Document téléchargeable sur le site
https://www.svt-tanguy-jean.com/

EPLEFPA Dijon Quetigny Plombières-lès-Dijon
Site de Quetigny (21) • LEGTA Olivier de Serres
Classe préparatoire ATS (Adaptation Technicien Supérieur) Biologie
Préparation des Concours agronomiques et vétérinaires (voie C)

ENSEIGNEMENT DE BIOLOGIE • TRAVAUX PRATIQUES
Partie B. L'organisme dans son milieu : exemple de la nutrition

TP B3-B8-B9

Quelques adaptations de l'appareil végétatif et des semences chez les Angiospermes

Objectifs : extraits du programme

TP B3 : Les structures de collecte de l'énergie lumineuse des plantes en C3 et en C4 (3hx [TP A1])	Observer la morphologie et l'anatomie des feuilles d'Angiospermes (C3 et C4). Observer les chloroplastes, isoler les pigments assimilateurs par chromatographie sur papier et caractériser le spectre d'absorption total.
TP B8 : Les organes de la mise en réserve chez les Angiospermes (2h x [TP C4])	Étudier les organes végétatifs et reproducteurs qui permettent le passage de la mauvaise saison et la reprise de la vie végétative (tubercules, bulbes et rhizomes, graine de haricot, caryopse de blé).
TP B9 : Les adaptations à la sécheresse chez les Angiospermes (1h)	Observer des coupes de feuilles d'Aloès, d'Oyat, de Laurier rose.

Introduction

Ce TP regroupe en réalité trois TP du programme :

- Le **TP B3** consacré aux **dispositifs de collecte de l'énergie lumineuse des Angiospermes**, c'est-à-dire les **feuilles** et – en leur sein – les **pigments assimilateurs**. Notons toutefois que les tiges herbacées et les parties vertes de rameaux feuillées réalisent aussi la photosynthèse.
- Le **TP B8** consacré aux **organes de mise en réserve** – aussi bien les **graines** que les **organes végétatifs**.
- Le **TP B9** consacré aux **adaptations à la sécheresse chez les Angiospermes**, là encore surtout envisagées chez les **feuilles**.

*Les **liens** avec les **chapitres de cours** sont bien sûr à opérer et nombre d'aspects évoqués ici ne seront pas repris intégralement dans le cours, ou à l'inverse ne peuvent être compris qu'au moyen du cours.*

Comment les feuilles permettent-elles la captation de lumière ? Comment les Angiospermes mettent-elles en réserve des molécules organiques ? Comment les Angiospermes s'adaptent-elle aux milieux pauvres en eau (milieux secs) ?

I. Les feuilles et les pigments assimilateurs, structures adaptées à la captation de lumière (TP B3)

A. Étude morphologique des feuilles et de leur disposition sur la tige (phyllotaxie)

Les feuilles des angiospermes sont des organes aplatis à **symétrie bilatérale**, intervenant dans l'assimilation chlorophyllienne et les échanges gazeux avec l'atmosphère. Leur durée de vie varie entre quelques mois et quelques années.

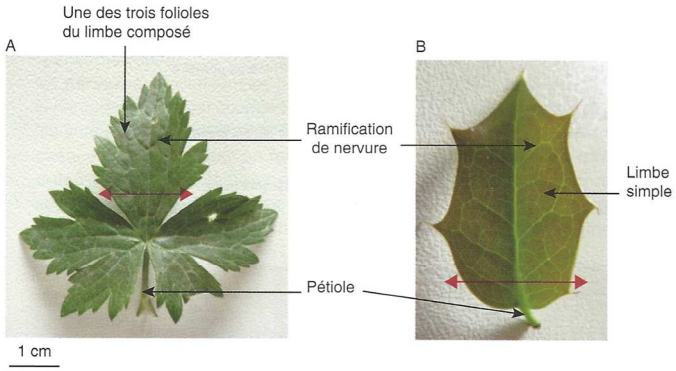


Figure a
A. Feuilles de renoncule
B. Feuilles de houx

Le limbe de la feuille de houx est simple, celui de la renoncule est composé de folioles grossièrement dentées.

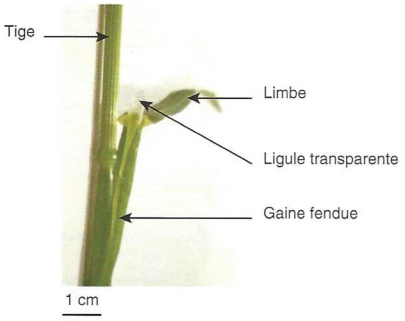


Figure TP b
Feuille de dactyle

La feuille a été tirée vers la droite de façon à dégager la gaine qui entoure normalement la tige.

Les feuilles (figure TP a) comportent un **limbe** relié à la tige par un **pétiole** portant parfois de part et d'autre de la tige deux **stipules** (petites lames foliacées). Les nervures sont très ramifiées et la **nervation** (disposition relative des nervures) est donc rarement parallèle. Le limbe peut être :

- **simple** (cas classique, avec ou sans stipules).
- **composé** (plusieurs limbes élémentaires appelés **folioles**, les stipules et le bourgeon axillaire se situant à la base de la feuille entière).

La feuille de dactyle est **sessile** (sans pétiole), possède un limbe rubané (en ruban) à nervation **parallèle** (figure TP b). Les gaines, très développées et souvent fendues, sont emboîtées les unes dans les autres et portent une **ligule** transparente.

FIGURE 1. Morphologie des feuilles. D'après SEGARRA *et al.* (2015).

Encadré A Les feuilles et la phyllotaxie : une vue d'ensemble

D'après GODINOT *et al. (2010) [Numérotation originelle des figures conservée]*

Quelles sont les caractéristiques générales des feuilles ?

Une feuille comporte typiquement un limbe, un pétiole, des stipules et un ou plusieurs bourgeons axillaires (*cf.* Fig. 6). Elle a une croissance définie dans le temps (ce n'est pas un organe pérenne). Le *limbe* est une lame chlorophyllienne aplatie de forme très variée et parcourue de nervures dont la disposition est également variable d'une plante à l'autre. Le *pétiole* est l'intermédiaire entre la tige et le *limbe. Les stipules* sont de petits appendices verts et membraneux présents à la base du pétiole (ex. pois), mais qui sont absents ou réduits chez de nombreuses espèces.

Quelles sont les caractéristiques des feuilles de Monocotylédones ?

Les feuilles de Monocotylédones (Fig. 4) présentent moins de diversité que celles des Dicotylédones. Elles présentent généralement un *limbe entier* (Fig. 7) à *nervation parallèle* et leur *base engainante* est insérée au niveau d'un nœud de la tige. Elles n'ont pas de pétiole (feuilles *sessiles*).

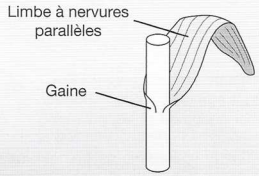


Figure 4
Feuille de Monocotylédone (ex. tulipe).

Savoir décrire les feuilles de Dicotylédones

Conseils méthodologiques

La morphologie des feuilles est l'un des critères retenus pour l'identification des espèces de Dicotylédones. Pour décrire une feuille de Dicotylédone, six critères sont à prendre en compte.

- **La disposition des feuilles sur la tige** (*phyllotaxie*, Fig. 5) : selon le nombre de feuilles par nœud, on distingue les *feuilles alternes* (une seule feuille par nœud, ex. orme), *opposées* (deux feuilles par nœud, ex. troène), *opposées décussées* (deux feuilles par nœud et angle de 90° d'un nœud à l'autre, ex. lilas) ou *verticillées* (au moins trois feuilles par nœud, ex. gaillet).

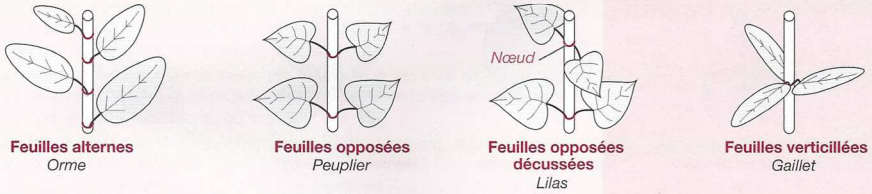


Figure 5
Arrangement des feuilles de Dicotylédones sur les tiges.

- **Le pétiole** : on distingue les feuilles *pétiolées* (présence d'un pétiole, ex. aulne) des feuilles *sessiles* (absence de pétiole, ex. chêne). Le pétiole peut éventuellement être engainant. Observez également la présence ou l'absence de *stipules*.
- **Une éventuelle subdivision du limbe** (Fig. 6) : on distingue les feuilles simples (limbe d'un seul tenant) des feuilles composées (limbe découpé en *folioles* autour d'une nervure principale, le *rachis*).

Ne confondez pas *feuille* et *foliole*. Pour les distinguer, repérez s'il y a ou non des bourgeons axillaires à la base des feuilles : seules les feuilles en possèdent.

Le pétiolule est le pétiole particulier de chaque foliole d'une feuille composée.

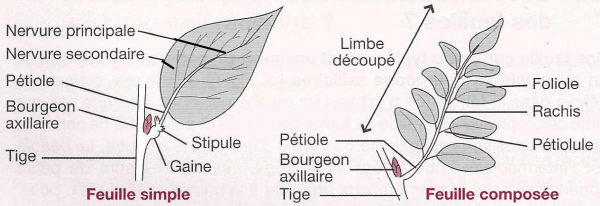


Figure 6
Morphologie d'une feuille simple et d'une feuille composée de Dicotylédones.

- **Les bords du limbe** (Fig. 7) : on distingue les limbes *entiers* (bords lisses), *dentés*, *lobés* ou *découpés*.

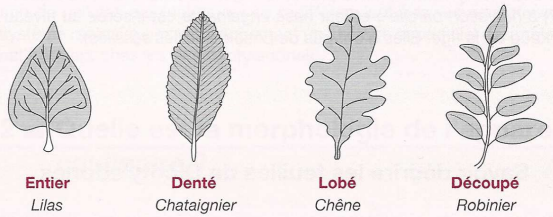


Figure 7
Les différents types de limbe de Dicotylédones.

Attention, il existe également quelques Dicotylédones présentant une nervation parallèle, comme le plantain par exemple (Fig. 8).

- **La nervation** (disposition des nervures sur le limbe, Fig. 8) : on distingue les feuilles à nervation *pennée* (nervures secondaires disposées de part et d'autre de la nervure principale), *palmée* (toutes les nervures partent de l'extrémité du pétiole) ou *pédalée* (trois nervures partent de l'extrémité du pétiole et portent des nervures latérales orientées vers la base de la feuille).

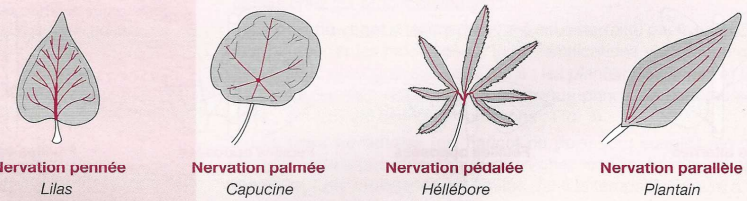


Figure 8
Les différents types de nervation des feuilles de Dicotylédones.

- **Les éventuelles particularités** : repérez également la présence de *poils*, d'une *couleur particulière*, d'*épaississements*, de *vrilles* (organes permettant l'accrochage des plantes grimpantes à leur support ; ex. pois)…

Comment l'observation de feuilles nous renseigne-t-elle sur leur organisation ?

Activité 1. Observation macroscopique de feuilles

Savoirs à construire	Vocabulaire descriptif des feuilles et de la phyllotaxie

Savoir-faire sollicités	Capacité ou attitude visée	Évaluation
	Analyser, observer et raisonner	

Travail à faire

Observation des feuilles, tiges feuillées et rameaux disponibles au moment de l'étude.

Pistes de réflexion et d'exploitation

- *À partir des informations données dans le texte de la figure 1 et de l'encadré A, **appliquez** le **vocabulaire** présenté aux feuilles observées.*
- ***Complétez** les clichés de la figure 1.*

B. Étude anatomique et histologique des feuilles

1. Éléments descriptifs

(!) On parle aussi de mésophylle chez les Eudicotylédones !

La symétrie bilatérale apparaît évidente, notamment dans la disposition des tissus conducteurs.

Les feuilles de renoncule et de houx montrent des points communs :

- deux types de **parenchymes** superposés : un parenchyme **lacuneux** vers la face dorsale et un parenchyme **palissadique** vers la face ventrale ;
- des **épidermes** au contact de l'air : ils sont formés d'une seule couche de cellules surmontée d'une cuticule imperméable. Ils permettent aussi de repérer les deux faces, l'épiderme dorsal contenant classiquement bien plus de **stomates** que l'épiderme ventral ;
- les **nervures** contiennent les tissus conducteurs ; la nervure majeure est coupée **transversalement**, les autres **obliquement** (d'où un aspect flou) ;
- chaque nervure contient un **faisceau cribrovasculaire** formé de xylème et phloème primaires superposés. Le xylème primaire est à **différenciation ventro-dorsale** (trachéides vers la face ventrale) ; le phloème primaire est à différenciation dorso-ventrale.
- les gros faisceaux cribrovasculaires sont entourés d'un manchon plus ou moins continu de **sclérenchyme**, tissu de soutien à parois épaisses et lignifiées.

La feuille de houx possède une **cuticule ventrale beaucoup plus épaisse** que la feuille de renoncule, ce qui constitue une protection efficace contre les pertes en eau. Survivant plusieurs années, elle contient des **tissus conducteurs secondaires** au niveau des plus grosses nervures.

Chez le muguet et le maïs, la nervation parallèle fait que tous les faisceaux cribrovasculaires sont coupés transversalement, il n'y a jamais de tissu secondaire, les stomates sont répartis sur les deux faces, le parenchyme est homogène et est appelé **mésophylle**. Chez les **poacées à métabolisme en C4** (maïs par exemple), les faisceaux cribrovasculaires sont entourés de cellules spécifiques, plus grandes et à chloroplastes agranaires, formant des **gaines périvasculaires**.

D'après SEGARRA et al. (2015)

2. Caractères diagnostiques principaux

- En **coupe transversale**, un ***organe à symétrie bilatérale*** est une **feuille**.
- Si l'organe a une ***section ronde***, c'est un **pétiole** (ou éventuellement un **pétiolule** ou un **rachis**) ; s'il est ***aplati***, c'est un **limbe**.
- Limbe d'**Eudicotylédone** :
  - **mésophylle hétérogène** (**parenchyme palissadique** + **parenchyme lacuneux**),
  - présence fréquente de **tissus secondaires**,
  - **épiderme inférieur** souvent avec **plus de stomates** que l'**épiderme supérieur**
  - **nervures latérales** coupées **obliquement** (en lien avec le caractère **ramifié** de la nervation) [*existence de rares exceptions*].
- Limbe de **Monocotylédone** :
  - **mésophylle homogène** [exceptions rares : *Iris* par exemple],
  - *jamais de tissus secondaires*,
  - **épidermes inférieur** et **supérieur** souvent avec **autant de stomates** [*nous verrons toutefois une merveilleuse exception avec l'Oyat*]
  - **Nervures latérales** coupées **orthogonalement** (en lien avec le caractère **parallèle** des nervures entre elles).

3. Étude pratique de coupes transversales

Comment l'étude microscopique de coupes transversales de feuilles nous renseigne-t-elle sur leur organisation ?

Activité 2. Observation microscopique de coupes de feuilles

Savoirs à construire	Anatomie et histologie des limbes et pétioles

Savoir-faire sollicités	Capacité ou attitude visée	Évaluation
	Maîtriser un outil, un geste technique, un logiciel… ➢ Microscope optique	
	Analyser, observer et raisonner	

Travail à faire

- Observation d'une **coupe transversale** de **limbe d'Eudicotylédone** (Houx, Renoncule…)
- Observation d'une **coupe transversale** de **pétiole d'Eudicotylédone** (Houx, Renoncule…)
- Observation d'une **coupe transversale** de **limbe de Monocotylédone** en **C3** (Blé, Muguet…)
- Observation d'une **coupe transversale** de **limbe de Monocotylédone** en **C4** (Maïs).

Chez les **Monocotylédones**, les **plantes en C4** [*métabolisme qui permet de séparer spatialement la fixation de CO2 et la synthèse de trioses phosphates*] présentent une **gaine périvasculaire** qui entoure les **faisceaux cribrovasculaires** ; ***la taille des cellules de la gaine est supérieure aux autres cellules parenchymateuses*** ; c'est le lieu de réalisation du **cycle de CALVIN**. *En l'absence d'électronographies des chloroplastes, il est toutefois difficile de différencier les plantes en C3 et en C4 dans la réalité.*

Ce métabolisme est abordé en cours (chapitre 20) **B.3.1. La réduction des molécules minérales chez les Angiospermes**.

*Pour information : il existe aussi des **Eudicotylédones en C4** (ce métabolisme est apparu de manière convergente environ 40 fois chez les Angiospermes !) mais leur **anatomie** est **rarement précisée dans la littérature** et **votre programme** n'en fait **pas mention**…*

Pistes de réflexion et d'exploitation

- ***Complétez** les figures 2-7 (coloration au carmino-vert).*

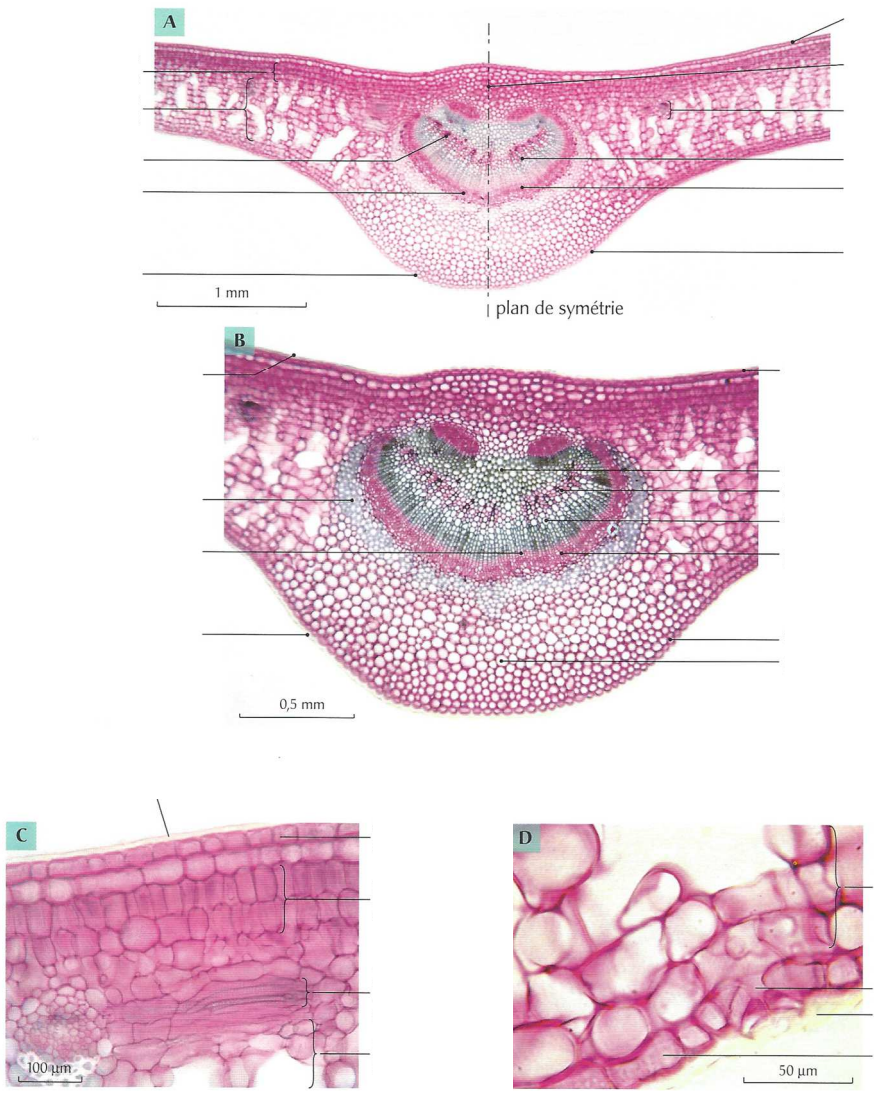


FIGURE 2. CT de limbe d'Eudicotylédone : Houx (1/2). D'après BOUTIN *et al.* (2010).

Le limbe de Houx

Diagnose

Nature de l'organe

- C'est un organe à symétrie bilatérale (photo A).

➡ C'est une coupe de feuille

- C'est un organe de forme aplatie.

➡ C'est un limbe

Le système vasculaire correspond aux nervures qui permettent l'orientation du limbe, le xylème est en position ventrale et le phloème en position dorsale.

Position systématique

De plus, on peut noter que :

- Le mésophylle est hétérogène (photo C), composé d'un parenchyme palissadique à la face ventrale et d'un parenchyme lacuneux à la face dorsale ;
- Les nervures latérales sont coupées obliquement
- Il y a un système vasculaire composé de phloème secondaire et de xylème secondaire de part et d'autre du cambium (photo B).

➡ C'est un limbe de Dicotylédone

Caractère biologique particulier

La présence d'une cuticule épaisse (photos C et D) indique une limitation de la transpiration, fait des plantes de milieu sec ou, ici, des plantes à feuillage persistant.

Schéma en figurés conventionnels

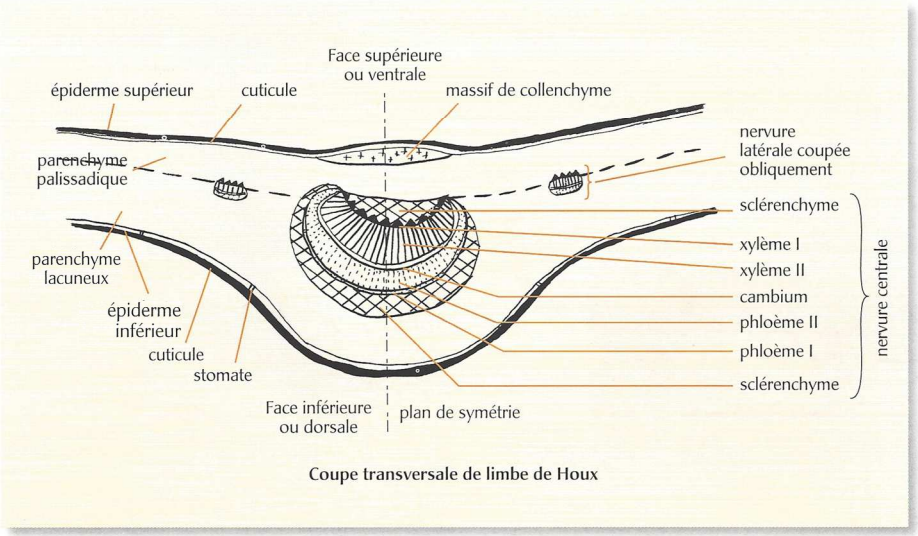


FIGURE 2. CT de limbe d'Eudicotylédone : Houx (2/2). D'après BOUTIN *et al.* (2010).

