

L2 Biologie-Chimie
UE de Biologie Cellulaire et Développement
2024 / 2025

Biologie du Développement Végétal



Marianne Delarue

marianne.delarue@universite-paris-saclay.fr
Institute of Plant Sciences of Paris-Saclay (IPS2)

Introduction

I – La Cellule Végétale

- 1 – La vacuole
- 2 – Les plastes
- 3 – La paroi

II – Division et Identité cellulaire

- 1 – Division et Cycle cellulaire
- 2 – Identité et différenciation cellulaire

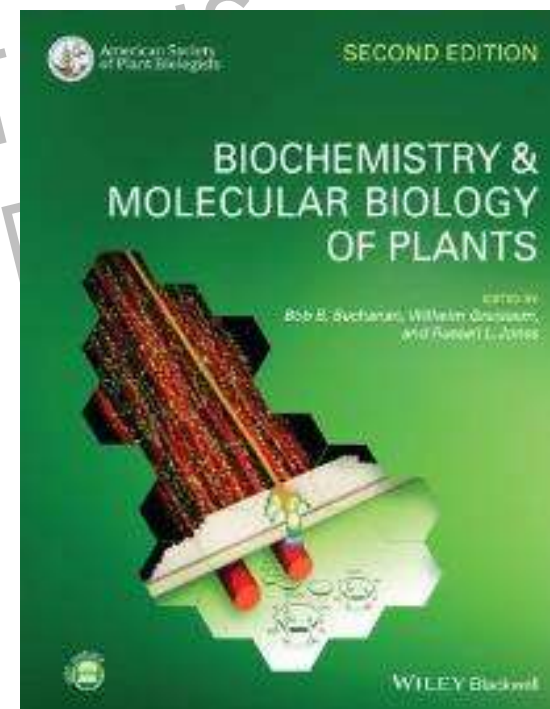
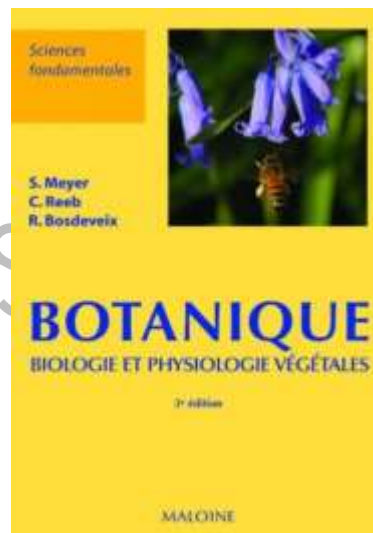
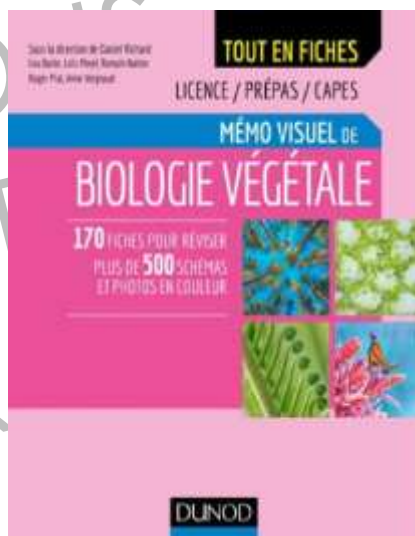
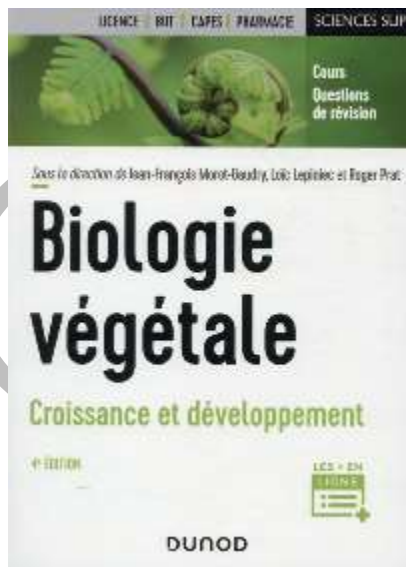
III – Expansion et Morphogénèse

- 1 – Expansion cellulaire
- 2 – Communication et polarité cellulaire
- 3 – Axes de polarités

IV – Cellules souches et Méristèmes

- 1 – Méristème Apical Racinaire (MAR)
- 2 – Méristème Apical Caulinaire (MAC)

Conclusions et Perspectives

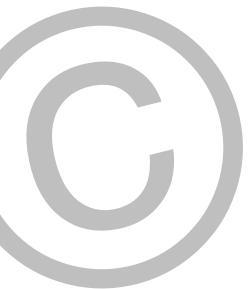


SCHOLARVox BY CYBERLIBRIS UNIVERSITÉS
LA PLATEFORME DÉVELOPPÉE POUR LE CONSORTIUM COUPERIN

<https://www.bibliotheques.universite-paris-saclay.fr/scholarvox-cyberlibris>

Introduction: pourquoi étudier les
cellules et le développement des
végétaux ?

Les plantes comme les animaux sont des eucaryotes multicellulaires



TOUS
DROITS
RESERVES



Bactéries

Archaeobactéries



Champignons



Animaux



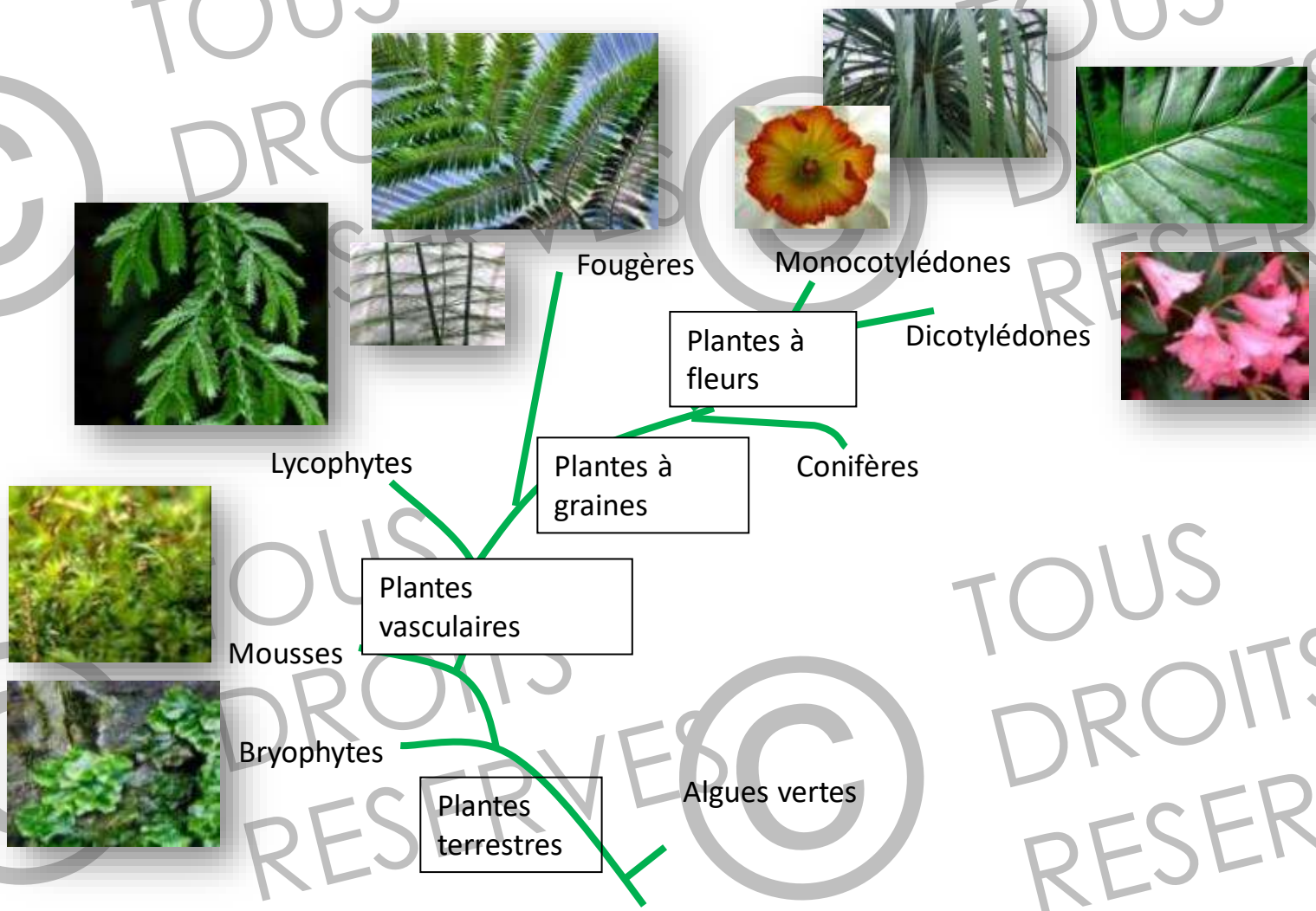
Ancêtres communs

TOUS
DROITS
RESERVES



TOUS
DROITS
RESERVES

La lignée verte est très diversifiée



Et elles ont du s'adapter....

La plupart des plantes sont des organismes fixes qui doivent constamment faire face:

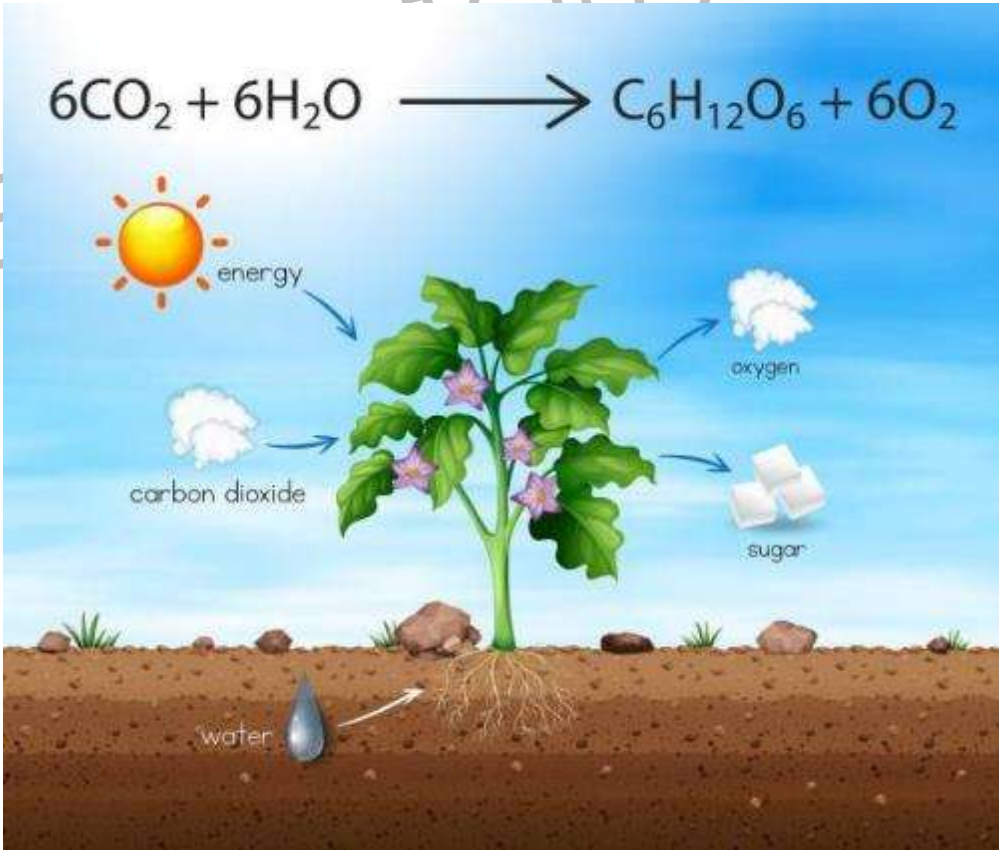
- A leur environnement
- Aux changements climatiques
- Aux prédateurs



L'adaptation se fait grâce à:

→ **L'autotrophie**

(= cours de Physiologie Végétale)



L'adaptation se fait grâce à:

→ L'autotrophie

→ Développement **post-embryonnaire**

= développement **continu** grâce au renouvellement et au maintien **des cellules souches** au sein des **méristèmes**



Pinus longaeva
> 5000 ans

Et au niveau cellulaire.....

→ **Paroi pectocellulosique**

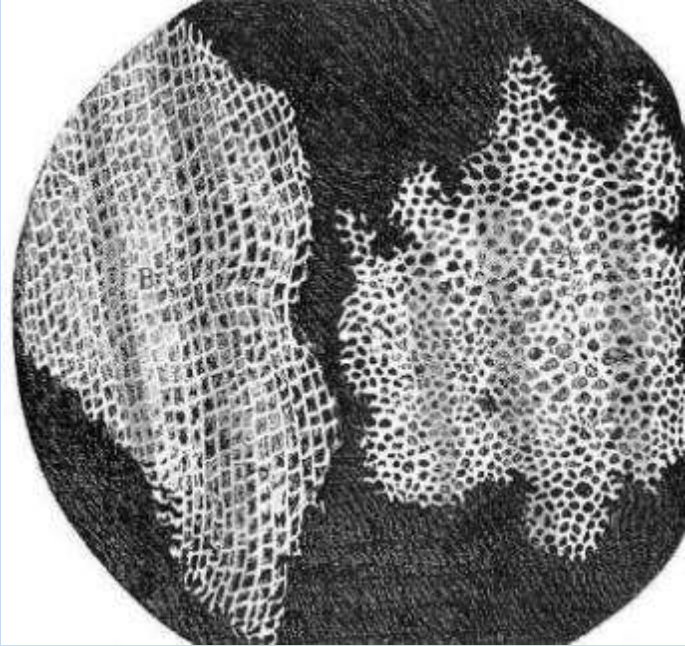
= « **Squelette** » des plantes qui leur a permis de s'affranchir du milieu aqueux et d'optimiser la photosynthèse

Sequoiadendron giganteum
3200 ans – 75 m
National Geographic



Les végétaux sont d'excellents organismes modèles

Les cellules ont été pour la première fois décrites chez les plantes



Dessin de cellule de Liège de Robert Hooke, 1665

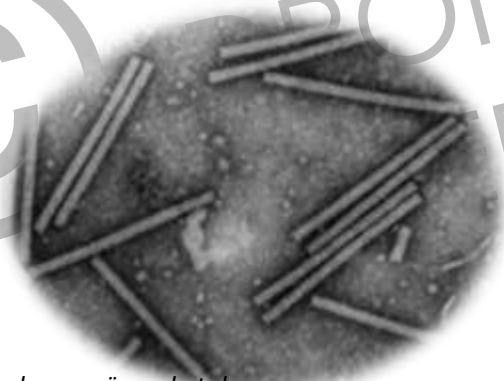


Photographie de cellule de Liège

Photo credit: [©David B. Fankhauser, Ph.D](#)

Les végétaux sont d'excellents organismes modèles en recherche fondamentale

La découverte des virus
(1892)



Virus de la mosaïque du tabac

Les lois de l'hérédité (1840)



Transposons chez le Maïs
(Prix Nobel 1984)

