

FLORAISON ET DEVELOPPEMENT FLORAL

INTRODUCTION

- Les Angiospermes appartiennent à l'Embranchement des Spermaphytes
- On en dénombre 200 000 espèces
- Angio = cavité (ovules cachés dans un ovaire à la différence des Gymnospermes où l'ovule est nu)
- Apparition du fruit

I Contrôle de la floraison et de l'identité florale

Conditions de la mise à fleur

1a conditions inhérentes à la plante: corrélations morphogénétiques

L'**appareil végétatif** doit avoir atteint un stade de **développement suffisant**.

ex: tomate (doit avoir formé 13 noeuds), blé (7 feuilles), chêne (50 ans)

Le **ratio entre organes reproducteurs et végétatifs** doit être **adapté** pour éviter des compétitions vis à vis des substances nutritives

ex de la taille des fruitiers

Induction florale

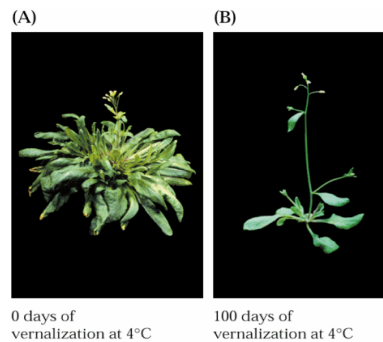
- Changement mode de développement
« switch »: indéterminé ->déterminé
- Chez les plantes annuelles, l'induction florale est aussi le début de la sénescence
- Régulée par la **photopériode**
- -> *photomorphogenèse*

VERNALISATION

Certaines plantes ou populations naturelles (écotypes) nécessitent un passage au froid pour fleurir (hiver),

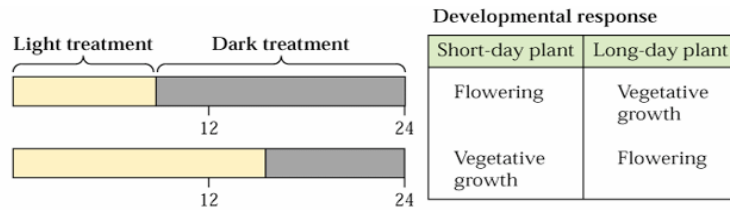
Le gène FRIGIDA permet une floraison tardive qui peut être modulée par un traitement au froid (vernalisation). Des mutations spontanées (perte de fonction) existent chez des écotypes de pays chauds qui n'ont pas besoin de passage au froid pour fleurir

⇒FRI: perception de la température pour induire la floraison



La vernalisation provoque la déméthylation des cytosines (5-azacytidine mime la vernalisation) ⇒la déméthylation de certains gènes lors de la germination régule la floraison, plus tardive.

Modifications héritable mitotiquement de l'activité des gènes, sans modifs de séquences (mutations):
Etats épigénétiques



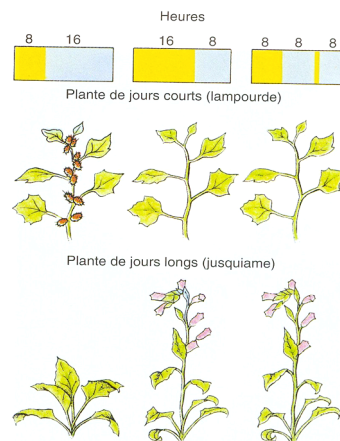
Plantes de jour court: floraison en longues nuits / jours courts
 Plantes de jour long: floraison en courtes nuits / jours longs
 Plantes de jours indifférents: non-affectées par la photopériode

Néanmoins une plante de jour long finit en général par fleurir en jours courts, ex: arabidopsis => existence d'autres facteurs inducteurs

Photopériode

les plantes de jours courts ne fleurissent que si la *durée du jour est inférieure à une valeur critique*.
 Si la période d'obscurité est interrompue-> pas de floraison
 Les plantes de jours longs ne fleurissent que si la durée du jour est *supérieure à une valeur critique*:
 Si la plante est en jour court et que l'obscurité est interrompue-> floraison

