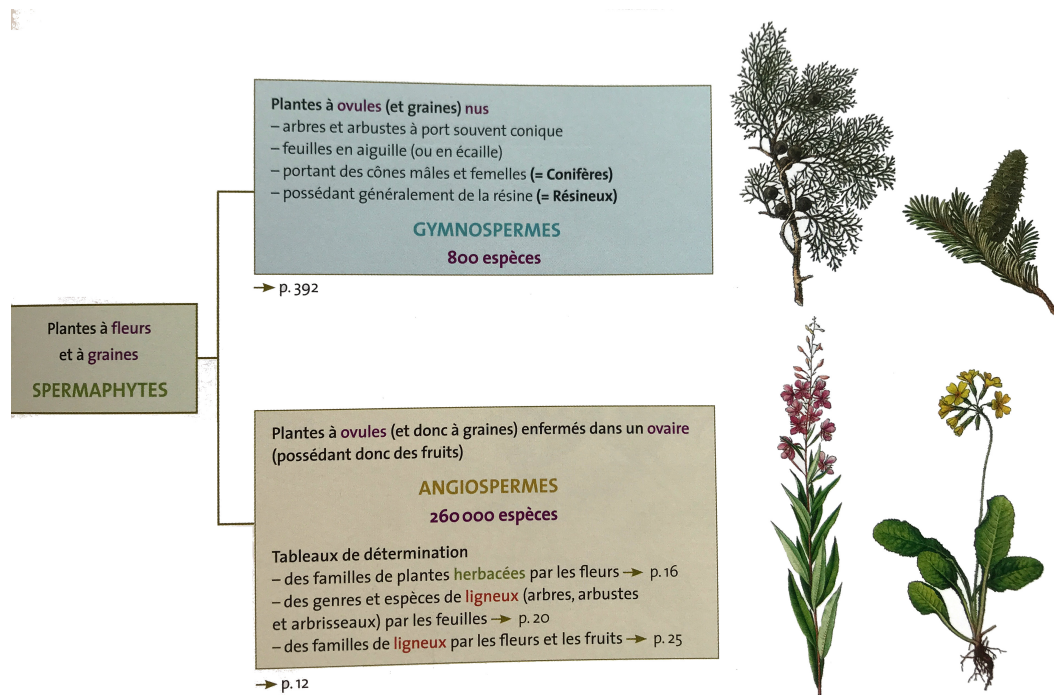


Figure 1 : Position systématique des Angiospermes
(Petite Flore de France, Busti, Maillart et Thomas, Belin)



Classification phylogénétique simplifiée des familles d'ANGIOSPERMES étudiées

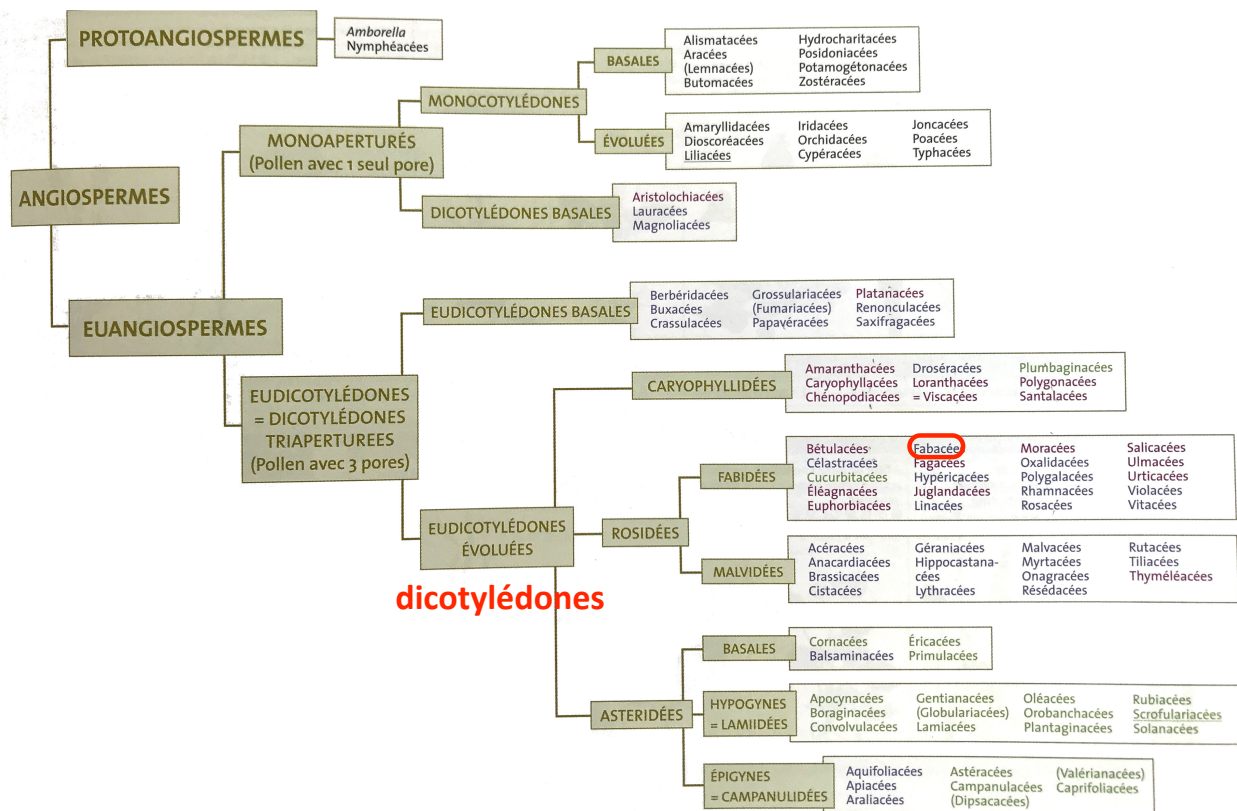
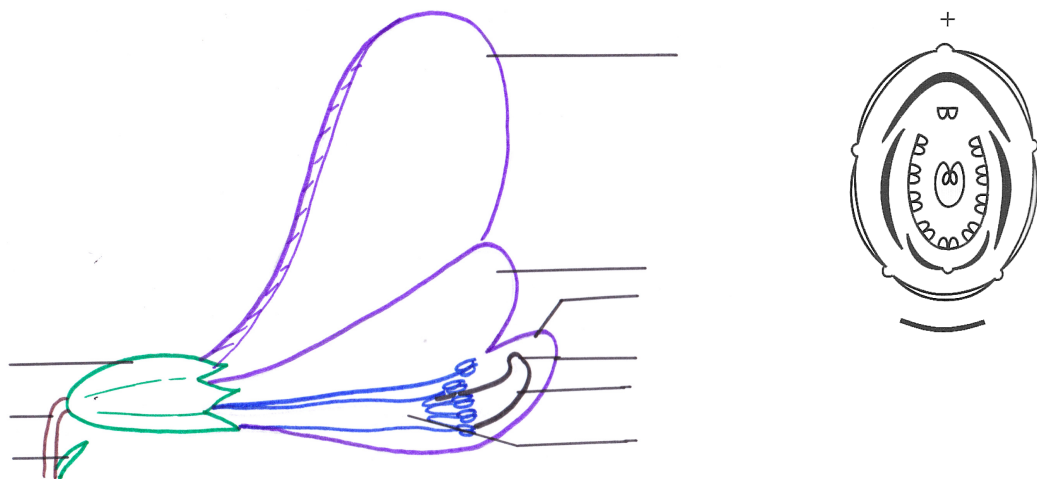


