

III – Expansion & Morphogenèse



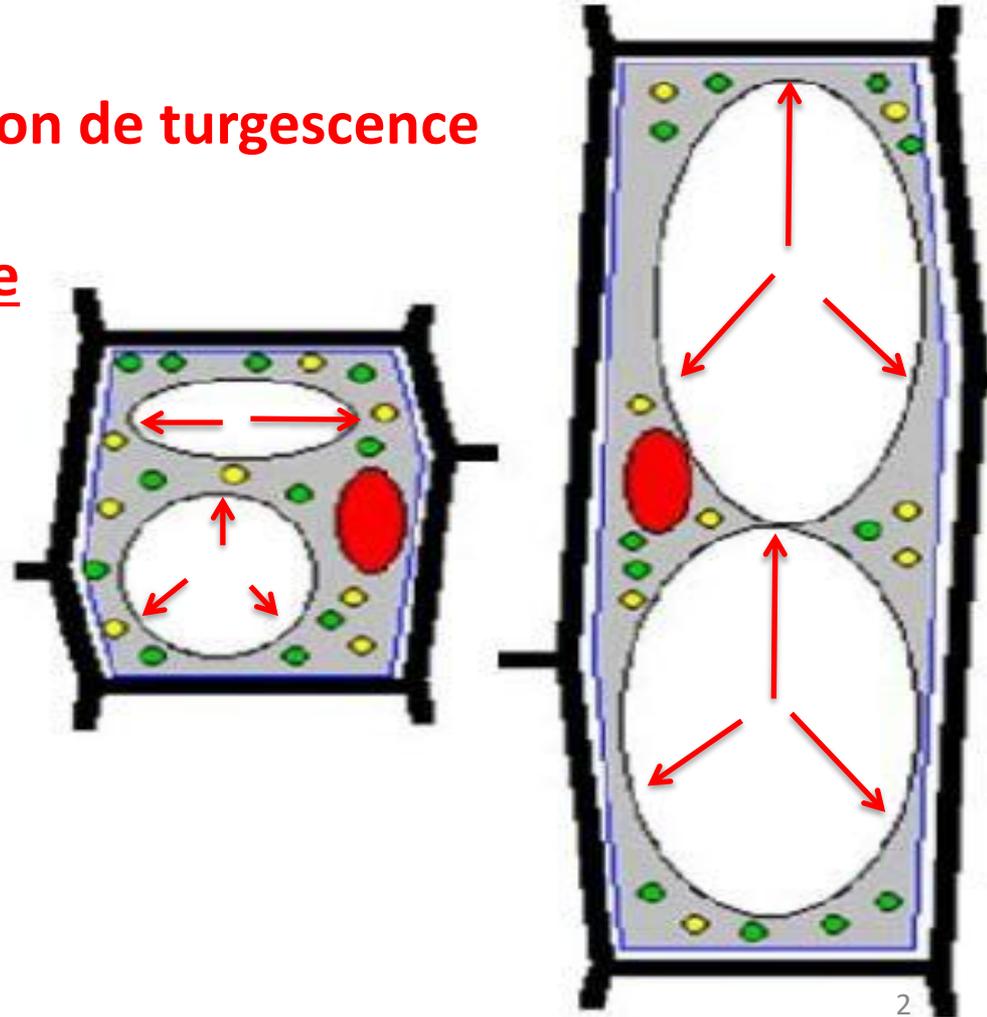
1 – Expansion Cellulaire

1 – 1 Importance de la paroi

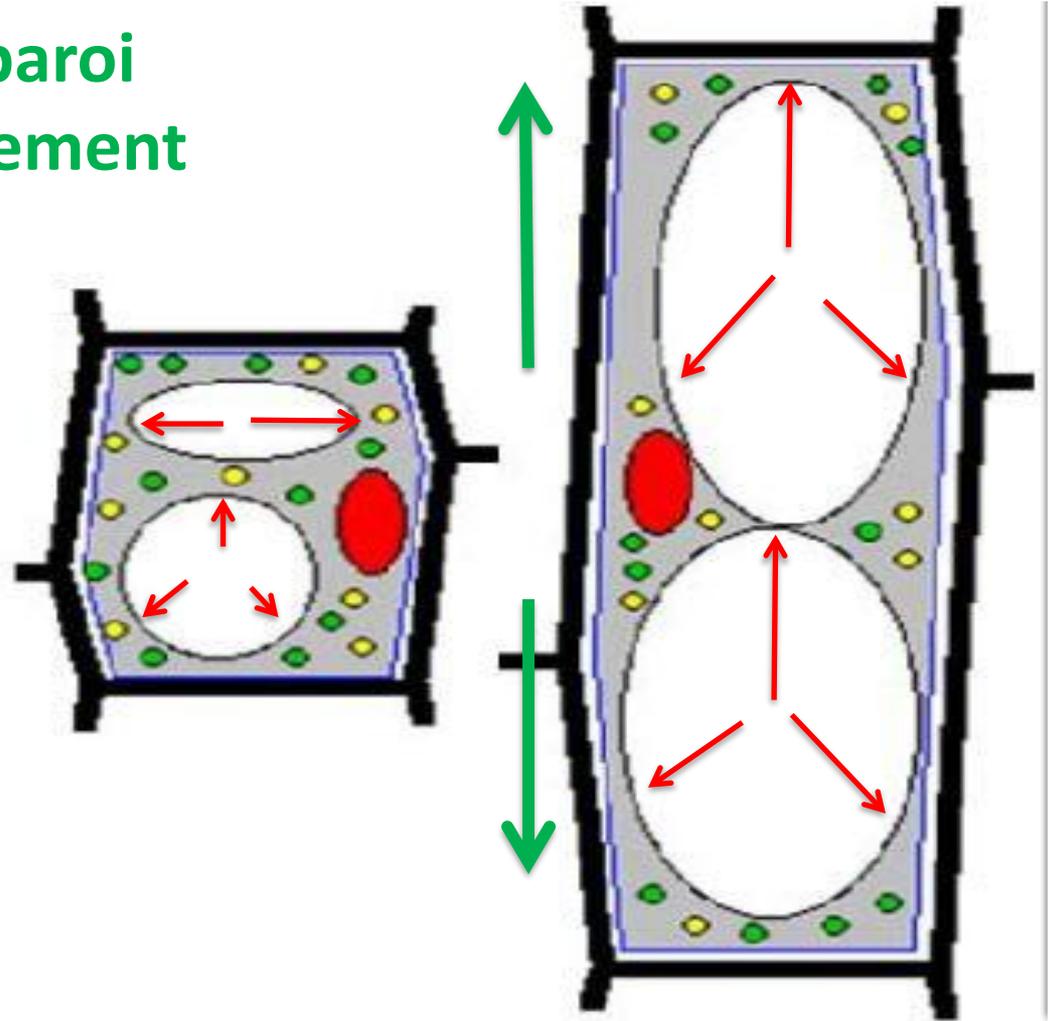
2 composantes:

1 → Augmentation de la pression de turgescence

moteur de l'expansion cellulaire

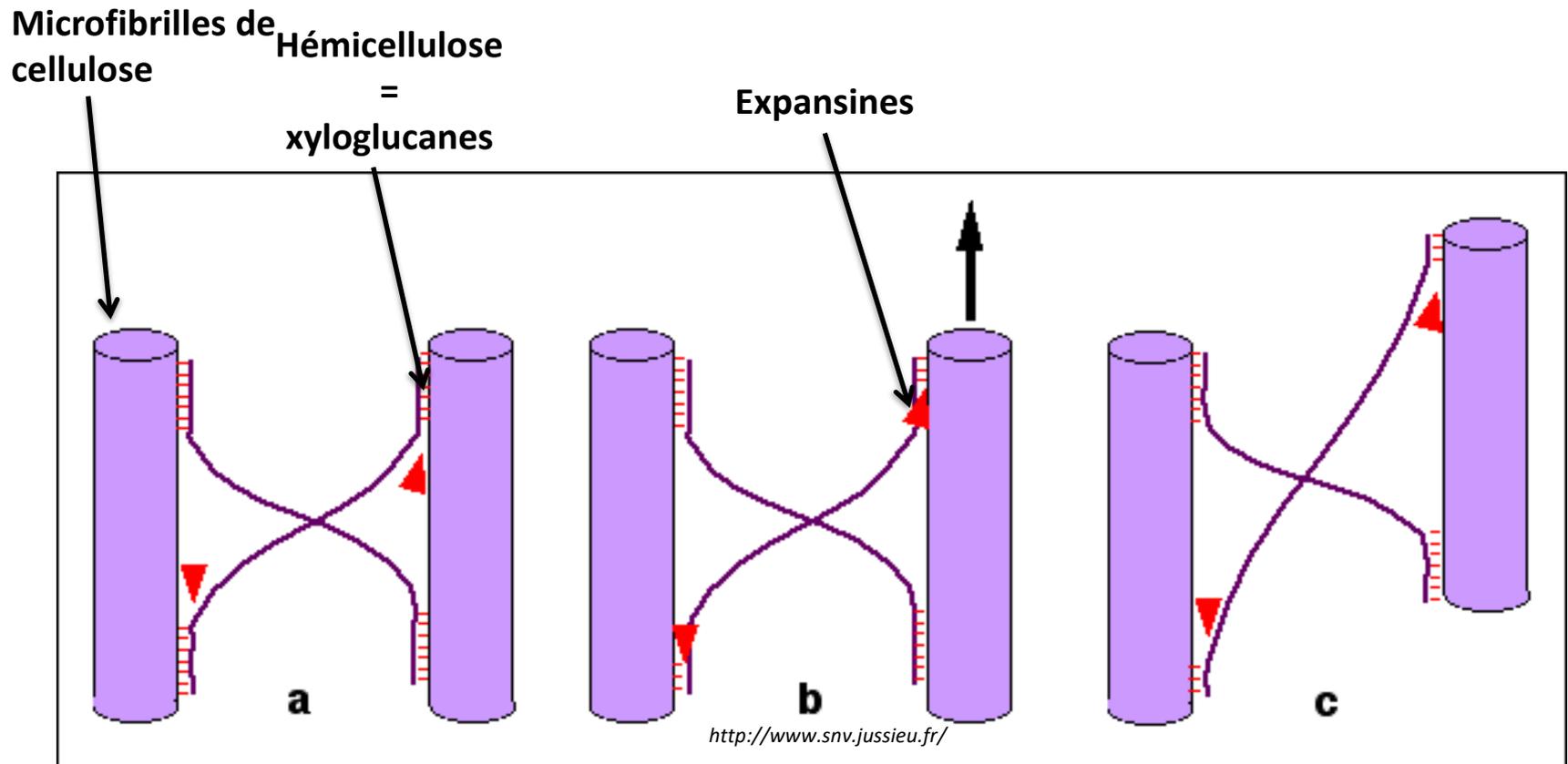


2 → Relâchement de la paroi
pour permettre le changement
de forme de la cellule



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

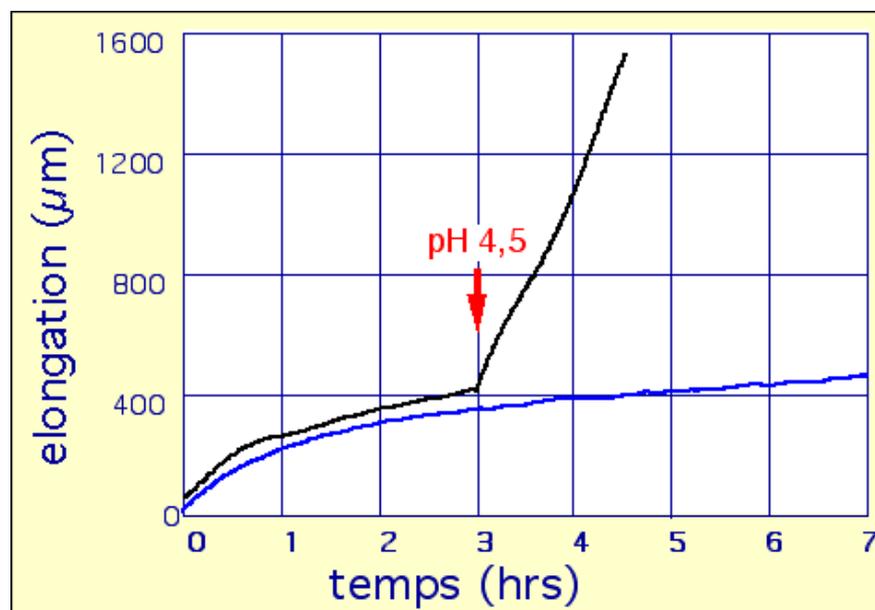
Ex: les **expansines** cassent les liaisons entre cellulose et hémicelluloses



Quels sont les facteurs de relâchement de la paroi?

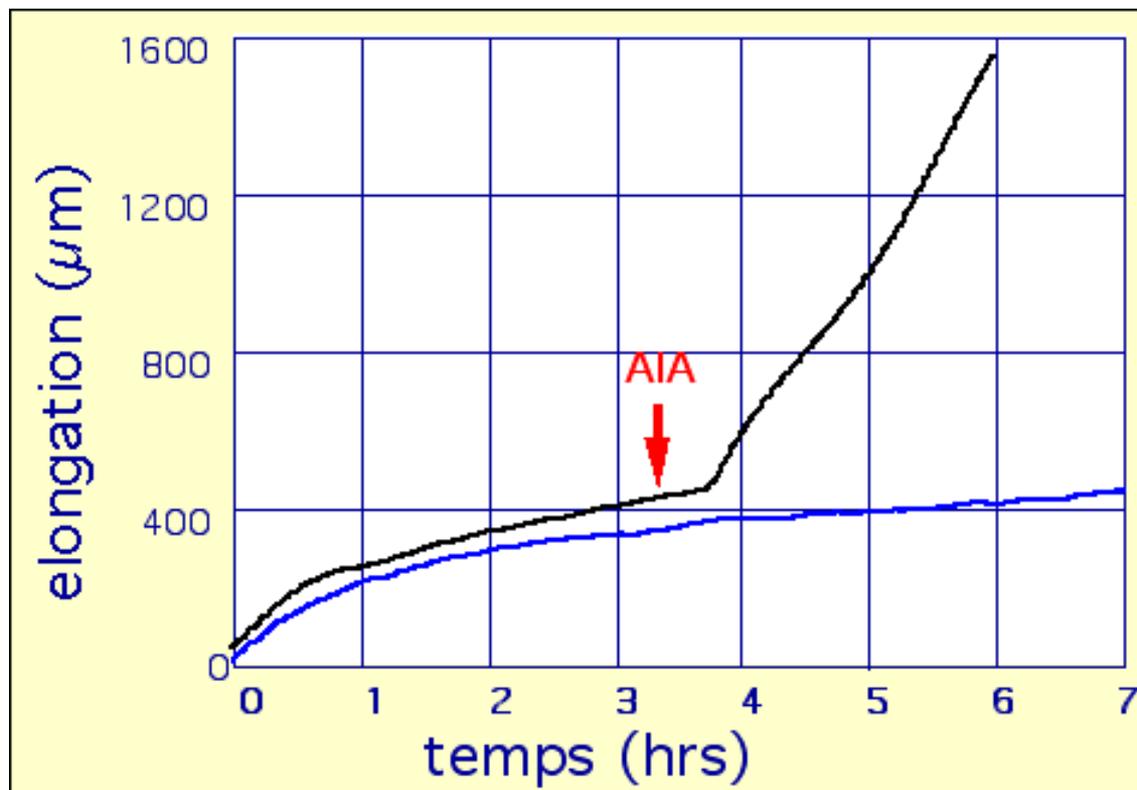
3 constats:

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



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

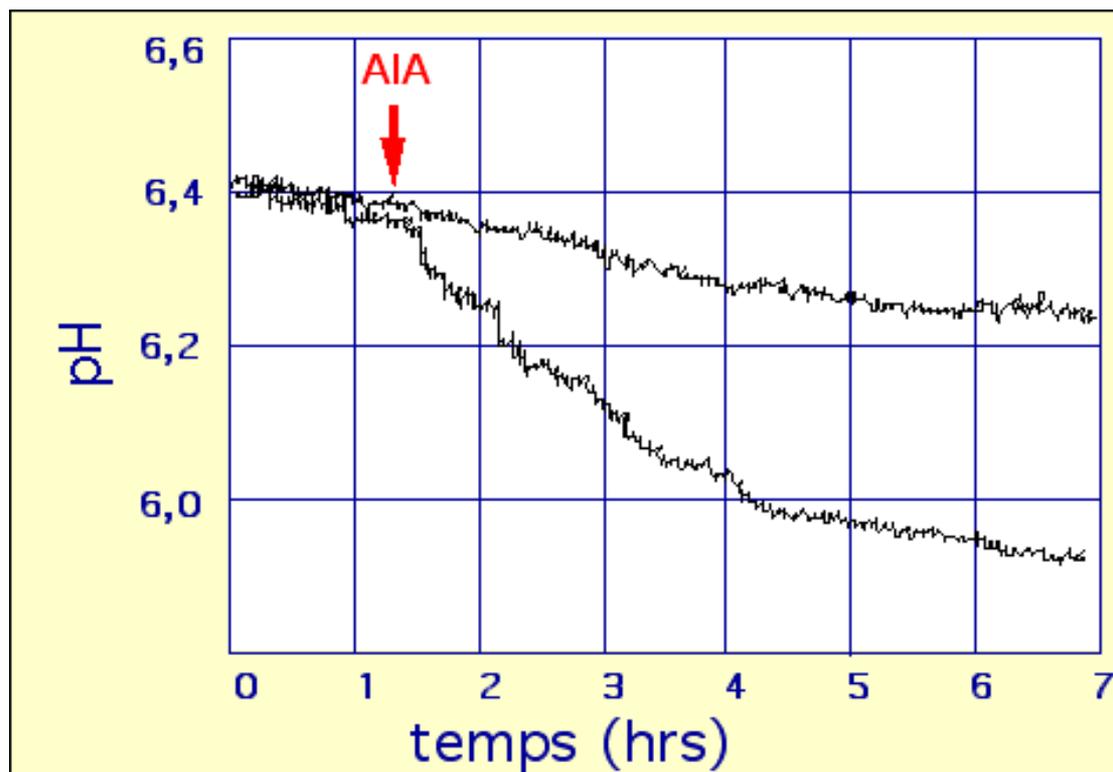
2. L'auxine* stimule l'élongation cellulaire



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

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

3. L'auxine favorise l'acidification pariétale

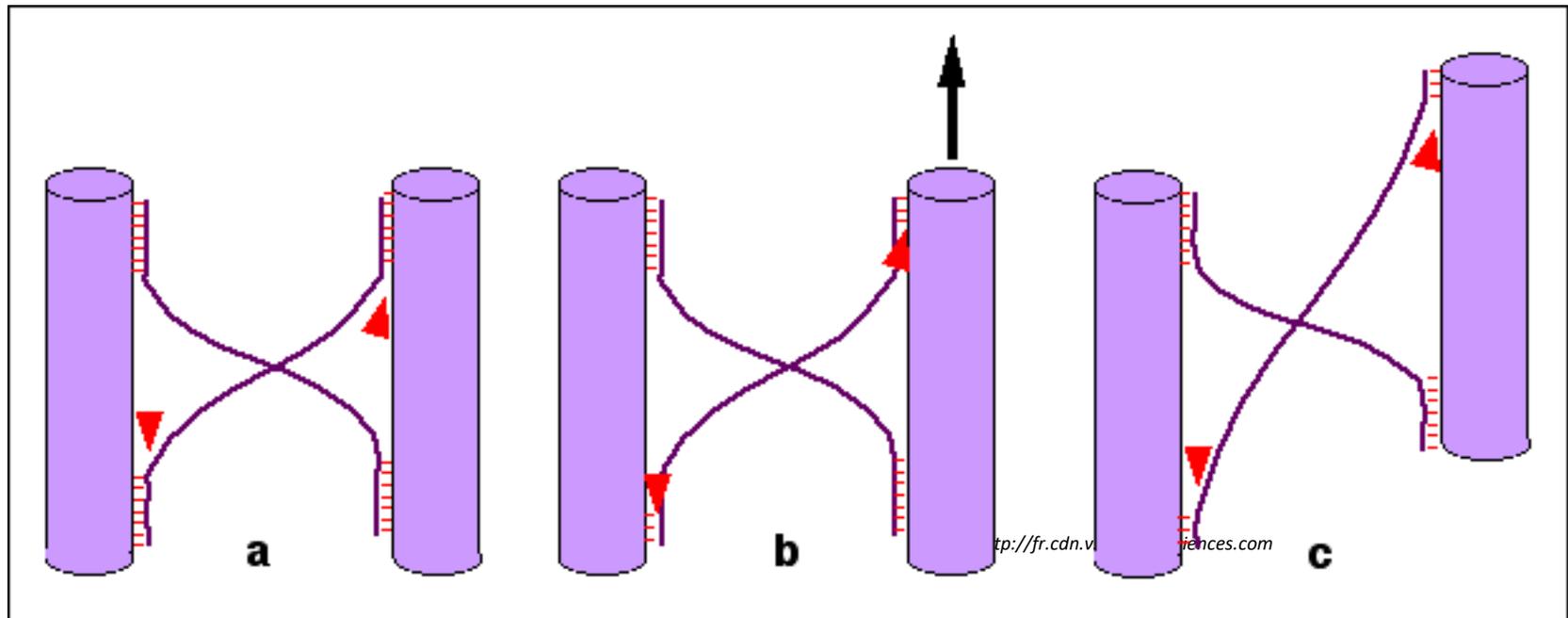
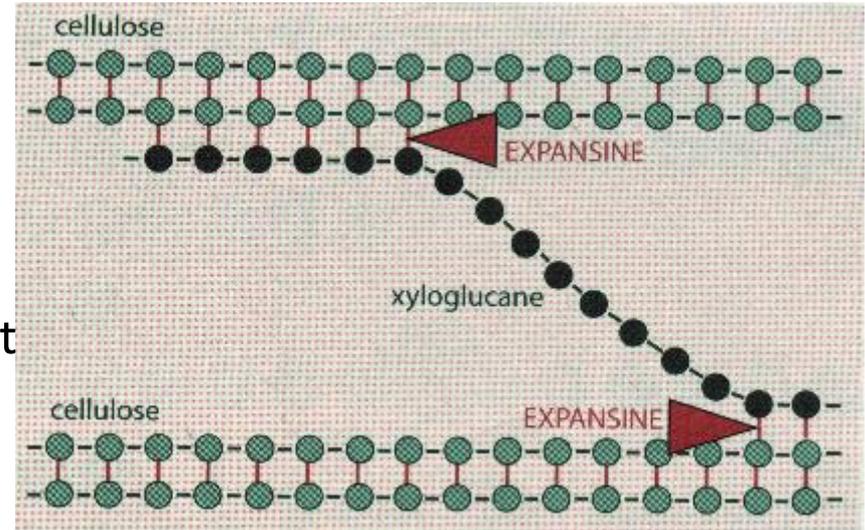


