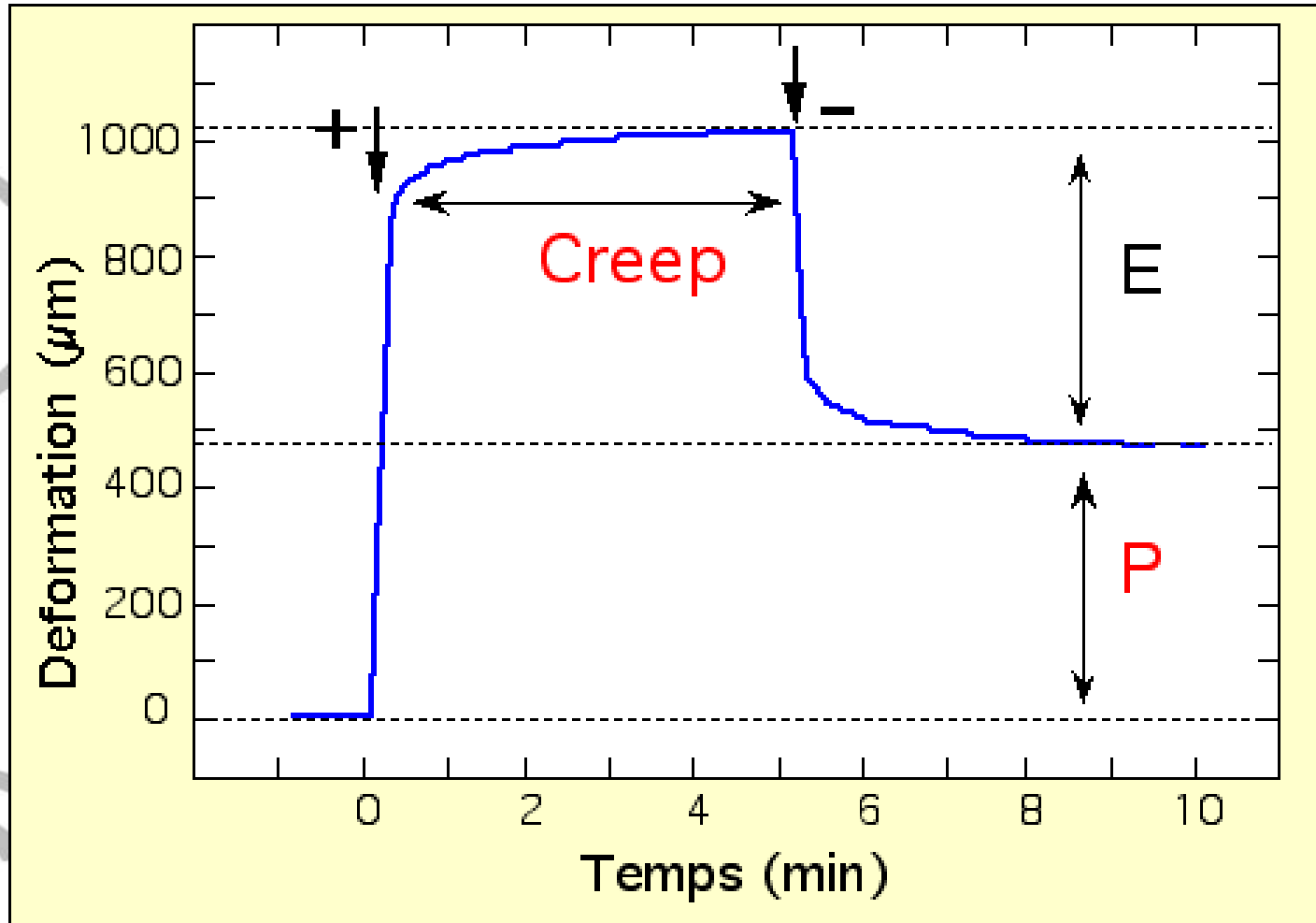
DROITS  
RESERVES

# Propriétés mécaniques de la paroi

Mesure avec un extensiomètre



L'échantillon placé entre 2 pinces peut ainsi être soumis à une tension connue et sa déformation enregistrée



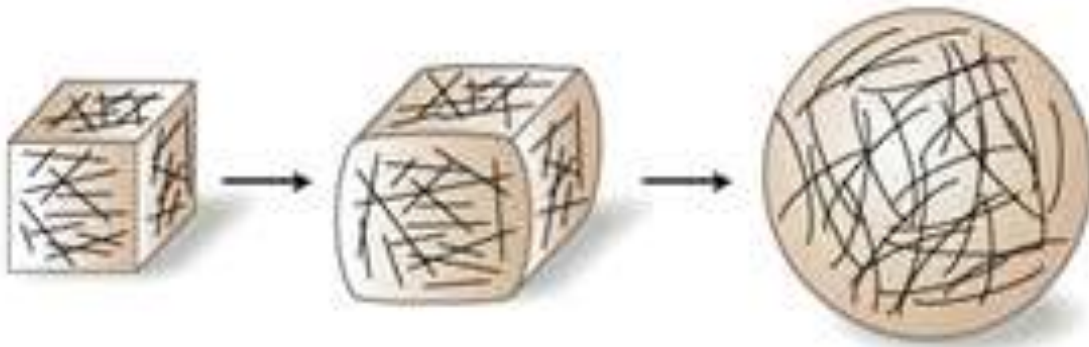
**Creep = phase de traction constante**  
**E = Déformation élastique (réversible)**  
**P = Déformation Plastique (irréversible)**



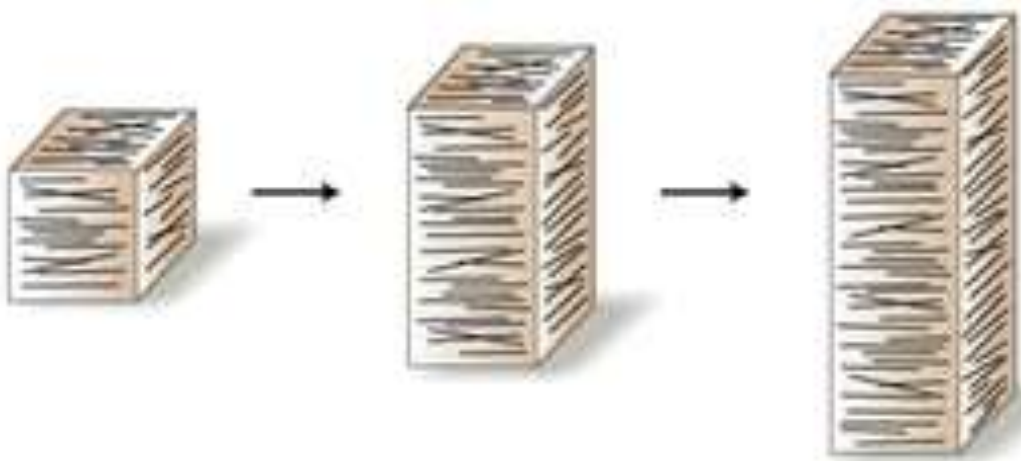


## Orientation de la croissance

Croissance non-polarisée: distribution aléatoire des micro-fibrilles de cellulose

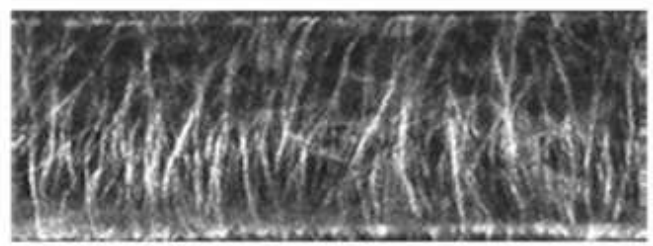
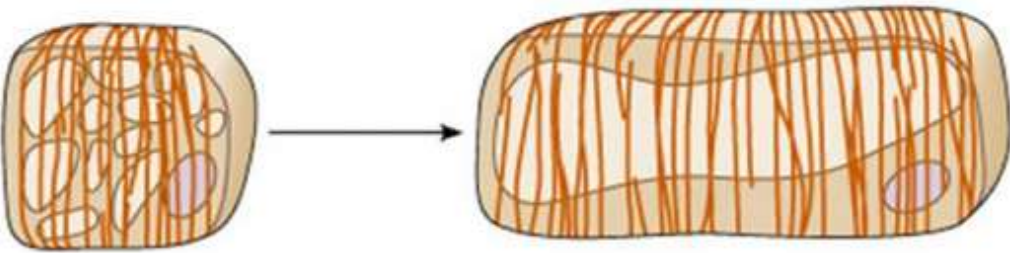
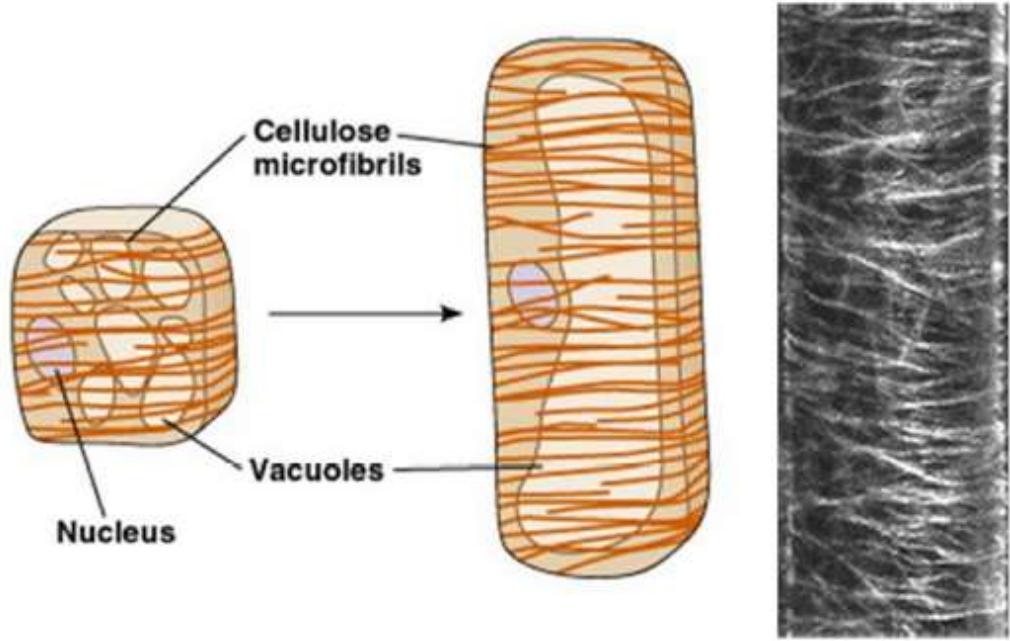


→ Croissance polarisée: **distribution perpendiculaire à l'axe d'élongation des micro-fibrilles de cellulose**