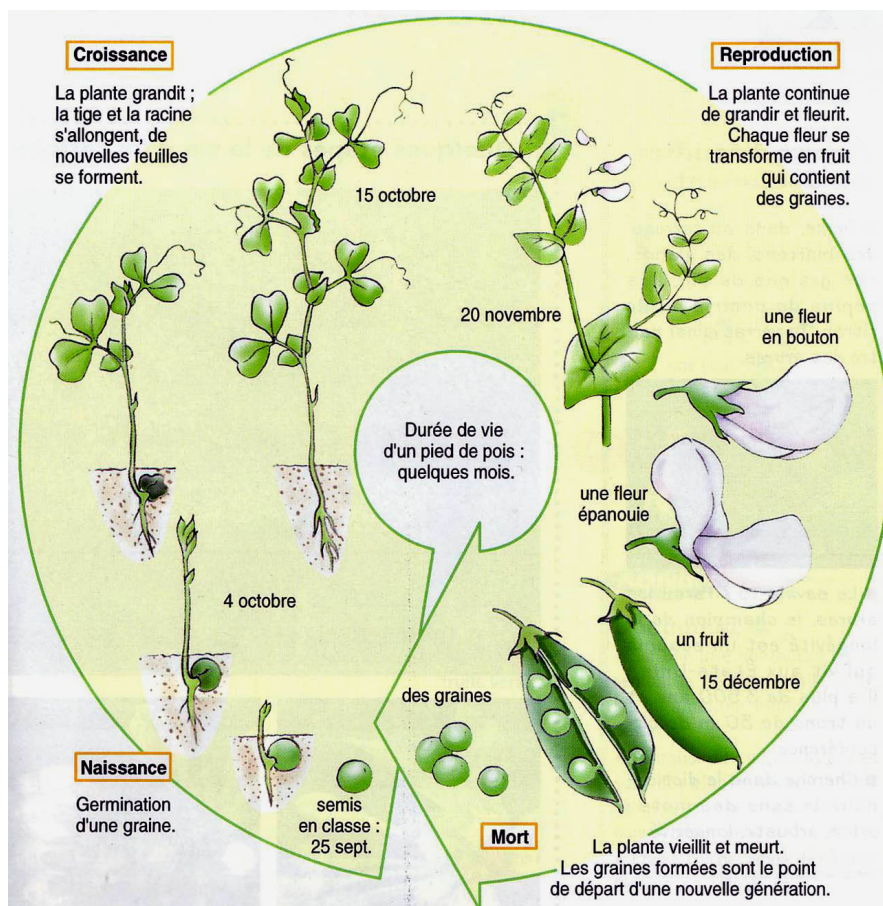
Figure 2 : Organisation d'une Fabacée



$$\text{♀} \times (5S) + 3P + (2P) + 1E + (9E) + \underline{1C}$$

1C -> fruit = gousse

Figure 3 : cycle de développement d'une Fabacée



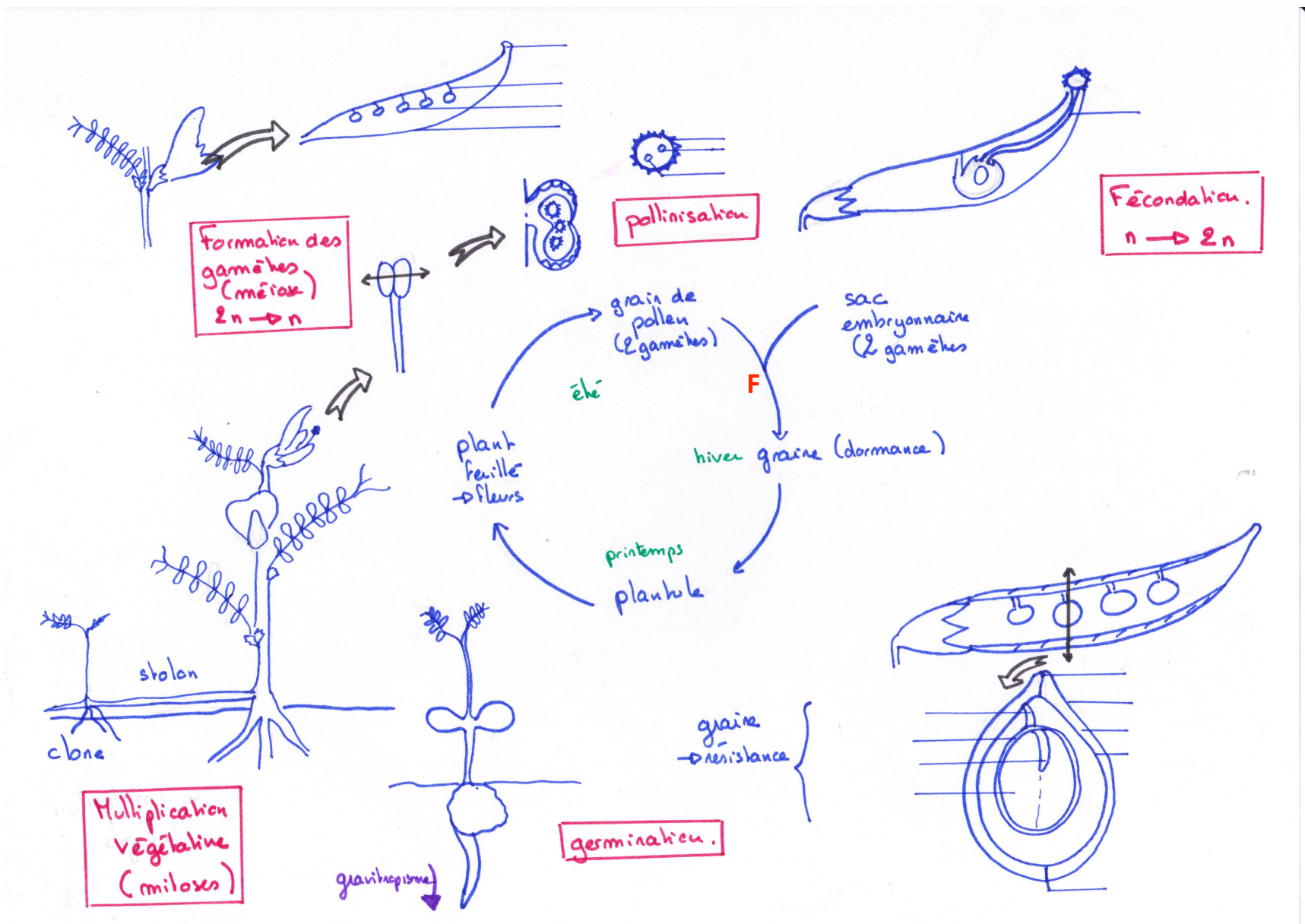


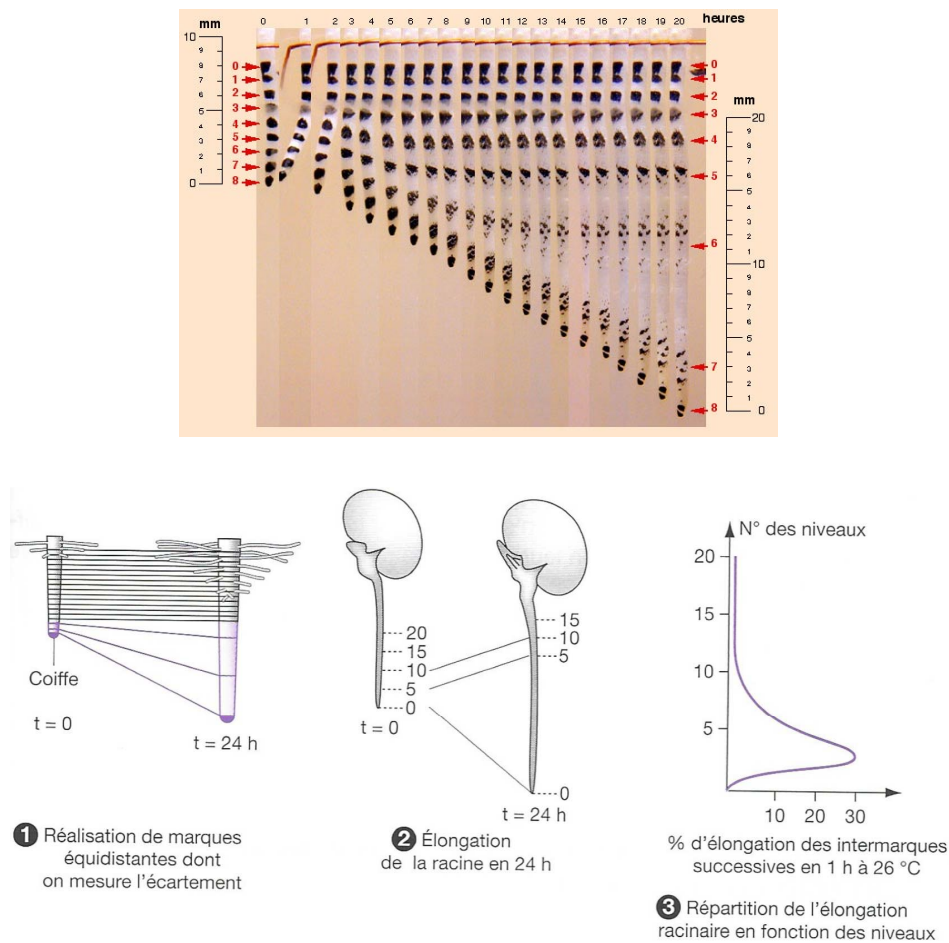
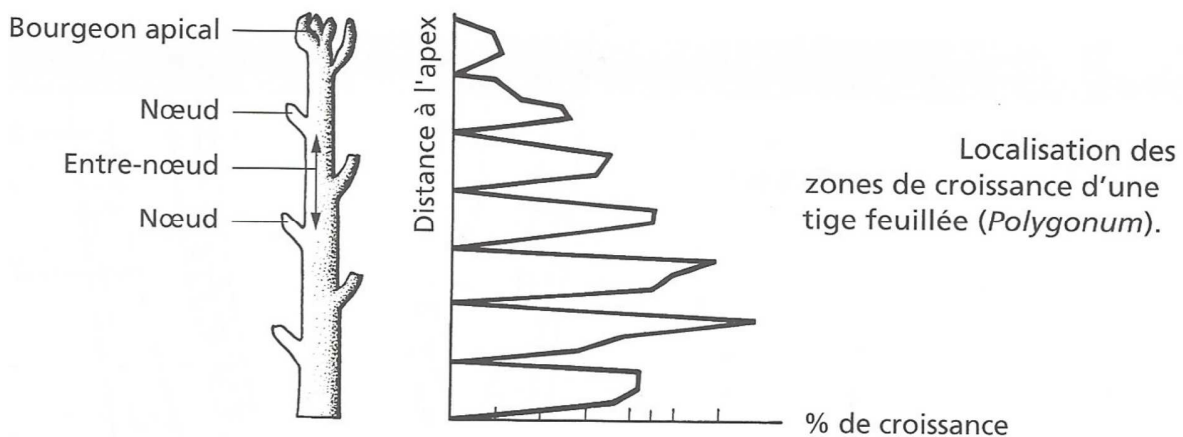
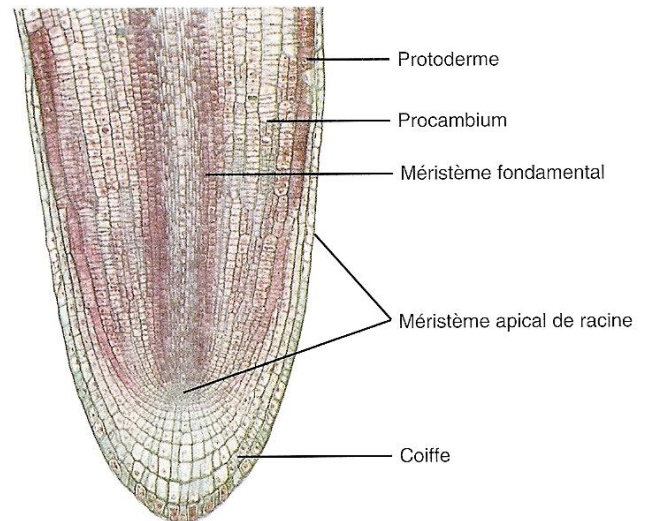
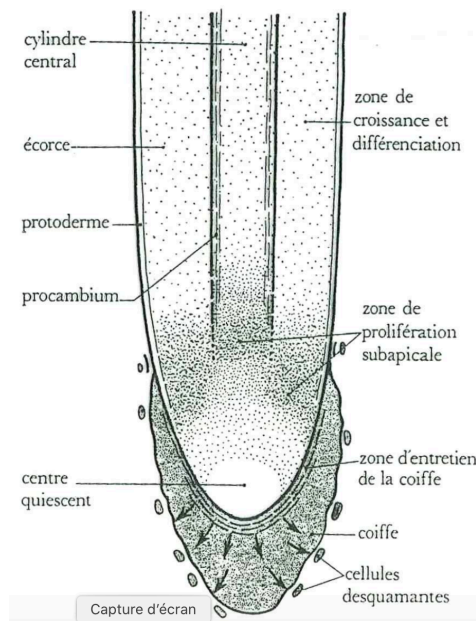
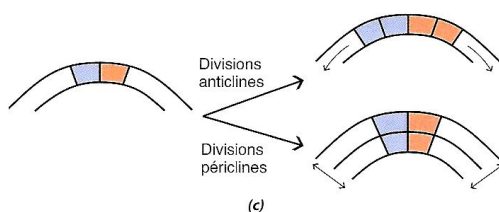
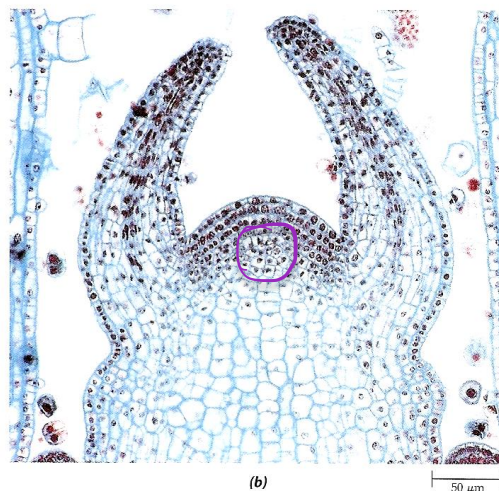
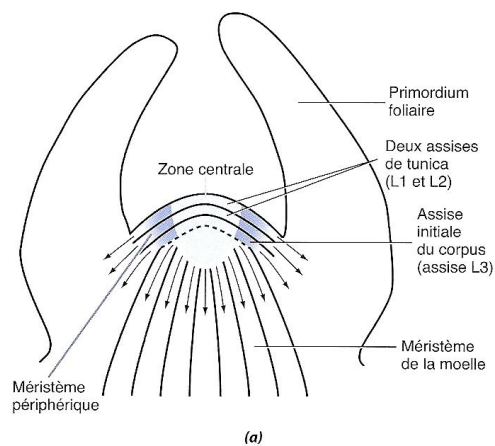
Figure 4 : mise en évidence des zones de croissance au niveau des tiges et racines**Etude de la croissance au niveau de la racine : expérience de Sachs** (snv,jussieu, Breuil Ellipse)**Etude de la croissance au niveau de la tige (Peycru et al., 2010)**

Figure 5 : organisation des méristèmes apicaux racinaire et caulinaire (à titre de document)

Organisation de l'extrémité d'une racine (coupe de racine de radis)



Organisation de l'extrémité d'une tige (Raven et al., De Boeck)



25-4 Organisation tunica-corpus (a), (b) Détail de l'apex caulinare de *Coleus blumei*. *Coleus* possède une tunica biassiale, représentée par les assises L1 et L2 du méristème apical. L'assise initiale du corpus est représentée par L3. Le corpus et les parties des assises de la tunica qui l'entourent correspondent à la zone centrale. La zone périphérique est la partie mitotiquement la plus active du méristème apical. (c) Divisions anticlines et périclines. Les divisions cellulaires sont presque exclusivement anticlines dans les assises de la tunica. Celles de l'assise initiale du corpus sont anticlines et périclines. Grâce aux divisions périclines, les cellules de l'assise initiale ajoutent des cellules au corpus.

Figure 6 : Schéma bilan : l'appareil végétatif de la Vesce (*Vicia sativa*)

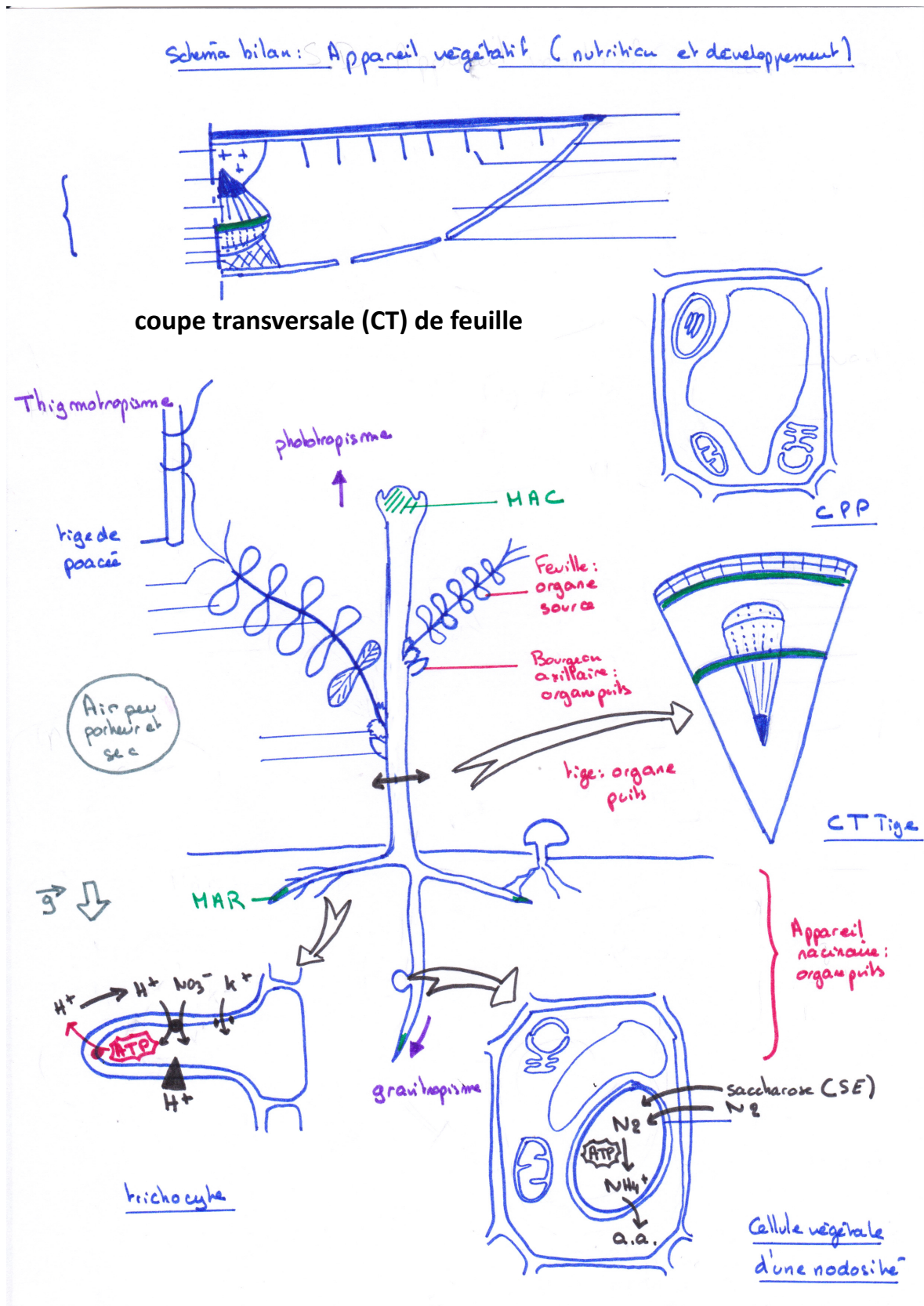


Figure 7 : relation structure - fonction de la cellule du parenchyme palissadique

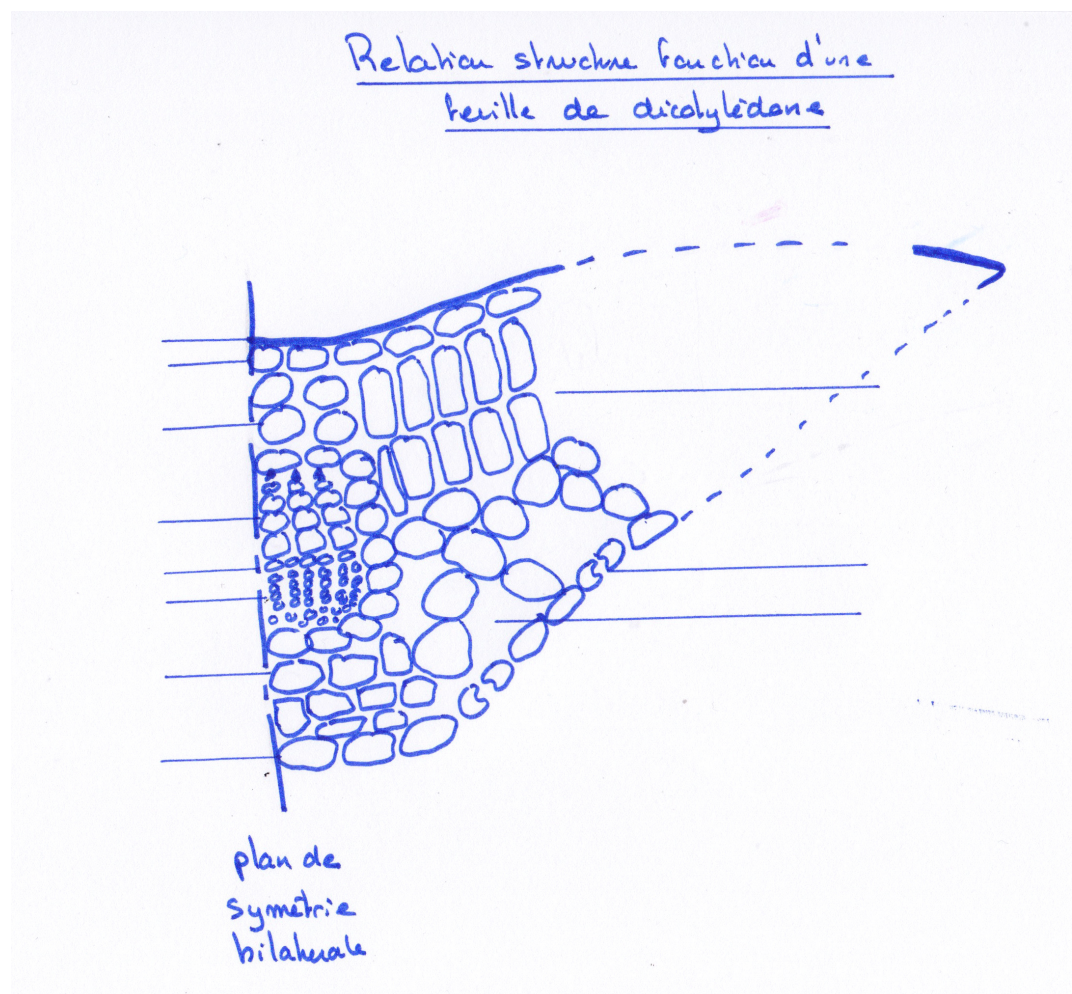
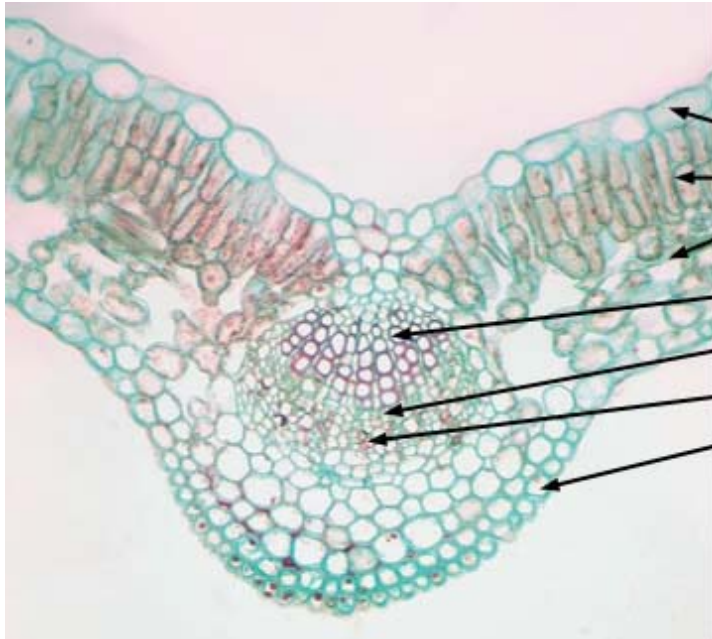


