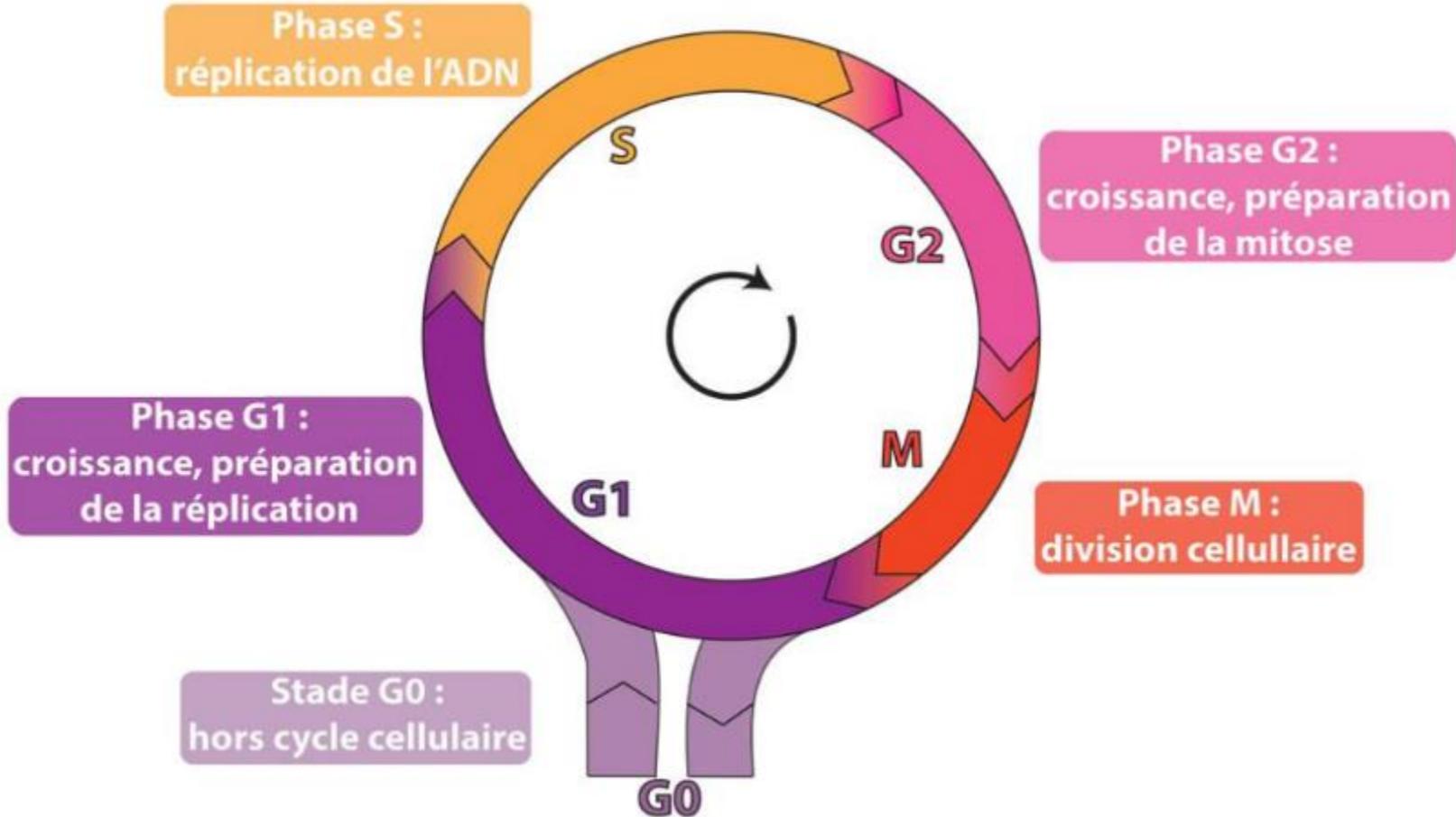


## II - Lignage et Identité Cellulaire

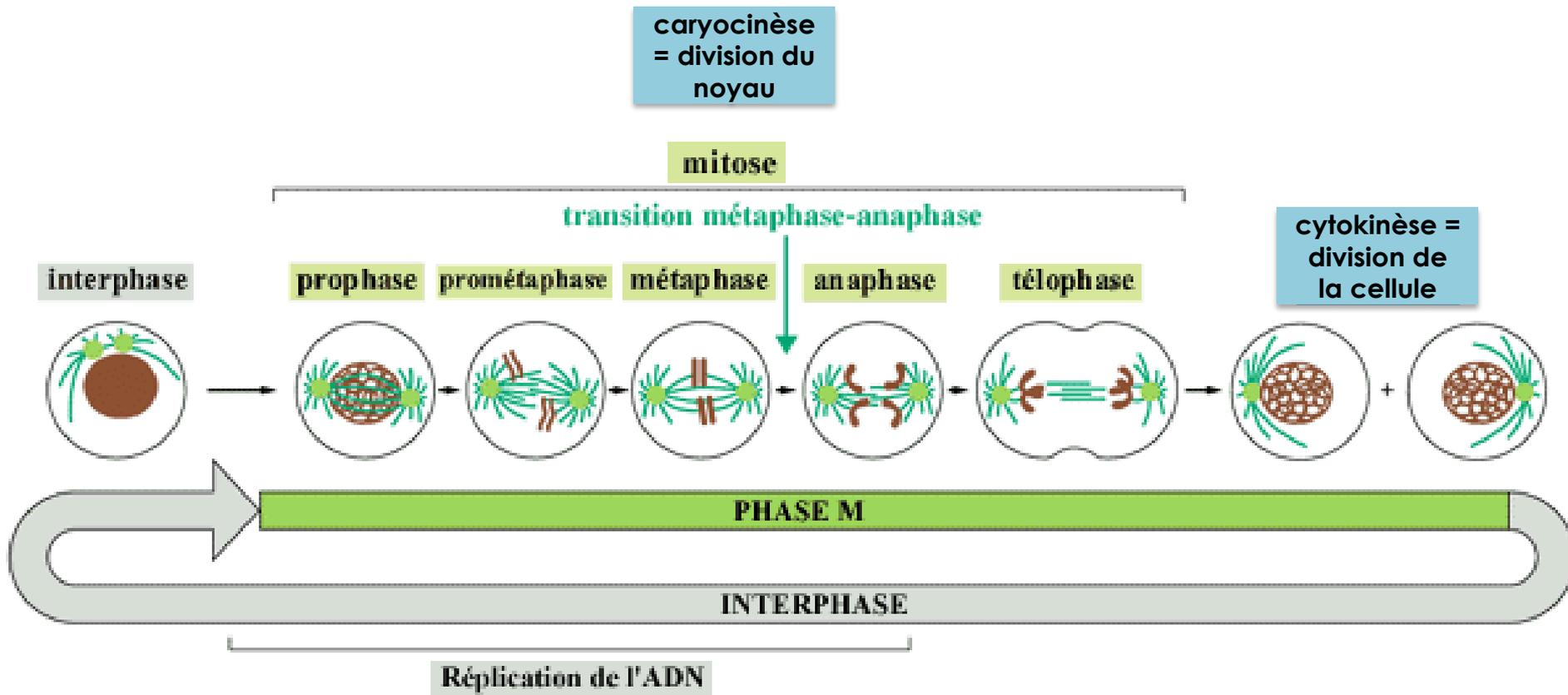


# 1 – La division cellulaire

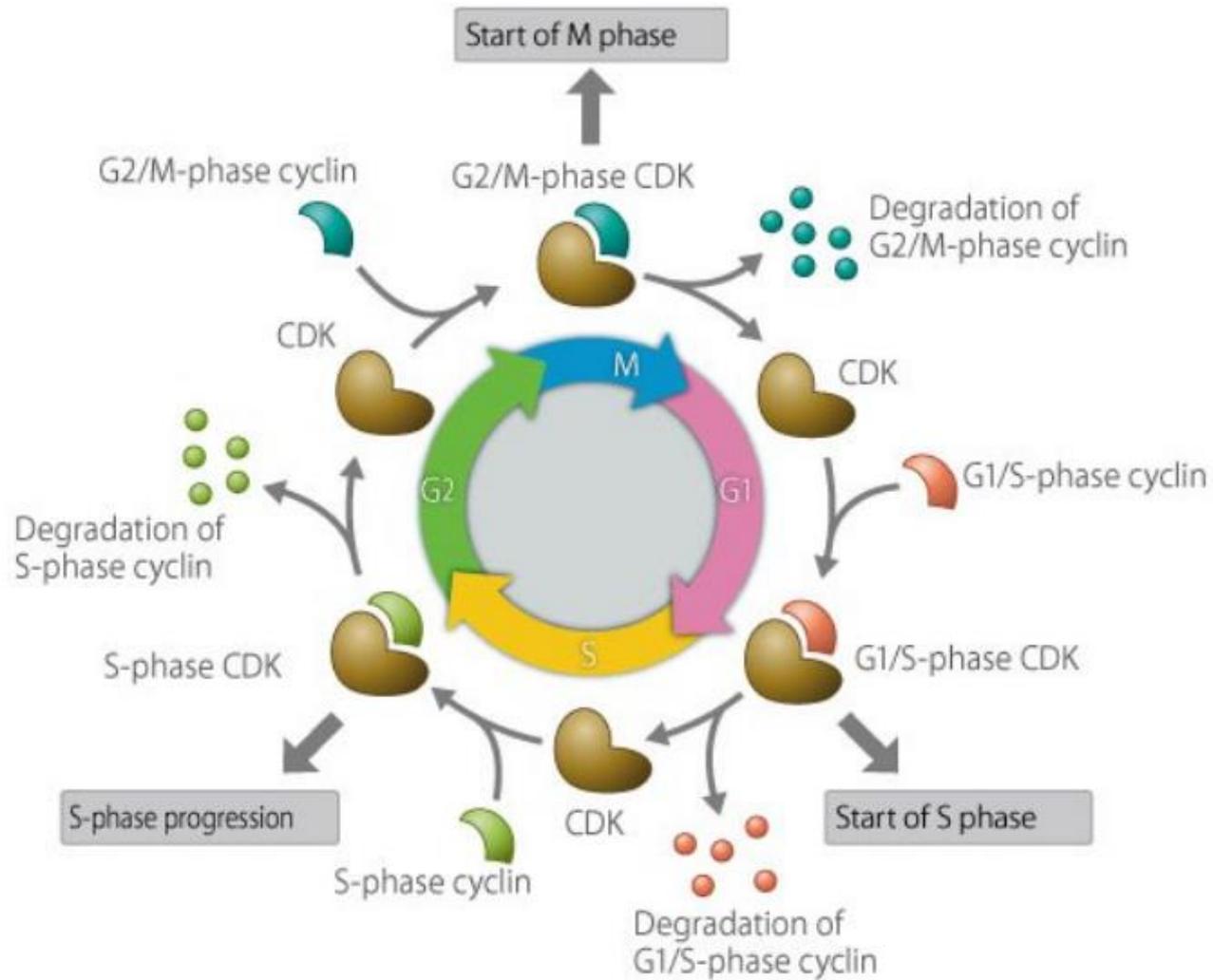
Un cycle commun à tous les eucaryotes



# 1 – 1 Le cycle cellulaire



# Un cycle finement régulé (cf: Bio Cell)



## Deux particularités des divisions chez les plantes qui doivent tenir compte de la paroi pecto-cellulosique

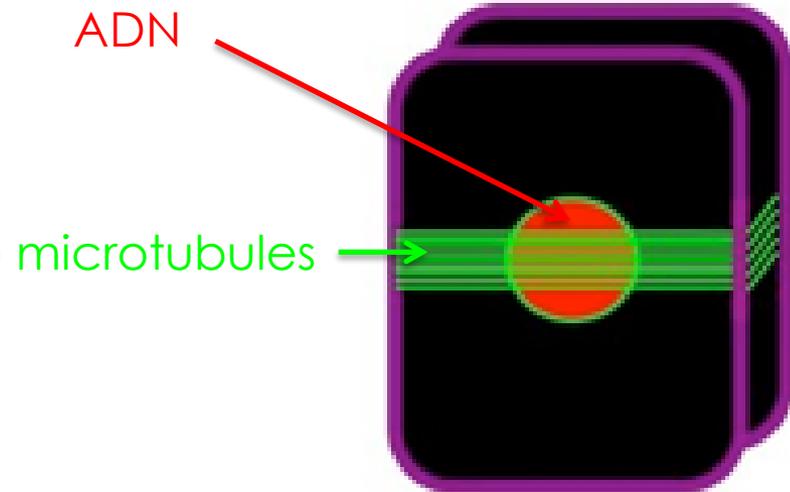
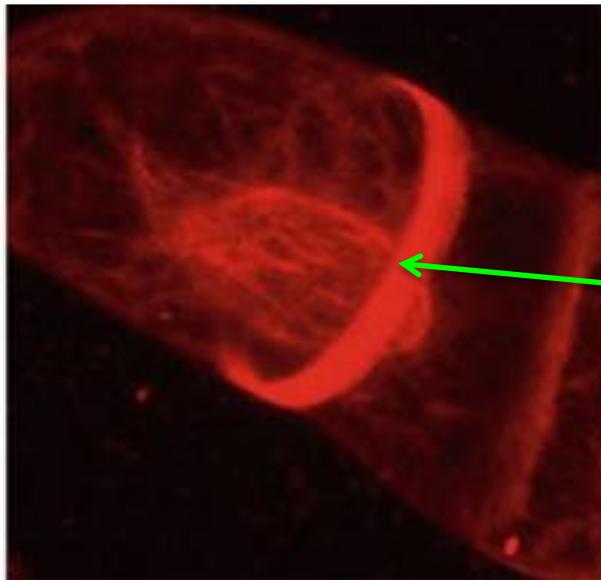
→ L'anneau de **préprophase**

→ Le **phragmoplaste**

## 1-1-1- Anneau de Préprophase (« PreProphaseBand – PPB »)

→ Anneau de microtubules et de filaments d'actine qui apparaît en fin de phase G2 avant la prophase

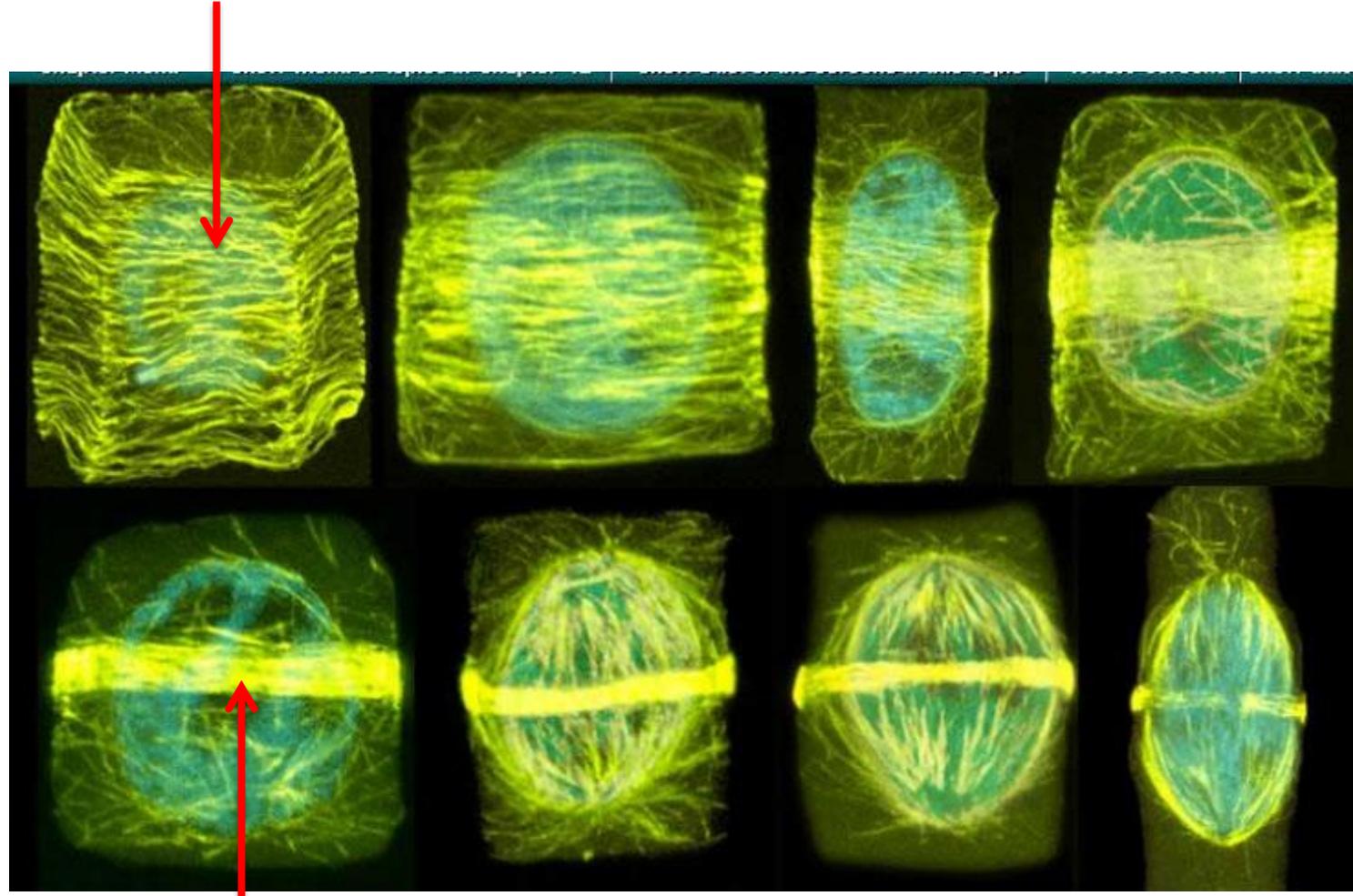
Caractéristique de toutes les mitoses mais *absent* lors de la **méiose** et des **mitoses gamétophytiques**