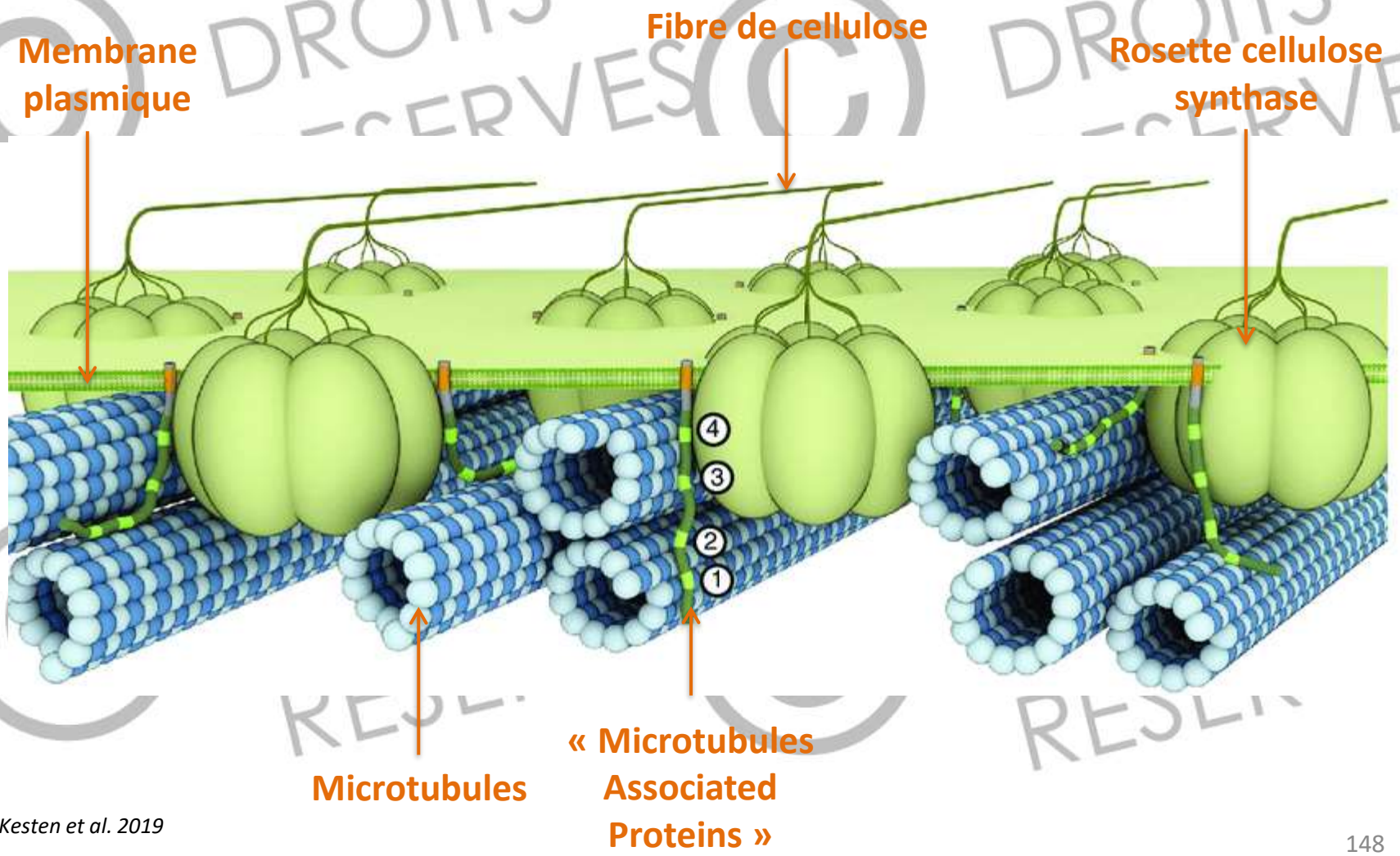
Rôle de soutien

# Croissance polarisée

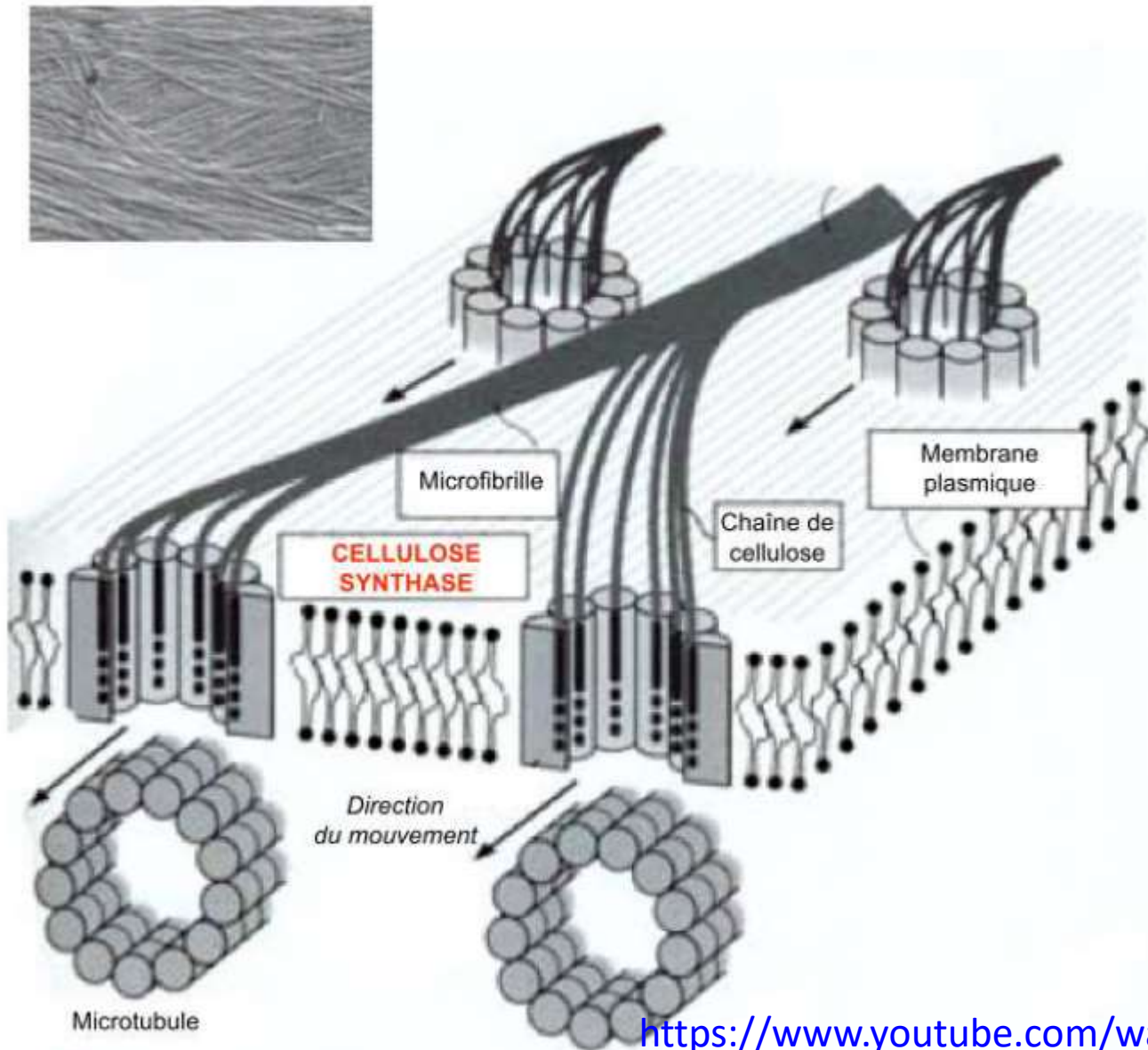


# Coordination paroi/cytosquelette lors de l'expansion cellulaire

Les Cellulose Synthases sont associées aux microtubules



# Les rosettes de cellulose synthases se déplacent et progressent à la surface des membranes plasmiques

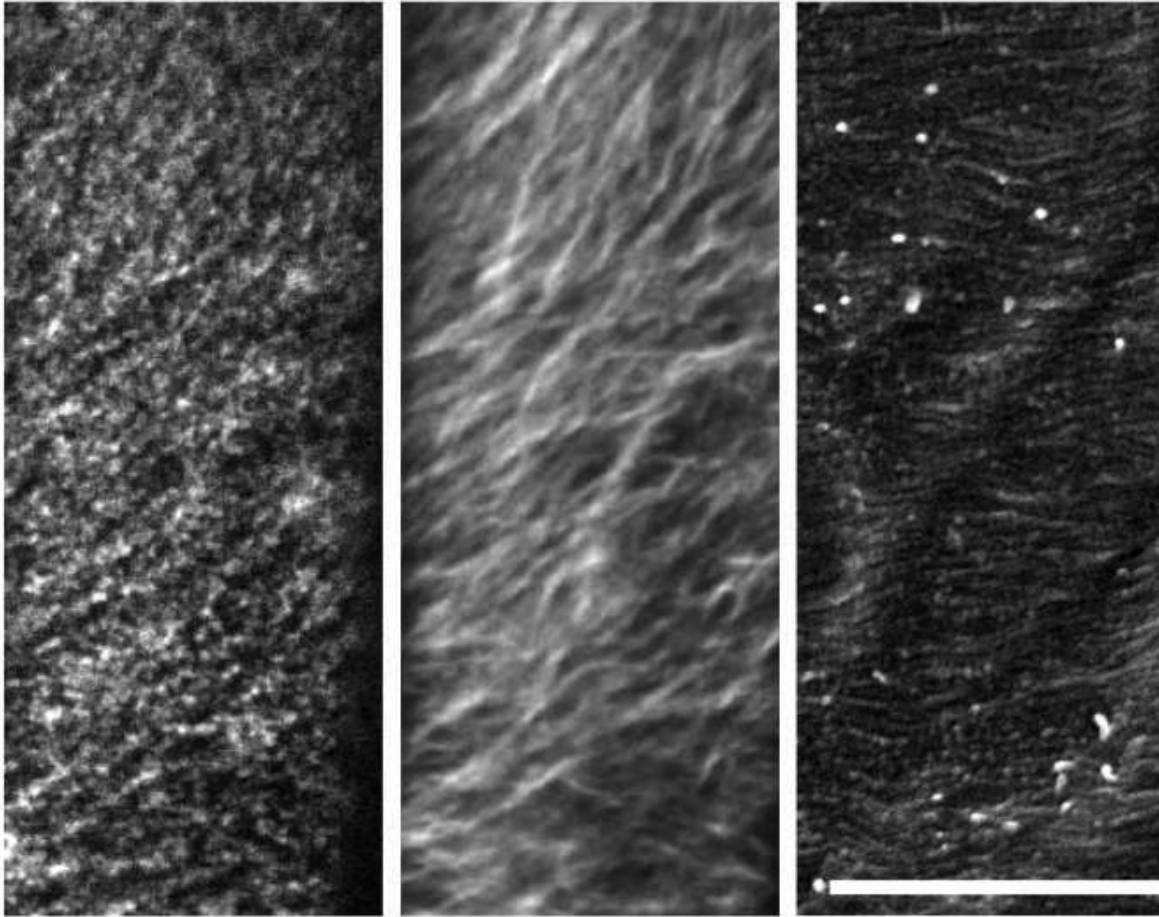


# Visualisation des CS

CS

Progression des CS et  
synthèse de la  
cellulose

Microfibrilles à  
travers la paroi

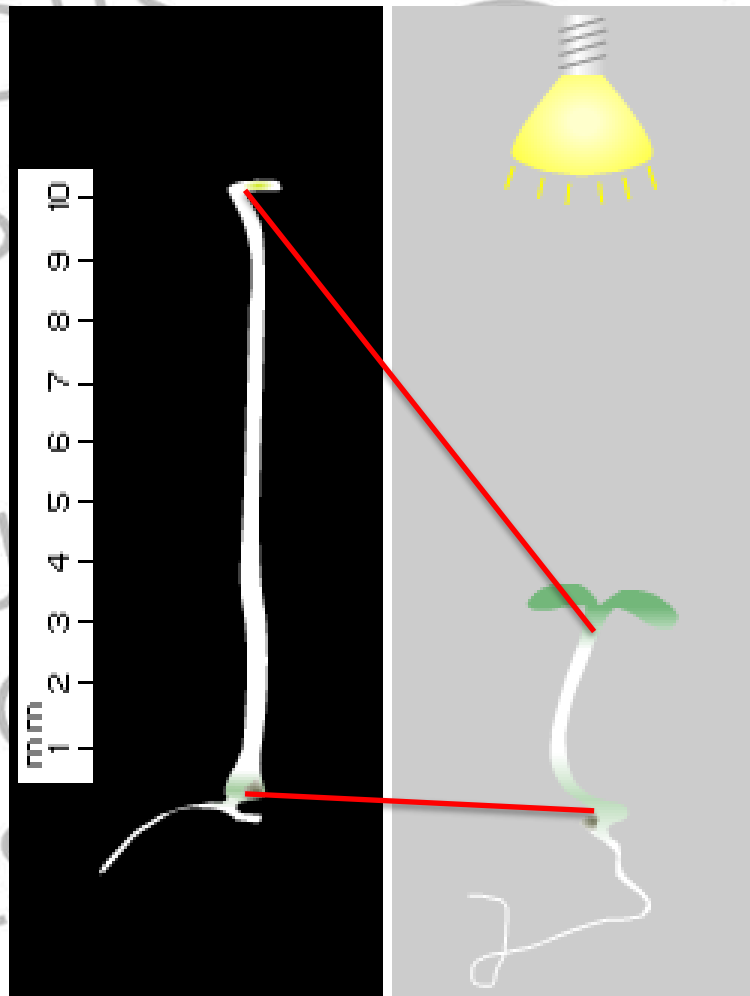


TOUS  
DROITS  
RESERVES

TOUS  
DROITS  
RESERVES

# Coordination paroi/cytosquelette

Modèle d'étude: croissance des plantes à l'obscurité

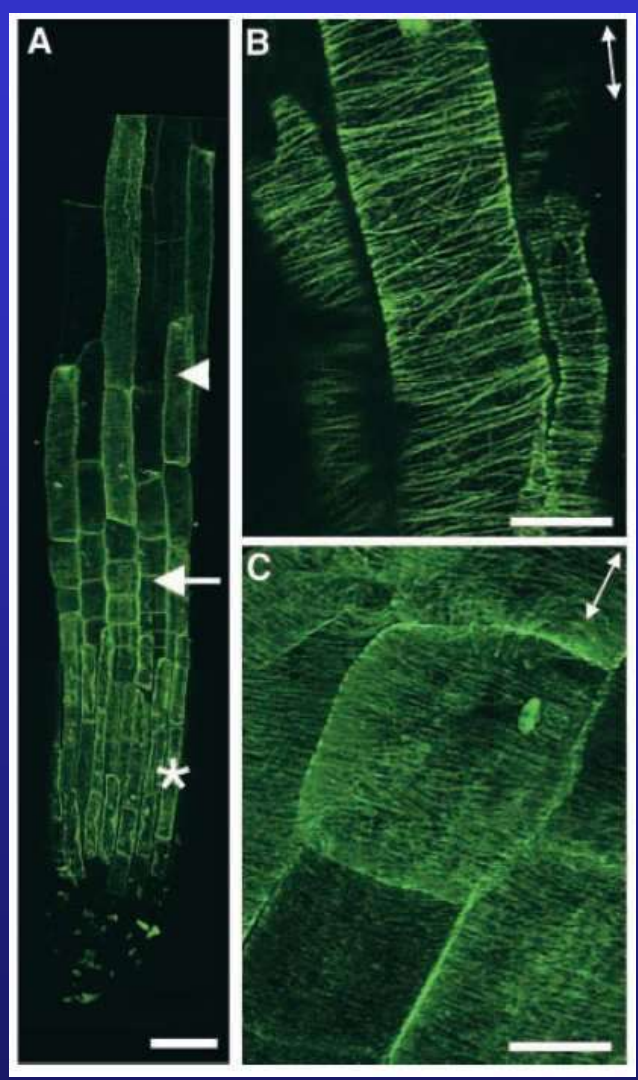


Plante étiolée =  
skotomorphogénèse

100% Elongation cellulaire

Plante dé-étiolée =  
Photomorphogénèse

L'orientation des microtubules guide le dépôt des microfibrilles de cellulose par les celluloses synthases

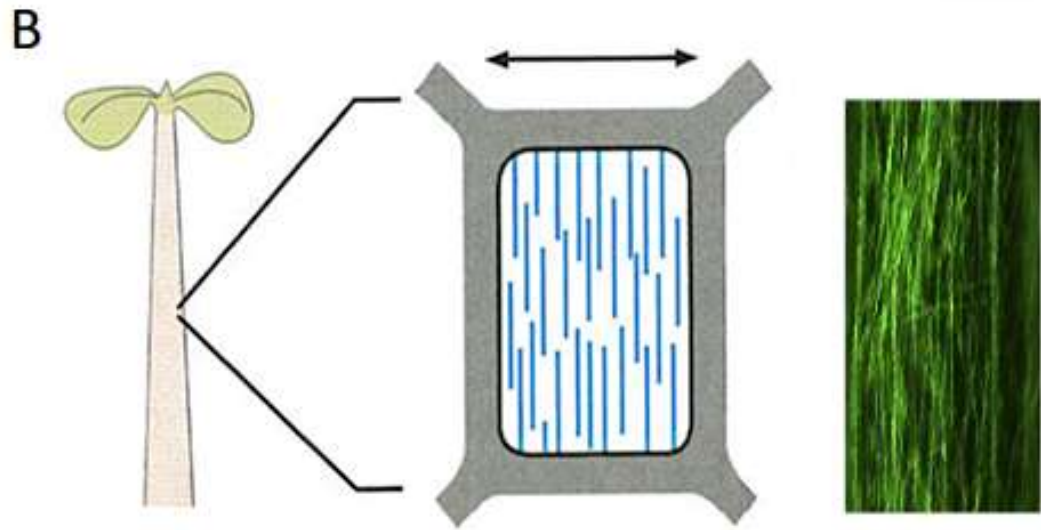
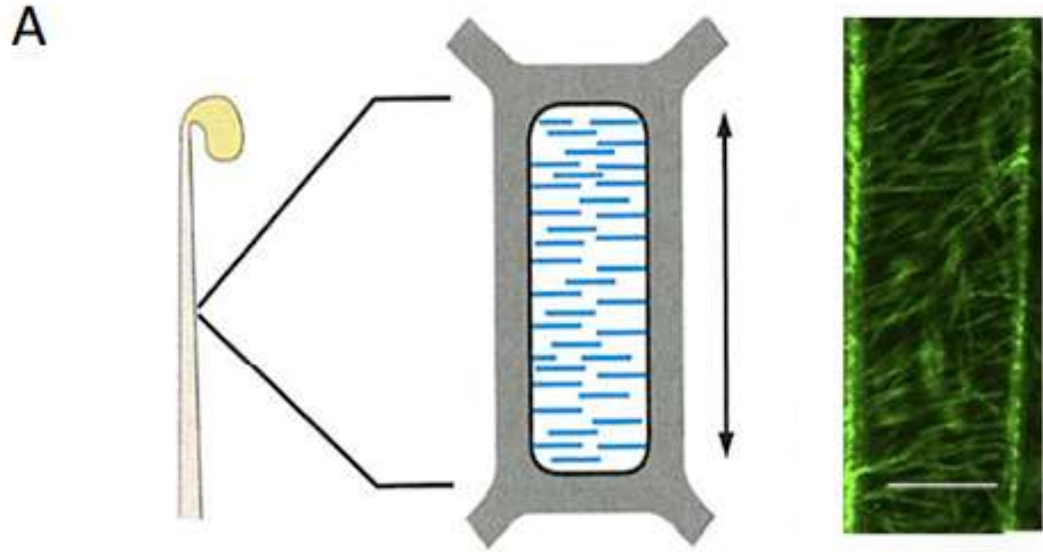


Marquage de la tubuline de cellule de racine avec un Ac fluorescent

Axe d'élongation

Expansion en longueur

Expansion en largeur

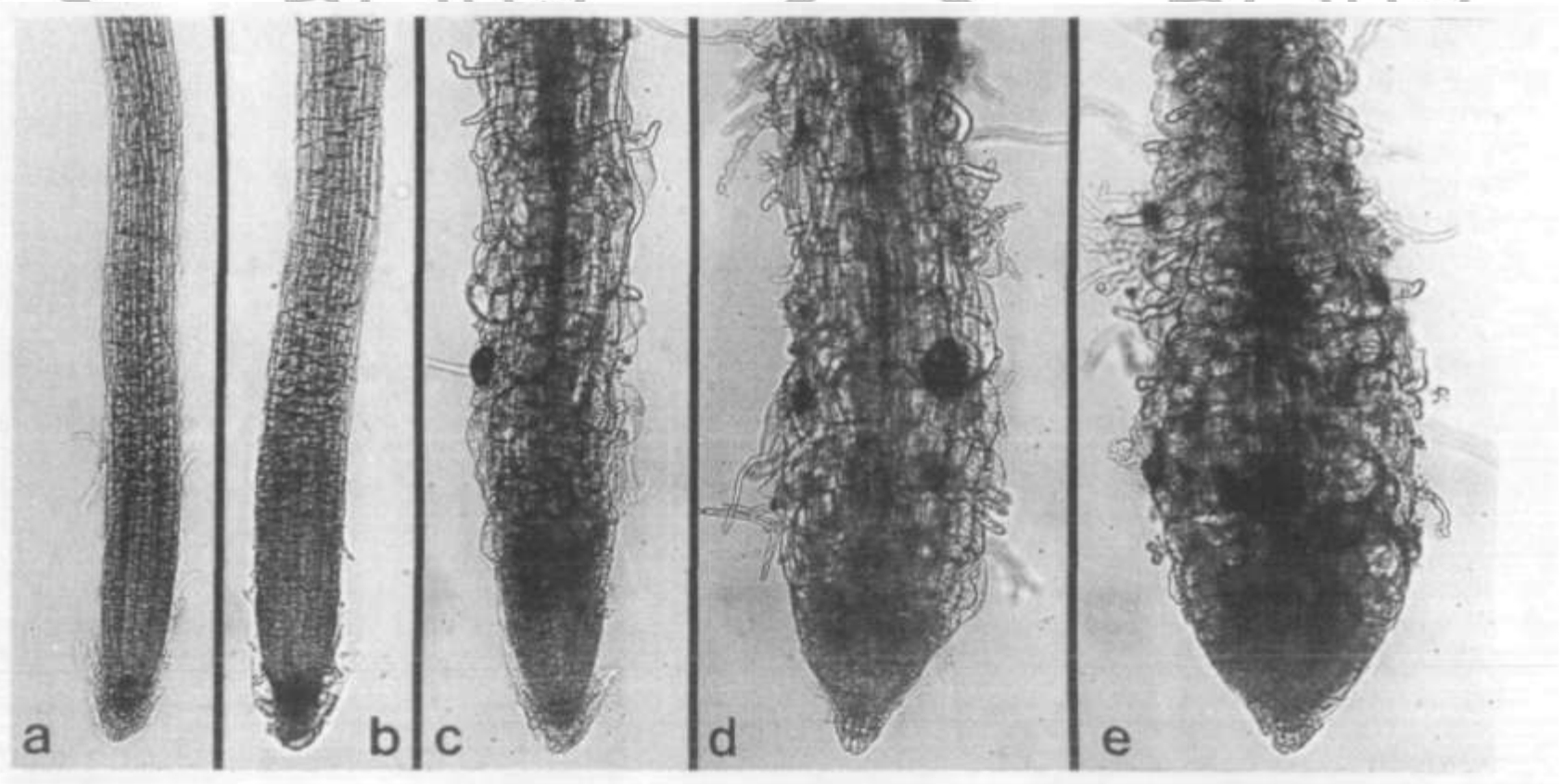


*Marquage de la tubuline avec un Ac fluorescent*



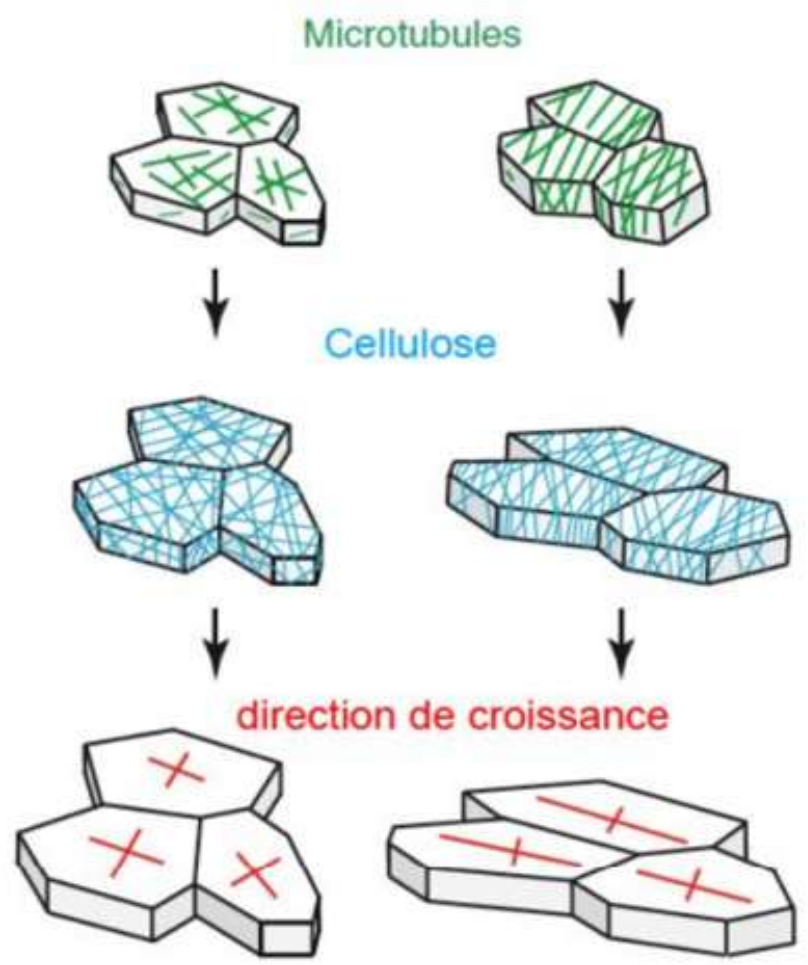
## Coordination paroi/cytosquelette

Un traitement à l'Oryzalin (provoque la dépolymérisation des microtubules) bloque l'expansion cellulaire



**Fig. 1** Photomicrographs of 8 day old arabidopsis primary roots exposed for 2 days to various concentrations of oryzalin at 31°C. Concentration increases from left to right: (a) control, (b) 170 nM, (c) 300 nM, (d) 560 nM and (e) 1  $\mu$ M. All panels are at the same magnification, 64  $\times$ .