<http://www.snv.jussieu.fr/>

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

= Rôle des expansines

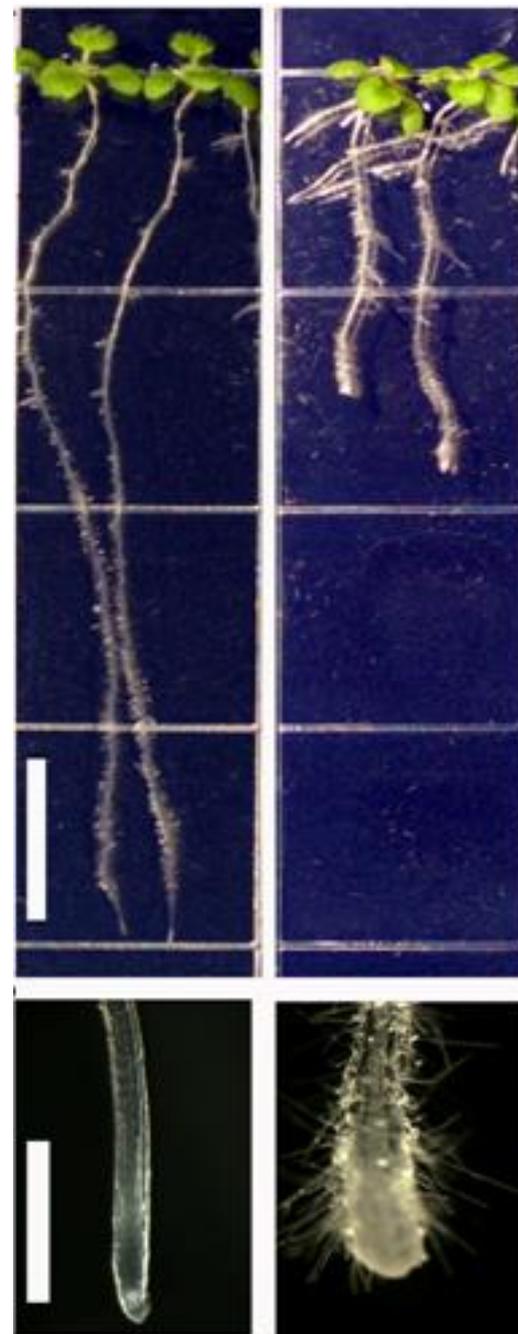
La baisse de pH va provoquer un affaiblissement des liaisons hydrogènes et faciliter l'action des expansines



Déformation irréversible de la paroi

Rôle des expansines

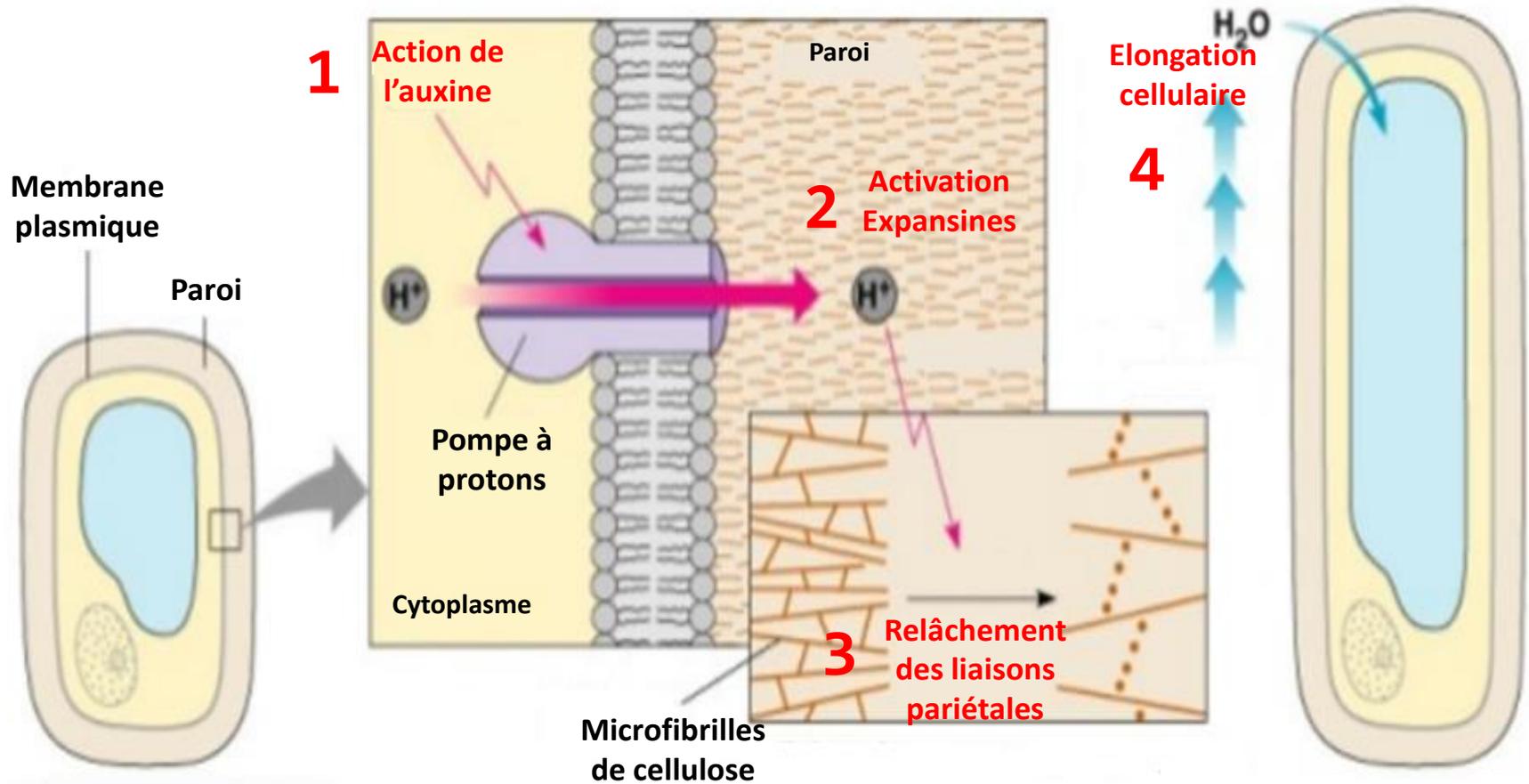
Exemple d'un mutant de perte de fonction chez *Arabidopsis thaliana*



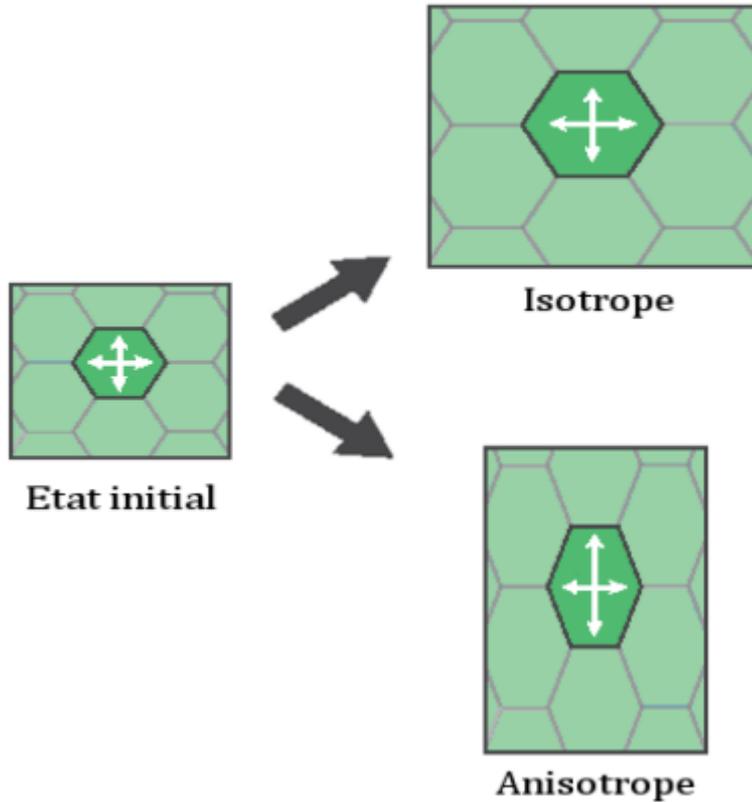
WT

aik1

➔ Théorie de la « croissance acide »



1 – 2 Différents types d'expansion cellulaire

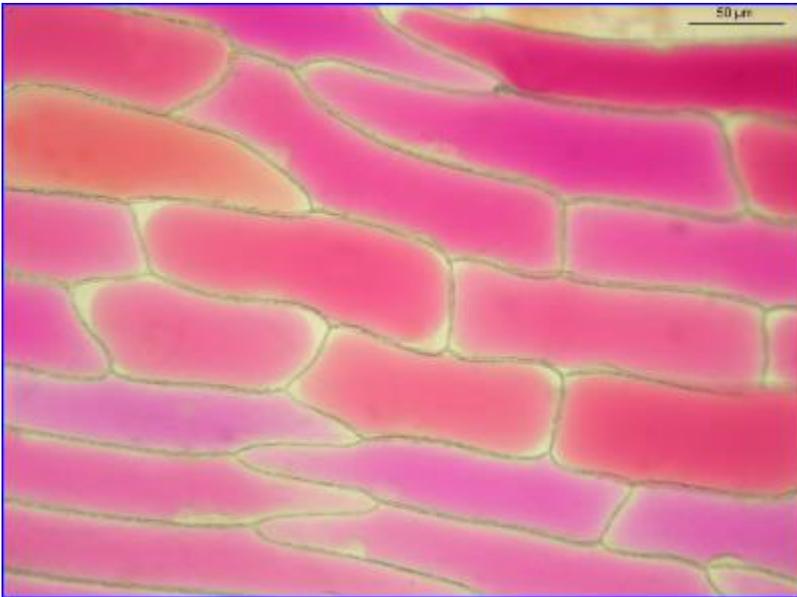


ISOTROPE = Expansion cellulaire équivalente dans toutes les directions
Croissance non polarisée très rare pour les cellules végétales

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**)



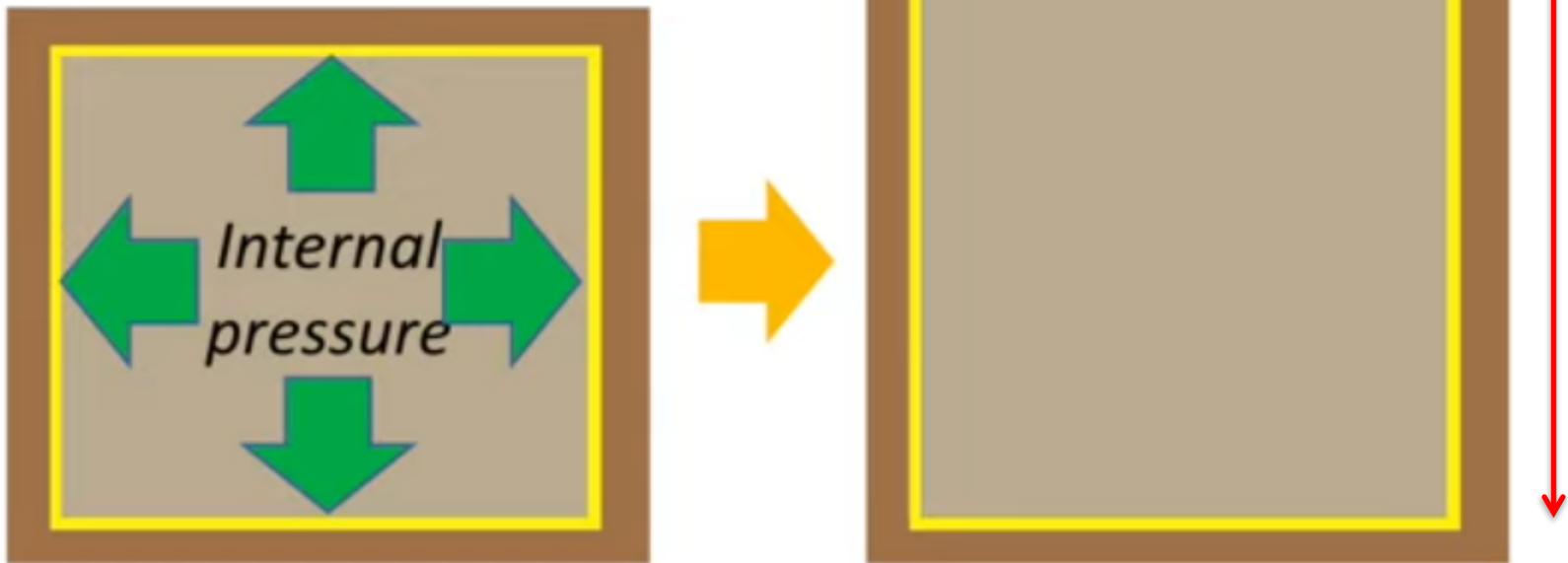
Cellules d'épiderme d'oignon rouge avec leur paroi

Cellulases
→

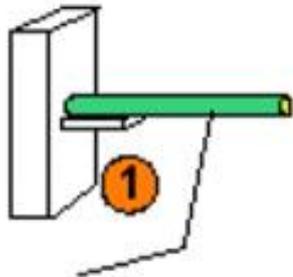


Protoplastes dépourvus de paroi

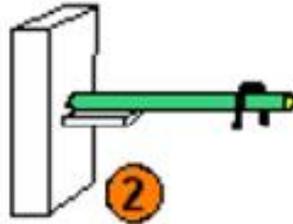
La forme des cellules dépend de différences locales de propriétés de **plasticité** et **d'élasticité de la paroi**.



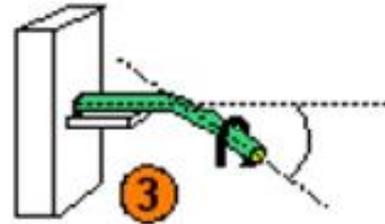
La paroi est plastique



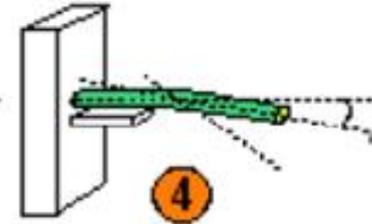
Coléoptile décapité
Incubé dans l'eau



Application d'un poids
(cavalier 220 mg)



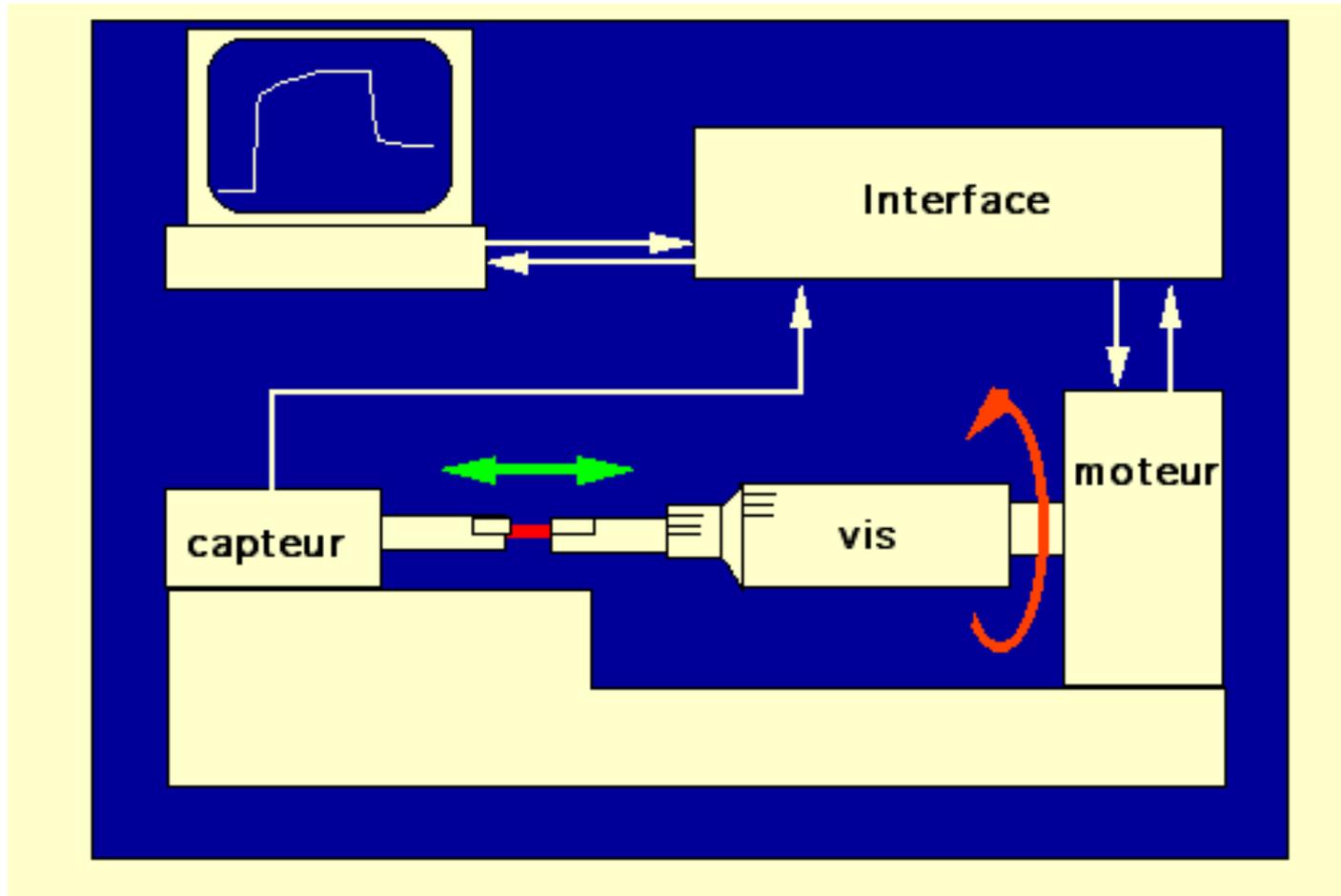
Retrait du poids



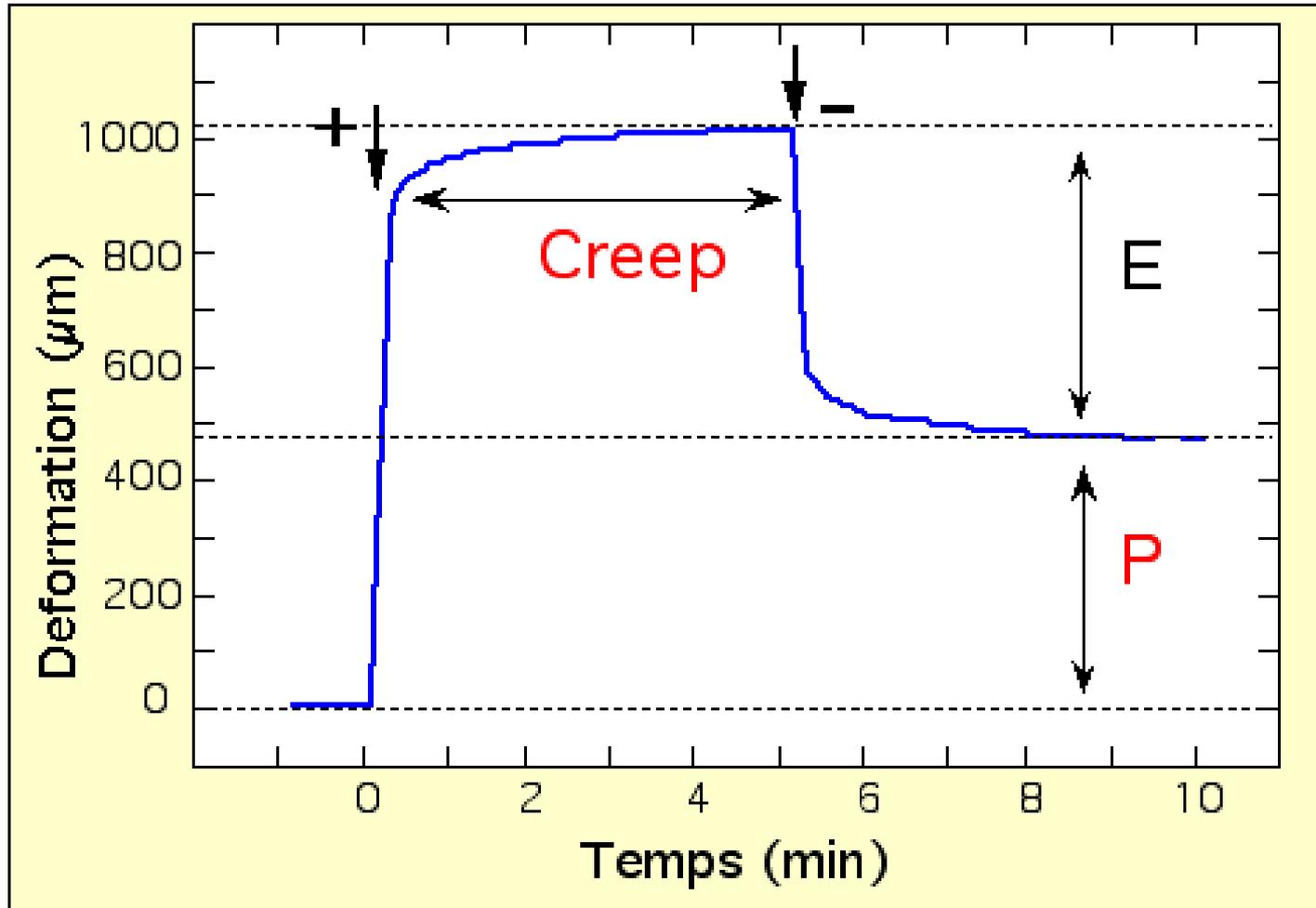
Heyn, 1931

Propriétés mécaniques de la paroi

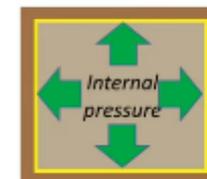
Mesure avec un extensiomètre



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

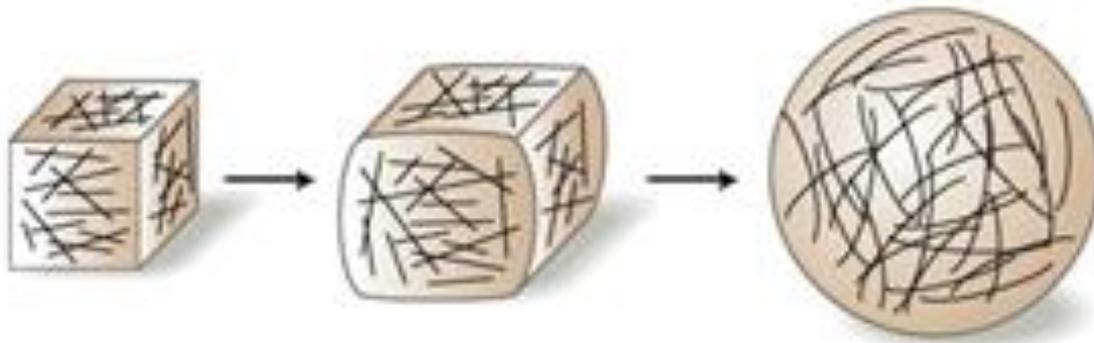


Creep = phase de traction constante
E = Déformation élastique (réversible)
P = Déformation Plastique (irréversible)

