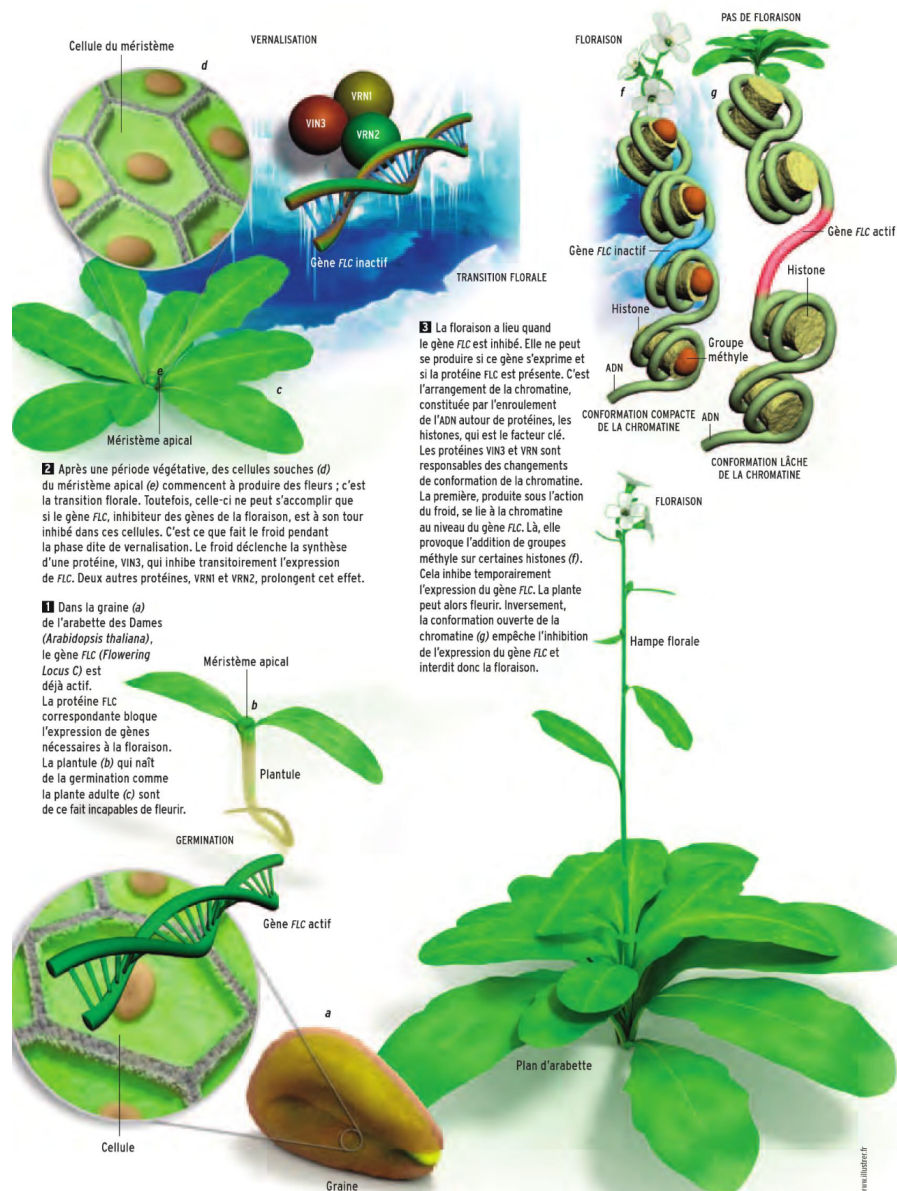




SV-B-3 -LE DEVELOPPEMENT POST-EMBRYONNAIRE DES ANGIOSPERMES : ADAPTATIONS ET PLASTICITE PHENOTYPIQUE

SV-3-3 : ADAPTATIONS ET PLASTICITE PHENOTYPIQUE

CAROLE VILBERT ET Y. KRAUSS
BCPST2
Thuillier - Amiens

SV-B-3-3 Adaptations et plasticité phénotypique

Les Angiospermes présentent des caractéristiques adaptatives en relation avec leur vie fixée en milieu terrestre.

Certaines de ces adaptations témoignent de convergences évolutives entre taxons phylogénétiquement éloignés ou de régression évolutive.

D'autres variations morphologiques, anatomiques et physiologiques au sein d'une même espèce sont sous la dépendance de facteurs du milieu au cours de leur développement. On parle d'accommodation.

Des facteurs abiotiques tels que les variations météorologiques au cours d'une année et entre les années influencent le développement végétatif (exemple de la production saisonnière du bois) et/ou reproducteur (exemple de la floraison).

Des facteurs biotiques tels que des bactéries ou des mycètes influent sur le développement de la plante (formation de nodosités ou de mycorhizes), et participent à la nutrition d'un organisme à vie fixée. Un dialogue moléculaire entre la plante et un autre organisme permet la formation d'une structure chimérique impliquée dans la nutrition.

- Mettre en relation les modifications morpho-anatomiques observées sur des végétaux vivant en milieu sec (sclérophytes et malacophytes) ou aquatique avec les contraintes spécifiques liées aux conditions de milieu ==> Vu en TP

- Discuter, à partir d'exemples, des convergences ou des régressions évolutives liées à des caractéristiques morphoanatomiques.

- Différencier adaptation et accommodation à partir d'exemples et leur mécanisme d'origine.

- Mettre en relation le développement indéfini de l'appareil végétatif des Angiospermes avec un mécanisme d'accommodation : exemple des feuilles d'ombre et de lumière

- Identifier le bois de printemps et le bois d'été formant les cernes du bois à l'échelle macroscopique et/ou microscopique

- Exploiter des données pour montrer l'influence de la température (vernalisation) et de la lumière (photopériodisme) sur l'induction florale.

- Présenter un modèle de contrôle épigénétique impliquant le gène FLC reliant les facteurs abiotiques et la floraison (organes percepteurs, relais hormonaux, gènes impliqués).

Précisions et limites :

L'existence d'hormones intervenant dans la floraison est simplement mentionnée sans aucune modalité d'action exigible. Aucun développement des mécanismes moléculaires de formation des mycorhizes et des nodosités n'est attendu.

Source image couverture : pour la science

Adaptations et plasticité phénotypique

Introduction

Les Angiospermes ont conquis presque tous les grands Biomes (= zone de vie majeure c'est-à-dire macro-écosystème partageant un climat, une faune et une flore fonctionnellement similaires, exemple de biome terrestre : toundra, désert, de biome aquatique : eau douce, eau de mer...) terrestres depuis leur apparition il y a 130 Ma au cours du Crétacé (certains pollens seraient datés de 175 Ma jurassique). Un insecte trouvé dans de l'ambre daté de 99 Ma porte une soie de grain de pollen dans ses soies. L'ouverture de l'océan Atlantique aurait joué un rôle dans le climat, avec la formation d'une zone climatique humide et ainsi l'émergence des Angiospermes.

I. Les Angiospermes des organismes adaptés à leur vie fixée en milieu terrestre

A. L'adaptation : le passage par le crible de la sélection naturelle

Parmi la diversité d'individus d'une population, liée au brassage lors de la reproduction et des mutations, les plus aptes vont être favorisés, mieux croître et avoir plus de descendance : c'est la **sélection naturelle**. La pression de sélection exercée par les facteurs abiotiques et biotiques conduit à une sélection de caractères les plus adaptés à la vie dans un environnement donné. On parle alors d'**adaptation des Angiospermes**.

Les adaptations que nous observons actuellement, cactus, plante aquatique, plante épiphyte... sont le résultat d'un long **processus de sélection** à chaque génération.

Au sein d'une même espèce quand des populations présentent des génotypes légèrement différents et adaptés à 2 milieux différents **on parle d'écotypes**. → Cf infra

Si les différences s'accroissent on peut aboutir à des barrières reproductives et donc à l'apparition de nouvelles espèces.

B. Les convergences évolutives

Document : 3 espèces appartenant à 3 familles d'Angiospermes évoluant dans des environnements secs et ensoleillés



Sedum album
Crassulacée



Euphorbia obesa
Euphorbiacée



Tephrocactus geometricus
Cactacée

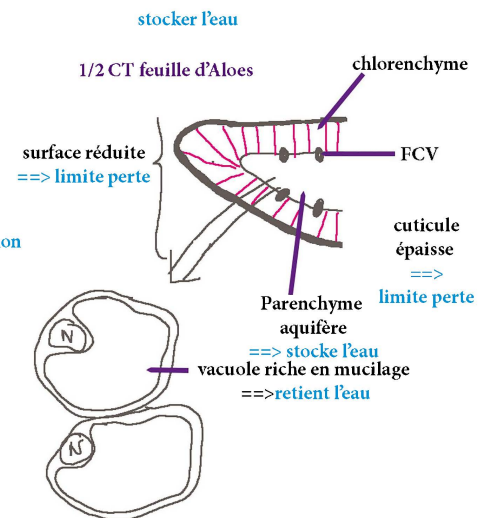
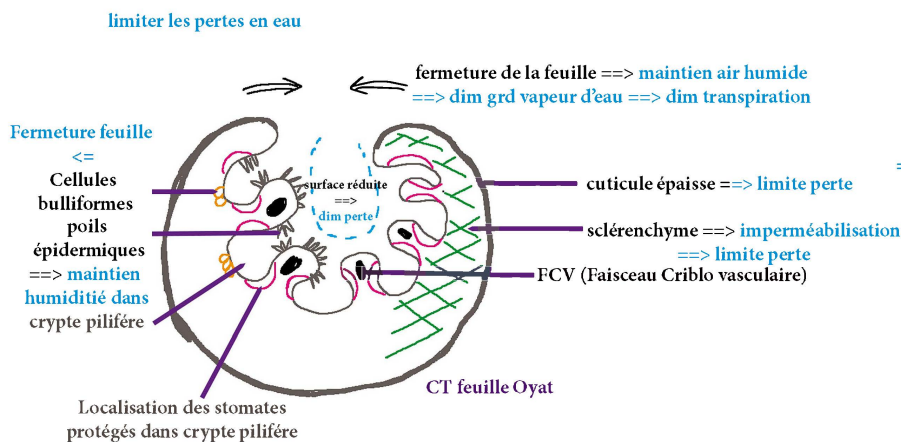
Voir TP pour revoir les différentes adaptations des Sclérophytes et des Hydrophytes. + schéma qui peut être exploité en lien avec les exemples vus en TP.