# Coordination Paroi/cytosquelette

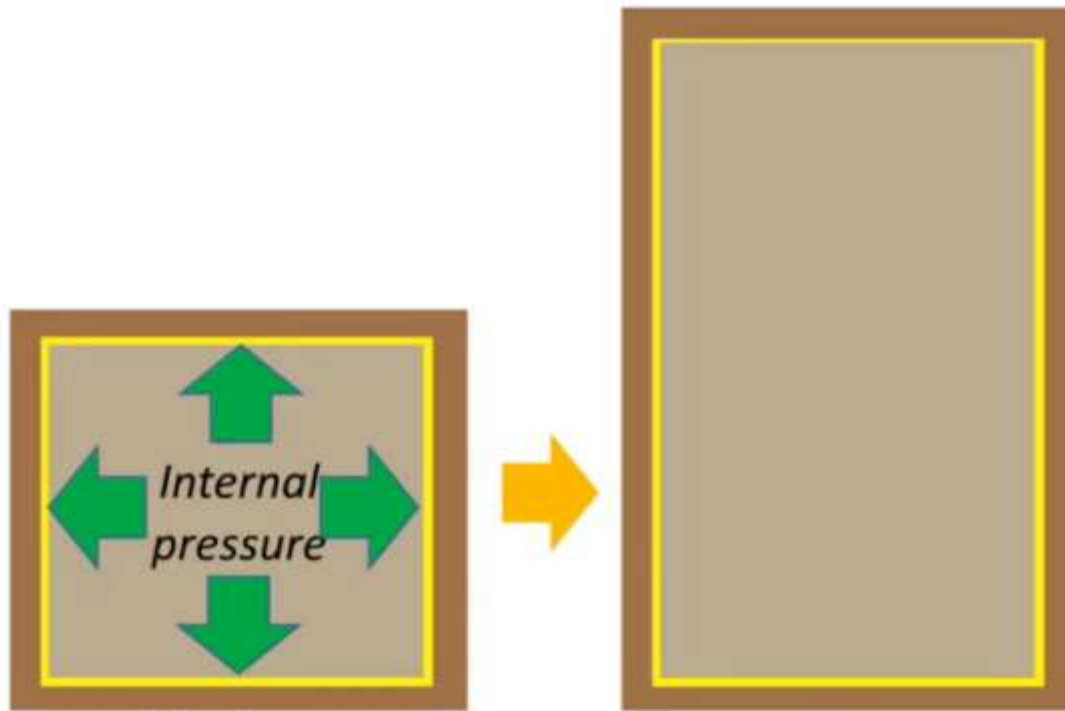


**Croissance non - polarisée**

**Croissance polarisée**

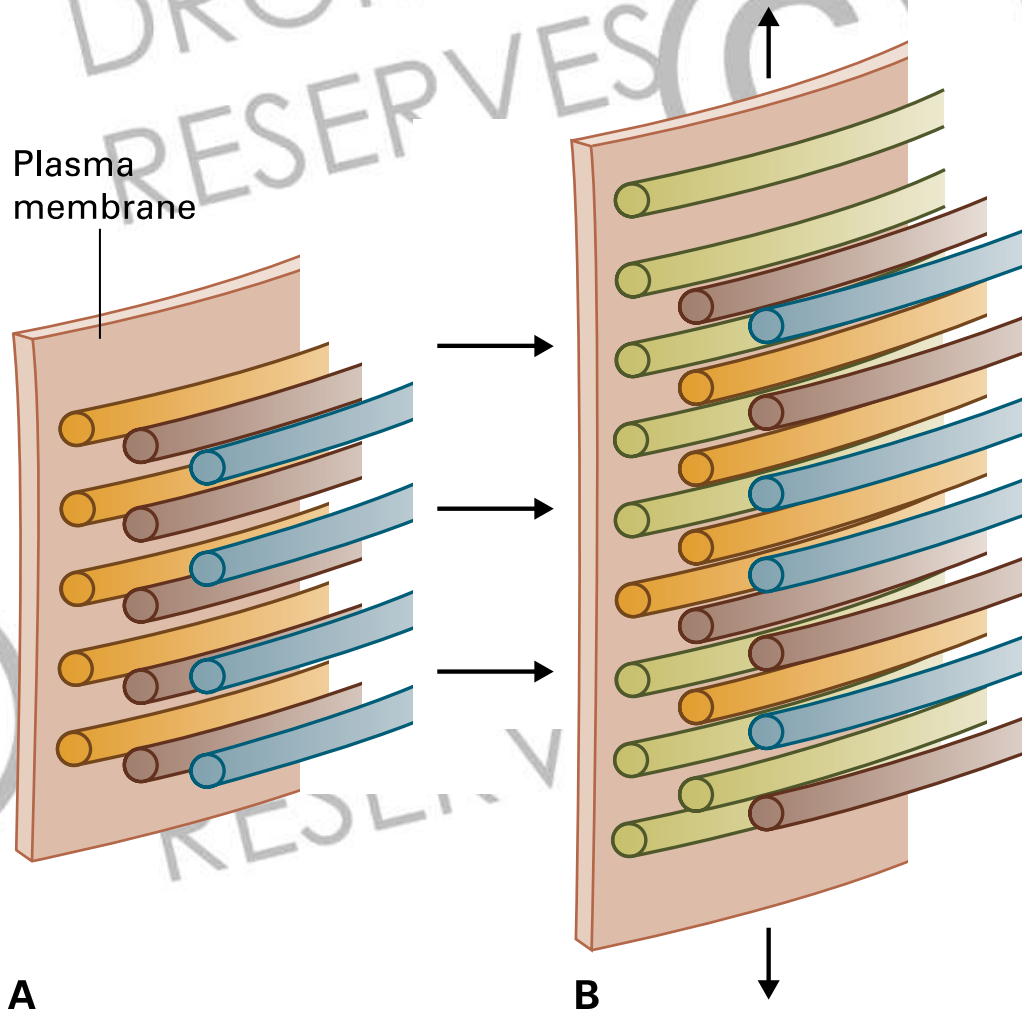
## Coordination paroi/cytosquelette

Maintien d'une épaisseur constante de la paroi au cours de l'élongation



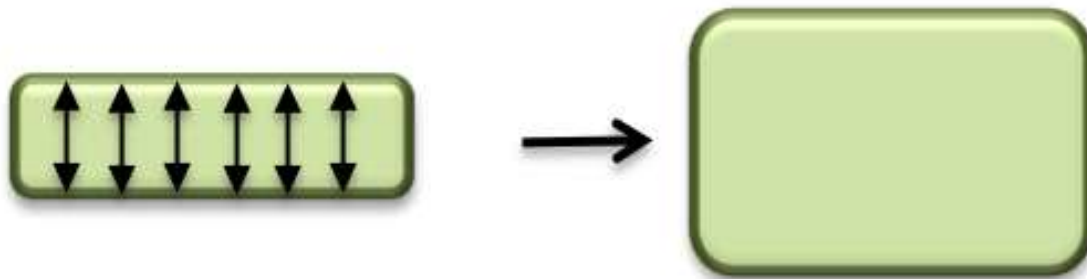
## Coordination pari/cytosquelette lors de la croissance

Intégration de nouvelles fibres de celluloses pour maintenir une épaisseur de pari constante



## 2 types de croissance polarisée:

→ **Croissance Diffuse:** la paroi des extrémités de la cellule reste rigide alors que les côtés sont plastiques (exemple: croissance de l'hypocotyle).



## 2 types de croissance polarisée:

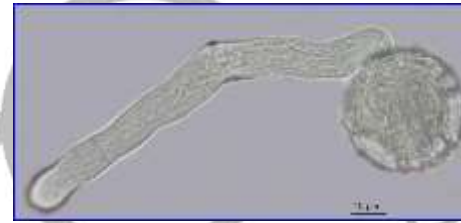
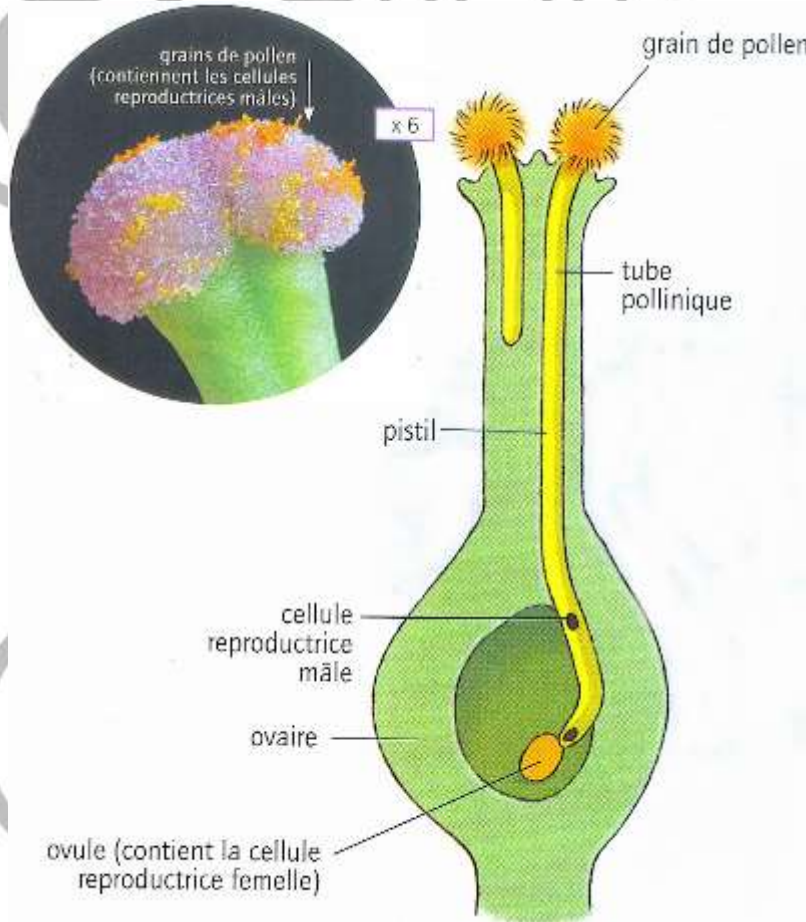
→ **Croissance Apicale:** seule une des extrémités de la cellule se modifie, ce qui correspond à une localisation polarisée de vésicules de sécrétion.



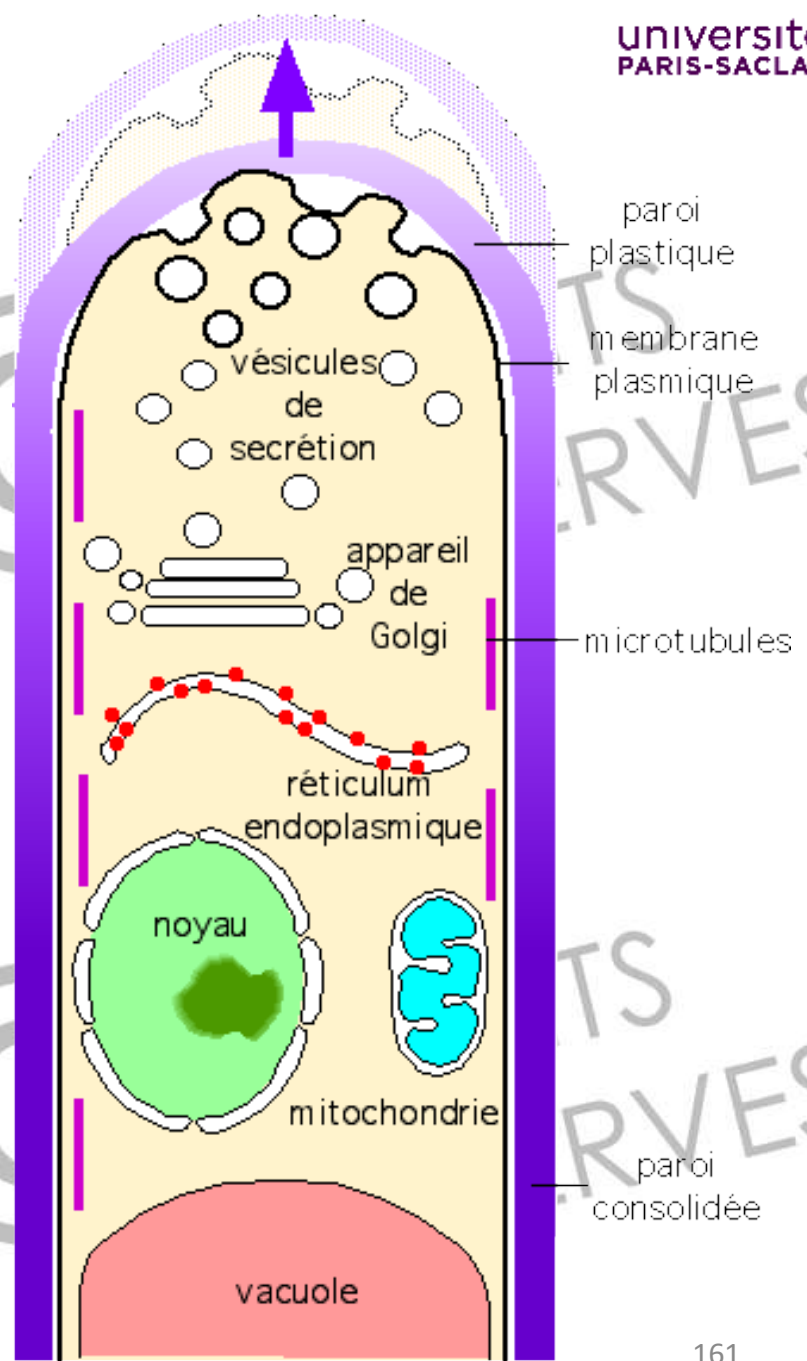
# Croissance apicale: exemple tube pollinique

Croissance uniquement à un pôle de la cellule

Ex: croissance du tube pollinique



# Croissance apicale: exemple fibre de coton



TOUS  
DROITS  
RESERVES

paroi  
plastique  
membrane  
plasmique  
microtubules  
réticulum  
endoplasmique  
mitochondrie  
paroi  
consolidée



## Bilan sur les modalités d'expansion des cellules végétales

### Changement de forme de la cellule nécessite :

Modification de l'extensibilité de la paroi (plasticité + élasticité)

Modification de l'état de turgescence cellulaire

### Orientation de la croissance dépend de:

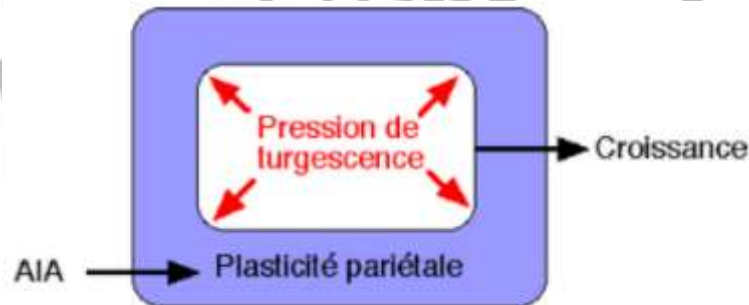
L'orientation des microtubules qui gouverne l'orientation des fibres de cellulose

Des flux vésiculaires dans le cas de la croissance apicale

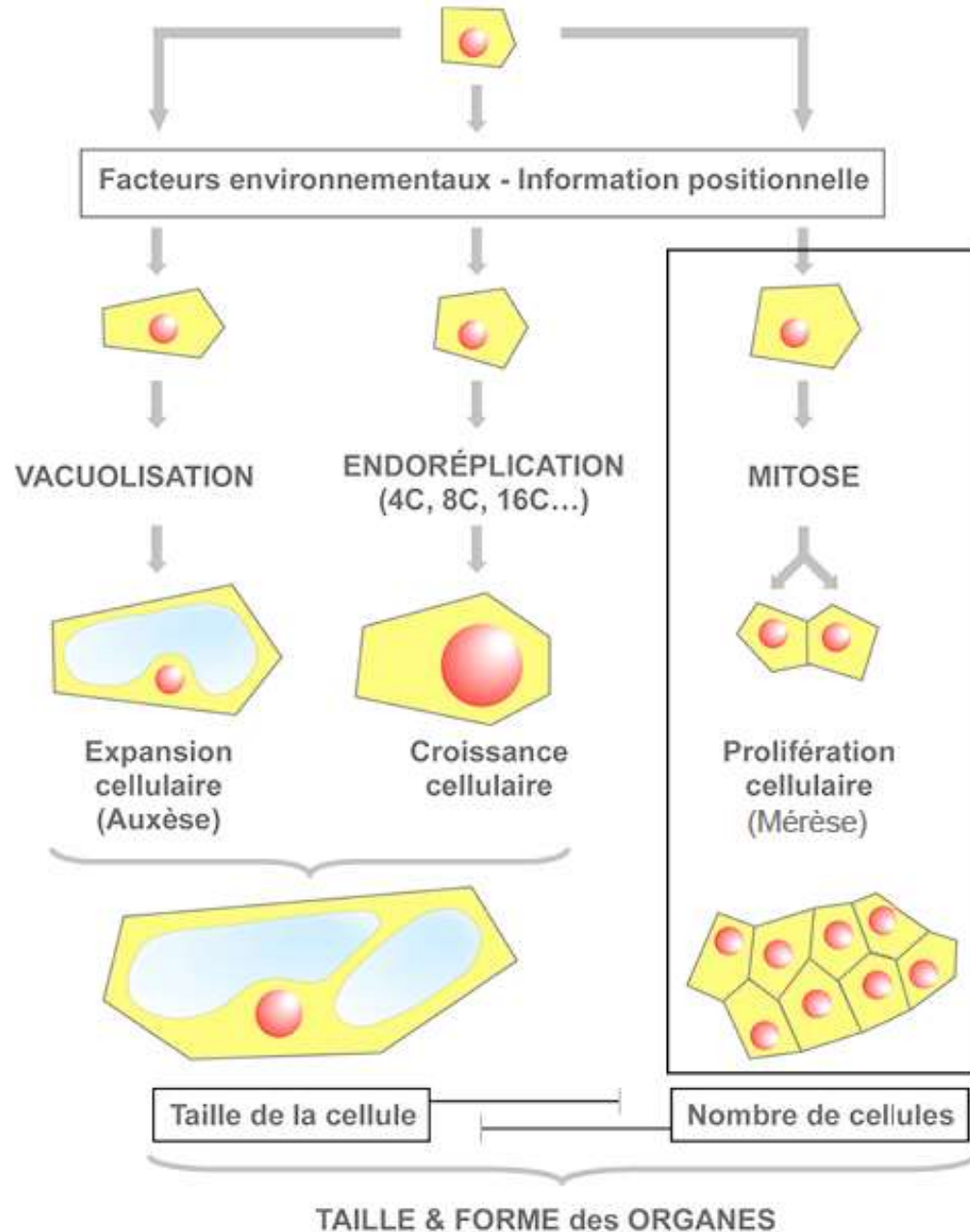
### Rôle des signaux intrinsèques :

Exemple de l'auxine

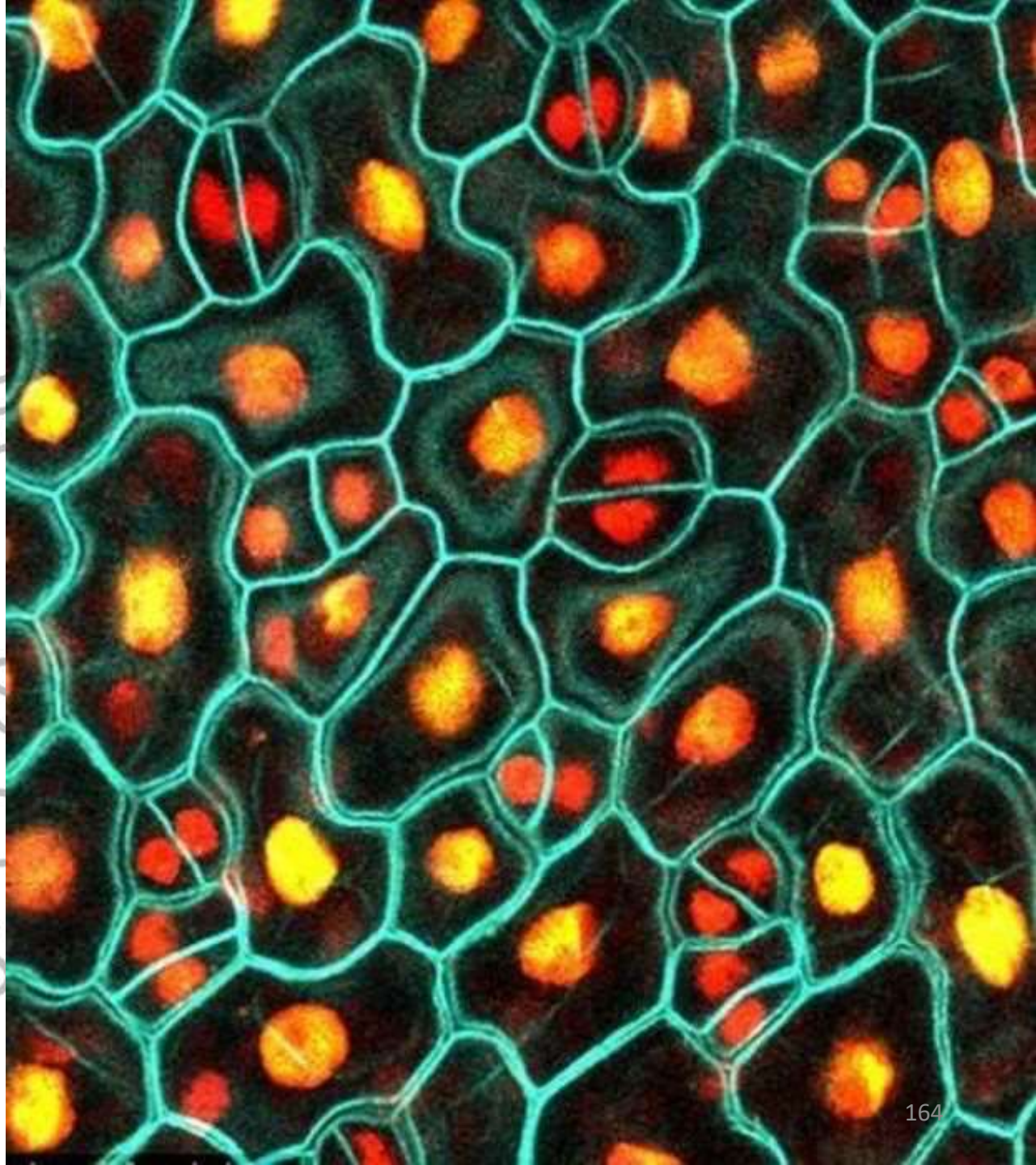
Autres facteurs: flux ioniques, etc...