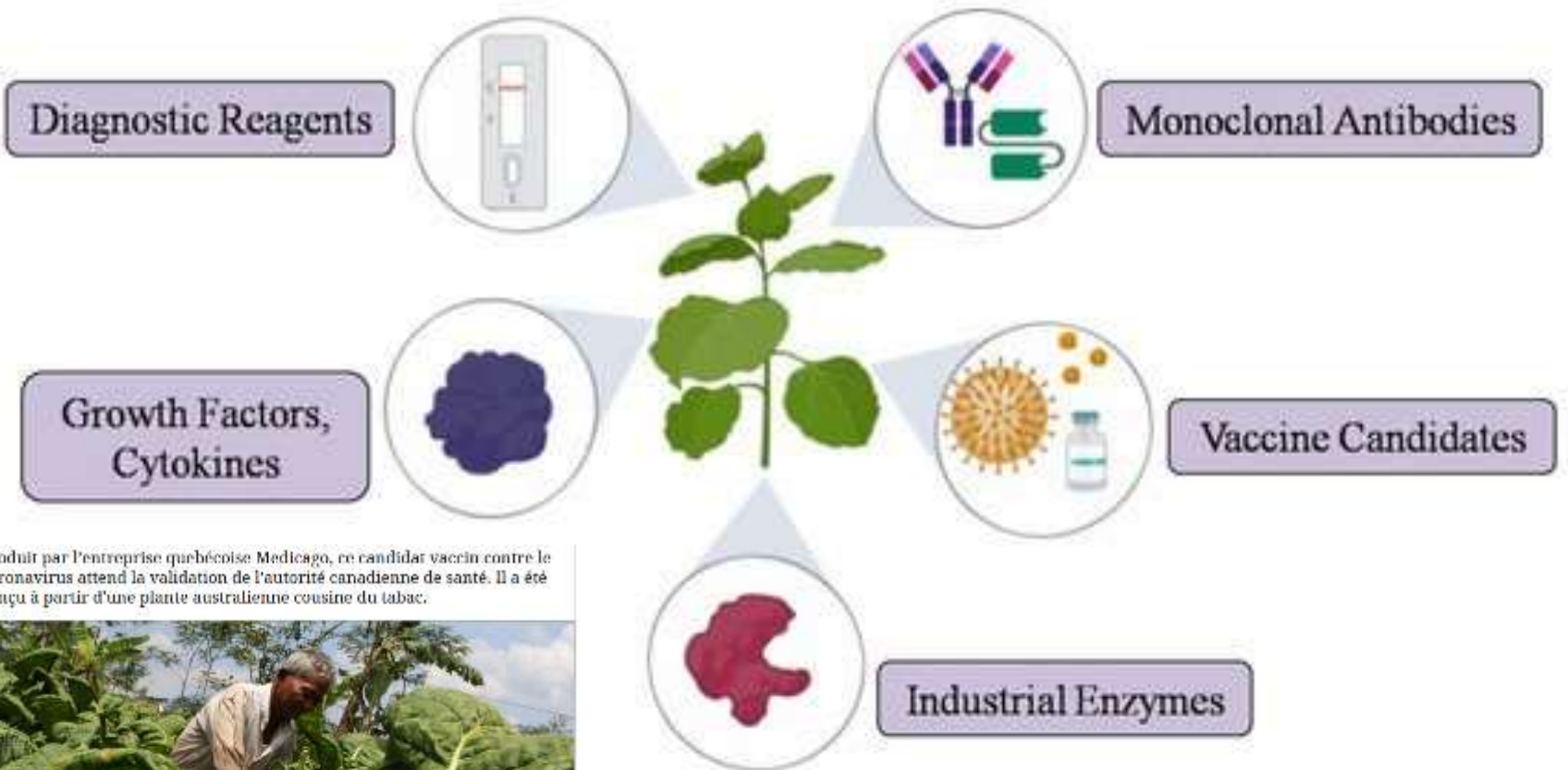


B. Mc Clintock



ARN interférence 2004

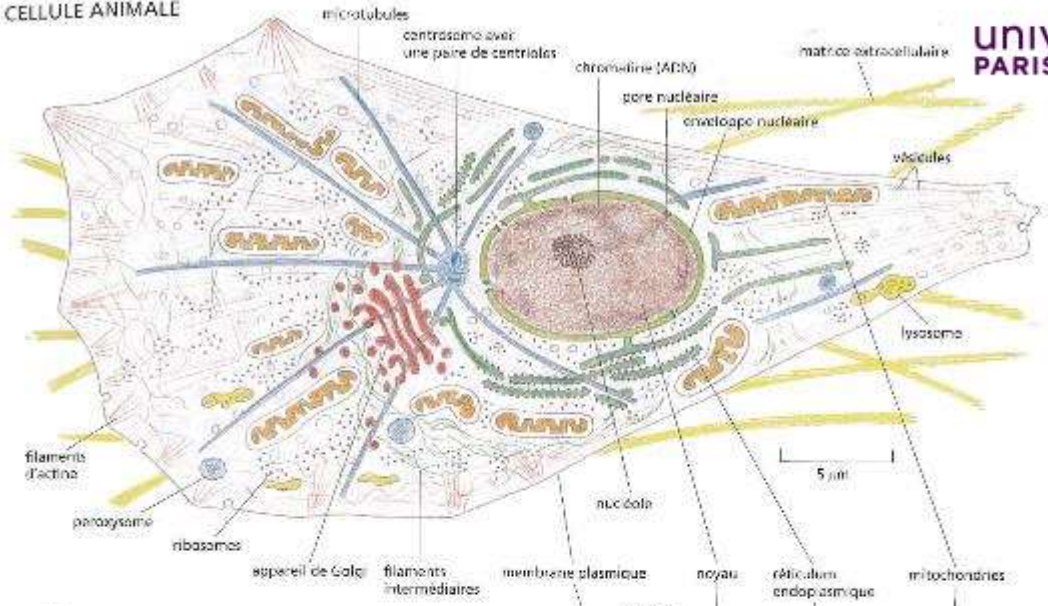
Les végétaux sont d'excellents organismes modèles en applications biotechnologiques (ex: « Molecular farming »)



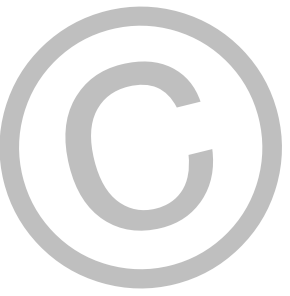
Produit par l'entreprise québécoise Medicago, ce candidat vaccin contre le coronavirus attend la validation de l'autorité canadienne de santé. Il a été conçu à partir d'une plante australienne cousine du tabac.



CELLULE ANIMALE

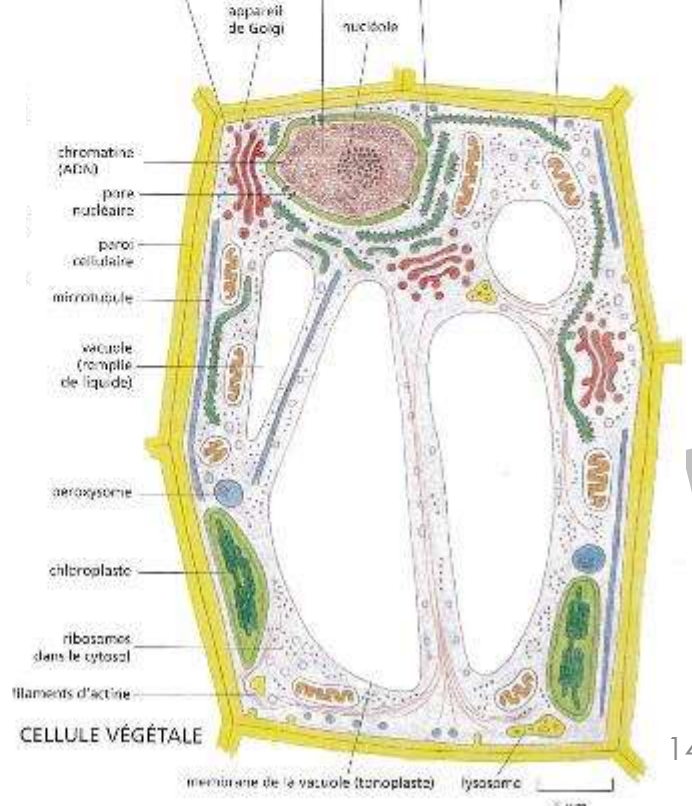


TOUS DROIT RESEF



ES

I – La cellule végétale



CELLULE VÉGÉTALE



TOUS DRO RESF

ES

Caractères de cellule
eucaryote

Caractères de cellule
végétale

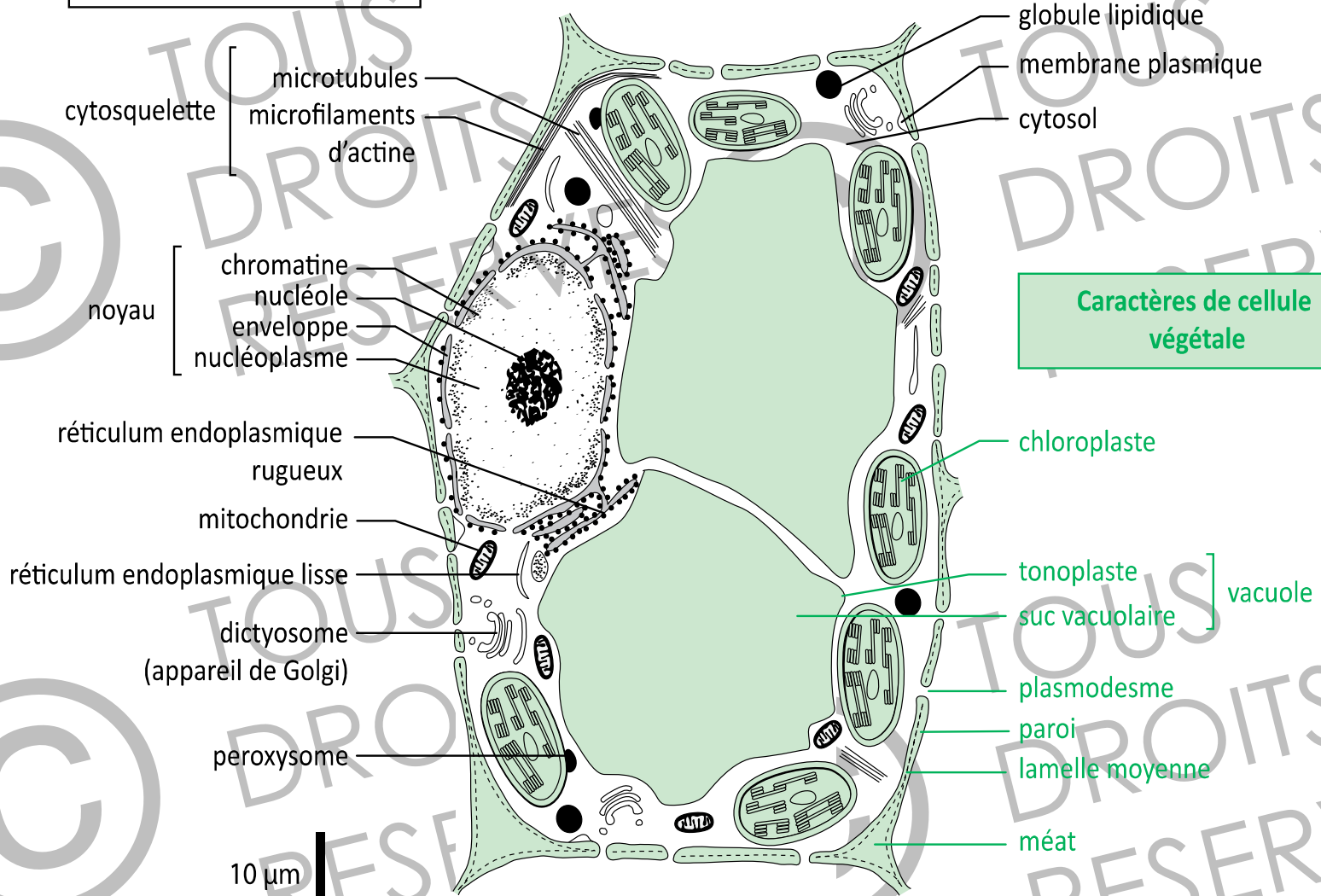
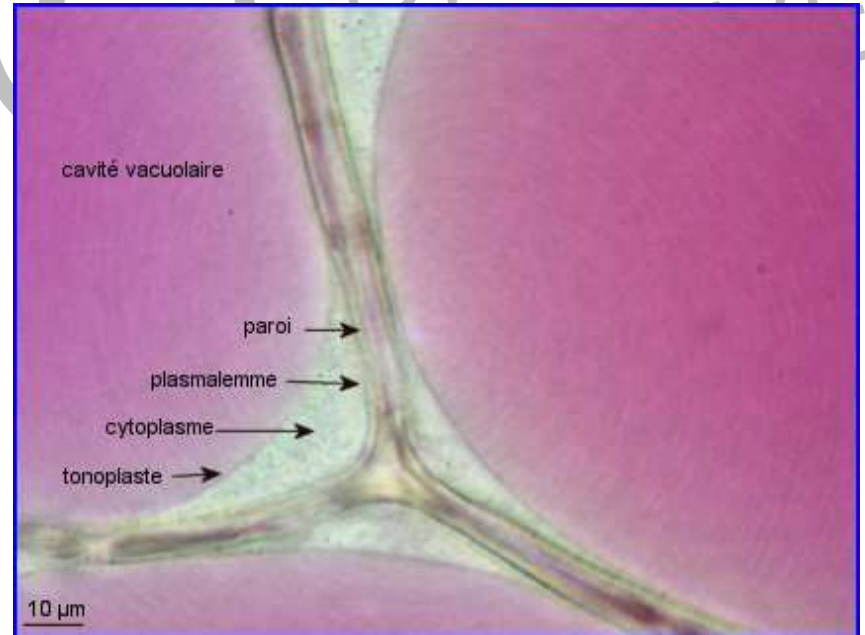
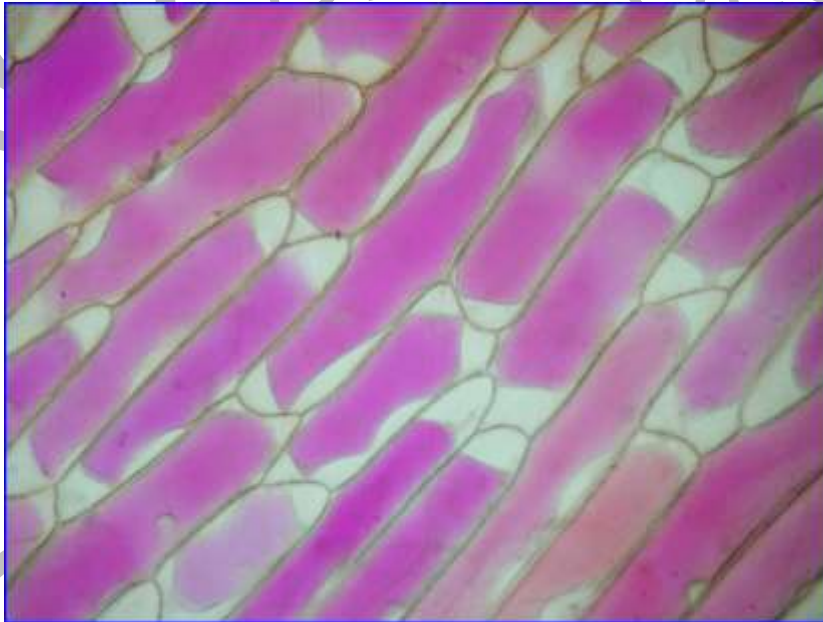


Figure 1.3 Organisation d'une cellule végétale (cellule de parenchyme chlorophyllien de feuille d'Épinard).