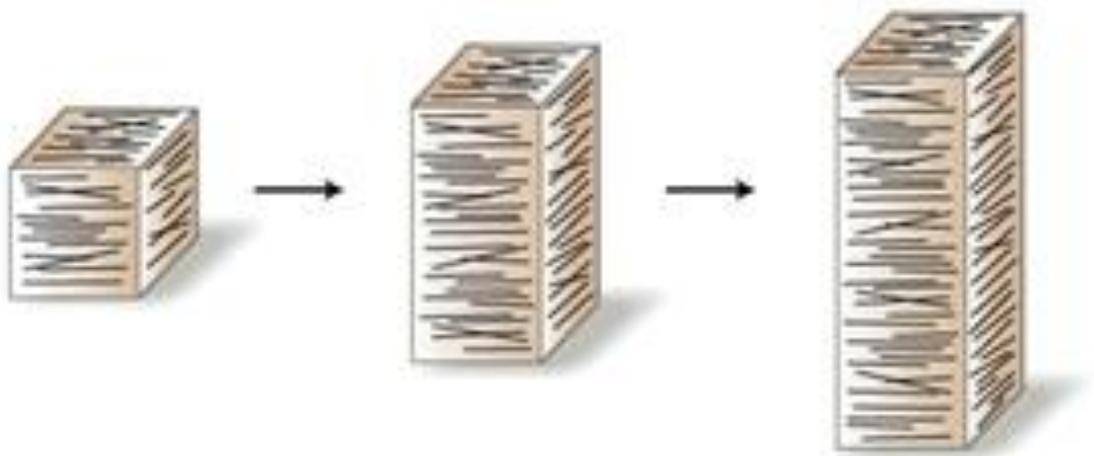


Orientation de la croissance

Croissance non-polarisée: distribution aléatoire des microfibrilles de cellulose

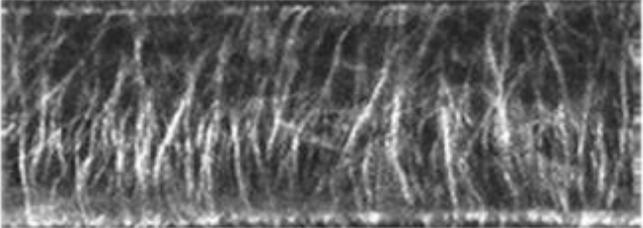
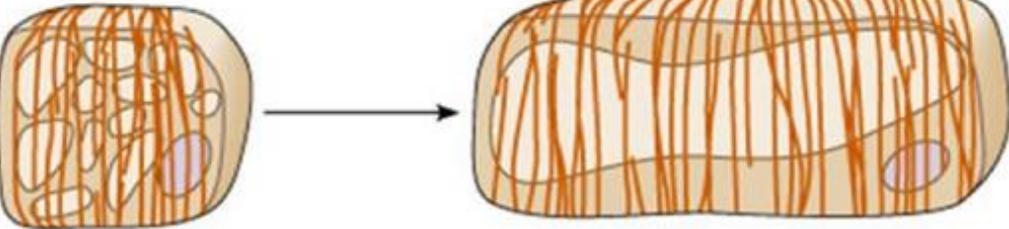
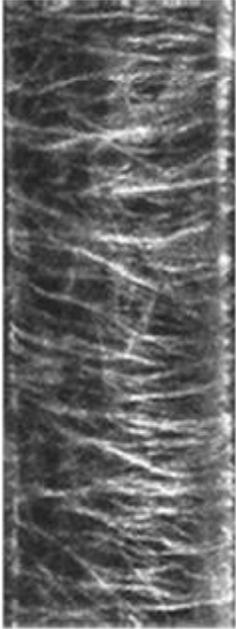
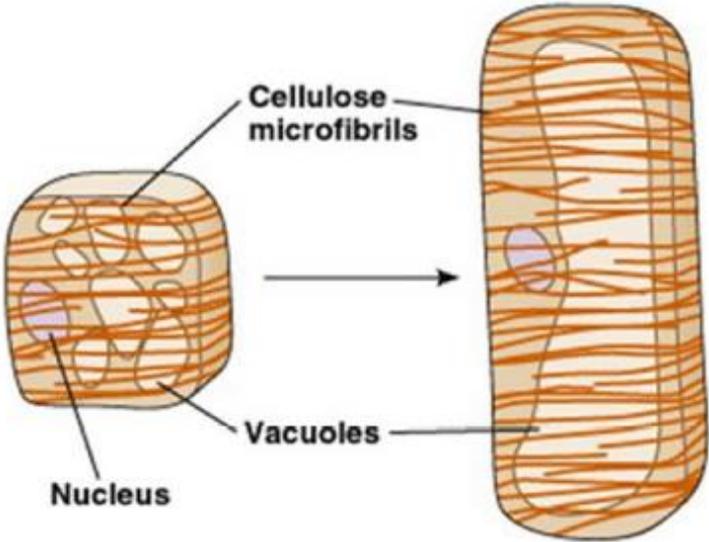


→ Croissance polarisée: **distribution perpendiculaire à l'axe d'élongation des microfibrilles de cellulose**



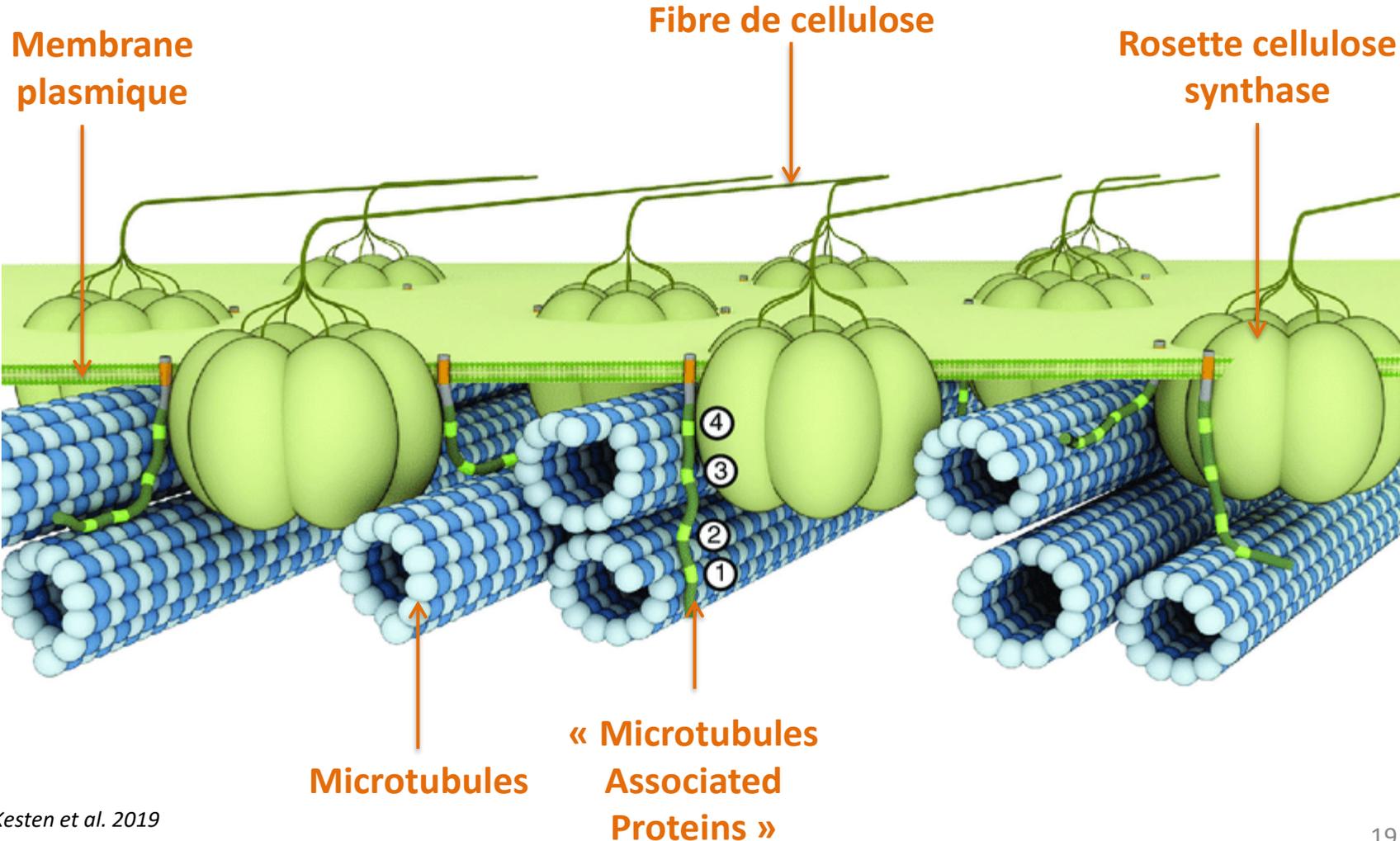
Rôle de soutien

Croissance polarisée



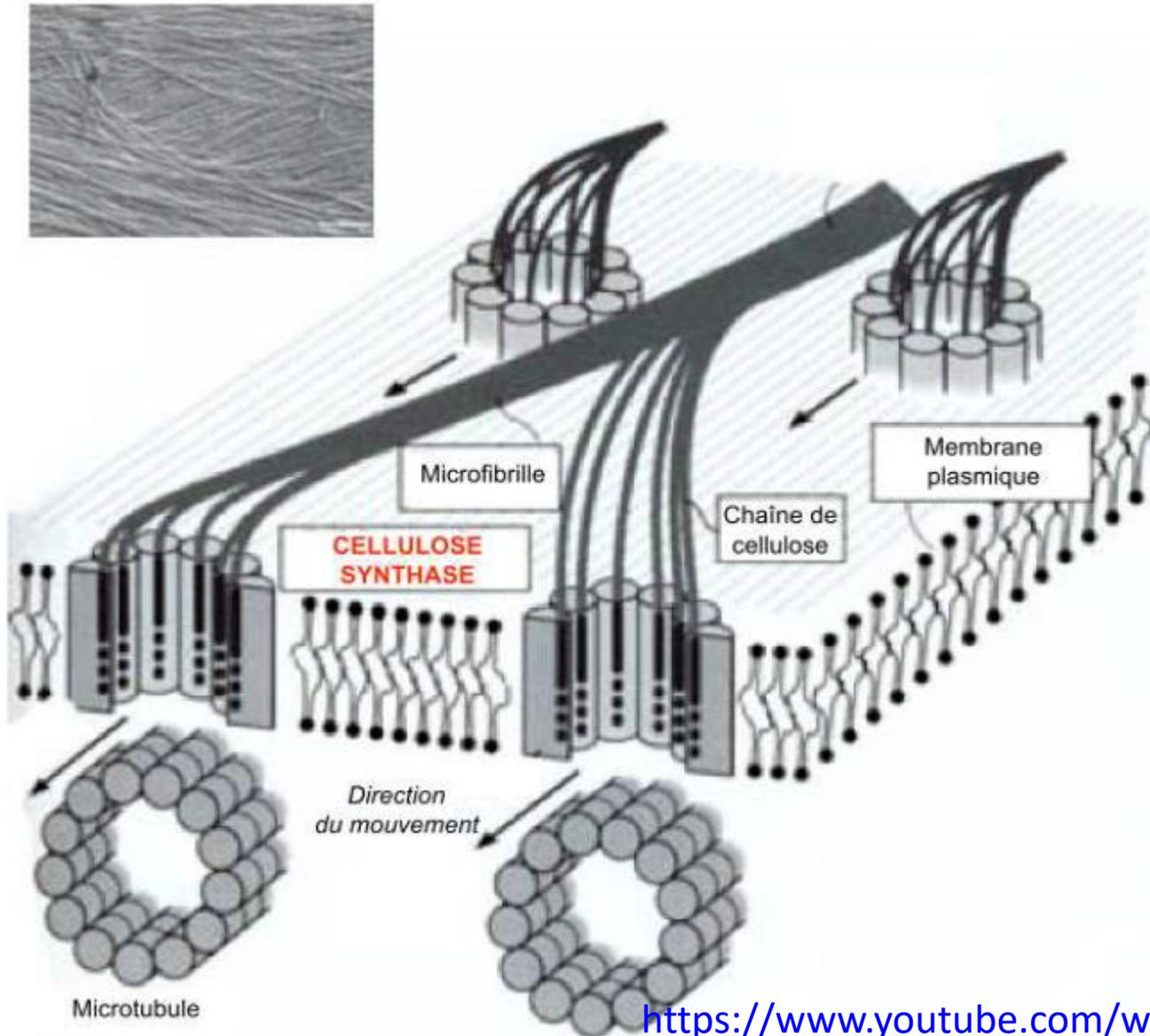
Coordination paroi/cytosquelette lors de l'expansion cellulaire

Les Cellulose Synthases sont associées aux microtubules

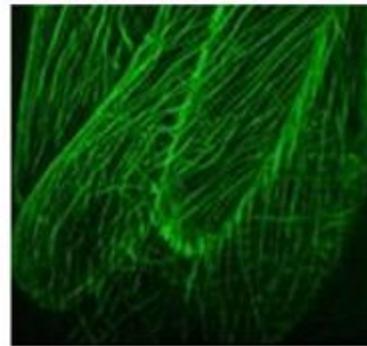
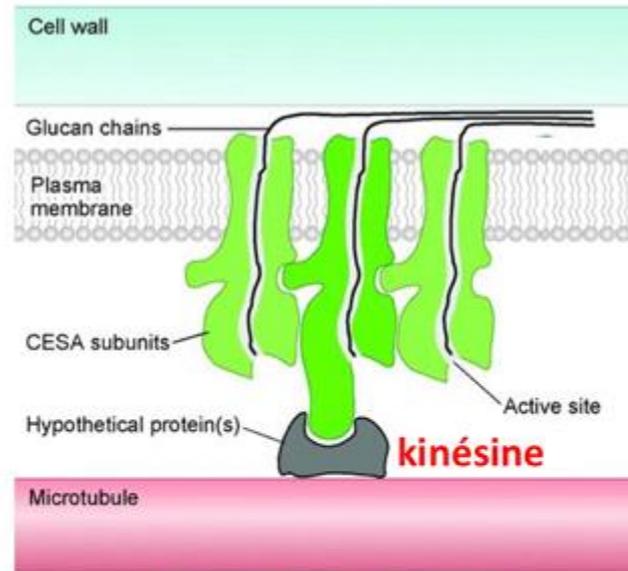


Kesten et al. 2019

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

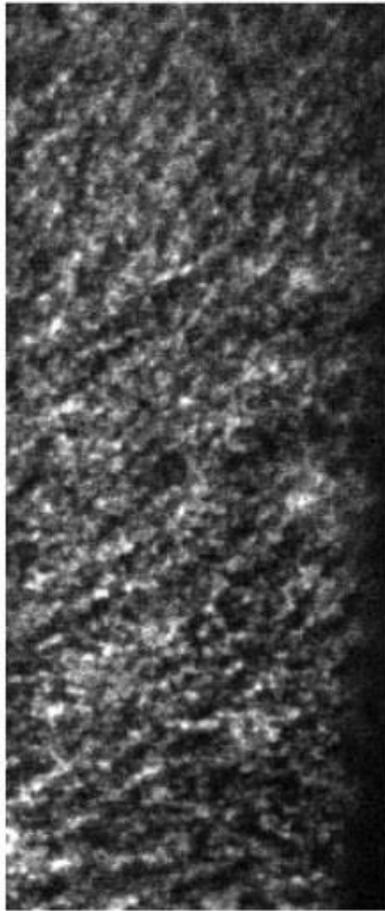


Les rosettes de cellulose synthases se déplacent et progressent à la surface des membranes plasmiques