# Conclusions : modalités de croissance chez les végétaux



2 – La cellule dans son environnement :  
communication et polarité  
cellulaire

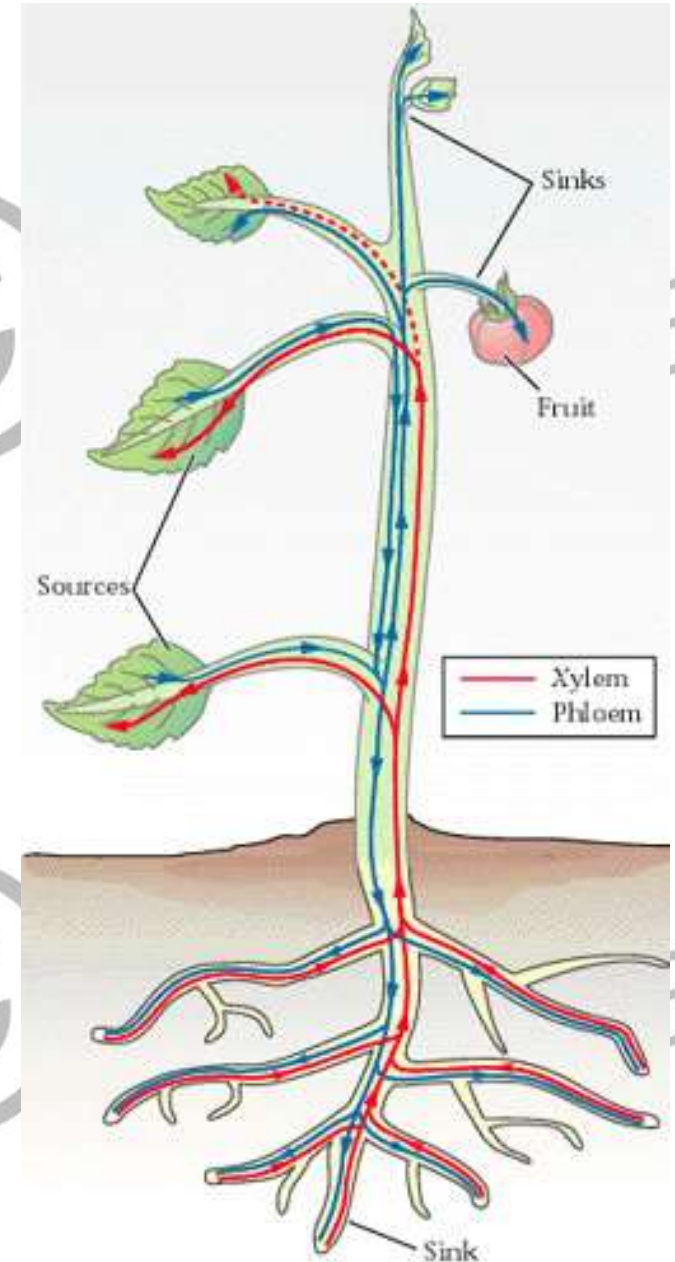


## 2-1 Les différentes modalités de transport et de communication intercellulaires

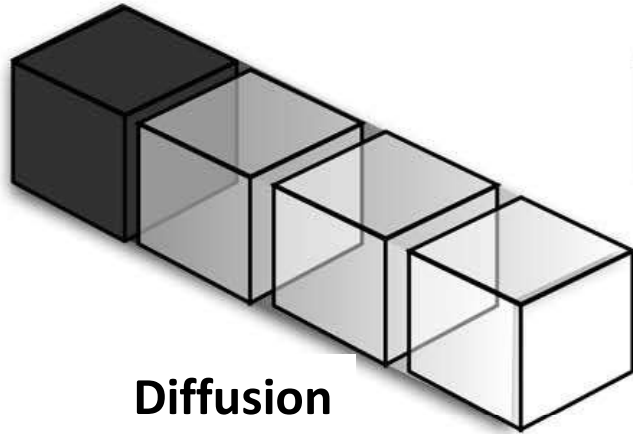
- A l'échelle de la plante entière : 2 voies de transport à longue distance

**Xylème: transport de la sève brute**

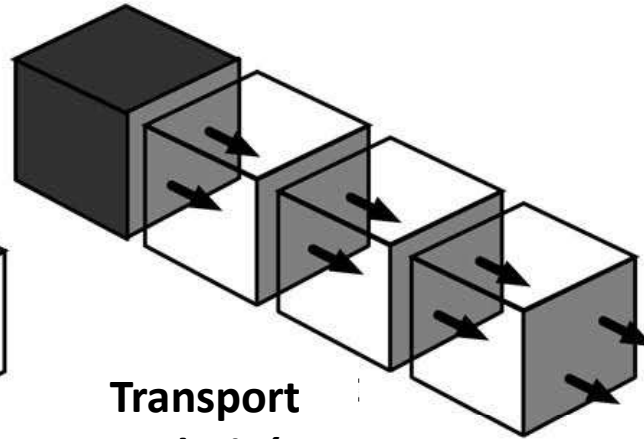
**Phloème: transport de la sève élaborée**



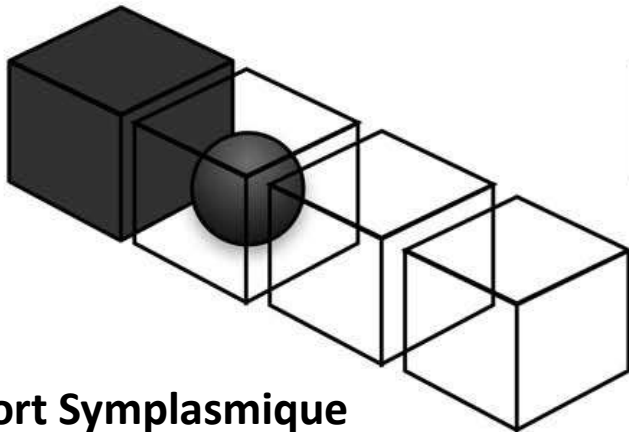
# 4 modalités de communication des signaux au niveau cellulaire



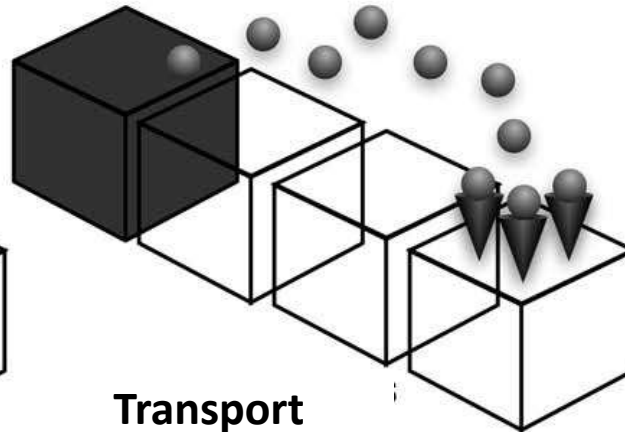
**Diffusion**



**Transport polarisé**



**Transport Symplasmique**



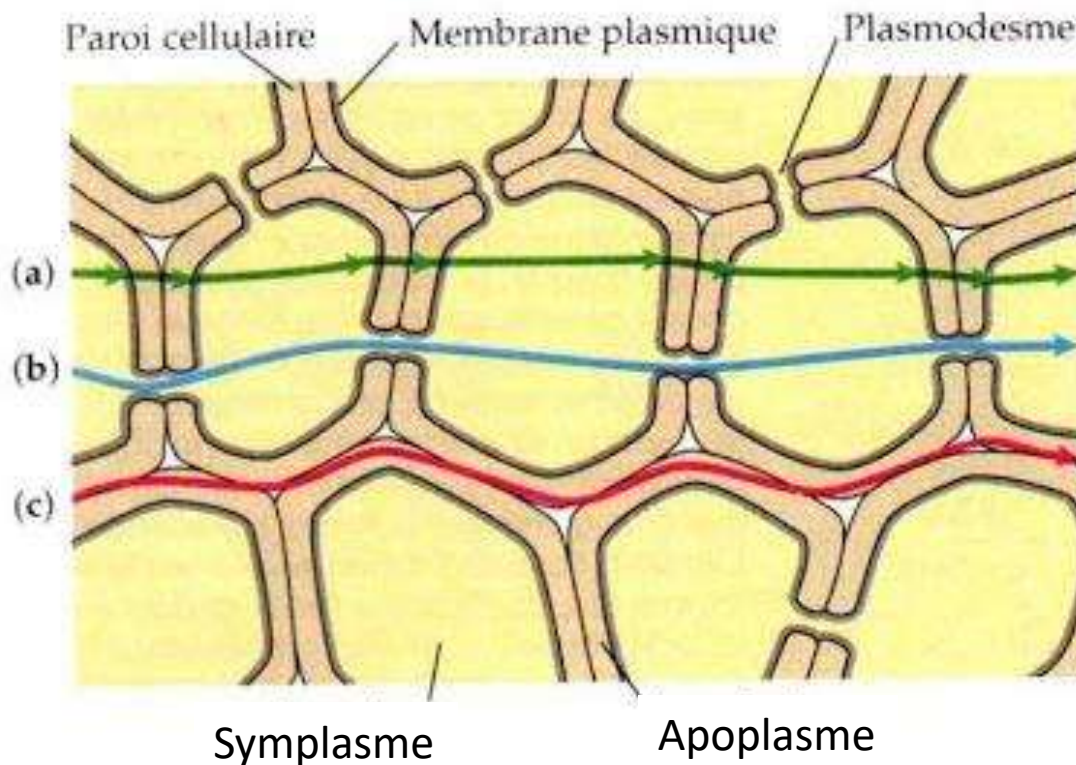
**Transport Apoplasmique**

## ➔ A l'échelle tissulaire - 3 voies de transport

(a) **La voie intracellulaire**: à travers les membranes plasmiques et les parois

(b) **La voie symplasmique**: en passant de cellule en cellule via les plasmodesmes (symplasme)

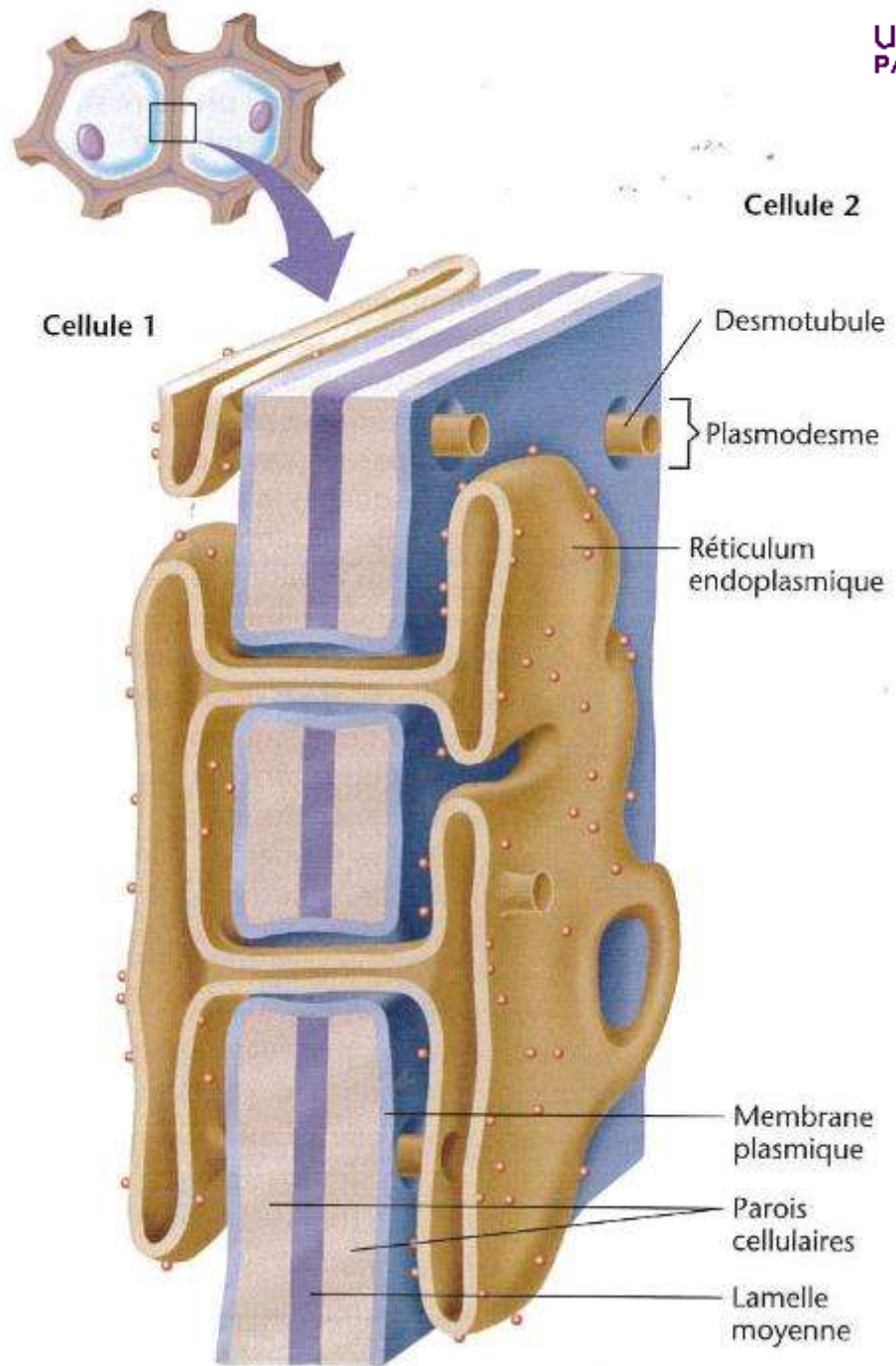
(c) **La voie apoplasmique**: En passant entre les cellules ou dans les cellules mortes (apoplasme)



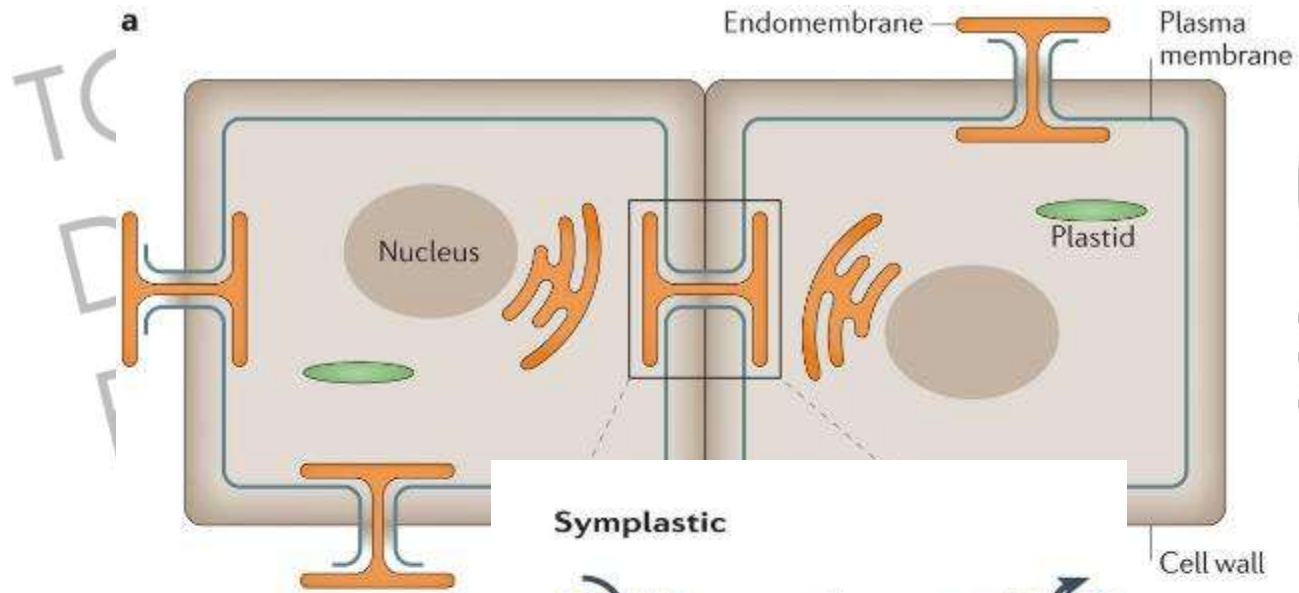
Exemple: transport horizontal de l'eau et des nutriments dans la racine