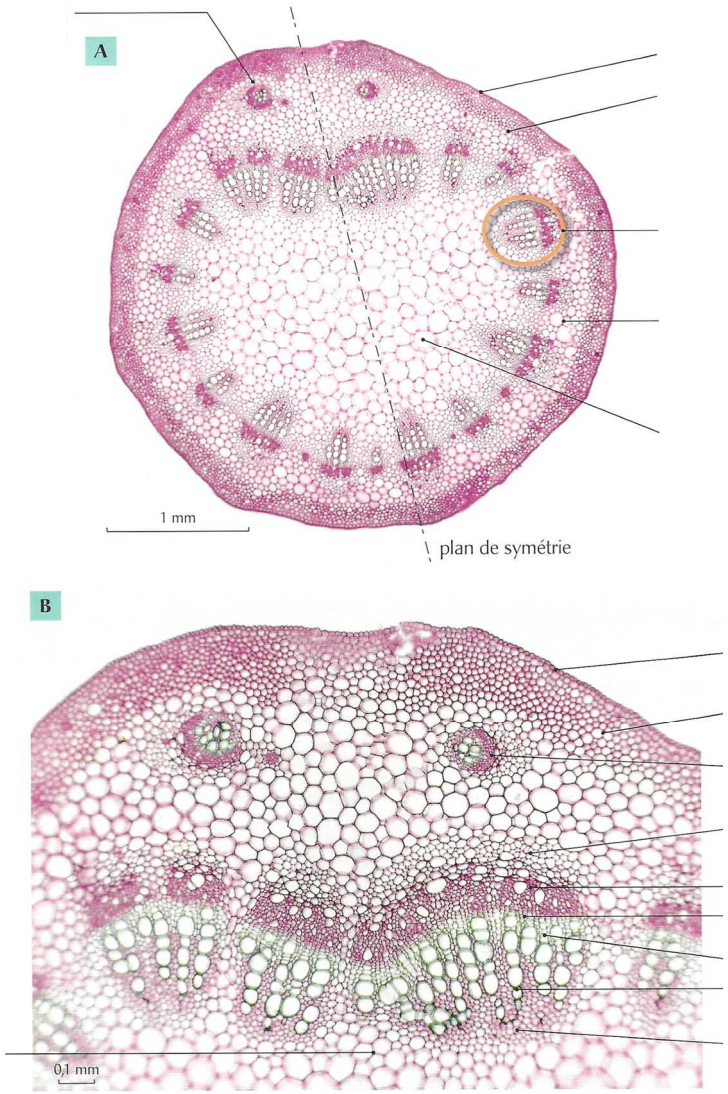


FIGURE 3. CT de pétiole d'Eudicotylédone : Vigne (1/2). D'après BOUTIN *et al.* (2010).

Le pétiole de Vigne

Diagnose

Nature de l'organe

- C'est un organe à symétrie bilatérale. La symétrie est repérable en considérant la disposition des faisceaux cribro-vasculaires (photo A).

➡ C'est une feuille

- C'est un organe de forme cylindrique.

➡ C'est un pétiole

Le caractère aérien de cet organe est confirmé par l'existence du système vasculaire composé de xylème primaire et de phloème primaire à disposition superposée (photo B), par la différenciation centrifuge du xylème primaire et par un tissu de soutien périphérique, le collenchyme.

Position systématique

De plus, on peut noter que :

- Il y a un seul cercle de faisceaux cribro-vasculaires principaux ;
- Chaque faisceau comporte des tissus conducteurs secondaires.

➡ C'est un pétiole de feuille de Dicotylédone

Schéma en figurés conventionnels

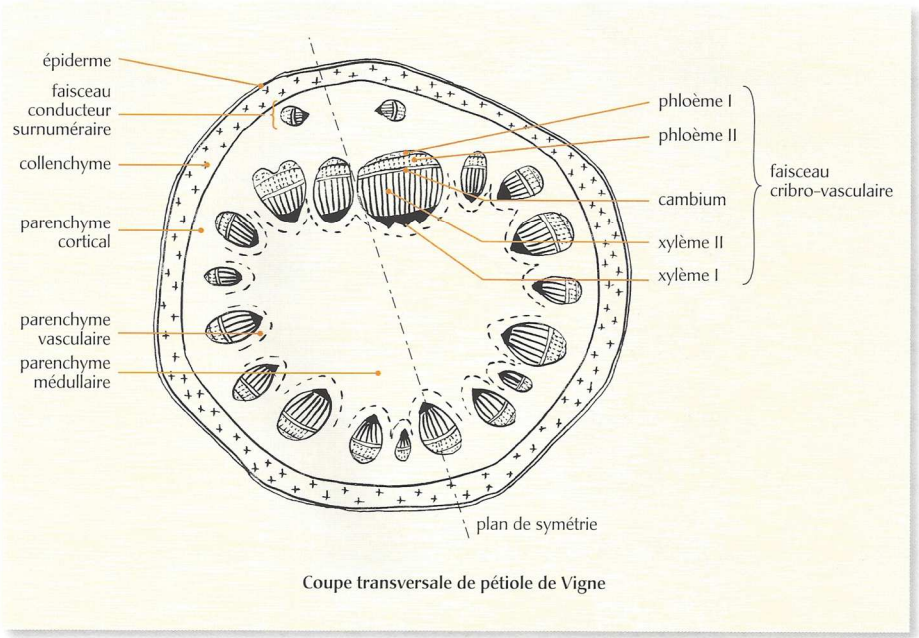


FIGURE 3. CT de pétiole d'Eudicotylédone : Vigne (2/2). D'après BOUTIN *et al.* (2010).

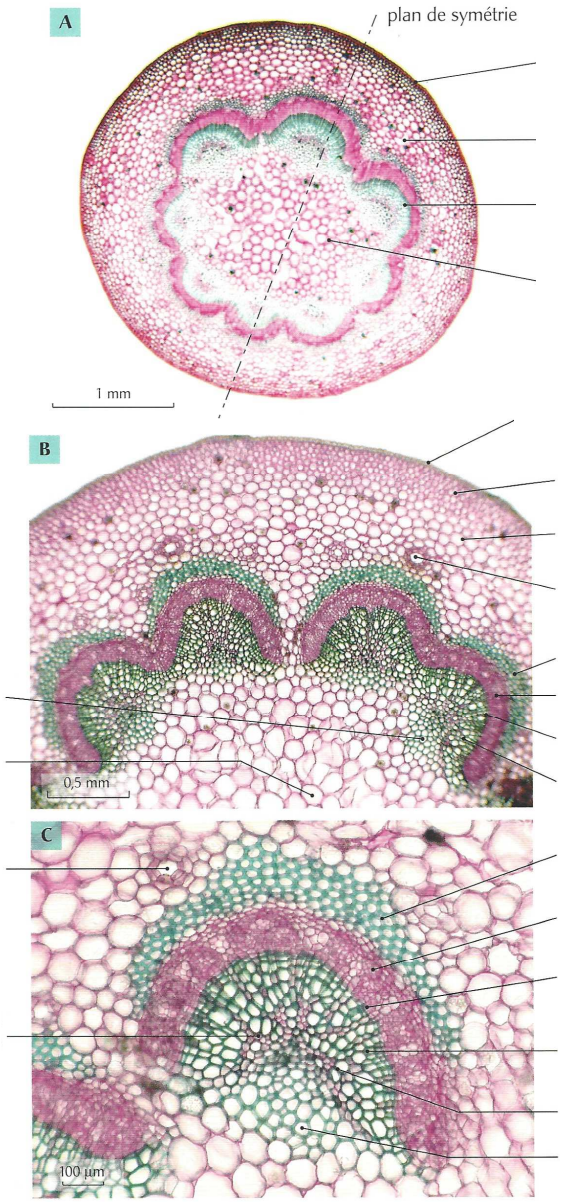


FIGURE 4. CT de pétiole d'Eudicotylédone : Lierre (1/2). D'après BOUTIN *et al.* (2010).

Le pétiole de Lierre

Diagnose

Nature de l'organe

- C'est un organe à symétrie bilatérale (la symétrie est repérable en considérant la disposition des faisceaux cribro-vasculaires photo A).

➡ C'est une coupe de feuille

- C'est un organe de forme cylindrique.

➡ C'est un pétiole

Le caractère aérien de cet organe est confirmé par l'existence du système vasculaire composé de xylème primaire et de phloème primaire à disposition superposée (photos B et C), par la différenciation centrifuge du xylème primaire et par des tissus de soutien, le collenchyme périphérique et du sclérenchyme ceinturant les faisceaux vasculaires.

Position systématique

De plus, on peut noter que :

- Il y a un seul cercle de faisceaux cribro-vasculaires ;
- Chaque faisceau présente des tissus conducteurs secondaires.

➡ C'est un pétiole de feuille de Dicotylédone

Caractère biologique particulier

Il existe dans le parenchyme cortical de petits canaux sécréteurs (photos B et C).

Schéma en figurés conventionnels

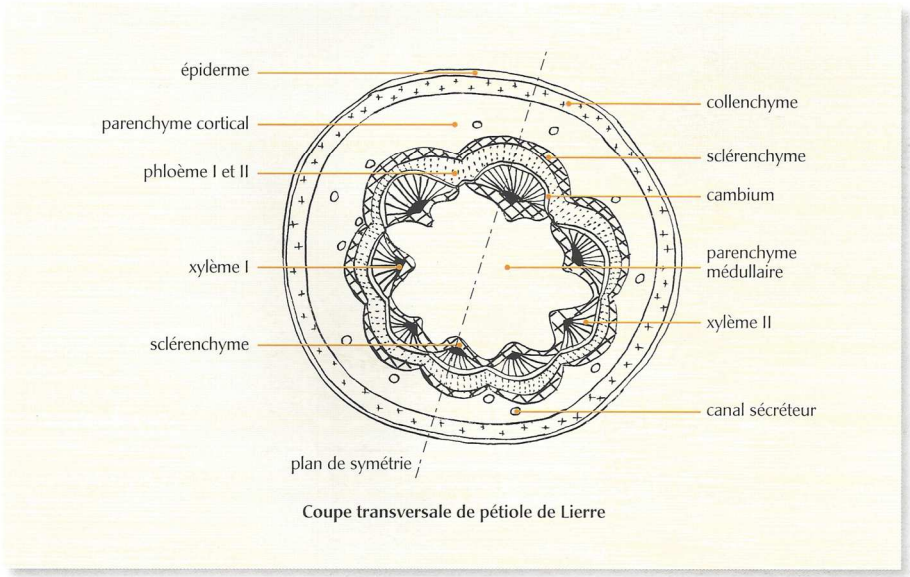
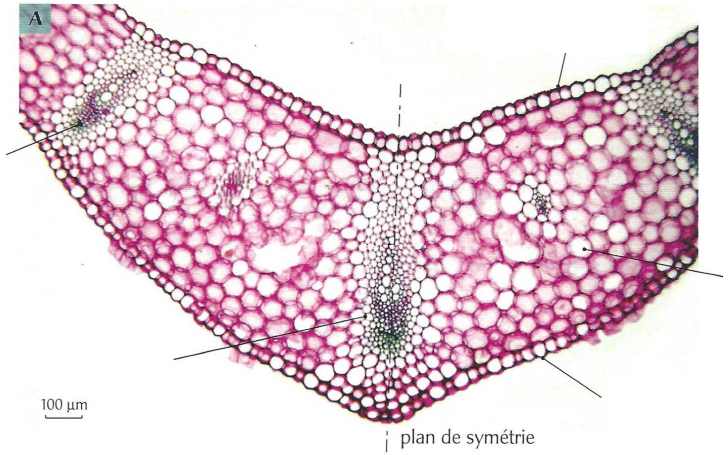
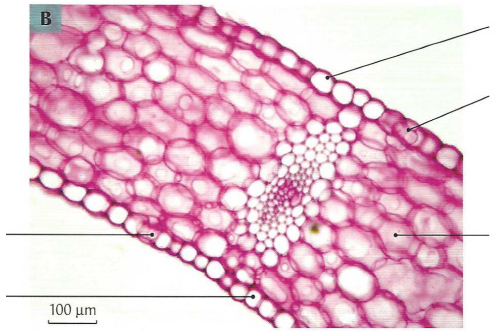


FIGURE 4. CT de pétiole d'Eudicotylédone : Lierre (2/2). D'après BOUTIN *et al.* (2010).





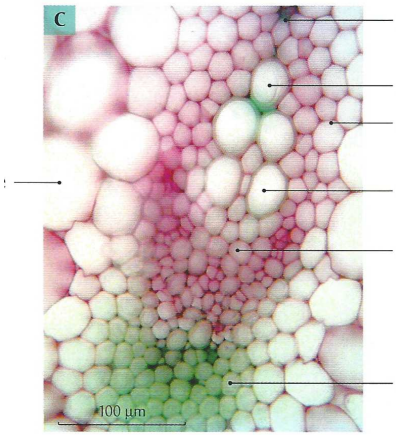


FIGURE 5. CT de limbe de Monocotylédone en C3 : Muguet (1/2). D'après BOUTIN *et al.* (2010).

Le limbe de Muguet

Diagnose

Nature de l'organe

- C'est un organe à symétrie bilatérale (photo A).

➡ C'est une coupe de feuille

- C'est un organe de forme aplatie.

➡ C'est un limbe

Le système vasculaire correspond aux nervures qui permettent l'orientation du limbe, le xylème est en position ventrale et le phloème en position dorsale.

Position systématique

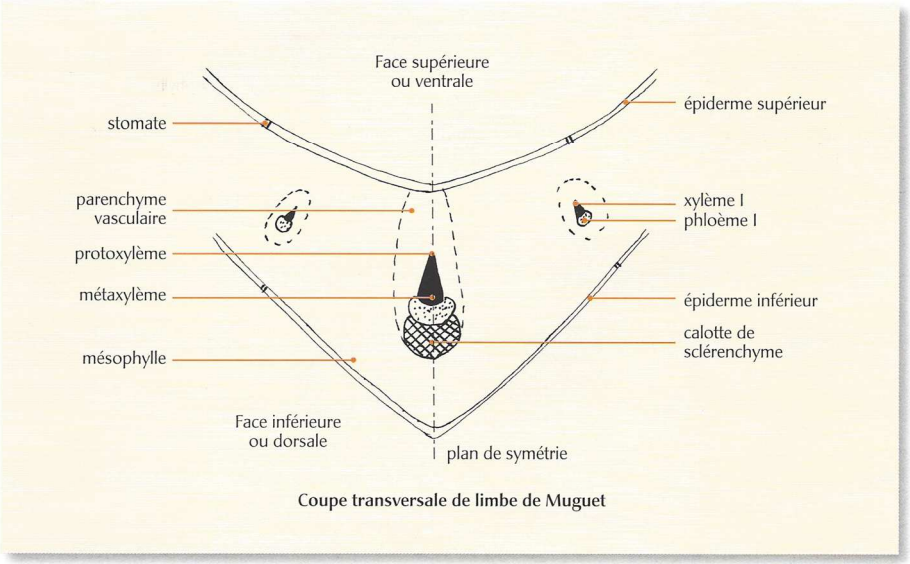
- Le mésophylle est homogène (photo B).
- les nervures sont parallèles entre elles car elles sont toutes coupées orthogonalement.
- Les nervures ne présentent pas de tissus conducteurs secondaires.

➡ C'est un limbe de Monocotylédone

Caractère biologique particulier

L'absence de cuticule visible au niveau des épidermes traduit une faible limitation de la transpiration, ce qui peut caractériser les plantes de sous-bois ou d'ombre.

Schéma en figurés conventionnels



Coupe transversale de limbe de Muguet

FIGURE 5. CT de limbe de Monocotylédone en C3 : Muguet (2/2). D'après BOUTIN *et al.* (2010).

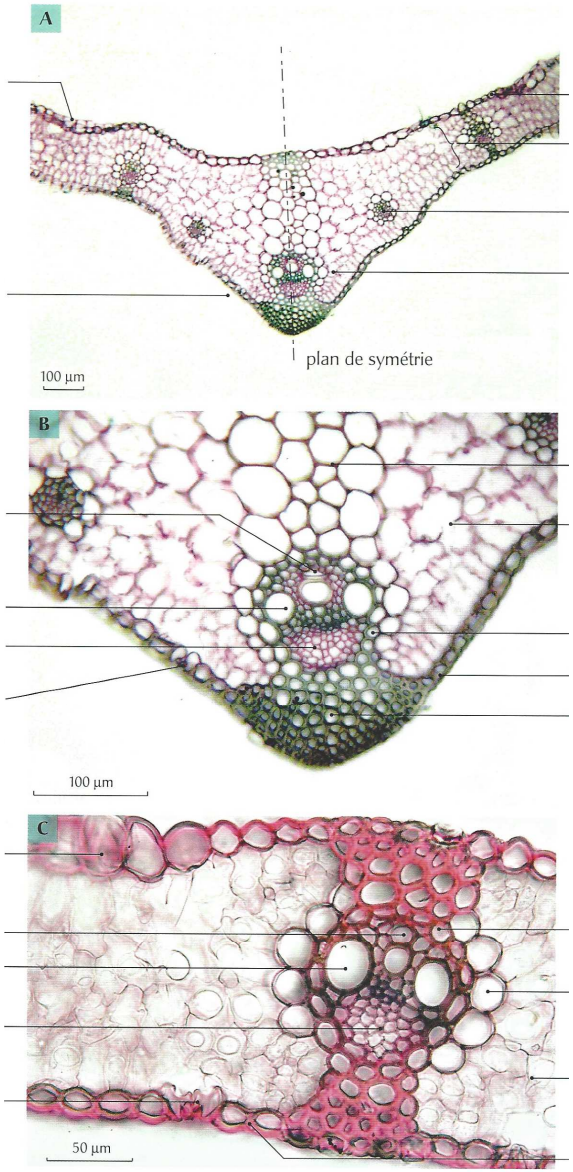


FIGURE 6. CT de limbe de Monocotylédone en C3 : Blé (1/2). D'après BOUTIN *et al.* (2010).

Le limbe de Blé

Diagnose

Nature de l'organe

- C'est un organe à symétrie bilatérale (photo A).

➡ C'est une coupe de feuille

- C'est un organe de forme aplatie.

➡ C'est un limbe

Le système vasculaire correspond aux nervures qui permettent l'orientation du limbe, le xylème est en position ventrale et le phloème en position dorsale.

Position systématique

- Le mésophylle est homogène (photo C) ;
- Les nervures sont parallèles entre elles, car elles sont toutes coupées orthogonalement.
- Les nervures ne présentent pas de tissus conducteurs secondaires.

➡ C'est un limbe de Monocotylédone

Caractère biologique particulier

L'épiderme supérieur de cette feuille montre des cellules bulliformes (photo C). Ces cellules sont fréquentes chez les Poacées. Elles permettent l'enroulement de la feuille en cas de sécheresse de l'air et donc une réduction de la transpiration. C'est alors l'épiderme inférieur, le plus lignifié et le plus imperméable, qui est en contact direct avec l'air.

Schéma en figurés conventionnels

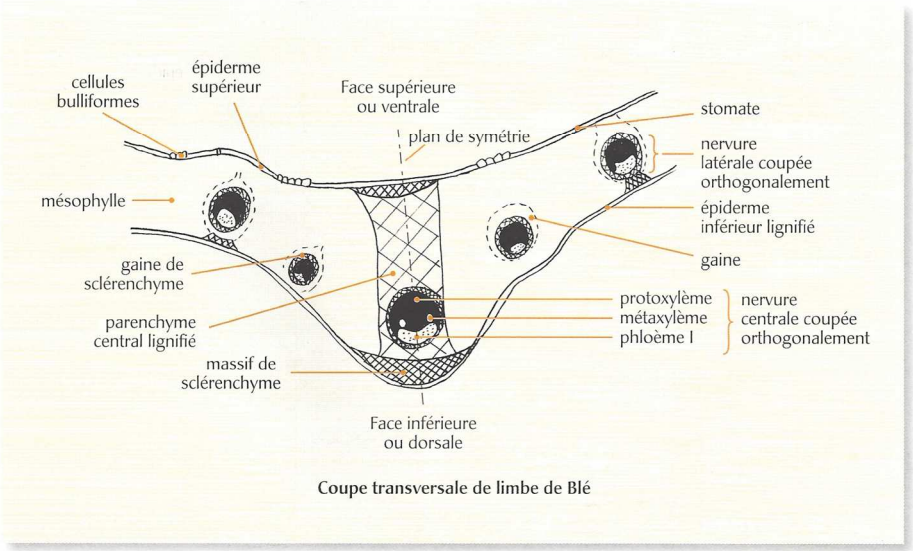


FIGURE 6. CT de limbe de Monocotylédone en C3 : Blé (2/2). D'après BOUTIN *et al.* (2010).

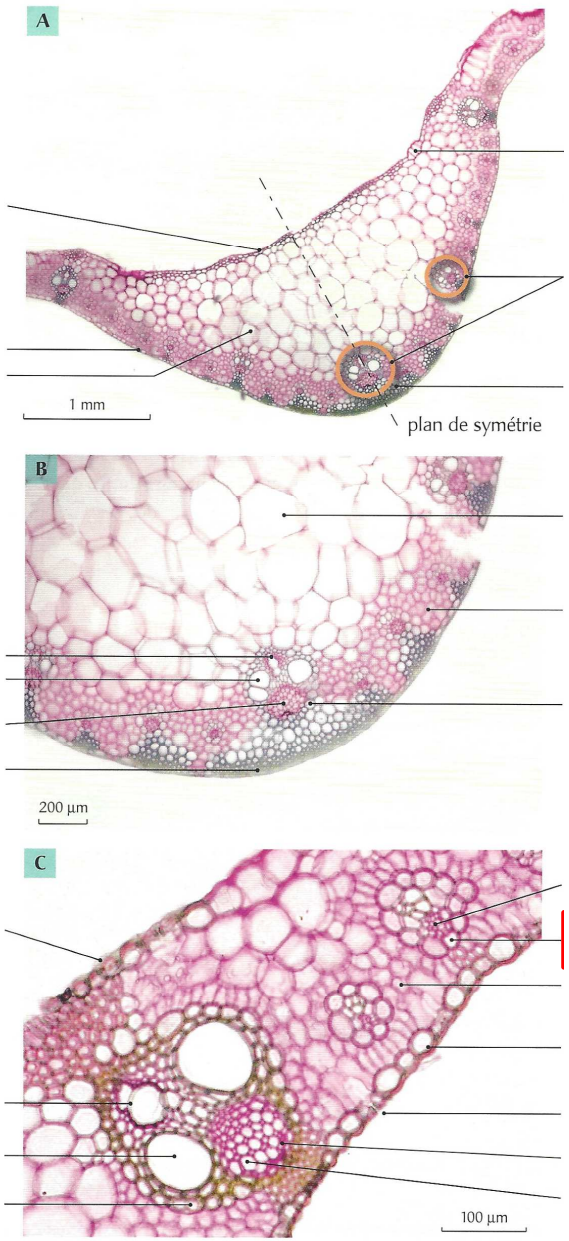


FIGURE 7. CT de limbe de Monocotylédone en C4 : Maïs (1/2). D'après BOUTIN *et al.* (2010).