Figure 8 : expérience de Rosen
(Manuel de 2^{nde}, Bordas, 1993)

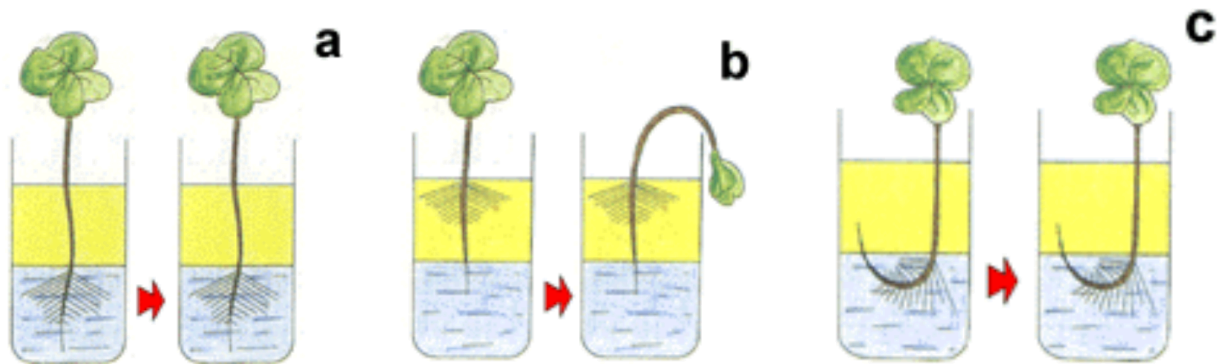
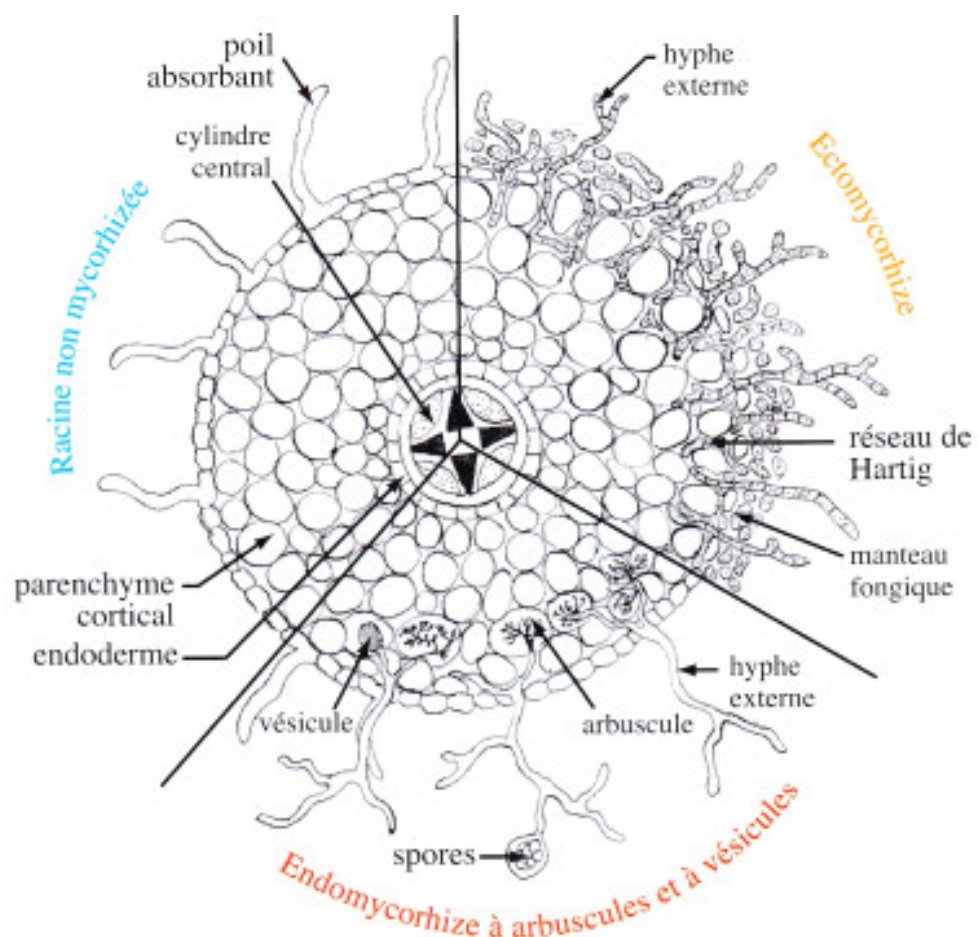
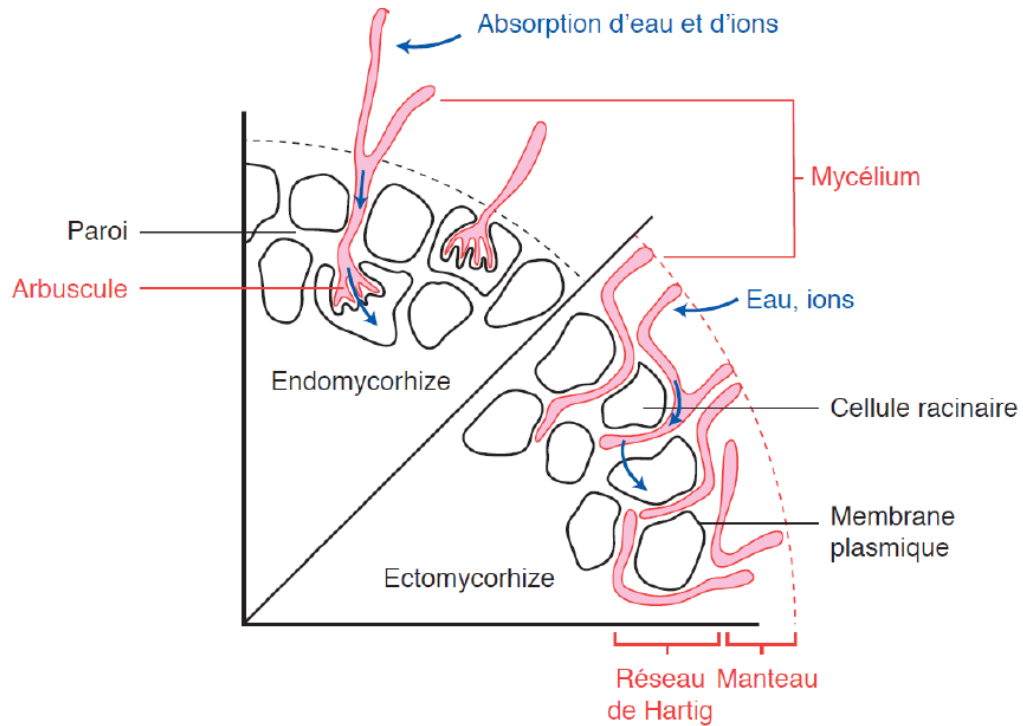


Figure 9 : organisation des mycorhizes
(Meyer et al., Maloine)



Section transversale d'une racine de dicotylédone comparant les deux principaux types de mycorhize.

Section transversale d'une racine de dicotylédone comparant les deux principaux types de mycorhize.



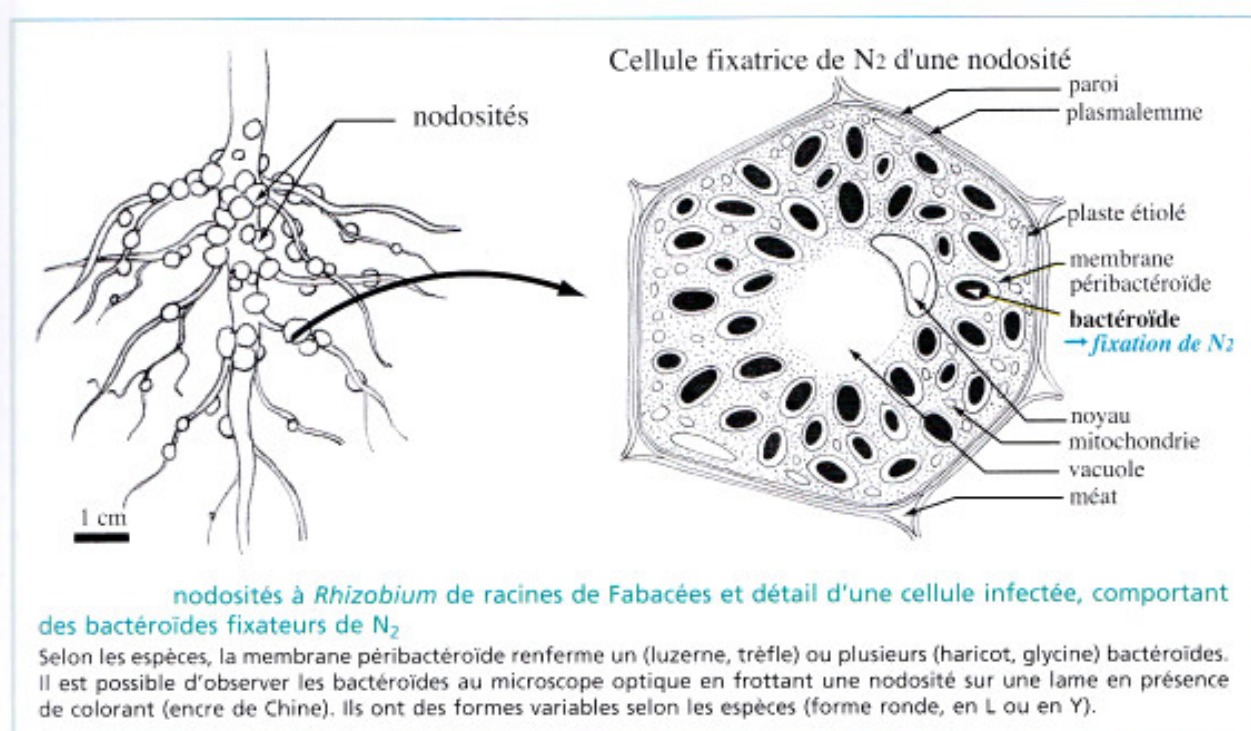
76 % des angiospermes



Zoom sur les échanges

Figure 10 : organisation des nodosités

(Meyer et al., Maloine)

**Figure 11 : circulation de l'eau et des ions dans la racine**

(Meyer et al., Maloine)