# Les plasmodesmes

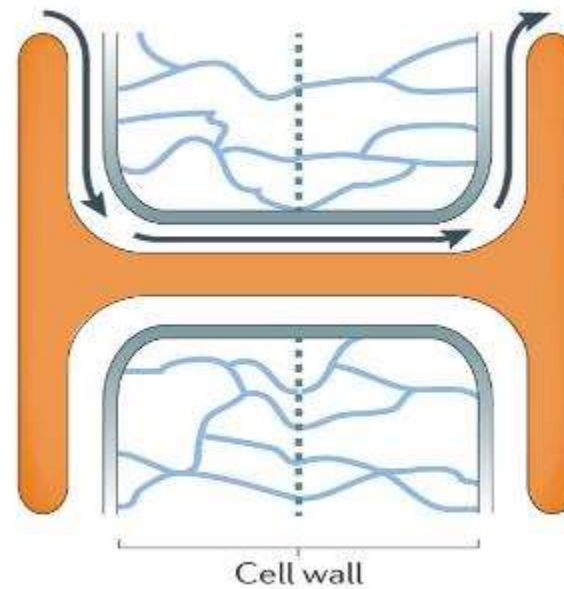
des canaux cytoplasmiques



# Communication intra-cellulaire



Symplastic

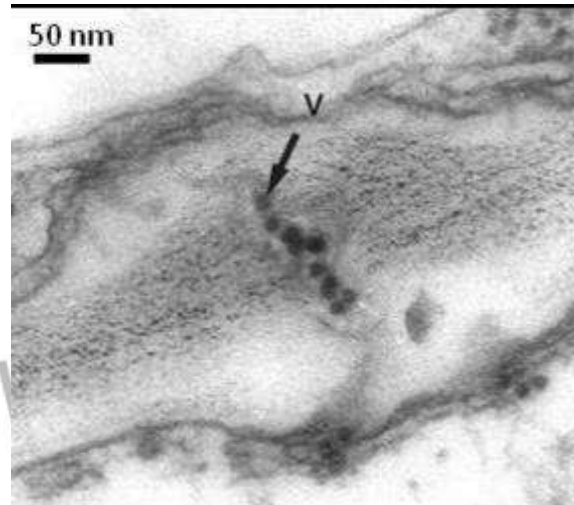




## Un réseau symplasmique sélectif

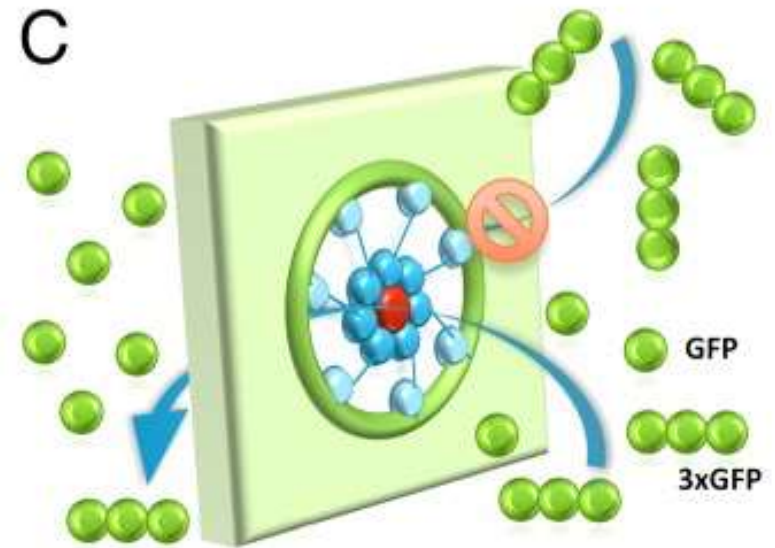
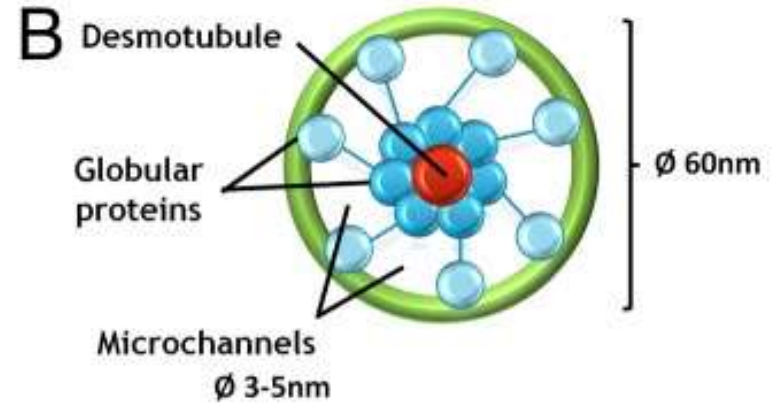
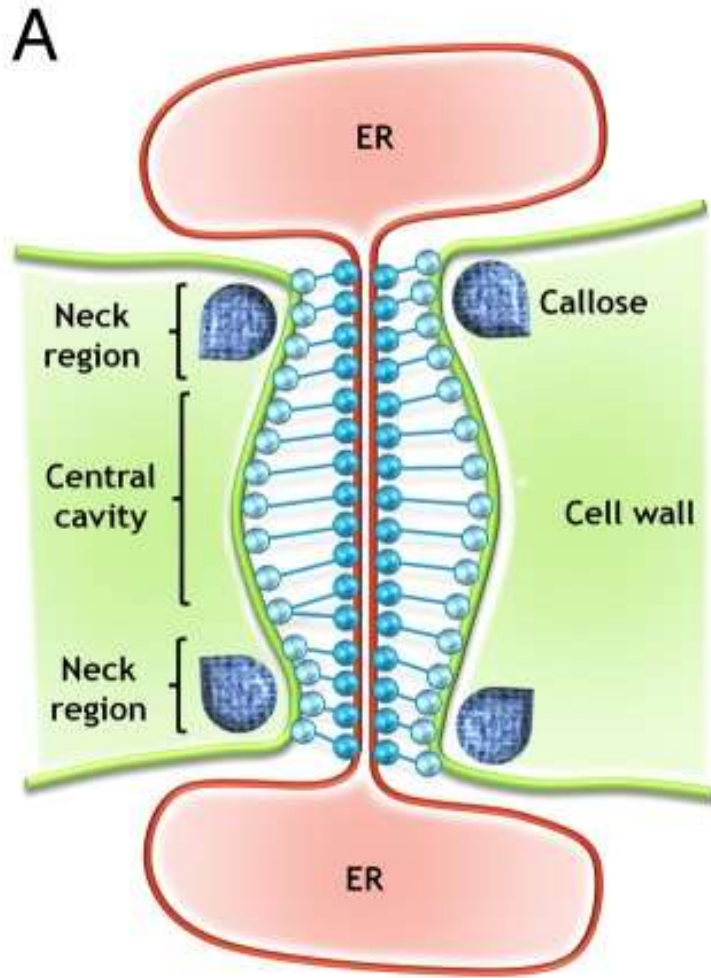
- Réseau de plasmodesmes = continuums cytoplasmiques
- Transit de molécules variées: métabolites, ions (calcium, magnésium), hormones, messagers secondaires, ARN, peptides, etc...

- Particules virales

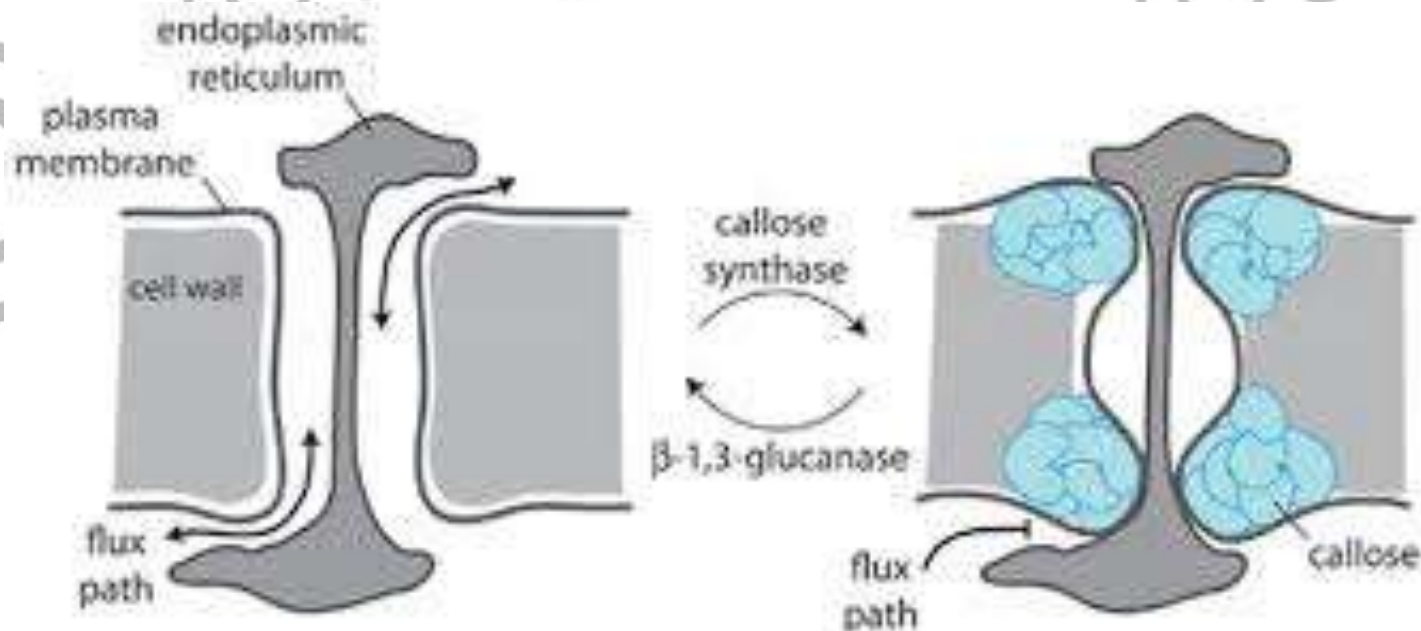


- Diffusion limitée par la **taille d'exclusion limite du plasmodesme (en moyenne 800-1200 Da)**

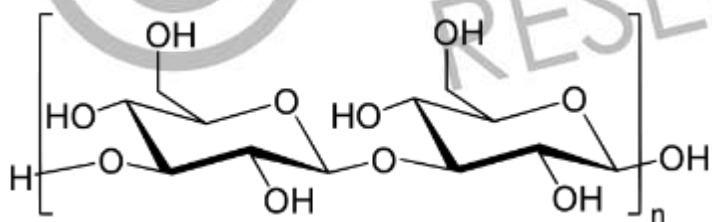
# Un canal actif et sélectif



## Possibilité de contrôler le flux symplasmique



**Callose = polymère de glucose**



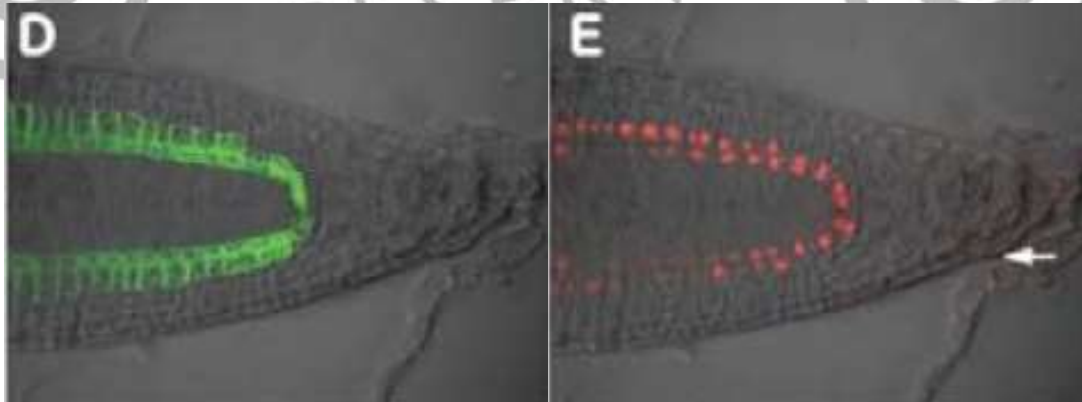
L'ouverture et/ou la fermeture des plasmodesmes peut être régulée en fonction des conditions physiologiques et environnementales (attaque de pathogènes par exemple)

# Un réseau sélectif

- Exemple d'analyse d'un réseau cytoplasmique
- Taille de la protéine marquée permet de quantifier la **taille d'exclusion limite**