Marquage des MT

# Immunolocalisation des microtubules dans des cellules racinaires

Microtubules corticaux en interphase



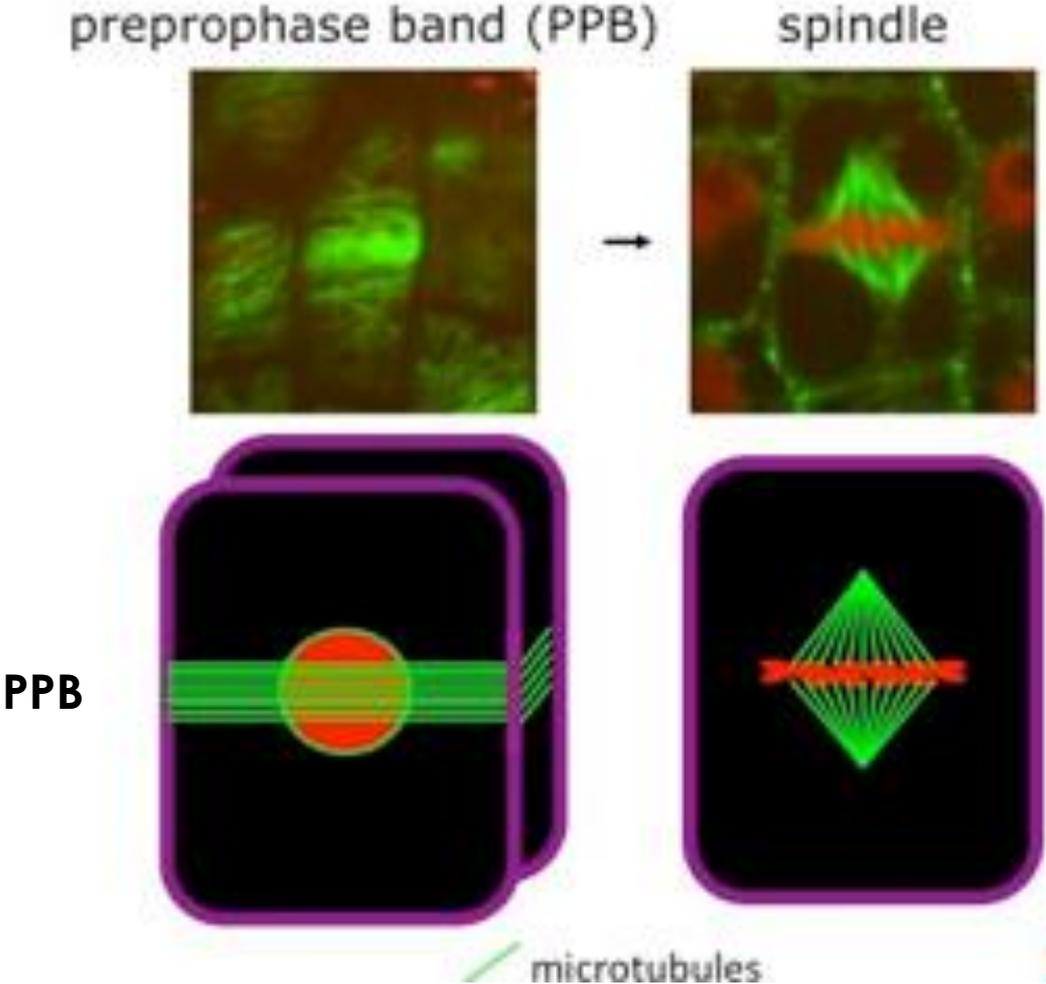
AXE RACINAIRE

Anneau de Préprophase

<http://biology-assets.anu.edu.au/CMS/>

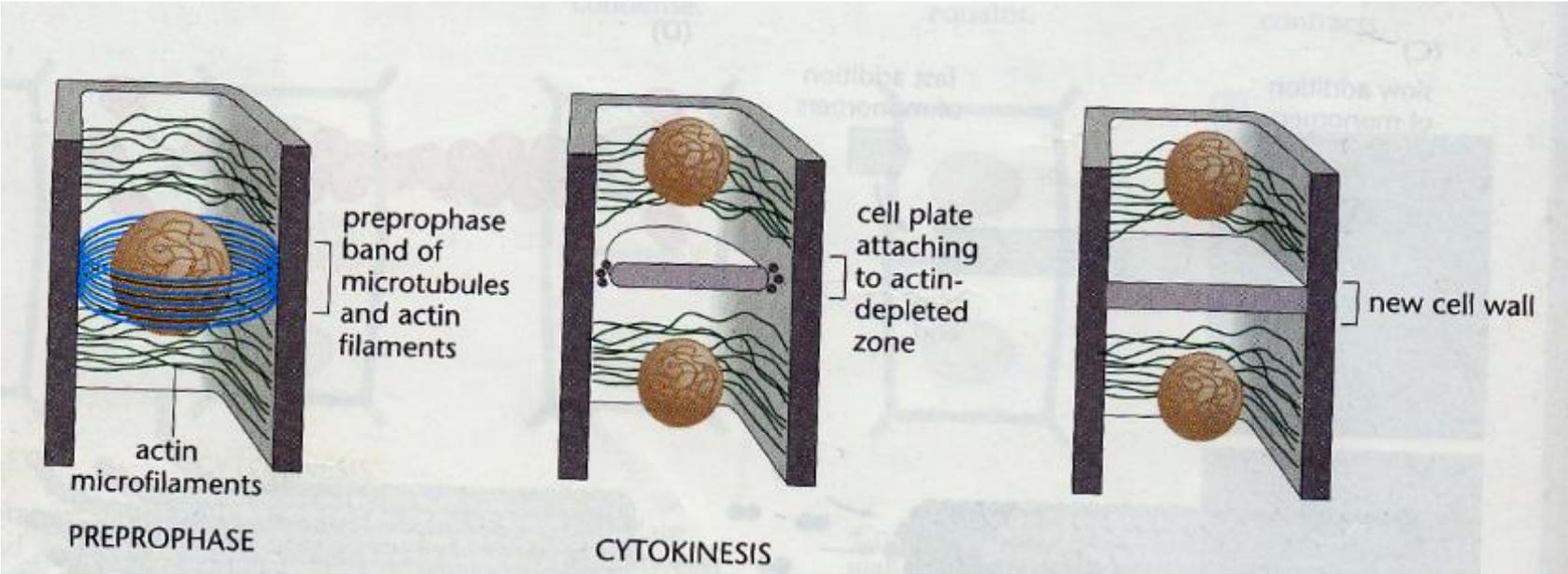
# Une durée de vie courte

PPB est progressivement désassemblé et disparaît en prométaphase  
Lorsque les microtubules s'organisent en fuseau mitotique

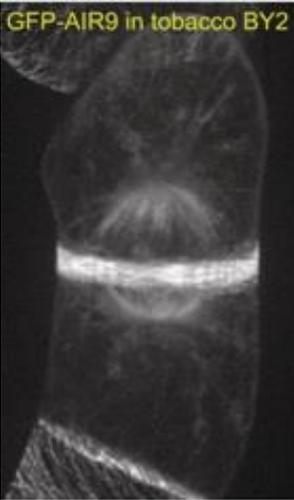


Anneau de préprophase marque l'emplacement du **plan de division**

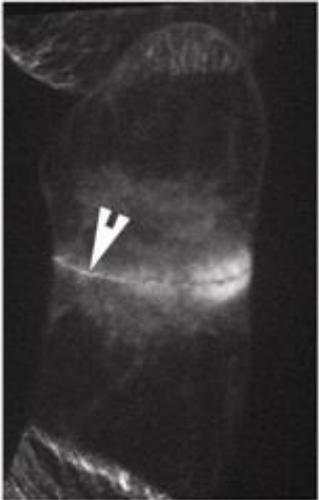
# L'anneau de préprophase marque l'emplacement de la future paroi



GFP-AIR9 in tobacco BY2



PPB

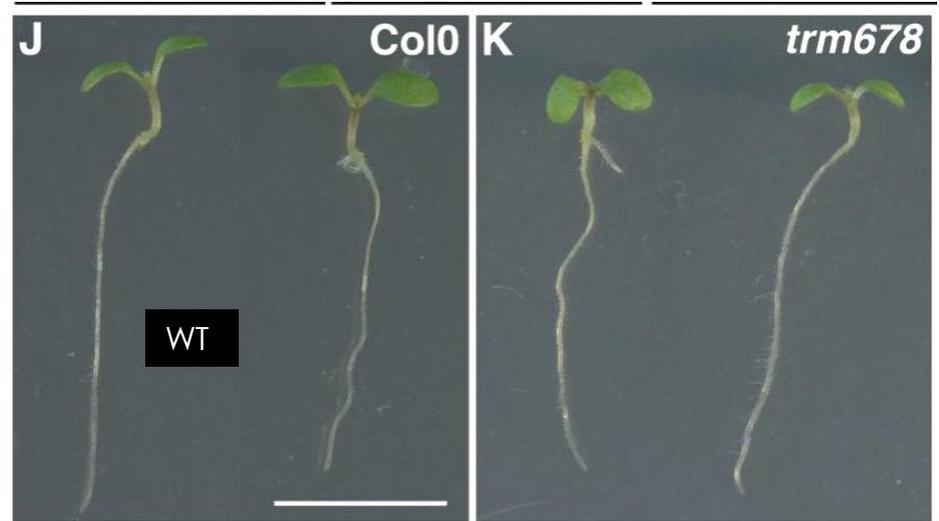
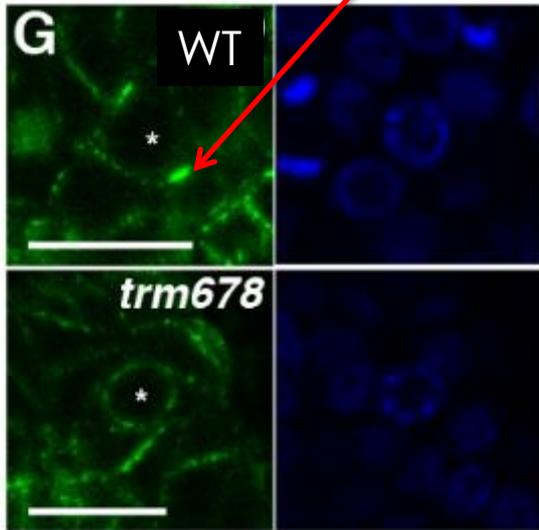
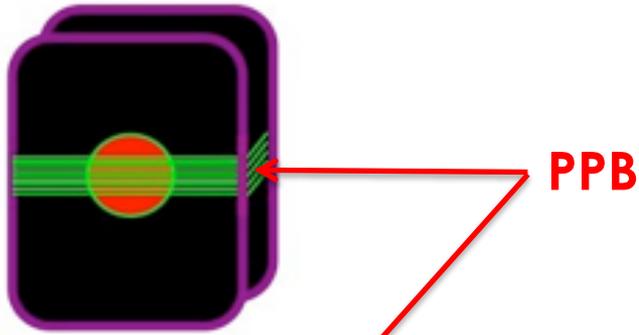


cytokinesis

<https://www.jic.ac.uk/STAFF/clive-lloyd/henrik-buschmann/>

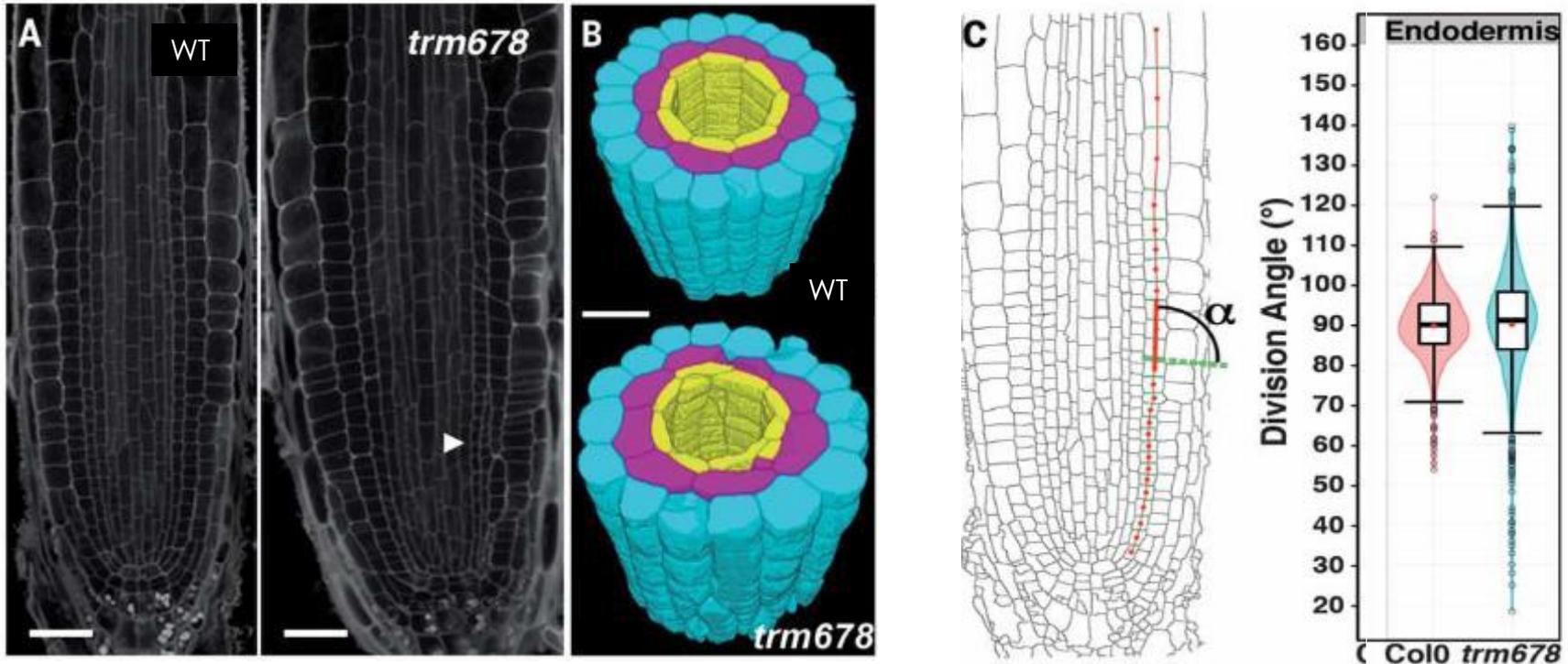
# Quel est le rôle de l'anneau de préprophase (PPB) ?

Le mutants *trm678* d'*Arabidopsis thaliana* = mutant dépourvu de PPB



Pas de phénotype visible !

L'anneau de préprophase (PPB) a un rôle **stabilisateur** mais non déterminant pour l'orientation du plan de divisions cellulaires

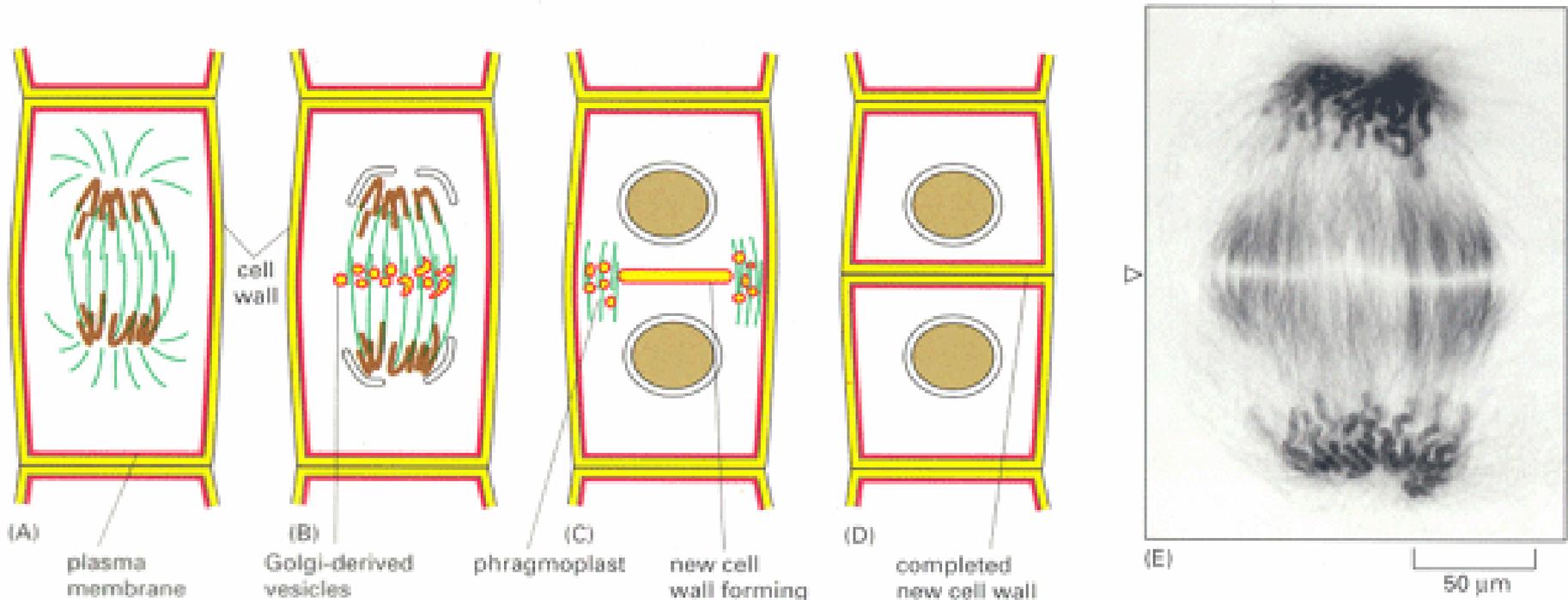


Le rôle de l'anneau de préprophase dans la stabilisation de l'orientation des divisions cellulaires serait lié à sa capacité à limiter les rotations du fuseau mitotique

## 1-1-2 Le phragmoplaste

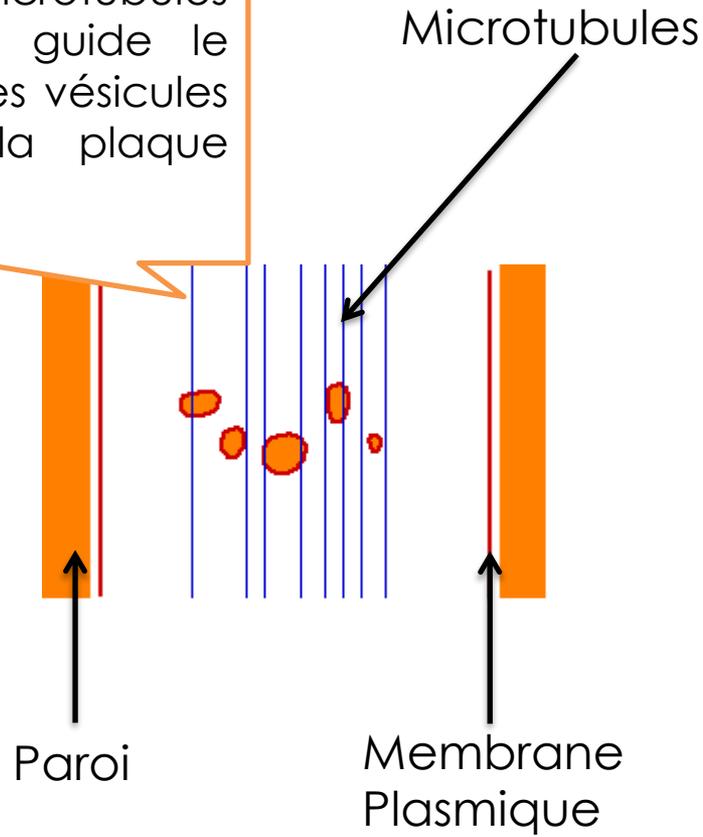
→ Formation en début de télophase

→ Structure nécessaire pour reconstituer la paroi des deux cellules filles

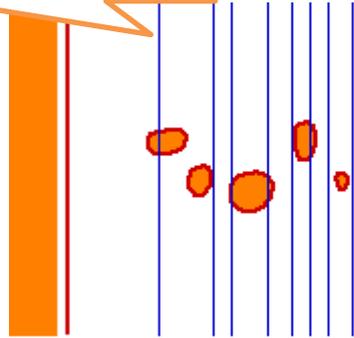


Structure spécifique des cellules végétales, formée d'un réseau de MT, de filaments d'actine et de vésicules

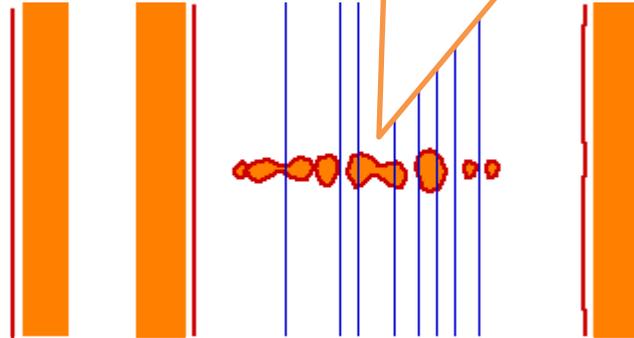
1 – Mise en place d'un réseau de microtubules antiparallèles qui guide le positionnement des vésicules au niveau de la plaque équatoriale



1 – Mise en place d'un réseau de microtubules antiparallèles qui guide le positionnement des vésicules au niveau de la plaque équatoriale