Le limbe de Maïs

Diagnose

Nature de l'organe

- C'est un organe à symétrie bilatérale (photo A).

➡ C'est une coupe de feuille

- C'est un organe de forme aplatie.

➡ C'est un limbe

Le système vasculaire correspond aux nervures qui permettent l'orientation du limbe, le xylème est en position ventrale et le phloème en position dorsale.

Position systématique

De plus, on peut noter que :

- Le mésophylle est homogène (photo C) (pas de distinction entre parenchymes palissadique et lacuneux) ;
- Les nervures sont parallèles entre elles (photo B) car elles sont toutes coupées orthogonalement ;
- Les nervures ne présentent pas de tissus conducteurs secondaires.

➡ C'est un limbe de Monocotylédone

Caractères biologiques particuliers

L'épiderme supérieur de cette feuille montre des cellules bulliformes (photo A). Ces cellules sont fréquentes chez les Poacées. Elles permettent l'enroulement de la feuille en cas de sécheresse de l'air.

La présence d'une gaine de grosses cellules à parois cellulosiques autour des nervures mineures (photo C) suggère une photosynthèse en C4 (ce qui est le cas chez le Maïs), mais ce caractère n'est pas déterminant à lui seul.

Schéma en figurés conventionnels

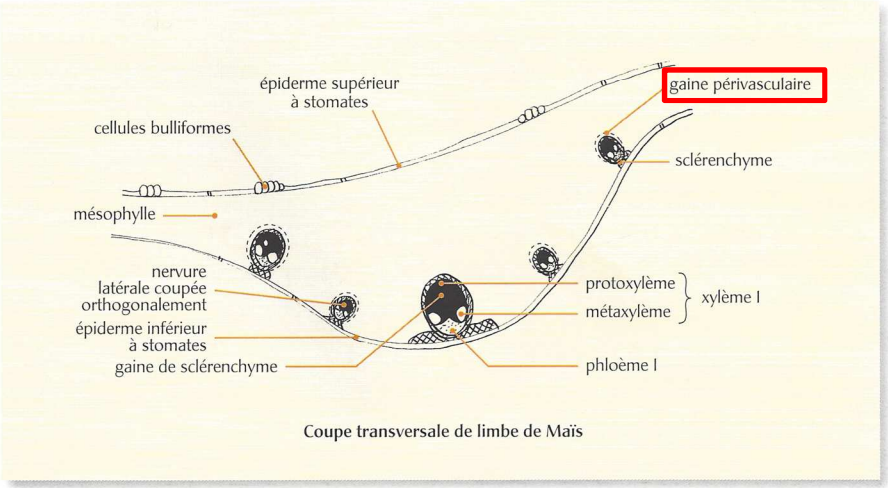


FIGURE 7. CT de limbe de Monocotylédone en C4 : Maïs (2/2). D'après BOUTIN *et al.* (2010).

4. Bilan sur l'anatomie des feuilles (d'après BOUTIN *et al.*, 2015)

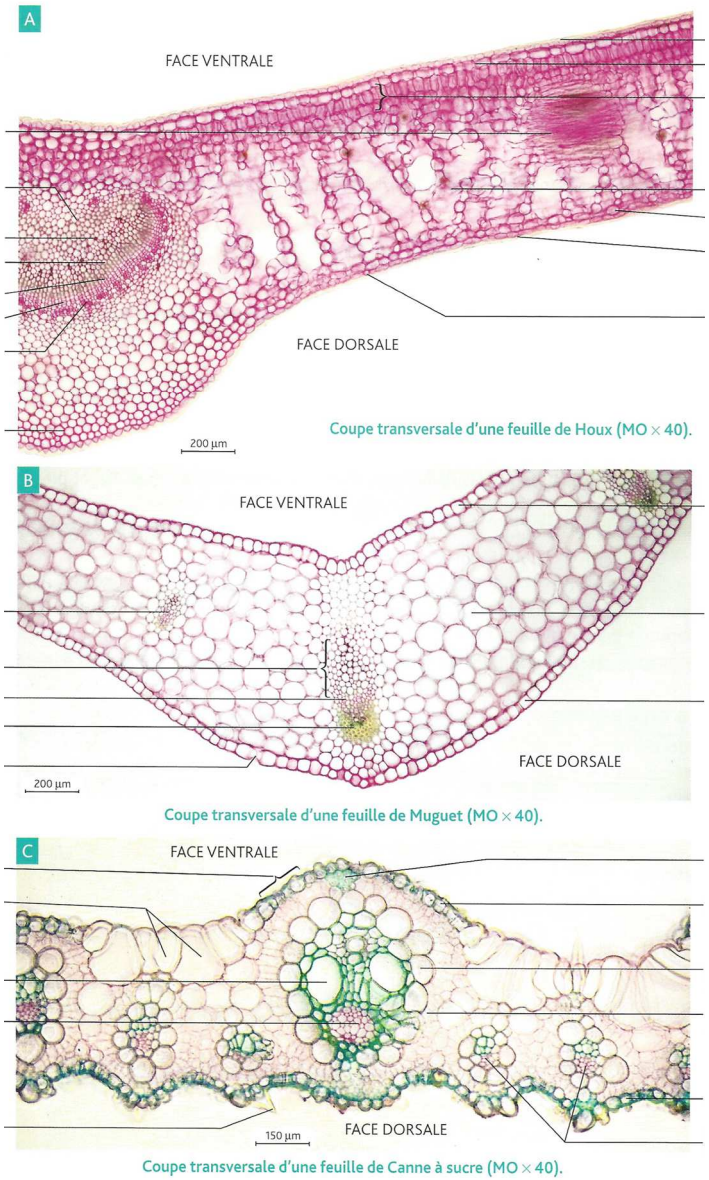


FIGURE 8. CT de limbes : un comparatif bilan (1/2). D'après BOUTIN *et al.* (2015).

L'anatomie d'une feuille, qu'il s'agisse du **limbe** ou du **pétiole**, est marquée par la **symétrie bilatérale**. Elle dépend – entre autres – du type de photosynthèse réalisée (en C3 ou en C4) et de la position systématique de la plante.

Structure des feuilles des plantes en C3

La photo A présente une coupe transversale dans le limbe d'une feuille de Houx. On y observe les tissus suivants :

- Un **épiderme supérieur** et un **épiderme inférieur**, recouverts de cuticule et contenant des stomates. L'épiderme peut dans certains cas porter des poils aux fonctions diverses.
- Un **parenchyme assimilateur** (**mésophylle**) généralement hétérogène : une ou plusieurs couches de **parenchyme palissadique** face supérieure et un **parenchyme lacuneux** dont les lacunes sont en continuité avec les chambres sous-stomatiques. L'organisation du mésophylle est néanmoins sujette à de grandes variations : présence du seul parenchyme palissadique (Eucalyptus), présence du seul parenchyme lacuneux (Poacées), feuille bifaciale (Iris), présence de piliers de cellules scléreuses reliant les deux épidermes (Poacées)…
- Des **nervures** au sein desquelles le xylème I et le phloème I sont superposés : on parle alors de **faisceau conducteur** ou **faisceau cribro-vasculaire**. Ils distribuent la sève brute dans la feuille et collectent la sève élaborée.
- Éventuellement des **tissus de soutien** : collenchyme et sclérenchyme, notamment au niveau des nervures.

Particularités des feuilles des plantes en C4

La photo C présente une coupe transversale dans le limbe d'une feuille de plante en C4 (Maïs).

La principale différence entre plantes en C3 et en C4 réside dans l'organisation du **mésophylle**. Les faisceaux conducteurs sont ici entourés par une couronne de cellules photosynthétiques fortement jointives formant la **gaine périvasculaire**. La gaine est elle-même entourée par une couronne de cellules du mésophylle. Entre ces structures, le mésophylle est de type lacuneux. Cette disposition particulière est appelée **anatomie de Kranz.**

On trouve des plantes en C4 dans les **régions chaudes et sèches**. Dans ces conditions, les plantes ferment leurs stomates, limitant la transpiration et économisant l'eau, mais également réduisant les échanges gazeux : entrée de CO_2 et sortie d'O_2. En découplant spatialement la fixation du CO_2 au niveau du mésophylle, et son incorporation aux molécules organiques par la RubisCO dans les cellules de la gaine (cellules ne produisant pas d'O_2), l'anatomie de Kranz permet de réduire fortement la photorespiration donc d'accroître le rendement de la photosynthèse.

Particularités des feuilles des Monocotylédones et des Dicotylédones

Au niveau des **feuilles de Dicotylédones**, les formations secondaires sont réduites, surtout présentes au niveau des nervures principales et sur les feuilles dont la durée de vie est de plusieurs années (Houx, photo A). Seul le cambium est mis en place, formant du xylème II et du phloème II.

Du fait de la nervation généralement non parallèle des feuilles, seule la nervure centrale est nette en coupe transversale, les autres nervures étant coupées de biais. La cuticule est souvent plus épaisse sur la face supérieure que sur la face inférieure.

Au niveau des **feuilles de Monocotylédones**, les nervures sont parallèles entre elles, donc toutes nettes en coupe transversale (photos B et C). Chez les Poacées, on observe fréquemment des **cellules bulliformes** (photo C) au niveau de l'épiderme supérieur. Leur plasmolyse lorsqu'elles manquent d'eau provoque le repliement sur elle-même de la feuille, laissant l'épiderme inférieur - pauvre en stomates et à cuticule épaisse - au contact de l'air, ce qui **limite les pertes en eau**.

FIGURE 8. CT de limbes : un comparatif bilan (2/2). D'après BOUTIN *et al.* (2015).

C. Les chloroplastes, organites de la photosynthèse

- Les **chloroplastes** sont des ***organites semi-autonomes limités par une enveloppe et au sein desquels se déroulent les réactions de la photosynthèse***.

Voir A.1. La cellule eucaryote
Voir B.3.1. La réduction des molécules minérales chez les Angiospermes

> ***Très important***
> ***Les chloroplastes ne se rencontrent pas qu'au niveau des feuilles ; on les trouve dans toutes les parties aériennes vertes, notamment les tiges herbacées et les parties vertes des rameaux feuillés. La photosynthèse n'est donc pas l'exclusivité des feuilles même si c'est là qu'elle se déroule majoritairement.***

Comment peut-on mettre en évidence des chloroplastes au microscope optique ?

Activité 3. Observation de chloroplastes chez l'Élodée du Canada

Savoirs à construire	Mise en évidence de chloroplastes

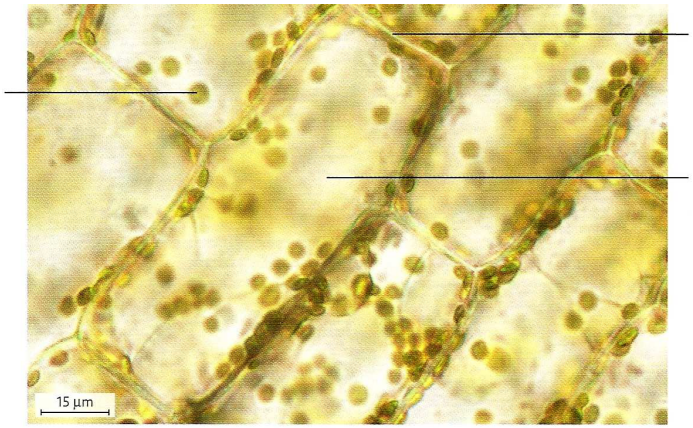
	Capacité ou attitude visée	Évaluation
Savoir-faire sollicités	Maîtriser un outil, un geste technique, un logiciel… ➢ Microscope optique	
	Analyser, observer et raisonner	

Travail à faire

- Observation d'une **feuille d'Élodée** en lame et lamelle. Très souvent, on observe des mouvements de **cyclose**.

Pistes de réflexion et d'exploitation

- ***Complétez*** *la figure 8.*



Cellules d'élodée du Canada (MO × 600).

FIGURE 8. Cellules d'Élodée (MO). D'après BOUTIN *et al.* (2015)

D. Les pigments assimilateurs, molécules organiques complexes capables de collecter l'énergie lumineuse : extraction, séparation et spectre d'absorption

- Les **pigments photosynthétiques** ou **pigments assimilateurs** sont les ***composés chimiques (souvent des dérivés de terpènes) qui permettent de convertir l'énergie lumineuse en énergie chimique*** ; leur structure comprend de **nombreux électrons délocalisables**.

Voir B.3.1. La réduction des molécules minérales chez les Angiospermes

Comment peut-on mettre en évidence les pigments des Angiospermes ?

Activité 4. Extraction et chromatographie (sur papier Whatman) des pigments de feuilles d'Angiospermes

Savoirs à construire	Diversité des pigments présents dans les feuilles d'Angiospermes

	Capacité ou attitude visée	Évaluation
Savoir-faire sollicités	Maîtriser un outil, un geste technique, un logiciel… ➢ Extraction de pigments ➢ Chromatographie sur papier	
	Analyser, observer et raisonner	

Travail à faire

- Protocole extrait et adapté de PRAT (2007).

Toutes les réactions d'extraction et de séparation des pigments photosynthétiques utilisent les propriétés de solubilité des pigments dans les solvants organiques.

✸ *La plupart des expériences décrites dans ce chapitre nécessitent l'utilisation de solvants organiques volatils et inflammables. Manipuler sous hotte avec précaution.*

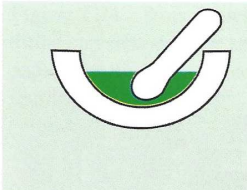
Extraction globale des pigments

MATÉRIEL

– Feuilles d'épinard (ou tout autres feuilles bien vertes).
– Mortier, ampoules à décantation ou tubes à essai.
– Alcool à 95° ou acétone, éther de pétrole.
– Carbonate de sodium, sulfate de sodium anhydre.

PROTOCOLE

Broyer les feuilles doucement dans l'acétone (ou l'alcool à 95°) avec une spatule de sulfate de sodium anhydre (déshydratation) et une pincée de carbonate de calcium (neutralisation des acides organiques) jusqu'à obtention d'une solution bien verte.



Chromatographie sur papier

Migration des différents solutés d'une solution en fonction de leur solubilité différentielle dans le solvant (phase mobile) et de leur affinité pour le support de chromatographie (phase stationnaire).

MATÉRIEL

– Feuilles vertes de germinations de blé ou feuilles d'épinard ou tout autres feuilles bien vertes.
– Solutions éthérées de pigments très concentrées obtenues à partir de ces matériels (cf. § I.4.1).
– Montage, papier et solvant pour chromatographie

PROTOCOLE

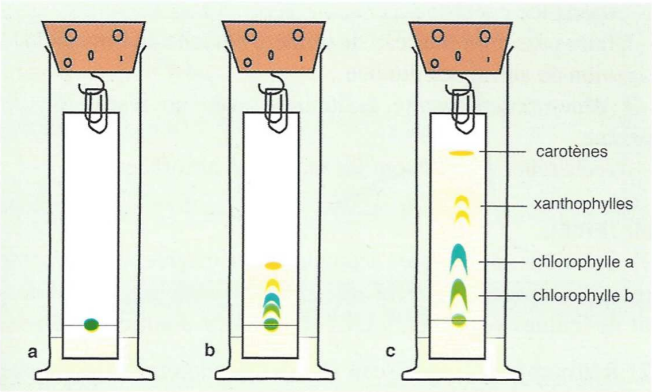
1) Sur une ligne située à 10 mm du bas de la bande de papier :

– soit écraser un morceau de feuille avec un agitateur ; superposer plusieurs écrasements successifs pour obtenir une tache très colorée ;
– soit déposer une petite goutte de solution éthérée, attendre qu'elle sèche et recommencer plusieurs fois l'opération pour obtenir une tache très colorée et la plus petite possible.

2) Placer la bande de papier dans le flacon afin que le papier trempe dans le solvant sur 5 mm :
– les taches ne doivent pas toucher le solvant ;
– le papier ne doit pas toucher le bord du flacon.

3) Placer l'appareil à l'obscurité.

4) Attendre 1 h et observer les chromatogrammes (fig.).



Trois étapes d'une chromatographie sur papier des pigments d'une feuille verte.

FIGURE 9. Chromatographie sur papier des pigments de feuilles d'Épinard.
D'après PRAT (2007)

Pistes de réflexion et d'exploitation

- *On peut **calculer** des **rapports frontaux** et les **comparer** dans la classe.*

Comment peut-on caractériser le spectre d'absorption de la solution de pigments extraite ?

Activité 5. Spectre d'absorption des pigments bruts de feuilles

Savoirs à construire	Spectre d'absorption total des pigments

	Capacité ou attitude visée	**Évaluation**
Savoir-faire sollicités	Maîtriser un outil, un geste technique, un logiciel… ➢ Diffraction par réseau ➢ Spectrophotométrie	
	Analyser, observer et raisonner	

Travail à faire

- Protocole extrait et adapté de PRAT (2007).

Observation d'un spectre d'absorption

La lumière blanche est composée de différentes radiations visibles dont la longueur d'onde varie de 400 nm (violet) à 750 nm (rouge foncé). Une substance colorée absorbe préférentiellement certaines radiations de la lumière blanche.

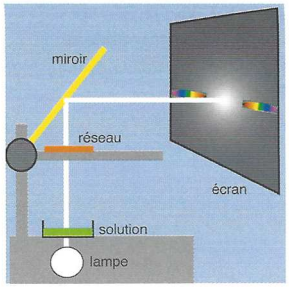


Figure 1.27 : Dispositif pour l'obtention d'un spectre.

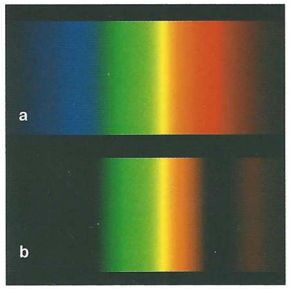


Figure 1.28 : Spectre d'absorption.
(**a**), spectre de la lumière blanche. (**b**), spectre d'absorption de la lumière blanche par une solution de pigments bruts.

L'expérience consiste :
– à faire passer un faisceau de lumière blanche au travers de la solution de substance étudiée,
– à décomposer ensuite la lumière avec un réseau ou un prisme,
– à rechercher quelles sont les radiations absorbées.

MATÉRIEL

1) Solutions alcoolique, acétonique ou éthérée de pigments (solutions brutes). On peut utiliser les solutions obtenues à partir de feuilles vertes ou à partir d'autres matériels.

2) Rétroprojecteur et réseau ou spectrophotomètre de poche ou tout autre système utilisant un réseau ou un prisme. La figure 1.27 schématise un montage effectué à partir d'un rétroprojecteur.

RÉSULTAT

Par comparaison avec le spectre-témoin (fig. 1.28**a**), le spectre obtenu avec des pigments interposés sur le trajet lumineux montre des bandes sombres qui correspondent aux radiations absorbées par le pigment (fig. 1.28**b**). Une solution brute de pigments absorbe dans le bleu et dans le rouge.

Remarque. – Différents autres systèmes sont possibles. On peut remplacer le réseau par un prisme ou utiliser un spectrophotomètre enregistreur.

Spectre d'absorption (ExAO-spectrophotomètre)

Réalisation d'un enregistrement de l'absorption de la lumière par un pigment pour l'ensemble des longueurs d'onde du spectre visible.

MATÉRIEL

– Solution alcoolique, acétonique ou éthérée de pigments (solutions brutes). On utilisera des solutions assez diluées (elles doivent laisser passer 25 à 50 % de la lumière).
– Cuves parallélépipédiques pour spectrophotomètres. Attention, certaines cuves en plastique s'opacifient en présence de solvants.
– Système ExAO avec spectrophotomètre

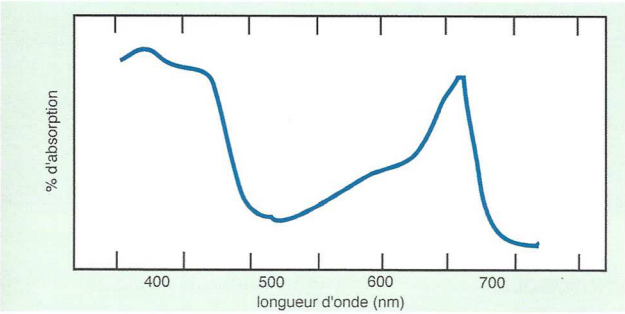


Figure 1.29 : Spectre d'absorption des pigments bruts d'une feuille verte.

RÉSULTAT

On observe une absorption importante dans le bleu (400-450 nm) et dans le rouge (650-700 nm) (fig. 1.29). Il est possible de quantifier cette absorption mieux que par la simple observation.