La convergence évolutive (ou évolution convergente) est

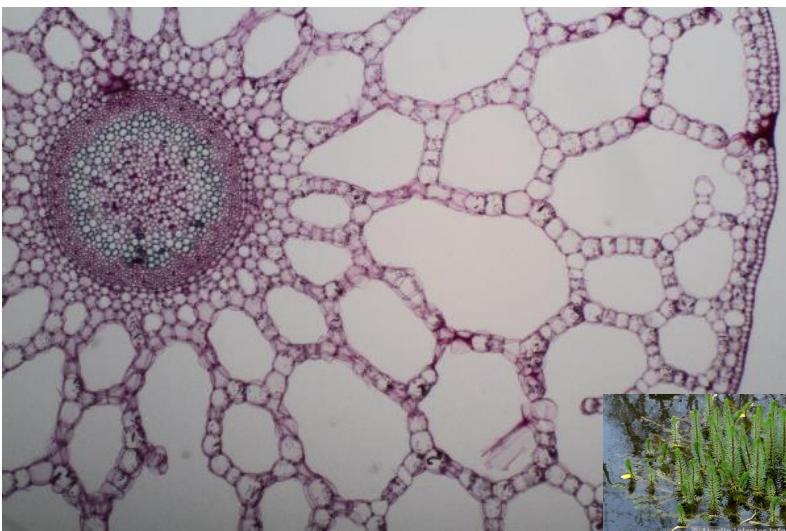
Une façon d'utiliser les acquis de TP !

L'adaptation des végétaux au milieu sec

Un exemple de Convergence évolutive



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



Remobilisation des acquis de TP (ex pesse d'eau):

Mettre légendes structuro fonctionnelles :
 Épiderme sans cuticule ni stomate → ne limite pas les pertes d'eau, pas d'échanges gazeux

Parenchyme aérifère → réserve de gaz et circulation des gaz → nécessaires aux échanges

Cortex développé sans tissus de soutien, parenchyme aérifère → rôle de soutien et flottabilité

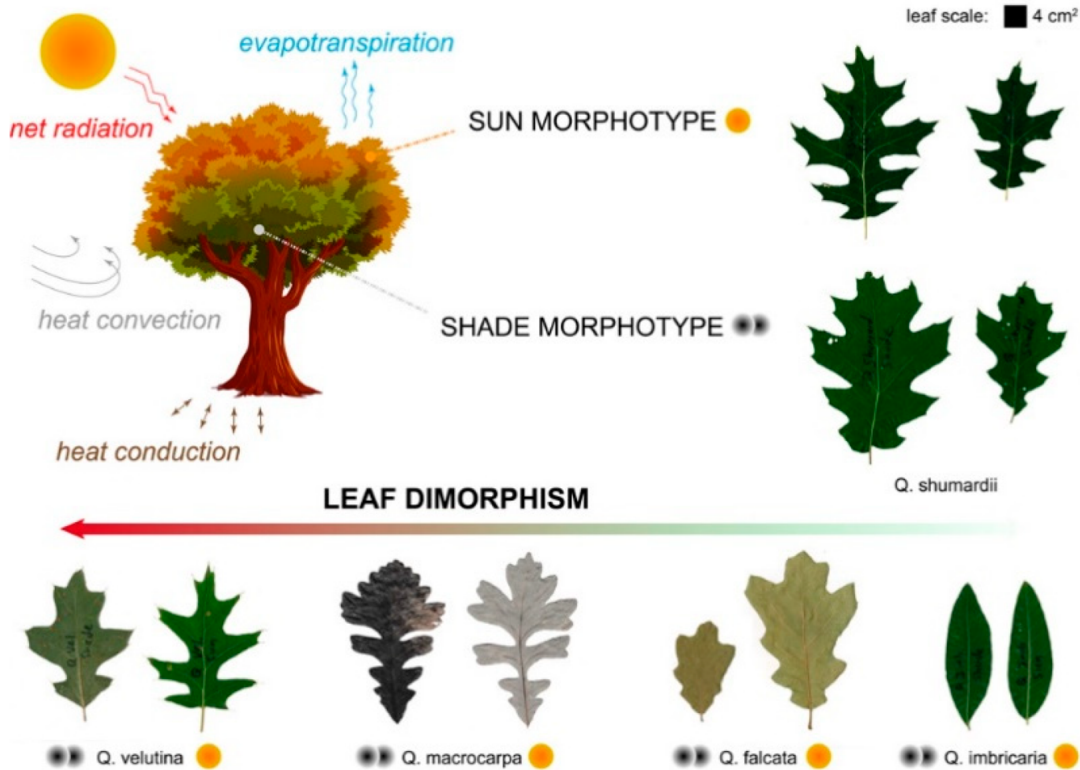
Cylindre central peu développé → absorption sur tout l'organisme

Encore une fois, toutes ces caractéristiques sont communes à ces plantes adaptées aux milieux aquatiques, alors que celles-ci appartiennent à plusieurs familles végétales. On parle alors de.....

II. L'accommodation une modulation phénotypique lors du développement

Lors du développement ou de la croissance des Angiospermes, il y a mise en place de nouveaux organes. En fonction des caractéristiques du milieu lors de cette mise en place on observe des Ceci est permis par(ou flexibilité) du développement des organismes.

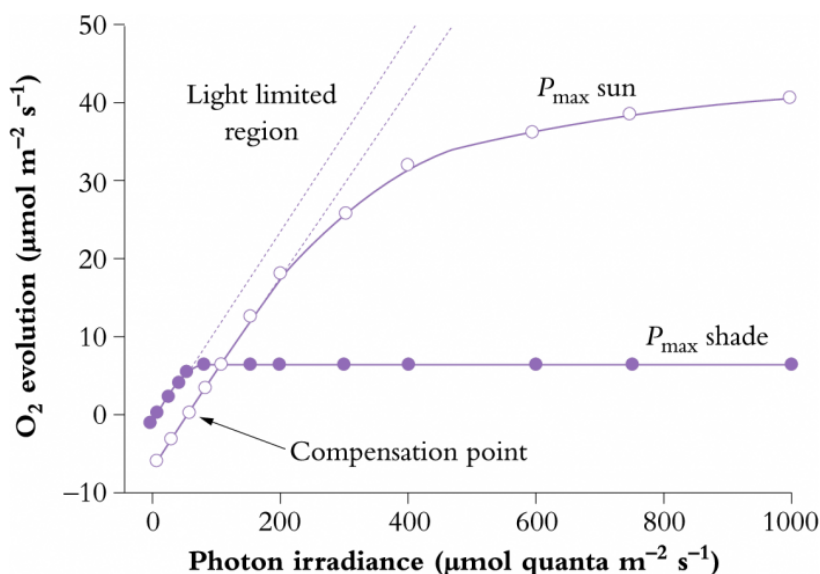
A. La plasticité phénotypique liée à des facteurs abiotiques



Document :

Sur un même arbre, donc avec le même génotype, certaines feuilles au niveau du houppier (Cf sortie) au sommet de la canopée sont fortement éclairé (plus de forte température et plus de photons) tandis que d'autres plus basse reçoivent moins de lumière.

In Biomimetic Groundwork for Thermal Exchange Structures Inspired by Plant Leaf Design – A.I.K.S. Rupp et P. Gruber



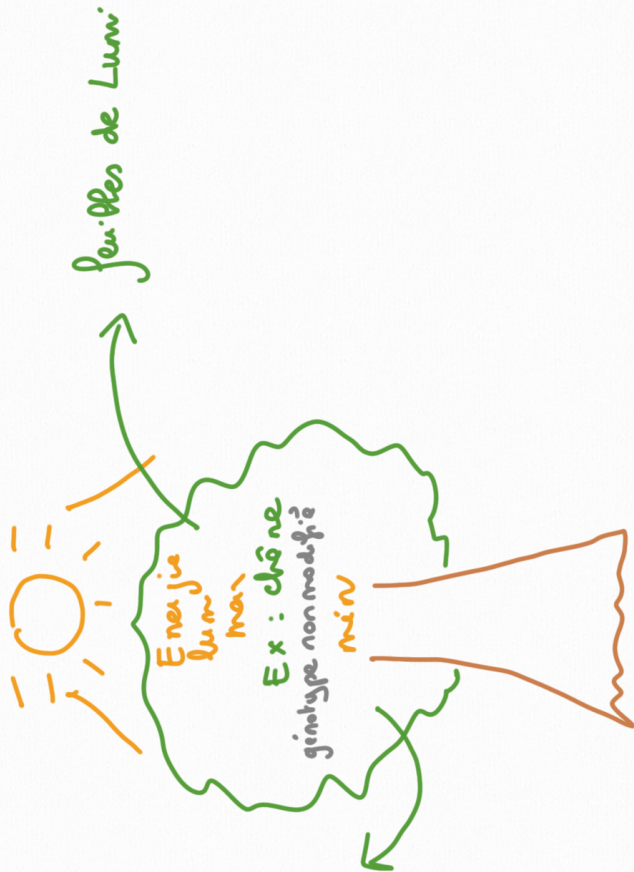
Document : Mesure de la photosynthèse en fonction de l'intensité lumineuse.