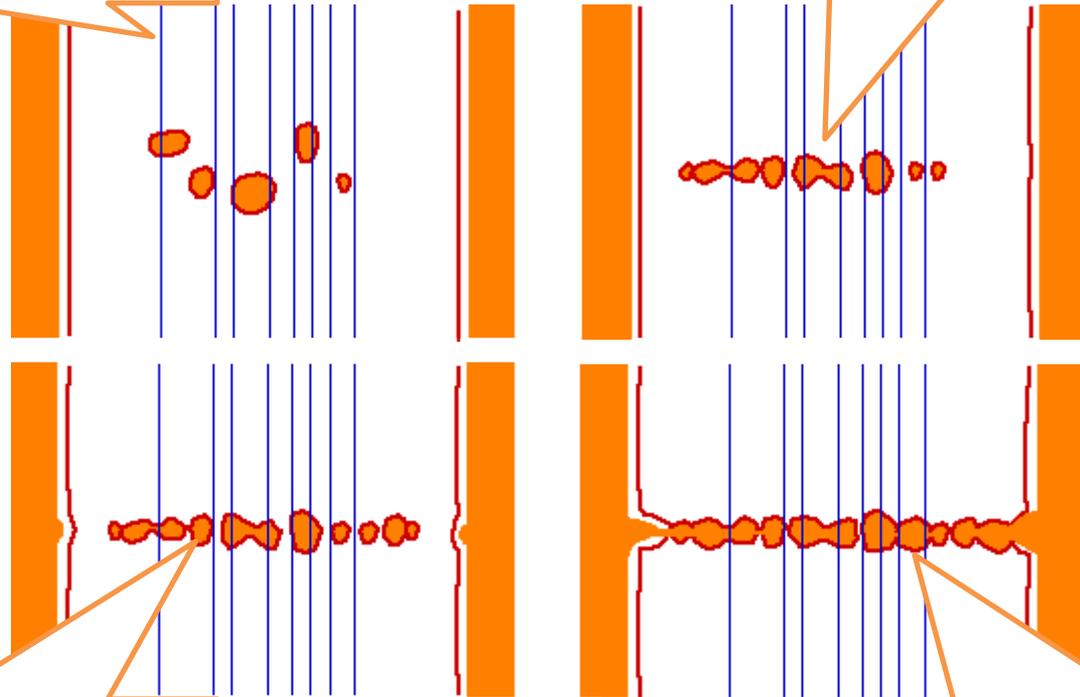


2 – Les vésicules fusionnent entre-elles



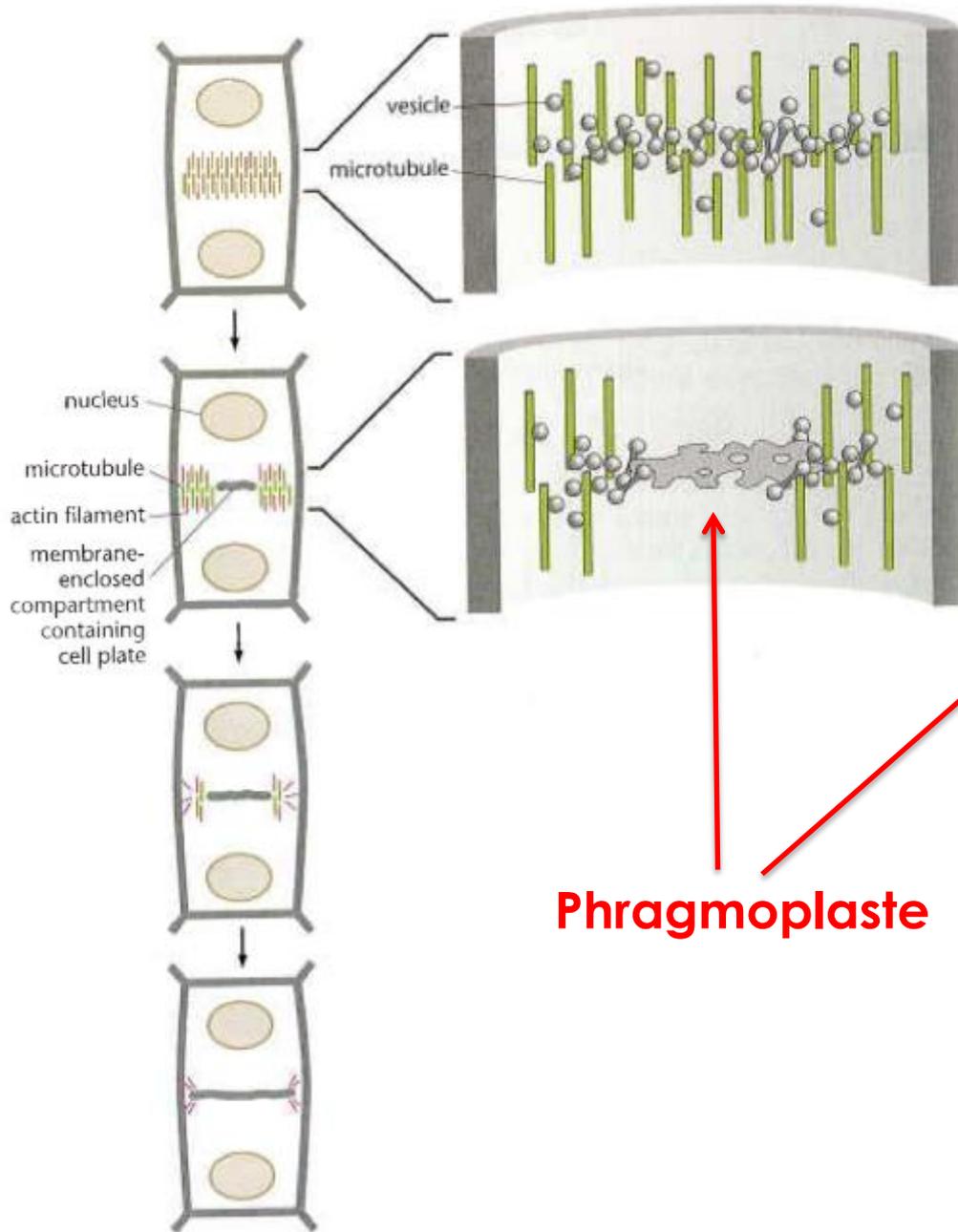
1 – Mise en place d'un réseau de microtubules antiparallèles qui guide le positionnement des vésicules au niveau de la plaque équatoriale

2 – Les vésicules fusionnent entre-elles



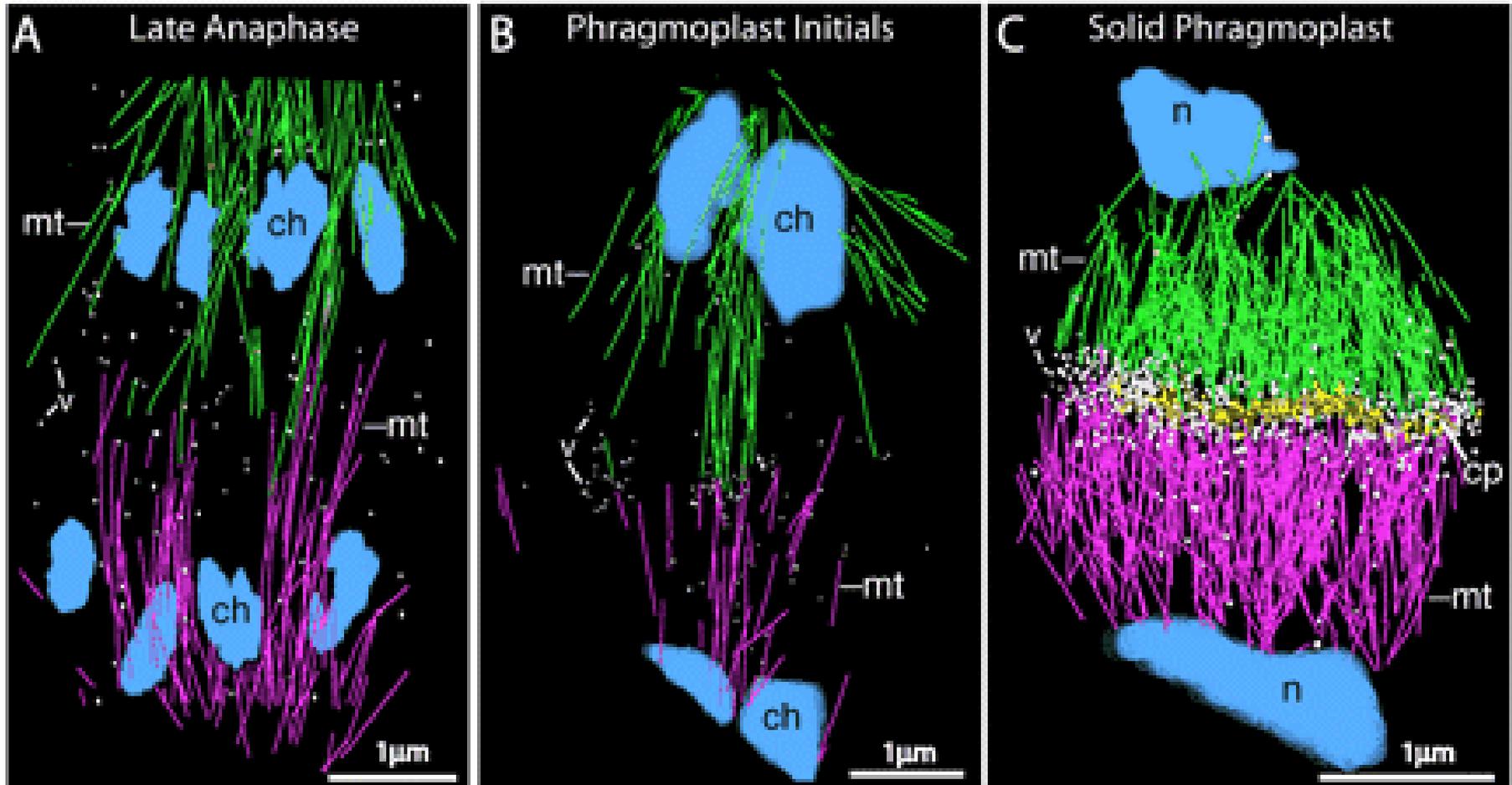
3 – La fusion des vésicules golgiennes permet de reconstruire les membranes plasmiques et la paroi des cellules filles: **SYNTHESE CENTRIFUGE**

4 – La nouvelle paroi se soude aux parois longitudinales anciennes. Les membranes des vésicules golgiennes se sont différenciées et sont analogues à la membrane plasmique. L'ensemble de ces membranes se soude aux membranes latérales.

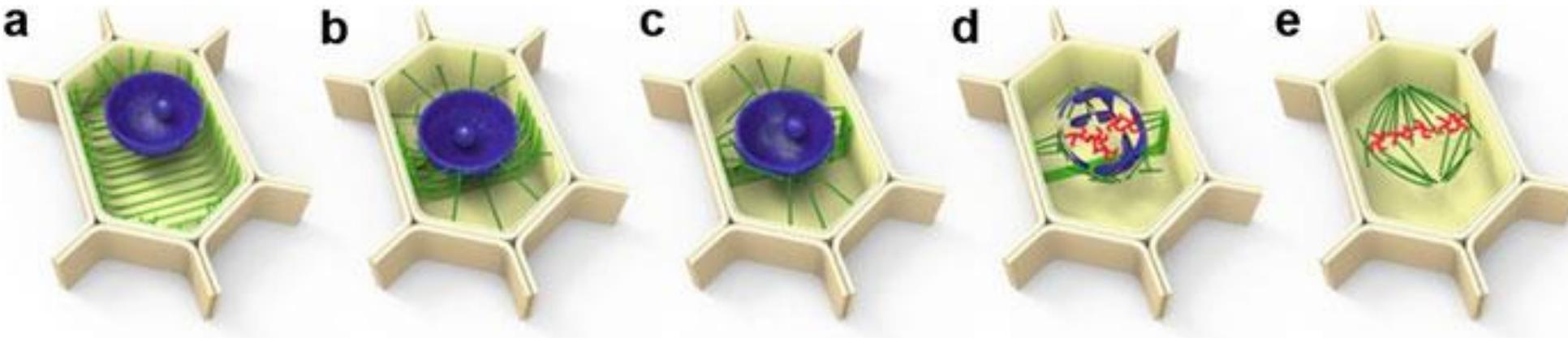


**Phragmoplaste**

# Réseau de Microtubules anti-parallèles



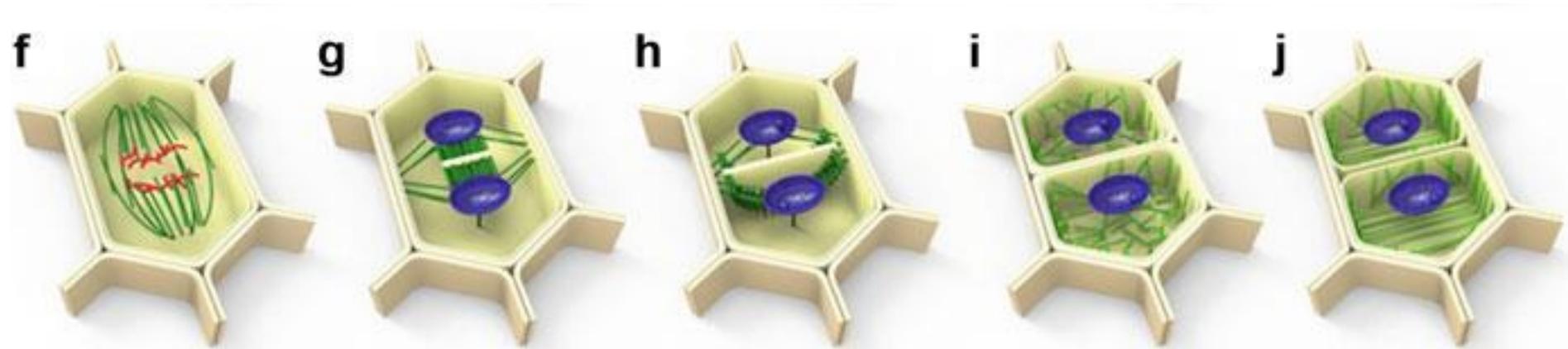
## Bilan: les différentes étapes de la division cellulaire



Bouchez et al. 2014

- a – Interphase. MT corticaux perpendiculaires à l'axe de la cellule
- b – Migration du noyau au centre de la cellule. MT s'organisent en PPB
- c – Prophase: PPB s'affine
- d – Fin de prophase, MT s'accumulent aux futurs pôles de la division, l'enveloppe nucléaire disparaît
- e – Métaphase: alignement des chromosomes. Connexion des pôles du fuseau aux extrémités

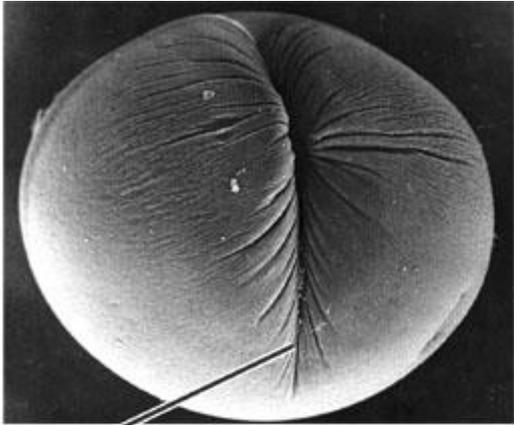
## Bilan: les différentes étapes de la division cellulaire



Bouchez et al. 2014

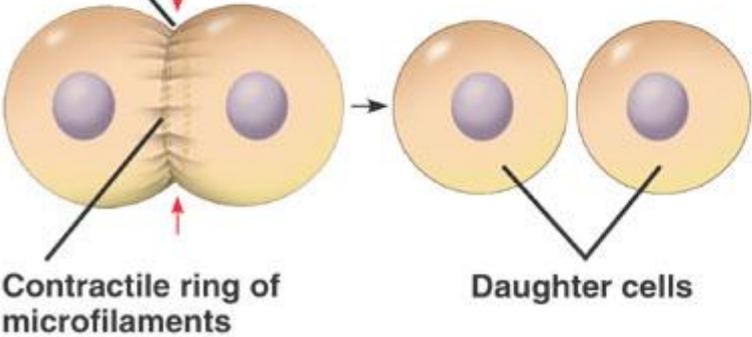
- f – Anaphase. Ségrégation des chromosomes
- g – Début de télophase: phragmoplaste forme un cylindre de MT antiparallèle
- h – Le phragmoplaste s'étend de façon centrifuge
- i – Une fois la cytokinèse achevée, réapparition des MT corticaux
- j – Réorientation des MT selon l'axe d'élongation cellulaire

# Comparaison de la CYTOKINESE animale vs végétale



100  $\mu\text{m}$

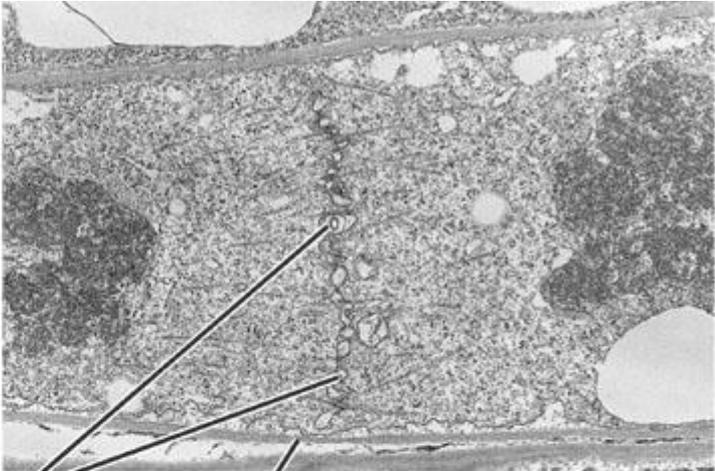
Cleavage furrow



Contractile ring of microfilaments

Daughter cells

(a) Cleavage of an animal cell (SEM)



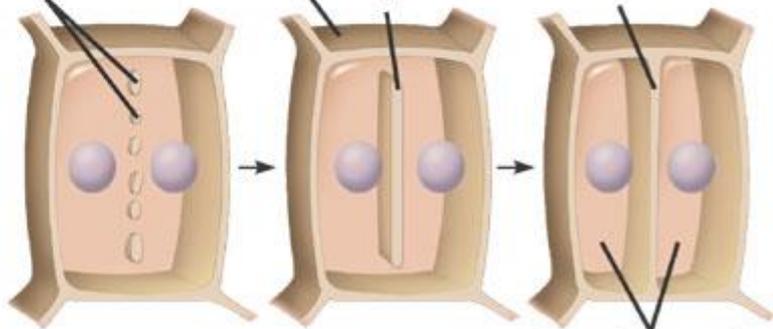
1  $\mu\text{m}$

Vesicles forming cell plate

Wall of parent cell

Cell plate

New cell wall



Daughter cells

(b) Cell plate formation in a plant cell (TEM)

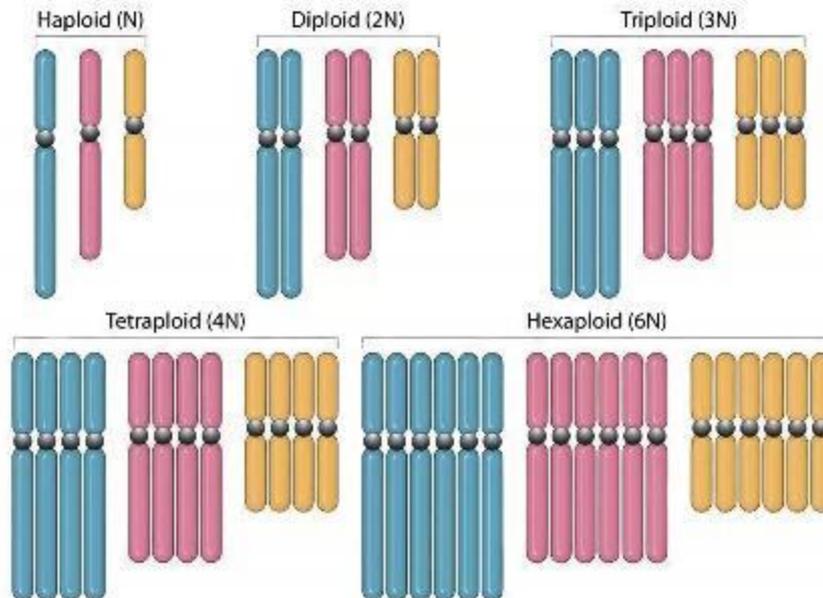
# 1-2 : Variations du cycle cellulaire

→ Processus de **polyploïdisation** = processus permettant d'augmenter la quantité d'ADN au sein d'une cellule **au-delà de deux jeux complets de chromosomes homologues**

2 cas:

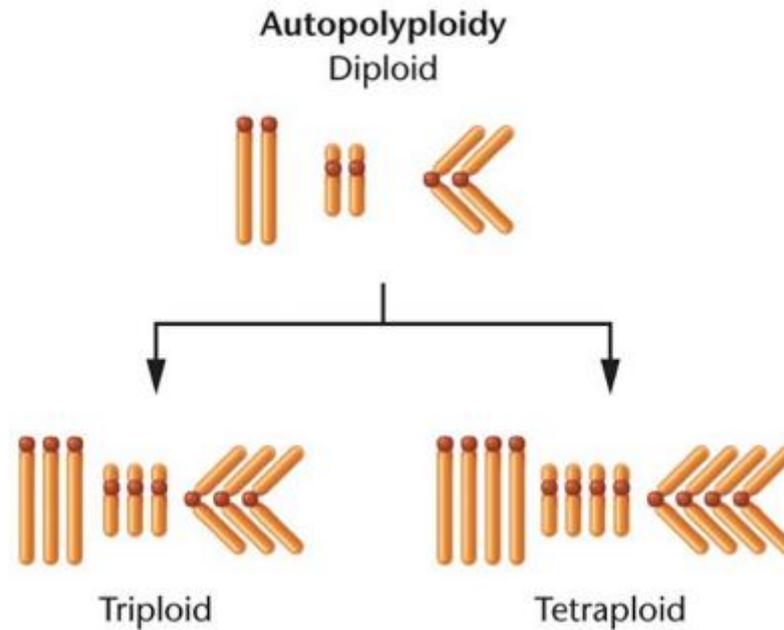
## 1-2-1 : Polyploïdisation constitutive:

**Toutes les cellules** de l'organisme possèdent une quantité augmentée d'ADN.



# 1 -2 -1 – 1 : autopolyploidie

→ Multiplication au sein de la même espèce



Exemples:

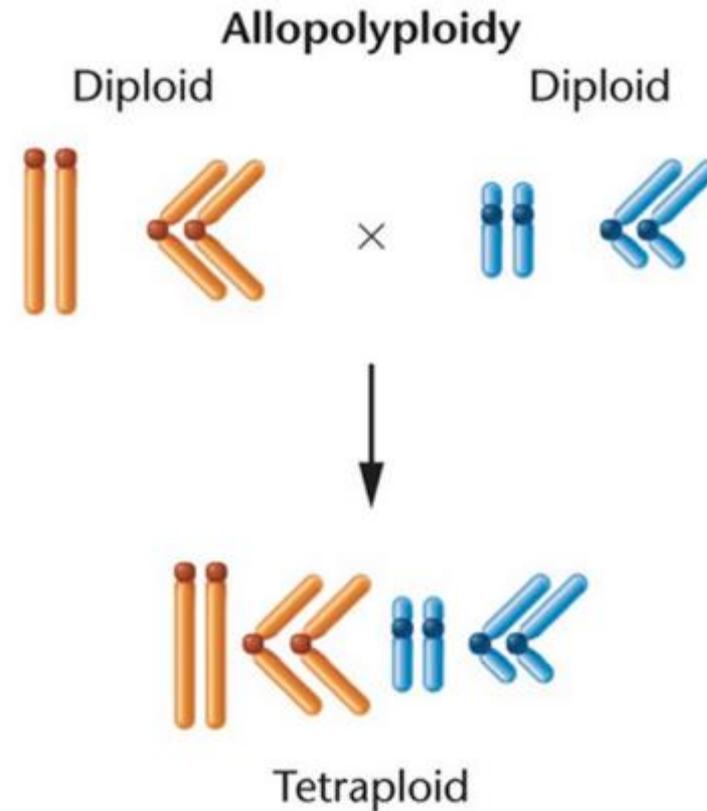
Pomme de terre = Tetraploïde (48 chromosomes)