E. En guise de bilan : relations structure-fonction au niveau de la feuille

- **Un parenchyme foliaire capable de capter et convertir l'énergie lumineuse**
  - **Grande surface** de réception de la **lumière** liée à **l'aplatissement** de l'organe
  - **Richesse en chloroplastes** où se trouvent des **pigments assimilateurs** (*fonctionnement et métabolisme à détailler*) du **mésophylle**
  - **Épaisseur fine** permettant à la **lumière** de **traverser** l'organe et d'atteindre tous les **chloroplastes**
  - *Conséquence de tout ça : **organe spécialisé** dans la **photosynthèse***

- **Des stomates et un épiderme cutinisé qui permettent des échanges gazeux contrôlés**
  - **Méats**, **lacunes** : permettent la **circulation d'air** > réalisation d'**échanges gazeux** photosynthétiques en journée
  - **Stomates** : permettent l'entrée et la sortie des gaz en journée // souvent fermés la nuit (**contrôle** par la **pression de turgescence** – à détailler) : réalisation des échanges gazeux respiratoires par **diffusion intratissulaire**
  - **Épiderme** : **protection**, sécrétion des cires de la cuticule
  - **Cuticule** : **protection** contre la **déshydratation**

- **Des nervures qui permettent le soutien et les relations avec les autres organes**
  - **FCV** : présence de **xylème** permettant l'importation d'eau et d'ions minéraux (= **sève brute**) + couplage avec **évaporation** et fonctionnement des **stomates** : moteur principal de la **circulation de la sève brute**
  - **FCV** : présence de **phloème** > exportation de **métabolites** (notamment saccharose) vers les **organes puits** (charge du **phloème** à expliciter, rôle des **cellules compagnes**, moteur de la **circulation**)
  - **FCV** : rôle de **soutien** des **tissus conducteurs primaires** voire **secondaires**,
  - **+** importance des **tissus de soutien** autres (**sclérenchyme**, **collenchyme**)
  - *NB : **Pétiole** : assure **l'ancrage** et la **continuité fonctionnelle** avec le reste de la plante (présence importante de **tissus conducteurs**)*

II. La fonction de réserve chez les Angiospermes (TP B8)

- On peut appeler **réserve** en biologie ***toute substance (généralement de la matière organique ou encore de l'eau) accumulée par une cellule ou un organisme qui subit un stockage à un moment donné et subit une utilisation différée***.
- On s'intéresse ici aux **réserves de molécules organiques**.

A. Une fonction surtout impliquée dans le passage de la mauvaise saison, la reproduction et le développement

- On peut noter que les plantes réalisent une **mise en réserve à l'échelle d'une journée** :
  - Mise en réserve de **saccharose** dans les **vacuoles**
  - Mise en réserve d'**amidon** dans les **plastes**
  - Mise en réserve de **lipides** sous forme de **gouttelettes cytosoliques** (ou plastidiales)…
- Toutefois, les **réserves abondantes** s'accumulent dans des **tissus** et organes **spécialisés** où les réserves perdurent **toute une saison** voire **plusieurs années** :
  - Des **organes végétatifs** (tiges, racines, voire feuilles) impliqués dans le **passage de la mauvaise saison** et/ou la **reproduction végétative**. Ces réserves permettent le **développement de la plante**.
  - Des **semences** qui sont également impliquées dans la **reproduction** (**sexuée** cette fois) et le **passage de la mauvaise saison**. Ces réserves permettent le **développement embryonnaire** [ou participent à la **dispersion des organismes** s'il s'agit de **réserves** dans les **fruits** consommées par les **Animaux**].
  - Et aussi : dans les **parenchymes ligneux** ou **libériens**.

B. Les principales molécules organiques de réserve des Angiospermes

1. Les principales réserves glucidiques

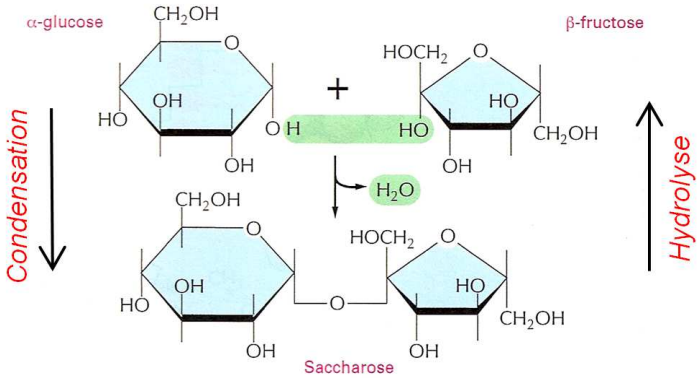


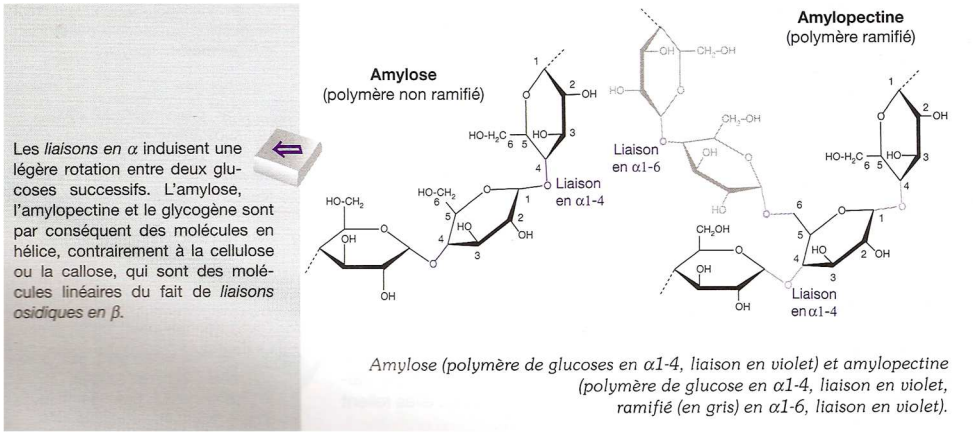
FIGURE 10. Saccharose. D'après ALBERTS *et al.* (2004)

a. Le saccharose, disaccharide mis en réserve dans les vacuoles

- Le **saccharose** (figure 10) est un ***disaccharide composé de glucose α et fructose β liés en α1-β2***.
- Ce sucre, **non réducteur** et donc **peu réactif** quand il n'est pas hydrolysé, est très présent chez de nombreuses Angiospermes où il constitue souvent la forme **privilégiée de transport glucidique** par la **sève élaborée**.
- En lien avec cette faible réactivité, ce sucre peut aussi être **stocké en quantité importante** dans la **vacuole** de certains tissus. La Betterave sucrière par exemple en stocke de grandes quantités.

b. L'amidon, polysaccharide de glucose mis en réserve dans les plastes

- L'**amidon** (figure 10) comprend **deux types de molécules** en **proportion variable** selon les espèces ou les tissus :
  - **Amylose** : ***chaînes linéaires de glucoses α liés en α1-4 (200 à 3000 résidus*** – ces chiffres varient beaucoup selon les auteurs, ici les données viennent de VOET & VOET, 2005). Les liaisons α1-4 induisent un **enroulement en hélice gauche de la molécule en solution aqueuse**, propice au **stockage**.
  - **Amylopectine** : ***chaînes de glucoses α liés en α1-4 et ramifiées, tous les 12 à 30 résidus, par des liaisons α1-6 (jusqu'à 100 000 résidus)***. La ramification induit une **densification** des **monomères** favorable au **stockage**.



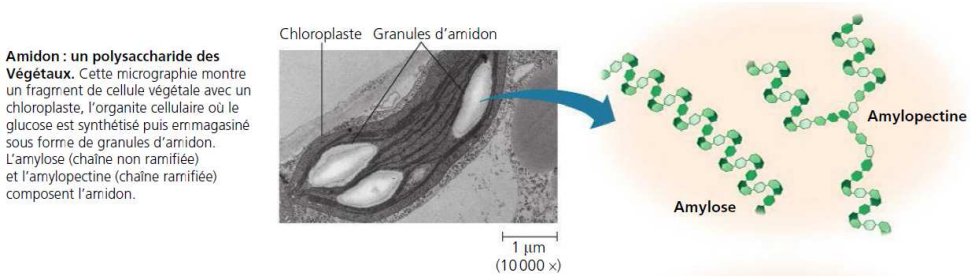
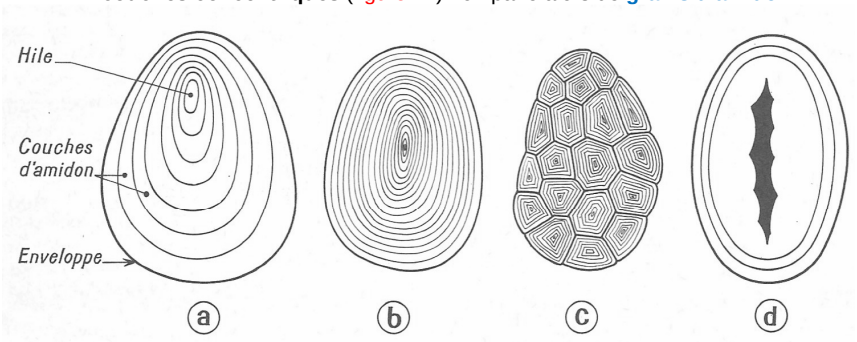


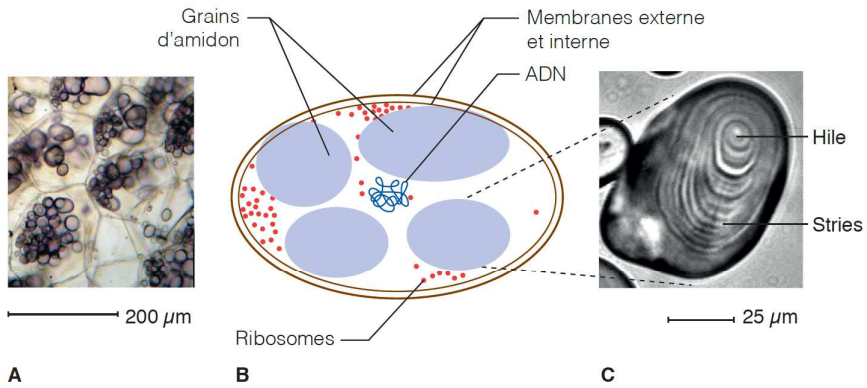
FIGURE 11. Amidon. D'après DENŒUD *et al.* (2013) et CAMPBELL & REECE (2004).

- Chez les Angiospermes, l'amidon se trouve dans les **chloroplastes** sous forme de **granules** (figure 11) dans le **stroma** mais est surtout stocké en **grandes quantités**

dans les **amyloplastes** des organes-puits sous **forme paracristalline** constituée de **couches concentriques** (figure 12) : on parle alors de **grains d'amidon**.



Grains d'amidon.
a : Pomme de terre. *b :* Blé. *c :* Riz. *d :* Haricot.



A. Amyloplastes dans les cellules du parenchyme de réserve du tubercule de pomme de terre (coloration eau iodée), observation au microscope photonique
B. Schéma d'un amyloplaste d'après observations au MET
C. Stries d'accroissement d'un grain d'amidon, observation au microscope photonique

FIGURE 12. Stockage d'amidon dans les amyloplastes (*attention, contrairement au schéma, les grains d'amidon n'empiètent pas sur l'enveloppe du plaste*).
D'après VINCENT (1974) et SEGARRA *et al.* (2014).

Chez de nombreuses espèces (cas de la Pomme de Terre), les amyloplastes ne contiennent qu'un seul gros grain d'amidon.

Réactif utile :
Eau iodée = **réactif de Lugol** : solution d'iodure de potassium et diode qui réagit avec l'amidon (**coloration violette**) et le glycogène (coloration brun-acajou).

Comment peut-on mettre en évidence des grains d'amidon ?

Activité 6. Observation de grains d'amidon dans le parenchyme de Pomme de terre

Savoirs à construire	Mise en évidence de grains d'amidon (amyloplastes)

	Capacité ou attitude visée	Évaluation
Savoir-faire sollicités	Maîtriser un outil, un geste technique, un logiciel… ➢ Prélèvement tissulaire ➢ Coloration au lugol ➢ Microscope optique	
	Analyser, observer et raisonner	

Travail à faire

- Montage entre **lame** et **lamelle** dans du **lugol** de **parenchyme de Pomme de Terre** (gratter une fin pellicule à la surface du parenchyme après coupe de l'organe). L'observation peut aussi se baser sur les **réserves de graines** de Haricot, caryopses de Blé ou Maïs…

Pistes de réflexion et d'exploitation
- ***Complétez*** *la figure 12.*

c. L'inuline, polysaccharide de fructose mis en réserve dans les vacuoles de cellules d'Astéracées

- L'**inuline** est un ***polymère vacuolaire de fructoses bêta (liés en β1-2)*** et dont les bouts de chaînes comprennent un glucose alpha (en β2-α1). Ce composé se retrouve essentiellement chez les Astéracées, en quantité importante dans les organes de réserve (exemple : rhizome de Dahlia).

Principe de mise en évidence :
Les **tissus à observer** doivent être **conservés dans l'alcool absolu** (ce qui induit une complète **déshydratation** et une **déstructuration** des **compartiments cellulaires**) ; dans l'alcool, l'inuline cristallise sous forme de **sphéro-cristaux**. *Attention, ce n'est là ni la **forme** ni la **localisation** normales de l'inuline.*

Comment peut-on mettre en évidence de l'inuline ?

Activité 7. Observation d'inuline dans des tubercules de Dahlia

Savoirs à construire	Mise en évidence d'inuline en alcool absolu

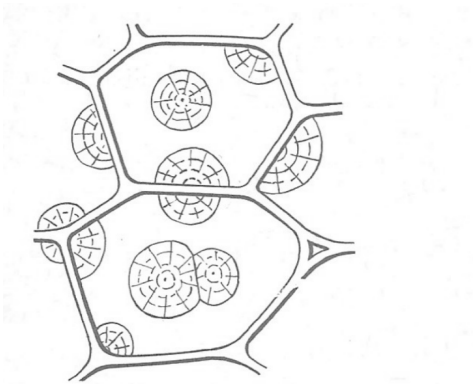
	Capacité ou attitude visée	Évaluation
Savoir-faire sollicités	Maîtriser un outil, un geste technique, un logiciel… ➢ Prélèvement tissulaire ➢ Microscope optique	
	Analyser, observer et raisonner	

Travail à faire

- Montage entre **lame** et **lamelle** dans de la **glycérine** d'un fin grattage des parties internes d'un tubercule de Dahlia.

Pistes de réflexion et d'exploitation

- ***Observez*** *les structures cristallines en vous aidant de la figure 13.*



Sphéro-cristaux d'inuline dans une racine de Dahlia traitée par l'alcool.

FIGURE 13. Inuline cristallisée en alcool absolu (Dahlia). D'après VINCENT (1974).

2. Les réserves lipidiques, gouttelettes surtout situées dans le cytosol (ou les plastes) essentiellement composées de triglycérides

- Les **réserves lipidiques** sont essentiellement constituées de **triglycérides** ou **triacylglycérols** qui sont des ***triesters d'acides gras et de glycérol*** : ils se forment par la réaction d'estérification entre le **glycérol** (un triol) et **trois acides gras** (figure 14). Les triglycérides peuvent contenir **trois fois le même acide gras** (**triglycérides simples**) ou **non** (**triglycérides mixtes**).

> La **triestérification** n'est généralement pas réalisée en une seule étape. La réaction entre le **glycérol** et un AG donne un **monoacylglycérol (monoglycéride)**, une deuxième estérification avec un deuxième AG donne un **diacylglycérol (diglycéride)** et fin une troisième estérification avec un dernier AG donnera un **triacylglycérol (triglycéride)**.
>
> *Chaque estérification, **coûteuse en énergie**, passe par des étapes intermédiaires utilisant de l'énergie cellulaire ; ce sont en réalité de un acyl-coenzyme A (AG + coenzyme A) qui réagit avec du glycérol-3-phosphate (glycérol phosphorylé).*

- ***L'estérification « neutralise » les fonctions alcool et les triglycérides sont donc totalement hydrophobes*** : ceux-ci s'accumulent en **grosses gouttelettes lipidiques** dans le **cytosol**. Ces gouttelettes portent le nom d'**oléosomes** chez les 'plantes'. On peut en trouver dans les **chloroplastes** (**inclusions lipidiques = globules lipidiques**) voire, chez certaines espèces, dans des **plastes spécialisés** (**oléoplastes**).
- En cas de besoin, ***l'hydrolyse de ces réserves donne des acides gras qui permettent de produire de l'ATP par bêta-oxydation***. Il s'agit d'un moyen très efficace de production d'ATP.

> Notons que ***ces gouttelettes incluent également souvent des stérols estérifiés*** et qu'elles présentent des ***lipides amphiphiles à leur surface*** (dont la partie hydrophile est au contact de l'eau : stérols, phosopholipides). On y trouve aussi des **protéines**.

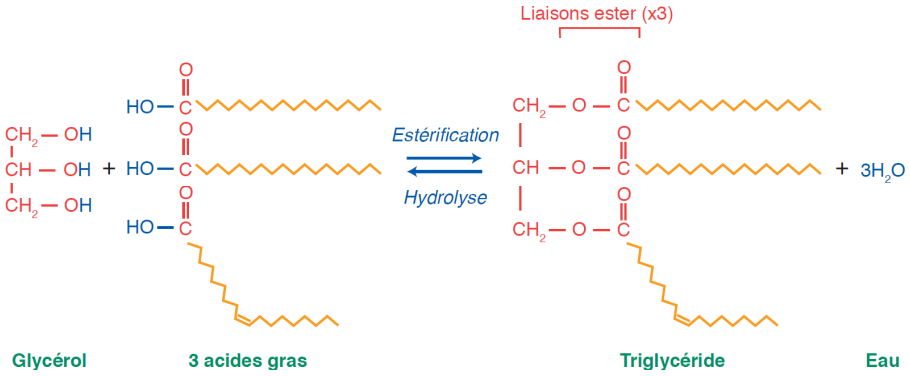
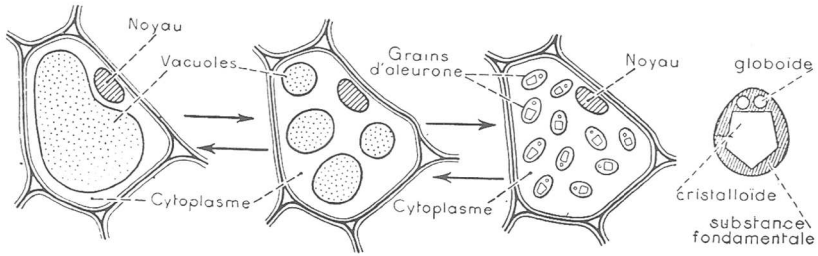


FIGURE 14. Équation d'estérification (bilan) de la formation des triglycérides. Les étapes intermédiaires ne sont pas représentées. D'après SEGARRA *et al.* (2014).

- *Voir activité 8 pour la mise en évidence : lipides + grains d'aleurone.*

3. Les réserves protéiques : l'exemple des grains d'aleurone vacuolaires

- L'**aleurone** est une ***protéine végétale de réserve qui se présente souvent sous forme de grains limités par le tonoplaste (membrane vacuolaire) qu'on appelle grains d'aleurone***. Les protéines sont **« sécrétées » dans la vacuole** puis celle-ci **se fractionne** en de **multiples vacuoles** qui se **déshydratent** ; les protéines cristallisées constituent les **grains d'aleurone**. La **mobilisation** de ces réserves suppose le **processus inverse** (figure 15).



Formation des grains d'aleurone à partir des vacuoles, pendant la maturation de la graine (en allant de la gauche vers la droite). Hydratation des grains d'aleurone pendant la germination de la graine (en allant de la droite vers la gauche).

FIGURE 15. Grains d'aleurone dans la graine de Ricin. D'après CAMEFORT & BOUÉ (1980).

- On trouve surtout les **grains d'aleurone** dans les **graines** : l'exemple type est la graine de **Ricin**, bien qu'il s'agisse d'une **graine à la fois oléagineuse et protéagineuse**.

- Remarque très importante : chez les **caryopses** de Graminées, on trouve sous les téguments du fruit (péricarpe) une ***couche cellulaire contenant des grains d'aleurone*** qu'on appelle « **couche à aleurones** » alors même que le **caryopse** est une **graine albuminée amylacée**. Cette couche fournirait notamment les **enzymes hydrolysant les réserves d'amidon** lors de la **germination**.

L'albumen de certaines céréales comme le Blé comprend néanmoins une fraction protéique importante qui constitue le **gluten**.

Comment peut-on mettre des gouttelettes lipidiques et des grains d'aleurone chez les Angiospermes ?

Activité 8. Observation de gouttelettes lipidiques et de grains d'aleurone dans une graine de Ricin

Savoirs à construire	Mise en évidence de gouttelettes lipidiques et de grains d'aleurone

	Capacité ou attitude visée	**Évaluation**
Savoir-faire sollicités	Maîtriser un outil, un geste technique, un logiciel… ➢ Prélèvement tissulaire ➢ Microscope optique	
	Analyser, observer et raisonner	

Travail à faire

- Montage entre **lame** et **lamelle** d'une portion fine ou écrasée d'**albumen** de **graine de Ricin** (possibilité de coloration au **Rouge Soudan III** pour colorer les **lipides** qui forment une émulsion – *attention colorant dangereux à manipuler avec précautions*).
- Montage entre **lame** et **lamelle** (ou plutôt observation de **lames du commerce**) de la bordure d'un **caryopse de Blé** pour localiser la **couche à aleurones**.

Pistes de réflexion et d'exploitation

- ***Observez*** *les lames et* ***complétez*** *les figures 16-17.*

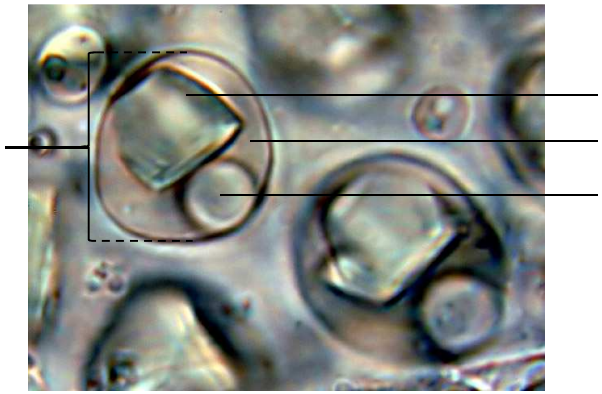


FIGURE 16. Grains d'aleurone dans une graine de Ricin (matrice huileuse).
D'après http://www.microscopie.ch/articles/ricinus/ricinus.php (consultation janvier 2016).

Les **grains d'aleurone** des **graines de Ricin** comprennent des **phosphates** et ont une **structure particulière**, comprenant un **cristalloïde** et des **globoïdes** dans une **substance fondamentale** (figure 16).