Light limited region : c'est la pente (coefficient directeur) de la partie linéaire initiale de la courbe, cela correspond au rendement de l'absorption des photons (ou rendement quantique foliaire). Dans cette gamme d'éclairement, la lumière est limitante.

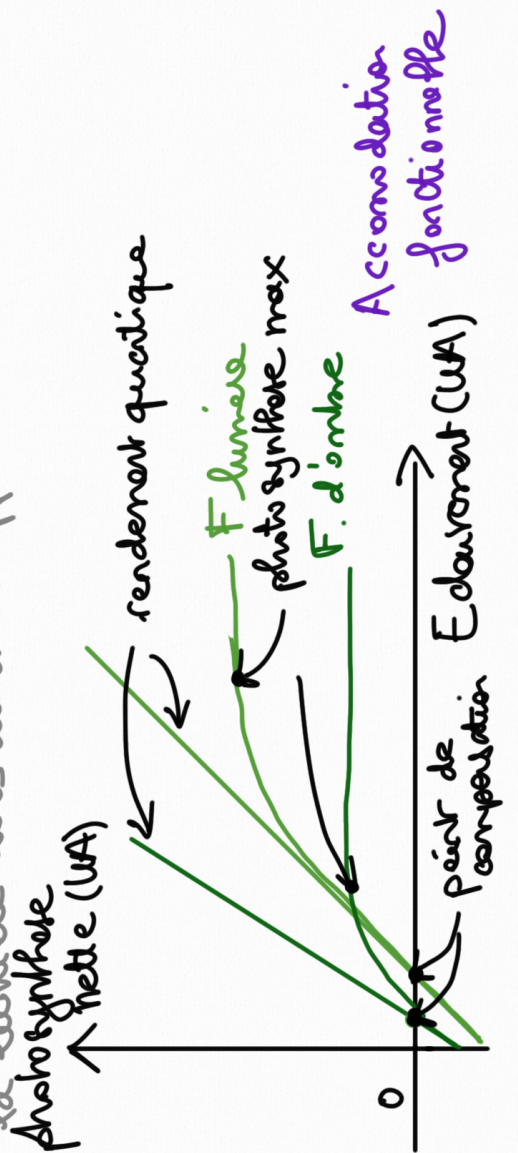
Compensation point : valeur de l'éclairement pour laquelle la photosynthèse nette est nulle ; la photosynthèse compense juste la respiration

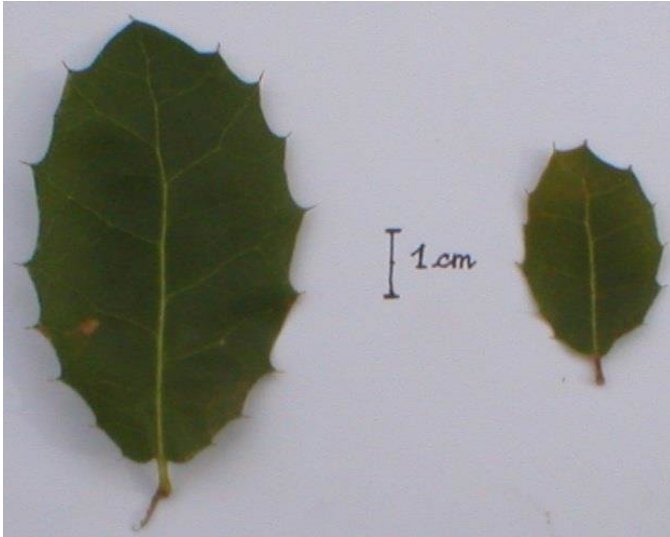
P_{max} : Photosynthèse présente une intensité maximale. Au-delà, la capacité d'absorption des photons dépasse la capacité de leur utilisation. Les réactions d'assimilation du CO₂ deviennent limitantes.

feuilles d'ombre



Accommodation : une modulation phénotypique (ici : forme, taille, contenu de la feuille) en fonction de l'accès à la lumière lors du développement



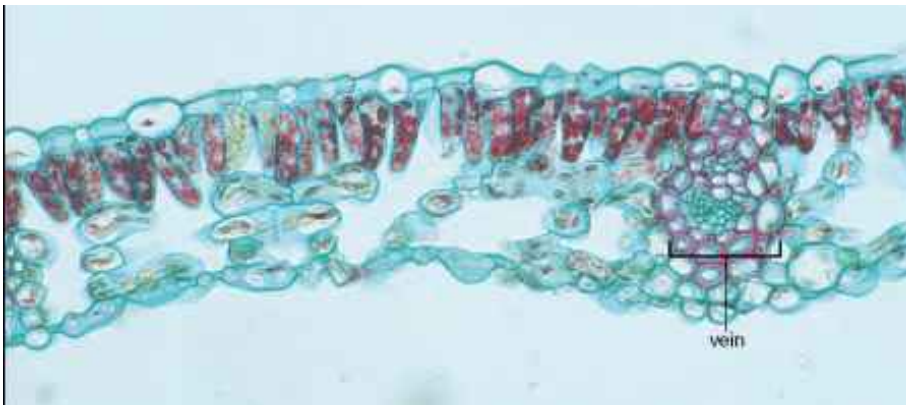


Document :

Feuille d'ombre (à gauche) et feuille de lumière (à droite) du chêne kermès. Le rapport de surface est moyennement de l'ordre de 4. La feuille d'ombre est d'un vert plus foncé car contenant une proportion plus importante de chlorophylle b et par voie de conséquence de collecteur de lumière LHC II, qui aide à intercepter plus de lumière et accroît de ce fait l'activité du photosystème PS II sous de faibles radiances

In forme des arbustes broutage - Choukry Kazi Tani –
Abou Bakr Belkaid University of Tlemcen

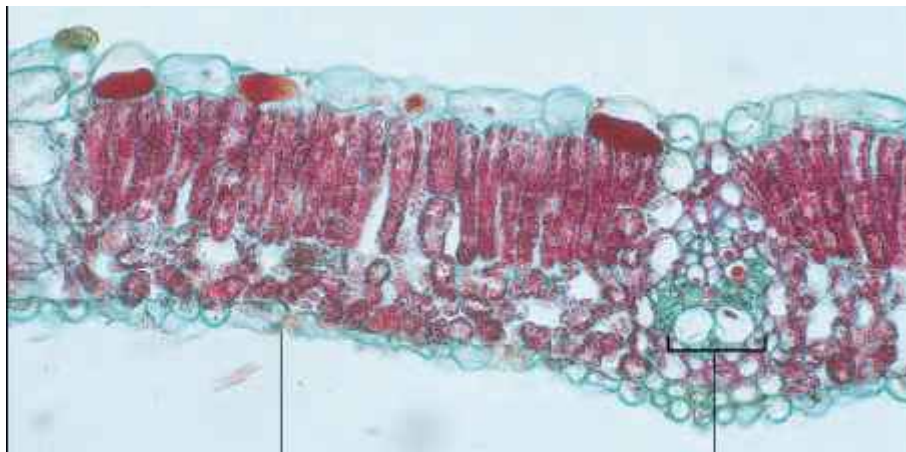
Coupe transversale de feuille de lumière d'érable



Document :

Coupe transversale de feuille d'ombre d'érable

Coupe transversale de feuille de lumière d'érable



Pour faire le lien avec cours de première année !



Port du chêne en plaine sans compétition pour la lumière

Document : Quand les feuilles d'un arbre ne dépassent pas ou peu le point de compensation, l'arbre abandonne progressivement ces branches les plus basses.



Port du chêne en forêt, avec seulement un houppier terminal



Voir aussi en TP l'**accommodation de la production du cambium** entre les **fortes disponibilités en eau au printemps**, gros vaisseaux de xylème dans le bois (500µm à 1mm) et petits vaisseaux du xylème II en **été** lié à la **faible disponibilité en eau et aux fortes pertes** (évapotranspiration).

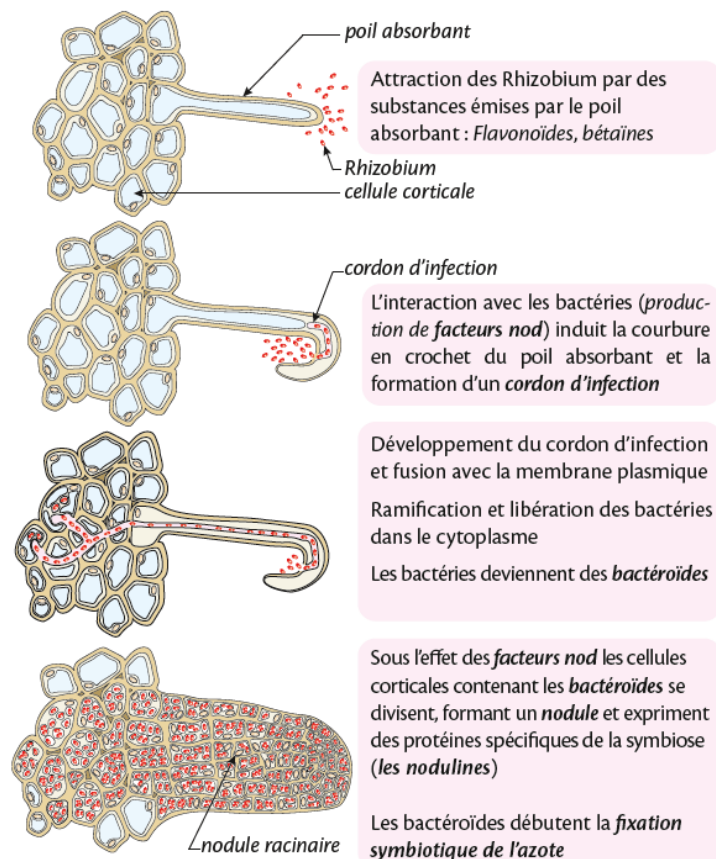
B. La plasticité phénotypique liée à des facteurs biotiques

