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

Lycée Valentine LABBÉ
41 rue Paul DOUMER – BP 20226
59563 LA MADELEINE CEDEX
CLASSE PRÉPARATOIRE TB
(Technologie & Biologie)

ENSEIGNEMENT DE SCIENCES DE LA VIE ET DE LA TERRE (SVT)
°° SCIENCES DE LA VIE °°

Partie 2. L'organisme, un système en interaction avec son environnement
>> Cours <<

Chapitre 12 : proposition de fiche à compléter

Les Angiospermes et le passage de la mauvaise saison

Objectifs : extraits du programme

Connaissances clefs à construire	Commentaires, capacités exigibles
2.4.2 Les Angiospermes et le passage de la mauvaise saison	Le but de ce chapitre est de montrer que le métabolisme des Angiospermes est influencé par les variations saisonnières des ressources. Le passage de l'hiver sera un «modèle» pour aborder cette idée, mais d'autres exemples sont possibles.
En climat tempéré, le fonctionnement d'une Angiosperme est rythmé par l'alternance des saisons.	- identifier les contraintes liées au passage de l'hiver par les Angiospermes (faible photopériode, gel et basses températures, faible disponibilité en eau)
La perception des saisons par l'organisme est liée aux signaux de photopériode et température.	- identifier les organes de résistance et leurs caractéristiques. **Lien** : travaux pratiques (TP 2.5. Les organes de réserves chez les Angiospermes)
La perception de ces signaux déclenche des réponses cellulaires et tissulaires qui synchronisent l'organisme avec les saisons :	- mettre en évidence l'action de la photopériode et des températures dans l'induction de réponses (floraison, chute des feuilles). - replacer dans le cycle des saisons les principaux états physiologiques du végétal.
- métabolisme réduit (vie ralentie, dormance).	- distinguer la vie ralentie de la dormance. **Limite** : les mécanismes précis d'entrée en dormance ne sont pas exigibles.
- mise en réserve.	- localiser les réserves végétales ; - mettre en lien la nature des réserves avec leur stabilité dans le temps ; - connaître un exemple de mise en réserve. **Lien** : 1.3.1 (chapitre 3. La synthèse des constituants moléculaires par les cellules eucaryotes)
- modifications protégeant le végétal durant l'hiver.	- décrire l'abscission foliaire et l'évolution des vaisseaux de sève : les interpréter comme un moyen de protection contre le gel.
- reprise de la vie active ;	- décrire les étapes de la reprise de l'activité de la plante au printemps à différents niveaux.
- floraison.	- montrer que la floraison nécessite des conditions de vie favorables. Lien : 3.1 (chapitre 14. La reproduction des Embryophytes : l'exemple des Angiospermes)

Introduction

Comment le fonctionnement et le développement des Angiospermes s'intègrent-ils dans le cadre des rythmes saisonniers (cas des climats tempérés) ?

Important !

*Ce chapitre suppose la **maîtrise de nombreuses connaissances** abordés dans d'autres parties du programme :*

- *Les connaissances de base sur **l'organisation végétale** (morphologie, anatomie, histologie) et leur **fonctionnement** :*
  - *Chapitre 11. Les Angiospermes, organismes autotrophes à vie fixée*
  - *TP 2.5. Morphologie, anatomie et histologie des Angiospermes.*
  - *Chapitre 5. Dynamiques métaboliques des cellules eucaryotes*
- *La connaissance des **modalités de développement végétal** :*
  - *Chapitre 18. Le développement post-embryonnaire des Angiospermes.*
- *La connaissance de la **reproduction des organismes végétaux** (y compris la **reproduction végétative**) ainsi que des **organes de réserve** :*
  - *Chapitre 14. La reproduction des Embryophytes : l'exemple des Angiospermes.*
  - *TP 2.7. Les organes de réserve chez les Angiospermes.*

Enfin, ce chapitre pourra être mis en lien avec l'enseignement d'écologie (chapitre 20. Les écosystèmes : organisation et fonctionnement).

I. La mauvaise saison, une période défavorable à l'activité qui suppose un passage sous forme d'organes de résistance

A. Les rythmes saisonniers, une contrainte environnementale à laquelle doivent faire face les Angiospermes

Capacité exigible	✓ **Identifier** les contraintes liées au passage de l'hiver par les Angiospermes (faible photopériode, gel et basses températures, faible disponibilité en eau).

1. Le problème de l'hiver : faible photopériode, gel et basses températures, faible disponibilité en eau

Automne et (surtout) **hiver** = **défavorables** à **l'activité végétale**
Raréfaction des ressources :

-

>

>

-

-

Endurcissement = acclimatation :

2. La saison favorable : forte photopériode, températures douces à élevés, disponibilité en eau (sauf sécheresse !)

Printemps et **été** = **favorables** à **l'activité végétale** :
-
-
-

*

B. Des cycles de vie impactés par le cycle des saisons qui autorisent plusieurs modalités de passage de la mauvaise saison

Capacité exigible	✓ **Replacer** dans le cycle des saisons les principaux états physiologiques du végétal.

FIGURE 1. Cycles des Angiospermes. D'après BREUIL (2007).

1. Trois types de cycle de développement : plantes annuelles, bisannuelles et vivaces (= pérennes = pluriannuelles)

Cycles de développement :

-

-

-

2. Les grandes modalités de passage de la mauvaise saison : une classification en cinq types biologiques (RAUNKIAER, 1904)

Types biologiques = classification de RAUNKIAER (1904) :

Notez que RAUNKIAER, en lien avec ses origines, a pris en compte une **couche moyenne de neige d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur** en hiver qui **protège** les **bourgeons aériens** des **températures négatives** atmosphériques.

a. Les phanérophytes (arbres et arbustes à bourgeons en hauteur)

Phanérophytes (arbres et arbustes) :

Ligneuses vivaces

b. Les chaméphytes (buissons à bourgeons près du sol)

Chaméphytes (buissons) :

Ligneuses vivaces

c. Les hémicryptophytes (plantes en rosette à bourgeons au ras du sol)

Hémicryptophytes (plantes en rosettes = « acaules ») :

Herbacées bisannuelles ou vivaces

Une **mise en réserve** dans une **racine pivot** ou un **rhizome** est **fréquente** mais pas systématique chez ces organismes.

d. Les géophytes (= cryptophytes), plantes à organes souterrains hivernants

Géophytes = cryptophytes :

Herbacées bisannuelles ou vivaces

e. Les thérophytes, plantes passant l'hiver seulement sous forme de graines

Thérophytes :

Herbacées annuelles

Types biologiques d'après la classification de Raunkiaer
1. Phanérophytes. Les bourgeons se situent au-dessus de la couche neigeuse. 2. Chaméphytes. Les bourgeons sont situés dans la couche de neige. 3. Hémicryptophytes. Les bourgeons sont au centre d'une rosette de feuilles. 4. Géophytes. Les bourgeons sont situés dans le sol. 5. Thérophytes. L'individu ne vit qu'un an, la survie de l'espèce est assurée par de nouveaux individus qui passent l'hiver sous forme de graines.

FIGURE 2. Principaux types biologiques de RAUNKIAER (1904). D'après BREUIL (2007).

3. Dans tous les cas : une temporalité du développement et du fonctionnement dictée par les rythmes saisonniers

- La figure 3 doit être connue (et comprise), le reste du chapitre permettant d'expliciter le **panorama** ainsi dressé. *La figure 4 est donnée pour illustration.*

a. Une saison favorable caractérisée par l'activité végétative, photosynthétique, reproductive et de mise en réserve

Belle saison :

-

-

-

-

b. Un déclin des conditions favorables caractérisé par un endurcissement des structures persistantes, une mise en réserve qui peut se poursuivre et l'abscission foliaire chez beaucoup d'espèces ligneuses

Arrivée progressive de la mauvaise saison :

-

-

-

Les espèces ligneuses : feuillage sempervirent (= persistent) vs. caduc (= décidu)

- **Feuillage persistant (= sempervirent)** =
- **Feuillage caduc (= décidu)** =
- **Abscission foliaire** = ***détachement du pétiole des feuilles d'avec la tige, ce qui conduit à la chute des feuilles.***

c. Une saison défavorable caractérisée par une quasi-cessation de l'activité physiologique et du développement

Organes persistants ou seulement **graines**

d. Un retour des conditions favorables caractérisé par une reprise du développement et une mobilisation des réserves

Retour des conditions favorables :

-

-

>

>

-

FIGURE 3. Cycle des saisons et vie des Angiospermes : une vue d'ensemble. Cas d'un climat tempéré. *Original.* Cette figure est précieuse et doit être bien maîtrisée. Le reste du chapitre ne fait qu'expliciter les idées présentes ; il s'agit presque d'un schéma bilan (quoique dépourvu d'illustrations de structures, ou de mécanismes).

C. Un passage de la mauvaise saison permis par des organes de résistance

Capacité exigible	✓ **Identifier** les organes de résistance et leurs caractéristiques.

1. Les organes de réserve

a. Les semences (présentes chez tous les types biologiques)

Revoir impérativement le **TP 2.7**
Penser notamment aux **tableaux de diagnose** à comprendre et maîtriser.

α. Notions de semence et de graine

Semences :

Agronomiquement ***toute structure qui peut donner un nouvel individu*** est appelée **semence**, y compris des **structures végétatives** comme des tubercules, bulbes…

Caractéristiques des **graines** :

-

-

(!) ***Diversité des réserves*** *possibles :* ***graines amylacées***, ***oléagineuses***, ***protéagineuses****… [souvent combinaison, malgré une dominante]*

-

-

-

β. Deux grands types de graines en fonction de la localisation des réserves : graines albuminées *vs.* exalbuminées

Types de **graines** :

-

-

(-)

FIGURE 5. Typologie des graines. D'après KLEIMAN (2001).

b. Les organes végétatifs de réserve souterrains chez les géophytes : tubercules (caulinaire, racinaires, hypocotylaires, mixtes), bulbes, rhizomes

Voir le **TP 2.7** pour les **modalités du stockage**, les **caractéristiques morpho-anatomiques détaillées** de chaque type de **structure de réserve** et le détail des **substances stockées**

FIGURE 6. Organes de réserves végétatifs. D'après DENŒUD *et al.* (2014).

TABLEAU I. Diversité des organes de réserve avec quelques exemples marquants pour chaque type (incluant les semences).

Document J. SEGARRA (TB2, ENCPB – Lycée Pierre-Gilles de Gennes, Paris 13).

Les exemples en rouge sont traités en TP (TP 2.7.).

Attention à certaines plantes parfois annuelles (Radis, certaines Carottes…) ici présentées comme bisannuelles.

Partie de la plante ou organe accumulant des réserves	Nature de l'organe ou du tissu	Exemples	rythme de développement (au regard des exemples)
racine (essentiellement)	tubercule racinaire	carotte salsifi, panais betterave sucrière	plantes bisannuelles
		dahlia	plante vivace
racine + hypocotyle	tubercule mixte hypocotylaire	radis betterave rouge betterave fourragère	plantes bisannuelles
racine + hypocotyle + tige		céleri-rave	plantes bisannuelles
tige	tubercule caulinaire	pomme de terre topinambour glaïeul	plantes vivaces
		chou-rave	plantes bisannuelles
	rhizome	gingembre sceau de Salomon muguet	plantes vivaces
feuilles	bulbe	oignon	plantes bisannuelles
		ail tulipe	plantes vivaces
graines → cotylédon graines → albumen		haricot, pois blé ricin	plantes annuelles plantes annuelles plante vivace

Organes de réserve végétatifs :

- Tubercules :

Caulinaire / Hypocotylaire / Racinaire / Mixte

- Bulbes :

- Rhizome :

c. Le parenchyme du bois (et du liber), une réserve importante chez les espèces ligneuses (phanérophytes, chaméphytes)

Rayons libéro-ligneux (surtout **rayons ligneux**) : **parenchyme** (souvent riche en **amyloplastes**)

FIGURE 7. Bois avec deux années de fonctionnement. D'après DENŒUD *et al.* (2014), modifié.

2. Les bourgeons aériens, lieux de dormance et de protection des méristèmes caulinaires

FIGURE 8. Bourgeon dormant d'un Érable (*Acer*) (CL). D'après RAVEN *et al.* (2007b).

Bourgeon :

En **hiver** (chez les **phanérophytes** / *bourgeons non protégés dans la neige*) : bourgeons **écailleux**, pouvant être recouverts de **propolis** (***substance cireuse imperméabilisante et protectrice***), comprenant parfois de la **bourre** (***sorte de coton filamenteux cellulosique qui protège contre le froid***)

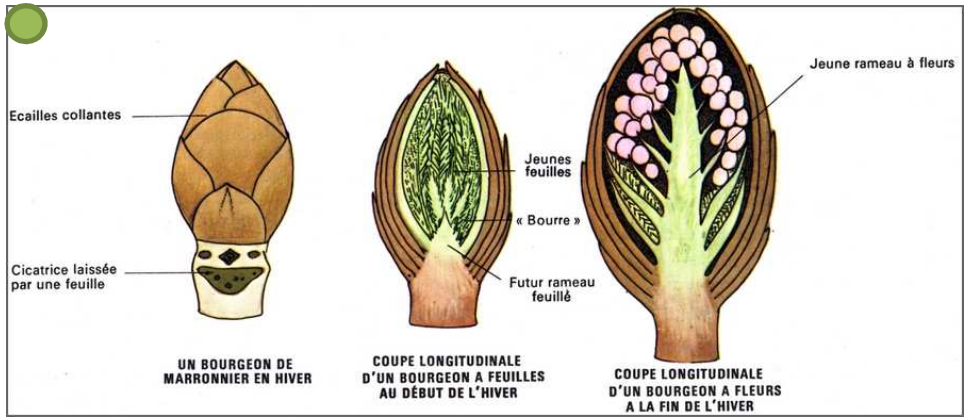


FIGURE 8bis. Bourgeons de Marronnier *Aesculus hippocastanum* (Hippocastanaceae).
http://eric.bessoudcavillot.free.fr/6eme/TH2/6th2_chap1_cours.htm (nov. 2015)

D. Les principaux types de réserves organiques chez les Angiospermes

Réserve :

Capacités exigibles	✓ **Localiser** les réserves végétales. ✓ **Mettre en lien** la nature des réserves avec leur stabilité dans le temps.