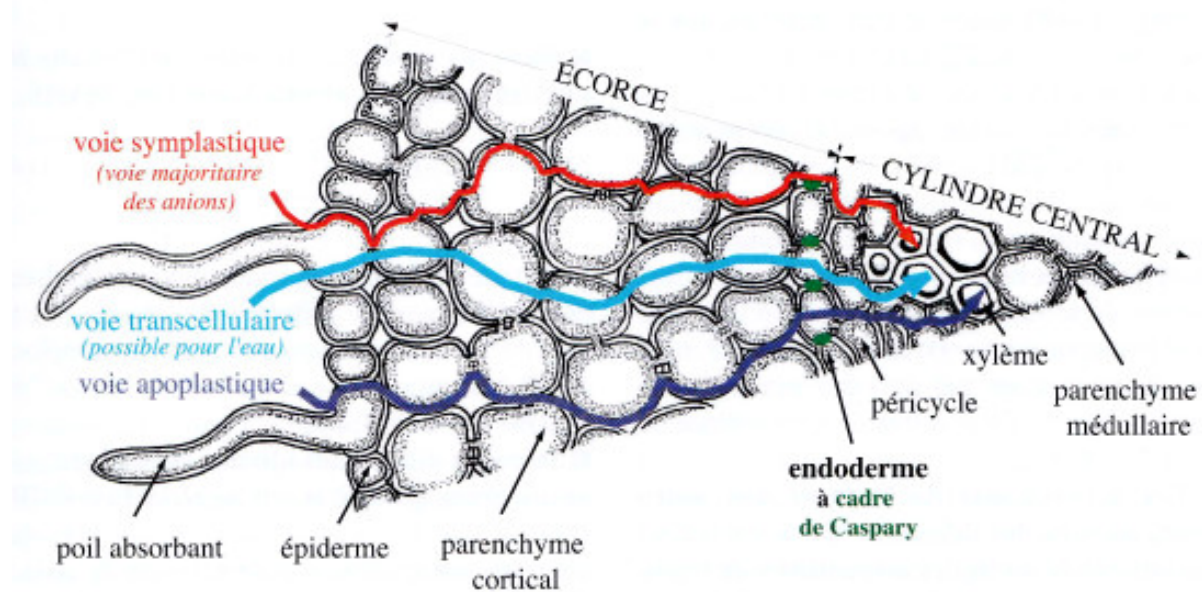


Figure 12 : relation structure - fonction des vaisseaux de xylème

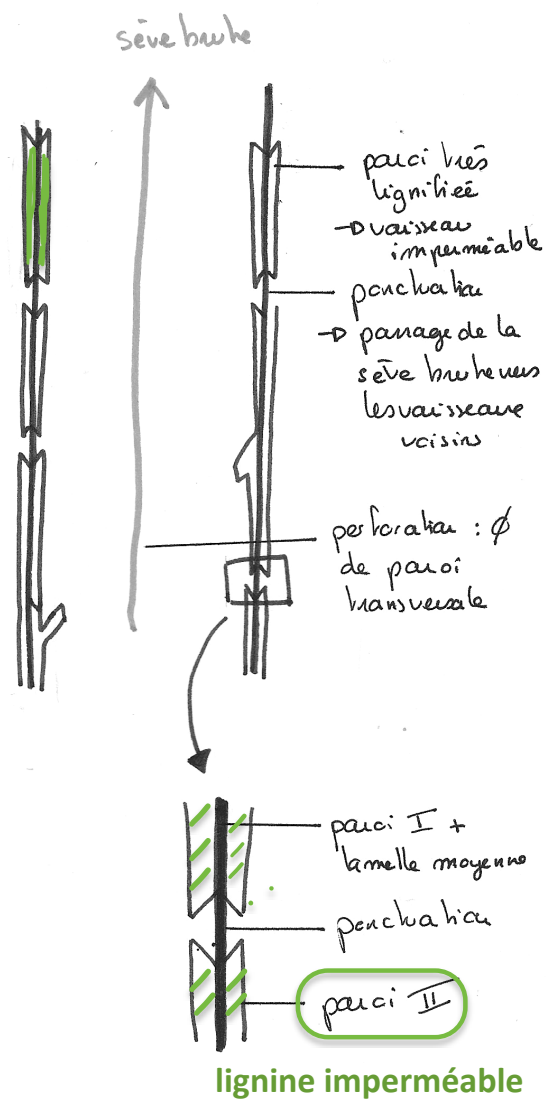
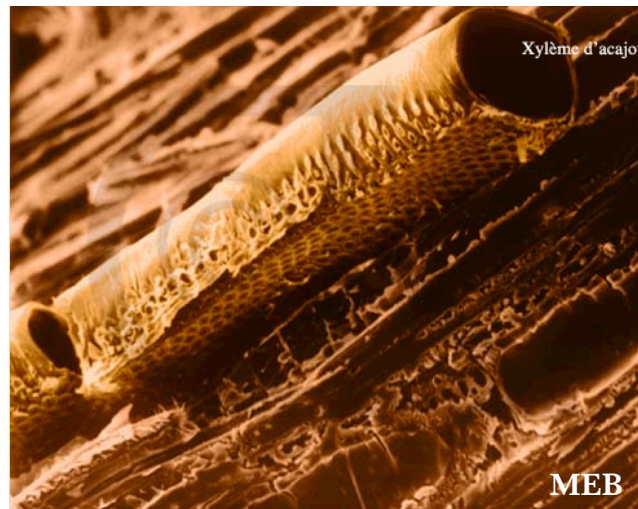
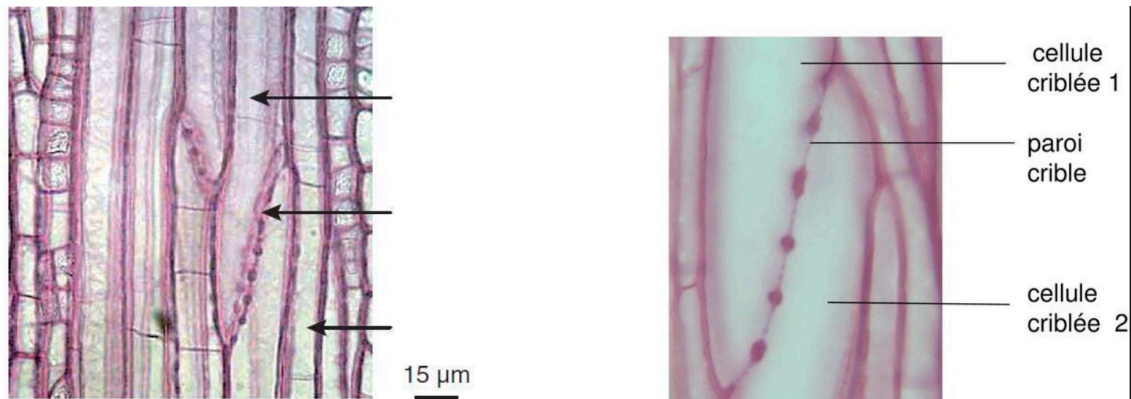
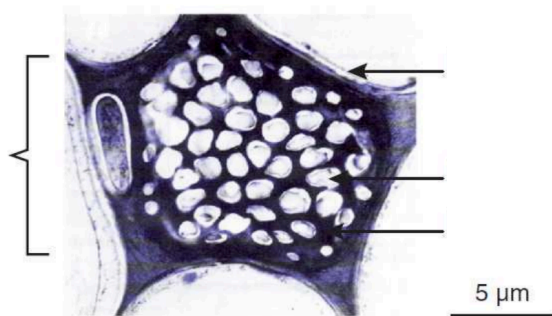


Figure 13 : Structure des tubes criblés du phloème
(Segarra et al., Belin)



A



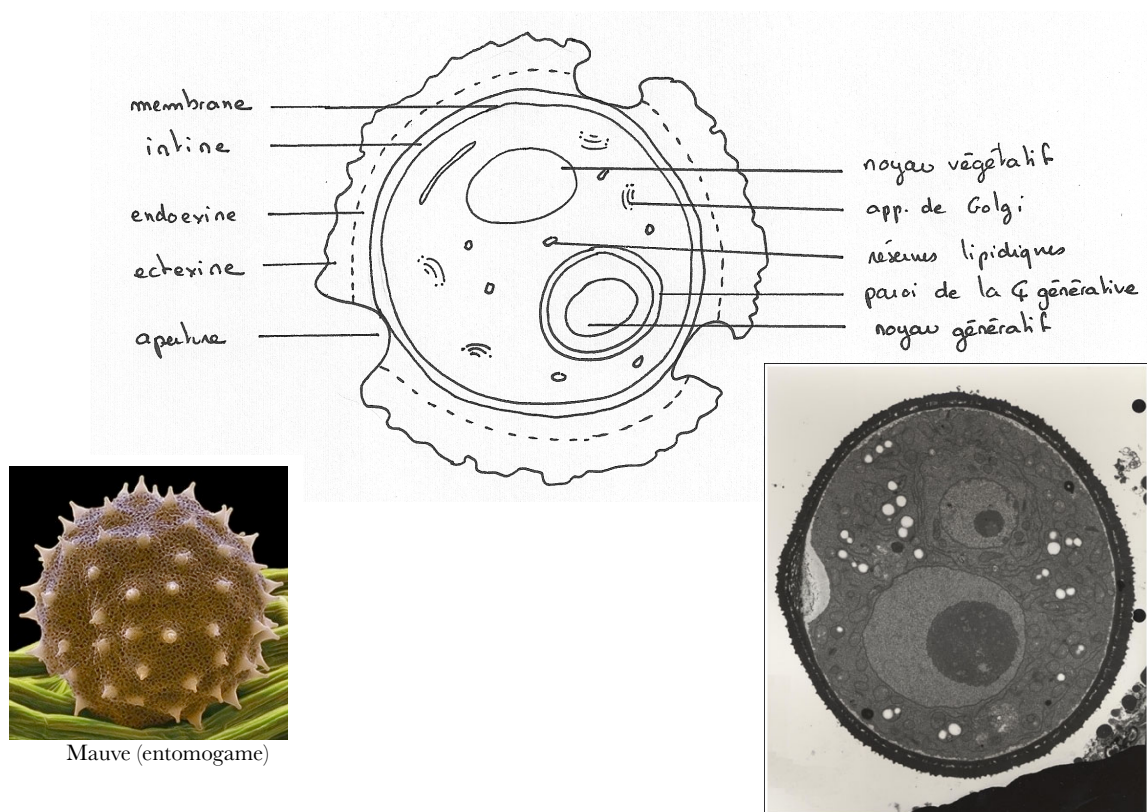
B

Observation de cellules criblées

A. Tubes criblés sur coupe longitudinale de tige (coloration carmino-vert). Les cribles placent en continuité les cytoplasmes des deux cellules.

B. Cribles au MET. Les parois latérales du tube criblé sont très légèrement épaissies. La paroi transversale, ici observée de face et percée de nombreux pores, place en continuité les cytoplasmes des deux cellules.

Figure 14 : Organisation du grain de pollen



Mauve (entomogame)

Figure 15 : Organisation de l'ovule contenant les deux gamètes femelles

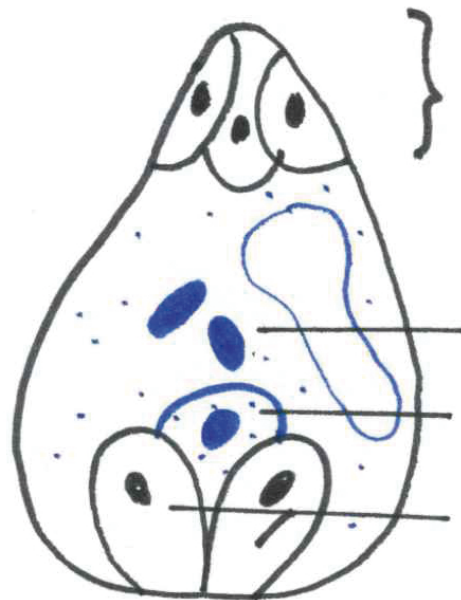
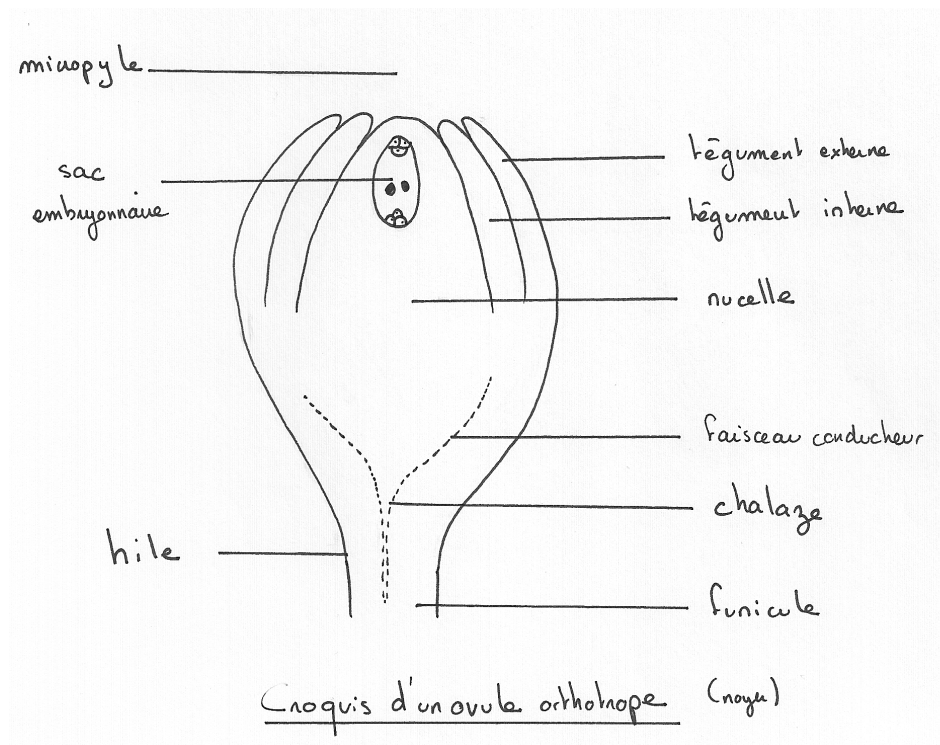


Figure 16 : fécondation par siphonogamie
Double fécondation

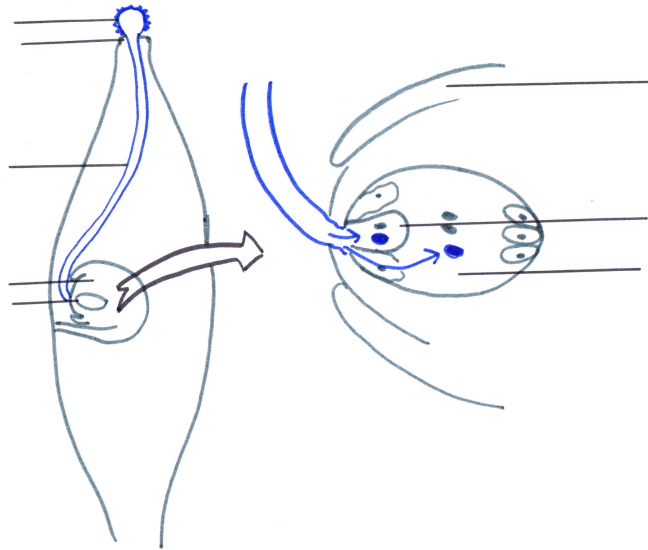


Figure 17 : nectaire et fenêtre d'accès chez une coronille
 (De Micco et al., The Scientific World Journal 2012)

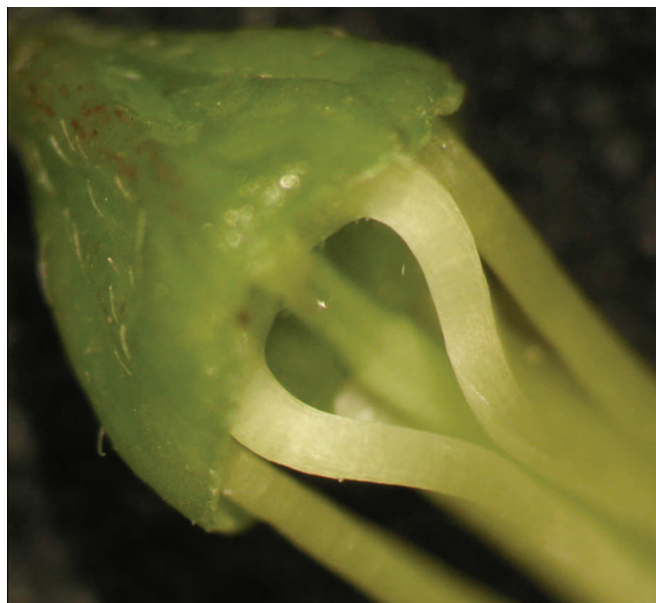
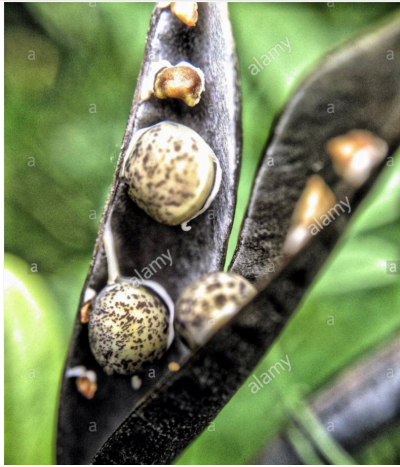


FIGURE 4: Flower base of *C. emerus* with the nectary. Two small fenestrae are evident between the joined and the free filaments.

