

SV-A-2: REGARDS SUR UNE ANGIOSPERME, UNE FABACÉE



*Trèfle, légumineuse, prairie,
alimentation bétail*



*Vicia faba, fruit = gousse pour la
consommation humaine*



QUE DIT LE B.O.?

Savoirs visés	Capacités exigibles
Les Fabacées appartiennent au groupe des Embryophytes. Différents organes et tissus participent aux fonctions de nutrition, de relation et de reproduction. Certaines de leurs caractéristiques sont liées au milieu de vie. Les vastes surfaces d'échanges avec l'environnement permettent à la plante de prélever la matière minérale et de convertir l'énergie lumineuse en énergie potentielle chimique nécessaire à la production de matière organique (autotrophie). Les organes « sources » coopèrent avec les organes « puits ». L'organisme est en interactions multiples avec son environnement abiotique et biotique. L'appareil végétatif grandit de façon indéfinie à partir de méristèmes. Les facteurs anisotropes du milieu orientent la croissance de l'appareil végétatif. Les rythmes saisonniers conditionnent les différentes étapes du cycle de reproduction (floraison, pollinisation, fructification, vie ralentie des graines). La plante est impliquée dans différents systèmes de relations intra et interspécifiques. La symbiose Fabacée et bactérie Rhizobium, fixatrice d'azote dans les nodosités, augmente la biomasse de la Fabacée. Les végétaux sont des producteurs primaires et constituent des ressources alimentaires à la base des réseaux trophiques. Leur importance dans les agroécosystèmes conduit à la sélection par l'être humain en relation avec la diversification des usages.	- Identifier les principaux caractères morphologiques et anatomiques pour positionner une Fabacée au sein d'une classification phylogénétique d'Embryophytes. - À partir d'observations en classe et sur le terrain, distinguer les différents organes de l'appareil végétatif et l'appareil reproducteur d'une Angiosperme. - Mettre en relation l'organisation structurale et fonctionnelle des différents appareils et l'adaptation de l'organisme au milieu aérien. - Caractériser le développement de l'appareil végétatif et de l'appareil reproducteur des Angiospermes au cours du cycle biologique et argumenter le caractère d'organe « source » ou d'organe « puits ». - Construire un schéma fonctionnel synthétique de la plante. - Exploiter des résultats expérimentaux montrant le lien entre les anisotropies du milieu et les tropismes dans le cadre du gravitropisme. - Placer sur un cycle de reproduction les paramètres du milieu exerçant une influence et/ou un contrôle prédominant sur une étape de la vie de la plante. - Illustrer les principales relations interspécifiques entre une Angiosperme et des organismes de son milieu. - Illustrer différents usages des Fabacées (engrais vert, alimentation).



Glycine



Soja



Robinier du square René-Viviani, daté de 1601, est le plus vieil arbre de Paris. (Wikipéda)



Robinier faux acacia



Petit pois



Trèfle des prés



Arachide



Les Fabacées
(légumineuses)
célèbres

INTRODUCTION

■ Fabacée = être vivant

⇒ Définition d'être vivant = entité matérielle dont l'unité de base est la cellule, capable d'échanger de la matière et de l'énergie avec son environnement (= système thermodynamiquement ouvert) et de se reproduire seul ou avec un partenaire, transmettant une information héréditaire (codée par de l'ADN) à sa descendance

⇒ 3 fonctions vitales caractérisent les êtres vivants:

- ❖ Fonction de relation
- ❖ Fonction de nutrition
- ❖ Fonction de reproduction



Vicia faba, originaire d'Eurasie, plante herbacée annuelle destinée à la consommation humaine et animale



Gousse de *Vicia faba*



Graines de féveroles de *Vicia faba*

LES 3 FONCTIONS VITALES

- Fonction de **relation**
 - Sous-fonction de **locomotion**
- Fonction de **nutrition (s.l.)**
 - Sous-fonction de **nutrition (s.s) = digestion (s.l)**
 - Sous-fonction de **respiration**
 - Sous-fonction d'**excrétion**
- Fonction de **reproduction**

Rem : la circulation est un système de distribution et non une fonction en tant que telle.



Relation



Nutrition



Respiration



Reproduction

LES 3 FONCTIONS VITALES CHEZ LES FABACÉES

■ Fonction de **relation**

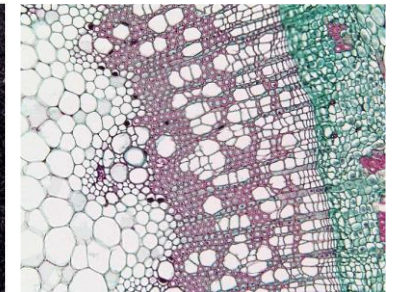
- Sous-fonction de **locomotion**: pas vraiment...
- **Relations intra et interspécifiques**



Relation

■ Fonction de **nutrition** (s.l.)

- Sous-fonction de **nutrition** = **photosynthèse et respiration**
- « **Circulation des sèves** »



Nutrition



■ Fonction de **reproduction**

- **Tropismes**
- **Rythmes saisonniers et étapes du cycle de reproduction**



Reproduction

COMMENT L'ORGANISATION DES FABACÉES LEUR PERMET-ELLE DE RÉALISER LEURS FONCTIONS BIOLOGIQUES ?

QUELLE EST LEUR PLACE AU SEIN DES ÉCOSYSTÈMES ?

- Réflexion sur les contraintes de la vie fixée des Angiospermes

- Milieu aérien desséchant (mais vent ... vecteur de pollen)
- Milieu aérien peu porteur
- Prédateurs
- Parasites
- Accès à la lumière, à l'eau
- Variabilité de la photopériode, de la température, de l'hygrométrie avec les saisons
- Composition du sol: ancrage et absorption

Rappels Spé Tale,
2 Genially à visionner

PLAN

I. Les Fabacées, un groupe d'angiospermes dans la classification phylogénétique

- A. Les Fabacées, des Angiospermes Dicotylédones
- B. Caractéristiques et diversité des Fabacées

II. Les fonctions de relation : les Fabacées interagissent avec les composantes de leur écosystème

- A. Exemple d'un écosystème de fabacée : la prairie pâturée, un agrosystème
- B. Les Fabacées interagissent avec les autres êtres vivants de leur écosystème
- C. Le cycle de vie des Fabacées est contrôlé par les conditions abiotiques du milieu
- D. La croissance des fabacées est contrôlée par les conditions abiotiques du milieu

III. Les fonctions de nutrition : les fabacées sont des organismes photosynthétiques fixés à l'interface sol-atmosphère

- A. Les racines, lieu d'absorption d'eau et d'ions minéraux
- B. Les feuilles, organes de la photosynthèse
- C. Des tissus assurant les connexions entre organes sources et organes puits

IV. Les fonctions de reproduction : les fabacées produisent une descendance génétiquement différente et disséminée dans le milieu

- A. La fleur des Fabacées, organe de la reproduction
- B. De la fleur au fruit et de l'ovule à la graine : fécondation et transformation de l'appareil reproducteur
- C. Une reproduction maîtrisée par l'homme : sélection, domestication, exploitation

PLAN

I. Les Fabacées, un groupe d'angiospermes dans la classification phylogénétique

- A. Les Fabacées, des Angiospermes Dicotylédones
- B. Caractéristiques et diversité des Fabacées

II. Les fonctions de relation : les Fabacées interagissent avec les composantes de leur écosystème

- A. Exemple d'un écosystème de fabacée : la prairie pâturée, un agrosystème
- B. Les Fabacées interagissent avec les autres êtres vivants de leur écosystème
- C. Le cycle de vie des Fabacées est contrôlé par les conditions abiotiques du milieu
- D. La croissance des fabacées est contrôlée par les conditions abiotiques du milieu

III. Les fonctions de nutrition : les fabacées sont des organismes photosynthétiques fixés à l'interface sol-atmosphère

- A. Les racines, lieu d'absorption d'eau et d'ions minéraux
- B. Les feuilles, organes de la photosynthèse
- C. Des tissus assurant les connexions entre organes sources et organes puits

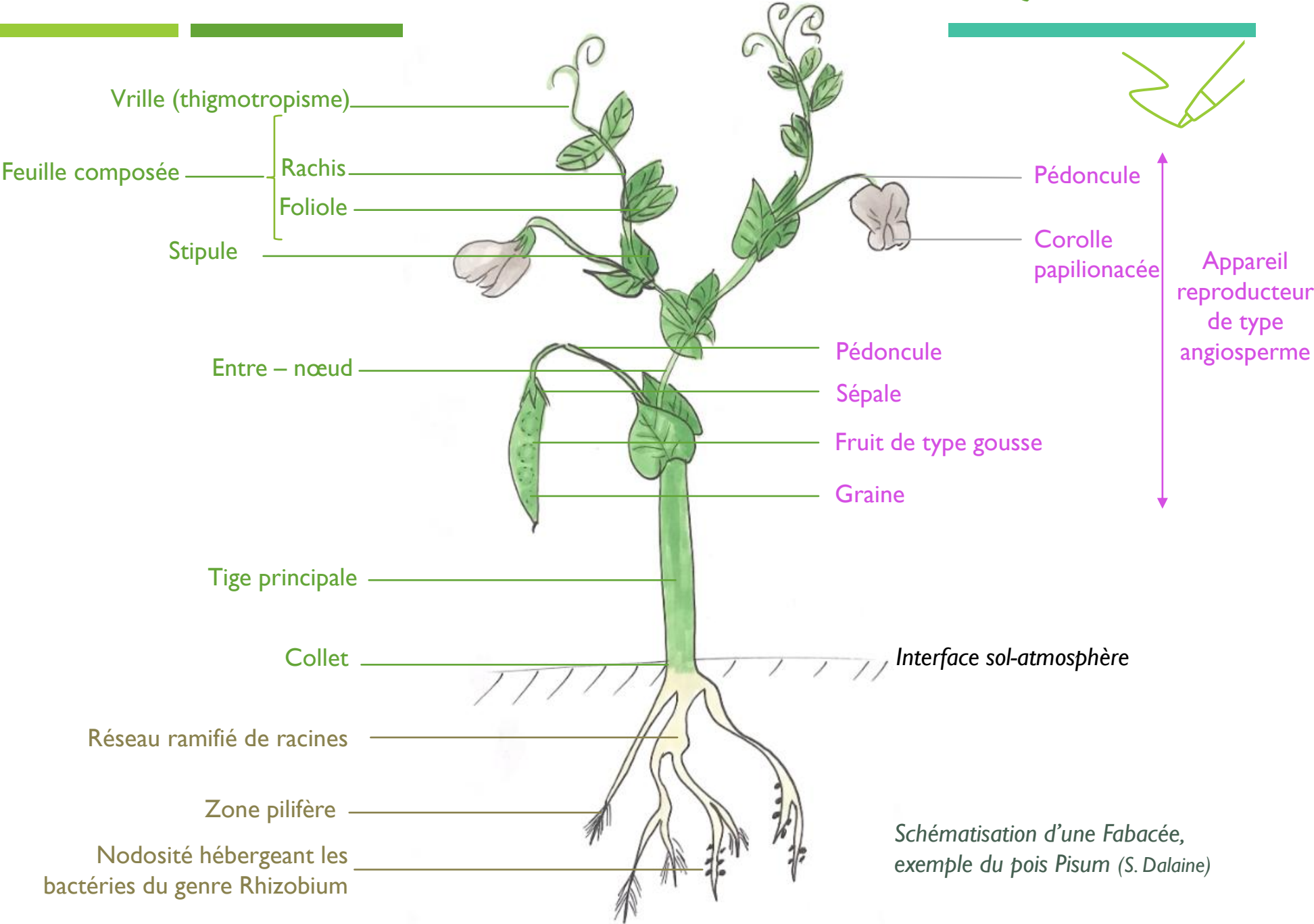
IV. Les fonctions de reproduction : les fabacées produisent une descendance génétiquement différente et disséminée dans le milieu

- A. La fleur des Fabacées, organe de la reproduction
- B. De la fleur au fruit et de l'ovule à la graine : fécondation et transformation de l'appareil reproducteur
- C. Une reproduction maîtrisée par l'homme : sélection, domestication, exploitation

I. LES FABACÉES, UN GROUPE D'ANGIOSPERMES DANS LA CLASSIFICATION PHYLOGÉNÉTIQUE

A. LES FABACÉES, DES
ANGIOSPERMES
EUDICOTYLÉDONES

Appareil végétatif de
type cormus = racine
+ tige + feuille



I. LES FABACÉES, UN GROUPE D'ANGIOSPERMES DANS LA CLASSIFICATION PHYLOGÉNÉTIQUE

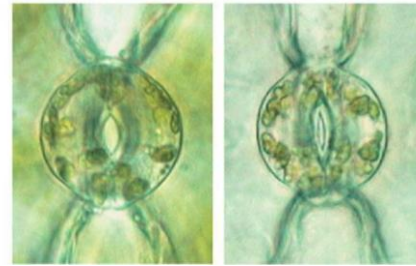
A. LES FABACÉES, DES ANGIOSPERMES EUDICOTYLÉDONES



- Des **embryophytes cormophytes** : développement à partir d'une cellule œuf diploïde issue de la fécondation et formant un embryon. Présence d'un appareil aérien constitué notamment d'une tige. Cormus = racine + tige + feuille
- Des **stomatophytes** : existence de pores ménagés dans l'appareil aérien, les stomates.
- Des **trachéophytes** : présence de racines impliquées dans l'ancrage au sol et l'absorption d'eau et d'ions minéraux. Existence de vaisseaux conducteurs de deux types : les vaisseaux du xylème conduisant la sève brute, et du phloème conduisant la sève élaborée.
- Des **euphyllophytes** : présence de feuilles « vraies », c'est-à-dire pourvues d'un réseau vasculaire (des vaisseaux formant les nervures de la feuille).
- Des **spermatophytes** : l'organisme se forme à partir d'une graine, structure constituée d'un embryon, de réserves et d'un tégument protecteur.
- Des **angiospermes** : plante présentant des fleurs et chez lesquelles la graine est enfermée dans un fruit.
- Des **eudicotylédones** : lors de la germination, deux feuilles déjà présentes dans la graine apparaissent. Le pollen, structure contenant les gamètes mâles et dispersé par les insectes, est triaperturé.



cormus



Stomate (2 cellules de garde + 1 ostiole +/- ouvert par turgescence)



Feuille composée



Photographie d'une graine de haricot placée 24h dans l'eau et coupée de manière longitudinale



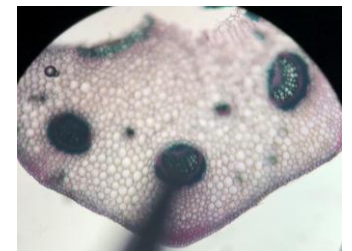
Test au lugol (= eau iodée) => Les réserves de la graine de haricot sont de nature « amylacée » (= amidon)



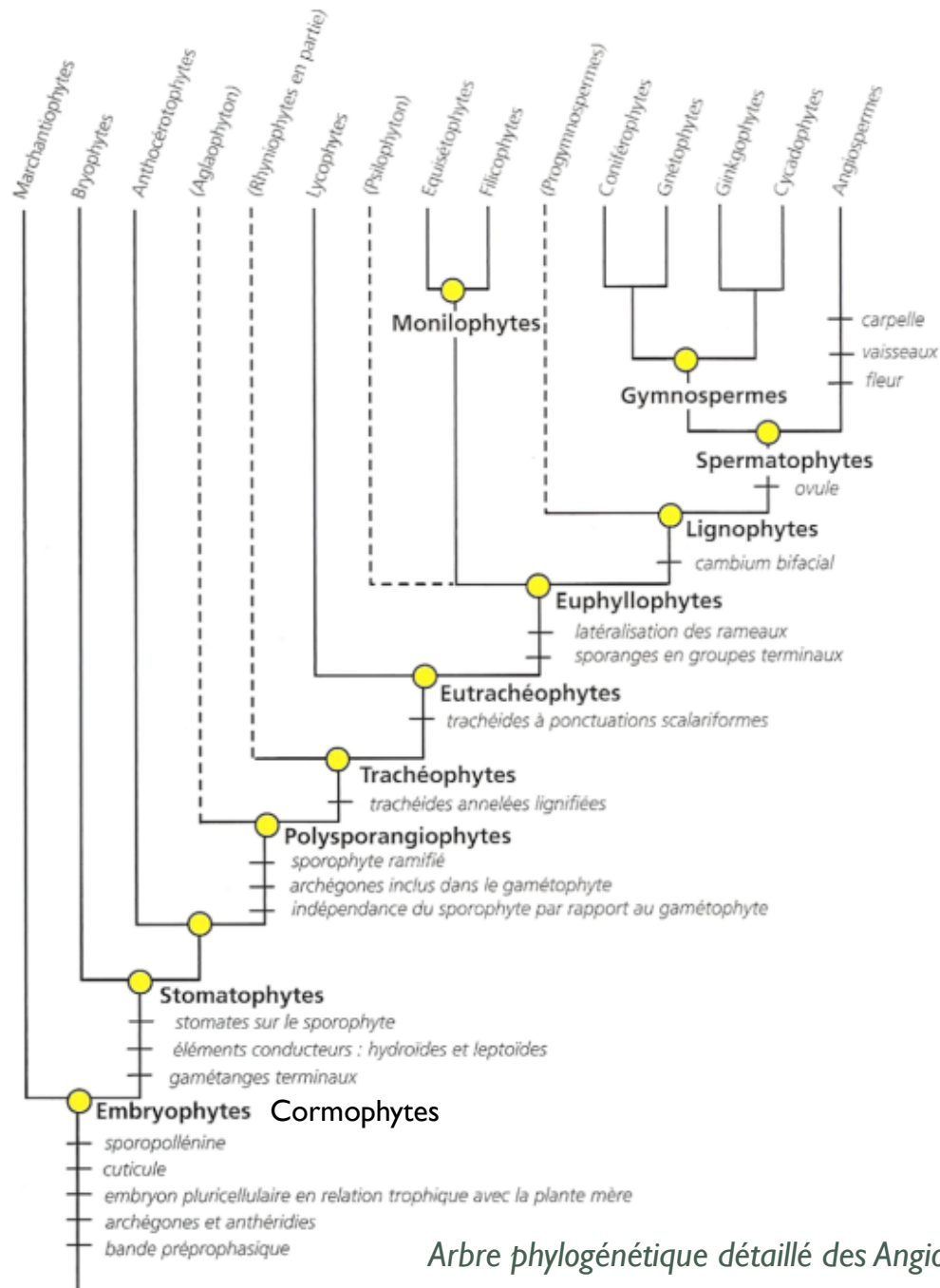
Vaisseau de Xylème (spiralé → protoxylème)



Vaisseaux du xylème (vert) conduisant la sève brute et tubes du phloème (rose) conduisant la sève élaborée



Faisceaux cribrovasculaires

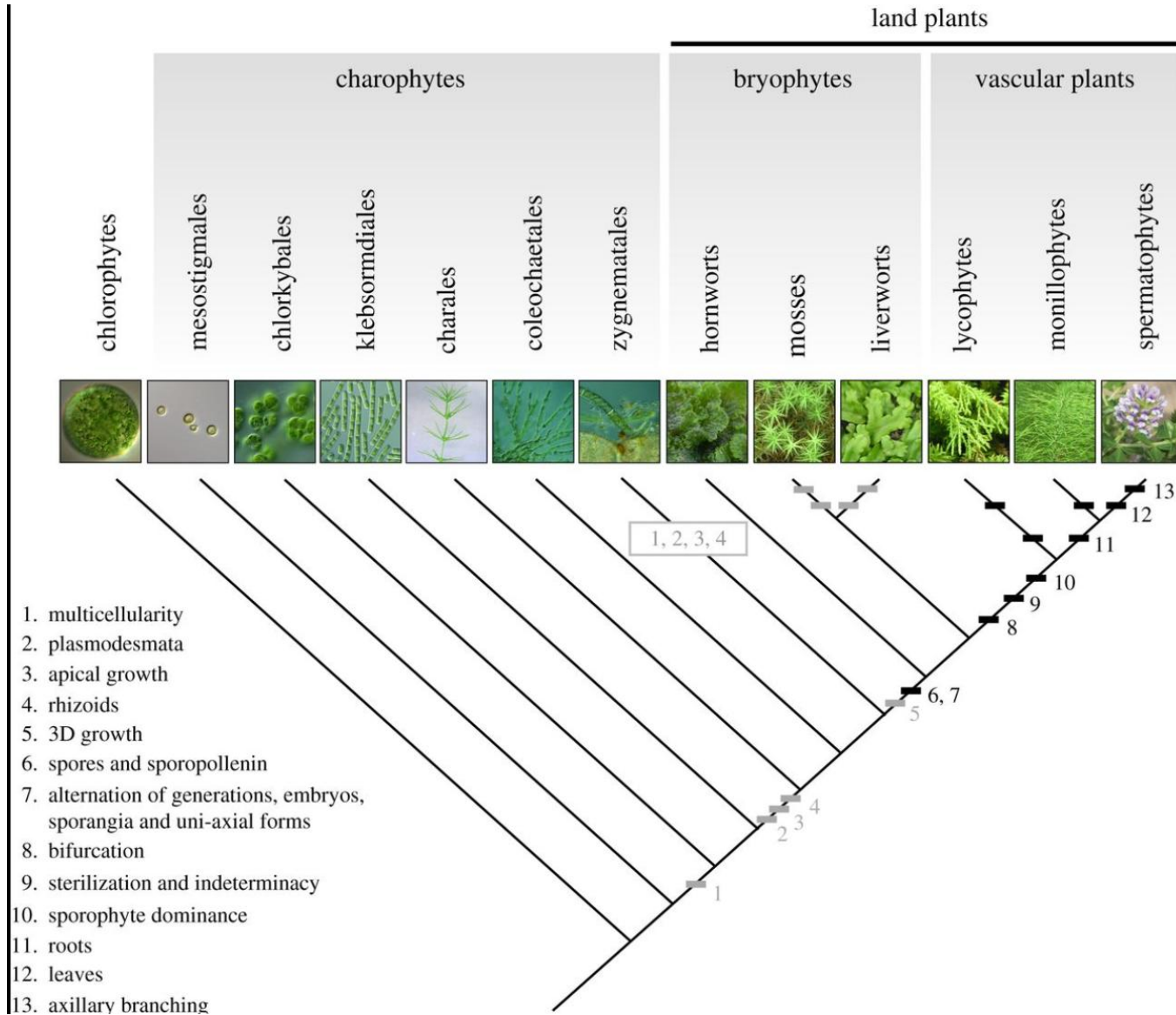


Taxon	Quelques caractères associés
Eucaryotes	- Cellules pourvues d'un noyau Cytosquelette avec des microtubules Flagelle comprenant un axonème - Présence de mitochondries et d'autres organites Condensation des chromosomes lors des divisions cellulaires
Archéoplastides = Lignée verte	Chloroplaste à deux membranes résultant d'une endosymbiose primaire - Présence de chlorophylle a
Chlorobiontes	- Réserves glucidiques sous forme d'amidon - Couleur verte des chloroplastes (pas de phycobilines, xanthophylles en faible quantité)
Embryophytes = Cormophytes = Archégoniates = Plantes terrestres	Embryon pluricellulaire se développant aux dépens de la plante-mère Cuticule protégeant les organes aériens Sporopollénine protégeant certaines structures dispersives (spores, plus tard grains de pollen) Gamétanges (archégones, anthéridies) produisant les gamètes [<i>secondairement perdus par les Spermatophytes</i>] Cormus : appareil végétatif avec la présence d'organes différenciés de type racine / feuille / tige
Trachéophytes = Plantes vasculaires	Trachéïdes (xylème) + phloème différencié Lignine, bois Vraies feuilles [Euphyllophytes : majorité des Trachéophytes] Archégones inclus dans le gamétophyte [<i>secondairement perdus chez les Spermatophytes</i>] Indépendance du sporophyte et du gamétophyte [<i>secondairement perdus chez les Spermatophytes</i>]
Spermatophytes = Spermaphytes = Phanérogames = Plantes à graines	Cambium bifacial mettant en place des tissus conducteurs secondaires Ovule dérivant en graine Grain de pollen [souvent : fécondation par siphonogamie] Perte des gamétanges (archégones, anthéridies) Perte de l'indépendance des générations
Angiospermes (Plantes à fleurs et fruits)	Fleur vraie [convergence avec les Gnétophytes] - Bois hétéroxylé : vrais vaisseaux + fibres Carpelles protégeant l'ovule [« angiosperme »] et donnant un fruit Double fécondation Cellules compagnes dans le phloème - Présence d'une tunica dans le méristème apical caulinaire

Positionnement systématique des Angiospermes (source A. Denis)

Arbre phylogénétique détaillé des Angiospermes. D'après MEYER et al. (2019)

QUELQUES INNOVATIONS ADAPTÉES AU MILIEU AÉRIEN



■ Évolution des principales structures, fonctions et des plans d'organisation chez les plantes. Les Embryophytes possèdent des caractères communs qui ont contribué à la conquête du milieu terrestre :

- **flavonoïdes** qui les protègent contre la photo-oxydation
- cuticule **cireuse** limitant la déshydratation
- spores entourées d'une paroi imprégnée de **sporopollénine** limitant la déshydratation par la transpiration ⑥
- **lignine** assurant le **port dressé** et armant les vaisseaux conducteurs
- émergence évolutive de la **phase diploïde dominante**, le **sporophyte**, et réduction progressive du gamétophyte qui s'accompagne d'une protection de plus en plus grande de la phase haploïde

A. LES FABACÉES, DES ANGIOSPERMES EUDICOTYLÉDONES

- Des **embryophytes cormophytes** : embryon.
Cormus = racine + tige + feuille
- Des **stomatophytes** : stomates.
- Des **trachéophytes** : vaisseaux conducteurs de deux types : les vaisseaux du xylème conduisant la sève brute, et les tubes du phloème conduisant la sève élaborée.
- Des **euphyllophytes** : feuilles « vraies » (réseau vasculaire).
- Des **spermatophytes** : graine
- Des **angiospermes** : fleurs, graine enfermée dans un fruit.

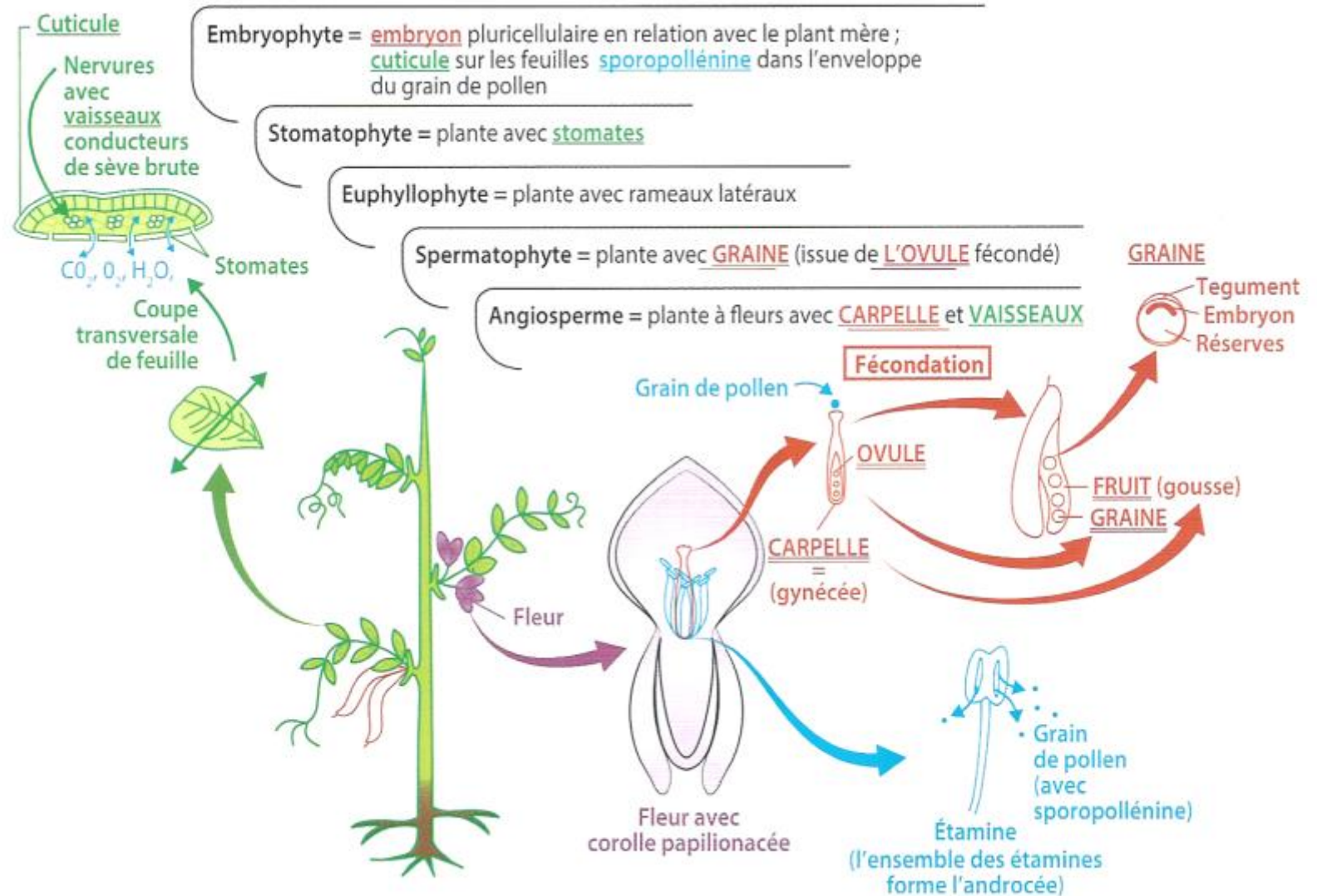


Figure les Fabacées : des angiospermes ici replacées au sein des embryophytes avec quelques caractères associés. D'après DAUTEL et al. (2021)

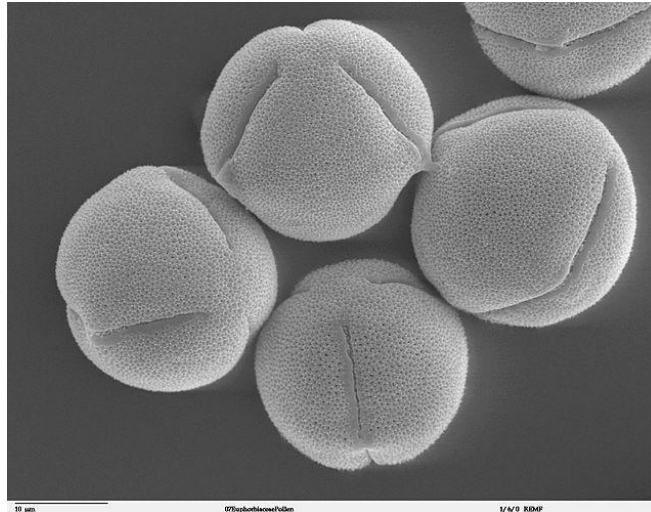
A. LES FABACÉES, DES ANGIOSPERMES EUDICOTYLÉDONES

- Angiospermes: 260 000 espèces
- Angiospermes => 2 groupes
 - Triaperturés (pollen avec 3 pores)= Eudicotylédones
 - Monoaperturés (deux sous-groupes: Monocotylédones + Dicotylédones basales)
- Fabacées = Eudicotylédones
 - Pollen triaperturé
 - Graine à deux cotylédons
 - Feuilles à nervation pennée (cf TP)

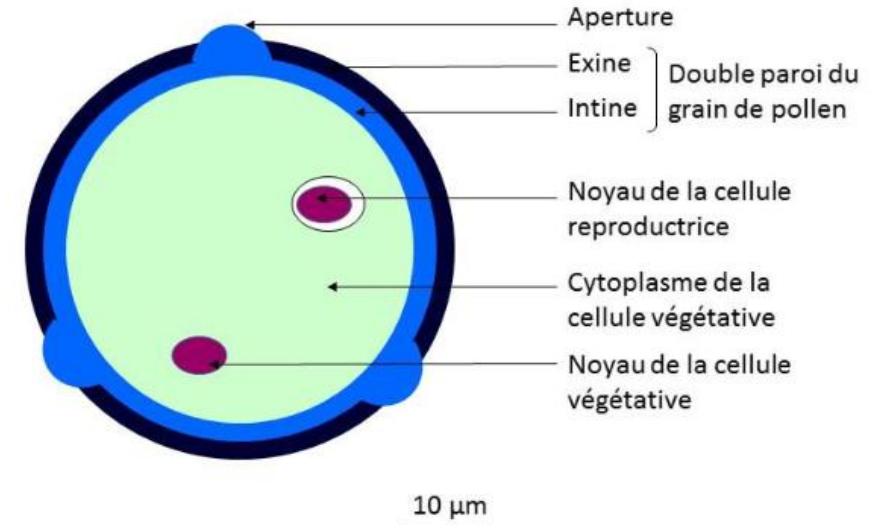
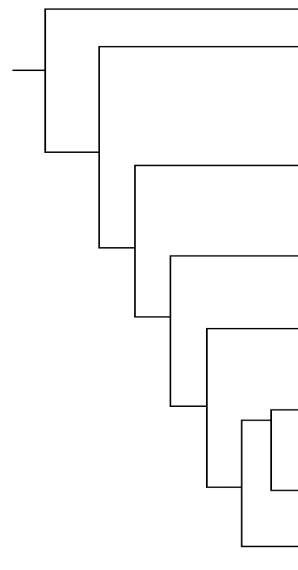


Graine de haricot ouverte sagittalement
→ deux cotylédons.

Cotylédon (n.m.): feuille primordiale constitutive de la graine, non photosynthétique mais contenant des réserves amylacées utiles pour la germination de l'embryon.



Les grains de pollen de *Ricinus communis* sont **triaperturés**.



Coupe schématique d'un grain de pollen bicellulaire
<https://theses.hal.science/tel-01282138/document>.



Eudicotylédone



Monocotylédone

EMBRYOPHYTE

Embryon aux dépens de plante

Cormus

Cuticule

sporopollénine

STOMATOPHYTE

stomates

TRACHÉOPHYTE

Vaisseaux de Xylème

Bois, lignine

EUPHYLLOPHYTE

Rameaux latéraux

SPERMATOPHYTE

Grain de pollen (siphonogamie)

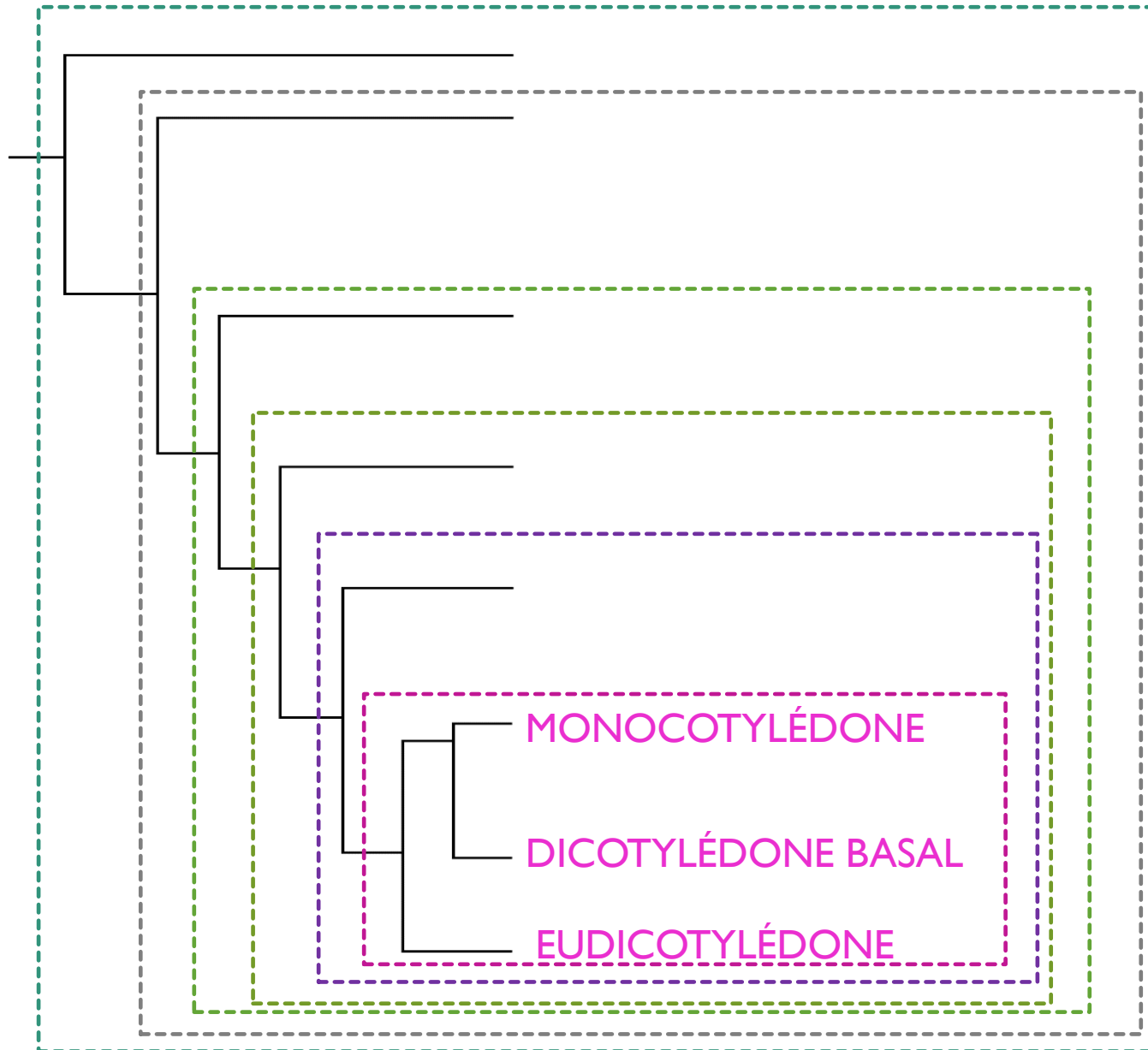
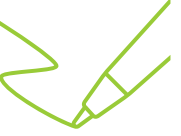
Ovule donnant graine

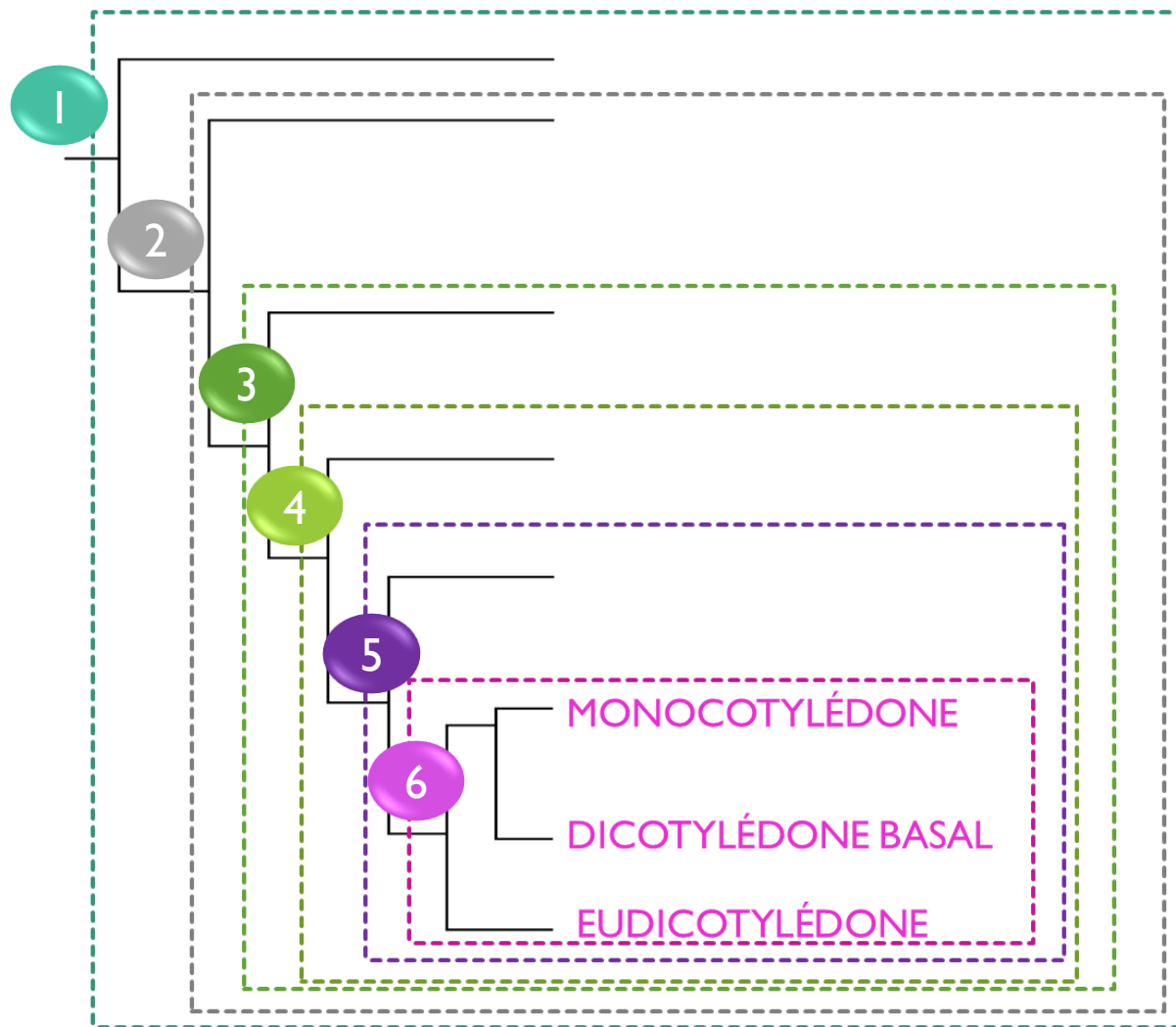
ANGIOSPERME

Fleur vraie

Carpelle donnant fruit

Double fécondation





EMBRYOPHYTE

Embryon aux dépens de plante

Cormus

Cuticule

sporopollénine

STOMATOPHYTE

stomates

TRACHÉOPHYTE

Vaisseaux de Xylème

Bois, lignine

EUPHYLLOPHYTE

Rameaux latéraux

SPERMATOPHYTE

Grain de pollen (siphonogamie)

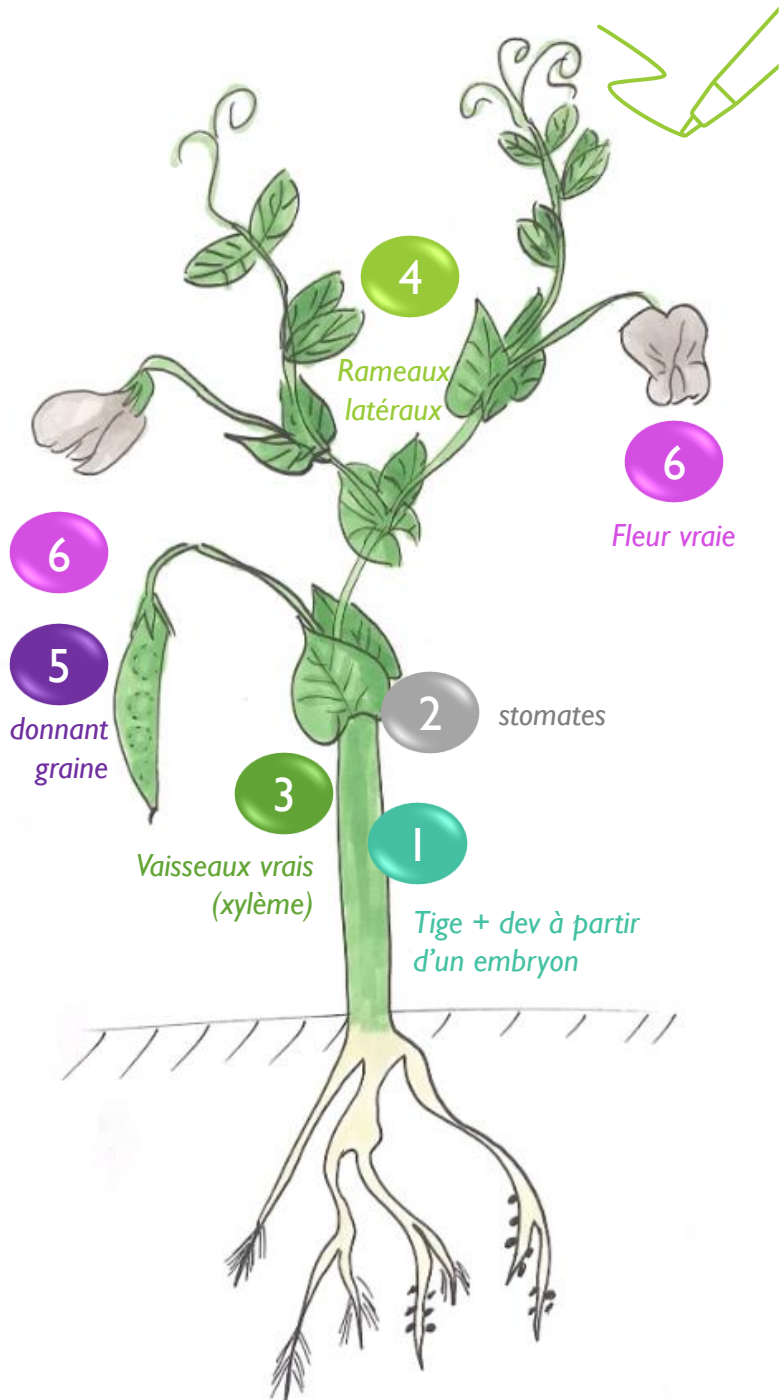
Ovule donnant graine

ANGIOSPERME

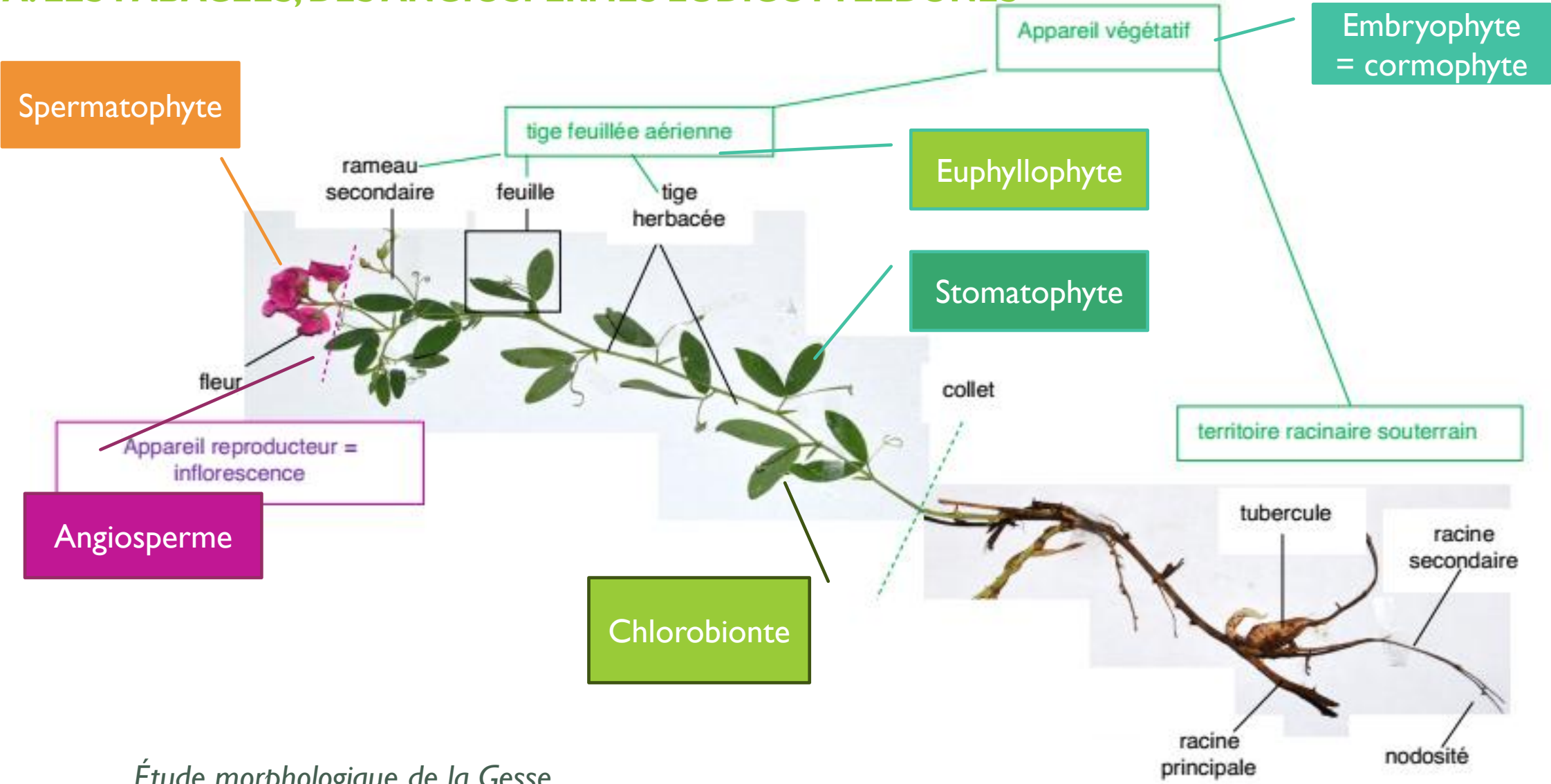
Fleur vraie

Carpelle donnant fruit

Double fécondation



A. LES FABACÉES, DES ANGIOSPERMES EUDICOTYLÉDONES



Étude morphologique de la Gesse

A. LES FABACÉES, DES ANGIOSPERMES EUDICOTYLÉDONES

Validation d'acquis sur l'identification de fabacées

The screenshot shows a mobile application interface for identifying Fabaceae. The title 'Phylogénie des fabacées' is at the top. On the left, under 'QUELQUES CARACTÈRES À RETENIR', there is a list of characteristics: Embryophytes= Cormophytes : embryon. Cormus = racine + tige + feuille; Stomatophytes : stomates; Trachéophytes : vaisseaux de Xylème conducteurs de sève brute; Euphyllophytes : feuilles « vraies » (réseau vasculaire); Spermatophytes : graine issue de l'ovule fécondé; Angiospermes : fleurs, graine enfermée dans un fruit. On the right, a box titled 'Retrouver l'ordre des taxons afin de retracer la phylogénie des Fabacées' contains a list of taxonomic levels: Trachéophytes, Stomatophytes, Euphyllophyte, and Embryophytes. A 'validation d'acquis' icon is visible in the bottom right corner of the app interface.

Phylogénie des fabacées

QUELQUES CARACTÈRES À RETENIR

- Embryophytes= Cormophytes : embryon. Cormus = racine + tige + feuille
- Stomatophytes : stomates
- Trachéophytes : vaisseaux de Xylème conducteurs de sève brute
- Euphyllophytes : feuilles « vraies » (réseau vasculaire).
- Spermatophytes : graine issue de l'ovule fécondé
- Angiospermes : fleurs, graine enfermée dans un fruit.

Retrouver l'ordre des taxons afin de retracer la phylogénie des Fabacées

- Trachéophytes
- Stomatophytes
- Euphyllophyte
- Embryophytes

validation d'acquis

 validation d'acquis SV-A-2 I. Phylogénie & II. Fonctions de relation

B. CARACTÉRISTIQUES ET DIVERSITÉ DES FABACÉES



Germes de soja



Gousse de petit pois



Fleur de pois de senteur



Cassoulet du Sud-Ouest



Nodosités racinaires

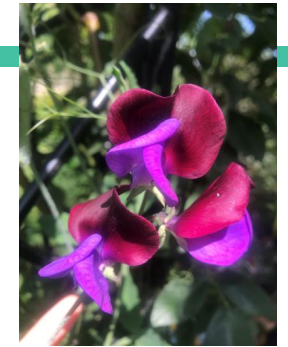
Thigmotropisme de haricot sur du maïs



Météorisation d'une chèvre trop gourmande en trèfle

- **Appareil végétatif:**
 - Racine → Symbiose = Nodosité → météorisation
 - Feuille composée → folioles
 - Vrilles → thigmotropisme
- **Appareil reproducteur**
 - Péricarpe: Corolle → papilionacée zygomorphe
 - Carpelle unique pluriovulé
 - Ovaire → gousse = légume
 - Grain de pollen triaperturé → eudicotylédone

B. CARACTÉRISTIQUES ET DIVERSITÉ DES FABACÉES



Appareil végétatif

racine

tige

feuille

Symbiose avec la bactérie du genre *Rhizobium*, nodosité et fixation du N_2 atmosphérique
⇒ « légumineuse »

Feuille composée, plrs folioles, vrilles



Appareil reproducteur
= $\sum \text{fleurs}$ =
inflorescence

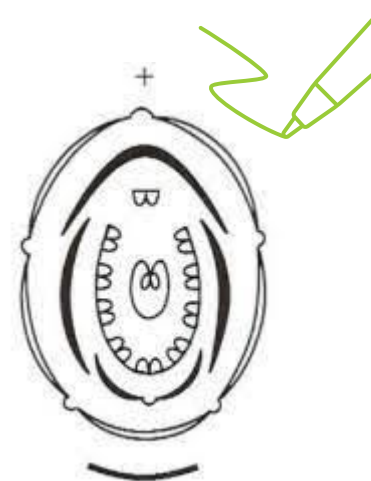
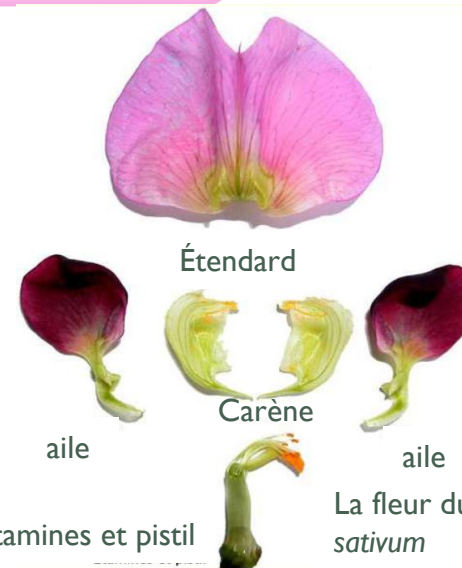
Périclanthe=
5 sépales + 5 pétales

Androcée=
(9+1) E

Gynécée=
1 C

5 pétales = 1 étendard + 2 ailes + 1 carène (2P)
⇒ Zygomorphe

hermaphrodite



Dissection florale

http://www.ac-corse.fr/SVT/ress_ped/pois/fleur.htm

Diagramme floral

Parce que les fabacées sont cultivées partout dans le monde,
Il était important de les étudier



Les acides aminés essentiels (AAE)

- Principale **source végétale** d'AAE : dans les **graines** (en particulier les graines **protéagineuses**).
- **Proportions** des différents **AA variables** selon les familles de plantes → AA limitant

L'expérience a conduit les sociétés traditionnelles (aux régimes pauvres en viande) à **combiner**, dans leur alimentation, des graines de **céréales** et de **légumineuses** aux propriétés complémentaires :

- ✓ Céréales (= Poacées) : Lys⁻ Met⁺
Ex : blé, riz, maïs
- ✓ Légumineuses (= Fabacées) : Lys⁺ Met⁻
Ex : haricot, lentilles, soja

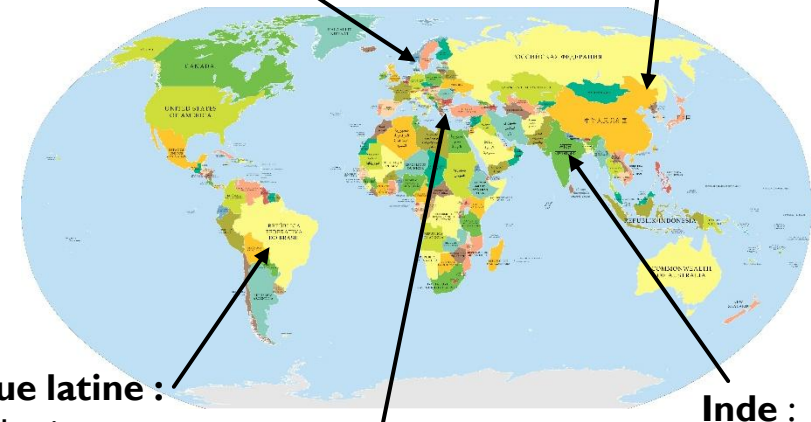
- Les principales **sources animales** d'AAE sont les chaires (viandes et poisson), les œufs et le lait



Europe du nord :
avoine/pois



Chine :
riz/soja



Amérique latine :
maïs/haricot



Méditerranée :
blé/pois chiche



Inde :
riz/lentilles



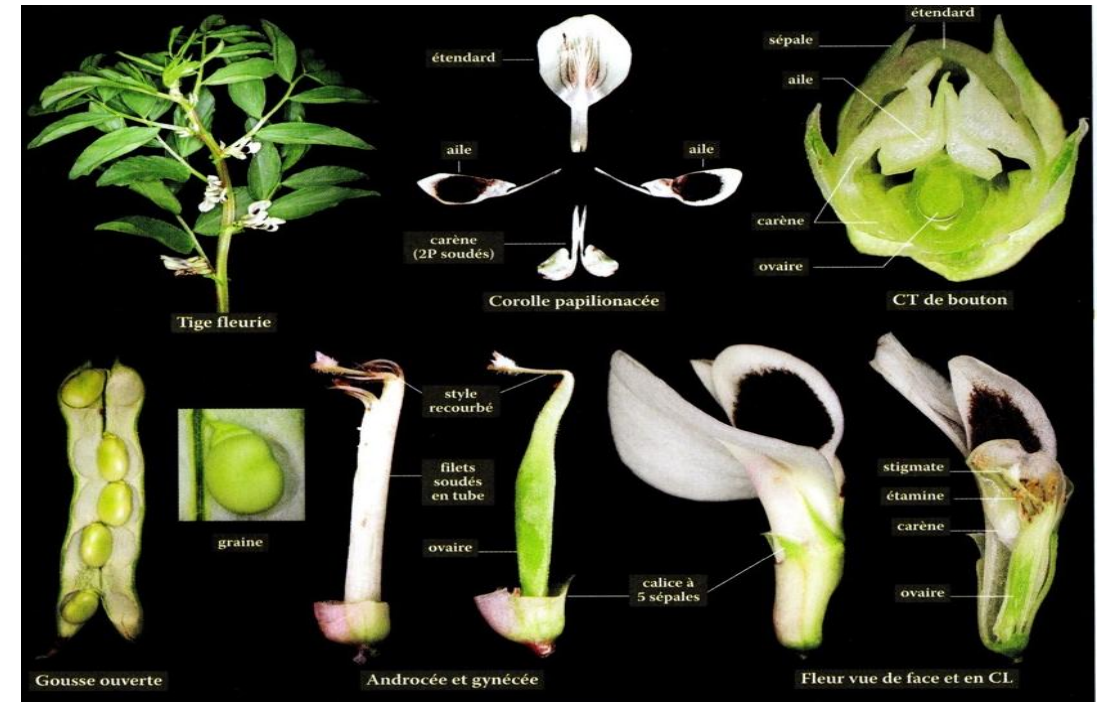
Associations céréales/légumineuses dans l'alimentation humaine traditionnelle (pauvre en viande)

B. CARACTÉRISTIQUES ET DIVERSITÉ DES FABACÉES

- **Fleur** → hermaphrodite (75% des Angiospermes) → diagramme floral + formule florale
 - **Corolle papilionacée zygomorphe** avec étendard dorsal, 2 ailes, une carène
 - ✓ *Corolle parfumée (nectaires), pétales colorés* → **entomogamie**
- **Feuille** à limbe découpé **feuille composée**
 - Base foliaire souvent **stipulée**, voire épine (ajonc)
 - **Folioles** terminales transformées en **vrilles** → **thigmotropisme** compétition vers lumière en limitant allocations des ressources
- **Racine** → **nodosités** → relation **symbiotique** avec bactéries fixatrices d'azote.
 - Intérêt agronomique (richesse en protéines, engrais vert)



- **Appareil végétatif:**
 - Racine → **Symbiose = Nodosité** → météorisation
 - Feuille composée → folioles
 - Vrilles → thigmotropisme
- **Appareil reproducteur**
 - **Périanthe: Corolle** → papilionacée zygomorphe
 - **Carpelle unique pluriovulé**
 - **Ovaire** → gousse = légume
 - **Grain de pollen triaperturé** → eudicotylédone



B. CARACTÉRISTIQUES ET DIVERSITÉ DES FABACÉES

Organisation caractéristique de la **fleur** :

- **Périanthe** = **calice** (5 sépales soudés protégeant fleur → gamosépalie) + **corolle**: 5 pétales +/- libres (dialypétalie) : 1 **étendard**, 2 **ailes**, 1 **carène** (2 pétales soudés)
- **Corolle papilionacée zygomorphe**
- **Corolle colorée, parfumée**, sécrétant du nectar (nectaires) pollinisation **entomogame** (hyménoptère, diptère, lépidoptère)
- **Androcée** = 10 étamines dont 9 soudées et 1 libre
- **Gynécée** = un unique carpelle (ovaire supère) contenant plusieurs ovules → **Gousse** = fruit sec déhiscent
- Formule florale: (5)S 1+2+(2) P (10)E 1C



Androcée: 10 étamines dont 9 soudées + style visible → fleur hermaphrodite



Après fécondation, l'ovaire évolue en fruit, ici une gousse avec 6 graines dérivées des ovules (unique carpelle mais plrs ovules)



Corolle typique en forme de papillon: 1 étendard, 2 ailes et une carène (fusion de 2 pétales)

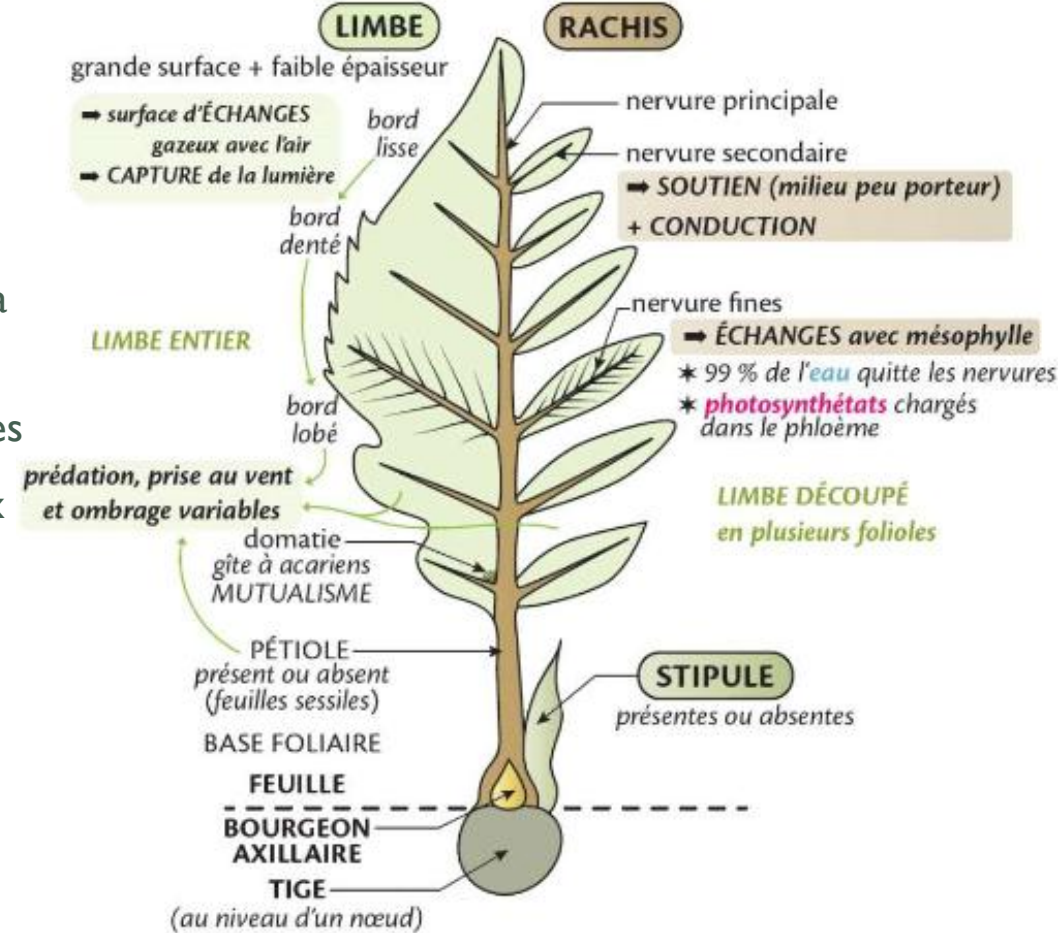


Appareil vexillaire adapté à la pollinisation entomophile

B. CARACTÉRISTIQUES ET DIVERSITÉ DES FABACÉES

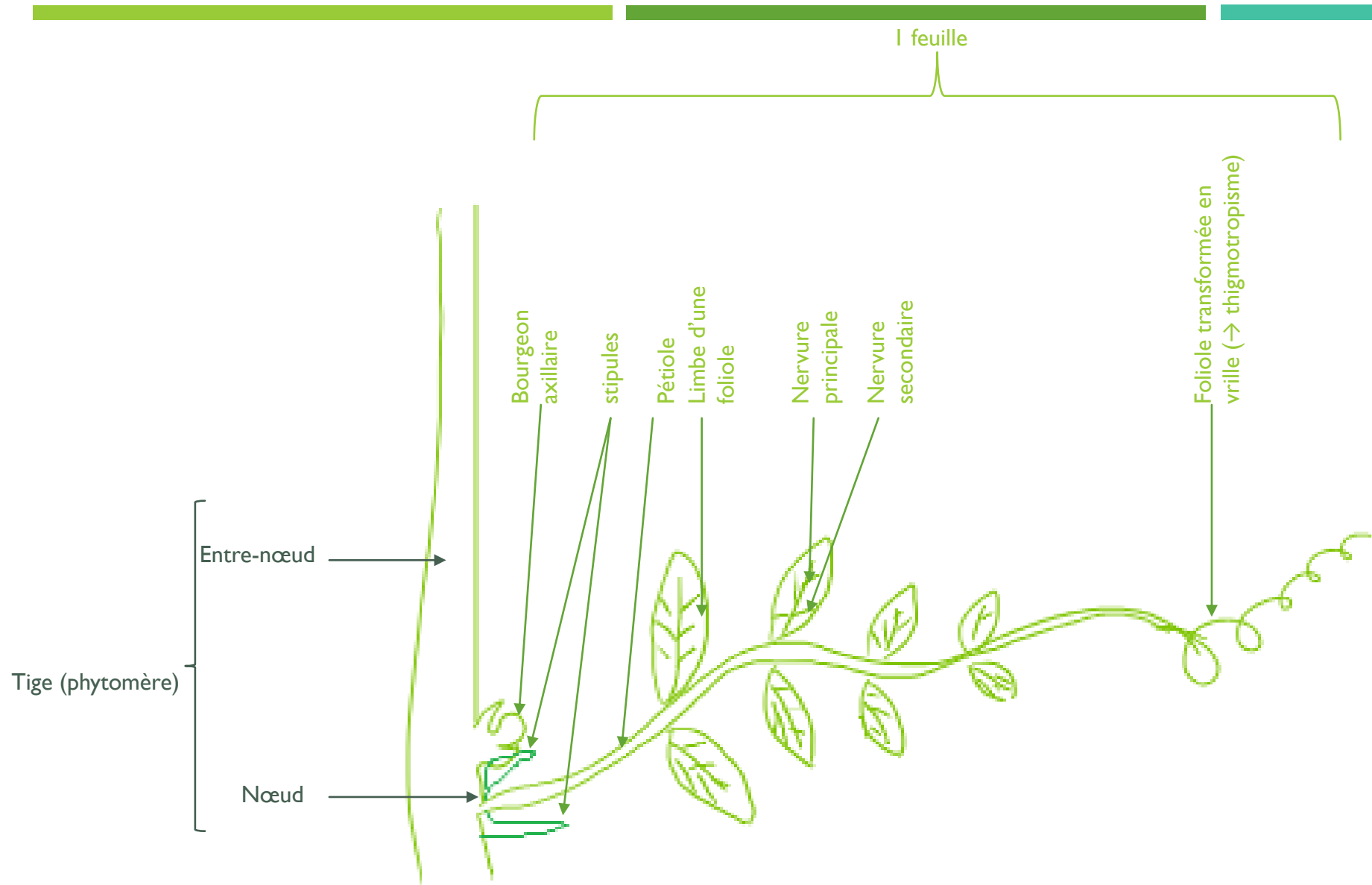


- Une feuille à **limbe découpé** (limbe=surface photosynthétique) → **feuille composée**
 - **Folioles** parfois transformées en **vrilles** → **thigmotropisme** → compétition vers la lumière et limite des dépenses énergétiques dans la synthèse de tissus de soutien
- **Pétiole** prolongé par **des nervures ramifiées** (type penné) Dicotylédones
- **Stipules** à la base de la feuille parfois transformées en épines (robinier faux acacia, ajonc très vulnérant).



Caractéristiques de la feuille de fabacée (source A. Denis)

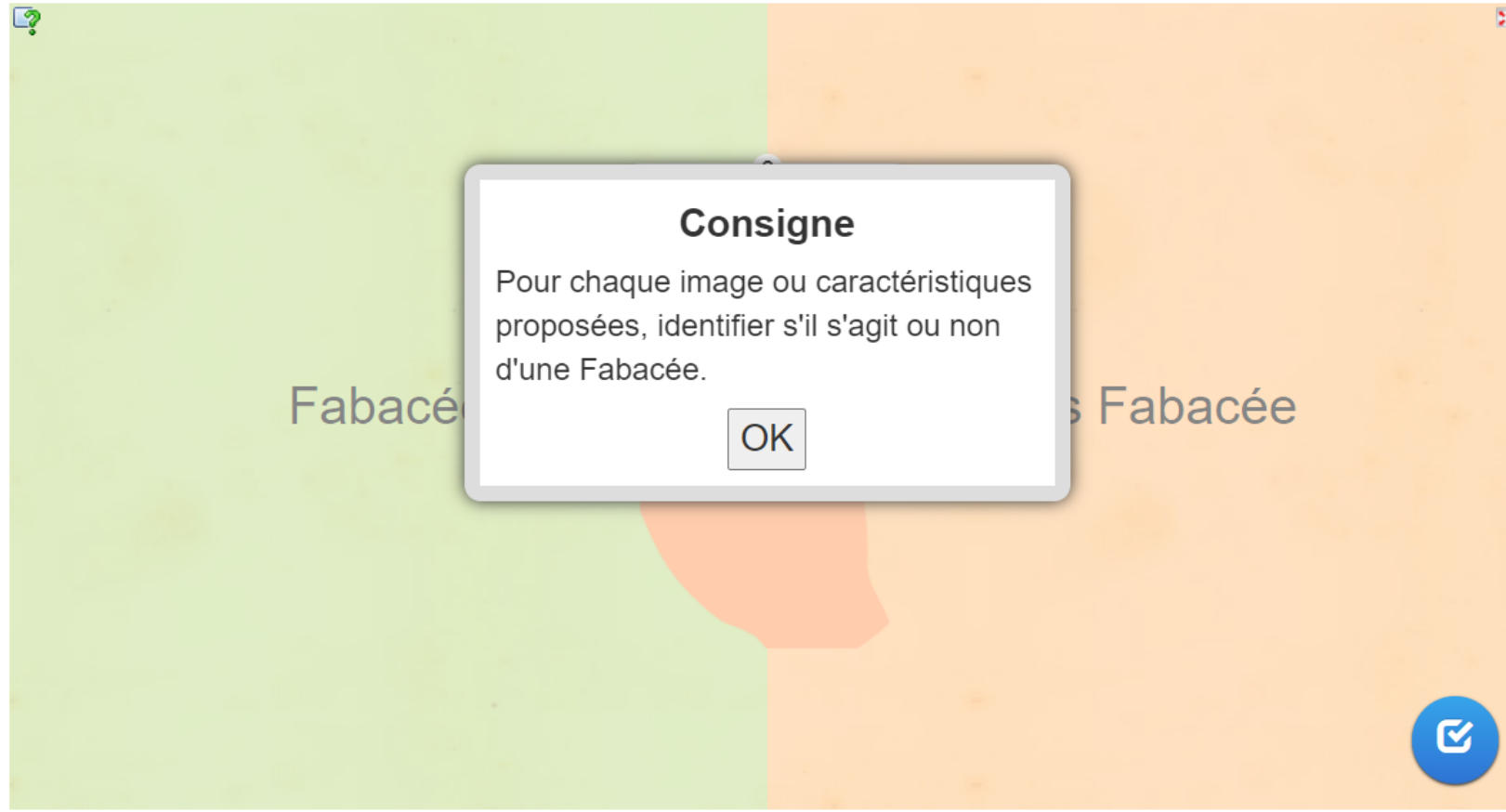
Feuilles composées (trèfle blanc), avec des vrilles (Gesse), des épines stipulaires (robinier faux acacia)



Caractéristiques de la feuille de Fabacée

B. CARACTÉRISTIQUES ET DIVERSITÉ DES FABACÉES

Validation d'acquis sur l'identification florale de fabacées



B. CARACTÉRISTIQUES ET DIVERSITÉ DES FABACÉES

Symbiose: association durable, intime, spécifique de deux espèces à bénéfice réciproque

- La plupart des Fabacées établissent une relation **symbiotique** avec des bactéries fixatrices d'azote. Ces bactéries s'implantent dans la racine, où elles forment des **nodosités**, et transforment le **diazote atmosphérique** en ions ammoniums NH_4^+ utilisables par la plante.



Nodosités sur l'appareil racinaire d'une Luzerne (ci-dessus) Coupe longitudinale de nodosité (ci-contre)

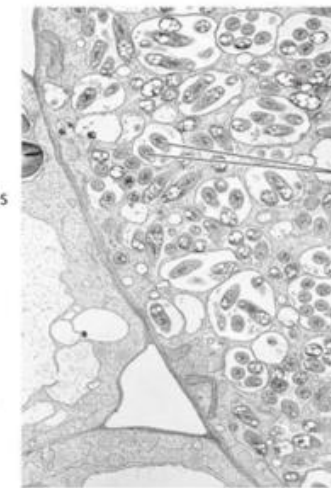


La leg
hémoglobine est
un pigment
rouge (Fe), fixant
 $\text{O}_2 \rightarrow$ protection
de la
nitrogénase

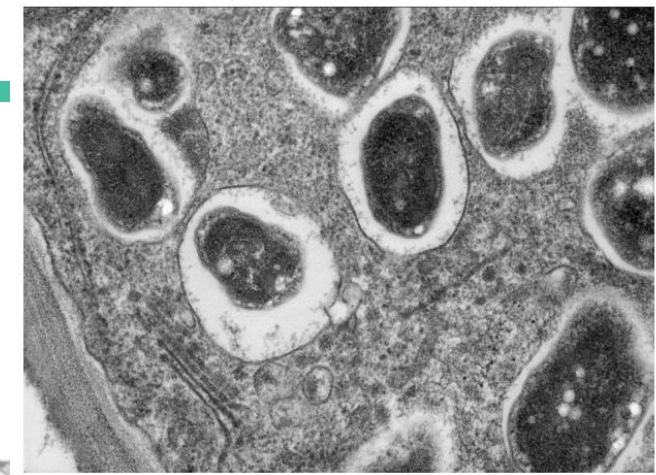


(a) Racines de soja (*Glycine max*). Les renflements qu'on voit sur ces racines de soja sont des nodosités qui contiennent des bactéries du genre *Rhizobium*. Ces bactéries fixent l'azote et se nourrissent des molécules organiques que fabrique la plante pendant la photosynthèse.

Nodosités
Racines



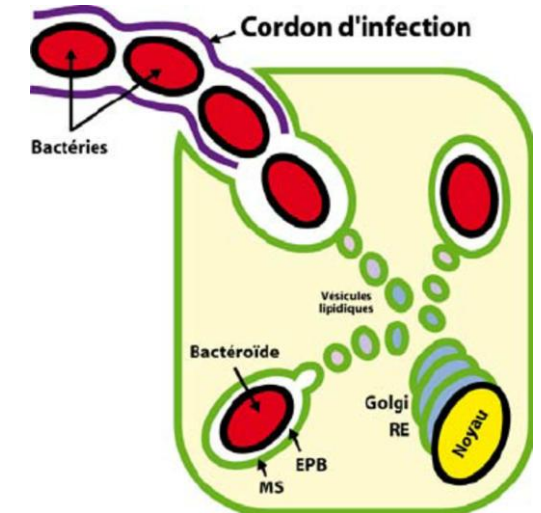
(b) Bactéroïdes d'une nodosité de racine de soja. Dans cette micrographie, on peut observer de nombreux bactéroïdes dans une cellule d'une nodosité racinaire du soja (MET). Les cellules de gauche ne sont pas infectées.



Electronographie (MET) d'une coupe de nodosité de racine de glycine, avec bactéroïdes de *Bradyrhizobium japonicum*
http://svt.ac-dijon.fr/IMG/pdf/ppt_interactions_plantes-mo.pdf

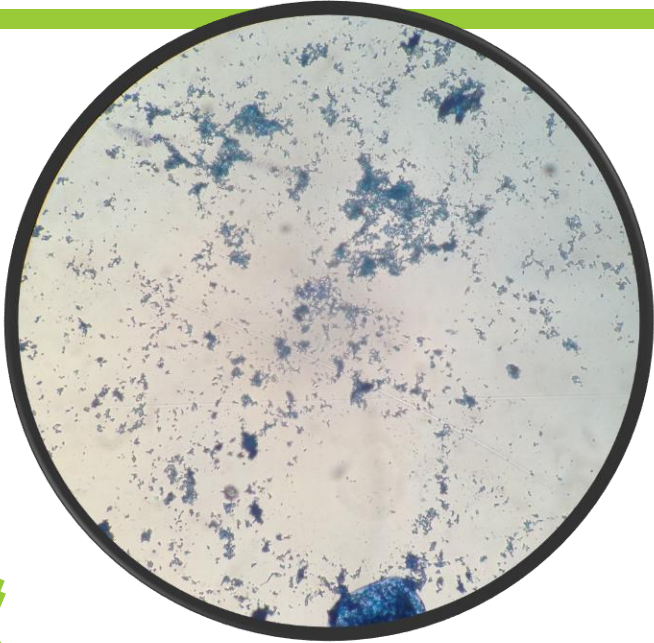
d'une légumineuse. Les activités coordonnées des Légumineuses et des bactéries du genre *Rhizobium* dépendent de stimulus chimiques entre les partenaires mutualistes.

? En quoi l'association entre les Légumineuses et les bactéries du genre *Rhizobium* est-elle mutualiste?



Infection intracellulaire et différenciation du symbiosome chez les Légumineuses Les bactéries sont déversées dans la cellule végétale par fusion des vésicules lipidiques avec l'extrémité du cordon d'infection. La différenciation en bactéroïdes commence alors. EPB, espace pér bactéroidien ; MS, membrane du symbiosome ; RE, réticulum endoplasmique. D'après Patriarca et al., 2004.