Marquage GFP  
cortex-endoderme

Expression d'une  
protéine dans Cortex-  
endoderme



## Exemple 1 :

Protéine nucléaire localisée  
dans le noyau  
Effet cellule autonome

Prom

GFP

Prom

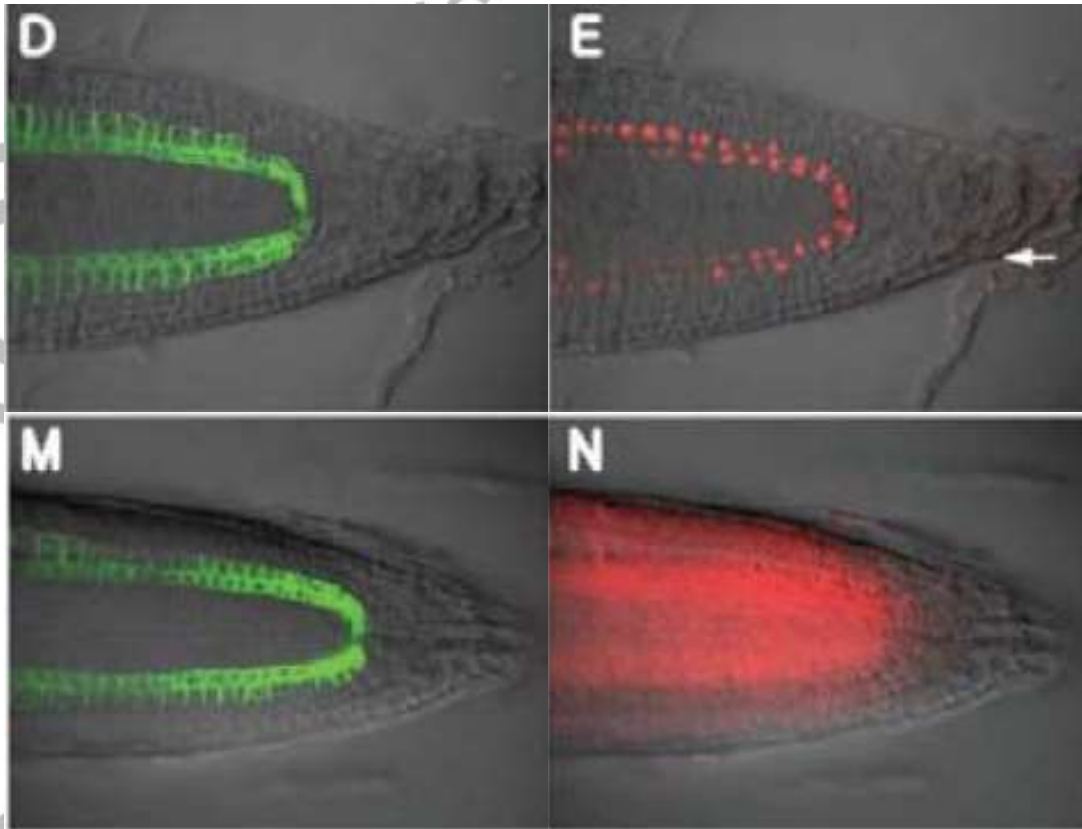
Protéine 1

Red Fluo Prot

= promoteur tissu-spécifique Endoderme/Cortex

Marquage GFP  
cortex-endoderme

Expression d'une  
protéine dans Cortex-  
endoderme



**Exemple 1 :**

Protéine nucléaire localisée  
dans le noyau

Effet cellule autonome

**Exemple 2 :**

Diffusion via les plasmodesmes  
dans les tissus adjacent

Prom

GFP

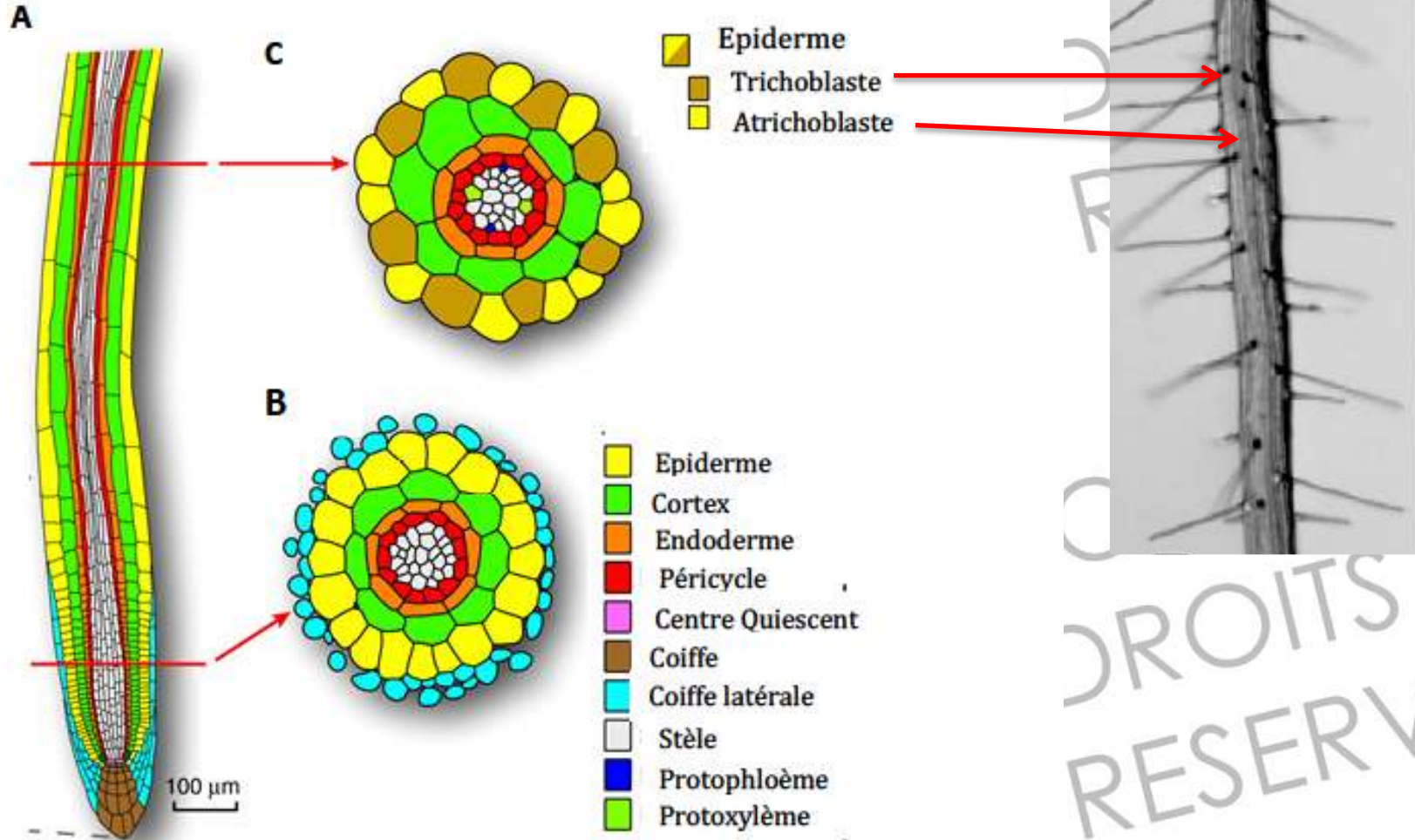
Prom

Protéine 2

Red Fluo Prot

# Importance des plasmodesmes lors de la différenciation cellulaire

ex: formation des poils racinaires



**Début de  
Différenciation**

**Isolement  
symploasmique**



symmetrical  
division

cells symplasmically  
conected



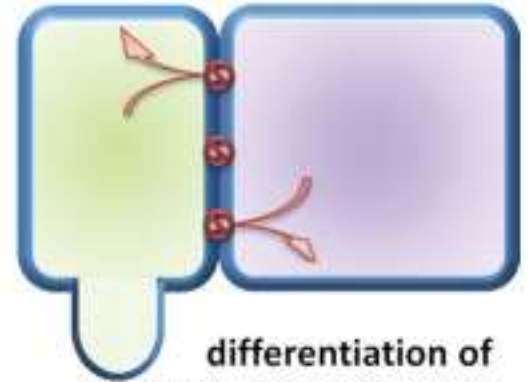
identical  
daughter cells

beginning of  
symploasmic isolation



asymmetrical elongation  
of daughter cells

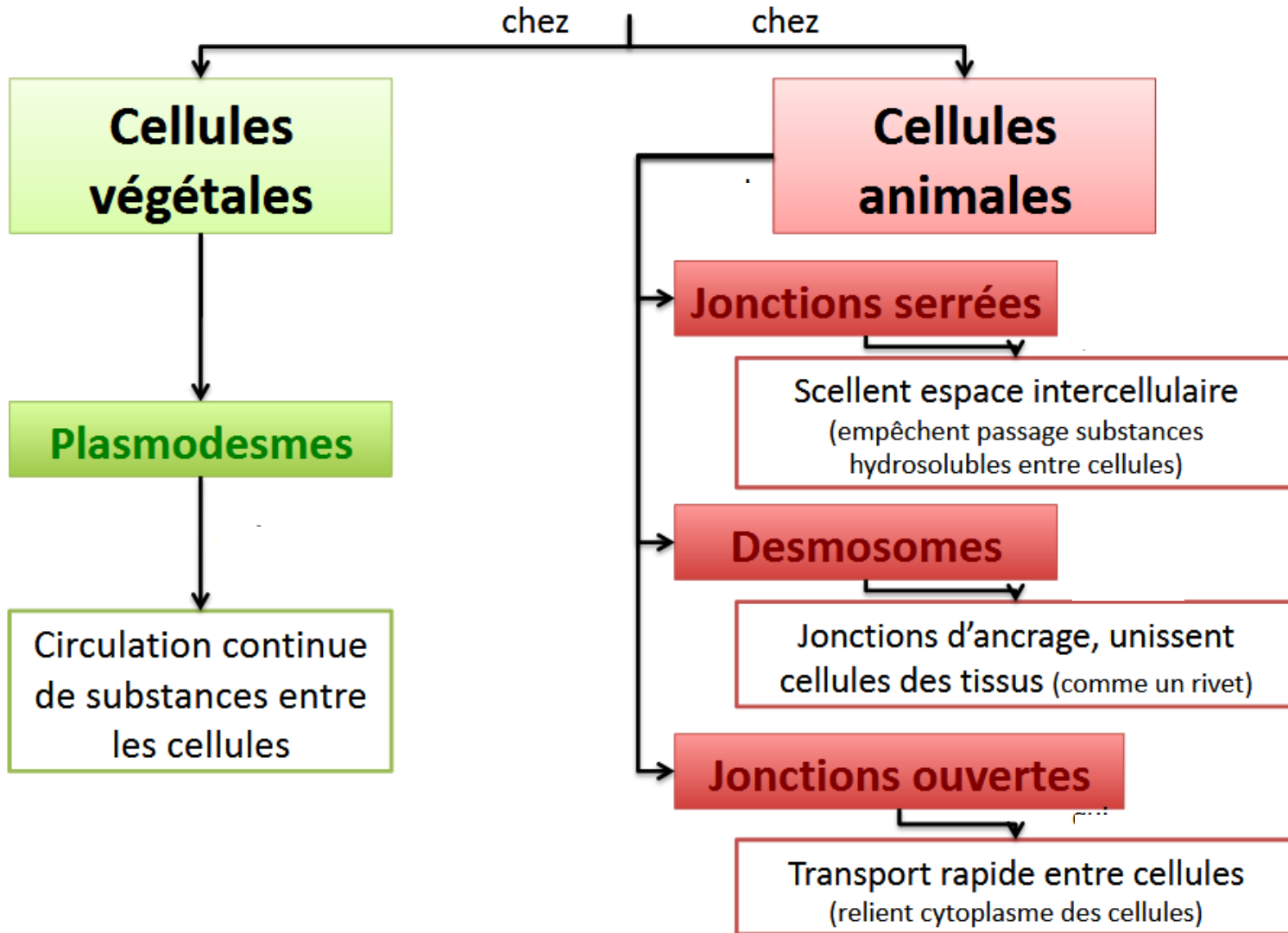
cells symplasmically  
isolated



differentiation of  
trichoblast/atrichoblast

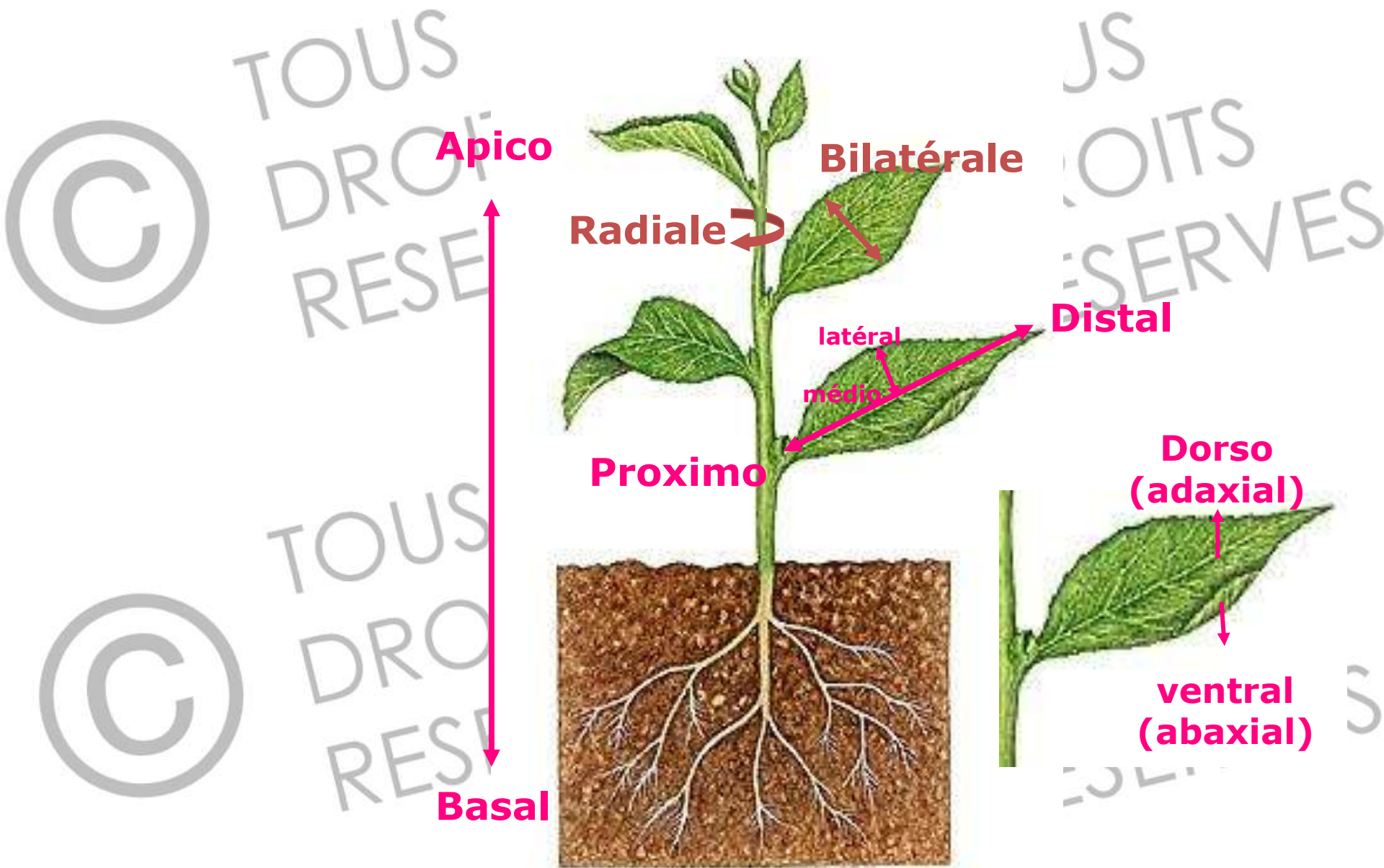
**Effet de position des  
cellules du cortex sous-  
jacentes (voir cours n°2)**

# Jonctions intercellulaires différentes



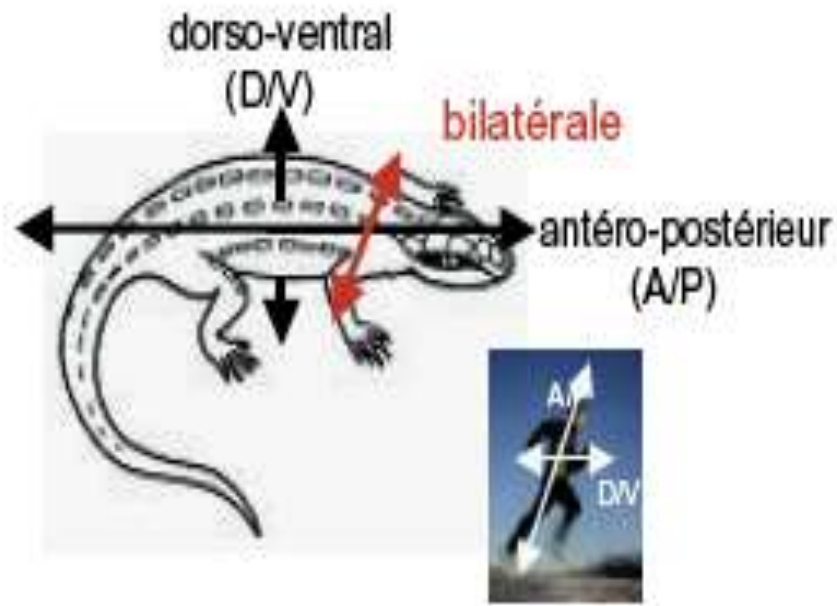


## 2-2 Mise en place des axes de polarités et de symétrie



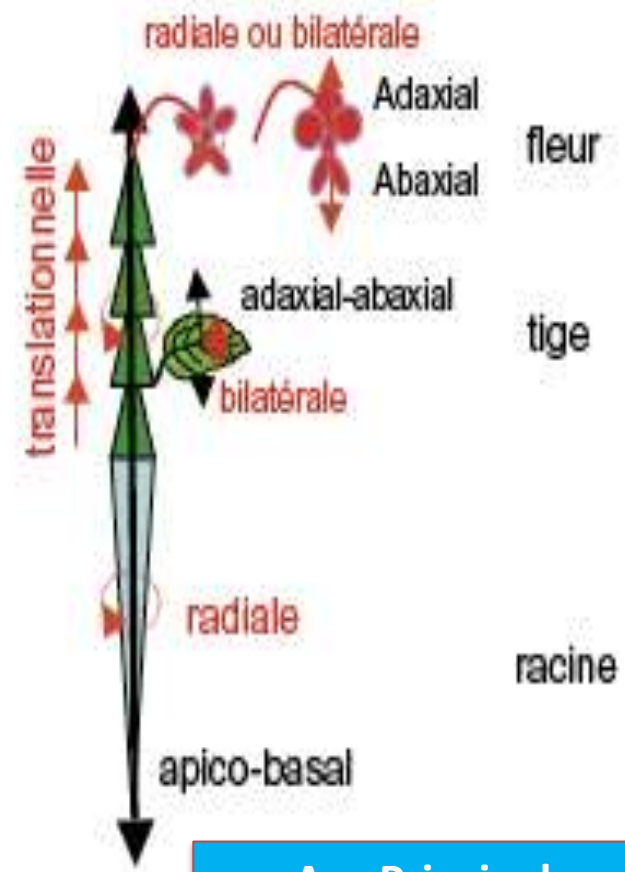
# Comparaison animal/végétal

## ANIMAUX



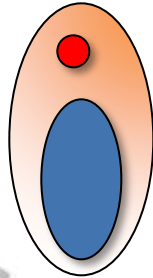
**Axes Principaux:  
Antéro-postérieur  
Dorso-Ventraux**

## VÉGÉTAUX



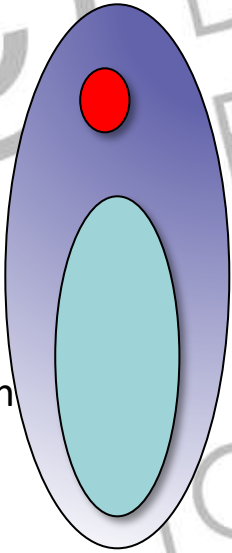
**Axe Principal:  
Apical-Basal**

# Polarisation au cours de l'embryogenèse

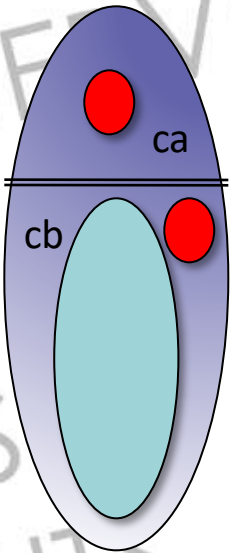


zygote

→  
élongation



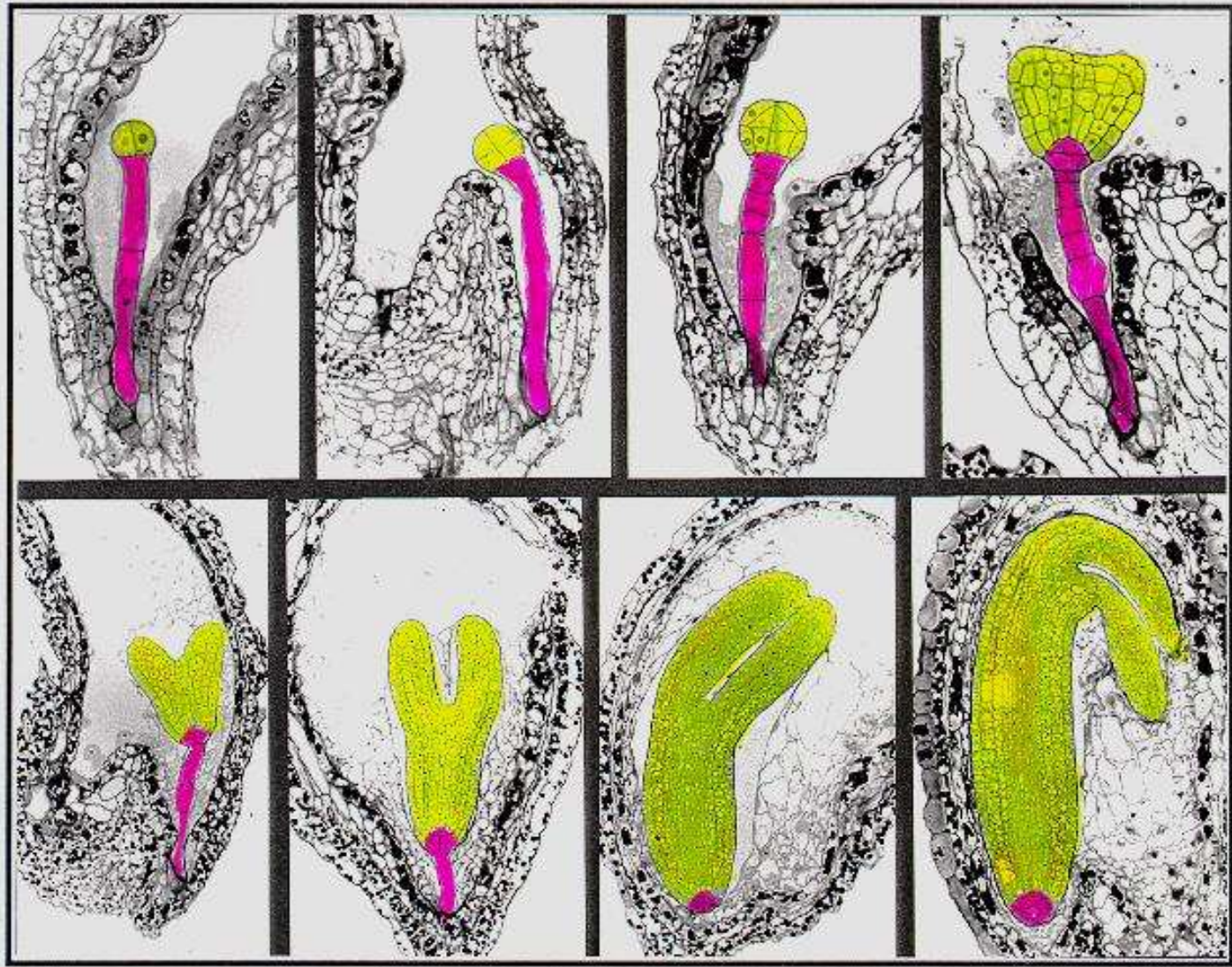
→  
division



1ère division asymétrique

Zygote  
*Arabidopsis thaliana*

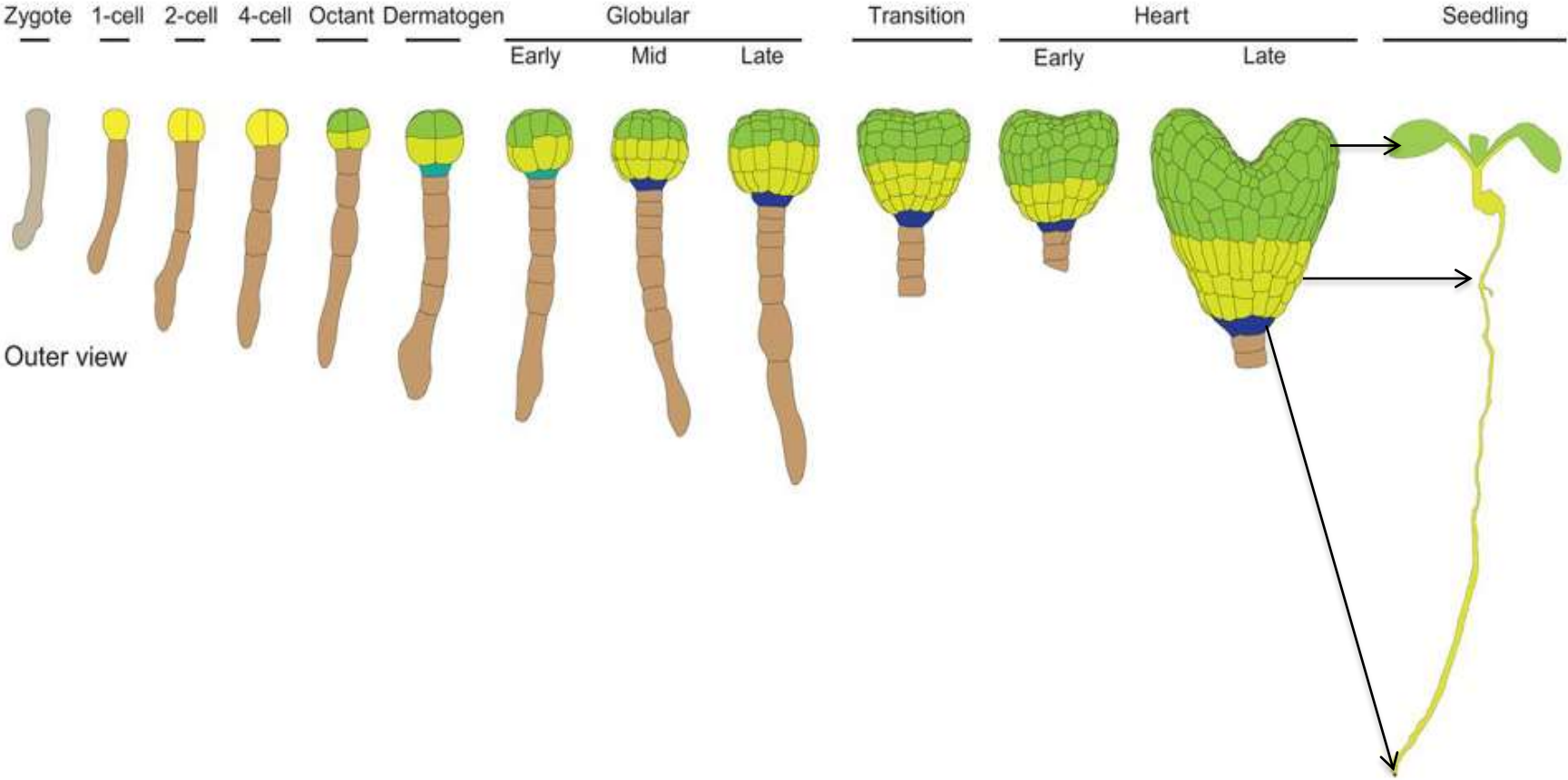
# Devenir des cellules embryonnaire



Cellule apicale =  
Embryon  
(- l'hypophyse)

Cellule basale  
= Suspenseur +  
hypophyse

# Mise en place d'un axe de polarité apical-basal

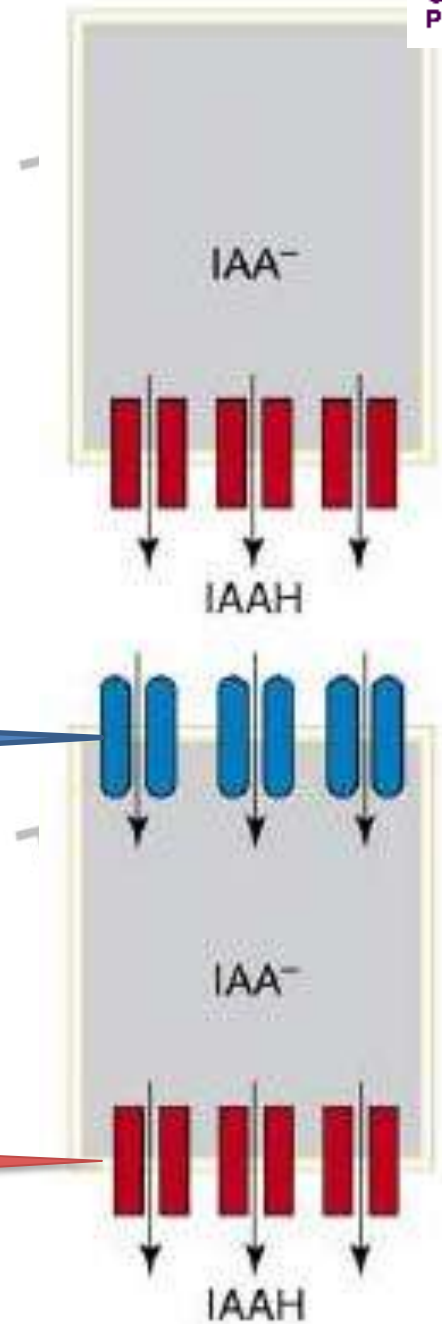


# Transport polarisé de l'auxine

(Acide Indole-3 acétique AIA ou IAA)