Banane = Triploïde (33 chromosomes)

Patate douce = Hexaploïde (90 chromosomes)

## 1 - 2 - 1 - 2 : Allopolyploïdie

→ Hybridation entre deux ou plusieurs espèces



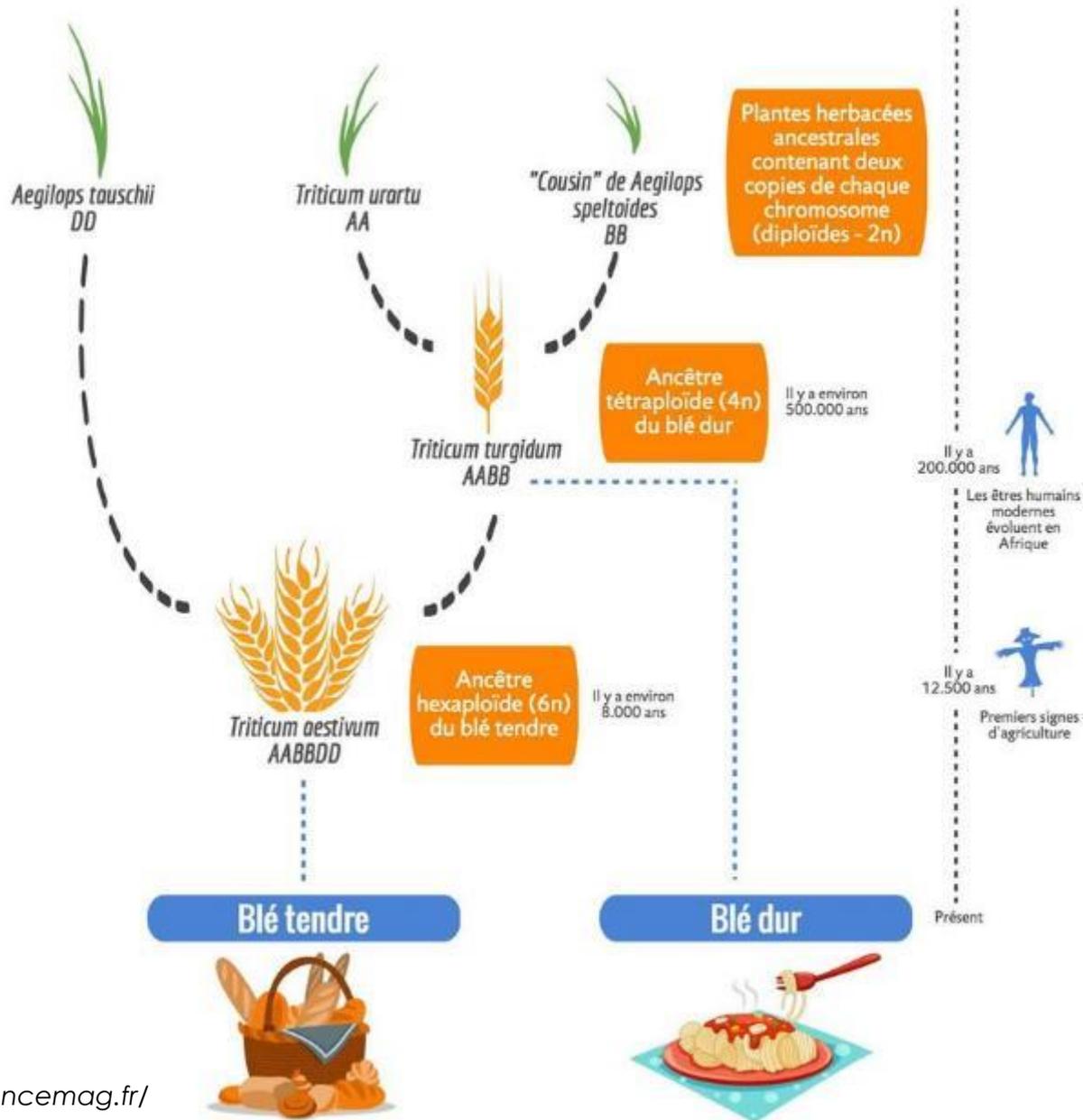
### Exemples:

Tabac = Tétraploïde (48 chromosomes)

Canne à sucre = Octoploïde (80 chromosomes)

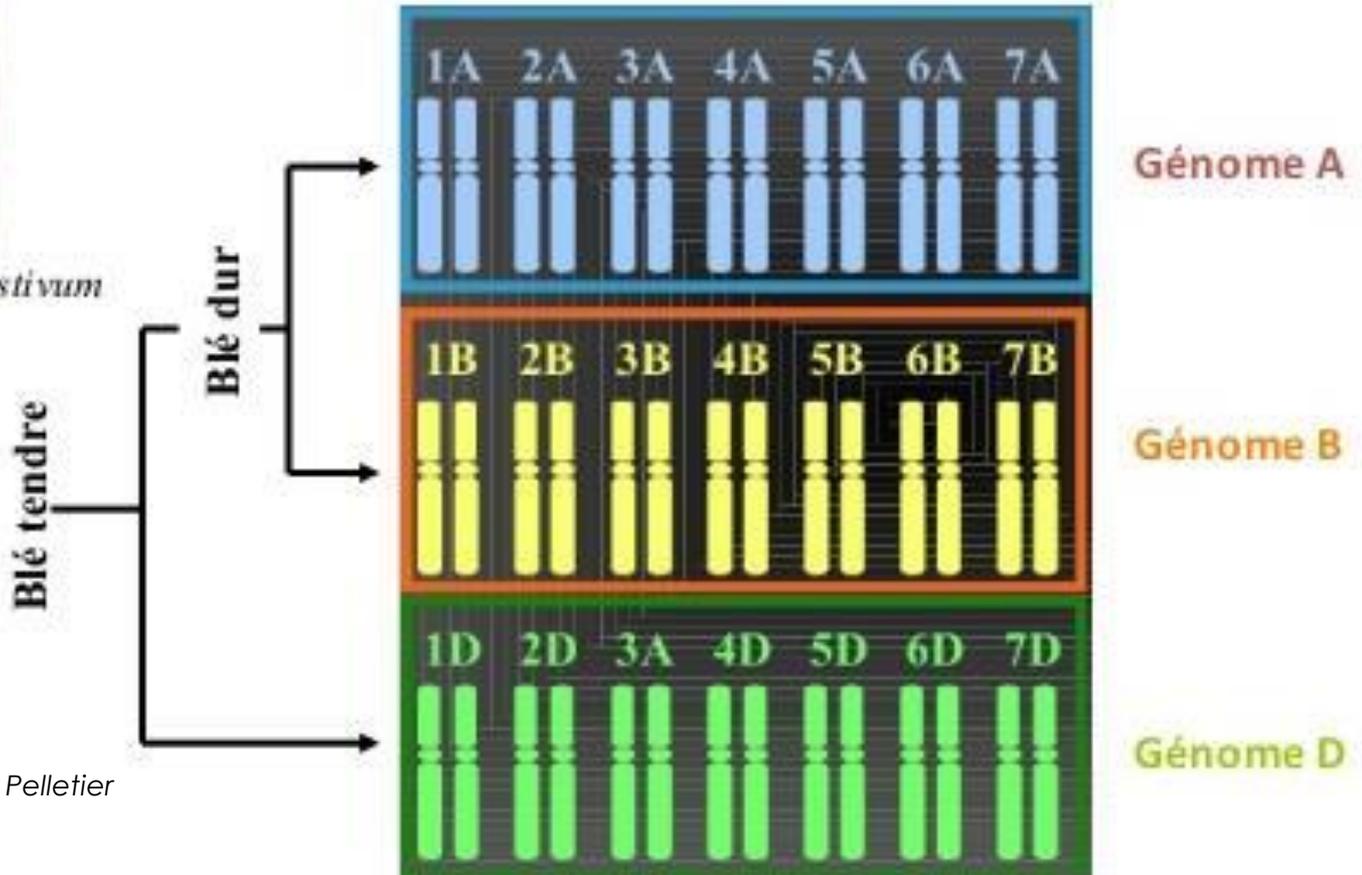
Blé tendre = Héxaploïde (42 chromosomes)

# Le blé tendre tel que nous le connaissons aujourd'hui provient de trois espèces de plantes herbacées ancestrales ayant subi deux hybridations consécutives





*Triticum aestivum*



Adapté L. Lepiniec, G. Pelletier

## 1-2-2: L'endopolyploidisation

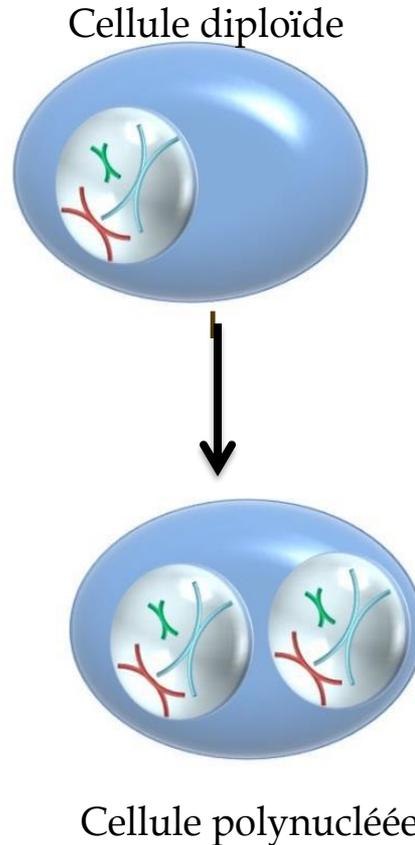
Seules certaines cellules d'un organe ou d'un tissu augmentent leur quantité d'ADN.

Concerne 90% des angiospermes!

Il existe différents cas d'endopolyploïdisation:

# 1-2-2-1 Polynucléation

→ Cas de caryocinèse sans cytokinèse

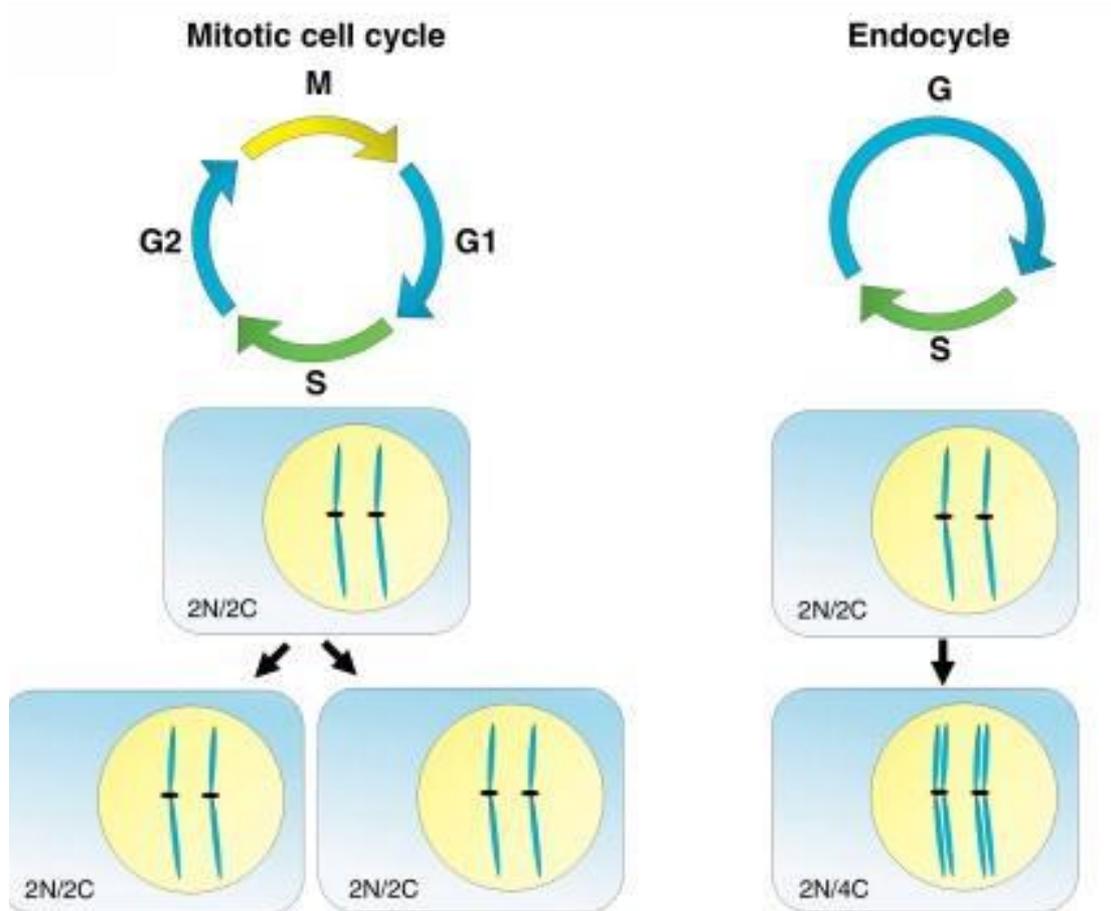


Exemple: Albumen  
coenocytique de la noix de coco

Pas de reconstitution de MP et de paroi entre les cellules filles : peut donner un tissu liquide **Coenocytique**

## 1-2-2-2 Endoréplication (ou endoreduplication)

Phase S mais pas de phase M (endocycle)



**2N/2C → 2N/4C**

Observation de  
chromosomes  
**polytènes**

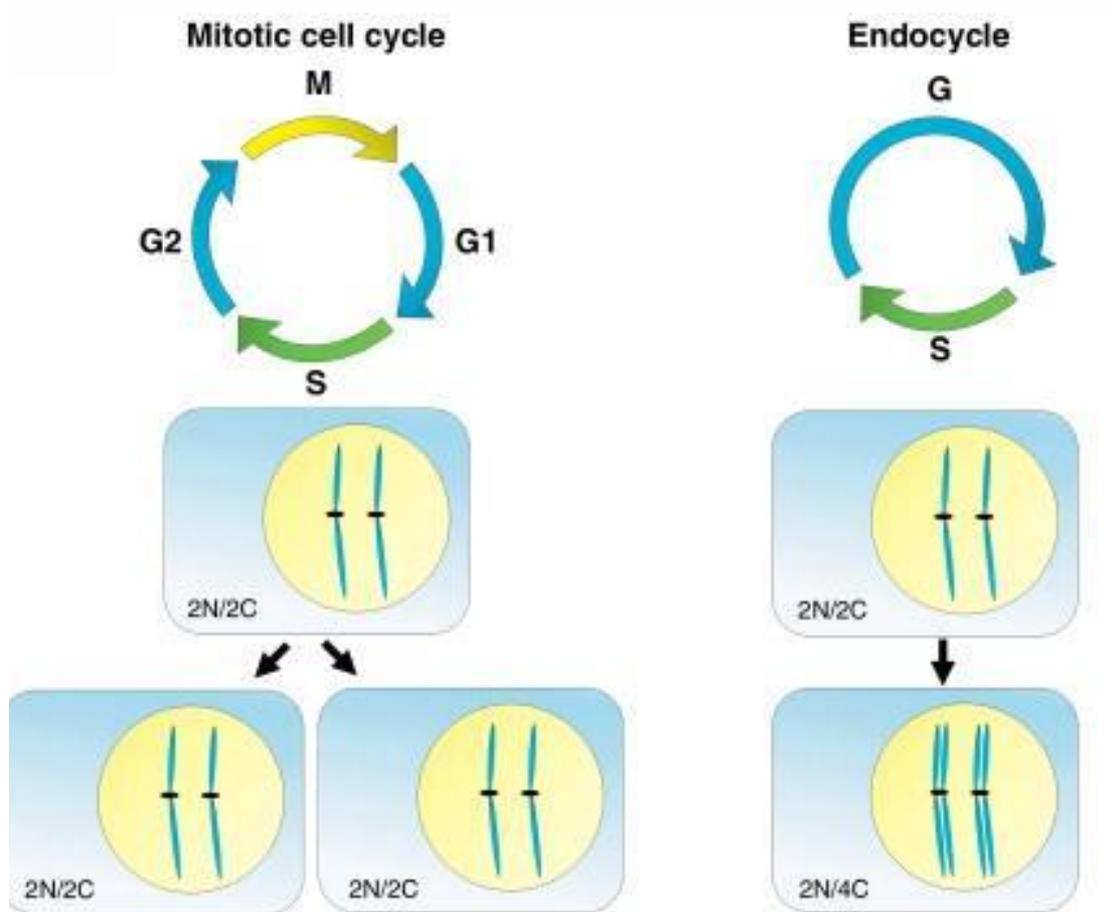
## 1-2-2-2 Endoréplication (ou endoreduplication)

Phase S mais pas de phase M (endocycle)

**REMARQUE:** ne pas confondre la **valeur C** (= contenu en ADN d'une cellule haploïde) et la **valeur N** (ploïdie = nombre d'exemplaires de jeux complets des chromosomes du génome)

## 1-2-2-2 Endoréplication (ou endoreduplication)

Phase S mais pas de phase M (endocycle)

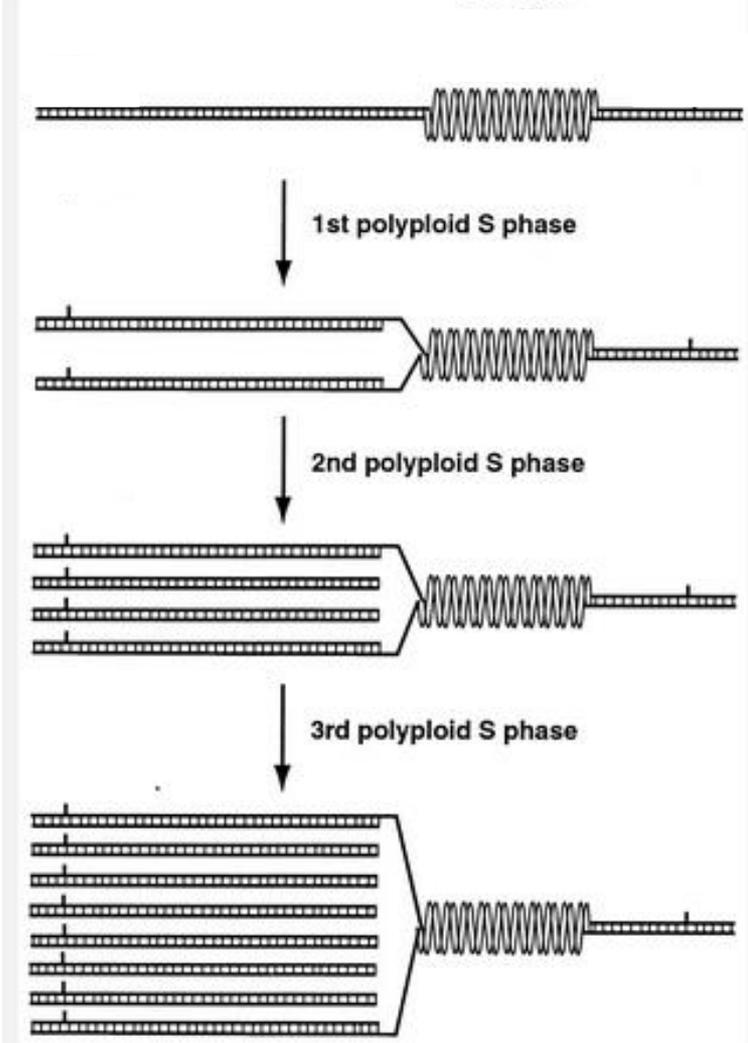


**2N/2C → 2N/4C**

Observation de  
chromosomes  
**polytènes**

# 1-2-2-2 Endoréplication (ou endoréduplication)

Les chromatides sont répliqués mais restent soudés au niveau des centromères



# Corrélation entre Endoréplication et Développement

L'endoréplication est indispensable à un développement correct

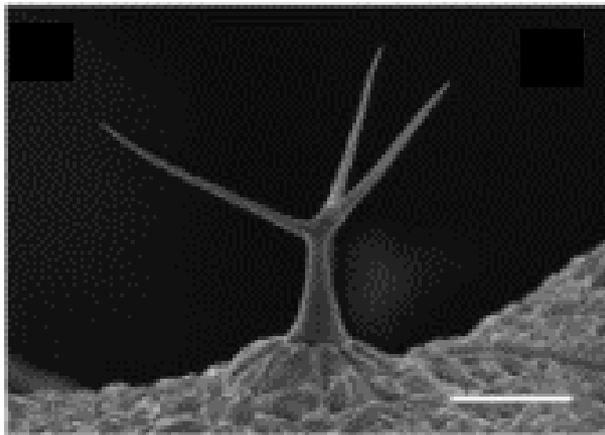
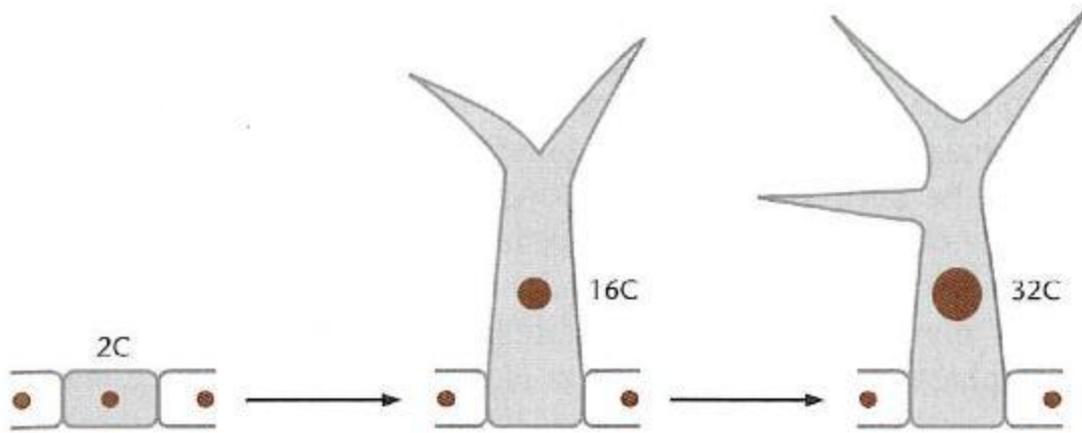
Ex: mutant d'endoréplication