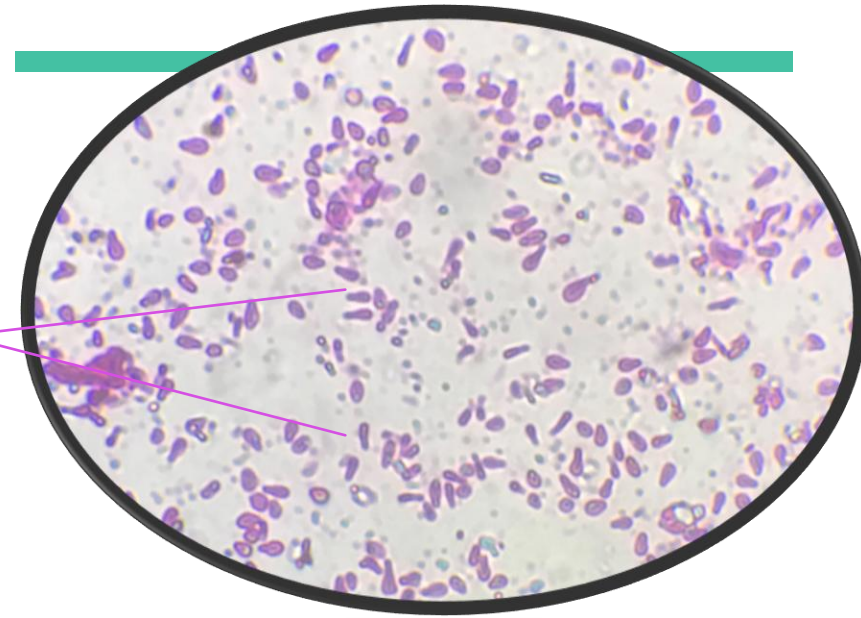
B. CARACTÉRISTIQUES ET DIVERSITÉ DES FABACÉES



X600 + bleu de méthylène

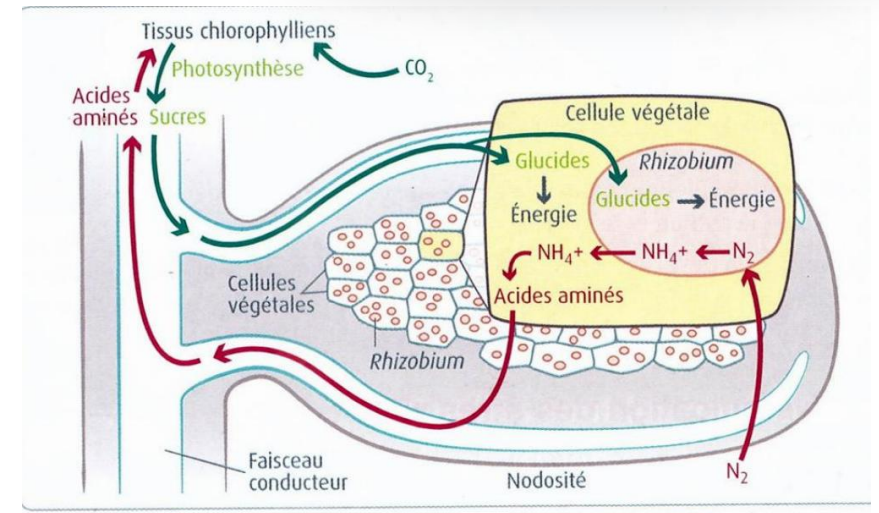


Bactéroïdes
(Rhizobium Gram -)

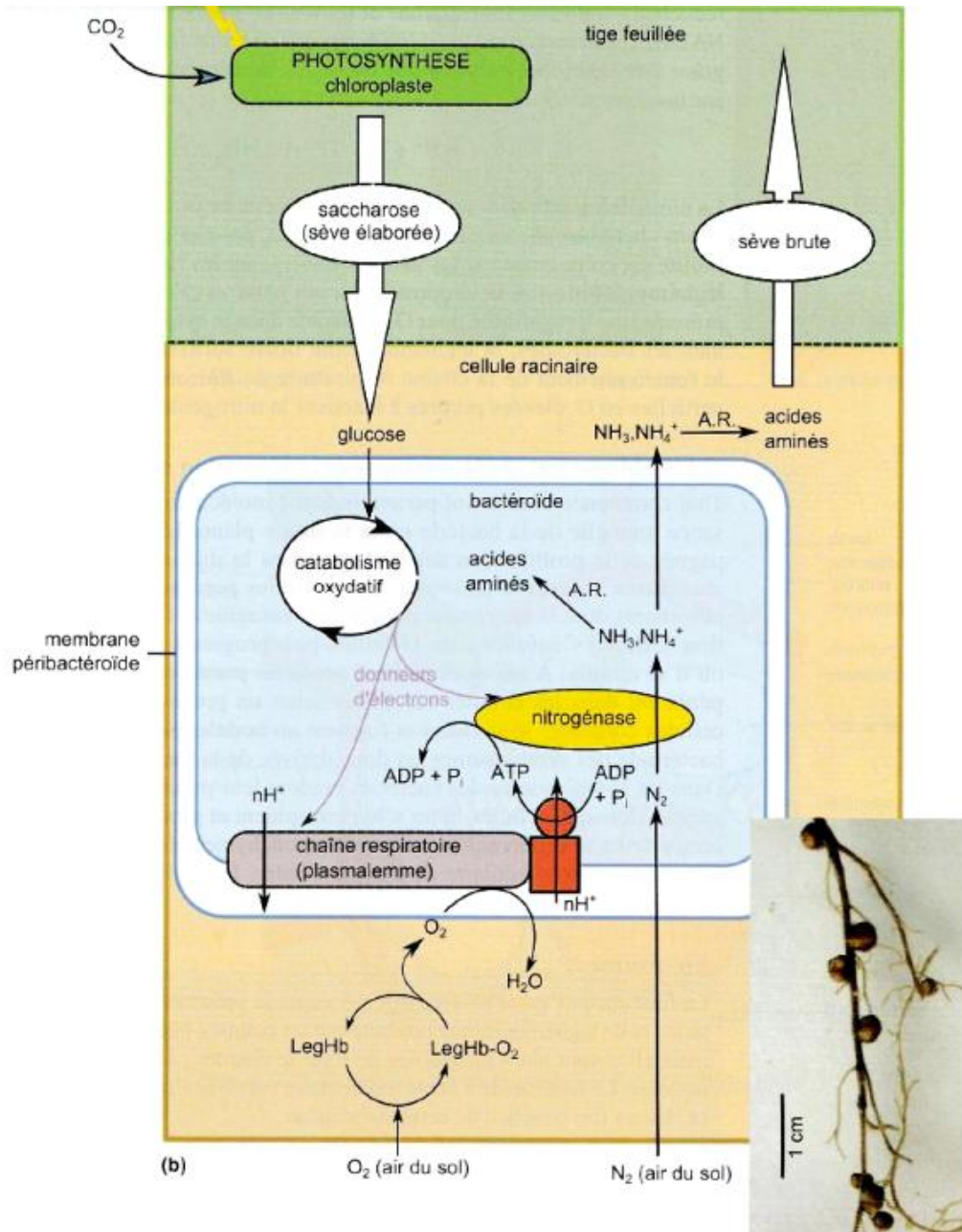


X1000 + huile à immersion + coloration Gram -
(S. Dalaine Promo 2025)

- La plante apporte protection et énergie sous forme de photosynthétats (saccharose) aux bactéries
- Les **bactéries** fixent le **N₂ atmosphérique (phase gazeuse du sol)** et le réduisent en **NH₄⁺** directement incorporé par la cellule végétale racinaire en acides aminés → la fabacée s'enrichit en protéines
- Autre source d'N pour plante: **NO₃⁻ présent dans sol** et absorbé par racines



B. CARACTÉRISTIQUES ET DIVERSITÉ DES FABACÉES



Nitrogénase



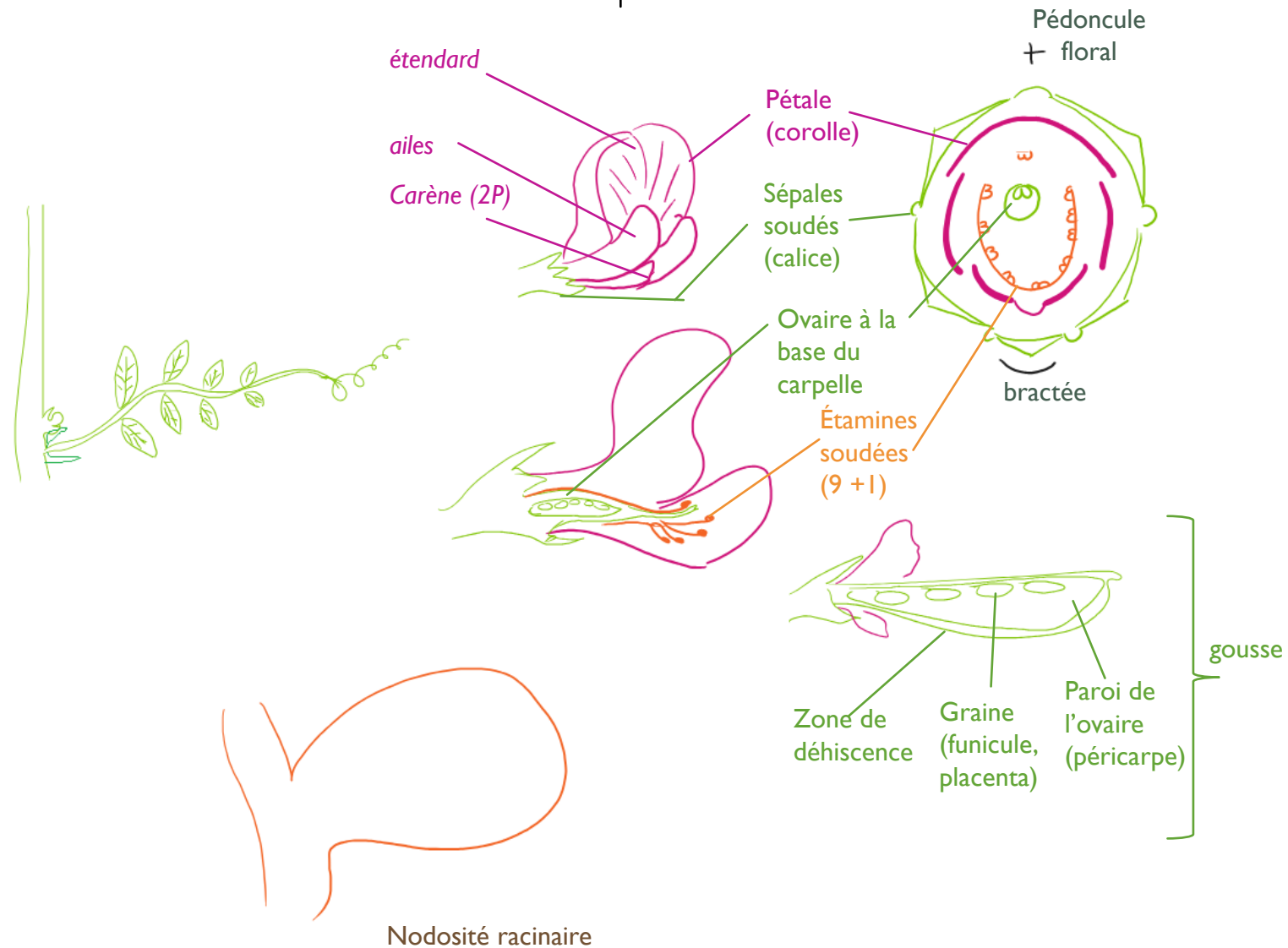
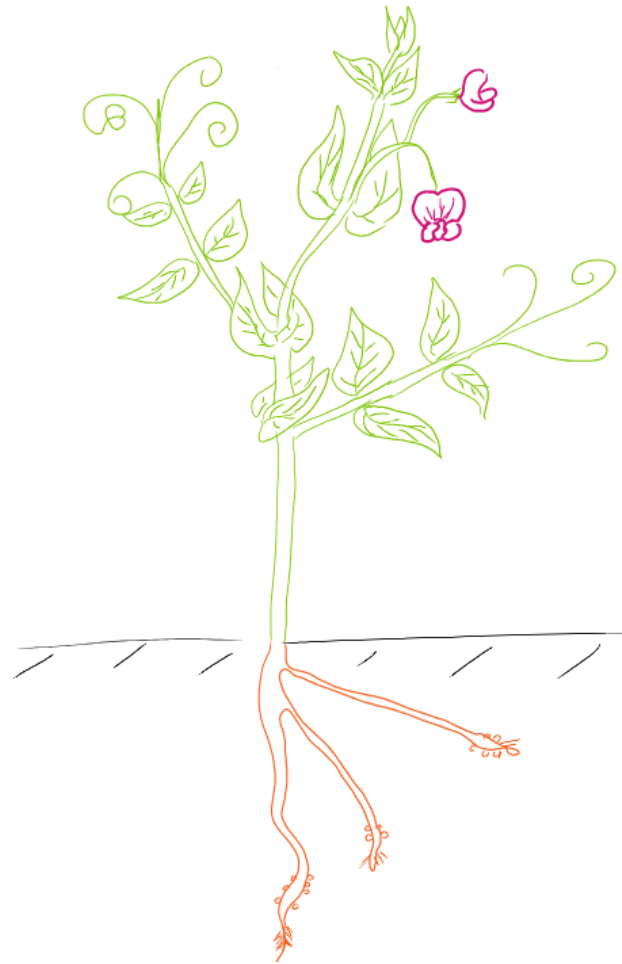
- Au pH cellulaire (~ 7), ammoniac NH₃ devient ammonium NH₄⁺.
- NH₄⁺ acide
 - ne peut être distribuée directement aux cellules
 - rendue inerte par fixation sur acides aminés (dans chloroplastes) distribués aux plantes via la SB

La nitrogénase est rapidement inactivée en présence de O₂, or Rhizobium hétérotrophe au C nécessite O₂ et saccharose de plante pour produire ATP à forte [] nécessaire à la réduction du N₂.

- ⇒ Plante synthétise la legHb à forte affinité pour O₂
- ⇒ limite inhibition de la nitrogénase par O₂
- ⇒ Rhizobium contente
- ⇒ Fabacée très contente

B. CARACTÉRISTIQUES ET DIVERSITÉ DES FABACÉES

Formule florale: $\text{♂} \text{♀} (5)S \quad 1+2+(2)P \quad (9)+1E \quad \underline{IC}$



PLAN

I. Les Fabacées, un groupe d'angiospermes dans la classification phylogénétique

- A. Les Fabacées, des Angiospermes Dicotylédones
- B. Caractéristiques et diversité des Fabacées

II. Les fonctions de relation : les Fabacées interagissent avec les composantes de leur écosystème

- A. Exemple d'un écosystème de fabacée : la prairie pâturée, un agrosystème
- B. Les Fabacées interagissent avec les autres êtres vivants de leur écosystème
- C. Le cycle de vie des Fabacées est contrôlé par les conditions abiotiques du milieu
- D. La croissance des fabacées est contrôlée par les conditions abiotiques du milieu

III. Les fonctions de nutrition : les fabacées sont des organismes photosynthétiques fixés à l'interface sol-atmosphère

- A. Les racines, lieu d'absorption d'eau et d'ions minéraux
- B. Les feuilles, organes de la photosynthèse
- C. Des tissus assurant les connexions entre organes sources et organes puits

IV. Les fonctions de reproduction : les fabacées produisent une descendance génétiquement différente et disséminée dans le milieu

- A. La fleur des Fabacées, organe de la reproduction
- B. De la fleur au fruit et de l'ovule à la graine : fécondation et transformation de l'appareil reproducteur
- C. Une reproduction maîtrisée par l'homme : sélection, domestication, exploitation

II. LES FONCTIONS DE RELATION : LES FABACÉES INTERAGISSENT AVEC LES COMPOSANTES DE LEUR ÉCOSYSTÈME

A. EXEMPLE D'UN ÉCOSYSTÈME DE FABACÉE : LA PRAIRIE PÂTURÉE, UN AGROSYSTÈME

I. CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉCOSYSTÈME PRAIRIE PÂTURÉE



La prairie est un milieu **ouvert** sur le ciel; il est donc facile d'y chasser



- Ecosystème = espace délimité et caractérisé par **biotope + biocénose**
- Ecosystème prairial = **espace ouvert**, végétation basse et majoritairement **herbacée** (très peu d'espèces arborescentes et arbustives).
- Prairie maintenue **ouverte** car :
 - conditions **abiotiques** (température, humidité, nature du sol...) => absence de croissance des espèces arborescentes = prairie « naturelle » ou sauvage.
Ex: des steppes, pelouses calcaires.
 - Sous nos latitudes, prairie → **naturellement vers un écosystème forestier**
 - ✓ *Mais maintien par implantation de mammifères brouteurs (vache, mouton ...)*
 - ✓ *Maintien par fauchage pluriannuel*



L'écosystème prairial: végétation basse, herbacée, écosystème ouvert



Poacées et deux Fabacées (trèfle et lotier)



Fourrage: plante servant à nourriture du bétail



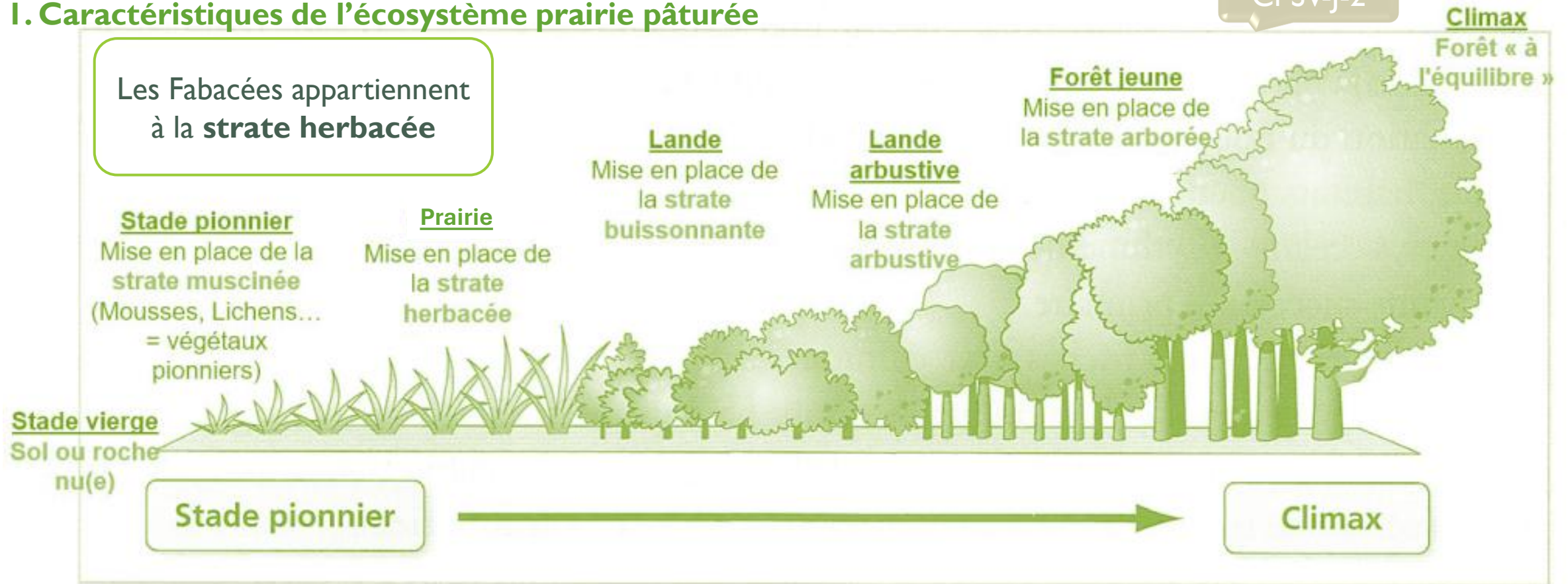
Les fabacées de la prairie:

- Gesse
- Vesce
- Lotier
- Trèfle des prés

A. UN EXEMPLE D'UN ÉCOSYSTÈME DE FABACÉES: LA PRAIRIE PÂTURÉE

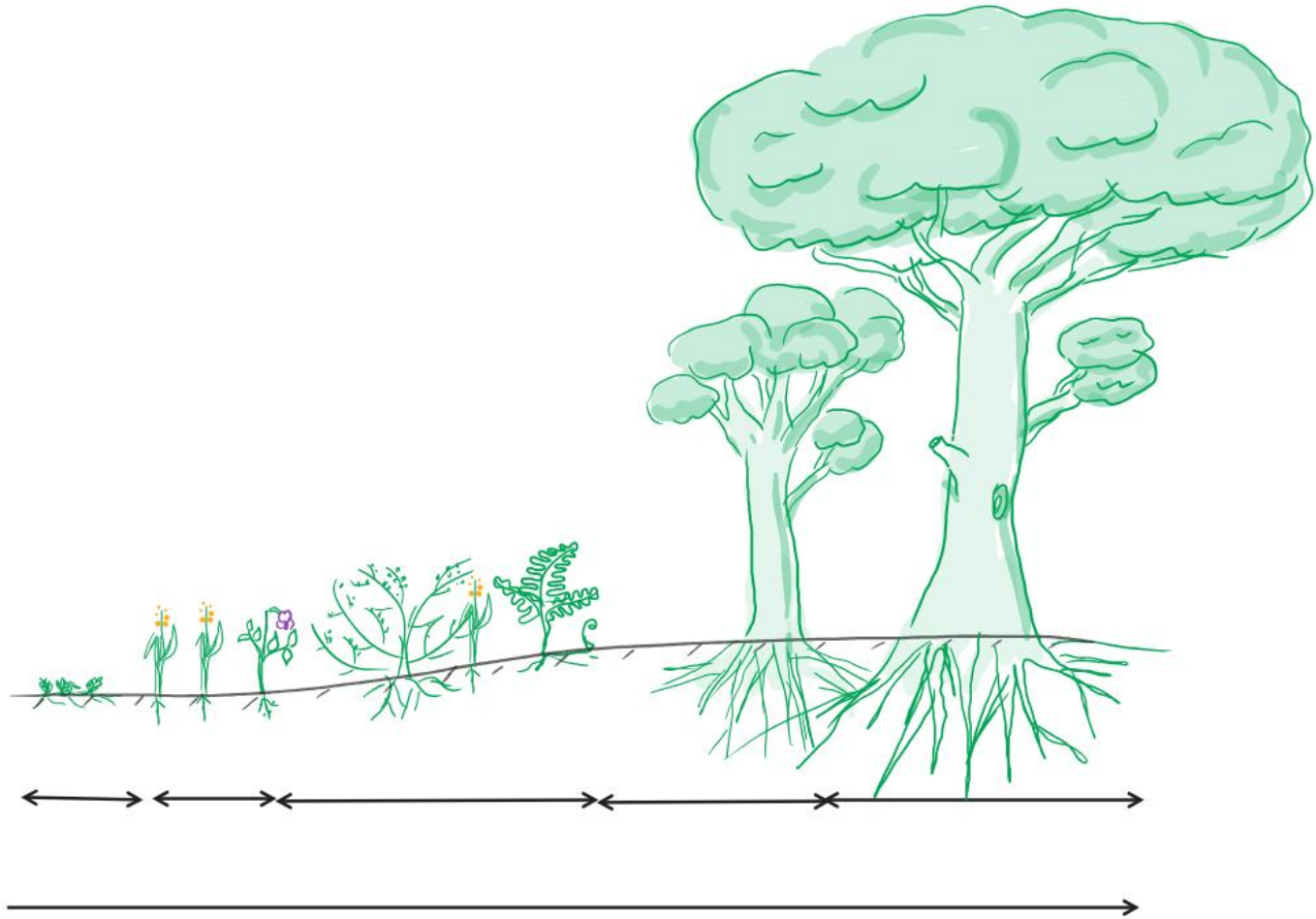
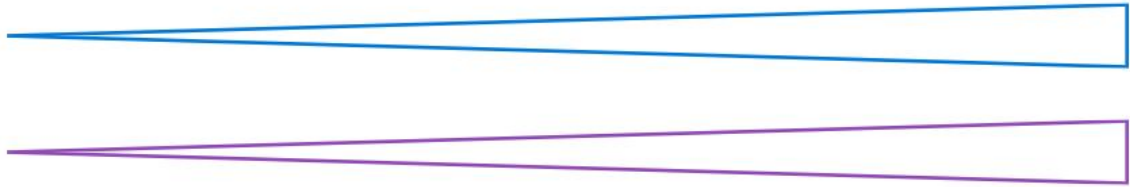
I. Caractéristiques de l'écosystème prairie pâturée

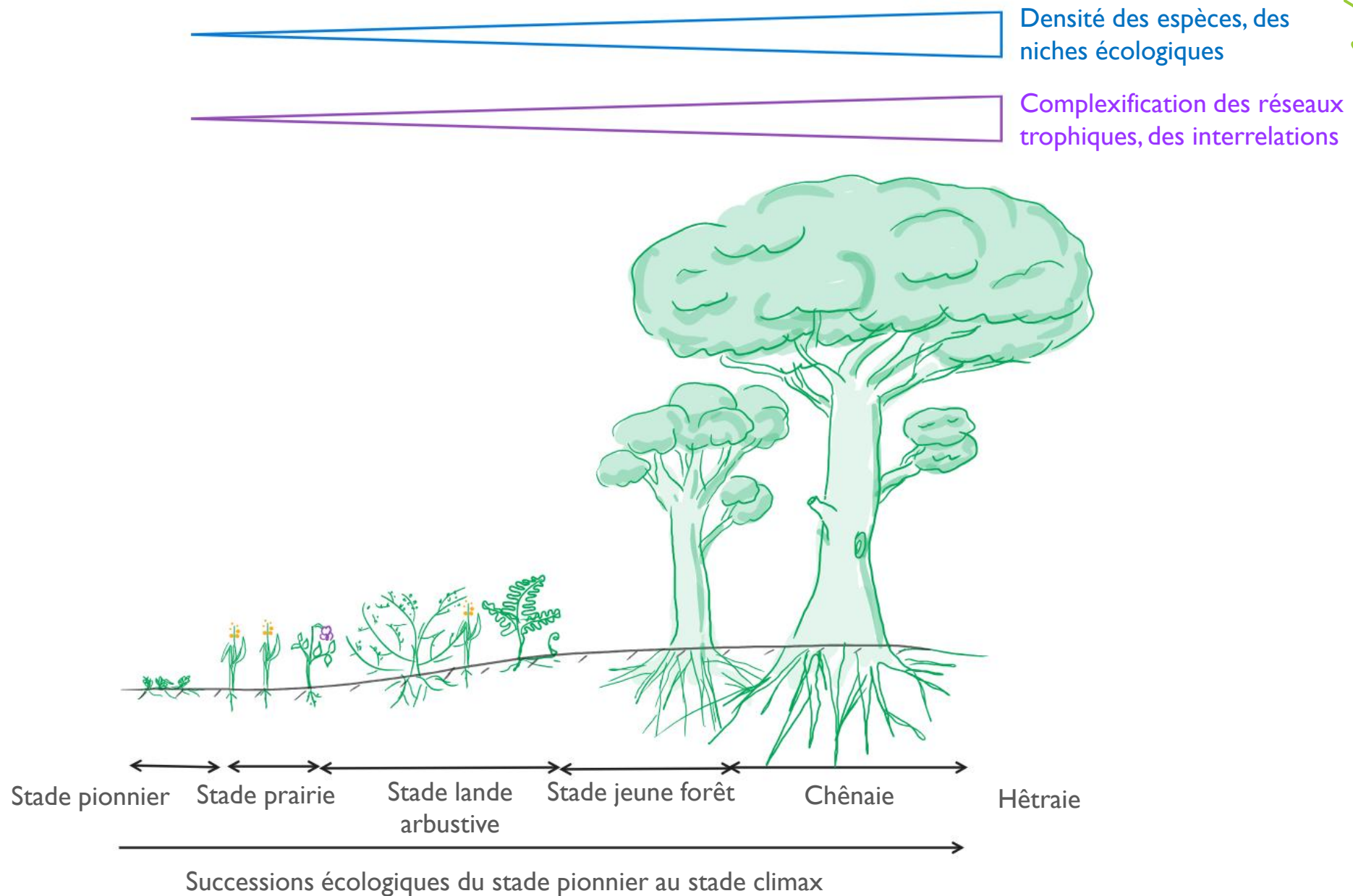
Cf SV-J-2



Successions écologiques spontanées des biocénoses

- Prairie: **stade intermédiaire** dans les **successions écologiques**
- **Milieu** maintenu **ouvert** par les **facteurs biotiques et abiotiques**





A. UN EXEMPLE D'UN ÉCOSYSTÈME DE FABACÉES: LA PRAIRIE PÂTURÉE

I. Caractéristiques de l'écosystème prairie pâturée

Maintien de la prairie par des facteurs **biotiques**: mammifères **brouteurs**, fauche

engrais

brouteur

Fauche
avec balle
de foin

Maintien de la prairie par des facteurs **abiotiques**: climat **froid et sec**; sol **calcaire**



Steppe = biome qui se compose d'un territoire plat de prairie avec végétation herbacée, typique des climats extrêmes et des précipitations rares.; également associée à un désert froid, pour faire la différence avec les déserts torrides et d'autres régions désertiques. Cf ici steppe de Patagonie



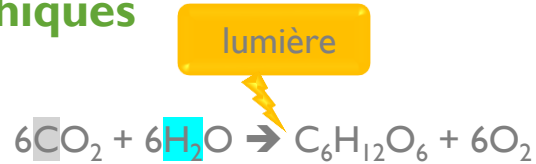
Pelouse sèche de l'aire protégée de Chelin (Valais)(source Wikipédia): richesse en poacées, pas en fabacées → fabacées en prairie pâturée et peu naturelle.



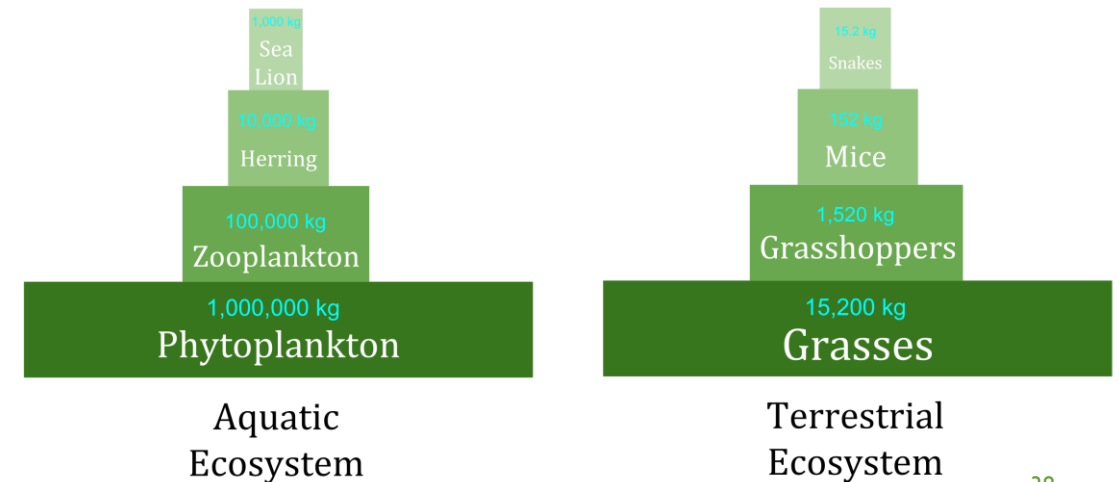
A. UN EXEMPLE D'UN ÉCOSYSTÈME DE FABACÉES: LA PRAIRIE PÂTURÉE

2. Place des fabacées au sein de l'écosystème : des producteurs primaires à la base des réseaux trophiques

Rappels Photosynthèse

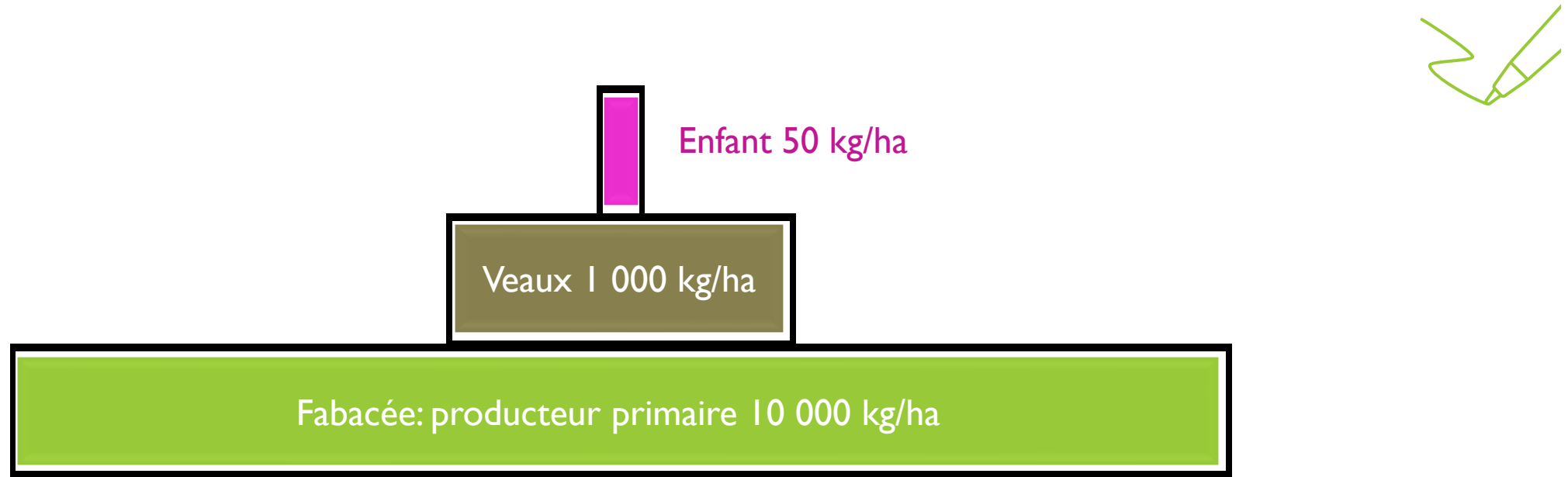


- Les fabacées = végétaux = **autotrophes au carbone et à l'azote**
 - **phototrophes** : l'énergie lumineuse qui permet la synthèse de matière organique
 - Photolithotrophes: source minérale d'électrons
 - Photolithoautotrophes (pour C, N, P, ...): synthèse de sa propre matière organique
 - **Réseau trophique**: producteur primaire → consommateur primaire (phytophage) → consommateur secondaire (zoophage)...
- ⇒ replacer les fabacées à la base d'un réseau trophique
- ⇒ Construire des pyramides écologiques.
- ⇒ Interactions interspécifiques entre les Fabacées et d'autres organismes peuplant l'écosystème.

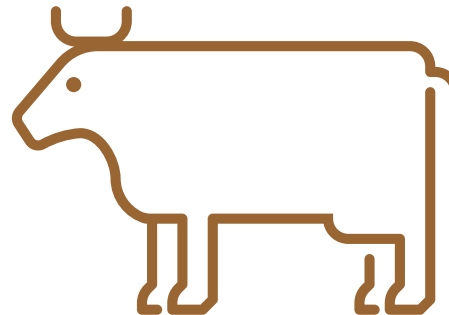
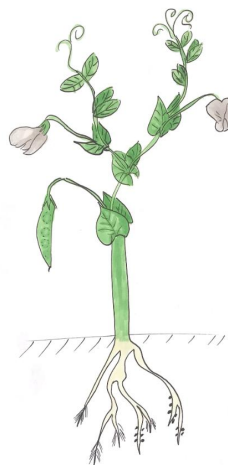


A. UN EXEMPLE D'UN ÉCOSYSTÈME DE FABACÉES: LA PRAIRIE PÂTURÉE

2. Place des fabacées au sein de l'écosystème : des producteurs primaires à la base des réseaux trophiques



Pyramide écologique d'une prairie avec des Fabacées

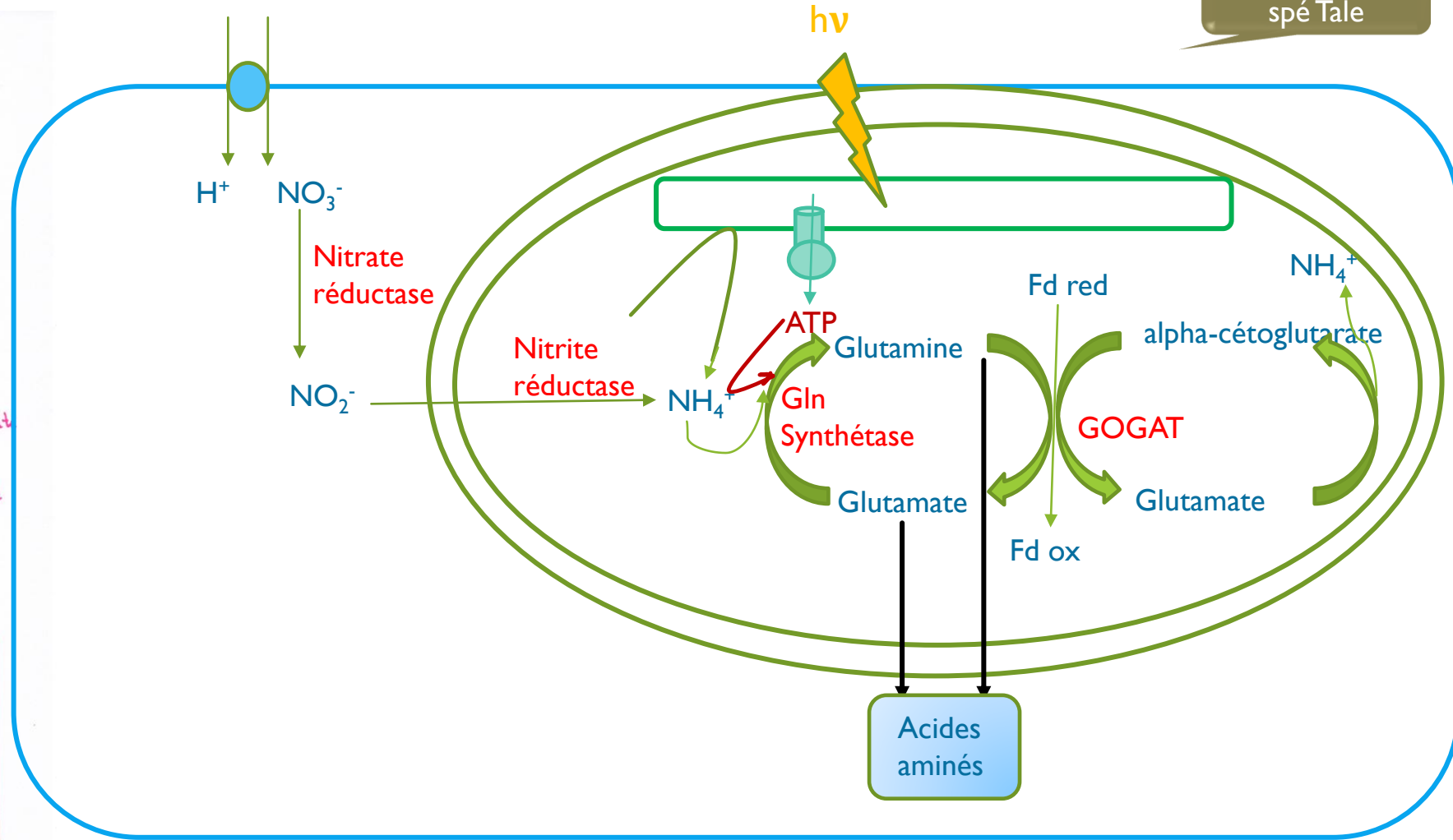
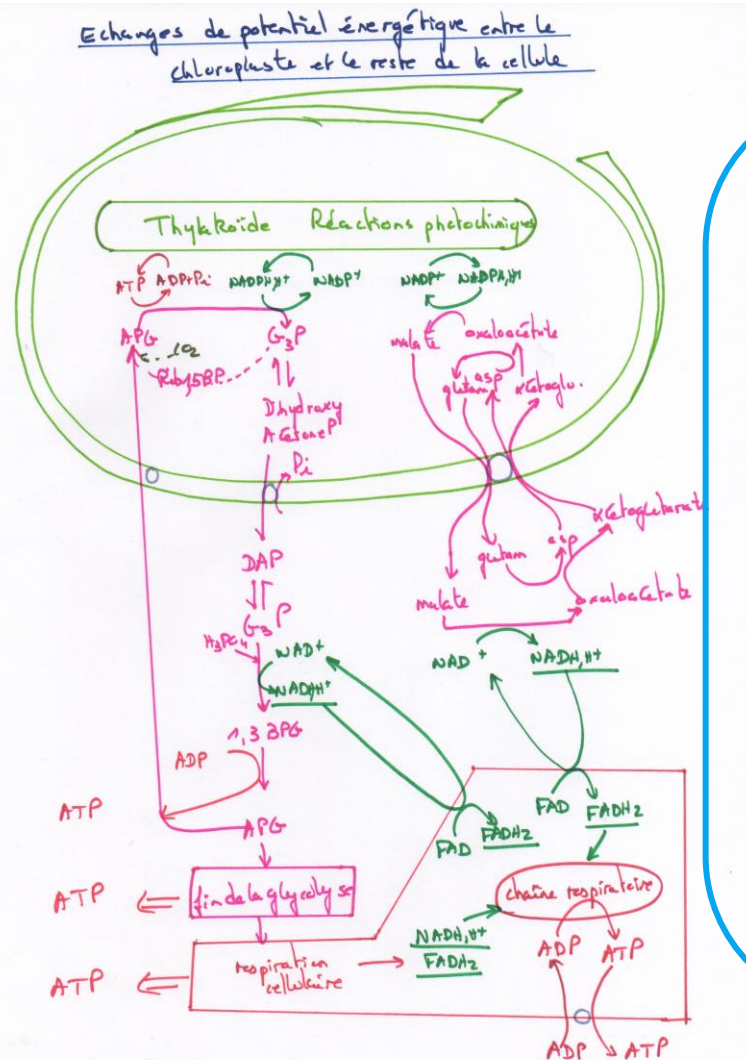


Réseau trophique

A. UN EXEMPLE D'UN ÉCOSYSTÈME DE FABACÉES: LA PRAIRIE PÂTURÉE

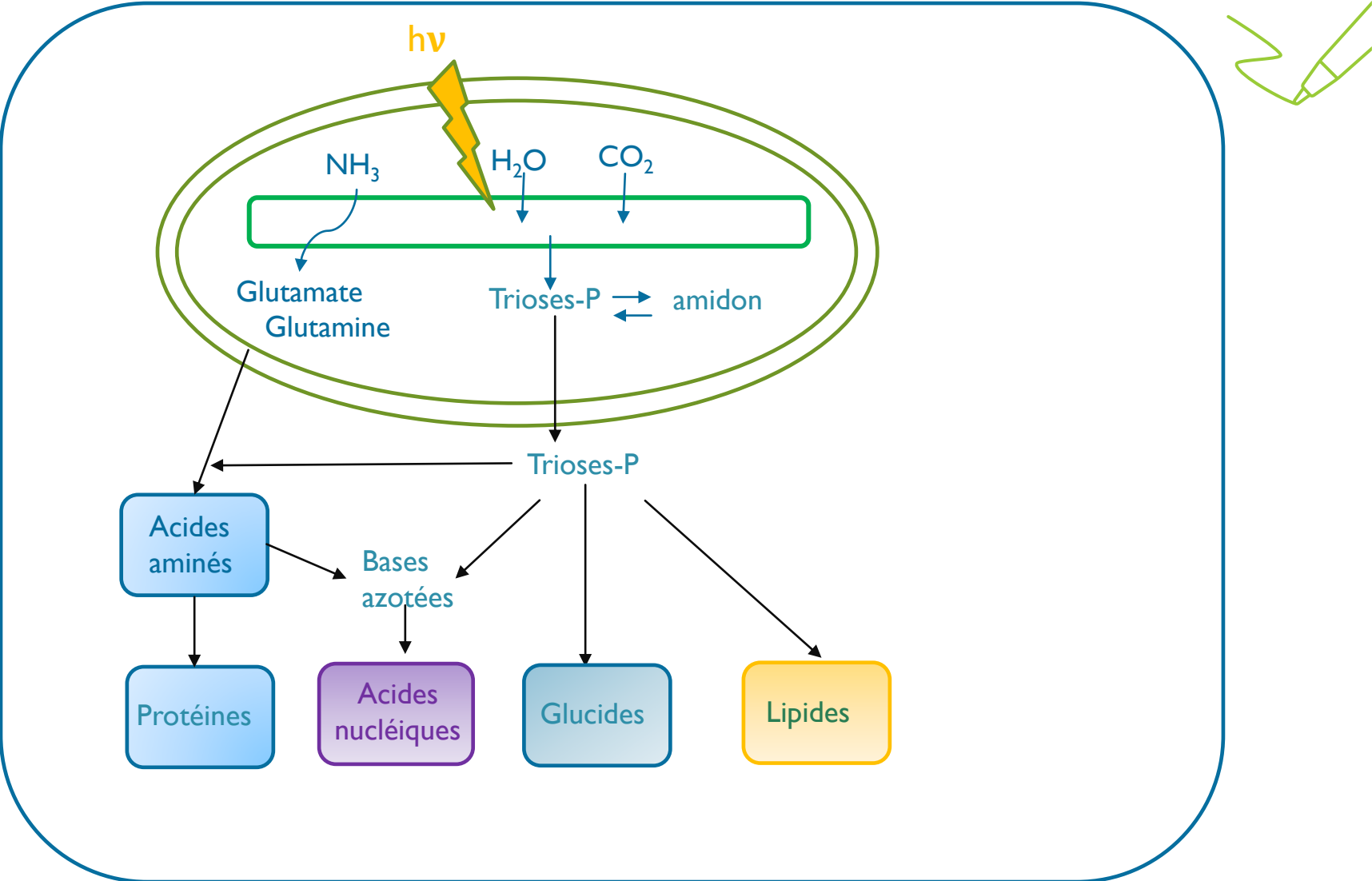
2. Place des fabacées au sein de l'écosystème : des producteurs primaires à la base des réseaux trophiques

Rappels lycée
spé Tale



A. UN EXEMPLE D'UN ÉCOSYSTÈME DE FABACÉES: LA PRAIRIE PÂTURÉE

2. Place des fabacées au sein de l'écosystème : des producteurs primaires à la base des réseaux trophiques



Les synthèses organiques au sein
d'une cellule chlorophyllienne

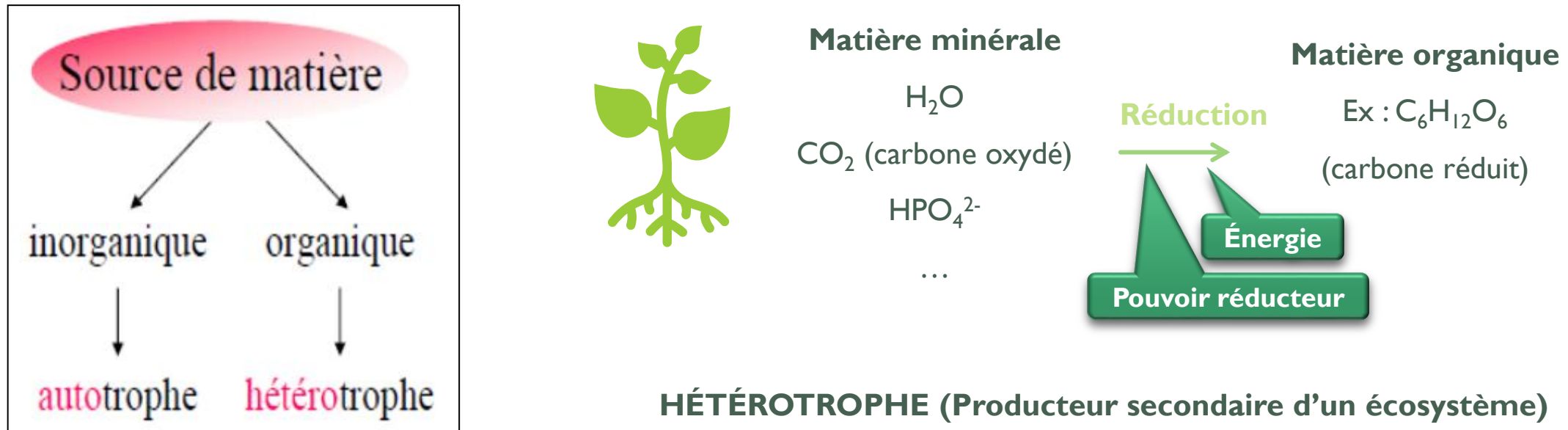
A. UN EXEMPLE D'UN ÉCOSYSTÈME DE FABACÉES: LA PRAIRIE PÂTURÉE

2. Place des fabacées au sein de l'écosystème : des producteurs primaires à la base des réseaux trophiques

Types trophiques

Type trophique : (du verbe grec *trophus*, « nourrir ») : spécifie la manière dont un être vivant constitue sa propre matière organique.

AUTOTROPHE (Producteur primaire d'un écosystème)



HÉTÉROTROPHE (Producteur secondaire d'un écosystème)



A. UN EXEMPLE D'UN ÉCOSYSTÈME DE FABACÉES: LA PRAIRIE PÂTURÉE

2. Place des fabacées au sein de l'écosystème : des producteurs primaires à la base des réseaux trophiques

Types trophiques

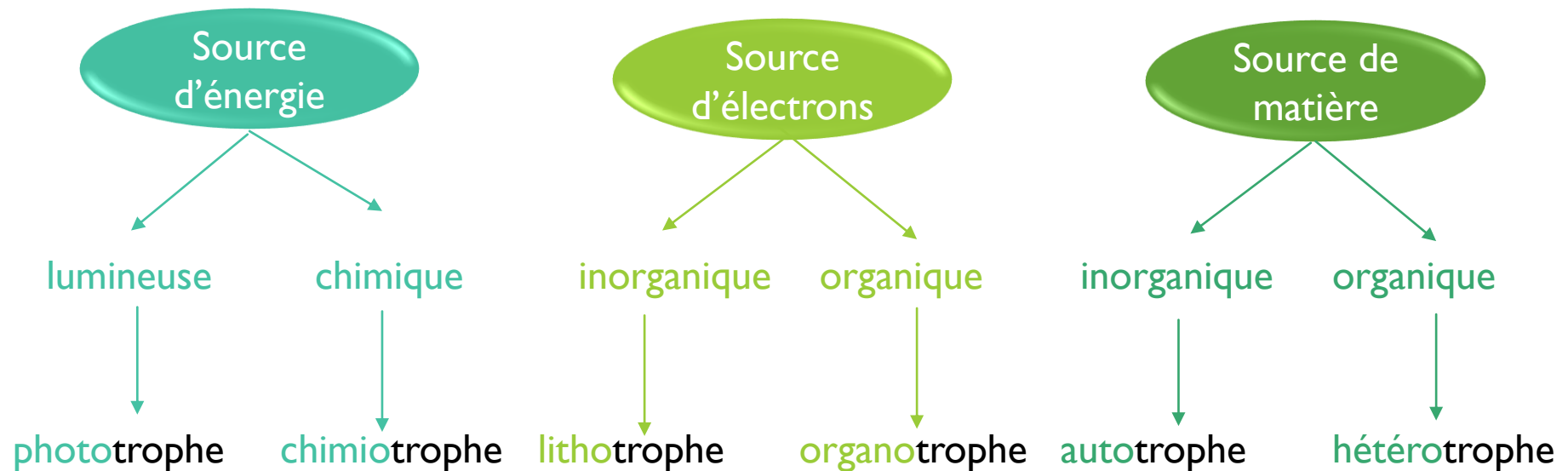
Type trophique : (du verbe grec *trophus*, « nourrir ») : spécifie la manière dont un être vivant constitue sa propre matière organique.

Origine de l'énergie

Origine du pouvoir réducteur (source d'électrons)

Origine de la matière (source de carbone)

permettent de définir différents **types trophiques**



Différents types trophiques
Microbiologie - BELKHIRI 2019

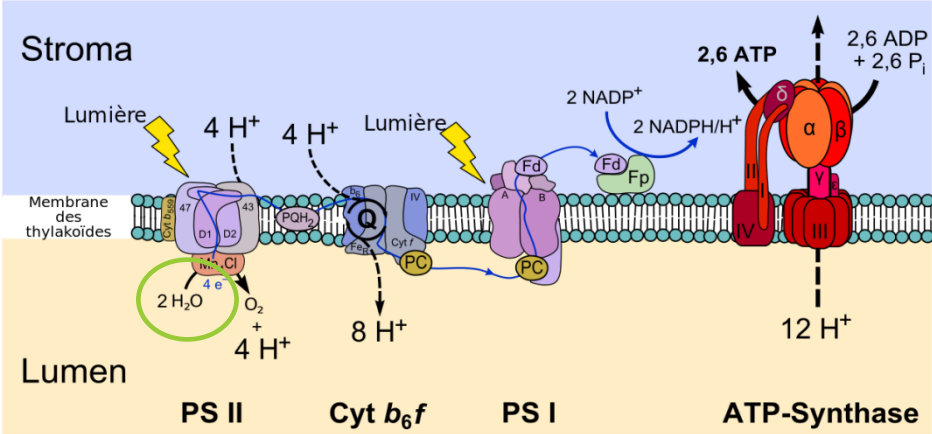
Toutes les combinaisons sont possibles !

Source d'énergie	Source d'électrons	Source de carbone	Type trophique
Lumière Photo-	Composé organique -organo-	Organique -hétérotrophe	Photo organo hétérotrophe
		Minérale (dioxyde de carbone) -autotrophe	Photo organo autotrophe
	Inorganique -litho- ²	Organique -hétérotrophe	Photo litho hétérotrophe
		Minérale (dioxyde de carbone) -autotrophe	Photo litho autotrophe
Oxydation d'un composé chimique organique ou minéral réduit Chimio-	Composé organique -organo-	Organique -hétérotrophe	Chimio organo hétérotrophe
		Minérale (dioxyde de carbone) -autotrophe	Chimio organo autotrophe
	Inorganique -litho- ²	Organique -hétérotrophe	Chimio litho hétérotrophe
		Minérale (dioxyde de carbone, méthane) -autotrophe	Chimio litho autotrophe



Coquelicot - Papaver rhoeas - Angiospermes

Utilise l'énergie lumineuse et de la matière minérale (H₂O du sol et CO₂ de l'air) pour fabriquer ses propres glucides par photosynthèse dans les chloroplastes de ses cellules chlorophylliennes.



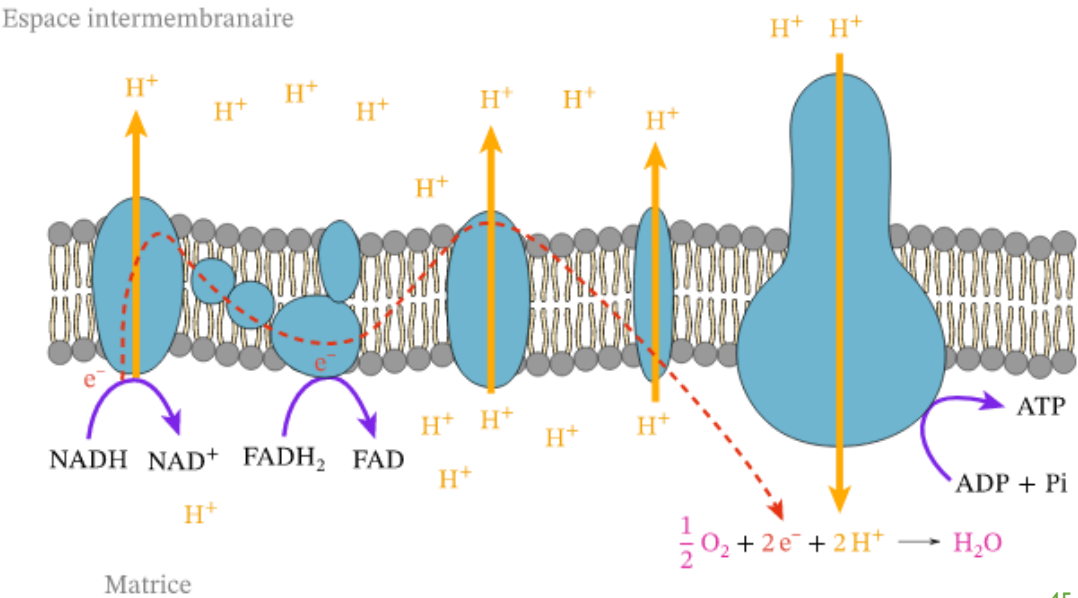
Différents types trophiques
Thèse Marie-Laure PONS – ENS Lyon

Toutes les combinaisons sont possibles !

Source d'énergie	Source d'électrons	Source de carbone	Type trophique
Lumière Photo-	Composé organique -organo-	Organique -hétérotrophe	Photoorgano h étérotrophe
		Minérale (dioxyde de carbone) -autotrophe	Photoorgano a utotrophe
	Inorganique -litho- ²	Organique -hétérotrophe	Photolitho h étérotrophe
		Minérale (dioxyde de carbone) -autotrophe	Photolitho a utotrophe
Oxydation d'un composé chimique organique ou minéral réduit Chimio-	Composé organique -organo-	Organique -hétérotrophe	Chimioorgano h étérotrophe
		Minérale (dioxyde de carbone) -autotrophe	Chimioorgano a utotrophe
	Inorganique -litho- ²	Organique -hétérotrophe	Chimiolitho h étérotrophe
		Minérale (dioxyde de carbone, méthane) -autotrophe	Chimiolitho a utotrophe

Différents types trophiques
Thèse Marie-Laure PONS – ENS Lyon

À quel type trophique appartient cet être vivant ?



Toutes les combinaisons sont possibles !

Source d'énergie	Source d'électrons	Source de carbone	Type trophique
Lumière Photo-	Composé organique -organo-	Organique -hétérotrophe	Photoorgano hétérotrophe
		Minérale (dioxyde de carbone) -autotrophe	Photoorganoautotrophe
	Inorganique -litho- ²	Organique -hétérotrophe	Photolitho hétérotrophe
		Minérale (dioxyde de carbone) -autotrophe	Photolithoautotrophe
Oxydation d'un composé chimique organique ou minéral réduit Chimio-	Composé organique -organo-	Organique -hétérotrophe	Chimioorgano hétérotrophe
		Minérale (dioxyde de carbone) -autotrophe	Chimioorganoautotrophe
	Inorganique -litho- ²	Organique -hétérotrophe	Chimiolitho hétérotrophe
		Minérale (dioxyde de carbone, méthane) -autotrophe	Chimiolithoautotrophe



Le ver sous-marin *Riftia* est dépourvu de système digestif, mais son organisme héberge des **bactéries symbiotiques sulfo-oxydantes** qui utilisent les molécules de sulfure d'hydrogène (H_2S) émises par les fumeurs noirs, du dioxyde de carbone (CO_2) et du dioxygène (O_2) dissous pour synthétiser des sucres que le ver peut assimiler.

Différents types trophiques
Thèse Marie-Laure PONS – ENS Lyon

PLAN

I. Les Fabacées, un groupe d'angiospermes dans la classification phylogénétique

- A. Les Fabacées, des Angiospermes Dicotylédones
- B. Caractéristiques et diversité des Fabacées

II. Les fonctions de relation : les Fabacées interagissent avec les composantes de leur écosystème

- A. Exemple d'un écosystème de fabacée : la prairie pâturée, un agrosystème
- B. Les Fabacées interagissent avec les autres êtres vivants de leur écosystème
- C. Le cycle de vie des Fabacées est contrôlé par les conditions abiotiques du milieu
- D. La croissance des fabacées est contrôlée par les conditions abiotiques du milieu

III. Les fonctions de nutrition : les fabacées sont des organismes photosynthétiques fixés à l'interface sol-atmosphère

- A. Les racines, lieu d'absorption d'eau et d'ions minéraux
- B. Les feuilles, organes de la photosynthèse
- C. Des tissus assurant les connexions entre organes sources et organes puits

IV. Les fonctions de reproduction : les fabacées produisent une descendance génétiquement différente et disséminée dans le milieu

- A. La fleur des Fabacées, organe de la reproduction
- B. De la fleur au fruit et de l'ovule à la graine : fécondation et transformation de l'appareil reproducteur
- C. Une reproduction maîtrisée par l'homme : sélection, domestication, exploitation

B. LES FABACÉES INTERAGISSENT AVEC LES AUTRES ÊTRES VIVANTS DE LEUR ÉCOSYSTÈME

Cf SV-J-2

I. Des relations interspécifiques d'exploitation

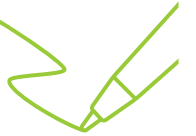
$$fitness = viabilité * fécondité$$

- Différents types d'interaction selon la conséquence sur la valeur sélective ou adaptative (fitness) de l'individu

- Relation d'exploitation = Négative pour  mais positive pour le « consommateur » 

- ❖ Ex phytophagie

- ❖ Ex parasitisme: phytoparasite (*cuscuta*, orobanche), champignon (oïdium du pois), animaux (tordeuse du pois, mineuse, pucerons, charançon, capricorne pour d'autres angiospermes non fabacées)



⇒ Mécanismes de défense des Fabacées

- ✓ La lupanine = alcaloïde toxique pour les phytophages
- ✓ Sécrétion de chitinase
- ✓ Dents pour mordre



	+	0	-
+	mutualisme		
0	commensalisme	neutralisme	
-	exploitation	amensalisme	compétition

B. LES FABACÉES INTERAGISSENT AVEC LES AUTRES ÊTRES VIVANTS DE LEUR ÉCOSYSTÈME

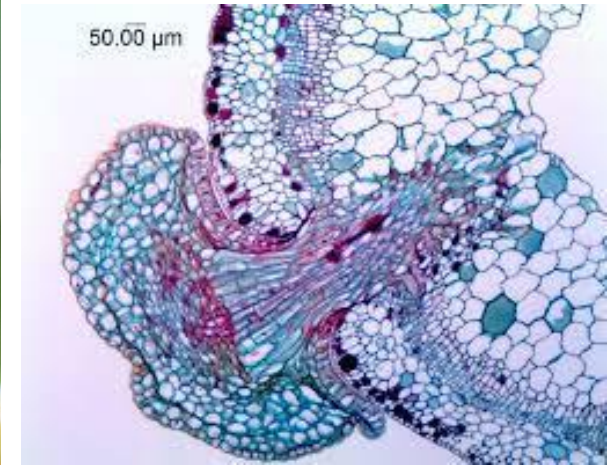
I. Des relations interspécifiques d'exploitation



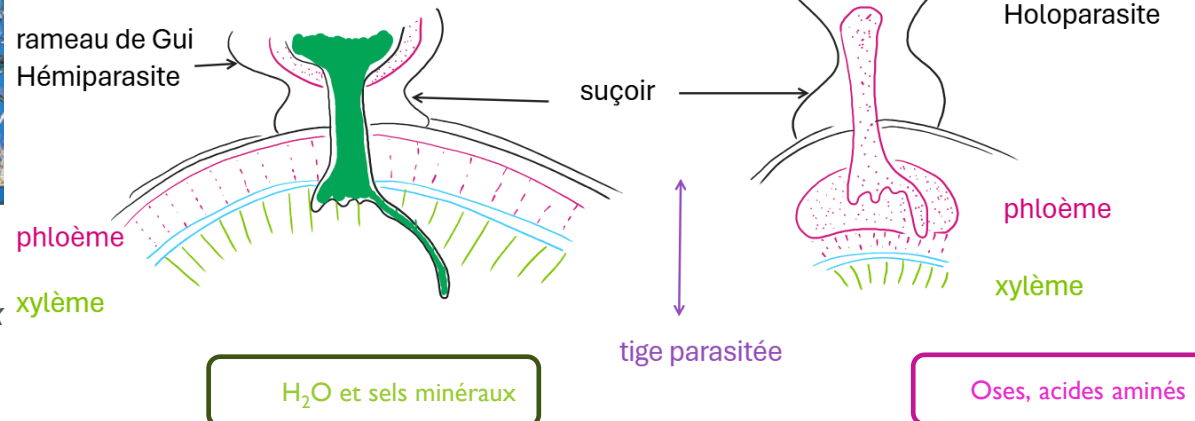
Orobanche,
chimioorganohétérotrophe
⇒ Holoparasite



Cuscute, chimioorganohétérotrophe
⇒ Holoparasite



Gui: photolithoautotrophe
⇒ hémiparasite de végétaux ligneux



La Cuscute via ses suçoirs envahit les tubes de phloème ⇒ hétérotrophe au C = holoparasite

B. LES FABACÉES INTERAGISSENT AVEC LES AUTRES ÊTRES VIVANTS DE LEUR ÉCOSYSTÈME

I. Des relations interspécifiques d'exploitation



L'oïdium du pois, est un champignon parasite du pois, une Fabacée



- **Relation d'exploitation** = Négative pour la Fabacée mais positive pour le « consommateur »
 - ❖ Ex parasitisme: phytoparasite (*cuscuta*, orobanche), champignon (***oïdium du pois***), animaux (***tordeuse du pois***, *mineuse*, *pucerons*, *charançon*, capricorne pour d'autres angiospermes non fabacées)
- ⇒ Mécanismes de défense des Fabacées
 - ✓ La lupanine = alcaloïde toxique pour les phytophages
 - ✓ Sécrétion de chitinase (→destruction de la paroi des champignons)

B. LES FABACÉES INTERAGISSENT AVEC LES AUTRES ÊTRES VIVANTS DE LEUR ÉCOSYSTÈME

I. Des relations interspécifiques d'exploitation

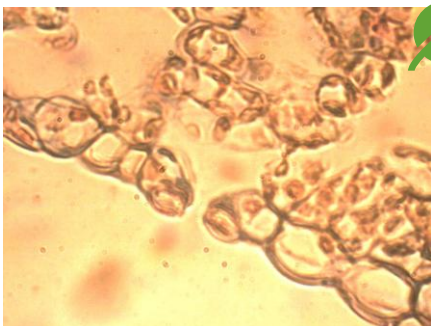


Fabacée=photolithoautotrophe

Stomate au MEB (source planet-vie.ens.fr)



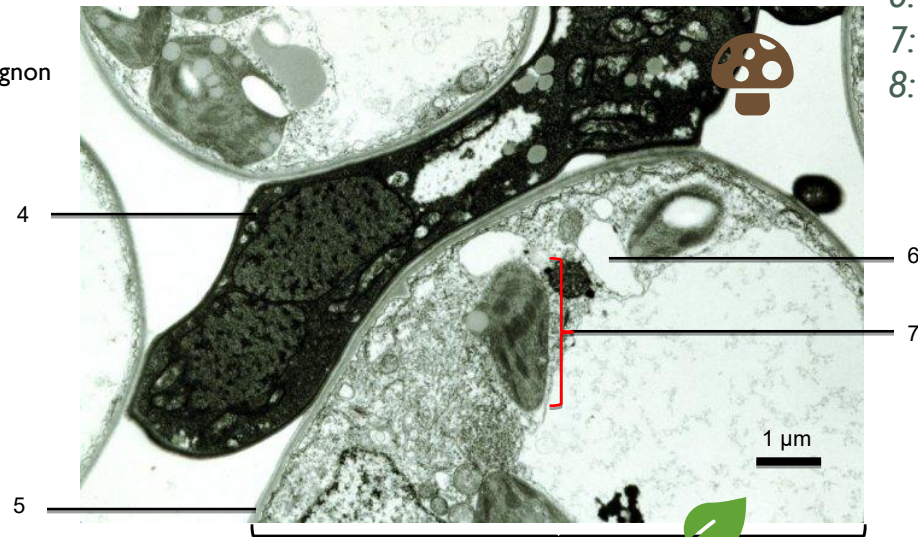
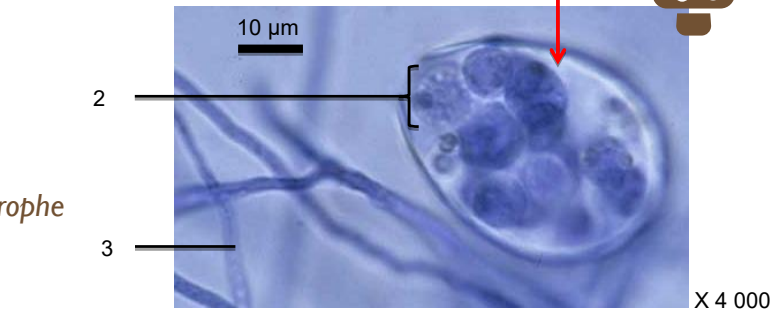
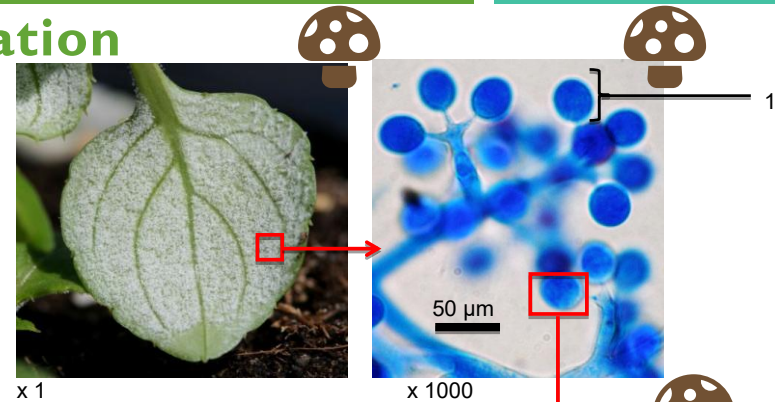
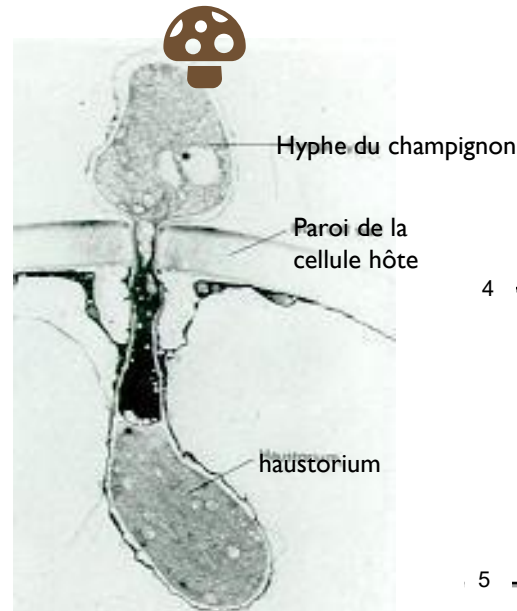
Cellules de l'épiderme foliaire de polypode avec 2 stomates ((X 600).



Coupe transversale de feuille de hêtre et détail d'un stomate (X 600)

BCPST1 - ENCPB - STÉPHANIE DALAINE

Champignon=chimioorganohétérotrophe



Les champignons **parasites**, **sporulent** souvent au niveau des stomates, zones d'accès à la plante. Leur **mycélium** et leurs spores sont observables au MO après coloration au **bleu coton lactique**.

- 1 sporocyste
- 2 zoospore
- 3 filament mycélien = hyphe
- Σ hyphes = mycélium
- 4: haustorium = suçoir
- 5: paroi
- 6: vacuole
- 7: chloroplaste
- 8: cellule végétale



B. LES FABACÉES INTERAGISSENT AVEC LES AUTRES ÊTRES VIVANTS DE LEUR ÉCOSYSTÈME

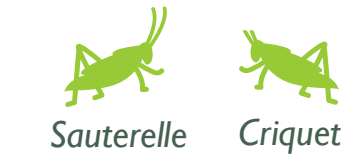
I. Des relations interspécifiques d'exploitation



Puceron



Sauterelle



Sauterelle

Criquet

Insectes
ravageurs des
cultures

Bruche des Fabacées



Tordeuse du pois



Je suis une
Normande



Vache

B. LES FABACÉES INTERAGISSENT AVEC LES AUTRES ÊTRES VIVANTS DE LEUR ÉCOSYSTÈME

2. Des relations interspécifiques à bénéfices réciproques

Mutualisme = **coopération** (non intime, transitoire, non spécifique) ou **symbiose** (intime, durable, spécifique). Quelques exemples :

- La **pollinisation** : mutualisme plante/insecte pollinisateur
- Les **mycorhizes** : symbiose plante / champignon
- Les **nodosités** : symbiose plante / bactérie fixatrice d'azote



Remarque : un exemple de coopération entre plantes, la milpa.



Photo d'ectomycorhize formée de l'association entre une racine de *Pinus radiata* et de *Suillus brevipes* -Brundrett MC. 2008. Mycorrhizal Associations: The Web Resource. <http://mycorrhizas.info/ecm.html>



Genêt pollinisé par *Apis mellifera*, ex de coévolution dans le cas de la pollinisation entomophile

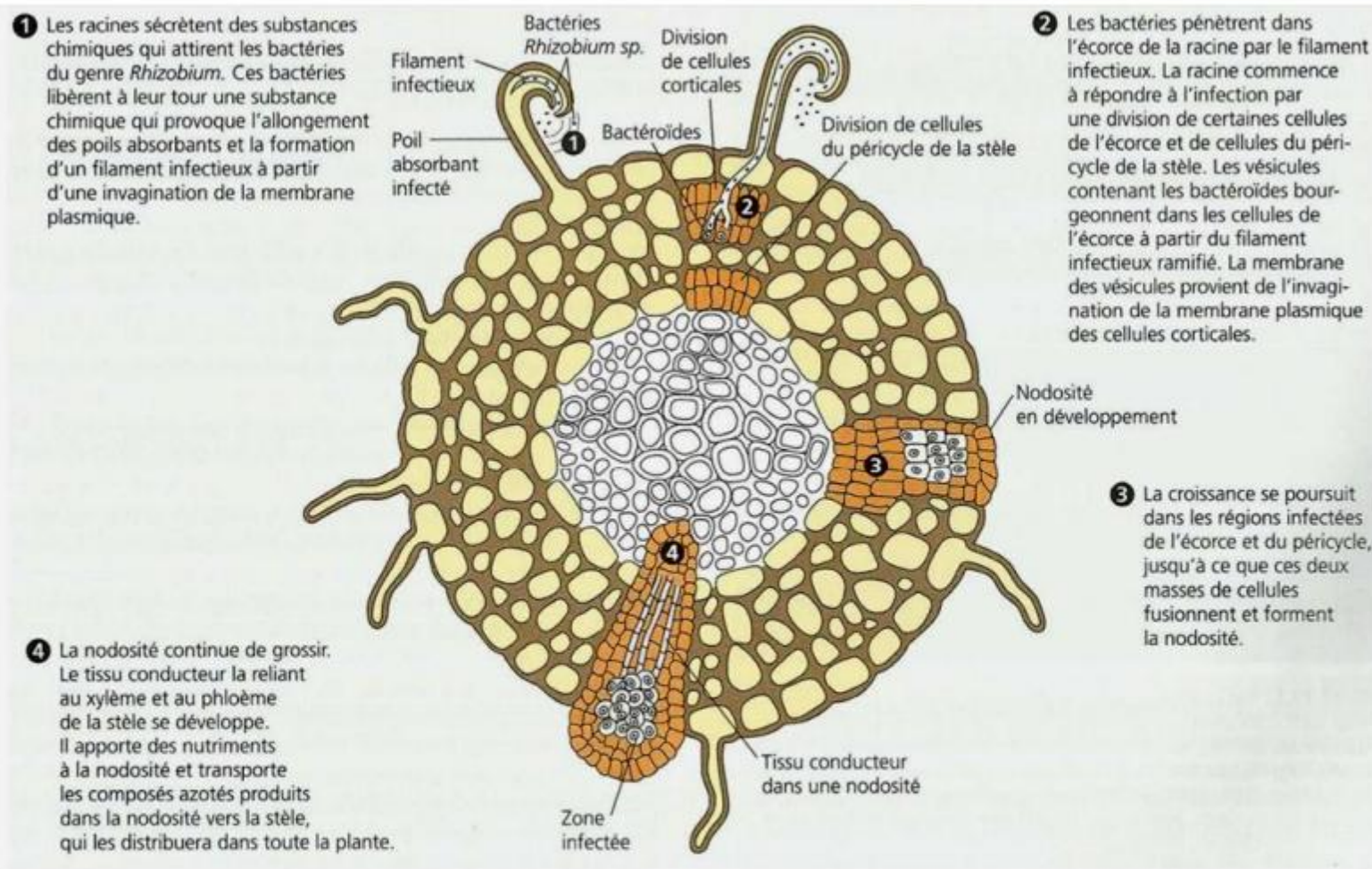


Nodosités sur les racines de pois de senteur: symbiose entre la Fabacée et la bactérie du genre *Rhizobium*

B. LES FABACÉES INTERAGISSENT AVEC LES AUTRES ÊTRES VIVANTS DE LEUR ÉCOSYSTÈME

2. Des relations interspécifiques à bénéfiques réciproques

1. Sécrétion d'une substance (flavonoïdes) par les racines qui attire les bactéries → bactéries libèrent une substance (Nod) qui allonge les poils absorbants → cordon infectieux de bactéries
2. Division cellulaire (écorce) de la racine suite à infection
3. Multiplication cellulaire puis formation de la nodosité
4. Grossissement de la nodosité avec conduction vers xylème et phloème → distribution des composés azotés dans toute la plante

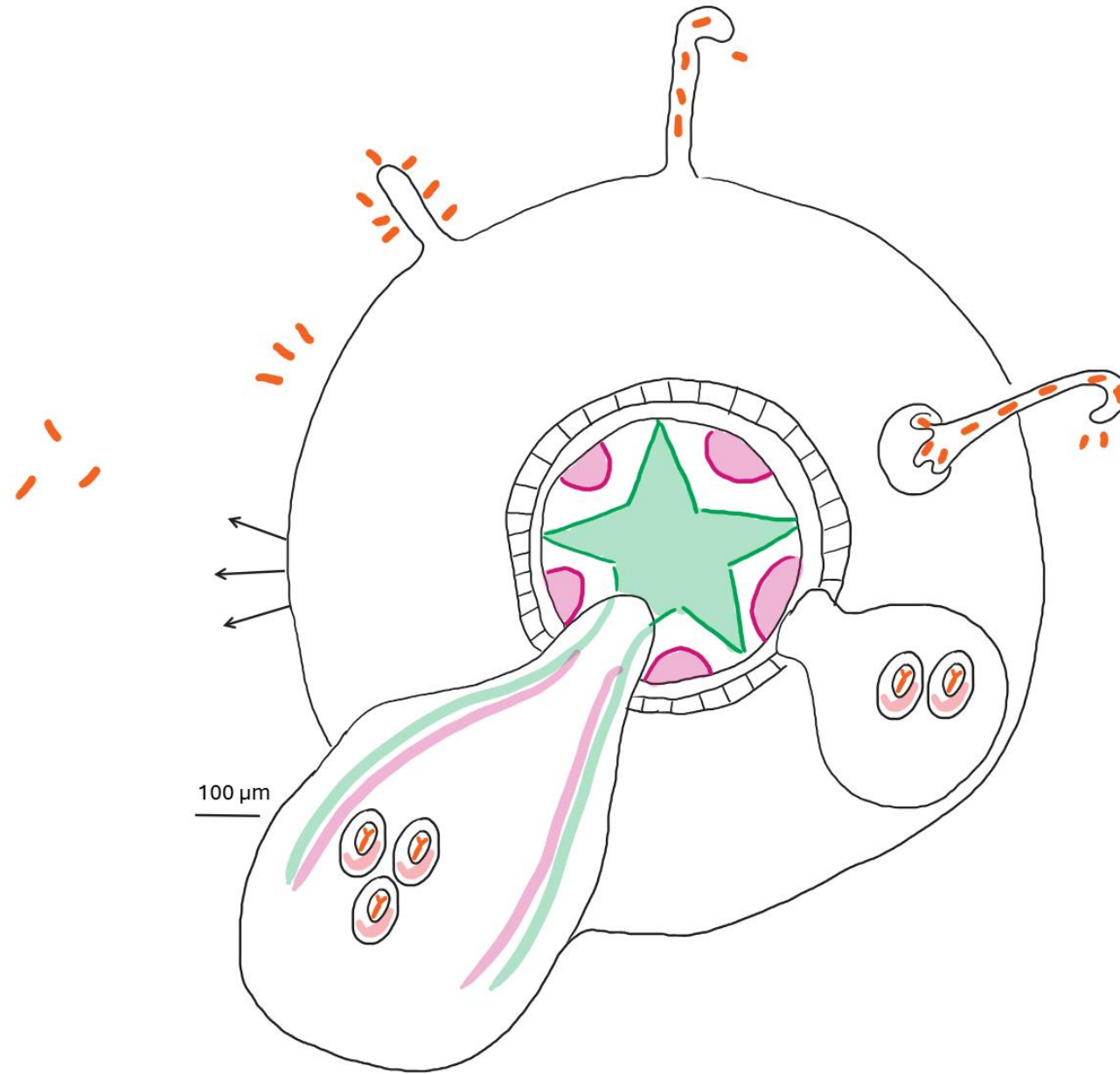


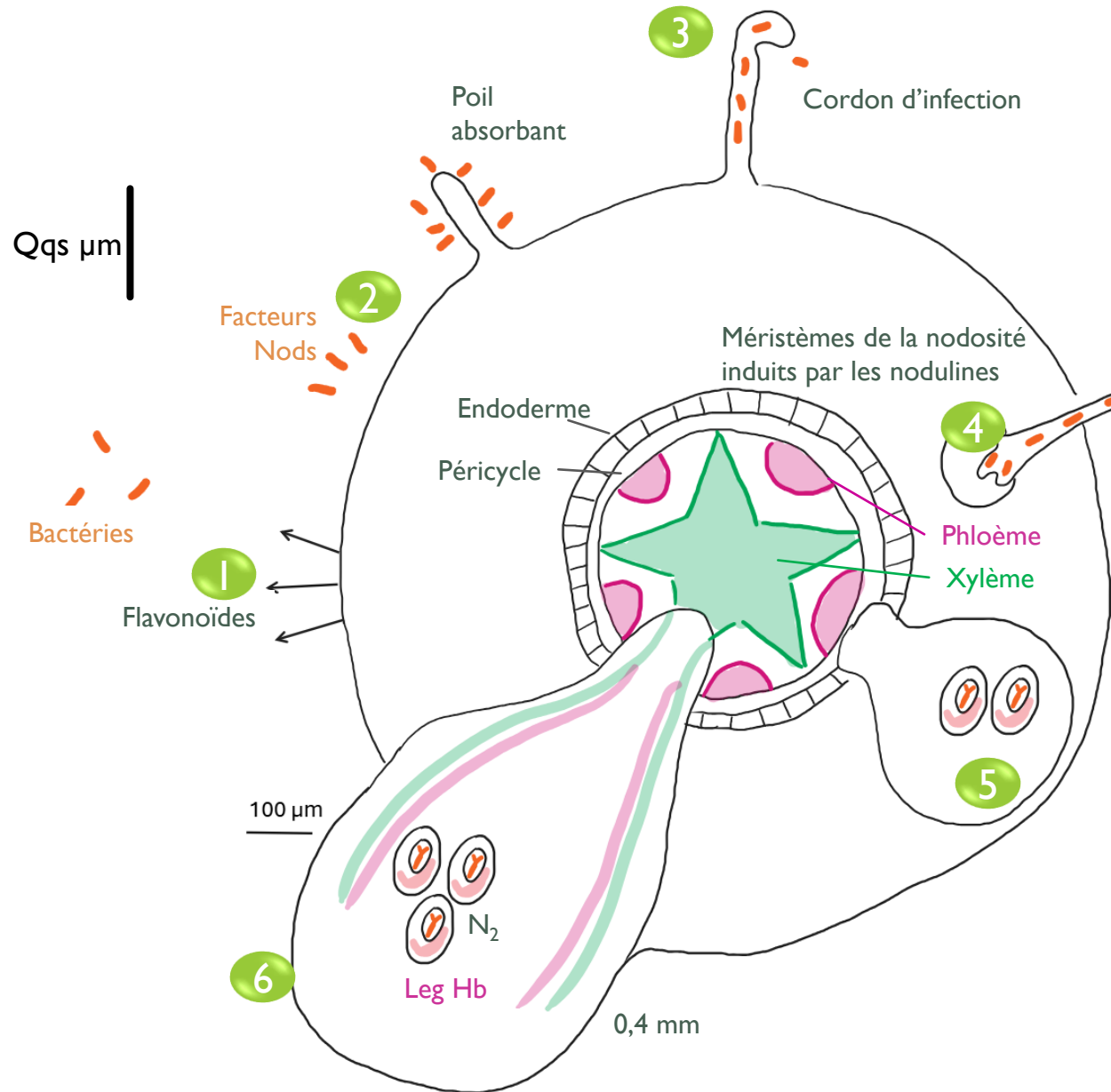
Formation d'une nodosité dans une racine de Soja (*Glycine max*).