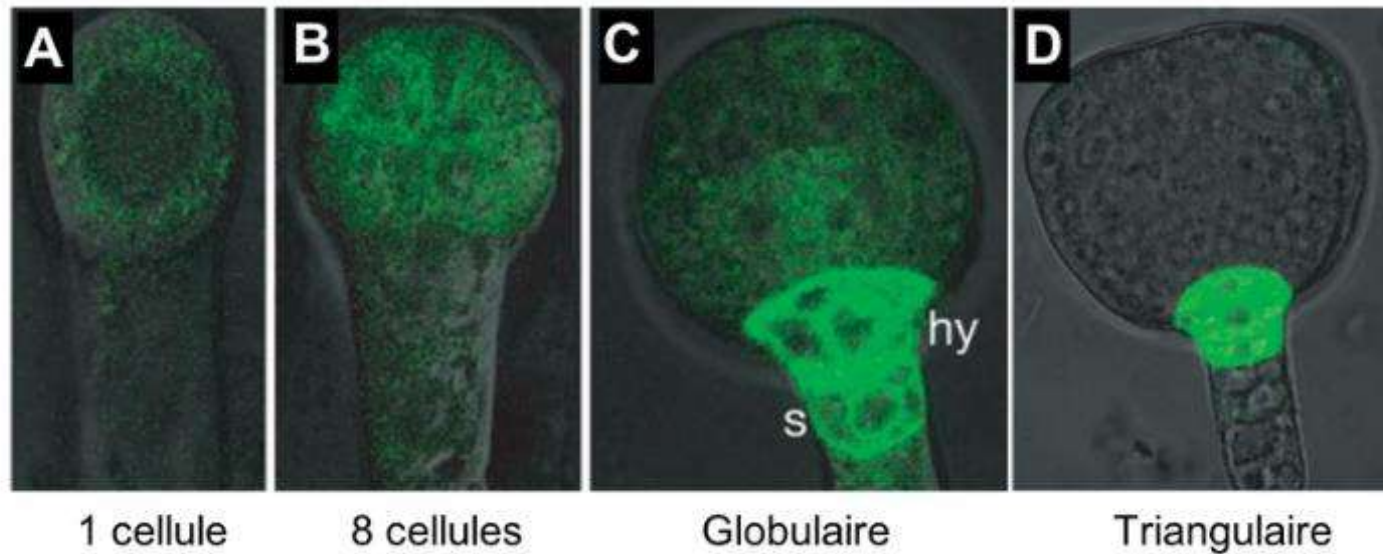
Transporteurs  
d'influx de  
l'auxine

Transporteurs  
d'efflux PIN codés  
par une famille  
multigénique



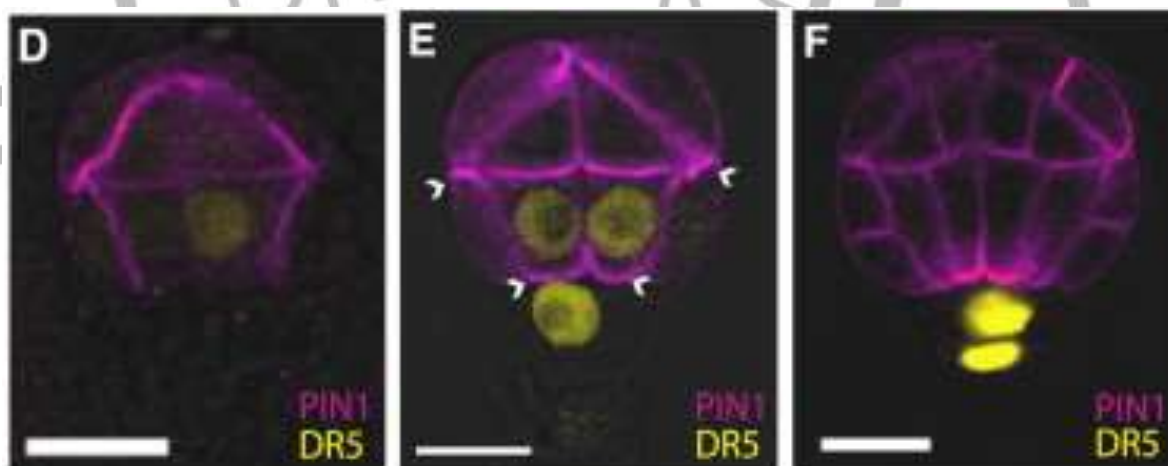
## Formation d'un gradient d'auxine au cours de l'embryogenèse

Visualisation d'un rapporteur DR5::GFP= accumulation d'auxine



**Figure 14 :** Accumulation d'auxine dans l'embryon d'Arabidopsis à différents stades de développement. L'auxine n'est pas observée directement mais par le biais d'un gène rapporteur placé sous contrôle d'un promoteur sensible à l'auxine (on visualise donc les cellules qui répondent à l'auxine). S : suspenseur ; Hy : hypophyse. D'après *Frimi et al. Nature 2003*.

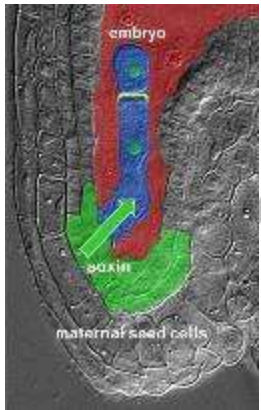
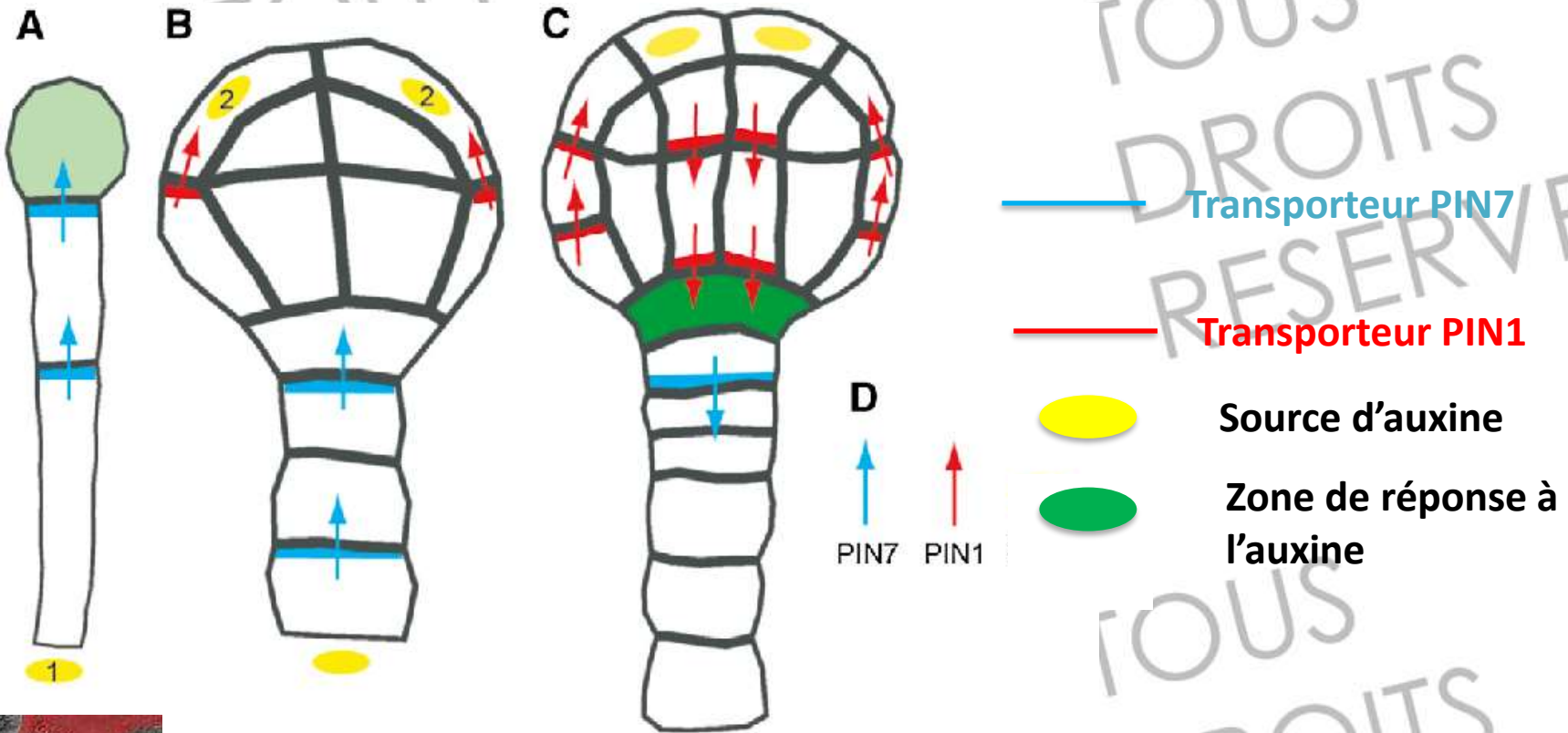
Les transporteurs d'efflux PIN s'orientent différemment au cours de l'embryogenèse



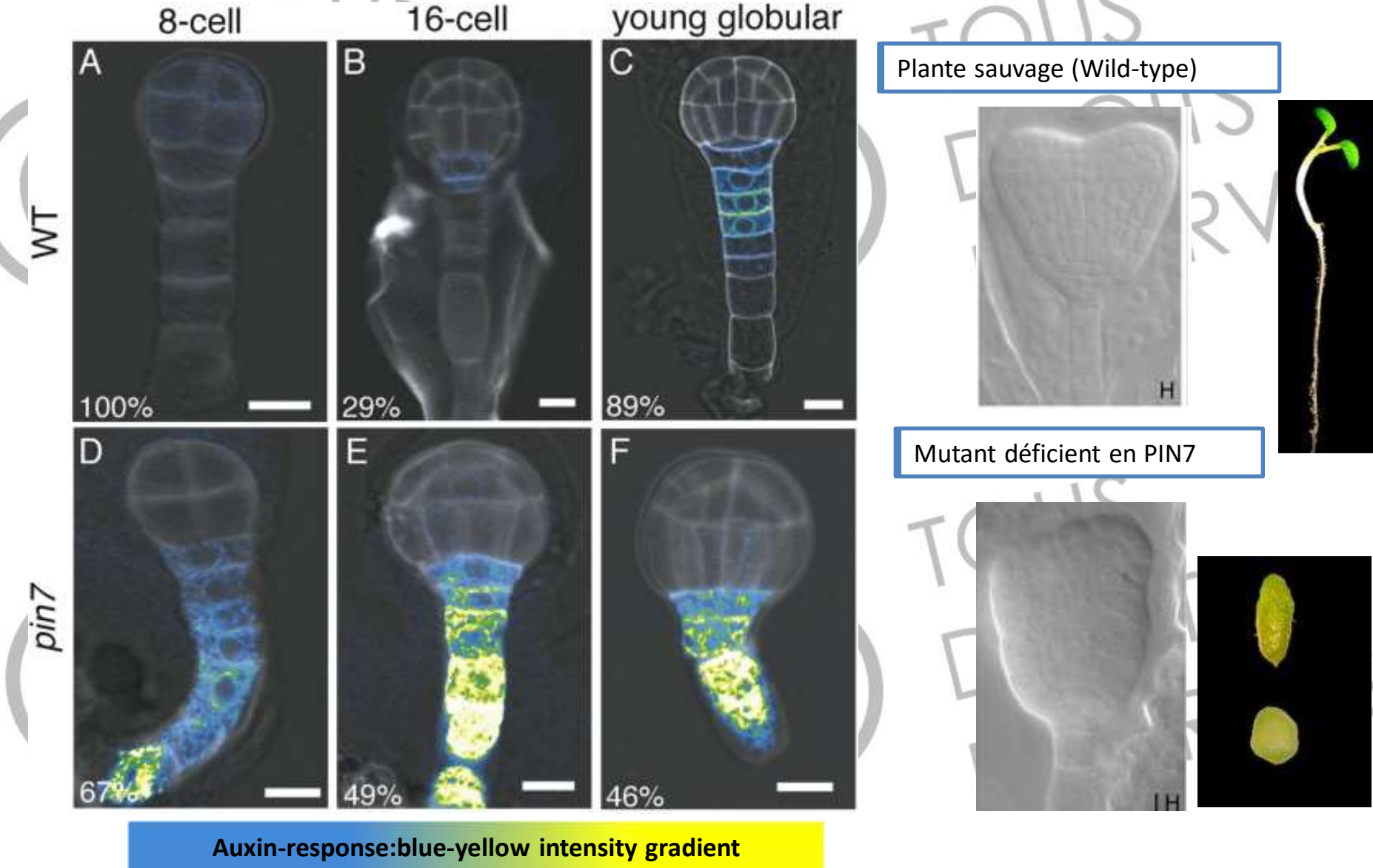
**PIN1 = Transporteur d'efflux de l'auxine**  
**DR5 = marqueur d'accumulation d'auxine**



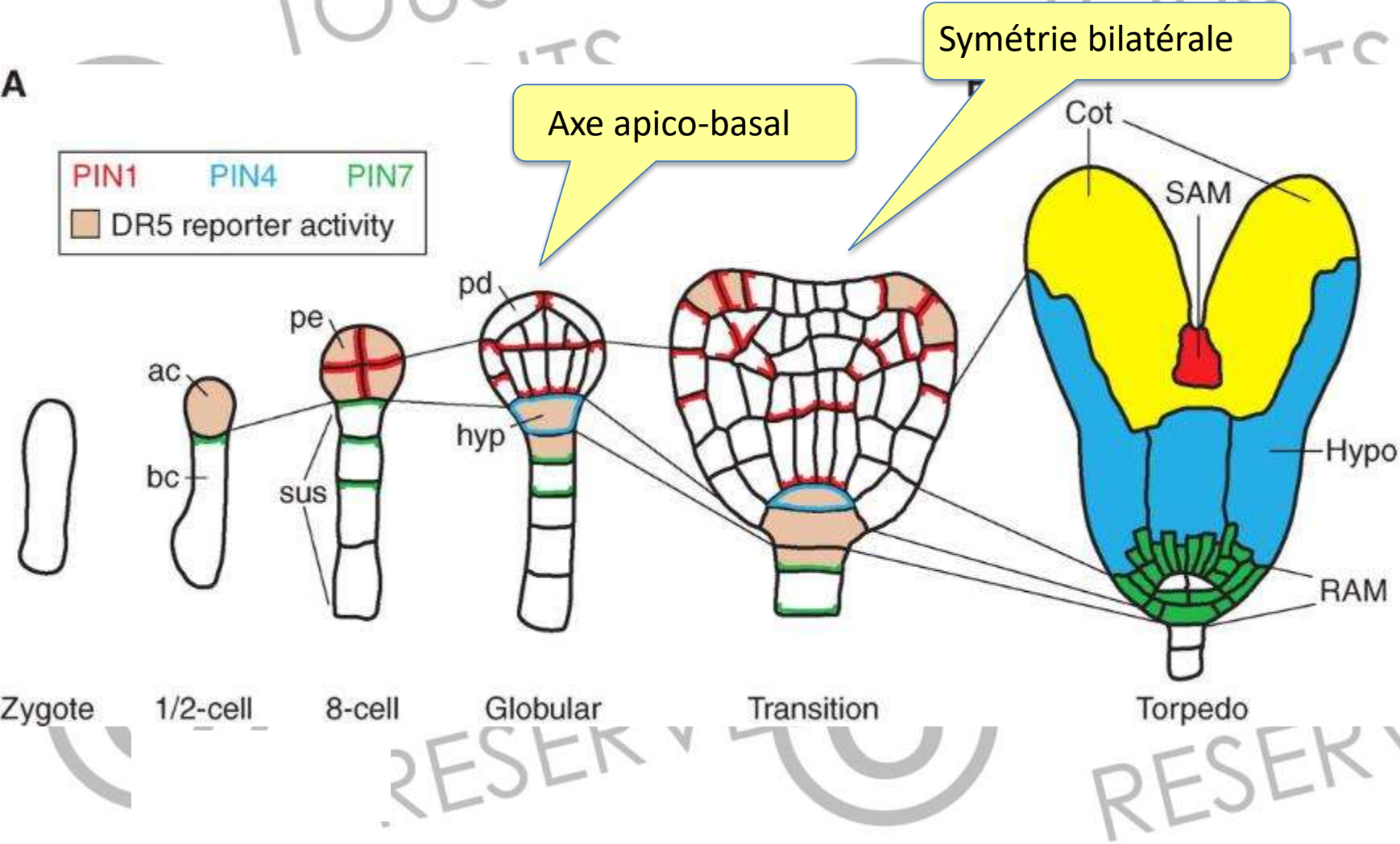
# Formation d'un gradient d'auxine au cours de la polarisation apico-basale



PIN7 est indispensable pour la mise en place d'un gradient d'auxine et une embryogenèse correcte

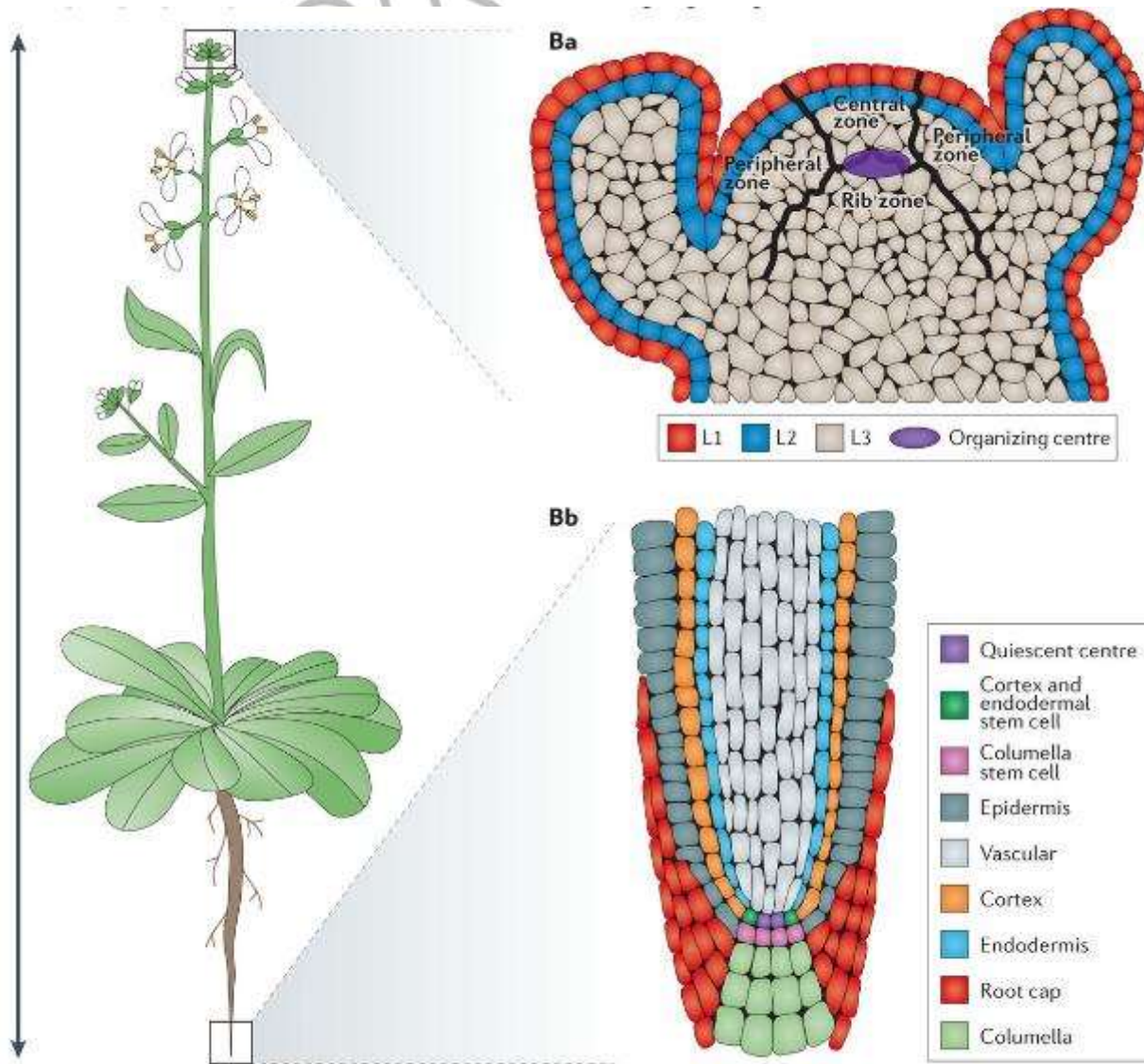


# CCL : l'auxine un facteur majeur de l'embryogenèse



IV – Cellules souches et  
méristèmes





Méristème Apical  
Caulinaire (MAC)

Méristème Apical  
Racinaire (MAR)

## Définition méristème

Un méristème est un **tissu** constitué de cellules **indifférenciées** formant une zone de croissance où ont lieu les divisions cellulaires (**mitose**).