Cf SV- A-2

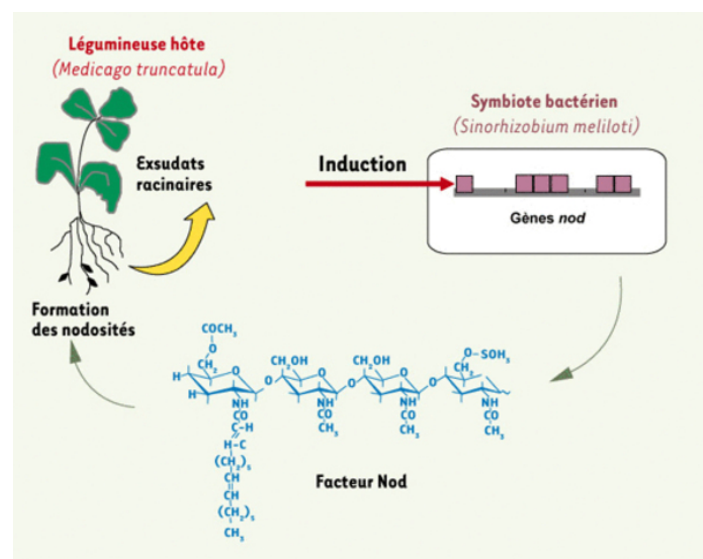
Certaines Angiospermes établissent au niveau de leurs organes des interactions avec des microorganismes (bactéries, eumycètes) qui modifient leur morphologie et leur physiologie. Leurs phénotypes se distinguent alors de ceux des individus qui ne connaissent pas d'interaction.

1. Les nodosités, des excroissances racinaires chimériques impliquées dans la synthèse des molécules organiques azotées bénéfiques à l'Angiosperme

➔ Prendre des notes

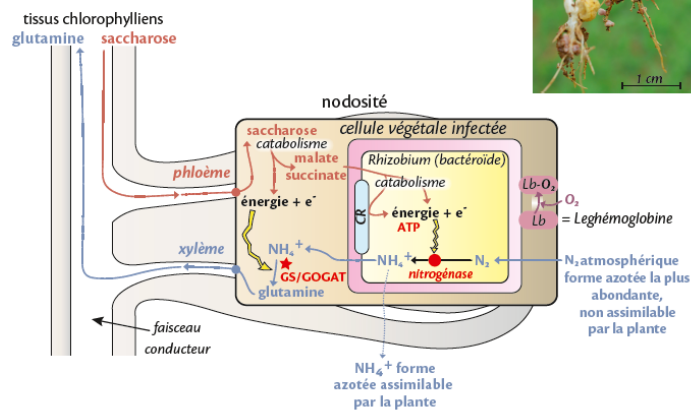


Document : Un dialogue moléculaire entre la plante (Angiosperme – fabacée) et un autre organisme (Rhizobium) permet la formation d'une structure chimérique spécifique impliquée dans la nutrition



Fonctionnement de la nodosité

Elles fournissent un énorme avantage dans un sol pauvre en nitrates, car le N_2 atmosphérique est présent en grande quantité dans l'air.



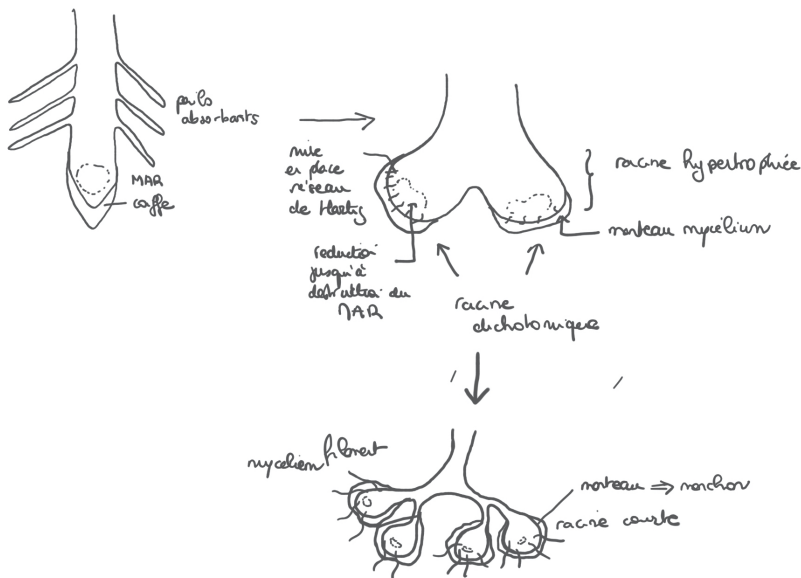
Document :

Physiologiquement les tissus colonisés synthétisent de la **leghémoglobine**, qui contribue à maintenir une faible pression partielle en O_2 , propice à la fixation de diazote par la nitrogénase et donc à la synthèse des molécules organiques azotées bénéfiques à la plante
 ➔ modification phénotypique physiologique

Ces modifications sont les résultats d'interactions amorcées par les exsudats libérés par la plante dans la rhizosphère et qui s'accompagnent ensuite

En définitive, les nodosités sont des

Physiologiquement les tissus colonisés synthétisent de la **leghémoglobine**, qui contribue à maintenir une faible pression partielle en O_2 , propice à la fixation de diazote par la nitrogénase et donc à la synthèse des molécules organiques azotées bénéfiques à la plante ➔

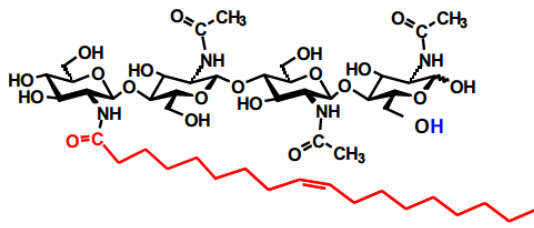


2. Les mycorhizes modifient l'appareil racinaire des Angiospermes et participent à la nutrition hydrominérale de celle-ci

Schéma :

- Les racines des angiospermes peuvent aussi établir une relation symbiotique avec des filaments mycéliens du sol (**mycorhize**). Cette association comme la précédente met en jeu des signaux sécrétés par la plante et les eumycètes sous forme de **facteurs Myc** qui modifient l'expression des gènes de la plante, activent la **ramification racinaire** et l'installation de l'association avec les champignons mycorhiziens.

A.



B.

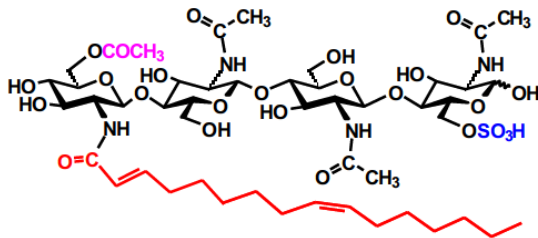


Fig.4 Chemical structures of Nod factors and Myc-LCOs.

Document :

La structure chimique des facteurs Nod et Myc semble proche et activeraient des voies proches, voire en partie commune.

A facteur Myc du champignon *Rhizoglyphus irregularis* très souvent utilisé en agriculture et horticulture.

B facteur Nod de la bactérie *Sinorhizobium meliloti*, qui permet la formation des nodosités de la luzerne et du mélilot par exemple

Studies on legume receptors for Nod and Myc symbiotic signals
Nikita Malkov

Autre exemple les différentes galles sur les feuilles



III. Influence des facteurs environnementaux sur la transition florale du méristème végétatif en méristème floral

Chaque année, les mêmes plantes fleurissent à peu près au même moment.

Dans les pays tempérés,

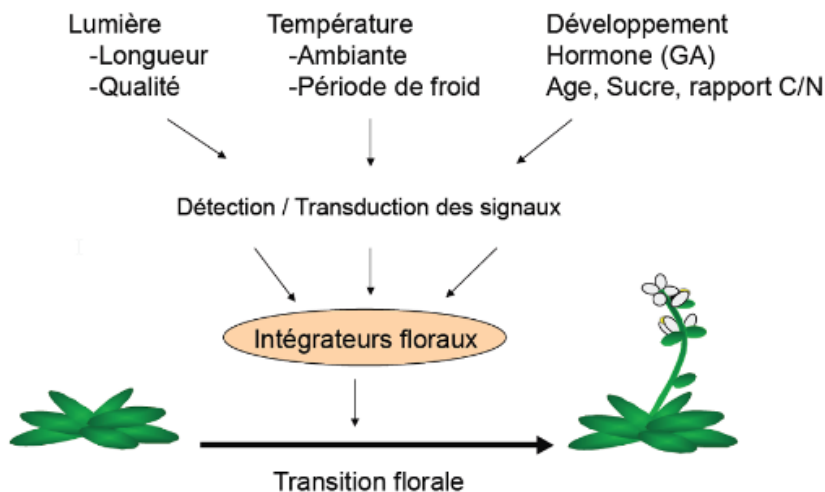
Les crocus et les primevères s'épanouissent en février- mars,
Les champs de colza dessinent des damiers jaunes au printemps ;
En été les coquelicots parsèment les champs de taches rouges,
et les colchiques marquent l'arrivée de l'automne.

Si les plantes à fleurs accompagnent ainsi les saisons, c'est qu'elles sont adaptées à leur environnement : chaque espèce fleurit, donc se reproduit, lors de la période la plus favorable à la dispersion des graines, qui assureront la naissance d'une nouvelle génération.

Le moment de la floraison est donc critique car c'est lui qui conditionne la formation des graines.

La floraison se produit donc à un moment favorable de l'année. C'est particulièrement vrai pour les plantes dites monocarpiques, qui ne produisent des graines qu'une seule fois dans leur vie, bien qu'elles vivent parfois plusieurs années à l'état végétatif (ex : agave). Par ailleurs, le croisement entre individus est facilité lorsque la floraison des plantes de la même espèce est synchronisée, surtout pour les nombreuses plantes, dites allogames, qui ne peuvent s'autoféconder.