▲ **FIGURE 17. La nodulation : vision simplifiée.** Schéma à produire par les étudiants.
D'après CAMPBELL & REECE (2004).



- cellules végétales abritent et nourrissent les bactéries → gîte et couvert : via SE apport de photosynthétats + maintien d'une microanoxie via LegHb → respiration de *Rhizobium*
- *Rhizobium* : fournit aa à la plante via SB (NH_4^+ toxique donc conversion en aa)





- ① Attraction chimique des bactéries par sécrétion de flavonoïdes par la racine
- ② Adhésion et reconnaissance des espèces du genre *Rhizobium* avec l'espèce de Fabacée/ sécrétion de facteurs NOD par les bactéries
- ③ Mise en place d'un cordon d'infection suite à l'action des facteurs NOD/ multiplication au sein des méristèmes de la nodosité sous l'induction des facteurs NOD (nodulines)
- ④ Initialisation de la nodosité
- ⑤ Fusion des méristèmes de la nodosité, les bactéries changent de forme (bactéroïdes), synthèse de Leghémoglobine par les cellules racinaires hébergeant les bactéroïdes
- ⑥ Fixation du N₂ atmosphérique par *Rhizobium* grâce à la nitrogénase, transfert de matières azotées à la plante et apport de photosynthétats à la bactérie (conduction assurée par xylème et phloème)

Les étapes de la nodulation, relation symbiotique entre les bactéries du genre *Rhizobium* et les angiospermes de la famille des Fabacées

B. LES FABACÉES INTERAGISSENT AVEC LES AUTRES ÊTRES VIVANTS DE LEUR ÉCOSYSTÈME

2. Des relations interspécifiques à bénéfices réciproques

- **90% des Fabacées** avec nodosités → **endosomes** (appelés symbiosomes) → **bactéries du genre Rhizobium** (forme allongée ou en Y) = **bactéroïdes**
- Bactéroïdes capables de fixer N_2 atmosphérique (78% de N_2 atmosphérique circulant dans la porosité du sol) et réduction en NH_4^+ (au pH cellulaire)
- Fabacée + Rhizobium = symbiose = association durable, intime et spécifique à bénéfices réciproques :

➤ **bactéries synthétisent une nitrogénase : réduction $N_2 \rightarrow NH_4^+ \rightarrow aa$ assimilables par la plante et conduits via SB**

✓ Réduction très énergivore d'où ATP issu de respiration de bactéries grâce à ax photosynthétats de la plante

✓ Nitrogénase

✓ $N_2 + 8 e^- + 8 H^+ + 16 ATP \rightarrow 2 NH_3 + H_2 + 16 ADP + 16 Pi$

➤ **cellules végétales abritent et nourrissent les bactéries (gîte et couvert) :**

✓ fournissant via la sève élaborée des photosynthétats comme substrats énergétiques

✓ cytosol avec Leghémoglobine rosée , régule la concentration en O_2 (microanoxie) protéine voisine de l'hémoglobine

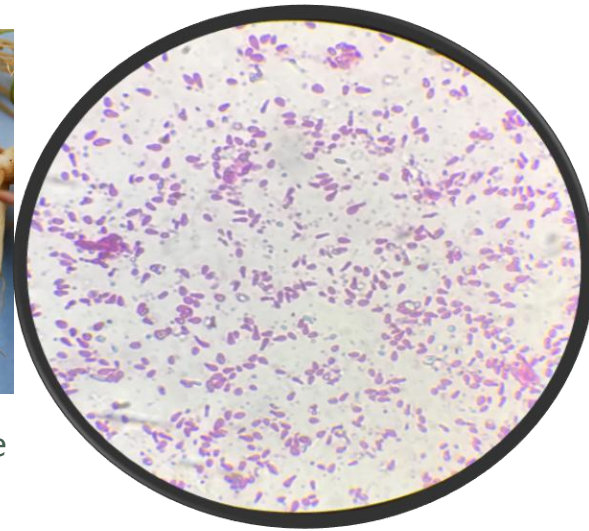
■ Dualité trophique :

➤ CO_2 prélevé dans l'air au niveau des feuilles photosynthétiques

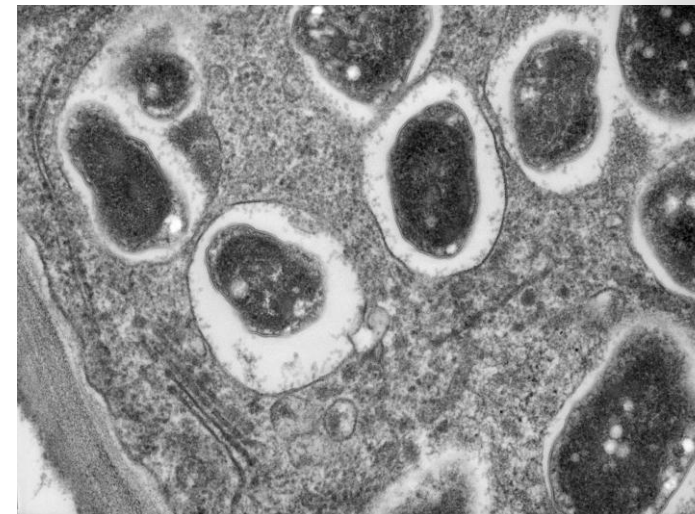
➤ Solution minérale prélevée dans le sol par les racines



Nodosité sur l'appareil racinaire d'une fève

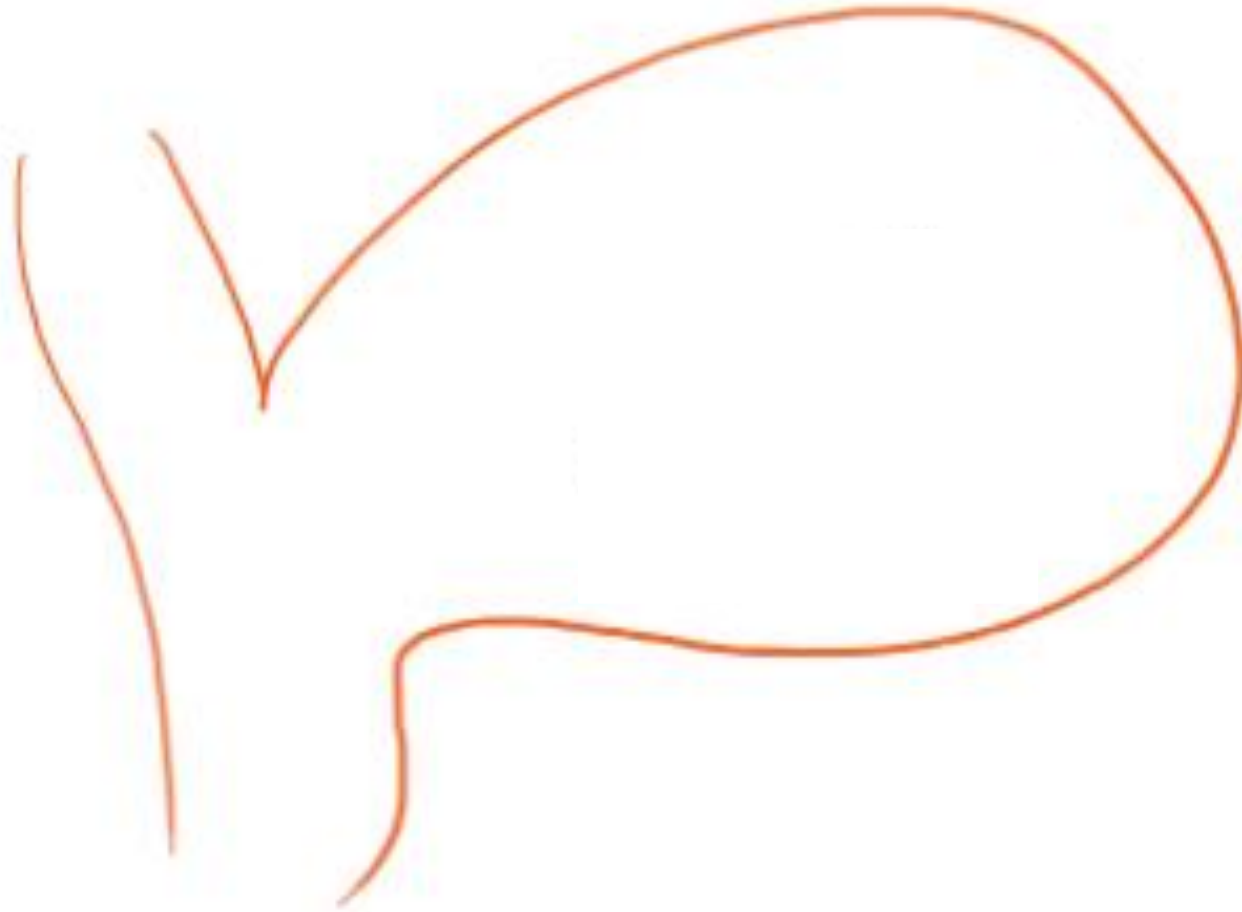
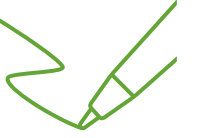


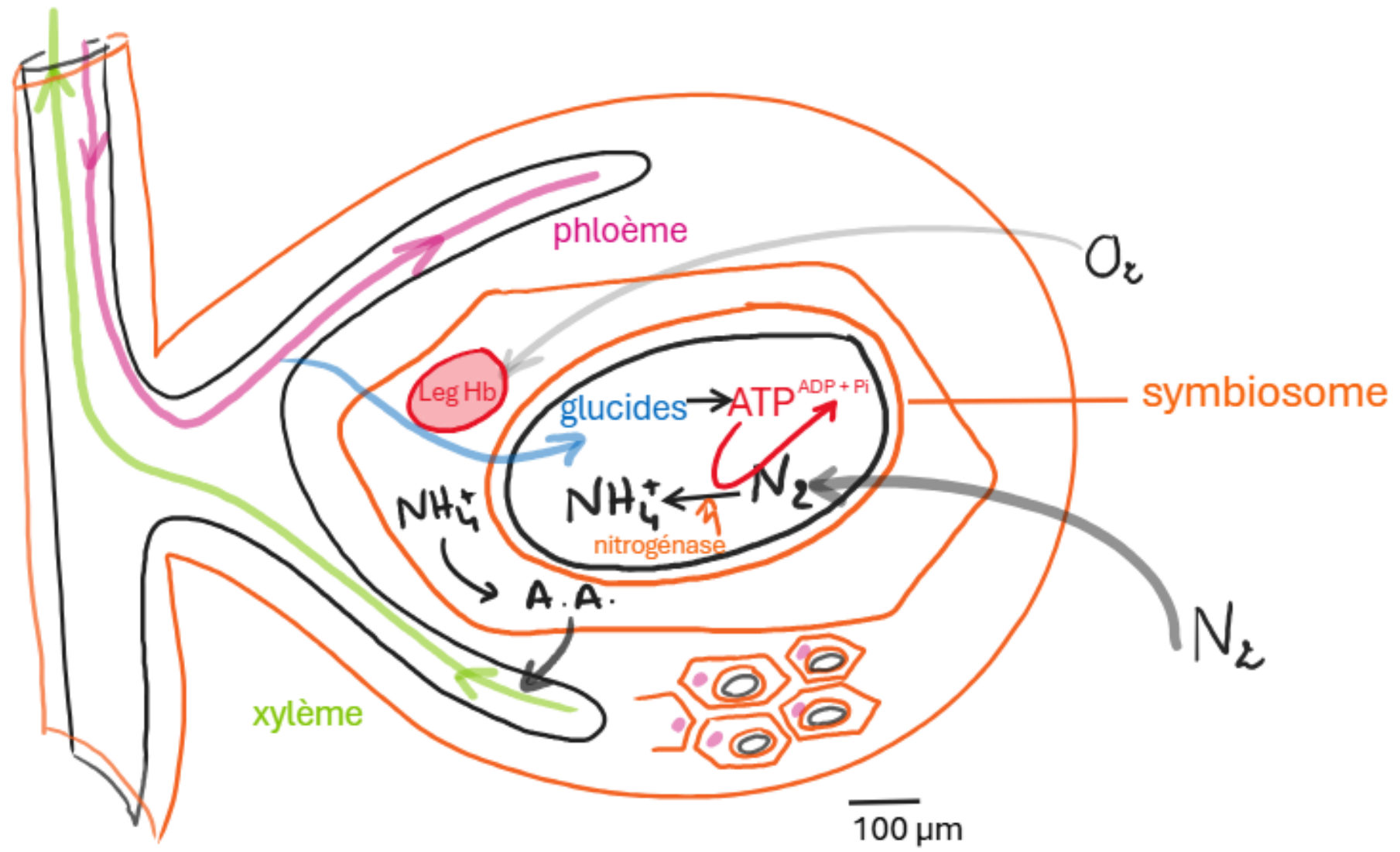
Bactéries Rhizobium: frottis de nodosités de trèfle blanc, coloration Gram observation X600 sans huile à immersion
S. Dalaine



Electronographie (MET) d'une coupe de nodosité de racine de glycine, avec bactéroïdes de *Bradyrhizobium japonicum*

2. Des relations interspécifiques à bénéfices réciproques

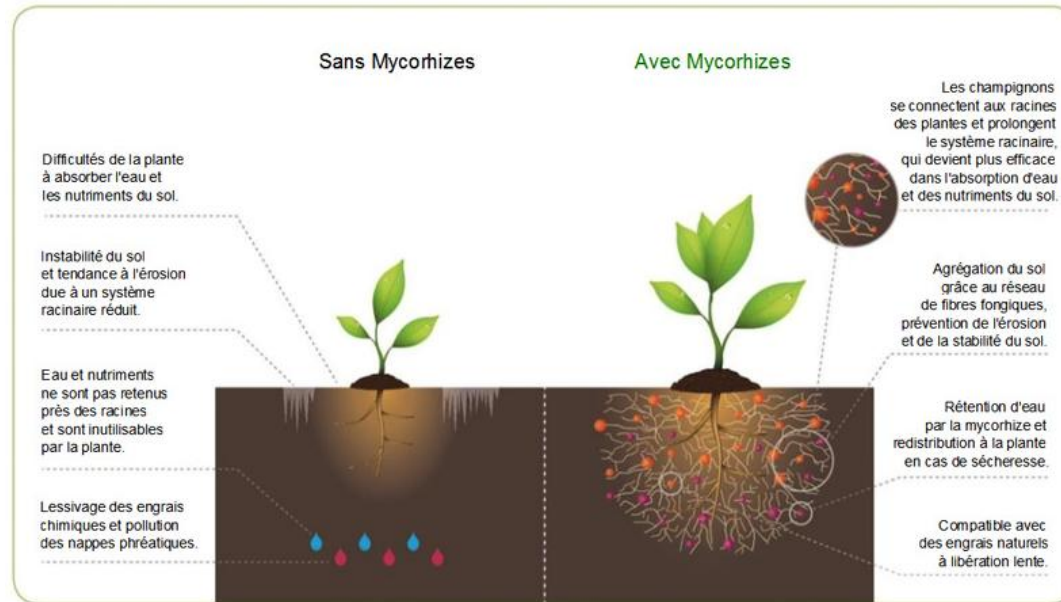




Fixation de N_2 au sein d'une nodosité d'une Fabacée

B. LES FABACÉES INTERAGISSENT AVEC LES AUTRES ÊTRES VIVANTS DE LEUR ÉCOSYSTÈME

2. Des relations interspécifiques à bénéfices réciproques



- Mycorhizes : symbiose plante / champignon
- Plupart des plantes terrestres mycorhizées
- Ectomycorhizes et endomycorhizes (ou arbusculaires)
- Champignon mis en évidence avec **le bleu coton lactique**

Ectomycorhize au MO après coloration au bleu coton

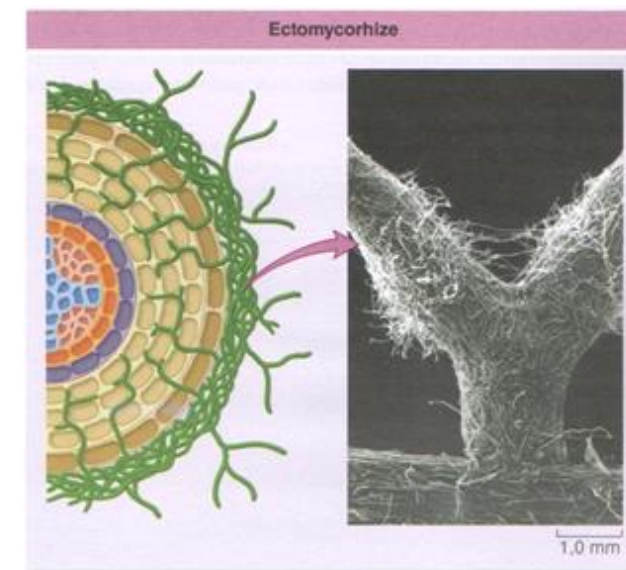
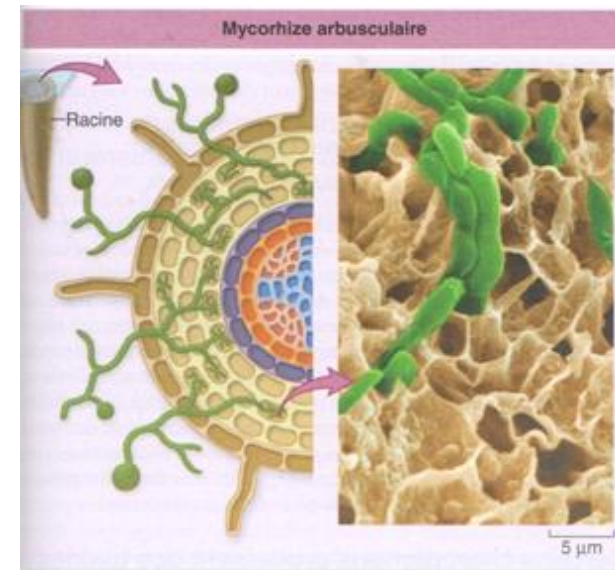


Figure 31.9 Mycorhizes arbusculaires et ectomycorhizes. *a.* Dans les mycorhizes arbusculaires, les hyphes du champignon traversent la paroi des cellules végétales, mais pas les membranes. *b.* Dans les ectomycorhizes (représentées ici sur une racine d'*Eucalyptus*) les hyphes ne pénètrent pas dans les cellules, mais se développent autour d'elles et entre elles.

B. LES FABACÉES INTERAGISSENT AVEC LES AUTRES ÊTRES VIVANTS DE LEUR ÉCOSYSTÈME

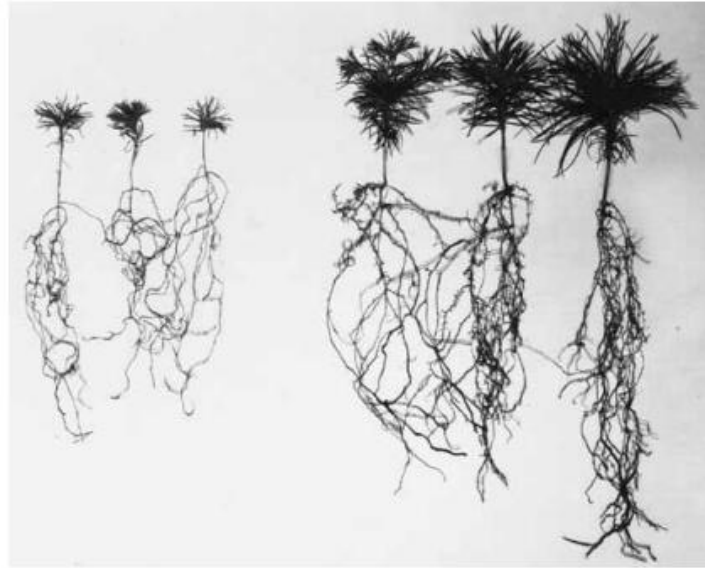


2. Des relations interspécifiques à bénéfices réciproques



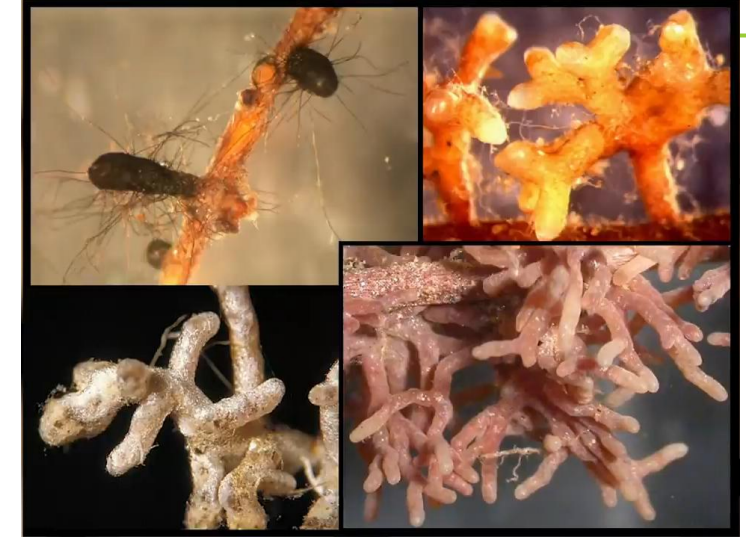
Figure 14-41
Biology of Plants, Seventh Edition
© 2005 W. H. Freeman and Company

Difficile d'identifier le mycélium du réseau racinaire de la plante



14-42 Mycorrhizas and tree nutrition Nine-month-old seedlings of white pine (*Pinus strobus*) were raised for two months in a sterile nutrient solution and then transplanted to prairie soil. The seedlings on the left were transplanted directly. The seedlings on the right were grown for two weeks in forest soil containing fungi before being transplanted to the prairie soil.

Semis de 9 mois de Pin blanc cultivés pendant 2 mois dans une solution stérile → sans micro-organismes (sans bactéries ni champignons) puis transplantés sur un sol prairial.
À gauche: transplantation directe
À droite: croissance des semis pendant 2 semaines avec des champignons avant transplantation sur sol prairial



Ectomycorrhizes sur des racines de différentes espèces (le chêne est très souvent mycorhizé cf TP BCPST2)



Les **mycorrhizes** augmentent la ramification du réseau racinaire
⇒ Augmentation (X1 000 à X10 000) de la **surface d'absorption** de la solution du sol (eau, PO_4^{3-} , K^+ , NO_3^-)
= rhizosphère

B. LES FABACÉES INTERAGISSENT AVEC LES AUTRES ÊTRES VIVANTS DE LEUR ÉCOSYSTÈME

2. Des relations interspécifiques à bénéfices réciproques



29-1 Mycorrhizas The fungus *Boletus parasiticus* forms ectomycorrhizas, seen here as sheaths surrounding the roots of a red pine (*Pinus resinosa*). The narrow strands of mycelium serve as extensions of the roots. Mycorrhizas benefit their host plants by increasing uptake of water and essential elements, especially phosphorus. Mycorrhizas also provide protection against attack by pathogenic fungi and nematodes. This striking image was achieved by photographing the roots under water—hence the air bubbles.

Ectomycorhize (les plus fréquentes)



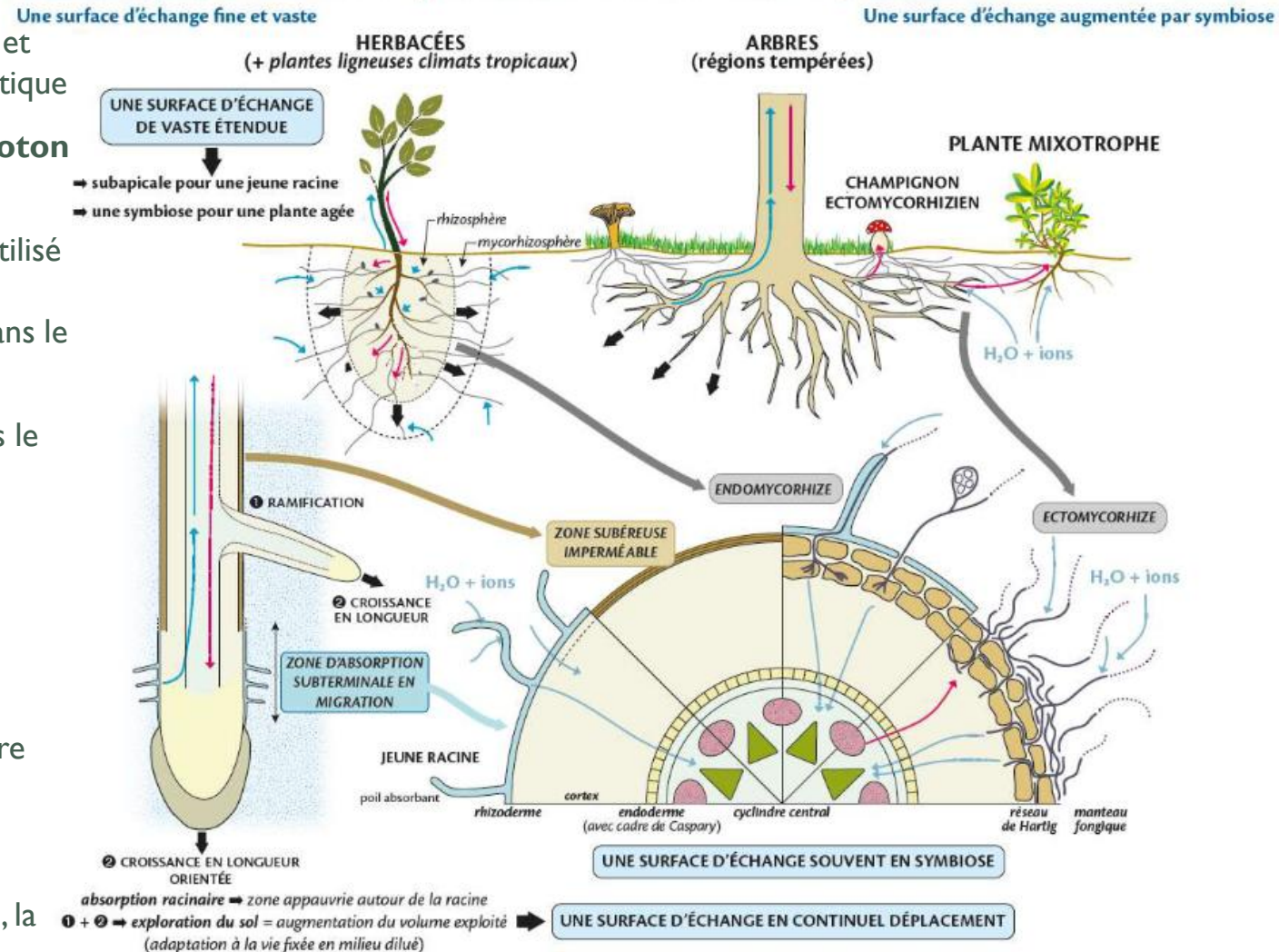
Endomycorhizes (ou arbusculaires) à la loupe binoculaire et au MEB après coloration

- Symbiose (+/-): relation à bénéfice réciproque, durable, (spécificité relative)
- Champignon **chimioorganohétérotrophe**: bénéficie des photosynthétats (saccharoses, acides aminés) de la fabacée
- Fabacée **photolithoautotrophe**: augmentation de la surface d'absorption racinaire (X1 000 à x10 000 avec mycorhize) pour un coût énergétique bien moindre que les poils absorbants et surtout une surface d'échange beaucoup plus grande; protection des herbivores via production d'alcaloïdes par le champignon

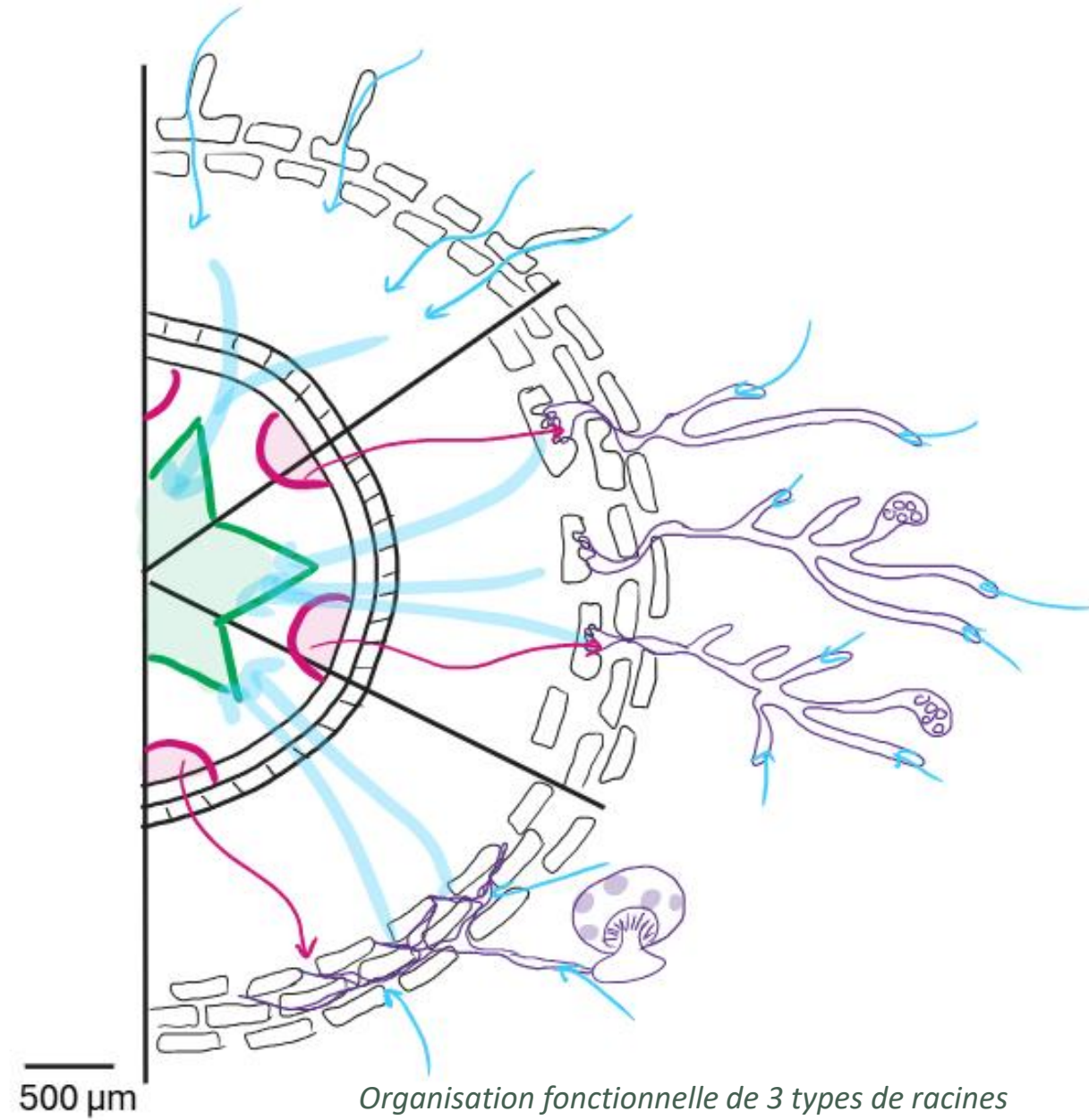


2. Des relations interspécifiques à bénéfiques réciproques

- Deux types de mycorhizes: **endomycorhizes** (+ fréquentes) et **ectomycorhizes** → relation symbiotique voire endosymbiotique
- Observation au MO via coloration du champignon au **bleu coton lactique** (cf TP sur racines de plantain)
- Mise en évidence expérimentale possible par traçage au ^{14}C utilisé par photosynthèse de fabacées (trèfle par ex) 30% des **photosynthétats** radiomarqués (donc produits par trèfle) dans le champignon
 - ⇒ Matière organique produite par la fabacée exportée vers le champignon hétérotrophe
- Multiplication $\times 1\ 000$ voire $\times 10\ 000$ de surface d'absorption racinaire pour la fabacée
 - ⇒ Bénéfice réciproque
 - ⇒ **mycélium** synthétise aussi des alcaloïdes (propriété émergente de l'association) qui protègent la plante contre les brouteurs
 - ⇒ Protection contre la sécheresse et les maladies
- Plusieurs plantes peuvent être connectées au même mycélium, la Fétuque, Poacée de la prairie établit le même type d'endomycorhize. → réseau mycélien souterrain interconnectant = Wood Wide Web.

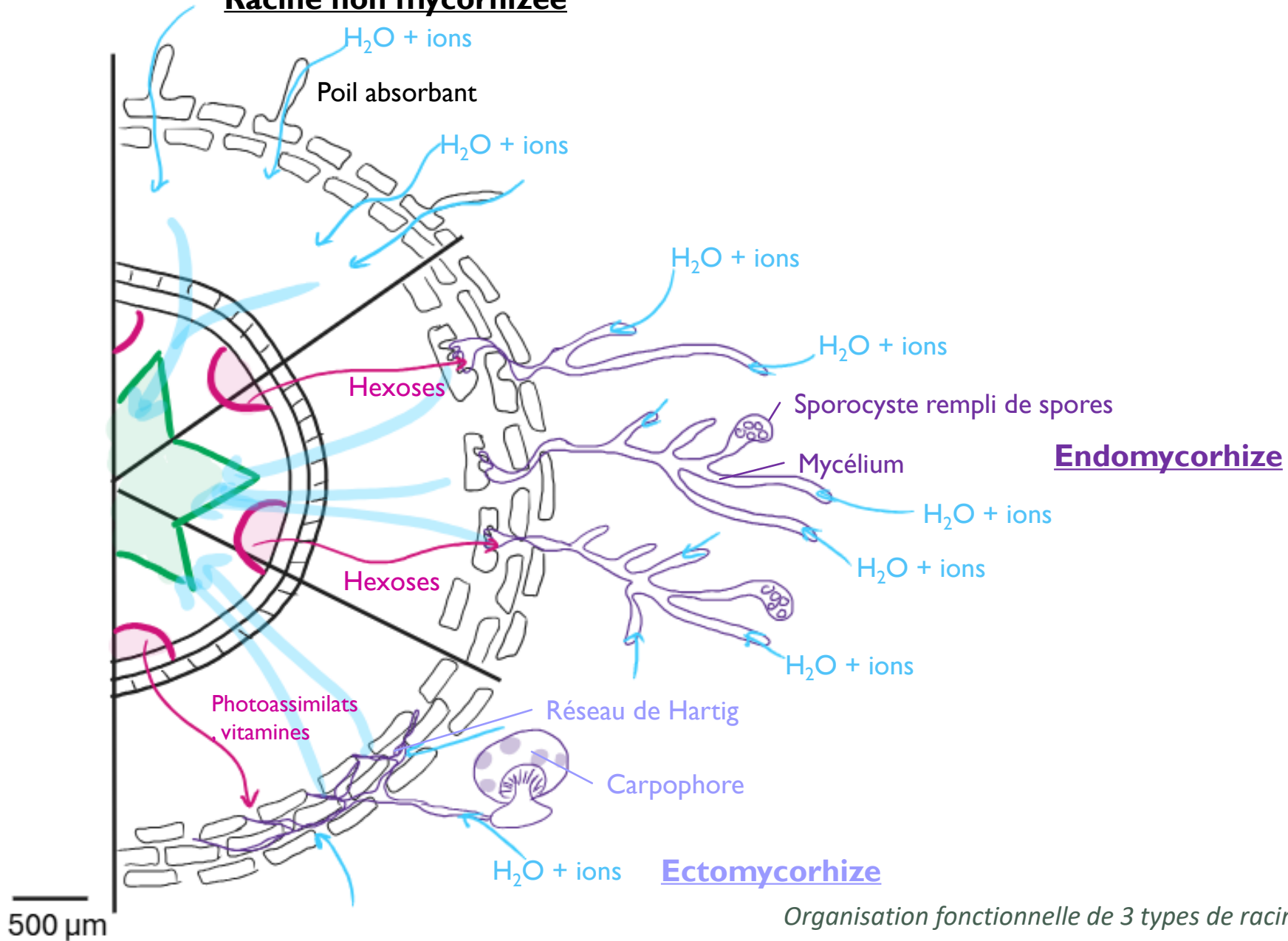


Source: Aurélie Denis



Organisation fonctionnelle de 3 types de racines

Racine non mycorhizée



Organisation fonctionnelle de 3 types de racines

B. LES FABACÉES INTERAGISSENT AVEC LES AUTRES ÊTRES VIVANTS DE LEUR ÉCOSYSTÈME

2. Des relations interspécifiques à bénéfices réciproques

- La **milpa** (ou les 3 sœurs) = association de 3 cultures: **maïs** + **haricot grimpant** (haricot à rames) + **courge**.

- maïs : **tuteur** au haricot grimpant

- ✓ *thigmotropisme*
- ✓ *ombre au haricot → améliore sa qualité (car ils produisent ainsi plus d'amidon que les haricots cultivés en plein soleil).*

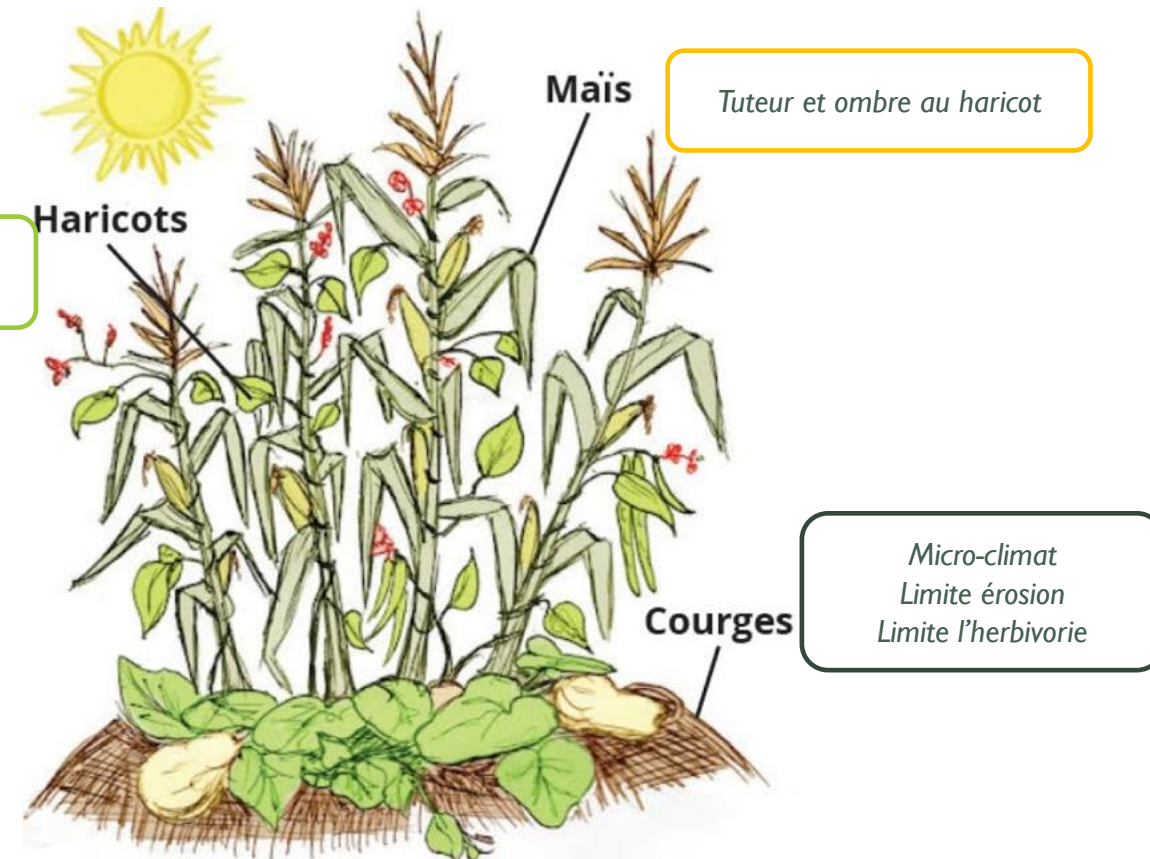
- haricot grimpant : engrais vert

- ✓ *après la culture → laisse un sol plus riche en **azote** grâce à ses nodosités*

- courge : microclimat au niveau du sol via larges feuilles

- ✓ *conservation de l'humidité du sol*
- ✓ *protection de l'érosion due au vent et à la pluie*
- ✓ *limite la pousse d'adventice = **paillage** vivant*
- ✓ *épines → protection des cultures contre les herbivores*

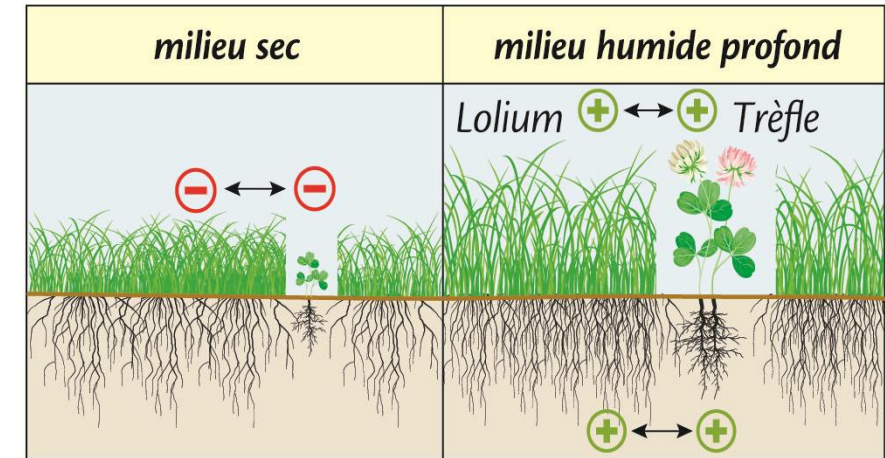
Las **milpas** de Temamatla en el Estado de México



B. LES FABACÉES INTERAGISSENT AVEC LES AUTRES ÊTRES VIVANTS DE LEUR ÉCOSYSTÈME

3. Des relations interspécifiques de compétition

- 2 espèces végétales (Ivraie Poacée et Trèfle Fabacée) sont en compétition pour les ressources (eau, lumière, espace, sels minéraux), mais...
- Si succession de semis alors interactions positives fabacées deviennent **espèces facilitatrices** → la **niche écologique** réalisée par les poacées est plus grande que la niche potentielle.
- De la compétition à l'interaction « positive »:
 - ✓ introduction de légumineuses dans les prairies dominées par les graminées vise à économiser l'azote, voire à pallier l'absence de fertilisation azotée
 - ✓ introduction de graminées peu concurrentielles dans les prairies artificielles de légumineuses peut permettre de mieux maîtriser les adventices et pallier les contraintes réglementaires de plus en plus fortes sur les herbicides pour les fourrages dédiés à la déshydratation.
 - ✓ Associations équilibrées peut enfin permettre de prolonger la durée d'exploitation de la prairie (plus forte pérennité des graminées) et facilite son utilisation en pâturage (réduction des risques de météorisation)
 - ✓ pics de production décalés, l'utilisation d'associations permet généralement de mieux répartir la production fourragère au cours d'une année
- Possibilité de réaliser plusieurs fauches en une seule année

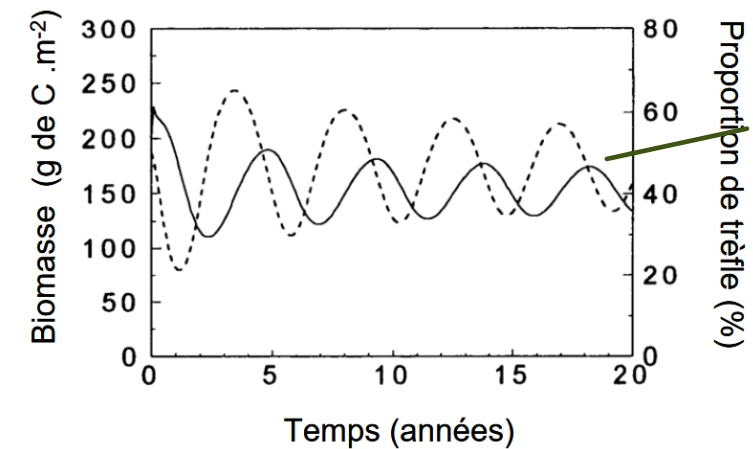


COMPÉTITION

gain de biomasse aérienne et
souterraine en co-culture

MUTUALISME

d'après A. Denis



Equilibre
dynamique
entre ray-
grass et
trèfle banc

Figure 4 : Evolution au cours du temps de la biomasse totale (ligne solide) et de la proportion de trèfle (pointillés) simulées pour une association trèfle blanc – ray-grass anglais pâturée en situation où l'azote est le principal facteur limitant la production (d'après Schwinning et Pearson, 1996b).

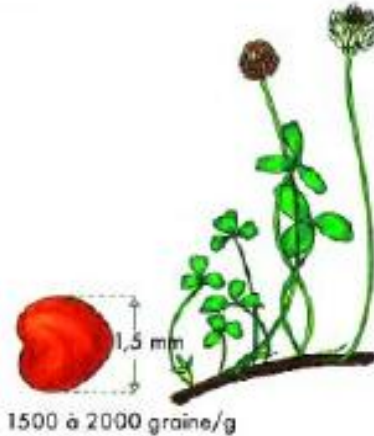
<https://hal.science/hal-01173245/document>

B. LES FABACÉES INTERAGISSENT AVEC LES AUTRES ÊTRES VIVANTS DE LEUR ÉCOSYSTÈME

3. Des relations interspécifiques de compétition



Prairie de fauche associant trèfle blanc et ray-grass



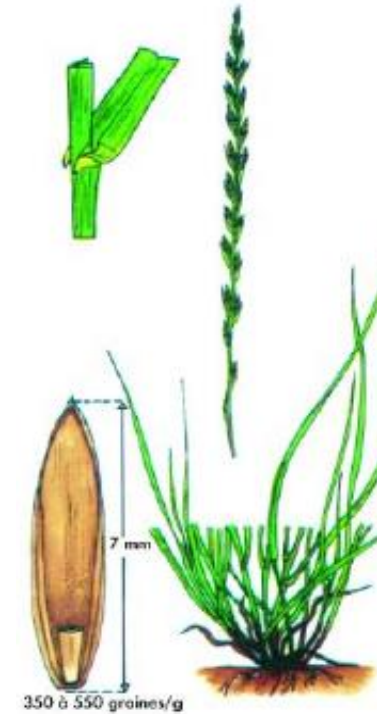
Le trèfle blanc (*Trifolium repens*)

Avantages :

- Bonne association avec les poacées pérennes
- Bien adapté au pâturage
- Appétence et valeur nutritive excellente
- Diminution de la fertilisation azotée
- Bonne production d'été en absence de sécheresse

Limites :

- Risque de météorisation en cas de surabondance
- Maintien difficile du bon équilibre avec la poacée



Ray-grass (ivraie) anglais (*Lolium perenne*)

Avantages :

- Excellente plante de pâture (végétation basse et dense)
- Bonne valeur alimentaire
- Implantation et exploitation faciles
- Assez bonne tolérance aux excès d'eau
- Bonne pérennité (3 à 6 ans selon le milieu et la variété)
- Bonne association avec le trèfle blanc

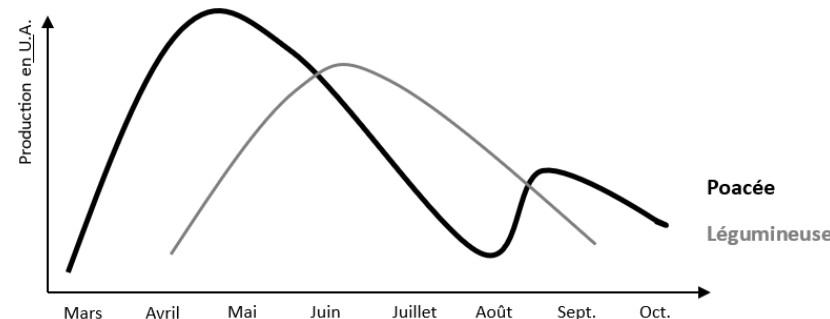
Limites :

- Production stoppée par la chaleur
- Assez sensible aux rouilles
- Difficile à faucher avec une barre de coupe

Critères de choix des variétés :

- Précocité, souplesse d'exploitation
- Répartition du rendement
- Ploïdie
- Pérennité
- Résistance aux maladies (rouilles)

- Poacées et Fabacées = familles botaniques les plus importantes pour l'agriculture
- **culture en association** (simultanément sur la même parcelle) → valorisation des différences écologiques, agronomiques et nutritionnelles des deux familles.
- complémentarité des deux familles → **allongement de la période de pâturage** à la fin du printemps et à l'automne grâce à une production décalée et à la grande stabilité de la valeur alimentaire de la légumineuse.



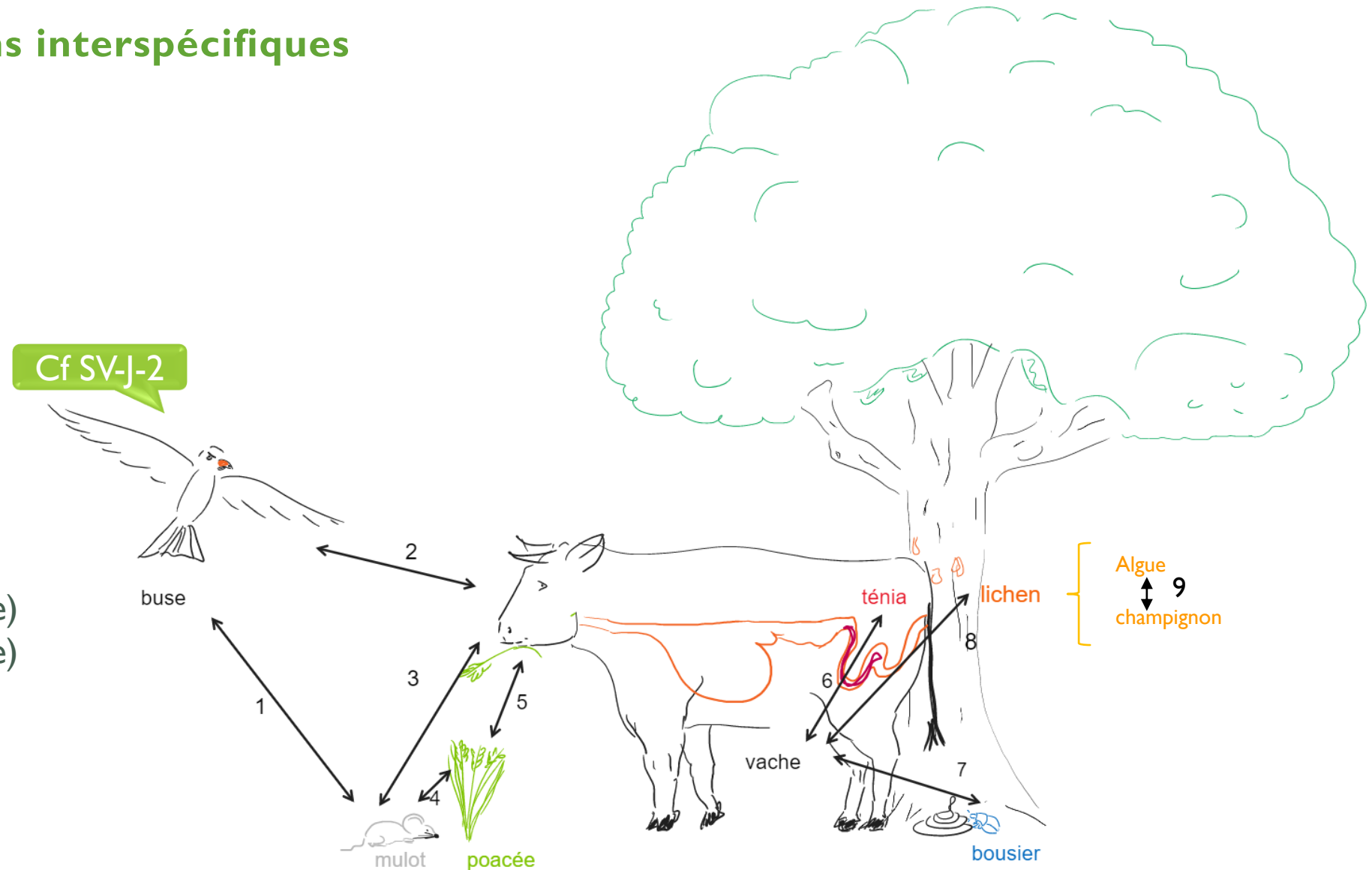
Courbes annuelles de production de deux familles. Les poacées germent plus tôt (somme de T°C journalières pour la sortie de dormance plus faible chez les poacées)

<http://www.plantesfourrageres.org/pages/rga5.htm>

B. LES FABACÉES INTERAGISSENT AVEC LES AUTRES ÊTRES VIVANTS DE LEUR ÉCOSYSTÈME

4. D'autres relations interspécifiques

- 1: prédation
- 2: neutralisme
- 3: compétition
- 4: exploitation (phytophagie)
- 5: exploitation (phytophagie)
- 6: parasitisme
- 7: commensalisme (+/0)**
- 8: amensalisme (-/0)**
- 9: symbiose



Les relations interspécifiques

Légendes: Fabacée (haricot, petit pois)

Poacée (maïs)

Cucurbitacée (courge)

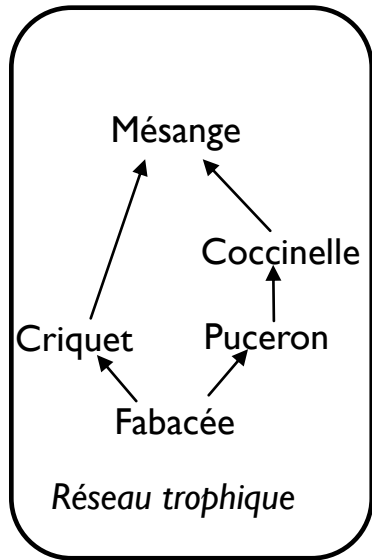
Parasite (Orobanche, puceron)

Rhizobium

Champignon mycorhizien

Abeille => pollinisateur

nectar



Puceron
=> phytophage
(sève élaborée)



Orobanche = holoparasite



Mycorhize => $\nearrow$ augmentation de surface d'absorption
apports de photoassimilats



Nodosité => fixation du diazote atmosphérique et sa réduction en NH_4^+
apports de photoassimilats



Haricot (petit pois) => nutrition azotée



maïs => tuteur = thigmotropisme



Milpa



Courge => ombre pour semis et humidité



Les interactions des Fabacées avec d'autres espèces d'un agrosystème

PLAN

I. Les Fabacées, un groupe d'angiospermes dans la classification phylogénétique

- A. Les Fabacées, des Angiospermes Dicotylédones
- B. Caractéristiques et diversité des Fabacées

II. Les fonctions de relation : les Fabacées interagissent avec les composantes de leur écosystème

- A. Exemple d'un écosystème de fabacée : la prairie pâturée, un agrosystème
- B. Les Fabacées interagissent avec les autres êtres vivants de leur écosystème

C. Le cycle de vie des Fabacées est contrôlé par les conditions abiotiques du milieu

D. La croissance des fabacées est contrôlée par les conditions abiotiques du milieu

III. Les fonctions de nutrition : les fabacées sont des organismes photosynthétiques fixés à l'interface sol-atmosphère

- A. Les racines, lieu d'absorption d'eau et d'ions minéraux
- B. Les feuilles, organes de la photosynthèse
- C. Des tissus assurant les connexions entre organes sources et organes puits

IV. Les fonctions de reproduction : les fabacées produisent une descendance génétiquement différente et disséminée dans le milieu

- A. La fleur des Fabacées, organe de la reproduction
- B. De la fleur au fruit et de l'ovule à la graine : fécondation et transformation de l'appareil reproducteur
- C. Une reproduction maîtrisée par l'homme : sélection, domestication, exploitation

C. LE CYCLE DE VIE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉ PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

Cycle biologique: ensemble des étapes qui se succèdent depuis la germination de la graine, donnant naissance à une plantule, puis à une plante mature, jusqu'aux nouvelles graines produites par cette plante

I. Différentes étapes dans le cycle de vie des fabacées

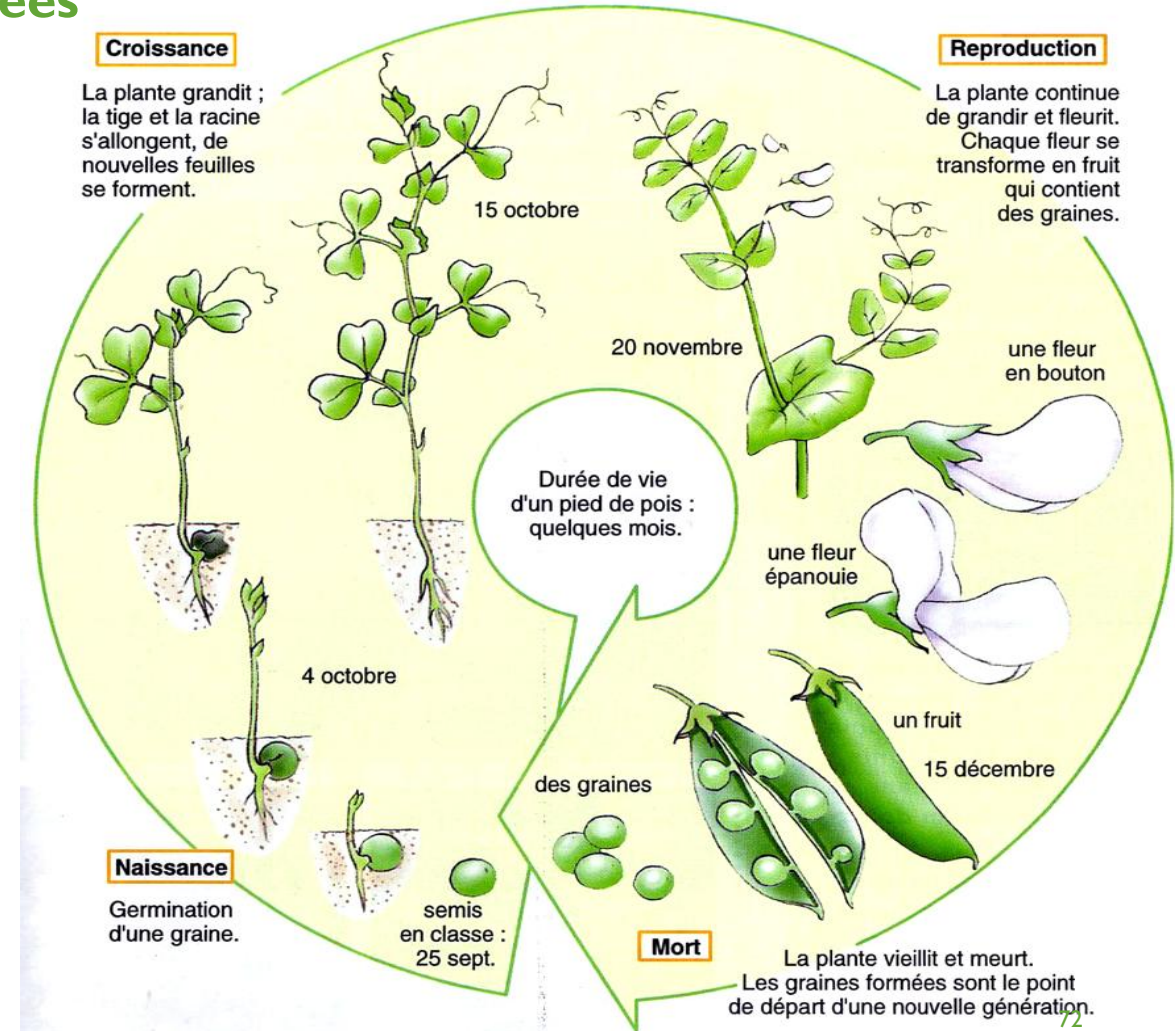
- Le cycle de vie des angiospermes est caractérisé par une succession d'étapes stéréotypées qui entraînent le **passage d'une génération à l'autre**.
 - Ce cycle est en général annuel.
1. Germination de la graine
 2. Croissance de la plante
 3. Mise à fleur
 4. Pollinisation
 5. Fructification et développement des graines
 6. Dispersion des graines

Fin de l'hiver

Printemps

Été

La graine est un stade de résistance à la mauvaise saison : l'hiver



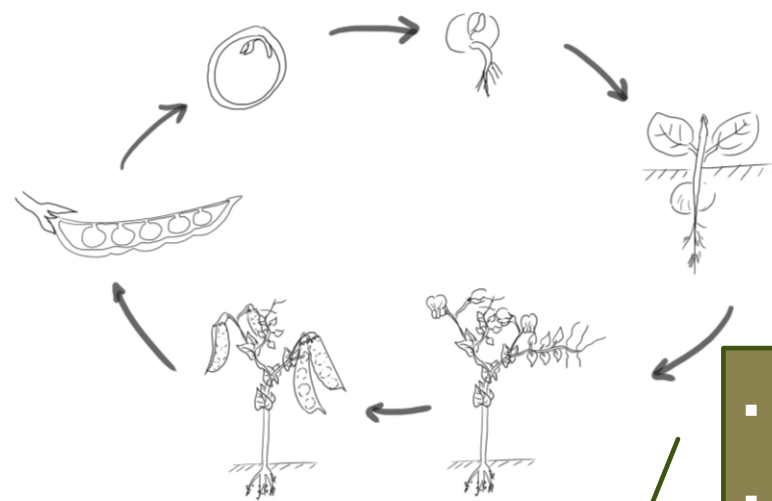
C. LE CYCLE DE VIE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉ PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

2. Des facteurs de contrôle

Cycle biologique: ensemble des étapes qui se succèdent depuis la germination de la graine, donnant naissance à une plantule, puis à une plante mature, jusqu'aux nouvelles graines produites par cette plante

- Le cycle de vie sous influence du milieu **abiotique**
 - notamment la **photopériode** (= durée du jour/ durée de la nuit)
 - cumul de T°C pour sortie de dormance des graines
 - Photopériode → variations de la durée d'éclairement
 - perçues par **protéines présentes dans les feuilles : phytochromes = photorécepteurs**.
 - La photopériode contrôle:
 - ✓ **croissance** : minimale en hiver, elle reprend au printemps lors de l'augmentation de la photopériode
 - ✓ **mise à fleur** : transition d'un méristème apical caulinaire à un méristème inflorescentiel → **plantes dites de jour long**, la mise à fleur s'opère lorsque la durée du jour augmente.
- ⇒ La maturité des fleurs est **synchronisée à la présence d'insectes pollinisateurs**.
- ✓ **entrée et sortie de dormance des graines** :
 - ↘ photopériode → entrée des graines en dormance
 - ↗ photopériode au printemps → sortie de dormance : reprise du métabolisme et germination.
- Graine = organe de dissémination** et une **unité de résistance** qui permet une adaptation aux rythmes saisonniers. Ses réserves sont utilisées pour la germination au retour de la belle saison

Cf TP



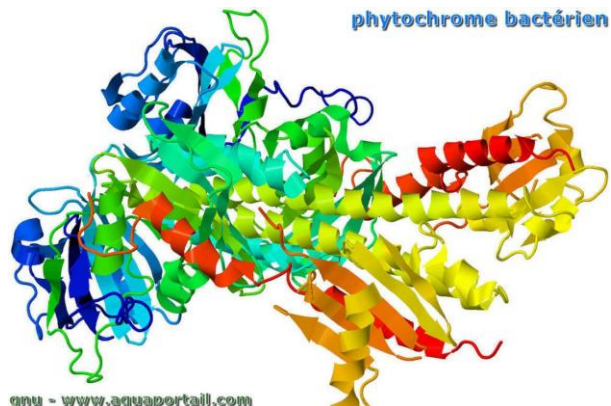
Graine de haricot et coloration au lugol (à droite)

- Petit → limite perte thermique et hydrique
- Riche en réserves – glucidiques et/ou lipidiques et/ou protéiques → utiles à la germination
- Sec → évite le gel
- Tégument → protection et imperméabilisation

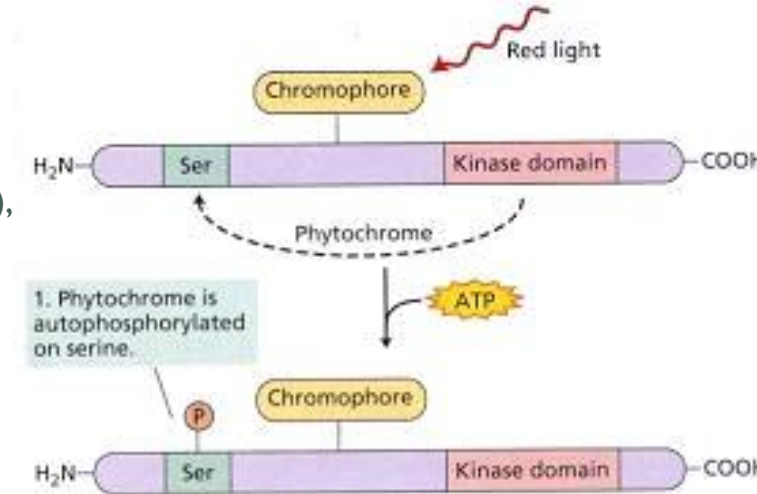
C. LE CYCLE DE VIE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉ PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

2. Des facteurs de contrôle

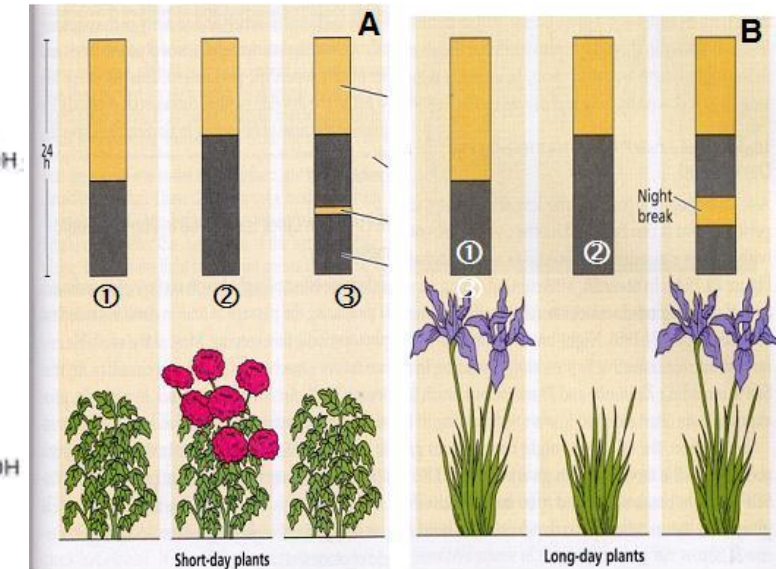
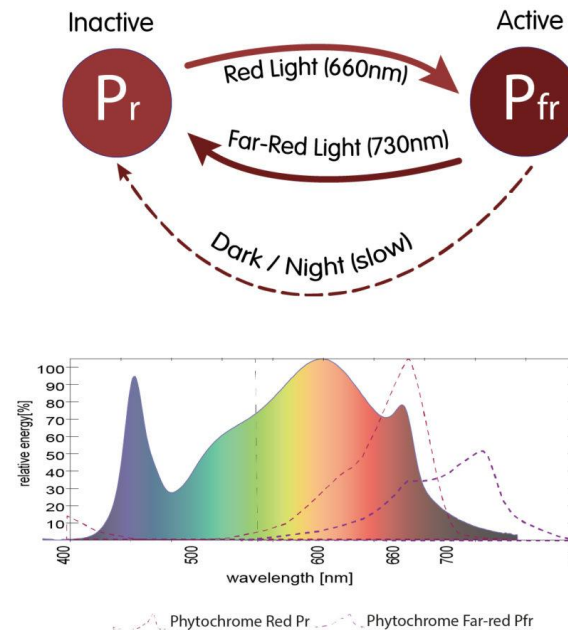
- Le **phytochrome** = chromoprotéine à activité kinase = photorécepteur sensible à la lumière rouge (600–700nm) et en rouge lointain (700–800nm), grâce à son chromophore.
- Cascades de réaction induites par phytochromes
 - Floraison
 - Germination
 - Croissance
 - Régulation de l'expression de l'activité métabolique pendant le jour et la nuit (rythmes circadiens).
- Les phytochromes découverts dans les années 1950, étude sur effets de la lumière sur la germination des graines de laitue.



gnu - www.aquaportail.com
BCPST1 - ENCPB - STÉPHANIE DALAINE



Photoreversible state of Phytochromes

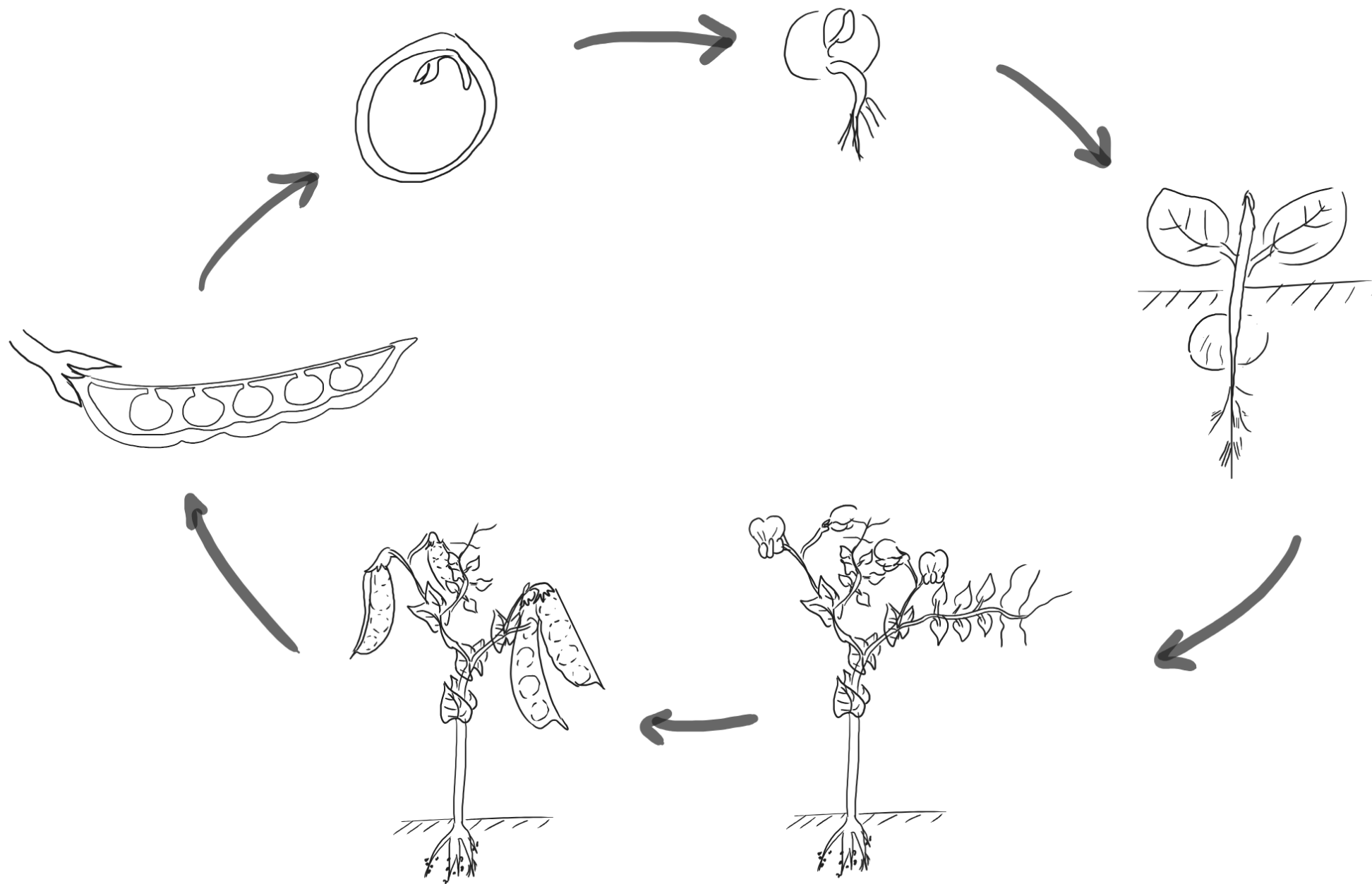


Les plantes mesurent la durée de la nuit.

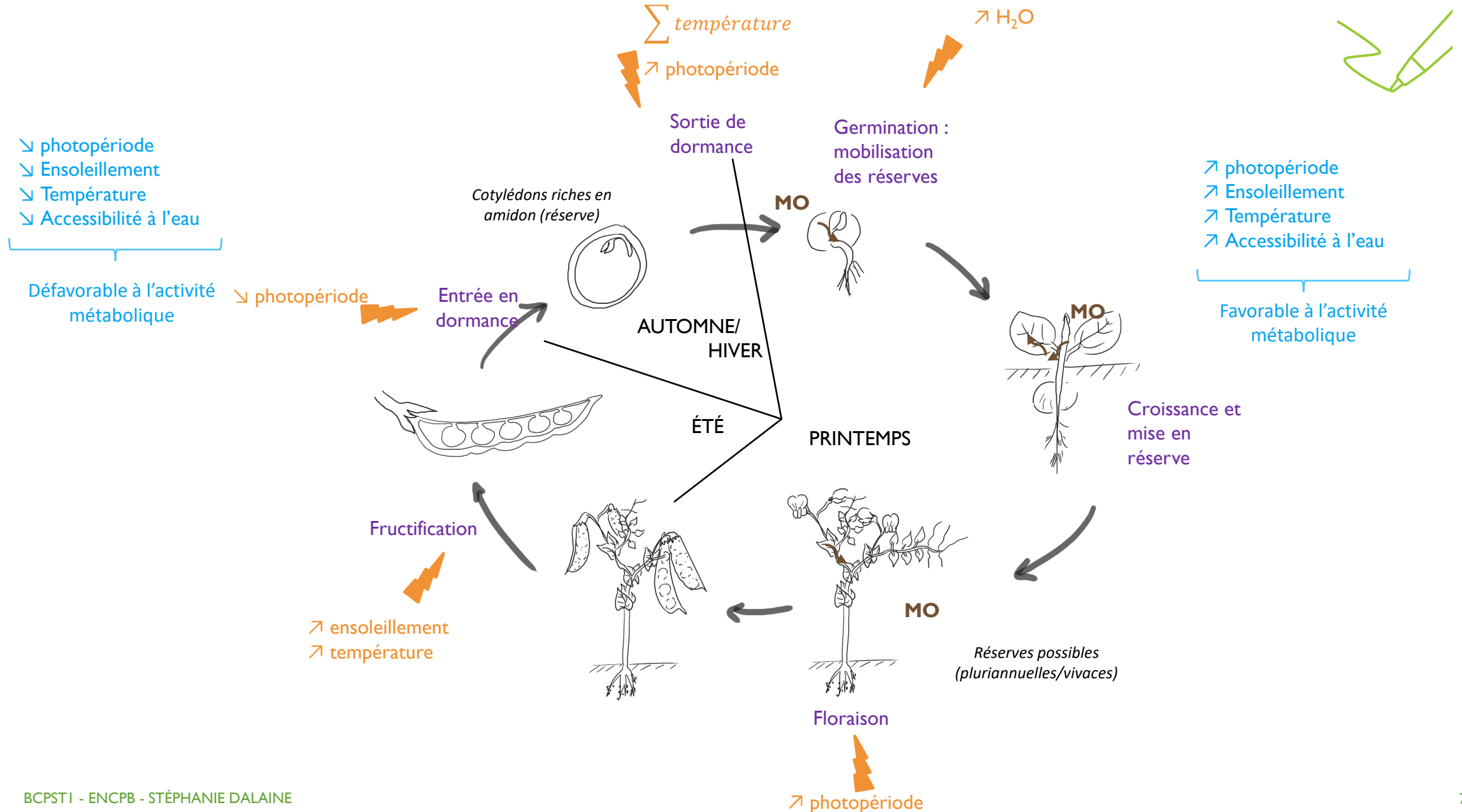
Des plantes (A) de jours courts et (B) de jours longs sont cultivées **en jours longs** (①). Dans ces conditions, seules les plantes de jours longs fleurissent.

Lorsque les deux types de plantes sont **cultivées en jours courts** (②), seules les plantes de jours courts fleurissent.

Lorsque les deux types de plantes sont cultivées **en jours courts et que la nuit est interrompue par une période de lumière**, l'effet des jours courts est annulé : les plantes de jours courts ne fleurissent pas alors que les plantes de jours longs (③) fleurissent.



C. LE CYCLE DE VIE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉ PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

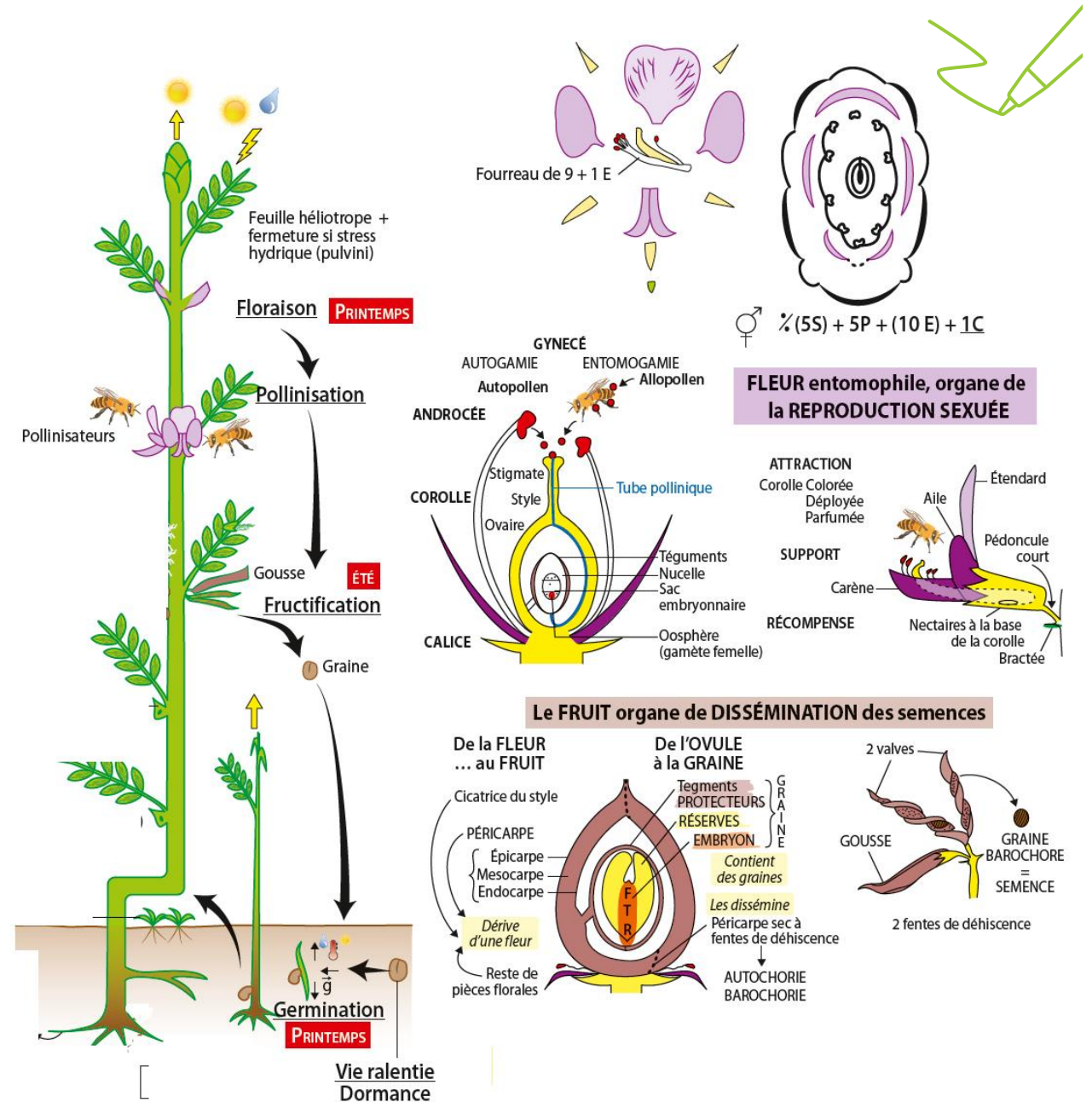


C. LE CYCLE DE VIE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉ PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

BILAN

BILAN : Fruits des Angiospermes variés (fruits secs déhiscents ou non, fruits charnus) mais toujours :

- organes de protection des graines.
- organes de dissémination : système de dispersion (fentes de déhiscence), attraction du fruit charnu
 - fruit contient des graines, les dissémine et dérive d'une fleur (cicatrices des anciennes pièces florales, style/stigmate (diagnose fruit = graines, déhiscence, restes de pièces florales))
- **Bilan :** Les Angiospermes ont des réponses à leur vie fixée en milieu aérien au niveau de leurs organes reproducteurs :
 - **fleurs** ⇒ **rencontre des gamètes** grâce à la **pollinisation** et **fécondation interne siphonogame** en milieu aérien desséchant.
 - **fruits** ⇒ **dissémination de graines résistantes** en milieu variable thermiquement.
 - Certaines Fabacées ⇒ **reproduction asexuée** ⇒ colonisation rapide d'un milieu stable par un clone d'individu (exemple trèfle rampant envahissant une pelouse grâce à ses tiges rampantes nommées stolons à l'extrémité desquels les bourgeons sont à l'origine d'un nouvel individu).