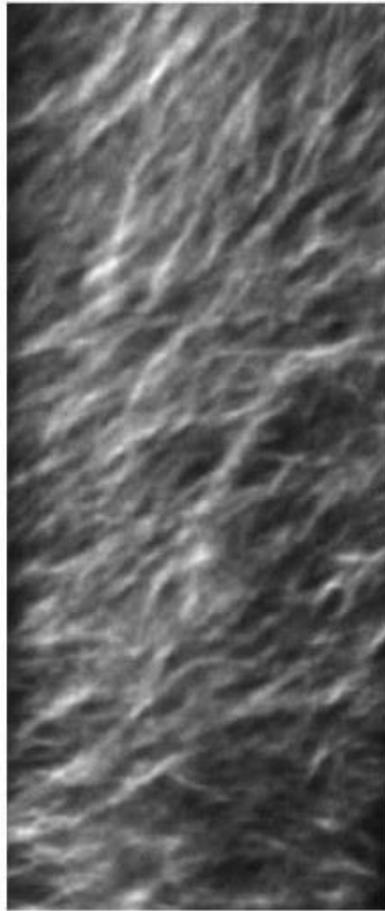


Visualisation des CS

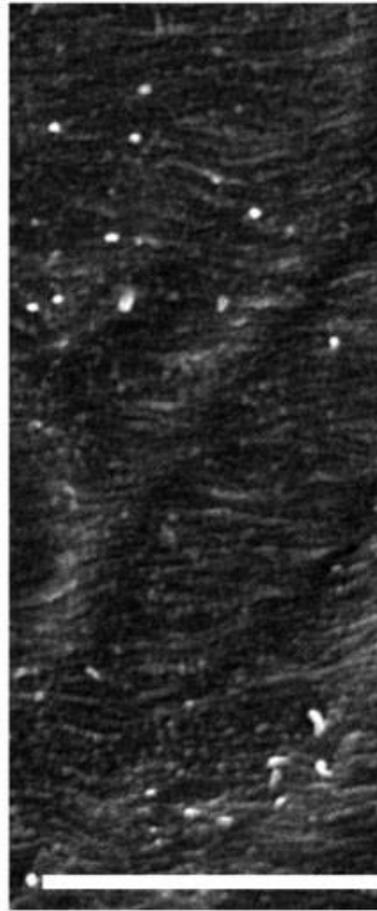
CS



Progression des CS et
synthèse de la
cellulose

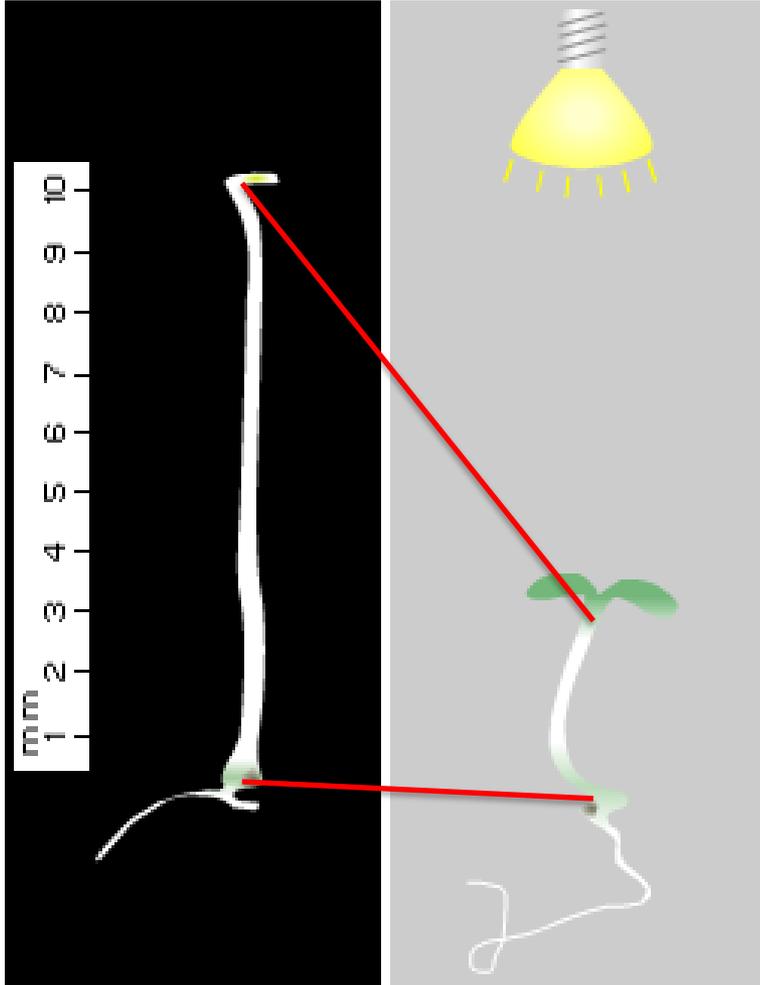


Microfibrilles à
travers la paroi



Coordination paroi/cytosquelette lors de la croissance

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

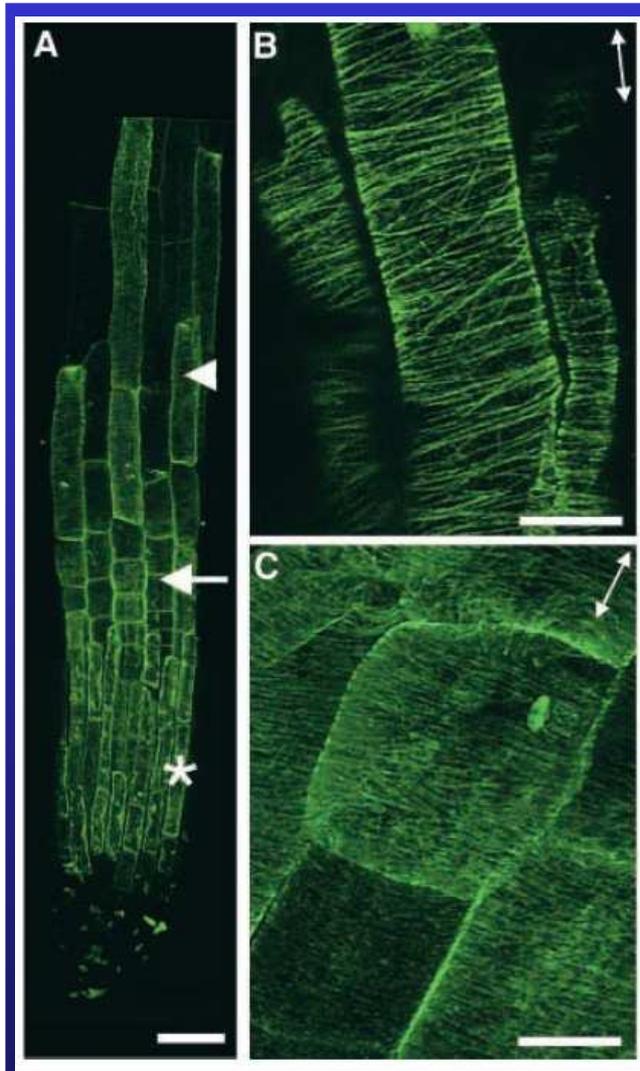


Plante étiolée =
skotomorphogénèse

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

Coordination paroi/cytosquelette lors de la croissance

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

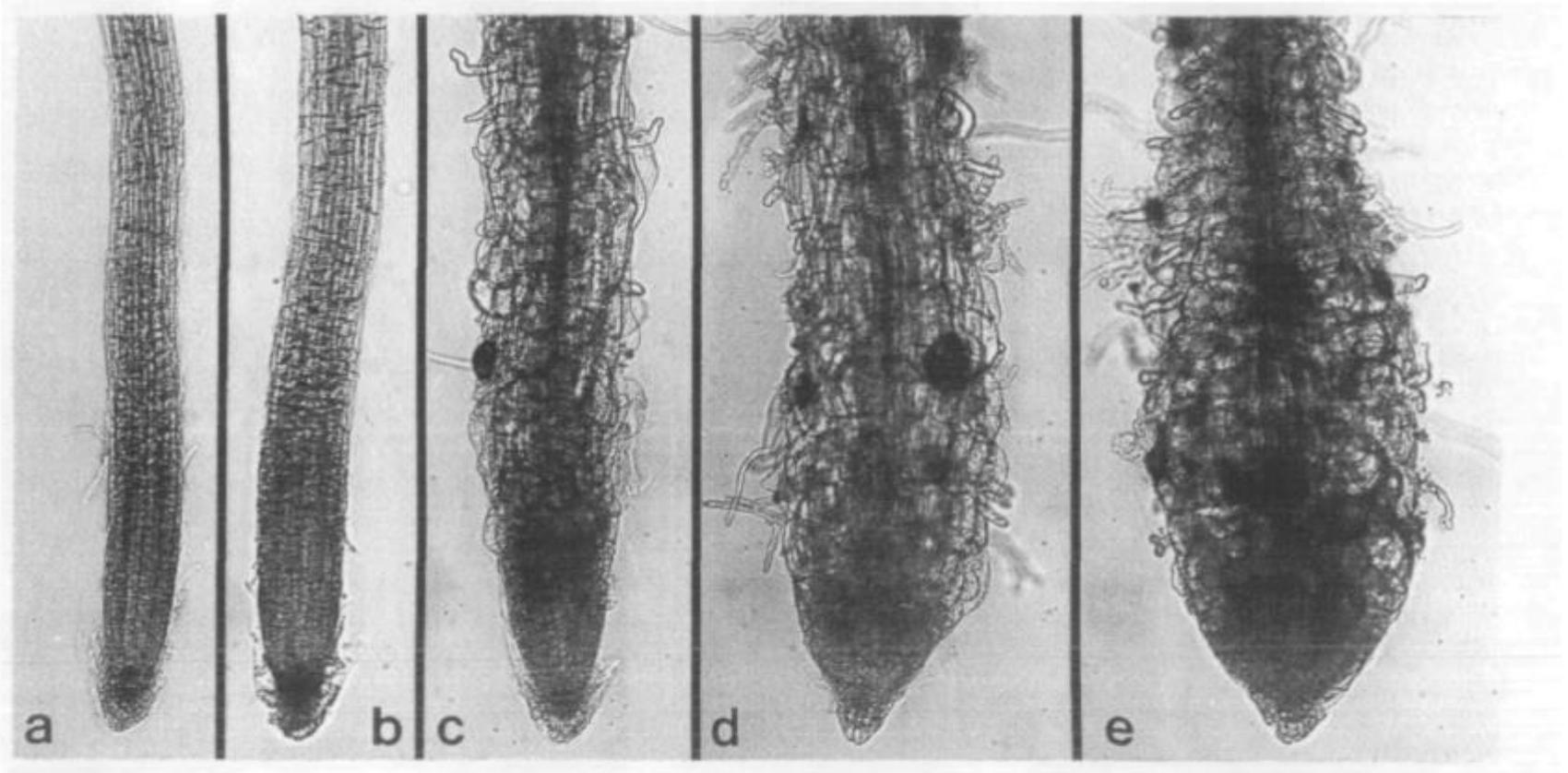
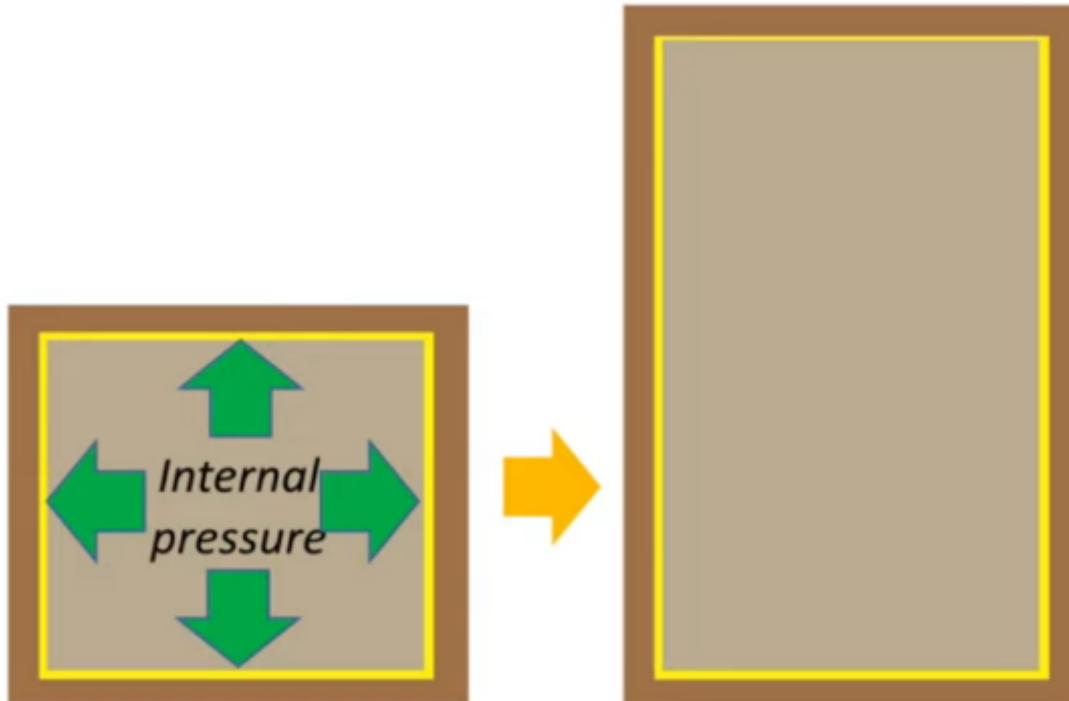


Fig. 1 Photomicrographs of 8 day old arabidopsis primary roots exposed for 2 days to various concentrations of oryzalin at 31°C. Concentration increases from left to right: (a) control, (b) 170 nM, (c) 300 nM, (d) 560 nM and (e) 1 μ M. All panels are at the same magnification, 64 \times .

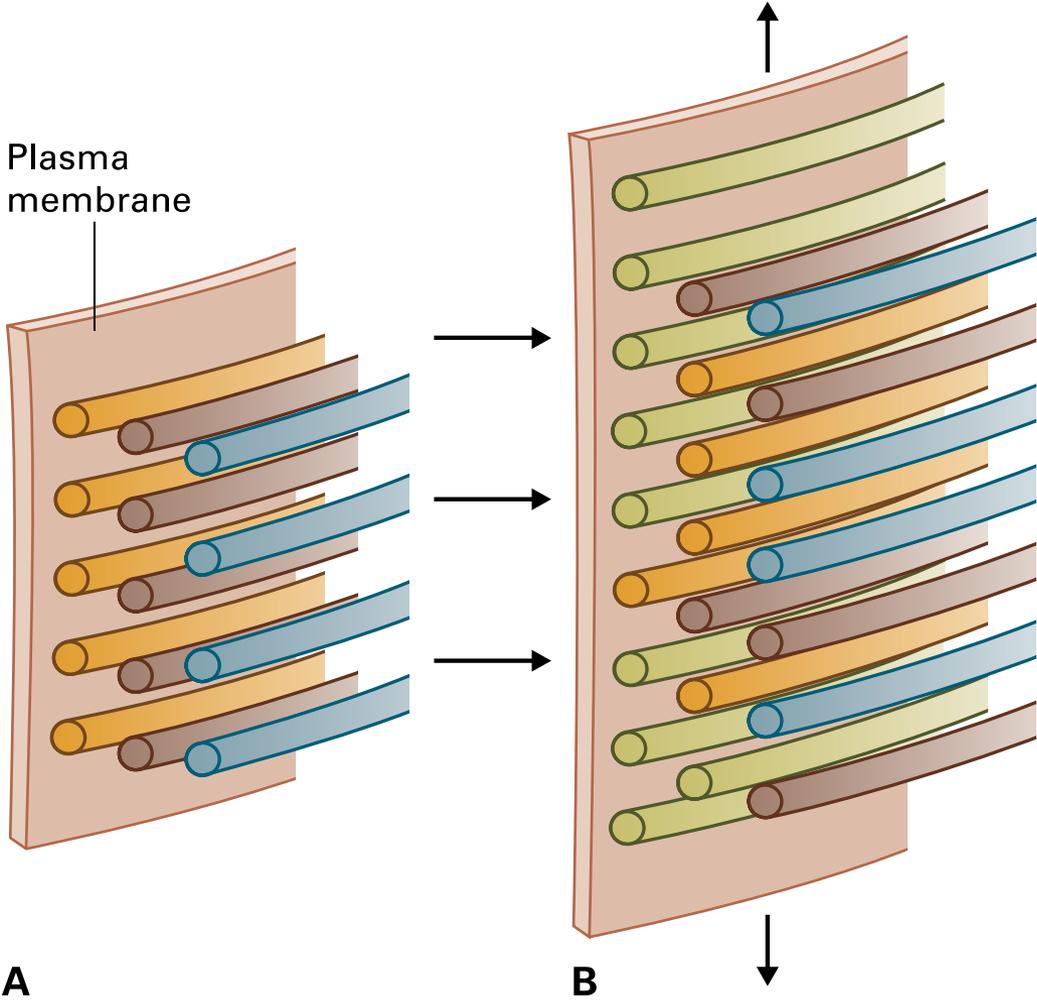
Coordination paroi/cytosquelette lors de la croissance

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



Coordination paroi/cytosquelette lors de la croissance

Intégration de nouvelles fibres de celluloses pour maintenir une épaisseur de paroi 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:

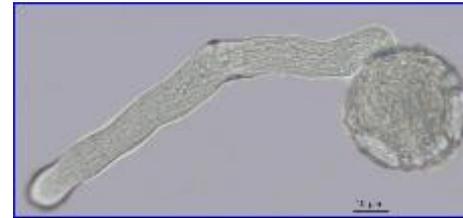
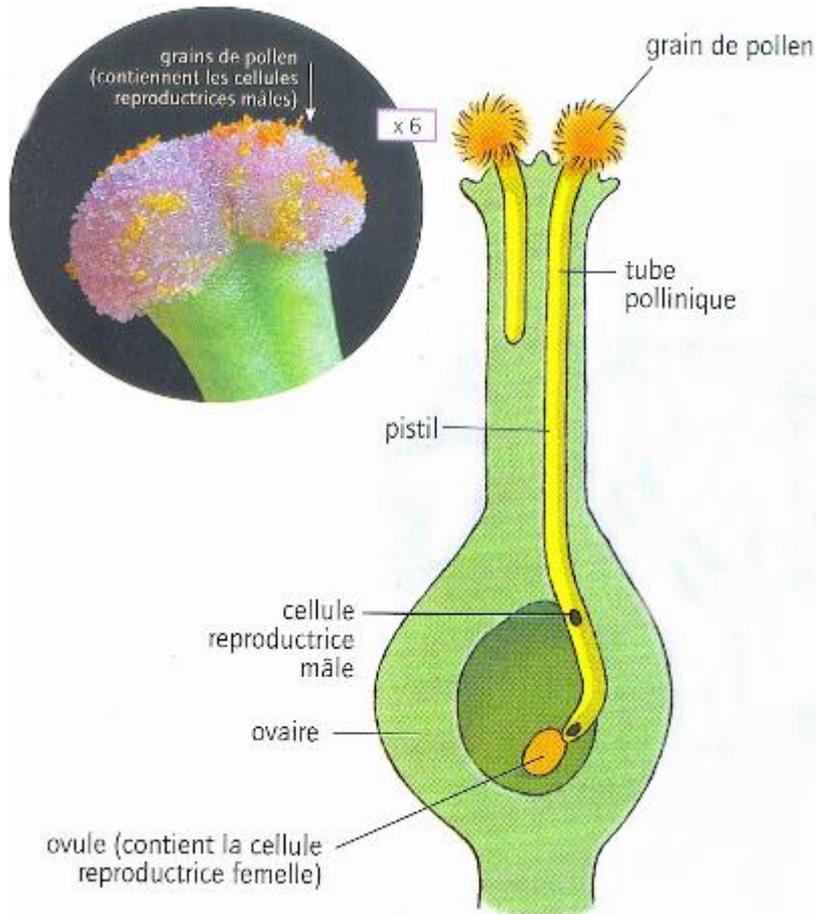
→ **Croissance Apicale:** seule une des extrémités de la cellule se modifie, ce qui correspond à une localisation polarisée de vésicules de sécrétion.



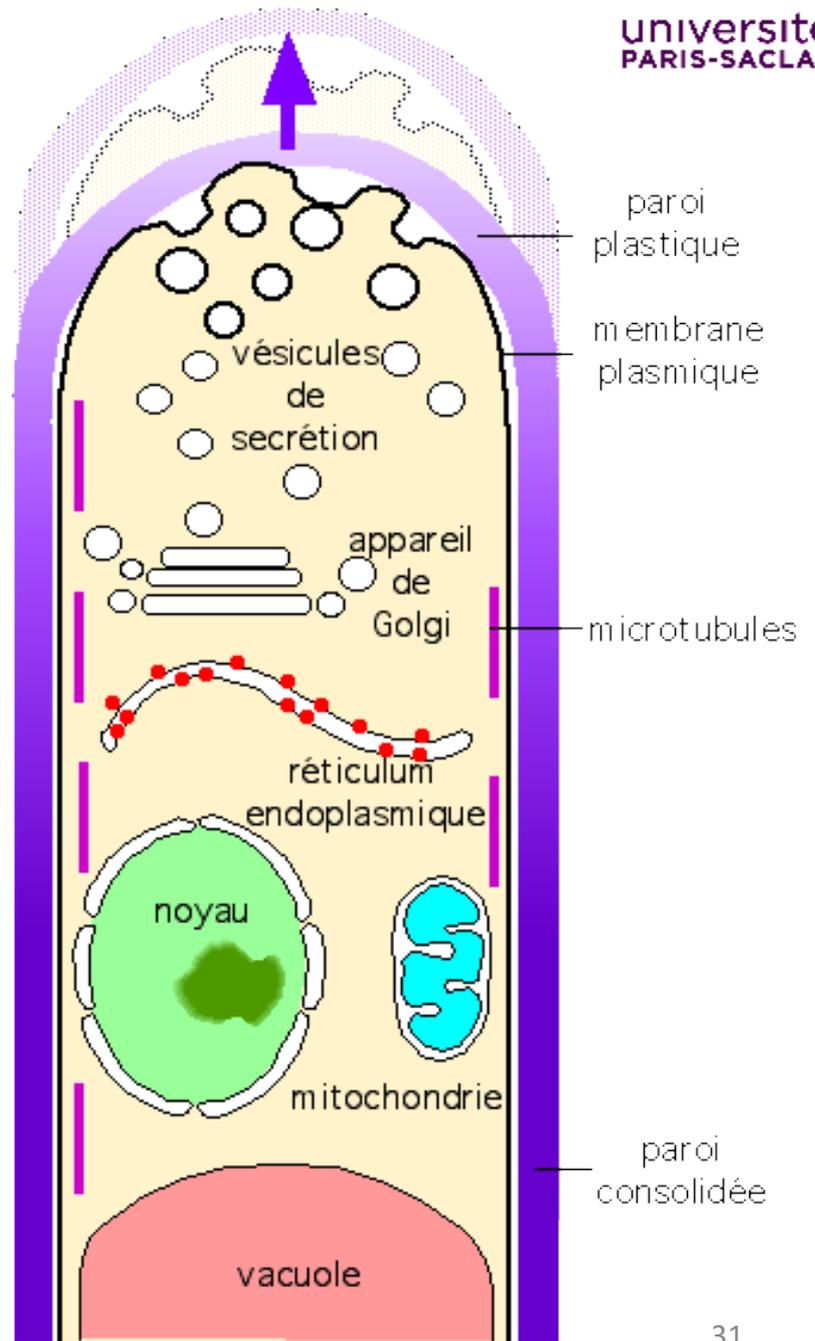
Croissance apicale: exemple tube pollinique

Croissance uniquement à un pôle de la cellule

Ex: croissance du tube pollinique



Croissance apicale: exemple fibre de coton



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:

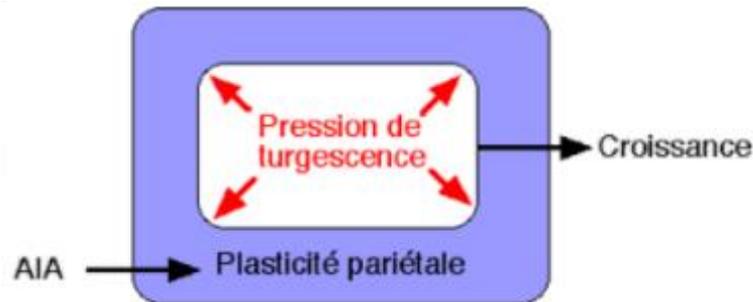
L'orientation des microtubules qui gouverne l'orientation des fibres de cellulose

Des flux vésiculaires dans le cas de la croissance apicale

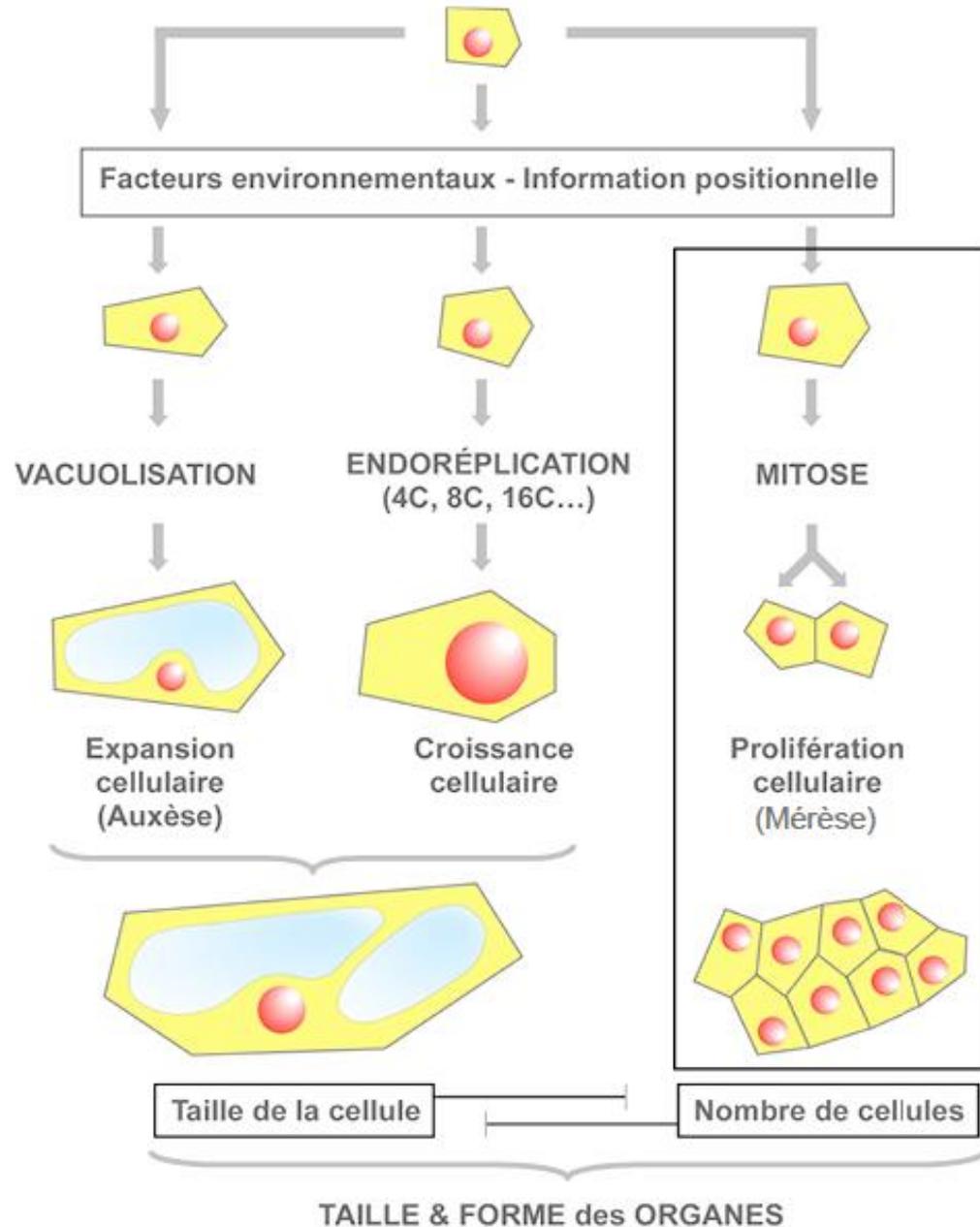
Rôle des signaux intrinsèques :

Exemple de l'auxine

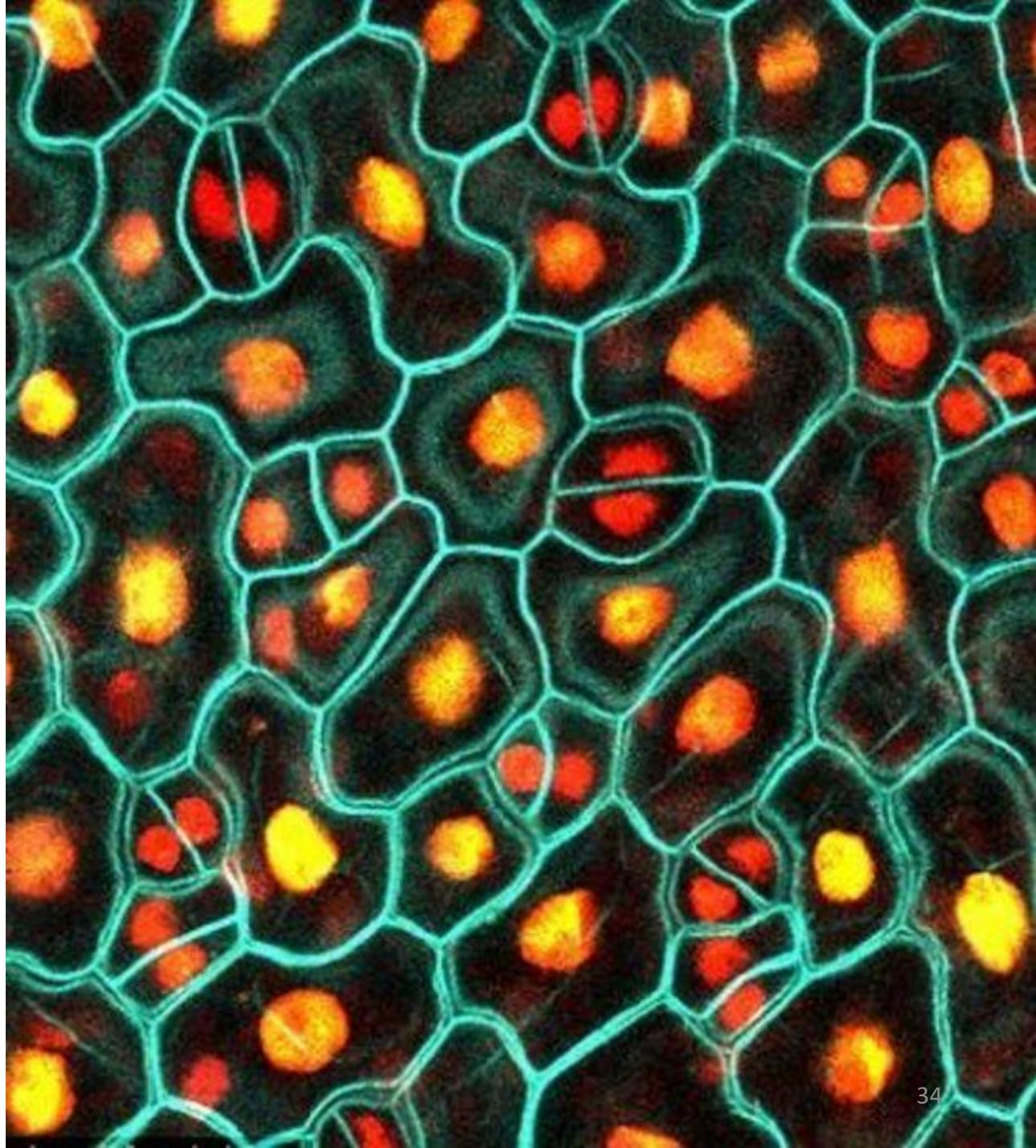
Autres facteurs: flux ioniques, etc...