Figure 18 : La gousse, fruit des Fabacées

Gousse de Vesce (alamyimages.fr)



Gousse de petit pois (snv.jussieu.fr)



Déhiscence grâce aux deux nervures

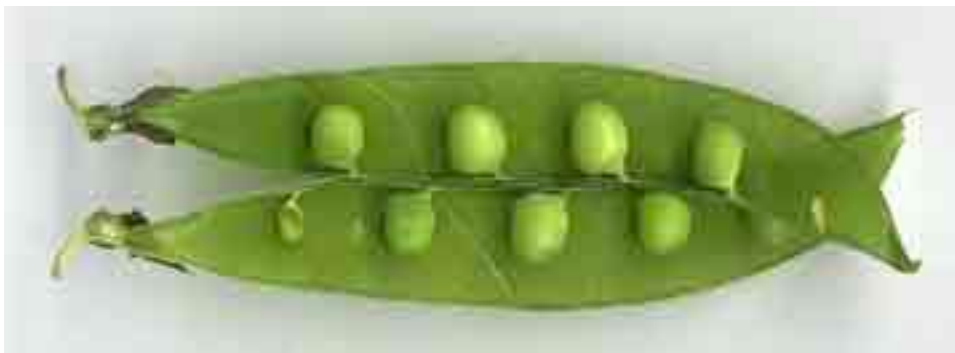
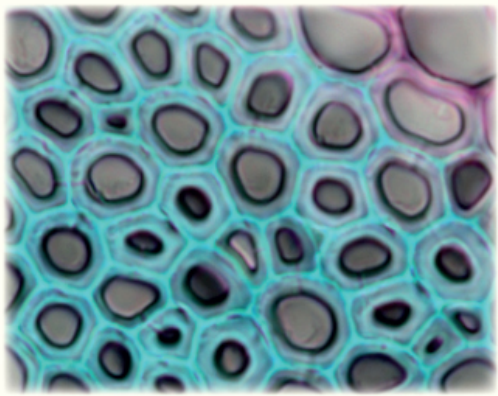
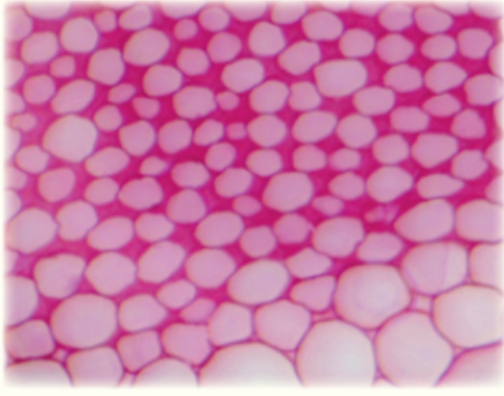
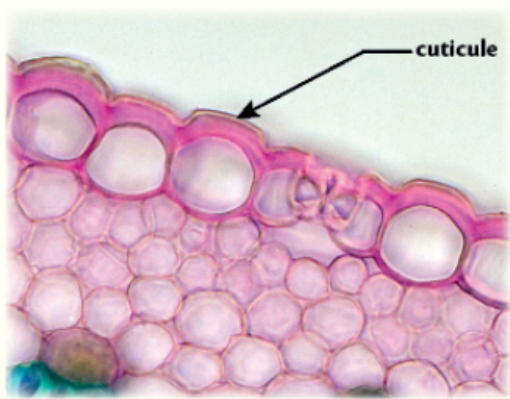
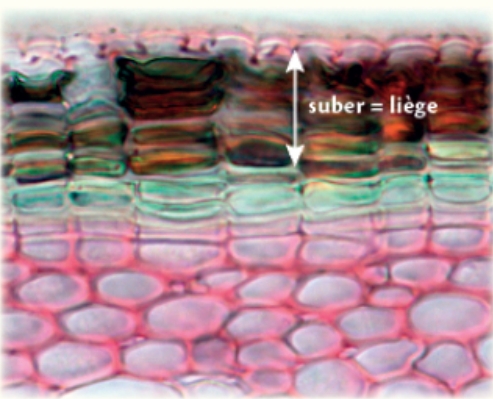


Figure 19 : Adaptations histologiques au milieu aérien desséchant et non porteur
(Aurélie Denis)

LIGNIFICATION	ÉPAISSISSEMENT
	
Imprégnation de lignine , polymère hydrophobe de haut poids moléculaire, incrusté dans le maillage de cellulose. ⇒ Rigidification	Epaississement pecto-cellulosique non uniforme (ici dans les angles ⇒ collenchyme angulaire) ⇒ Rigidification

CUTINISATION	SUBÉRIFICATION
	
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

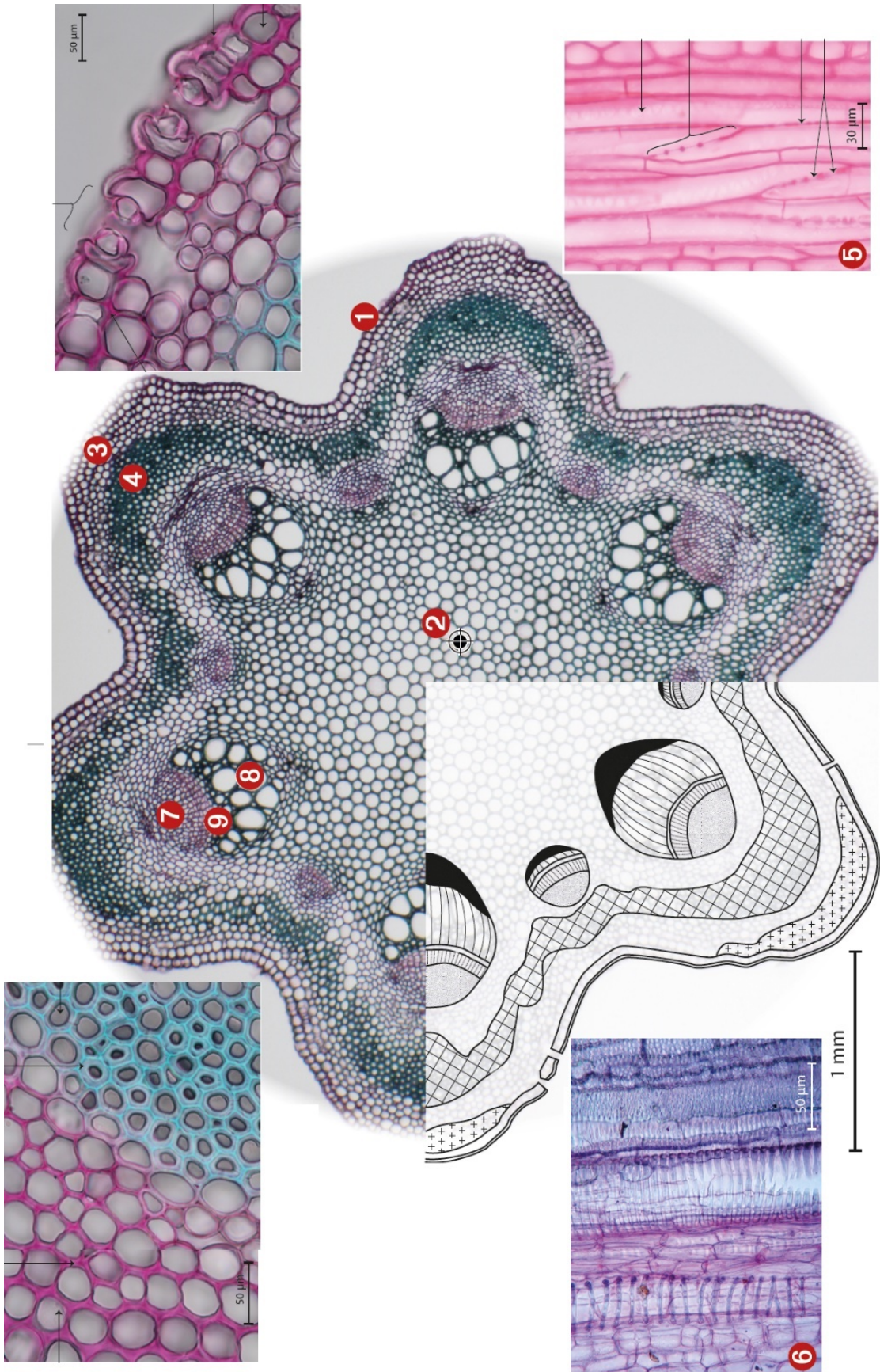


Figure 20 : Mise en évidence du gravitropisme

Mise en évidence d'un gravitropisme chez le soja (planet-vie.ens.fr)

Des germinations de soja sont transférées sur des boîtes de gélose. Après quelques jours, les boîtes subissent une rotation de 90° : on suit l'évolution de la racine et de la tige (hypocotyle) (24h au total).

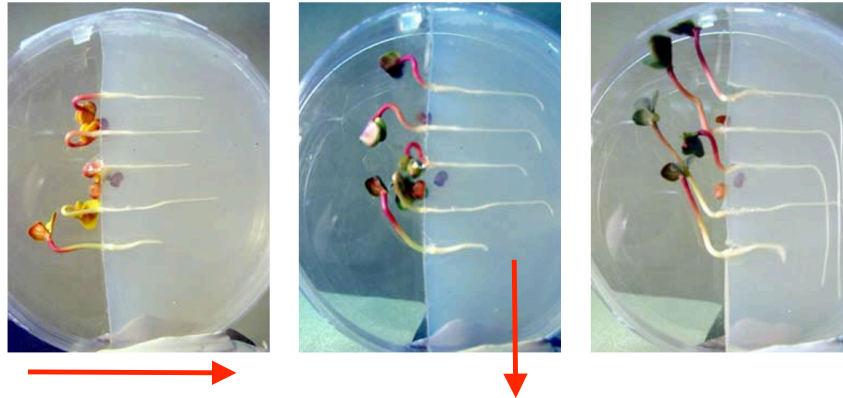


Figure 21 : Effet d'un gradient d'eau sur la croissance racinaire
(Cejas et al., Scientific Reports 2019)

Expérience : des lentilles sont cultivées dans des rhizotrons = des plaques verticales de gel contenant les ressources minérales à la plante. Les rhizotrons sont transparents ce qui permet de suivre la croissance des lentilles. On teste la capacité de la plante à modifier la croissance des racines en fonction de la distribution en eau du milieu :

- témoin : gel avec une répartition isotrope de l'eau
- test : gel dont le haut est plus pauvre en eau que le bas. Cette anisotropie de la répartition en eau est le résultat de l'insertion d'une tige dans le gel qui provoque une circulation d'eau par capillarité. Le bas du gel est plus riche en eau que le haut du gel.

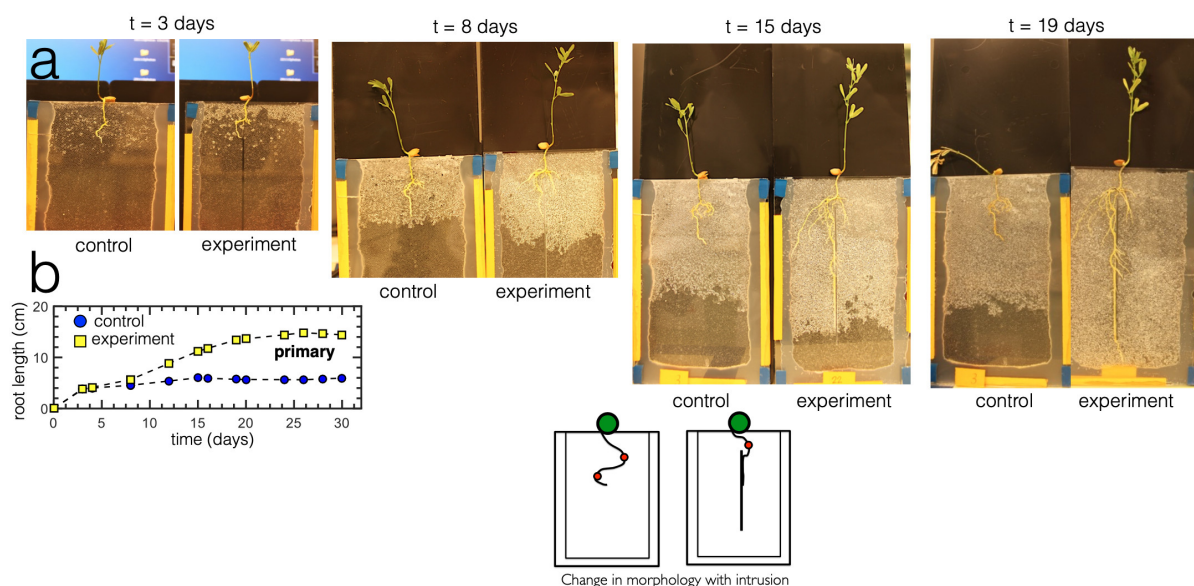
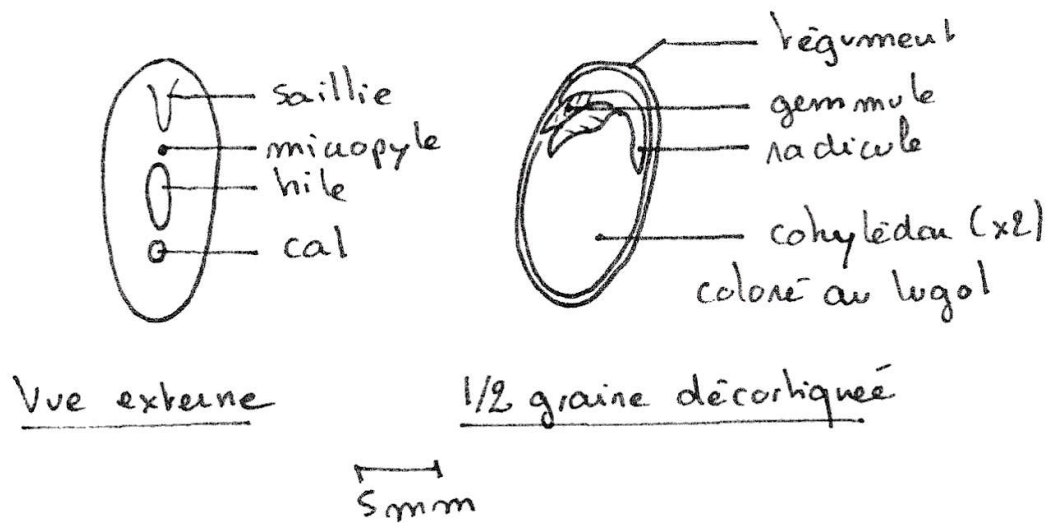
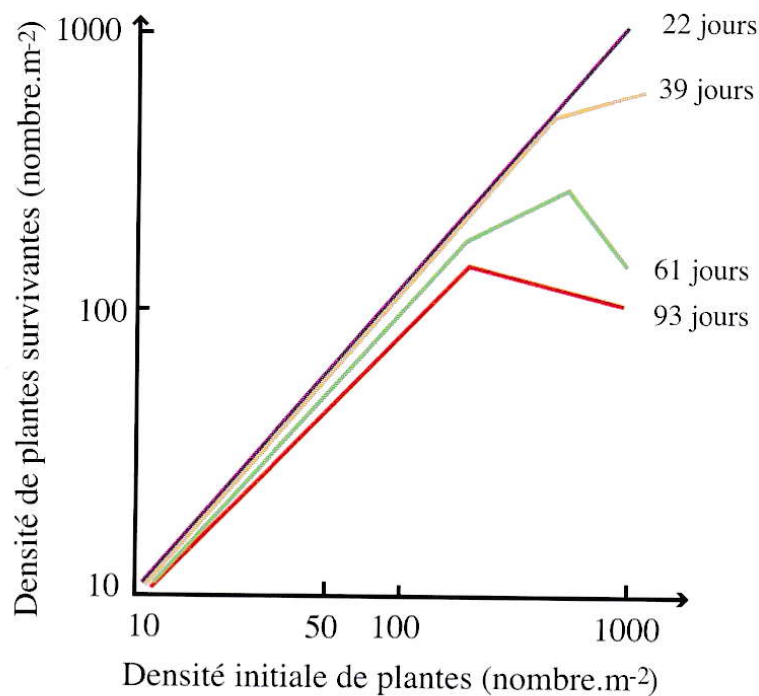


Figure 22 : Organisation d'une graine de haricot**Figure 23 : Effet de la densité des plants sur leur survie**
(Meyer et al., Maloine)

compétition intraspécifique dépendant de la densité d'un semis de soja

Après 61 ou 93 jours, la mortalité de plantules augmente à partir d'une certaine densité de semis initial. Il y a compensation de ce « sur-semis » par une mortalité plus importante. Les échelles sont logarithmiques.