PLAN

I. Les Fabacées, un groupe d'angiospermes dans la classification phylogénétique

- A. Les Fabacées, des Angiospermes Dicotylédones
- B. Caractéristiques et diversité des Fabacées

II. Les fonctions de relation : les Fabacées interagissent avec les composantes de leur écosystème

- A. Exemple d'un écosystème de fabacée : la prairie pâturée, un agrosystème
- B. Les Fabacées interagissent avec les autres êtres vivants de leur écosystème
- C. Le cycle de vie des Fabacées est contrôlé par les conditions abiotiques du milieu
- D. La croissance des fabacées est contrôlée par les conditions abiotiques du milieu**

III. Les fonctions de nutrition : les fabacées sont des organismes photosynthétiques fixés à l'interface sol-atmosphère

- A. Les racines, lieu d'absorption d'eau et d'ions minéraux
- B. Les feuilles, organes de la photosynthèse
- C. Des tissus assurant les connexions entre organes sources et organes puits

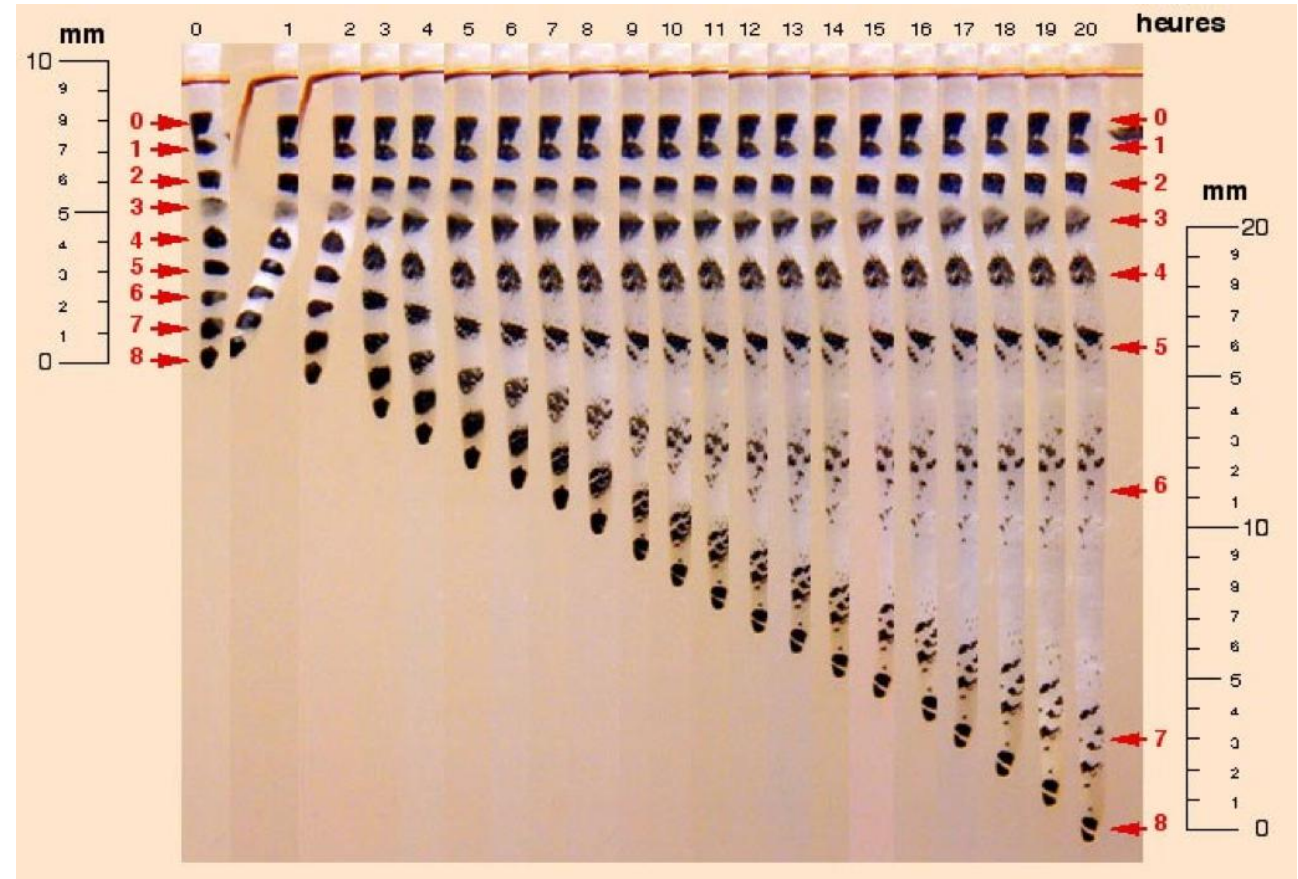
IV. Les fonctions de reproduction : les fabacées produisent une descendance génétiquement différente et disséminée dans le milieu

- A. La fleur des Fabacées, organe de la reproduction
- B. De la fleur au fruit et de l'ovule à la graine : fécondation et transformation de l'appareil reproducteur
- C. Une reproduction maîtrisée par l'homme : sélection, domestication, exploitation

D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

I. Mise en évidence de zones de croissances par multiplication mais aussi par élongation

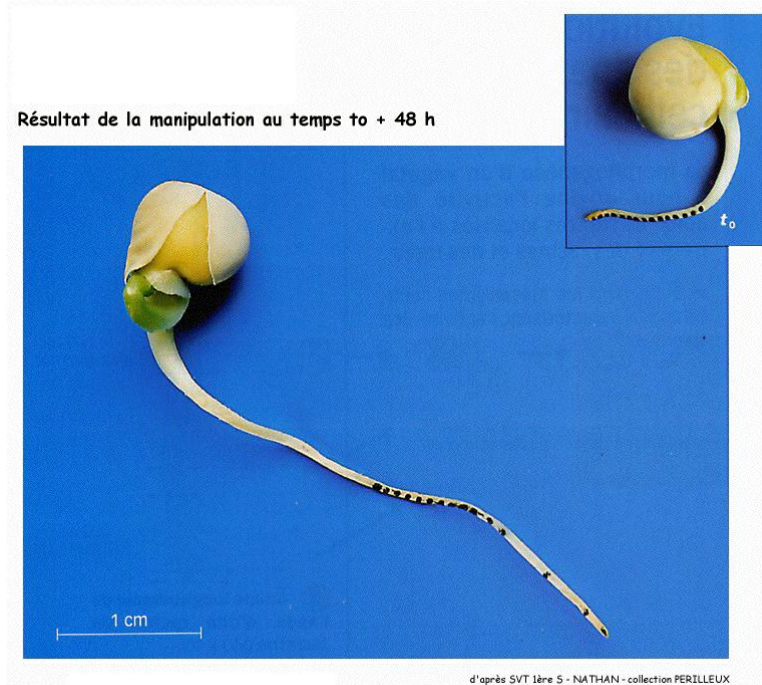
- Etude de la croissance au niveau de la racine : expérience de Sachs
- Protocole de l'expérience de Sachs : **marquage équidistant à l'encre vitale** (ex encre de Chine) de différentes parties d'une racine ou d'une tige jeune, et suivi de la position de ces marques au cours de la croissance de la plante.
- Résultats :
 - après 24h, seules les marques les plus proches de l'extrémité se sont écartées
 - apparition de poils absorbants au-dessus.



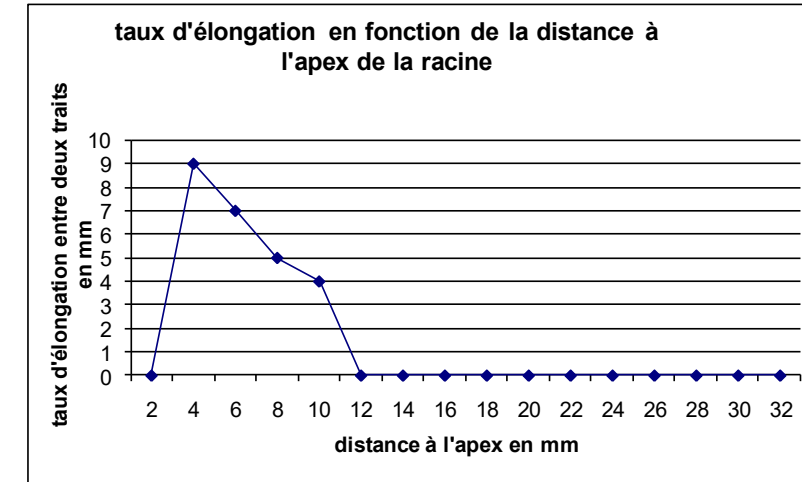
D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

2. La croissance des fabacées est indéfinie et localisée au niveau de méristèmes

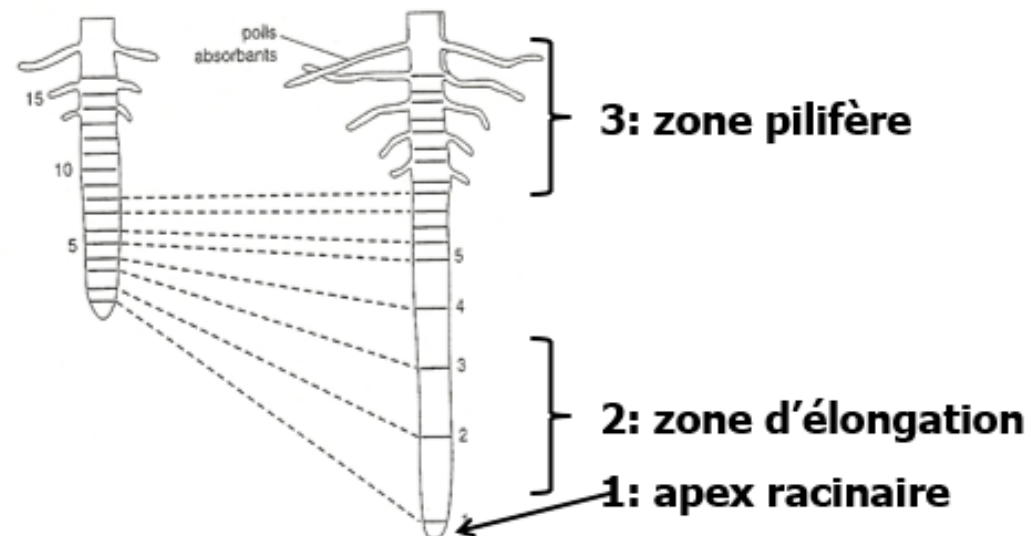
- Résultats de l'expérience de Sachs :
 - après 24h
 - Croissance localisée à l'apex racinaire
 - Apparition de poils absorbants au-dessus de zone d'élongation



La croissance en longueur des racines est localisée à un endroit précis **entre l'apex et les poils absorbants**



Montage sur racines de lentilles germées, marquées à l'encre de Chine (1^{ère} S.)



2. La croissance des Fabacées est indéfinie et localisée au niveau de méristèmes

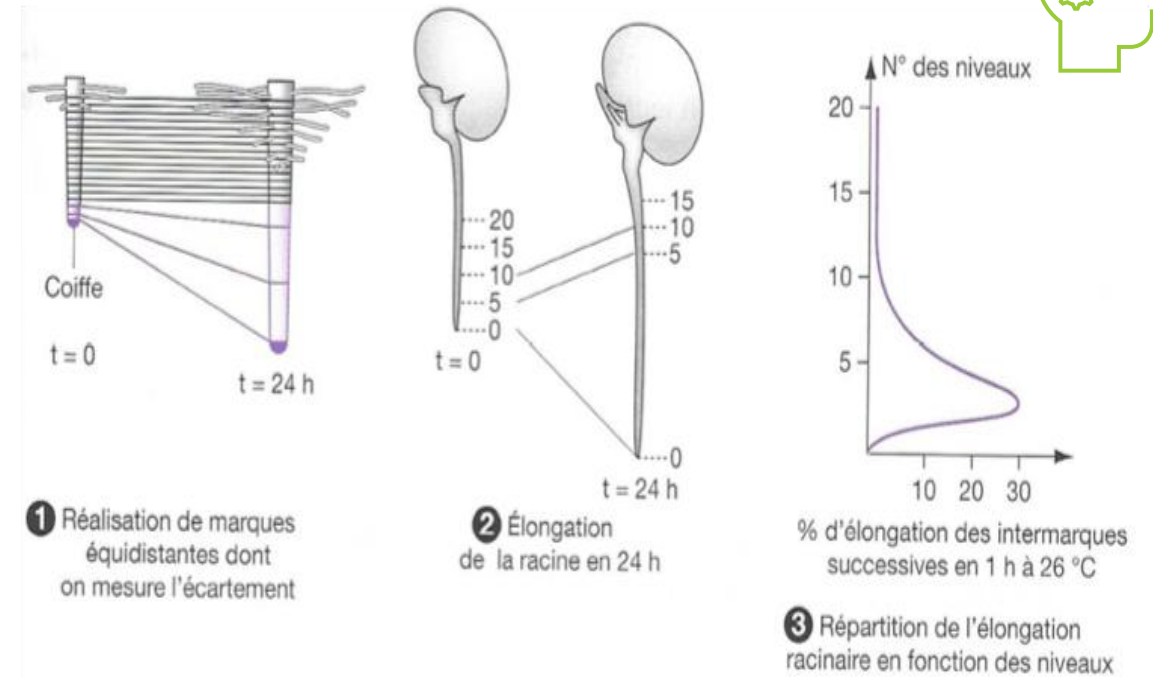
- Observation microscopique de la zone de croissance :
 - zones de **mérèse**, où les cellules se divisent activement ;
 - zones d'**auxèse**, où les cellules croissent en longueur ;
 - zones de **différenciation**, où les cellules acquièrent une morphologie associée à leur fonction.
- **méristème apical racinaire (MAR) = histogène**
 - production de cellules associées en tissus comme le xylème, le phloème, le parenchyme ou encore l'épiderme
- **méristème apical racinaire (MAR) = organogène**
 - production de nouvelles racines.

*méristème : (du grec *meristos*, partager) tissu végétal constitué de jeunes cellules qui sont le siège de nombreuses mitoses.

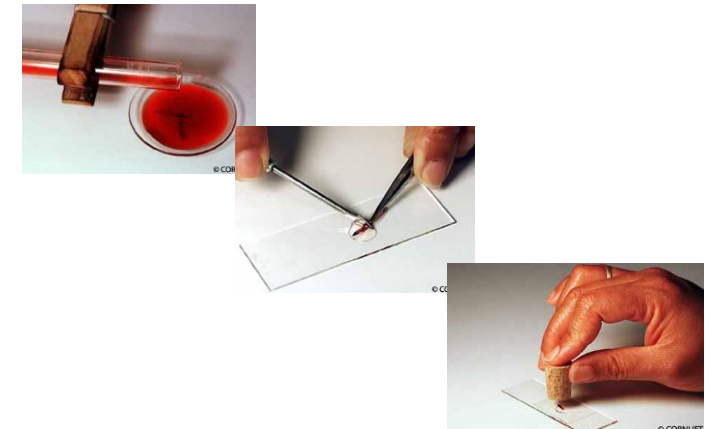
*parenchyme: tissu végétal formé de cellules peu ou pas différenciées.

*Phloème : tissu conducteur de sève élaborée formé de cellules vivantes : les tubes criblés.

*Xylème (vaisseau) : les vaisseaux de xylèmes sont les éléments conducteurs de la sève brute. Ils sont formés de cellules mortes à la paroi lignifiée (hydrophobe et élastique).



Etude de la croissance au niveau de la tige (Peycru et al., 2010)



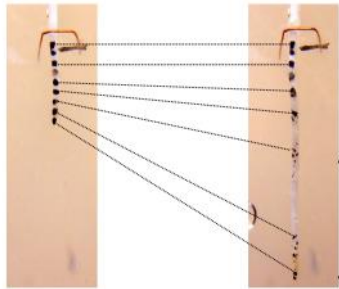
D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

2. La croissance des fabacées est indéfinie et localisée au niveau de méristèmes

A-
Expérience des traits de Sachs

Marquage équidistant
sur la racine à t0

Position du marquage
à t = 20H



B-
Coupe longitudinale de la zone de croissance



territoire de
différenciation

territoire d'auxèse :
les cellules sont de plus
en plus longues

territoire de mérése =
méristème :
des figures de mitose signalent
la multiplication des cellules

coiffe

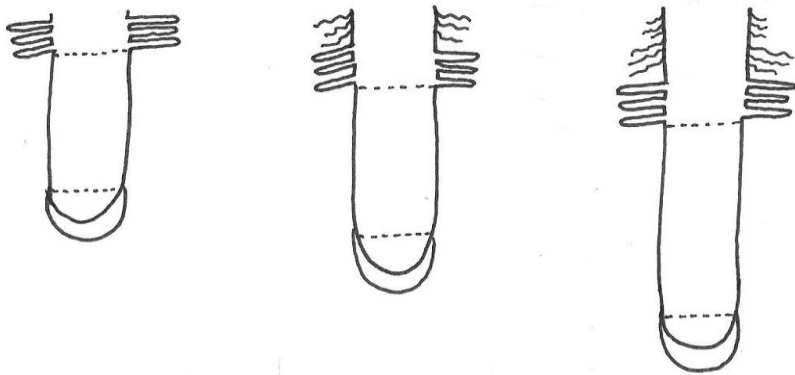
différenciation

auxèse

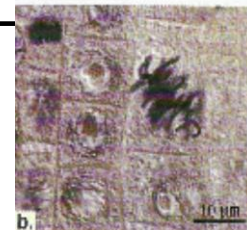
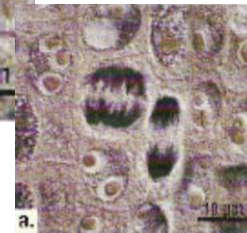
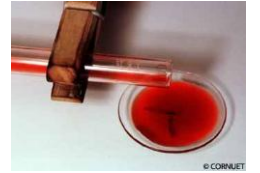
mérése

0,1 mm

- Le méristème apical racinaire (MAR) = histogène et organogène

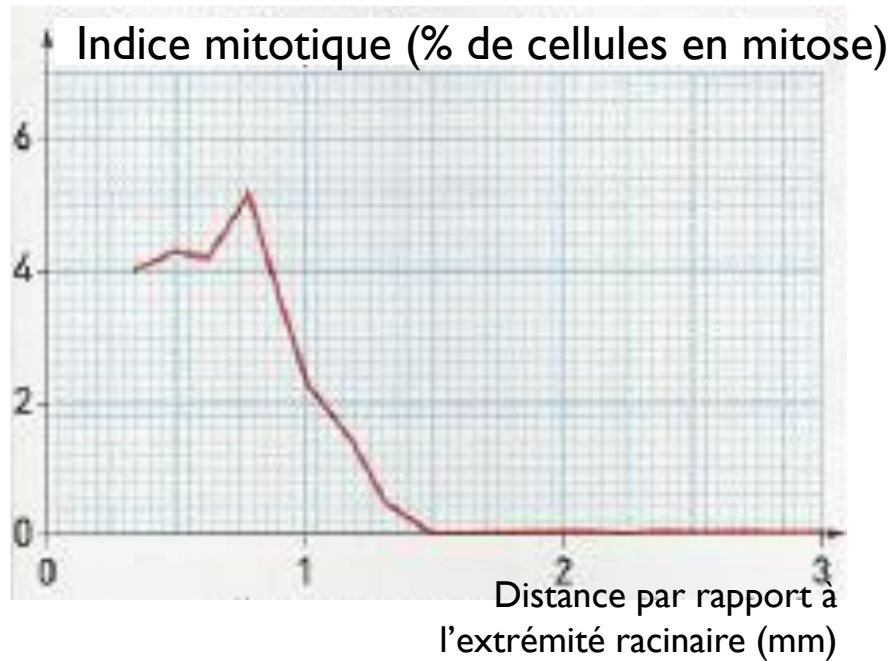


*méristème : (du grec *meristos*, partager) tissu végétal constitué de jeunes cellules qui sont le siège de nombreuses mitoses.

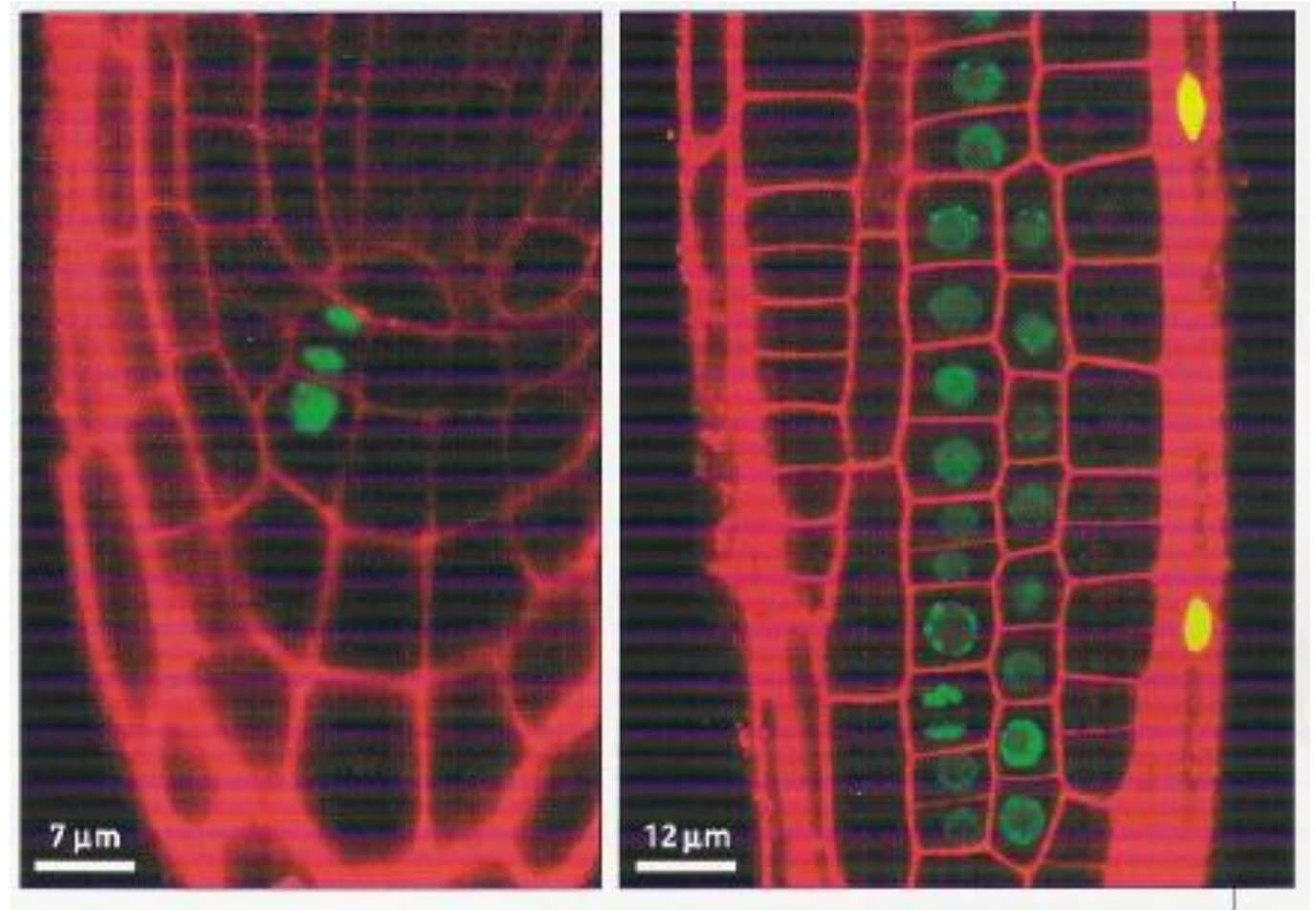


D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

2. La croissance des fabacées est indéfinie et localisée au niveau de méristèmes



Pour étudier le devenir des cellules, un marqueur fluorescent vert est injecté dans une cellule de l'apex de la racine. Toutes les cellules issues par mitose de cette cellule possèdent un noyau vert fluorescent (marquage à la GFP pour Green Fluorescent Protein).



Apex racinaire d'arabette des dames.

Gauche: marquage initial.

D'après Nathan 1^{ère} S p.201

Droite: résultat obtenu.

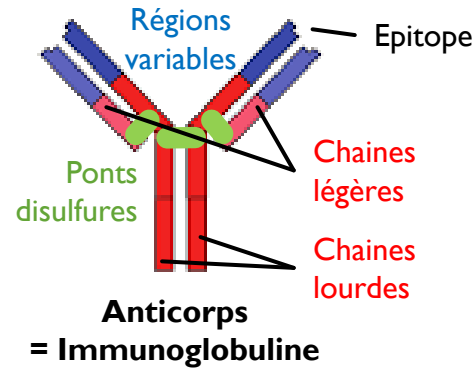
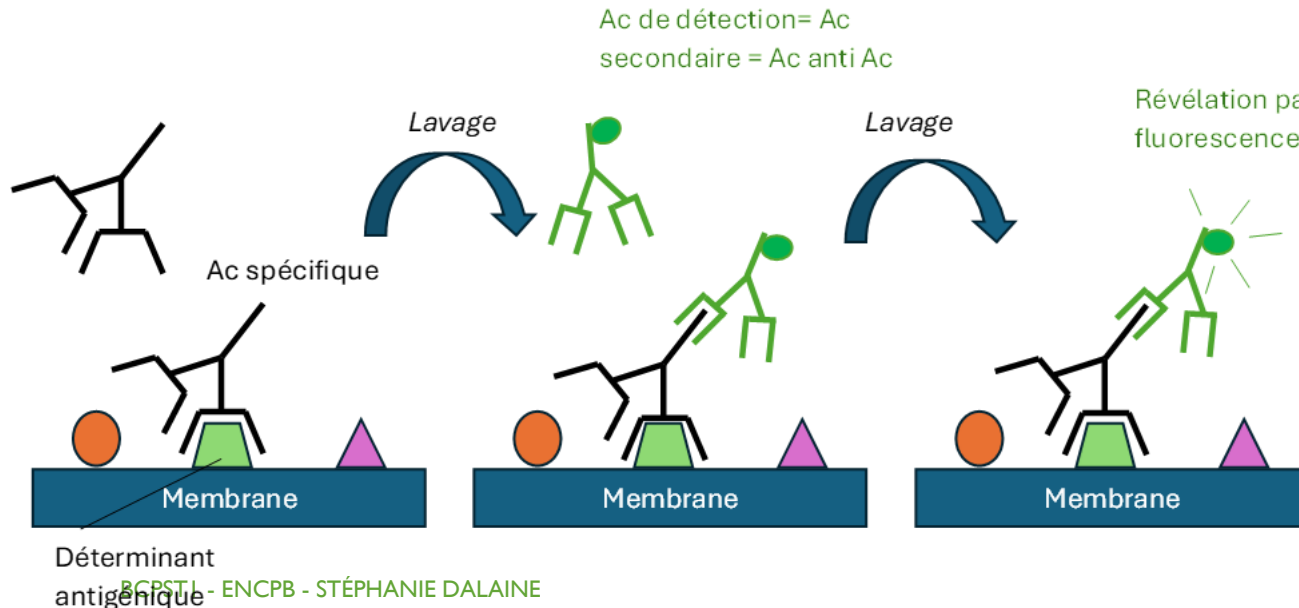
2. La croissance des fabacées est indéfinie et localisée au niveau de méristèmes

Techniques de marquage par immunocytochimie (immunohistochimie)

Principe : utiliser des anticorps (Ac) dirigés contre une structure cellulaire spécifique ciblée (Ag) et marqués (fluorescence, enzyme, radioisotope)

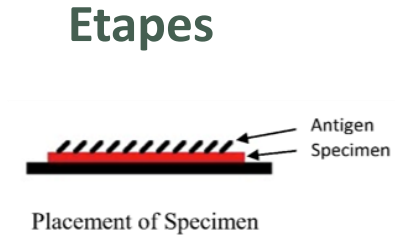
→ Observation au microscope

- **Méthode directe** (anticorps marqué)
- **Méthode indirecte** (+ anticorps anti-anticorps marqué)

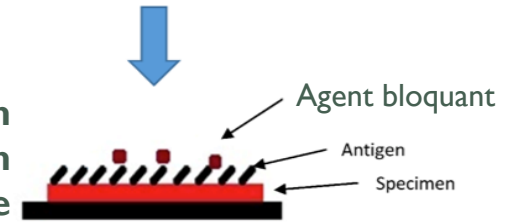


1. Préparation de l'échantillon

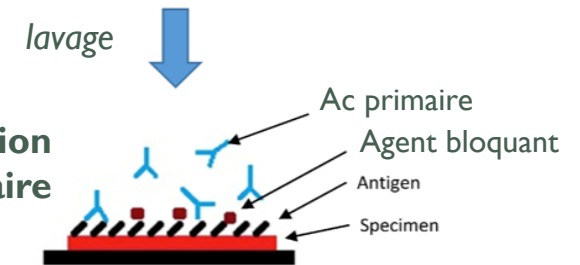
Fixation + coupe fine ou frottis



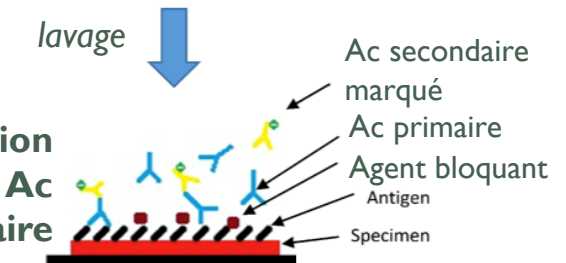
2. Incubation dans la solution bloquante



3. Incubation avec Ac primaire



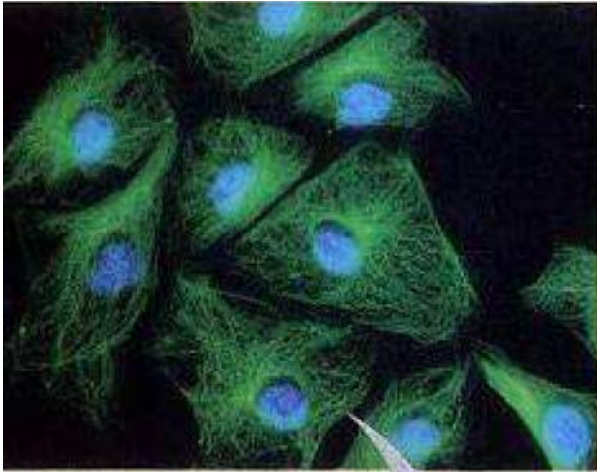
4. Incubation avec Ac secondaire



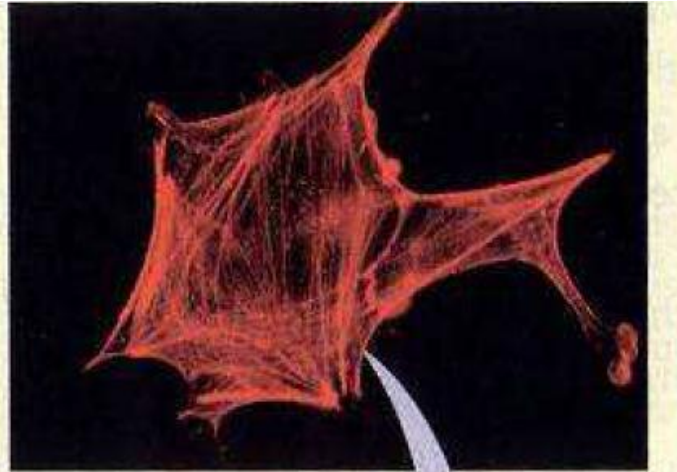
D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

2. La croissance des fabacées est indéfinie et localisée au niveau de méristèmes

Techniques de marquage par immunocytochimie (immunohistochimie)



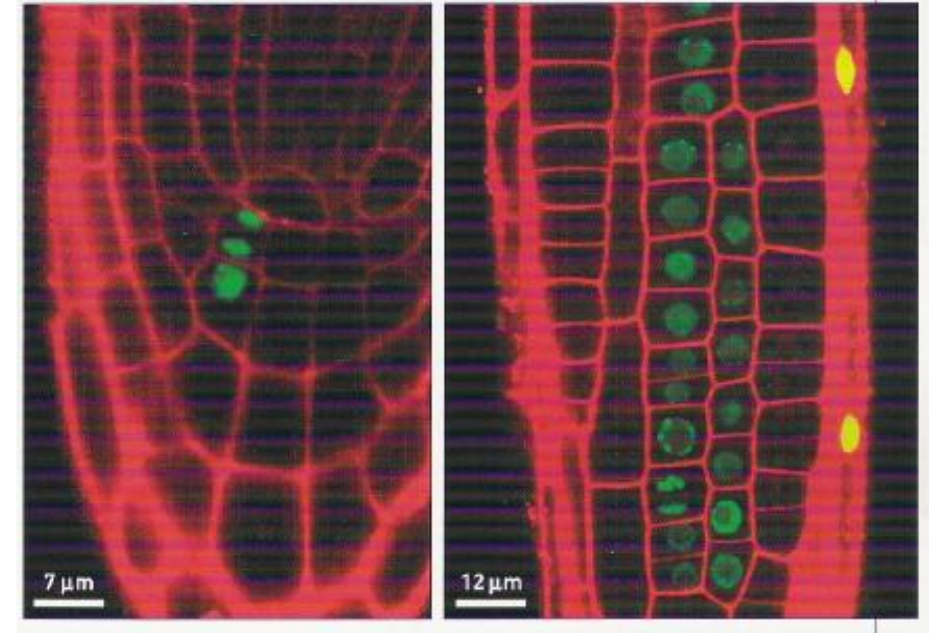
Microtubules (vert GFP)
Noyau (bleu DAPI spécifique de l'ADN)



Actine (rouge rhodamine)

Marquage des éléments du cytosquelette par immunocytochimie

Cf SV-C-1

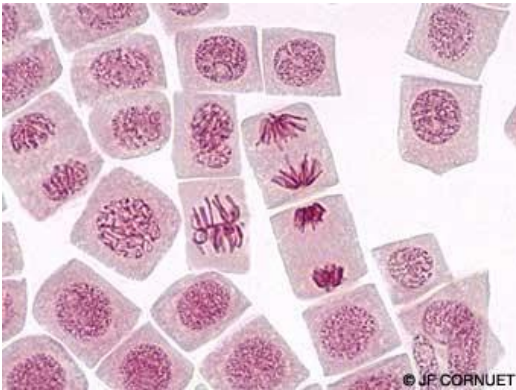


Ici immunocytochimie: GFP pour l'ADN et
rhodamine pour la paroi végétale

D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

2. La croissance des fabacées est indéfinie et localisée au niveau de méristèmes

Propriétés des cellules méristématiques

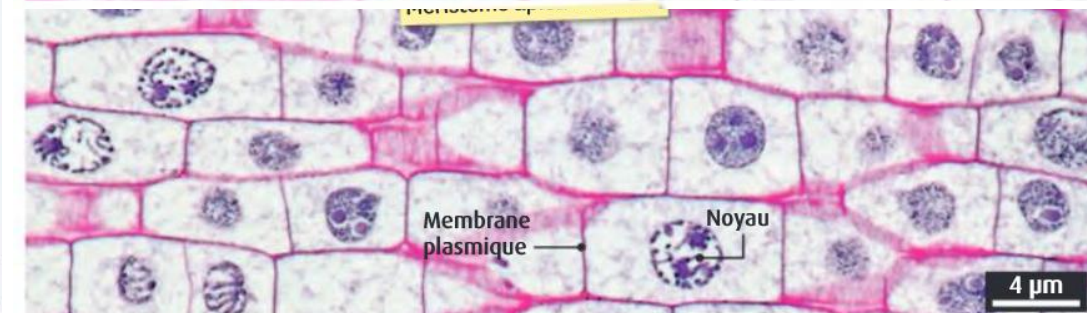
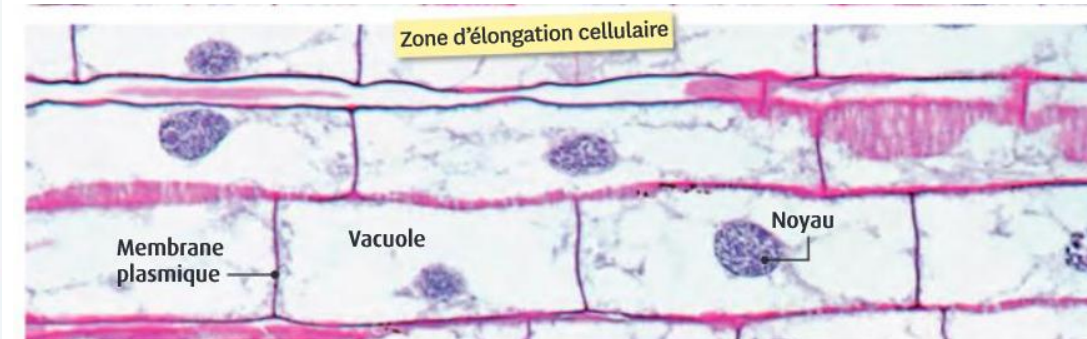
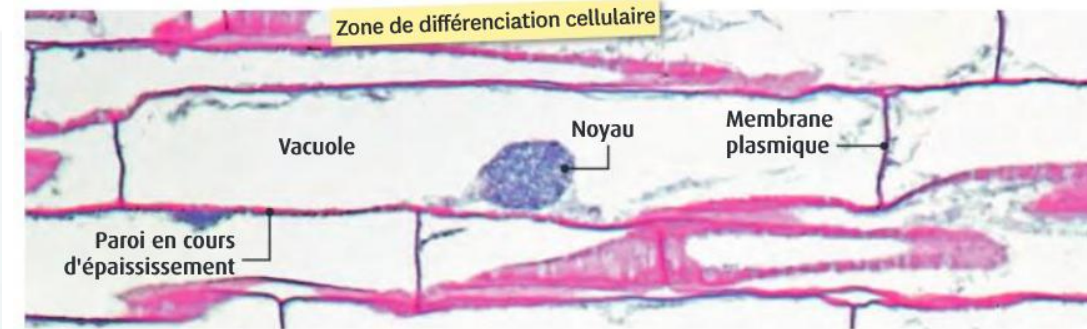
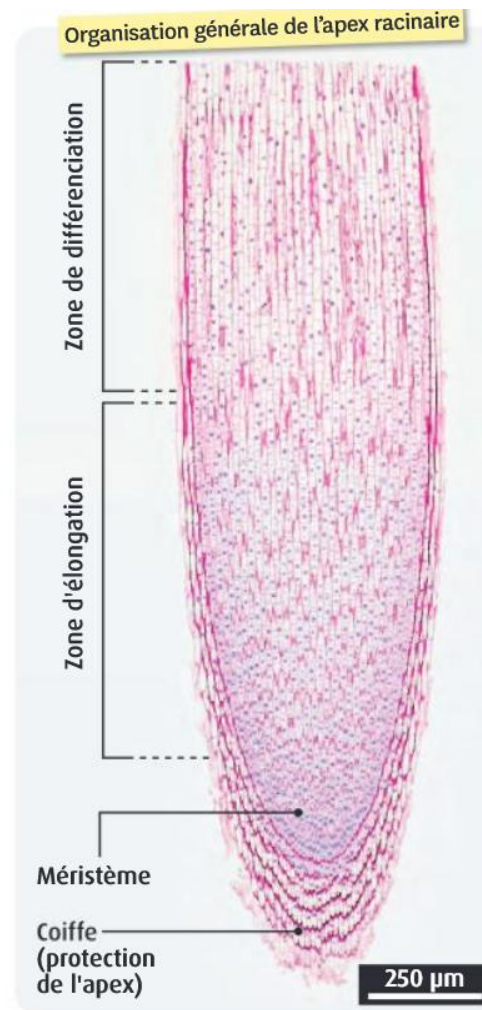


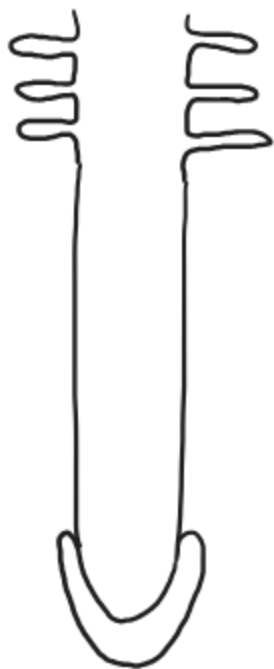
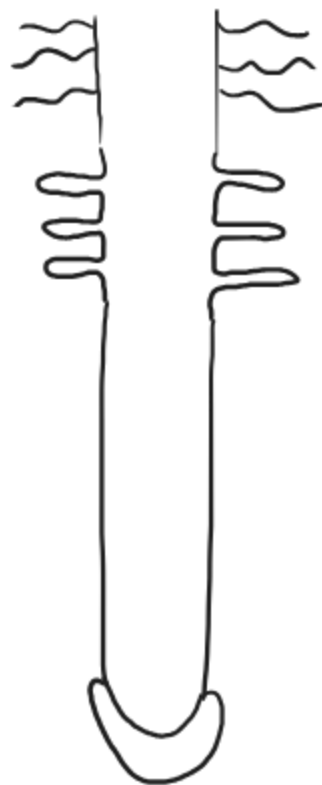
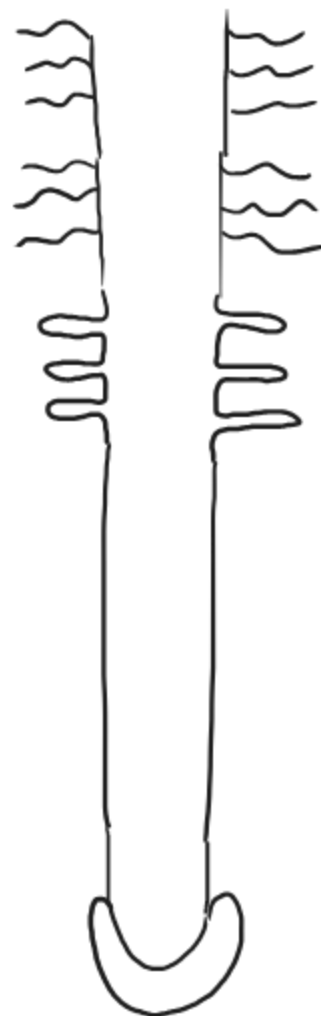
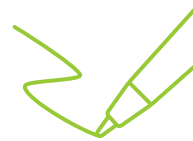
Observation de chromosomes

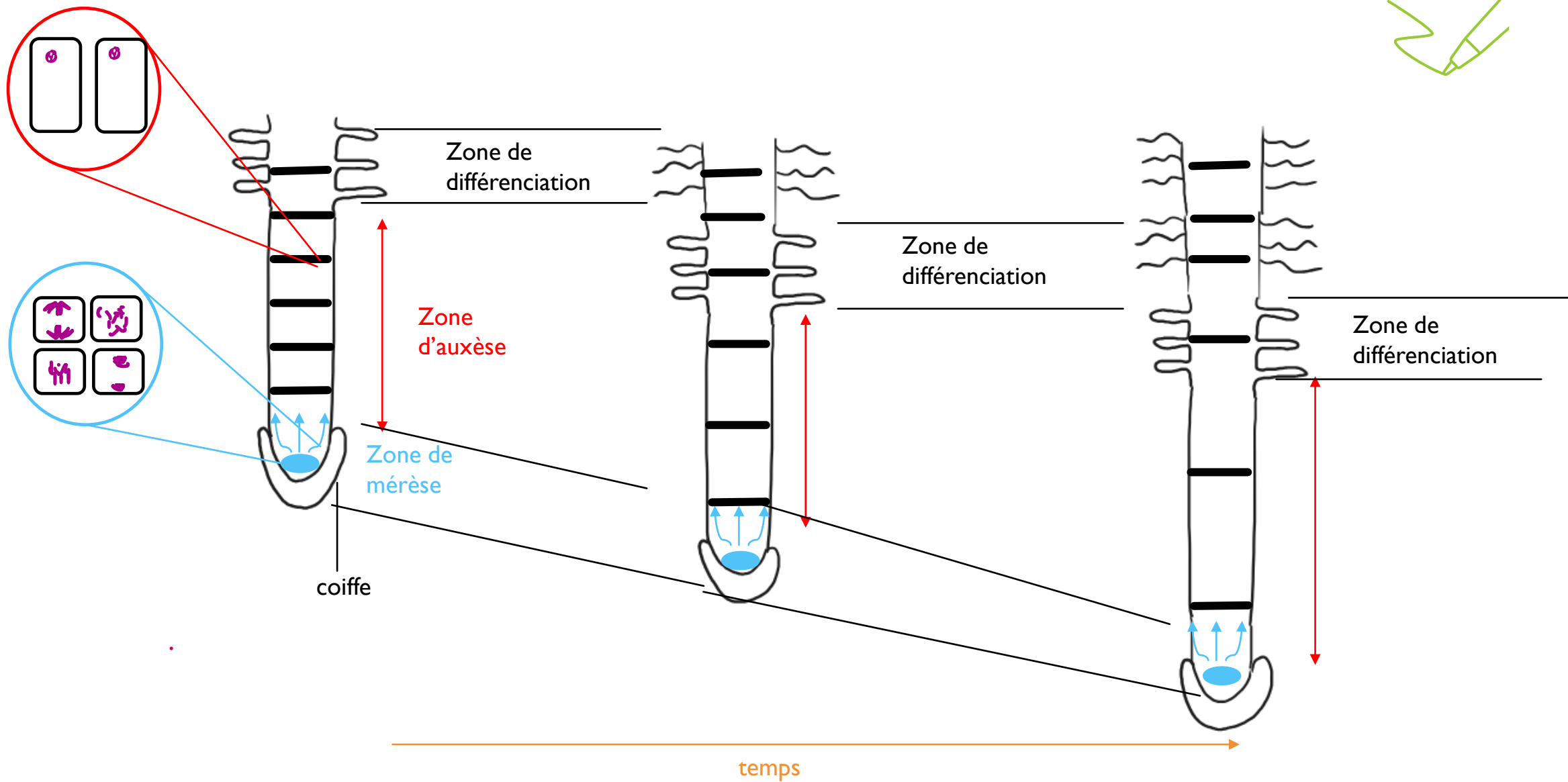
=> cellules en mitose



On distingue
dans la mitose...



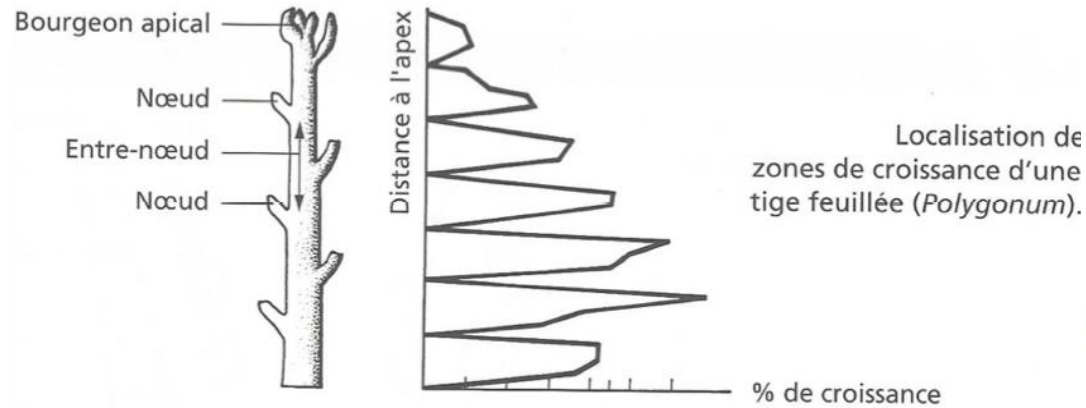




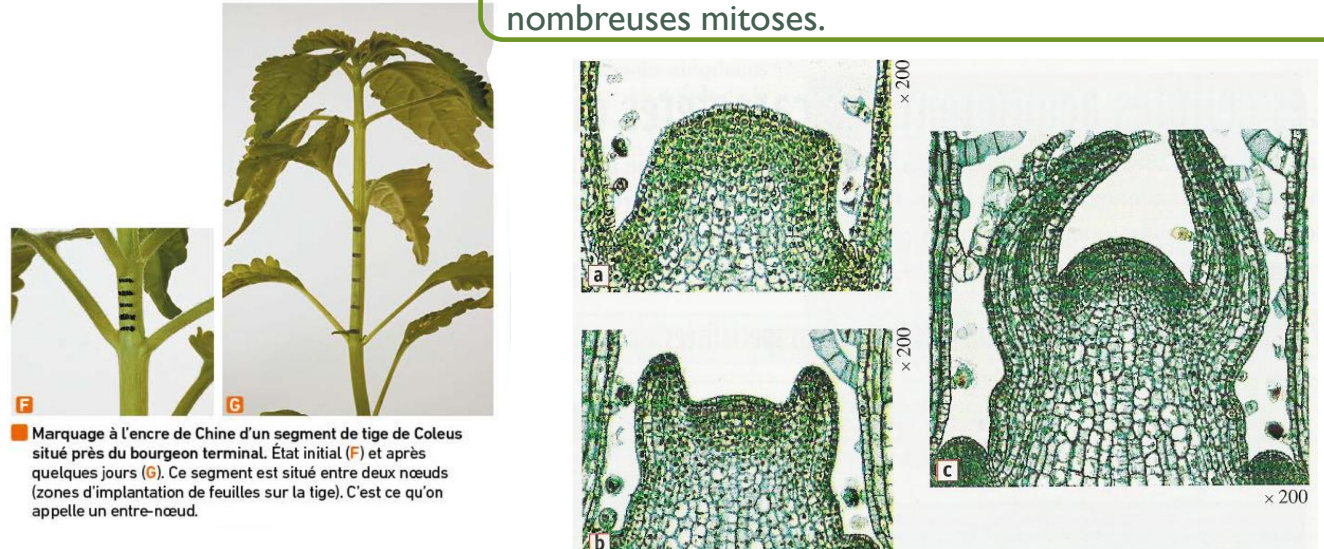
D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

2. La croissance des Fabacées est indéfinie et localisée au niveau de méristèmes

- Mise en évidence des zones de croissance en longueur sur une tige :

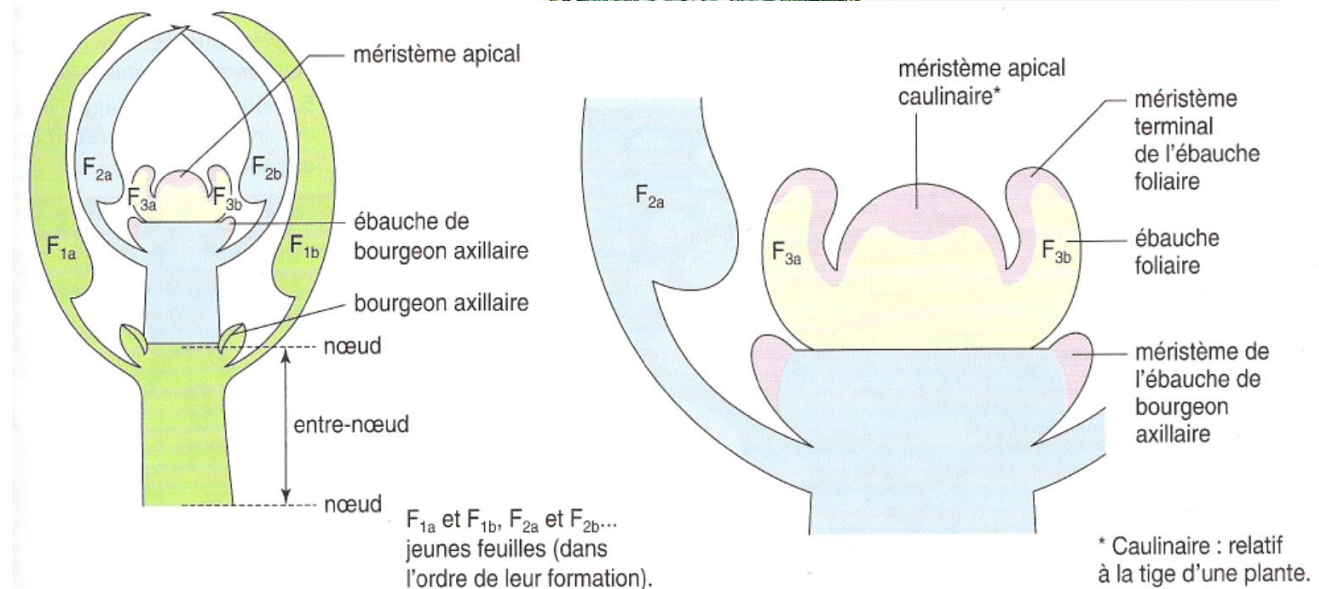


*méristème : (du grec *meristos*, partager) tissu végétal constitué de jeunes cellules qui sont le siège de nombreuses mitoses.



■ Marquage à l'encre de Chine d'un segment de tige de *Coleus* situé près du bourgeon terminal. État initial (F) et après quelques jours (G). Ce segment est situé entre deux nœuds (zones d'implantation de feuilles sur la tige). C'est ce qu'on appelle un entrenœud.

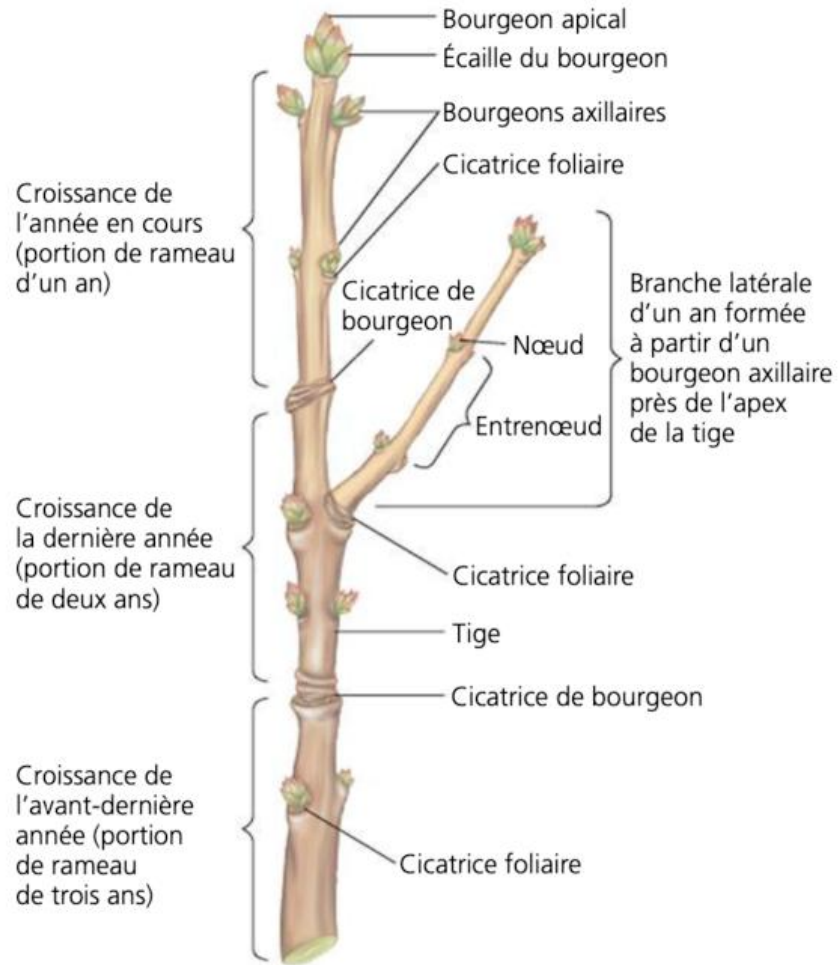
- Protocole : même principe que racines
- Résultats : croissance nulle au niveau des nœuds, maximale au milieu des **entrenœuds**.
- Interprétation : **croissance intercalaire** = localisée au niveau des derniers entrenœuds
 - **méristème apical caulinaire (MAC) = histogène**
 - **méristème apical caulinaire (MAC) = organogène** (→ les feuilles)
- Observation d'une tige feuillée → succession d'unités identiques = **phytomères** = 1 **nœud** portant une ou plusieurs feuilles + 1 **bourgeon axillaire** + 1 **entrenœud**
 - phytomères produits de façon **rythmique** par le méristème apical caulinaire.



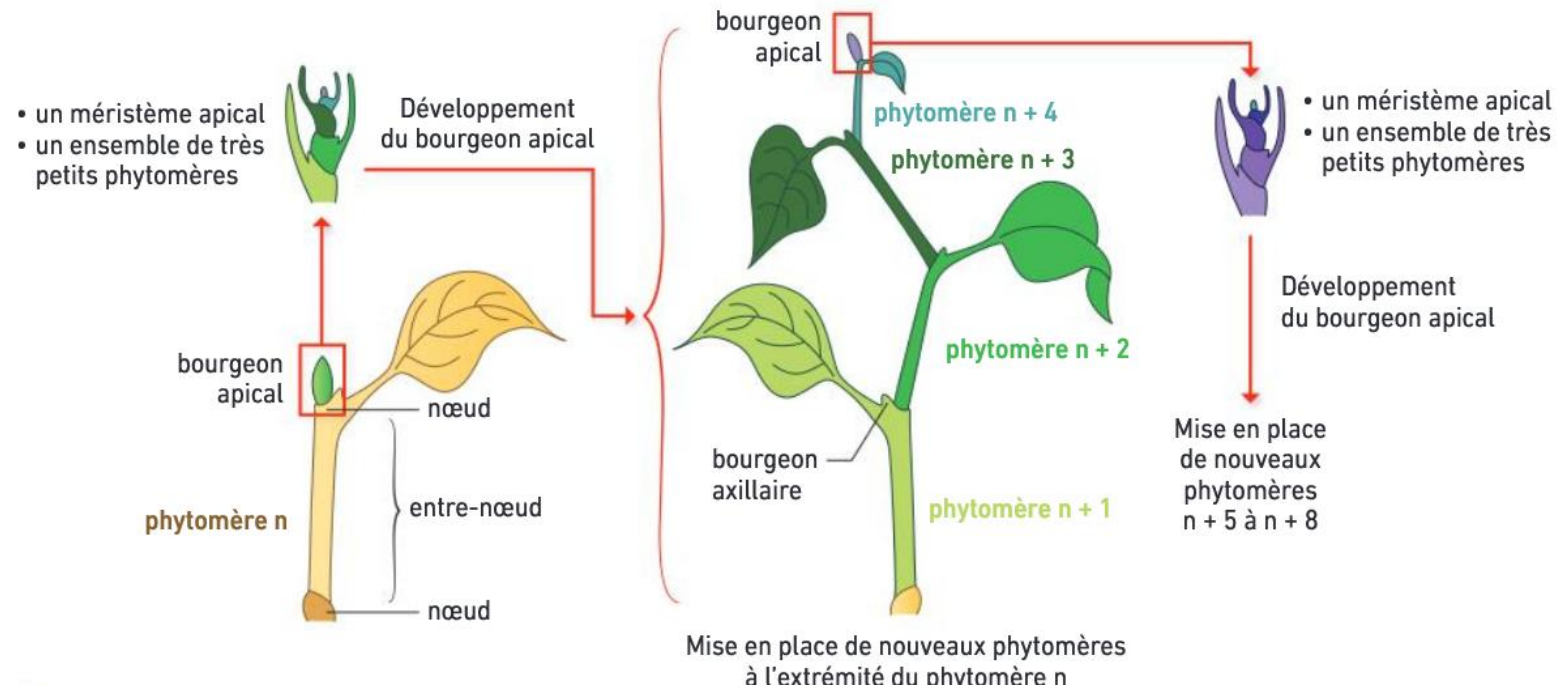
D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

2. La croissance des fabacées est indéfinie et localisée au niveau de méristèmes

Cf spé (patience 😊)



▲ **Figure 35.12** Trois années de croissance d'un rameau en hiver.



- Anatomie de la tige feuillée = Construction répétitive d'**unités végétatives** = **phytomères**
 - **Le nœud** : portion de tige au niveau de laquelle on trouve un BA à l'aisselle d'une feuille disposée selon une phyllotaxie caractéristique de l'espèce.
 - **Le bourgeon axillaire** = contient le MAC = cellules en mitose qui généreront des tissus et des organes
 - **L'entrenœud** = zone de tige sans feuille, entre deux nœuds, limitant l'ombrage entre les feuilles.
 - Phytomères produits de façon **rythmique** par le méristème apical caulinaire.

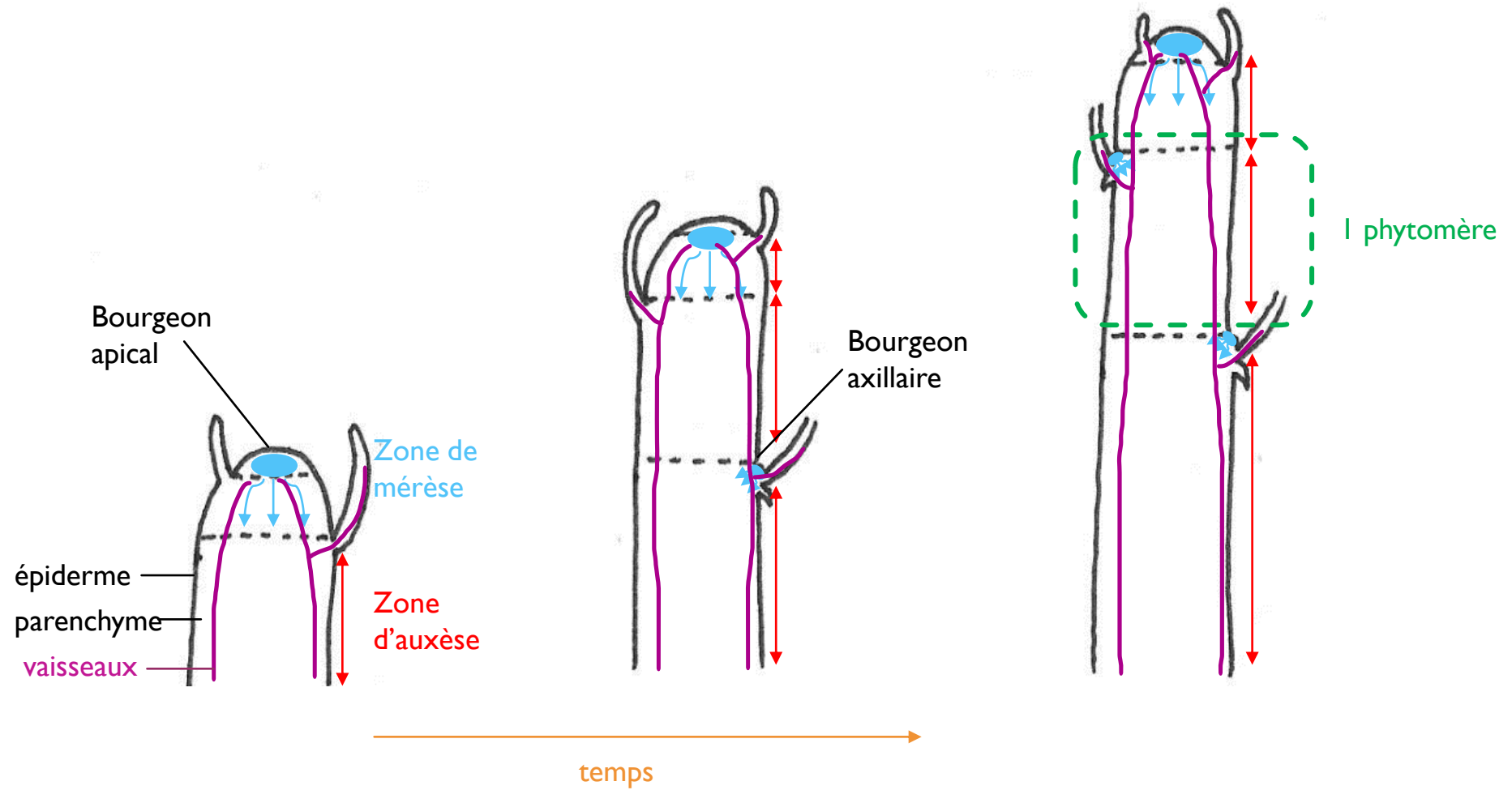


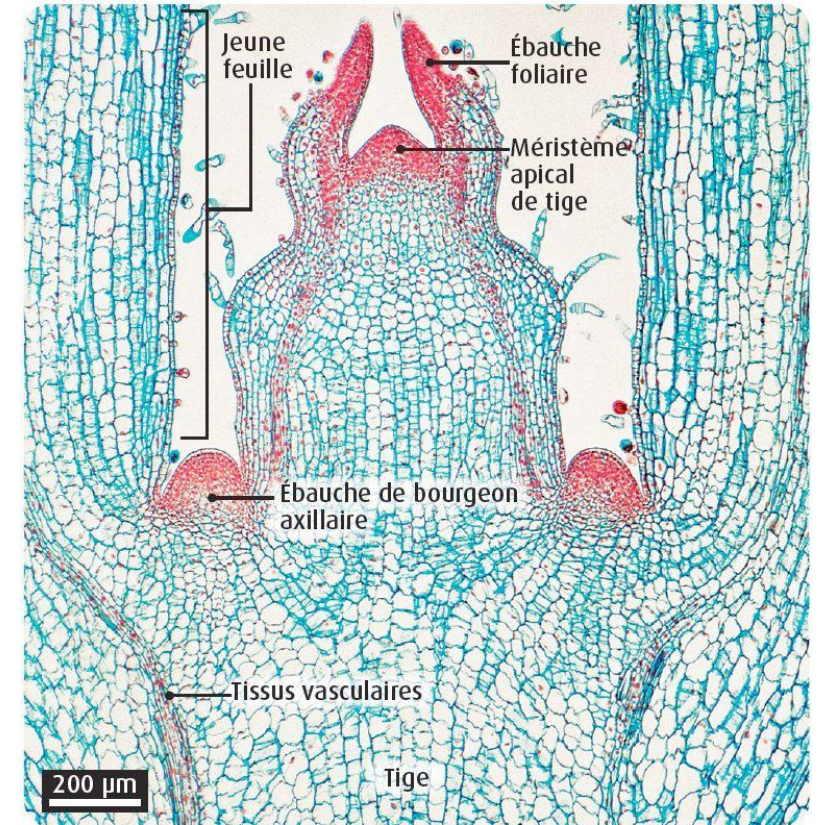
Schéma bilan de la croissance en longueur d'une tige

D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

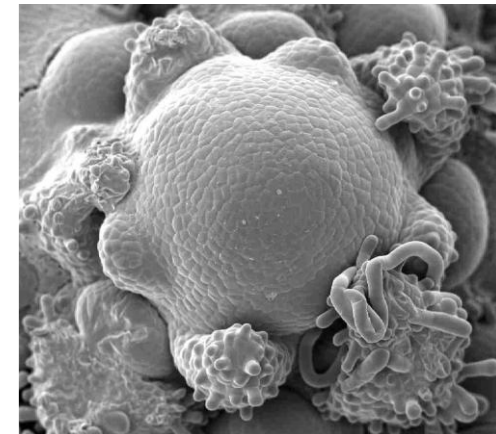
2. La croissance des fabacées est indéfinie et localisée au niveau de méristèmes



- **Méristème**= ensemble spatialement restreint et localisé de **cellules indifférenciées** capables par division cellulaire et différenciation de donner l'ensemble des cellules, tissus et organes de la plante.
 - ⇒ fonctionnement **indéfini**
 - ⇒ **croissance** du végétal potentiellement **infinie**.
- **Méristèmes primaires** : extrémités du végétal, appelées **apex** : on considère alors le **méristème apical caulinaire** (à l'extrémité de la tige au niveau du bourgeon apical mais aussi au niveau des bourgeons axillaires) et le **méristème apical racinaire** (à l'extrémité de la racine)
 - organogènes
 - histogènes
- **Méristèmes secondaires** : anneaux de cellules méristématiques retrouvés dans la tige et la racine
 - **croissance en épaisseur**
 - **Histogènes** (arbres)



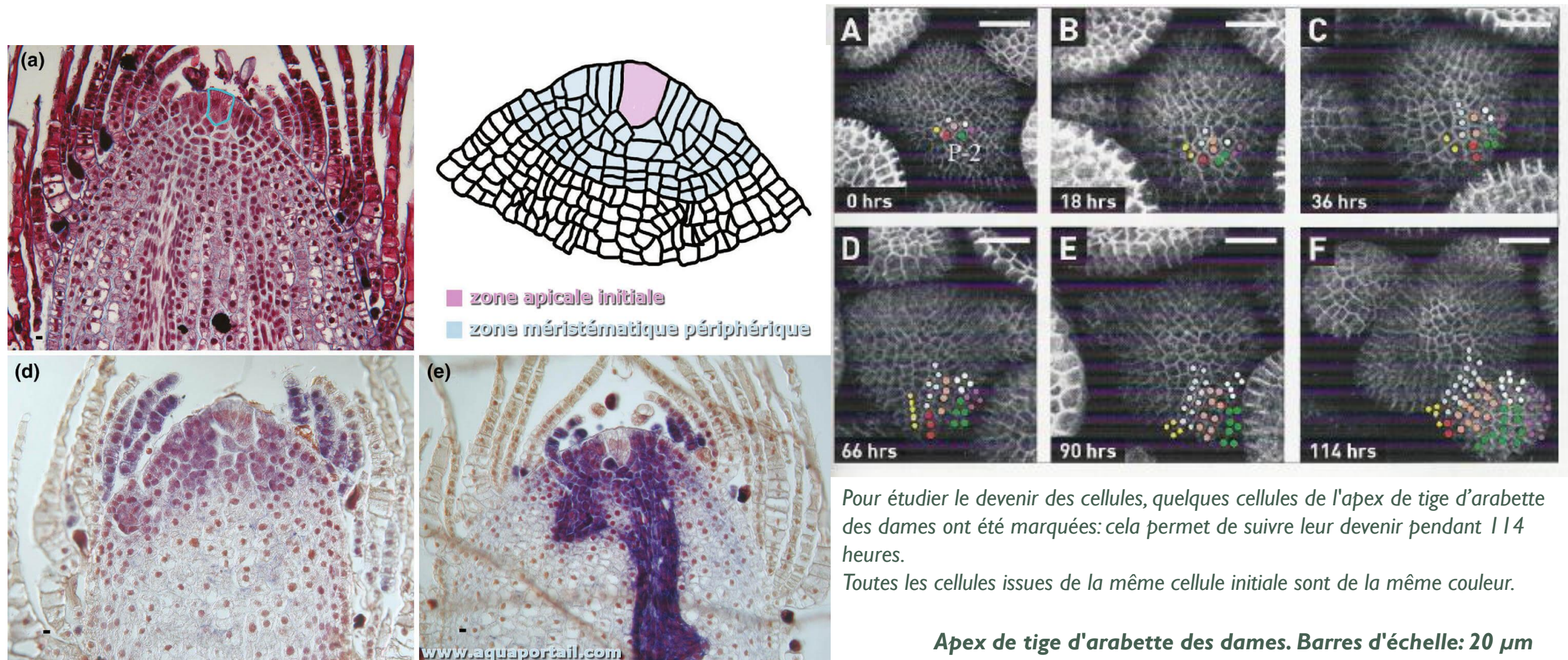
© Belin Education/Humensis, 2020 Manuel SVT Terminale spécialité
© Biophoto Associates / SPL



Méristème apical caulinaire (MO coloration artificielle) et MEB

D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

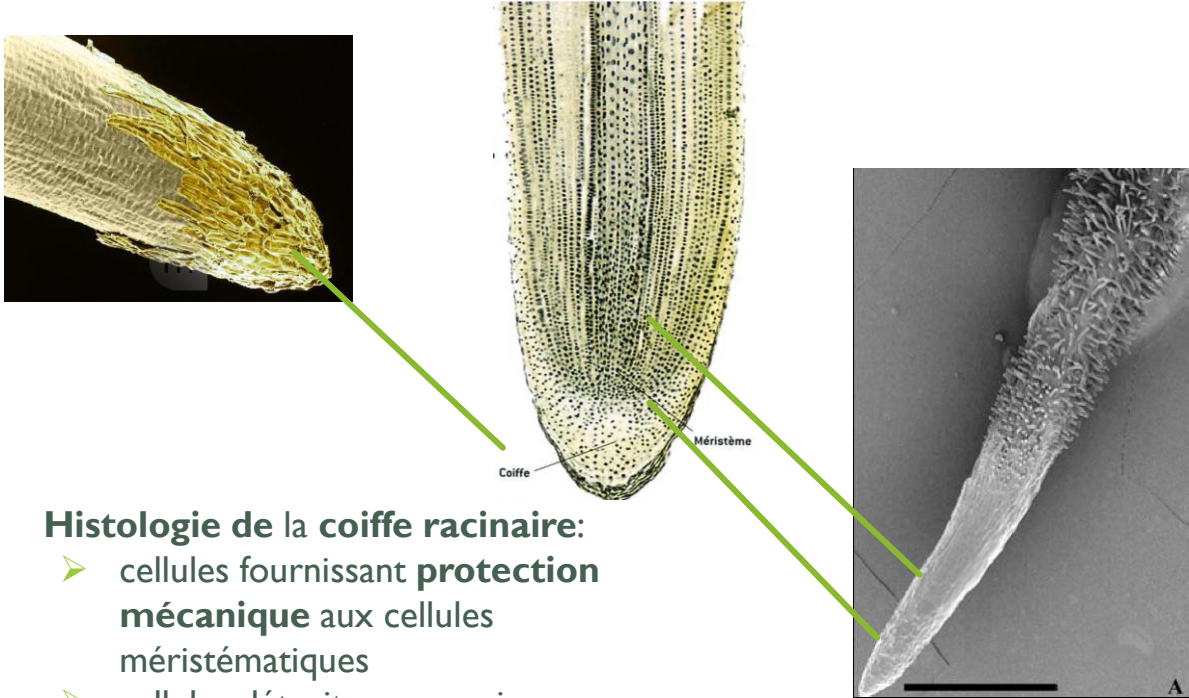
2. La croissance des fabacées est indéfinie et localisée au niveau de méristèmes



D'après Nathan 1^{ère} S p.201

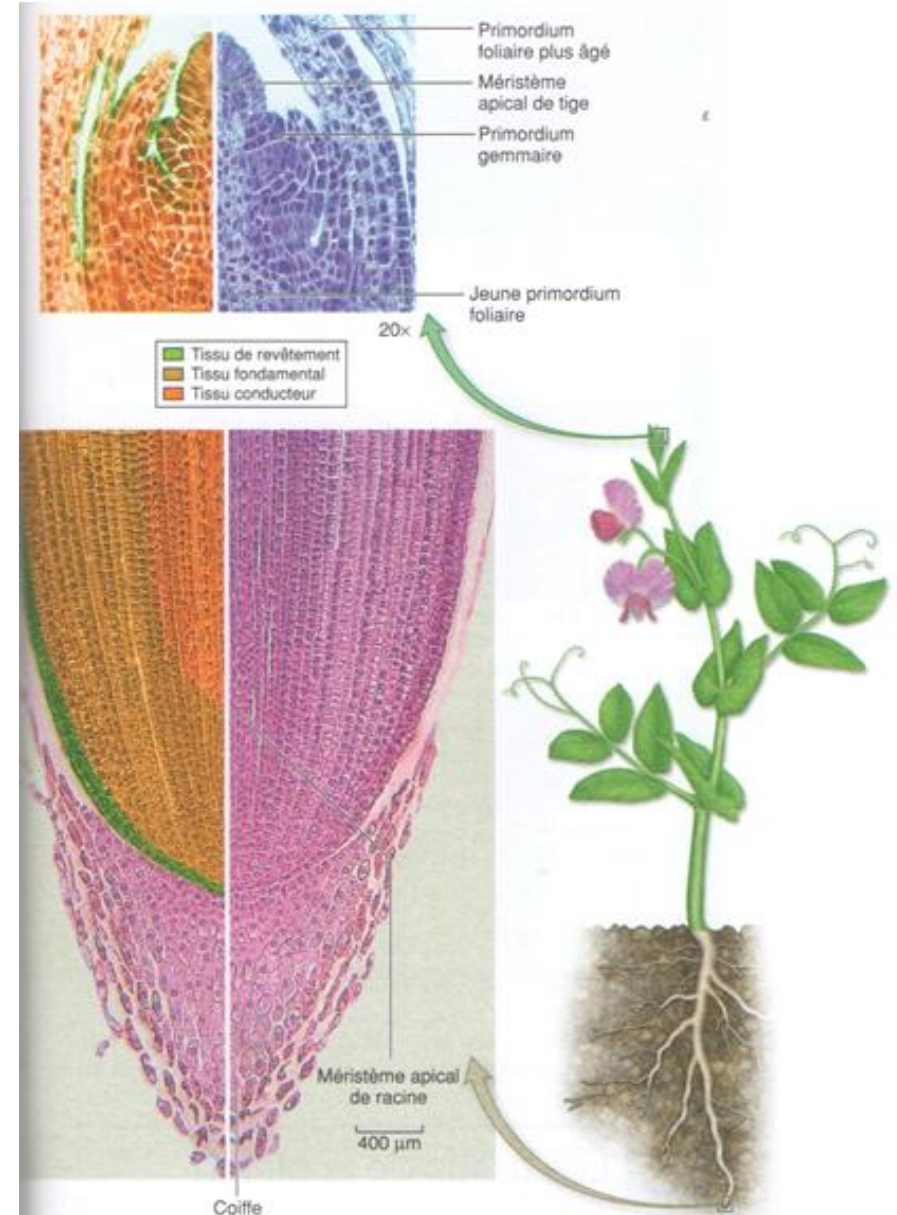
D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

2. La croissance des fabacées est indéfinie et localisée au niveau de méristèmes



- **Histologie de la coiffe racinaire:**
 - cellules fournissant **protection mécanique** aux cellules méristématiques
 - cellules détruites par croissance racinaire et friction du sol
 - cellules rapidement remplacées par de nouvelles cellules générées par la division cellulaire sur la face externe du méristème racinaire.
- coiffe impliquée dans la **production de mucilage** → une substance gélatineuse
- cellules = statocytes contiennent des statolithes = grains d'amidon → géotropisme.