Conclusions : modalités de croissance chez les végétaux



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

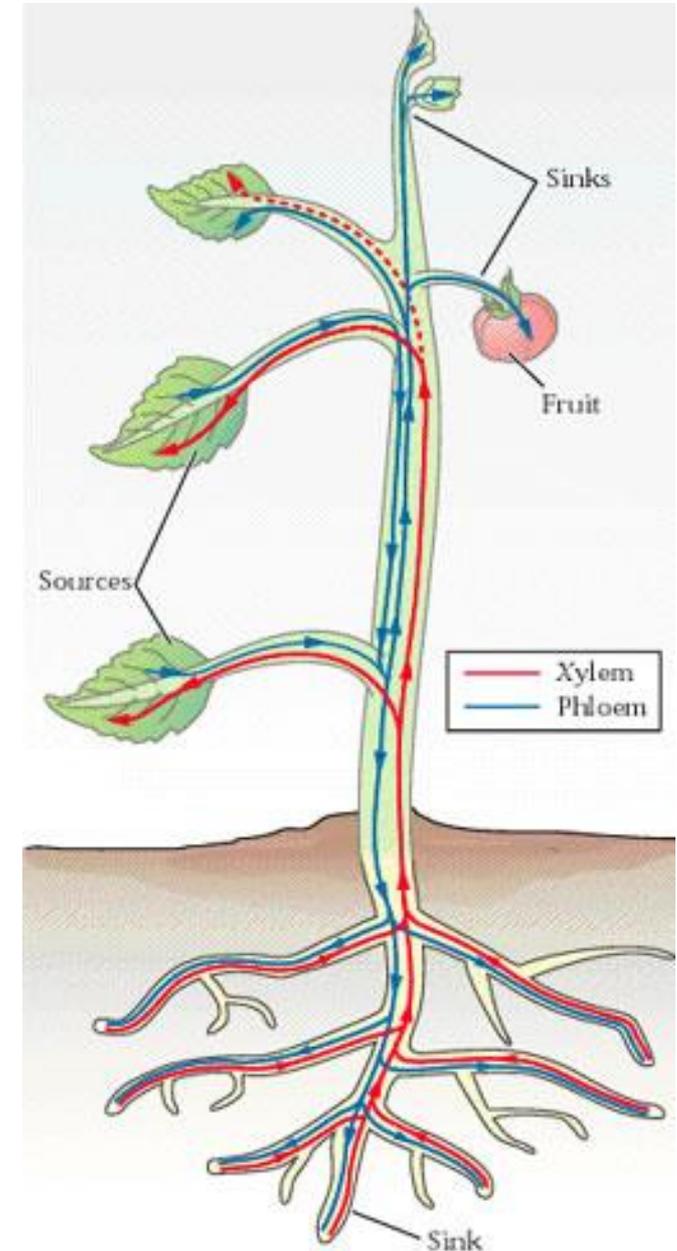


2-1 Les différentes modalités de transport et de communication intercellulaires

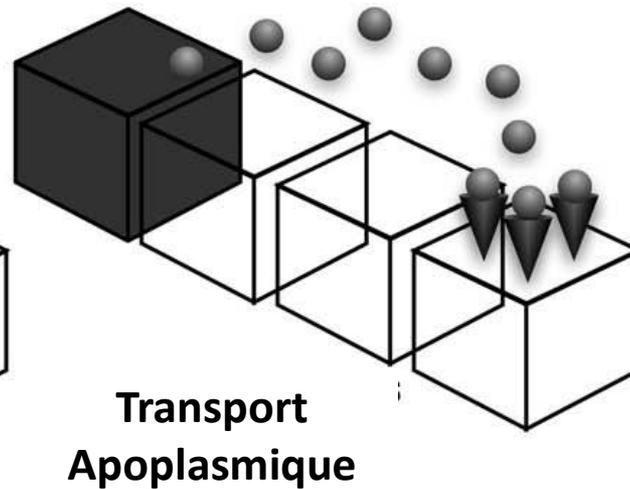
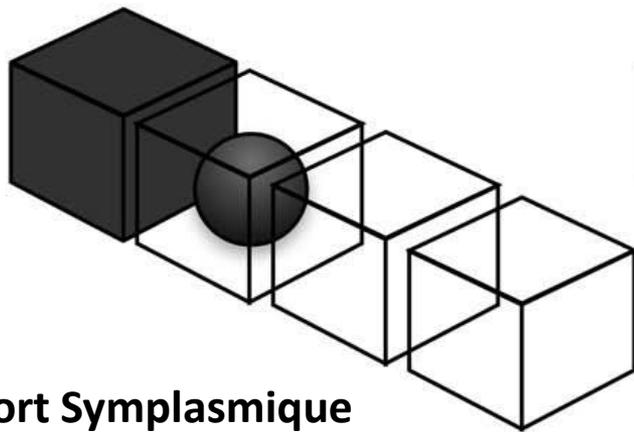
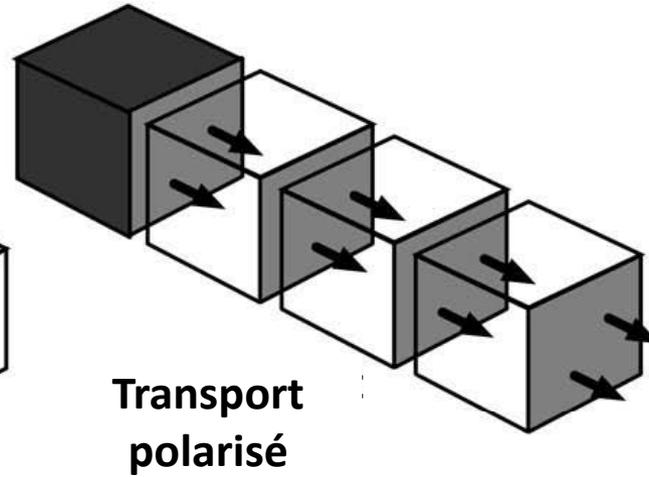
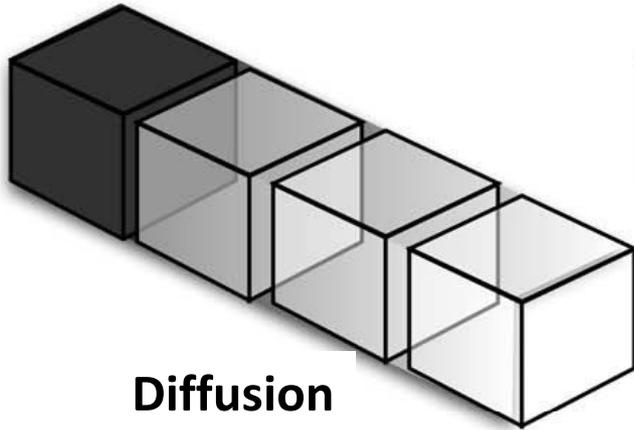
- A l'échelle de la plante entière : 2 voies de transport à longue distance

Xylème: transport de la sève brute

Phloème: transport de la sève élaborée



4 modalités de communication des signaux au niveau cellulaire

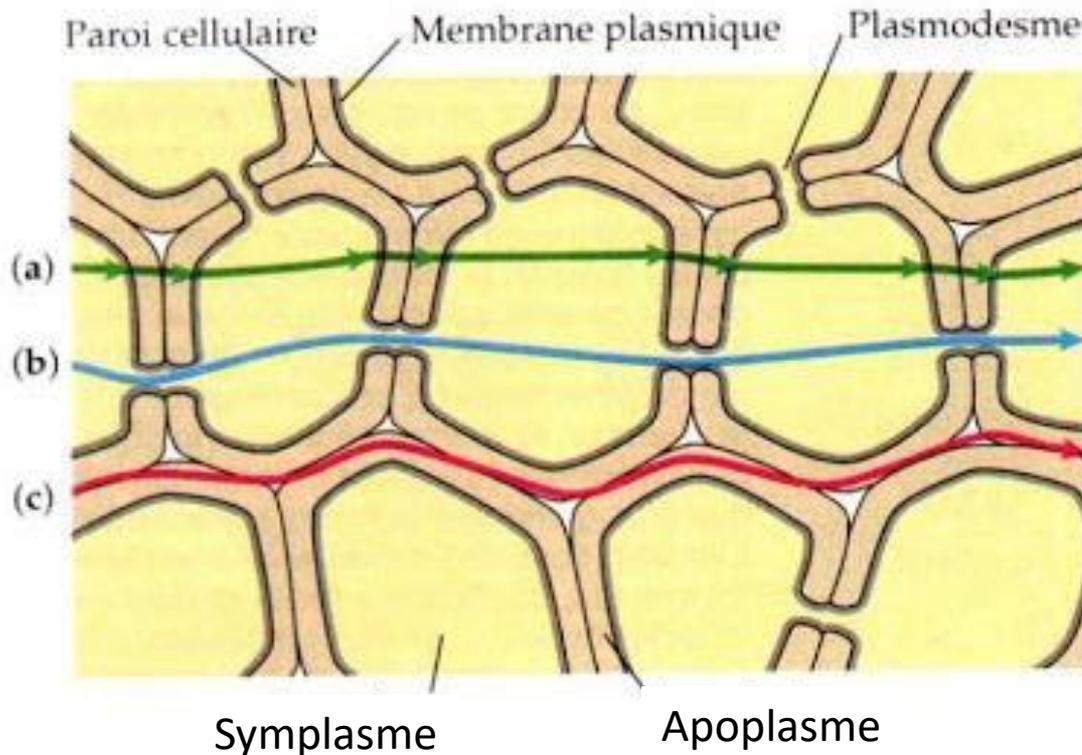


➔ A l'échelle tissulaire - 3 voies de transport

(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)

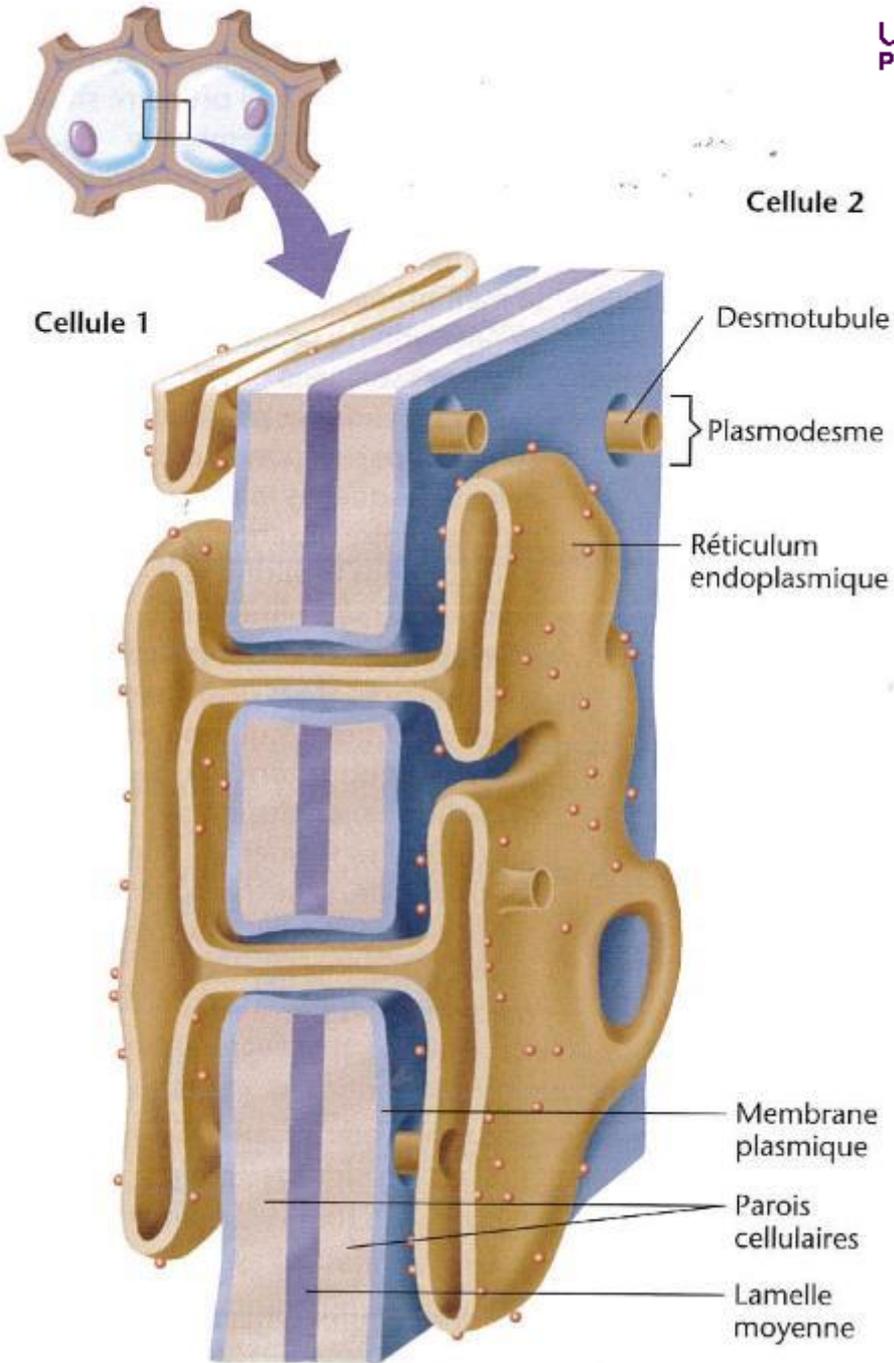
(c) La voie apoplasmique: En passant entre les cellules ou dans les cellules mortes (apoplasme)



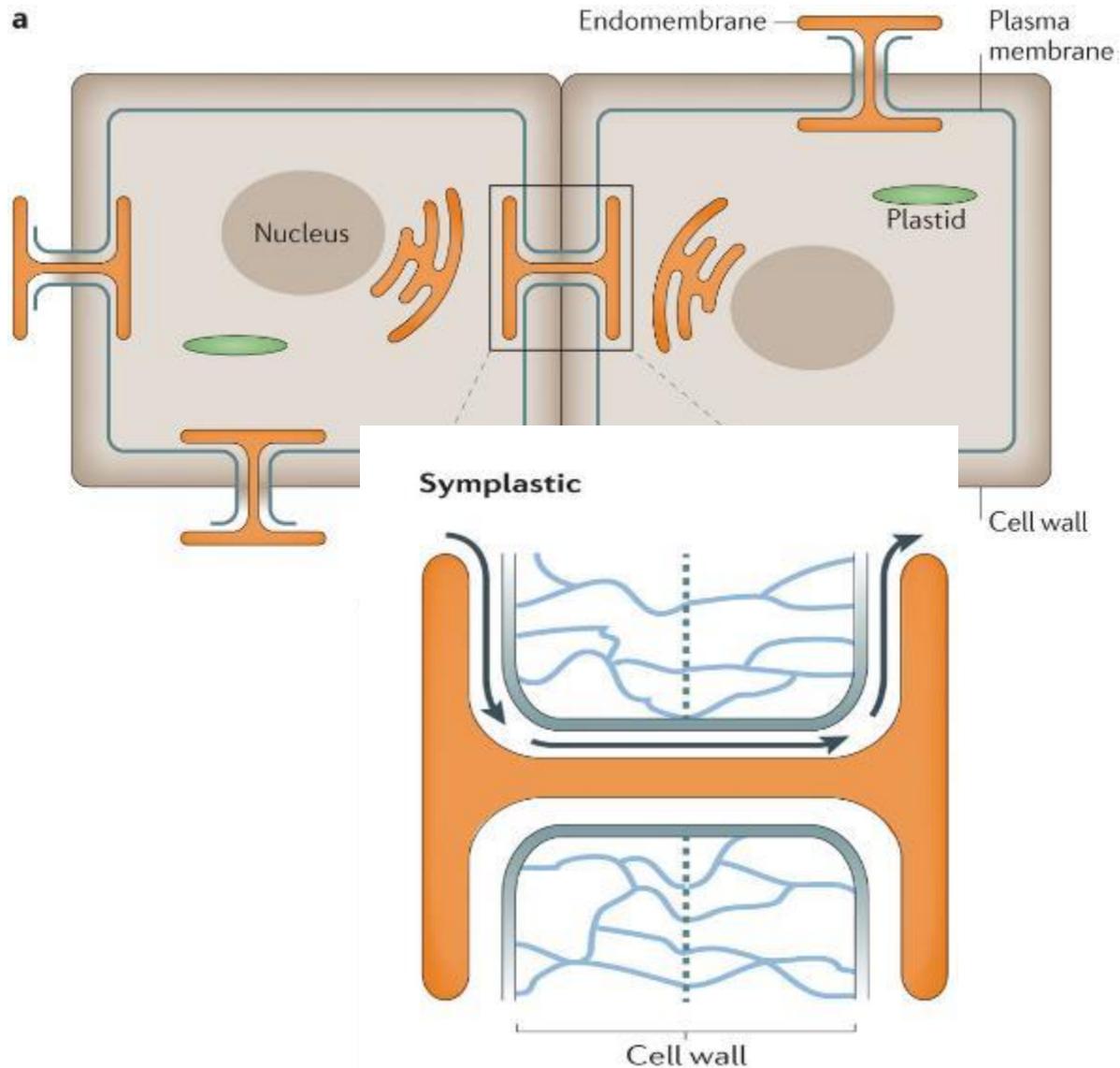
Exemple: transport horizontal de l'eau et des nutriments dans la racine

Les plasmodesmes

des canaux cytoplasmiques



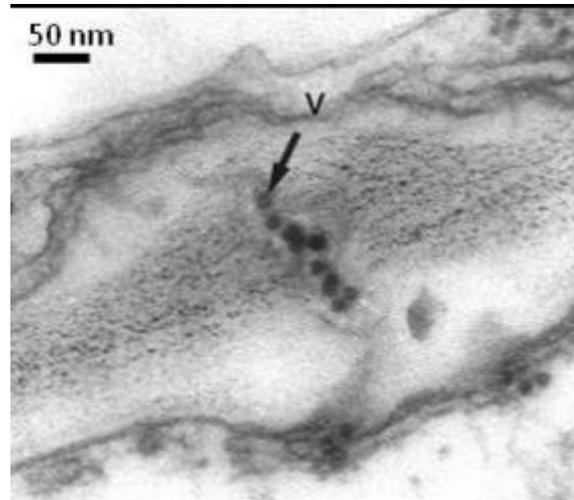
Communication intra-cellulaire



Un réseau symplasmique sélectif

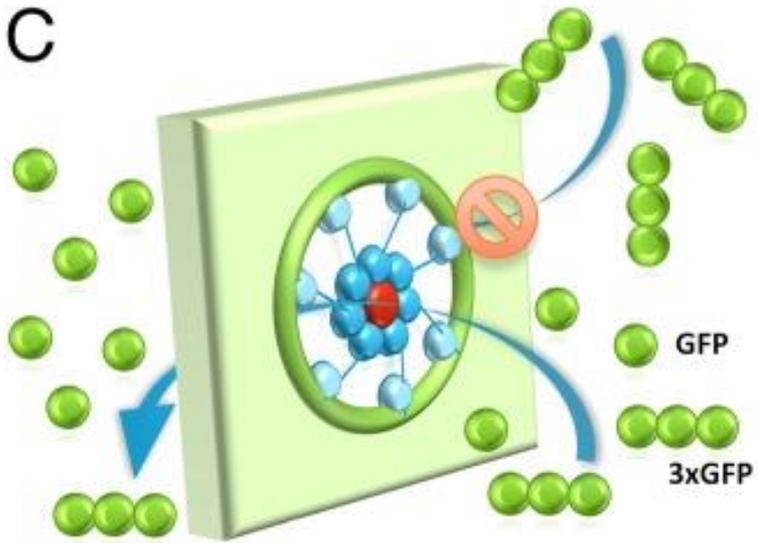
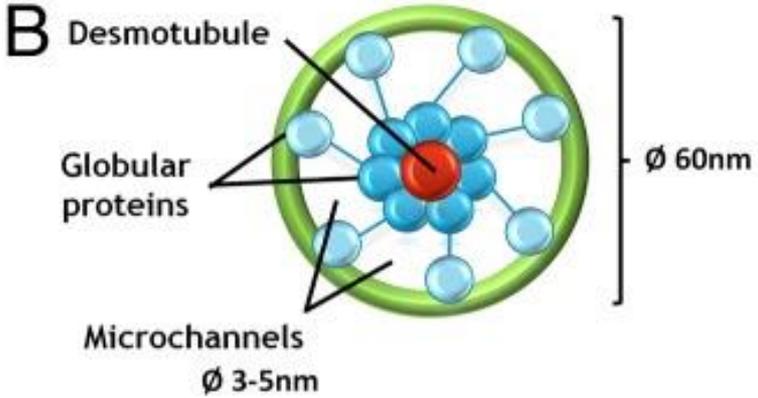
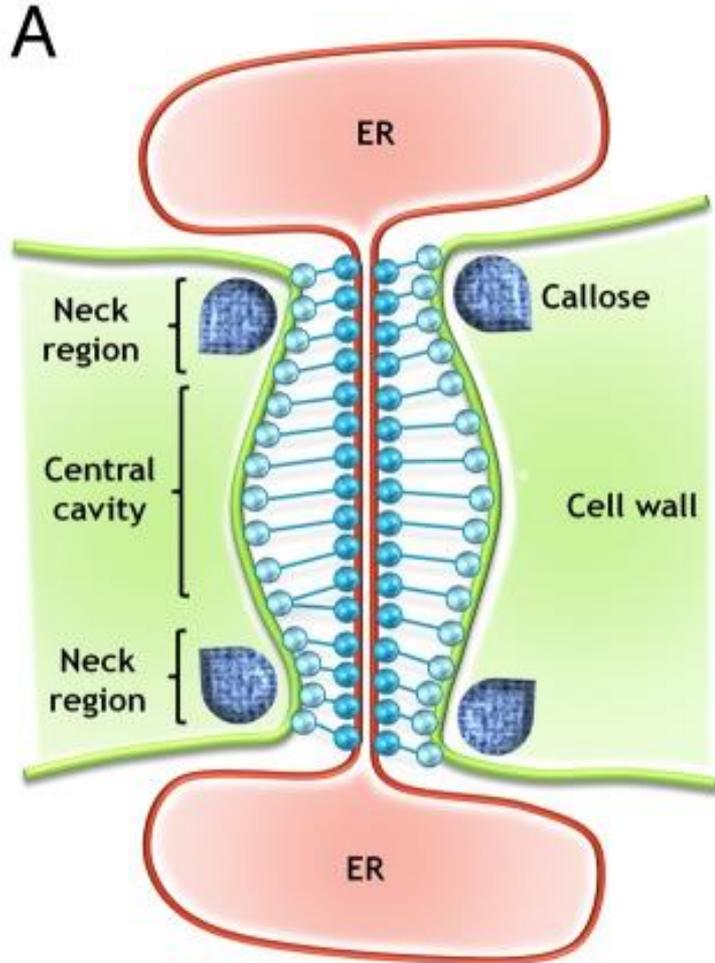
- Réseau de plasmodesmes = continuums cytoplasmiques
- Transit de molécules variées: métabolites, ions (calcium, magnésium), hormones, messagers secondaires, ARN, peptides, etc...