1 - La vacuole: (du latin *vacuus* = vide)

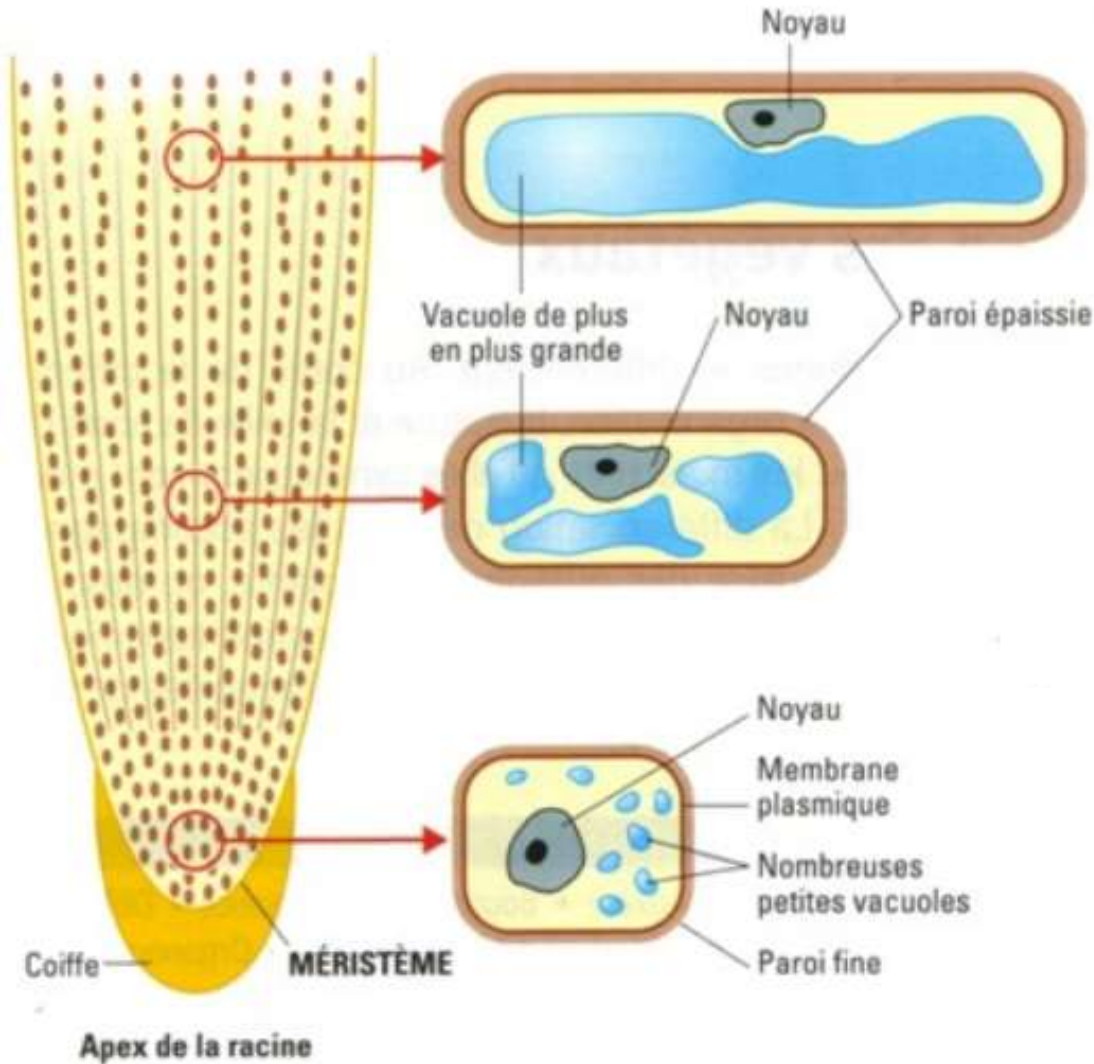
80 et 90 % du volume cellulaire

Délimitée par le tonoplaste: membrane simple



Cellule épidermique d' *Allium cepa* (Oignon rouge)

Corrélation taille de la vacuole et différenciation cellulaire

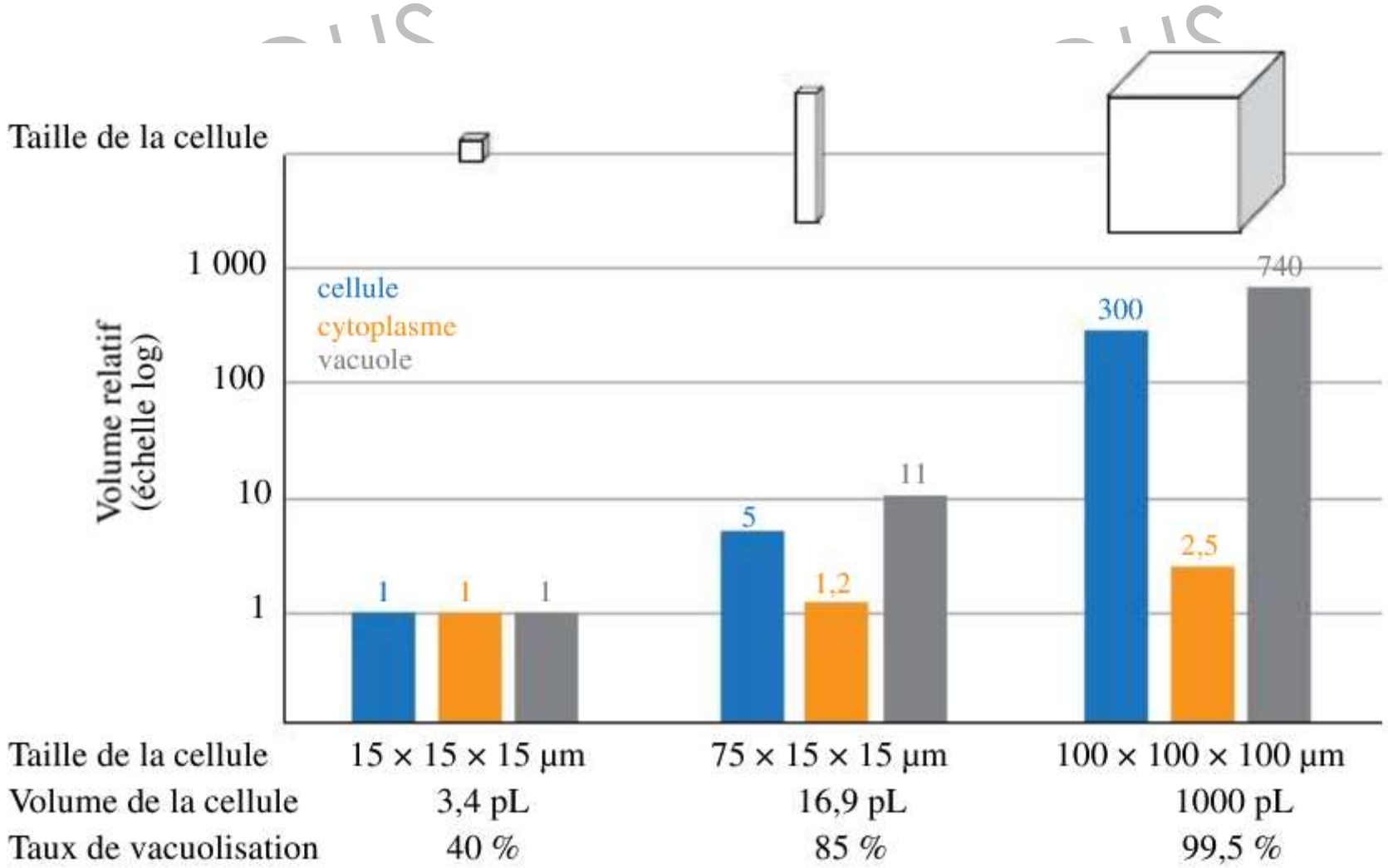


Cellule différenciée

Cellule en cours de différenciation

Cellule méristématique indifférenciée

Corrélation taille de la vacuole et différenciation cellulaire

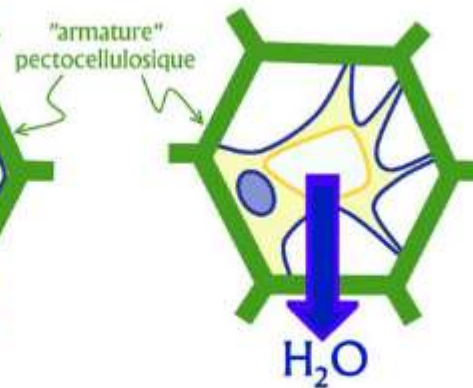


- Plasmolyse et turgescence cellulaire: permet le port de la plante

Différence de potentiels osmotiques



Cellule turgescence



Cellule en plasmolyse

Rôles de la vacuole

- **Plasmolyse et turgescence cellulaire**

- **Stockage**

Ex: saccharose chez Betterave ou Canne à sucre

- **Défense**

Ex: Accumulation d'alcaloïdes (morphine, opium, etc...) ou de molécules toxiques antimicrobiennes (Moutarde, Wasabi, Ail, etc...)

- **Adaptation**

Ex: accumulation de malate chez les plantes à métabolisme CAM (voir cours de Physiologie Végétale)

- **Pigments**

Ex: Anthocyanes des fleurs

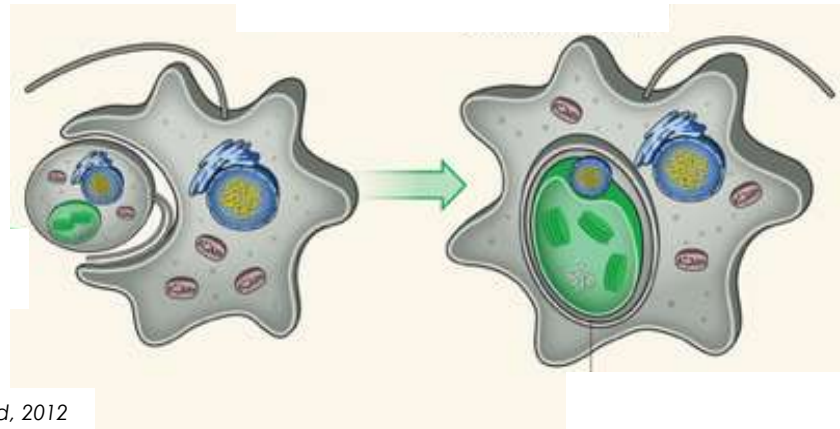
- **Détoxification = halophytes**

Ex: stockage du sel dans les sols salins



2 - Les Plastes

- Organite cellulaire possédant son propre ADN
- Possède une membrane interne et une membrane externe (forment l'**enveloppe plastidiale**)
- Présents dans les cellules eucaryotes de tous les végétaux
- Fruit de l'évolution d'une symbiose entre une cellule eucaryote hétérotrophe et une bactérie photosynthétique (= théorie de l'**endosymbiose**)



Gould, 2012

Les différents types de plastes

CHLOROPLASTES

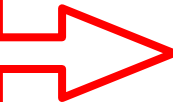
CHROMOPLASTES

LEUCOPLASTES

AMYLOPLASTES

ETIOPLASTES

PROPLASTES



Cellule indifférenciée

Cellule différenciée

Les différents types de plastes

CHLOROPLASTES

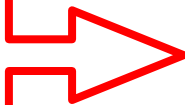
CHROMOPLASTES

LEUCOPLASTES

AMYLOPLASTES

ETIOPLASTES

PROPLASTES

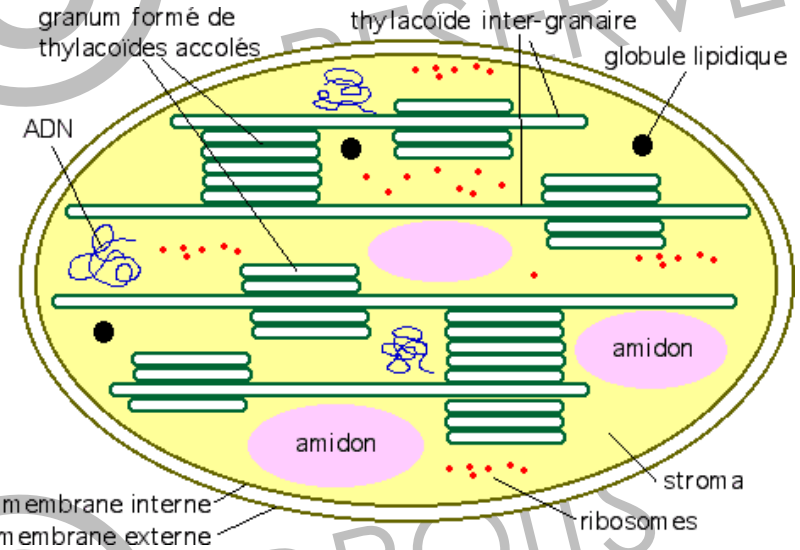


Cellule indifférenciée

Cellule différenciée

CHLOROPLASTES

Lieu de la photosynthèse.
Chlorophylles + caroténoïdes



LEUCOPLASTES

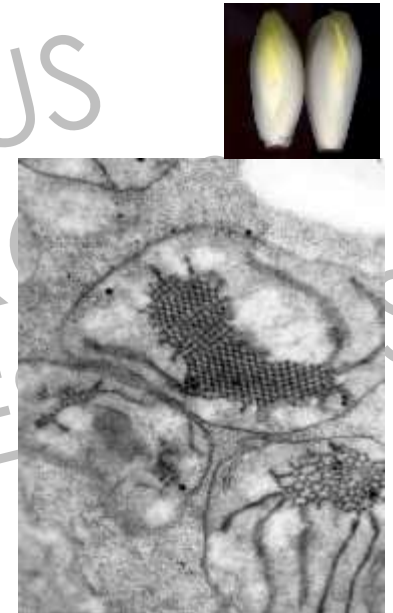
- Plastes non-pigmentés
- Localisés dans les racines ou tissus non-photosynthétiques
- Spécialisés dans des fonctions de **stockage**

Exemple: **Amyloplastes**: stockage amidon dans les organes de réserve



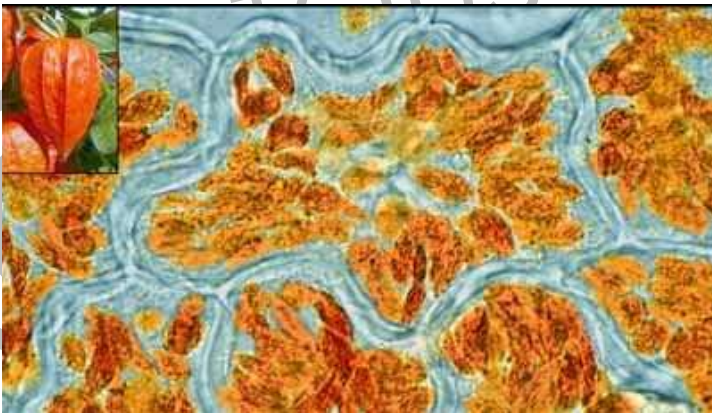
ETIOPLASTES (= forme de leucoplastes)

- Plastes peu différenciés
- Présents dans les cellules de plantes développées en absence de lumière (**étiolées**)
- Suffit de quelques heures d'éclairement pour se différencier en chloroplastes

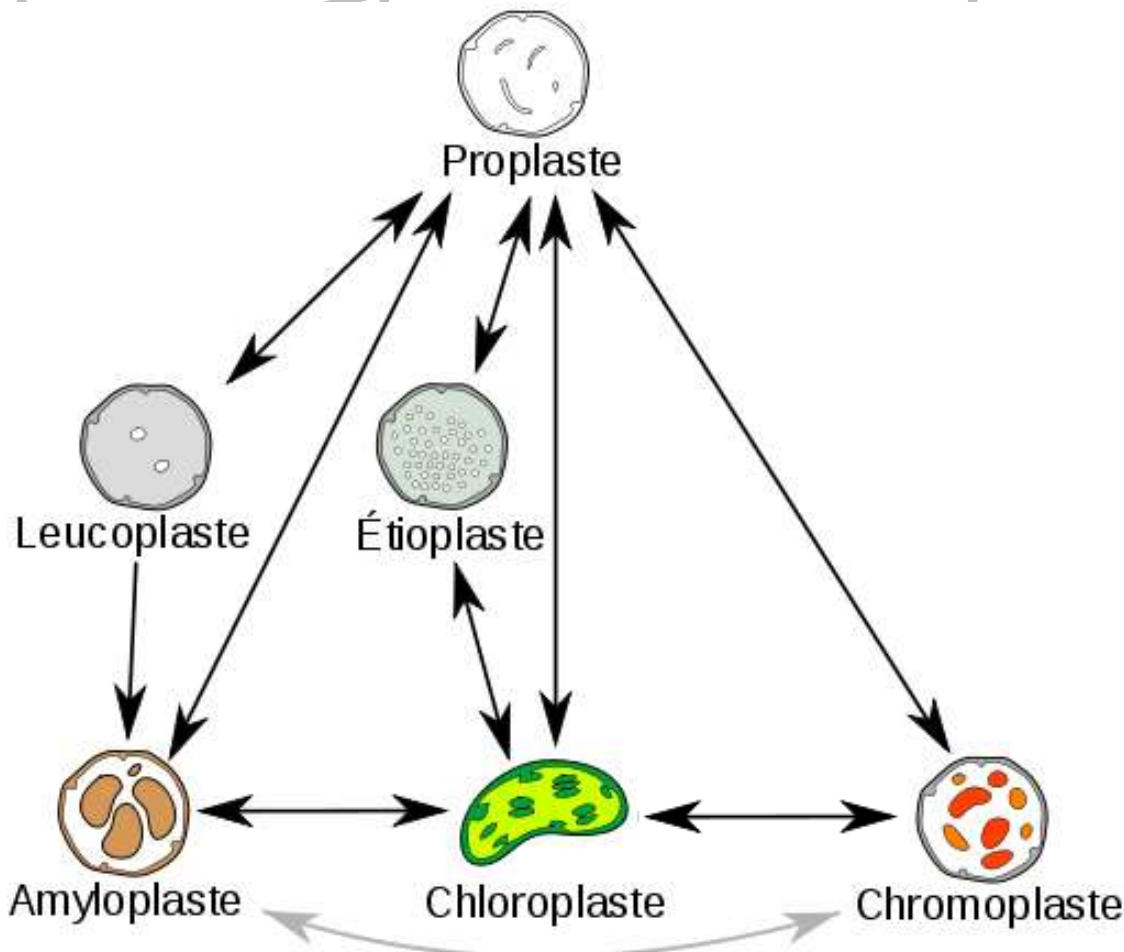


CHROMOPLASTES

- Plastes colorés en pigments non-chlorophylliens tels que Xanthophylles, Carotènes, etc...
- **Coloration** des fruits et pétales par exemple (jaune à orange)
- Les Chloroplastes peuvent se différencier en chromoplastes (ex: maturation de la tomate)