MAR: indice mitotique fort

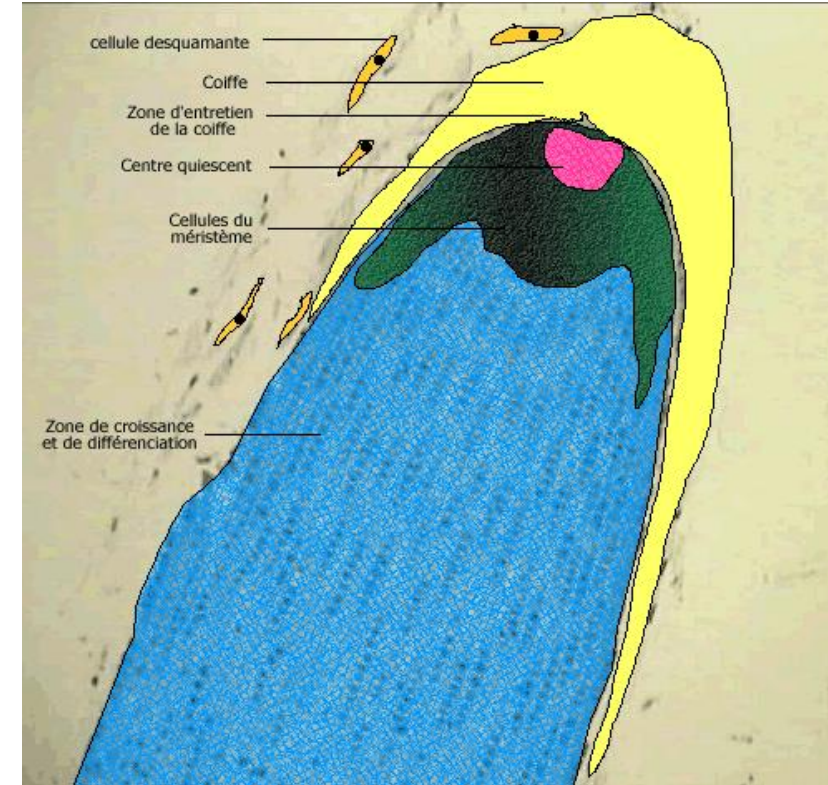


2. La croissance des fabacées est indéfinie et localisée au niveau de méristèmes

Conseils pour l'étude de la zone méristématique au MO

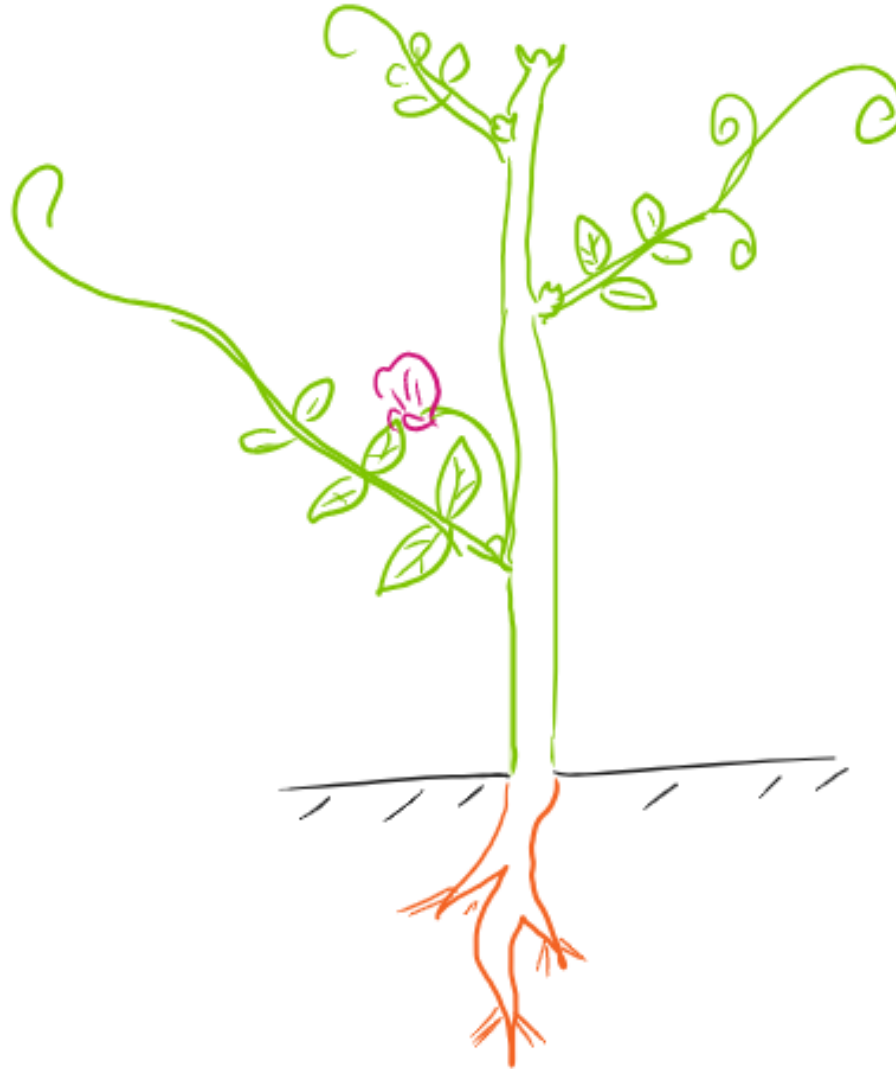
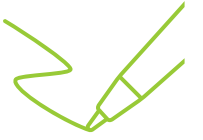


Méristème apical racinaire

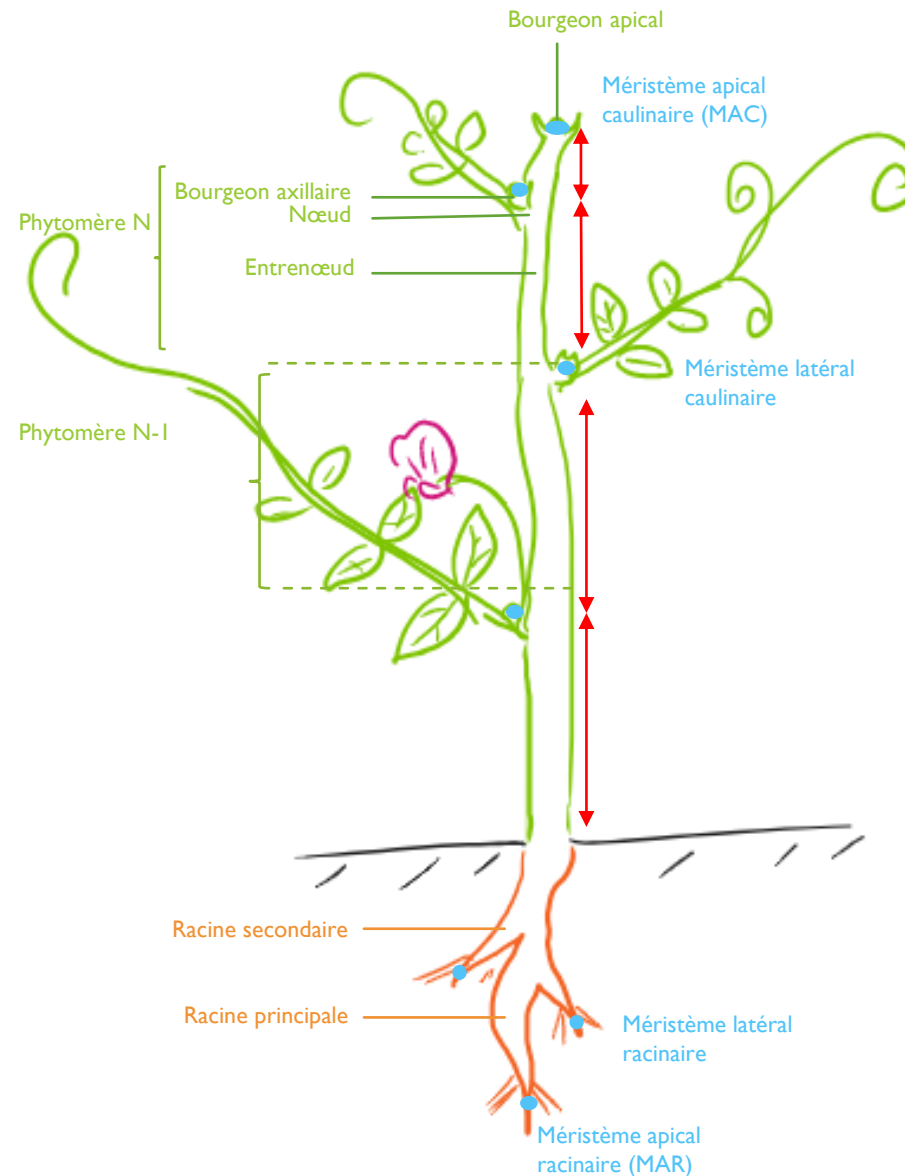


Coupe de racine d'ail observée au M.O. (X100)

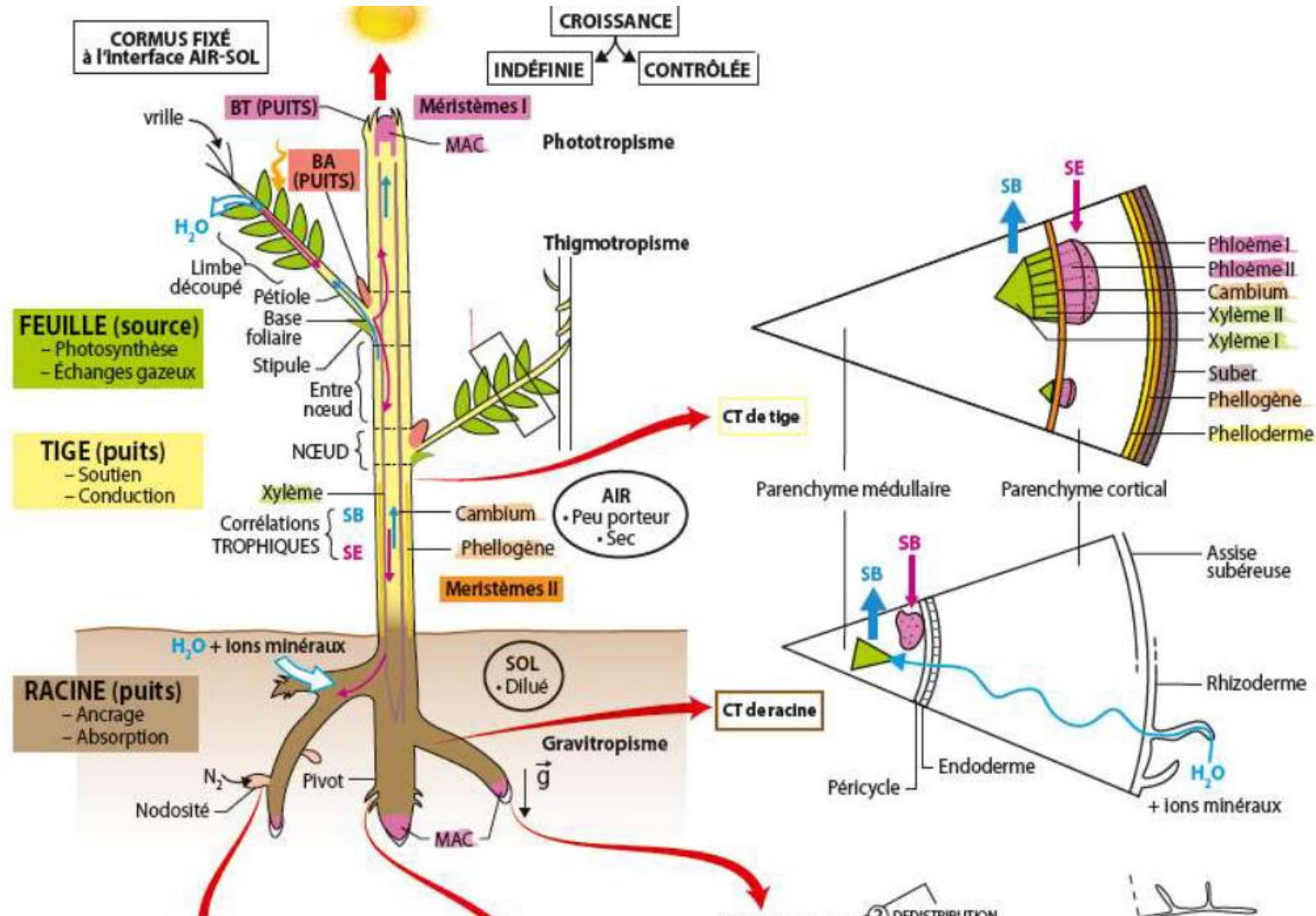
2. La croissance des fabacées est indéfinie et localisée au niveau de méristèmes

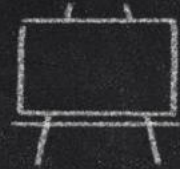


2. La croissance des fabacées est indéfinie et localisée au niveau de méristèmes



2. La croissance des fabacées est indéfinie et localisée au niveau de méristèmes





Présentation

Les principaux tissus végétaux

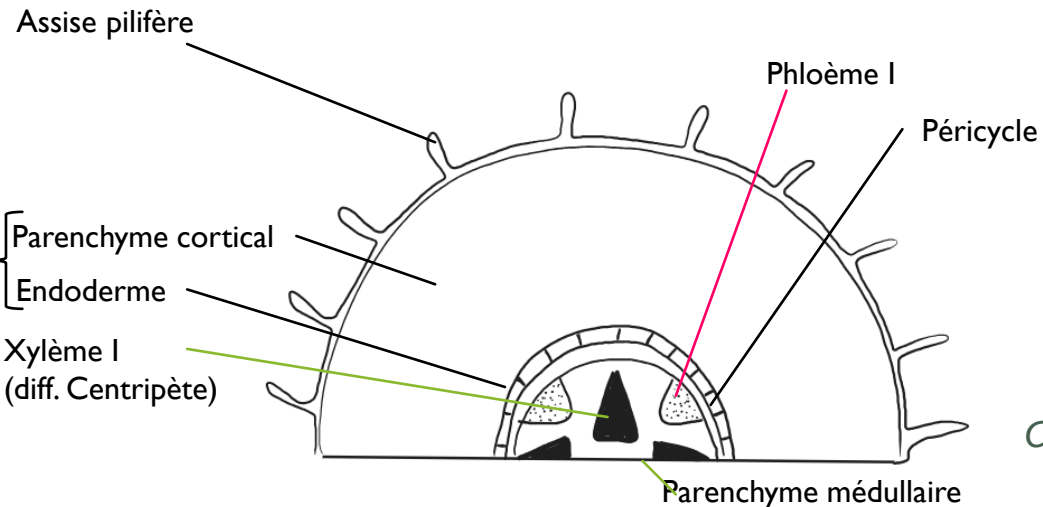
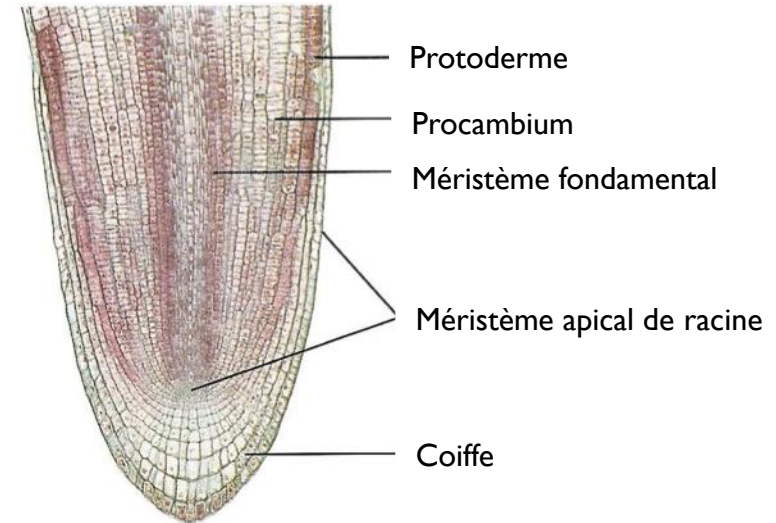


D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

3. Modalités de croissance chez les végétaux : mérése, auxèse et construction d'unités répétitives, les phytomères

3.1. Les méristèmes primaires : centre histogène et organogène

- **L'assise pilifère**: distance constante à l'apex racinaire, poils absorbants
- **L'écorce** : très épaisse (comparativement à celle de la tige)
 - **parenchyme non chlorophyllien** → accumulation de **réserves**
 - **endoderme** (imprégnation de lignine et subérine en U chez les Monocotylédones et en cadre de Caspary chez les Dicotylédones)
- **Le cylindre central** :
 - **péricycle** + rayons médullaires = moelle
 - **vaisseaux de Xylème**
 - **tubes du Phloème**
- La **coiffe** recouvre l'apex racinaire ; elle produit des **exsudats polysaccharidiques** qui facilitent la progression racinaire dans le sol et contient des **statolithes** impliqués dans le **gravitropisme**.

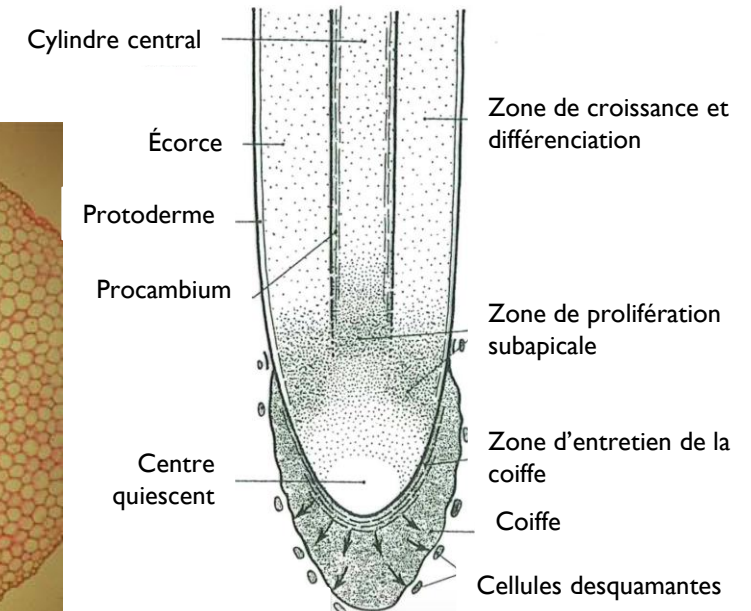
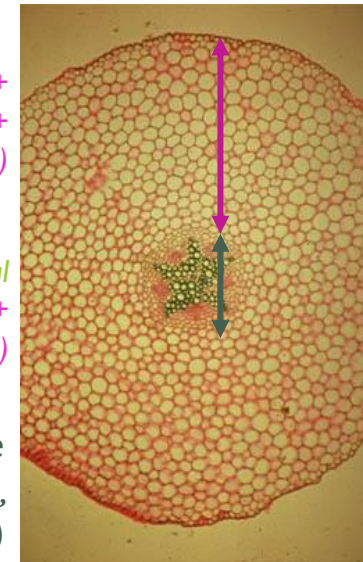


CT de racine de Ficaire en structure primaire
BCPST I - ENCPB - STÉPHANIE DALAINE

Écorce (assise pilifère + parenchyme + endoderme)

Moelle = cylindre central = (péricycle + vaisseaux + tubes)

Coupe transversale d'une racine Dicotylédone, l'Hellebore (snv Jussieu)



D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

3. Modalités de croissance chez les végétaux : mérése, auxèse et construction d'unités répétitives, les phytomères

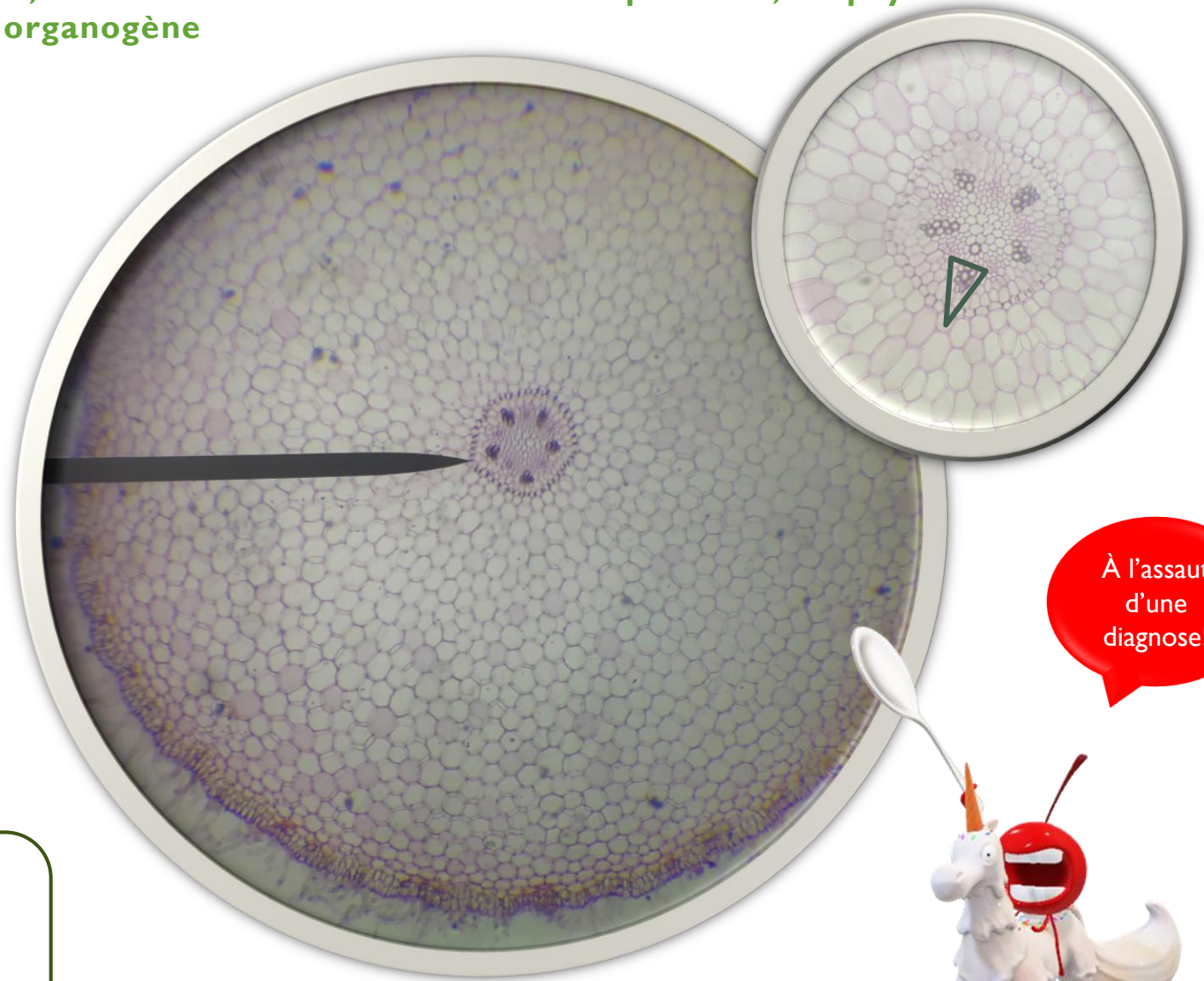
3.1. Les méristèmes primaires : centre histogène et organogène

Initiation à l'histologie racinaire en CT

- **Symétrie axiale**
- **L'écorce** : très épaisse (comparativement à celle de la tige),
 - **Rhizoderme**
 - **parenchyme non chlorophyllien** → accumulation de réserves
 - **endoderme** (imprégnation de lignine et subérine en U chez les Monocotylédones et en cadre de Caspary chez les Dicotylédones) voie apoplasique chez les Dicotylédones et nécessité de cellules de passage chez les Monocotylédones
- **Le cylindre central** :
 - **péricycle** + rayons médullaires
 - **vaisseaux de xylème: différenciation centripète** (inverse d'une part de tarte)
 - **tubes du phloème : alternes** par rapport aux vaisseaux de phloème (différenciation centripète)

Adaptation structure fonction: la racine est un organe souterrain (donc hétérotrophe au C), au rôle d'absorption de solution du sol (et fixation), organe puits des photosynthétats capables de les stocker

- ⇒ Poils absorbants et/ou nodosités
- ⇒ Grosse écorce permettant de stocker
- ⇒ Petite moelle (rôle conducteur des deux sèves moindre que la tige)



À l'assaut
d'une
diagnose!

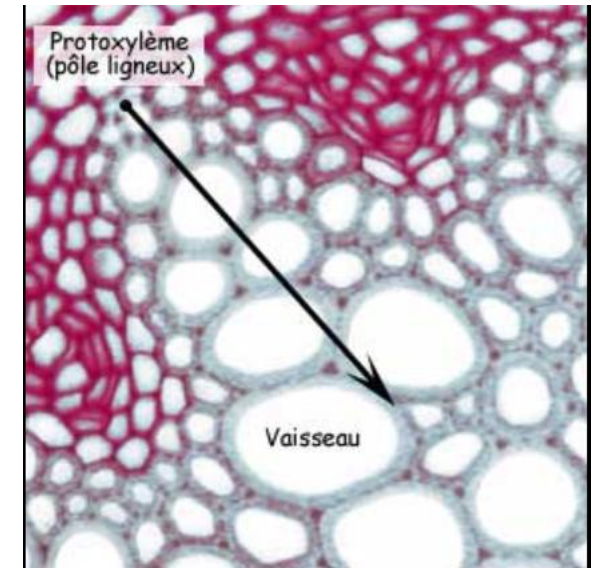
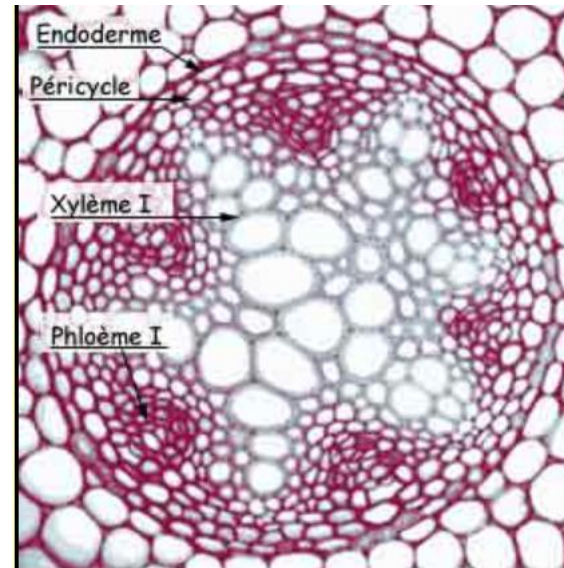
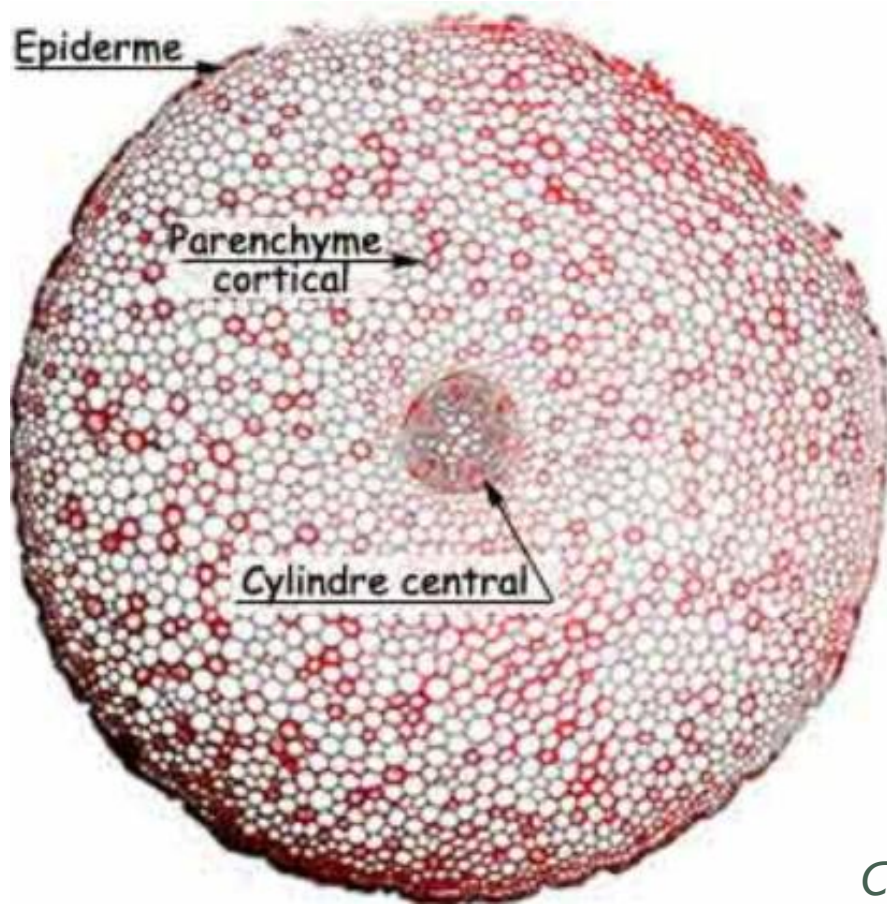


D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

3. Modalités de croissance chez les végétaux : mères, auxes et construction d'unités répétitives, les phytomères

3.1. Les méristèmes primaires : centre histogène et organogène

Initiation à l'histologie racinaire en CT



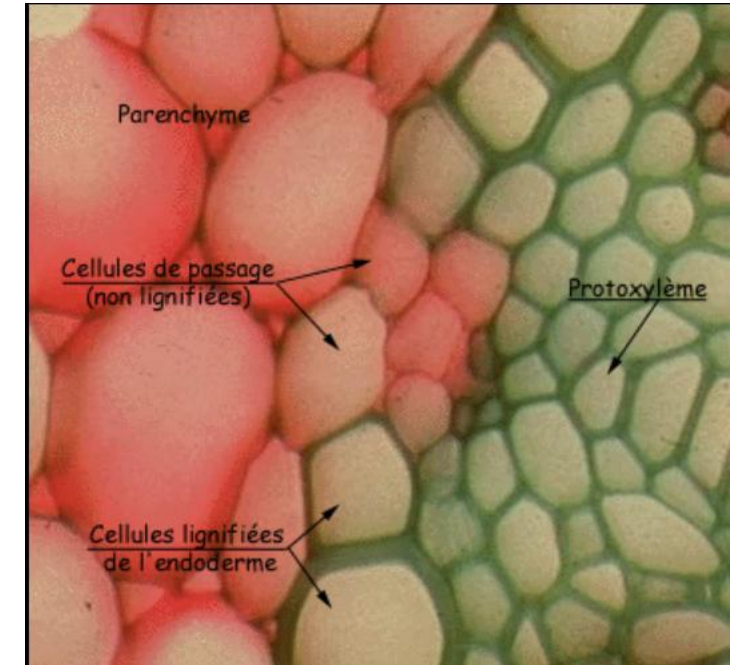
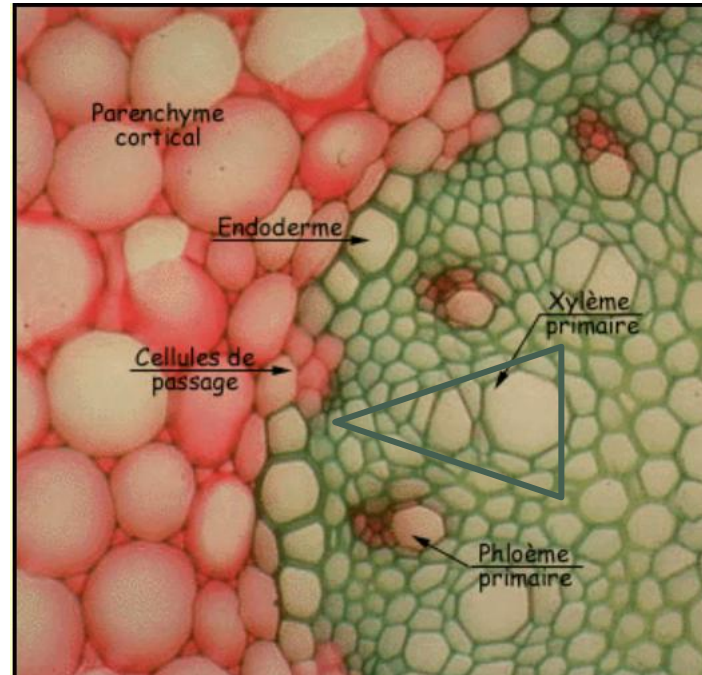
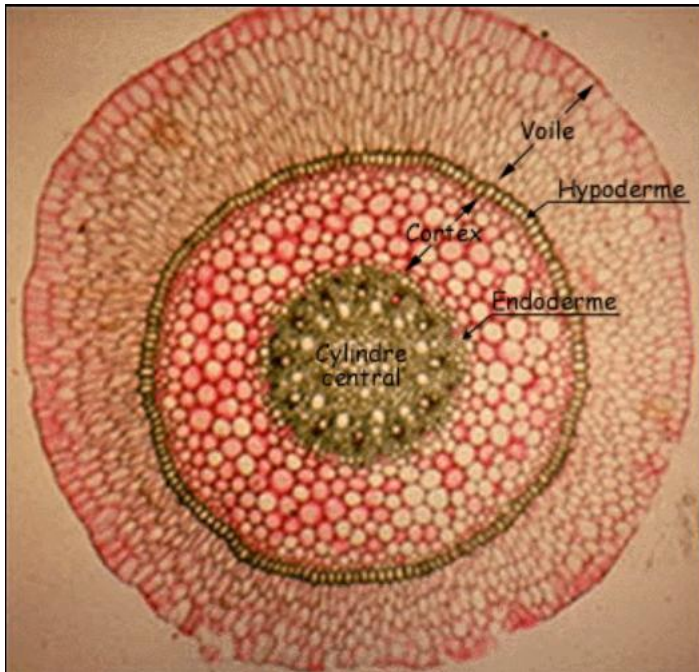
Coupe transversale d'une racine de Renoncule

D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

3. Modalités de croissance chez les végétaux : mérése, auxèse et construction d'unités répétitives, les phytomères

3.1. Les méristèmes primaires : centre histogène et organogène

Un petit point rapide sur une Monocotylédone : ex de l'orchidée

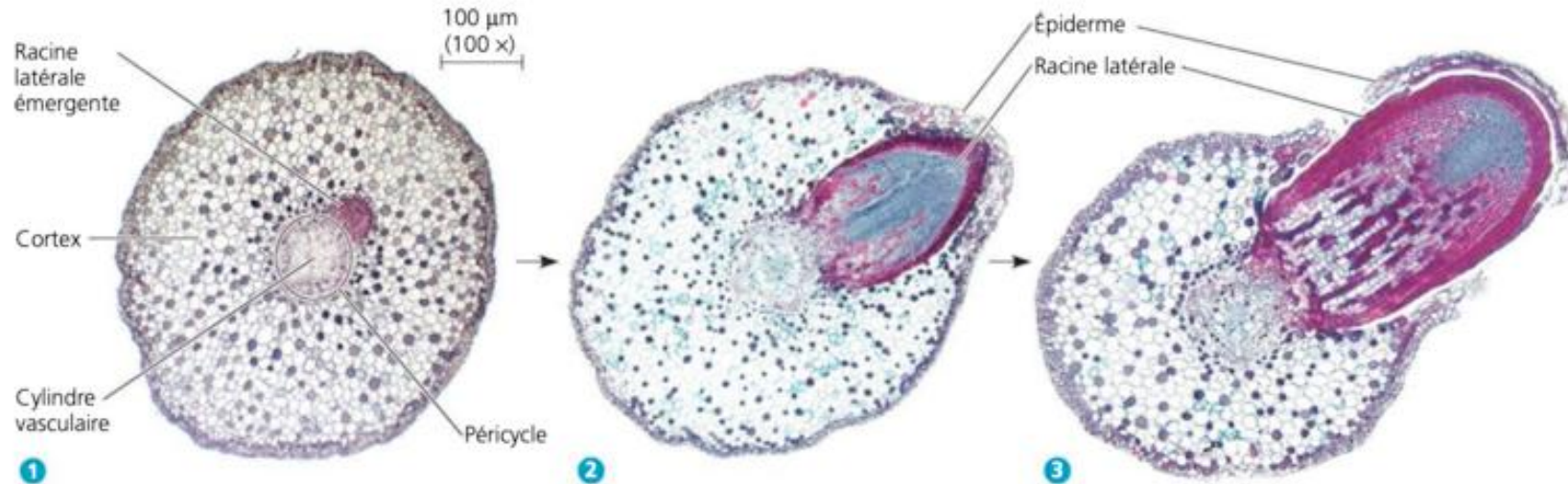


Coupe transversale d'une racine d'Orchidée
Endoderme lignifié et subérisé en U
⇒ nécessité de cellules de passage

D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

3. Modalités de croissance chez les végétaux : mérése, auxèse et construction d'unités répétitives, les phytomères

3.1. Les méristèmes primaires : centre histogène et organogène



▲ **Figure 35.15 La formation d'une racine latérale.** Une racine latérale émerge du péricycle, la couche externe du cylindre vasculaire d'une racine, et traverse le cortex et l'épiderme. Dans cette série de micrographies photoniques, la racine initiale apparaît en coupe transversale, et la racine latérale est montrée en coupe longitudinale.

Les cellules du MAR sont **pluripotentes**
Les cellules du péricycle sont **unipotentes**
Rappel: le péricycle appartient au cylindre central



- Méristèmes primaires = **histogènes** (tissus de l'écorce et de la moelle) ET **organogènes**: formation d'une nouvelle racine à partir de la **dédifférenciation** des cellules du *péricycle* en cellules du MAR.

- * Cellule différenciée: ayant exprimé certains gènes participant à un phénotype donné (lignée cellulaire) → unipotente
- * Cellule indifférenciée: exprimant des gènes généralistes, sans fonction, à fort potentiel mitotique → totipotente

3. Modalités de croissance chez les végétaux : mérése, auxèse et construction d'unités répétitives, les phytomères

3.2. Les méristèmes secondaires : centre histogène assurant une croissance en épaisseur

- Deux méristèmes secondaires :

- **Cambium** (=assise libéro-ligneuse):

- ✓ Xylème II (ligneux)

- ✓ Phloème II (=liber)

- **Phellogène** (=assise subéro-phellodermique)

- ✓ Liège = suber (rôle protecteur)

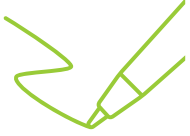
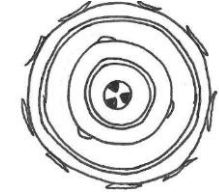
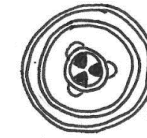
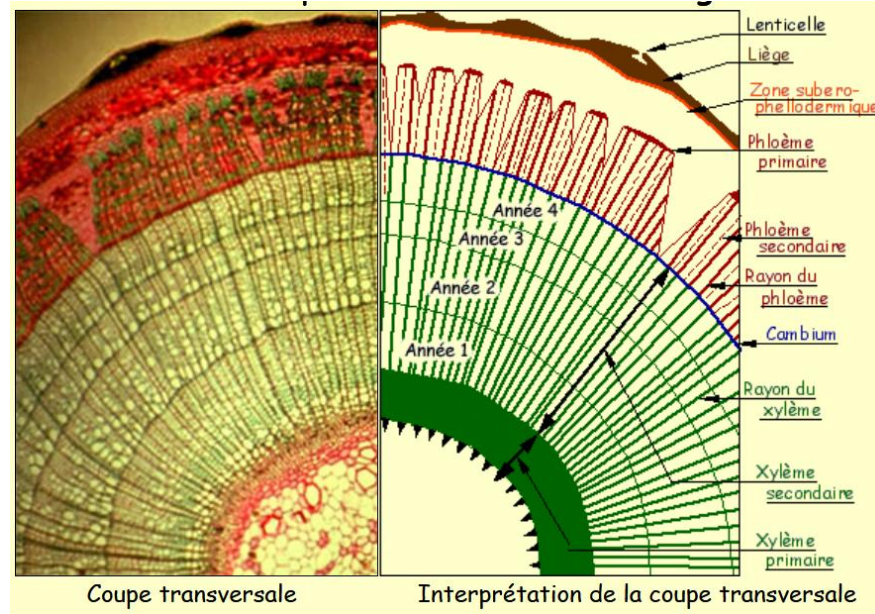
- ✓ Phelloderme

- Cambium et phelloderme uniquement chez Dicotylédones

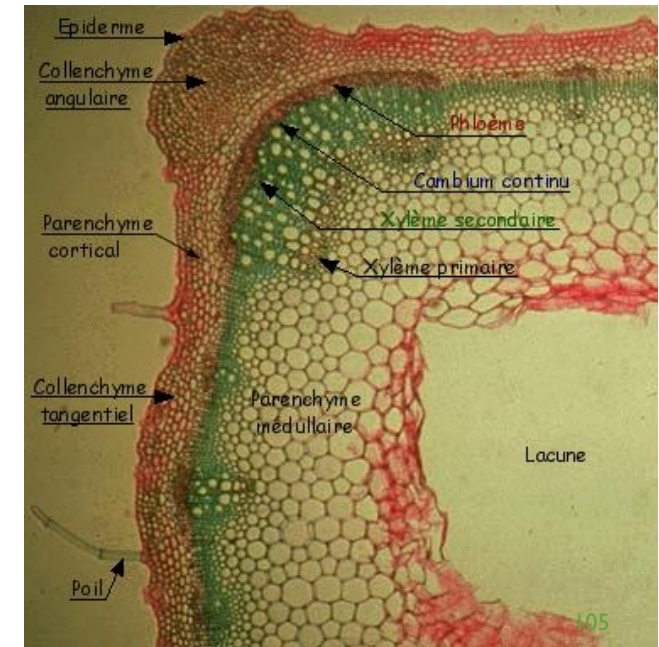
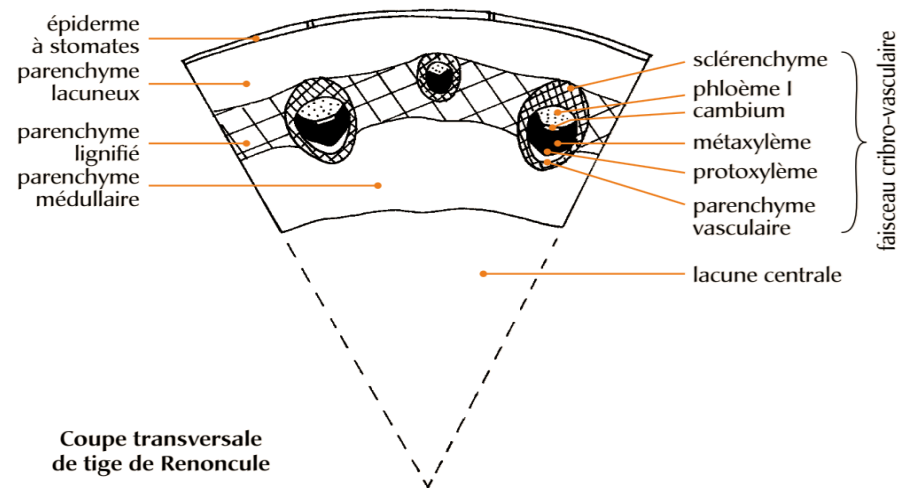
⇒ plantes ligneuses uniquement chez Dicotylédones

- **Croissance en épaisseur + maintien de la plante** (milieu non porteur, la lignine a permis la conquête du milieu terrestre) et l'augmentation des capacités de conduction des sèves.

- Méristèmes secondaires dans tige et aussi racine



Coupe transversale d'une tige de Tilleul avec méristème secondaire -> croissance en épaisseur (SNV Jussieu)

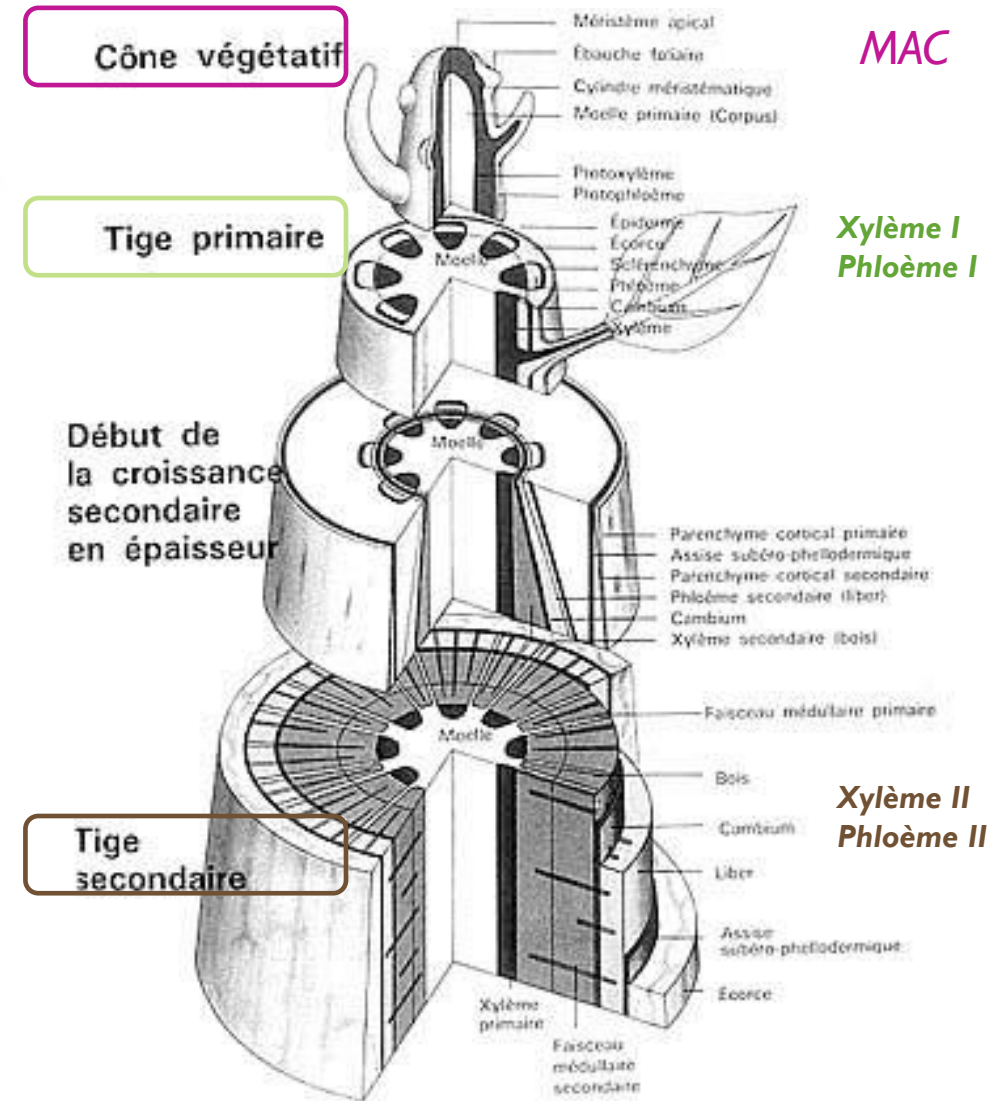
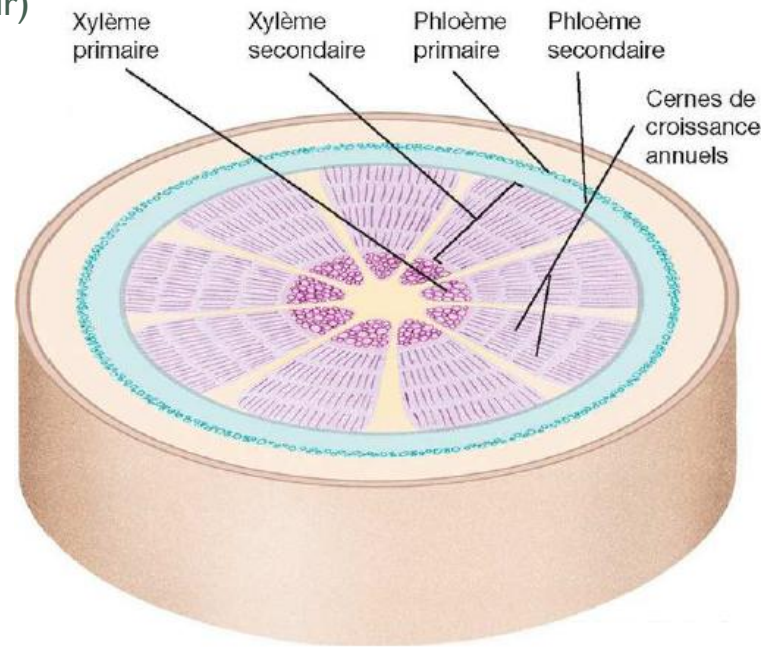
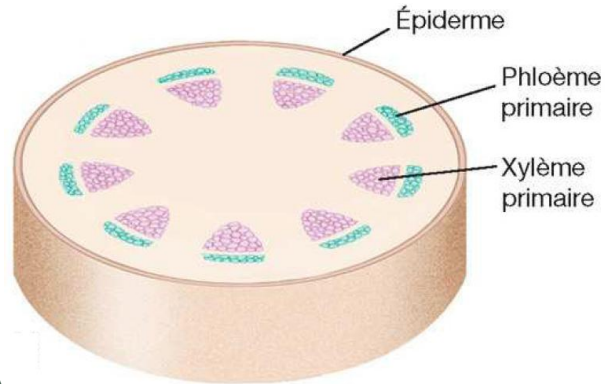


3. Modalités de croissance chez les végétaux : mérése, auxèse et construction d'unités répétitives, les phytomères

3.2. Les méristèmes secondaires : centre histogène assurant une croissance en épaisseur

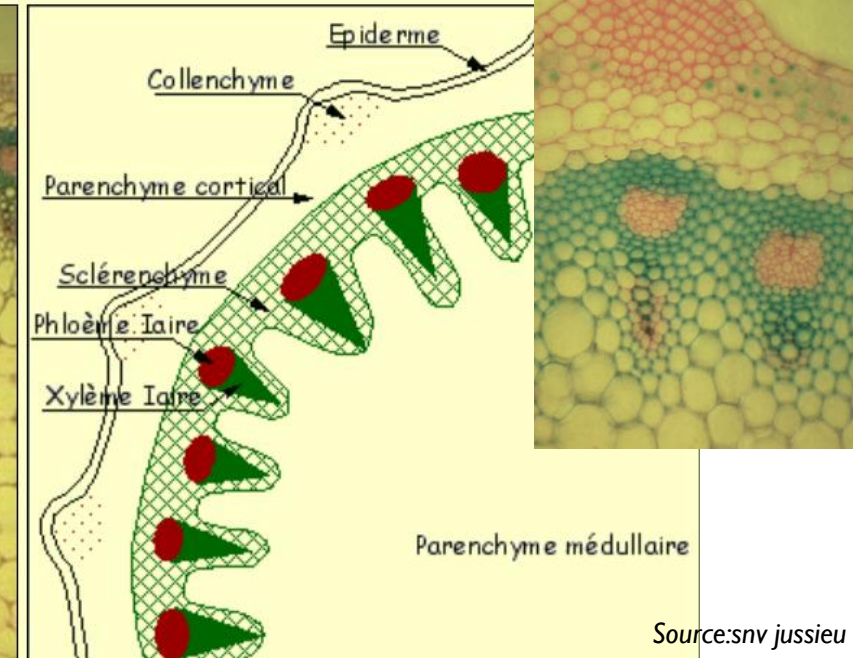
Méristèmes secondaires :

- **cambium** : xylème II et du phloème II
 - ⇒ Uniquement histogène
 - ⇒ Croissance en épaisseur et donc maintien
 - ⇒ Uniquement chez les plantes **plantes ligneuses**
 - ⇒ Uniquement chez les Dicotylédones
- **Phellogène** (=assise subéro-phellodermique)
 - ✓ Liège = suber (rôle protecteur)
 - ✓ Phelloderme



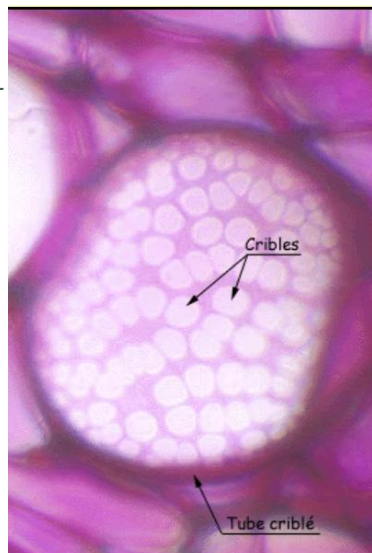
Initiation à l'histologie caulinaire en CT structure primaire

- **Symétrie axiale**
- **L'écorce** : limitée (*comparativement à celle de la racine*),
 - **épiderme** (souvent chlorophyllien) stomatifère (→ aérien) recouvert d'une cuticule cireuse limitant les pertes hydriques
 - **parenchyme cortical réduit** (*comparativement à celui de la racine*) = collenchyme
- **Le cylindre central** : développé (*comparativement à celui de la racine*)
 - **Péricycle avec sclérenchyme** (vert) soutien des FCV
 - **Parenchyme médullaire**
 - **vaisseaux de xylème et tubes du phloème superposés** ($\neq$ alternés dans la racine) = FCV (*faisceaux Cribro-Vasculaires*)
 - **Vaisseaux de xylème I** : internes à différenciation centrifuge (*sens part de tarte*)
 - **Tubes criblés du phloème** (*paroi pectocellulosique en rose, différenciation centripète*)



Source:snv jussieu

Schéma d'une coupe transversale partielle d'une tige de Sanicula



Observation en coupe transversale des tubes criblés du phloème

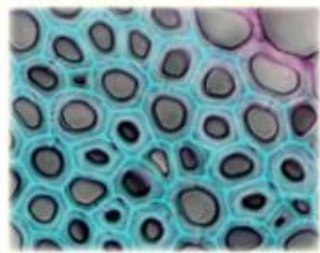
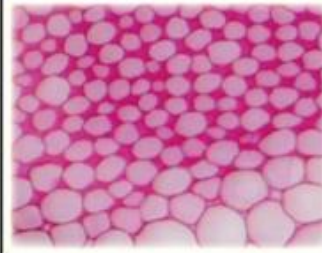
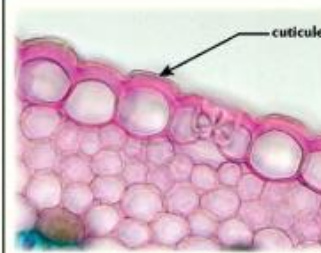
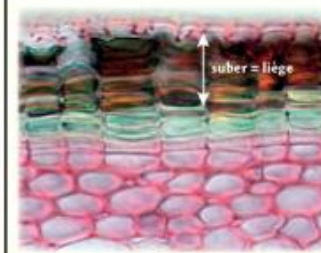
Initiation à l'histologie caulinaire en CT structure primaire

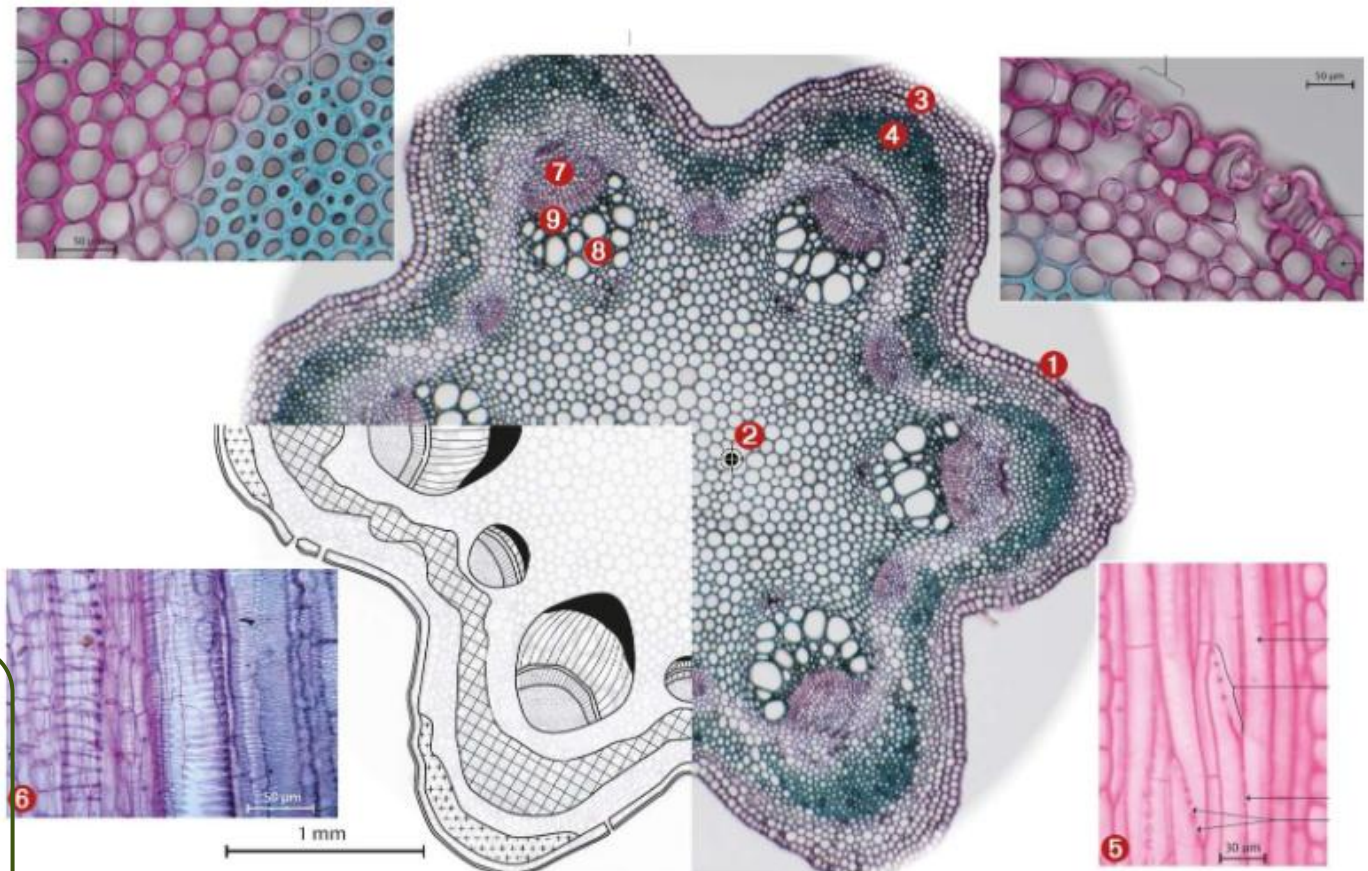
- **Symétrie axiale**
- **L'écorce** : limitée (*comparativement à celle de la racine*),
 - ① **épiderme** (souvent chlorophyllien) stomatifère (→ aérien) recouvert d'une cuticule cireuse limitant les pertes hydriques
 - ③ **parenchyme cortical réduit** (*comparativement à celui de la racine*) = collenchyme
- **Le cylindre central** : développé (*comparativement à celui de la racine*)
 - ④ **Péricycle avec sclérenchyme** (vert) soutien des FCV
 - ② **Parenchyme médullaire**
 - ⑧ **Vaisseaux de xylème I : internes à différenciation centrifuge** (*sens part de tarte*)
 - ⑨ **Vaisseaux de xylème II = bois produits par le cambium**
 - ⑦ **Tubes criblés** (⑤) **du phloème II** sur face externe du cambium (*phloème I écrasé*) (*paroi pectocellulosique en rose, différenciation centripète*)

Adaptation structure fonction: la tige est un organe aérien (donc autotrophe au C), au rôle de soutien (« porte-feuilles ») et de conduction des sèves

⇒ *Grosse moelle riche en FCV*

⇒ *écorce lignifiée (si tissu secondaire) → port dressé*

LIGNIFICATION	ÉPAISSISSEMENT	CUTINISATION	SUBÉRIFICATION
			
Imprégnation de lignine , polymère hydrophobe de haut poids moléculaire, incrusté dans le maillage de cellulose. = Rigidification	Épaississement pecto-cellulosique non uniforme (ici dans les angles ⇒ collenchyme angulaire) = Rigidification	Mise en place de la cuticule en cutine hydrophobe par adcrustation côté externe. = Imperméabilisation	Mise en place de lamelles de subérine hydrophobe par adcrustation, entre parois primaire et secondaire. = Imperméabilisation



Source: A. Denis, lycée Thiers de Marseille
108

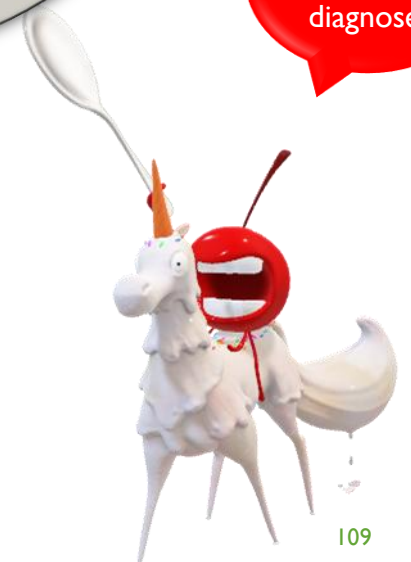
D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

3. Modalités de croissance chez les végétaux : mérése, auxèse et construction d'unités répétitives, les phytomères

3.1. Les méristèmes primaires : centre histogène et organogène



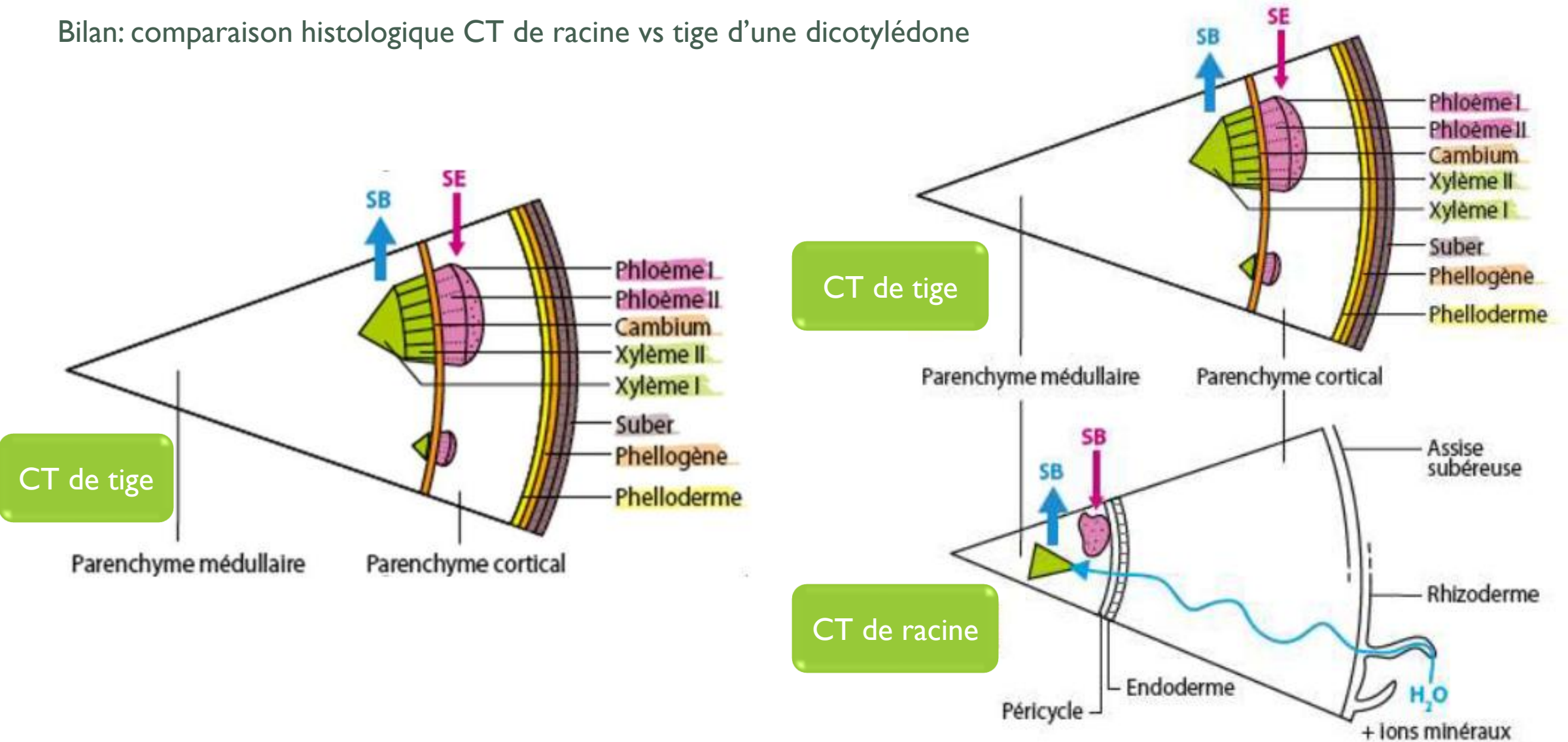
À l'assaut
d'une
diagnose!



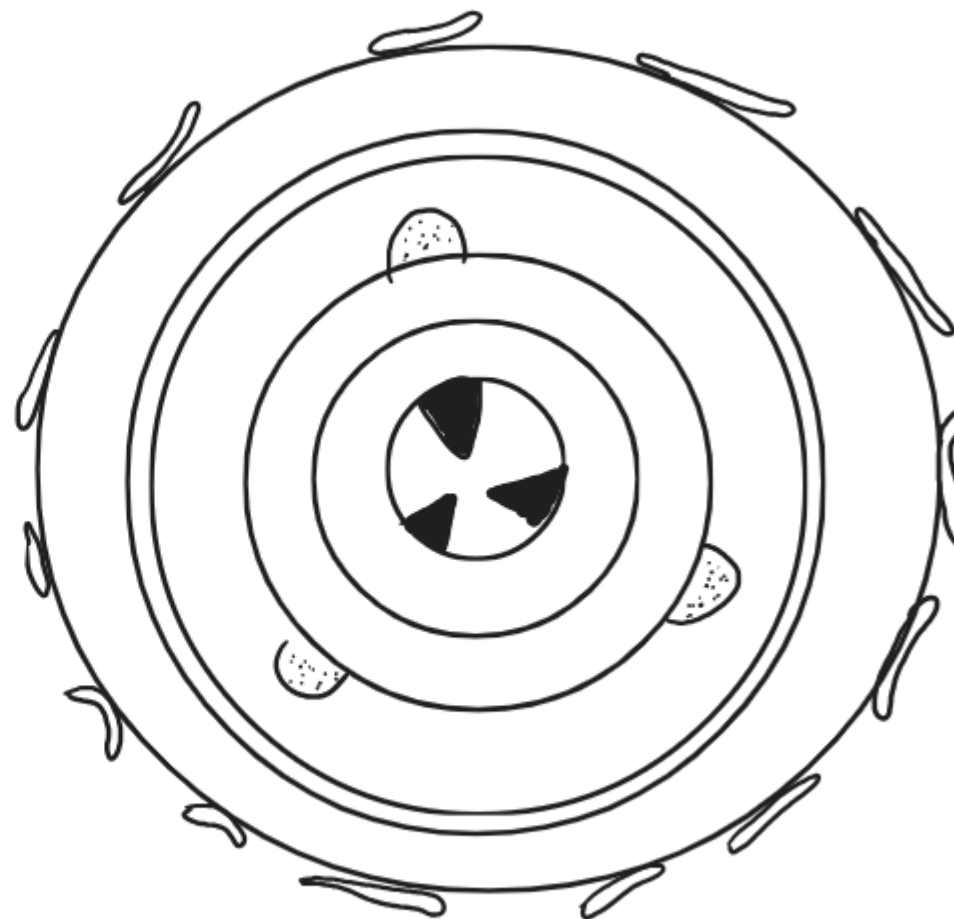
3. Modalités de croissance chez les végétaux : mérése, auxèse et construction d'unités répétitives, les phytomères

3.2. Les méristèmes secondaires : centre histogène assurant une croissance en épaisseur

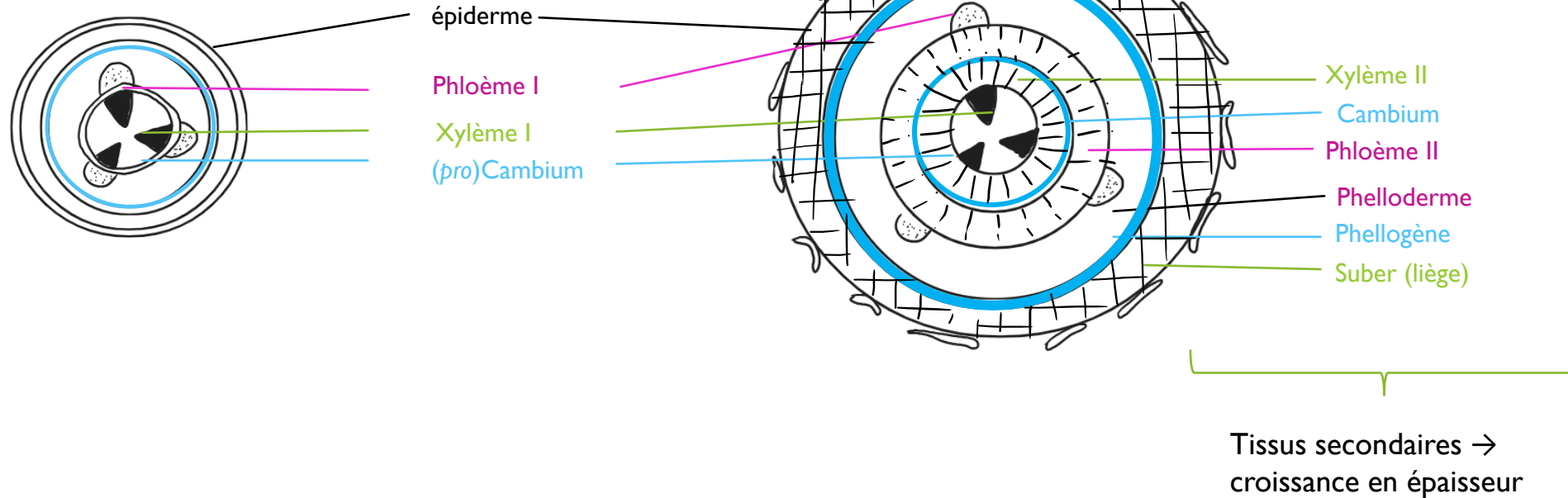
Bilan: comparaison histologique CT de racine vs tige d'une dicotylédone



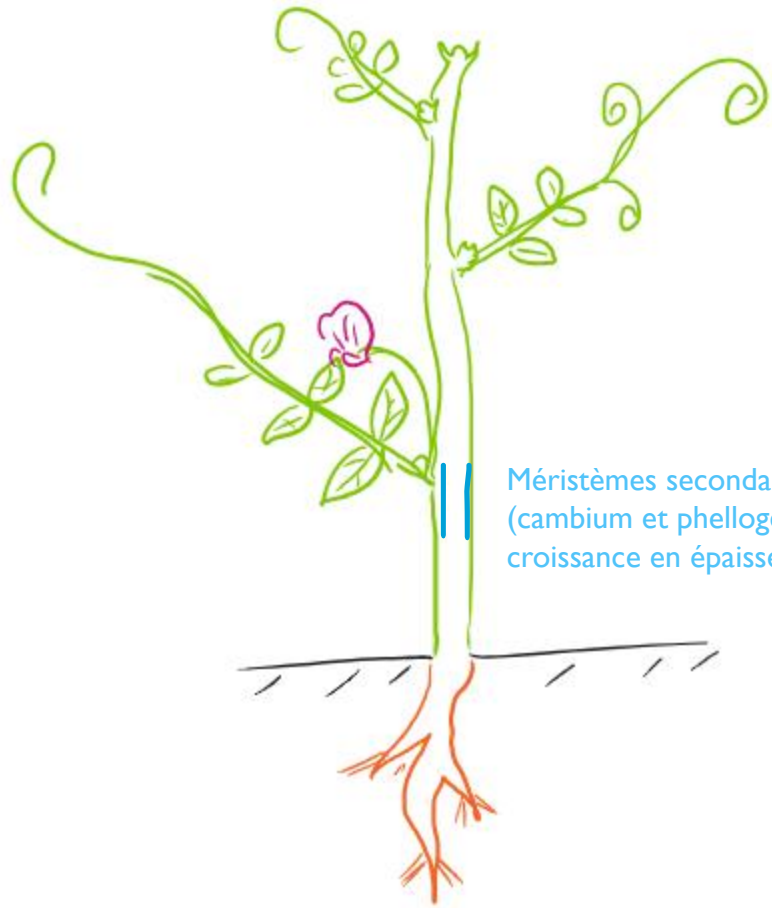
Épiderme		Phloème I	
Péricycle		Phloème II	
Cambium		Xylème I	
Parenchyme		Xylème II	
Sclérenchyme		Suber	
Collenchyme			
Endoderme	 ou 		



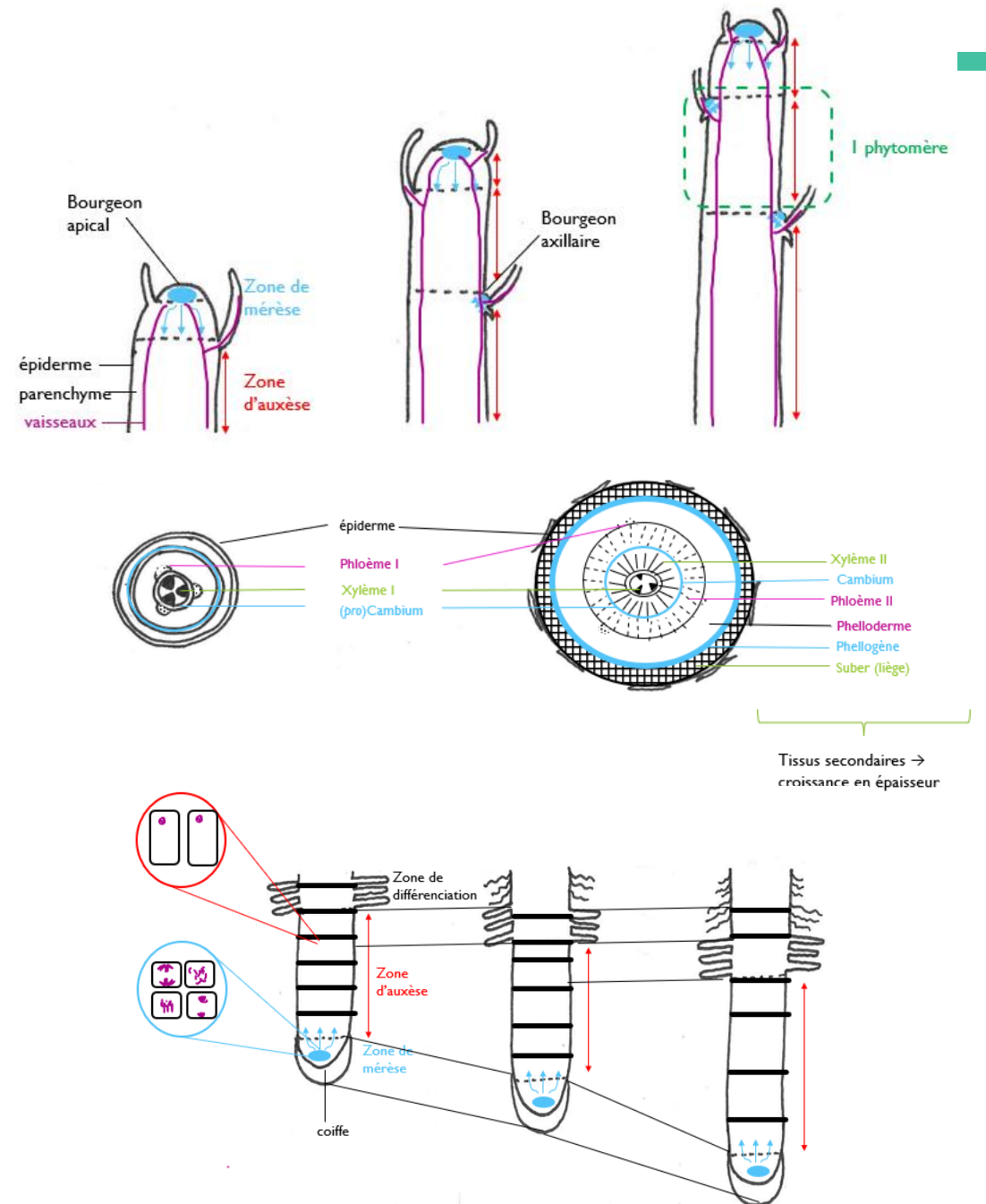
Épiderme		Phloème I	
Péricycle		Phloème II	
Cambium		Xylème I	
Parenchyme		Xylème II	
Sclérenchyme		Suber	
Collenchyme			
Endoderme			
	ou		



BILAN



Méristèmes secondaires
(cambium et phellogène →
croissance en épaisseur)



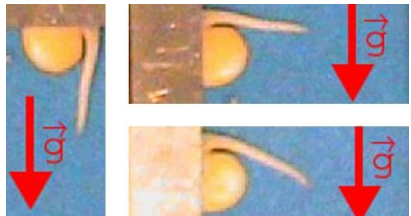
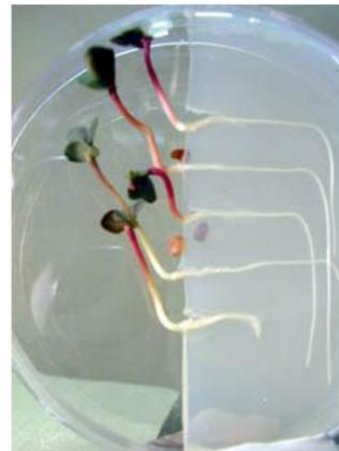
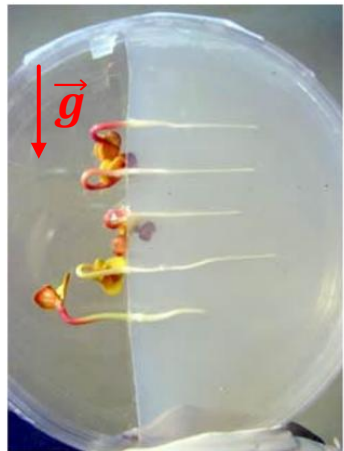
D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

4. Orientation de la croissance : exemple du gravitropisme

*tropisme (n.m.): croissance orientée d'un organe

- Mise en évidence expérimentale (début du XVIII^e siècle, Dodart et Astruc)

1. prélever des racines droites et verticales
2. les placer horizontalement dans de bonnes conditions d'humidité.
3. faire tourner les boîtes de façon que les racines soient en position horizontale = **gravistimulée**



Le paramètre **champ de gravité** stimule la croissance racinaire

- Expérience de Knight (1806).

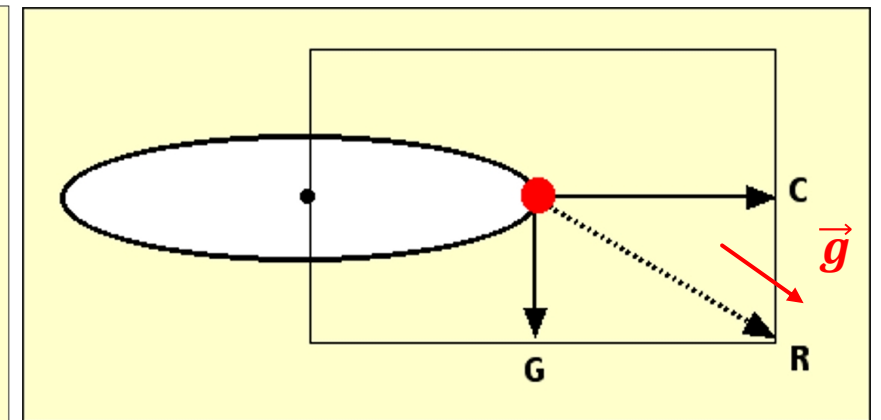
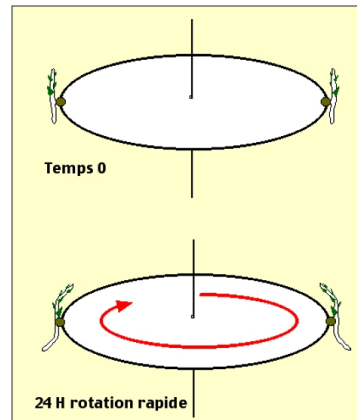
Placer de jeunes plantules sur un tambour tournant autour d'un axe vertical

⇒ les tiges se courbaient en se rapprochant de l'axe de rotation du tambour, tandis qu'au contraire les racines se courbaient en s'éloignant de cet axe

- Accélération de la gravité (force d'attraction gravitationnelle)+ force centrifuge (ou axifuge) = force de pesanteur

$$\vec{f}_a + \vec{ac} = \vec{g}$$

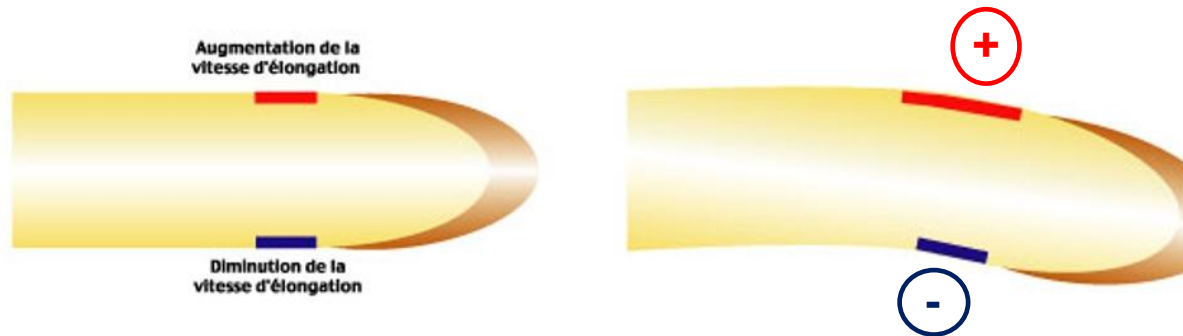
⇒ Mise en évidence d'un **gravitropisme positif des racines et négatif des tiges**



Mise en évidence du gravitropisme par la « roue de Knight » (Roger Prat)



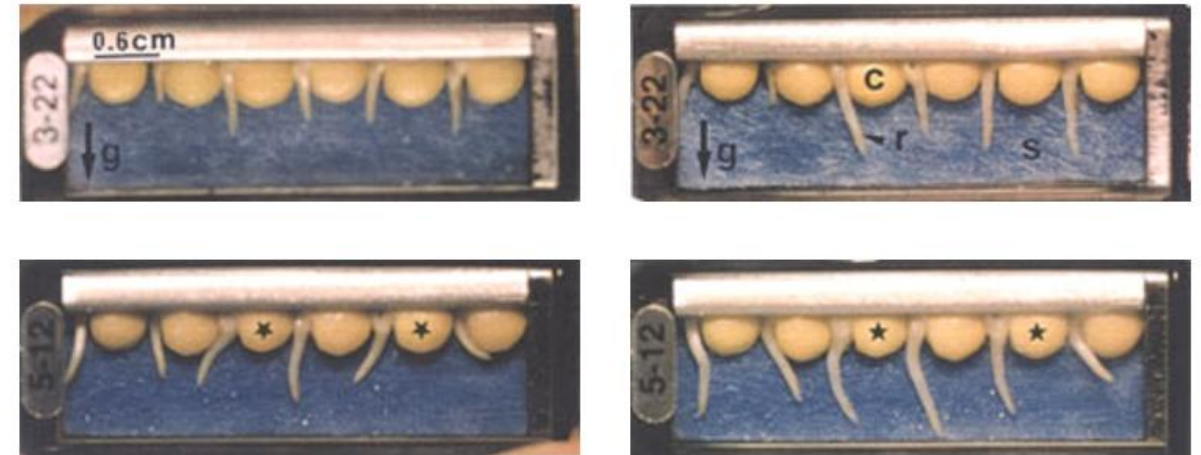
4. Orientation de la croissance : exemple du gravitropisme



Le gravitropisme est lié à la croissance des organes

La vitesse d'élongation de la zone de croissance va varier selon sa position dans la racine (vers le haut ou vers le bas selon l'axe de la gravité), entraînant une courbure de l'organe. (Agnès Lefranc)

Microgravité = apesanteur



Expérience de germination en **condition d'apesanteur**

En haut à gauche : Lentilles après 25 h de germination en gravité artificielle (mission spatiale). La force de gravitation, notée g sur la photo, est recrée grâce à une centrifugeuse. Les racines sont orientées dans la direction de la force de gravitation.