TABLEAU II. Aperçu des réserves végétales dans quelques organes de résistance et de leur localisation.
Document J. SEGARRA (TB2, ENCPB – Lycée Pierre-Gilles de Gennes, Paris 13).

Echantillon biologique	Nature des réserves	localisation (tissu) des réserves	
Carotte	Sucres solubles (saccharose)	Parenchyme libérien	Vacuole
Oignon	Sucres solubles réducteurs	Parenchyme foliaire	Vacuole
Pomme de terre	amidon	Parenchyme médullaire	Amyloplastes
Gingembre	amidon	Parenchyme (médullaire)	Amyloplastes
Graine de haricot	amidon	Cotylédon	Amyloplastes
Grain de blé	amidon	Albumen	Amyloplastes
Cacahuète (arachide)	lipides	cotylédon	Cytosol

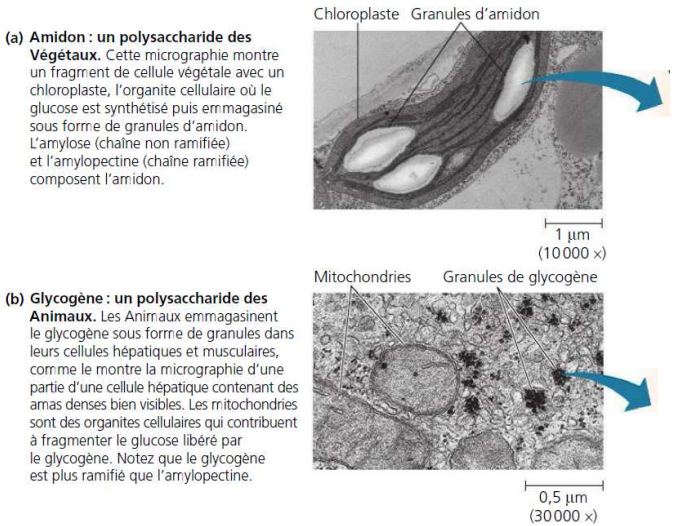
1. Le stockage des polysaccharides : l'exemple de l'amidon dans les amyloplastes

*Rappelons que **l'amidon** peut aussi être **stocké dans les chloroplastes des parenchymes chlorophylliens** ; la **mise en réserve** est alors toutefois **journalière** et non **pas saisonnière** et ne concerne donc pas ce chapitre.*

Amidon : ***polymère de réserve (glucose alpha) présent chez les 'plantes'.***
- amylose :

- amylopectine :

Structure moléculaire de l'amidon
D'après DENŒUD *et al.* (2013).



(a) Amidon : un polysaccharide des Végétaux. Cette micrographie montre un fragment de cellule végétale avec un chloroplaste, l'organite cellulaire où le glucose est synthétisé puis emmagasiné sous forme de granules d'amidon. L'amylose (chaîne non ramifiée) et l'amylopectine (chaîne ramifiée) composent l'amidon.

(b) Glycogène : un polysaccharide des Animaux. Les Animaux emmagasinent le glycogène sous forme de granules dans leurs cellules hépatiques et musculaires, comme le montre la micrographie d'une partie d'une cellule hépatique contenant des amas denses bien visibles. Les mitochondries sont des organites cellulaires qui contribuent à fragmenter le glucose libéré par le glycogène. Notez que le glycogène est plus ramifié que l'amylopectine.

Structure tridimensionnelle et localisation cellulaire de l'amidon et du glycogène
D'après CAMPBELL *et al.* (2012).

FIGURE 9. Les polymères glucidiques de réserve : amidon (amylose, amylopectine) et glycogène [pour comparaison et rappel].

Adaptations à la fonction de **stockage** (relation structure-fonction) [idem : glycogène] :
-

-

-

-

Localisation : **chloroplastes** (réserves **journalières**) ou **amyloplastes** (réserves **durables**, dont **saisonnières**)

2. Le stockage vacuolaire de saccharose ou d'oses

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

Saccharose :

Localisation **vacuolaire**
[Rappel : sucre **non réducteur** >> propice au **stockage** et encore plus au **transport**]

3. Le stockage des lipides : l'exemple des triglycérides

a. Nature biochimique et formation

Triglycérides = triacylglycérols :

FIGURE 11. Équation d'estérification (bilan) de la formation des triglycérides. Les étapes intermédiaires ne sont pas représentées. D'après SEGARRA *et al.* (2014).

b. Des molécules hydrophobes à rôle de réserve et à localisation cytosolique (ou plastidiale)

- **Cytosoliques** : **oléosomes**.
- *Chez les **Angiospermes**, on peut aussi les trouver dans les **plastes** – on peut alors nommer les gouttelettes des **plastoglobules** :*
  - ***Globules lipidiques** dans les **chloroplastes***
  - ***Gouttelettes lipidiques** dans les **oléoplastes** (**plastes spécialisés dans la mise en réserve de lipides**).*

Notons que ***les gouttelettes lipidiques*** (figure 12) ***incluent 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, phospholipides). On y trouve aussi des **protéines**.

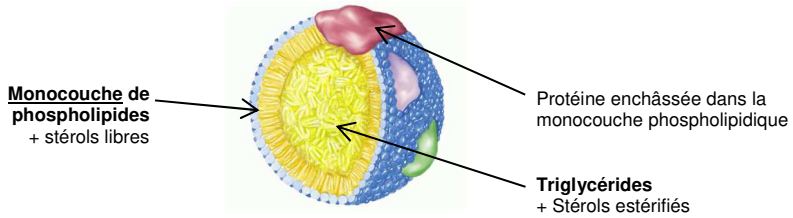


FIGURE 12. Organisation d'une gouttelette lipidique.
http://www.actuscimed.com/2011/03/regulation-des-gouttelettes-lipidiques.html (août 2015).
Les oléosomes des cellules végétales peuvent mesure plusieurs µm).

4. Le stockage des protéines : l'exemple du gluten (Angiospermes Poacées)

a. Le gluten, une partie de la fraction protéique de l'albumen des Poacées

Gluten :

Exemples de protéines :

- Le **gluten** est donc initialement une **notion agro-alimentaire** davantage que biologique…
- Les **gliadines** sont très **extensibles** et confèrent à la **pâte à pain** son **élasticité** ; lorsque la pâte **lève** (production aérobie de **bulles de CO_2** par les levures), les **bulles** se retrouvent **piégées** dans le **réseau de gliadines**, la **cuisson** « figeant » l'édifice.
- De nombreuses personnes présentent une **intolérance** voire des **allergies** au gluten.

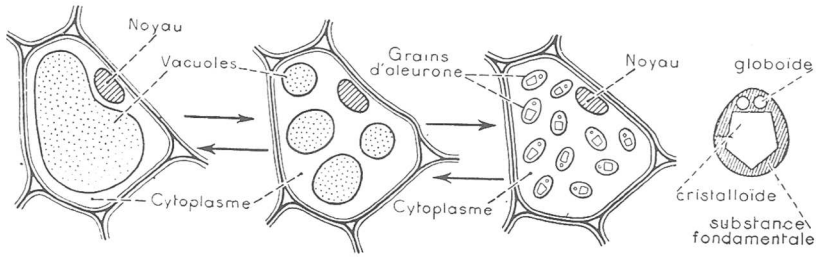
b. Mise en réserve et mobilisation du gluten

Production par **traduction**
Stockage en partie dans les **REG** / en partie dans la **vacuole**

Encadré A *Les grains d'aleurone*

Voir TP 2.7.

➢ **Aleurone** =



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 a. **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 Poacées**, 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**.*

Bilan (adapté du programme)	✓ Le **métabolisme des Angiospermes** est influencé par les **variations saisonnières des ressources**. Le **passage de l'hiver** est un « modèle » pour aborder cette idée. ✓ En **climat tempéré**, le **fonctionnement d'une Angiosperme** est **rythmé** par **l'alternance des saisons.**

II. La préparation au passage de la mauvaise saison lors de la belle saison

Capacités exigibles	✓ **Mettre en évidence** l'action de la photopériode et des températures dans l'induction de réponses (chute des feuilles). ✓ **Distinguer** la vie ralentie de la dormance. ✓ **Connaître** un exemple de mise en réserve. ✓ **Décrire** l'abscission foliaire et l'évolution des vaisseaux de sève : les **interpréter** comme un moyen de protection contre le gel.

A. La protection et la mise en dormance (réduction du métabolisme) des structures contenant les méristèmes

1. Vie ralentie, dormance, quiescence : un peu de vocabulaire sur la vie ralentie

Vie ralentie = vie latente : Manifestations :
- Quiescence (« écodormance »**) :** Levée :
- Dormance : Levée :

2. Protection et dormance des méristèmes dans les graines

Revoir la reproduction végétale (chapitre 14)

a. Les graines, des organes riches en réserves, accueillant un embryon et protégés par un tégument

- Au sein des **graines**, on assiste lors de leur **édification** à :
  - Le **développement de l'embryon** et de l'**albumen** (parfois ensuite résorbé au profit des **cotylédons** dans les **graines exalbuminées**)
  - Une **accumulation** de **réserves organiques**
  - La transformation du **tégument de l'ovule** en **tégument de la graine**.

  Revoir le **développement de la graine** (chapitre 14 sur la reproduction des Angiospermes)

- L'**embryon** – et notamment ses précieux **méristèmes** – est ainsi protégé par plusieurs **épaisseurs** de **tissus**.

b. Les graines, des organes subissant une déshydratation qui conduit à la diminution importante de l'activité métabolique

Suite à la mise en place de **l'embryon** et des **réserves** :

-

-

c. Les graines, des organes entrant en dormance

Puis **dormance** ; **deux types** :

-

Levée :

-

Levée :

FIGURE 13. La dormance tégumentaire chez les graines : une vision synthétique. Le cas illustré est celui d'une graine « théorique » (caryopse car péricarpe… mais 2 cotylédons donc Dicotylédone !) puisqu'il a un péricarpe.
D'après BREUIL (2007). *(!) Péricarpe seulement si caryopse !*

3. Protection et dormance des méristèmes caulinaires dans les bourgeons aériens

a. Les bourgeons, des organes qui peuvent perdurer pendant l'hiver

Très **exposés** chez les **phanérophytes** (hauteur ; non protégés par la **neige**)
⇒ présence de **bourgeons écailleux**

b. Les bourgeons, des organes présentant des adaptations macroscopiques : téguments protecteurs et hydrophobes, bourre…

-

-

Protection contre le froid
1. *Bourgeon. Les écailles imperméables limitent l'entrée d'eau et la bourre cellulosique maintient un matelas d'air qui isole thermiquement les méristèmes.* ***2.*** *Dans la cellule, les protéines antigel empêchent la croissance des cristaux de glace.* ***3.*** *Les membranes s'enrichissent en acides gras insaturés qui abaissent la température de solidification.*

FIGURE 14. Les bourgeons écailleux et leurs adaptations au passage de la mauvaise saison. D'après BREUIL (2007).

c. Les bourgeons, des organes présentant des adaptations cellulaires et moléculaires : déshydratation et surfusion, augmentation des insaturations phospholipidiques, protéines anti-gel

Au niveau **cellulaire** et **moléculaire** : **adaptations biochimiques** (figure 14 + encadré C) :

-

Congélation > d'abord **zones extracellulaires** (métas, lacunes)
⇒ **abaissement du potentiel hydrique** dans ces zones qui **attirent alors davantage d'eau** en provenance des **cellules**
⇒ dans les cellules, **concentration encore plus grande des solutés**
⇒ **augmentation de la surfusion** du **milieu intracellulaire** et réduit ses chances de **congélation**.

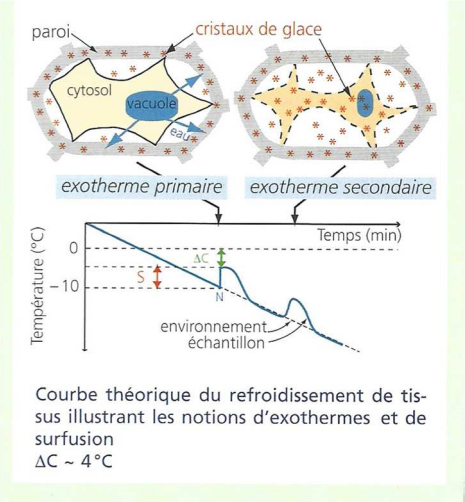
-

-

-

Encadré B

D'après MEYER *et al. (2008)*



Courbe théorique du refroidissement de tissus illustrant les notions d'exothermes et de surfusion
ΔC ~ 4 °C

- *[Certains auteurs avancent en outre que **les parties externes des bourgeons gèleraient avant les parties internes, ce qui permettrait de protéger le méristème dans un « igloo » formé par les écailles gelés**… mais cette **hypothèse** semble **de plus en plus contestée**].*

d. Des organes entrant en dormance

Entrée en **dormance** souvent en **fin d'été** ou **automne**
Souvent **déterminisme photopériodique** (en partie)
+ déterminisme **interne** (horloge biologique)

4. Des adaptations cellulaires et biochimiques semblables chez les hémicryptophytes

Même type d'adaptations que les bourgeons chez :
- **hémicryptophytes**
- **feuilles sempervirentes**

B. L'abscission des feuilles (phanérophytes et chaméphytes caducifoliées)

1. Une caractéristique de la plupart des plantes ligneuses

Abscission foliaire :

2. Sénescence et abscission foliaires : mécanismes cellulaires

Sénescence (= vieillissement) **foliaire** :

-

-

-

Zone d'abscission :

- **zone de séparation** :

- **zone de cicatrisation** :

Abscission proprement dite :

3. Un processus contrôlé par l'éthylène et généralement déclenché par la baisse de photopériode (détectée par le phytochrome)

Hormones produites par la **feuille** :
- **Auxine** → **perduration** et **fonctionnement** de la **feuille**
- **Éthylène** → **sénescence**

L'**éthylène** est une **hormone gazeuse : $CH_2 = CH_2$**

= existence d'une **balance hormonale auxine/éthylène**
Balance modifiée par la **photopériode** (détection par le **phytochrome**)

Pour information :
L'**acide abscissique (ABA)** a été découvert dans les années 1960 et initialement **proposé** comme étant la **phytohormone** responsable de l'**abscission**, **d'où son nom** (« abscissine »)… Il s'est avéré que c'était une erreur mais le nom est resté.