La transformation du méristème végétatif apical caulinaire en méristème inflorescentiel puis en méristème floral dépend de facteurs internes (notamment l'âge de la plante) mais aussi de signaux provenant de l'environnement : la photopériode et les basses températures. Selon les espèces, ces deux signaux se complètent ou non pour induire la floraison.



Document :

Pour cela, beaucoup de plantes détectent
-une période prolongée d'exposition au froid, signalant le passage de l'hiver : c'est la **vernalisation**

-et perçoivent aussi la durée du jour qui est un indicateur fiable de la progression saisonnière : c'est la **photopériode**

Ces signaux ont été identifiés à partir des années 1920 (Gustav Gassner, blés d'hiver semés à l'automne qui passent l'hiver sous forme de plantule pour fleurir au printemps).

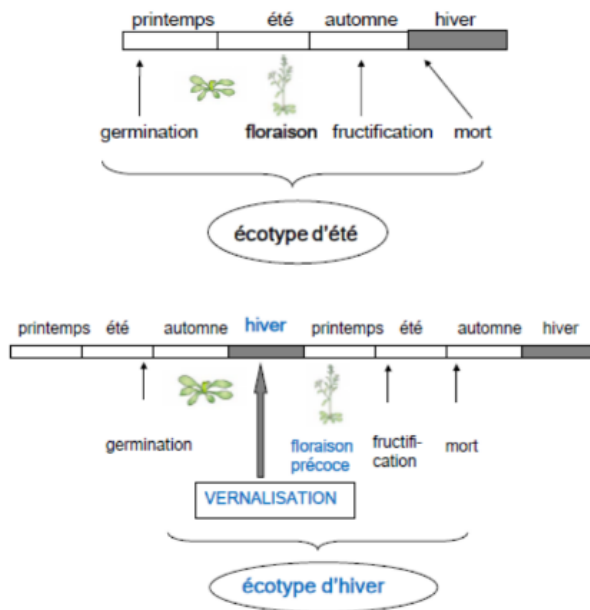
Mais les **mécanismes moléculaires** qui permettent à la plante d'interpréter ces messages environnementaux, et de fleurir ont été découverts récemment.

A. Influence des basses températures : la vernalisation

1. La vernalisation à travers l'exemple de la plante modèle *Arabidopsis thaliana*

Les **écotypes** (Cf I) d'*Arabidopsis thaliana* correspondent à des individus de la même espèce qui se développent dans des environnements et des sites géographiques très différenciés et qui présentent parfois de profondes différences entre eux sur les plans biochimique et physiologique. On peut parler en quelque sorte de différentes variétés de la même espèce.

VERNALISATION : EXEMPLE D'ARABIDOPSIS THALIANA

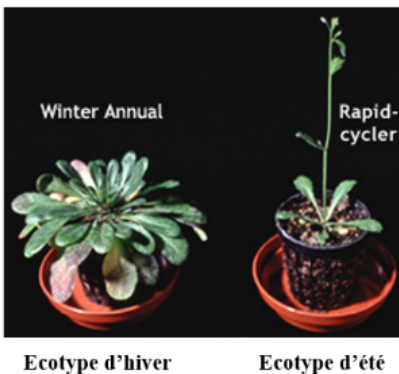


D'après C. Lelandais Université Paris Diderot

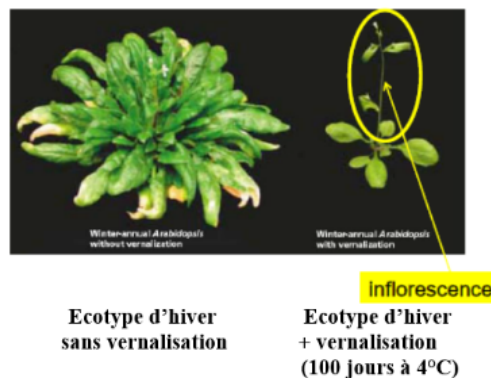
Document :

Il existe chez *Arabidopsis thaliana* des **écotypes d'hiver** (ceux qui vivent dans le nord de l'Europe) qui ne peuvent fleurir qu'après le passage de l'hiver contrairement aux **écotypes d'été** (ceux qui vivent dans les îles du Cap Vert) qui fleurissent peu de temps après la germination et n'ont pas besoin du passage par une période froide pour fleurir.

En absence de vernalisation



Influence de la vernalisation sur l'écotype d'hiver



Document :

En serre, un écotpe d'hiver ne fleurit pas sans période de froid. Dans une serre tiède, les plantes restent en rosette, formant seulement de nouvelles feuilles au fur et à mesure que les anciennes vieillissent. Par contre un écotpe d'hiver soumis 100 jours à une température de 4°C puis remis à une température douce présente la montaison c'est-à-dire un allongement important des entrenœuds et la formation de la tige florale.



2. Les besoins de vernalisation variable selon les espèces

Beaucoup de plantes de nos régions (Graminées diverses, plantes bisannuelles...) ne peuvent acquérir l'aptitude à fleurir sans avoir subi une période de froid qui correspond à la période hivernale tout au moins dans nos régions tempérées.

Chez le Blé, il existe aussi une variété d'hiver qui se sème à l'automne, germe et passe l'hiver sous forme de plantules et fleurit au printemps. La récolte est souvent abondante à condition que l'hiver ne soit pas trop rude, car les jeunes plants gèleraient. Les blés de printemps, eux, sont semés à la fin de l'hiver : ils ne risquent pas de subir les gelées, mais ont des rendements inférieurs car leur période de croissance est plus courte que celle des blés d'hiver.

Il y a donc :

-des espèces à **vernalisation** (écotypes d'hiver d'*Arabidopsis*, écotypes d'hiver du Blé, la Jusquiame noire, le Perce neige, les plantes bisannuelles comme la carotte) :

-des espèces à **vernalisation** : floraison si traitement par le froid (la Laitue)
- des **espèces** , insensibles (écotypes d'été d'*Arabidopsis*, écotypes d'été du Blé, lilas, tomate, rosier)

3. La vernalisation, processus réversible ne conférant qu'une aptitude à fleurir

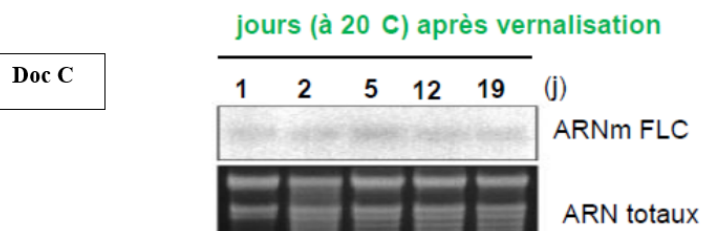
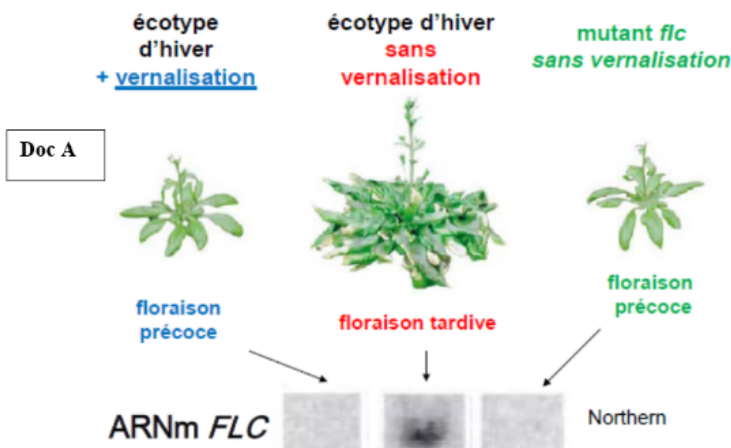
La vernalisation nécessite

- une certaine durée de froid (1 à 3 mois)
- une certaine température (1 à 7 °C). La température ne doit pas être inférieure à 0 °C ce qui montre que la vernalisation nécessite une activité métabolique minimale. Dans le cas de l'Olivier, la température de vernalisation est même de +10 à +12 °C ce qui détermine l'aire de répartition de cette espèce.
- La floraison est d'autant plus rapide que la durée de la vernalisation a été longue.
- Cela ne s'accompagne d'aucune modification visible du bourgeon végétatif.

La vernalisation est

La vernalisation ne fait donc que

LE GÈNE FLC ET LA VERNALISATION



4. Les mécanismes de la vernalisation

Document :

Il existe parmi les écotypes d'hiver d'*Arabidopsis* des mutants qui ne nécessitent pas de vernalisation et présentent une floraison précoce comme les écotypes d'été. La mutation porte sur le gène FLOWERING LOCUS C : **FLC pour Flowering Locus C ou locus de floraison** et l'inactive.