=>les plantes détectent la durée de la nuit



La qualité de la lumière est perçue par les **Phytochromes**

existent chez les plantes, algues et bactéries

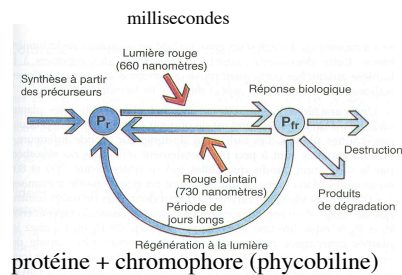
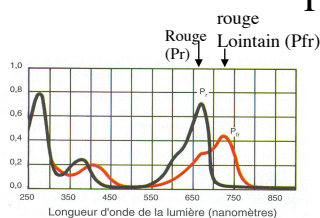
absorbent la lumière rouge et rouge-lointain

5 gènes nucléaires chez arabidopsis

Les **Cryptochromes** perçoivent la lumière bleue



Phytochrome



à la lumière du jour: équilibre entre les formes

la nuit: Pfr décroît régulièrement

flash lumière rouge Pfr augmente rapidement -> floraison des plantes de jours longs (nuits courtes)

inhibition de floraison des plantes de jours courts (nuits pas assez longues)



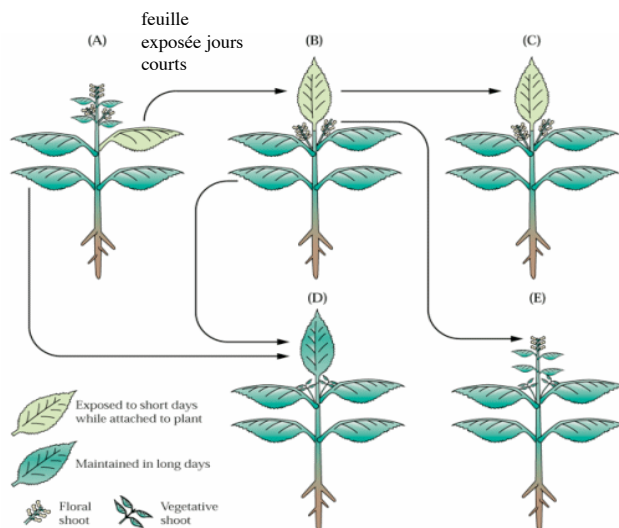
Germination à l'obscurité: étiolement

photomorphogenèse

Étiolement -> Pfr est converti en Pr -> allongement
Pfr inactive des répresseurs du développement normal pour promouvoir le développement « étiole »: allongement des tiges et entrenœuds

Perception de l'ombre d'autres plantes
 Longueurs d'ondes >700 moins absorbées que <700

La photopériode est perçue par les feuilles signal = *florigène*



Pas de florigène universel

processus multifactoriel,

inducteurs internes: acide gibberellique, cytokinines, sucrozes, polyamines...

externes : photopériode, vernalisation

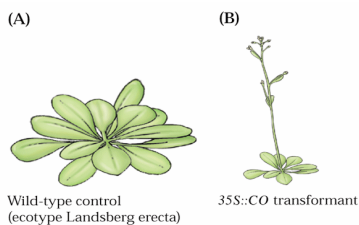
transportés vers l'apex de la tige par la voie symplasmique

on peut isoler des mutants à la floraison plus précoce (gènes répresseurs) ou plus tardive (gènes activateurs)

ex: les mutations de *CONSTANS* (CO) and *Flowering locus T* (FT) retardent la floraison en jours longs

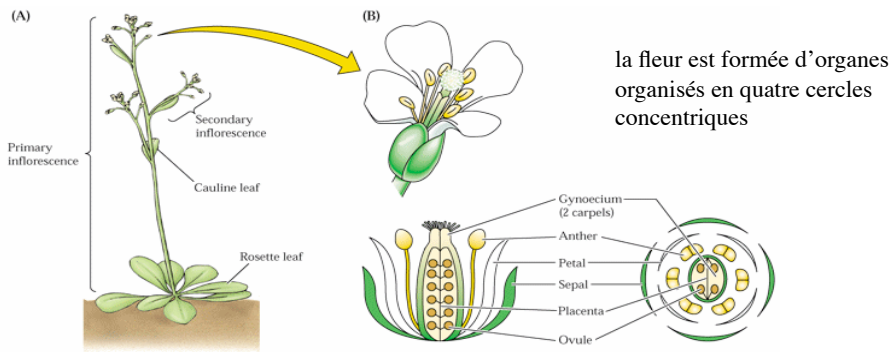
L'expression dérégulée de *CONSTANS* (CO), induit la floraison en jours courts