C. La mise en réserve : l'exemple de la mise en réserve d'amidon dans le parenchyme de tubercule de Pomme de terre (une géophyte)

1. Une variation saisonnière des flux de matières organique et de la nature source-puits des organes

Transition puits-sources :
- reprise de la vie active : **tubercules = organes-sources**
  // **jeune appareil caulinaire = organes-puits**
- belle saison : **feuilles = organes-sources** // **tubercules en formation** = **organes-puits**

2. Une circulation de saccharose par la sève élaborée permettant la mise en réserve au niveau souterrain

Chute des feuilles

***1**. Durant la phase de maturité, les fortes concentrations d'auxine qui sont émises par la feuille diminuent la sensibilité des cellules de la zone d'abscission à l'éthylène. **2**. Durant la phase de sénescence, la quantité d'auxine diminue, cette chute entraîne l'augmentation de la quantité d'éthylène, les cellules de la zone d'abscission deviennent sensibles à ce gaz et libèrent des enzymes qui hydrolysent leurs parois. La zone d'abscission se désorganise, la feuille ne tient que par les vaisseaux dont la paroi ligneuse n'est pas digérée, elle tombe sous l'effet du vent et de son poids.*

FIGURE 16. Sénescence et abscission foliaires : une autre vision avec précision du déterminisme phytohormonal. D'après BREUIL (2007).

FIGURE 18. La circulation dans la Pomme de terre et les saisons.
D'après PEYCRU *et al.* (2014).

*Le principe de la **circulation apoplasmique des solutés** (avec **charge** et **décharge H^+ dépendantes**) ainsi que le mécanisme de **mise en circulation de la sèvre élaborée** par le **différentiel de pression hydrostatique sont supposés connus. Ils sont à revoir dans le chapitre 11.***

3. Une tubérisation progressive, sous contrôle phytohormonal déclenché par la photopériode et aboutissant à une mise en dormance

Tubercules caulinaires :

Stockage d'amidon dans les **amyloplastes**

FIGURE 19. La tubérisation des Pommes de terre (belle saison) et la mobilisation des réserves (après la mauvaise saison), avec leur contrôle endogène et exogène.
D'après PEYCRU *et al.* (2014).

*Pour ce schéma, vous pouvez tout refaire mais vous contenter de la **mémorisation** de la **tubérisation-détubérisation**, en oubliant le **contrôle**.*

- Le **contrôle de la tubérisation** est **complexe** et à mon avis en limite de programme.

  Pour information, je vous livre toutefois les informations suivantes (figure 19) :
  - *L'initiation de la **tubérisation** est sous **contrôle environnemental** : il s'agit d'une **détection d'une certaine photopériode** captée par le **phytochrome** au niveau des **feuilles**.*
  - *Il y a alors production d'une **protéine** nommée « StSP6 » proche du florigène (notion explicitée pus loin dans le III.B) par le biais d'une **cascade de transduction**.*
  - *Cette protéine **circule dans le phloème** et agit dans les **tiges souterraines** au niveau de leur **apex** ; là, on assite à une **modification des équilibres hormonaux** : **baisse de la quantité de gibbérellines (= acides gibbérelliques) (GA), augmentation de la quantité de cytokinines (CK)** et **production d'acide jasmonique (ou jasmonate) (AJ ou JA)**.*
  - *Ces hormones induisent alors une **modification de l'activité mitotique** des **cellules méristématiques** et notamment de **l'orientation des divisions**, ce qui aboutit à **l'épaississement de la tige**, s'accompagnant de l'**accumulation de réserves**, et donc à **l'édification progressive de l'organe tubérisé**.*
  - *La **production d'acide abscissique (ABA)** par la plante en **début de saison défavorable** induit la **mise en dormance du tubercule**, et notamment de ses **bourgeons**.*

D. L'obturation des tissus conducteurs (phanérophytes, chaméphytes, hémicryptophytes)

1. Une obturation des vaisseaux de xylème par des excroissances parenchymateuses : les thylles

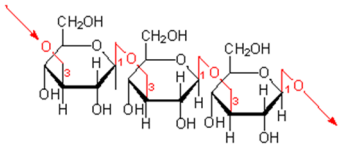
FIGURE 20. Formation d'une thylle. D'après BREUIL (2007).
Ce schéma peut être simplifié en deux dimensions en ne dessinant que la partie haute.

Thylles :

(!) **Thylles résorbées** à la **belle saison**…
mais **définitives** dans le **bois de cœur (= duramen)**

2. Une obturation des tubes criblés du phloème par des cals (formés de callose)

Cals :



callose (pour information)

FIGURE 21. Cals au niveau de plaques criblées. D'après CAMEFORT (1977).
Callose : http://www1.biologie.uni-hamburg.de/b-online/e17/17c.htm (consultation février 2018)
Refaire les schémas a et b.

E. Un contrôle phytohormonal et environnemental de la préparation de la mauvaise saison

1. Des mises en dormances largement contrôlées par l'acide abscissique

Balance ABA/AG :

-

-

Encadré C *Les facteurs de croissance ou hormones végétales*

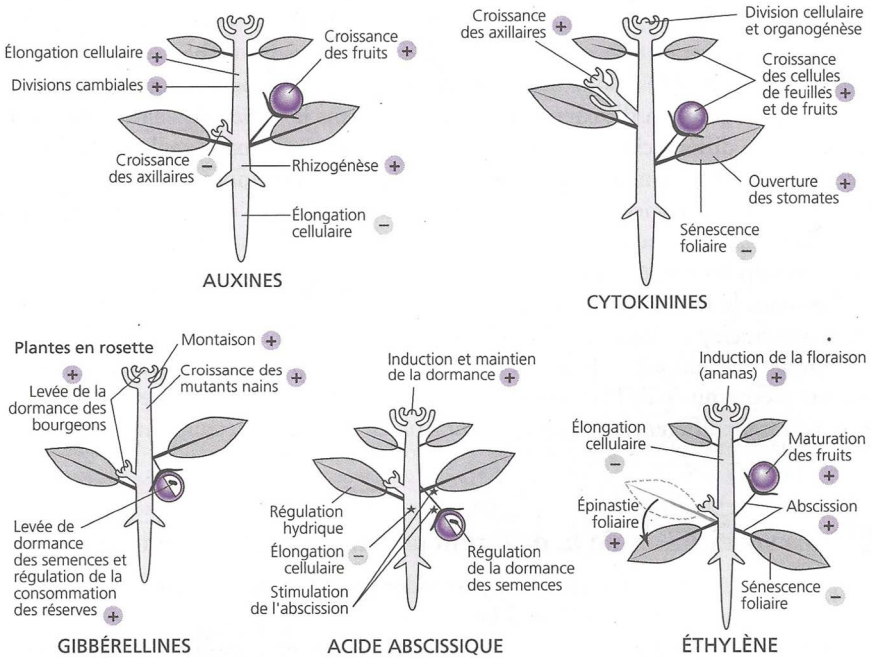
(Pour aller plus loin : d'après DUCREUX, 2002, et MEYER et al., 2008)

Approfondissement

Les activateurs de croissance (ou hormones végétales)

La notion d'hormone reste encore discutée chez les plantes. Chez l'animal, les hormones sont des substances organiques agissant à faible dose et secrétées par des glandes endocrines spécialisées dans le milieu intérieur pour être adressées à un tissu ou des cellules spécifiquement sensibles à leur action.

Chez les végétaux, cette définition est difficile à appliquer. Les lieux de synthèse sont mal définis, même si l'on considère que l'auxine est majoritairement synthétisée au niveau des méristèmes, les fonctions multiples et les mécanismes d'action mal élucidés. On sait néanmoins utiliser ces substances pour réguler certaines fonctions, agir sur la différenciation/dédifférenciation cellulaire, modifier le comportement des plantes dans un cadre agronomique. Pour éviter toute ambiguïté quant au réel statut des hormones végétales, on utilise plus généralement les termes d'activateurs ou de régulateurs de croissance.



Principales fonctions attribuées à cinq des activateurs de croissance. (D'après une illustration de J. Guern.)

FIGURE 22. Balance ABA/GA et dormances. D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

Phytohormones	Biosynthèse et transport	Effets biologiques
Auxine (AIA : acide indolacétique) CH_2-COOH NH	• Synthèse connue à partir du tryptophane, dans les feuilles jeunes, les primordiums et les graines en développement, mais d'autres voies de synthèse existent. • Transport polarisé de cellule à cellule et transport à longue distance par le phloème.	+ Élongation cellulaire caulinaire Activité cambiale Croissance des fleurs et des fruits Rhizogenèse (racines adventives) Dominance apicale − Élongation cellulaire racinaire Abscission Floraison de certaines espèces
Cytokinines (CK) Zéatine : $NH\text{-}CH_2\text{-}CH{=}C$ (CH_2OH, CH_3) N, N, N, NH	• Synthèse par la voie des terpènes à partir d'un précurseur en C5. • Les cytokinines sont des dérivés de l'adénine (ATP) avec un groupement isoprène en position N°. • Synthèse dans les tissus jeunes ou méristématiques (apex racinaires, bourgeons, cambium, graines en développement). • Transport par le xylème.	+ Croissance cellulaire des feuilles, des fruits, des bourgeons axillaires Division cellulaire, organogenèse Ouverture des stomates Floraison de certaines espèces − Sénescence foliaire Dominance apicale
Éthylène Gaz C_2H_4 $H_2C = CH_2$	• Synthétisé à partir de la méthionine dans les tissus sénescents ou soumis à un stress. • Transport par diffusion.	+ Maturation des fruits Abscission (feuille, fruit) Sénescence (feuille, fleur) Ouverture des fleurs − Élongation cellulaire caulinaire et racinaire
Acide abscissique (ABA) ABA OH, CO_2H, O	• Synthèse par la voie des terpènes à partir d'un précurseur en C40. • L'ABA est un sesquiterpène synthétisé à partir des caroténoïdes du plaste (voie non mévalonique) dans les feuilles matures en réponse à des stress abiotiques, les tiges, les racines, les graines et fruits en développement). • Transport par le phloème et le xylème.	+ Induction et maintien de la dormance Fermeture des stomates Allocation des assimilats des feuilles aux graines en formation Synthèse de protéines de réserves dans les graines − Élongation cellulaire ; action antagoniste des gibbérellines
Gibbérellines Acide gibbérellique GA_1 GA1 O, OH, CH_2, H, HO, CH_3, COOH	• Synthèse par la voie des terpènes à partir d'un précurseur en C20. • Les GA sont des diterpènes cycliques • Synthèse dans la tige feuillée, les jeunes feuilles des bourgeons apicaux, les graines et les fruits en développement, les apex racinaires. • Transport par le xylème et le phloème.	+ Croissance et élongation cellulaire de la tige feuillée (montaison) Croissance des mutants nains Induction de la germination de graines Régulation de la consommation des réserves des graines de céréales Floraison de plantes de jours longs
Jasmonate O, COO^-	• Dérivé volatile d'acides gras insaturés (acide linolénique). • Synthèse dans toutes les parties de la plante.	+ Synthèse de protéines de défenses Accumulation de protéines de réserves − Croissance des tiges, des racines, Germination des graines
Systémine Petit peptide (18 AA)	• Petit peptide produit dans les tissus blessés.	+ Défense systémique
Acide salicylique COOH OH	• Synthèse par la voie de l'acide shikimique. • L'acide salicylique est un composé phénolique.	+ Activation des gènes de défense contre les agents pathogènes Défense systémique Croissance racinaire
Brassinostéroïdes Brassinolides H_3C, OH, CH_3, HO, O	• Synthèse par la voie des terpènes à partir d'un précurseur en C30. • Les Brassinostéroïdes sont des hormones stéroïdes. • Présent dans le pollen, les graines immatures, les feuilles, les tiges, les racines et les fleurs.	+ Division et élongation cellulaires Élongation du tube pollinique Élongation de la tige feuillée Morphogenèse foliaire Production d'éthylène − Croissance et développement des racines Différenciation vasculaire
Polyamines Spermine $H_2N(CH_2)_3NH(CH_2)_4NH(CH_2)_3NH_2$ et putrescine $H_2N(CH_2)_4NH_2$	• La spermine est formée par la voie de synthèse de l'éthylène. • La putrescine est formée par décarboxylation de l'arginine et de l'ornithine. • Présentes dans toutes les cellules. Souvent conjuguées aux acides phénoliques.	+ Division cellulaire Tubérisation Initiation de racines et tiges adventives Embryogenèse Réaction d'hypersensibilité Floraison de certaines espèces − Sénescence des tissus

2. Des modifications des structures initiées par la perception de signaux environnementaux, notamment la photopériode et la température

a. La baisse de la photopériode, un signal perçu par le phytochrome

α. La photopériode, un marqueur de la saisonnalité dans laquelle s'inscrit le cycle de vie des Angiospermes

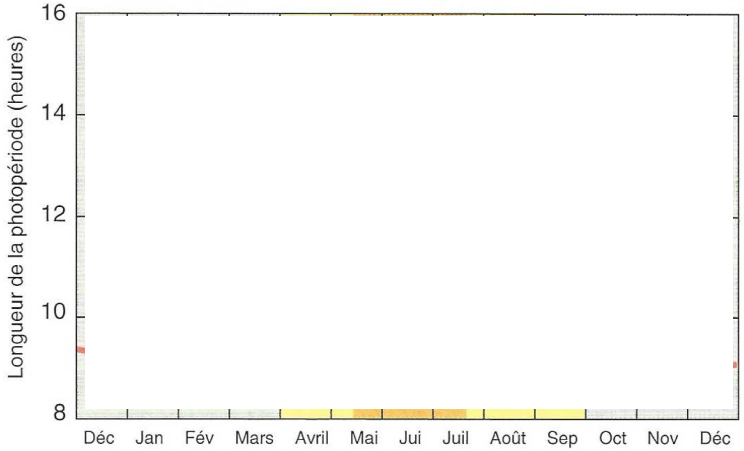


FIGURE 23. Photopériode et saisonnalité du cycle des Angiospermes.
D'après RAVEN *et al.* (2007b).