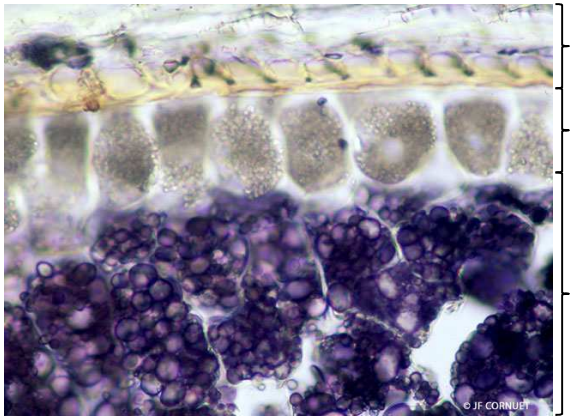


FIGURE 17. Périphérie d'un caryopse de Blé (coloration au lugol de l'albumen).
Cliché J.-F. CORNUET, en ligne : http://svt.ac-creteil.fr/?Grain-de-ble-tegument-assise-a-grains-d-aleurone-et-albumen (consultation janvier 2016).

C. Les tissus de réserve chez les Angiospermes : des parenchymes ou des tissus secondaires d'organisation parenchymateuse

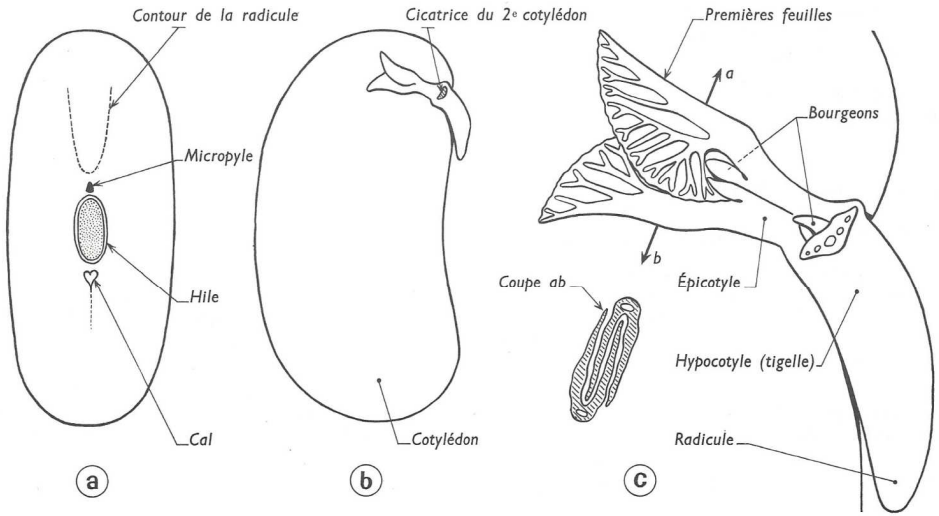
- Les **réserves** sont situées dans :
  - Des **parenchymes spécialisés** qu'on peut nommer **parenchymes de réserve**.
  - Des **parenchymes ligneux** ou **libériens** dont les cellules présentent des **parois pauvres en lignine**.
  - Des **tissus conducteurs secondaires (xylème II ou phloème II)** ***dont les cellules restent vivantes, se gorgent de réserves et présentent une paroi peu lignifiée***. *En fait, ce sont les rayons ligneux ou libériens qui dominent et le « **bois** » (vaisseaux, fibres) ou le « **liber** » véritables sont **extrêmement réduits**.*

D. Les organes de réserve des Angiospermes

1. Les semences

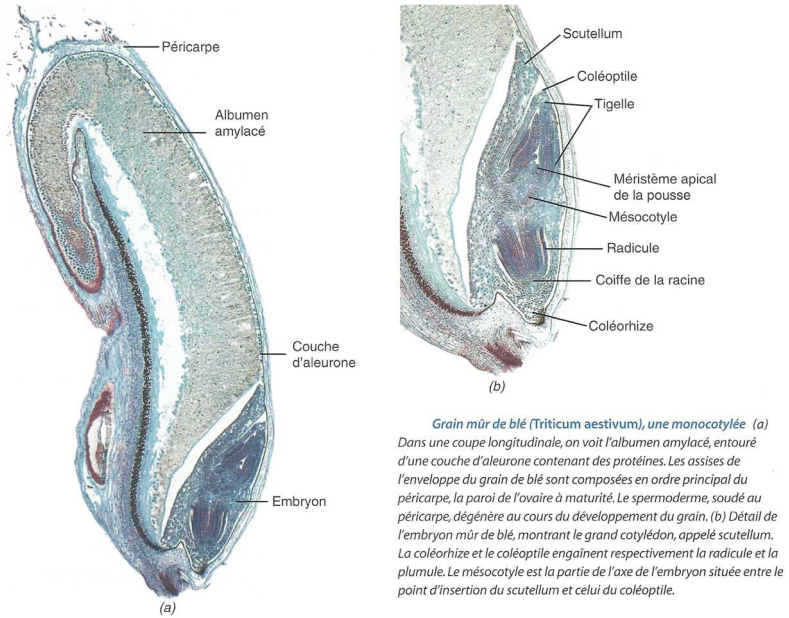
- Les **graines** ont déjà été traitées dans le cadre du TP A3 en début d'année : ce TP doit être revu. Rappelons qu'il existe des **graines exalbuminées** (***réserves dans les cotylédons***) comme le Haricot (figure 18) et des **graines albuminées** (***réserves dans l'albumen***) comme le Ricin (figure 20). Les **grains à périsperme** sont **rares**. Rappelons enfin que les graines peuvent être **amylacées**, **oléagineuses** ou **protéagineuses**, souvent **mixtes** quoiqu'une **dominance** soit souvent à noter.
- Citons le cas particulier des **caryopses** de Poacées (figure 21) où ***les téguments de fruit (péricarpe) sont fusionnés à ceux de la graine***.

Les graines seront également réétudiées dans la partie C, notamment le TP C4 consacré à la **reproduction sexuée des Angiospermes**. Y seront également traités les **fruits** dont il convient toutefois de noter que les **réserves** situées dans le **péricarpe** permettent d'**alimenter les animaux** et ainsi de **disséminer les graines**.



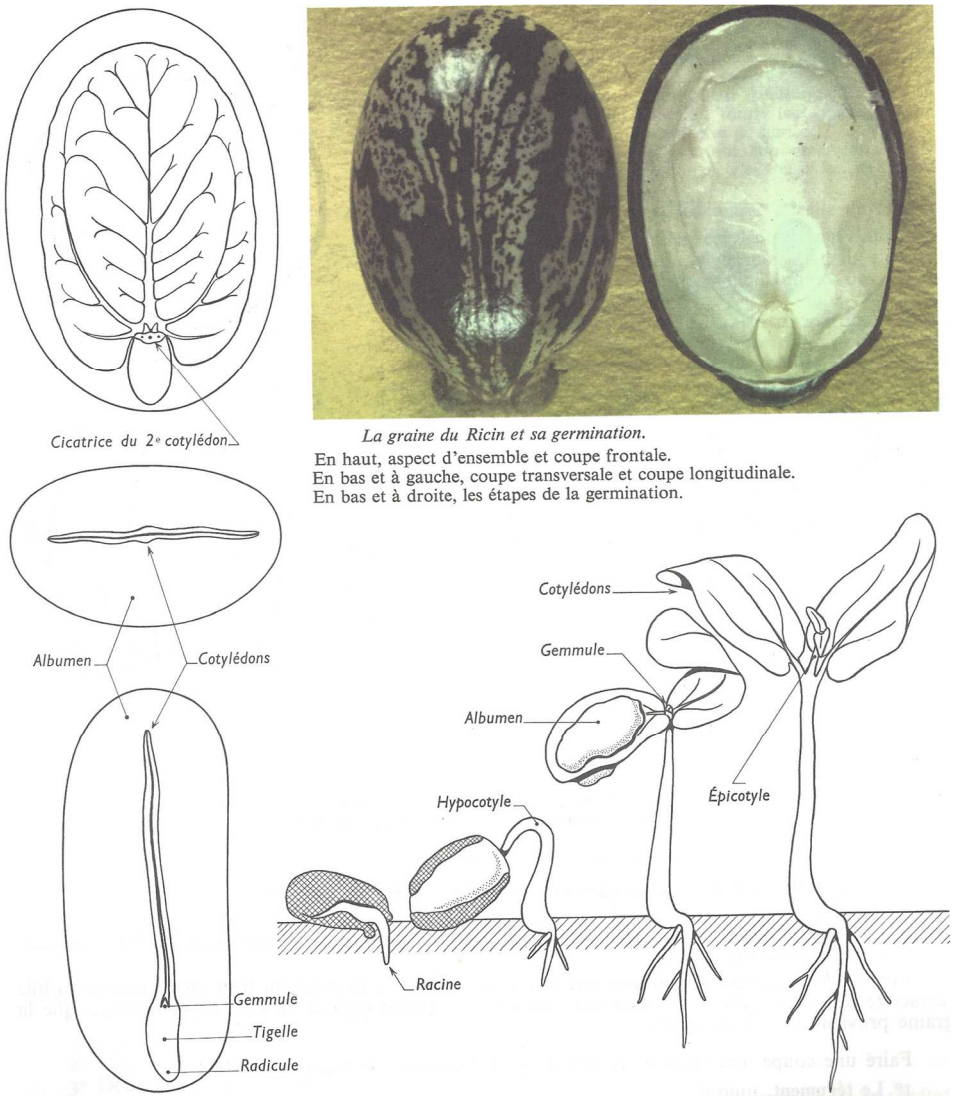
La graine du Haricot.
a : aspect d'ensemble ; b-c : dissection de la graine.

FIGURE 18. Rappel de l'organisation d'une graine exalbuminée (Haricot).
D'après VINCENT (1974).



Grain mûr de blé (Triticum aestivum), une monocotylée *(a)*
Dans une coupe longitudinale, on voit l'albumen amylacé, entouré d'une couche d'aleurone contenant des protéines. Les assises de l'enveloppe du grain de blé sont composées en ordre principal du péricarpe, la paroi de l'ovaire à maturité. Le spermoderme, soudé au péricarpe, dégénère au cours du développement du grain. (b) Détail de l'embryon mûr de blé, montrant le grand cotylédon, appelé scutellum. La coléorhize et le coléoptile engainent respectivement la radicule et la plumule. Le mésocotyle est la partie de l'axe de l'embryon située entre le point d'insertion du scutellum et celui du coléoptile.

FIGURE 19. Coupe longitudinale d'un caryopse (Blé). D'après RAVEN *et al.* (2007b).



La graine du Ricin et sa germination.
En haut, aspect d'ensemble et coupe frontale.
En bas et à gauche, coupe transversale et coupe longitudinale.
En bas et à droite, les étapes de la germination.

FIGURE 20. Rappel de l'organisation d'une graine albuminée (Ricin).
D'après VINCENT (1974).

Pistes de réflexion et d'exploitation

- ***Complétez*** *les figures 18-20.*

2. Les organes végétatifs : tubercules, rhizomes et bulbes

Quelle est la morphologie des organes de réserve végétatifs ?

Les plantes herbacées bisannuelles et vivaces stockent des réserves dans certains *organes souterrains tubérisés* (forme massive), ce qui leur permet de reprendre leur croissance après la mauvaise saison. Ce stockage entraine des modifications profondes de l'organisation de l'appareil végétatif (Fig.), qui rendent parfois difficile l'identification des tiges et des racines. La présence ou l'absence de bourgeons permet de distinguer trois grands types d'organes de réserve.

- **Les tubercules racinaires** sont des organes de réserve racinaires ou mixtes (formés d'une portion plus ou moins grande de la tige en plus de la racine ; ex. carotte, betteraves ou radis).
- **Les tubercules caulinaires et les rhizomes** sont des organes de réserve caulinaires.
- **Les bulbes** sont des organes de réserve foliaires plutôt caractéristiques des Monocotylédones.

Une plante bisannuelle accomplit son cycle de vie en deux années.

Une plante vivace (ou *pérenne*) vit plus de deux ans.

Les herbacées annuelles et les arbres ne forment pas d'organes de réserve.

D'après GODINOT *et al. (2010)*

Les tubercules caulinaires (ex. tubercule de pomme de terre) sont des tiges souterraines hypertrophiées qui portent des feuilles très réduites et des bourgeons et qui ne survivent pas plus d'un an.

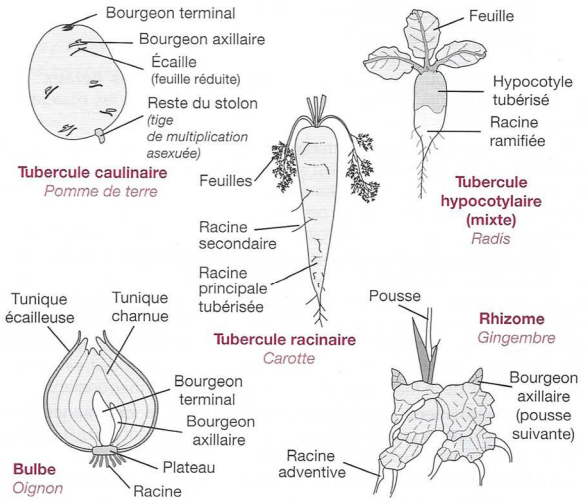
Les rhizomes (ex. rhizome de gingembre, iris et sceau de Salomon) sont des tiges souterraines vivaces.

Les bulbes (ex. bulbe d'oignon ou de tulipe) sont des pousses souterraines verticales disposant de feuilles modifiées (*tuniques*) et d'une tige courte (*plateau*).

Seuls les organes de réserve couramment utilisés dans notre alimentation (« légumes ») sont à connaitre.

Erreur à éviter

Attention, « légume » est uniquement un terme culinaire, il ne représente pas un type d'organe végétal, au contraire des « fruits ». Certains « légumes » sont d'ailleurs des fruits (ex. tomate, avocat, courgette…).



Morphologie de quelques organes de réserve.

FIGURE 21. Organes de réserves végétatifs. D'après GODINOT *et al.* (2010).

*Dans les **arbres**, il n'y a **pas vraiment d'organes de réserves spécialisés** mais, en revanche, les **rayons ligneux** (et **libériens** dans une moindre mesure) accumulent des **réserves**.*

Comment l'observation morpho-anatomique des organes de réserve végétatifs et de coupes variées nous permet-elle de comprendre macroscopiquement l'organisation de ces organes ?

Activité 9. Observation macroscopique d'organes de réserve végétatifs

Savoirs à construire	Organisation des organes de réserve racinaires, hypocotylaires ou caulinaire

	Capacité ou attitude visée	**Évaluation**
Savoir-faire sollicités	Maîtriser un outil, un geste technique, un logiciel… ➢ Coupe	
	Analyser, observer et raisonner	

Travail à faire

- Étude des échantillons disponibles ; réalisation de coupes transversales et longitudinales.

Pistes de réflexion et d'exploitation

- ***Complétez** les figures 22-28 en vous aidant des **textes** et de vos **observations**.*

a. Étude de quelques bulbes

Organes de réserve faits de *bases foliaires charnues*, appliquées les unes contre les autres. Trois exemples sont proposés ici :

a. Oignon (plante bisannuelle).

1° Observer le **bulbe récolté à l'automne** (coupe verticale et coupe horizontale). Distinguer (fig. 16) :

a. Le *plateau*, tige courte portant tous les autres organes.

b. Les *racines*, plus ou moins desséchées.

c. Les *tuniques*, gaines foliaires à bords soudés formant sur la coupe horizontale des cercles emboîtés. Les premières tuniques sont fines et desséchées (« pelure », à rôle protecteur) ; les tuniques suivantes sont épaisses et charnues (rôle de réserve) ; les dernières, fines et fragiles, sont appliquées contre le bourgeon terminal.

d. Le *bourgeon terminal* et, s'il y a lieu, les bourgeons axillaires (dissection recommandée).

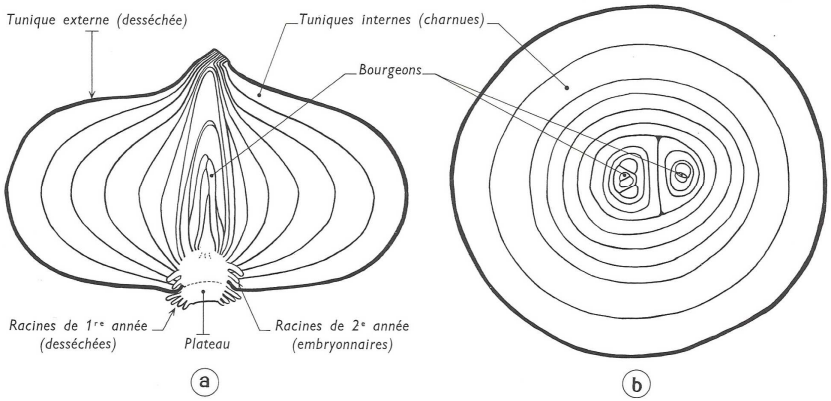


FIGURE 22. Bulbe d'Oignon. a. Coupe longitudinale. b. Coupe transversale. D'après VINCENT (1964).

2° Observer la **plante entière au cours de la première année de végétation** (aspect d'ensemble et coupe verticale).

Distinguer la tige vraie, ou plateau, de la *pseudo-tige* formée par les gaines emboîtées des feuilles (gaines à bords soudés, ligule membraneuse située à la limite de la gaine et du limbe, limbe creux à nervures parallèles, disposition alterne). Constater que chaque tunique est formée par l'extrémité inférieure d'une gaine foliaire et que le bulbe est formé essentiellement par l'extrémité inférieure, renflée, de la pseudo-tige.

Au cours de la première année de végétation, la plante élabore des *substances nutritives* qu'elle emmagasine dans son bulbe. A l'automne, la partie supérieure des feuilles se dessèche et le bulbe passe à l'état de sommeil.

3° Observer la « **germination** » **du bulbe** et les étapes de la végétation au cours de la seconde année (bulbes remis en terre au printemps : aspect d'ensemble et coupe verticale).

Une nouvelle série de *racines* apparaît, tandis que le bourgeon donne naissance à une nouvelle série de *feuilles*, puis à une longue *tige* creuse terminée par une *inflorescence* globuleuse. Cette reprise de la végétation est due à l'utilisation des réserves contenues dans le bulbe qui se ramollit peu à peu. Après avoir mûri ses graines, la plante tout entière se dessèche et meurt.

Ainsi, le **cycle végétatif** de l'Oignon s'étend sur deux années :

1re année : vie purement *végétative* ⟶ accumulation de réserves.
2e année : utilisation des réserves ⟶ *reproduction sexuée*.

L'Oignon est une **plante bisannuelle.**

Type comparable : Poireau (à bulbe à peine esquissé).

b. Tulipe (plante vivace à bulbe bisannuel).

1° Observer le **bulbe récolté à l'automne** (aspect d'ensemble et coupe verticale faite suivant le plan de symétrie : fig. 17 *a-b*).

Le bulbe proprement dit comprend un plateau, des racines très courtes, une tunique sèche, 4 tuniques charnues, un bourgeon terminal *(bourgeon floral)*, un ou plusieurs bourgeons axillaires *(bourgeon bulbeux)*. Sur le côté, il porte les restes (ou seulement la cicatrice) de l'axe floral de l'année précédente.

2° Observer la « **germination** » **du bulbe mis en terre** au printemps (coupe verticale faite suivant le plan de symétrie, coupe horizontale faite au 1/3 inférieur : fig. 17 *c-d*).

Les racines reprennent leur développement, momentanément arrêté. Le *bourgeon terminal* donne une tige feuillée terminée par une fleur. Après avoir cédé leurs réserves, les tuniques se ramollissent puis se dessèchent. Pendant ce temps, le *bourgeon axillaire* se développe en un bulbe dont la structure est identique à celle du bulbe initial.

S'il existe plusieurs bourgeons axillaires, il se forme autant de bulbes nouveaux *(multiplication végétative)*.

3° Observer la « **germination** » **d'un bulbe sur carafe d'eau** (coupe verticale faite suivant le plan de symétrie).

Constater que le développement de l'appareil aérien s'accomplit normalement, mais qu'*il ne se forme pas de nouveau bulbe :* la plante meurt après avoir fleuri.

Ainsi, **chaque bulbe vit deux ans :** pendant la première année, il accumule des réserves élaborées à partir des éléments nutritifs du sol ; pendant la deuxième année, il utilise ces réserves pour former un appareil aérien portant fleur, fruit et graines.

La vie de chaque unité présente une relative indépendance, mais, grâce à la formation annuelle d'un bulbe nouveau, la Tulipe est une **plante vivace.**

Types comparables : Ail (fig. 18), Échalote.

Chez l'*Ail*, chaque tunique abrite 1 à 4 bourgeons axillaires qui donnent autant de petits bulbes — les bulbilles, ou caïeux — improprement appelés « gousses ». Dans chaque bulbille, une seule tunique est charnue.

L'*Échalote* est très comparable à l'Ail, mais ses bulbilles présentent plusieurs tuniques épaissies.

c. Jacinthe (bulbe vivace).

Faire sur la Jacinthe une étude comparable à celle qui vient d'être consacrée à la Tulipe (fig. 19). Deux différences essentielles :

1° Les bases foliaires n'entourent pas complètement le bulbe : ce sont des *écailles*, non des *tuniques*. Alors que l'Oignon et la Tulipe ont un *bulbe tuniqué*, la Jacinthe a un **bulbe écailleux.**

Suite du texte d'après VINCENT *(1964)*

Nuance subtile, non faite par tous les auteurs, de peu d'intérêt

2° Chaque unité survit à sa floraison, si bien que le bulbe est formé de *plusieurs unités emboîtées*, les plus externes étant les plus anciennes. Le bulbe de la Jacinthe est donc un **bulbe vivace.**

Type comparable : Lis.