- Particules virales

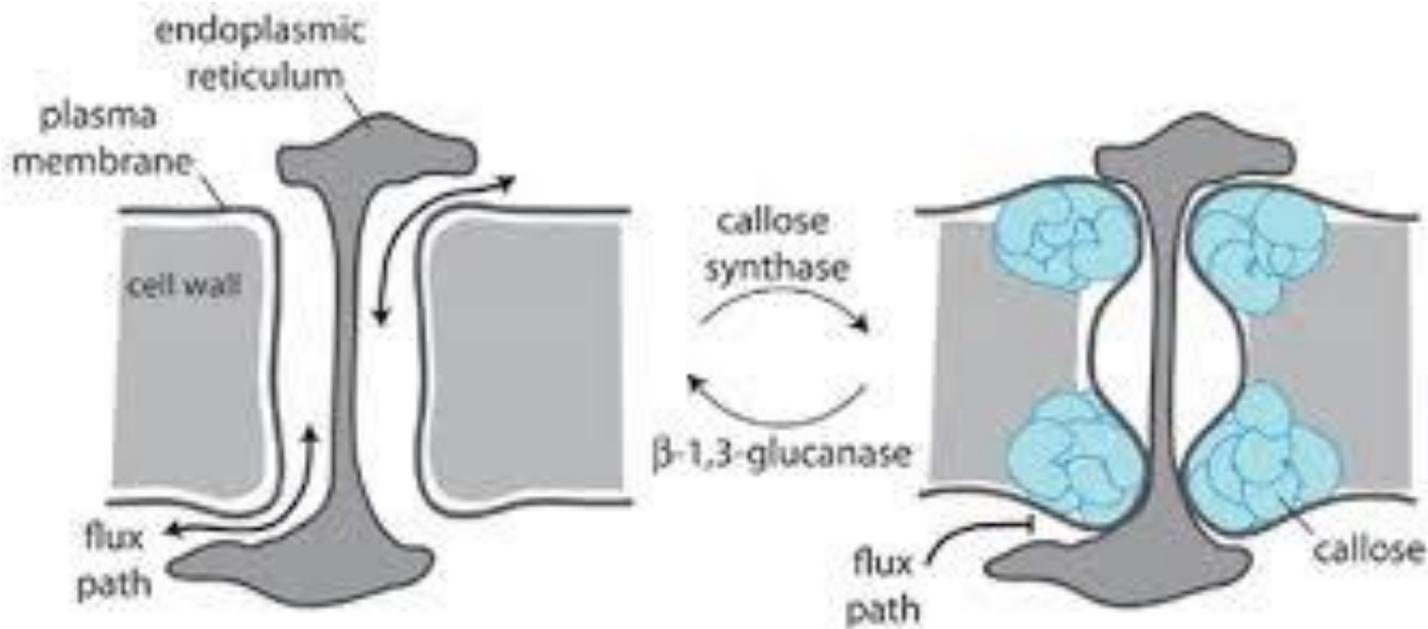


- Diffusion limitée par la **taille d'exclusion limite du plasmodesme (en moyenne 800-1200 Da)**

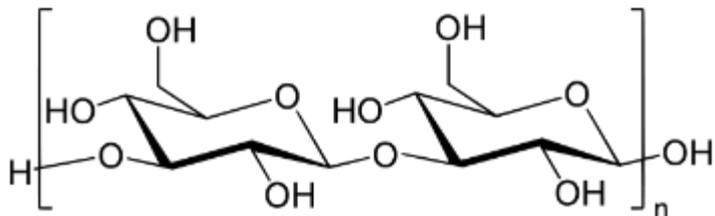
Un canal actif et sélectif



Possibilité de contrôler le flux symplasmique



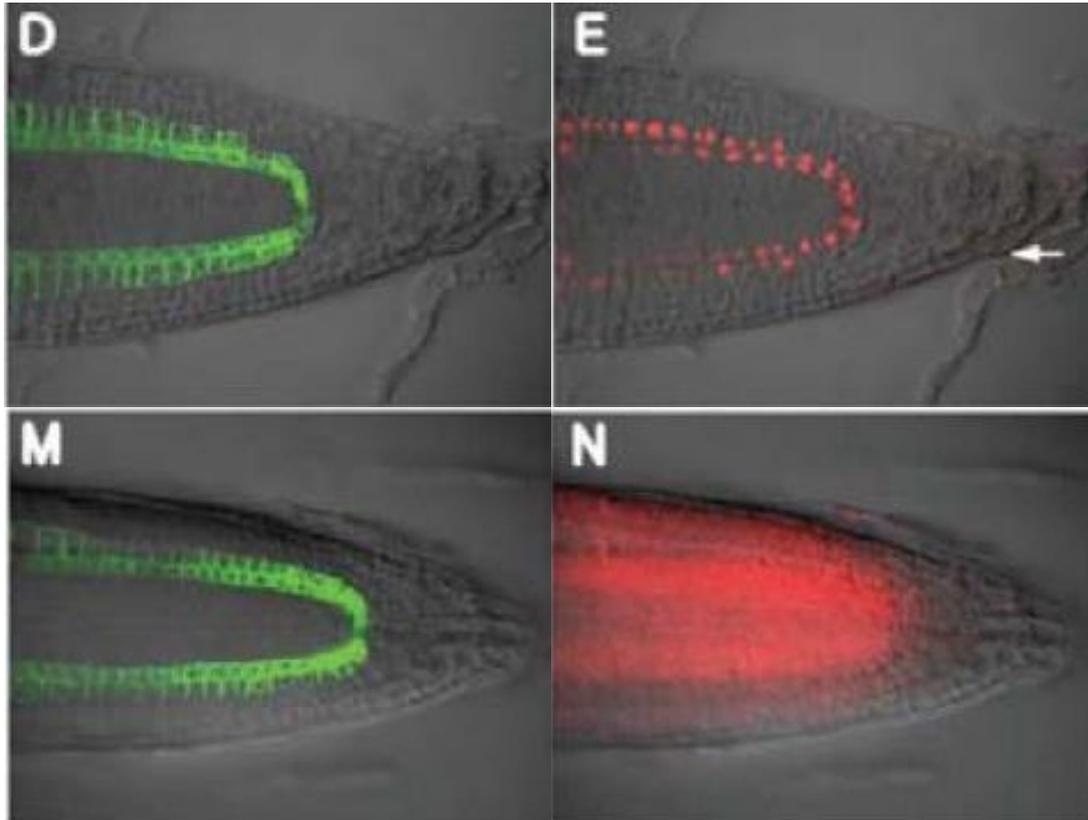
Callose = polymère de glucose



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

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

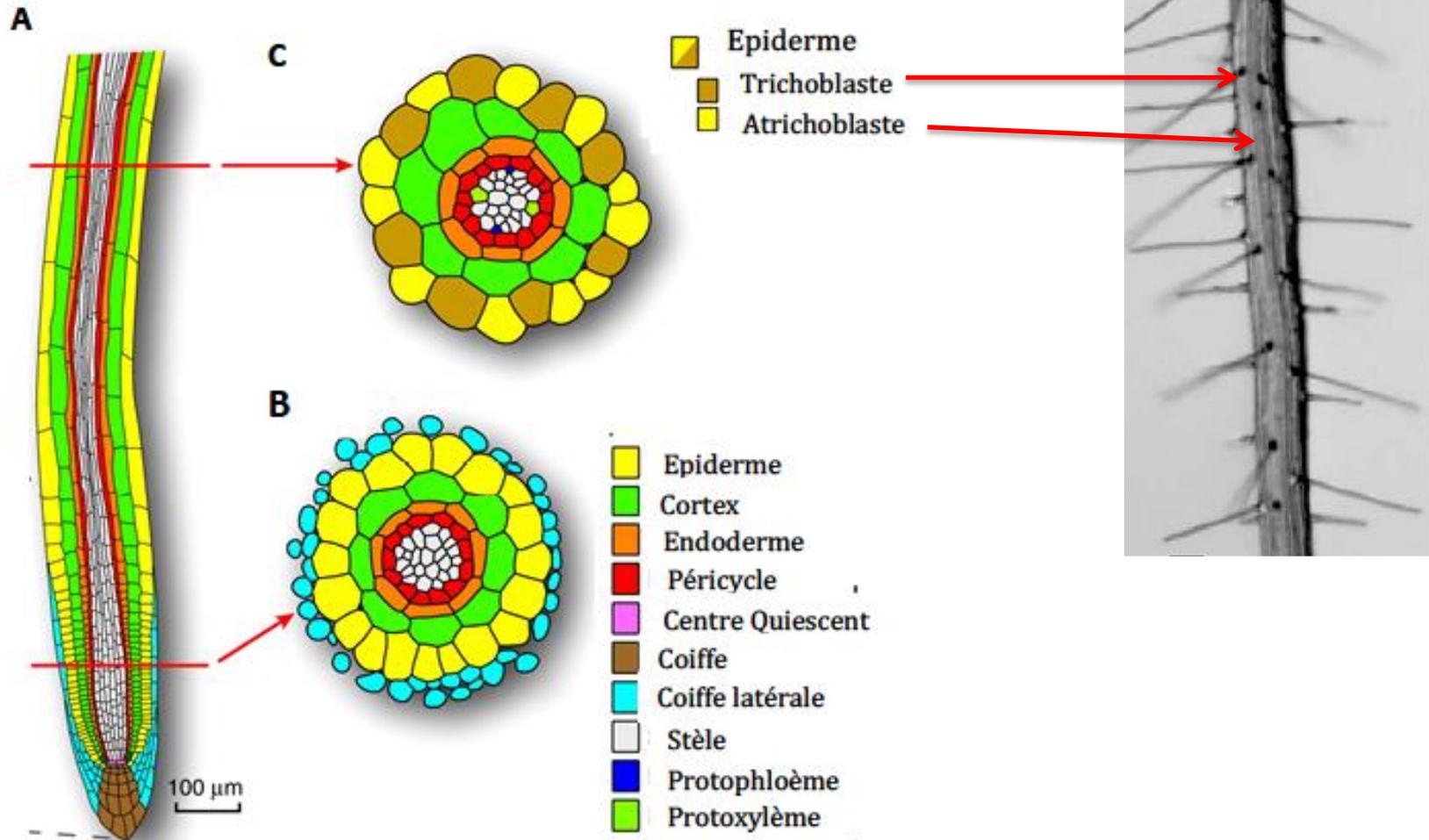
Prom

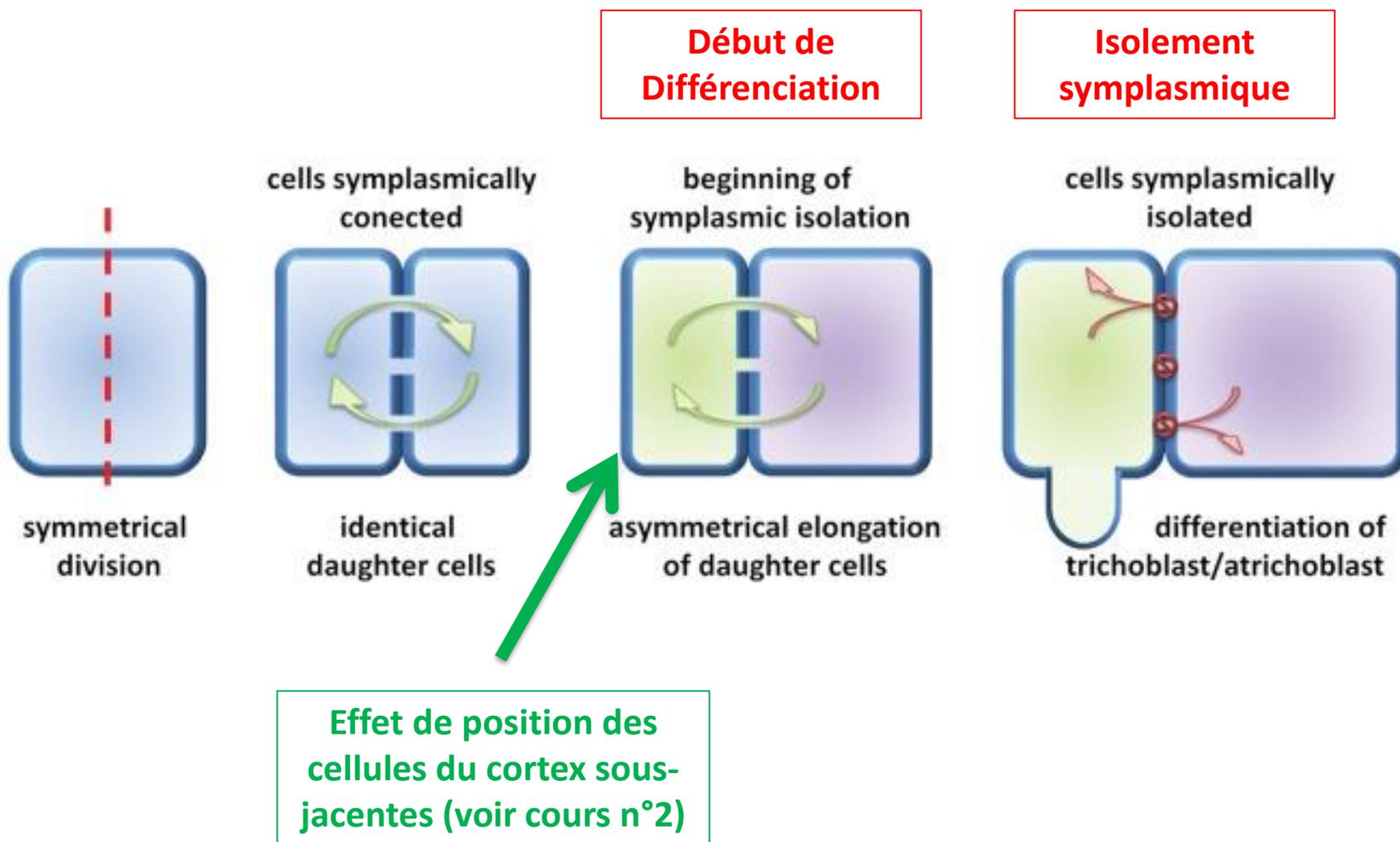
Protéine 2

Red Fluo Prot

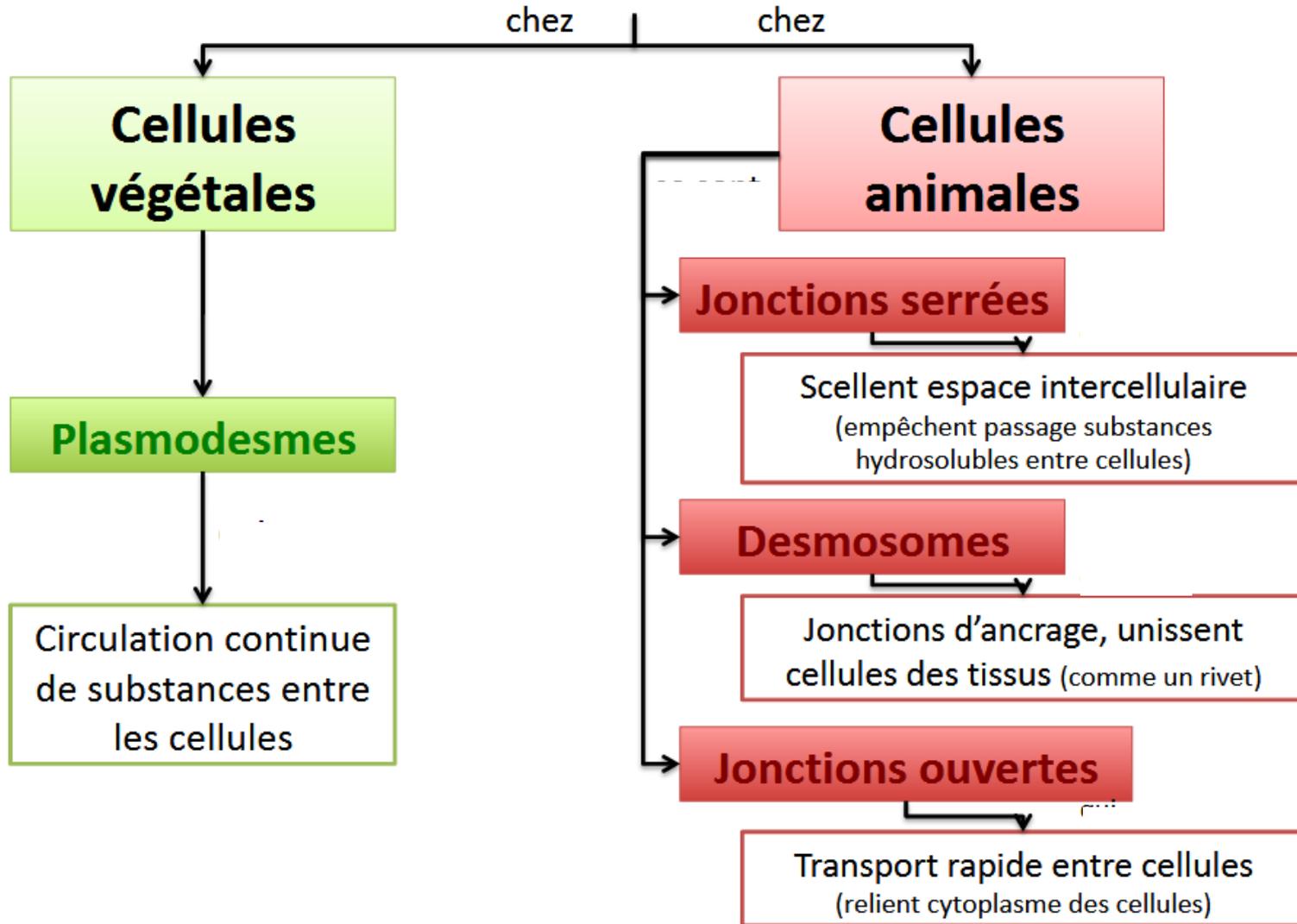
Importance des plasmodesmes lors de la différenciation cellulaire

ex: formation des poils racinaires

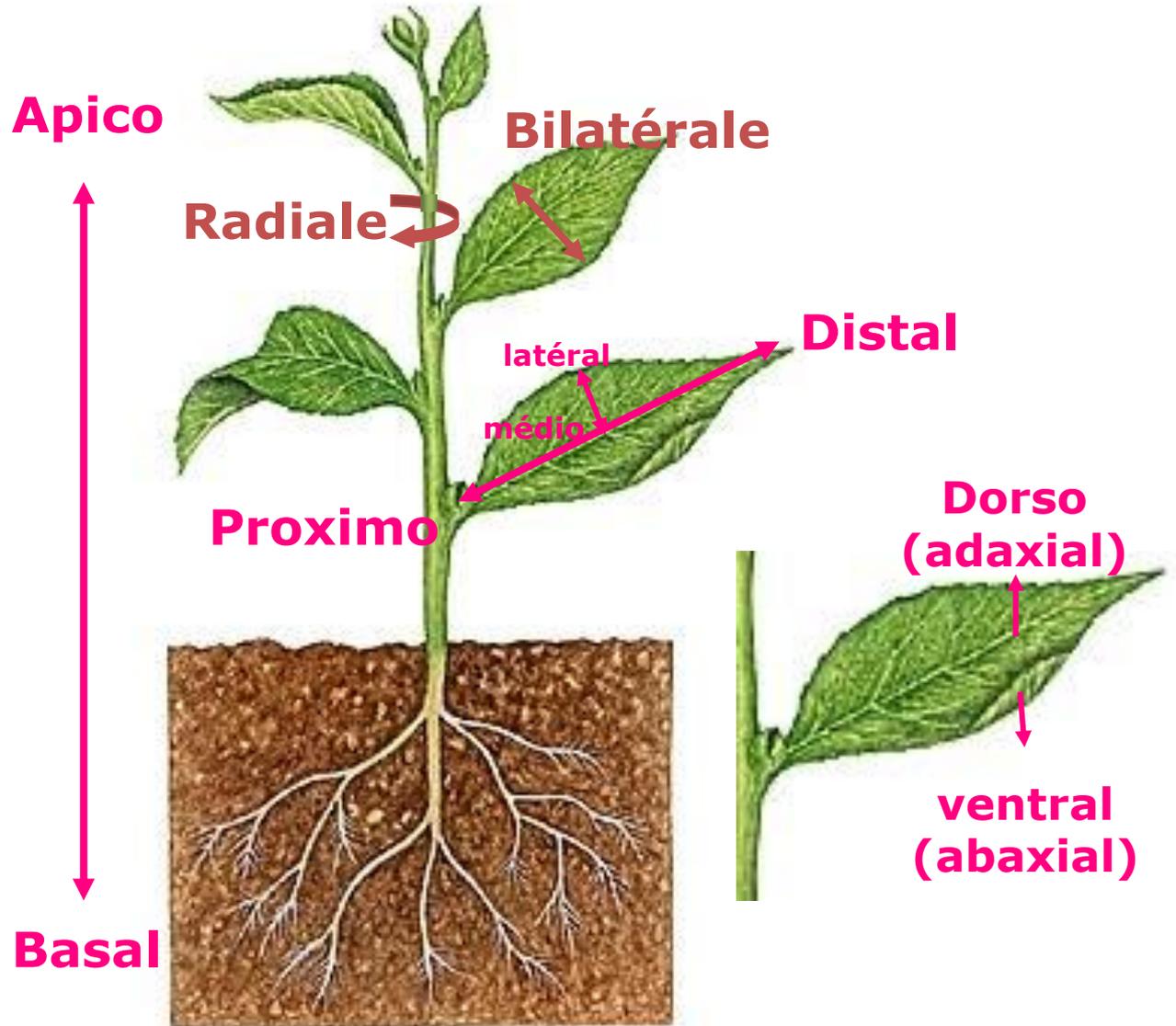




Jonctions intercellulaires différentes



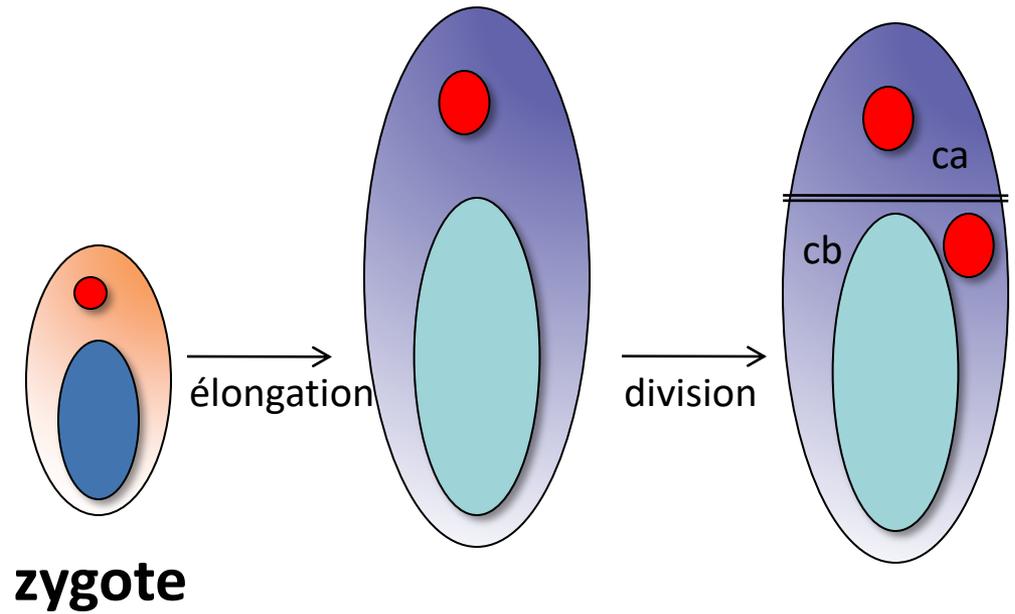
2-2 Mise en place des axes de polarités et de symétrie