Photopériode :

β. La photopériode, une donnée environnementale captée par le phytochrome

i. Le phytochrome, une chromoprotéine notamment exprimée au niveau méristématique

Phytochrome (PHY) :

FIGURE 26. Le phytochrome : un exemple de figure qui peut être refait dans une fiche.
D'après PEYCRU *et al.* (2014).

ii. Le phytochrome, une chromoprotéine photoconvertible qui existe sous deux formes, Pr et Pfr, contrôlées par la nature des radiations reçues

Deux formes :

-

-

Radiations responsables de la **transconformation** :

-

-

iii. Le phytochrome activé (forme Pfr), une structure migrant dans le noyau où elle active ou inactive l'expression de gènes cibles (+ activité kinase cytosolique)

Le **phytochrome** possède une **activité kinasique** capable d'activer des voies de **transduction** directement dans le **cytosol** grâce à **portion C-terminale** qui **phosphoryle** des protéines.

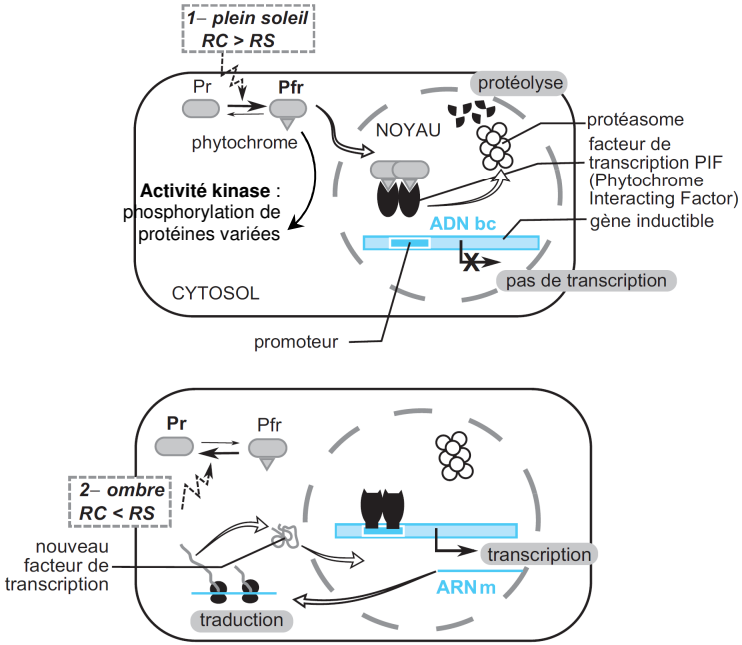


FIGURE 27. Contrôle de l'expression génétique par le phytochrome.
*Dans cet exemple, la fixation du **phytochrome B (forme active Pfr)** sur le **facteur de transcription** induit son **détachement de l'ADN**, et donc **l'inhibition de la transcription**.*
D'après PEYCRU *et al.* (2010b), légèrement complétée.

iv. Le ratio Pr/Pfr, une indication moléculaire de la photopériode

- **Lumière blanche** : indicateur de **journée éclairée**
- **Rouge lointain** : indicateur de **début** ou **fin** de **journée**

Durée du **jour** → **ratio journalier de formes Pr/Pfr** = **indicateur** de **durée de la photopériode**.

b. La baisse de température, une donnée dont les modes de perception sont multiples, complexes, interconnectés et demeurent discutés

α. Une baisse de la température moyenne perçue en lien avec la photopériode, et probablement directement détectée par le phytochrome lui-même [signal 1]

L'**inactivation du phytochrome** (passage de la forme Pfr à la **forme Pr**) peut s'opérer grâce à **deux signaux** (en réalité **complémentaires**) :
- Une **diminution de la photopériode**.
- Une **diminution de la température** moyenne.

β. Une baisse de température détectée de manière indirecte par la diminution d'activité métabolique et photosynthétique qui génère des ROS [signal 2]

γ. Une détection des premiers gels par l'augmentation de l'osmolarité vacuolaire et cytosolique [signal 3]

δ. Une détection plus ou moins directe de la température au niveau membranaire : fluidité (avec production de ROS) et perméabilité au Ca^{2+} [signaux 4-5]

ε. Une production d'acide abscissique (et de monoxyde d'azote) dans les tissus détecteurs de la baisse de température

ζ. Une modification de l'expression génétique induisant l'endurcissement (modification du transcriptome par des facteurs de transcription + des modifications épigénétiques + l'épissage alternatif)

FIGURE 28. Panorama du mode de la perception cellulaire du refroidissement. *Original.*

Bilan (adapté du programme)	✓ Les principales **adaptations** permettant le **passage de la mauvaise saison** sont : - **métabolisme réduit** (**vie ralentie**, **dormance**) - mise en **réserve** ° Dans les **graines** ° Dans les **organes de réserve végétatifs** (**souterrains**) ° Dans les **parenchymes libéro-ligneux** - **modifications protégeant le végétal** durant **l'hiver** (prévenant notamment le **gel**) : ° **Endurcissement** des **organes persistants** (dont **bourgeons**) ° **Abscission foliaire** ° **Obturation** temporaire des tissus conducteurs (**thylles** dans le **xylème**, **callose** dans le **phloème**) ✓ La **perception des saisons** par l'organisme est liée aux **signaux** de **photopériode** (notamment le **phytochrome**) et **température** par des mécanismes variés). ✓ La perception de ces signaux déclenche des **réponses cellulaires** et **tissulaires** qui **synchronisent l'organisme** avec les **saisons.**

III. La reprise de la vie active au retour de la belle saison et la floraison qui la suit

Capacités exigibles	✓ **Mettre en évidence** l'action de la photopériode et des températures dans l'induction de réponses (floraison, [germination ?]). ✓ **Décrire** les étapes de la reprise de l'activité de la plante au printemps à différents niveaux. ✓ **Montrer** que la floraison nécessite des conditions de vie favorables.

***Important** : vous noterez que **beaucoup de schémas** proposés dans la partie II… peuvent **resservir** dans la partie III !*

A. La levée de dormances et le retour à la vie active

1. Chez les graines : une levée de dormance aboutissant à la germination, un développement généralement différé de la descendance

a. Cas de la levée de dormance d'origine tégumentaire

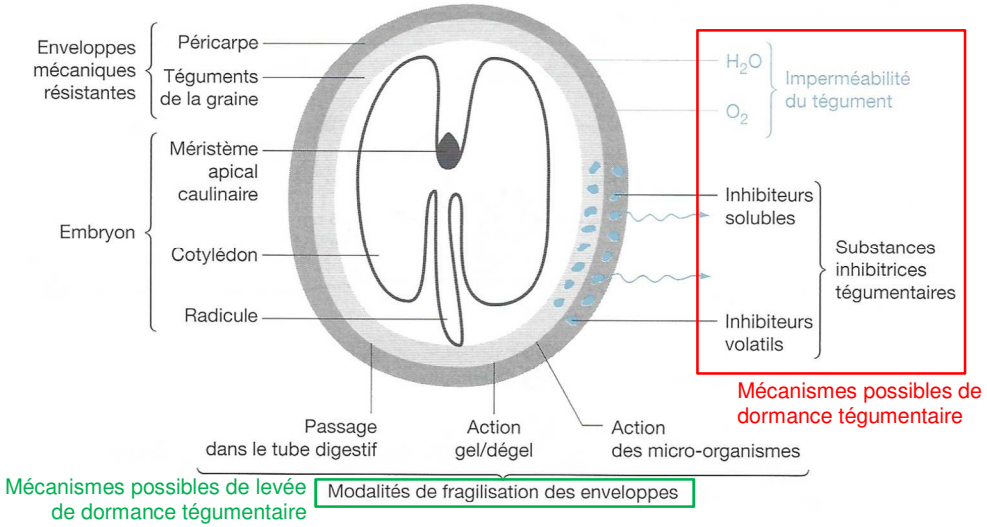


FIGURE [13]. La dormance tégumentaire chez les graines : une vision synthétique.
Le cas illustré est celui d'un caryopse puisqu'il a un péricarpe.
D'après BREUIL (2007). *(!) Péricarpe seulement si caryopse !*

- Possibilité de **levée artificielle de dormance tégumentaire** par ***retrait du tégument*** (**décortication**) ou ***altération volontaire du tégument*** (**scarification**)

- **Voies naturelles possibles** de **levée de dormance tégumentaire** :

>
>
>
>
> … *etc.* …

b. Cas de la levée de dormance d'origine embryonnaire

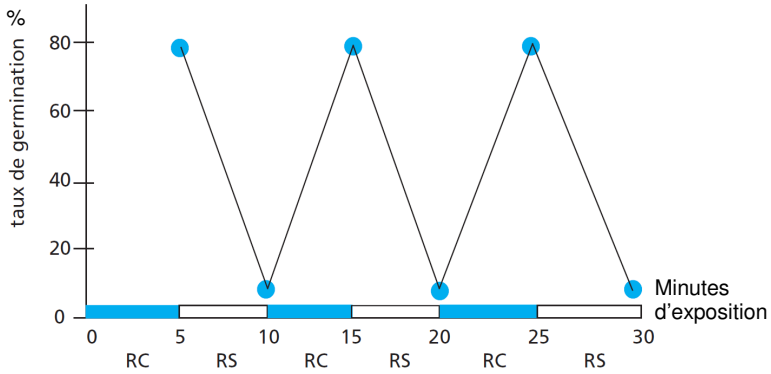
α. Une levée de dormance qui combine des facteurs endogènes et exogènes

Non levée par décortication ou scarification
→ détection de **paramètres externes**

β. Une levée de dormance initiée par l'allongement de la photopériode et sa détection par le phytochrome chez les semences photolabiles

Semences photolabiles :

- Selon le mécanisme vu plus tôt (II.E.2.a), un **ratio des formes Pr/Pfr du phytochrome** renseigne les **semences** sur **l'allongement de la photopériode**.



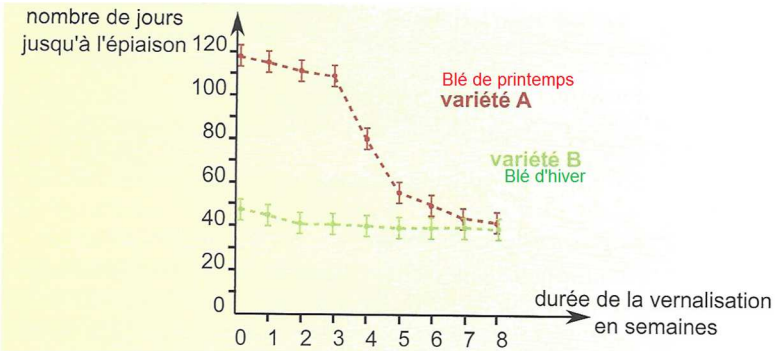
Taux de germination de semences de laitue illuminées alternativement par le rouge clair (RC) et le rouge sombre (RS).

FIGURE 29. Influence des longueurs d'onde dans le rouge sur la germination de semences de Laitue. D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

γ. Une levée de dormance initiée par une soumission au froid prolongé (= vernalisation) chez les semences psychrolabiles

Vernalisation : → cas des **semences** dites **psychrolabiles**

NB Possibilité de ***vernalisation artificielle des semences*** = **stratification**



Délai jusqu'à l'épiaison de 2 variétés de blé en fonction de la durée du traitement de vernalisation.

L'erreur standard de la moyenne est de 9 jours pour les 2 variétés.

FIGURE 30. Effet de la vernalisation des caryopses du Blé de printemps (espèce psychrolabile) et du Blé d'hiver (espèce à germination immédiate) sur le développement. D'après PEYCRU *et al.* (2014).

c. Modalités et mécanismes de la germination

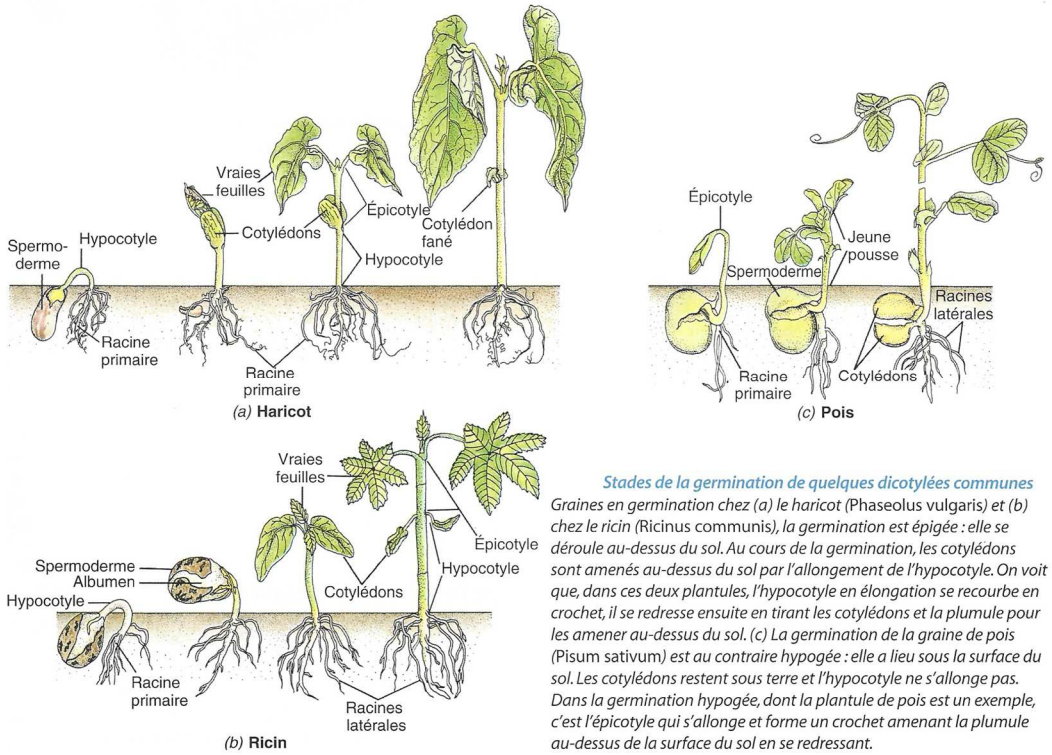
Germination **- au sens strict :** **- au sens large :**

α. Un rappel : deux types de germination (hypogée et épigée)

Germination épigée :
Germination hypogée :

La **germination** fait partie du **développement post-embryonnaire**. Elle en est la **première étape**.