Lors du traitement par le froid, le gène FLC est inhibé et la plante peut fleurir. De même, le mutant *flc* même sans vernalisation n'exprime pas le gène FLC et fleurit

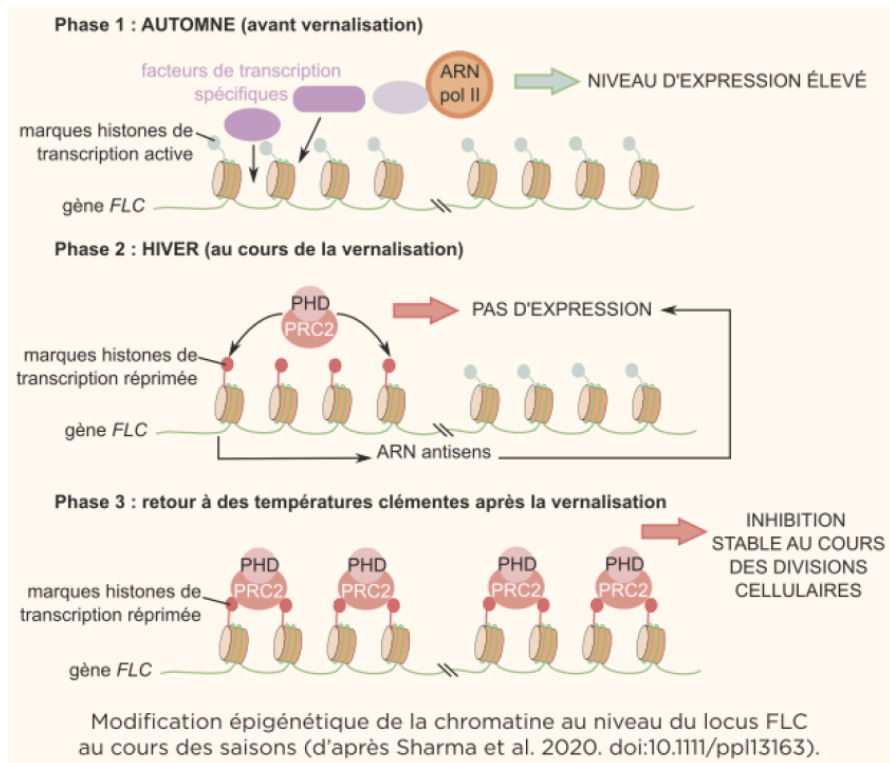
Cette protéine FLC est un **facteur de transcription** à domaine MADS (comme les protéines *apetala1* ou *agamous*), elle se fixe donc sur l'ADN.

Document :

Doc B :

Le gène FLC est progressivement réprimé au cours de la vernalisation. En parallèle on isole l'ensemble des ARN (ARN totaux pour mettre en évidence que la transcription continue à se faire normalement tout au long de la vernalisation et que seul le gène FLC est réprimé).

Doc C : La répression du gène FLC est maintenue pendant plusieurs jours après l'arrêt de la vernalisation.

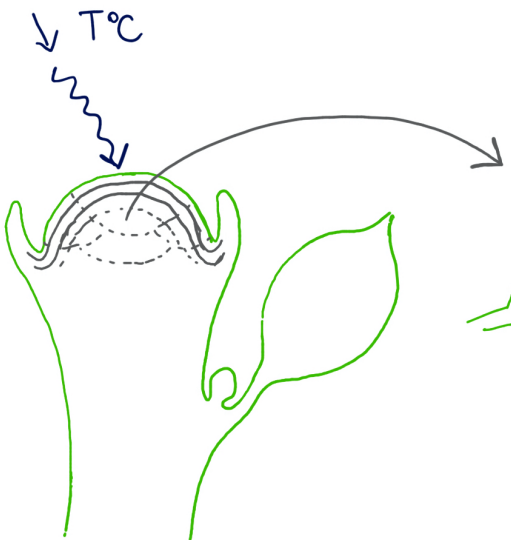


Document : rappel cours SVF3 BCPST1

(Cours Mr Doumane)

En fait le froid n'agit pas directement sur le **gène FLC** mais provoque la synthèse de **facteurs VIN (vernalization insensitive) et VRN (enzymes)** (on ne sait pas encore comment) qui inhibent le gène *FLC*. On est ici dans un bel exemple d'**épigénétique** (**Revoir cours BCPST1-SVF3**) c'est-à-dire dans une situation où les gènes sont directement influencés par des facteurs environnementaux.

Schéma bilan (en lien avec cours de génétique de première année)



L'action des protéines VIN3 et VRN illustre comment l'expression des gènes peut varier indépendamment d'un effet direct sur leur transcription, par un mécanisme **épigénétique**, (expression des gènes soumise à l'influence de l'environnement) qui agit sur l'ADN. VIN3 et VRN modifient la compaction et l'ouverture de la chromatine.

Remarque :

Cet exemple est vraiment à retenir car :

- Il montre un contrôle sur l'ADN d'un facteur environnemental, le froid

- Il montre un contrôle par compaction de l'ADN euchromatine → hétérochromatine
- Il montre un exemple d'épigénétique : les cellules qui ont subies le froid au cours de l'hiver ne sont pas celles qui donneront le méristème floral mais des cellules issues par division de celles-ci. Il y a donc transmission au cours des mitoses successives d'un contrôle de l'ADN

B. Influence de la photopériode

Photopériode = longueur respective de la phase lumineuse (**héméropériode** ou **photophase**) et de la phase obscure (**nyctipériode** ou **scotophase**) au cours d'un cycle de 24h. C'est un repère parfait à une même date de l'année.

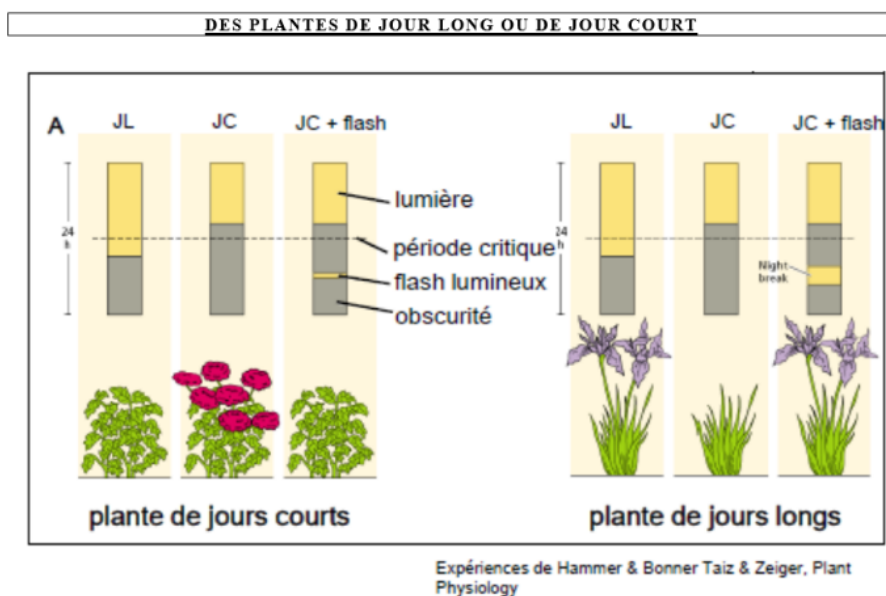
La durée relative de l'**héméropériode** et celle de la **nyctipériode** change durant l'année dans les régions tempérées. Donc la **photopériode**, sous une latitude donnée, est caractéristique des saisons dans l'année.

Rq : Néanmoins, même si la photopériode semble le repère le plus fiable pour définir le moment de l'année compatible avec la floraison, c'est la même à deux moments du cycle (ex. printemps et automne) et peut correspondre soit à l'annonce d'une période favorable (été) soit au contraire à l'annonce d'une période défavorable (hiver) d'où la nécessité pour certaine angiosperme de la vernalisation.

1. Plantes de jour long ou de jour court

Document :

Les plantes de jour long sont des plantes qui ne fleurissent que lorsque l'héméropériode devient supérieure à une période critique. : exemple de la Jusquiame noire, l'Iris



Les plantes de jour court sont des plantes qui ne fleurissent que lorsque l'héméropériode devient inférieure à une période critique : exemple de la Lampourde (Xanthium).

→

→

2. Les besoins en photopériode varient selon les espèces

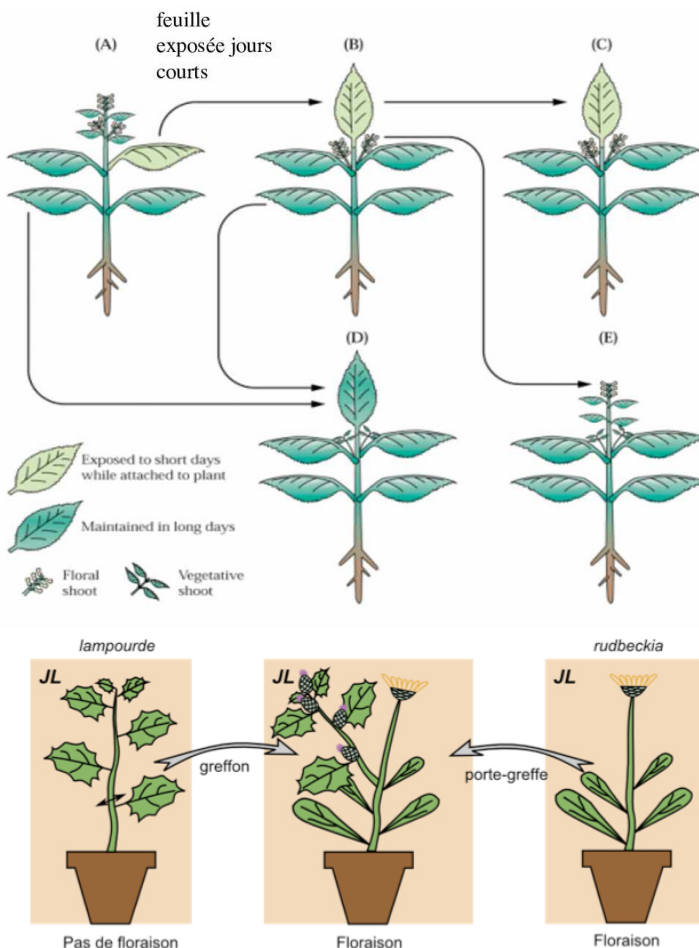
- Certaines espèces ont des exigences
- D'autres sont qualifiées de
- Les espèces dites fleurissent dans toutes les conditions
photopériodiques, du moment que leurs besoins trophiques sont satisfaits.