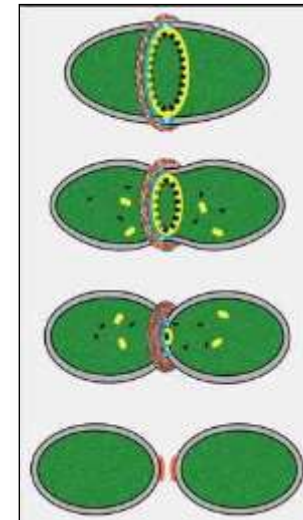
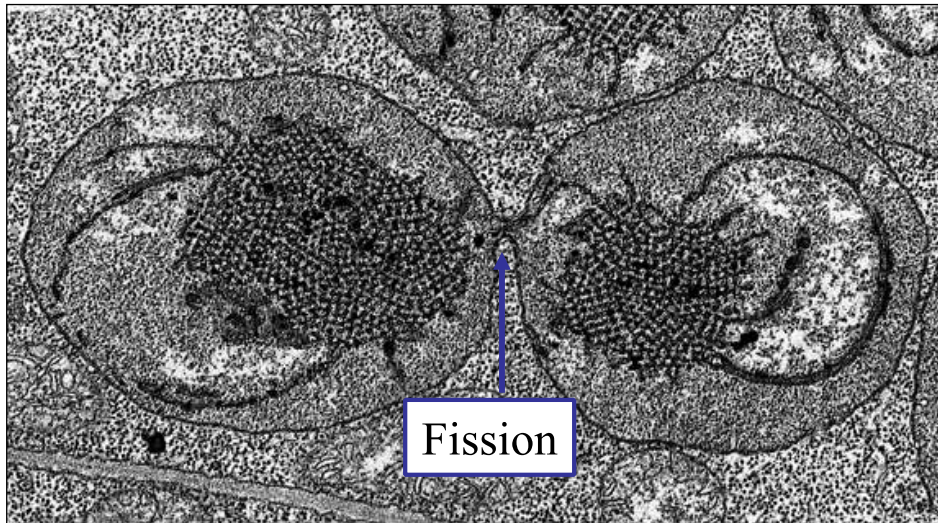


Interconversions plastidiales



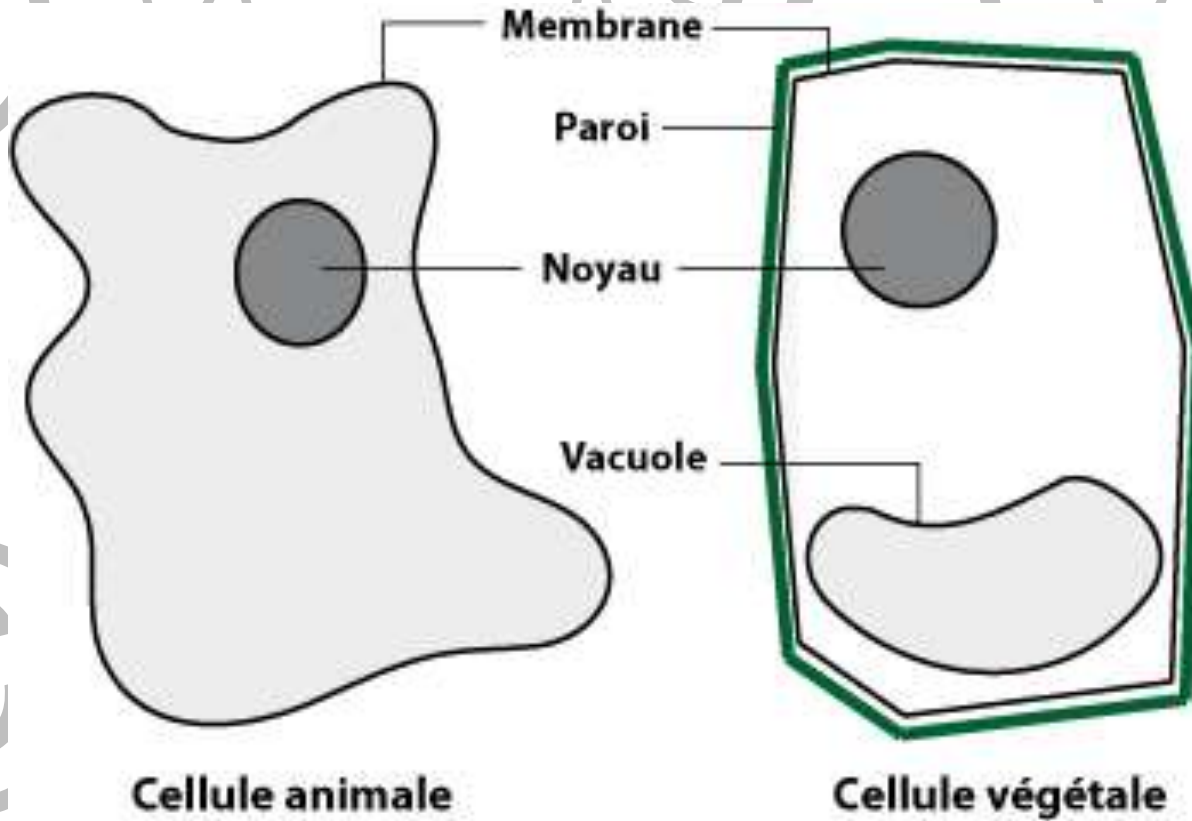
Divisions par fissions

- La multiplication des plastes se fait par fission d'un plaste déjà existant
- Il n'est pas possible de créer des plastes *de novo*



En faveur de la théorie endosymbiotique...

3 – La paroi: une matrice extracellulaire



2 types de parois:

- **Paroi primaire:** concerne presque toutes les cellules végétales (sauf quelques cellules comme le grain de pollen)
- **Paroi secondaire:**
Paroi de **certaines** cellules matures et très différenciées (ex: cellules ligneuses des arbres)

La paroi primaire

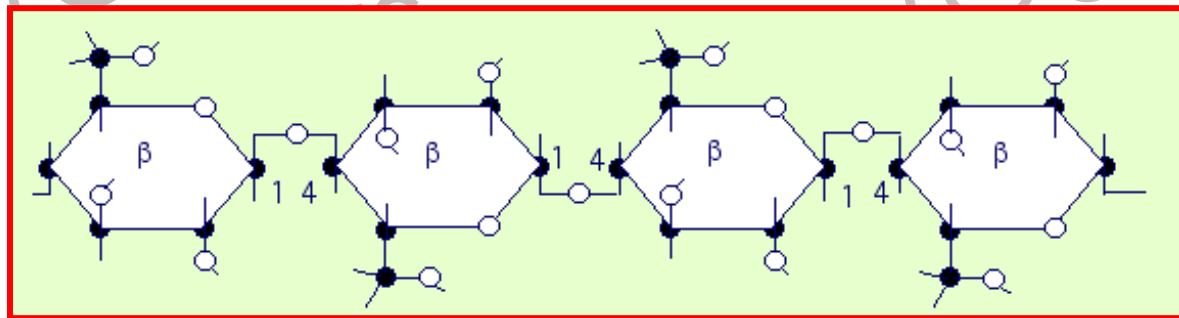
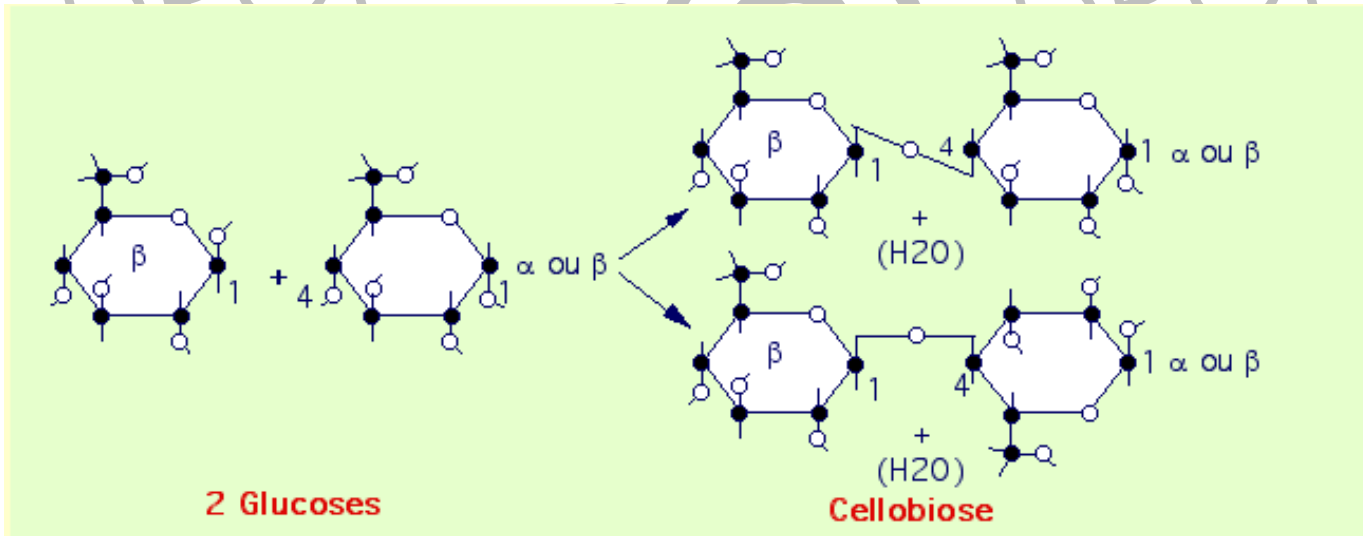
= 90% de polysaccharides + Protéines + Eau

4 types de macromolécules:

- Cellulose
- Hémicellulose
- Pectine
- Protéine

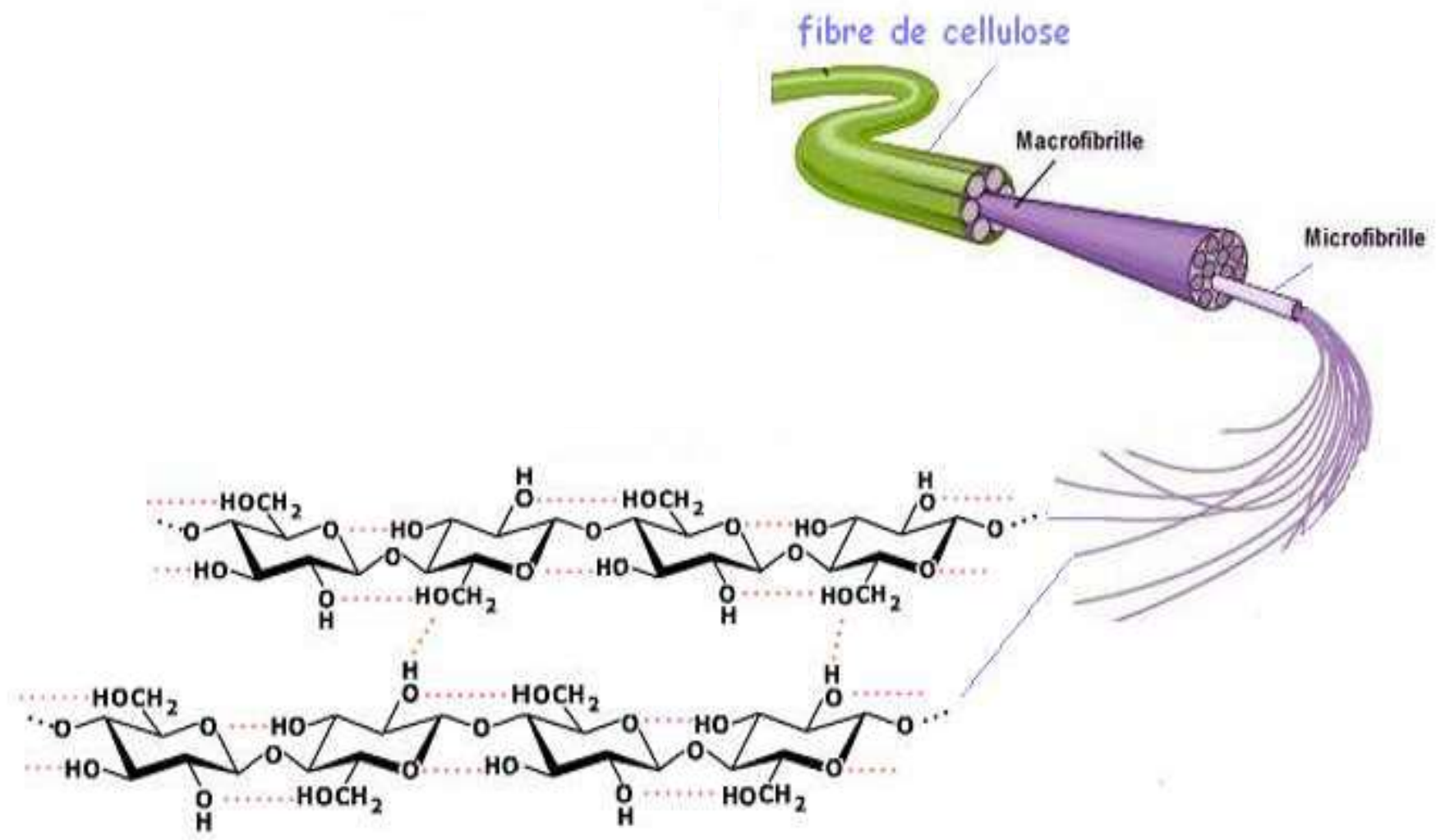
La Cellulose

Polymère MONOTONE uniquement constitué de **cellobiose** (= 2 glucoses liés en β 1-4).