*Pour le **DPE chez la plante adulte** : cf. chapitre 18.*



Stades de la germination de quelques dicotylées communes

*Graines en germination chez (a) le haricot (*Phaseolus vulgaris*) et (b) chez le ricin (*Ricinus communis*), la germination est épigée : elle se déroule au-dessus du sol. Au cours de la germination, les cotylédons sont amenés au-dessus du sol par l'allongement de l'hypocotyle. On voit que, dans ces deux plantules, l'hypocotyle en élongation se recourbe en crochet, il se redresse ensuite en tirant les cotylédons et la plumule pour les amener au-dessus du sol. (c) La germination de la graine de pois (*Pisum sativum*) est au contraire hypogée : elle a lieu sous la surface du sol. Les cotylédons restent sous terre et l'hypocotyle ne s'allonge pas. Dans la germination hypogée, dont la plantule de pois est un exemple, c'est l'épicotyle qui s'allonge et forme un crochet amenant la plumule au-dessus de la surface du sol en se redressant.*

FIGURE 31. Germinations épigée et hypogée. D'après RAVEN *et al.* (2007b).

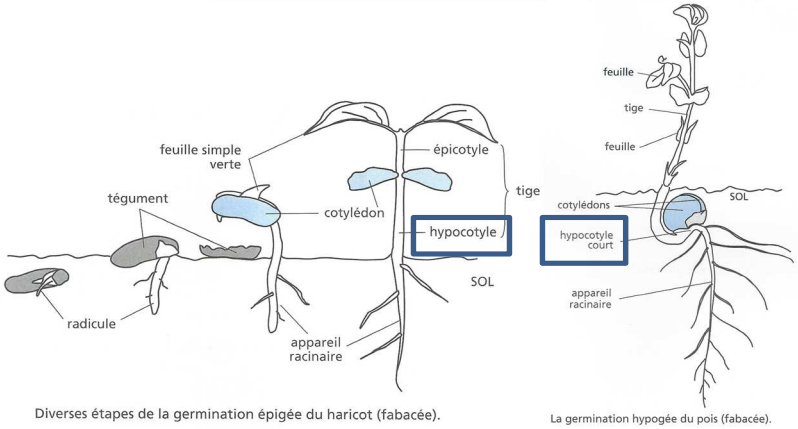


FIGURE 32. Germinations épigée et hypogée (autre vision). D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

β. Un retour à la vie active séquentiel (en trois phases) qui suppose une réhydratation et une reprise du métabolisme

-

-

-

FIGURE 33. Étapes de la reprise de la vie active des graines. D'après RICHARD *et al.* (2015).

Deux **processus notoires** dans la germination :

-

-

Processus en **trois étapes** : cf. figure 33

γ. Une reprise du métabolisme qui nécessite une mobilisation des réserves sous contrôle gibbérellique : l'exemple des réserves chez une Poacée

Exemple dans un **caryopse de Blé** :

-

-

-

FIGURES 34-35. Gibbérellines et mobilisation des réserves dans un caryopse de Blé.
Simplifier et fondre les deux schémas.

2. Chez les bourgeons aériens : une levée de dormance aboutissant au débourrement et à la reprise de l'activité photosynthétique

Débourrement :

Levée de dormance : souvent **psychrolabile**, parfois **photolabile**
Contrôle **gibbérellique**

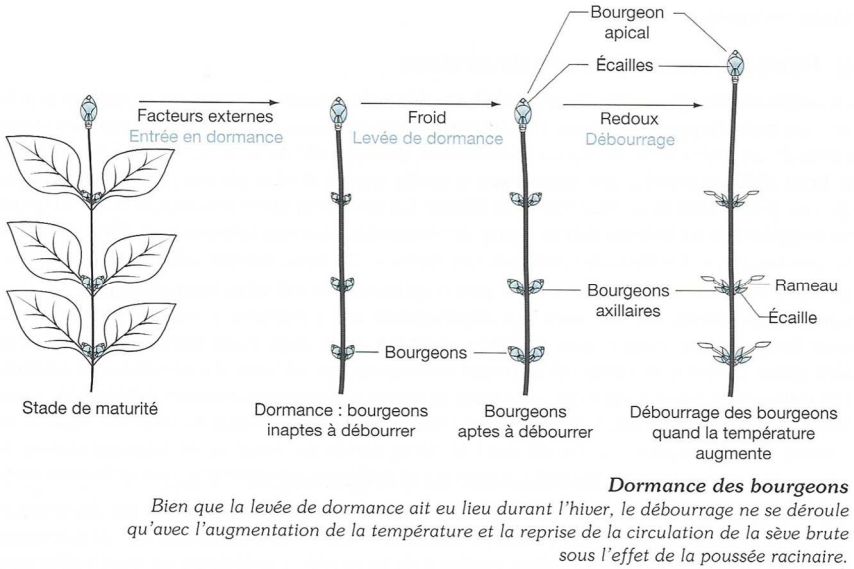


FIGURE 36. La dormance des bourgeons et sa levée : exemple de bourgeon aérien. D'après BREUIL (2007).

3. Chez les bourgeons des organes souterrains de géophytes : une levée de dormance souvent psychrolabile aboutissant au débourrement

4. Bilan sur le contrôle endogène et exogène des levées de dormance (et donc de la reprise de la vie active)

a. Une reprise de la vie active notamment contrôlées par les acides gibbérelliques (= gibbérellines)

On peut parler d'une **balance hormonale ABA/GA**, c'est-à-dire que ***c'est la prédominance de l'une ou l'autre de ces hormones qui déclenchera tel ou tel type de réponse***.

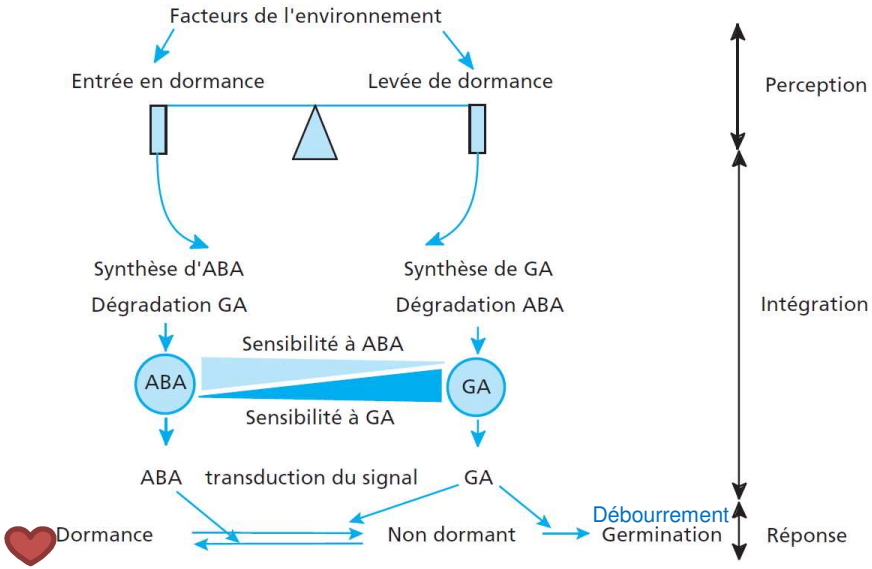


FIGURE [22]. Balance ABA/GA et dormances. D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

b. Un contrôle environnemental

α. Par la lumière via les phytochromes

- Le **rallongement de la photopériode** induit progressivement, dans les cellules qui sont pourvues du **phytochrome**, une **prédominance de la forme Pfr (active) sur la forme Pr** qui modifie donc **l'expression génétique**, renseignant la cellule sur le **retour des conditions favorables**.

Revoir dans la partie II le fonctionnement du phytochrome.

β. Par la température

- La température agit à **deux niveaux** ; le premier est particulièrement **important**.

i. Par une période de froid préalable lors de la mauvaise saison : la vernalisation

- Comme nous l'avons vu, le **débourrement de nombreux bourgeons** (y compris dans les **organes souterrains**) et la **germination des semences psychrolabiles** ***nécessitent souvent une période de froid préalable (intervenant lors de la saison défavorable)*** : c'est la **vernalisation**.
- *Les **mécanismes en jeu dans la perception du froid** sont de **même type** que ceux mobilisés lors de la détection du froid à **l'approche de la mauvaise saison** et abordés dans la partie II.*

ii. Par le redoux (= hausse de température moyenne en début de belle saison) et le retour des conditions favorables

- Le **réchauffement ambiant** induit une **augmentation des vitesses de réaction enzymatique** et donc de l'activité qui conduit, dans la cellule, à la **suppression des signaux de stress** produits en période de froid.
- Il se pourrait que des **mécanismes** supplémentaires de **perception directe du redoux** existent mais ils demeurent **discutés**.

B. Une reprise de la vie active qui suppose la reprise de la circulation et la mobilisation des réserves

1. Une reprise de la circulation permise par une désobturation des tissus conducteurs préalablement obturés

Modalités de **désobturation des tissus conducteurs** (contrôle **gibbérellique**) :

-

-

2. Une mobilisation des réserves dans la production de métabolites circulant par les sèves

a. Cas des réserves souterraines (géophytes) : une circulation phloémienne (retour à l'exemple de la Pomme de terre)

α. Une variation saisonnière des flux de matières organique et de la nature source-puits des organes [rappels]

β. Une mobilisation des réserves dont les hydrolysats passent par le phloème

Attention, la **circulation de la sève élaborée** n'est donc **pas toujours « descendante »** ! Elle est ***polarisée des organes-sources vers les organes-puits***… Ici, les **organes-sources** à ce stade de l'année, ce sont les **tubercules** !

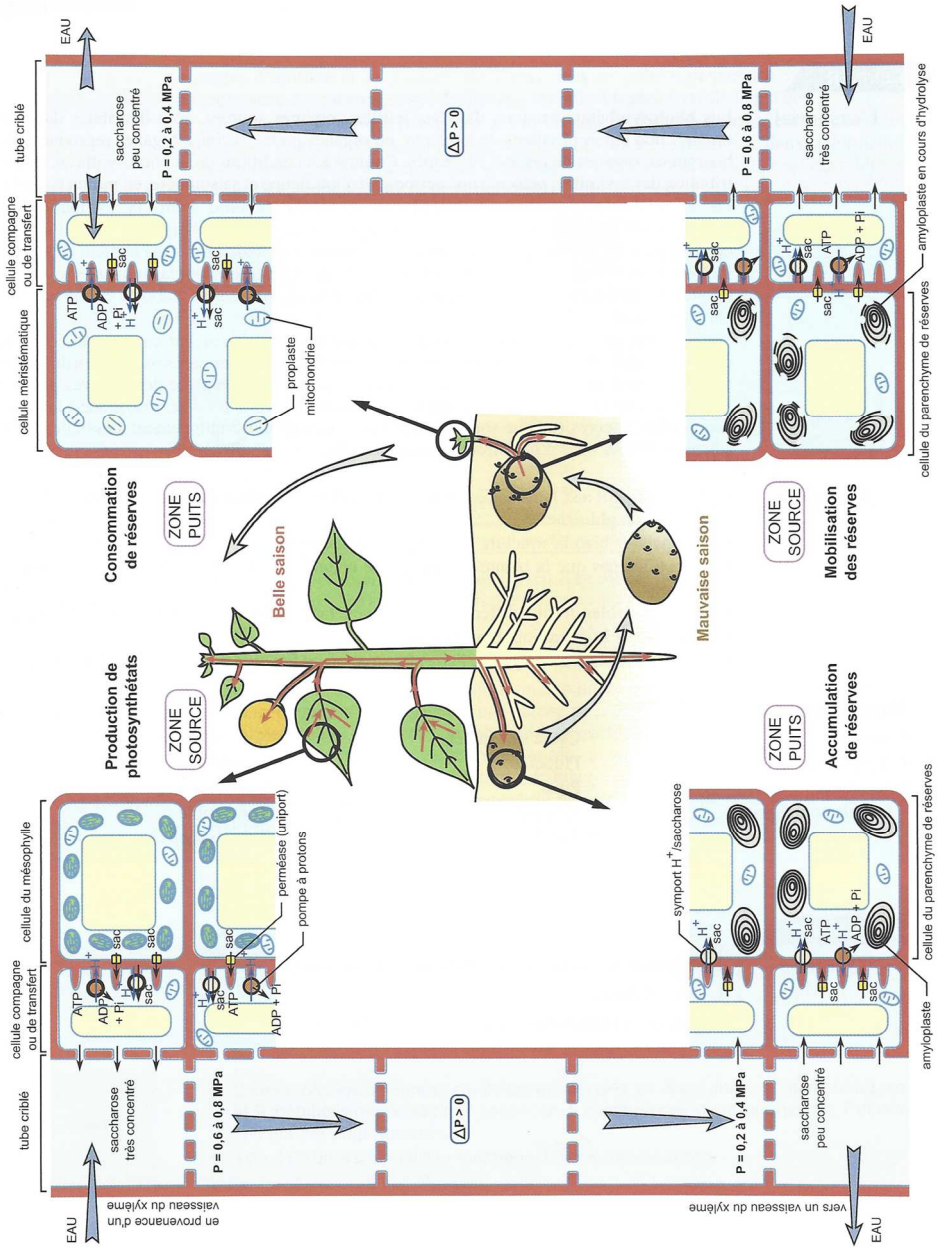


FIGURE 38. La circulation dans la Pomme de terre et les saisons. D'après PEYCRU *et al.* (2014).
*Même si c'est la **partie haute** du schéma qui nous intéresse ici, voilà un beau **schéma de synthèse**.*
*On notera bien la **transition source-puits** en cours de belle saison.*

γ. Une mobilisation des réserves qui suppose la dégradation de l'amidon stocké dans les amyloplastes de l'organe de réserve [pour information ?]