BESOINS CROISSANTS DE VERNALISATION	Plantes de jours courts et vernalisation indispensable :	Plantes indifférentes à la photopériode et vernalisation indispensable :	Plantes de jours longs et vernalisation indispensable :
	- Primevères - Fraisiers - Gentianes - Hellébore	- Carotte - Œillets - Haricot	- Beaucoup de plantes bisannuelles et vivaces - Giroflée - Olivier
	Plantes de jours courts et vernalisation préférentielle :	Plantes indifférentes à la photopériode et vernalisation préférentielle :	Plantes de jours longs et vernalisation préférentielle :
	- Chrysanthèmes - Ipomée nil	- Cyclamen - Blé d'hiver	- Pomme de terre - Orge d'hiver
	Plantes de jours courts et besoin nul de vernalisation :	Plantes indifférentes à la photopériode et à la vernalisation :	Plantes de jours longs et besoin nul de vernalisation :
	- Tabac - Dahlia	- Tomates - Muflier - Pélargonium	- Céréales de printemps
BESOINS EN LUMIÈRE			

Document :

Les plantes à fleurs n'ont pas les mêmes besoins d'exposition au froid et à la lumière. Il y a de multiples combinaisons qui montrent la convergence entre photopériodisme et vernalisation

3. Les mécanismes de la photopériode



Document :

Greffe d'une feuille exposée en jour court sur une plante maintenue en jour long.

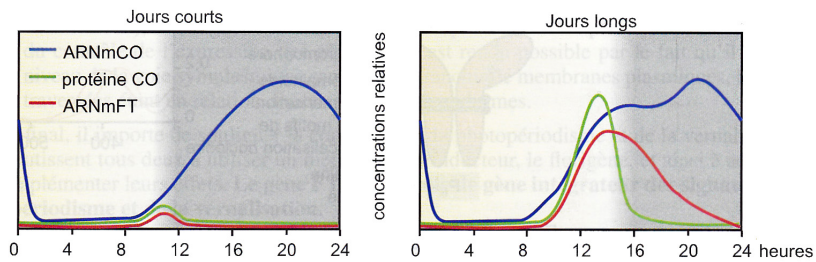
Expérience de **greffe entre plant induit** de rudbeckia (plante de JL) et plant non induit de lampourde (plante de JC). Ces Angiospermes sont toutes deux des Astéracées

De plus des **expériences de greffe** (non illustrées ici) ont mis en évidence que ce signal **peut se transmettre d'une plante à l'autre** et même **d'une espèce à l'autre**.

C'est en 1937 qu'un russe, M. Chailakhyan qui nomma ce signal **Florigène - FT**, signal qui sera identifié en 2007 (Cf infra). Le transfert se fait par le **phloème**, via la **sève élaborée**.

→

Document : Répartition temporelle des ARNm CO et FT et de la protéine CO pour des plantes de jours courts et longs

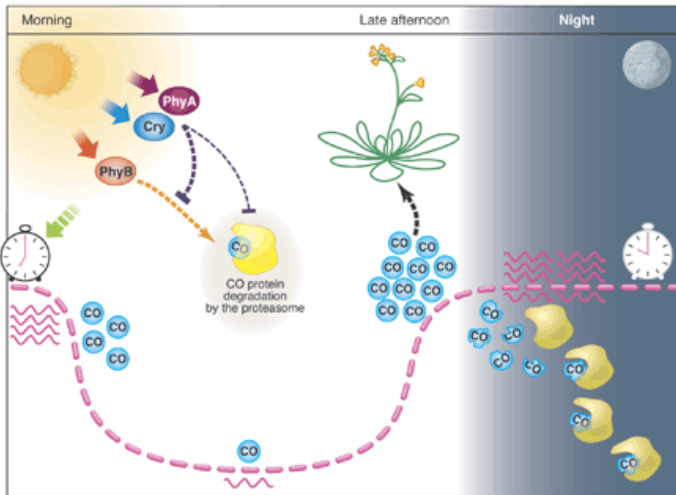


Évolution des teneurs en ARNmCO, en protéine CO et en ARNmFT sur un cycle de 24 h 00, en jours courts et en jours longs.

L'origine de l'échelle de temps est le lever du jour.

L'arabette est une plante de **jours longs facultatives** : elle fleurit en environ 4 semaines au lieu de 8 quand les jours sont longs (16h de lumière). Elle peut fleurir en jour court mais l'induction prend plus de temps. Or certains **mutants constans (CO)**, ne perçoivent pas la photopériode et fleurissent en retard même en jours longs.

L'étude de ces mutants a permis de mettre en évidence la répartition dans l'espace et dans le temps de la quantité des ARNm et de la protéine Constans → **dans les cellules des feuilles (répartition spatiale)** Des plantes modifiées génétiquement, produisant **plus de protéines constans, fleurissent très vite.**



Document : Répartition temporelle des ARNm

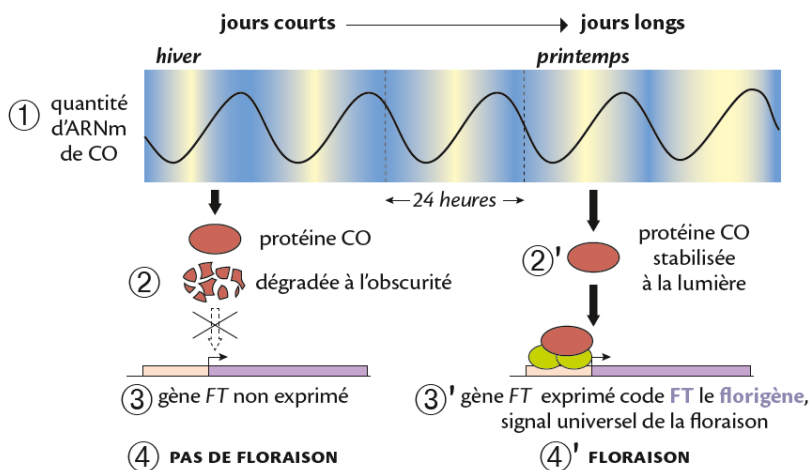
→ La quantité de l'ARNm Constans suit un rythme circadien : élevée la nuit, diminue le matin et augmente en fin d'après-midi (répartition temporelle)

→ Ces oscillations sont identiques que les jours soient courts ou longs

→ Elles se poursuivent qq jours même dans l'obscurité totale donc elles ne dépendent pas de la lumière → **horloge interne la plante**

→ A cette variation de concentration d'ARNmCO se superpose une régulation de la protéine CO par la lumière. La protéine CO est stabilisée par la lumière et dégradée dans l'obscurité.

PhyB et A: **Phytochromes**, Cry: **cryptochromes** → **photorécepteurs foliaires**

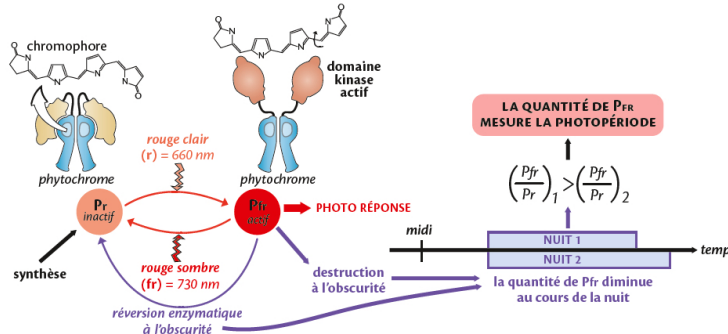


Document :

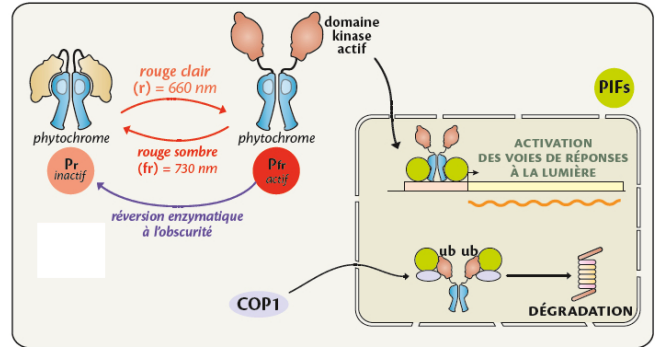
Une horloge biologique permet la production oscillatoire de CONSTANS (CO), facteur de transcription du gène FT (FLOWERING LOCUS T) codant pour le florigène.

Cette horloge est indépendante de la photopériode. L'ARNm de CO est traduit en protéine CO. C'est la stabilité de la protéine CO qui est fonction de la photopériode.

Le photopériodisme, une perception de la durée de la phase obscure par un phytochrome



Rôle du phytochrome dans la perception de la photopériode



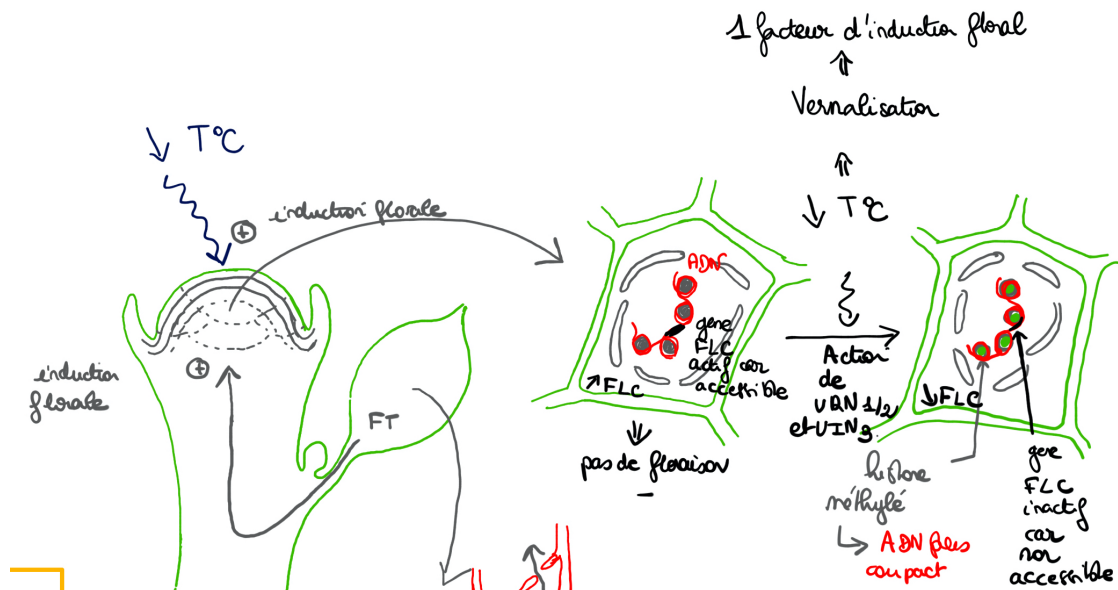
Le signal photopériodique est reçu dans la feuille. La lumière rouge clair active le phytochrome (Pfr). Celui-ci change de conformation, ce qui expose une séquence NLS assurant son adressage au noyau. Dans ce dernier, Pfr se lie à des facteurs de transcription, comme PIF (Phytochrome Interacting factor) et déclenche la transcription de certains gènes. Il sera plus tard dégradé par ubiquitination.