Figure 24 : compétition interspécifique entre vesce et avoine (poacée)
(Ouknider et al., Agronomie 1991)

On étudie la croissance de deux espèces mises en culture simultanément : vesce et avoine (famille des poacées).

On mesure au cours du temps (dates en abscisses) les rendements en poids sec produits par la vesce et l'avoine en association et en culture pure. Les différentes courbes correspondent à des densités de culture différentes (8, 16, 24 ou 40 plants / pot).

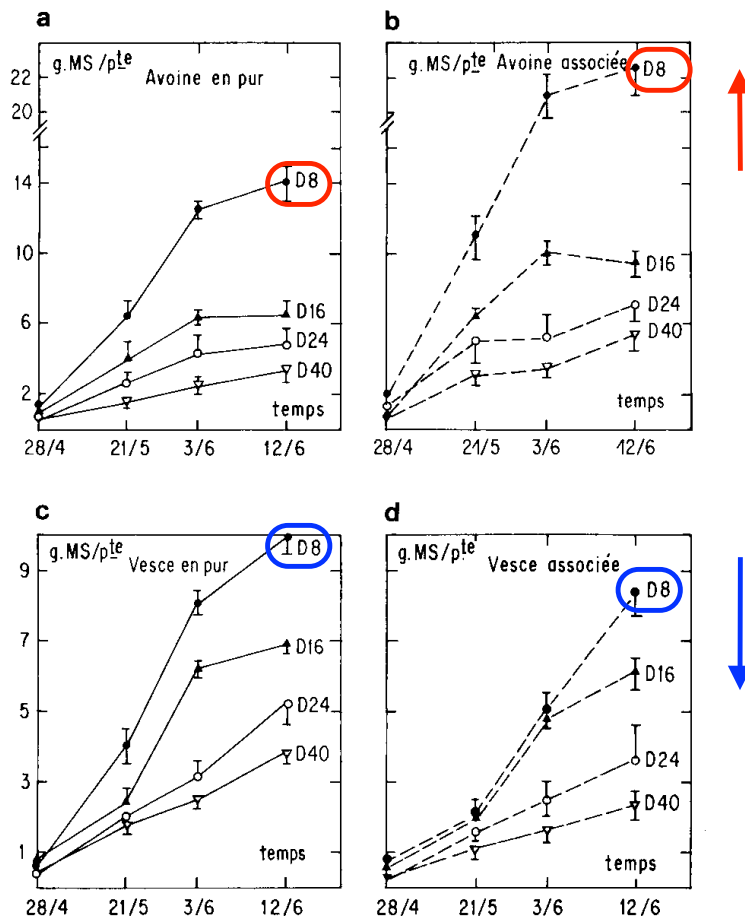


Fig 1. Évolution de la biomasse sèche par plante d'avoine (a et b) et de vesce (c et d). Variation avec la densité de peuplement et le mode de culture. — : culture pure; --- : association; D : densité totale en nombre de plantes/pot.

Interpréter les résultats :

Figure 25 : étude de l'effet des mycorhizes sur la croissance de l'acacia d'Australie
(Ouknider et al., Agronomie 1991)

On étudie l'effet de la mycorhization par deux champignons différents sur la croissance de l'acacia australien dans le cadre d'un projet de reboisement en Afrique de l'Ouest.
On étudie au bout de 2 ans la biomasse (bois et feuilles) ainsi la teneur en N et P.



Figure 3.
Effet de *Pisolithus albus* souche IR100 sur la croissance de *Acacia holosericea*
après 2 années de plantation.
Photo R. Duponnois

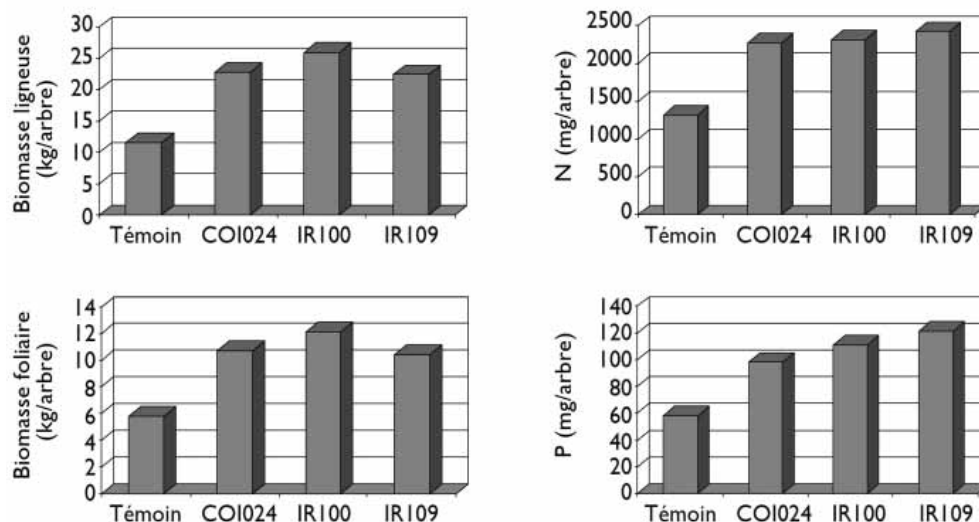


Figure 1.
Effet de l'inoculation ectomycorhizienne sur la croissance et la nutrition minérale
de *Acacia holosericea* après 2 années de plantation au Sénégal.
D'après Duponnois et al. (2005).
Souche COI024 : *Pisolithus albus* ;
Souche IR100 : *Pisolithus albus* ;
Souche IR109 : *Scleroderma dictyosporum*.

Figure 26 : composition des prairies permanentes et temporaires (fauchées ou pâturées)
(Leconte et al., Journées AFPF 2008)

Au cours des cinq dernières années, plus de trois cent inventaires botaniques ont été réalisés sur les prairies normandes. **Comparativement aux prairies permanentes** extensives (LECONTE *et al.*, 2002) observées sur 1 500 relevés phytosociologiques et 1 000 relevés agronomiques, et aux prairies permanentes semi-intensives (250 relevés récents : PP 2004 à 2007), **les prairies temporaires pâturées et mixtes ou fauchées présentent un couvert moins diversifié : peu d'espèces et beaucoup de fabacées** (tableau 1).

TABLEAU 1 – Participation des principales espèces au couvert végétal (PP : prairies permanentes, PT : temporaires).

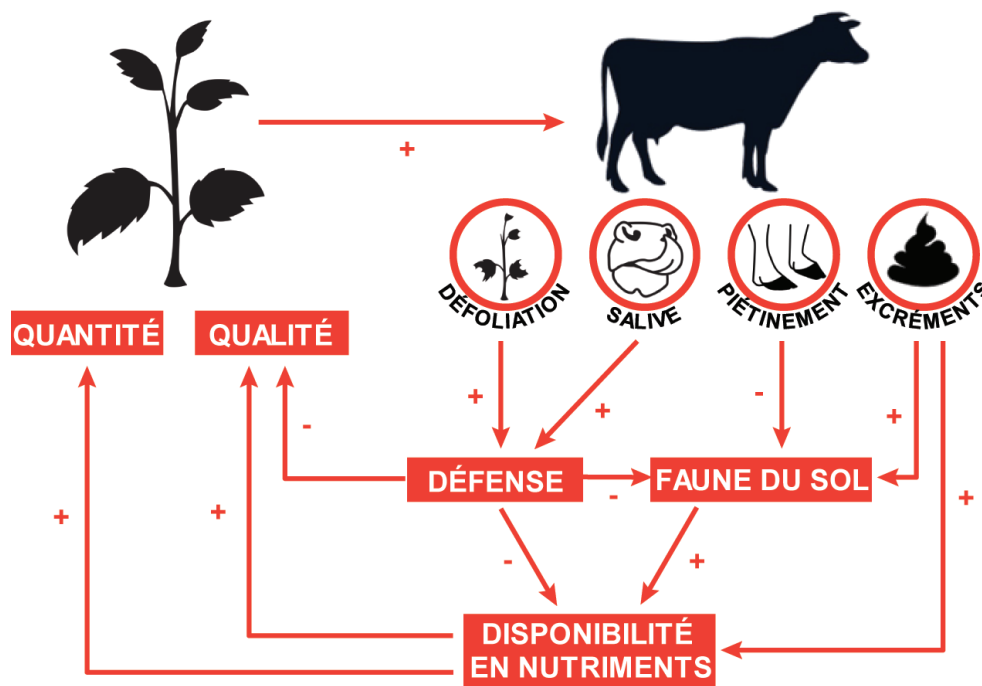
	Relevés phytosociologiques	Relevés agronomiques	Relevés PP 2004-2007	Relevés PT Pâture-mixte	Relevés PT Fauchée
Agrostides sp	7,7	11,6	14,4	7,3	0,6
Dactyle aggloméré	1,0	3,9	3,0	2,4	13,5
Fétuque élevée	0,5	0,4	0,4	1,1	6,1
Fléole des prés	0,5	2,8	1,4	0,7	1,4
Houlque laineuse	4,6	9,4	11,1	2,0	0,9
Pâturin commun	2,3	4,7	10,8	9,0	3,9
Ray-grass anglais	4,2	11,6	16,3	49,1	14,8
Ray-grass italien + RGH	0,1	0,5	0,3	0,1	8,1
Autres poacées	16,7	14,9	12,4	2,1	5,3
Total Poacées	37,6	59,8	69,9	73,7	54,7
Luzerne cultivée	0,0	0,0	0,0	0,0	11,4
Trèfle blanc	4,0	8,9	11,9	18,7	8,3
Trèfle violet	1,9	2,1	1,2	0,2	19,5
Autres fabacées	3,2	0,7	0,7	0,1	1,1
Total Fabacées	9,1	11,7	13,8	19,1	40,3
Pissenlit officinal	0,5	3,0	2,9	2,8	1,0
Rumex sp	0,3	1,8	0,6	0,9	1,3
Autres diverses	52,5	23,7	12,8	3,5	2,7
Total Diverses	53,3	28,5	16,3	7,2	5,0

Les fabacées sont dominées par le trèfle violet et la luzerne cultivée dans le cas des prairies de fauche, alors que, dans les prairies pâturées ou mixtes, le trèfle blanc domine. Ce dernier peut assurer une alimentation azotée satisfaisante des associations ou des mélanges lorsque les parcelles ne reçoivent qu'une fertilisation azotée modérée. Les fabacées secondaires (lotiers, luzerne lupuline, trèfles douteux et autres) se retrouvent rarement dans les prairies temporaires. Chétives à la levée, elles restent marginales et ne supportent pas la compétition sur les sols fertiles normands.

Figure 27 : réactions des plantes à l'herbivorie
(Lefebvre et Gallet., INRA Prod. Anim., 2017)

Figure 1. Schéma conceptuel résumant les processus par lesquels les grand herbivores peuvent affecter la quantité et la qualité des plantes, et les différents mécanismes d'action impliqués.

Le signe « + » ou « - » indique si l'effet d'un item vers un autre est positif ou négatif. Pour plus de clarté, seules les interactions principales et les effets majoritaires sont représentés.



Le pâturage a plusieurs conséquences sur la plante.

- **Défoliation** : il entraîne une perte de biomasse végétale aérienne qui peut entraîner la mort de la plante. Toutes les plantes ne sont pas consommées de la même façon (choix de l'herbivore) : ce processus de sélection d'espèces végétales par les herbivores peut, à long terme, être à l'origine d'un changement de composition floristique des communautés végétales, favorisant l'augmentation de l'abondance des plantes non-consommées par les herbivores ou de celles tolérant l'herbivorie.
- **Piétinement** : il a plusieurs effets directs ou indirects :
 - effets directs : destruction de tissus végétaux, pouvant conduire à la mort de la plante ou d'une partie de la plante + création de surfaces de sol nu, propice à l'établissement de graines.
 - effets indirects : compaction du sol qui peut modifier la porosité (et donc la disponibilité en eau), la disponibilité en nutriments, l'activité des micro-organismes du sol....
- **Dépôts d'excréments** : ils sont riches en macronutriments, principalement en azote et potassium mais aussi en phosphore, calcium et magnésium donc un effet positif. Remarque : l'utilisation de traitements antiparasitaires dans les troupeaux entraîne une absence de colonisation des bouses par des micro-organismes, qui ne sont donc pas décomposées (donc pas de nutriments pour les plantes et des zones recouvertes en permanence qui inhibe la croissance des jeunes plants).

Figure 28 : parasitisme lié au puceron vert du pois (*Acyrtosiphon pisum*)
(Lefebvre et Gallet, INRA Prod. Anim., 2017)



(wikipedia)

Puceron femelle en cours d'extraction de sève élaborée grâce à son stylet



La coccinelle à 7 points consomme entre 100 à 2000 pucerons / jour.
(www.monaconatureencyclopedia.com)

- Cycle de vie du puceron

Le puceron vert du pois est spécifique à la famille des Fabaceae, sauvages ou cultivées, c'est-à-dire qu'il réalise intégralement son cycle sur des fabacées. Ce cycle comprend 3 phases :

- **de février à mai** : ces pucerons réalisent une intense **reproduction asexuée** (parthénogenèse). Les femelles fondatrices qui sortent des œufs atteignent la maturité sexuelle au bout de 8 à 10 jours (elles ont déjà des œufs dans leur abdomen à la naissance). Elles commencent alors à mettre bas des larves qui sont identiques entre elles et identiques à leur mère. Chaque femelle est capable de donner naissance à une colonie de 150 larves, qui seront capables de faire de même une dizaine de jours plus tard, ce qui explique les **pullulations** de pucerons lorsque les conditions climatiques sont bonnes et que les prédateurs manquent.
- **de mai à fin juin** : des **femelles ailées** apparaissent dès que les ressources en sève ne sont plus suffisantes. Elles colonisent un nouvel hôte (toujours de la famille des Fabacées) et produisent à leur tour de nombreuses larves non ailées par parthénogenèse.
- **automne** : des individus ailés des deux sexes apparaissent : une **reproduction sexuée** a alors lieu. Les femelles fécondées pondront chacune quelques œufs. Ces œufs seront les seuls à pouvoir passer l'hiver ; les individus adultes et les larves mourront.