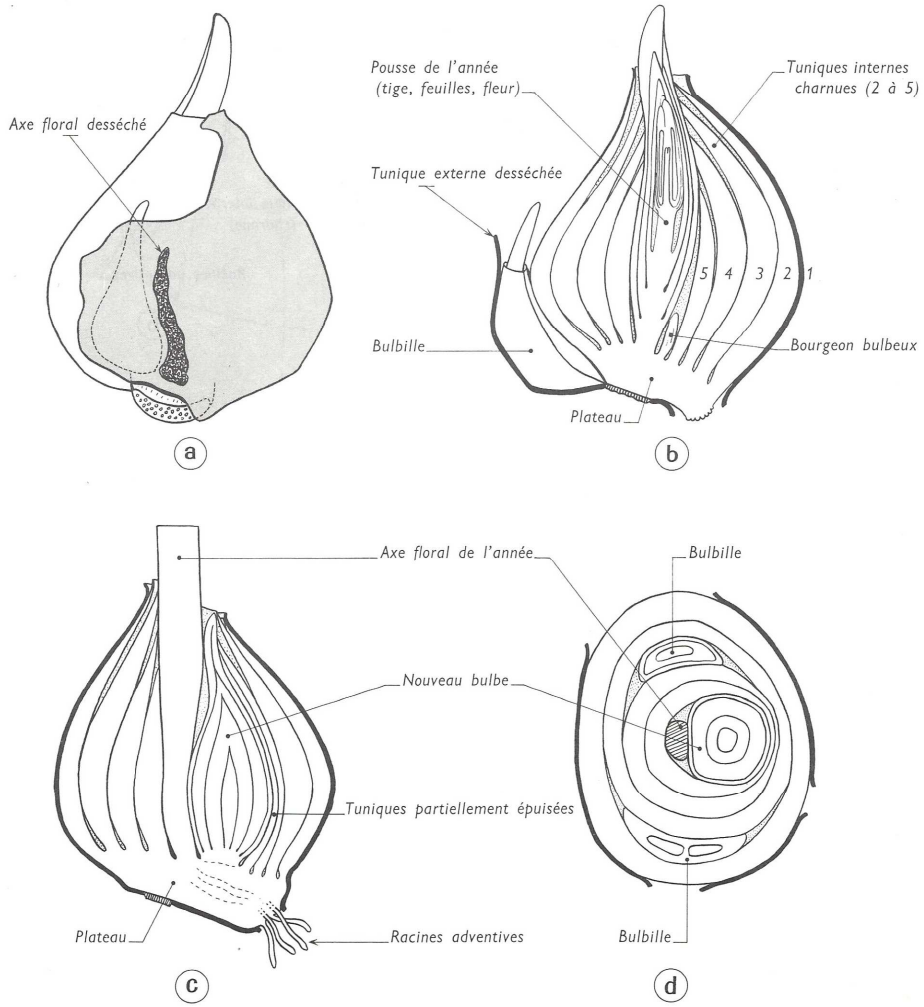


FIGURE 23. Bulbe de Tulipe. En haut : bulbe en hiver (a. Vue globale. b. Coupe longitudinale) **En bas : bulbe en terre au moment de la floraison** (c. Coupe longitudinale. d. Coupe transversale). D'après VINCENT (1964).

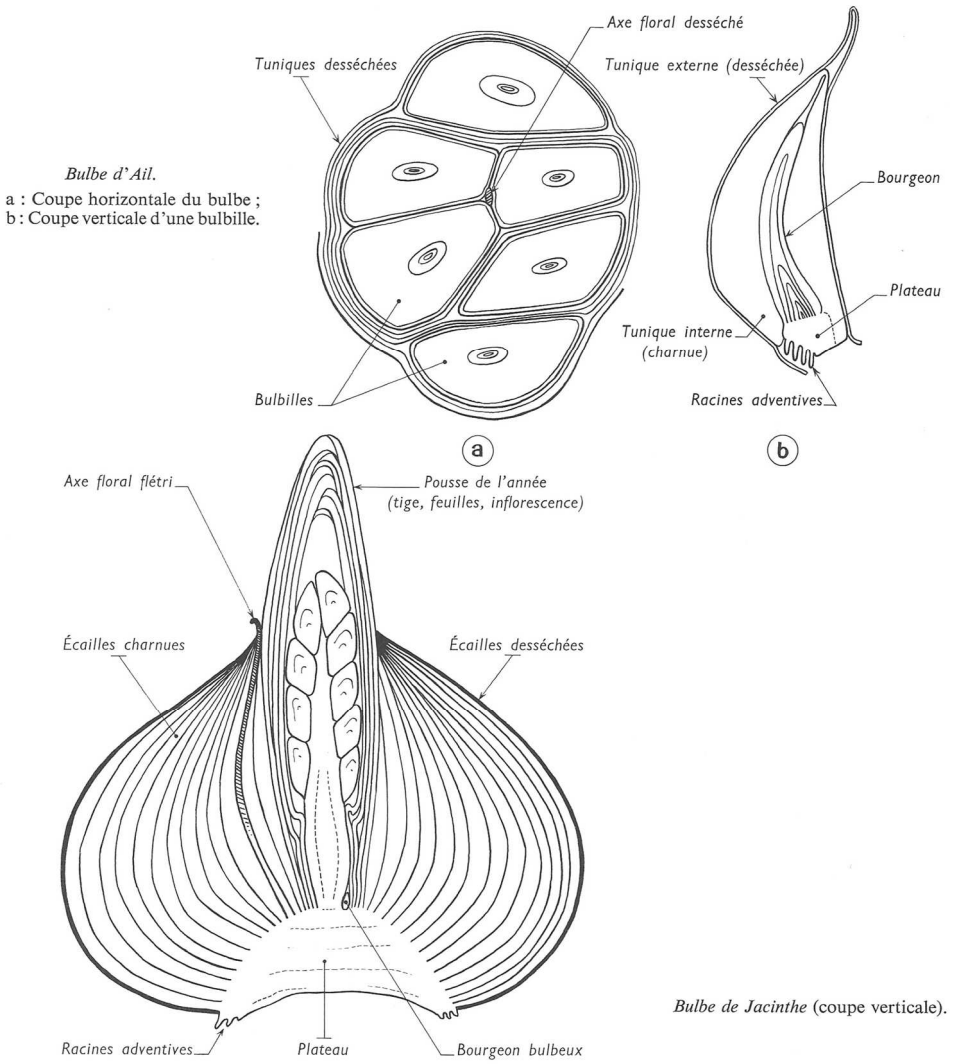


FIGURE 24. <u>En haut : bulbe (composé) d'Ail avec bulbilles.</u>
<u>En bas : bulbe (simple) de Jacinthe en cours de floraison</u>. D'après VINCENT (1964).

b. Étude d'un rhizome

- On appelle **rhizome** (figure 25) une ***tige souterraine, plus ou moins riche en réserve, vivace, qui croît souvent horizontalement (mais parfois verticalement) et d'où émergent des pousses aériennes***.
- Chez les **Angiospermes**, la croissance est souvent **sympodiale** : le **bourgeon terminal** donne un **axe feuillé** (parfois un par an comme pour le Sceau de Salomon) et c'est ***un bourgeon axillaire qui assure ensuite la croissance du rhizome***.
- La structure comprend en outre des **racines adventives** et peut présenter des **cicatrices foliaires**.

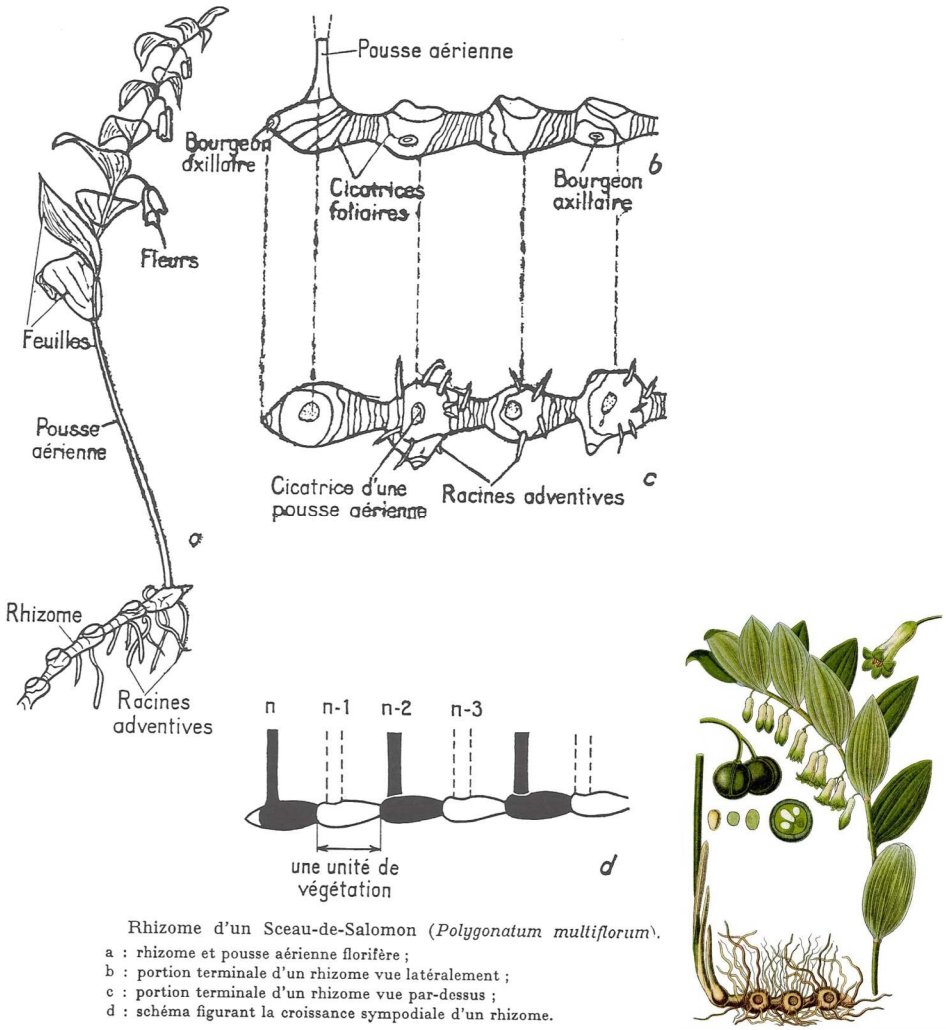


FIGURE 25. <u>Rhizome de Sceau-de-Salomon</u>. D'après CAMEFORT (1977).
Image http://zimzimcarillon.canalblog.com/archives/2013/06/14/27399488.html (consultation janvier 2016), peinture de J. G. STURM (1796)

c. Étude de quelques tubercules

- On dit qu'un organe est **tubérisé** (= que c'est un **tubercule**) ***quand il s'agit d'une tige ou d'une racine hypertrophiée par la présence de réserves***. Notez qu'un rhizome peut être tubérisé.

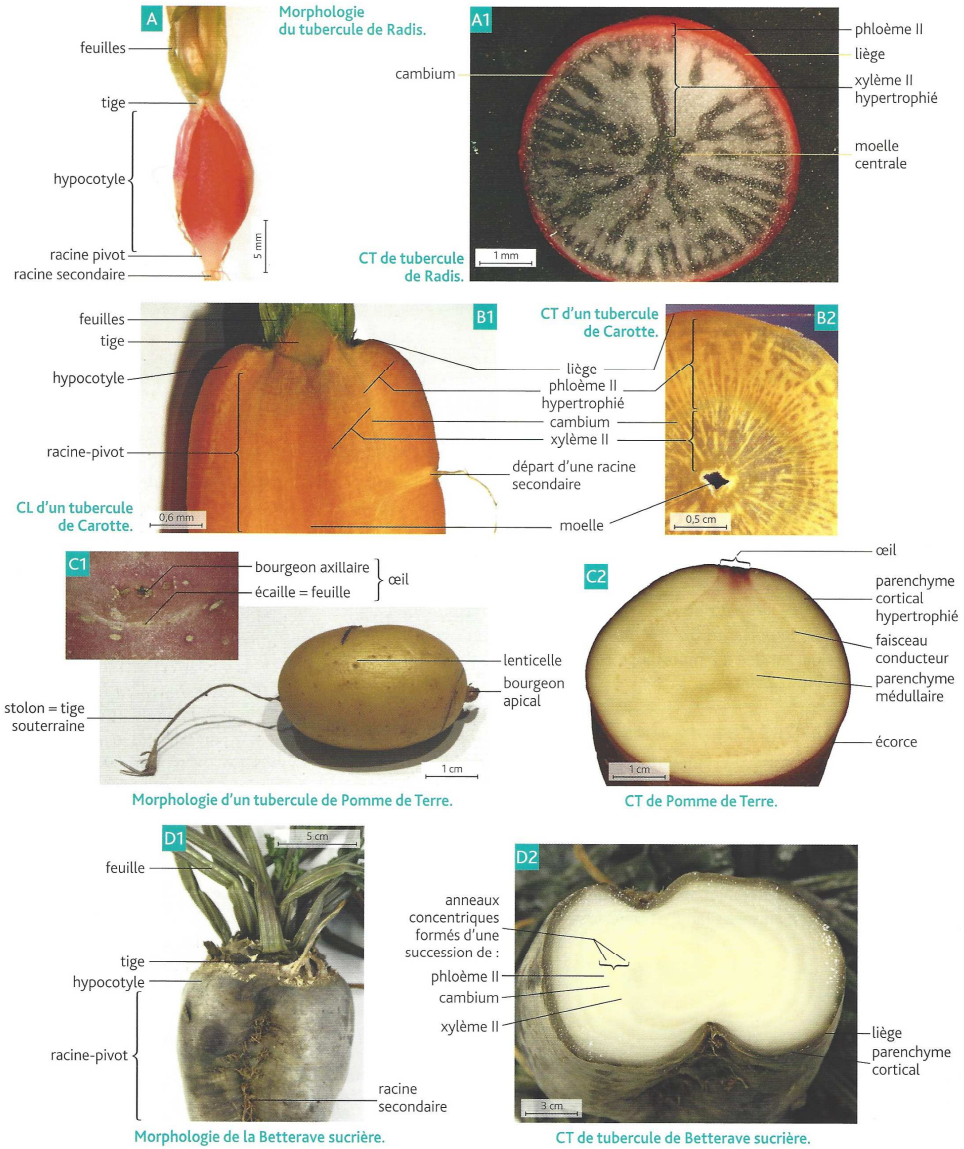


FIGURE 26. Quelques tubercules alimentaires 1/2. D'après BOUTIN *et al.* (2015).

Les végétaux des régions tempérées, soumis annuellement aux rigueurs de l'hiver, ont développé différents types de stratégies leur permettant de passer sans dégât cette période. Certains végétaux maintiennent ainsi un appareil végétatif :

- au niveau du sol pour les **hémicryptophytes** ;
- dans le sol, à l'abri des conditions atmosphériques extrêmes, pour les **cryptophytes**.

Cette seconde stratégie nécessite **l'accumulation de réserves** dans des organes spécialisés.

Le Radis *Raphanus sativus* (Famille des Brassicaceae)

La partie supérieure (rouge) du tubercule de Radis, surmontée d'une rosette de feuilles, correspond à l'hypertrophie de l'**hypocotyle** (photo A). Il s'agit donc d'une portion caulinaire dont l'écorce primaire, rompue par la tubérisation, donne des lambeaux blanchâtres. La base (blanche) du tubercule porte des racines secondaires. Il s'agit donc d'une **racine pivot** hypertrophiée. Le Radis est ainsi un **tubercule mixte**. La coupe transversale révèle que la tubérisation est due à l'hypertrophie du **xylème secondaire**. Les réserves de **saccharose** et de composés soufrés donnant le piquant du Radis sont accumulées dans les **vacuoles** des cellules du parenchyme ligneux.

La Carotte *Daucus carotta* (Famille des Apiaceae)

Sous une courte tige, la partie tubérisée est pourvue de nombreuses racines secondaires (photo B). Il s'agit donc d'une **racine pivot** hypertrophiée, avec une participation réduite de l'hypocotyle au tubercule. La coupe transversale révèle que la tubérisation est due principalement au développement du **phloème secondaire**. Le xylème secondaire développé participe néanmoins au stockage des glucides, principalement du **saccharose**, dans les **vacuoles** des cellules parenchymateuses.

La Pomme de Terre *Solanum tuberosum* (Famille des Solanaceae)

Une Pomme de terre (photo C) présente à l'une de ses extrémités un bourgeon apical, à l'autre la trace du stolon. Sa surface est marquée par des cicatrices correspondant à des feuilles réduites. Chacune de ces cicatrices se trouve à l'aisselle d'un **bourgeon axillaire**, souvent entouré par deux bourgeons latéraux et dont la tubérisation a écarté les premières écailles. L'ensemble forme un **œil** de Pomme de terre. La surface est en outre constituée d'un liège percé régulièrement de lenticelles. Il s'agit donc d'un **tubercule caulinaire**, formé de plusieurs entre-nœuds. La coupe transversale révèle que la tubérisation est due principalement à l'hypertrophie des parenchymes, en particulier le **parenchyme médullaire**. Les réserves de la pomme de terre sont de type **amylacées**, l'amidon étant stocké au sein de volumineux **amyloplastes** (fiche 3).

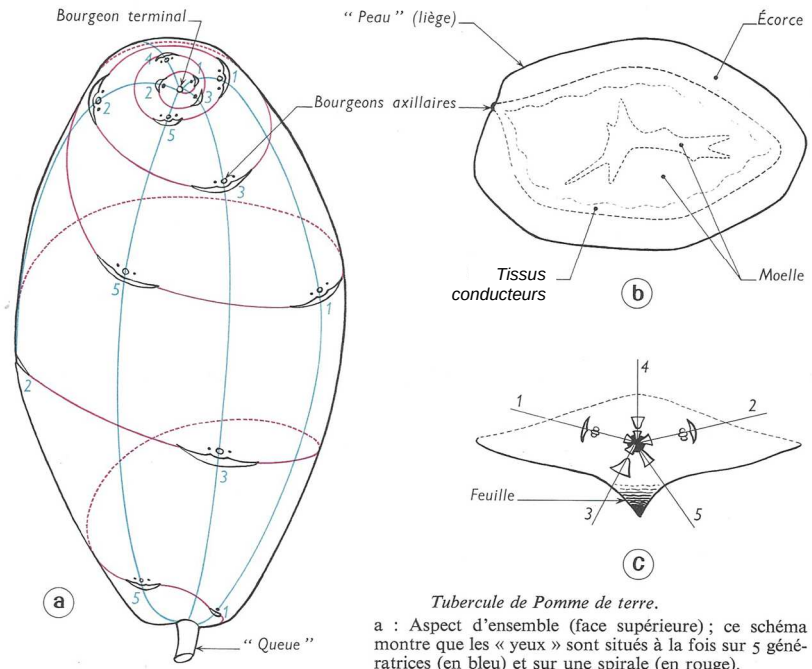
La Betterave *Beta vulgaris* (Famille des Amaranthaceae)

Tout comme le Radis et la Carotte, la tubérisation correspond à l'hypertrophie de l'**hypocotyle** et d'une partie de la **racine pivot**. La part relative de ces deux parties diffère cependant selon la variété de Betterave (sucrière, fourragère, rouge). La coupe transversale (photo D) révèle une anatomie particulière : le tubercule présente des **faisceaux cribro-vasculaires surnuméraires** formés à partir de cambiums successifs disposés en cercles concentriques. Le phloème secondaire produit est riche en **saccharose**. Le parenchyme situé entre les faisceaux participe également au stockage.

La tubérisation touche différents **organes** de l'appareil végétatif (hypocotyle, racine, tige), mais également différents **tissus** (parenchyme, phloème secondaire, xylème secondaire). Ces structures de réserve permettant le passage de la mauvaise saison sont mises en place chez différentes familles : il s'agit d'une **convergence évolutive**.

FIGURE 26. Quelques tubercules alimentaires 2/2. D'après BOUTIN *et al.* (2015).

Distinguer la « *queue* » du tubercule, partie non renflée du rameau, et le *bourgeon terminal*, situé à l'extrémité opposée. Constater que les *bourgeons axillaires* (« yeux »), plus serrés vers l'extrémité libre, décrivent une spirale de divergence 2/5. Chaque œil, situé à l'aisselle d'une feuille en écaille, est lui-même formé d'écailles disposées suivant une spirale de divergence 2/5 ; à l'aisselle des deux écailles externes, on remarque un minuscule bourgeon latéral.



Tubercule de Pomme de terre.
a : Aspect d'ensemble (face supérieure) ; ce schéma montre que les « yeux » sont situés à la fois sur 5 génératrices (en bleu) et sur une spirale (en rouge).
b : Coupe transversale ; c : Étude d'un « œil ».

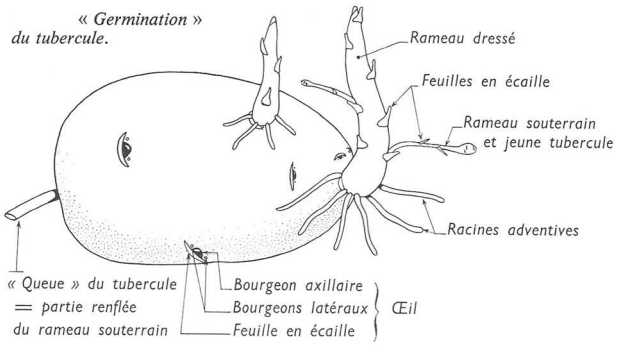
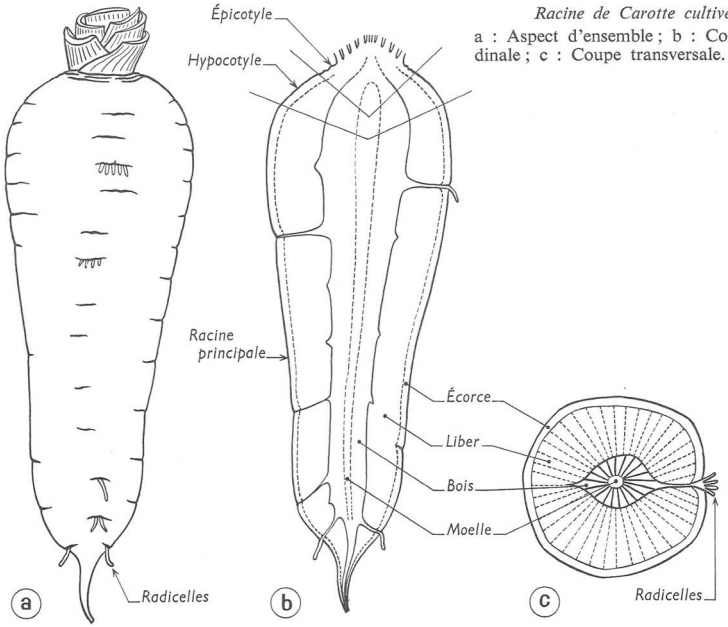


FIGURE 27. Document complémentaire sur la Pomme de Terre. D'après VINCENT (1964).

L'appareil radiculaire *fixe* la plante au sol, assure sa *nutrition minérale* et, éventuellement, accumule des *réserves* (racines tubéreuses). Il comprend :

1° La *racine principale*, issue de la germination de la graine.



Racine de Carotte cultivée.
a : Aspect d'ensemble ; b : Coupe longitudinale ; c : Coupe transversale.

2° Les *racines secondaires*, formées sur la racine principale (radicelles) ou sur la base de la tige (racines adventives).

Suivant l'importance relative de la racine principale et des racines secondaires, le système radiculaire est dit **pivotant** (racine principale prédominante) ou **fasciculé** (racines sensiblement égales). Dans les deux cas, les racines peuvent être *grêles* ou *tubéreuses*.