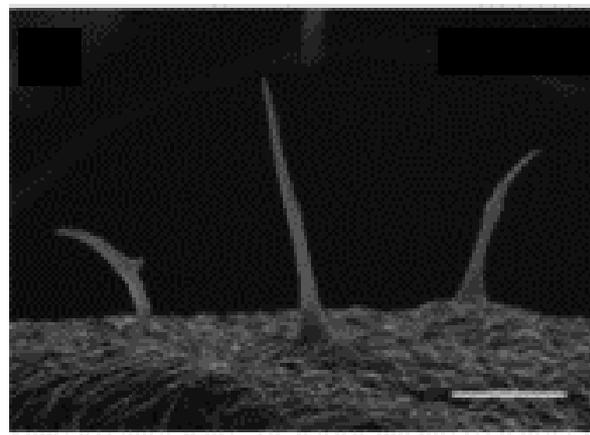
WT Mutant endo- 32

# Corrélation entre la taille des cellules et le contenu en ADN

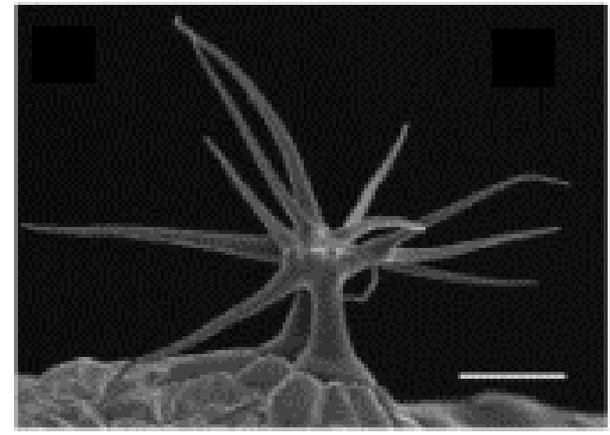
## Exemple 1: Formation des trichomes



32 C



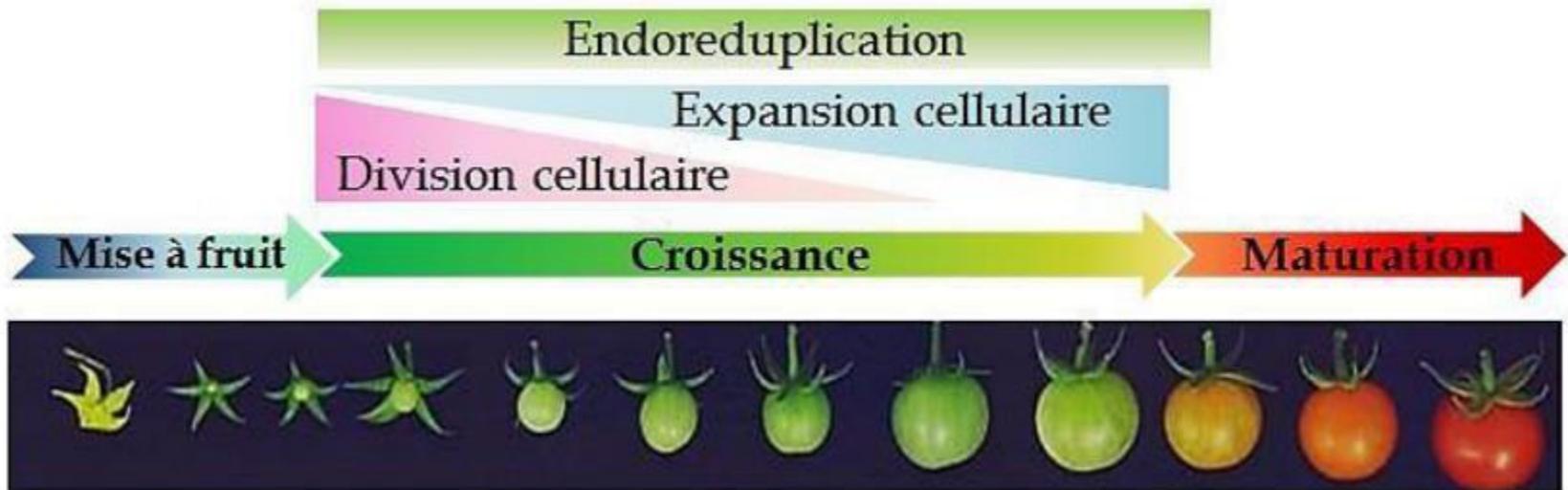
8 C

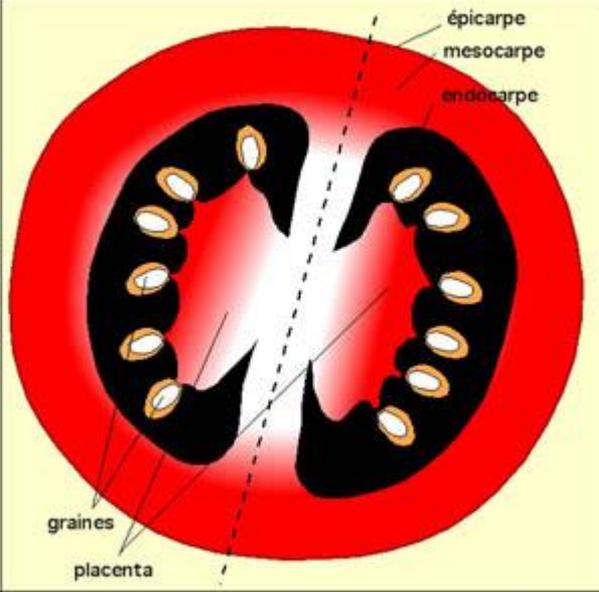
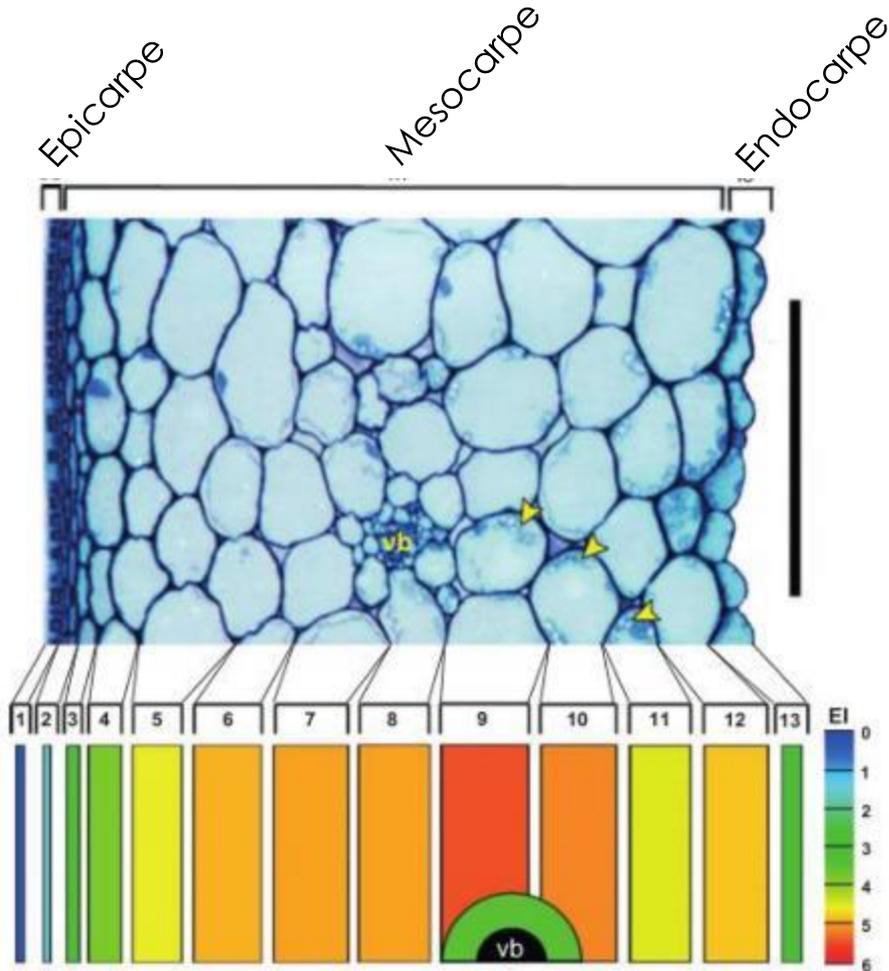


64 C

Trichome normal

## Exemple 2: Développement du fruit de tomate



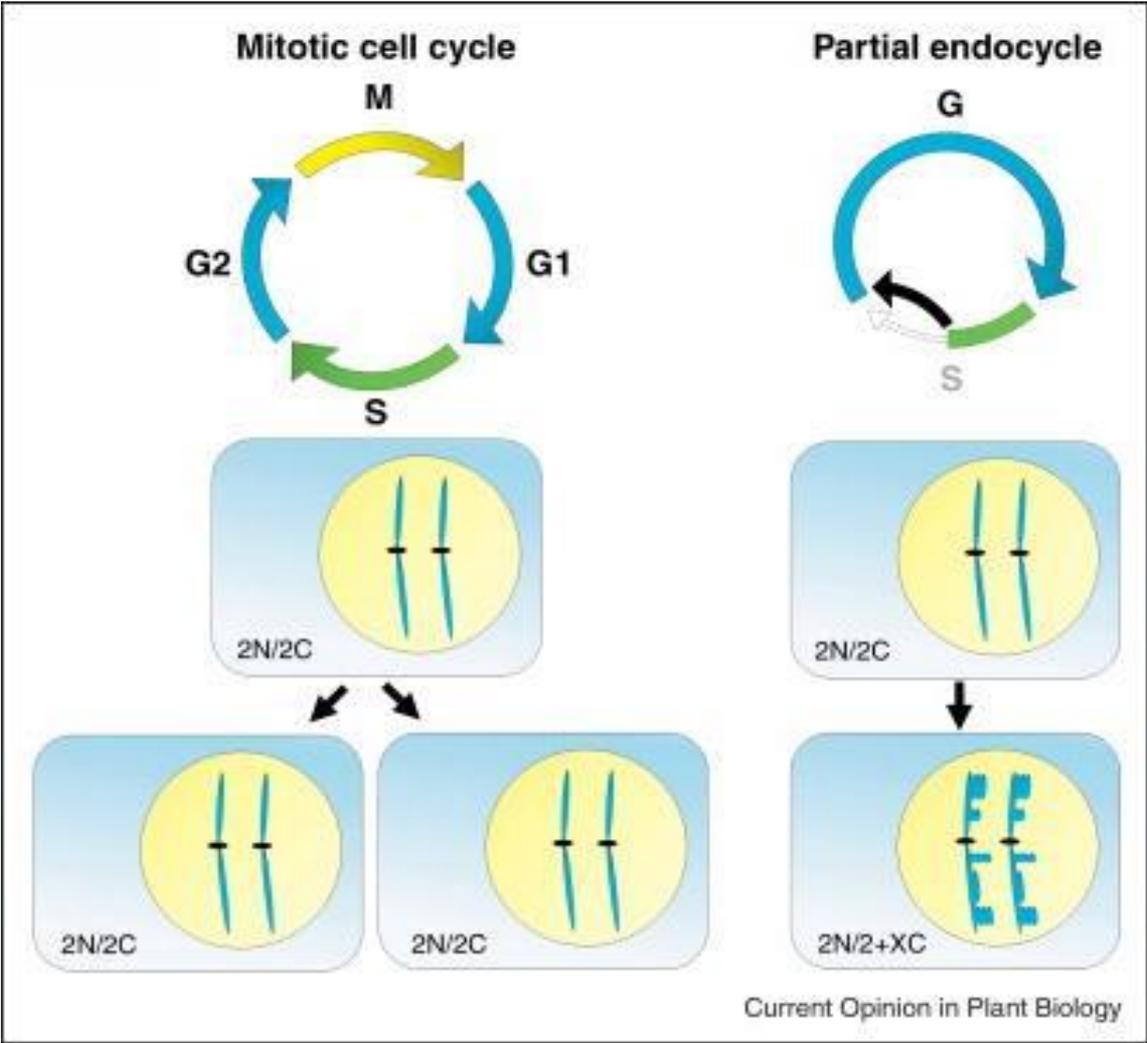


Distribution des index moyens d'endoréplication en fonction des assises.

L'échelle de couleur à droite représente l'index d'endoréplication moyen;

**Cas d'endoréplication partielle:**

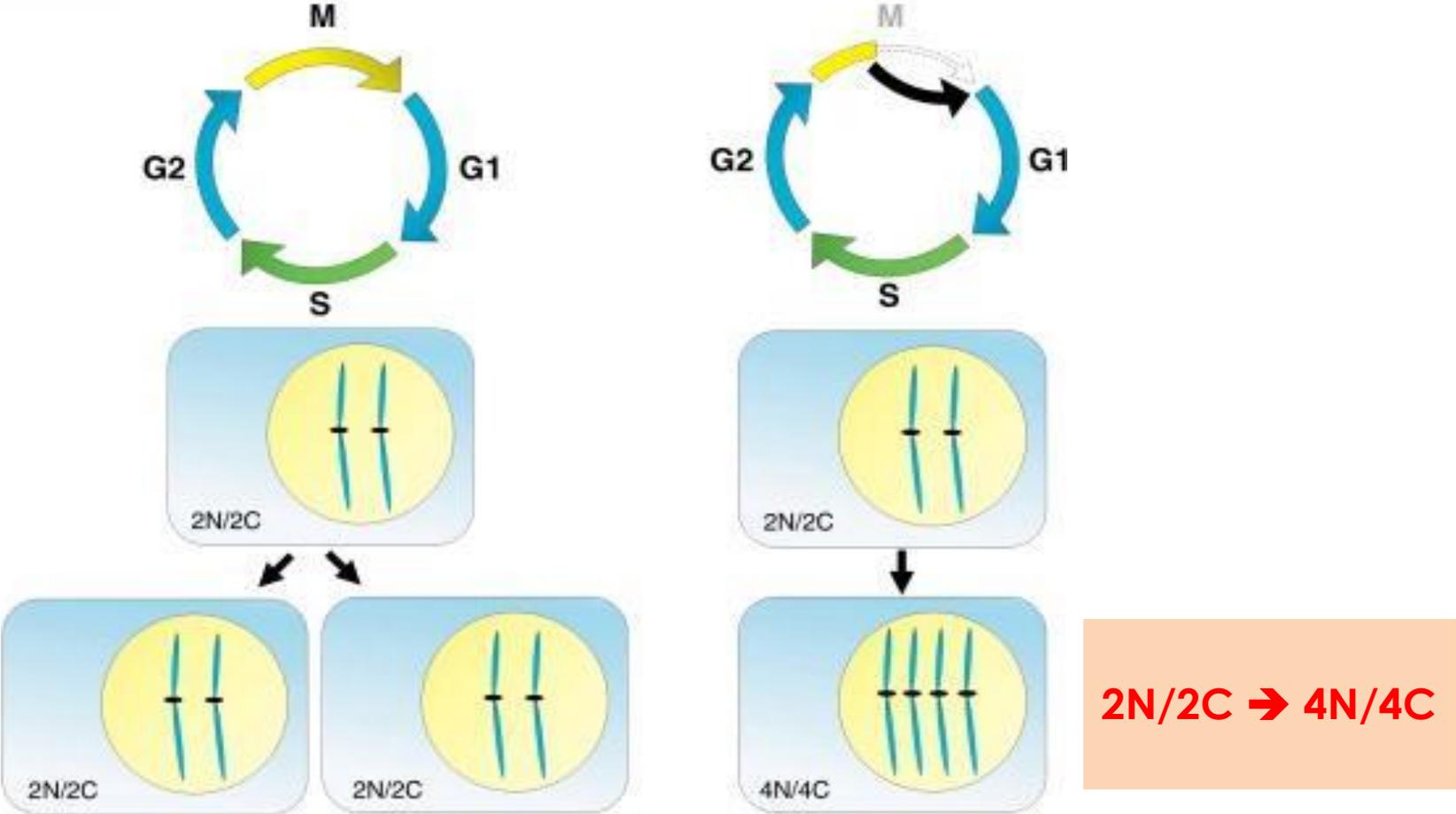
Pas de phase M. Re-réplication de certaines parties du génome



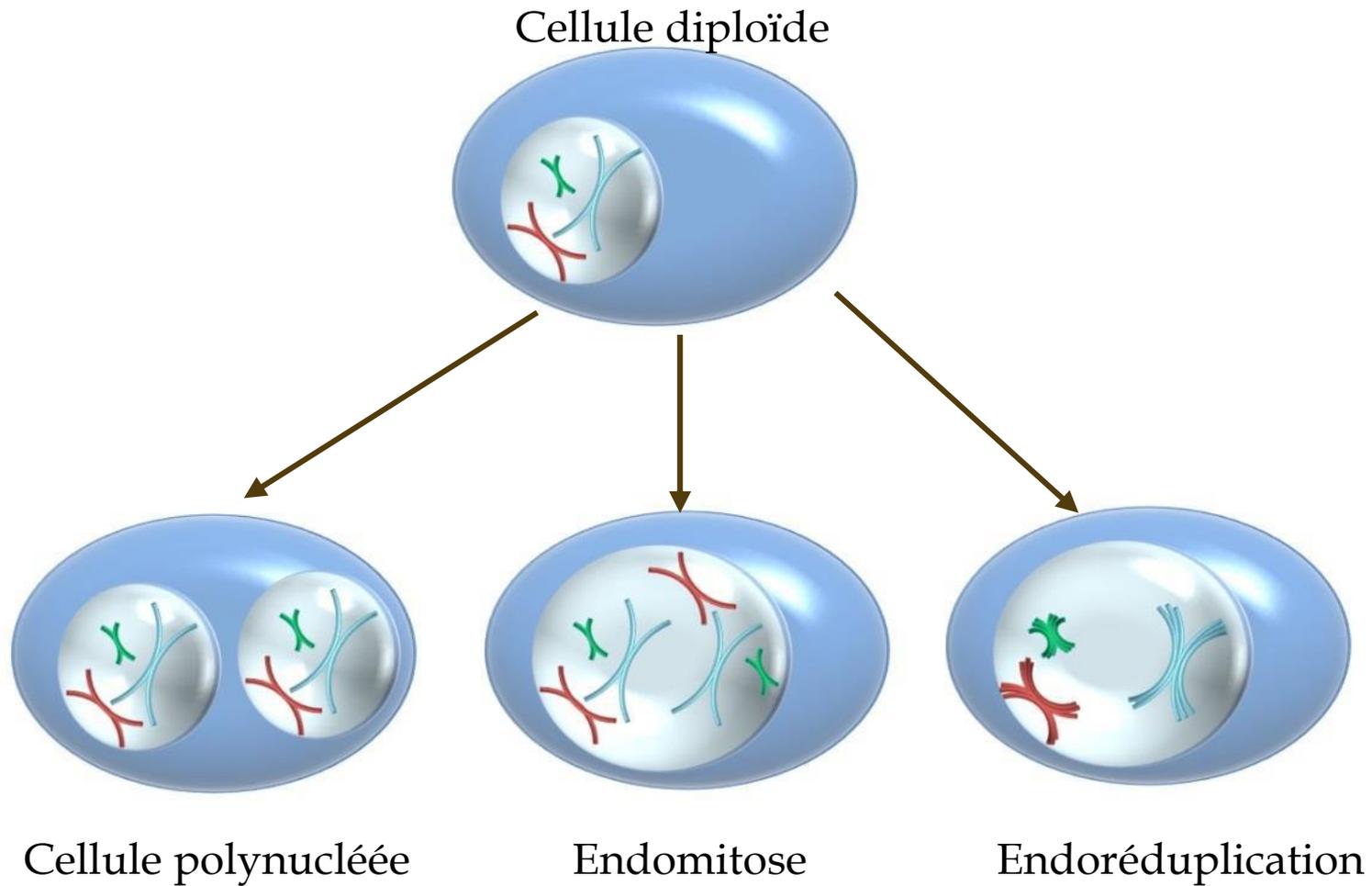
**$2N/2C \rightarrow 2N/2 + XC$**

# 1-2-2-3 Endomitose

Phase M partielle. Séparation des chromatides, mais absence de cytokinèse



## Bilan : 3 cas d'endopolyploïdisation



## Quels avantages évolutifs?

- **Coordonner les interactions entre les génomes des noyaux et des organites.**  
Par exemple, lors du développement des cellules photosynthétiques, le nombre de chloroplastes augmente et l'endoréplication du génome nucléaire permet alors d'accroître la transcription des gènes nucléaires impliqués dans le développement des chloroplastes.
- **Développement de grandes cellules** ayant la capacité d'augmenter rapidement leur volume cellulaire (Exemples Trichomes ou Tomates).
- **Réponses aux stress environnementaux** (permet de transcrire rapidement un grand nombre de copie de gènes)