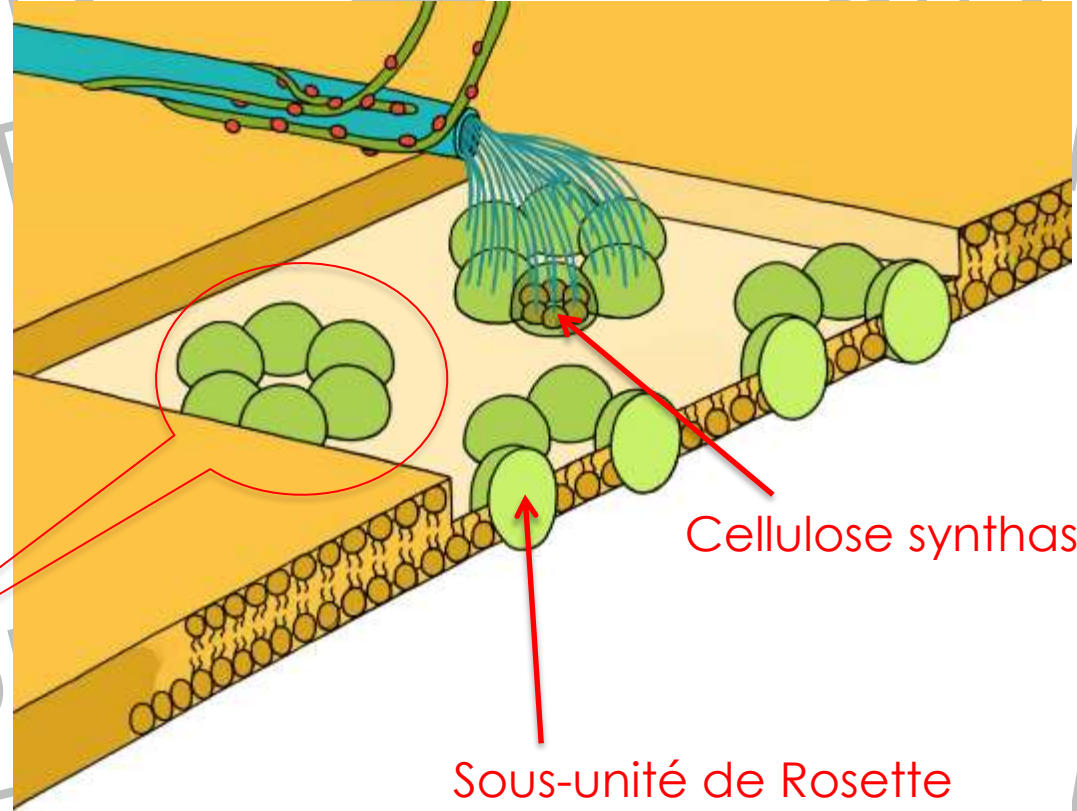
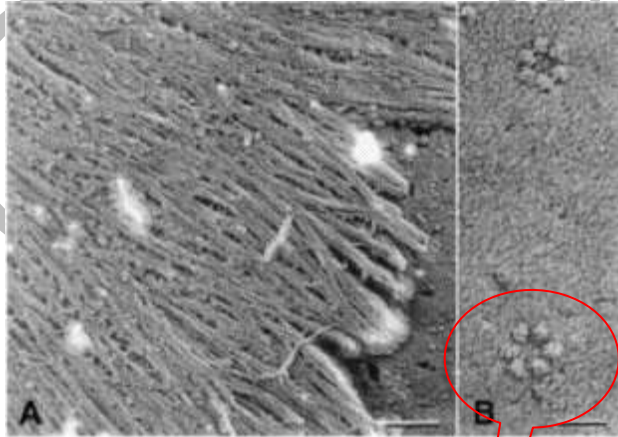


500 à 1500 résidus de glucose

Liaisons hydrogènes intra et intermoléculaires



Biosynthèse de la Cellulose: cellulose synthases organisées en « rosette » intégrées à la MP



Rosette

Cellulose synthase

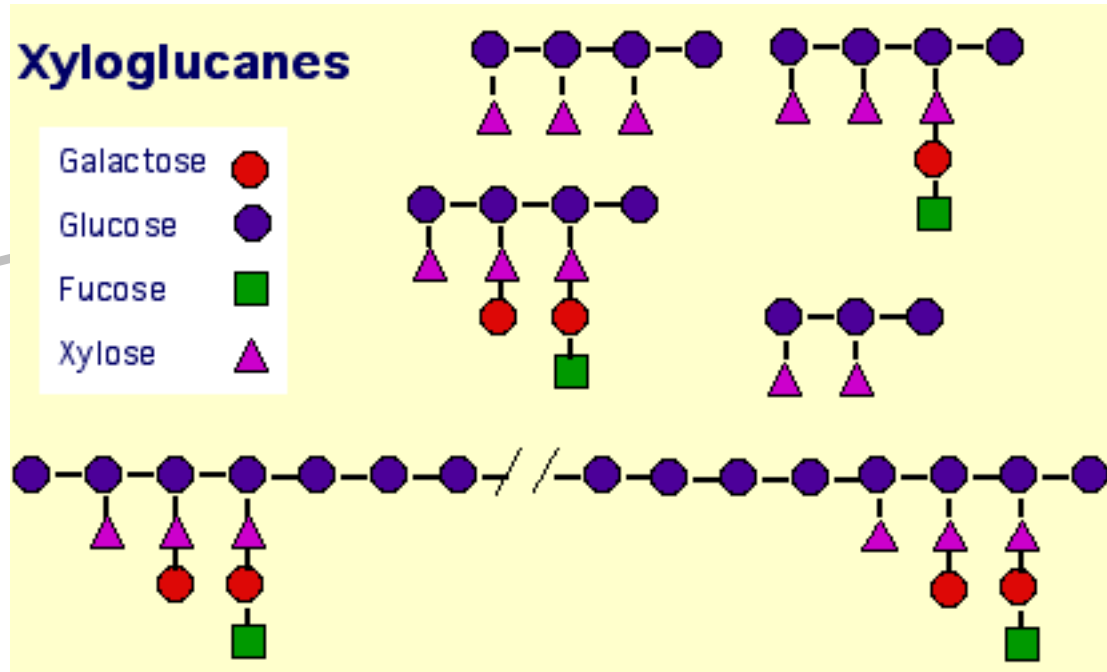
Sous-unité de Rosette

Chaque rosette synthétise une microfibrille de cellulose formée de ??? molécules.

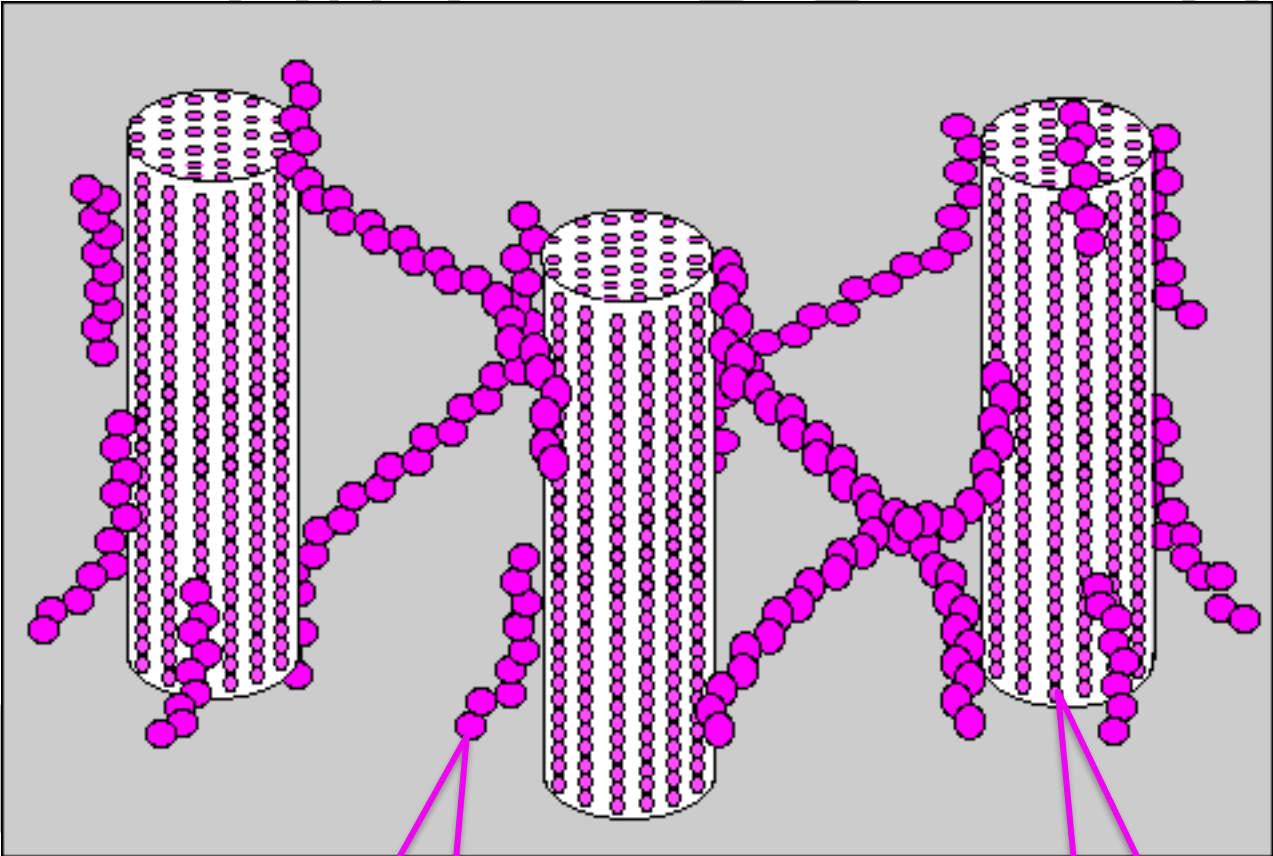
Hémicellulose

- Polymères plus petits, moins résistants
- Polysaccharides ramifiés par des chaînes courtes, reliés par liaisons osidiques β -1,4.

Exemples: xyloglucanes



Association par liaisons hydrogènes aux fibres de cellulose

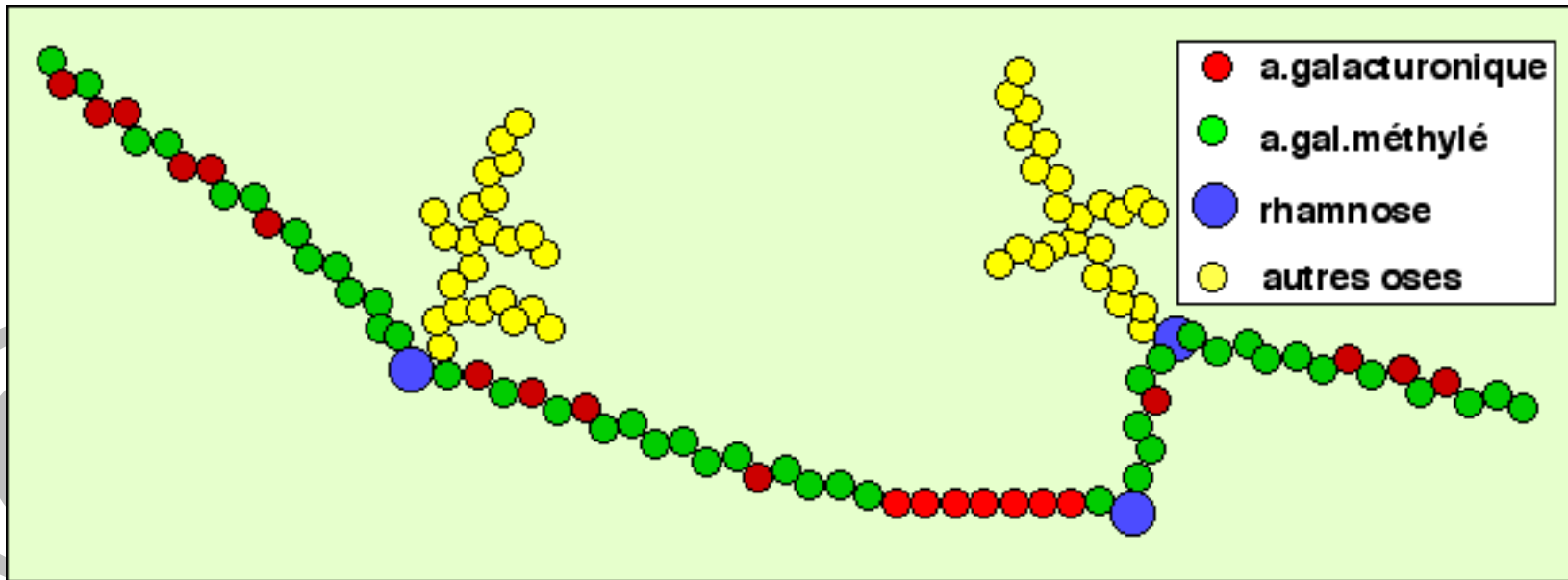


Hemicellulose

Fibres de
cellulose

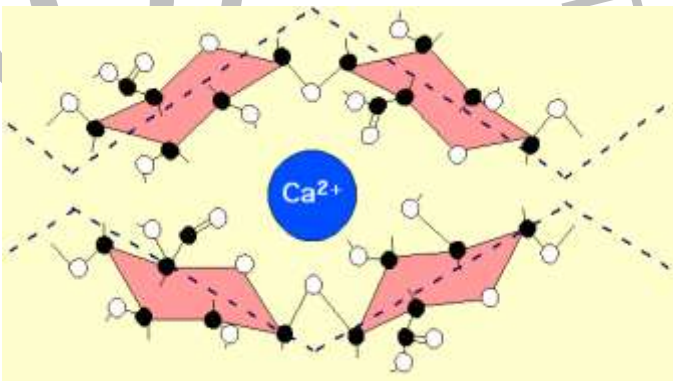
Les pectines

- Chaîne principale d'acides polygalacturoniques peuvent être intercalés de rhamnose ce qui crée des déviations ou « coudes pectiques »
- La chaîne principale peut porter des chaînes secondaires composées d'autres oses

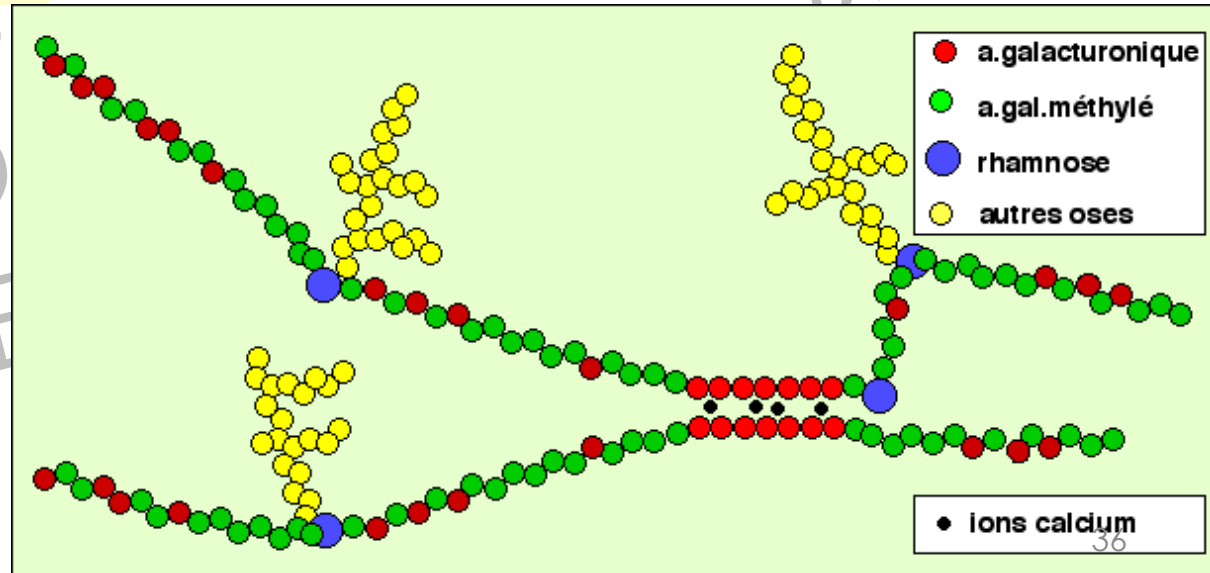


Les pectines

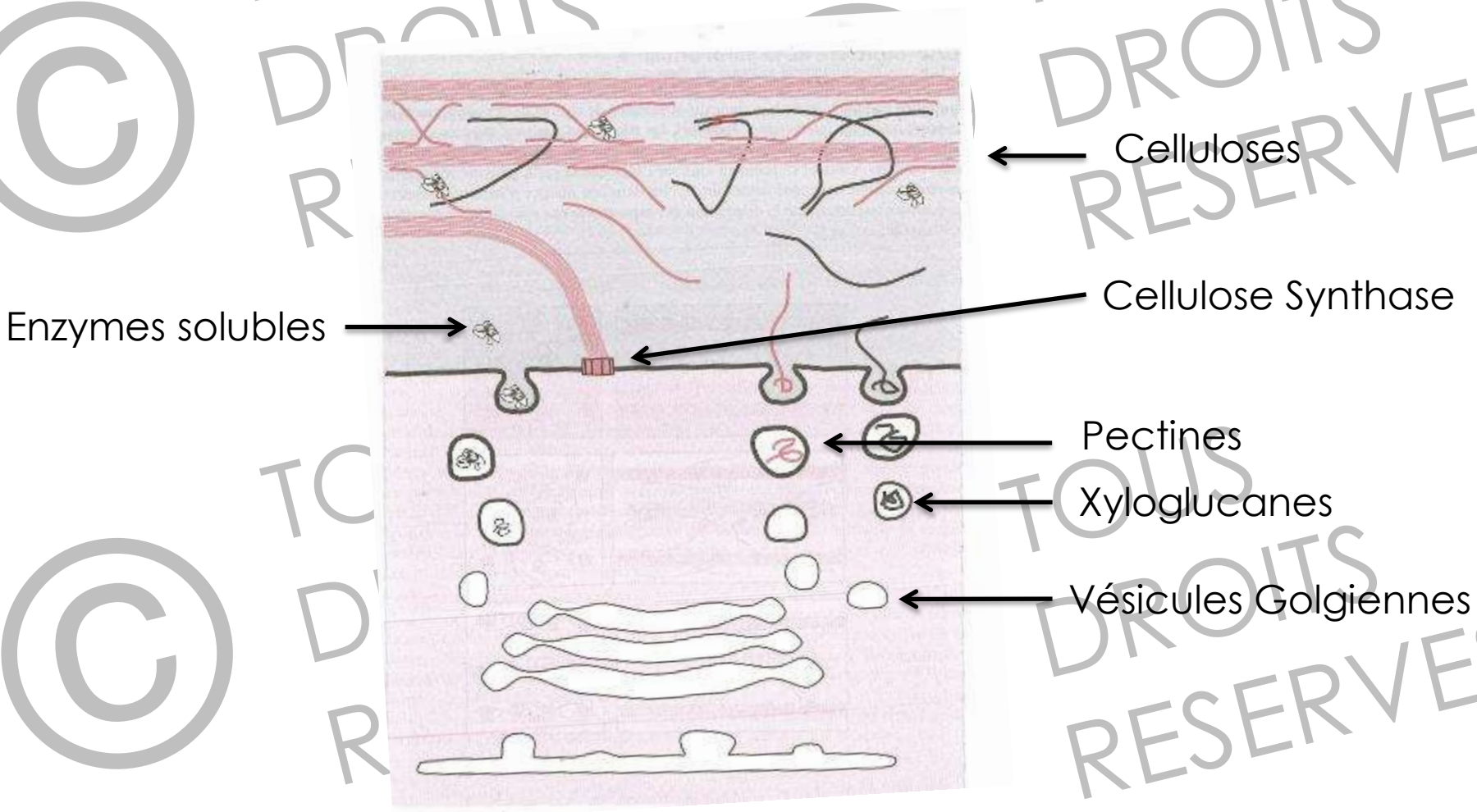
2 portions de chaînes d'acide polygalacturonique peuvent se lier en présence de calcium et former un gel pectique hydrophyle (pektos = gelée)