### *CHEZ TOUTES LES PLANTES :*

**Méristèmes primaires** → Tissus Primaires → croissance en longueur

- **Méristème Apical Racinaire (MAR)**
- **Méristème Apical Caulinaire (MAC)**

### *CHEZ CERTAINES PLANTES (LIGNEUSES) :*

**Méristèmes secondaires** → Tissus secondaires → Croissance en largeur

- **Phellogène = écorce**
- **Cambium = bois**

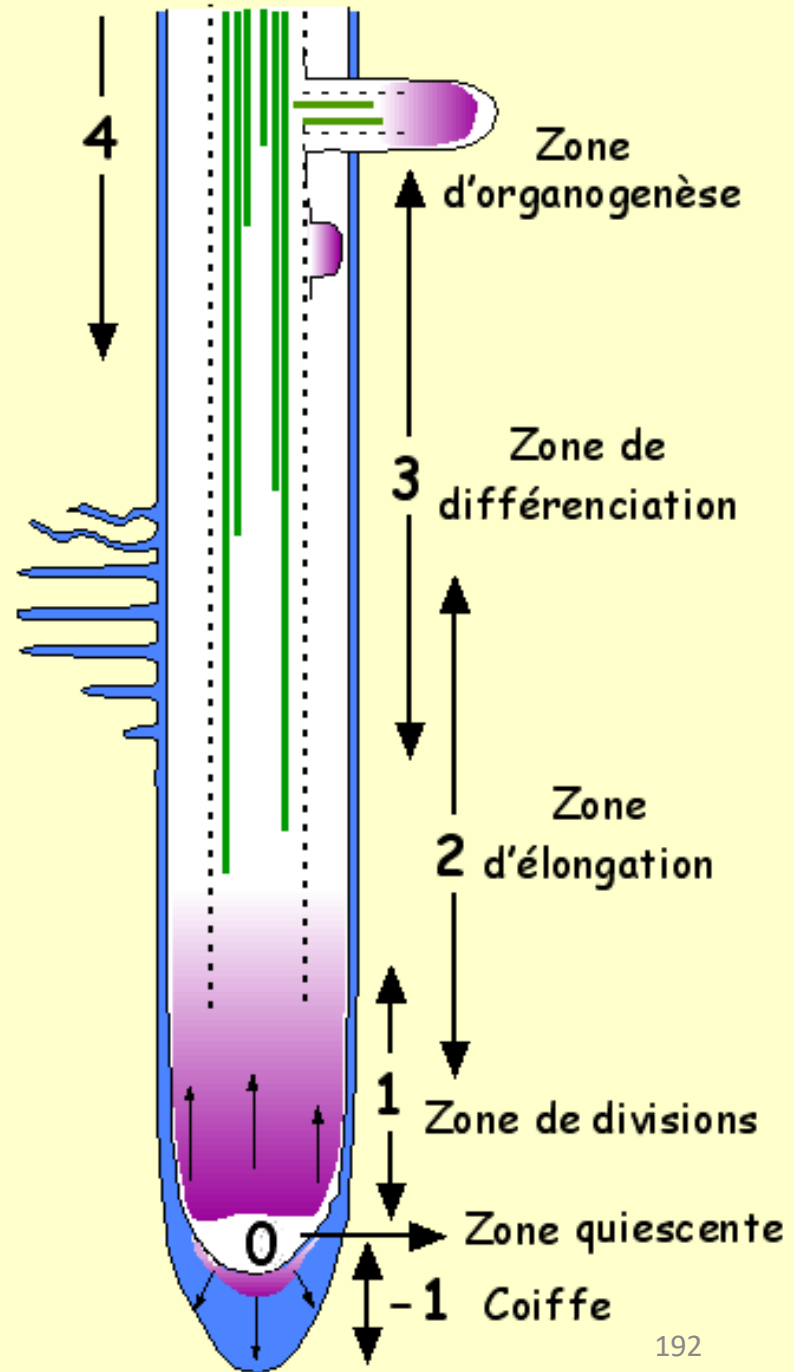
ES

ES

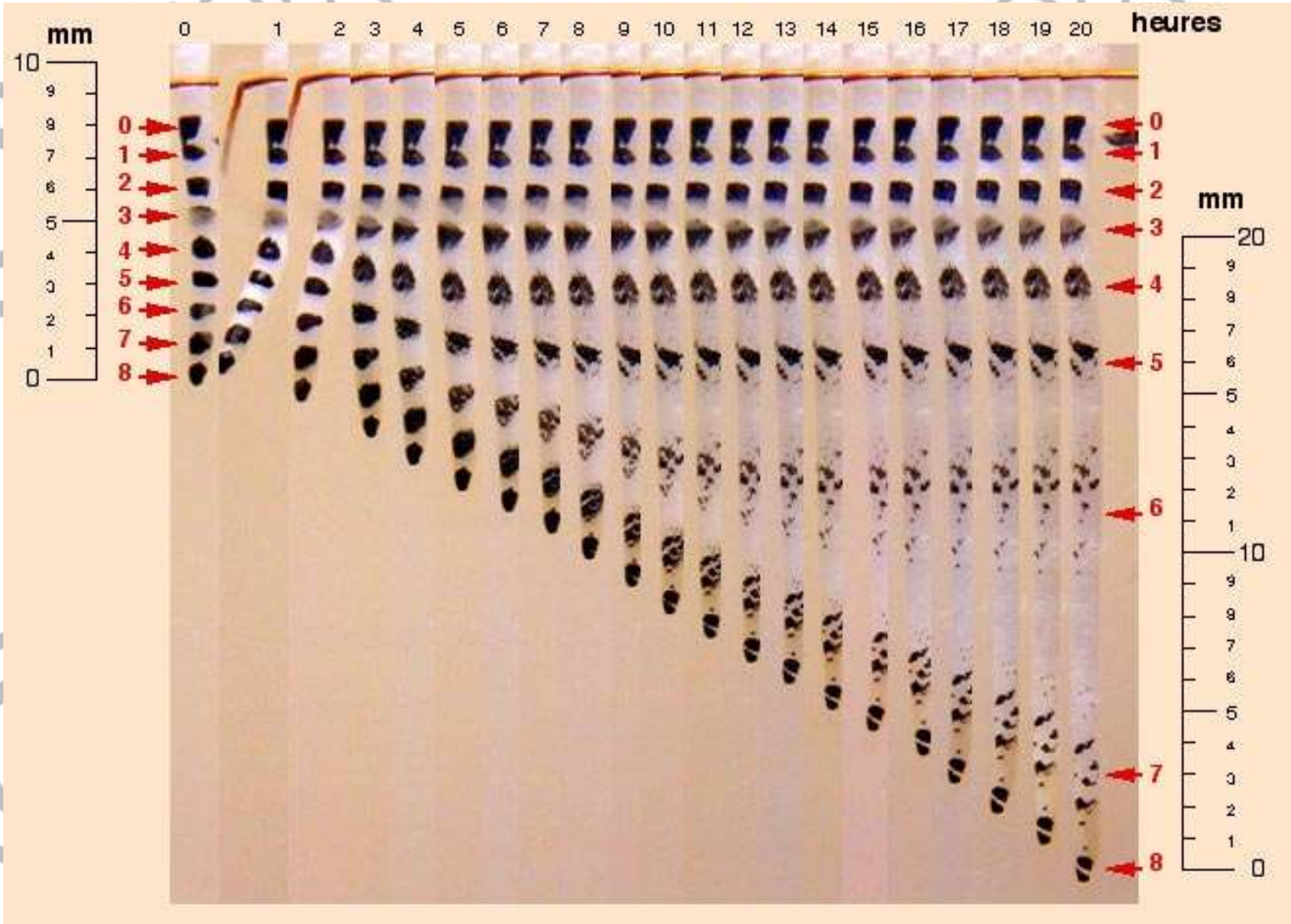
# 1 – Méristème Apical Racinaire (MAR)

→ Uniquement Histogène

Rappel: structure racinaire



# Croissance racinaire se fait par l'extrémité = MAR



Expérience de Sachs



## Le MAR constitue une niche de cellules souches

(« stem cell niche »)

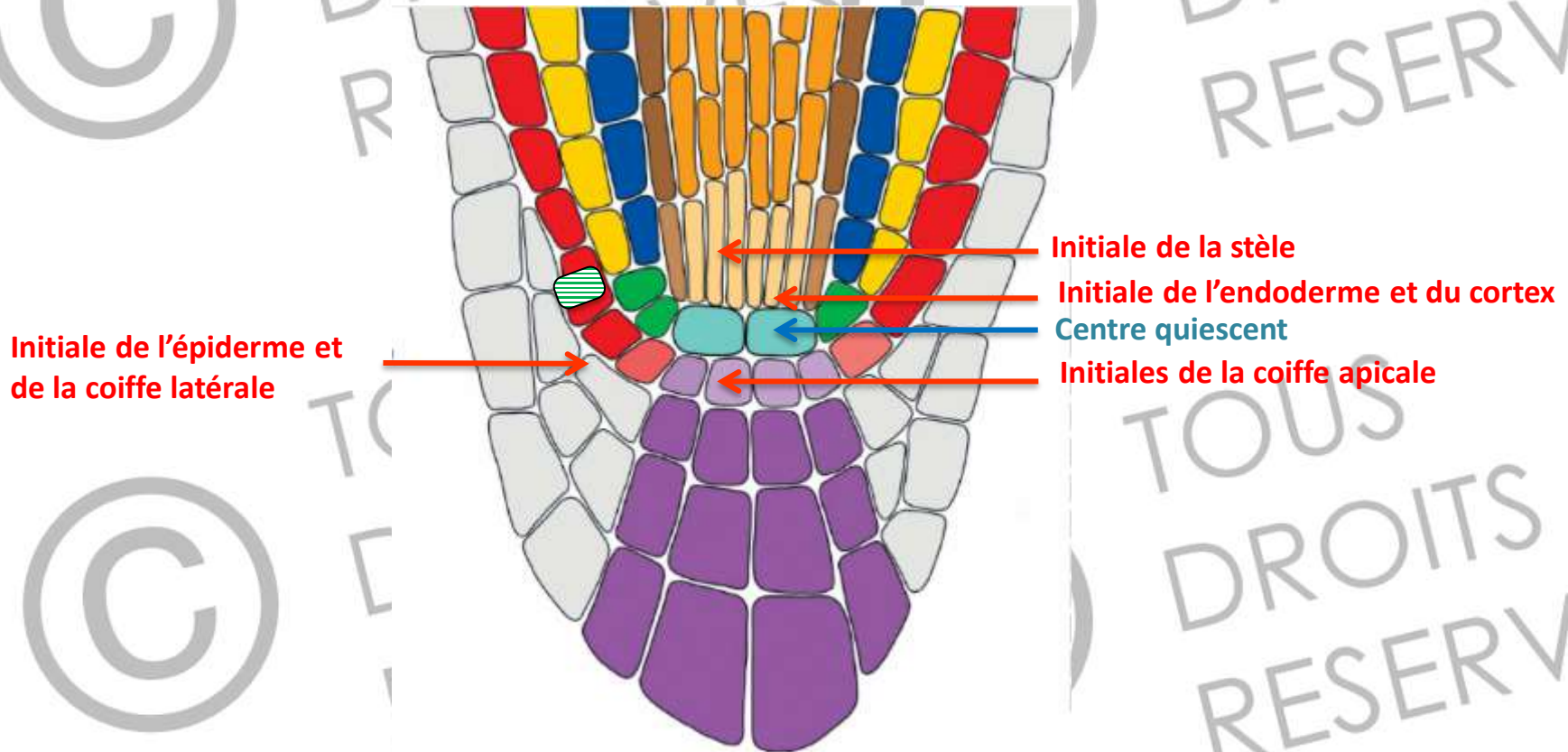
### Cellule souche:

Cellule **indifférenciée** se caractérisant par sa capacité à **engendrer des cellules spécialisées par différenciation cellulaire et une capacité à se maintenir par prolifération** (auto-renouvellement).

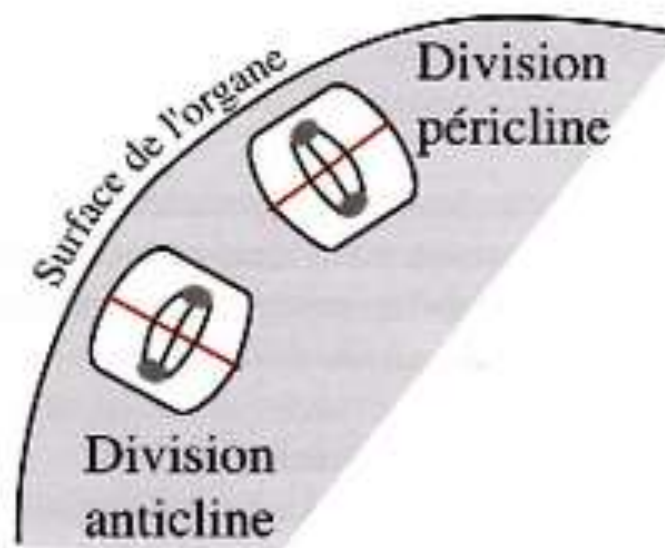
Ces cellules souches sont localisées dans des « micro-environnement » appelés « **niche** » où elles **sont initiées et maintenues**.

## Niche de Cellules Souches Racinaires :

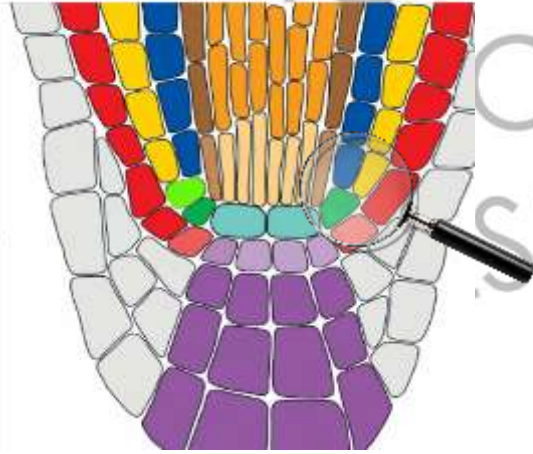
- Centre Quiescent (CQ)
- 4 types de **cellules souches (initiales)**



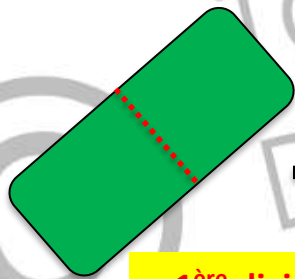
Rappel: **division anticline** = perpendiculaire à la surface de croissance  
**division péricline** = parallèle à la surface de croissance



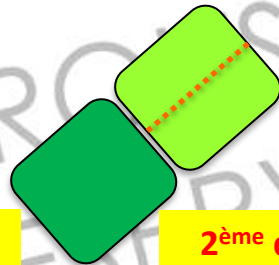
## ■ Différenciation de l'endoderme et du cortex



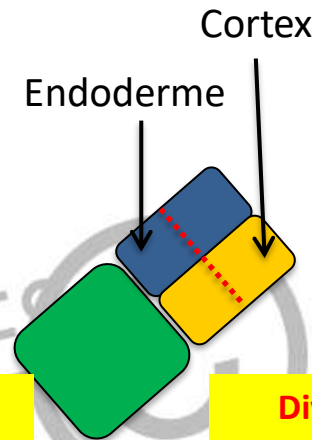
Cellule initiale du  
cortex/endoderme



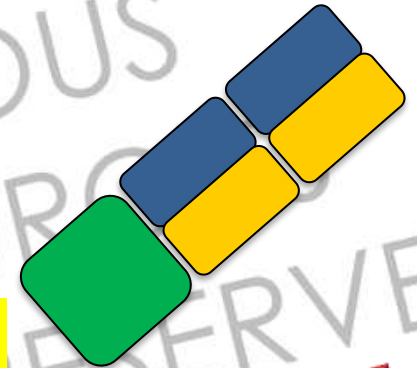
**1<sup>ère</sup> division  
asymétrique  
anticline**



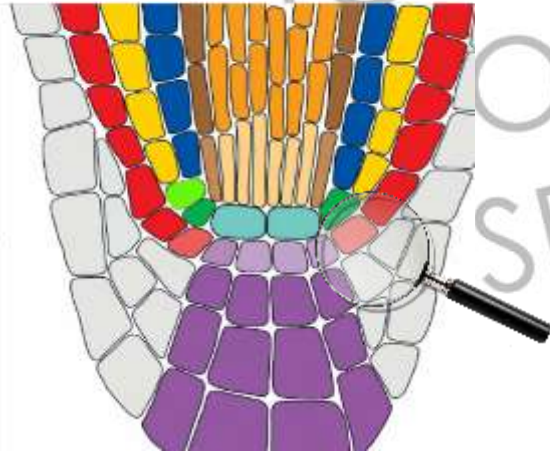
**2<sup>ème</sup> division  
asymétrique  
péricline**



**Divisions  
symétriques  
anticline**



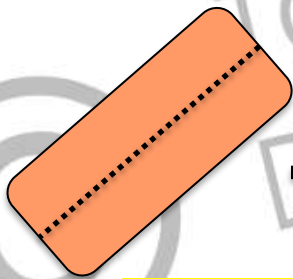
## Différenciation de la coiffe latérale et du rhizoderme



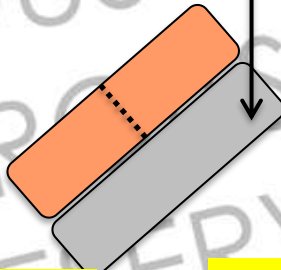
Cellule initiale de la  
coiffe latérale du  
rhizoderme

Cellule de la coiffe  
latérale

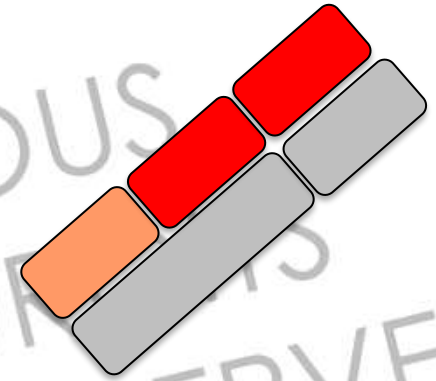
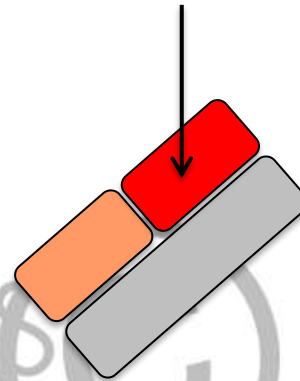
Cellule du rhizoderme



**1<sup>ère</sup> division  
asymétrique  
péricline**

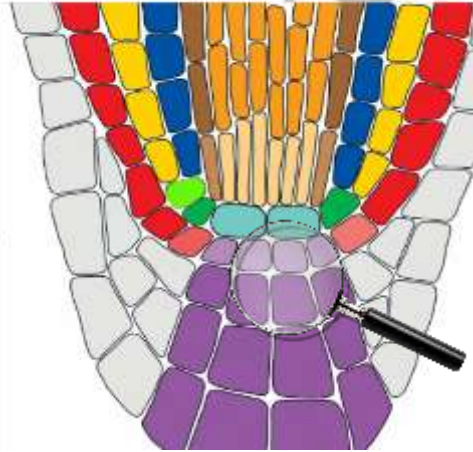


**2<sup>ème</sup> division  
asymétrique  
anticline**

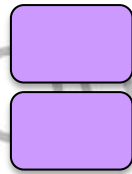
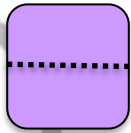


**Divisions  
symétriques  
anticline**

■ Différenciation de la coiffe apicale (columelle)



Cellule initiale de la  
coiffe apicale



**1<sup>ère</sup> division  
symétrique  
anticline**

**Différenciation  
par effet de  
position**

Cellule de la coiffe  
apicale

# Niche de Cellules Souches Racinaires