Trends in Plant Science



Volume 20, Issue 3, March 2015, Pages 165-175

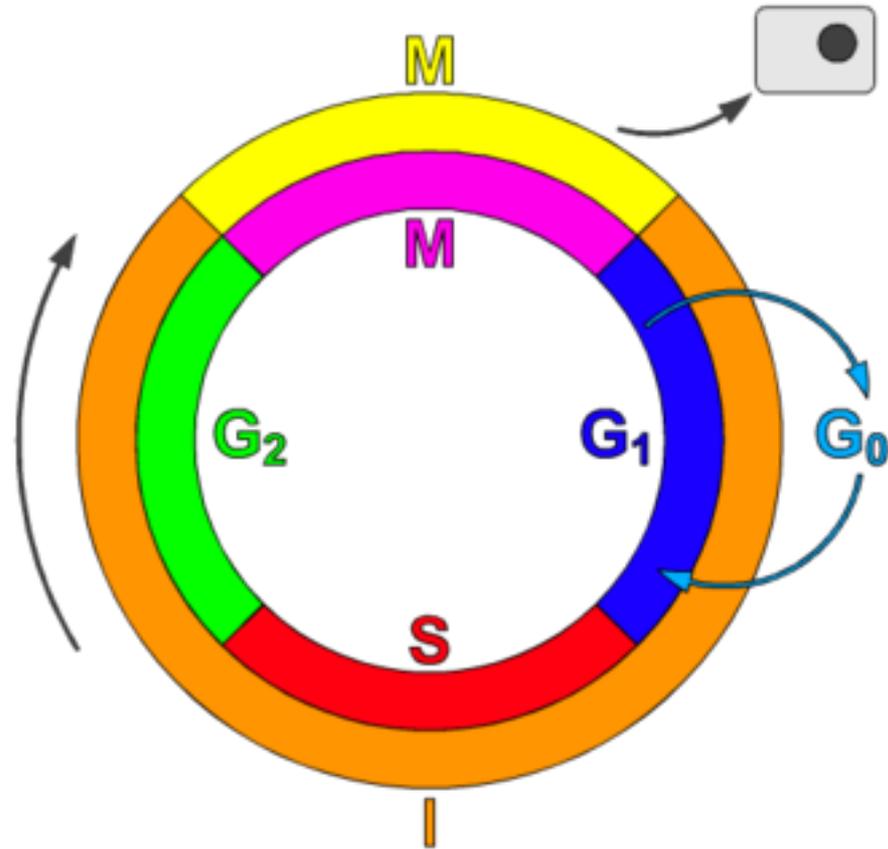
Review

Plasticity in ploidy: a generalized response to stress

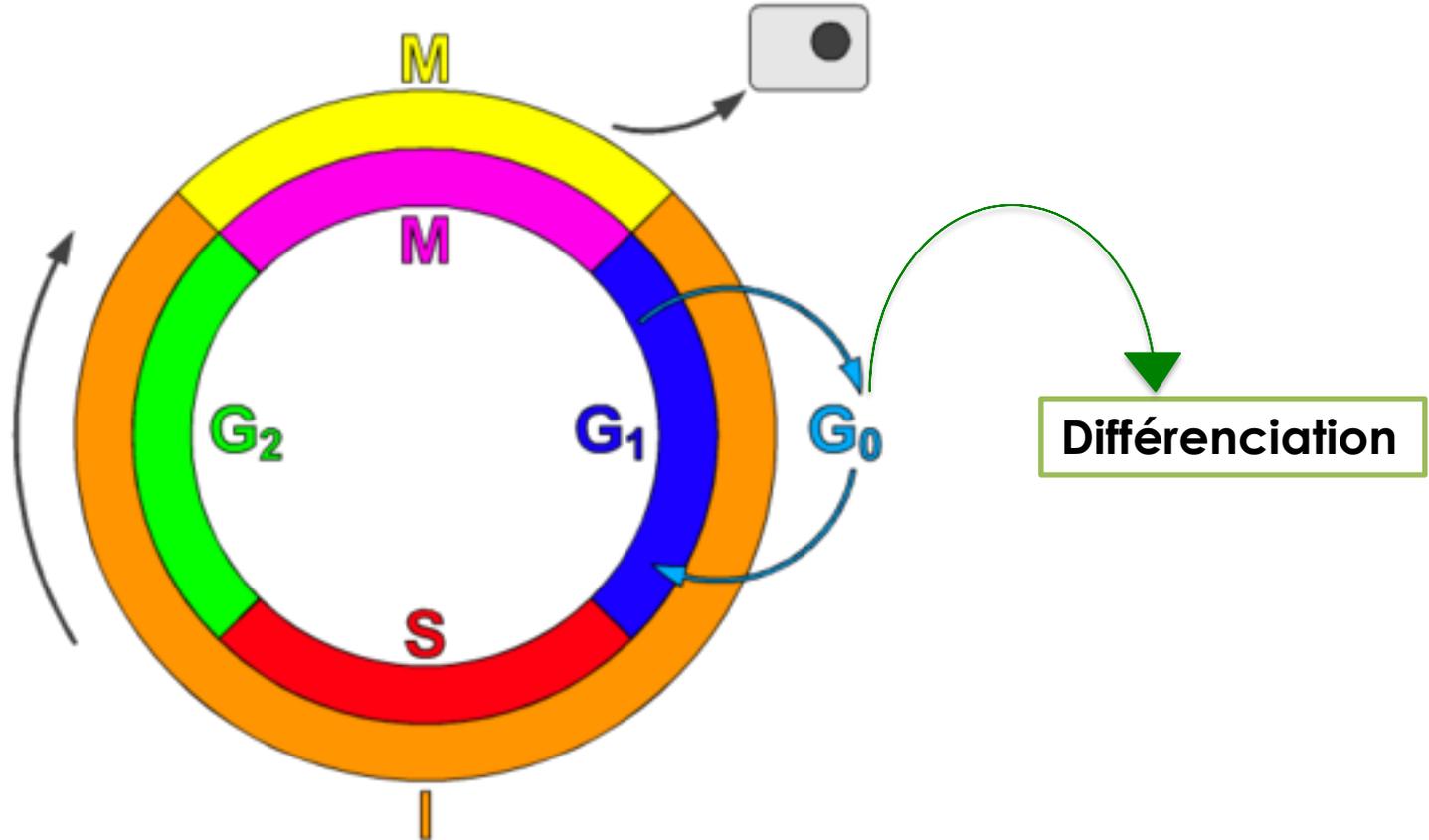
Daniel R. Scholes , Kerri N. Paige

## 1-3 : Quiescence et cellule non cyclante

- La majorité des cellules d'un organisme adulte sont en phase  $G_0$
- Etat de quiescence généralisé en attente de conditions favorables (bourgeons, graines, etc...)



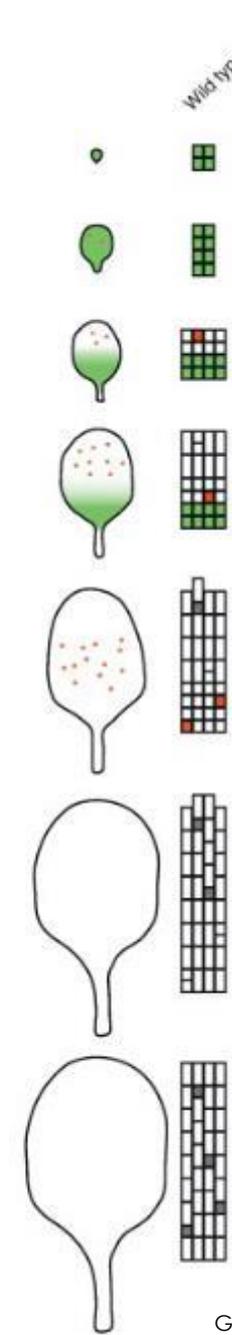
# La Différenciation cellulaire correspond à une sortie du cycle en phase $G_0$



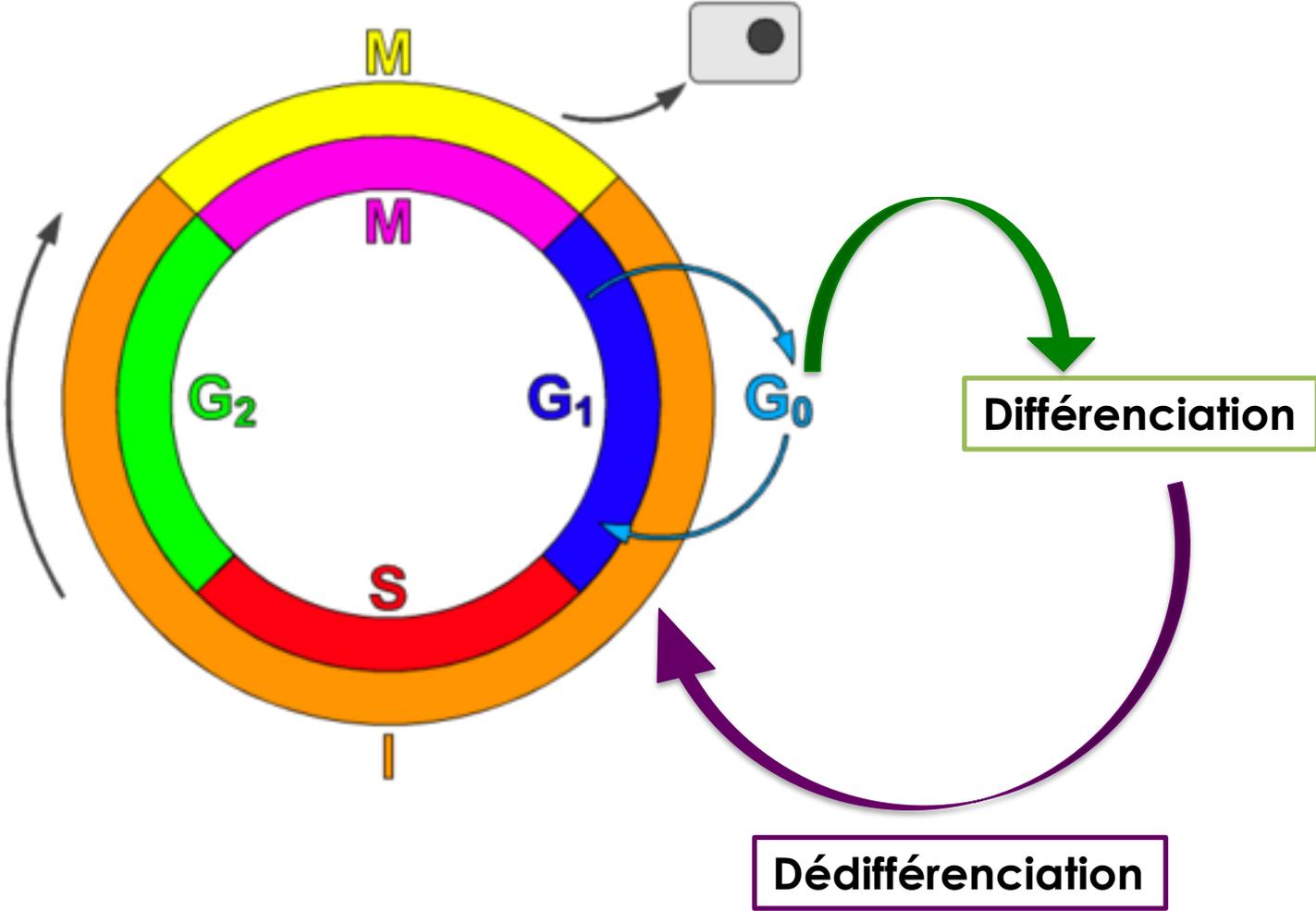
# Contrôle du Cycle cellulaire en fonction du développement

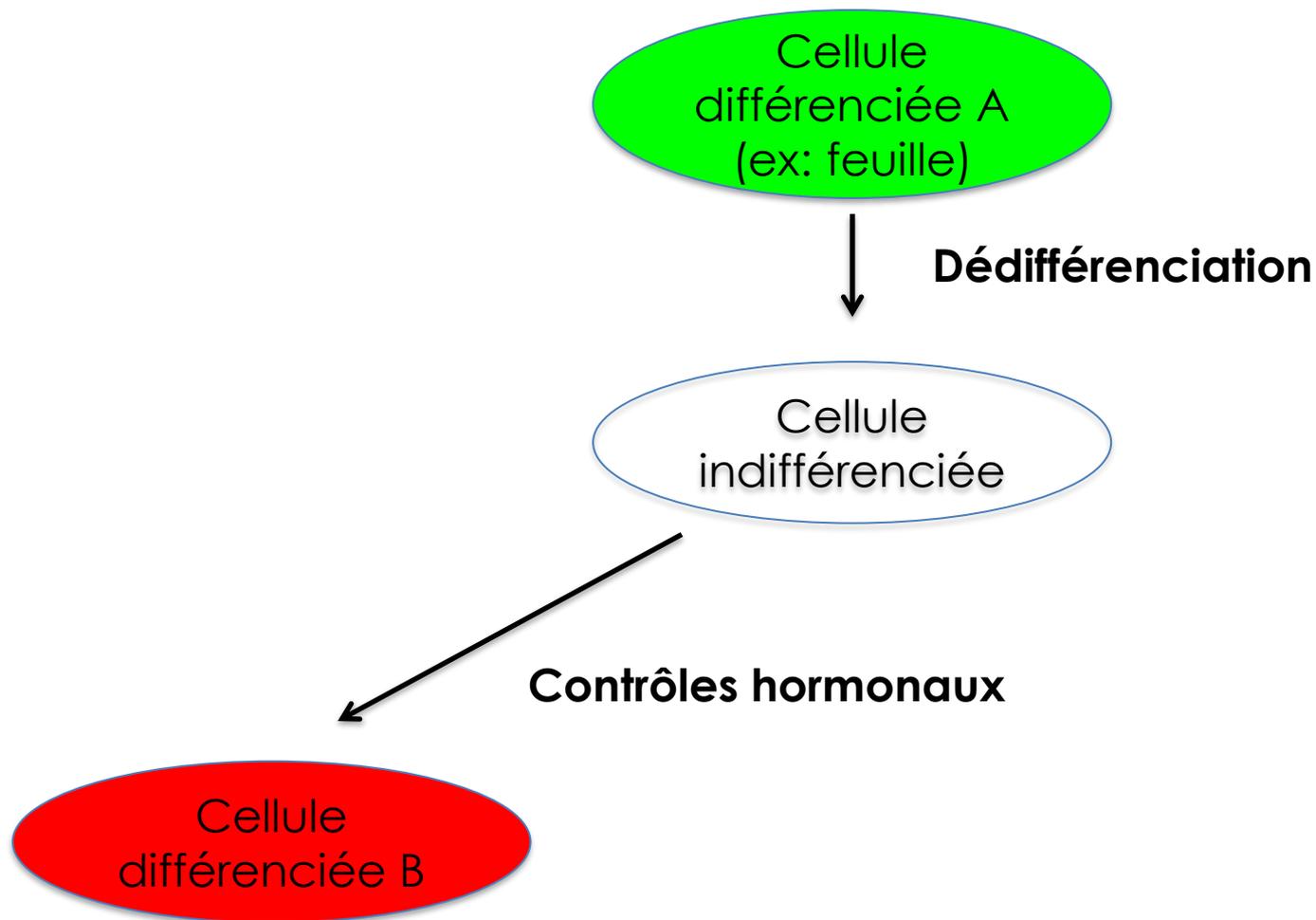
Exemple: profil Division / Elongation cellulaire lors du développement de la feuille chez *A. thaliana*

- Division
- Elongation
- Différentiation des stomates



# Capacité de totipotence des cellules végétales



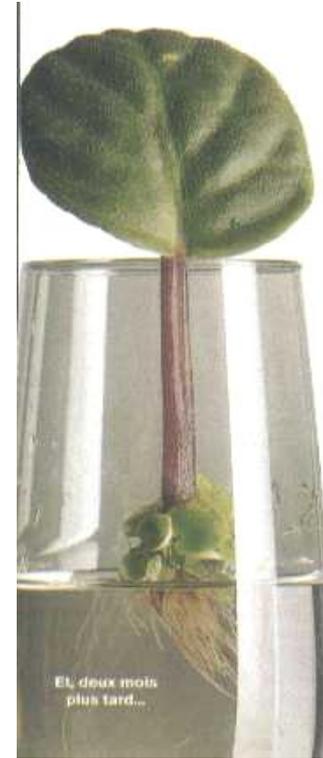


Chez les plantes, la **totipotence** peut se définir comme la propriété qu'ont **certaines cellules** de pouvoir régénérer un individu lorsqu'elles sont placées dans des conditions appropriées, en passant éventuellement par une étape de dédifférenciation

# Exemple : bouturage du Saint Paulia



2 mois plus  
tard



Dédifférenciation  
cellule de tige



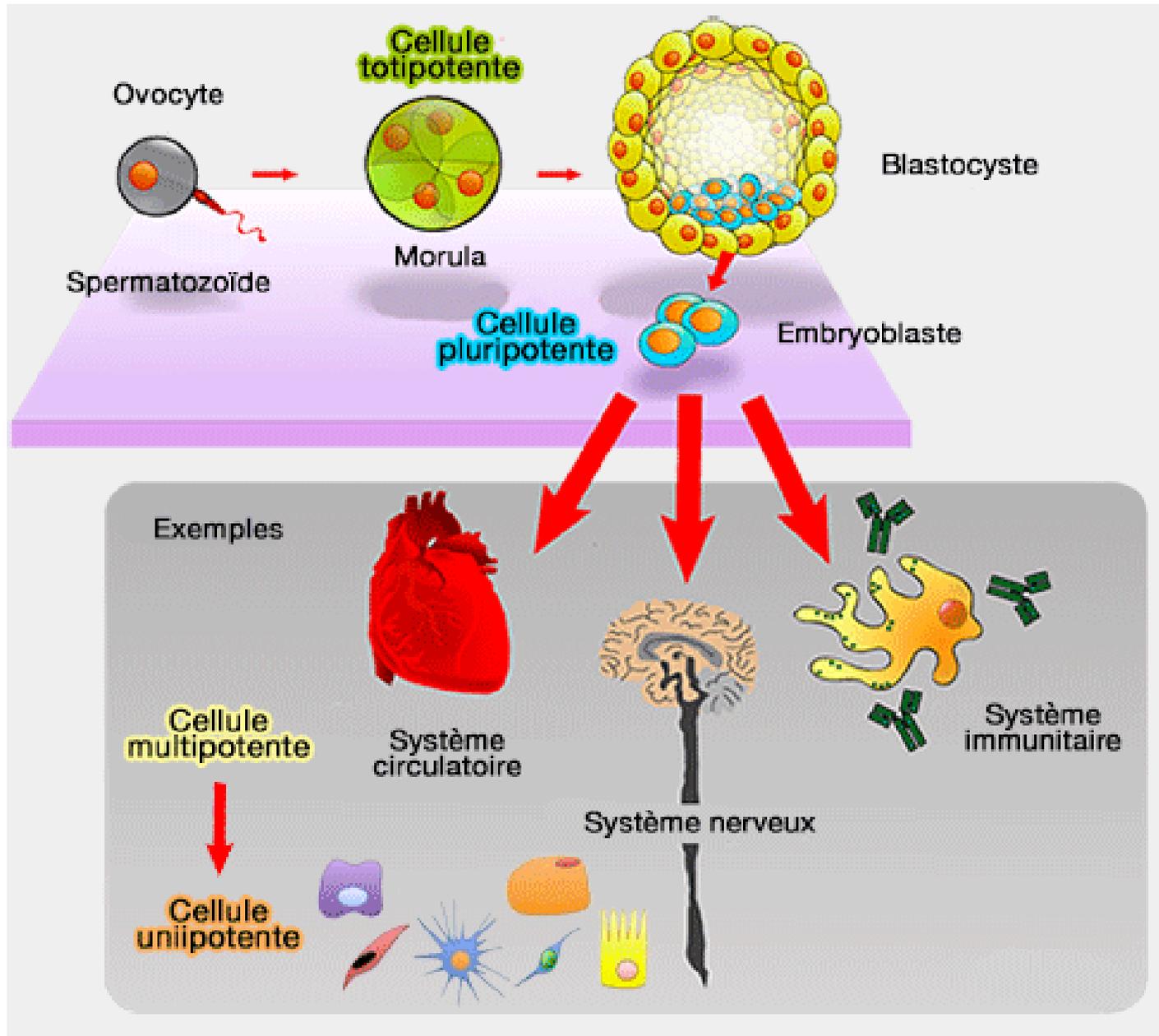
Etat indifférencié



Redifférenciation  
cellule de racine

La totipotence est à la base de la  
**multiplication végétative** non-  
sexuée = CLONAGE