Structure en « boîte à œufs »



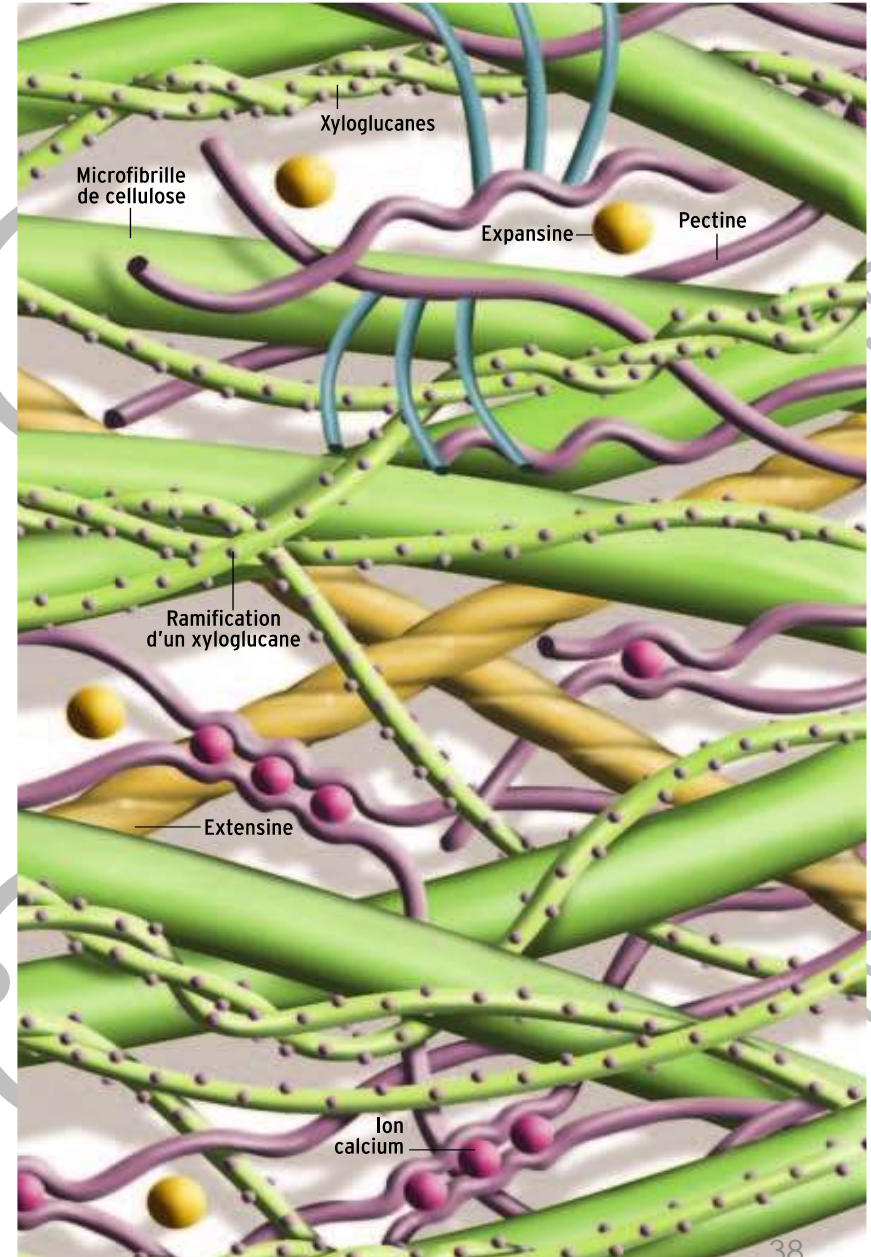
Synthèse des hémicelluloses et des pectines



Architecture de la paroi primaire

Un matériau à 2 composants:

- Les microfibrilles de celluloses qui résistent à la traction
- La matrice hydratée (pectines et hémicelluloses) qui cimente le réseau



Paroi secondaire = Rôle de soutien et d'imperméabilisation

Cellule en fin de croissance

Structure en plusieurs couches = **pluristratifiée**



Paroi Primaire vs Paroi secondaire

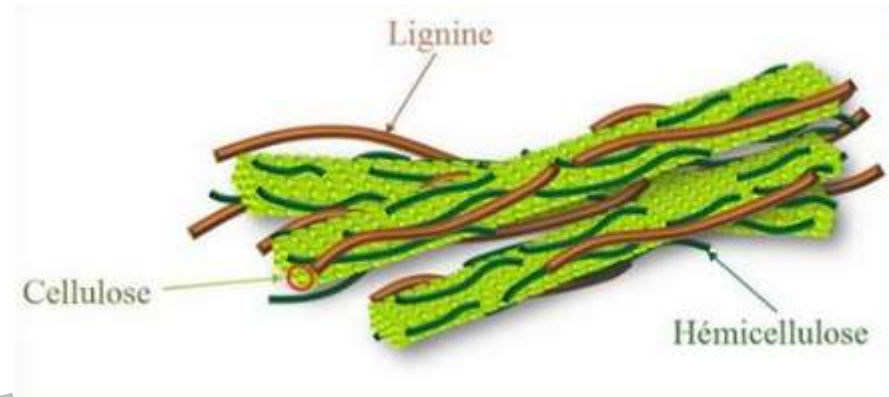
- Paroi secondaire = Paroi Primaire imprégnée d'un polymère particulier: **LA LIGNINE**

Polymère complexe composé de au moins trois types différents de monomères :

1 - l'alcool coumarylique

2 - l'alcool coniférylique

3 - l'alcool sinapylique



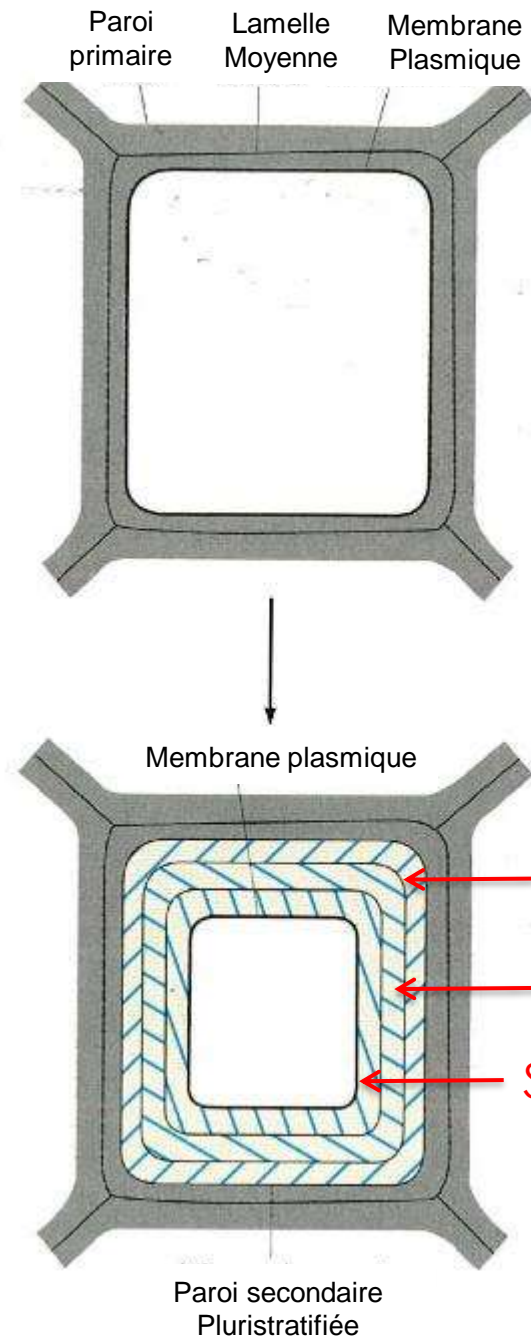
Seules les cellules de plantes **ligneuses** possèdent une paroi secondaire

Paroi secondaire

La synthèse de cellulose s'effectue toujours entre la Membrane plasmique et la paroi déjà formée: la paroi la plus ancienne se trouve donc vers l'extérieur de la cellule

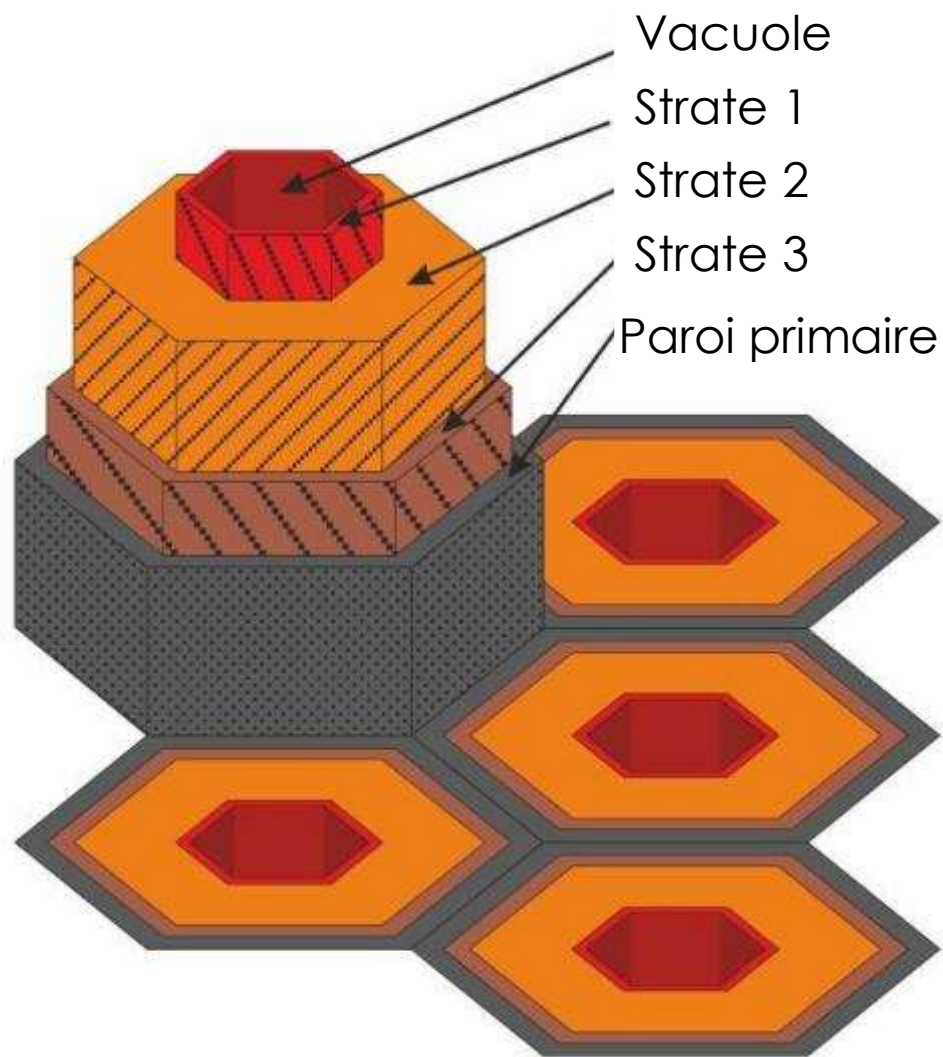
Construction centrifuge par strates successives dont l'orientation des fibres est différente

**Paroi II de la plus jeune à la plus ancienne:
S1 / S2 / S3**



Paroi secondaire

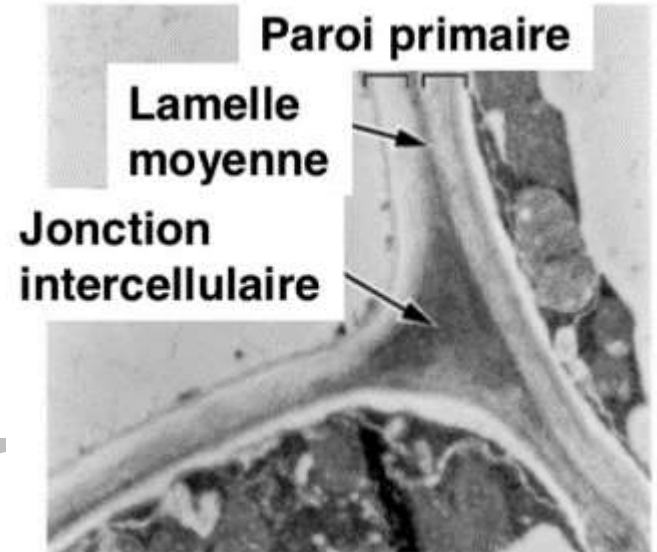
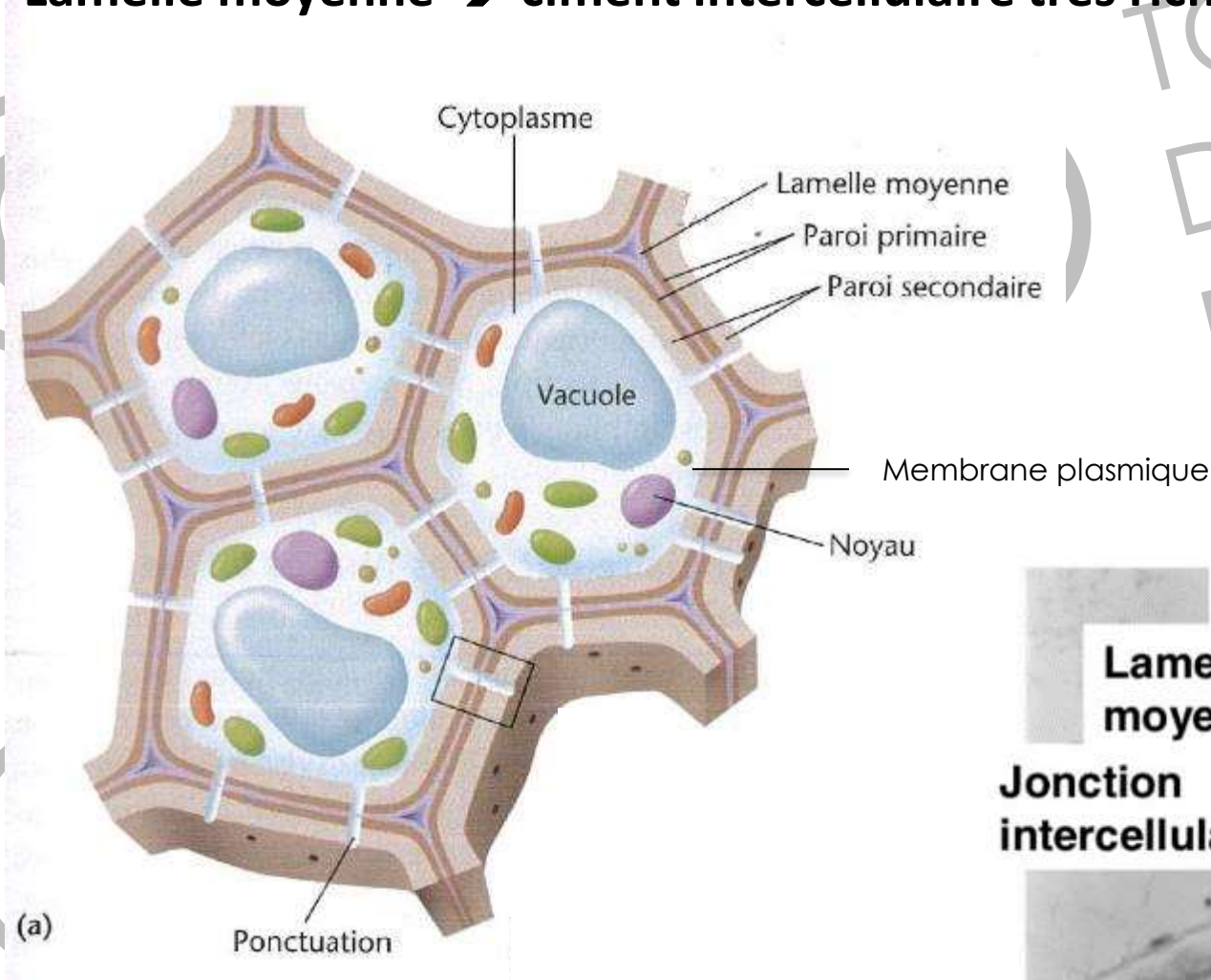
110