Polarisation au cours de l'embryogenèse

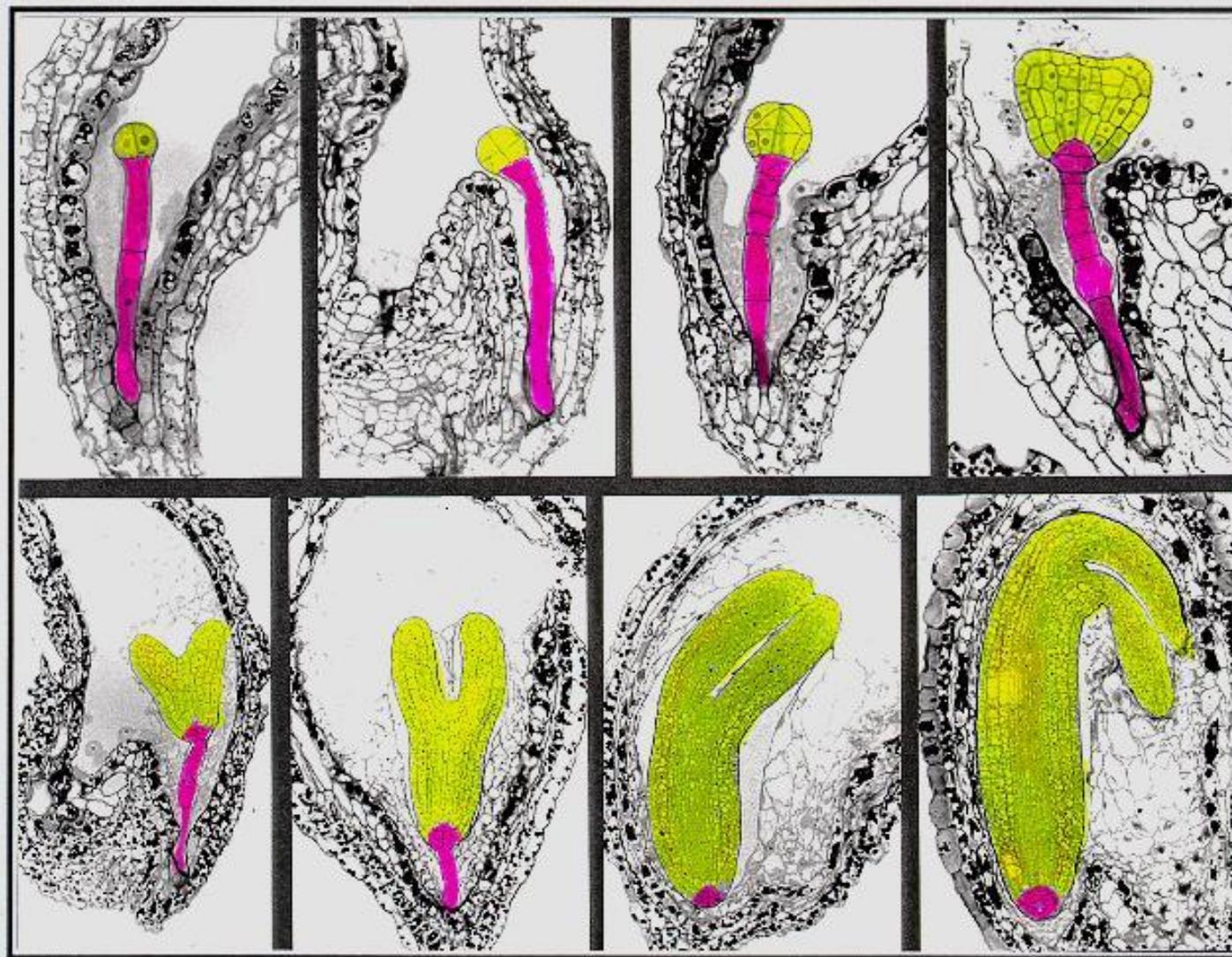


Zygote
Arabidopsis thaliana



1ère division asymétrique

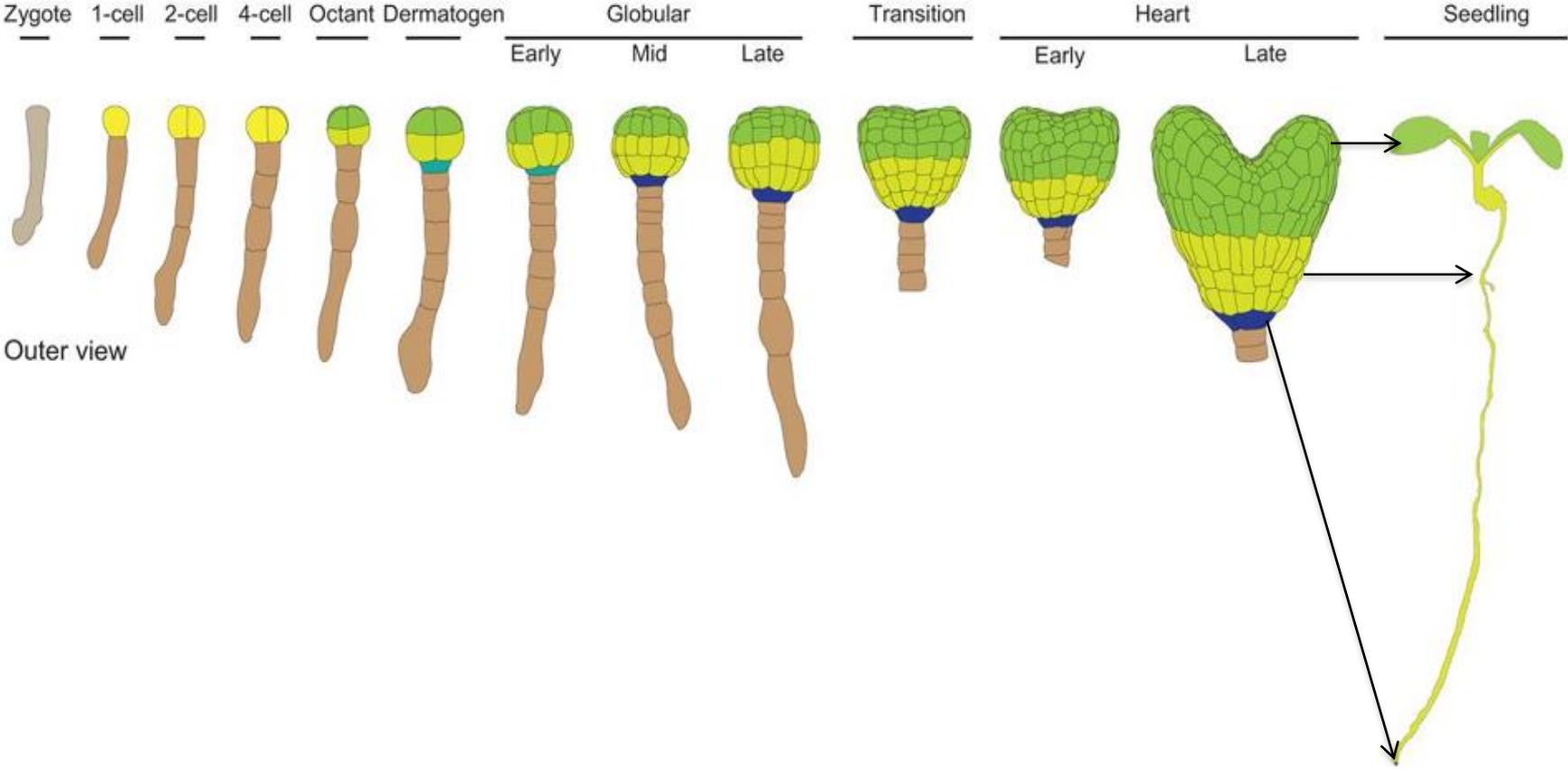
Devenir des cellules embryonnaire



Cellule apicale =
Embryon
(- l'hypophyse)

Cellule basale
= Suspenseur +
hypophyse

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

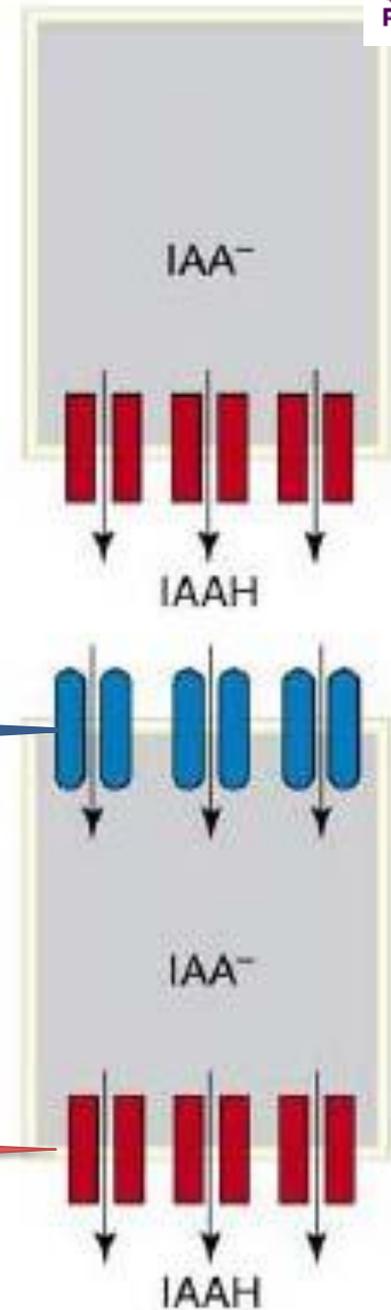


Transport polarisé de l'auxine

(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

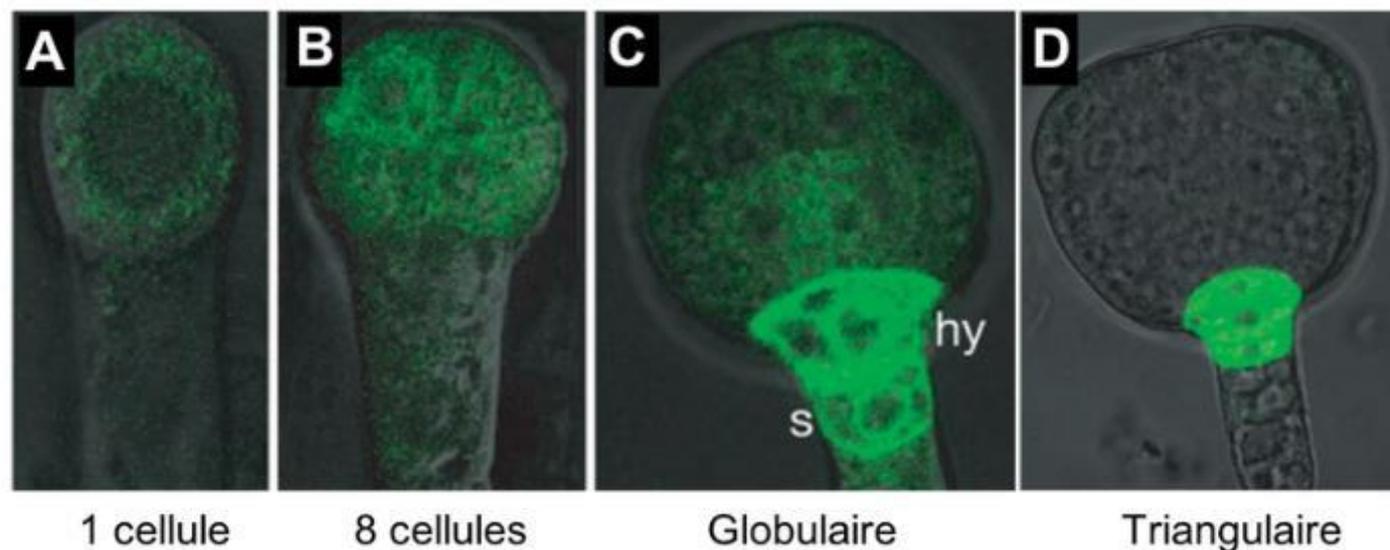
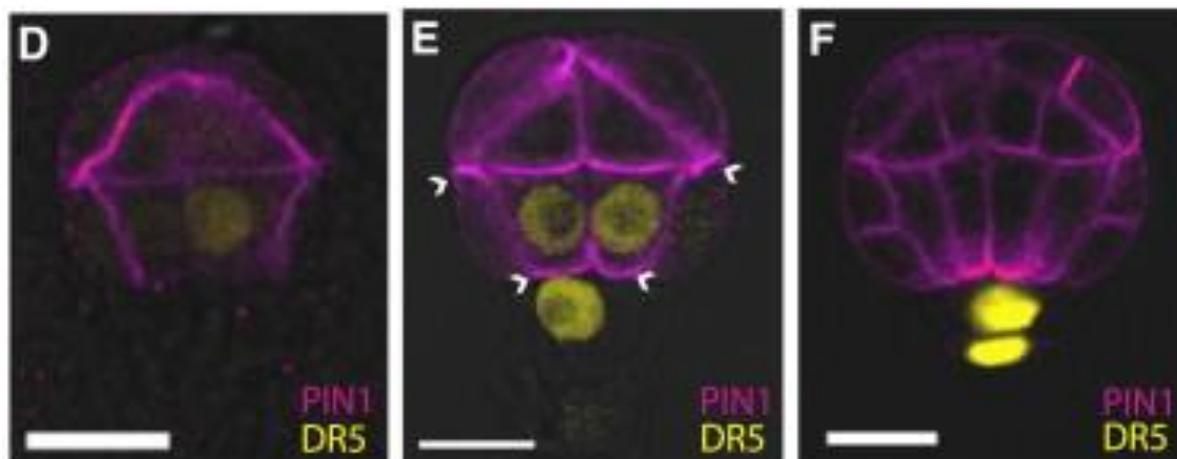


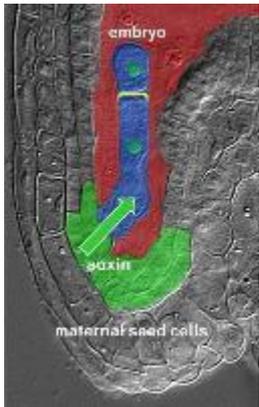
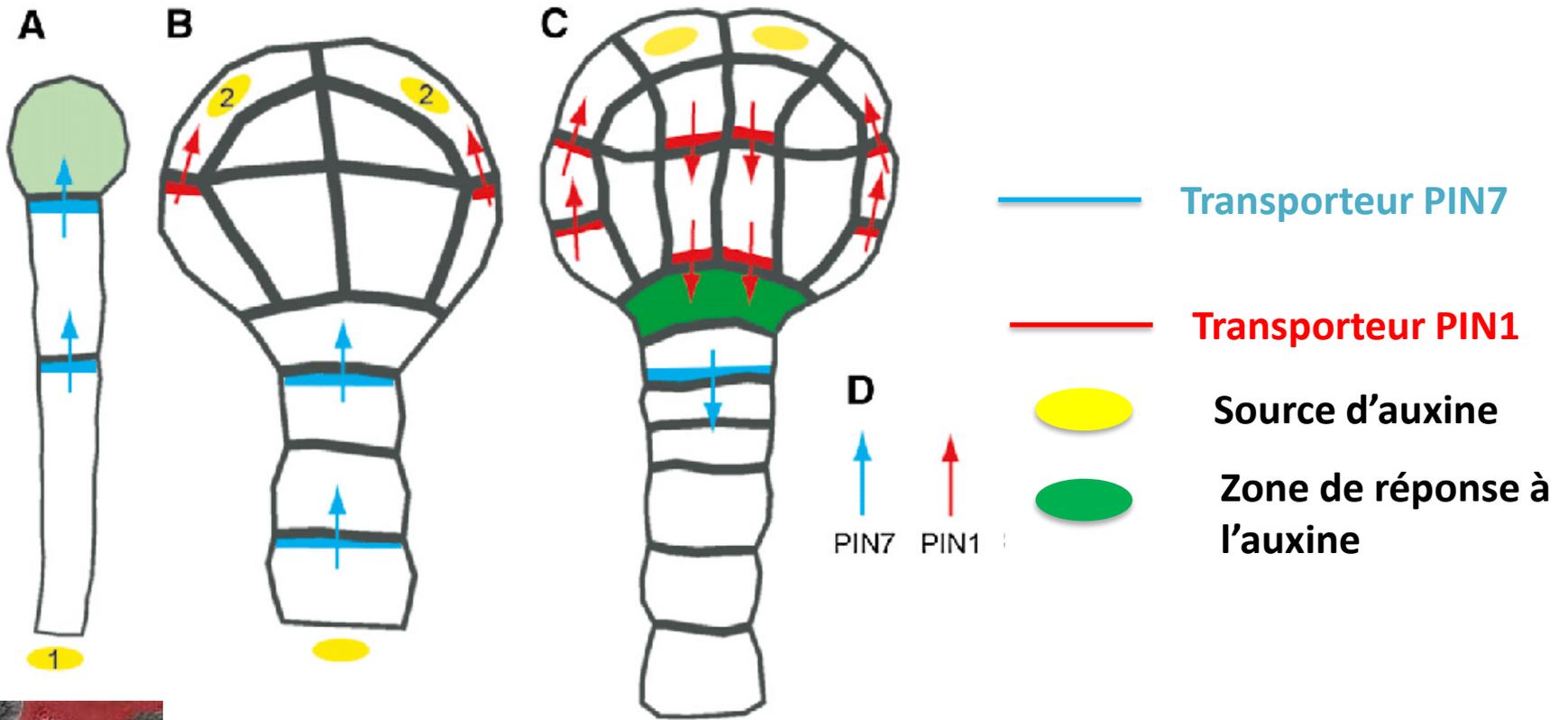
Figure 14 : Accumulation d'auxine dans l'embryon d'Arabidopsis à différents stades de développement. L'auxine n'est pas observée directement mais par le biais d'un gène rapporteur placé sous contrôle d'un promoteur sensible à l'auxine (on visualise donc les cellules qui répondent à l'auxine). S : suspenseur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

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

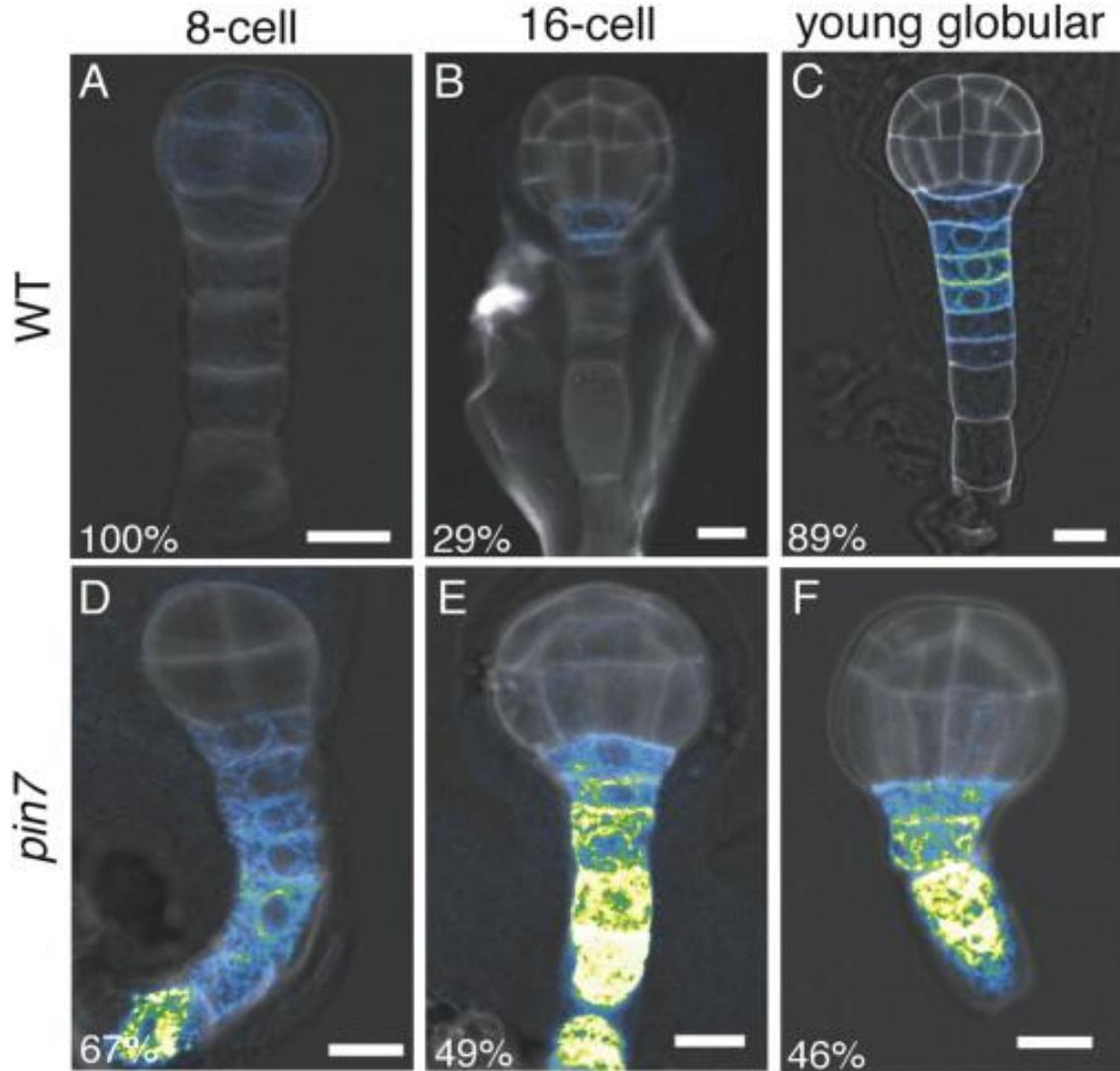


PIN1 = Transporteur d'efflux de l'auxine
DR5 = marqueur d'accumulation d'auxine

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



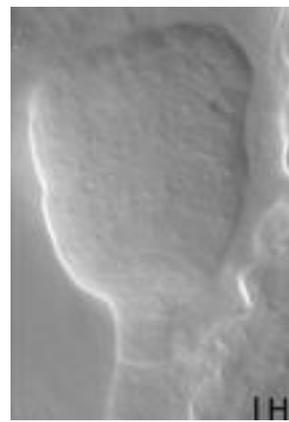
PIN7 est indispensable pour la mise en place d'un gradient d'auxine et une embryogenèse correcte



Plante sauvage (Wild-type)