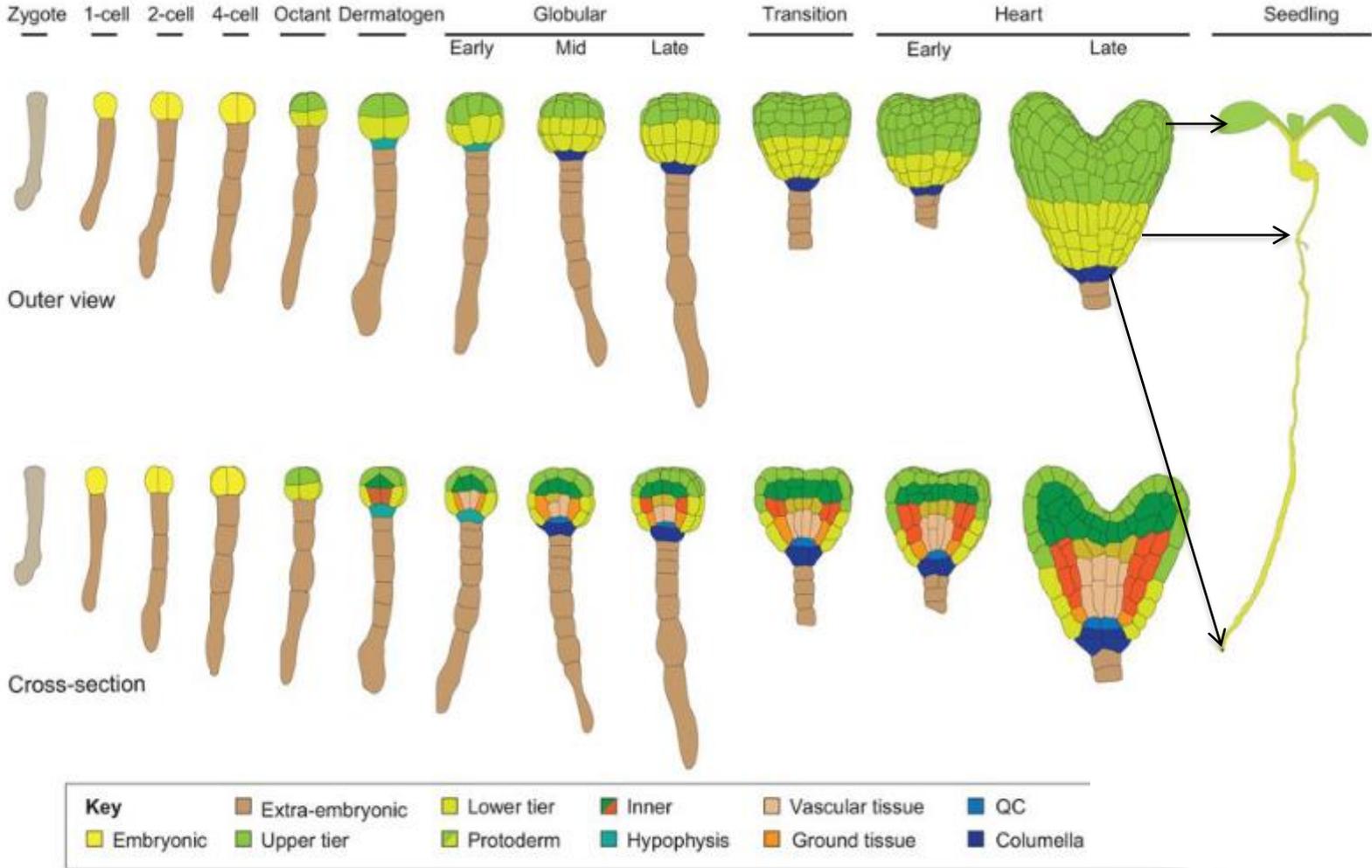
# DEFINITIONS CHEZ LES ANIMAUX

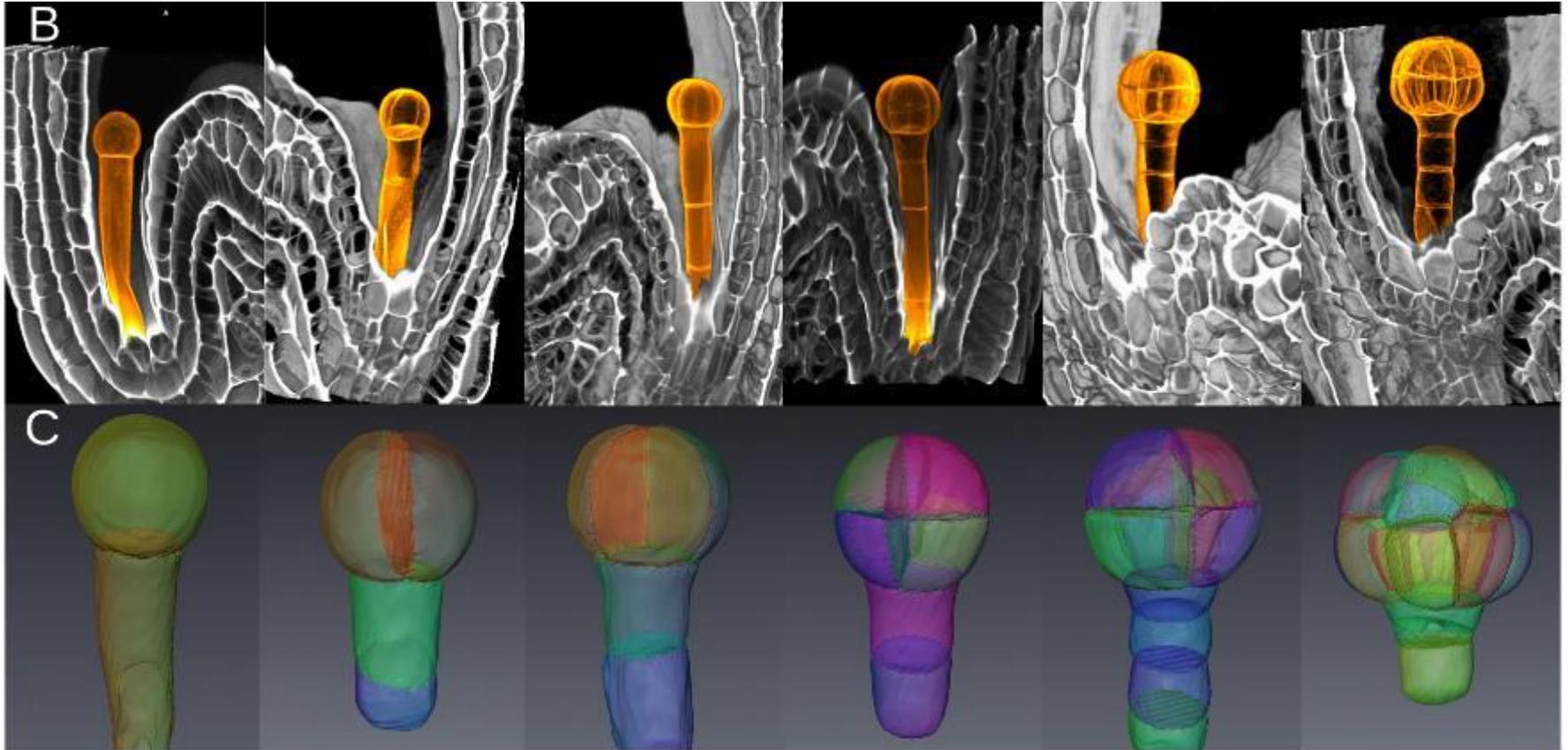


# 2 – Identité et différenciation cellulaire

## Notion de Lignage et d'identité cellulaire

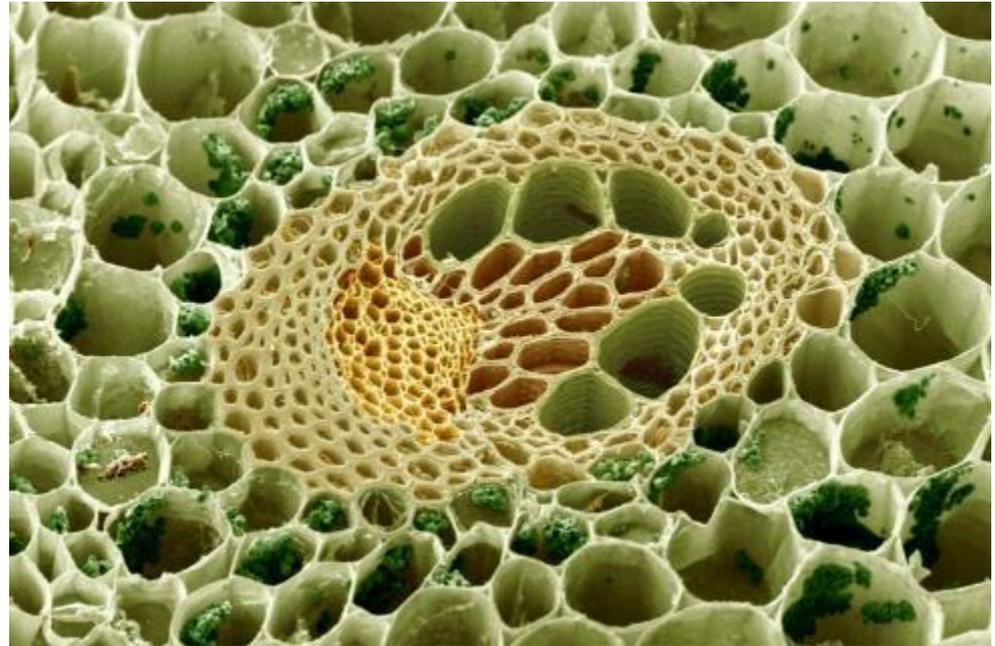
Développement embryonnaire stéréotypé chez certaines espèces (ex: *Arabidopsis thaliana*)





## Cas particulier des cellules végétales

En raison de l'existence de la paroi, il n'existe pas de migration cellulaire chez les plantes: **les cellules se divisent et se différencient sur place!**



Exemple: tissu vasculaire (Power and Syred/Science Photo Library/Getty Images )

La construction en 3D d'un organe est donc établie par le contrôle très précis de **l'orientation des mitose et l'identité des cellules filles**

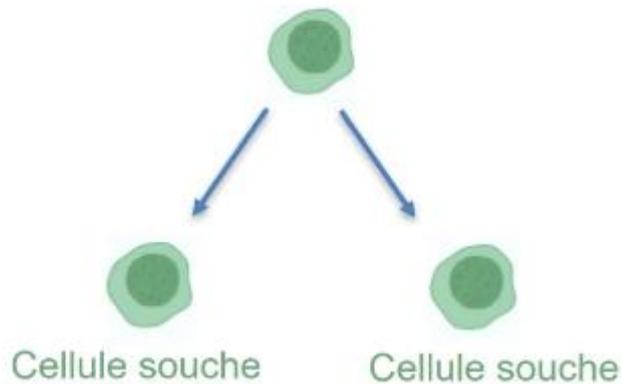
## On distingue deux types de divisions cellulaires:

- Divisions **symétriques** (cellules filles identiques entre elles)
- Divisions **asymétriques** (cellules filles différentes entre elles)

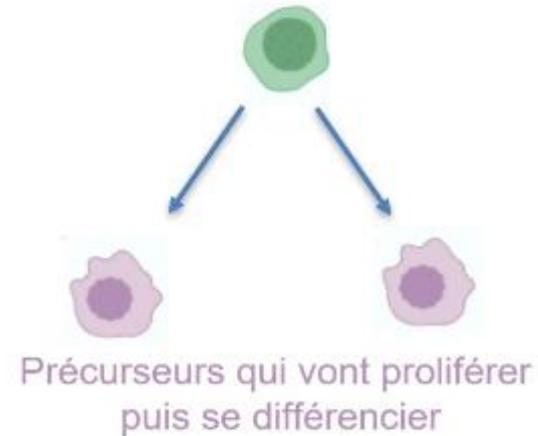
## 2 -1 Divisions Symétriques

→ Cas des cellules souches

### Division symétrique



⇒ Expansion de la population de cellules souches

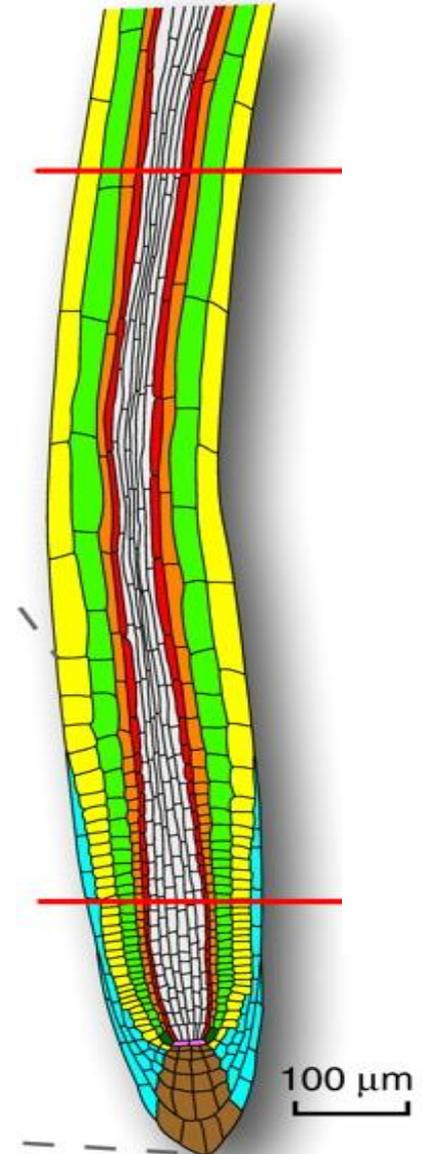


⇒ Epuisement de la population de cellules souches

→ Divisions **prolifératives** qui ne permettent pas de différencier de nouveaux tissus ou organes

Exemple: Développement racinaire

**Divisions symétriques** →

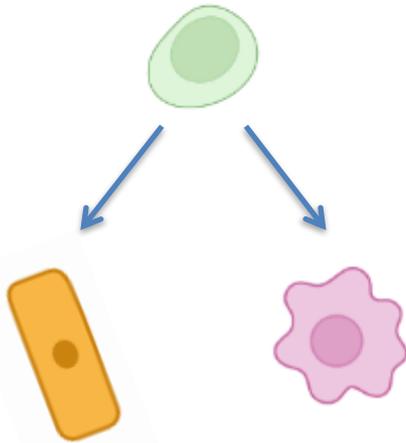


## 2-2: Divisions asymétriques

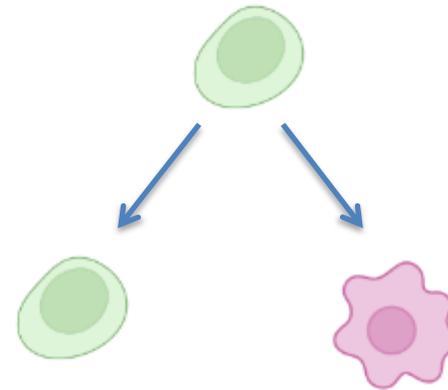
→ Divisions **formative**

Bases de la différenciation cellulaire. 2 cas:

**Changement d'identité cellulaire**



**Maintien des cellules souches**

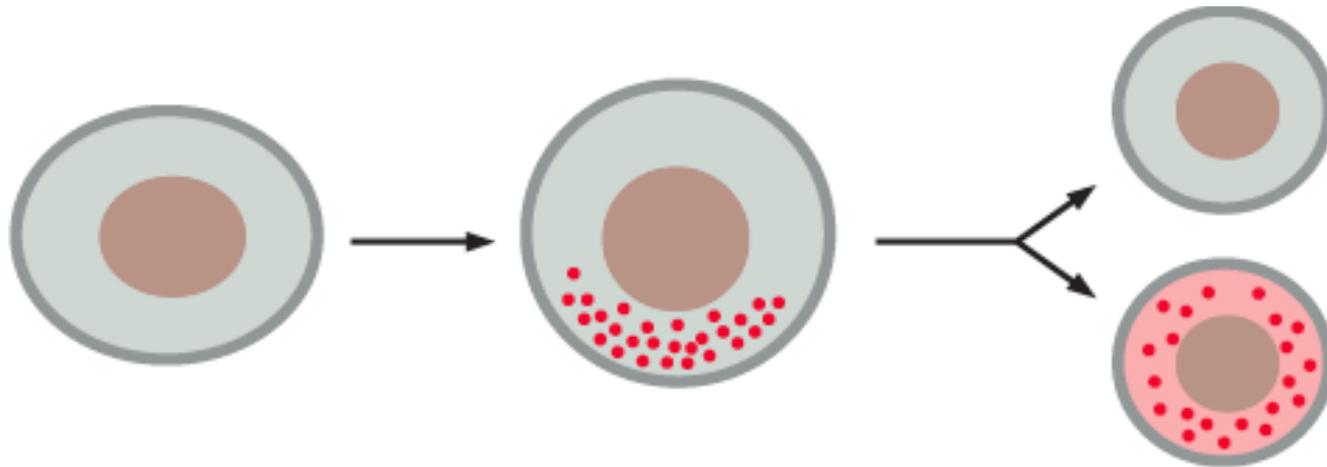


Question fondamentale en biologie du développement:

**→ Comment créer deux cellules sœurs différentes?**

La différenciation cellulaire peut impliquer deux processus différents:

## 2-2-1 – Ségrégation de déterminant cytoplasmiques



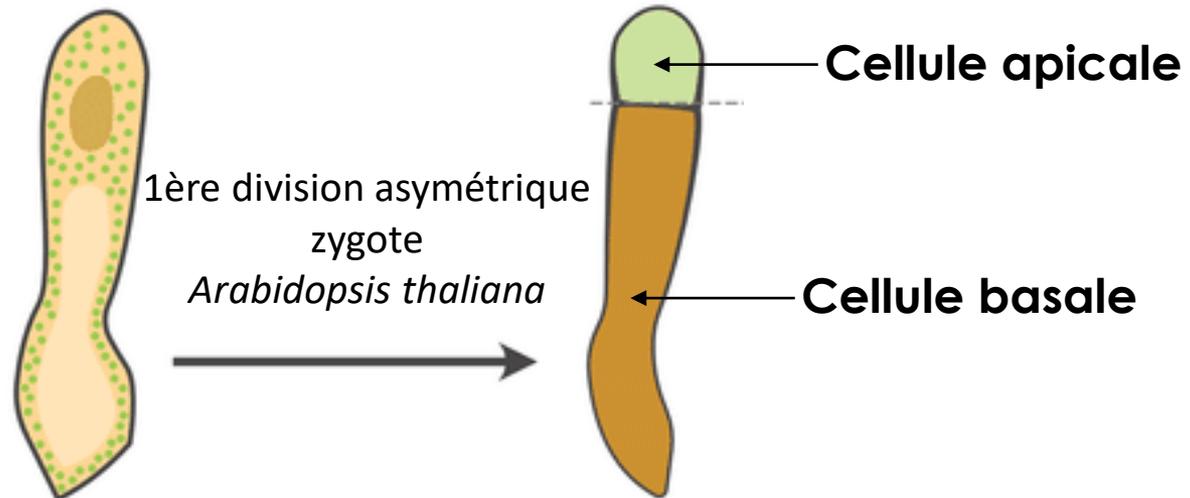
→ Rupture de la symétrie:

Etablissement d'une asymétrie intracellulaire avant la mitose

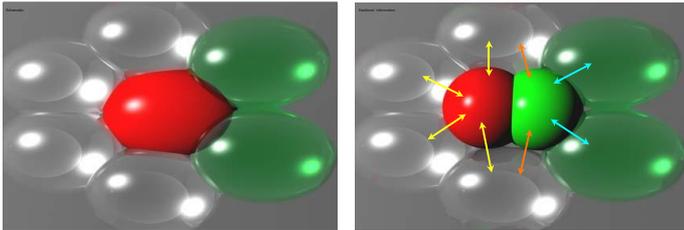
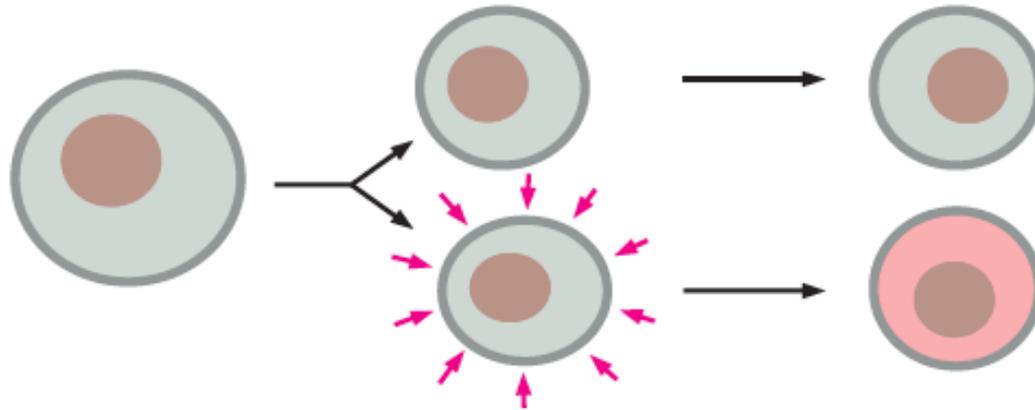
## Ségrégation de déterminants cytoplasmiques

### Différents mécanismes:

- Localisation polarisée de protéines ou d'ARN
- Etablissement d'un gradient intracellulaire (auxine, calcium, etc...)
- Mouvement de molécule d'une cellule à l'autre (Facteur de transcription)
- Accumulation du cytoplasme à un pôle (exemple zygote)



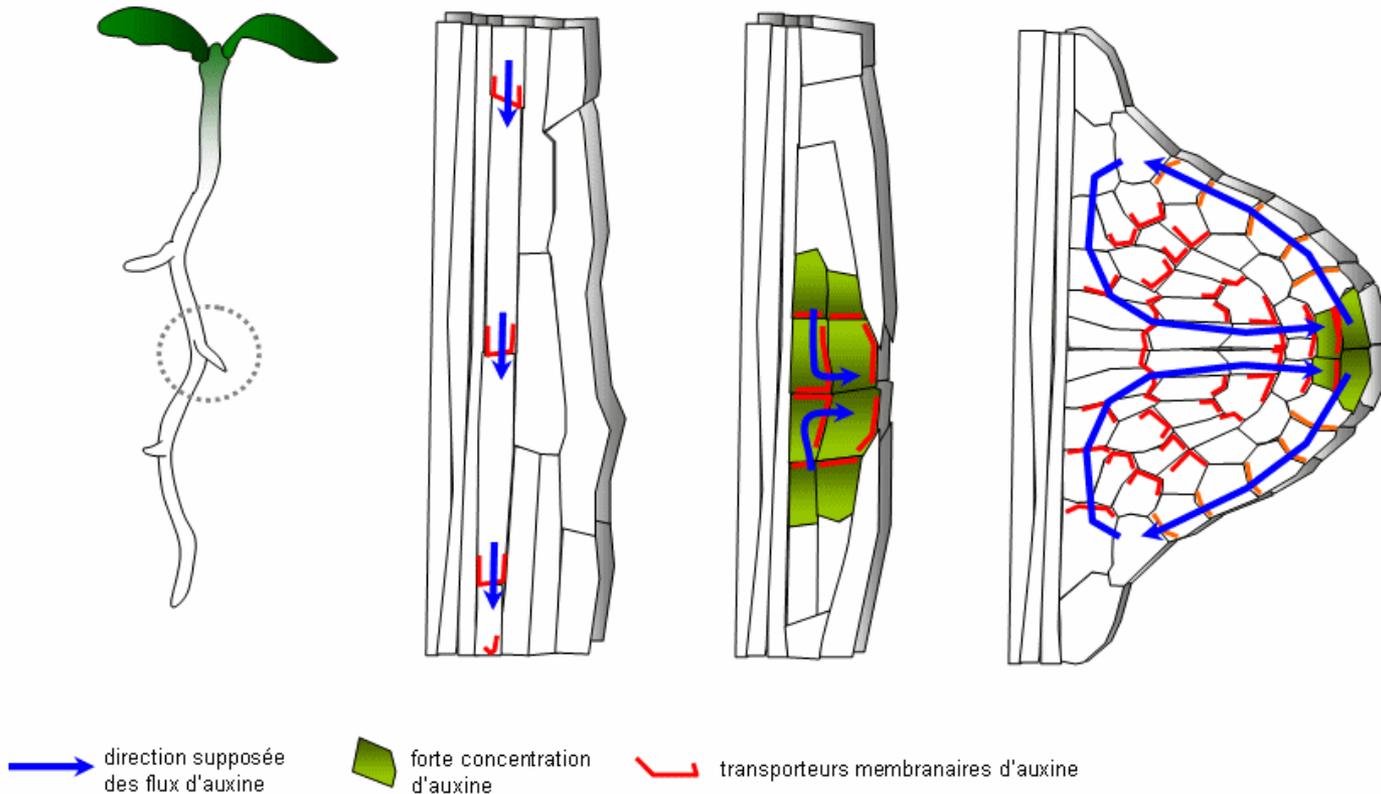
## 2-2-2 – Différenciation par des effets de position



- Pas de migration cellulaire chez les plantes
- Importance de l'emplacement des cellules filles

## Exemple: effets de positions lié à des signaux hormonaux

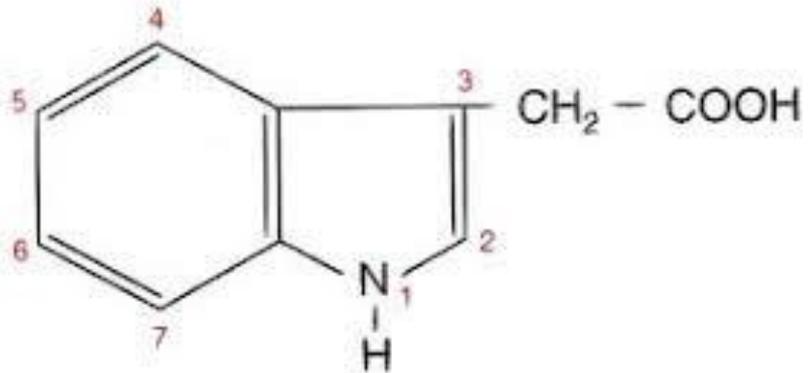
→ Formation de racines secondaires à partir du péricycle marquée par une accumulation d'auxine (hormone végétale qui a un rôle de signalisation)



## Un signal interne majeur: l'auxine

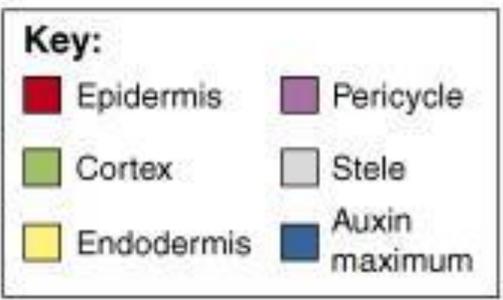
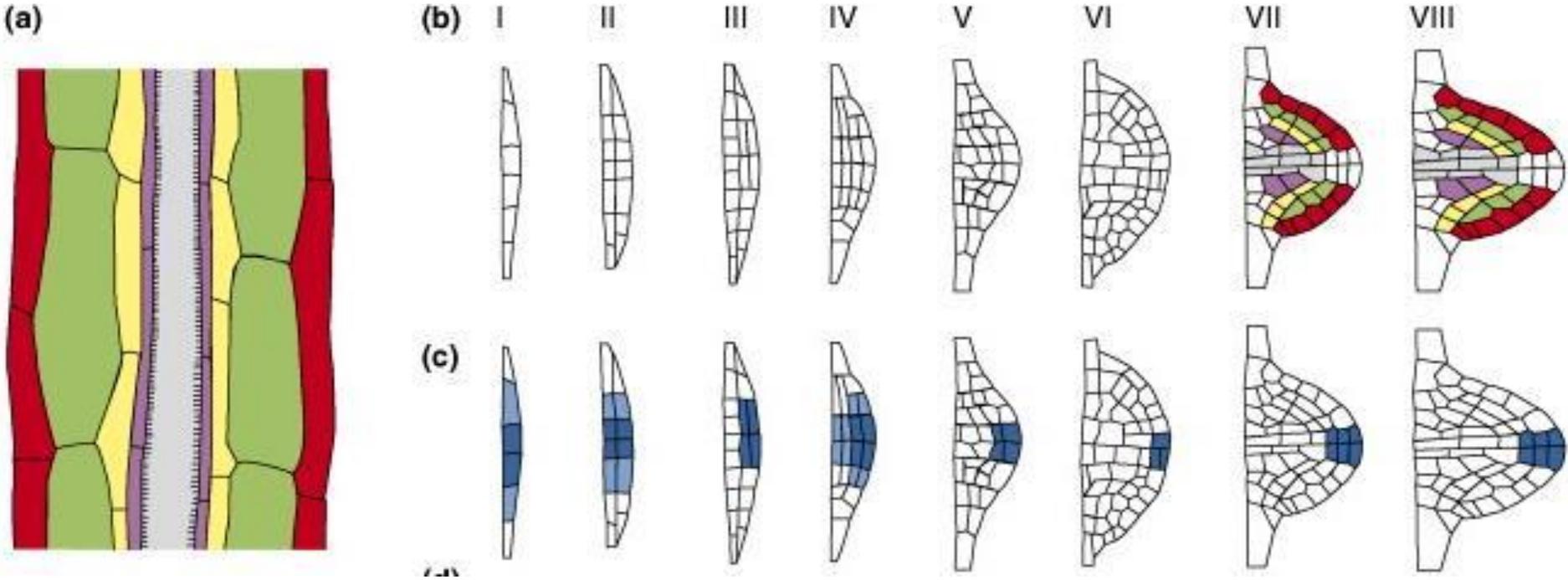
La polarisation au cours de l'embryogenèse dépend de l'orientation des flux d'auxine

Auxine = hormone végétale dont le transport est orienté



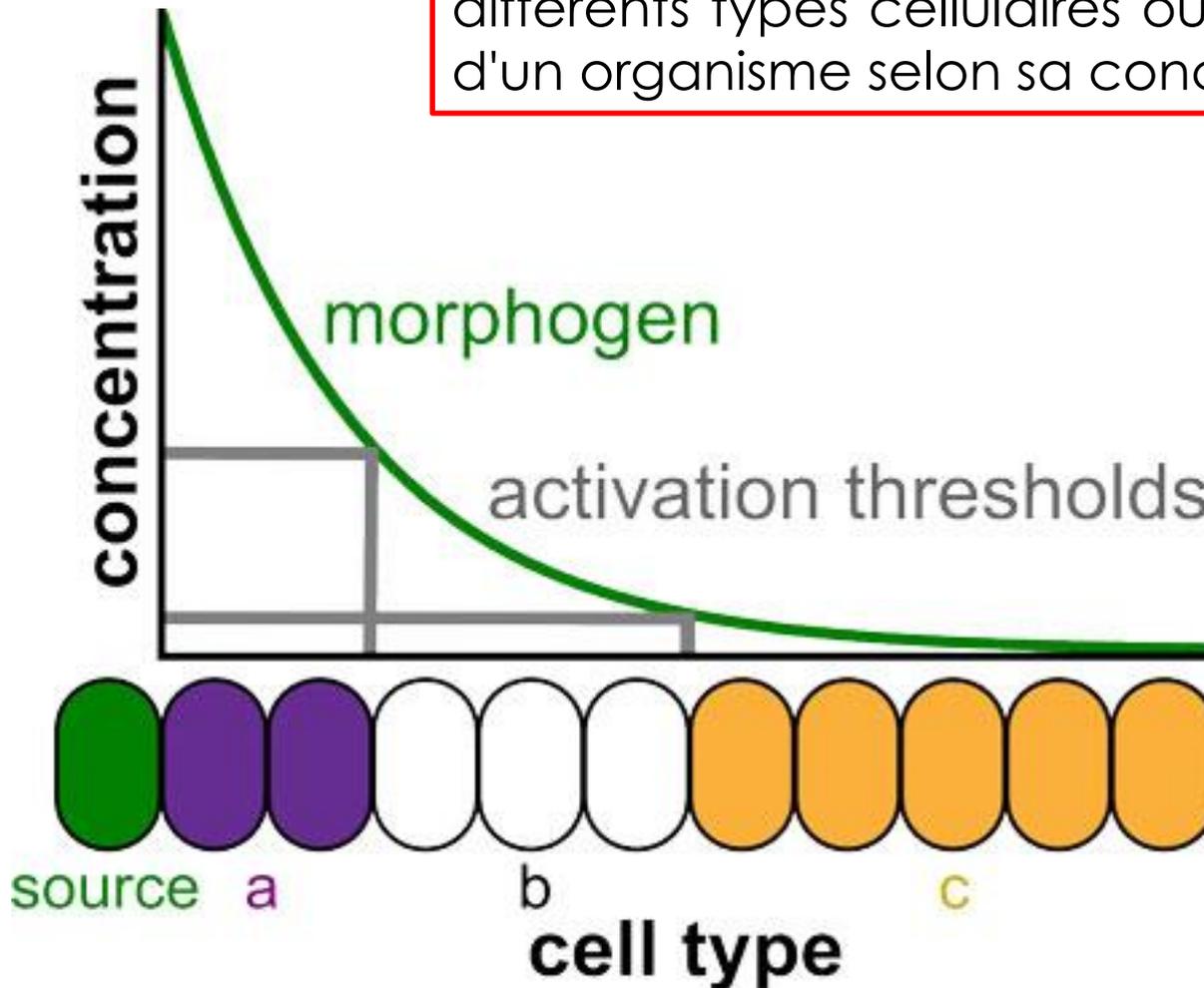
*Acide indole-3-acétique* = AIA (ou IAA)

Le changement d'identité cellulaire est associé à un maximum d'auxine

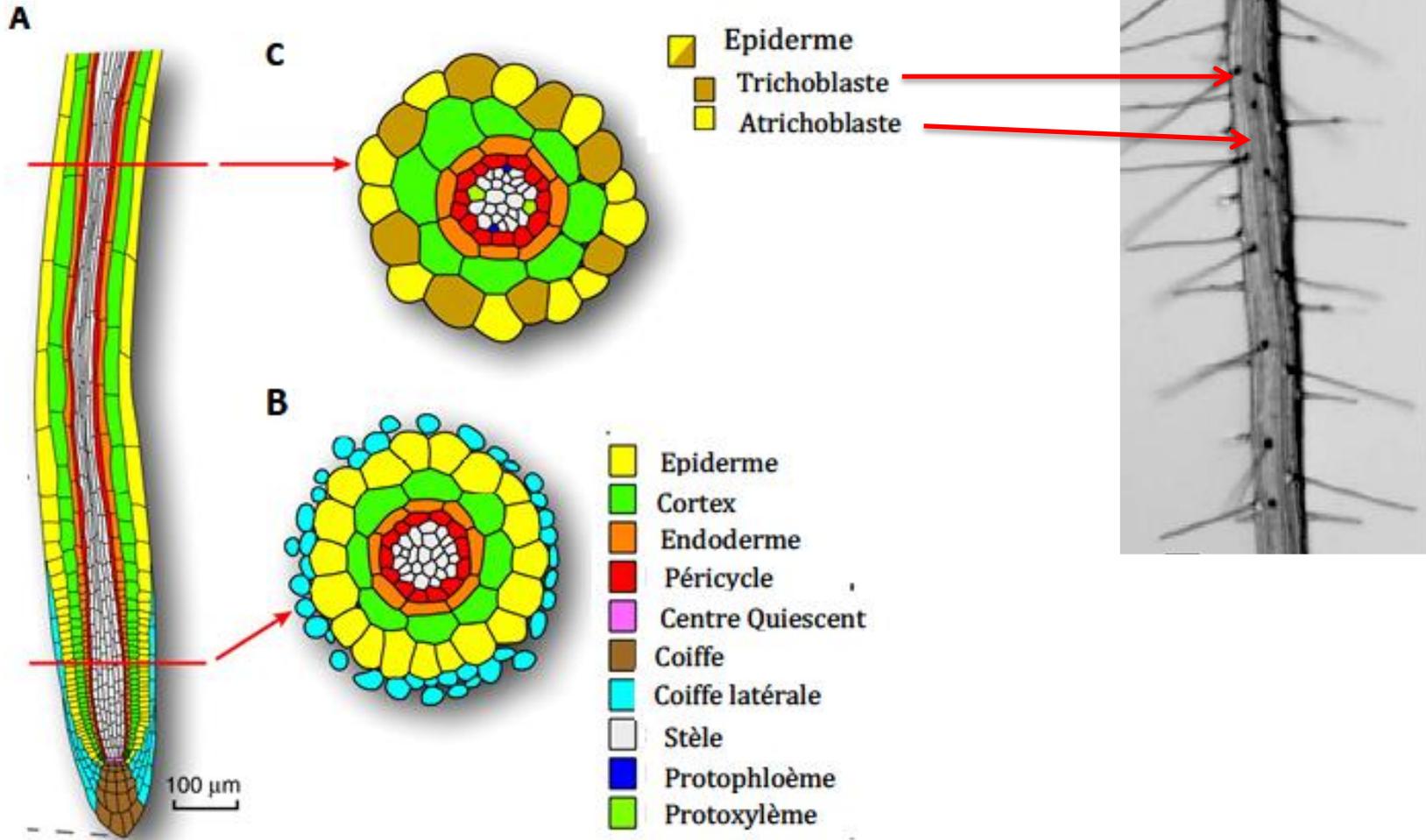


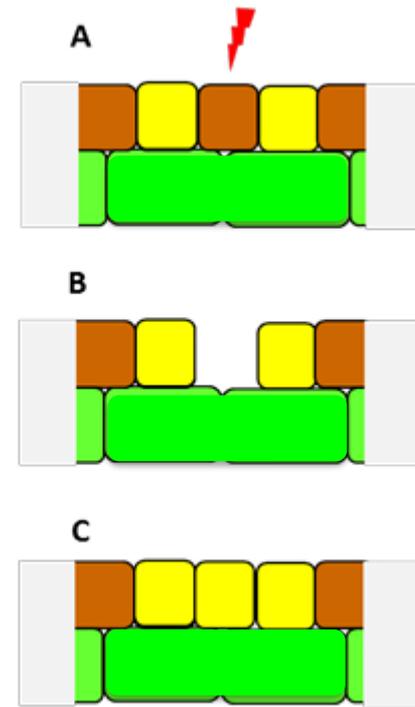
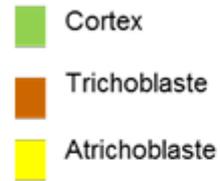
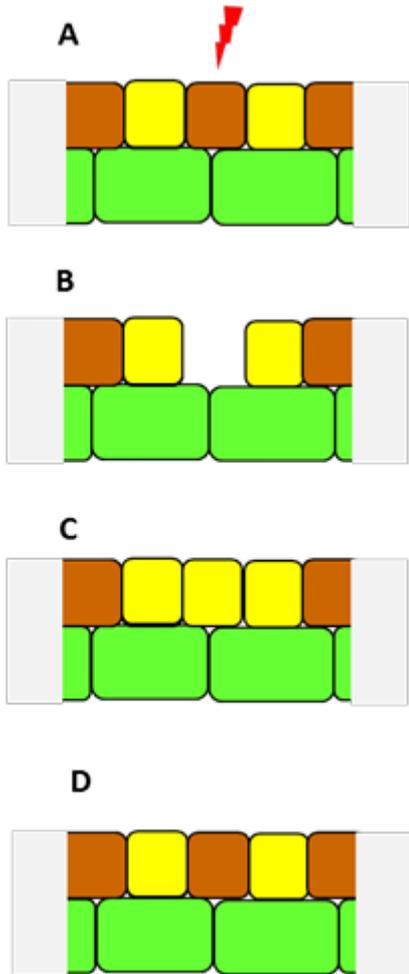
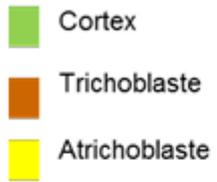
# L'auxine: un morphogène végétal

Un **morphogène** est une molécule qui spécifie différents types cellulaires ou différentes régions d'un organisme selon sa concentration.



# Effet de position et différentiation des poils racinaires





Informations positionnelles venant de tissus  
adjacents ou de cellules voisines

**Conclusion:** l'identité des cellules peut se modifier en fonction de leur emplacement

**Des particularités liées:**

- A une nécessité d'adaptation à l'environnement
- A un développement post-embryonnaire