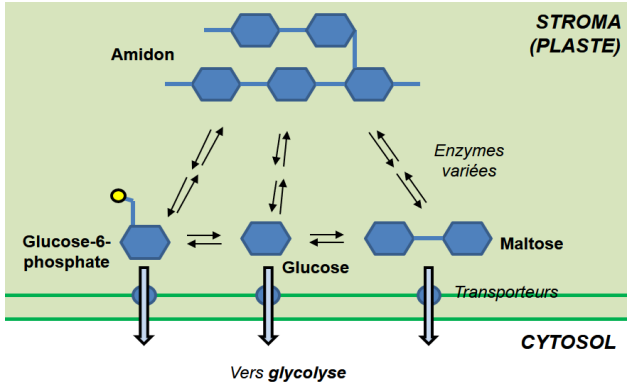


FIGURE 39. Principe général de mobilisation des réserves d'amidon. *Schéma original.*

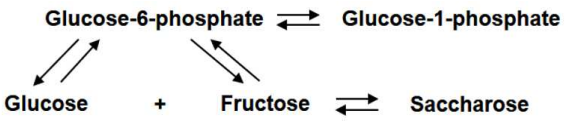
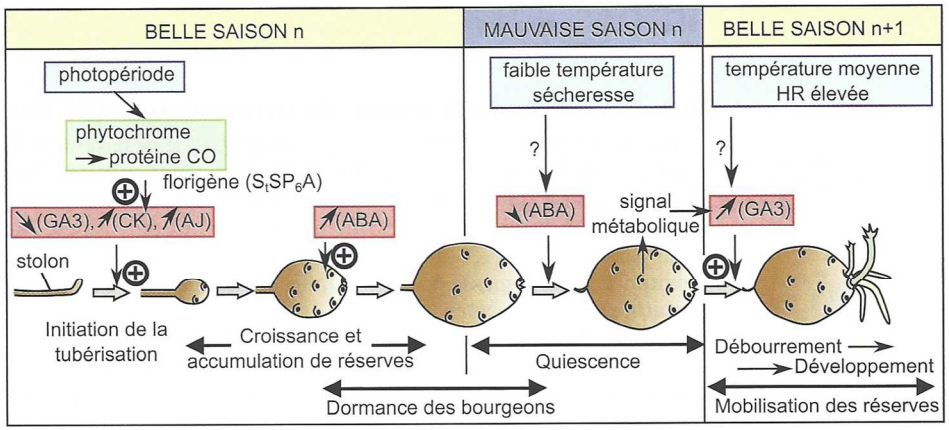


FIGURE 40. Production cytosolique de saccharose. *Schéma original.*

δ. Une détubérisation au contrôle complexe, en partie gibbérellique mais demeurant discuté

Pour information, je vous livre les quelques informations suivantes (figure 19 – remise pour l'occasion) (mon texte fait suite à ce que je dis pages 16-17) :

- *La **levée de dormance** est **mal comprise** ; des **signaux externes** (on avance souvent la **température**, avec sans doute une **vernalisation**) en seraient à l'origine.*
- *Elle se traduirait par une **diminution de la quantité d'ABA** puis une **augmentation de la quantité de GA** dans l'organe.*



Quelques aspects du contrôle de l'accumulation
et la mobilisation des réserves chez la pomme de terre.

Entourés en bleu, les paramètres de l'environnement ; en rouge, les principales phyto-hormones impliquées dans ce contrôle (ABA acide abcissique ; AJ : acide jasmonique ; GA3 : gibbérellines).

FIGURE [19]. La tubérisation des Pommes de terre (belle saison) et de la mobilisation des réserves (après la mauvaise saison), avec leur contrôle endogène et exogène.
D'après PEYCRU *et al.* (2014).

*Pour ce schéma, vous pouvez tout refaire mais vous contenter de la **mémorisation** de la **tubérisation-détubérisation**, en oubliant le **contrôle**.*

b. Cas des réserves ligneuses (phanérophytes, chaméphytes) : une circulation plutôt xylémienne des hydrolysat de réserves

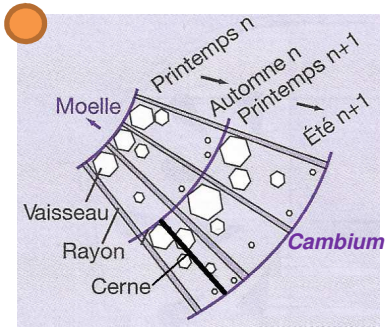


FIGURE [7]. Bois avec deux années de fonctionnement. D'après DENŒUD *et al.* (2014), modifié.

Fonctionnement saisonnier du bois (= xylème II) :
-

-

-

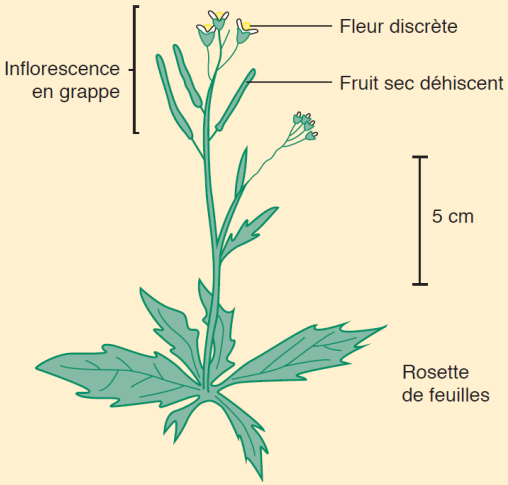
C. La floraison, un processus intervenant plus tard en saison, également contrôlé par des facteurs endogènes et l'environnement

- *Le programme invite enfin à aborder les **conditions dans lesquelles s'effectuent la floraison**, sans que l'on sache toutefois exactement quels contours il faut donner aux **aspects morphogénétiques** impliqués.*

Encadré D A. thaliana, *plante modèle*

Pour information : d'après SEGARRA *et al., 2015*

Arabidopsis thaliana est une plante annuelle de la famille des brassicacées, originaire d'Europe et d'Asie. Ses fleurs blanches sont disposées en grappe de style corymbe. Ses fruits contiennent plusieurs dizaines de graines. *Arabidopsis* présente de nombreuses caractéristiques qui en font le modèle le plus utilisé en génétique des plantes :



Morphologie d'*Arabidopsis thaliana*

1. La floraison, l'aboutissement d'un processus morphogénétique

Morphogenèse florale :

a. La transformation d'un méristème apical caulinaire (MAC) en méristème inflorescentiel

FIGURE 41. Mise en place du méristème inflorescentiel et d'un bouton floral.
D'après PEYCRU *et al.* (2014)

Méristème préinflorescentiel :
Méristème inflorescentiel :
Méristème floral :

b. Un méristème inflorescentiel qui met en place des boutons floraux

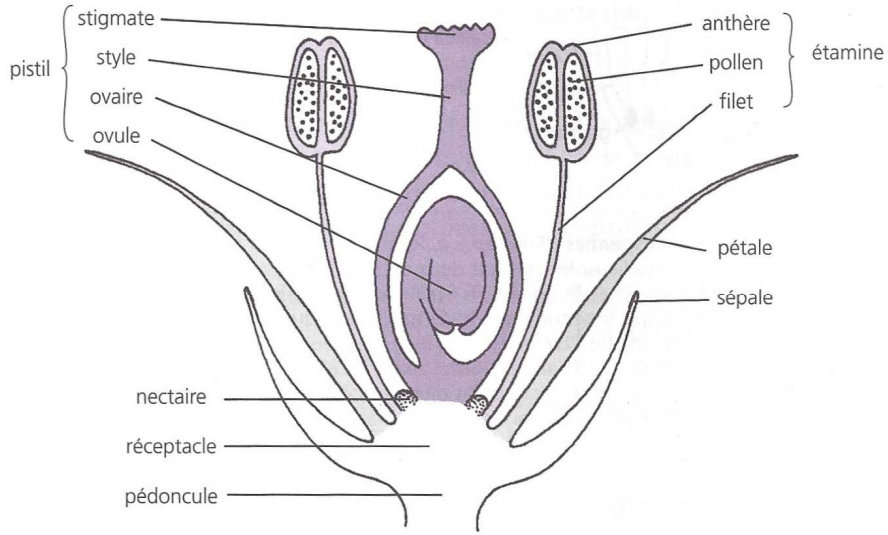
- **Chaque méristème floral → bouton floral**
- Possibilité de **mise en place synchrone** ou **séquentielle** des **boutons floraux** au sein d'une **inflorescence**
- Participation des **processus morphogénétiques classiques (mérèse, auxèse, différenciation)**

→ mise en place des **pièces florales** (typiquement : sépales, pétales, étamines, gynécée).

*NB Les **sépales** constituent la **protection externe** engainante du bouton.*

c. L'épanouissement des boutons floraux en fleurs : la floraison au sens strict

Floraison (sens strict) :



Organisation générale de la fleur d'angiosperme, ici en coupe longitudinale.

FIGURE 43. Une fleur hermaphrodite syncarpe à carpelles soudés en ovaire unique. D'après DUCREUX (2002), modifié.

2. La mise à fleur, un processus par étapes et gouverné des gènes du développement

a. Les étapes de la mise à fleur : induction florale, évocation florale, initiation florale, floraison

(1) Virage floral :
- Induction florale :
- Évocation florale :
(2) Morphogenèse florale :
- Initiation florale :
- Floraison au sens large : > >

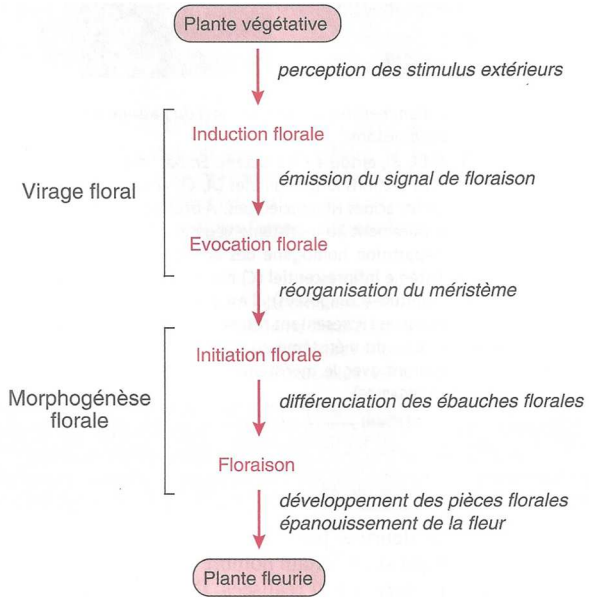


FIGURE 44. Étapes de la mise à fleur. D'après HELLER *et al.* (2000).

b. Un processus qui conduit à la perte de l'activité de développement indéfini du méristème caulinaire

c. Un processus gouverné par des gènes du développement [*limite programme ?*]

Une petite phrase à la fin du § 3.3.2. du programme (pourtant consacré au contrôle du développement animal !) peut laisser penser qu'il est bon d'avoir entendu parler de ce point. Je reste sur une vision très simple.

Gène homéotique :
Modèle ABCDE : → **expression à différents niveaux** du méristème floral et gouvernent ainsi la **mise en place des pièces florales**

FIGURE 45. Contrôle par les gènes ABCDE de la différenciation des pièces florales.
D'après SAINTPIERRE *et al.* (2017). [*Limite programme ?*]

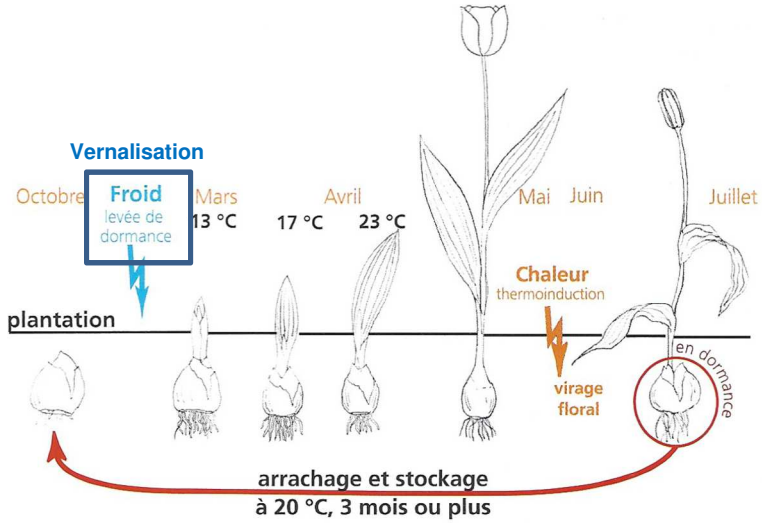
3. La floraison, un processus initié par des signaux environnementaux et endogènes : l'induction florale

a. La perception de signaux environnementaux, indicateurs de conditions favorables, par des cellules-compagnes foliaires

α. Le rôle de la température

i. Une nécessaire vernalisation fréquente

ii. La possibilité d'un thermopériodisme et d'une thermoinduction



températures optimales des différentes étapes du développement d'une variété de tulipe commercialisée (*Tulipa sp.*, Liliacées)

FIGURE 37. Le cycle de vie d'une Tulipe et son contrôle thermique.
D'après BREUIL (2007).