En haut à droite : Lentilles après 4 h de germination supplémentaire en gravité artificielle. Les racines sont toujours orientées selon la direction de la force de gravitation. Les quelques déviations observées par rapport à cette direction sont dues aux mouvements de circumnutation (voir dossier BMédia sur la circumnutation). c : cotylédon, r : racine, s : support humide.

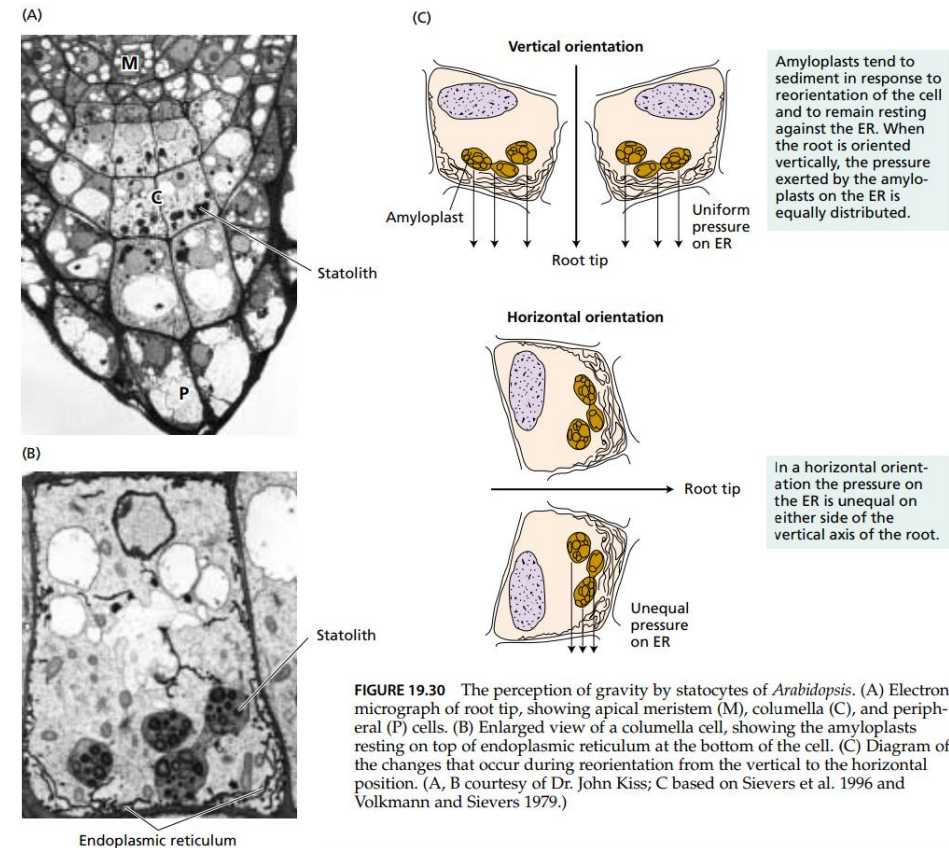
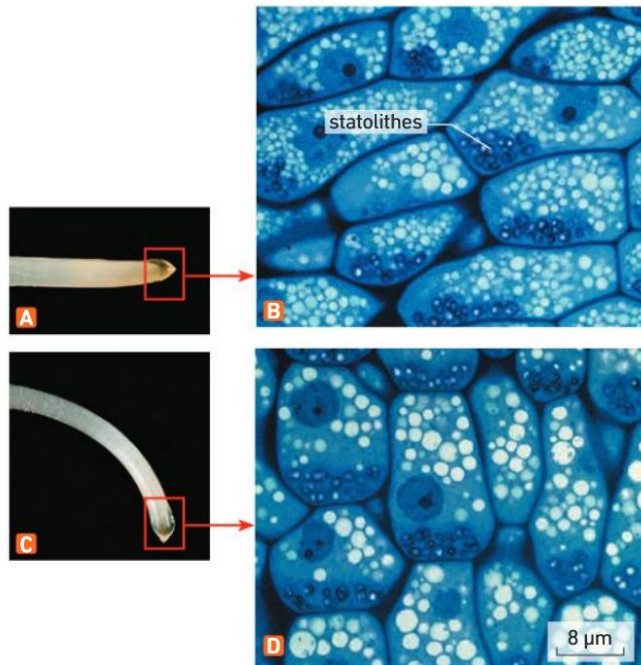
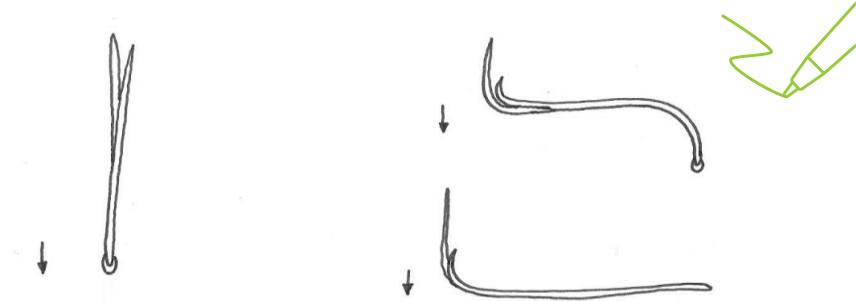
En bas à gauche : Lentilles après 25 h de germination en microgravité (mission spatiale). Les racines ne s'orientent pas selon une direction particulière.

En bas à droite : Lentilles après 4 h de germination supplémentaire en microgravité. On remarque notamment que les racines des lentilles dont les cotylédons sont marqués par une étoile se sont totalement réorientées au cours de ces quatre heures.

Auteur(s)/Autrice(s) : Photographies laboratoire CEMV, université Paris 6. Mission spatiale IML-2 (1994)

4. Orientation de la croissance : exemple du gravitropisme

- Mise en évidence du rôle de la coiffe racinaire dans la perception du champ de gravité

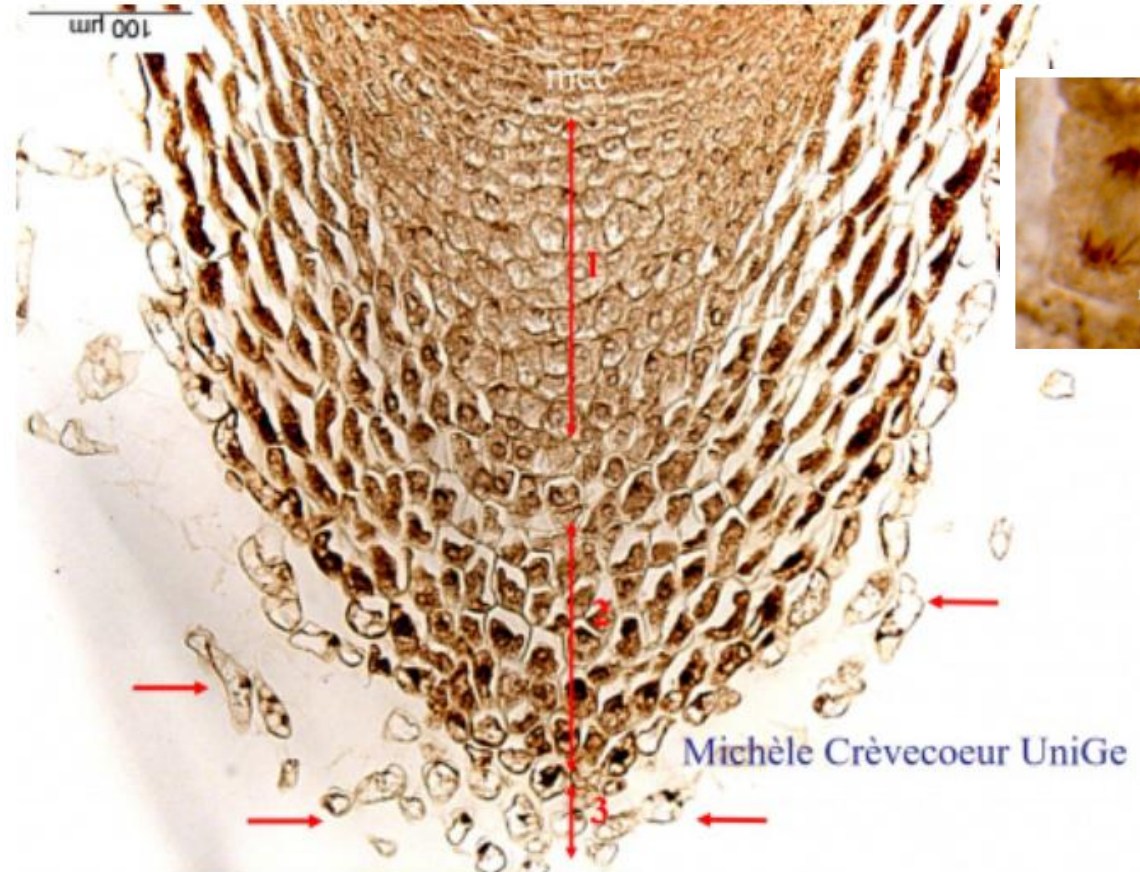


Pointe racinaire vue au microscope (X10).
 1-méristème
 2-columelle (statocytes avec statolithes)
 3-partie latérale de la coiffe
 4-cellules mortes arrachées
 5-zone d'élongation

- la **columelle**, zone centrale de la coiffe, contient des cellules spécialisées appelées **statocytes**,
 - Statocytes = cellules polarisées : noyau « en haut »/ réticulum « en bas »
 - Statocytes = cellules riches en **amyloplastes** (densité > cytosol) → « vers le bas »
 - amyloplastes = sensible à la gravité= **statolithes**
- Mutants présentant des statolithes plus petits, ablation des statocytes... → absence de gravitropisme

4. Orientation de la croissance : exemple du gravitropisme

- coiffe = capuchon +/- conique couvrant pointe racine
 - Coiffe issue du méristème dit d'entretien de la coiffe (mec), adjacent au méristème proprement dit.
 - Partie centrale de coiffe = **columelle** = parenchyme avec grosses cellules (**statocytes**) riches en gros grains d'amidon contenus dans des **amyloplastes (statolithes)**
 - ⇒ Rôle dans **gravitropisme**
 - Coiffe = rôle de protection du méristème
 - Coiffe = rôle de production de mucilage pour faciliter la progression de la racine dans le sol



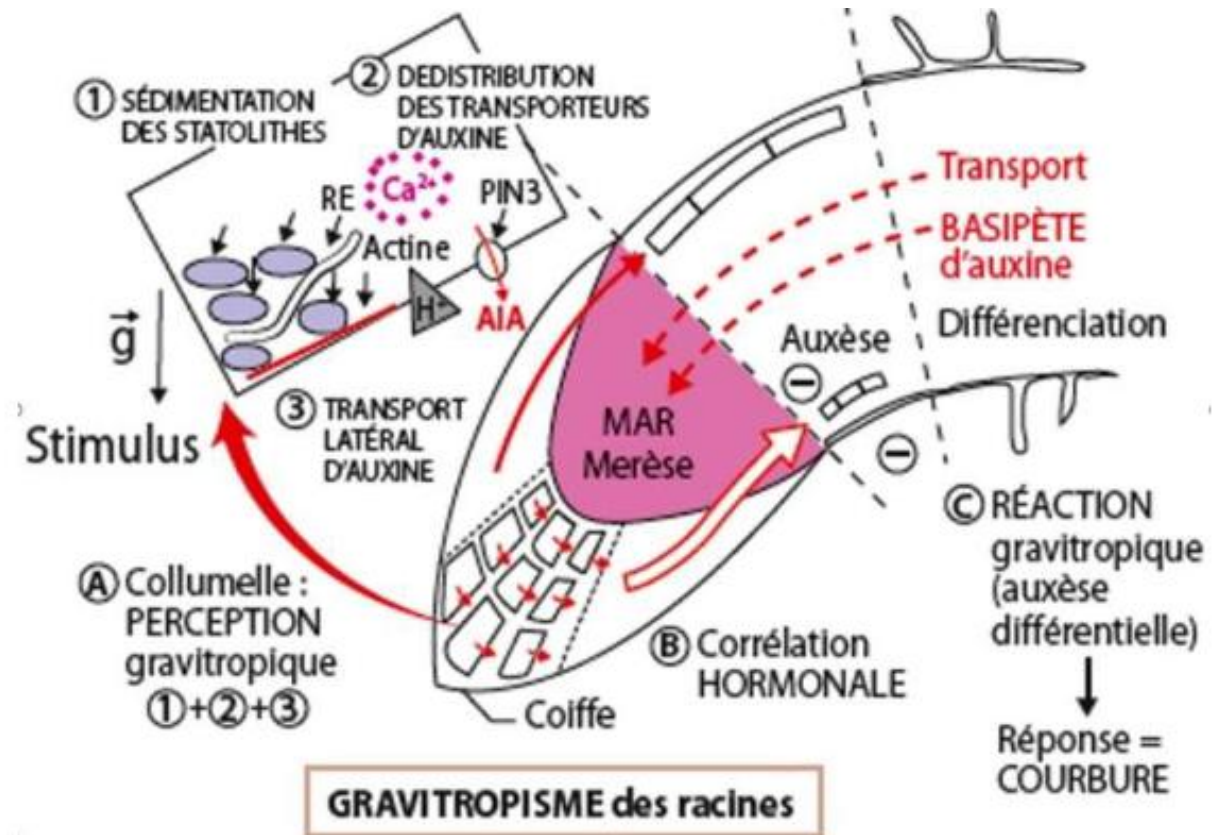
Mise en évidence de cellules en division entretenant les cellules de la coiffe par coloration de Gomori.
Sur la photo de gauche la columelle au centre (1), les cellules périphériques se détachant de la coiffe (flèches rouges) qui est en continuel renouvellement: mort cellulaire programmée des cellules qui se détachent de la coiffe.

4. Orientation de la croissance : exemple du gravitropisme

Le gravitropisme positif des racines, une croissance orientée dans le sens du vecteur pesanteur



- Si gravistimulation (= position horizontale)
 - ⇒ **Sédimentation selon $\vec{g}$ des amyloplastes (statolithes)** de la columelle
 - ⇒ Pression mécanique sur cytosquelette (microfilaments d'actine) et sur le RE
 - ⇒ Transmission à la membrane plasmique → **activation des transporteurs à auxine**
 - ⇒ Flux d'auxine plus important dans la partie inférieure de la racine
 - ⇒ **Concentration élevée d'auxine à la face inférieure de la racine**
 - ⇒ **INHIBITION de l'auxèse (si [AIA] élevée dans les racines)**
 - ⇒ au contraire, face supérieure: la faible concentration en auxine
 - ⇒ effet stimulateur de l'élongation cellulaire.
- Remarque : les racines sont aussi capables de détecter :
 - un gradient de lumière (phototropisme négatif), mis en évidence avec des germinations dans de la gélose transparente ou de l'eau.
 - un gradient d'eau et d'orienter leur croissance vers la zone la plus humide

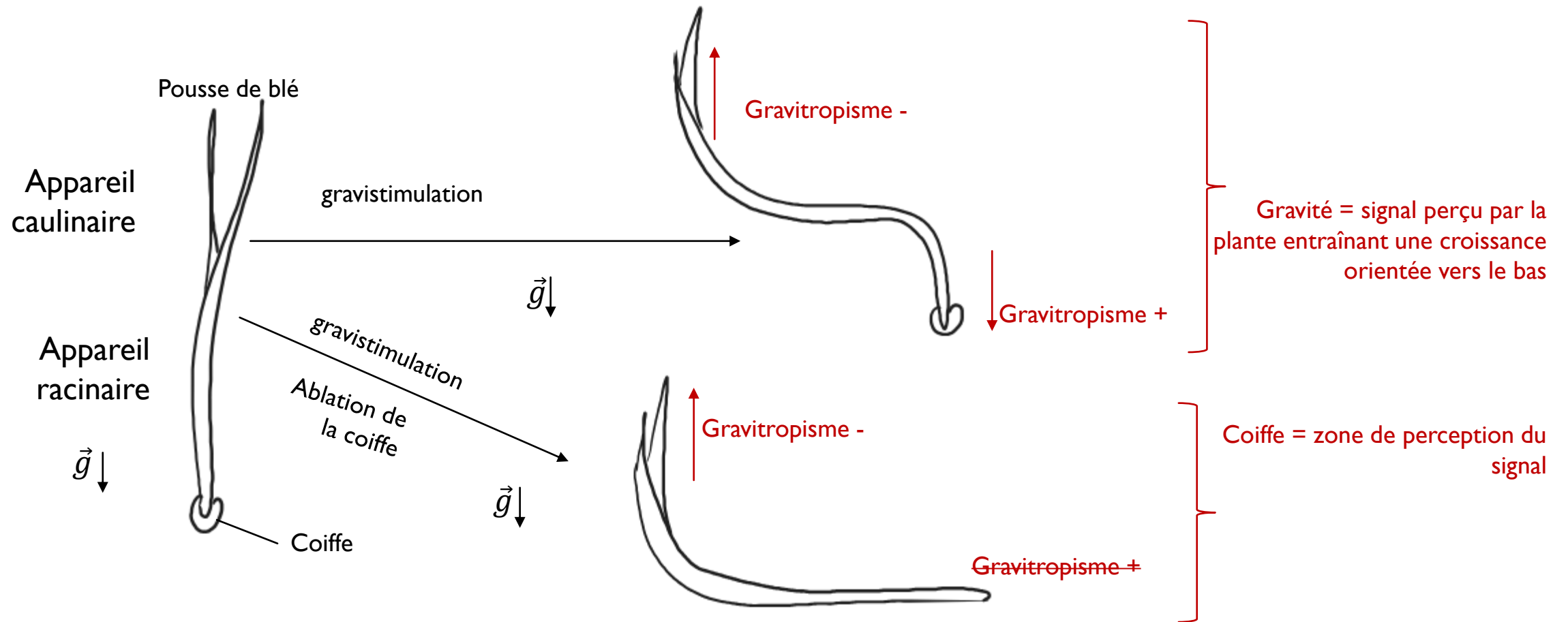


Source A. Denis

4. Orientation de la croissance : exemple du gravitropisme



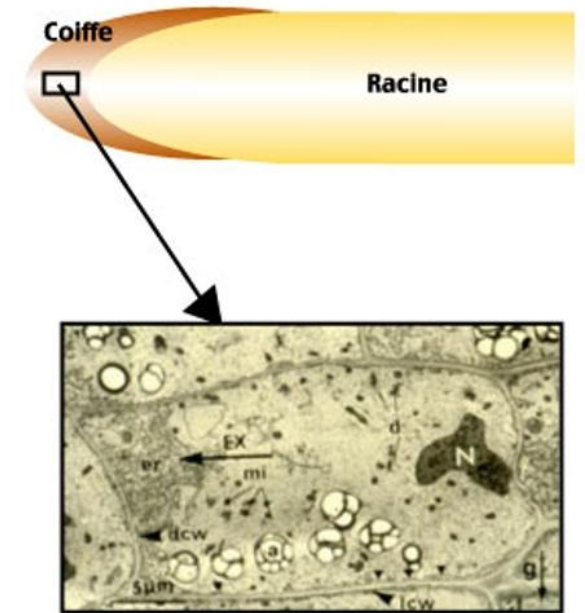
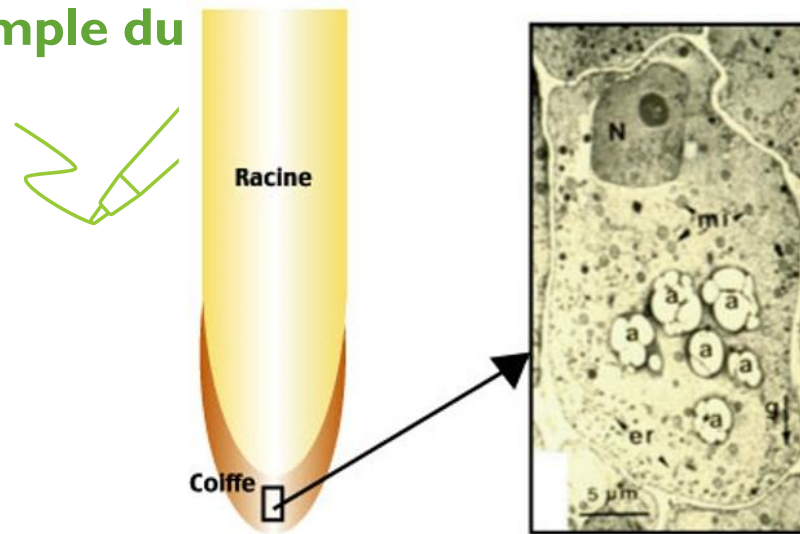
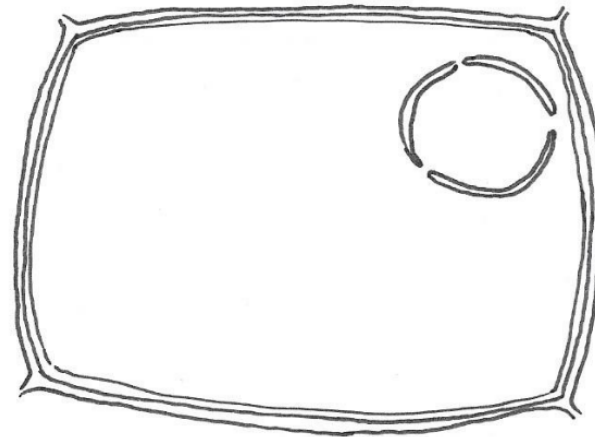
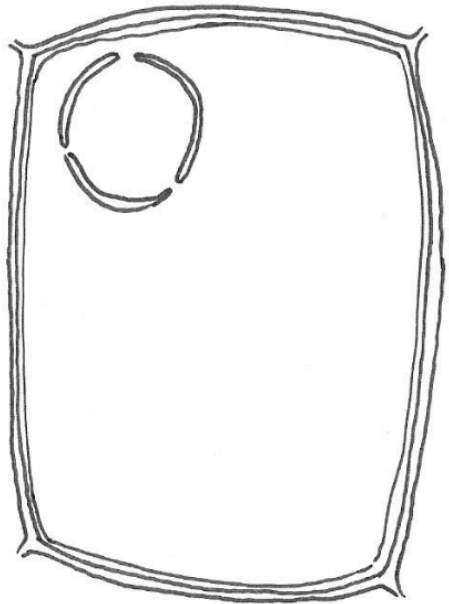
4. Orientation de la croissance : exemple du gravitropisme



La gravité: facteur abiotique impliqué dans le tropisme de la racine et de la tige

D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

4. Orientation de la croissance : exemple du gravitropisme



Ultrastructure d'un statocyte selon deux orientations racinaires

Micrographies de *Lens culinaris*, microscopie électronique.

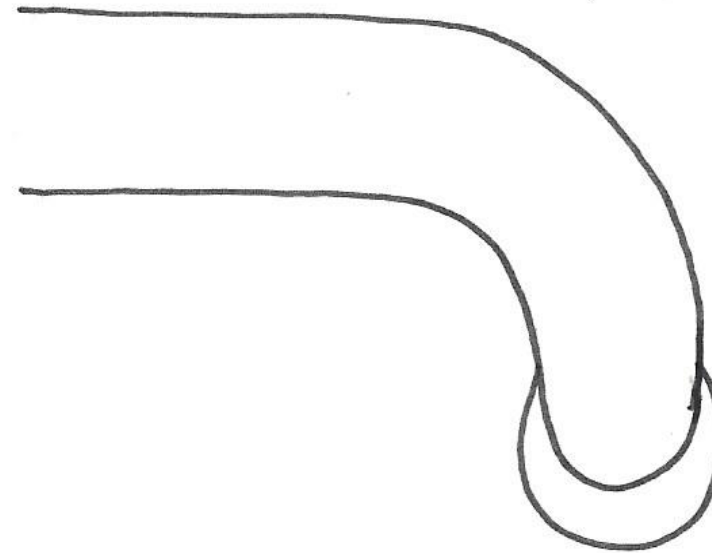
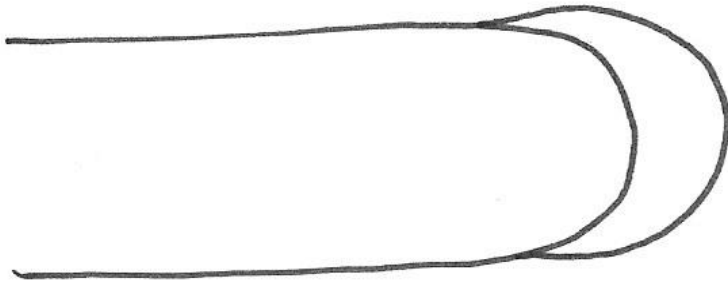
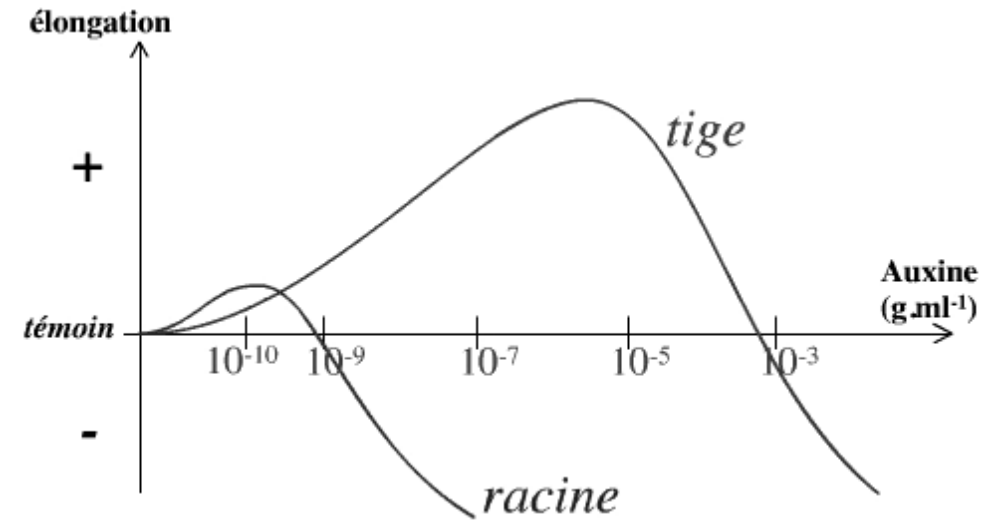
À gauche, racine en position verticale : les amyloplastes ont sédimenté « en bas » de la cellule, sur le côté opposé au noyau.
a : amyloplast, N : noyau, mi : mitochondries, er : réticulum endoplasmique, g : direction de la gravité.

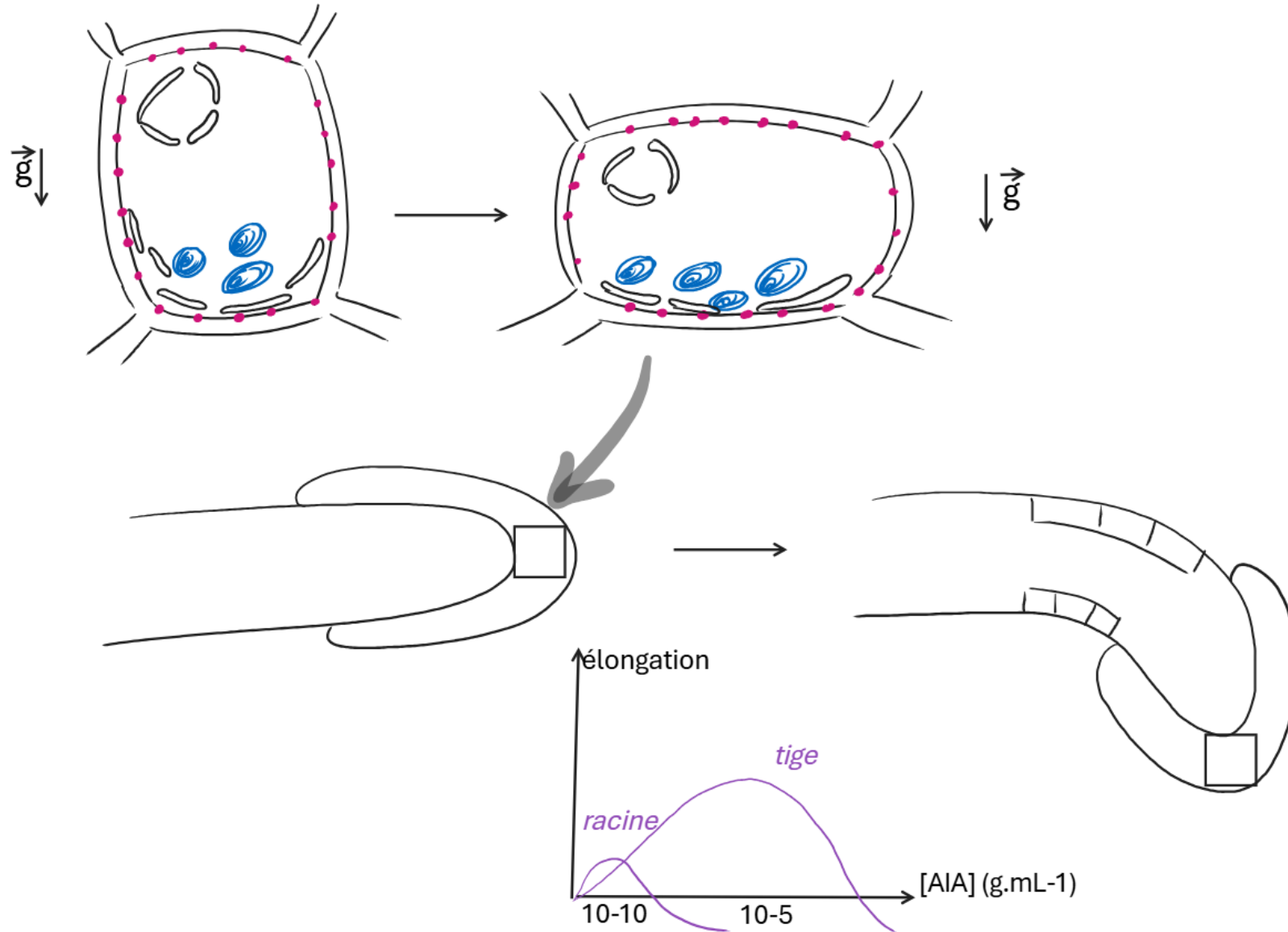
À droite, racine en position horizontale : les amyloplastes ont sédimenté « en bas » de la cellule, contre la longue paroi.
Auteur(s)/Autrice(s) : Photographie G. Perbal, laboratoire CEMV, université Paris 6.

D. LA CROISSANCE DES FABACÉES EST CONTRÔLÉE PAR LES CONDITIONS ABIOTIQUES DU MILIEU

4. Orientation de la croissance : exemple du gravitropisme

- **Auxine** = Acide Indole Acétique = **AIA** = hormone végétale synthétisée dans l'apex de la tige
 - [AIA] élevée à l'apex et faible à l'apex racinaire
 - **Effet dosage dépendant**
 - Surtout effet sur auxèse





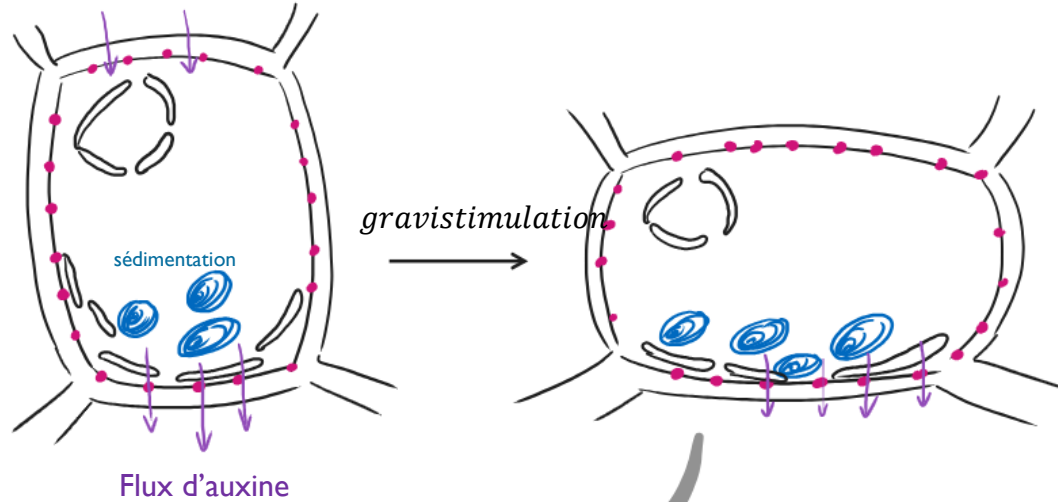
Cellule de la columelle au cœur de la
coiffe: statocyte

transporteur d'auxine
(AIA pour Acide Indole
Acétique)

Statolithe=grain
d'amidon

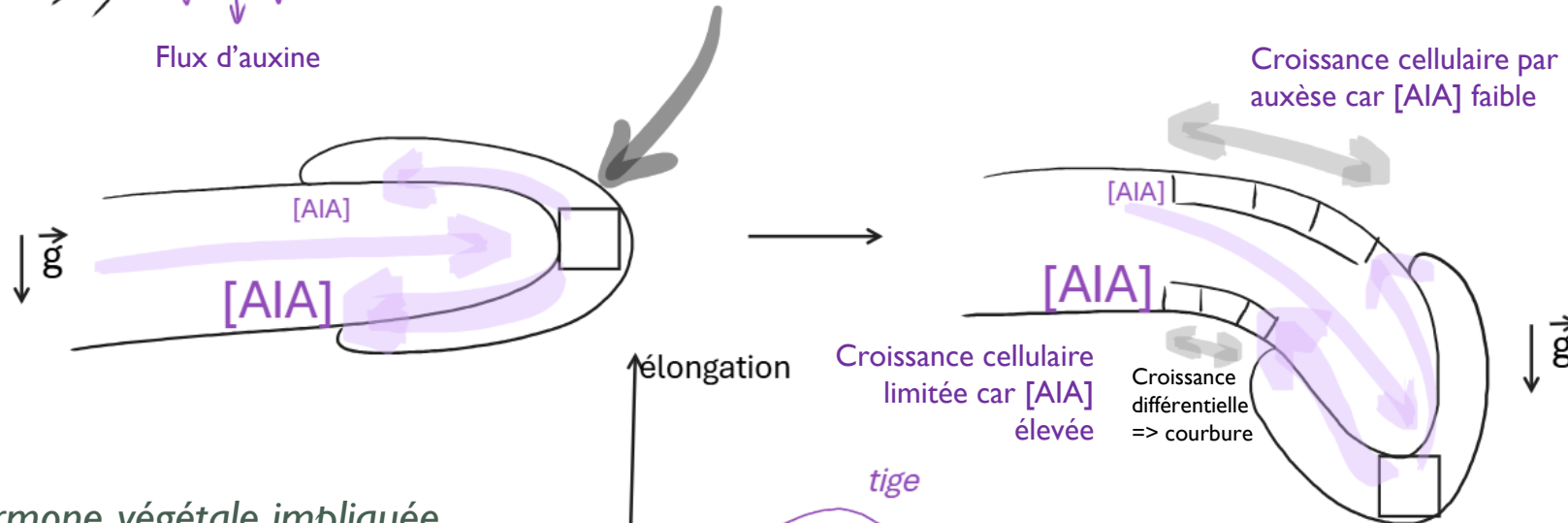
Densité_{statolithe} >
densité_{cytosol}

Réticulum endoplasmique
et microfilaments d'actine
(cytosquelette)

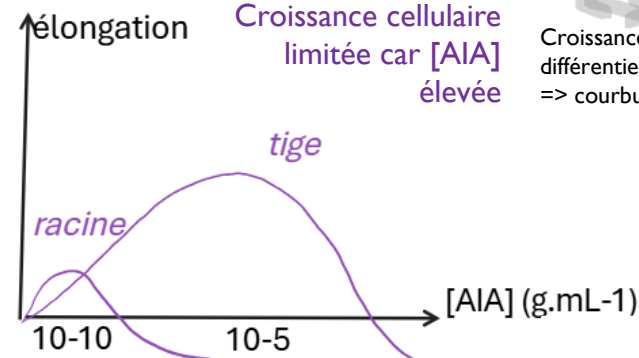


σ₀ ↓

Action mécanique des statocytes sur
réticulum endoplasmique et filaments
d'actine => ouverture des transporteurs à
Auxine (AIA) et => redistribution de l'AIA



L'auxine, une hormone végétale impliquée
dans l'élongation (auxèse) et dont la
distribution dépend du champ de pesanteur



Gravitropisme +

PLAN

I. Les Fabacées, un groupe d'angiospermes dans la classification phylogénétique

- A. Les Fabacées, des Angiospermes Dicotylédones
- B. Caractéristiques et diversité des Fabacées

II. Les fonctions de relation : les Fabacées interagissent avec les composantes de leur écosystème

- A. Exemple d'un écosystème de fabacée : la prairie pâturée, un agrosystème
- B. Les Fabacées interagissent avec les autres êtres vivants de leur écosystème
- C. Le cycle de vie des Fabacées est contrôlé par les conditions abiotiques du milieu
- D. La croissance des fabacées est contrôlée par les conditions abiotiques du milieu

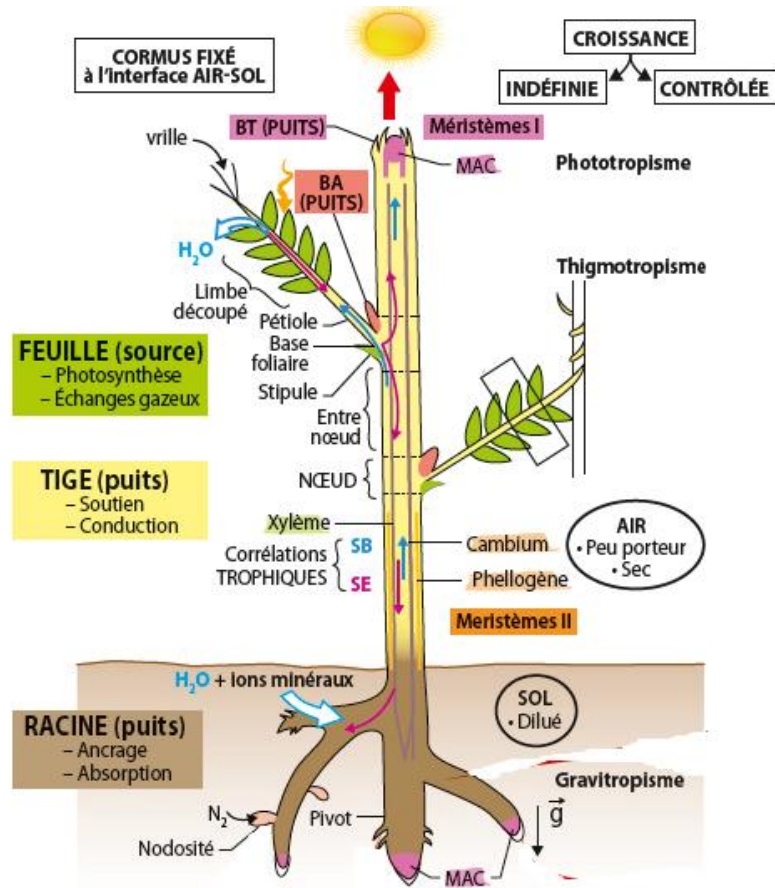
III. Les fonctions de nutrition : les fabacées sont des organismes photosynthétiques fixés à l'interface sol-atmosphère

- A. Les racines, lieu d'absorption d'eau et d'ions minéraux
- B. Les feuilles, organes de la photosynthèse
- C. Des tissus assurant les connexions entre organes sources et organes puits

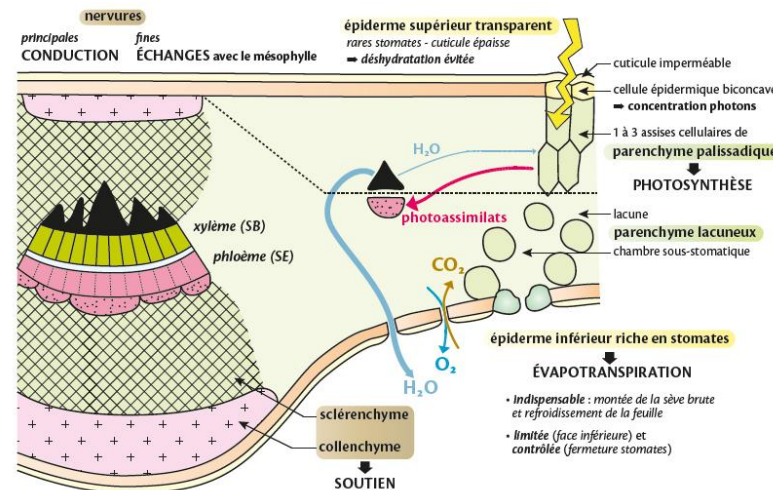
IV. Les fonctions de reproduction : les fabacées produisent une descendance génétiquement différente et disséminée dans le milieu

- A. La fleur des Fabacées, organe de la reproduction
- B. De la fleur au fruit et de l'ovule à la graine : fécondation et transformation de l'appareil reproducteur
- C. Une reproduction maîtrisée par l'homme : sélection, domestication, exploitation

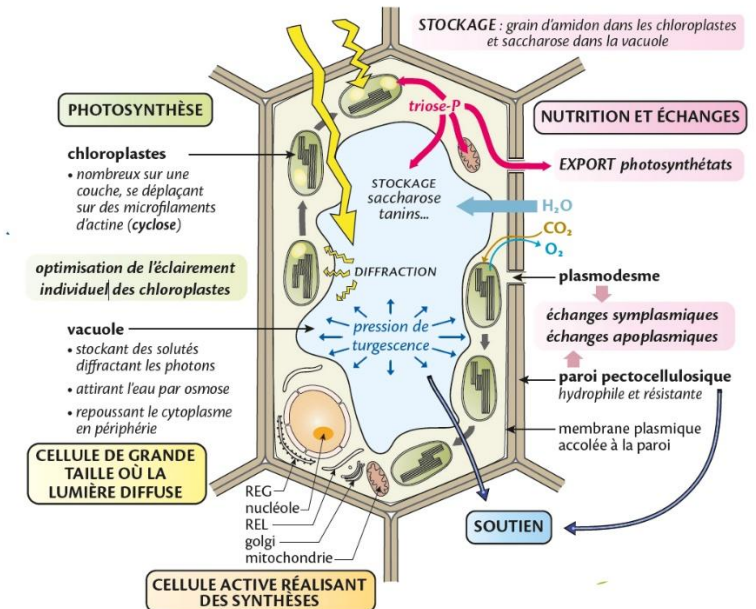
III. LES FONCTIONS DE NUTRITION : LES FABACÉES SONT DES ORGANISMES PHOTOSYNTHÉTIQUES FIXÉS À L'INTERFACE SOL-ATMOSPHÈRE



- Fabacées = végétaux chlorophylliens
 - ⇒ Photosynthèse: $6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$
 - ⇒ Nécessité d'absorption d'eau (et d'ions)
 - ⇒ Nécessité de capter l'énergie lumineuse et le CO_2 atmosphérique
- Or eau dans le sol et lumière et CO_2 dans l'atmosphère
- ⇒ Nécessité d'interconnexions entre ces surfaces



Une anatomie asymétrique



III. LES FONCTIONS DE NUTRITION : LES FABACÉES SONT DES ORGANISMES PHOTOSYNTHÉTIQUES FIXÉS À L'INTERFACE SOL-ATMOSPHÈRE

A. LES RACINES, LIEU D'ABSORPTION D'EAU ET D'IONS MINÉRAUX

I. L'assise pilifère, zone de la racine spécialisée dans l'absorption

CfTPI Bota

■ Coiffe:

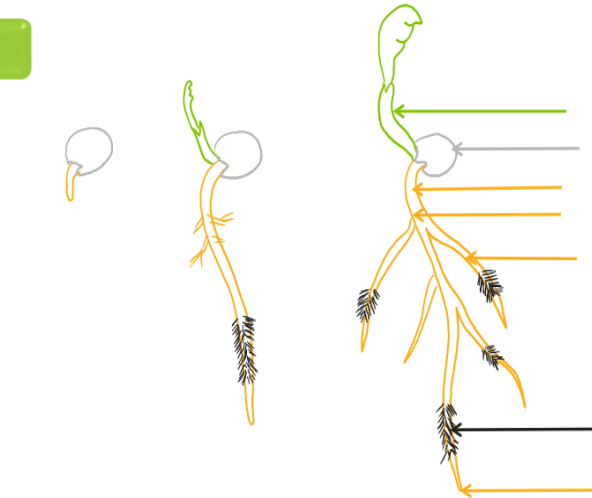
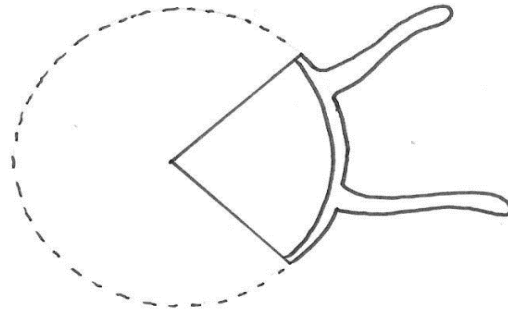
- **Columelle:** impliquée dans le gravitropisme
- **Mucilage** => pénétration de la racine entre les parties du sol.

■ Zone d'élongation = zone de croissance (auxèse)

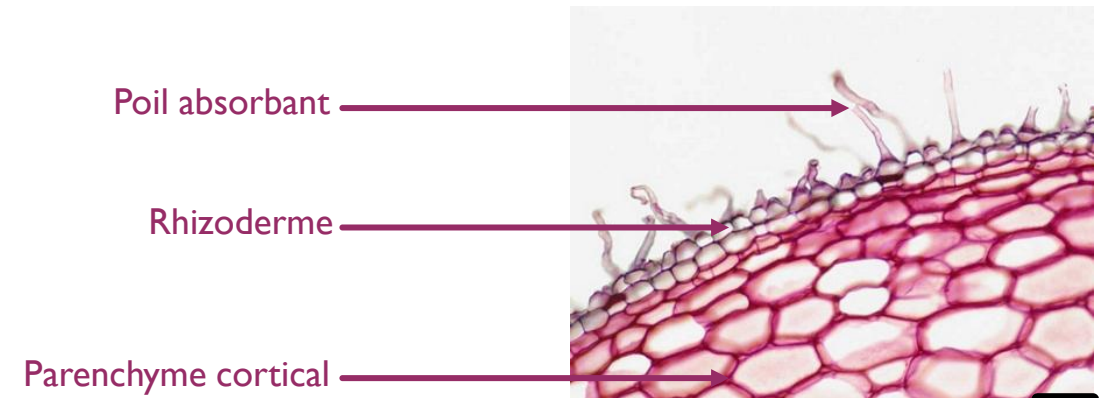
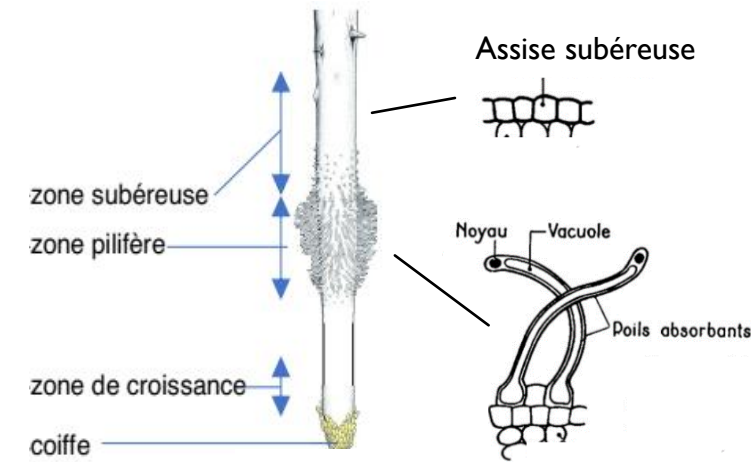
■ Zone pilifère → poils absorbants = grande surface d'absorption de l'eau et des sels minéraux. Cette zone est continuellement renouvelée.

■ Racines secondaires

■ Collet



Appareil racinaire d'une plantule de Haricot (*Phaseolus vulgaris*, Fabacée)



Mise en évidence au MO du rhizoderme après coloration au rouge carmin

I. L'assise pilifère, zone de la racine spécialisée dans l'absorption

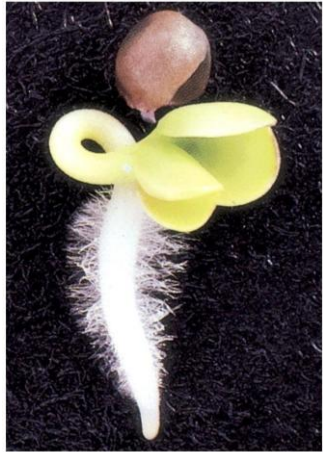


Figure 24-9a
Biology of Plants, Seventh Edition
© 2005 W.H. Freeman and Company

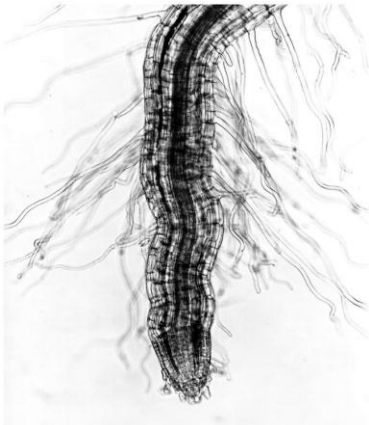
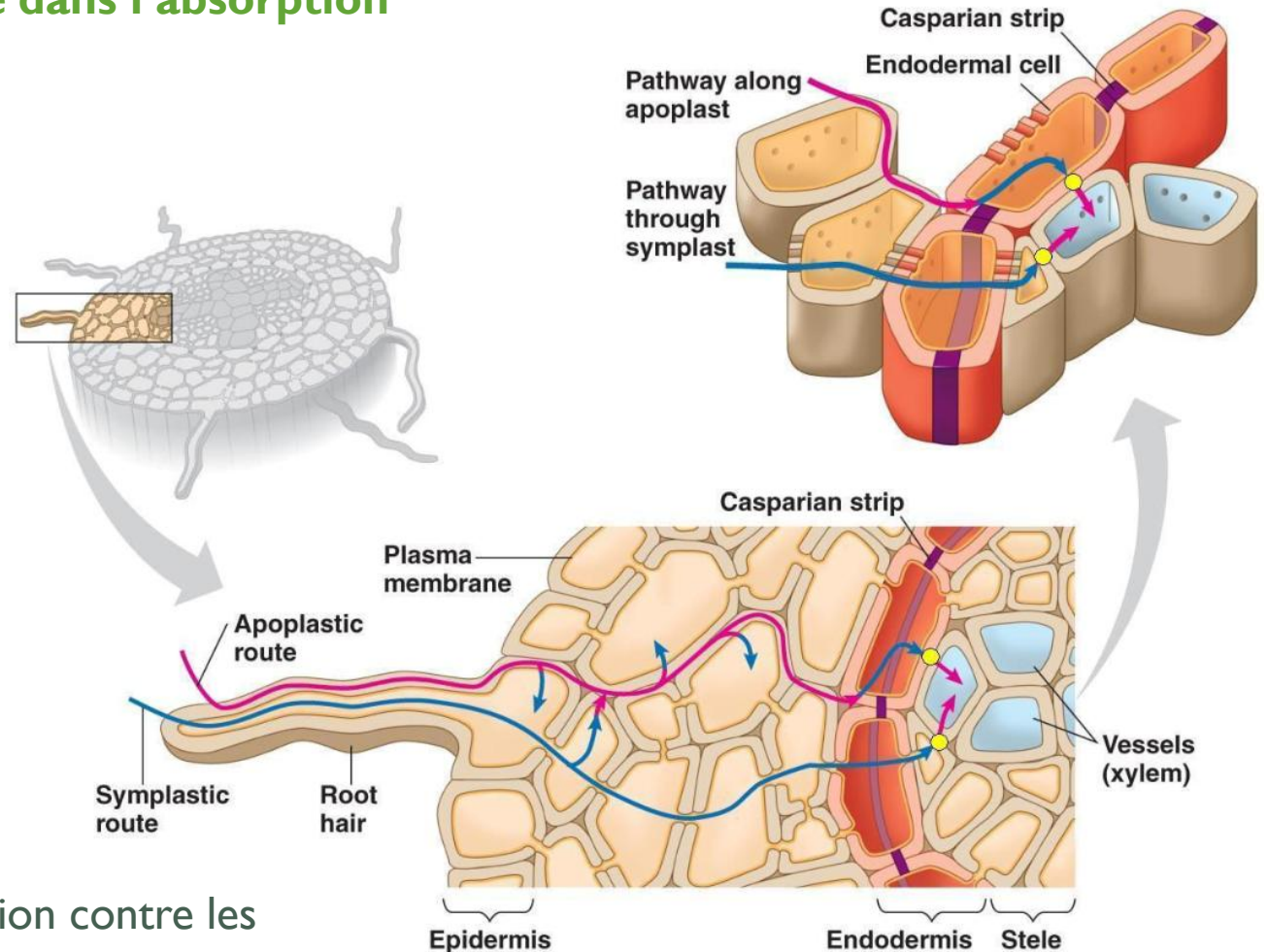
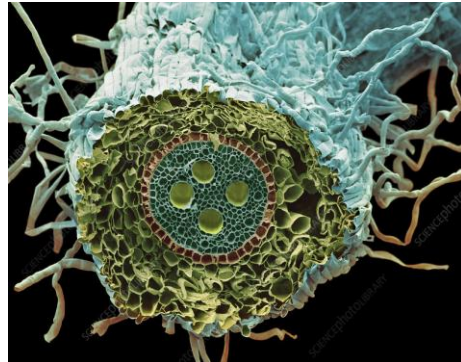
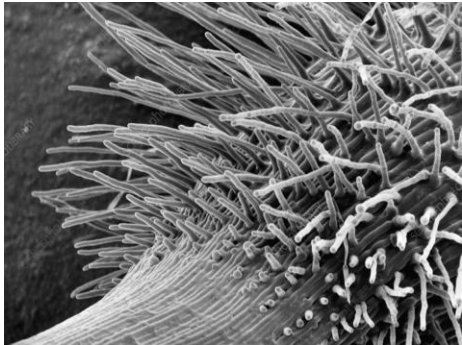


Figure 24-9b
Biology of Plants, Seventh Edition
© 2005 W.H. Freeman and Company



- **paroi** des cellules végétales → rôle de protection contre les agressions extérieures.
- circulation de substances par diffusion dans la paroi = **voie apoplasique**
- Circulation par plasmodesmes (+ directe) = **symplasmique**.

A. LES RACINES, LIEU D'ABSORPTION D'EAU ET D'IONS MINÉRAUX

2. Rôles des associations symbiotiques dans l'absorption

***symbiose : association à bénéfice mutuel basée sur une relation intime, durable et spécifique**

- Les racines des Fabacées réalisent des associations symbiotiques avec divers organismes
 - Les **mycorhizes**, associations entre **racine** et **champignons** mycorhiziens, $\nearrow$ la surface de la **rhizosphère** et donc le volume total de sol dans lequel la plante peut puiser de l'eau et des ions minéraux
- $\Rightarrow \nearrow$ l'**absorption d'eau et d'ions minéraux** (NO_3^- , PO_4^{3-})
- Les **nodosités** $\rightarrow$ **bactéries fixatrices d'azote** $\rightarrow$ absorption d'azote minéral sous forme d'**ions ammonium**.
 - vers **vaisseaux du xylème** = sève brute.
 - Cette sève est conduite dans l'ensemble de la plante, notamment vers les **organes photosynthétiques**.



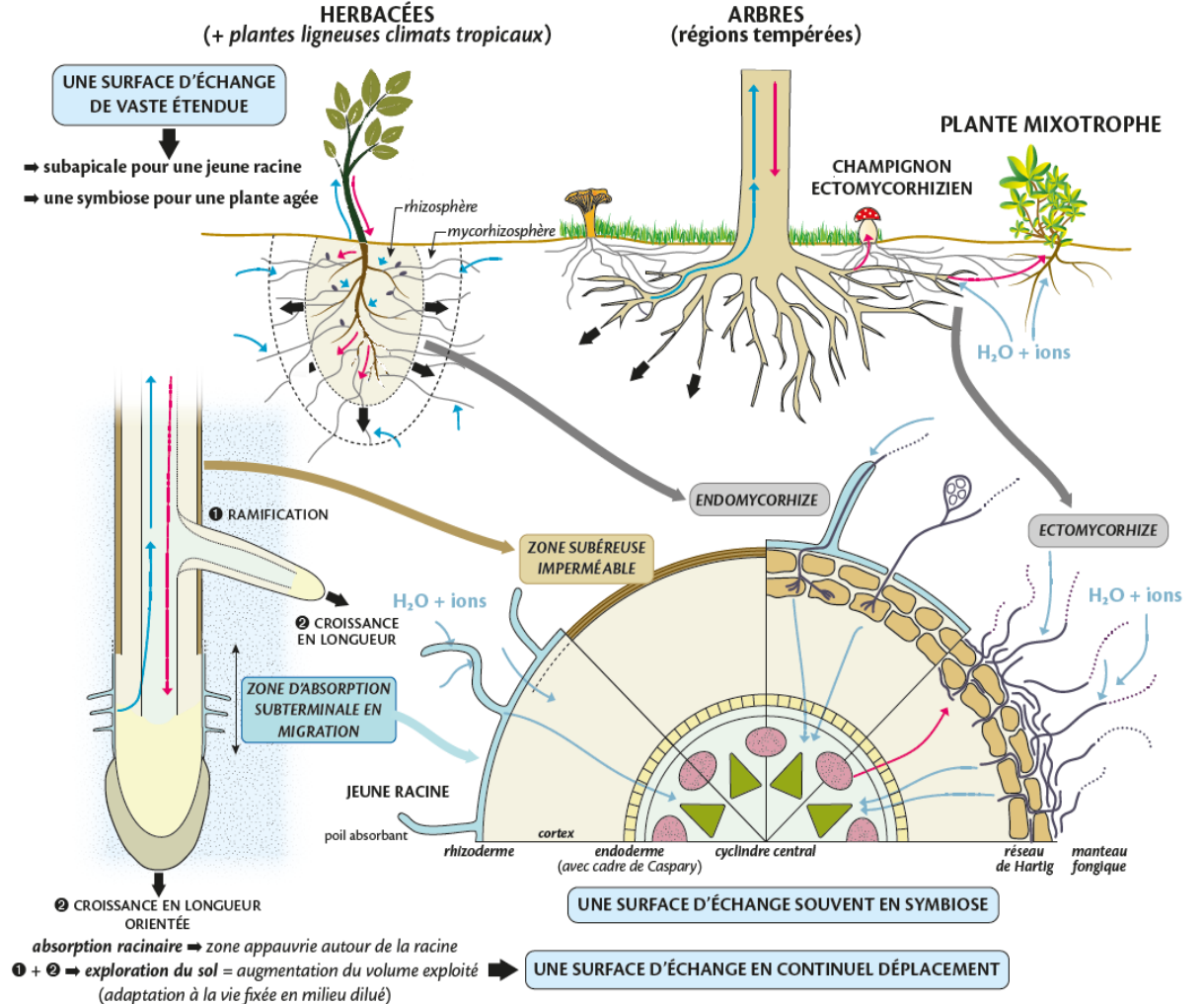
Figure 14-41
Biology of Plants, Seventh Edition
© 2004 W. H. Freeman and Company



✚ Une absorption à l'extrémité d'un appareil racinaire ramifié en continuel déplacement

Une surface d'échange fine et vaste

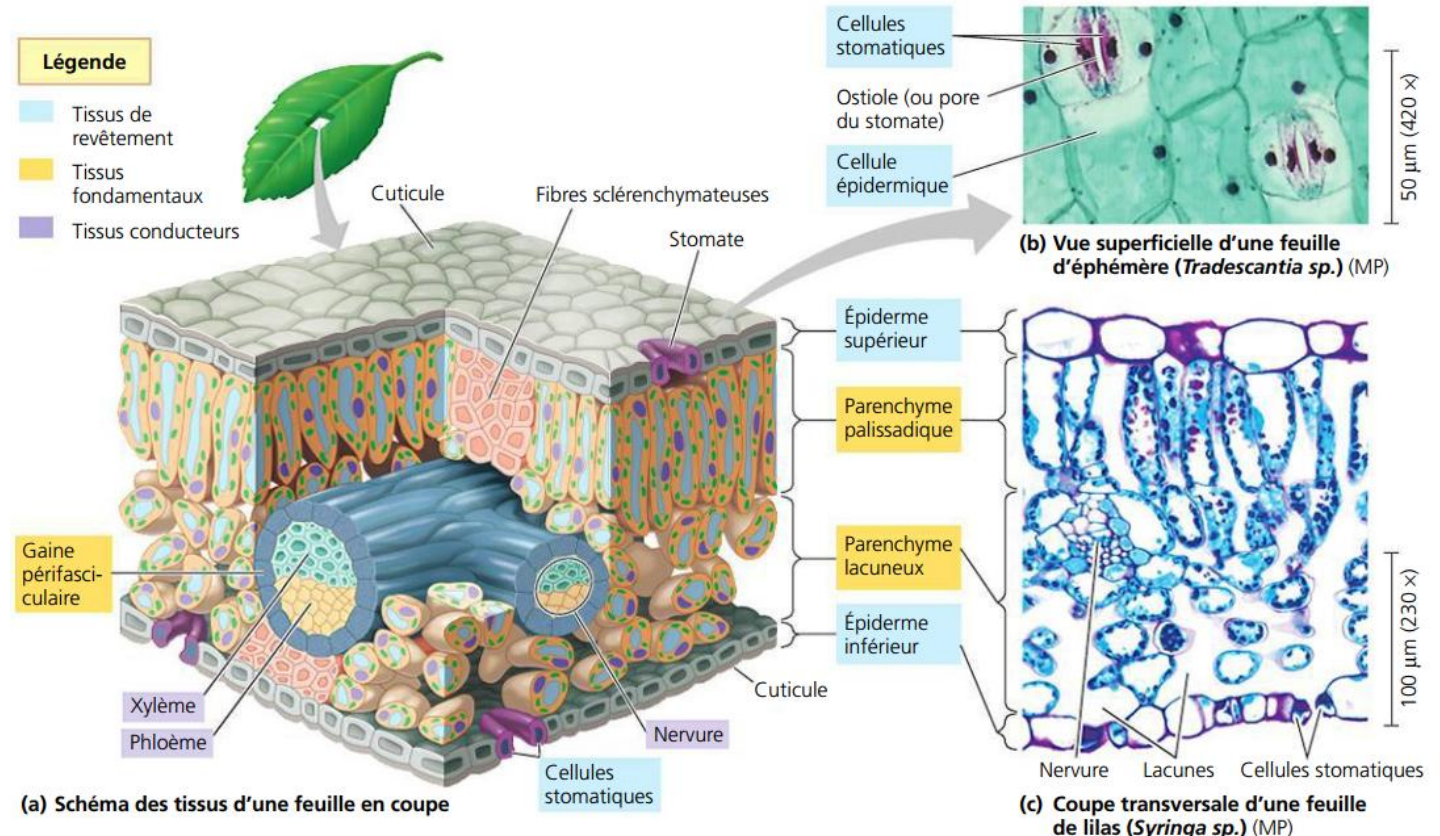
Une surface d'échange augmentée par symbiose



B. LES FEUILLES, ORGANES DE LA PHOTOSYNTHÈSE

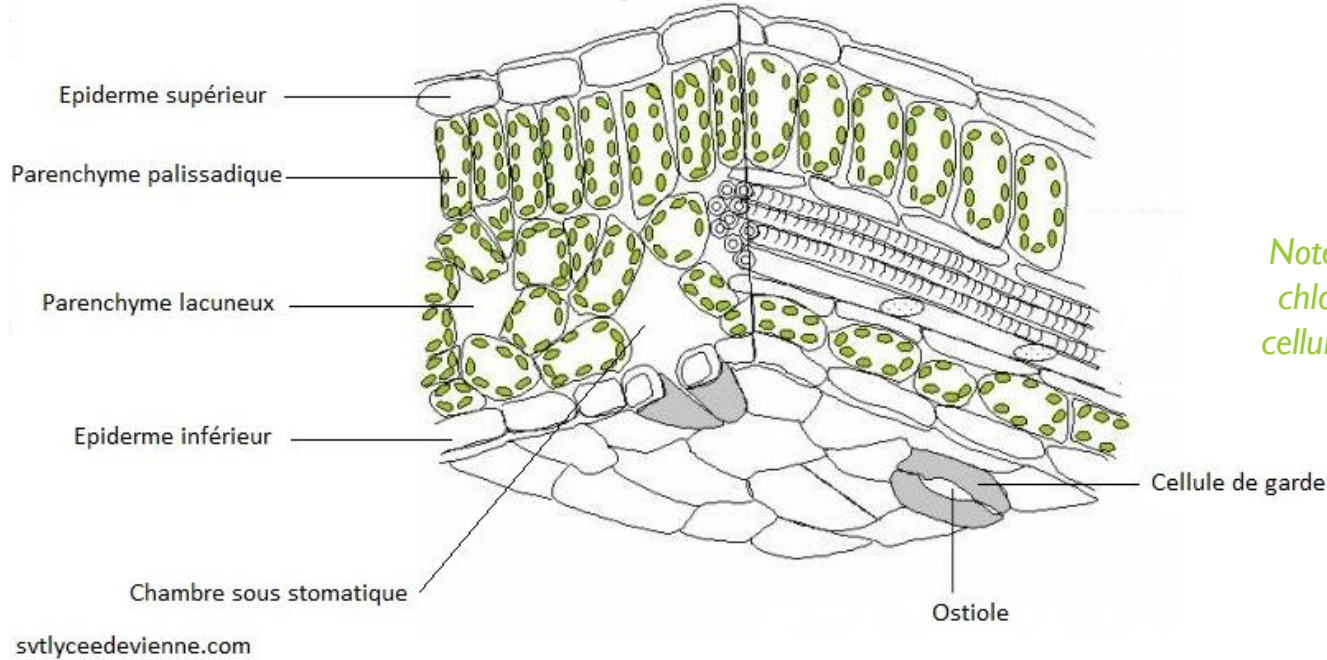
I. Un épiderme contrôlant les échanges gazeux

- Photosynthèse nécessite l'absorption de **CO₂ atmosphérique**, et entraîne le **rejet de dioxygène**.
- échanges gazeux au niveau de l'**épiderme foliaire**
 - **cuticule** limitant les pertes d'eau (une adaptation au milieu aérien desséchant)
 - Grande surface d'échange et petit volume (S/V très grand => ↗ échanges mais ↗ pertes hydriques)
 - **stomates**, à **ouverture contrôlée** (selon l'état de **turgescence** et **plasmolyse** des cellules de garde) souvent côté abaxial chez les Dicotylédones
- **Mésophylle = parenchyme** (tissu à vocation métabolique) + **collenchyme** (tissu de soutien) + **FCV** (Faisceaux Cribro-Vasculaires)

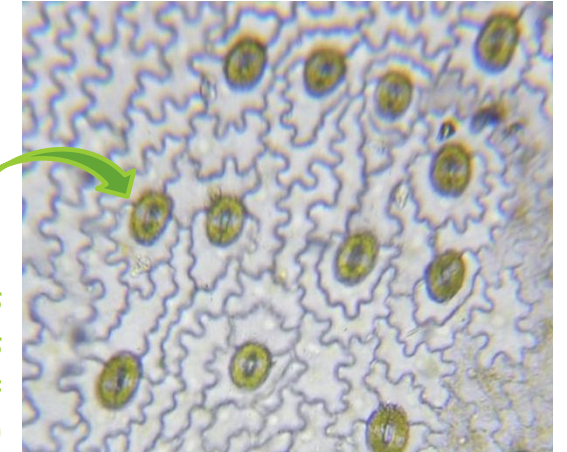


B. LES FEUILLES, ORGANES DE LA PHOTOSYNTHÈSE

I. Un épiderme contrôlant les échanges gazeux

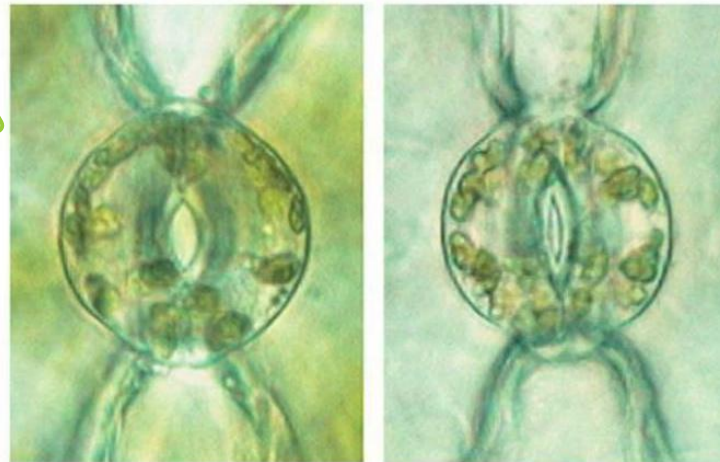


Notez la présence des chloroplastes dans les cellules stomatiques (= cellules de garde)

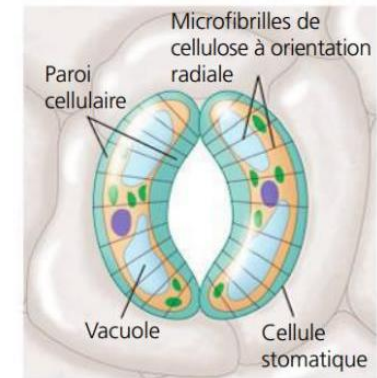


Observation au MO X40 de l'épiderme stomatique de feuille de fougère

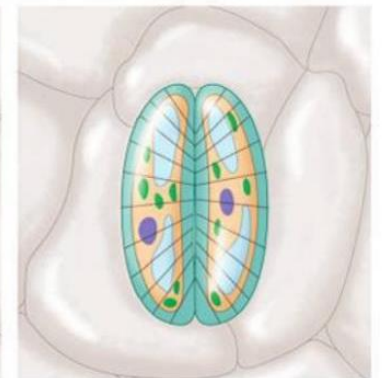
- **Stomates**= deux **cellules de garde** entourant un pore appelé **ostiole**.
- **stomates**, à **ouverture contrôlée** (selon l'état de **turgescence** et **plasmolyse** des cellules de garde)
- **chambre sous-stomatique**



Cellules stomatiques turgescents (stomate ouvert)



Cellules stomatiques flasques (stomate fermé)



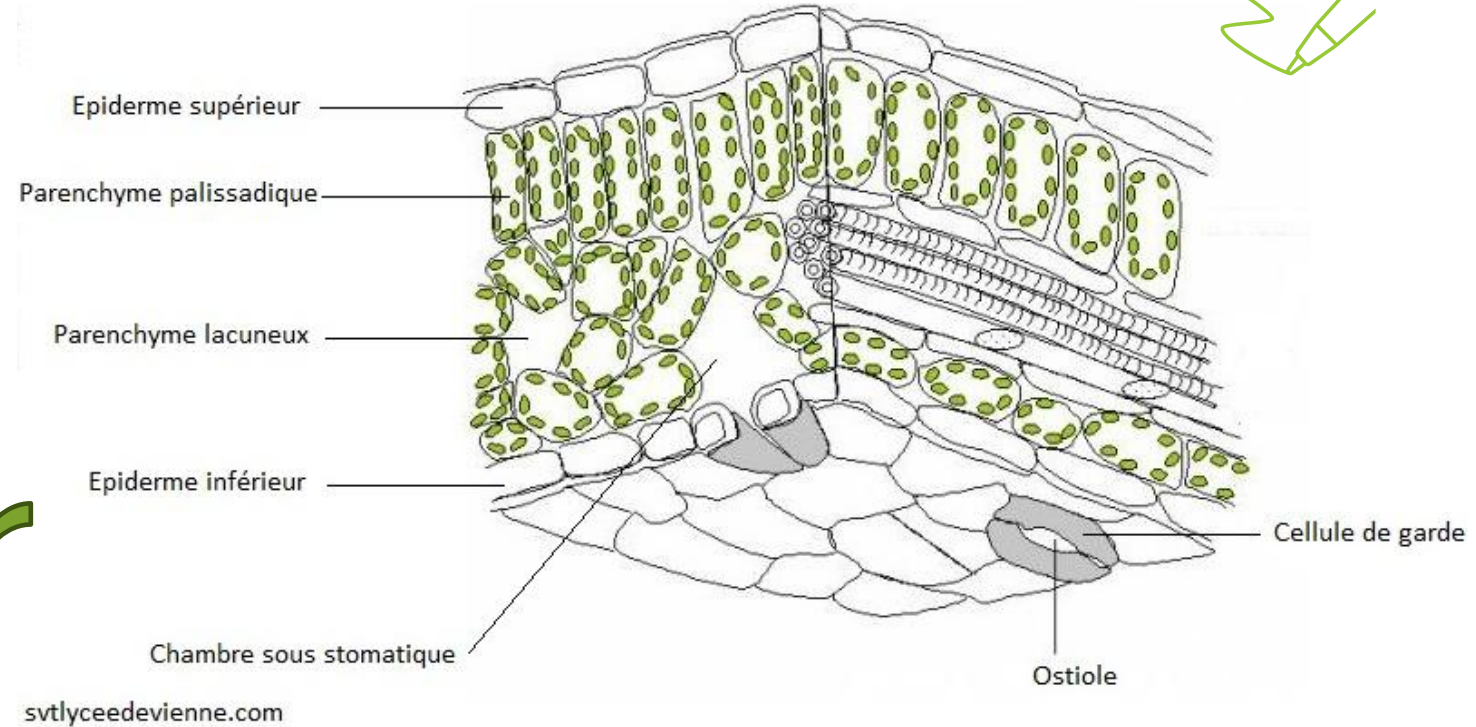
À gauche cellules de garde en turgescence → ouverture de l'ostiole; à droite cellules de garde en plasmolyse → fermeture de l'ostiole

B. LES FEUILLES, ORGANES DE LA PHOTOSYNTHÈSE

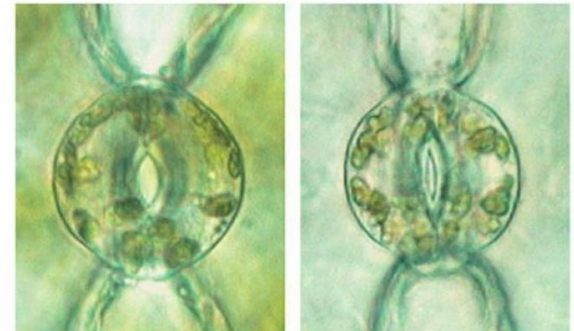
I. Un épiderme contrôlant les échanges gazeux

Rôles des stomates

- Ouverture des stomates est une nécessité :
 - **entrée de CO_2** indispensable à la photosynthèse :
 - **sortie d'eau (H_2O)** par évapotranspiration aussi, elle a un double intérêt :
 - ✓ **refroidir la feuille** (la chaleur latente de vaporisation de l'eau est élevée, le changement d'état libère de l'énergie)
 - ✓ **absorber et faire monter la solution minérale** depuis les racines jusqu'aux feuilles (cohésion de la colonne d'eau par liaisons H)
 - Ouverture des stomates a des inconvénients:
 - dessiccation en milieu peu porteur → flétrissement par perte de turgescence
 - cavitation (apparition de bulles de gaz par détente dans la sève brute) entraînant la rupture de la continuité de la colonne d'eau
- ⇒ à l'origine d'un arrêt de prélèvement de la solution minérale donc de la mort du végétal.

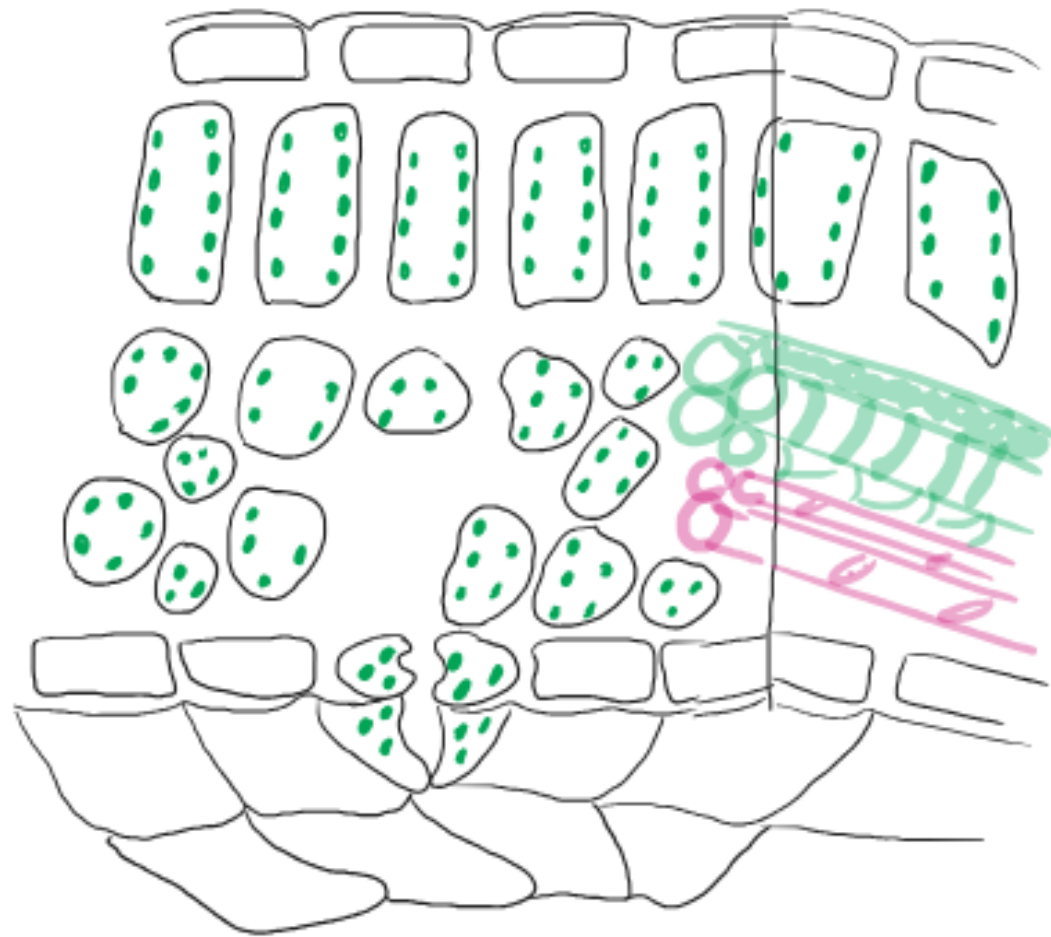


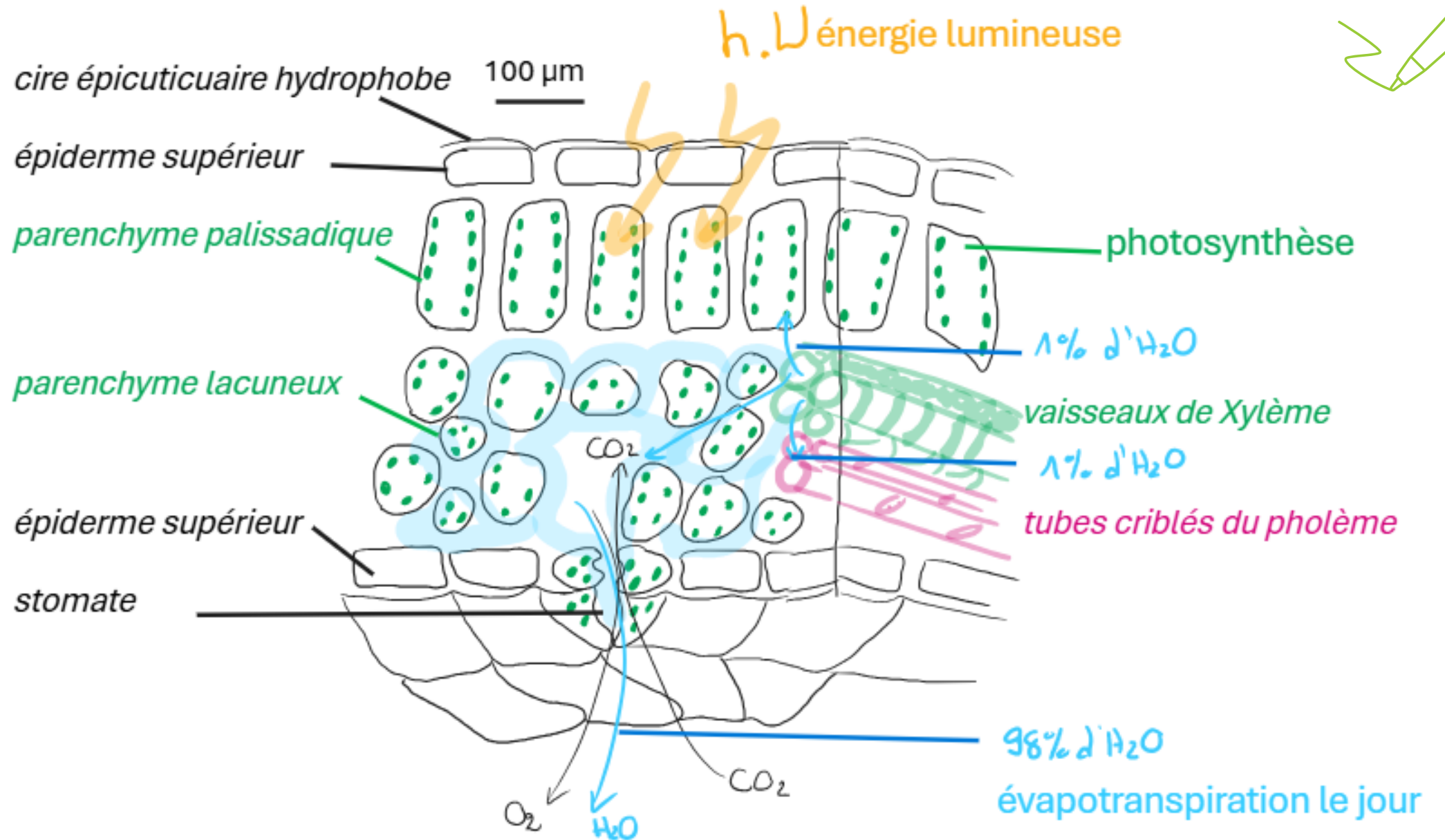
parenchyme lacuneux ménage des lacunes entre cellules chlorophylliennes arrondies permettant la libre circulation des gaz depuis les **chambres sous-stomatiques**, en continuité avec l'air extérieur via les stomates, jusqu'aux cellules du **parenchyme palissadique**.