TOUS
DROITS
RESERVES

TOUS
DROITS
RESERVES

Lamelle moyenne → ciment intercellulaire très riche en pectines



TOUS
DROITS
RESERV

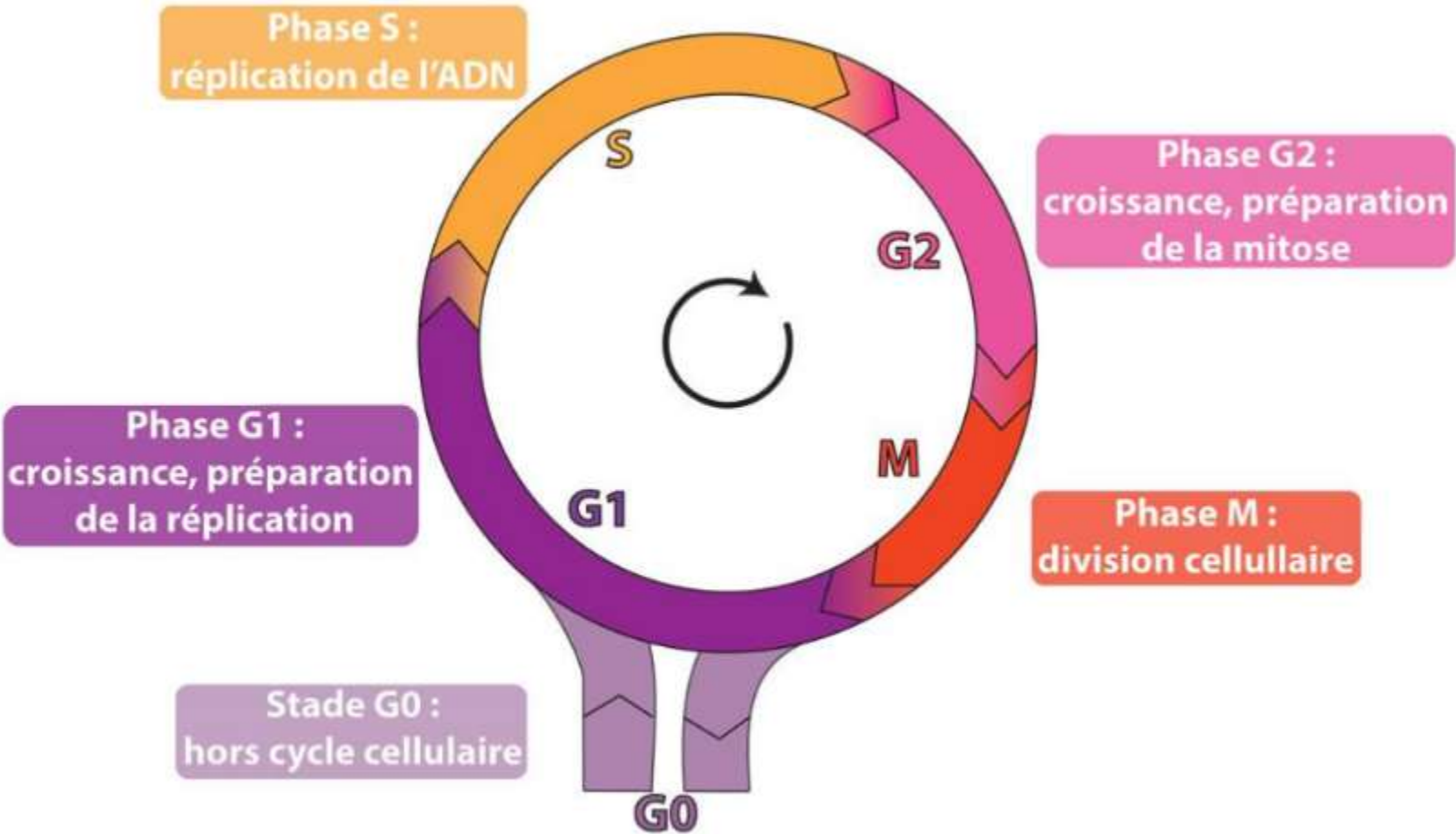
II - Lignage et Identité Cellulaire

TOUS
DROITS
RESERV

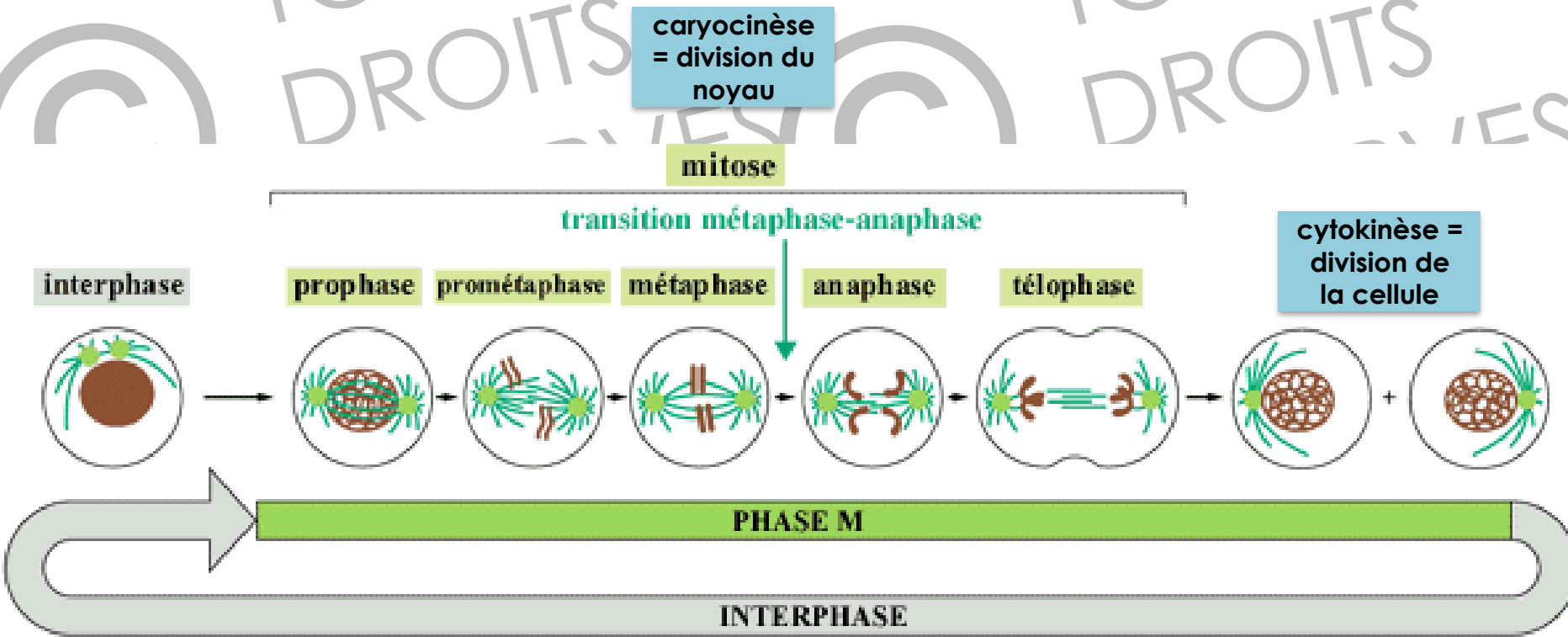


1 – La division cellulaire

Un cycle commun à tous les eucaryotes

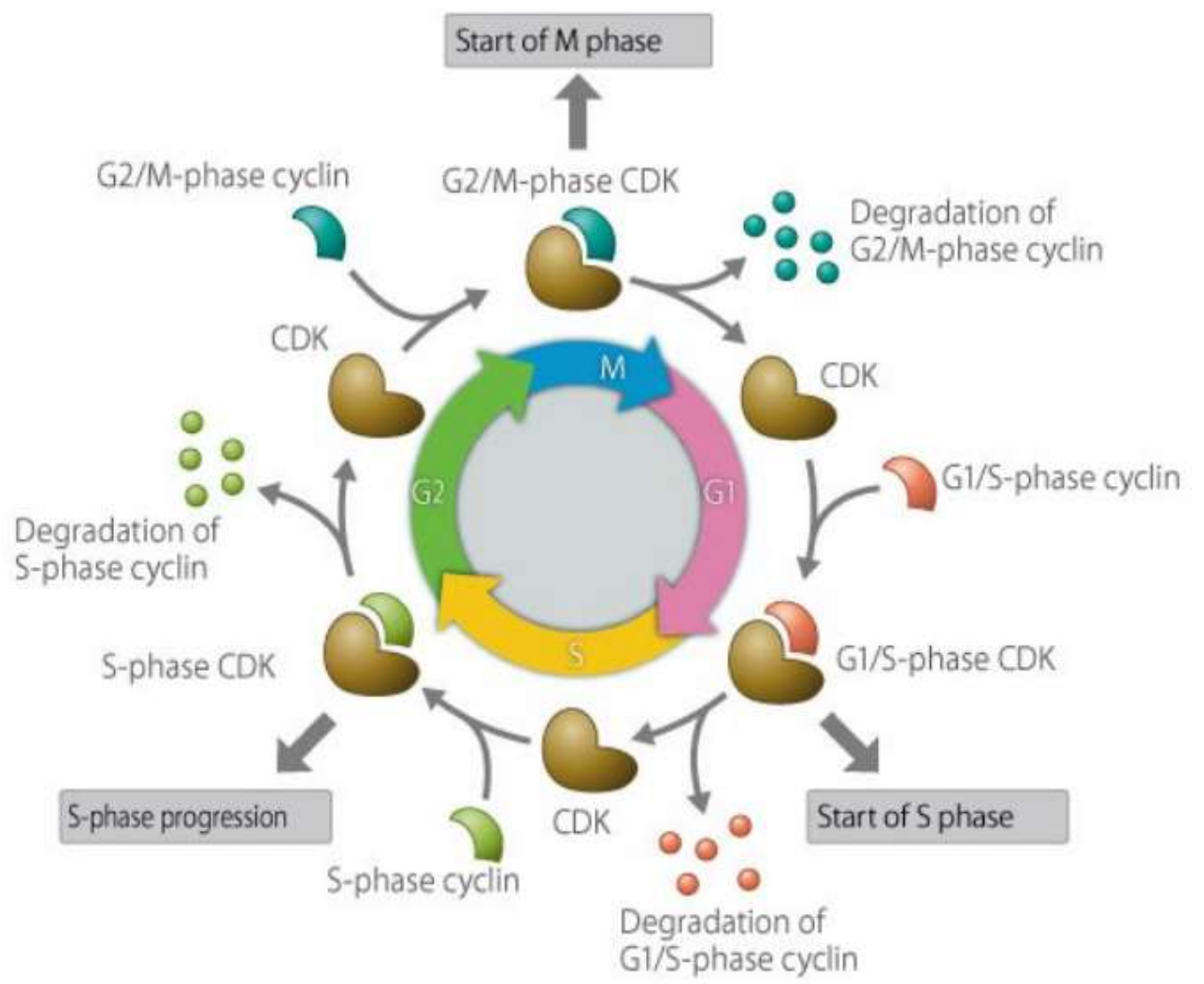


1 – 1 Le cycle cellulaire



Réplication de l'ADN

Un cycle finement régulé (cf: cours Bio Cell)



Particularités des divisions chez les plantes qui doivent tenir compte de la paroi pecto-cellulosique

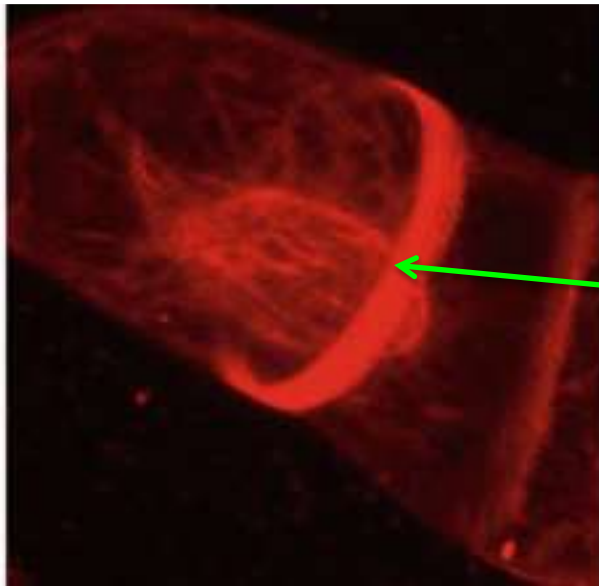
2 Particularités liées au cytosquelette:

- L'anneau de **préprophase**
- Le **phragmoplaste**

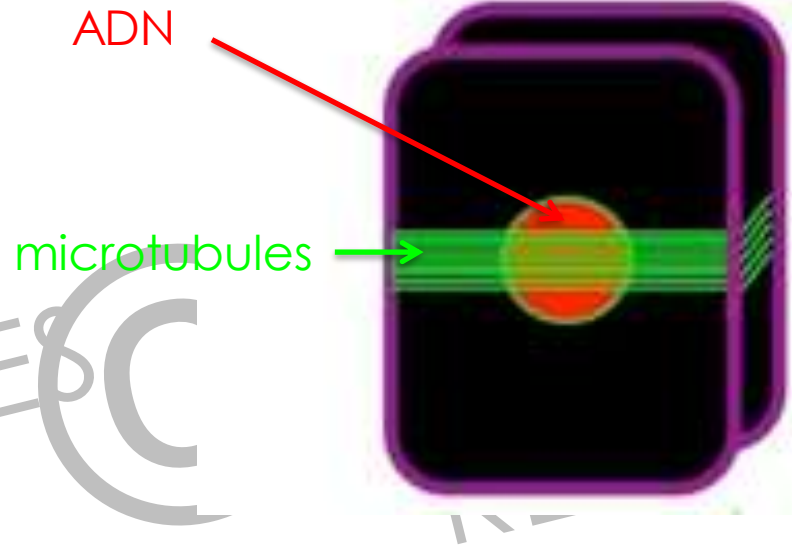
1-1-1- Anneau de Préprophase (« PreProphaseBand – PPB »)