Thermopériodisme :
Thermoinduction :

β. Le photopériodisme

i. Une détection du rallongement de la photopériode par le phytochrome dans les cellules-compagnes du phloème des feuilles

Détection de la **nyctipériode** par les **cellules-compagnes phloémiennes foliaires**

Nyctipériode :

ii. Des plantes de jours courts et des plantes de jours longs : l'importance de la nyctipériode dans la mise à fleur

Plantes de jours longs (JL) [nuits courtes] :
Plantes de jours courts (JC) [nuit longues] :

FIGURE 46. Plantes de JC et JL. D'après CAMPBELL & REECE (2004).

b. La production d'une protéine inductrice qui circule par la sève élaborée jusqu'aux cellules du MAC : le florigène (protéine FT)

Florigène = protéine FT (*Flowering locus T*) :

- **Production** par les **cellules-compagnes** du **phloème** de **feuilles**
- **Circulation phloémienne**
- **Action** sur le **méristème du MAC**

Les différents facteurs contrôlent l'expression du gène FT *via* des facteurs de transcription (RG : région régulatrice). Une photopériode adéquate induit la synthèse d'activateurs de la transcription. Ceux-ci ne déclenchent l'expression de FT que si l'inhibition provoquée par des répresseurs a été levée par la vernalisation et un degré de développement végétatif suffisant. La protéine FT est transportée vers le MAC par la sève élaborée. Les gènes *AP1* et *lfy* codent des protéines dont la présence provoque la transition du MAC vers le méristème reproducteur.

FIGURE 47. Vue d'ensemble de l'induction florale. D'après SEGARRA *et al.* (2015).

Bilan (adapté du programme)	✓ Les principaux **événements** permettant le **retour de la vie active** sont : - la **germination** des **graines**, aboutissant à la **mise en place** d'une **jeune plante adulte**, - le **débourrement** des **bourgeons aériens**, ou des bourgeons portés par les **organes de réserve souterrains**, aboutissant à la mise en place de **nouvelles pousses feuillées**, - la **désobturation** des **vaisseaux** et **tubes criblés**, permettant la **remise en circulation** des **sèves**. ✓ Ces processus supposent : - la **levée des dormances** - la **mobilisation des réserves** et leur **circulation** jusqu'aux **organes en développement**. ✓ **Plus tard** en saison, on assiste à la **floraison**, aboutissement d'une **mise à fleur** par **étapes**. On distingue des **plantes de jours longs** et des **plantes de jours courts**. ✓ La **perception des saisons** par l'organisme est liée aux **signaux** de **photopériode** (notamment le **phytochrome**) et **température** par des mécanismes variés). ✓ La perception de ces signaux déclenche des **réponses cellulaires** et **tissulaires** qui **synchronisent l'organisme** avec les **saisons.**

Bilan

FIGURE 48. Contraintes saisonnières et adaptations des Angiospermes.
D'après MEYER *et al.* (2008).

FIGURE 49. Saisons et Angiospermes.
D'après PEYCRU *et al.* (2010b).

Pour faire une fiche de révision : quelques pistes

Il est conseillé de maîtriser les **grandes lignes du plan**

*Le **plan** ne doit pas être perçu comme un carcan figé, ou comme un modèle de plan de dissertation à ré-utiliser en devoir, mais bien comme un **outil d'apprentissage et de structuration** des **concepts importants**. Vous pouvez en **recopier les grandes lignes** ou **annexer le plan du polycopié** directement.*

Il est conseillé de réaliser un **lexique des principales définitions**.

Il est conseillé de reproduire les **schémas (et tableaux) majeurs** :

Liste indicative.

*Il y a là-dedans des **révisions** de TP ou d'autres chapitres !*

- *Schémas d'ensemble*

° **Cycles des Angiospermes** : annuelles / bisannuelles / vivaces (schémas simplifiables)
° **Types biologiques** (= classification de RAUNKIAER)
° **Rythmes saisonniers et vie des Angiospermes** = schéma majeur !

- *Organes de résistance*

° **Graines albuminées** et **exalbuminées**
(!) Ne pas oublier d'en connaître les 5 caractéristiques et de savoir les diagnoser ou les dessiner plus précisément en TP.
° **Organes de réserves végétatifs** (= souterrains)
*(!) Maîtriser les **échantillons de TP***
*(!) Ajoutez dans vos fiches de cours les **schémas en figurés conventionnels** des grands types d'organe vus en TP. On y notera l'expansion des **parenchymes primaires** ou des **rayons ligneux** / **libériens**.*
*(!) Le **tableau**, réduit aux **exemples en rouge**, peut être judicieusement ajouté aux fiches.*
° Structure d'un **bourgeon** (choisir un **bourgeon écailleux**, comme dans ce cours)

- *Réserves*

[° **Amidon**… si vous ne vous en souvenez plus]
[° **Triglycéride**… pareil, si vous ne vous en souvenez plus]

- *Préparation/passage de la mauvaise saison*

Certains schémas dans cette partie peuvent aussi servir à illustrer le retour à la vie active !

° **Dormance tégumentaire** des graines (et modes de levée)
° **Adaptations** dans les **bourgeons écailleux**
° **Sénescence et abscission foliaire** (choisir la figure 16)
° Circulation de la **sève élaborée** dans la **Pomme de terre** : vous pouvez faire directement le **schéma-bilan** (figure 38)
° **Tubérisation** et saisons (contrôle facultatif)
° **Thylle** dans le **xylème** (peut être simplifié en 2D)
° **Cal** dans le **phloème**

- *Déterminisme*

Ces schémas peuvent aussi servir à traiter le retour à la vie active !

° **Balance ABA/GA** et **dormances**
[° **Photopériode** et principaux **événements saisonniers** – *vous pouvez simplement faire une impression d'écran*]
° **Phytochrome** (schéma encadré) – être capable de tout expliquer !
° **Perception cellulaire** du **refroidissement**

- *Sortie de la mauvaise saison (reprise de la vie active)*

*Je ne reliste pas les **schémas déjà listés** pour la mauvaise saison.*
Beaucoup de schémas repris dans la partie III servent aussi à illustrer la partie II.

[° **Germination épigée** / **hypogée**… si vous ne vous en souvenez plus]
° **Mobilisation des réserves** de la **graine** (figure simplifiée)
[° Organisation du bois… si vous ne vous en souvenez plus]

- *Floraison*

° **Morphogenèse florale** [limite programme ?]
[° Fleur typique… si vous ne vous en souvenez plus]
° **Étapes** de la **mise à fleur**
[° **Gènes ABCDE**… limite programme !]
° **Fleurs de JC/JL** (clairement au programme)
° Schéma simplifié de **l'induction florale**

- *Schémas-bilans*

Rond orange : figure à refaire quasiment telle quelle
Rond vert : figure à **simplifier**, au moins dans le trait
❤️ **Incontournables** pour survivre 😊

Vous devez en outre **savoir** / **pouvoir** :
° **Reconnaître** / **dessiner** / **schématiser** les organes de résistance des Angiospermes
° **Réaliser** des coupes dans ces organes (+ schémas en **figurés conventionnels** de Radis, Carotte, etc.)
° **Mettre en évidence** la nature des réserves de ces organes
° **Exploiter** des documents en lien avec le passage de la mauvaise saison, sa sortie ou encore la floraison

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.

BUCHANAN, B. B., W. GRUISSEM & R. L. JONES (dir.) (2015). *Biochemistry and Molecular Biology of Plants.* Wiley, New York, USA – Blackwell, Oxford, UK, 2e edition (1e edition 2002).

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.

DUCO, A. (dir.), C. BONNET, P. BRINGER, C. BUSSIÈRE, F. CARIOU, M. CHARLES, A. CLAMENS, J.-P. ESTEBAN, M. GALLIZIA, D. GRANDOUILLET, S. KROGMANN, C. LENNE, J.-F. MOYEN, C. MULNET, D. MULNET, M. NAESSENS & F. SCHMITT, 2001. *SVT Sciences de la Vie et de la Terre Première S.* 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.

HELLER, R., R. ESNAULT & C. LANCE (1998). *Physiologie végétale. 1. Nutrition.* Belin, Paris, 6e édition.

HELLER, R., R. ESNAULT & C. LANCE (2000). *Physiologie végétale. 2. Développement.* Belin, Paris, 6e édition.

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.

MOROT-GAUDRY, J.-F. (dir.), F. MOREAU, R. PRAT, C. MAUREL & H. SENTENAC (2009*a*). *Biologie végétale. Nutrition et métabolisme.* Dunod, Paris.

MOROT-GAUDRY, J.-F., R. PRAT (dir.), I. BOHN-COURSEAU, M. JULLIEN, F. PARCY, C. PERROT-RECHENMANN, M. REISDORF-CREN, L. RICHARD & A. SAVOURÉ (2009*b*). *Biologie végétale. Croissance et développement.* Dunod, 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).

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).

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).

ROLAND, J-C., F. ROLAND, H. EL MAAROUF-BOUTEAU & F. BOUTEAU (2008). *Atlas. Biologie végétale. **2**. Organisation des plantes à fleurs.* Dunod, Paris, 9e édition (1e édition 1977).

SAINTPIERRE, F., C. BORDI (dir.), M. ALGRAIN, Y. KRAUSS, I. MOLLIÈRE & H. CLAUCE (2017). *Mémento Biologie BCPST 1re et 2e années.* Vuibert, Paris.

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.

TAIZ, L. & E. ZEIGER (dir.) (2010). *Plant physiology.* Sinauer Associates, Sunderland (Massachussetts, USA), 5e édition (1e édition 1991).

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.

VOET, D. & J. G. VOET (2005). *Biochimie.* De Boeck, Bruxelles (B), 2e édition française [3e édition américaine, John Wiley and sons, New York, USA, 2004. Traduction G. ROUSSEAU & L. DOMENJOUD].

Plan du chapitre

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 1

I. La mauvaise saison, une période défavorable à l'activité qui suppose un passage sous forme d'organes de résistance 2
A. Les rythmes saisonniers, une contrainte environnementale à laquelle doivent faire face les Angiospermes 2
1. Le problème de l'hiver : faible photopériode, gel et basses températures, faible disponibilité en eau 2
2. La saison favorable : forte photopériode, températures douces à élevés, disponibilité en eau (sauf sécheresse !) 2
B. Des cycles de vie impactés par le cycle des saisons qui autorisent plusieurs modalités de passage de la mauvaise saison 2
1. Trois types de cycle de développement : plantes annuelles, bisannuelles et vivaces (= pérennes = pluriannuelles) 3
2. Les grandes modalités de passage de la mauvaise saison : une classification en cinq types biologiques (RAUNKIAER, 1904) 3
a. Les phanérophytes (arbres et arbustes à bourgeons en hauteur) 3
b. Les chaméphytes (buissons à bourgeons près du sol) 3
c. Les hémicryptophytes (plantes en rosette à bourgeons au ras du sol) 3
d. Les géophytes (= cryptophytes), plantes à organes souterrains hivernants 3
e. Les thérophytes, plantes passant l'hiver seulement sous forme de graines 3
3. Dans tous les cas : une temporalité du développement et du fonctionnement dictée par les rythmes saisonniers 4
a. Une saison favorable caractérisée par l'activité végétative, photosynthétique, reproductive et de mise en réserve 4
b. Un déclin des conditions favorables caractérisé par un endurcissement des structures persistantes, une mise en réserve qui peut se poursuivre et l'abscission foliaire chez beaucoup d'espèces ligneuses 4
c. Une saison défavorable caractérisée par une quasi-cessation de l'activité physiologique et du développement 4
d. Un retour des conditions favorables caractérisé par une reprise du développement et une mobilisation des réserves 4
C. Un passage de la mauvaise saison permis par des organes de résistance 5
1. Les organes de réserve 5
a. Les semences (présentes chez tous les types biologiques) 5
α. Notions de semence et de graine 5
β. Deux grands types de graines en fonction de la localisation des réserves : graines albuminées *vs.* exalbuminées 5
b. Les organes végétatifs de réserve souterrains chez les géophytes : tubercules (caulinaire, racinaires, hypocotylaires, mixtes), bulbes, rhizomes 6
c. Le parenchyme du bois (et du liber), une réserve importante chez les espèces ligneuses (phanérophytes, chaméphytes) 7
2. Les bourgeons aériens, lieux de dormance et de protection des méristèmes caulinaires 7
D. Les principaux types de réserves organiques chez les Angiospermes 8
1. Le stockage des polysaccharides : l'exemple de l'amidon dans les amyloplastes 8
2. Le stockage vacuolaire de saccharose ou d'oses 9
3. Le stockage des lipides : l'exemple des triglycérides 9
a. Nature biochimique et formation 9
b. Des molécules hydrophobes à rôle de réserve et à localisation cytosolique (ou plastidiale) 9
4. Le stockage des protéines : l'exemple du gluten (Angiospermes Poacées) 10
a. Le gluten, une partie de la fraction protéique de l'albumen des Poacées 10
b. Mise en réserve et mobilisation du gluten 10