Stomates au MO

100 μm





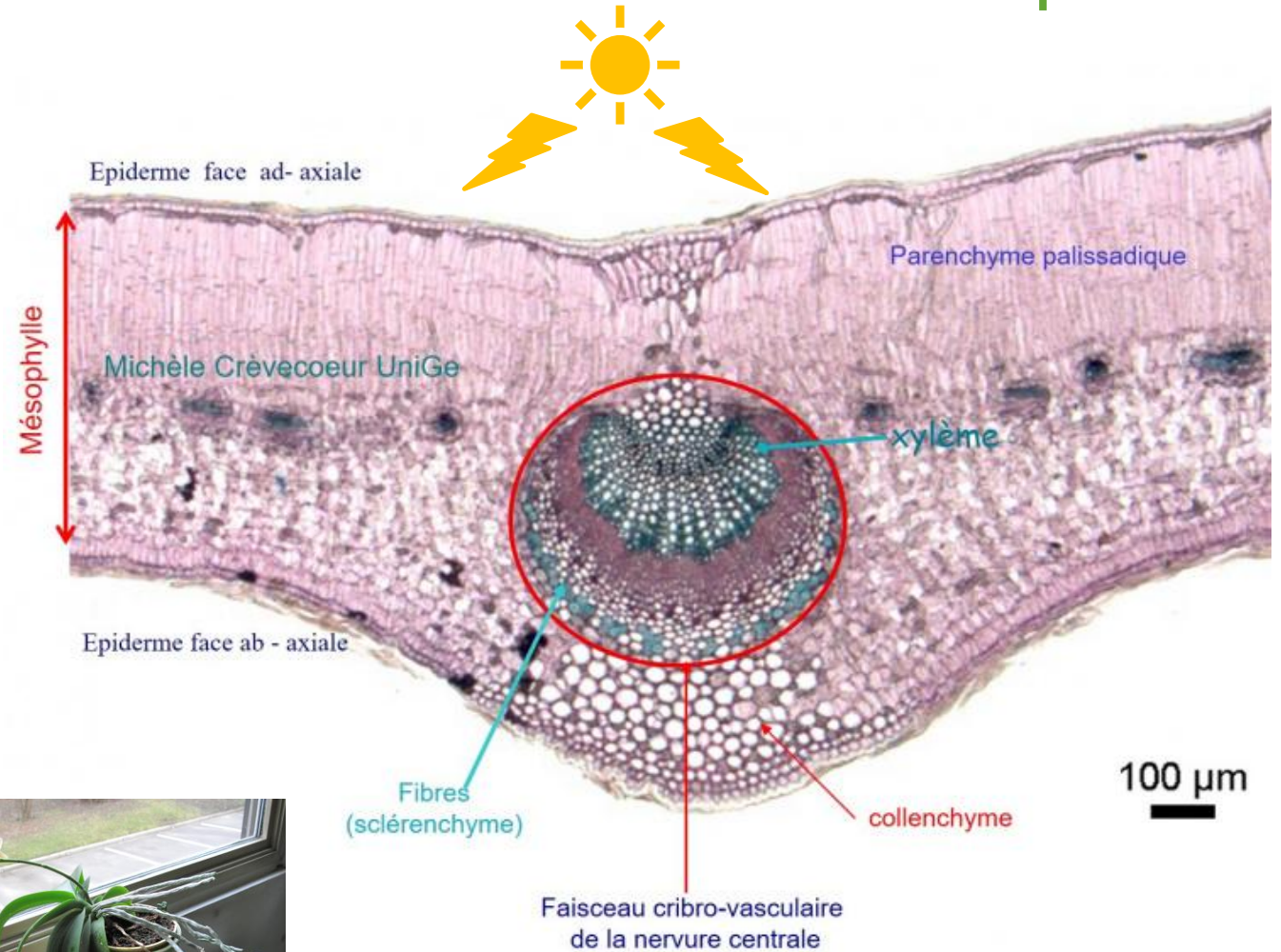
Le limbe foliaire et la photosynthèse le jour

B. LES FEUILLES, ORGANES DE LA PHOTOSYNTHÈSE

2. Des tissus de soutien maintenant la feuille dans une orientation favorable à l'absorption d'énergie lumineuse

L'absorption de l'énergie lumineuse:

- **orientation de la surface foliaire** perpendiculaire au rayonnement lumineux incident → rôle du pétiole
- Importance de la **phyllotaxie** = disposition des feuilles sur tige (*alterne, opposée, verticillée*)
- **port dressé du végétal**
 - **Collenchyme**: paroi cellulosique (**carmin**)
 - **Sclérenchyme**: paroi lignifiée (**vert de Mirande**)

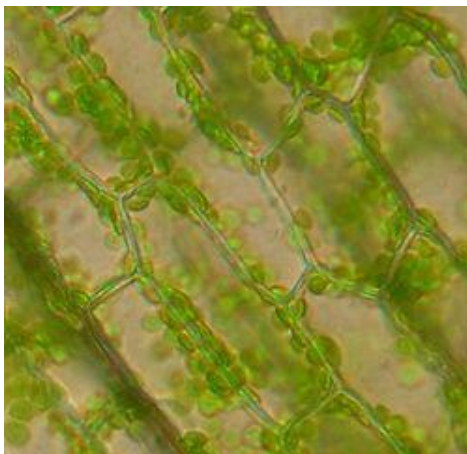
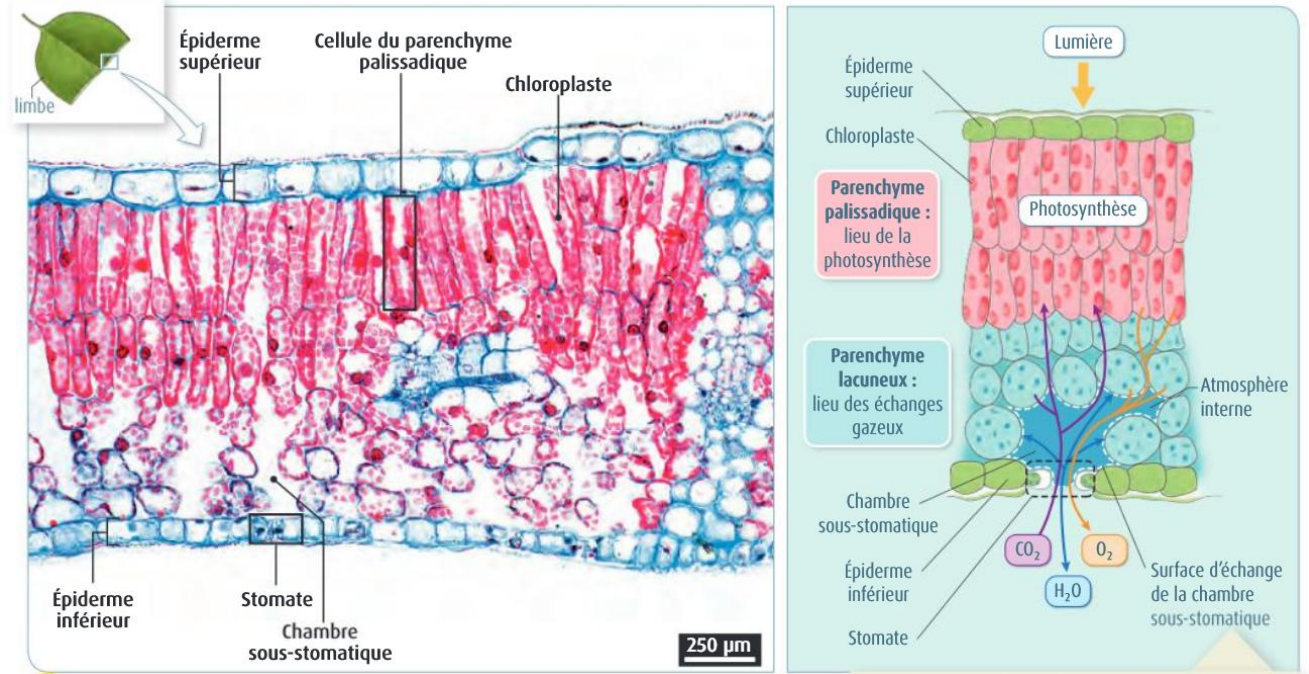


Héliotropisme chez une Orchidée

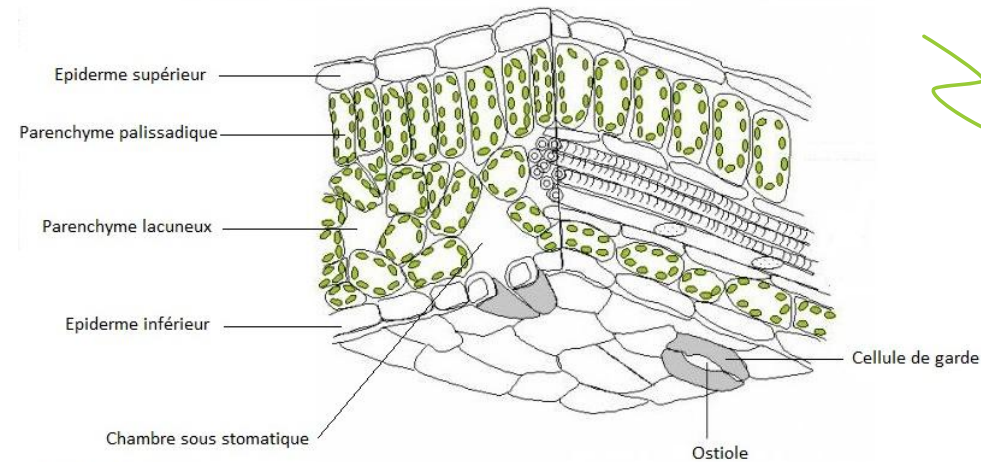
B. LES FEUILLES, ORGANES DE LA PHOTOSYNTHÈSE

3. Un parenchyme chlorophyllien responsable de la photosynthèse

- La majorité du volume du limbe foliaire = cellules **chlorophylliennes**
- le **parenchyme lacuneux** (cellules peu jointives/peu organisées): diffusion des gaz et de l'eau liquide
- le **parenchyme palissadique** (cellules prismatiques, jointives) : lieu de la photosynthèse => exportation de saccharose et d'AA néosynthétisés



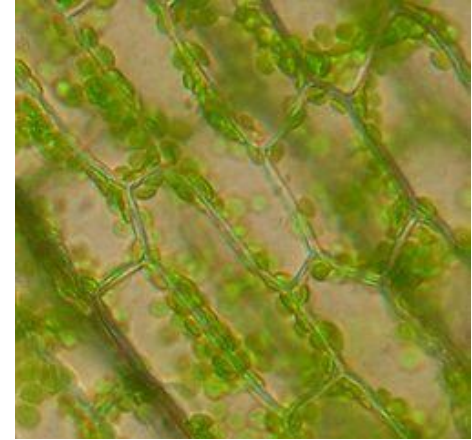
Parenchyme palissadique de l'Elodée du Canada au MO



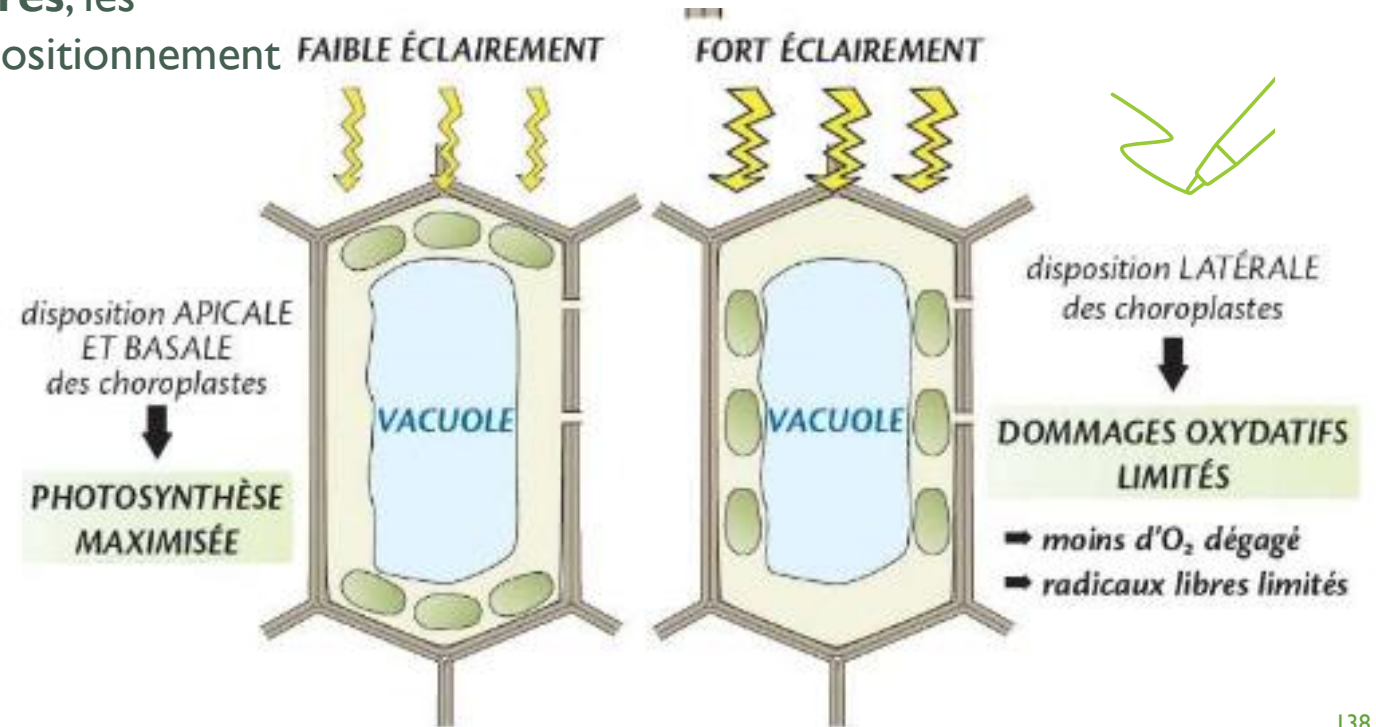
B. LES FEUILLES, ORGANES DE LA PHOTOSYNTHÈSE

3. Un parenchyme chlorophyllien responsable de la photosynthèse

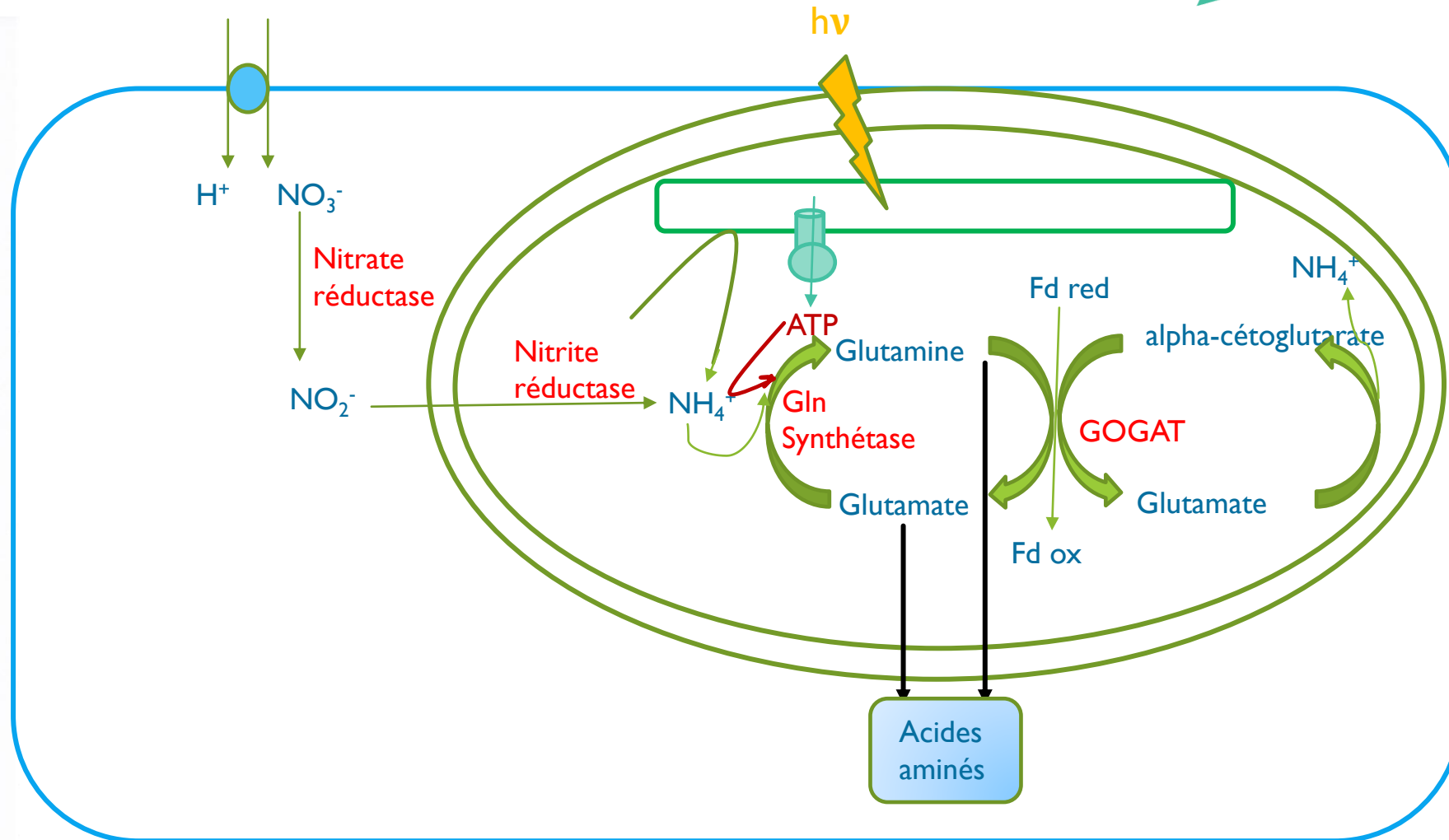
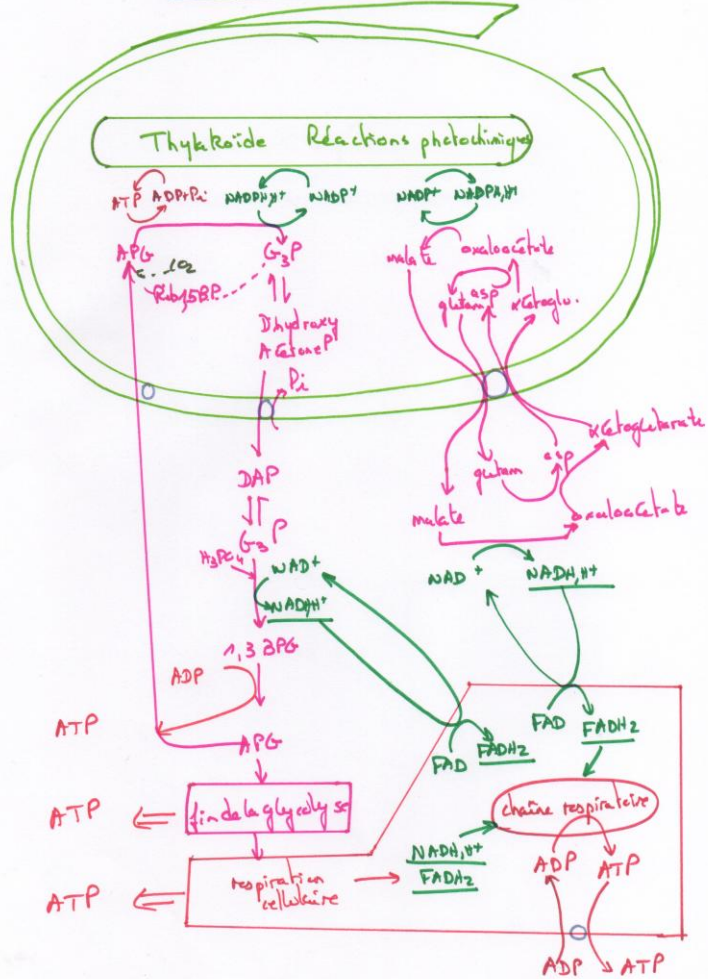
- un **courant de cyclose** (« ronde » des chloroplastes autour de la vacuole) orchestré par le **cytosquelette (actine)** guide le déplacement
- ⇒ permettant à chacun d'entre eux de bénéficier du maximum d'éclairement
- ⇒ En cas de **très fort éclairement** à l'origine d'une **forte émission d'O₂** engendrant des **radicaux libres**, les **dommages oxydatifs** sont limités par le repositionnement des chloroplastes.

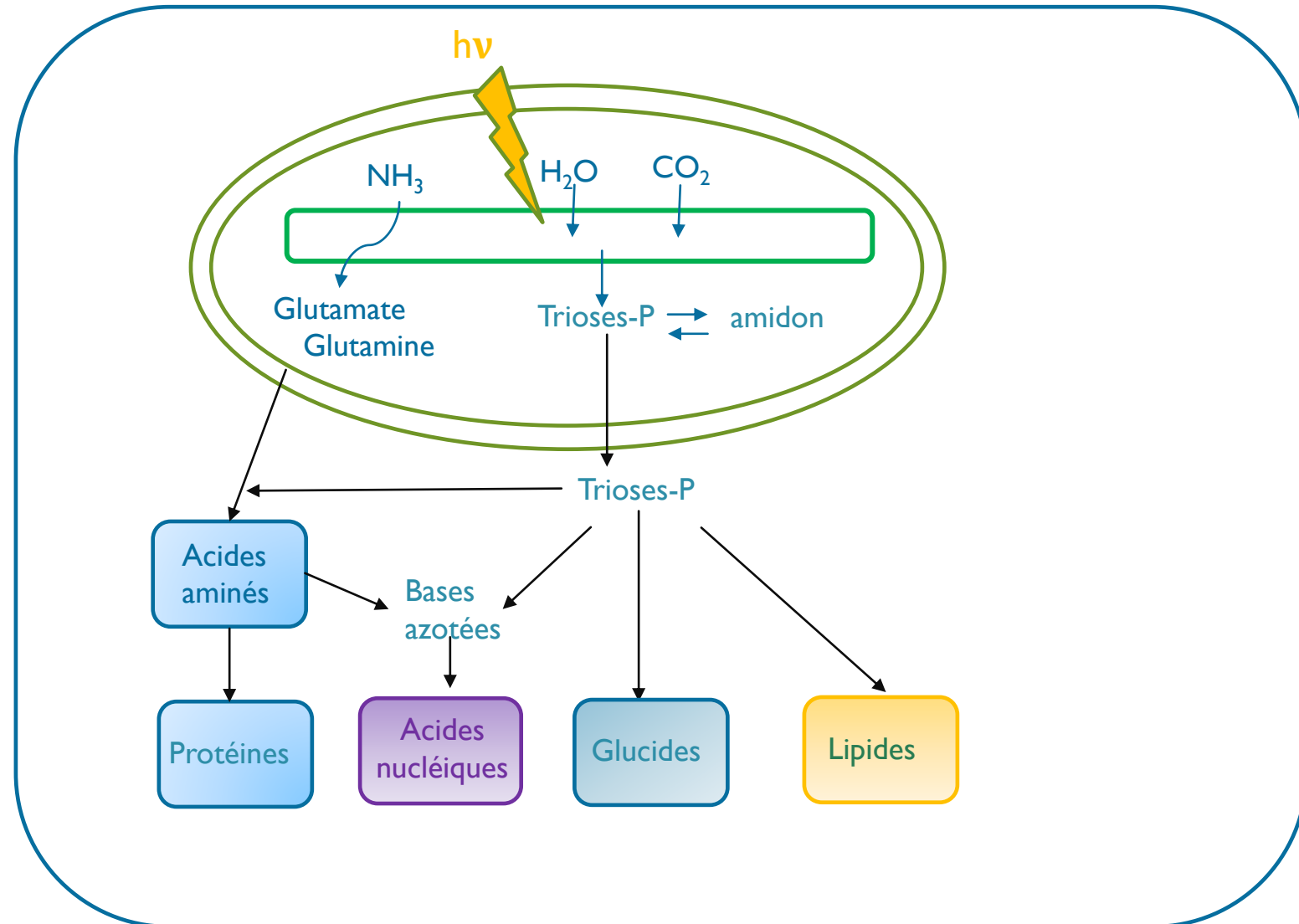


Parenchyme palissadique de l'Elodée du Canada au MO



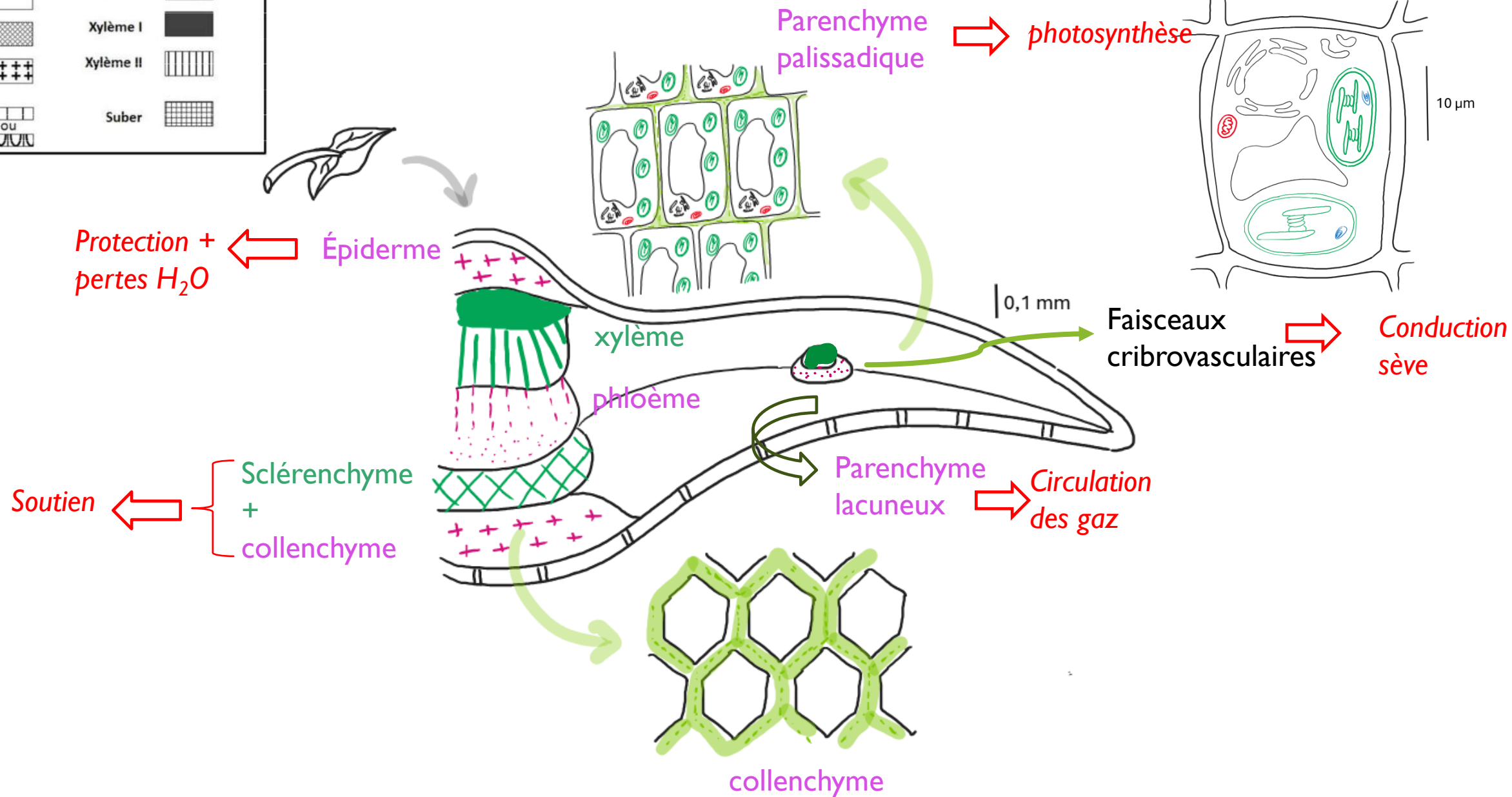
Echanges de potentiel énergétique entre le chloroplaste et le reste de la cellule



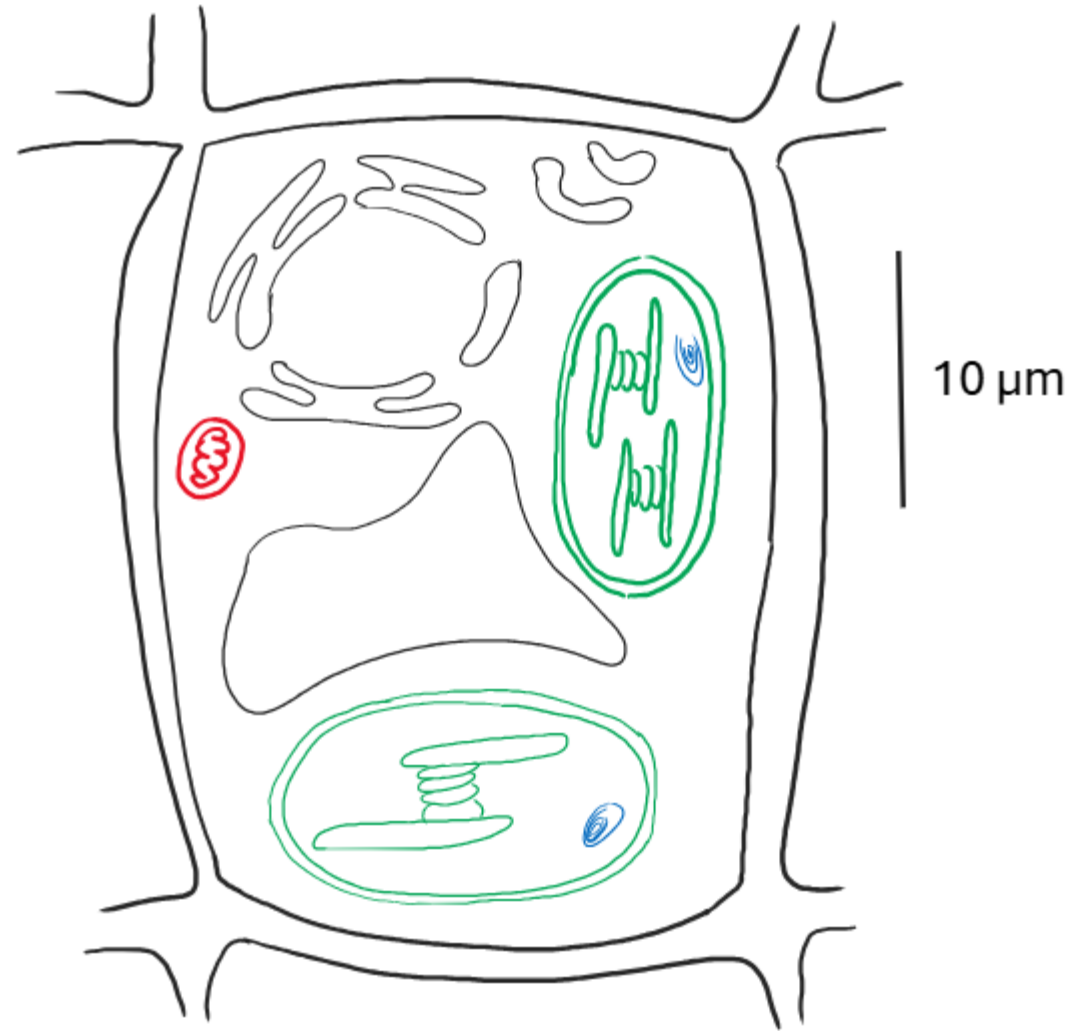


Les synthèses organiques au sein d'une cellule chlorophyllienne

Épiderme		Phloème I	
Péricycle		Phloème II	
Cambium		Xylème I	
Parenchyme		Xylème II	
Sclérenchyme		Suber	
Collenchyme			
Endoderme			



B. LES FEUILLES, ORGANES DE LA PHOTOSYNTHÈSE



Cellule du parenchyme palissadique

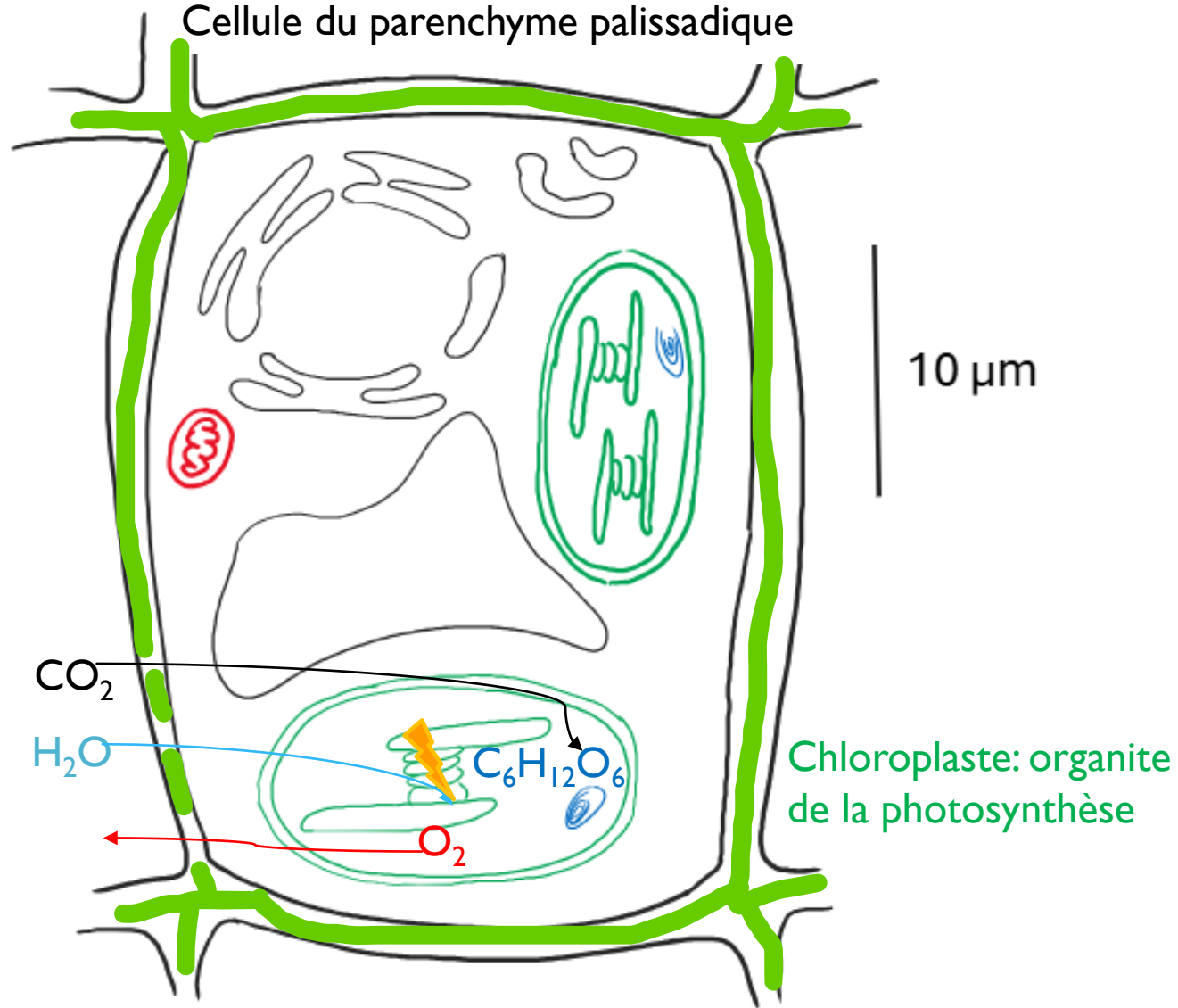
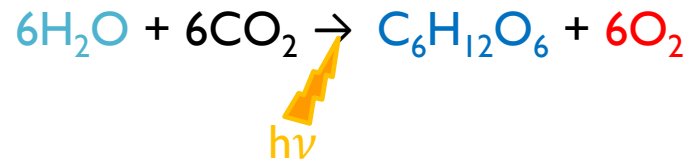
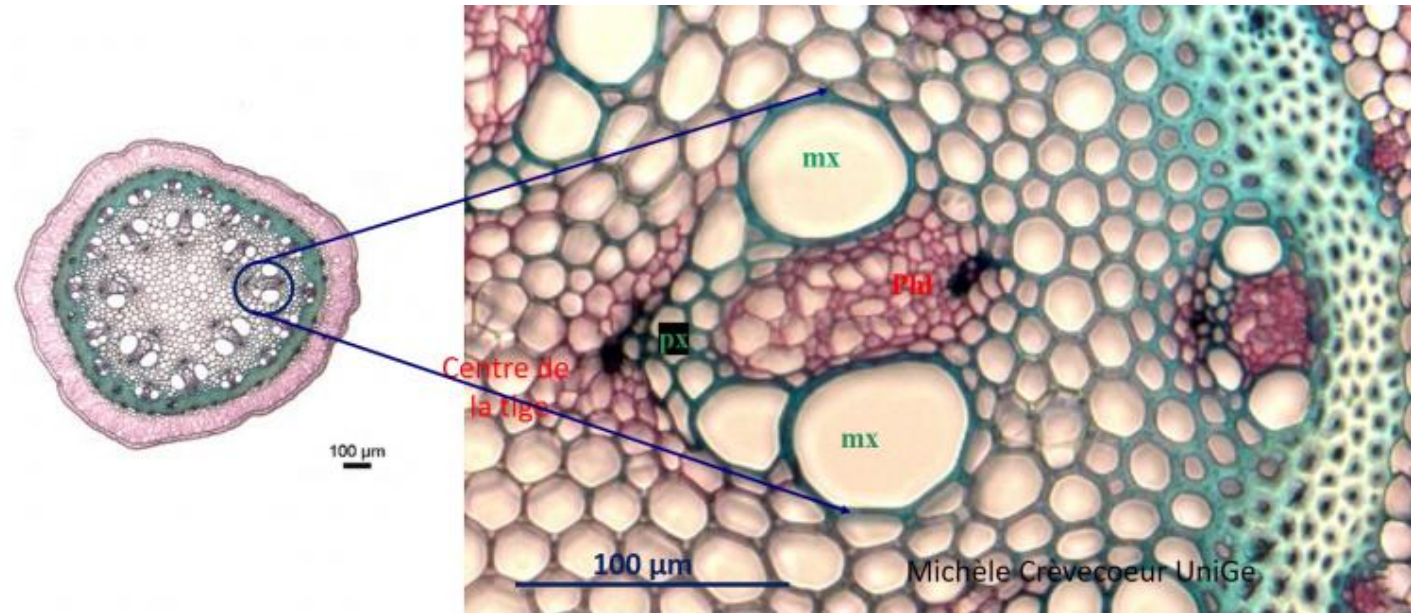


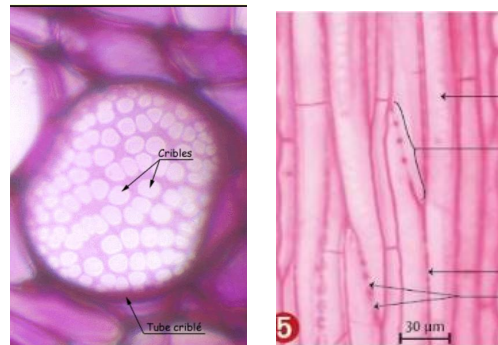
Schéma très simplifié de la photosynthèse dans une cellule du parenchyme palissadique foliaire

C. DES TISSUS ASSURANT LES CONNEXIONS ENTRE ORGANES SOURCES ET ORGANES PUIITS

- **Organes autotrophes chlorophylliens** = photosynthèse
 - feuille, certaines tiges chlorophylliennes
 - ⇒ **organes sources** → exportation de la matière organique issue de la photosynthèse
- **Organes hétérotrophes** = pas photosynthèse = organes non chlorophylliens = importateurs de matière organique
 - ⇒ **organes puits**
 - Organes puits d'utilisation ex: cellules racinaires, feuilles encore immatures, méristème, fleur
 - Organes puits de réserve ex: graine en formation
- La matière organique = **saccharose , acides aminés**, → **sève élaborée**
 - **tubes criblés du phloème**
- Remarque : organe puits peut devenir organe source Par ex: racines et tubercules au début du printemps, graines en début de germination
- Remarque : toutes les cellules vivantes de l'organisme végétal réalisent la respiration, qui produit l'ATP nécessaire au fonctionnement cellulaire.



La sève élaborée riche en saccharose et en AA circule des organes sources vers les organes puits via les tubes criblés du phloème (coloration rouge carmin)



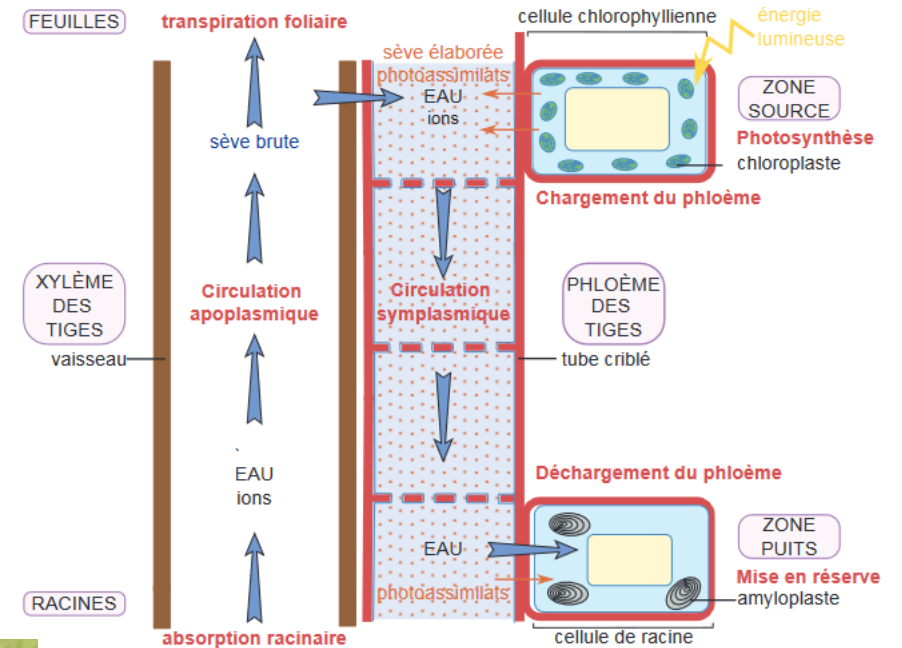
*Grosse moelle, petite écorce
Différenciation centrifuge du xylème.
Il s'agit bien d'une CT de tige dit le pain de mie*



Tubes criblés du phloème en CT en en coupe sagittale

C. DES TISSUS ASSURANT LES CONNEXIONS ENTRE ORGANES SOURCES ET ORGANES PUIITS

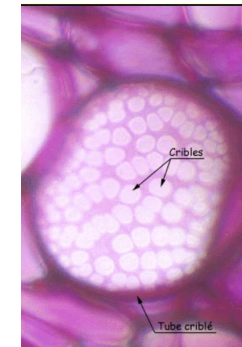
- Plante = organisme = **système intégré** au sein duquel organes sources et puits en **corrélation**
 - rôle de la circulation des sèves, brute et élaborée
 - Xylème et phloème = **tissus** conducteurs en **faisceaux** associés (faisceaux cribrovasculaires = FCV).
- Xylème : **flux hydrique ascendant** (eau et ions et hormones) de la racine vers les feuilles photosynthétiques
 - Ascension permise par évapotranspiration (transpiration foliaire cf stomates) et aussi par poussée racinaire (cf pleurs de vigne)
 - Circulation de sève brute circule dans cellules mortes = **vaisseaux** → **voie apoplasique**
- Phloème: **flux hydrique descendant** (viscosité plus grande, richesse en saccharose réducteur donc non réactif, aa, hormones)
 - éléments conducteurs du phloème = **tubes criblés** = cellules vivantes = continuum cytoplasmique → **voie symplasmique**
 - Phloème alimenté à partir de la sève brute parvenant aux feuilles
 - charge du phloème (active = nécessitant de l'énergie) en photoassimilats organiques au niveau des organes sources
 - déchargement (passif) au niveau des organes puits.
- végétal = système ouvert, du sol à l'atmosphère



Coopération entre organes sources et organes puits par la circulation des sèves. (source Dunod)



Pleurs de vigne au bout d'un sarment
=> ascension de SB via poussée racinaire

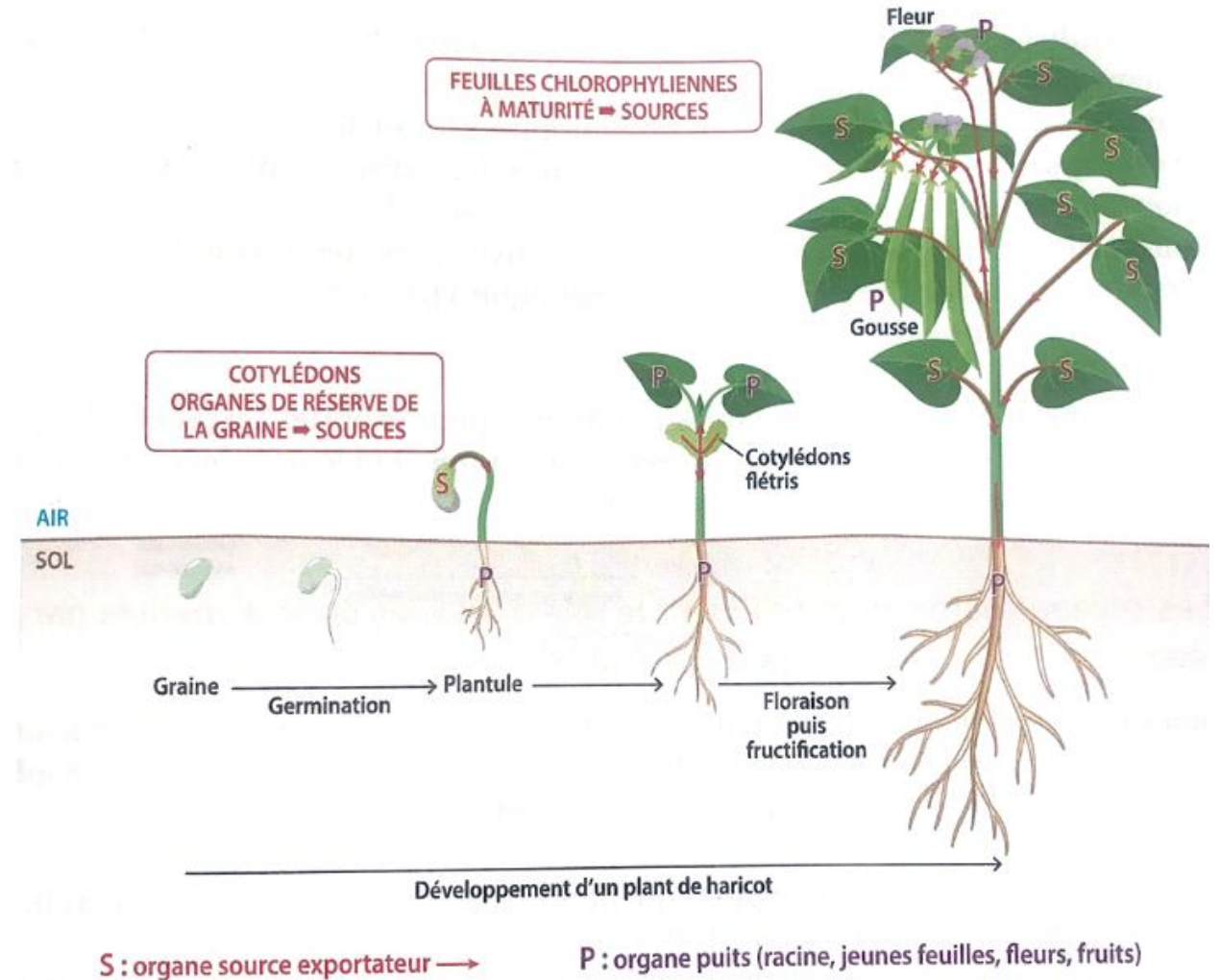


Tubes criblés du phloème en CT en en coupe sagittale

C. DES TISSUS ASSURANT LES CONNEXIONS ENTRE ORGANES SOURCES ET ORGANES PUIITS

- Remarque : organe puits peut devenir organe source
- ✓ Par ex: racines et tubercules au début du printemps
- ✓ Par ex: feuilles primordiales du haricot (puits puis source)

Le sirop d'érable est de la sève brute, récoltée à la fin de l'hiver, dit la bûche



La succession des organes source et organes puits au cours du temps, chez une Fabacée (Vuibert p.72)

C. DES TISSUS ASSURANT LES CONNEXIONS ENTRE ORGANES SOURCES ET ORGANES PUIITS

■ **Vaisseaux de xylème** (en vert car **paroi lignifiée**) = vaisseaux vrais (cellules mortes à paroi lignifiée) de gros diamètre

⇒ conduction de la **sève brute**, riche en eau et en sels minéraux (différents néanmoins de la solution du sol)

⇒ Gros diamètre => gros débit cf Poiseuille

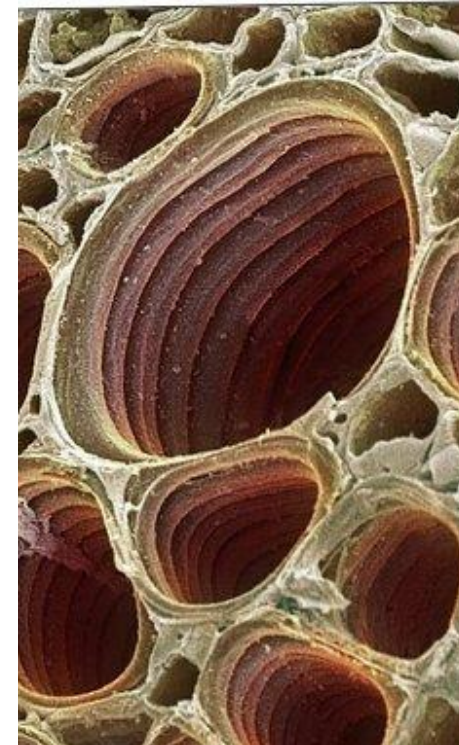
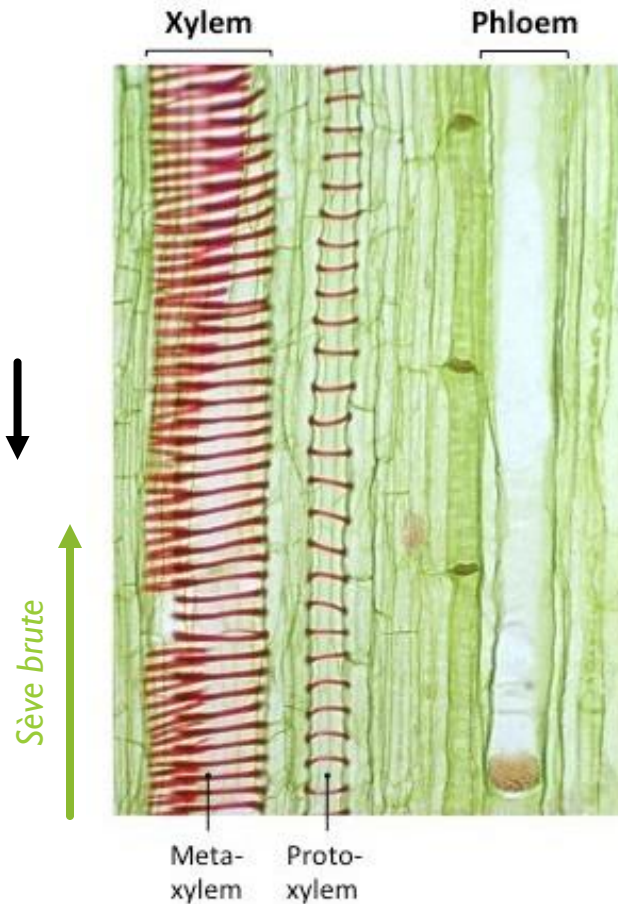
sève brute aspirée au niveau des feuilles → cellule conductrice de xylème primaire doit résister à l'implosion → paroi lignifiée.

■ **Protoxylème** = premiers tissus du xylème à se différencier du procambium

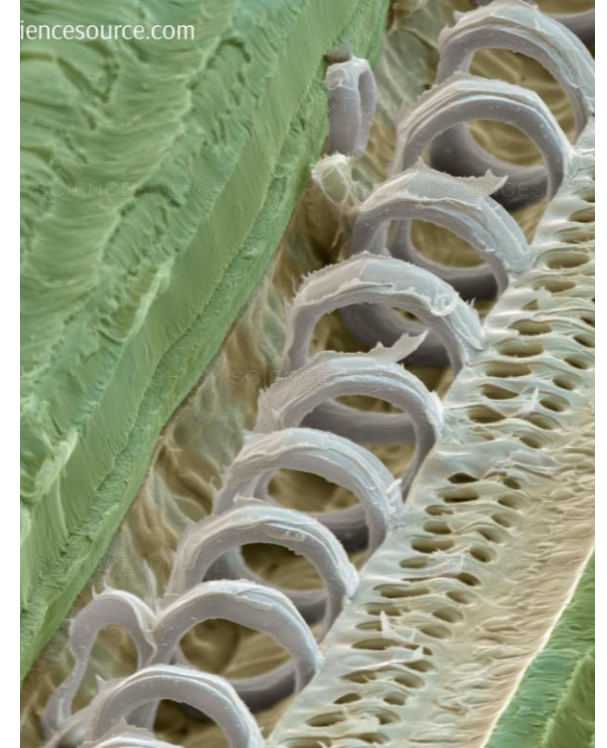
➤ **trachéides** annelées, spiralées

■ **Métaxylème** = plus tard au cours de la croissance de la plante.

➤ vaisseaux rayés, réticulés et ponctués



Éléments de vaisseaux de Xylème totalement lignifiés

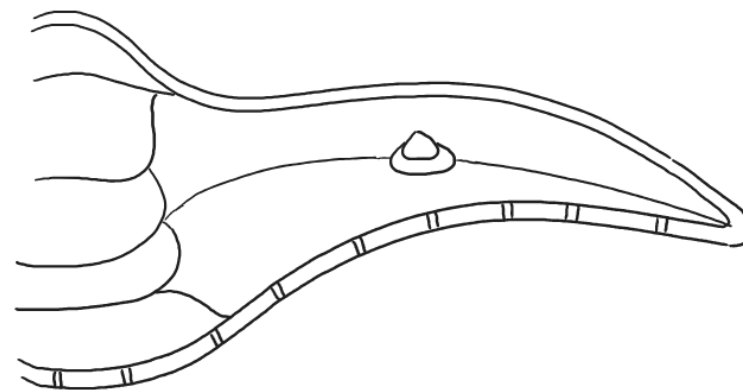


Éléments de vaisseaux de protoxylème spiralés (MEB en haut, MO en bas)

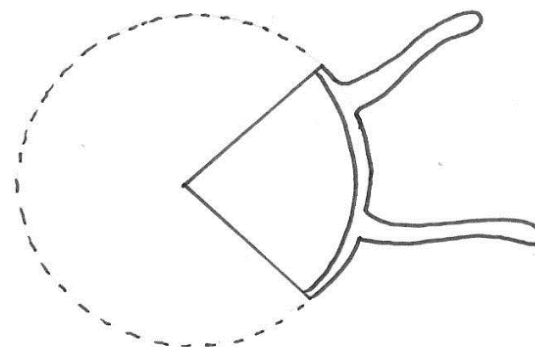
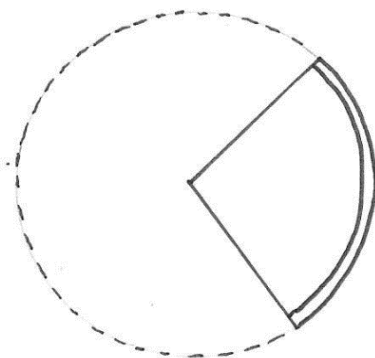
Loi de Poiseuille-Hagen $Q = \frac{\Delta P \cdot \pi \cdot r^4}{8 \cdot \eta \cdot L}$

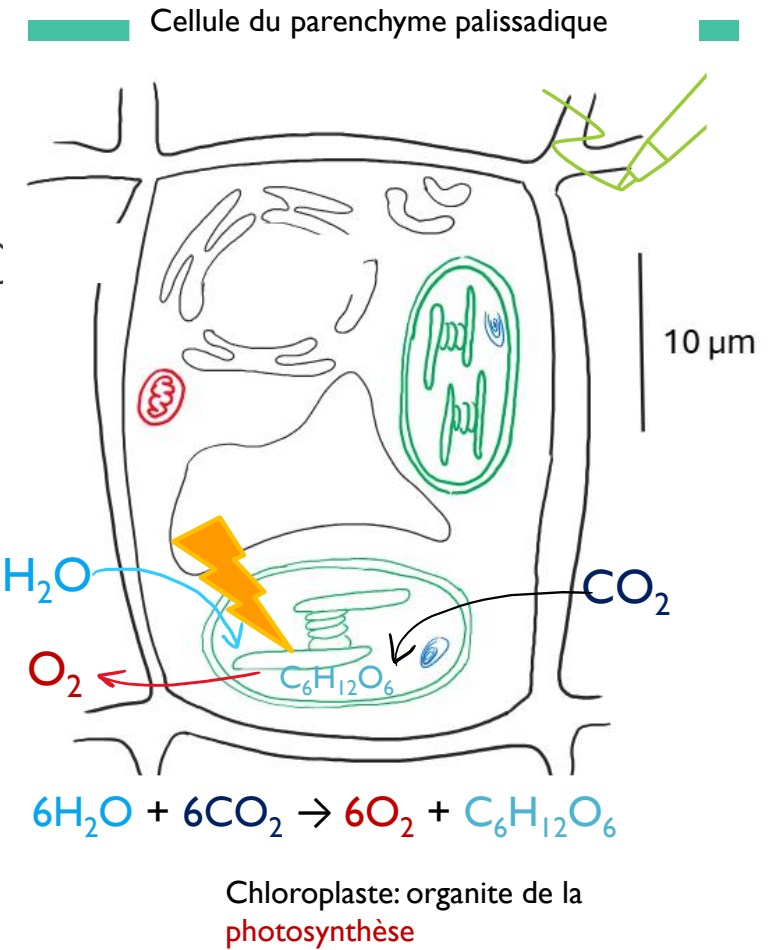
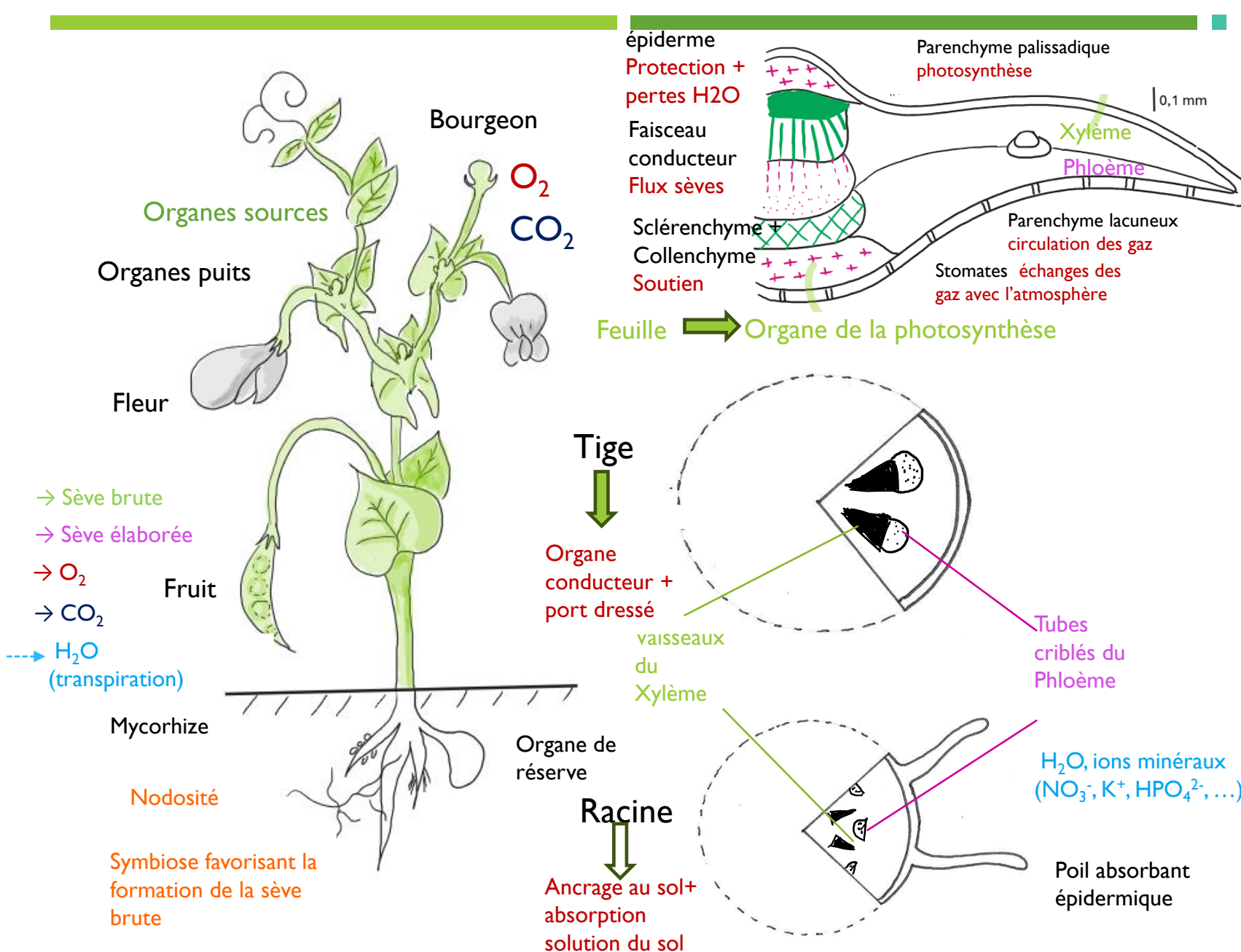
$$Q = - \frac{\Delta P}{R} \text{ avec } R = \frac{8\eta l}{\pi r^4}$$





0,1 mm





La nutrition chez les fabacées, des organismes photosynthétiques fixés à l'interface sol-atmosphère

PLAN

I. Les Fabacées, un groupe d'angiospermes dans la classification phylogénétique

- A. Les Fabacées, des Angiospermes Dicotylédones
- B. Caractéristiques et diversité des Fabacées

II. Les fonctions de relation : les Fabacées interagissent avec les composantes de leur écosystème

- A. Exemple d'un écosystème de fabacée : la prairie pâturée, un agrosystème
- B. Les Fabacées interagissent avec les autres êtres vivants de leur écosystème
- C. Le cycle de vie des Fabacées est contrôlé par les conditions abiotiques du milieu
- D. La croissance des fabacées est contrôlée par les conditions abiotiques du milieu

III. Les fonctions de nutrition : les fabacées sont des organismes photosynthétiques fixés à l'interface sol-atmosphère

- A. Les racines, lieu d'absorption d'eau et d'ions minéraux
- B. Les feuilles, organes de la photosynthèse
- C. Des tissus assurant les connexions entre organes sources et organes puits

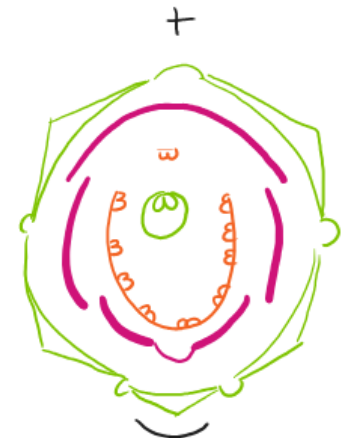
IV. Les fonctions de reproduction : les fabacées produisent une descendance génétiquement différente et disséminée dans le milieu

- A. La fleur des Fabacées, organe de la reproduction
- B. De la fleur au fruit et de l'ovule à la graine : fécondation et transformation de l'appareil reproducteur
- C. Une reproduction maîtrisée par l'homme : sélection, domestication, exploitation

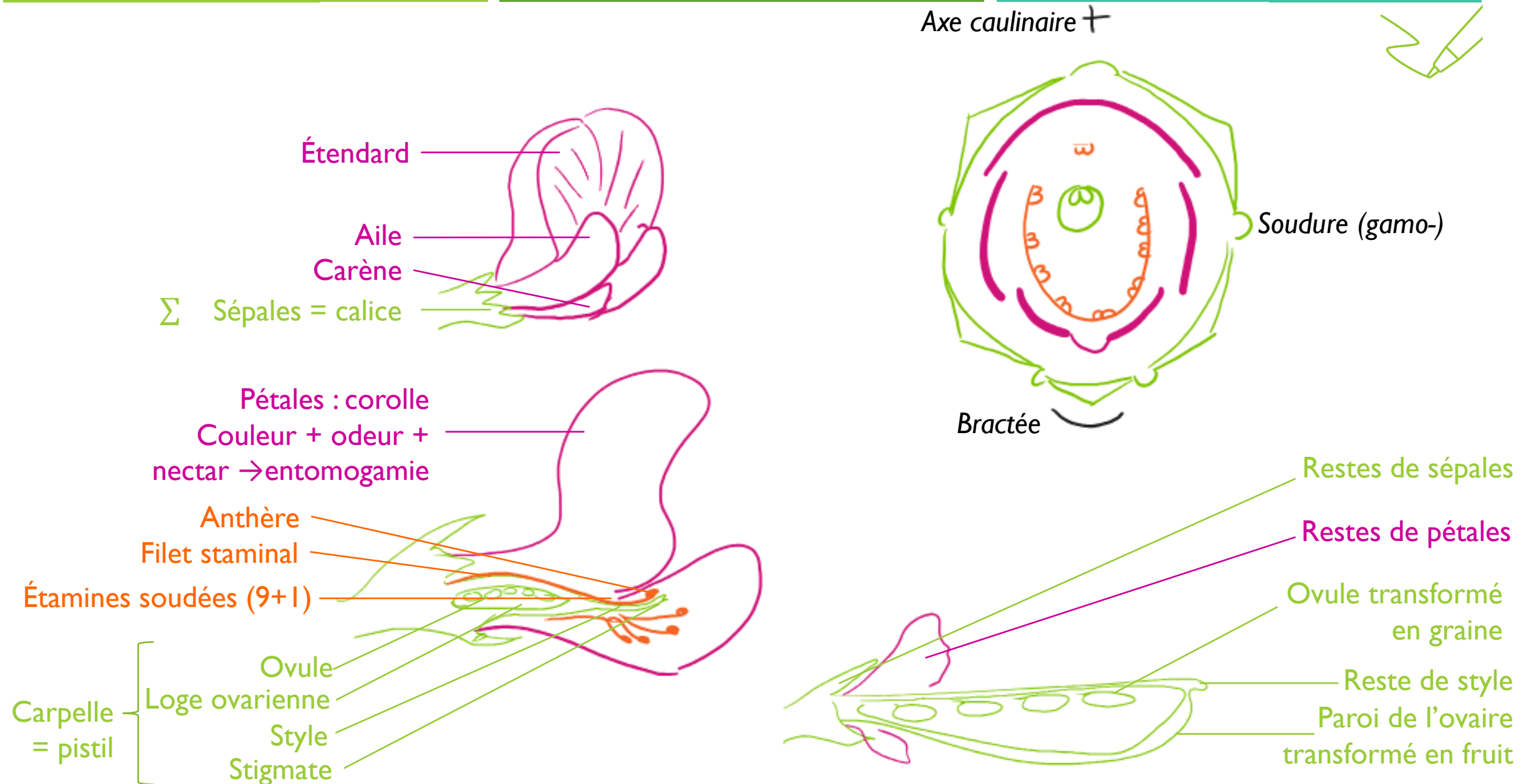
IV. LES FONCTIONS DE REPRODUCTION : LES FABACÉES PRODUISENT UNE DESCENDANCE GÉNÉTIQUEMENT DIFFÉRENTE ET DISSÉMINÉE DANS LE MILIEU

A. LA FLEUR DES FABACÉES, ORGANE DE LA REPRODUCTION

- Σ fleurs = inflorescence
- 1 fleur = pièces mâles (l'androcée) + pièces femelles (le gynécée) + pièces stériles (le périanthe = corolle + calice).
- 9+1 étamines: 1 filet + 1 anthère,
 - Anthère: produit les grains de pollen = gamétophyte mâle
 - Grain de pollen = 2 gamètes mâles issus de la méiose
 - pollinisation
- Le gynécée = pistil = Σ carpelles
 - Carpelle = ovaire la base + style et stigmate au sommet
 - Ovaire contient un ou plusieurs ovules
 - Ovule: sac embryonnaire = gamétophyte femelle = une oosphère (gamète) + 2 synergides + 3 antipodes + une cellule centrale à 2 noyaux
- Le périanthe : calice (ensemble des sépales) et corolle (ensemble des pétales).
 - Corolle papilionacée zygomorphe, grande taille, colorée, odorante et produit parfois du nectar



A. LA FLEUR DES FABACÉES, ORGANE DE LA REPRODUCTION

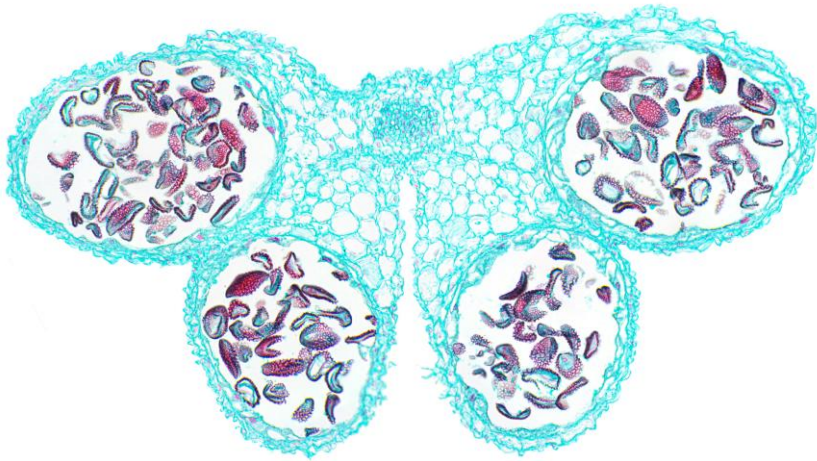


A. LA FLEUR DES FABACÉES, ORGANE DE LA REPRODUCTION

L'androcée: ensemble des pièces fertiles mâles



1 + 9 étamines soudées au pistil

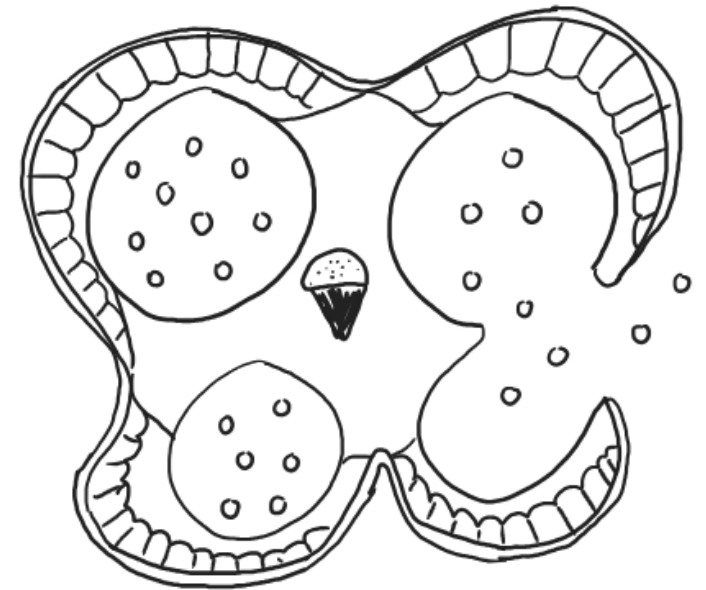


CT d'une anthère, observée au MO après coloration

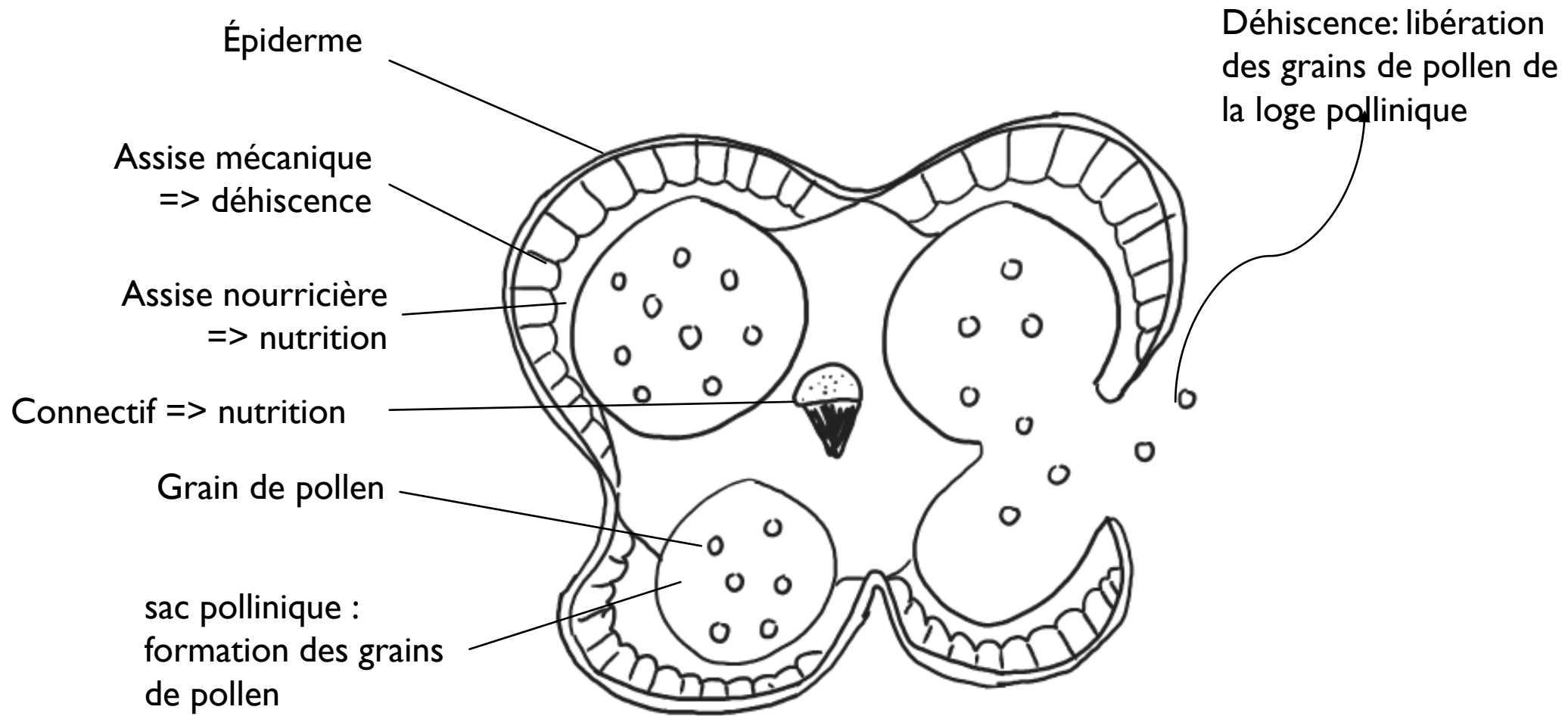
BCPST1 - ENCPB - STÉPHANIE DALAINE



Une anthère, 2 loges polliniques, 4 sacs polliniques, des milliers de grains de pollen



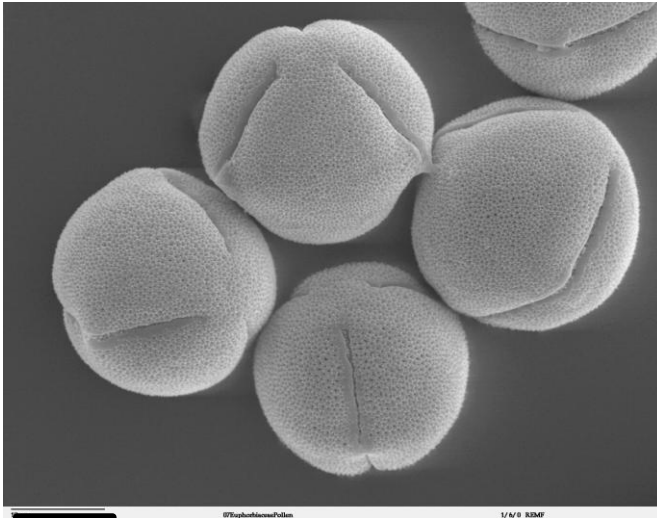
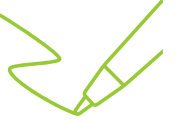
A. LA FLEUR DES FABACÉES, ORGANE DE LA REPRODUCTION



CT d'anthere

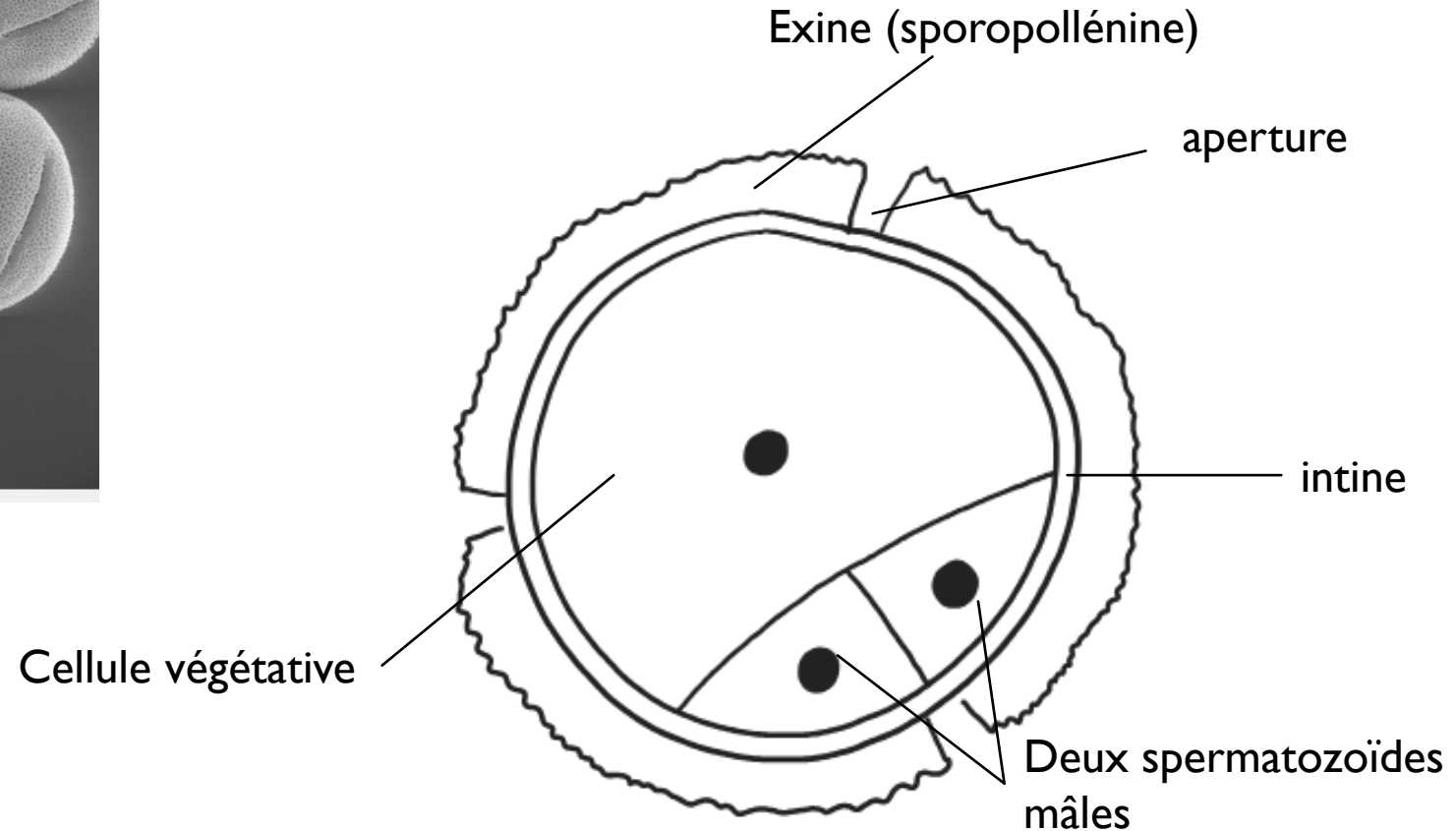
A. LA FLEUR DES FABACÉES, ORGANE DE LA REPRODUCTION

Les grains de pollen sont des gamétophytes mâles, issus de la méiose, donc au génome haploïde (génétiquement différents du pied parent), sont triaperturés (synapomorphie des Eudicotylédones)



10 μ m

Grains de pollen triaperturés observés
au MEB



Grain de pollen: gamétophyte mâle

A. LA FLEUR DES FABACÉES, ORGANE DE LA REPRODUCTION

Le sac embryonnaire est le gamétophyte femelle constitué de 7 cellules: une cellule centrale à deux noyaux, 3 cellules antipodiales, 2 synergides et une oosphère.