- Conséquence du parasitisme sur la plante :

Le puceron vert du pois provoque des dégâts directs et indirects :

- **dégâts directs** dus aux prélèvements de sève. Le puceron possède un stylet qui lui permet de prélever directement de la sève élaborée. Ce prélèvement entraîne un avortement des fleurs, une diminution du poids des graines et du nombre de gousses.
- **dégâts indirects** : ce puceron transmet plus de 30 virus (mosaïque du haricot (BCMV), mosaïque jaune du haricot (BYMV), mosaïque du concombre (CMV), etc...).
- Lutte biologique : le puceron vert a des prédateurs naturels comme la coccinelle à 7 et 11 points

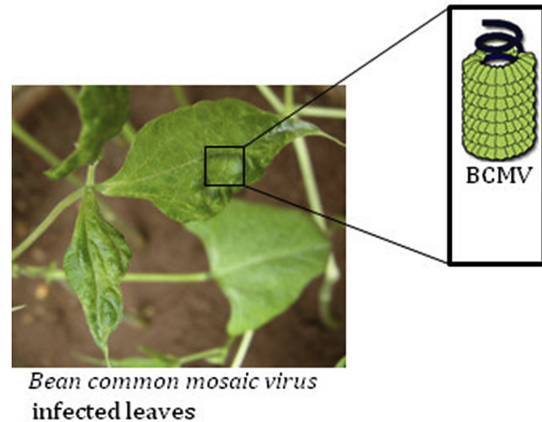
La coccinelle à 7 points est la plus répandue (sur 129 espèces en France) : elle est identifiable à sa forme ovale presque ronde et ses sept points noirs sur fond orange à rouge. Elle se nourrit de pucerons. Des expériences ont montré que des larves de coccinelle pouvaient consommer **une centaine à un millier de pucerons** par jour et l'adulte de cent à deux cents larves. Cette coccinelle fait l'objet d'élevages destinés à la lutte biologique.

Figure 29 : parasitisme lié à un virus : le BCMV
(Bean common mosaic virus = Mosaïque commune du haricot)

Symptôme sur les feuilles de haricot
 (<http://ephytia.inra.fr/>)



Structure du virus (Kumar et al., Plant Physiology and Biochemistry, 2020)



Mise en évidence de la présence du virus dans les plants infectés par RT-PCR (Usta et Güller, Türk Tarım ve Doğa Bilimleri Dergisi, 2020)

test RT-PCR : on vérifie la présence d'ARN du virus dans la feuille

For 20 specimens collected, the RT-PCR test was run to multiply the nucleotide sequence encompassing the CP gene from BCMV using pairs of primers. In experimental trials, eleven bean specimens reacted positive results by revealing single amplified about 850 bp band, corresponding

to CP gene fragments of BCMV. This band was utilized for all subsequent cloning studies. No band was generated from healthy plant tissue and remained nine specimens (Fig 2), namely the BCMV-free.

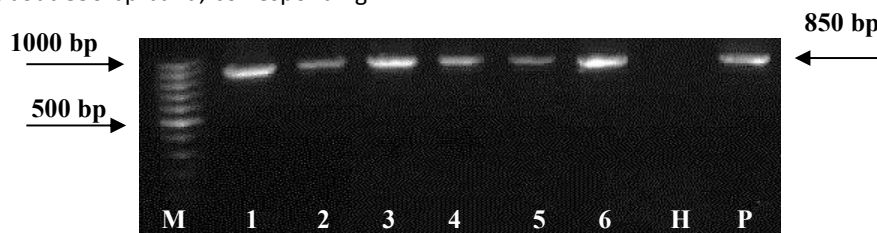


Figure 2. The pattern of RT-PCR yields of the capsid protein (CP) genes of BCMV from independently bean leaves using appropriate primer pairs, after electrophoresis, in a 1.0% agarose gel. Row M: 1 kb DNA marker, Row 1-6: BCMV isolate, Row H: Healthy bean control, Row P: BCMV- positive control.

Figure 30 : stratégies de défense des plantes face à l'herbivorie
(Thèse Lefebvre, 2017)

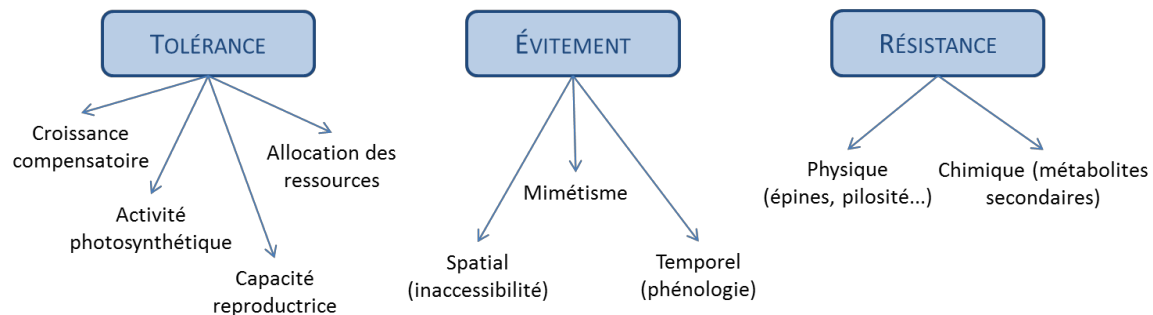


FIGURE 2 : Schéma des trois stratégies de défense des plantes contre l'herbivorie et principaux mécanismes mis en œuvre

Quelques stratégies de résistance chez les fabacées (pour votre culture générale)

a. Les défenses directes

Ces stratégies de résistance peuvent être :

- **constitutives** : elles correspondent à des traits toujours exprimés
- **induites** : la réponse fait suite à l'activité d'un herbivore et permet de réduire la probabilité d'une **attaque** ultérieure

La limite entre les deux est floue puisque la concentration de nombreuses molécules constitutives peut augmenter suite à l'attaque d'herbivores.

Défenses morpho-anatomiques :

Ce sont des structures qui retardent ou empêchent les herbivores de consommer le végétal :

- présence **d'épines** comme chez le genêt épineux. La densité des épines peut augmenter sous l'effet de l'herbivorerie.
- **cuticule** présente à la surface des limbes → + coriaces et moins appétants car moins verts (réflexion de la lumière). La cuticule forme également une barrière mécanique contre les pucerons.

• Défenses chimiques :

Ces mécanismes de défense reposent essentiellement sur des **métabolites secondaires** : des molécules sans rôle direct sur la croissance, la nutrition et le développement de la plante.

Ces molécules ont un rôle **répulsif** ou **toxique** en agissant **spécifiquement** sur certains organes des herbivores : système nerveux, digestif ou respiratoire.

- molécules **répulsives** : exemple de molécules présentes dans la paroi et qui confèrent un goût amer, astringent (tanins), piquant...
- molécules **toxiques** : exemple des composés phénoliques comme les tanins qui forment des complexes avec les protéines des plantes ou les enzymes du système digestif et rendent la plante beaucoup moins digeste. Il existe une très **grande diversité de molécules toxiques chez les fabacées** (protéines, acides aminés, molécules azotées...) aux effets très divers (organes cibles et degré de toxicité). Par exemple, le pois carré, *lathyrus sativus*, produit un tanin (oxalyldiaminopropionique) qui bloque l'action d'un neurotransmetteur = le glutamate (par inhibition compétitive). Au cours de la guerre civile en Espagne, ce pois a été consommé pendant les périodes de disette : les personnes et le bétail ont été atteints de paralysie et de faiblesse générale conduisant à terme à la mort.

Remarques :

- rôle du **microbiote** de la **vache** qui détoxifie les alcaloïdes
- molécules toxiques utilisées en **pharmacie** : exemple de la physostigmine ou éserine, alcaloïde de la fève de Calabar tropicale (*Physostigma venenosum*) qui est un inhibiteur des cholinestérases et est utilisée dans le traitement de la démence de type Alzheimer en freinant la dégradation des fonctions cognitives
- effets **bénéfiques des tanins** : il a été montré que les tanins (en faible %) ont des effets bénéfiques sur les ruminants : croissance, lactation, qualité de la laine, diminution des émissions de CH₄ etc... les tourteaux utilisés en élevage sont complémentés en tanin! Cet effet met en jeu 5 mécanismes :
 - les tanins limitent la digestion de certaines protéines par le microbiote du rumen : ces protéines seront assimilées par le ruminant lui même dans l'intestin grêle (augmente les aa essentiels absorbés)
 - les tanins limitent la prolifération des micro-organismes dans le rumen : préservation des certains AG disponibles pour le ruminant
 - les tanins limitent la population d'archées méthanogènes : une dose ajustée de tanin permet de limiter jusqu'à 50% des émissions de méthane!
 - les tanins inhibent la formation de mousse dans le rumen, mousse qui limite l'eructation (et qui repose sur la présence de polymères végétaux) et provoque la météorisation (rôle bénéfique du sainfoin)
 - les tanins jouent un rôle antiparasitaire (sainfoin par ex)

De nombreuses molécules sont produites **suite à une attaque** d'herbivores comme le montre l'**exemple des kudus et acacias en Afrique du sud**. Dans les années 1980, dans la province sud-africaine du Transvaal, plusieurs ranches sont touchés par une mortalité anormale des grands koudous (*Tragelaphus strepsiceros*), des antilopes élevées pour la chasse. Après autopsie, les scientifiques réalisent que ces koudous sont morts de faim, alors que, paradoxalement, leur estomac est rempli de feuilles d'acacia. Le décès est en fait dû à la forte teneur en tanins de ces feuilles, qui a inhibé leur digestion. Les acacias, en réponse à l'herbivorie, ont augmenté en quelques minutes la concentration en tanins dans leurs feuilles jusqu'à des niveaux létaux.

D'une façon générale, une blessure entraîne une induction à $\neq$ échelles :

- échelle du tissu : un signal d'alarme = une protéine est émise par la cellule blessée $\rightarrow$ cascade de réactions $\rightarrow$ synthèse de molécules de défense $\rightarrow$ formation d'un « halo » protecteur autour de la cellule infectée (d'où la relative régularité des blessures provoquées par un insecte herbivore)
- échelle de l'organisme : la concentration en molécules défensives augmente dans les cellules non attaquées = réponse systémique
- échelle des populations : les plantes attaquées émettent des signaux comme de l'éthylène qui induit la synthèse de molécules de défenses chez les plantes de la même espèce voisines (exemple des kudus)

b. Les défenses indirectes

Certaines plantes se défendent en agissant sur les prédateurs des herbivores.

- Exemple d'un mutualisme avec des fourmis : cas de l'**acacia corne de boeuf** (*Vachellia cornigera* en Amérique centrale)

Cet arbre vit en **mutualisme avec des fourmis** (*Pseudomyrmex ferrugineus*):

- l'acacia offre du nectar (nectaires extra-floraux) et des petites excroissances riches en protéines et lipides
- les fourmis attaquent les herbivores

La réalité est un petit peu plus complexe : en réalité, les fourmis ne peuvent plus quitter l'acacia si elles boivent une seule goutte de son nectar! Pourquoi?

- le nectar contient une molécule qui inhibe la production de l'enzyme qui permet l'hydrolyse du saccharose (= invertase), sucre naturel du nectar. Cette inhibition est irréversible.
- il ne contient pas de saccharose mais uniquement du glucose et du fructose (= produits de l'hydrolyse du saccharose)

Les fourmis ne peuvent donc plus quitter l'arbre : les chercheurs parlent de manipulation. S'agit-il d'un cas de mutualisme ou est-ce que l'acacia exploite les fourmis?



Rameau d'Acacia (*Acacia cornigera*) sur lequel on distingue des piquants renflés qui repoussent d'éventuels herbivores tout en servant d'abri pour les colonies de fourmis symbiontes de l'espèce *Pseudomyrmex ferruginea*, on parle de domaties. Les nectaires extra floraux sont également visibles sur les tiges en amont de l'insertion des feuilles. Ils prennent la forme de petits renflements qui sécrètent un liquide sucré riche en glucose et fructose. Enfin, les corps beltiens, structures jaunes à l'extrémité des folioles sont riches en lipides et en protéines et sont également consommés par les fourmis. (Photo : [Stan Shebs](#))

- Exemple de la vesce cultivée : cette vesce produit du nectar au niveau de nectaires extra floraux (extrémités des stipules). Ce nectar est consommé par des fourmis qui les protègent des herbivores.

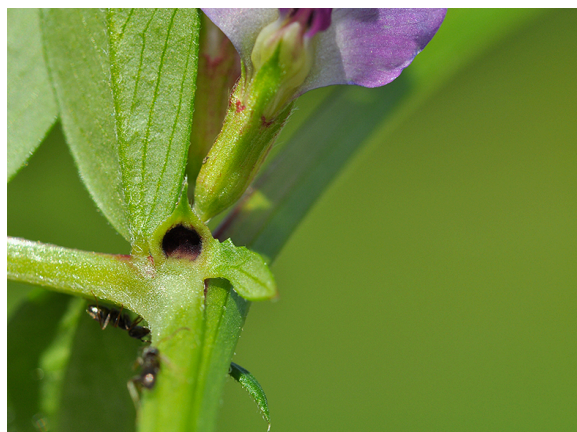


Figure 31 : THG entre une plante et un insecte
(Youjun Zhang et al, Cell, 2021)

L'**aleurode du tabac** (*Bemisia tabaci*) est un hémiptère qui ressemble à une petite mouche blanche et qui se nourrit comme les pucerons de la sève élaborée des plantes : il parasite plus de 540 espèces de plantes potagères comme le haricot et est responsable de pertes de rendement annuel très importantes. Une des raisons de ce pouvoir destructeur a été découvert en 2021 : cet insecte possède un gène (BtPmaT1) qui neutralise les molécules de défenses émises par la plante (glycosides phénoliques). Ce gène n'est pas présent dans le règne animal mais est bien présent chez les végétaux : la protéine issue de ce gène permet aux plantes de ne pas s'intoxiquer avec les toxines qu'elles produisent. Il y a donc eu un **THG entre une plante et cet insecte**, sans doute grâce à un **virus** et il ya des **millions d'années**.