Nous proposons ici l'étude de quelques types de **racines tubéreuses.**

a. Systèmes pivotants.

Carotte (fig. 24), Céleri-Rave, Radis, Navet, Betterave.
La tubérisation affecte la racine principale et la base de la tige.
Ce sont des **plantes bisannuelles** (cycle végétatif analogue à celui de l'Oignon).

b. Systèmes fasciculés.

Dahlia, Ficaire, Orchis.

La tubérisation affecte un groupe de racines qui, dans le cas de l'Orchis, sont soudées en une seule masse.

Ce sont des **plantes vivaces à unités bisannuelles** (cycle végétatif analogue à ceux de la Tulipe et de la Pomme de terre).

FIGURE 28. Document complémentaire les racines tubérisées : exemple de la Carotte cultivée. D'après VINCENT (1964).

III. Les adaptations à la sécheresse chez les Angiospermes (TP B9)

A. Préambule : diversité des situations écophysiologiques face à la disponibilité en eau

- En fonction de l'abondance de l'eau dans le milieu, on peut distinguer sommairement trois types de plantes :
  - Les **hydrophytes** ou **plantes hydrophiles** qui ***vivent en partie ou en totalité immergées, au moins dans un sol gorgé d'eau***.
  - Les **mésophytes** ou **plantes mésophiles** qui ***comprennent l'essentiel des plantes connues vivant dans des conditions moyennes de disponibilité en eau***.
  - Les **xérophytes** ou **plantes xérophiles** qui ***vivent en milieu sec où l'eau est rare et/ou peu disponible***.

B. Les xérophytes, plantes présentant des adaptations morpho-anatomiques et/ou physiologiques aux milieux secs

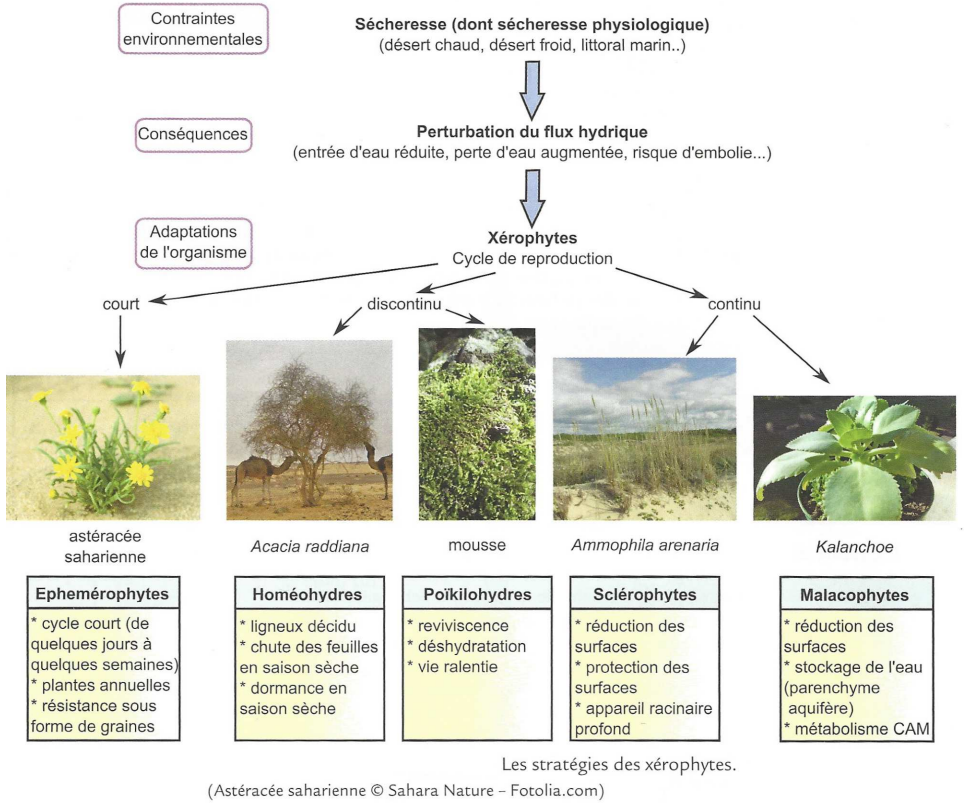


FIGURE 29. Diversité des xérophytes. D'après PEYCRU *et al.* (2014).

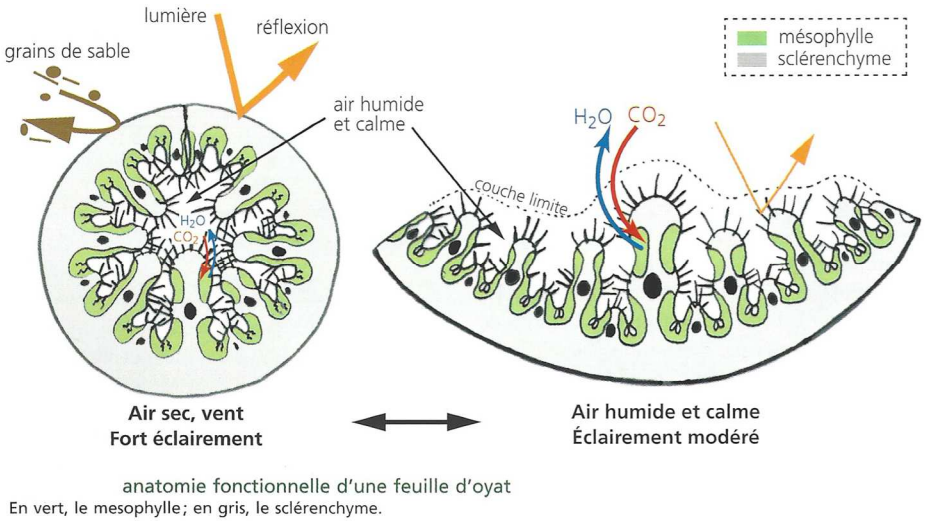
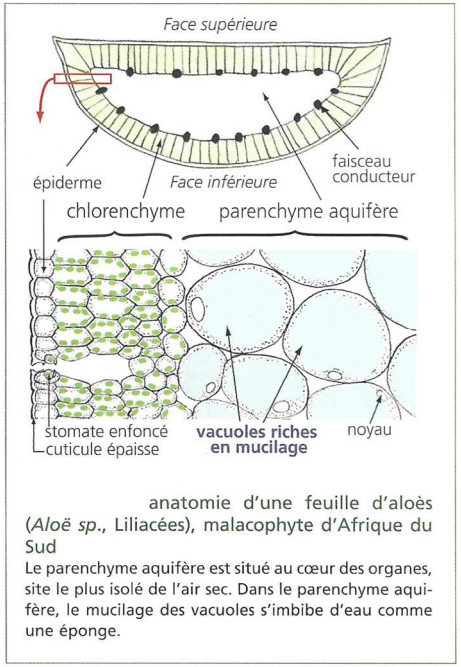


FIGURE 30. Enroulement et ouverture des feuilles d'Oyat. D'après MEYER *et al.* (2008).

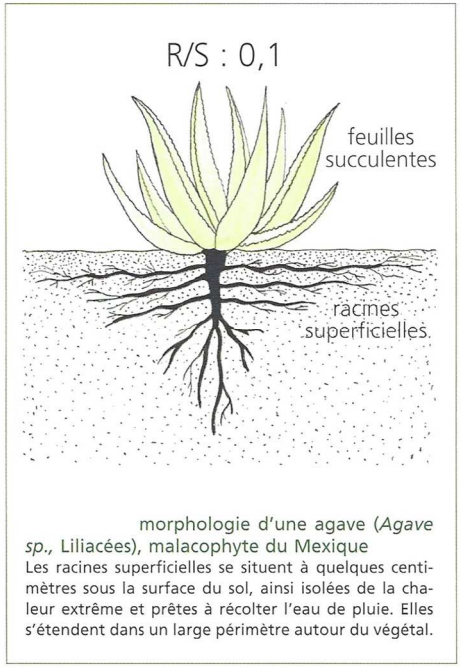
- La figure 29 résume la **diversité des xérophytes** existantes :
  - Les **éphémérophytes** ***réalisent leur cycle de développement en quelques jours quand l'eau est disponible et passent la saison sèche à l'état de graine***.
  - Les **homéohydres** ***ne supportent pas la dessiccation et peuvent alors, lors des sécheresses, perdre leurs feuilles voire entrer en dormance***.
  - Les **sclérophytes** ***assurent une protection et une réduction des surfaces de transpirations, ce qui limite l'évaporation d'eau*** (figure 30) :
    - la **cuticule** est **épaissie**,
    - les **tissus de soutien** comme le **sclérenchyme** sont abondants (ce qui favorise l'imperméabilisation des structures).
    - la **surface foliaire** est **réduite**,
    - les **stomates** sont protégés par des **poils épidermiques**, souvent au sein de **cryptes pilifères** voire de **gouttières** ou **rainures** foliaires comme chez l'Oyat (*ces gouttières permettraient en outre de capter la rosée et d'en assurer le ruissellement jusqu'au* ***bas de la plante****, permettant son* ***hydratation***),
    - des **racines profondes** et **étendues** permettent de puiser l'eau efficacement.
    - des **cellules bulliformes** dont ***la turgescence est sensible à l'hygrométrie ambiante peuvent conduire à l'ouverture ou l'enroulement de la feuille sur elle-même selon les conditions du milieu*** (figure 30).
  - Les **malacophytes (= plantes grasses = plantes succulentes)** (figure 31)
    - ***collectent et stockent l'eau dans des parenchymes aquifères (aquenchymes) où les vacuoles sont riches en mucilages polysaccharidiques qui retiennent l'eau*** ;
    - des **racines courtes** et **superficielles** puisent l'**eau de pluie** aisément ;

- ces plantes présentent en outre souvent un **métabolisme de type CAM (*Crassulacean Acid Metabolism*)** où ***les stomates sont ouverts la nuit*** (figure 32) ;
- on note une **réduction de la surface foliaire**.

▪ Pour information : les **poïkilohydres** sont ***capables de déshydratation et de vie ralentie en cas de manque d'eau puis de reviviscence par réhydratation*** ; c'est une stratégie **rare chez les Angiospermes**, mais commune dans d'autres groupes (Mousses, 'champignons'…).



anatomie d'une feuille d'aloès (*Aloë sp.*, Liliacées), malacophyte d'Afrique du Sud
Le parenchyme aquifère est situé au cœur des organes, site le plus isolé de l'air sec. Dans le parenchyme aquifère, le mucilage des vacuoles s'imbibe d'eau comme une éponge.



morphologie d'une agave (*Agave sp.*, Liliacées), malacophyte du Mexique
Les racines superficielles se situent à quelques centimètres sous la surface du sol, ainsi isolées de la chaleur extrême et prêtes à récolter l'eau de pluie. Elles s'étendent dans un large périmètre autour du végétal.

FIGURE 31. Adaptations morpho-anatomiques des malacophytes. D'après MEYER *et al.* (2008).

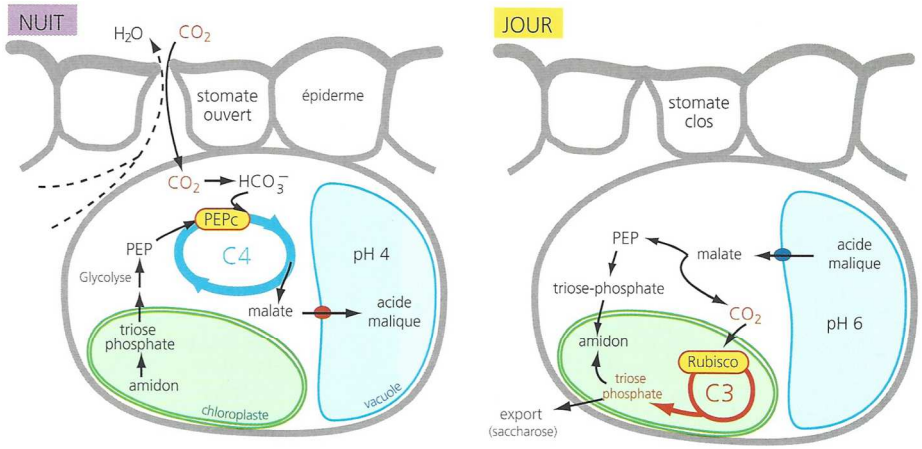
C. Étude pratique de l'anatomie foliaire de xérophytes

Comment l'étude histologique de coupes foliaires de xérophytes nous permet-elle de mettre en évidence les adaptations à la sécheresse ?

Activité 10. Coupes transversale de Laurier-rose, d'Oyat et d'Aloès

Savoirs à construire	CT de feuilles de Laurier-rose, d'Oyat et d'Aloès

	Capacité ou attitude visée	Évaluation
Savoir-faire sollicités	Maîtriser un outil, un geste technique, un logiciel… ➢ Microscope optique	
	Analyser, observer et raisonner	



photosynthèse CAM pendant la nuit (air à 10 °C et 30 % d'humidité relative) et le jour (30 °C, 5 %) dans une cellule de chlorenchyme
La nuit, l'hydrolyse de l'amidon permet la formation du PEP à rôle d'accepteur du CO_2. Le jour, l'amidon est restauré à partir des sucres C3. La décarboxylation du malate libère du CO_2, qui sera assimilé dans le chloroplaste, et forme du pyruvate qui est converti en PEP puis en triose-phosphate par les réactions inverses de la glycolyse. Le triose-phosphate est transporté dans le chloroplaste où il entre dans la synthèse d'amidon.
L'import du malate (ion) dans la vacuole est actif (couplage avec des pompes à protons), son export est supposé passif. Dans la vacuole, il devient l'acide malique.

FIGURE 32. Adaptation métabolique des malacophytes : le métabolisme CAM [*pour information : hors programme*]. D'après MEYER *et al.* (2008).

Travail à faire

- **Étude histologique** de la coupe transversale de **limbe** de **Laurier-rose** (sclérophyte) (Eudicotylédones).
- **Étude histologique** de la coupe transversale de **limbe** d'**Oyat** (sclérophyte) (Monocotylédones).
- **Étude histologique** de la coupe transversale de **limbe** d'**Aloès** (malacophyte) (Monocotylédones).

Pistes de réflexion et d'exploitation

- ***Complétez*** *les figures 33-36 en vous aidant des* ***textes*** *et de vos* ***observations****.*

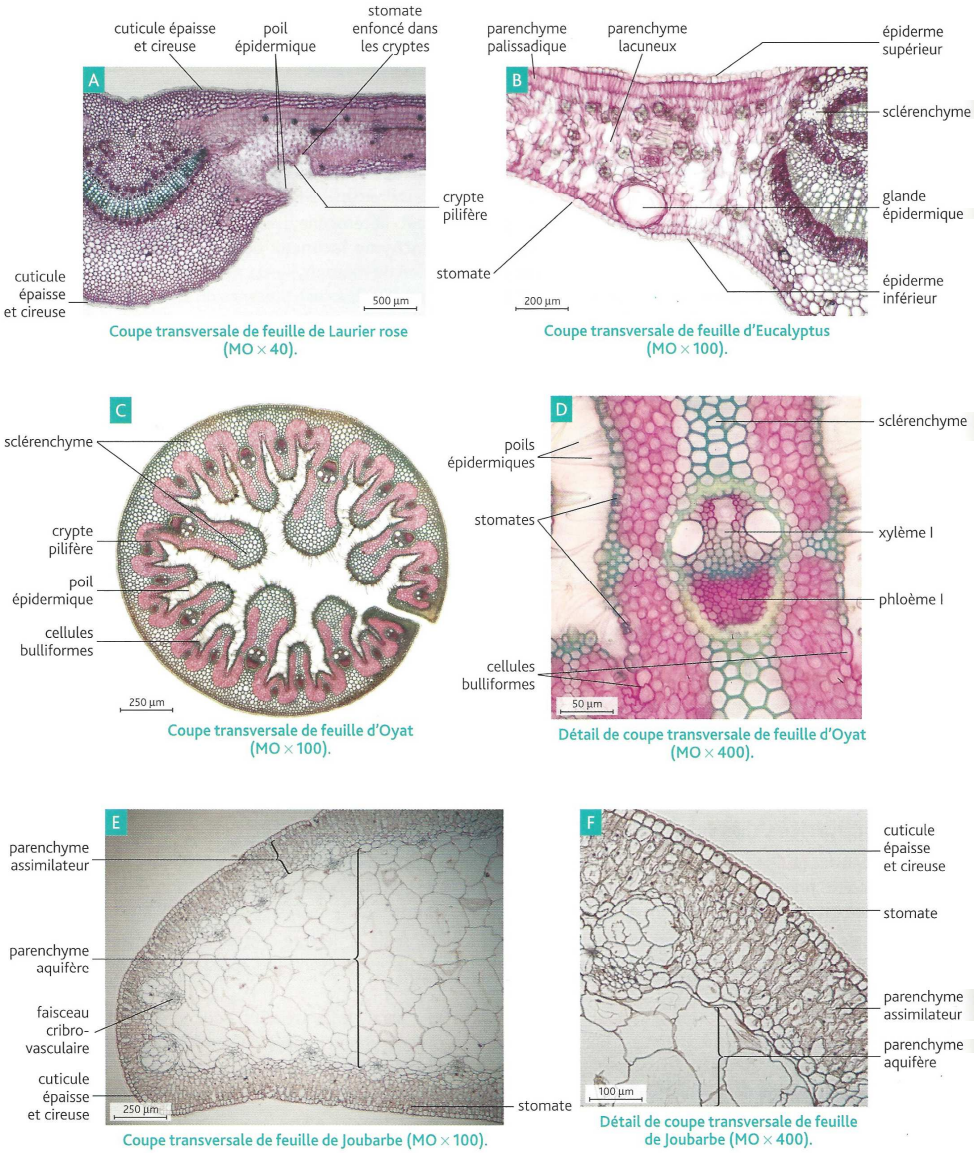


FIGURE 33. Feuilles de xérophytes 1/2. D'après BOUTIN *et al.* (2015).

Le terme de **xéromorphose** désigne l'**adaptation aux milieux secs** des organes de l'appareil végétatif. Cette adaptation peut prendre plusieurs formes.

Limitation de l'évaporation des plantes sclérophytes

Les plantes **sclérophytes**, sans effectuer spécifiquement de réserve d'eau, limitent au maximum son évaporation. Ceci est possible grâce à un ensemble de particularités anatomiques.

Ces plantes montrent beaucoup de **tissus sclérifiés** (photos A, B, C et D), à l'origine de leur nom, assurant une certaine rigidité à la plante. Ces tissus, constitués de cellules mortes à paroi lignifiée, constituent une barrière hydrophobe limitant les pertes d'eau.

En outre, les zones d'échanges avec l'atmosphère sont protégées et les échanges sont limités :

- La réduction de la surface d'échanges est souvent permise par la réduction de la taille des feuilles, qui prennent une forme aciculée ou réduite à des écailles. Au niveau des surfaces foliaires, la **cuticule** est épaisse et cireuse. Ceci est particulièrement bien visible sur l'épiderme supérieur de la feuille de Laurier-rose (photo A). Il existe aussi, chez quelques espèces, des **glandes épidermiques**, qui sécrètent des essences volatiles dont l'évaporation provoque un refroidissement localisé. C'est le cas de l'Eucalyptus (photo B) et de certaines Lamiacées.
- Les **stomates** sont peu nombreux et très protégés. Ceci est particulièrement flagrant chez l'Oyat, plante des dunes du littoral, soumise au vent et aux embruns (photos C et D) : les stomates se trouvent sur l'épiderme supérieur uniquement, localisées au fond de cryptes, et protégées par des poils épidermiques ; ces particularités freinent fortement le vent et autorisent des échanges avec une atmosphère confinée et protégée.
- Toujours chez l'Oyat, on observe un repliement de la feuille (photo C) permis grâce aux **cellules bulliformes** (photo D) dont la turgescence est variable en fonction de l'hygrométrie du milieu : si le milieu est sec, la feuille se replie sur elle-même et crée une micro-atmosphère interne protégée ; si le milieu extérieur est plus humide, la feuille se déplie et optimise sa photosynthèse.

Réserves d'eau des plantes malacophytes

Tout en limitant également l'évaporation, les plantes **malacophytes** font des réserves d'eau.

Le **rapport volume/surface est maximisé**, ce qui limite l'évaporation et augmente le volume de stockage de l'eau. Les organes des malacophytes sont ainsi souvent cylindriques ou en forme de raquettes renflées. De plus, l'épiderme, recouvert d'une **cuticule** cireuse, présente des **stomates** de petite taille et peu nombreux (photo E).

La mise en réserve de l'eau se fait dans un **parenchyme aquifère** (photo F). Celui-ci est constitué de grandes cellules à paroi mince et à vacuole très développée. L'eau est retenue par imbibition de mucilages. De ce fait, le potentiel hydrique de ces plantes est bas, ce qui favorise la rétention d'eau. Ce parenchyme assure également la turgescence de la plante en absence de tissu de soutien. Les tissus conducteurs sont peu nombreux et de faible diamètre. Ceci témoigne d'une circulation interne peu active et d'un métabolisme ralenti.

Les adaptations présentées parmi les **sclérophytes** et les **malacophytes** sont communes à ces plantes adaptées aux milieux secs, alors que celles-ci appartiennent à plusieurs familles végétales. On parle alors de **convergence évolutive**.

FIGURE 33. Feuilles de xérophytes 2/2. D'après BOUTIN *et al.* (2015).