Document :

Le phytochrome est un dimère constitué de deux sous-unités identiques. Chaque sous-unité est composée d'une protéine riche en acides aminés hydrophobes, et d'un chromophore. Le *chromophore* qui est la partie absorbant certaines radiations lumineuses, est une chaîne tétrapyrrolique ouverte. Le phytochrome présente deux formes interconvertibles :

- La forme Pr (pour *red*) absorbant les radiations lumineuses rouge clair de longueurs d'onde à 660 nm (ou « rouge proche ») ;
- La forme Pfr (pour *far-red*) absorbant les radiations lumineuses rouge sombre de longueurs d'onde à 730 nm (ou « rouge lointain »).

Les cryptochromes, au nombre de 2 chez *Arabidopsis thaliana*, CRY1 et CRY2, sont principalement des protéines nucléaires qui sont phosphorylées par les radiations bleues. Ils renferment des groupements capables d'absorber les radiations bleues. Les cryptochromes activent l'expression du gène *CONSTANS* et contribuent à l'entraînement de l'horloge circadienne par la lumière

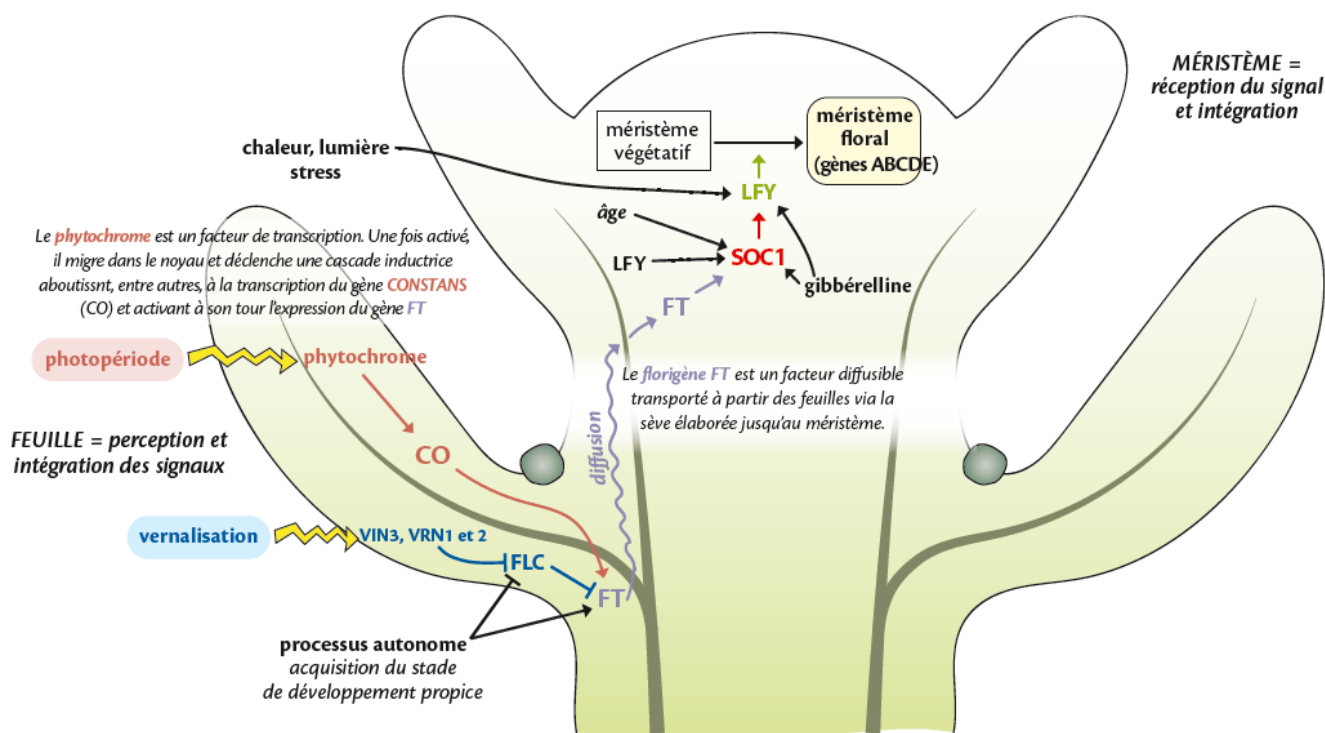


- La perception de la photopériode met donc en jeu des **photorécepteurs** qui sont notamment les **phytochromes** (PHYA/B/CD/E) et des **cryptochromes** (CRY1/2). Ils activent des réactions en cascade qui modulent l'expression de certains gènes notamment FT (**Flowering Locus T**) qui code pour le **florigène**.
- La physiologie des Angiospermes (tout comme celle des animaux) est contrôlée par une **horloge circadienne** dont la période est proche de 24 heures. Cette horloge interne est entrainée par les conditions photopériodiques et thermiques externes, caractéristiques du moment de l'année (saison).
- Chez les angiospermes, cette cyclicité endogène est liée au rythme de la transcription du **gène CONSTANS**.
- Lorsque le rythme interne circadien (variation de la concentration de la protéine CONSTANS) et le rythme externe photopériodique (niveau de phytochromes actif PHYrf déterminé par une durée d'éclairement) sont en accord, la floraison est induite, on parle de « **modèle de coïncidence** ».

c. Vers un modèle intégrateur :

Les contrôles liés à la vernalisation et à la photopériode, génétique sont indiqués. D'autres facteurs influencent également la mise à fleur, comme le stress, l'âge, les hormones (gibbérellines), chaleur, lumière.

Tous ces mécanismes convergent vers les gènes SOC1 (SUPPRESSOR OF OVEREXPRESSION OF CONSTANS) et LFY (LEAFY), gènes intégrateurs de la floraison qui finissent de réaliser l'induction florale via le système ABCDE.



1

Conclusion

Le phénotype est la somme des caractères adaptatifs inscrits dans le génome de l'espèce, et des caractères liés à la plasticité individuelle, modulée par des modifications épigénomiques elle mêmes contrôlées par les conditions environnementales que connaît l'organisme.

Ces conditions environnementales sont par exemple perçues et intégrées par le méristème apical caulinaire et les feuilles lors de l'initiation florale. Une période de froid et/ou une photopériode inductrice activent l'expression des gènes d'identité du méristème reproducteur, soit directement, soit par le biais d'un messenger chimique, le florigène, émis par les feuilles.

Table des matières

Adaptations et plasticité phénotypique Introduction

3

I. Les Angiospermes des organismes adaptés à leur vie fixée en milieu terrestre	3
A. L'adaptation : le passage par le crible de la sélection naturelle	3
B. Les convergences évolutives	3
II. L'accommodation une modulation phénotypique lors du développement	5
A. La plasticité phénotypique liée à des facteurs abiotiques	5
B. La plasticité phénotypique liée à des facteurs biotiques	8
1. Les nodosités, des excroissances racinaires chimériques impliquées dans la synthèse des molécules organiques azotées bénéfiques à l'Angiosperme	8
2. Les mycorhizes modifient l'appareil racinaire des Angiospermes et participent à la nutrition hydrominérale de celle-ci	9
III. Influence des facteurs environnementaux sur la transition florale du méristème végétatif en méristème floral	11
A. Influence des basses températures : la vernalisation	11
1. La vernalisation à travers l'exemple de la plante modèle <i>Arabidopsis thaliana</i>	11
2. Les besoins de vernalisation variable selon les espèces	12
3. La vernalisation, processus réversible ne conférant qu'une aptitude à fleurir	13
4. Les mécanismes de la vernalisation	13
B. Influence de la photopériode	15
1. Plantes de jour long ou de jour court	15
2. Les besoins en photopériode varient selon les espèces	15
3. Les mécanismes de la photopériode	16
C. Vers un modèle intégrateur :	19
Conclusion	19

	A		M
accommodations, 5		modèle de coïncidence, 19	
adaptation, 3		mycorhize, 10	
	C		N
convergence évolutive, 4		nodosités, 9	
cryptochromes, 19		nyctipériode, 15	
	E		P
écotypes, 3		photopériode, 11	
épigénétique, 14, 15		Photopériode, 15	
	F	photorécepteurs, 19	
facteurs Myc, 10		phytochromes, 19	
facteurs Nod, 9		plantes de jour court, 16	
florigène, 19		plantes de jour long, 16	
Florigène, 17		plasticité phénotypique, 5	
Flowering Locus C, 13			R
	G	régressions évolutives, 4	
gène <i>CONSTANS</i> , 19			S
	H	structures chimériques, 9	
héméropériode, 15			V
horloge circadienne, 19		vernalisation, 11, 13	
	L	VIN3, 15	
leghémoglobine, 9		VRN, 15	