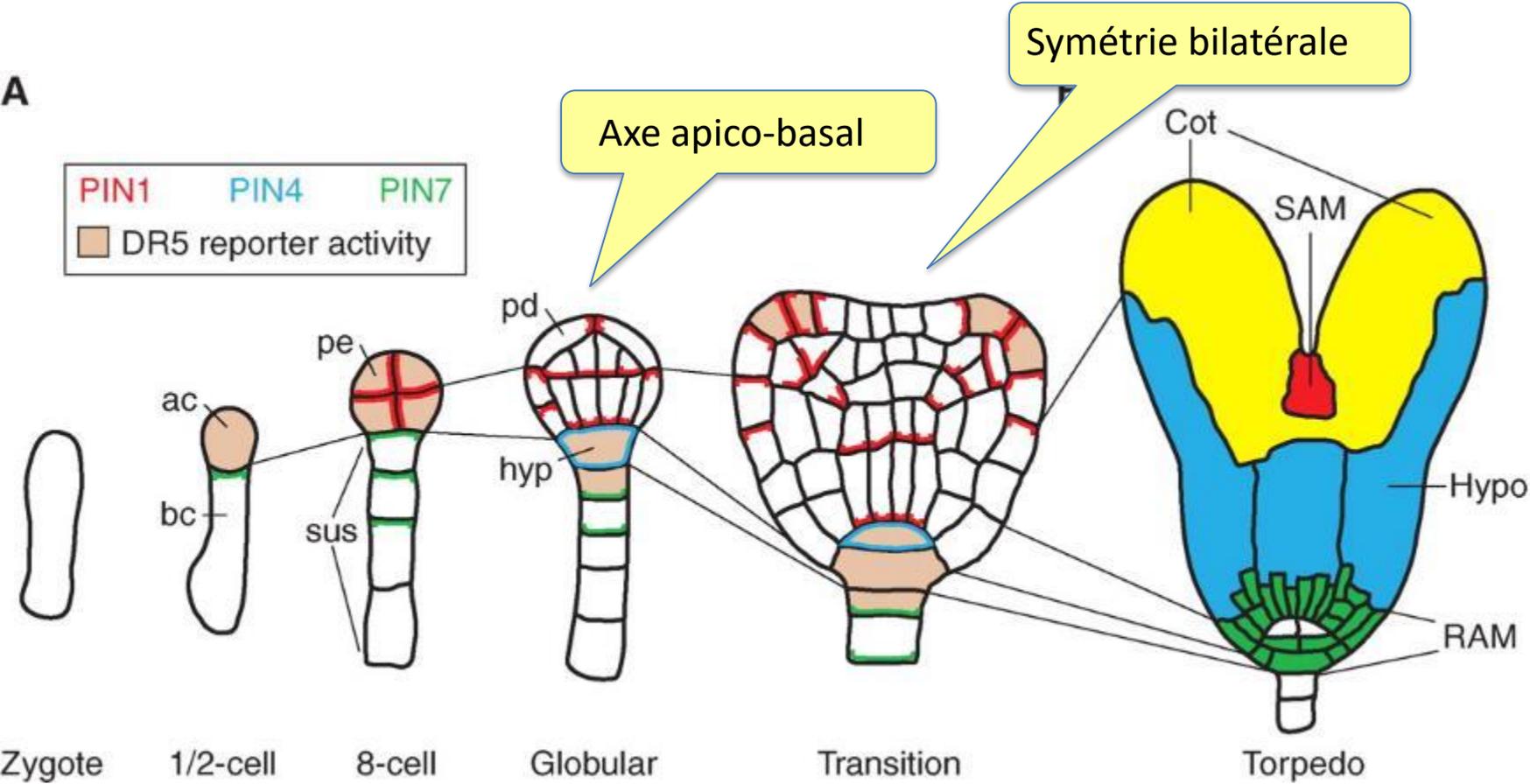


Mutant déficient en PIN7



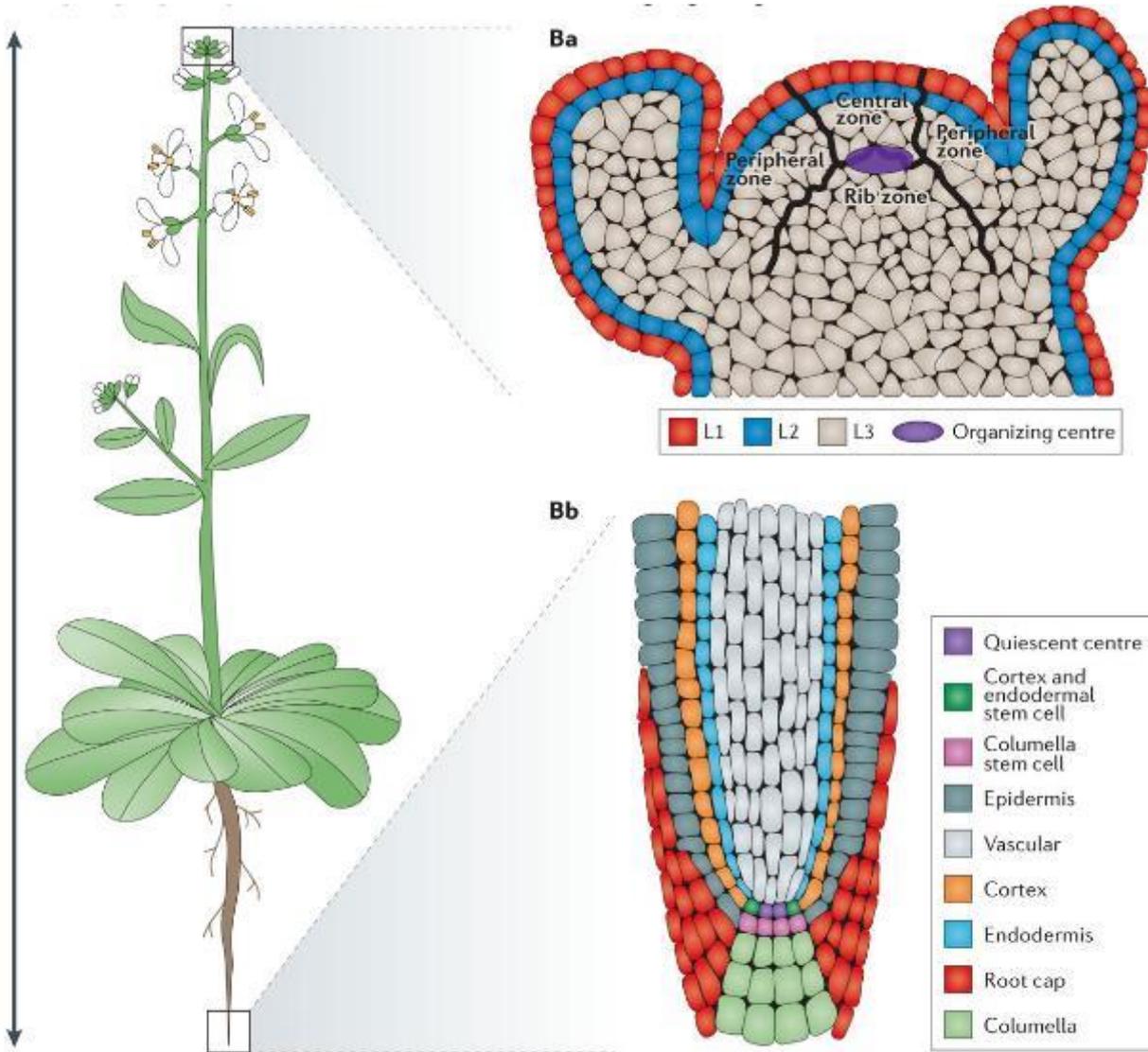
Auxin-response:blue-yellow intensity gradient

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) :

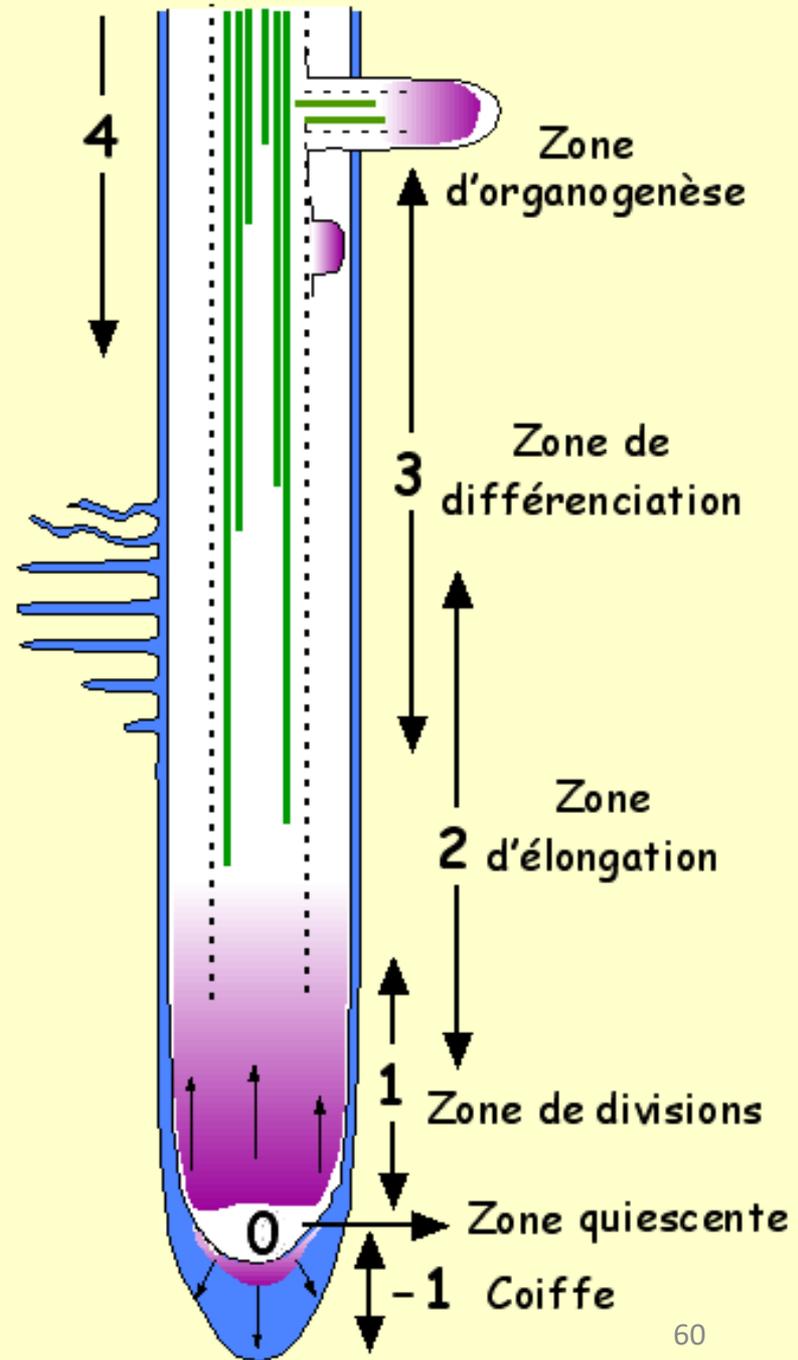
Méristèmes secondaires → Tissus secondaires → Croissance en largeur

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

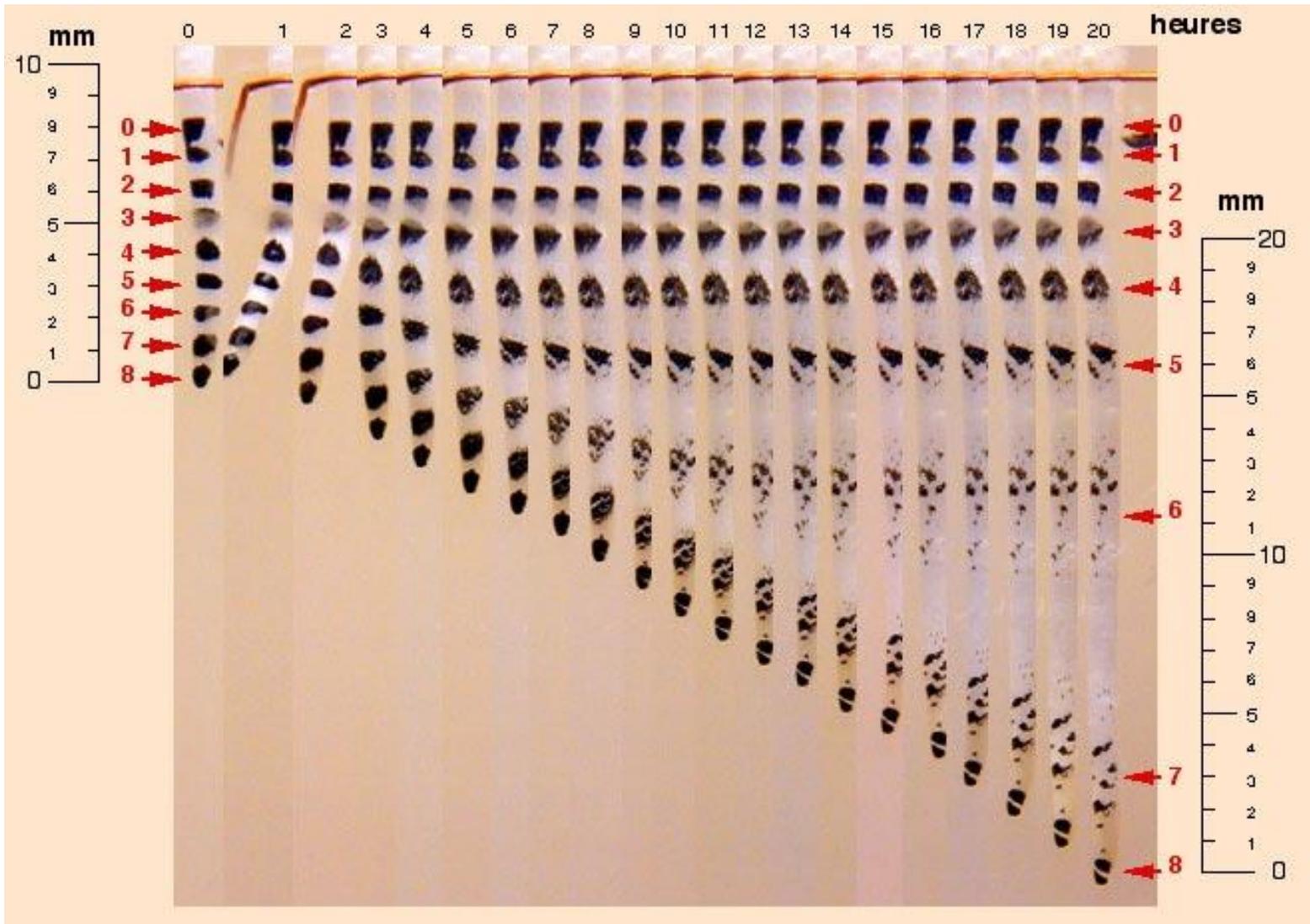
1 – Méristème Apical Racinaire (MAR)

→ Uniquement Histogène

Rappel: structure racinaire



Croissance racinaire se fait par l'extrémité = MAR



Le MAR constitue une niche de cellules souches

(« stem cell niche »)

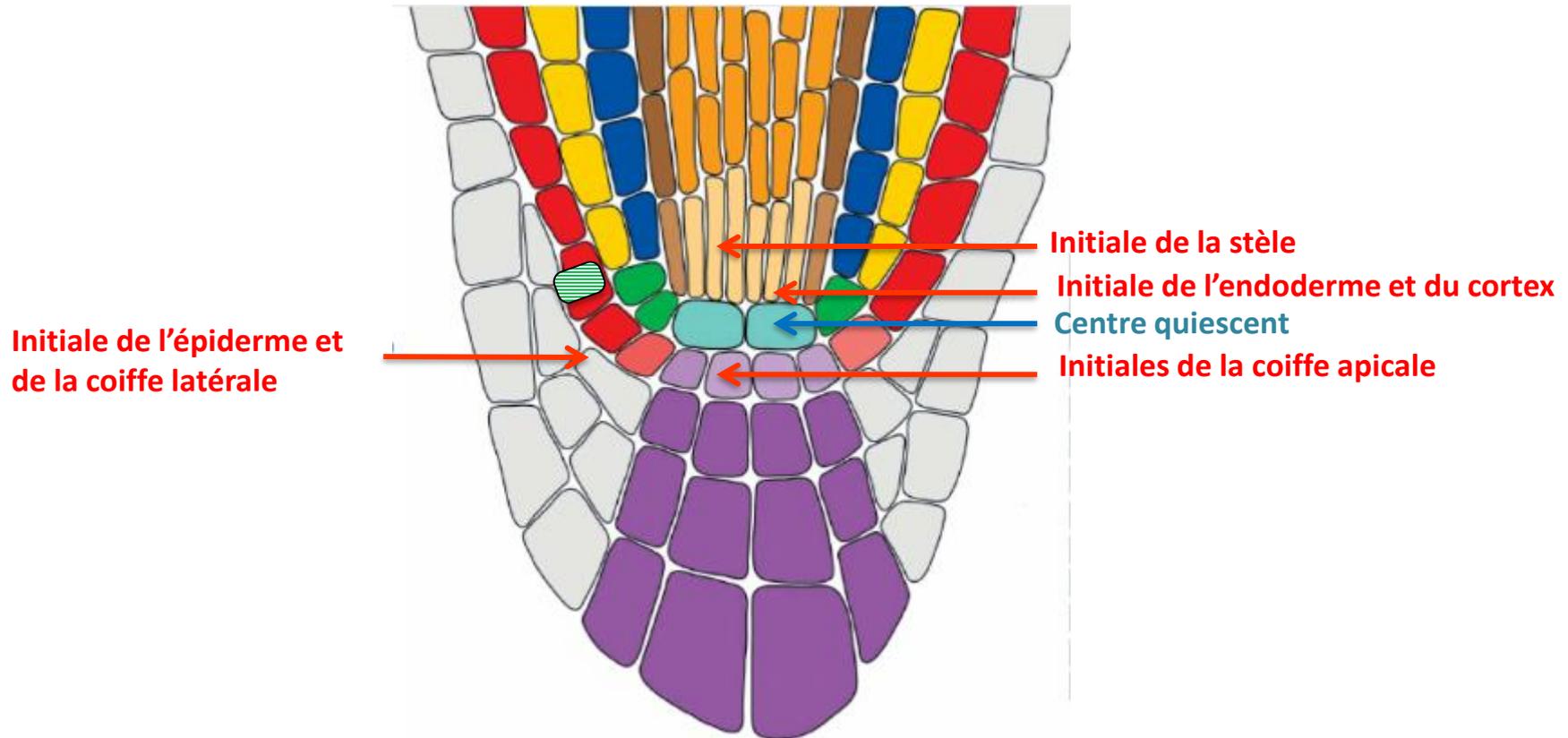
Cellule souche:

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).

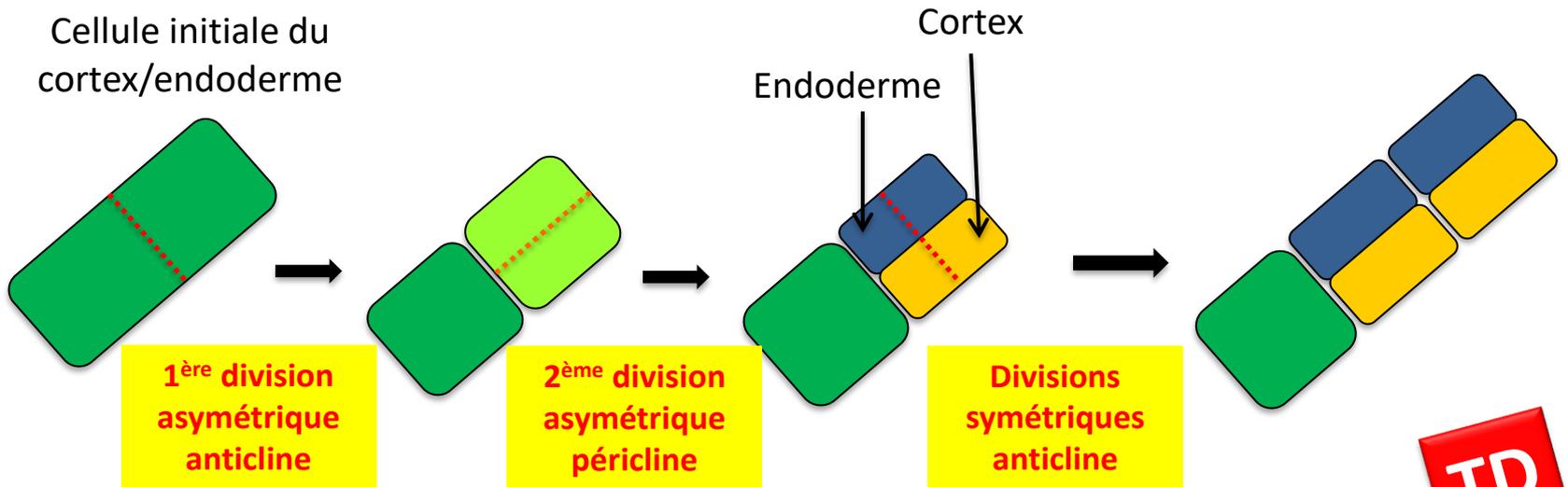
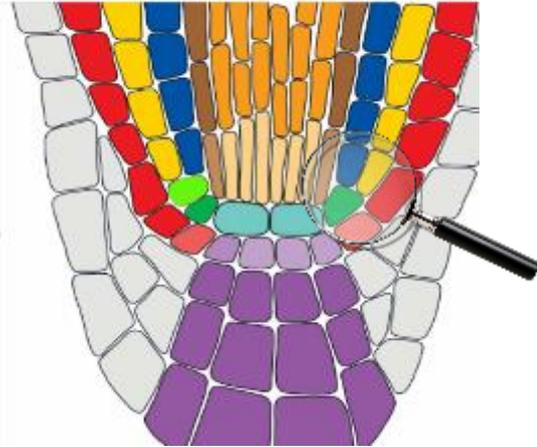
Ces cellules souches sont localisées dans des « micro-environnement » appelés « **niche** » où elles sont **initiées et maintenues**.

Niche de Cellules Souches Racinaires :

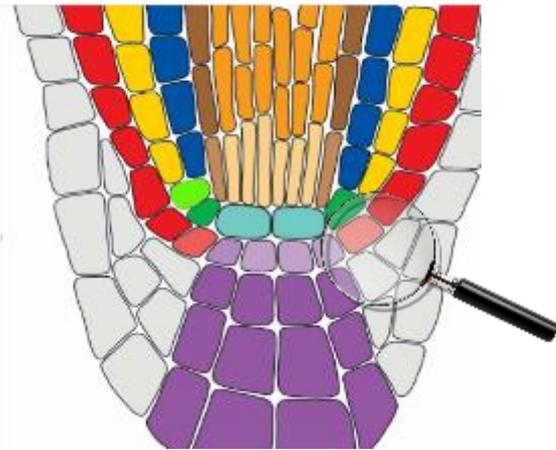
- Centre Quiescent (CQ)
- 4 types de **cellules souches (initiales)**



■ Différenciation de l'endoderme et du cortex



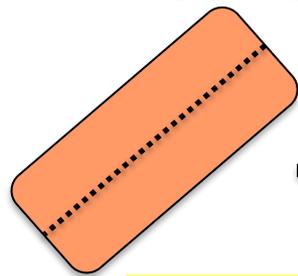
Différenciation de la coiffe latérale et du rhizoderme



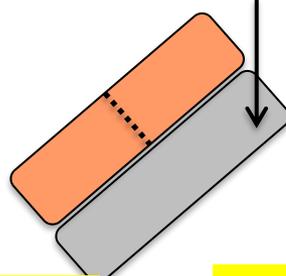
Cellule initiale de la
coiffe latérale du
rhizoderme

Cellule de la coiffe
latérale

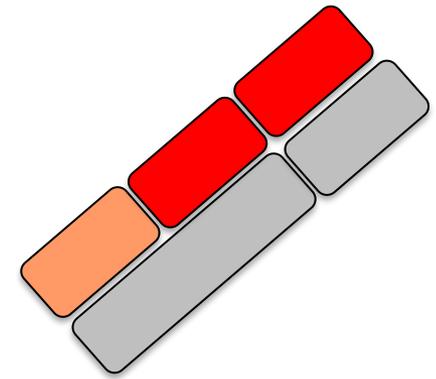
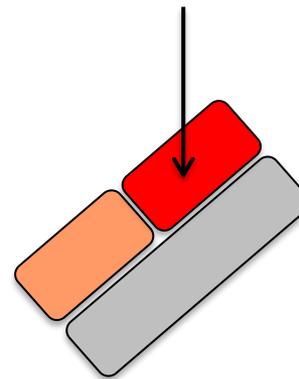
Cellule du rhizoderme



**1^{ère} division
asymétrique
péricline**

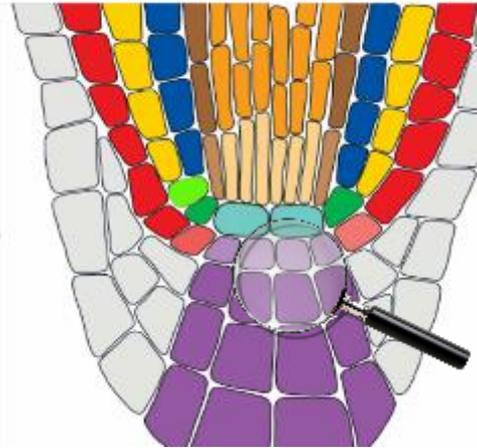


**2^{ème} division
asymétrique
anticline**

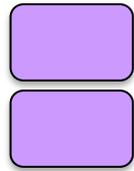
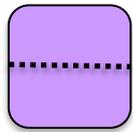


**Divisions
symétriques
anticline**

■ Différenciation de la coiffe apicale (columelle)



Cellule initiale de la
coiffe apicale



Cellule de la coiffe
apicale

**1^{ère} division
symétrique
anticline**

**Différenciation
par effet de
position**

Niche de Cellules Souches Racinaires