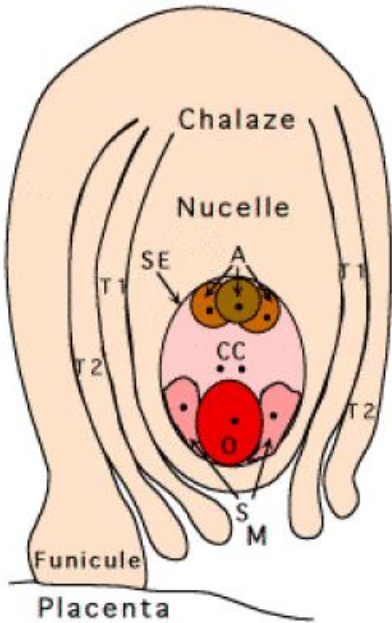
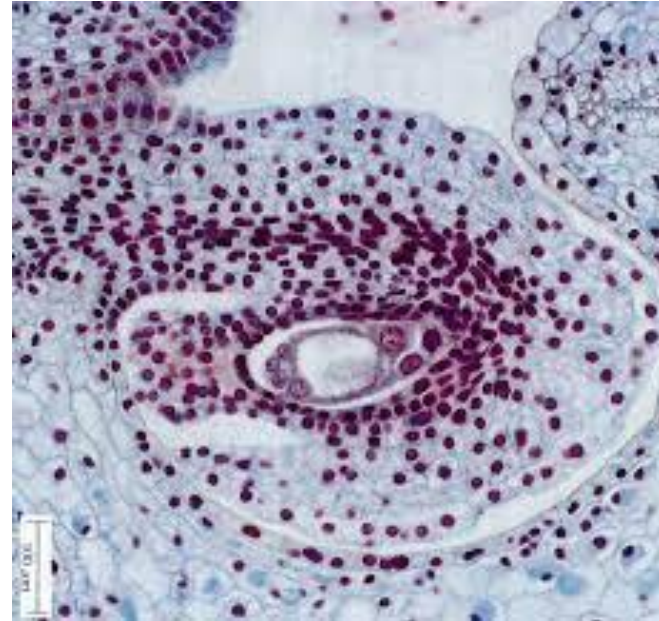


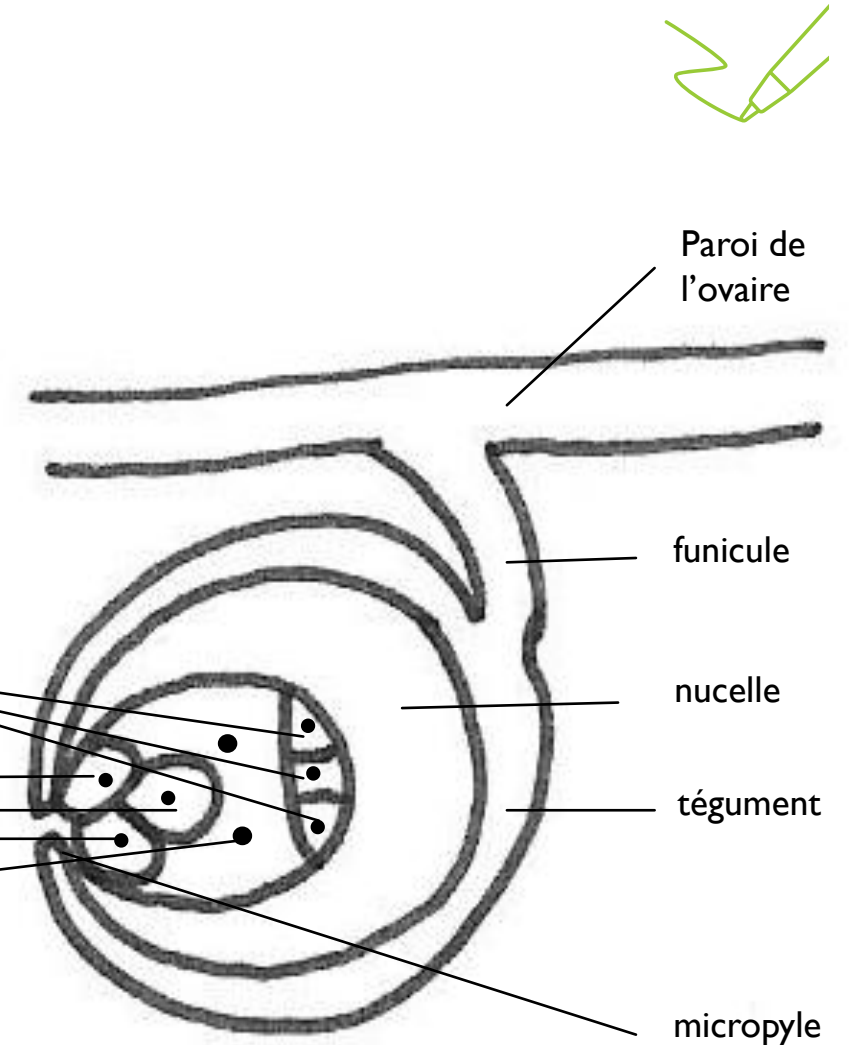
Fig. 01 : Schéma d'un ovule d'Angiosperme.

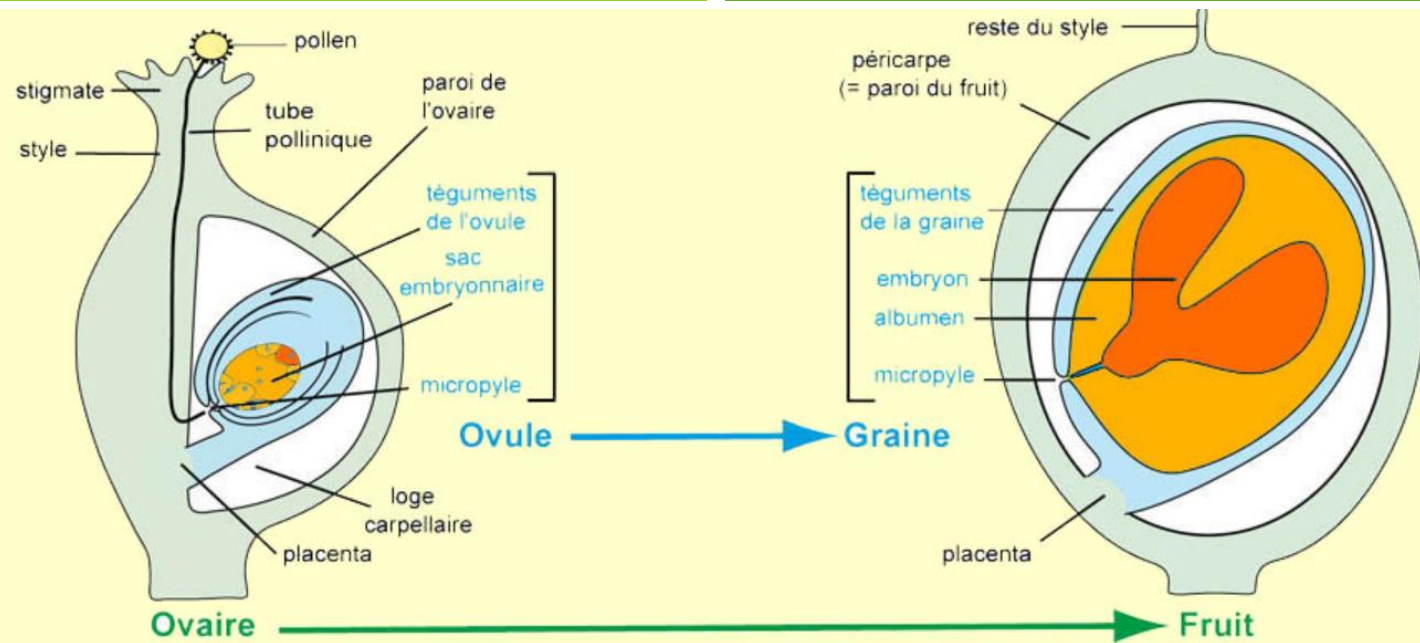
T1 = Tégument externe (exine)
T2 = Tégument interne (intine)
CC = Cellule Centrale
SE = Sac Embryonnaire
A = Cellules Antipodiales
O = Oosphère
S = Synergides
M = Micropyle



Sac embryonnaire = gamétophyte femelle
Chaque cellule haploïde (n)

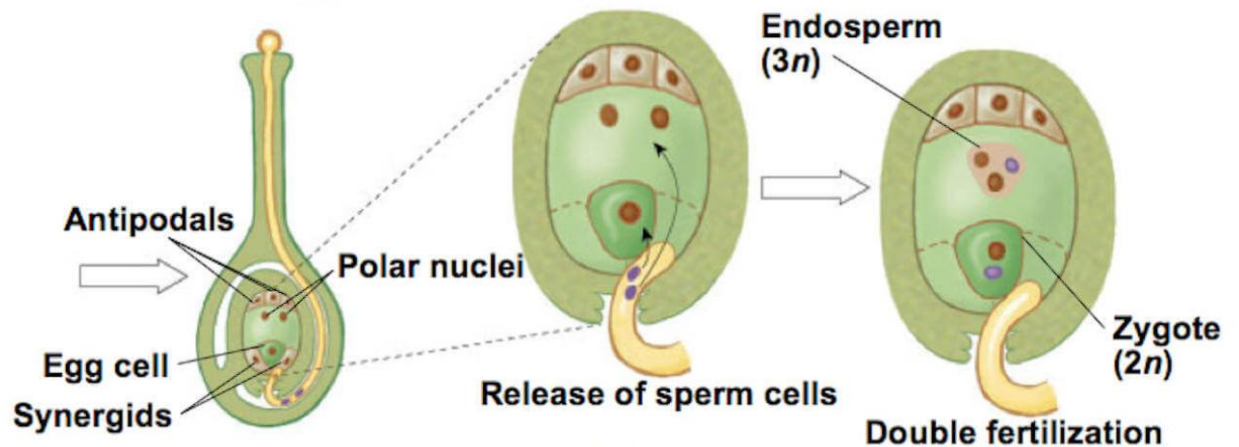
3 antipodes
synergide
oosphère
synergide
Cellule centrale à 2 noyaux





Passage d'un ovaire simple (ovaire supère, uniloculaire) à un fruit simple (charnu ou sec). La paroi de l'ovaire et le péricarpe du fruit sont colorés en vert ; L'ovule est coloré en bleu clair ; Le sac embryonnaire et ses dérivés (albumen et embryon) sont colorés en jaune orangé.

Double fécondation (cf BCPST2)
⇒ Angiosperme



gnu - www.aquaportail.com

La double fécondation (schéma)

B. DE LA FLEUR AU FRUIT ET DE L'OVULE À LA GRAINE : FÉCONDATION ET TRANSFORMATION DE L'APPAREIL REPRODUCTEUR

I. Pollinisation, siphonogamie et double fécondation

*pollinisation: transport du grain de pollen de son lieu d'émission (anthère) à son lieu de germination stigmate



- Insectes pollinisateurs, transportent les grains de pollen d'une Fabacée à une autre

=> **allogamie** ou **fécondation croisée**

- Grains de pollen déposés sur le **stigmate** → **germent** et forment un **tube pollinique** → conduit les gamètes mâles jusqu'à l'ovule = **siphonogamie**
- **2 gamètes mâles** fusionnent avec 2 gamètes femelles du sac embryonnaire = **double fécondation**
 - **embryon (2n)** dans ovule issu de fusion oosphère + spz
 - **albumen**, (3 n): zygote accessoire, tissu nourricier chargé d'assurer la survie de l'embryon

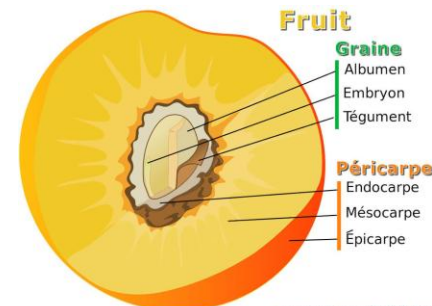
Germination d'un grain de pollen vue au microscope



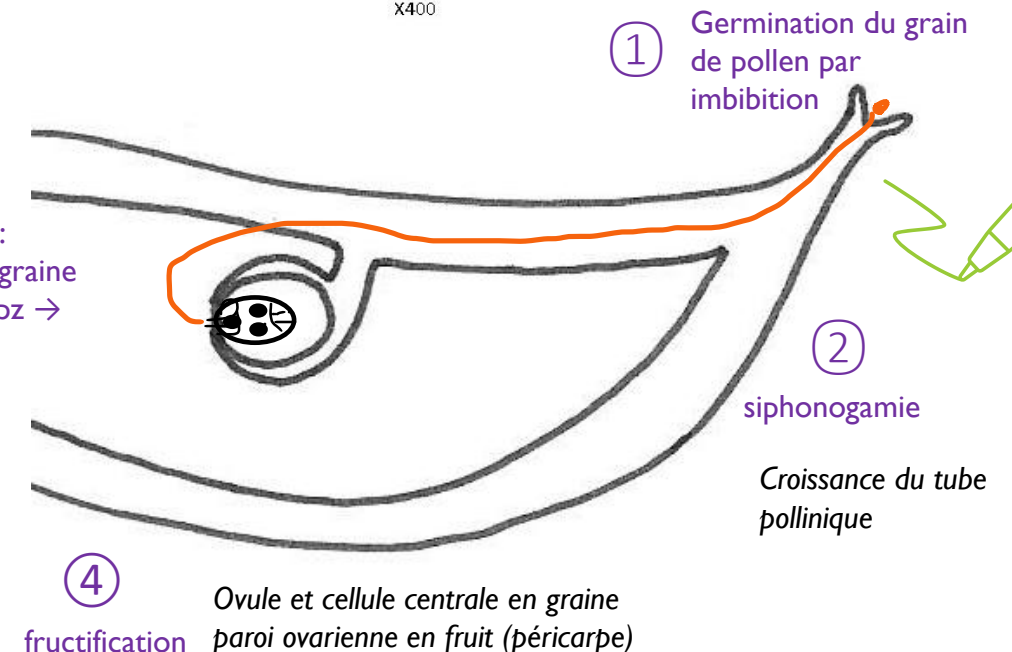
X100



X400



③ Double fécondation:
Oosphère + spz → graine
Cellule centrale + spz → albumen = réserve

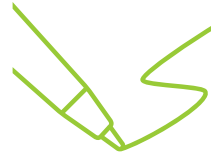


2. La gousse, fruit des fabacées issu de la croissance de l'ovaire et contenant les graines, issues de la transformation de l'ovule

- Régression et disparition du périgone et l'androcée
- Développement de la paroi ovarienne en fruit = **gousse**
 - fruit = organe de **dispersion de graines**
 - Fruit sec (péricarpe non charnu)
 - Fente de déhiscence = fruit sec déhiscent
 - ✓ Hydrochorie : *Entada gigas*
 - ✓ Barochorie : cacahuète de l'Arachide
 - ✓ Anémochorie : *Tipuana tipu*
 - ✓ Zoochorie : *Medicago arabica* (ecto-zoochorie)
 - ✓ Autochorie : *Cytisus scoparius* (déhiscence explosive des gousses sèches)



Graines issues des ovules fécondés et gousse issue de la transformation de la paroi ovarienne



Barochorie dans le cas de la cacahuète de l'arachide, une Fabacée



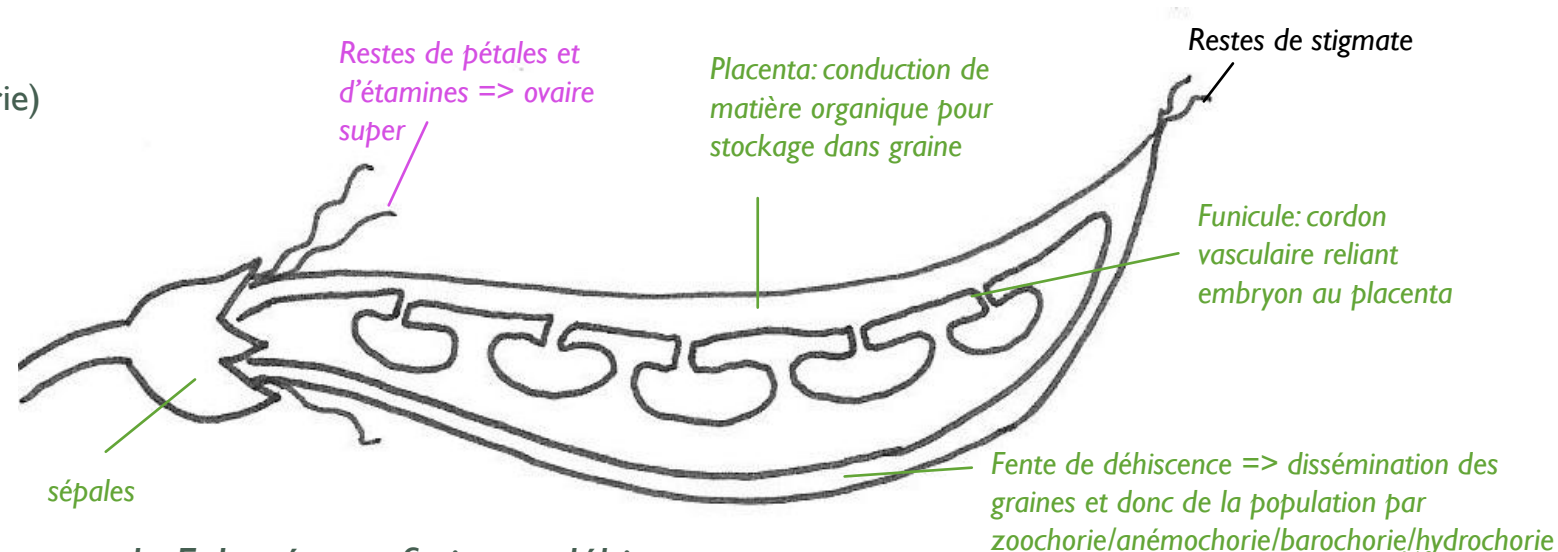
Anémochorie : *Tipuana tipu*



Autochorie : *Cytisus scoparius*



Medicago arabica (ecto-zoochorie)

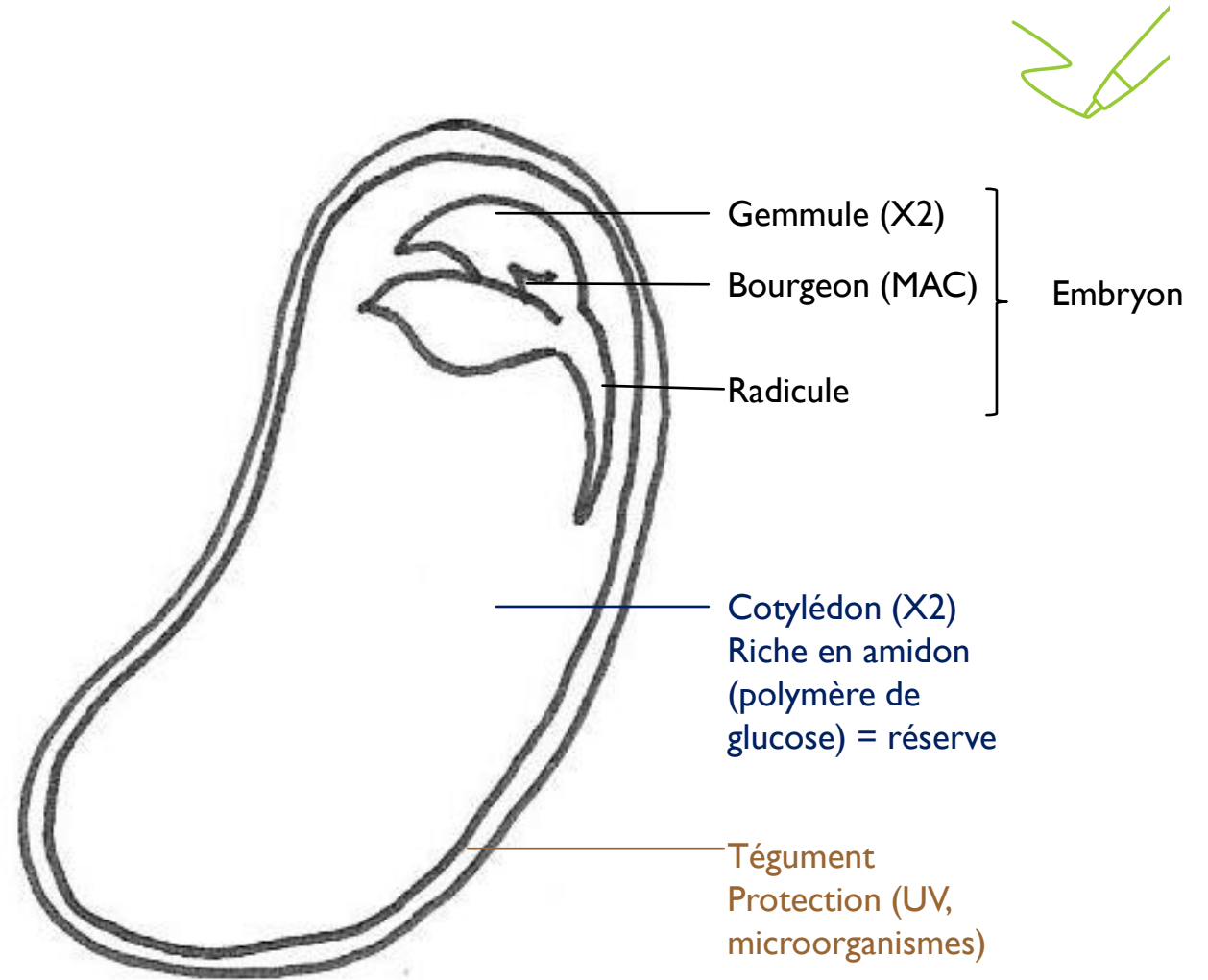


La gousse de Fabacée: un fruit sec déhiscent

B. DE LA FLEUR AU FRUIT ET DE L'OVULE À LA GRAINE : FÉCONDATION ET TRANSFORMATION DE L'APPAREIL REPRODUCTEUR



Graine de haricot coupée en deux
après imbibition dans du lugol



CL de graine de fabacée (ex haricot)

C. UNE REPRODUCTION MAÎTRISÉE PAR L'HOMME : SÉLECTION, DOMESTICATION, EXPLOITATION

I. La domestication des Fabacées par l'homme : étapes, mécanismes et limites

***domestication** : l'acquisition, la perte ou le développement de caractères morphologiques, physiologiques ou comportementaux nouveaux et héréditaires, résultant d'une interaction prolongée, d'un contrôle voire d'une sélection délibérée de la part des communautés humaines

LA RÉVOLUTION NÉOLITHIQUE, LE TEMPS DES PRODUCTEURS ENTRAÎNANT UN CHANGEMENT DE VIE RADICAL



C. UNE REPRODUCTION MAÎTRISÉE PAR L'HOMME : SÉLECTION, DOMESTICATION, EXPLOITATION



Parce que les fabacées sont cultivées partout dans le monde, il était important de les étudier

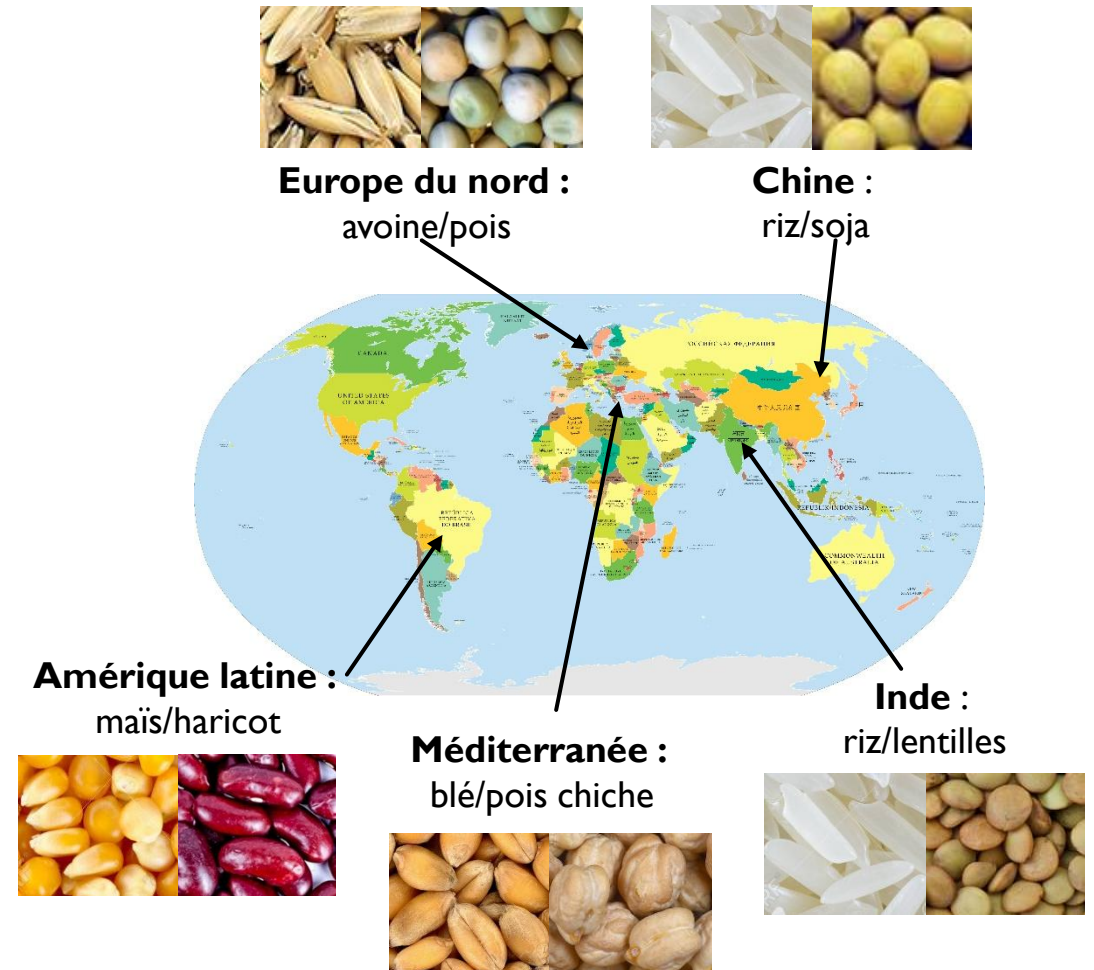
Les acides aminés essentiels

- La principale **source végétale** d'AAE se trouve dans les **graines** (en particulier les graines **protéagineuses**).
- Cependant, les **proportions** des différents **AA** sont **variables** selon les familles de plantes → AA limitant

L'expérience a conduit les sociétés traditionnelles (aux régimes pauvres en viande) à **combiner**, dans leur alimentation, des graines de **céréales** et de **légumineuses** aux propriétés complémentaires :

- ✓ Céréales (= Poacées) : Lys⁻ Met⁺
Ex : blé, riz, maïs
- ✓ Légumineuses (= Fabacées) : Lys⁺ Met⁻
Ex : haricot, lentilles, soja

- Les principales **sources animales** d'AAE sont les chaires (viandes et poisson), les œufs et le lait
→ pas d'AA limitant



Associations céréales/légumineuses dans l'alimentation humaines traditionnelles (pauvre en viande)

C. UNE REPRODUCTION MAÎTRISÉE PAR L'HOMME : SÉLECTION, DOMESTICATION, EXPLOITATION

I. La domestication des Fabacées par l'homme : étapes, mécanismes et limites

- Domestication = mécanisme de **sélection artificielle** → **phénotypes cultivés (=cultivars)** ≠ phénotypes sauvages → intérêt pour l'Homme

- Histoire de la domestication des Fabacées:

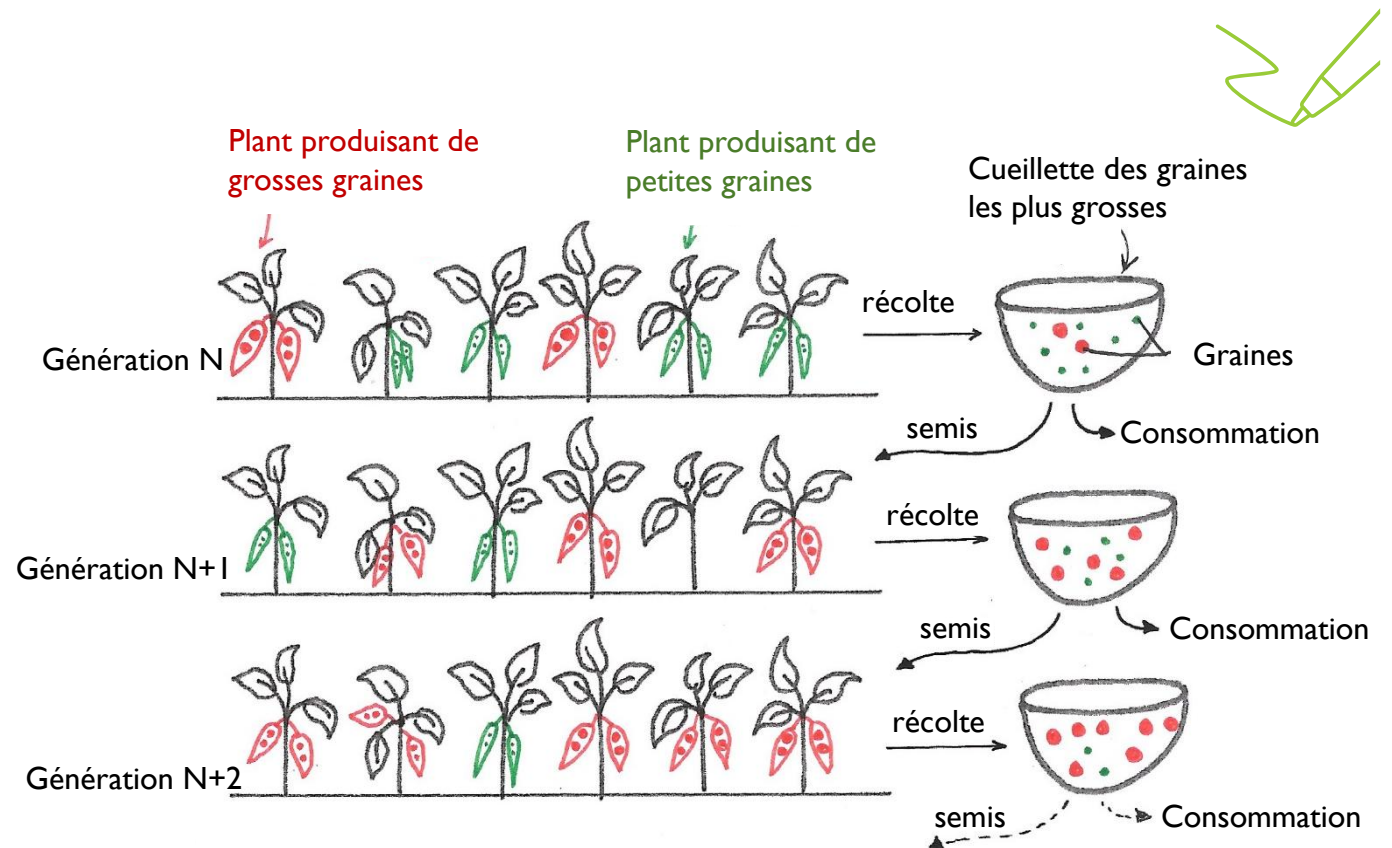
➤ **sélection massale** : sélection des graines des individus aux phénotypes intéressants (dès -10 000 ans avant J-C)

⇒ de **diversité** mais ↗ **uniformité** pour récolte

⇒ Croisements peu contrôlés → sélection **plutôt lente & +/- aléatoire**

⇒ conservation d'une certaine hétérogénéité dans les populations

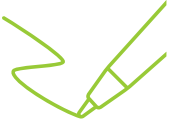
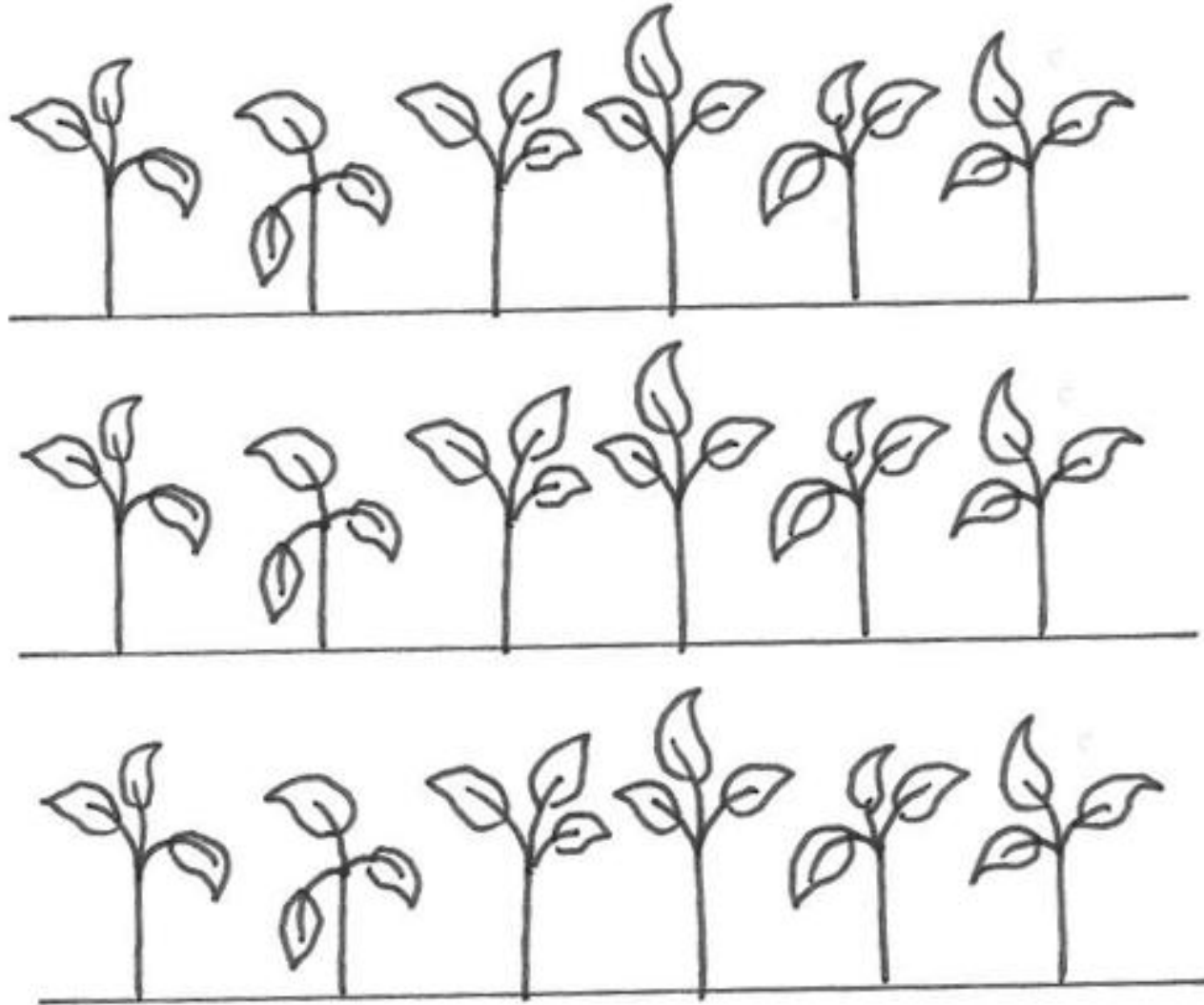
***domestication** : l'acquisition, la perte ou le développement de caractères morphologiques, physiologiques ou comportementaux nouveaux et héréditaires, résultant d'une interaction prolongée, d'un contrôle voire d'une sélection délibérée de la part des communautés humaines

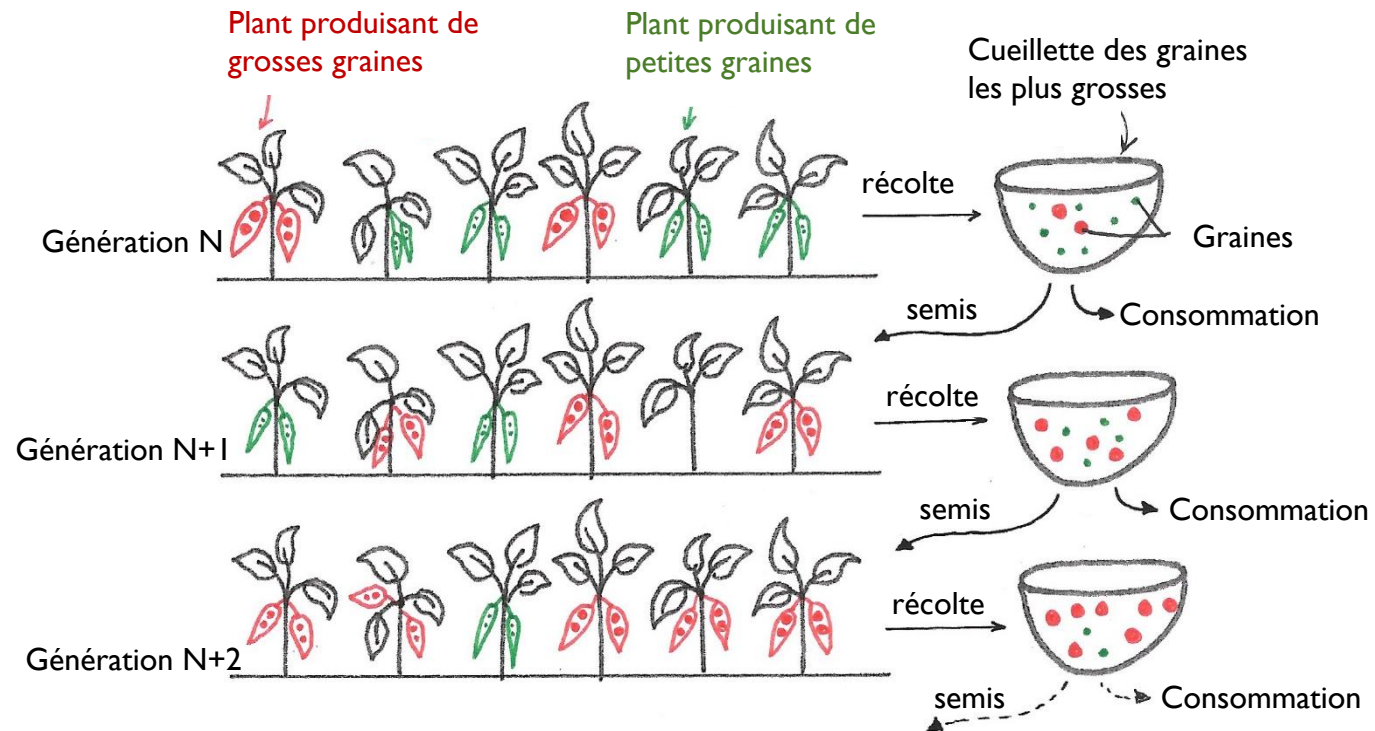


Les étapes de la domestication des Fabacées par sélection massale

Source: M. Quertigniez

C. UNE REPRODUCTION MAÎTRISÉE PAR L'HOMME : SÉLECTION, DOMESTICATION, EXPLOITATION





Les étapes de la domestication des Fabacées par sélection massale

C. UNE REPRODUCTION MAÎTRISÉE PAR L'HOMME : SÉLECTION, DOMESTICATION, EXPLOITATION

I. La domestication des Fabacées par l'homme : étapes, mécanismes et limites

■ Histoire de la domestication des Fabacées:

➤ **sélection par croisements contrôlés** (19^{ème} siècle) : sélection de caractères intéressants mais différents entre les deux parents (P1 et P2)

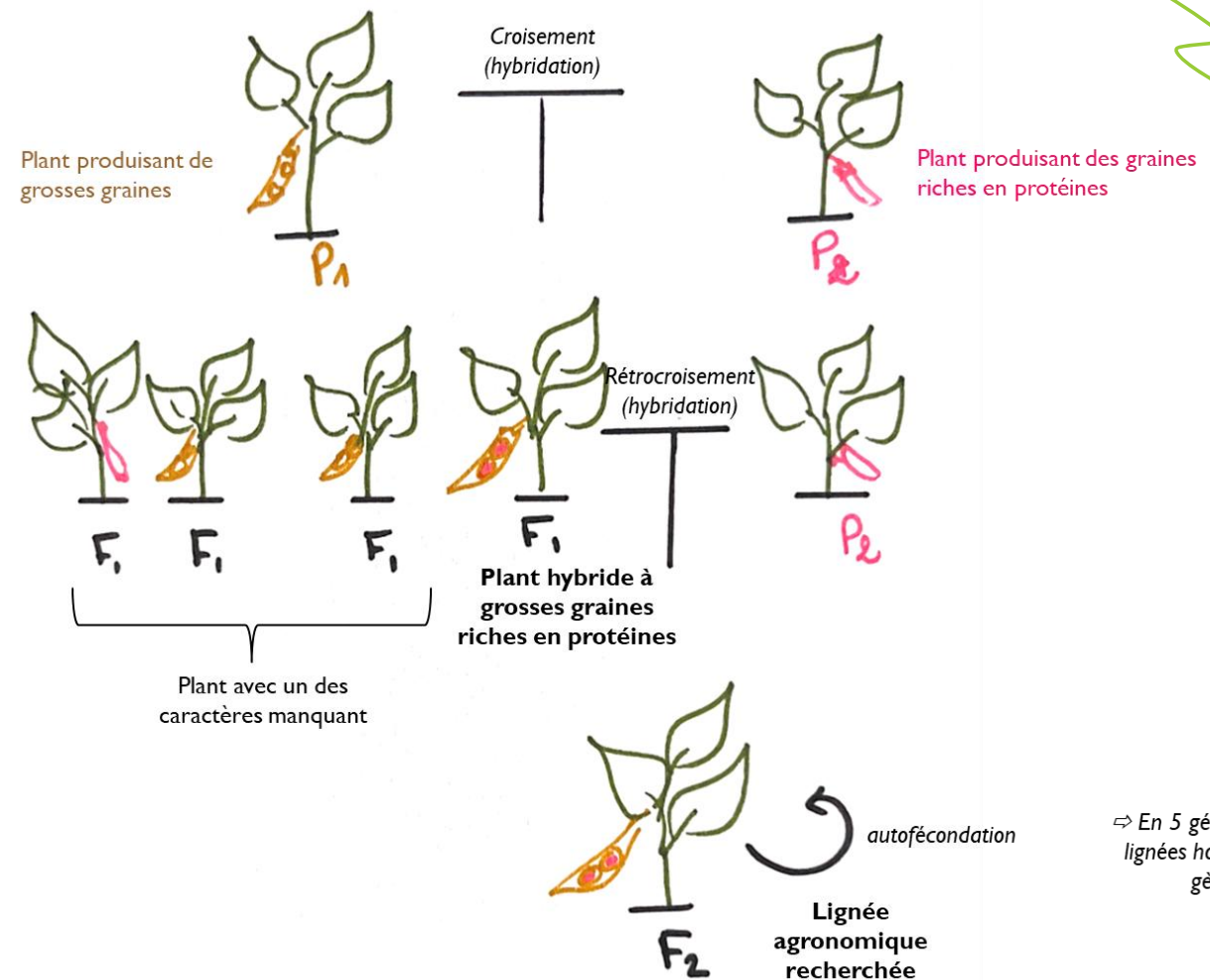
⇒ **Hybridation** aboutissant à lignée (F1) combinant tous les caractères d'intérêt

⇒ **Back cross** (F1 x P2) → lignée F2 dont certains individus combinent tous les caractères intéressants

⇒ **Isolement** des F2 d'intérêt et reproduction par autofécondation

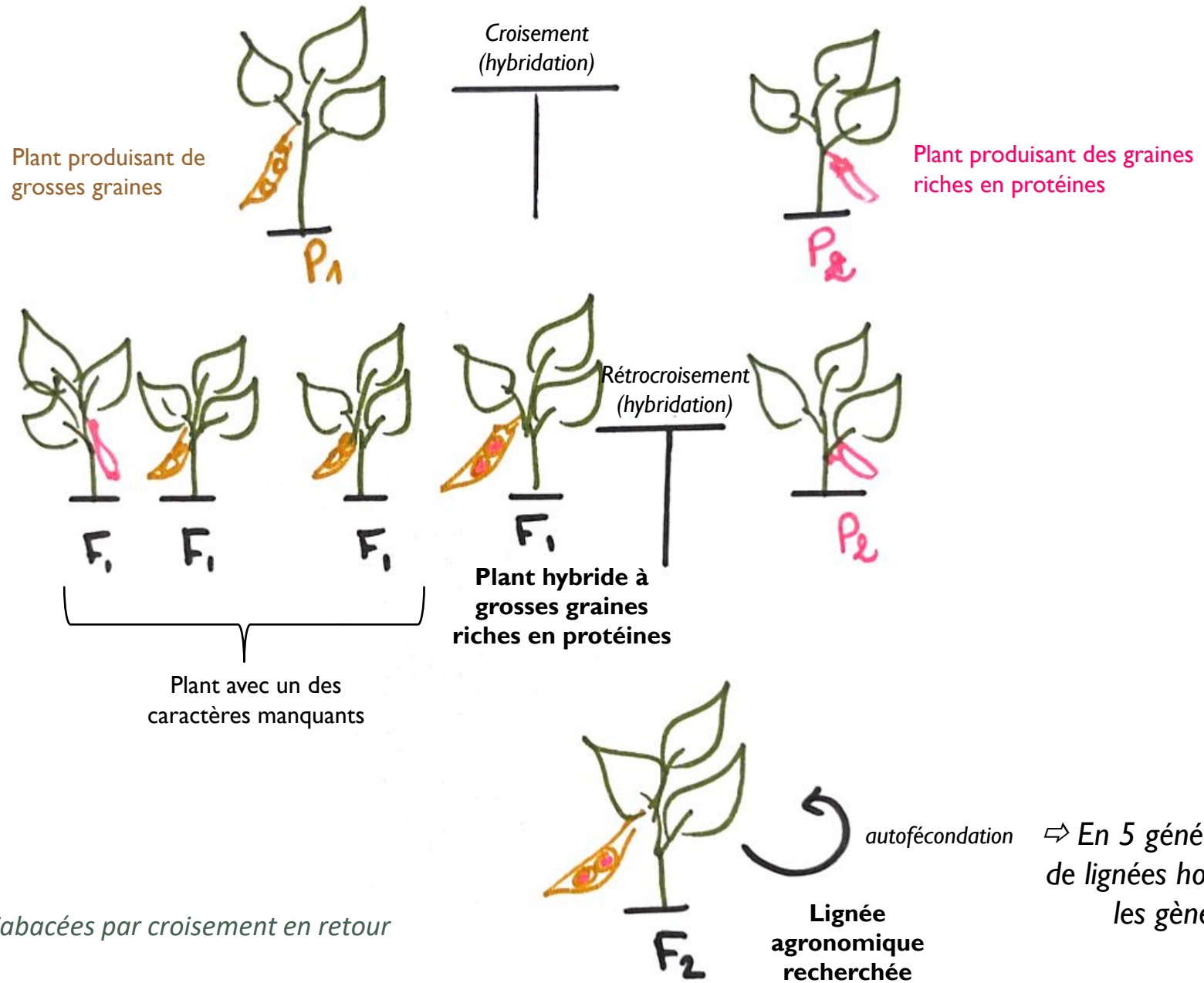
⇒ **Sélection individuelle** est plus rapide et efficace

***domestication** : l'acquisition, la perte ou le développement de caractères morphologiques, physiologiques ou comportementaux nouveaux et héréditaires, résultant d'une interaction prolongée, d'un contrôle voire d'une sélection délibérée de la part des communautés humaines



⇒ En 5 générations obtention de lignées homozygotes pour les gènes d'intérêt

Les étapes de la domestication des Fabacées par croisement en retour



Les étapes de la domestication des Fabacées par croisement en retour

C. UNE REPRODUCTION MAITRISÉE PAR L'HOMME : SÉLECTION, DOMESTICATION, EXPLOITATION

I. La domestication des Fabacées par l'homme : étapes,

mécanismes et limites

- Ex de sélection par croisement contrôlés : le haricot filet :

- ✓ gousse de 11-12 cm (pas plus pour les conserves !)
- ✓ gousse de forme rectiligne (pour la mise en boîte) avec des extrémités très fines pour limiter les pertes
- ✓ de couleur homogène

➤ Intérêt: homogénéité des plants récolte, conservation, appétence du consommateur

➤ Inconvénient: ↘ rusticité et donc ↘ de la résilience des plants

- Généralisation sur les critères de sélection:

- port qui permet une récolte mécanique (fruits SUR la plante et non cachés dans le feuillage)
- floraison synchrone pour l'ensemble du champ de façon à avoir une seule récolte
- productivité et précocité
- **résistance aux virus comme le virus de la mosaïque**



Port du haricot vert nain permettant une récolte mécanique (source prosem)

Haricot	V. de la Mosaïque commune du haricot	BCMV	NP	<i>Acyrtosiphon pisum, Myzus persicae, Aphis fabae</i>
	V. de la Mosaïque jaune du haricot	BYMV	NP	<i>Acyrtosiphon pisum, Myzus persicae, Aphis fabae, Macrosiphum euphorbiae</i>
	V. de la Mosaïque du concombre	CMV	NP	<i>Aphis gossypii, A. craccivora, A. fabae, Myzus persicae</i>
Pois, fève, féverole	V. de la Mosaïque du pois transmise par la semence	PSbMV	NP	<i>Acyrtosiphon pisum, Myzus persicae, Aphis gossypii, Macrosiphum euphorbiae</i>
	V. de la Mosaïque jaune du haricot, souche pois	BYMV	NP	<i>Acyrtosiphon pisum, Myzus persicae, Aphis fabae, A. gossypii</i>
	V. de la Jaunisse apicale du pois	PeLRV	P	<i>Acyrtosiphon pisum</i>
	V. de la Jaunisse énation du pois	PEMV	P	<i>Acyrtosiphon pisum, Myzus persicae</i>
	V. de la Jaunisse occidentale de la betterave	BWYV	P	<i>Myzus persicae, Acyrtosiphon pisum</i>
	V. des veines jaune du trèfle	CYVV	P	<i>Acyrtosiphon pisum</i>
	V. de l'enroulement du haricot	BLRV	P	<i>Acyrtosiphon pisum</i>
	V. de la Mosaïque de la luzerne	AMV	NP	<i>Myzus persicae, Aphis gossypii</i>
Luzerne	V. de la Mosaïque de la luzerne	AMV	NP	<i>Myzus persicae, Aphis gossypii</i>



Virus de la mosaïque du pois (source inra)

Quelques ex de virus chez les Fabacées cultivées (source inrae)



Obtention du haricot filet nain par Vilmorin

C. UNE REPRODUCTION MAÎTRISÉE PAR L'HOMME : SÉLECTION, DOMESTICATION, EXPLOITATION

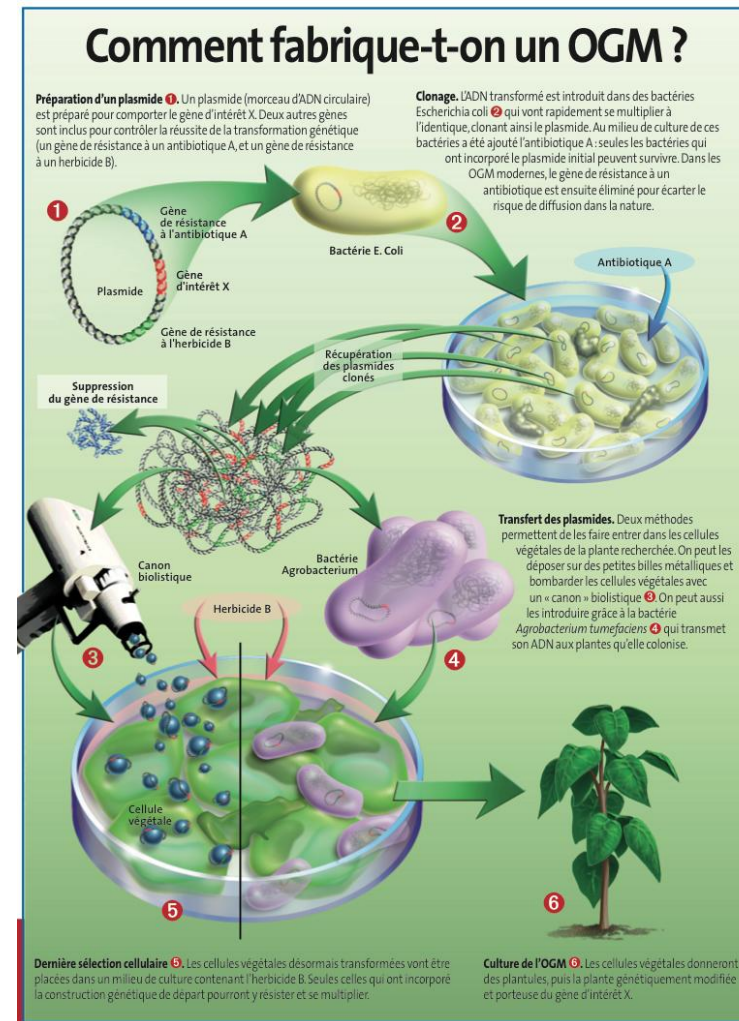
I. La domestication des Fabacées par l'homme : étapes, mécanismes et limites

- Histoire de la domestication des Fabacées:

➤ **OGM**: insertion d'un ou plrs gènes d'intérêt d'autres espèces (1^{ère} plante OGM: 1983)

⇒ soja résistant au glyphosate (soja Round-up ready)

⇒ **Soja OGM = 77% des surfaces de soja cultivées dans le monde.** (soja OGM interdite en France à des fins commerciales mais son importation est autorisée).



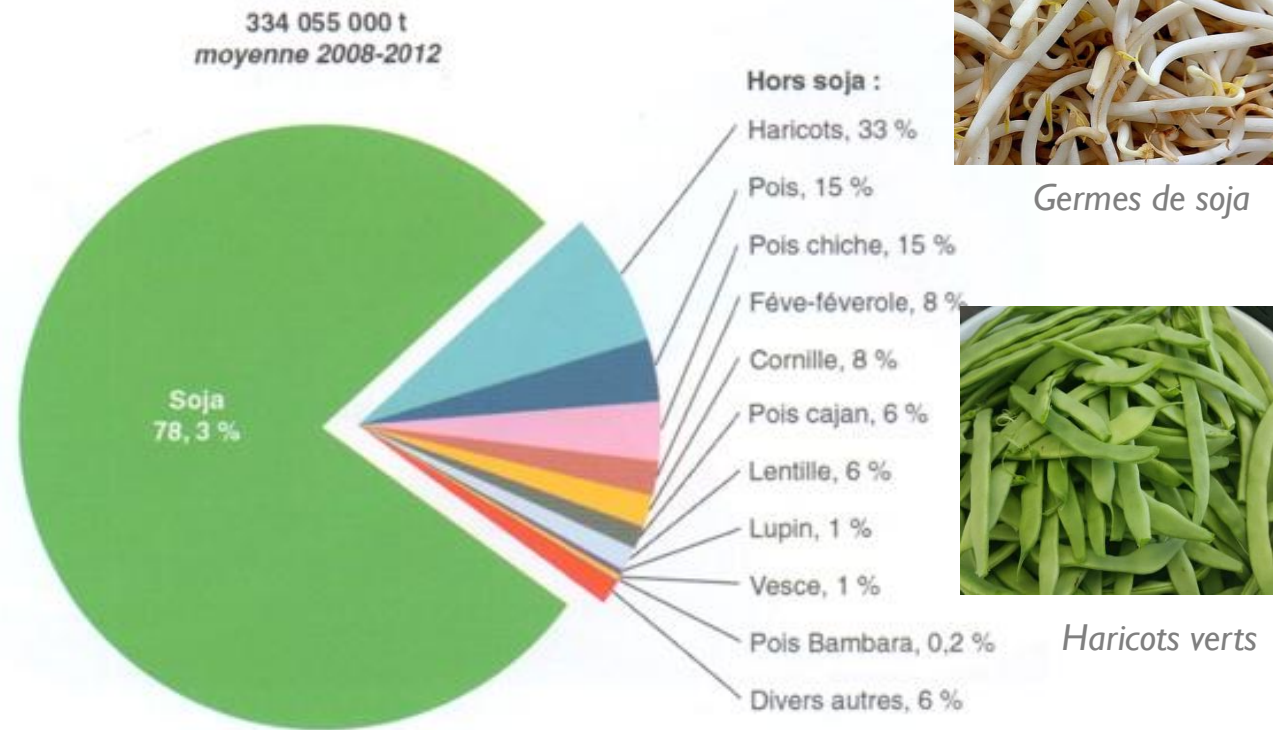
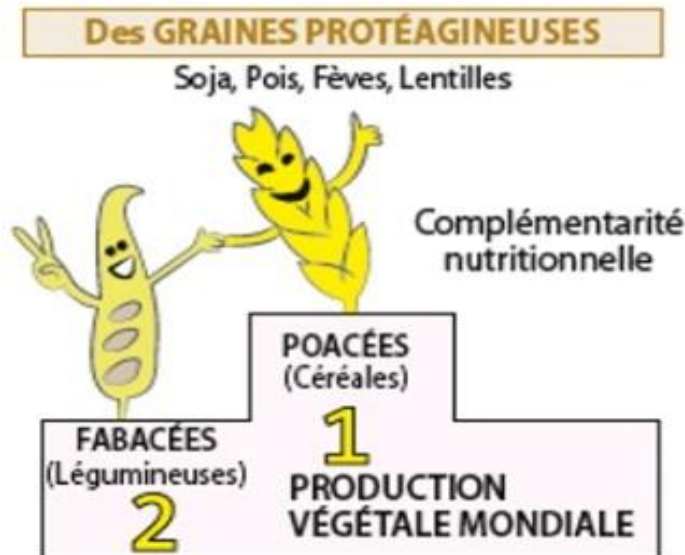
1. Identification du gène d'intérêt dans une espèce (ex: gène de résistance à un herbicide)
2. Isolement du gène et **transfection dans un plasmide bactérien** ayant au préalable un gène de résistance aux antibiotiques → identification des **plasmides transformés** par ajout d'antibio
3. Culture de la bactérie transformée après destruction du gène de résistance à l'antibiotique → pas de diffusion de résistance dans nature
4. Ultracentrifugation du milieu → récupération du **plasmide transformé**
5. Canon biolistique sur *Agrobacterium tumefaciens* → transfection de la bactérie *A. tumefaciens*
6. Culture de cellules de Fabacées totipotentes avec *A. tumefaciens* → transmission du gène d'intérêt
7. Sélection des cellules végétales résistantes au Round up (= herbicide)
8. Culture des cellules génétiquement modifiées en plantules = OGM

C. UNE REPRODUCTION MAÎTRISÉE PAR L'HOMME : SÉLECTION, DOMESTICATION, EXPLOITATION

2. L'exploitation des Fabacées par l'homme : une diversité de ressources

■ Alimentation humaine

- Principaux végétaux consommés par l'Homme = Poacées (riz, blé maïs) et Fabacées (soja, arachide, pois, lentille...)
- Graines de Fabacées = source de protéines (graines protéagineuses : soja, haricot...)
- Graines de Fabacées = source de lipides (graines oléagineuses : arachide)



Les principales Fabacées cultivées dans le monde (moy entre 2008 et 2012)



Germes de soja



Cubes de tofu



Haricots verts



Lentilles vertes



Arachide et son huile



Beurre de cacahuète

C. UNE REPRODUCTION MAÎTRISÉE PAR L'HOMME : SÉLECTION, DOMESTICATION, EXPLOITATION

2. L'exploitation des Fabacées par l'homme : une diversité de ressources

■ Alimentation animale

- **Prairie de fauche**
- **Tourteau (soja)** → riche en amidon et en protéines



Prairie de fauche (bocage normand): jusqu'à 4 fauches par an

Balle de foin



Vaches normandes nourries au foin aux cornadis



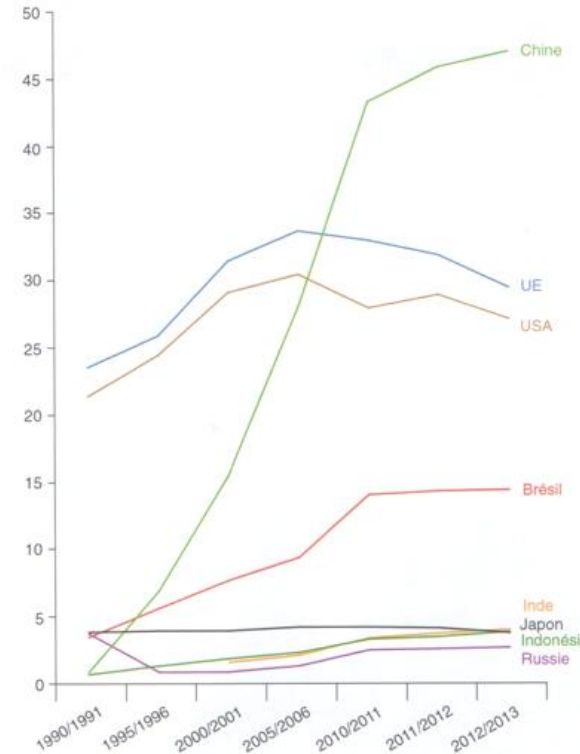
Vache normande nourrie au foin sec et au fourrage ensilé

Fourrage ensilé

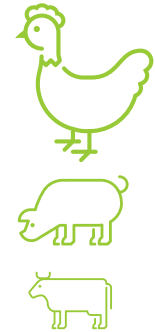


Exemple d'ensilage (souvent maïs qui n'est pas une fabacée...) valeur nutritive augmentée par fermentation lactique

consommation (millions de tonnes)

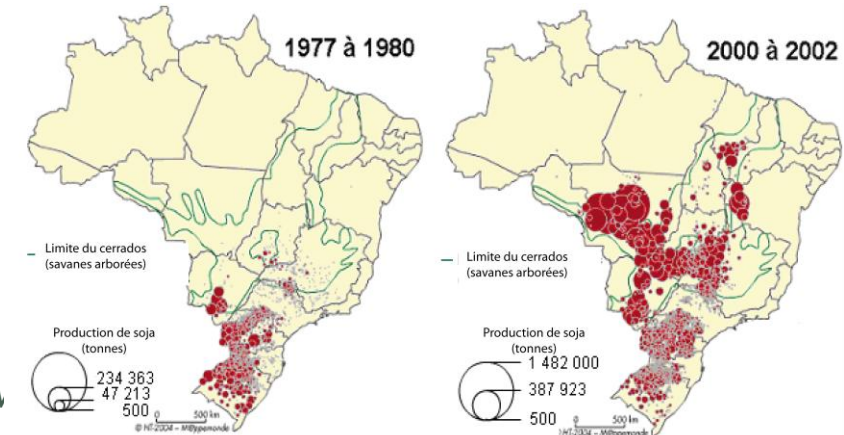


Évolution de la consommation de tourteau de soja dans le monde



Tourteaux de soja, issus des résidus laissés après extraction de l'huile des graines de soja → ↑ du taux protéique en élevage laitier et → ↑ de l'énergie de la ration (amidon)

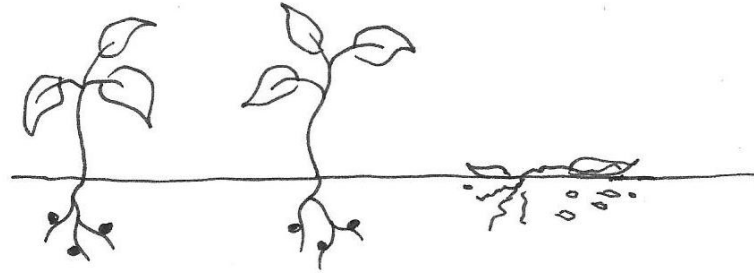
Évolution de la consommation de tourteaux de soja dans le monde (en ktonnes)



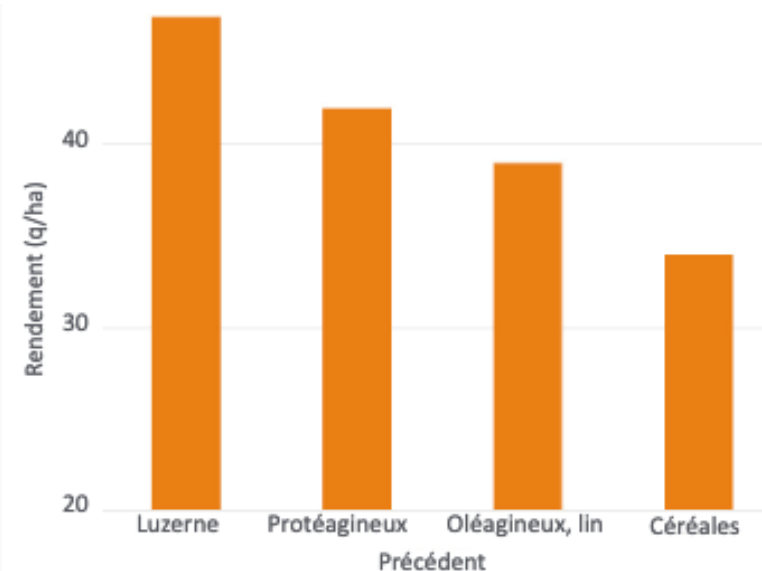
C. UNE REPRODUCTION MAÎTRISÉE PAR L'HOMME : SÉLECTION, DOMESTICATION, EXPLOITATION

2. L'exploitation des Fabacées par l'homme : une diversité de ressources

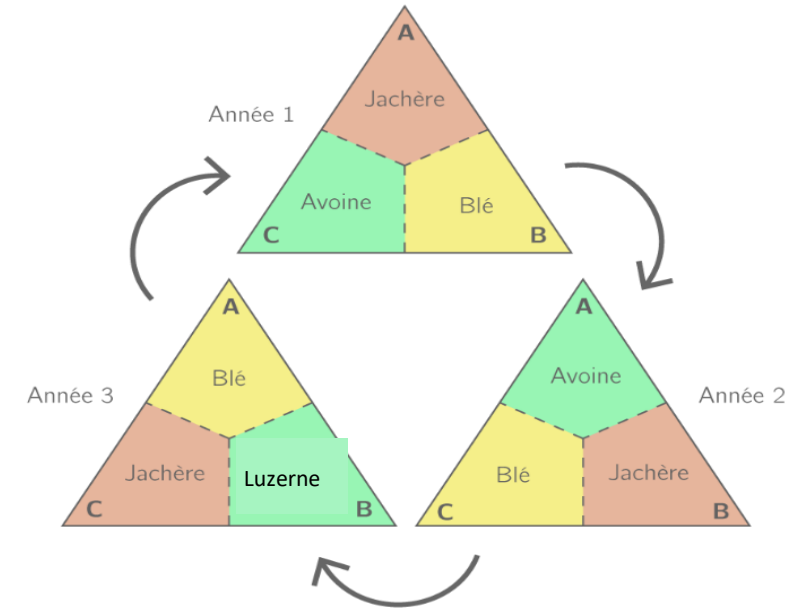
- **Engrais verts** : rotation des cultures avec la **vesce** ou la **luzerne** sont employées dans les rotations de culture.
 - ⇒ empêche l'érosion du sol
 - ⇒ maintient son humidité
 - ⇒ accueille des espèces d'insectes auxiliaires et pollinisateurs
 - ⇒ enrichit le sol en azote (via la symbiose et ses exsudats et via la décomposition des produits de fauche lorsqu'ils sont laissés sur place)
 - ⇒ rompt le cycle de vie des insectes ravageurs et des pathogènes spécifiques, évitant ainsi l'utilisation de pesticides



Utilisation des Fabacées comme engrais vert



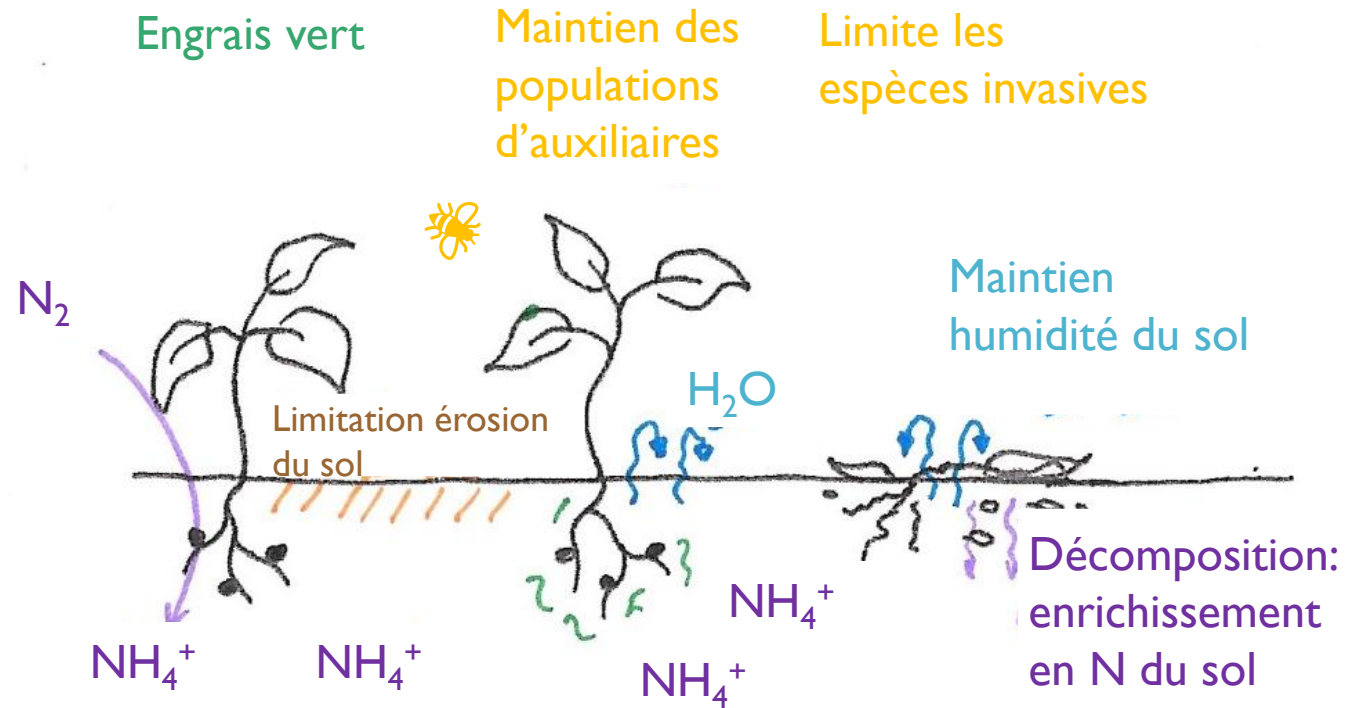
Rendements comparés d'une culture de blé en fonction de la culture précédente sur la parcelle



Utilisation des Fabacées en culture intermédiaire dans les systèmes des cultures

C. UNE REPRODUCTION MAÎTRISÉE PAR L'HOMME : SÉLECTION, DOMESTICATION, EXPLOITATION

2. L'exploitation des Fabacées par l'homme : une diversité de ressources



Utilisation des Fabacées comme engrais vert

C. UNE REPRODUCTION MAÎTRISÉE PAR L'HOMME : SÉLECTION, DOMESTICATION, EXPLOITATION

2. L'exploitation des Fabacées par l'homme : une diversité de ressources

- **plantes horticoles et mellifères** : d'intérêt esthétique ex : Glycine, etc.



Glycine



Lupin



Robinier faux acacia: plante mellifère



Miel d'acacia

- **plantes modèles en biotechnologie** :

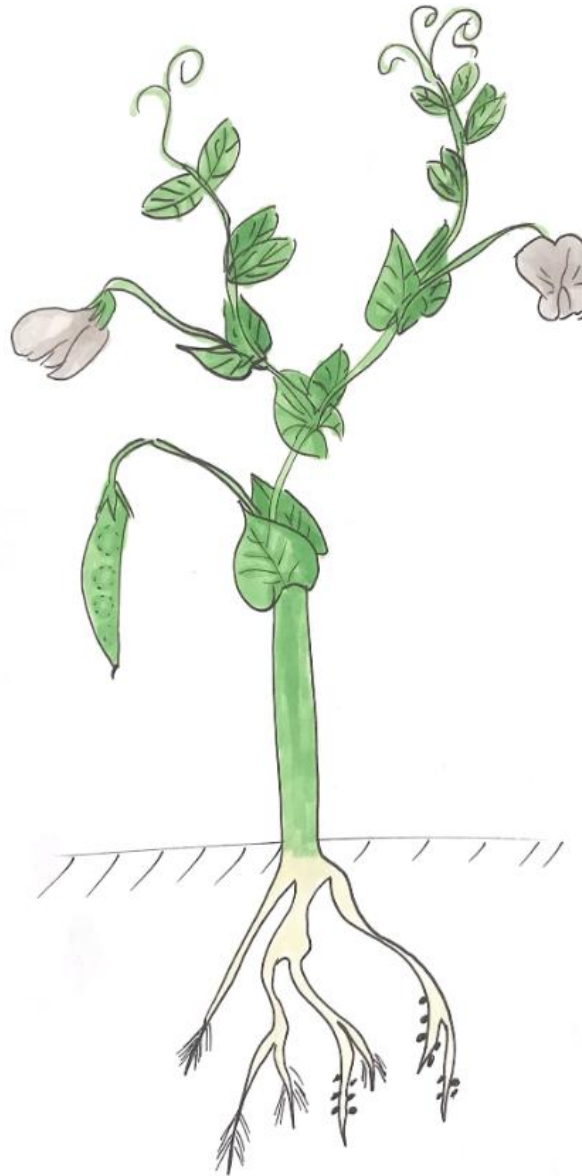
- étude des croisements de petits pois par Mendel → lois de l'hérédité.
 - ✓ Loi d'uniformité des hybrides de première génération (cf hybrides F1 tous identiques)
 - ✓ Loi de disjonction des allèles (ségrégation des caractères dans la génération F2)
 - ✓ Loi d'indépendance de la transmission des caractères (uniquement dans le cas de gènes indépendants)



Johann Gregor Mendel (1822 – 1884)

♀ gamètes	♂ gamètes			
	R Y $\frac{1}{4}$	R y $\frac{1}{4}$	r Y $\frac{1}{4}$	r y $\frac{1}{4}$
	RR YY $\frac{1}{16}$ 	RR Yy $\frac{1}{16}$ 	Rr Yy $\frac{1}{16}$ 	Rr YY $\frac{1}{16}$ 
	RR Yy $\frac{1}{16}$ 	RR yy $\frac{1}{16}$ 	Rr yy $\frac{1}{16}$ 	Rr Yy $\frac{1}{16}$ 
	Rr Yy $\frac{1}{16}$ 	Rr yy $\frac{1}{16}$ 	rr yy $\frac{1}{16}$ 	rr Yy $\frac{1}{16}$ 
	Rr YY $\frac{1}{16}$ 	Rr Yy $\frac{1}{16}$ 	rr Yy $\frac{1}{16}$ 	rr YY $\frac{1}{16}$ 
9  : 3  : 3  : 1 				
Round, yellow Round, green Wrinkled, yellow Wrinkled, green				

Résultats d'hybridation de petits pois F1 x F1 ; travaux de Mendel (2 caractères phénotypiques: couleur du pois Y et y, aspect R et r)



FRUITS/GRAINES

Source de glucides
(amidon)(pois), protéines
(soja) lipides (arachide)
Alimentation humaine
Alimentation animale:
tourteaux

FLEURS

Ornement/horticulture

Plante mellifère

(N.B. Petit pois cléistogame → autofécondation)

APPAREIL VÉGÉTATIF

Alimentation animale:
tourteaux

RACINES

Engrais verts

Diversité d'utilisation des fabacées par l'Homme

CONCLUSION

- Fabacées = famille d'Angiospermes avec des caractéristiques morpho-anatomiques permettant de les placer dans une **phylogénie**
- **Une organisation précise :**
 - Différentes échelles : appareil/organe/tissu/cellule
 - 2 appareils distincts : **végétatif/reproducteur**
 - Appareil végétatif à **l'interface sol/atmosphère**
- Comme tous les êtres vivants, réalisation de **3 fonctions biologiques :**
 - **Relation** : perception et réponse aux stimuli, relations inter et intraspécifiques
 - **Nutrition** : autotrophie (photosynthèse) : place de producteur primaire des écosystèmes
 - **Reproduction** : sexuée (méiose + fécondation → diversité génétique) ou asexuée (clonale)
- Place importante pour l'Homme:
 - **Alimentation**: directe ou indirecte
 - **Engrais verts**
 - Plantes ornementales

Vie fixée en milieu aérien → adaptations

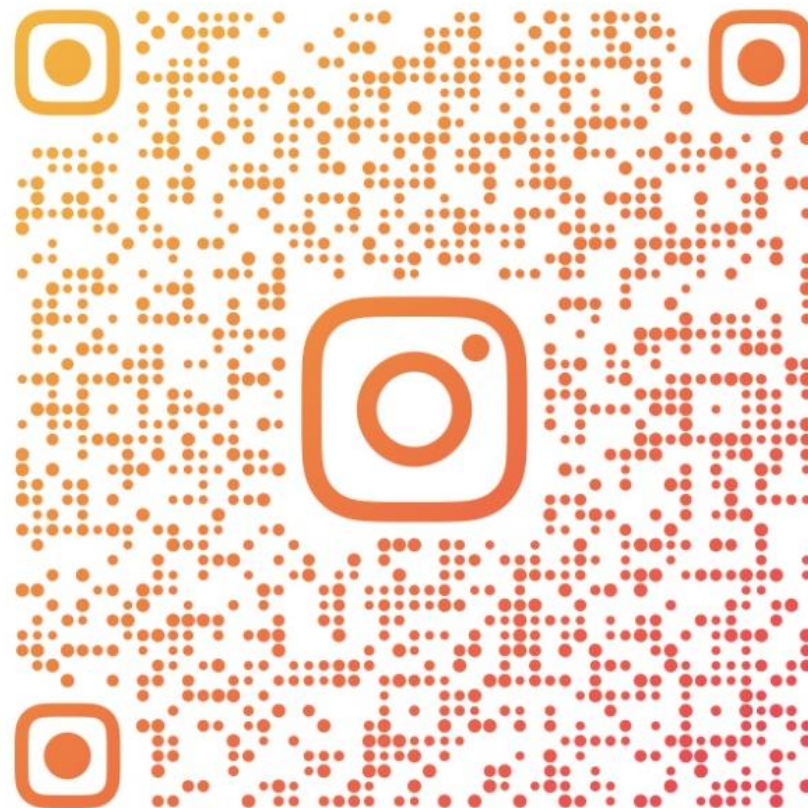
Milieu desséchant	- Cuticule épidermique hydrophobe - Stomates à ouverture contrôlée - Mécanismes d'absorption d'eau, mycorhize - Structures reproductrices protégées de la déshydratation
Milieu peu porteur	- Tissus de soutien maintenant le port dressé - relations favorisant le déplacement des structures reproductrices d'un individu à l'autre (entomogamie)



SUJETS D'ORAUX

- La reproduction chez les Fabacées
- **Les fonctions de nutrition chez les Fabacées**
- **Les relations entre les Fabacées et les autres espèces**
- Les relations entre organes chez les Fabacées
- Les fabacées dans l'écosystème prairial
- **Les surfaces d'échanges chez les Fabacées**
- **Les Fabacées : des organismes aériens**
- **La vie fixée des Fabacées**
- Les échelles d'organisation du vivant : exemple chez les Fabacées
- Les cycles de vie des Fabacées
- Les modalités de la croissance chez les Fabacées

Petite annonce
d'anciens spé Ali
et Maëlys



@BENI_DIDGAGADIDIGADADDOO