La protéine FT est induite dans la feuille, puis migre vers le meristème ou elle induit l'expression de *LEAFY*, *APETALA* etc -> composant du « florigène »

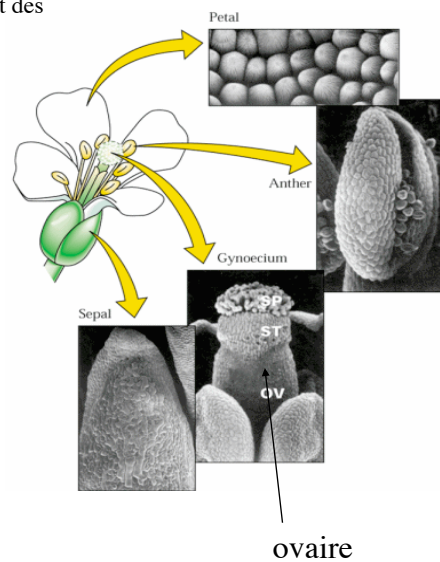


Développement floral

Bien que d'autres systèmes soient étudiés, la plupart des informations génétiques proviennent d'*Arabidopsis thaliana*



Les cellules épidermiques des organes floraux ont des morphologies très différentes



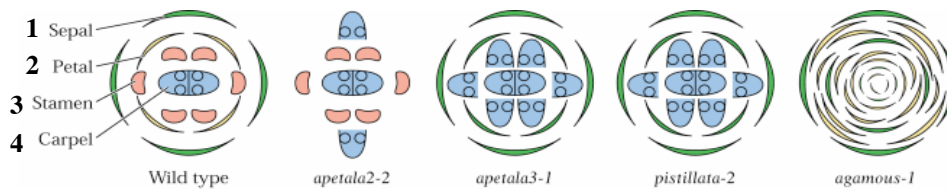
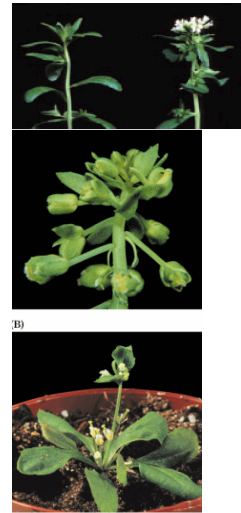
Cibles (directe ou indirecte?) des signaux de floraison: gènes régulant l'identité des méristèmes floraux.

LEAFY (LFY),

leafy mutant, des tiges qui devraient devenir des fleurs gardent une croissance indéterminée

expression constitutive de LFY: les tiges secondaires sont converties en fleurs et la tige primaire se termine précocément en fleur

->LFY régule l'identité du méristème floral et le temps de floraison



Des mutations de 4 gènes principaux conduisent à des transformations

homéotiques (changement d'identité d'un organe):

-*apetala2*: remplacement des sépales par des carpelles et étamines

remplacent parfois les pétales (affecte verticilles 1 et 2)