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

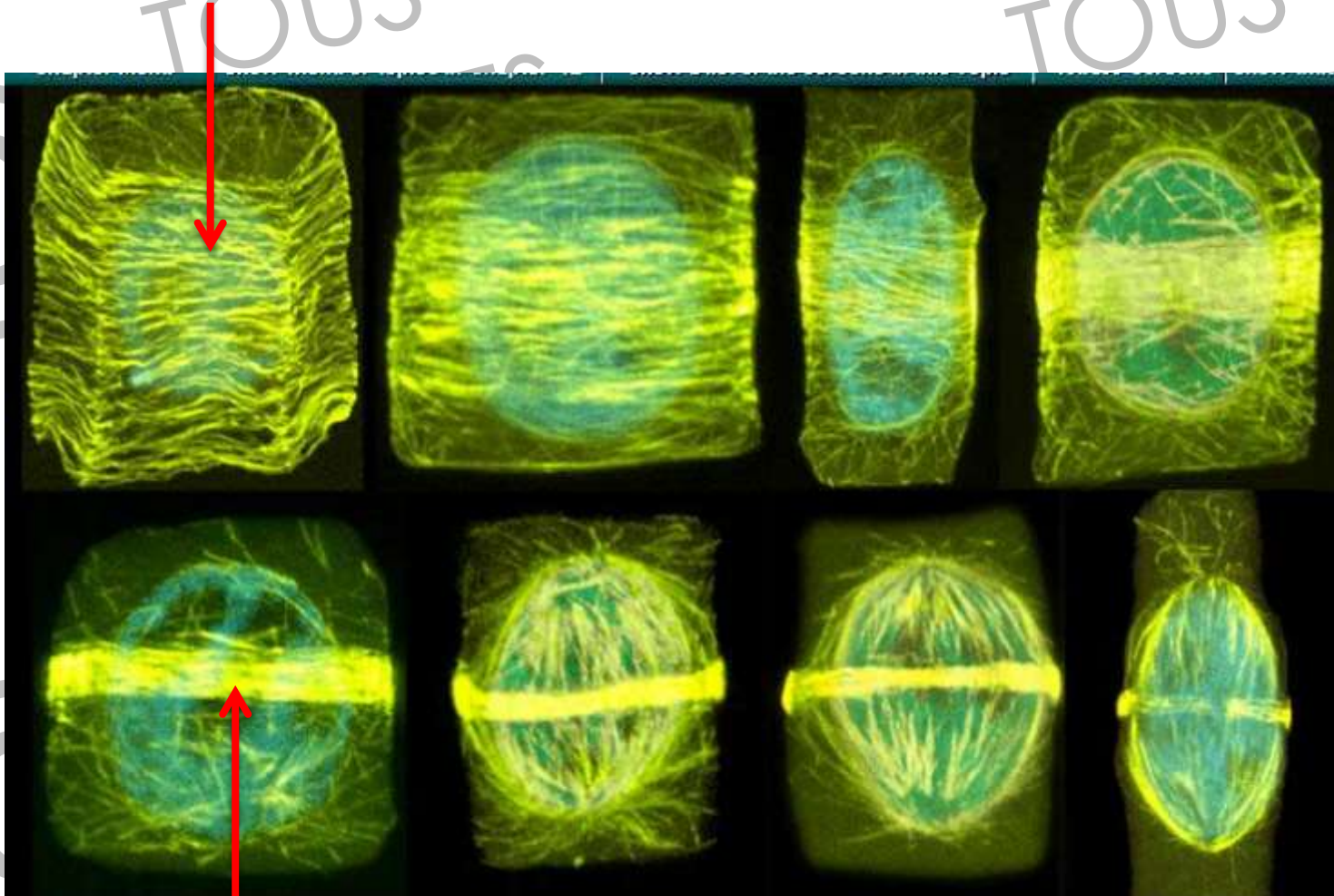
Caractéristique de la mitose mais absent lors de la **méiose** et des **mitoses gamétophytiques**



Marquage des MT



Microtubules corticaux en interphase

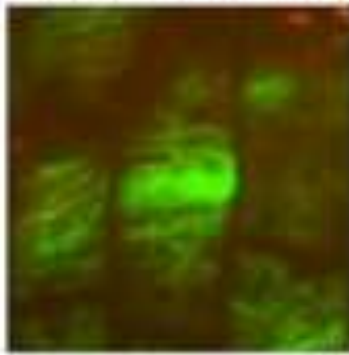


Anneau de Préprophase

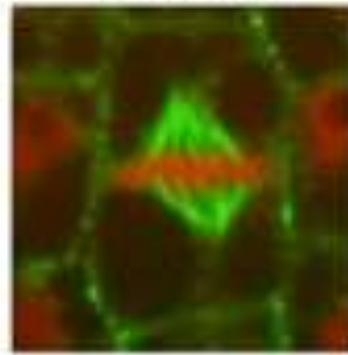
Une durée de vie courte

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

preprophase band (PPB)

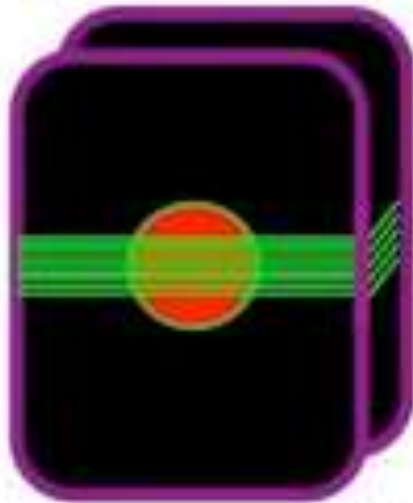


spindle



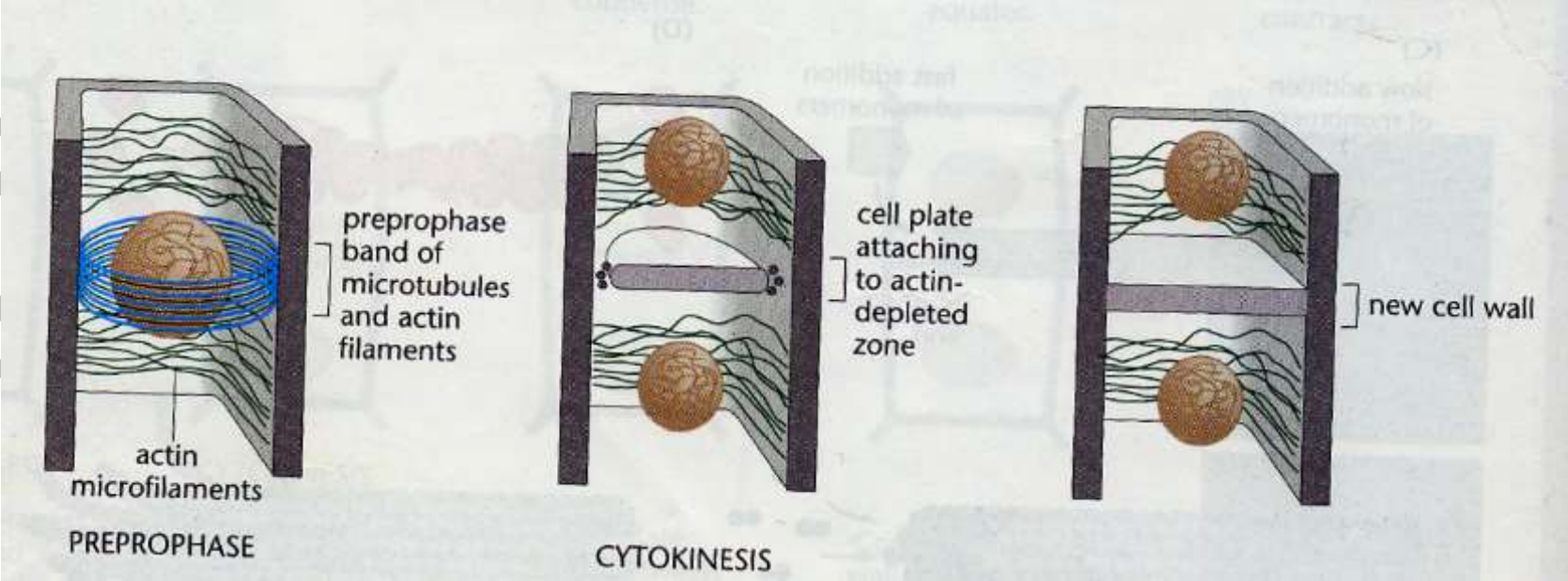
Anneau de préprophase marque l'emplacement du **plan de division**

PPB

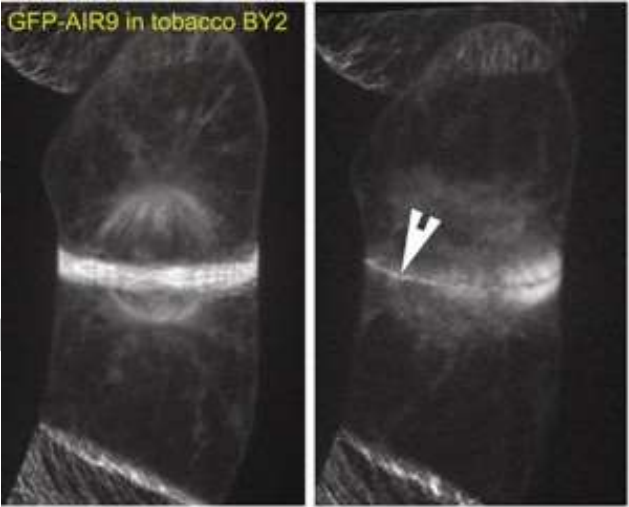


microtubules

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



GFP-AIR9 in tobacco BY2

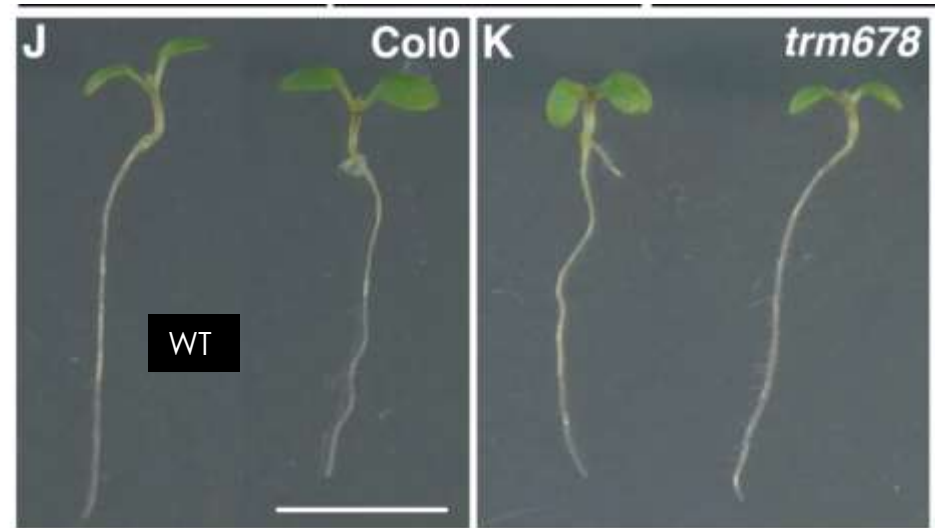
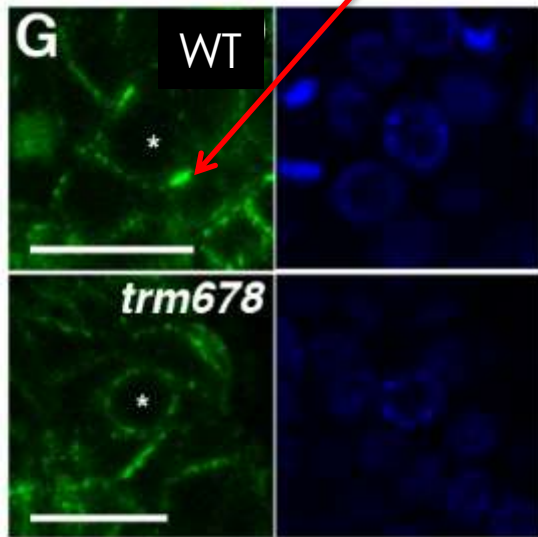
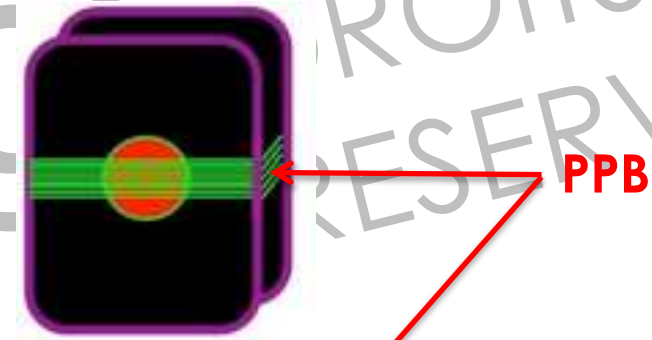


PPB

cytokinesis

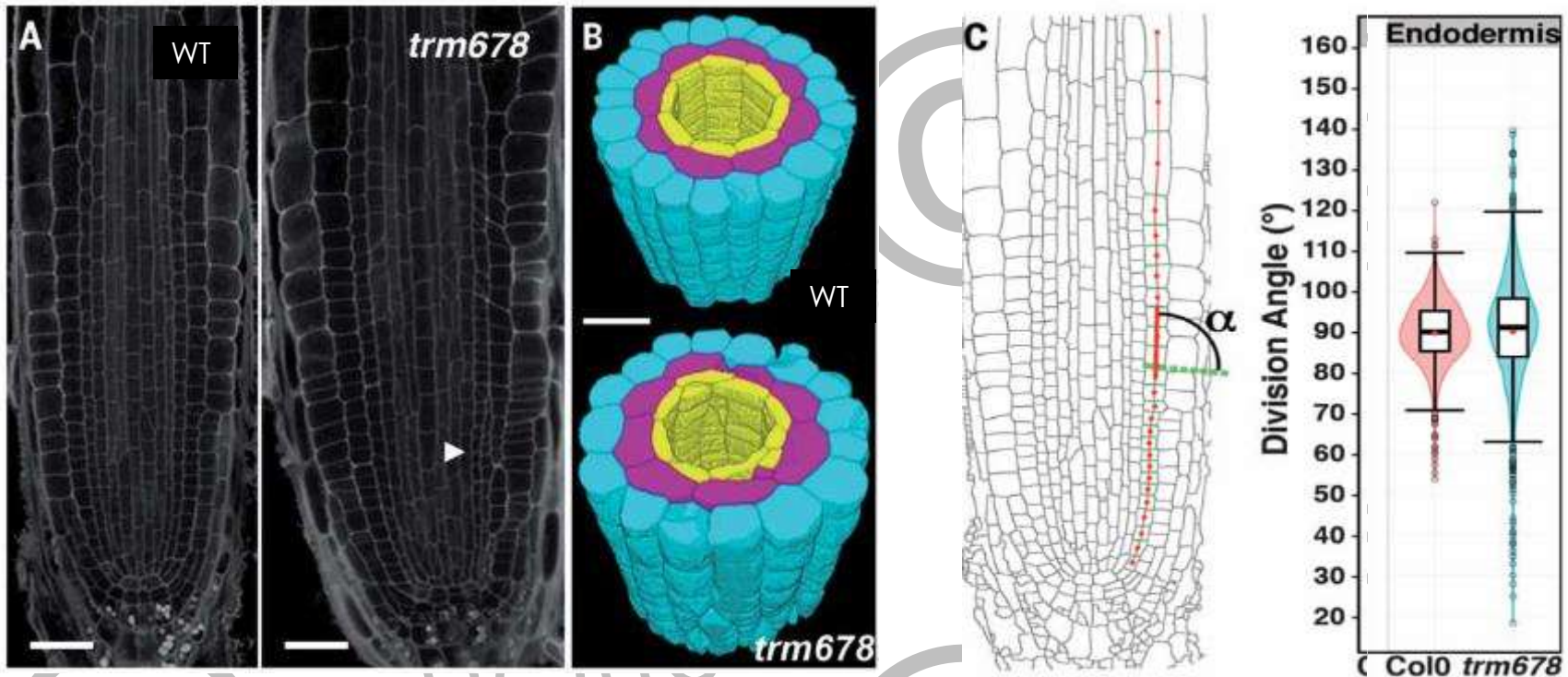
Quel est le rôle de l'anneau de préprophase (PPB) ?

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