II. La préparation au passage de la mauvaise saison lors de la belle saison 11
A. La protection et la mise en dormance (réduction du métabolisme) des structures contenant les méristèmes 11
1. Vie ralentie, dormance, quiescence : un peu de vocabulaire sur la vie ralentie 11
2. Protection et dormance des méristèmes dans les graines 11
a. Les graines, des organes riches en réserves, accueillant un embryon et protégés par un tégument 11
b. Les graines, des organes subissant une déshydratation qui conduit à la diminution importante de l'activité métabolique 11
c. Les graines, des organes entrant en dormance 11
3. Protection et dormance des méristèmes caulinaires dans les bourgeons aériens 12
a. Les bourgeons, des organes qui peuvent perdurer pendant l'hiver 12
b. Les bourgeons, des organes présentant des adaptations macroscopiques : téguments protecteurs et hydrophobes, bourre… 12
c. Les bourgeons, des organes présentant des adaptations cellulaires et moléculaires : déshydratation et surfusion, augmentation des insaturations phospholipidiques, protéines anti-gel 13
d. Des organes entrant en dormance 13
4. Des adaptations cellulaires et biochimiques semblables chez les hémicryptophytes 13
B. L'abscission des feuilles (phanérophytes et chaméphytes caducifoliées) 13
1. Une caractéristique de la plupart des plantes ligneuses 13
2. Sénescence et abscission foliaires : mécanismes cellulaires 13
3. Un processus contrôlé par l'éthylène et généralement déclenché par la baisse de photopériode (détectée par le phytochrome) 13
C. La mise en réserve : l'exemple de la mise en réserve d'amidon dans le parenchyme de tubercule de Pomme de terre (une géophyte) 15
1. Une variation saisonnière des flux de matières organique et de la nature source-puits des organes 15
2. Une circulation de saccharose par la sève élaborée permettant la mise en réserve au niveau souterrain 15
3. Une tubérisation progressive, sous contrôle phytohormonal déclenché par la photopériode et aboutissant à une mise en dormance 16
D. L'obturation des tissus conducteurs (phanérophytes, chaméphytes, hémicryptophytes) 17
1. Une obturation des vaisseaux de xylème par des excroissances parenchymateuses : les thylles 17
2. Une obturation des tubes criblés du phloème par des cals (formés de callose) 17
E. Un contrôle phytohormonal et environnemental de la préparation de la mauvaise saison 18
1. Des mises en dormances largement contrôlées par l'acide abscissique 18
2. Des modifications des structures initiées par la perception de signaux environnementaux, notamment la photopériode et la température 19
a. La baisse de la photopériode, un signal perçu par le phytochrome 19
α. La photopériode, un marqueur de la saisonnalité dans laquelle s'inscrit le cycle de vie des Angiospermes 19
β. La photopériode, une donnée environnementale captée par le phytochrome 19
i. Le phytochrome, une chromoprotéine notamment exprimée au niveau méristématique 19
ii. Le phytochrome, une chromoprotéine photoconvertible qui existe sous deux formes, Pr et Pfr, contrôlées par la nature des radiations reçues 21

iii. Le phytochrome activé (forme Pfr), une structure migrant dans le noyau où elle active ou inactive l'expression de gènes cibles (+ activité kinase cytosolique) 21
iv. Le ratio Pr/Pfr, une indication moléculaire de la photopériode 21
b. La baisse de température, une donnée dont les modes de perception sont multiples, complexes, interconnectés et demeurent discutés 21
α. Une baisse de la température moyenne perçue en lien avec la photopériode, et probablement directement détectée par le phytochrome lui-même [signal 1] 21
β. Une baisse de température détectée de manière indirecte par la diminution d'activité métabolique et photosynthétique qui génère des ROS [signal 2] 21
γ. Une détection des premiers gels par l'augmentation de l'osmolarité vacuolaire et cytosolique [signal 3] 22
δ. Une détection plus ou moins directe de la température au niveau membranaire : fluidité (avec production de ROS) et perméabilité au Ca^{2+} [signaux 4-5] 22
ε. Une production d'acide abscissique (et de monoxyde d'azote) dans les tissus détecteurs de la baisse de température 22
ζ. Une modification de l'expression génétique induisant l'endurcissement (modification du transcriptome par des facteurs de transcription + des modifications épigénétiques + l'épissage alternatif) 22

III. La reprise de la vie active au retour de la belle saison et la floraison qui la suit 23
A. La levée de dormances et le retour à la vie active 23
1. Chez les graines : une levée de dormance aboutissant à la germination, un développement généralement différé de la descendance 23
a. Cas de la levée de dormance d'origine tégumentaire 23
b. Cas de la levée de dormance d'origine embryonnaire 24
α. Une levée de dormance qui combine des facteurs endogènes et exogènes 24
β. Une levée de dormance initiée par l'allongement de la photopériode et sa détection par le phytochrome chez les semences photolabiles 24
γ. Une levée de dormance initiée par une soumission au froid prolongé (= vernalisation) chez les semences psychrolabiles 24
c. Modalités et mécanismes de la germination 25
α. Un rappel : deux types de germination (hypogée et épigée) 25
β. Un retour à la vie active séquentiel (en trois phases) qui suppose une réhydratation et une reprise du métabolisme 26
γ. Une reprise du métabolisme qui nécessite une mobilisation des réserves sous contrôle gibbérellique : l'exemple des réserves chez une Poacée 26
2. Chez les bourgeons aériens : une levée de dormance aboutissant au débourrement et à la reprise de l'activité photosynthétique 27
3. Chez les bourgeons des organes souterrains de géophytes : une levée de dormance souvent psychrolabile aboutissant au débourrement 27
4. Bilan sur le contrôle endogène et exogène des levées de dormance (et donc de la reprise de la vie active) 28
a. Une reprise de la vie active notamment contrôlées par les acides gibbérelliques (= gibbérellines) 28
b. Un contrôle environnemental 28
α. Par la lumière via les phytochromes 28
β. Par la température 28
i. Par une période de froid préalable lors de la mauvaise saison : la vernalisation 28
ii. Par le redoux (= hausse de température moyenne en début de belle saison) et le retour des conditions favorables 28
B. Une reprise de la vie active qui suppose la reprise de la circulation et la mobilisation des réserves 29
1. Une reprise de la circulation permise par une désobturation des tissus conducteurs préalablement obturés 29
2. Une mobilisation des réserves dans la production de métabolites circulant par les sèves 29
a. Cas des réserves souterraines (géophytes) : une circulation phloémienne (retour à l'exemple de la Pomme de terre) 29
α. Une variation saisonnière des flux de matières organique et de la nature source-puits des organes [rappels] 29
β. Une mobilisation des réserves dont les hydrolysats passent par le phloème 29
γ. Une mobilisation des réserves qui suppose la dégradation de l'amidon stocké dans les amyloplastes de l'organe de réserve [pour information ?] 30
δ. Une détubérisation au contrôle complexe, en partie gibbérellique mais demeurant discuté 30
b. Cas des réserves ligneuses (phanérophytes, chaméphytes) : une circulation plutôt xylémienne des hydrolysat de réserves 30
C. La floraison, un processus intervenant plus tard en saison, également contrôlé par des facteurs endogènes et l'environnement 31
1. La floraison, l'aboutissement d'un processus morphogénétique 31
a. La transformation d'un méristème apical caulinaire (MAC) en méristème inflorescentiel 31
b. Un méristème inflorescentiel qui met en place des boutons floraux 32
c. L'épanouissement des boutons floraux en fleurs : la floraison au sens strict 32
2. La mise à fleur, un processus par étapes et gouverné des gènes du développement 32
a. Les étapes de la mise à fleur : induction florale, évocation florale, initiation florale, floraison 32
b. Un processus qui conduit à la perte de l'activité de développement indéfini du méristème caulinaire 33
c. Un processus gouverné par des gènes du développement [*limite programme ?*] 33
3. La floraison, un processus initié par des signaux environnementaux et endogènes : l'induction florale 34
a. La perception de signaux environnementaux, indicateurs de conditions favorables, par des cellules-compagnes foliaires 34
α. Le rôle de la température 34
i. Une nécessaire vernalisation fréquente 34
ii. La possibilité d'un thermopériodisme et d'une thermoinduction 34
β. Le photopériodisme 34
i. Une détection du rallongement de la photopériode par le phytochrome dans les cellules-compagnes du phloème des feuilles 34
ii. Des plantes de jours courts et des plantes de jours longs : l'importance de la nyctipériode dans la mise à fleur 34
b. La production d'une protéine inductrice qui circule par la sève élaborée jusqu'aux cellules du MAC : le florigène (protéine FT) 34

Bilan 36
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 37
Références 38
Plan du chapitre 39
Plan simplifié 41
Plan très simplifié 42

Plan simplifié

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 1

I. La mauvaise saison, une période défavorable à l'activité qui suppose un passage sous forme d'organes de résistance 2
A. Les rythmes saisonniers, une contrainte environnementale à laquelle doivent faire face les Angiospermes 2
1. Le problème de l'hiver : faible photopériode, gel et basses températures, faible disponibilité en eau 2
2. La saison favorable : forte photopériode, températures douces à élevés, disponibilité en eau (sauf sécheresse !) 2
B. Des cycles de vie impactés par le cycle des saisons qui autorisent plusieurs modalités de passage de la mauvaise saison 2
1. Trois types de cycle de développement : plantes annuelles, bisannuelles et vivaces (= pérennes = pluriannuelles) 3
2. Les grandes modalités de passage de la mauvaise saison : une classification en cinq types biologiques (RAUNKIAER, 1904) 3
3. Dans tous les cas : une temporalité du développement et du fonctionnement dictée par les rythmes saisonniers 4
C. Un passage de la mauvaise saison permis par des organes de résistance 5
1. Les organes de réserve 5
2. Les bourgeons aériens, lieux de dormance et de protection des méristèmes caulinaires 7
D. Les principaux types de réserves organiques chez les Angiospermes 8
1. Le stockage des polysaccharides : l'exemple de l'amidon dans les amyloplastes 8
2. Le stockage vacuolaire de saccharose ou d'oses 9
3. Le stockage des lipides : l'exemple des triglycérides 9
4. Le stockage des protéines : l'exemple du gluten (Angiospermes Poacées) 10

II. La préparation au passage de la mauvaise saison lors de la belle saison 11
A. La protection et la mise en dormance (réduction du métabolisme) des structures contenant les méristèmes 11
1. Vie ralentie, dormance, quiescence : un peu de vocabulaire sur la vie ralentie 11
2. Protection et dormance des méristèmes dans les graines 11
3. Protection et dormance des méristèmes caulinaires dans les bourgeons aériens 12
4. Des adaptations cellulaires et biochimiques semblables chez les hémicryptophytes 13
B. L'abscission des feuilles (phanérophytes et chaméphytes caducifoliées) 13
1. Une caractéristique de la plupart des plantes ligneuses 13
2. Sénescence et abscission foliaires : mécanismes cellulaires 13
3. Un processus contrôlé par l'éthylène et généralement déclenché par la baisse de photopériode (détectée par le phytochrome) 13
C. La mise en réserve : l'exemple de la mise en réserve d'amidon dans le parenchyme de tubercule de Pomme de terre (une géophyte) 15
1. Une variation saisonnière des flux de matières organique et de la nature source-puits des organes 15
2. Une circulation de saccharose par la sève élaborée permettant la mise en réserve au niveau souterrain 15
3. Une tubérisation progressive, sous contrôle phytohormonal déclenché par la photopériode et aboutissant à une mise en dormance 16
D. L'obturation des tissus conducteurs (phanérophytes, chaméphytes, hémicryptophytes) 17
1. Une obturation des vaisseaux de xylème par des excroissances parenchymateuses : les thylles 17
2. Une obturation des tubes criblés du phloème par des cals (formés de callose) 17
E. Un contrôle phytohormonal et environnemental de la préparation de la mauvaise saison 18
1. Des mises en dormances largement contrôlées par l'acide abscissique 18
2. Des modifications des structures initiées par la perception de signaux environnementaux, notamment la photopériode et la température 19

III. La reprise de la vie active au retour de la belle saison et la floraison qui la suit 23
A. La levée de dormances et le retour à la vie active 23
1. Chez les graines : une levée de dormance aboutissant à la germination, un développement généralement différé de la descendance 23
2. Chez les bourgeons aériens : une levée de dormance aboutissant au débourrement et à la reprise de l'activité photosynthétique 27
3. Chez les bourgeons des organes souterrains de géophytes : une levée de dormance souvent psychrolabile aboutissant au débourrement 27
4. Bilan sur le contrôle endogène et exogène des levées de dormance (et donc de la reprise de la vie active) 28
B. Une reprise de la vie active qui suppose la reprise de la circulation et la mobilisation des réserves 29
1. Une reprise de la circulation permise par une désobturation des tissus conducteurs préalablement obturés 29
2. Une mobilisation des réserves dans la production de métabolites circulant par les sèves 29
C. La floraison, un processus intervenant plus tard en saison, également contrôlé par des facteurs endogènes et l'environnement 31
1. La floraison, l'aboutissement d'un processus morphogénétique 31
2. La mise à fleur, un processus par étapes et gouverné des gènes du développement 32
3. La floraison, un processus initié par des signaux environnementaux et endogènes : l'induction florale 34

Bilan 36
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 37
Références 38
Plan du chapitre 39
Plan simplifié 41
Plan très simplifié 42

Plan très simplifié

Objectifs : extraits du programme 1
Introduction 1

I. La mauvaise saison, une période défavorable à l'activité qui suppose un passage sous forme d'organes de résistance 2
- **A. Les rythmes saisonniers, une contrainte environnementale à laquelle doivent faire face les Angiospermes** 2
- **B. Des cycles de vie impactés par le cycle des saisons qui autorisent plusieurs modalités de passage de la mauvaise saison** 2
- **C. Un passage de la mauvaise saison permis par des organes de résistance** 5
- **D. Les principaux types de réserves organiques chez les Angiospermes** 8

II. La préparation au passage de la mauvaise saison lors de la belle saison 11
- **A. La protection et la mise en dormance (réduction du métabolisme) des structures contenant les méristèmes** 11
- **B. L'abscission des feuilles (phanérophytes et chaméphytes caducifoliées)** 13
- **C. La mise en réserve : l'exemple de la mise en réserve d'amidon dans le parenchyme de tubercule de Pomme de terre (une géophyte)** 15
- **D. L'obturation des tissus conducteurs (phanérophytes, chaméphytes, hémicryptophytes)** 17
- **E. Un contrôle phytohormonal et environnemental de la préparation de la mauvaise saison** 18

III. La reprise de la vie active au retour de la belle saison et la floraison qui la suit 23
- **A. La levée de dormances et le retour à la vie active** 23
- **B. Une reprise de la vie active qui suppose la reprise de la circulation et la mobilisation des réserves** 29
- **C. La floraison, un processus intervenant plus tard en saison, également contrôlé par des facteurs endogènes et l'environnement** 31

Bilan 36
Pour faire une fiche de révision : quelques pistes 37
Références 38
Plan du chapitre 39
Plan simplifié 41
Plan très simplifié 42

© 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 février-mars 2018 • Dernière actualisation : janvier 2020.
Remerciements : Joseph SEGARRA (TB2, Lycée Pierre-Gilles de Gennes – ENCPB, Paris 13) pour ses tableaux.
Contact : Tanguy.Jean4@gmail.com
Adresse de téléchargement : https://www.svt-tanguy-jean.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.