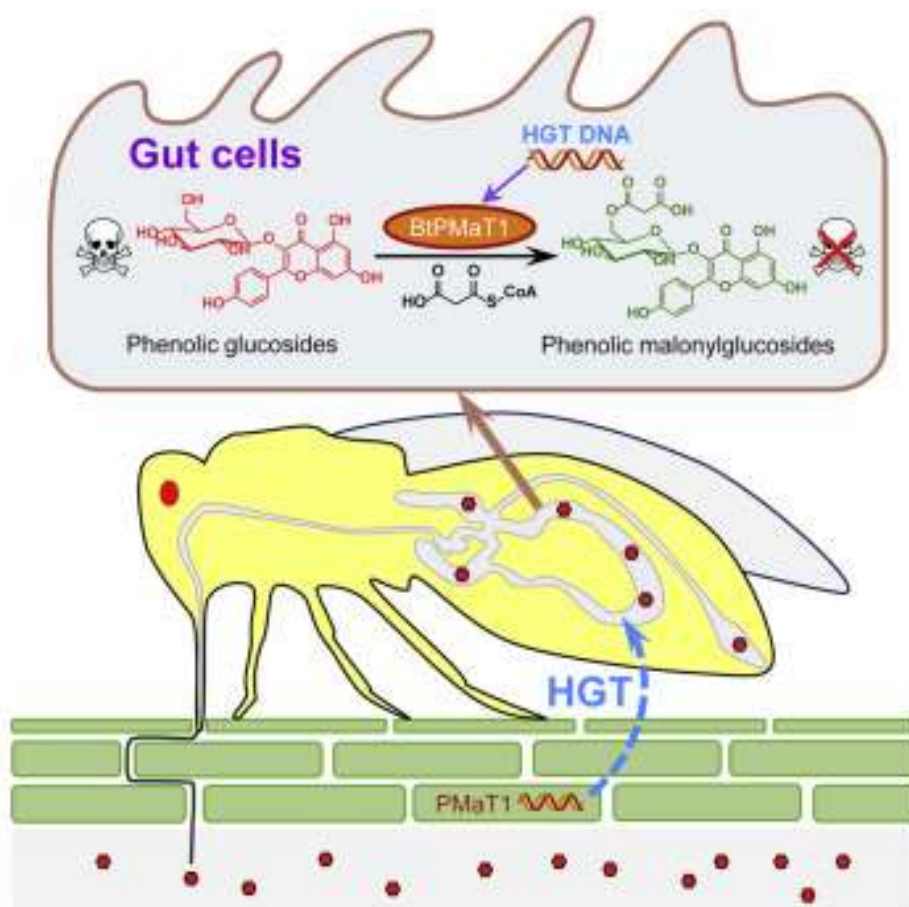


Figure 32 : Schéma bilan des interactions entre la plante et son environnement

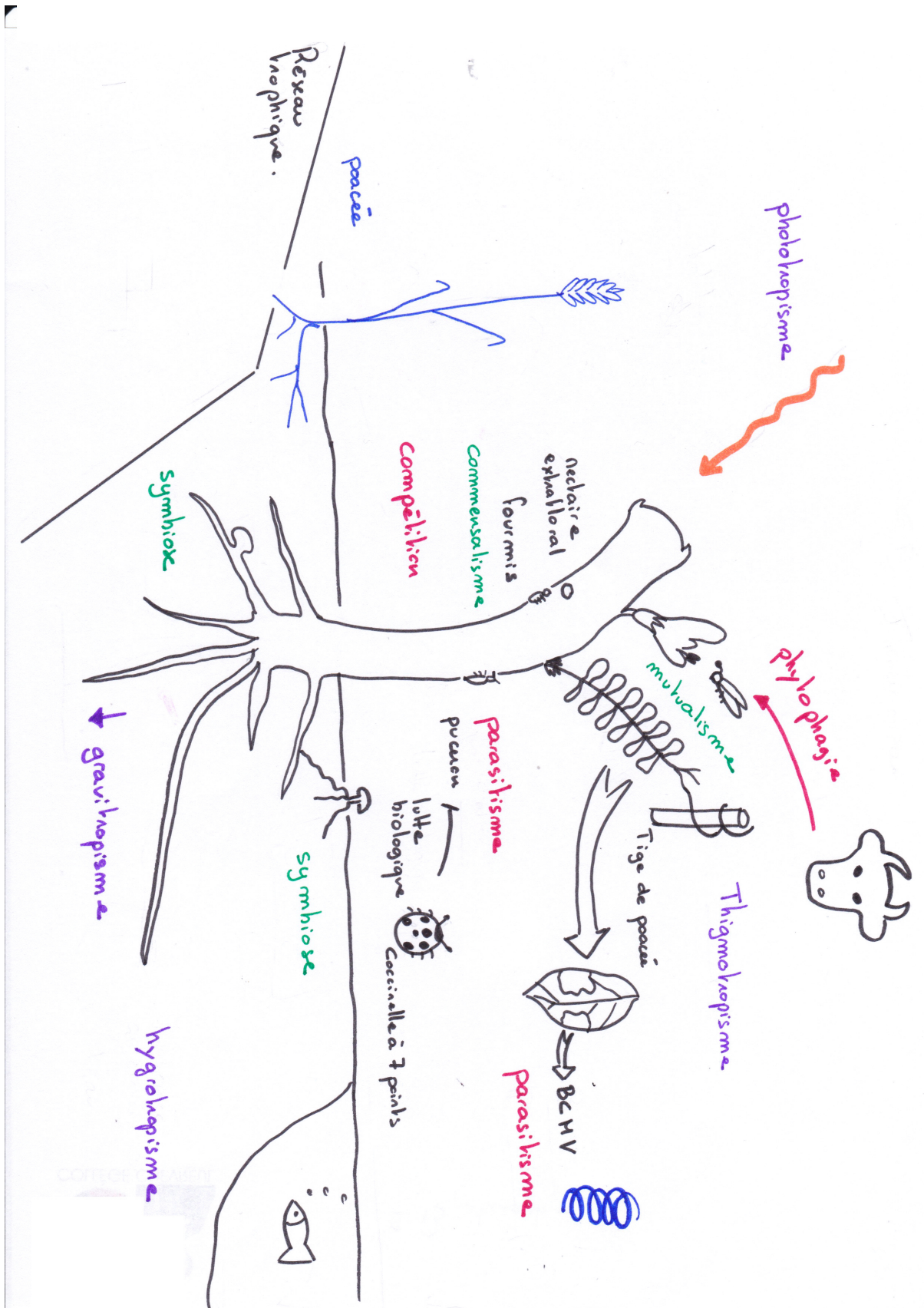
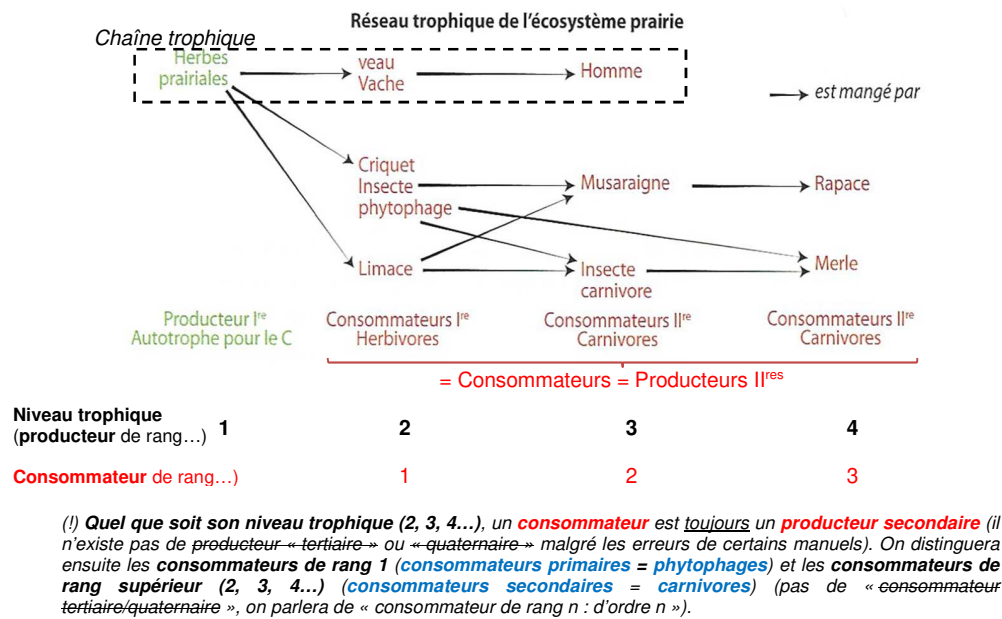
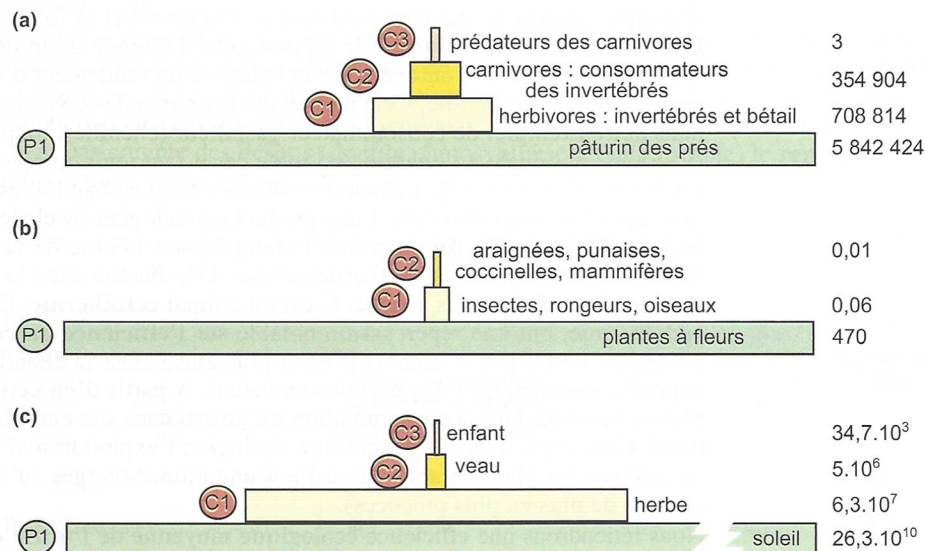


Figure 33 : Exemple de réseau trophique

▲ **Quelques relations interspécifiques dans la prairie.**
D'après SAINTPIERRE et al. (2017), modifié / corrigé.

Figure 34 : Exemple de pyramide

- **Niveau trophique** : rang qu'occupe une espèce dans une chaîne trophique.
- **Pyramide trophique** : représentation pyramidale et proportionnelle de l'effectif (**pyramide des nombres** = d'effectifs), de la biomasse (= **pyramide de biomasses**) ou des énergies (**pyramide des énergies**) contenus dans chaque niveau trophique d'une chaîne alimentaire.



Exemples de pyramides écologiques (D'après Odum 1976 et 1971).

(a) Pyramide des nombres dans une prairie nord-américaine à *Poa pratensis* (le nombre de producteurs correspond à celui de pieds de pâturin) ; (b) pyramides des biomasses dans un champ abandonné de Géorgie (en g.m⁻².an⁻¹) ; (c) pyramides des énergies « herbe-veau-enfant » en kJ.an⁻¹ et pour une surface de 10 acres américains (soit 40 470 m²).

▲ **Pyramides écologiques.** D'après PEYCRU et al. (2014).

Figure 35 : différentes utilisations des fabacées par l'Homme

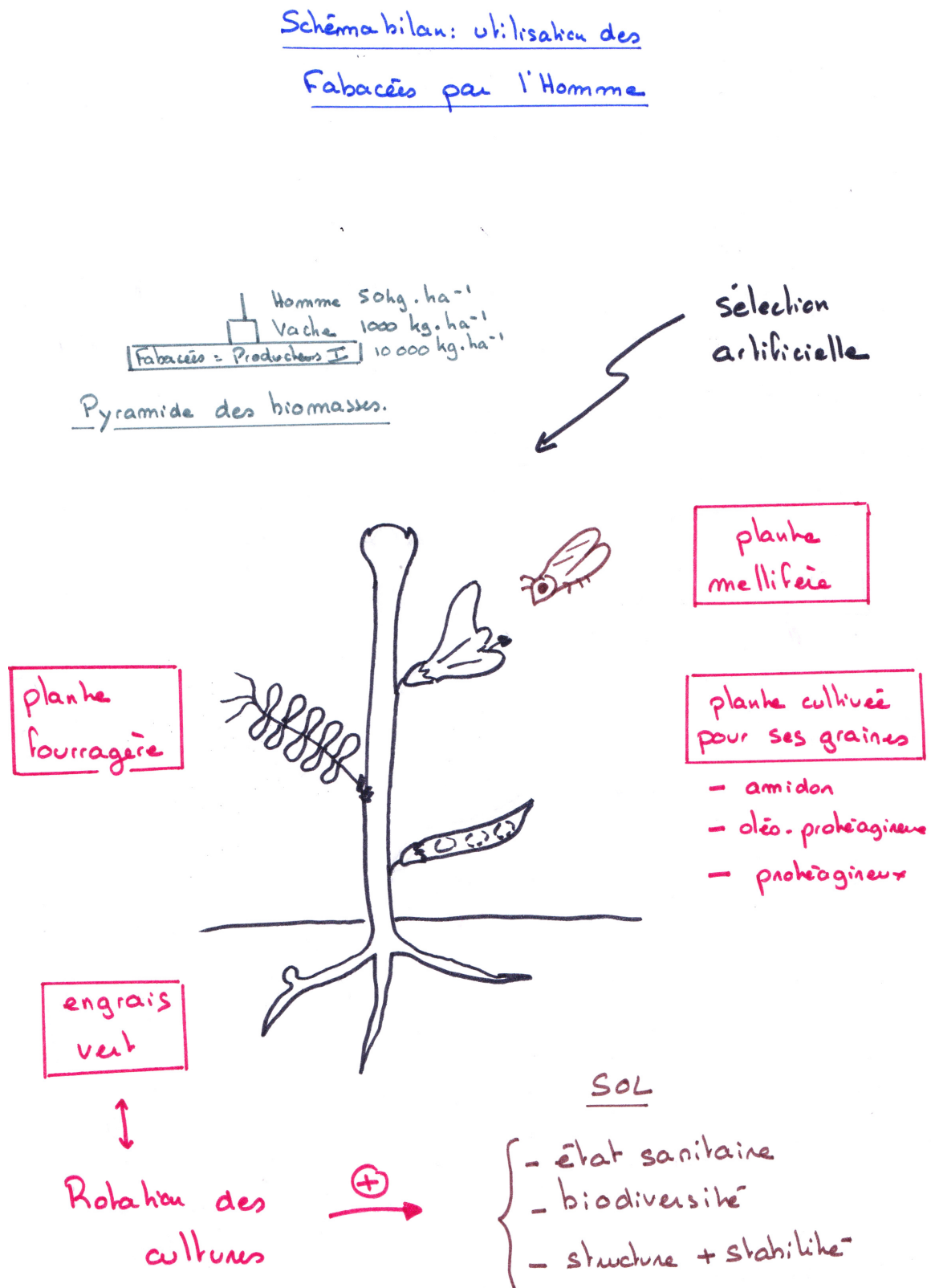


Figure 36 : Composition nutritionnelle de quelques graines de légumineuses, par rapport à des aliments de référence (féculent, viande, lait).

(Rémond et Walrand, Innovations agronomiques 2017)

	pour 100 g	Energie kcal	Protéines g	Lipides g	Glucides g	Fibres g	Fer mg	Zinc mg	Calcium mg
Haricot blanc	sec	333	23.4	0.9	60.3	15.2	10.40	3.67	240
	cuit	139	9.7	0.4	25.1	6.3	3.70	1.38	90
Lentilles	sec	352	24.6	1.1	63.4	10.7	6.51	3.27	35
	cuit	116	9.0	0.4	20.1	7.9	3.33	1.27	19
Pois chiche	sec	378	20.5	6.0	63.0	12.2	4.31	2.76	57
	cuit	164	8.9	2.6	27.4	7.6	2.89	1.53	49
Pois cassé	sec	352	23.8	1.2	63.7	15.5	4.82	3.55	37
	cuit	118	8.3	0.4	21.1	8.3	1.29	1.00	14
Fêve	sec	341	26.1	1.5	58.3	25	6.70	3.14	103
	cuit	110	7.6	0.4	19.7	5.4	1.50	1.01	36
Cornille	sec	336	23.5	1.3	60.0	10.6	8.27	3.37	110
	cuit	116	7.7	0.5	20.8	6.5	2.51	1.29	24
Lupin	sec	371	36.2	9.7	40.4	18.9	4.36	4.75	176
	cuit	119	15.6	2.9	9.9	2.8	1.20	1.38	51
Soja	sec	446	36.5	19.9	30.2	9.3	15.70	4.89	277
	Tofu	61	7.2	3.7	1.2	0.2	1.11	0.64	111
Riz	cuit	130	2.7	0.3	28.2	0.4	1.20	0.49	10
Pâtes	cuit	158	5.8	0.9	30.9	1.8	0.50	0.51	7
Viande (bifteck)	cuit	142	26.4	4.1	-	-	2.90	5.60	-
Lait entier, 1 verre	25 cl	157	8.1	8.4	12.3	-	0.07	0.95	292