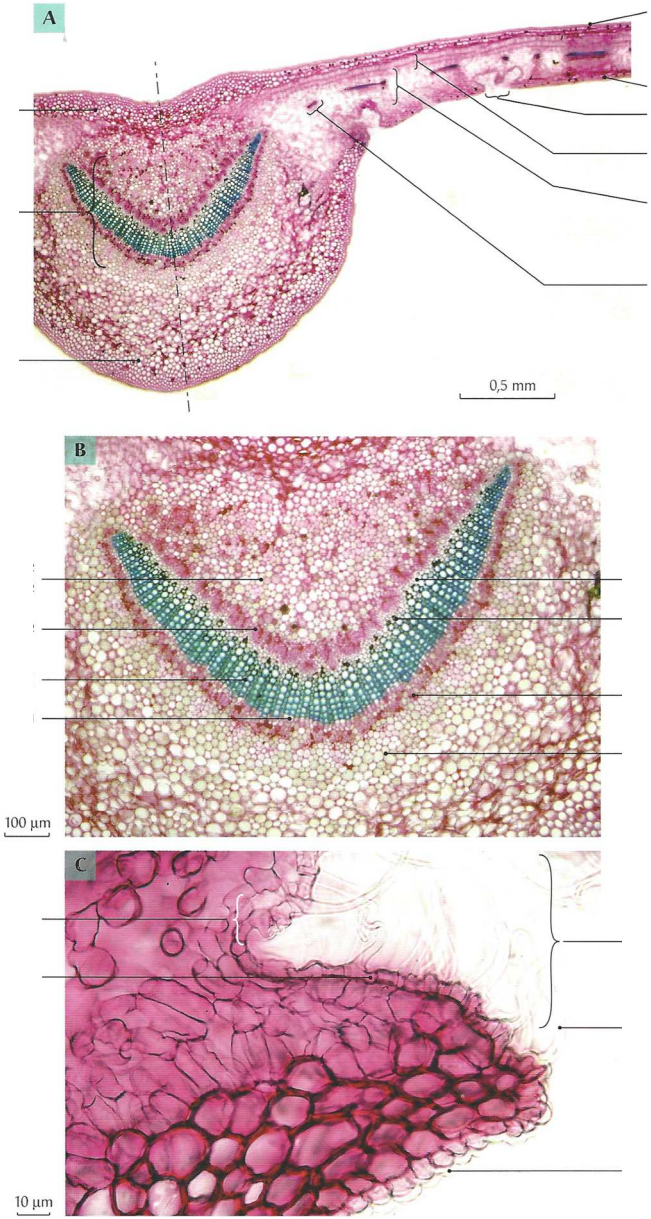


FIGURE 34. Coupe transversale de limbe de Laurier-rose 1/2. D'après BOUTIN *et al.* (2010).

Le limbe de Laurier-rose

Diagnose

Nature de l'organe

- C'est un organe à symétrie bilatérale (photo A).

➡ C'est une coupe de feuille

- C'est un organe de forme aplatie.

➡ C'est un limbe

Le système vasculaire correspond aux nervures qui permettent l'orientation du limbe, le xylème est en position ventrale et le phloème en position dorsale.

Position systématique

De plus, on peut noter que :

- Le mésophylle est hétérogène, composé d'un parenchyme palissadique à la face ventrale et d'un parenchyme lacuneux à la face dorsale ;
- Il existe un système vasculaire composé de tissus secondaires de part et d'autre du cambium.

➡ C'est un limbe de Dicotylédone

Caractères biologiques particuliers

Cette feuille présente des particularités (photo B) : du phloème s'observe en position dorsale par rapport au cambium mais d'autres formations phloémiennes sont présentes en position ventrale par rapport au xylème, qui apparaît donc bordé sur ses deux faces par du phloème. Ces formations constituent le phloème I interne.
Cette particularité remarquable se retrouve dans un petit nombre de familles, comme ici celle des Apocynacées à laquelle appartient le Laurier-rose.
Par ailleurs, les stomates sont logés au sein des chambres pilifères (photo C) et la cuticule est épaisse sur les deux faces. Ces caractères sont autant d'adaptations à un milieu sec.

Schéma en figurés conventionnels

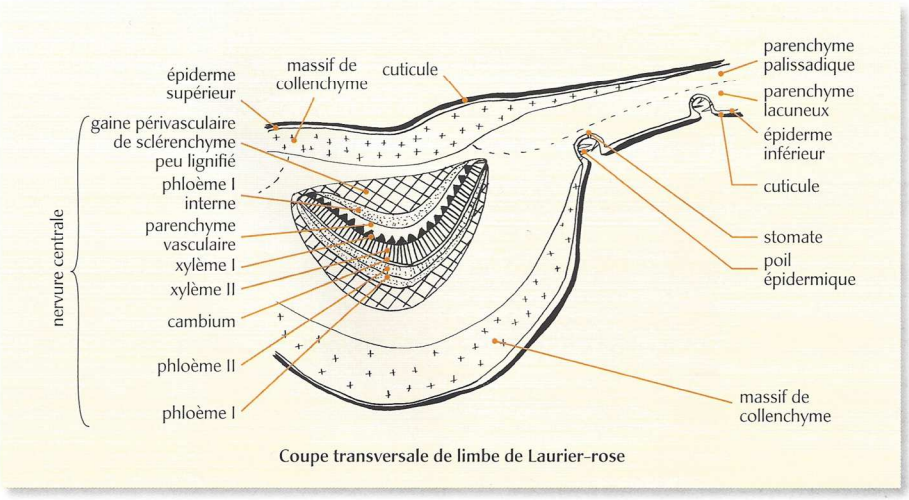


FIGURE 34. Coupe transversale de limbe de Laurier-rose 2/2. D'après BOUTIN *et al.* (2010).

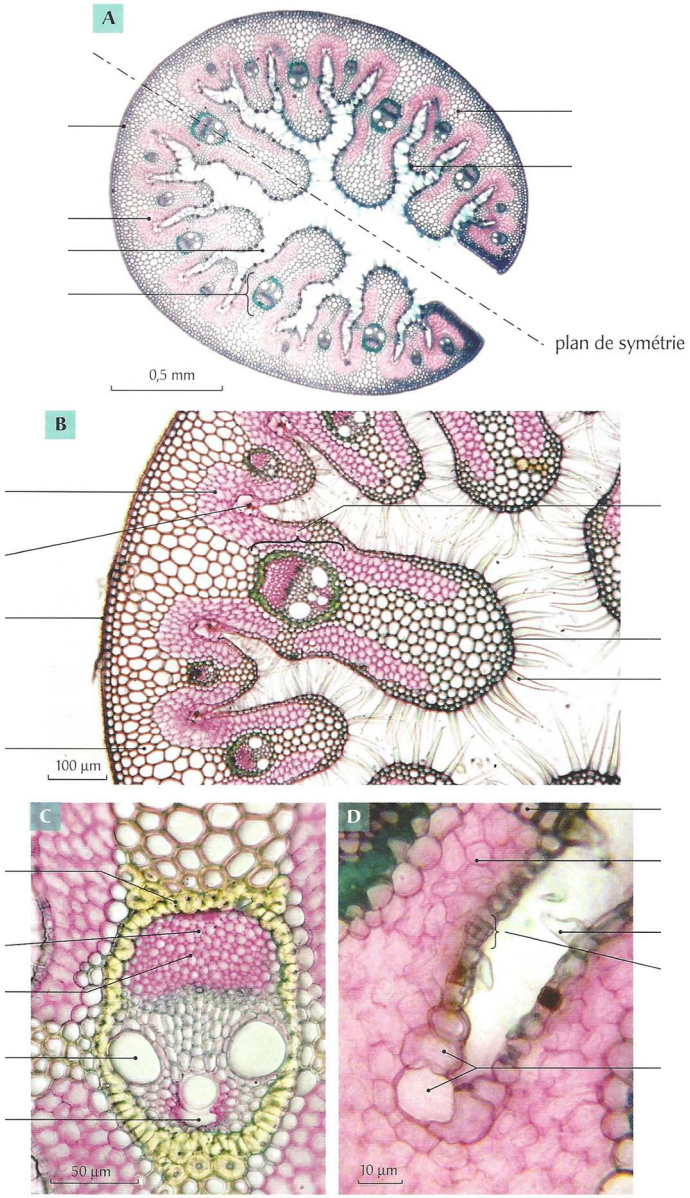


FIGURE 35. Coupe transversale de limbe d'Oyat 1/2. D'après BOUTIN *et al.* (2010).

Le limbe d'Oyat

Diagnose

Nature de l'organe

- C'est un organe à symétrie bilatérale (photo A).

➡ C'est une coupe de feuille

- C'est un organe de forme aplatie.

➡ C'est un limbe

Le système vasculaire correspond aux nervures qui permettent l'orientation du limbe, le xylème est en position ventrale et le phloème en position dorsale.

Position systématique

- Le mésophylle est homogène (photo B).
- Les nervures sont parallèles entre elles car elles sont toutes coupées orthogonalement.
- Les nervures ne présentent pas de tissus conducteurs secondaires.

➡ C'est un limbe de Monocotylédone

Caractères biologiques particuliers

Cette feuille présente des particularités remarquables :

- La feuille est repliée de part et d'autre de son plan de symétrie et la face supérieure, à l'intérieur, ne communique avec l'air extérieur que par une mince fente ;
- Les stomates sont portés par l'épiderme supérieur et logés au fond des replis (photo D) ;
- La face supérieure porte de nombreux poils épidermiques et des replis (photo A et B) ;
- Le sclérenchyme est très abondant ;
- Il existe des cellules bulliformes (photo D) à la face supérieure, au fond de chaque repli, responsables de l'enroulement du limbe ;
- L'épiderme inférieur présente une cuticule épaisse ; il est par ailleurs lignifié et ne possède aucun stomate.

➡ Ces adaptations traduisent des adaptations à la sécheresse. Cette plante est une xérophyte

Schéma en figurés conventionnels

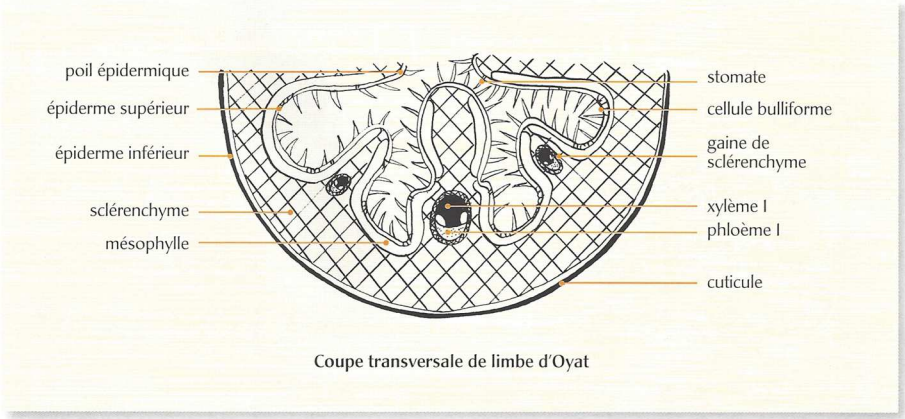


FIGURE 35. Coupe transversale de limbe d'Oyat 2/2. D'après BOUTIN *et al.* (2010).

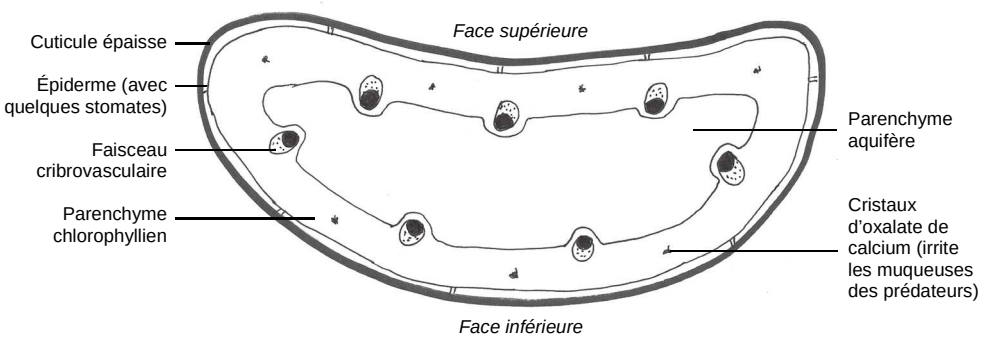


FIGURE 36. Coupe transversale de limbe d'Aloès (malacophyte). *Original.*

Références

ALBERTS, B., A. JOHNSON, J. LEWIS, M. RAFF, K. ROBERTS & P. WALTER (2004). *Biologie moléculaire de la cellule. Quatrième édition.* Traduction de la quatrième édition américaine (2002) par F. LE SUEUR-ALMOSNI. Flammarion, Paris. Première édition américaine 1983 (1986 1e édition française).

BERTHET, J. (2006). *Dictionnaire de Biologie.* De Boeck Université, Bruxelles (Belgique).

BOUTIN, V., J.-F. FOGELGESANG, J.-F. BEAUX & F. RIBOLA (2010). *Atlas de Biologie végétale BCPST 1re et 2e années.* Dunod, Paris.

BOUTIN, V., L. GERAY, Y. KRAUSS & C. VILBERT (2015). *Atlas de biologie BCPST 1re et 2e années.* Dunod, Paris.

BREUIL, M. (2007). *Biologie 1re année BCPST-véto*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

BREUIL, M. (2009). *Biologie 2e année BCPST-véto.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

CAMEFORT, H. (1977). *Morphologie des végétaux vasculaires. Cytologie. Anatomie. Adaptations.* Doin, Paris, 2e édition (1e édition 1962).

CAMEFORT, H. & H. BOUÉ (1980). *Reproduction et biologie des végétaux supérieurs. Brophytes. Ptéridophytes. Spermaphytes.* Doin, Paris.

CAMPBELL, N. A. & J. B. REECE (2004). *Biologie*. De Boeck Université, Bruxelles, 2e édition (1e édition 1995).

[CAMPBELL, N. A.], J. B. REECE, L. A. URY, M. L. CAIN, S. A. WASSERAMN, P. V. MINORSKY, R. B. JACKSON (2012). *Campbell Biologie.* Adaptation française J. FAUCHER & R. LACHAÎNE. Pearson, Paris (4e edition).

CHASSANY, V., M. POTAGE & M. RICOU (2012). *Mini manuel de Biologie végétale.* Dunod, Paris.

CLESSE, B. (2006). *Glossaire botanique illustré*. Entente nationale pour la Protection de la Nature, Bruxelles (B).

DENŒUD, J., T. FERROIR, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2011). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2013). *Biologie-Géologie BCPST-véto 1e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DENŒUD, J., C. GODINOT, O. GUIPPONI, H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON, M.-L. PONS & F. TEJEDOR (2014). *Biologie-Géologie BCPST-véto 2e année.* Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

DUCREUX, G. (2002). *Introduction à la botanique.* Belin, Paris.

GALIANA, D., C. LE ROUX & I. MONCHÂTRE (coord. T.-M. BOTREAU) (2015). *Biologie-Écologie Module M72. Bac technologique STAV. La gestion du vivant et des ressources.* Éducagri, Dijon.

GUIGNARD, J.-L. & F. DUPONT (2004). *Botanique. Systématique moléculaire.* Masson, Issy-les-Moulineaux (92), 13e édition (1e édition 1974).

GODINOT, C., H. MOREAU, M. PAULHIAC-PISON & F. TEJEDOR (2010). *Biologie-Géologie 1re année BCPST-véto*. Tec & Doc, Lavoisier, Paris.

KLEIMAN, C. (2001). *La reproduction des Angiospermes.* Belin, Paris.

LABERCHE, J.-C. (2004). *Biologie végétale.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 1999).

LAFON, C. (2003). *La biologie autrement. 100 questions de synthèse.* Ellipses, Paris.

LIZEAUX, C., D. BAUDE (dir.), A. ANDRÉ, C. BRUNET, J.-Y. DUPONT, B. FORESTIER, E. FRANÇOIS, Y. JUSSERAND, G. LÉVÊQUE, P. PILLOT, S. RABOUIN & A. VAREILLE (2012). *Sciences de la Vie et de la Terre Terminale S. Enseignement spécifique.* Bordas, Paris.

MEYER, S., C. REEB & R. BOSDEVEIX (2008). *Botanique. Biologie et physiologie végétales.* Maloine, Paris, 2e édition (1e édition 2004).

MORÈRE, J.-L., R. PUJOL (coord.), J.-C. CALLEN, L. CHESNOY, J.-P. DUPONT, A.-M. GIBERT-TANGAPREGASSOM, G. RICOU, N. TOUZET (dir.) et colloborateurs (2003). *Dictionnaire raisonné de Biologie.* Frison-Roche, Paris.

PEYCRU, P. (dir.), J.-F. FOGELGESANG, D. GRANDPERRIN, B. AUGÈRE, J.-C. BAEHR, C. PERRIER, J.-M. DUPIN & C. VAN DER REST (2010*a*). *Biologie tout-en-un BCPST 1re année.* Dunod, Paris, 2e édition (2009), réimpression corrigée (2010) (1e édition 2006).

PEYCRU, P. (dir.), J.-C. BAEHR, F. CARIOU, D. GRANDPERRIN, C. PERRIER, J.-F. FOGELGESANG & J.-M. DUPIN (2010*b*). *Biologie tout-en-un BCPST 2e année.* Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 2007).

PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER J.-F. FOGELGESANG, & C. VAN DER REST (2013). *Biologie tout-en-un BCPST 1re année.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2006).

PEYCRU, P., D. GRANDPERRIN, C. PERRIER (dir.), B. AUGÈRE, J.-F. BEAUX, F. CARIOU, P. CARRÈRE, T. DARRIBÈRE, J.-M. DUPIN, C. ESCUYER, J.-F. FOGELGESANG, S. MAURY, É. QUÉINNEC, E. SALGUEIRO & C. VAN DER REST (2014). *Biologie tout-en-un BCPST 2e année.* Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2007).

PRAT, R. (2007). *Expérimentation en biologie et physiologie végétales. Trois cents manipulations.* Hermann, Paris. Quæ, Versailles.

RAVEN, P. H., G. B. JOHNSON, J. B. LOSOS, S. S. SINGER (2007*a*). *Biologie*. De Boeck, Bruxelles.

RAVEN, P. H., R. F. EVERT & S. E. EICHHORN (2007*b*). *Biologie végétale*. De Boeck, Bruxelles. Traduction de la 7e édition américaine par J. Bouharmont, révision C. Evrard.

RICHARD, D. (dir.), P. CHEVALET, S. FOURNEL, N. GIRAUD, F. GROS, P. LAURENTI, F. PRADÈRE & T. SOUBAYA (2012). *Biologie. Tout le cours en fiches. Licence. CAPES. Prépas*. Dunod, Paris, 2e édition (1e édition 2010).

RICHARD, D. (dir.), P. CHEVALET, S. FOURNEL, N. GIRAUD, F. GROS, P. LAURENTI, F. PRADÈRE & T. SOUBAYA (2015). *Biologie. Tout le cours en fiches. Licence. CAPES. Prépas*. Dunod, Paris, 3e édition (1e édition 2010).
ROBERT, D. & J.-C. ROLAND (1998*a*). *Biologie végétale. Caractéristiques et stratégie évolutive des plantes. **1**. Organisation cellulaire.* Doin, Paris, 2e édition (1e édition 1989).
ROBERT, D., C. DUMAS & C. BAJON (1998*b*). *Biologie végétale. Caractéristiques et stratégie évolutive des plantes. **3**. La reproduction.* Doin, Paris, 2e édition (1e édition 1994).
ROBERT, D. & A.-M. CATESSON (2000). *Biologie végétale. Caractéristiques et stratégie évolutive des plantes. **2**. Organisation végétative.* Doin, Paris, 2e édition (1e édition 1990).
SEGARRA, J. (dir.), É. CHAUVET, C. COLSON-PROCH, M. HUILLE, M. LABROUSSE, F. LOUET, F. METZ & E. PIÈTRE (2014). *Biologie BCPST 1re année.* Ellipses, Paris.
SEGARRA, J., E. PIÈTRE (dir.), G. BAILLY, O. CHASSAING, D. FAVRE, T. JEAN, F. METZ & C. MEUNIER (2015). *Biologie BCPST 2e année.* Ellipses, Paris.
VINCENT, P. (1964). *Sciences naturelles. Classe de 2eM'*. Vuibert, Paris.
VINCENT, P. (1962). *Sciences naturelles. Classe de 1reM'*. Vuibert, Paris.
VINCENT, P. (1968). *Sciences naturelles. Classe de 1eD*. Vuibert, Paris.
VINCENT, P. (1974). *Sciences naturelles. Classe de Terminale D*. Vuibert, Paris.

© Tanguy JEAN. Les textes et les figures originales sont la propriété de l'auteur. Les figures extraites d'autres sources restent évidemment la propriété des auteurs ou éditeurs originaux.
Document produit en janvier 2016 • Dernière actualisation : mars 2017. Contact : Tanguy.Jean4@gmail.com
Adresse de téléchargement : http://tanguyjean.businesscatalyst.com/

Ces données sont placées sous licence *Creative Commons Attribution – Pas d'Utilisation commerciale 4.0 CC BY NC* qui autorise la reproduction et la diffusion du document, à condition d'en citer explicitement la source et de ne pas en faire d'utilisation commerciale.

Plan du TP

Objectifs : extraits du programme **1**
Introduction **1**

I. Les feuilles et les pigments assimilateurs, structures adaptées à la captation de lumière (TP B3) 1
A. Étude morphologique des feuilles et de leur disposition sur la tige (phyllotaxie) **1**
B. Étude anatomique et histologique des feuilles **3**
1. Éléments descriptifs 3
2. Caractères diagnostiques principaux 3
3. Étude pratique de coupes transversales 3
4. Bilan sur l'anatomie des feuilles (d'après BOUTIN *et al.*, 2015) 10
C. Les chloroplastes, organites de la photosynthèse **11**
D. Les pigments assimilateurs, molécules organiques complexes capables de collecter l'énergie lumineuse : extraction, séparation et spectre d'absorption **11**
E. En guise de bilan : relations structure-fonction au niveau de la feuille **13**

II. La fonction de réserve chez les Angiospermes (TP B8) **14**
A. Une fonction surtout impliquée dans le passage de la mauvaise saison, la reproduction et le développement **14**
B. Les principales molécules organiques de réserve des Angiospermes **14**
1. Les principales réserves glucidiques 14
a. Le saccharose, disaccharide mis en réserve dans les vacuoles 14
b. L'amidon, polysaccharide de glucose mis en réserve dans les plastes 14
c. L'inuline, polysaccharide de fructose mis en réserve dans les vacuoles de cellules d'Astéracées 15
2. Les réserves lipidiques, gouttelettes surtout situées dans le cytosol (ou les plastes) essentiellement composées de triglycérides 16
3. Les réserves protéiques : l'exemple des grains d'aleurone vacuolaires 16
C. Les tissus de réserve chez les Angiospermes : des parenchymes ou des tissus secondaires d'organisation parenchymateuse **17**
D. Les organes de réserve des Angiospermes **17**
1. Les semences 17
2. Les organes végétatifs : tubercules, rhizomes et bulbes 19
a. Étude de quelques bulbes 19
b. Étude d'un rhizome 21
c. Étude de quelques tubercules 22

III. Les adaptations à la sécheresse chez les Angiospermes (TP B9) **24**
A. Préambule : diversité des situations écophysiologiques face à la disponibilité en eau **24**
B. Les xérophytes, plantes présentant des adaptations morpho-anatomiques et/ou physiologiques aux milieux secs **24**
C. Étude pratique de l'anatomie foliaire de xérophytes **25**

Références **29**
Plan du TP **30**