-*pistillata* et *apetala3*: les sépales remplacent les pétales et les carpelles

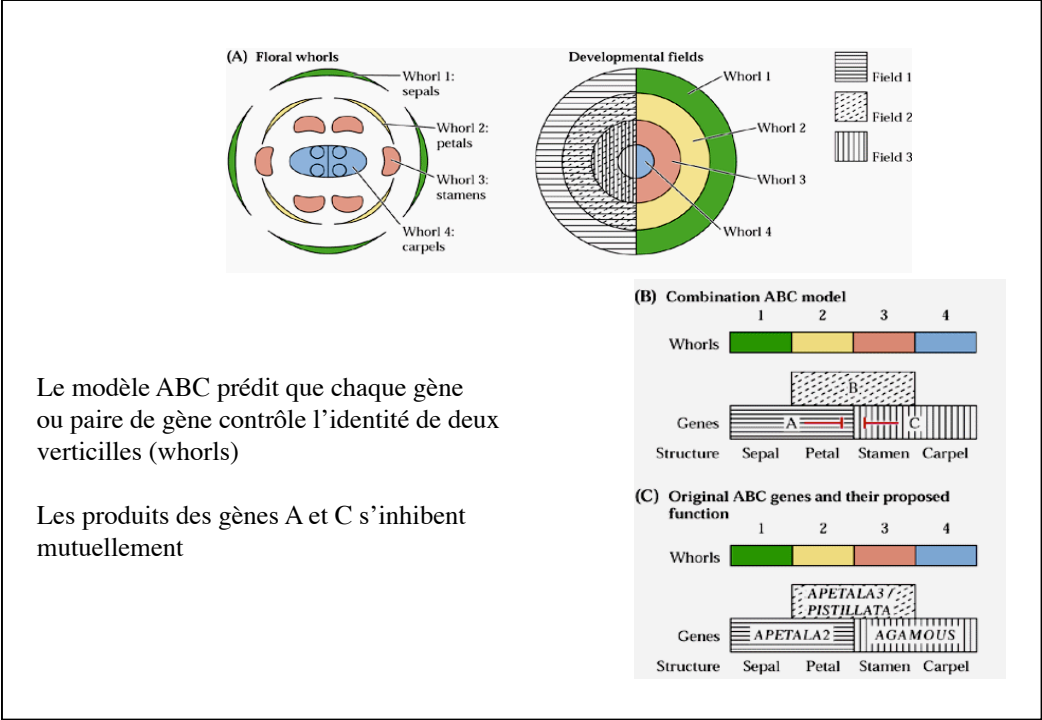
remplacent les étamines (affectent verticilles 2 et 3)

-- *agamous*: les étamines sont remplacées par des pétales et le gynécée est

remplacé par une seconde fleur *agamous*. L'arrangement sépale-pétale-pétale

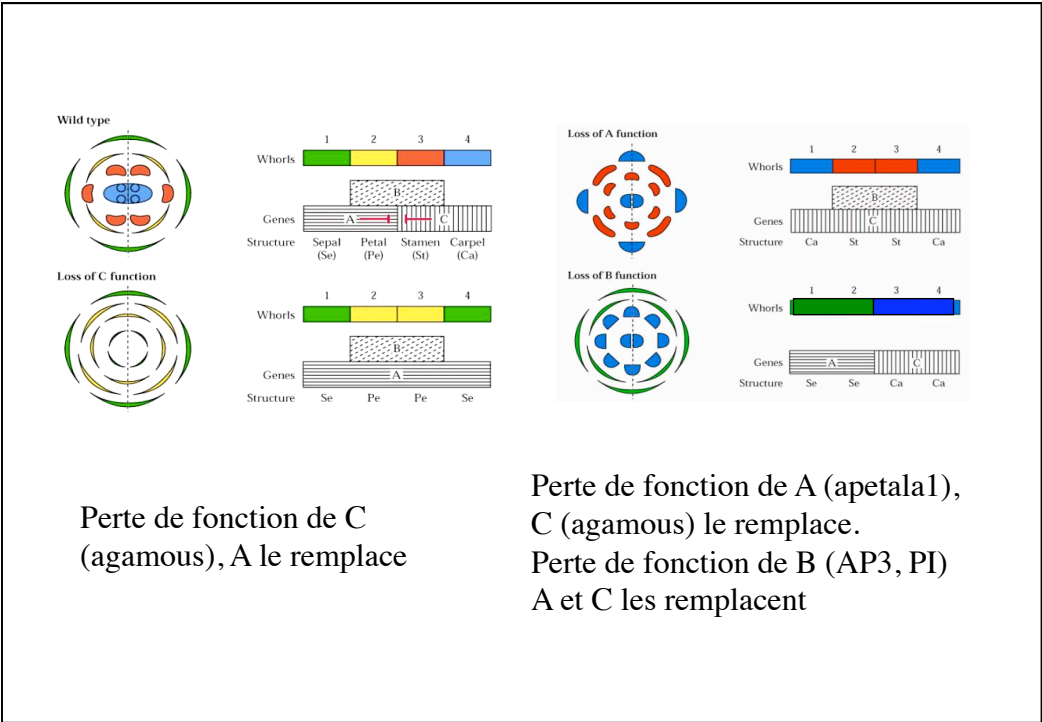
est réitéré plusieurs fois (affecte verticille 3 et 4) croissance déterminée-

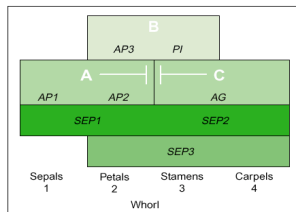
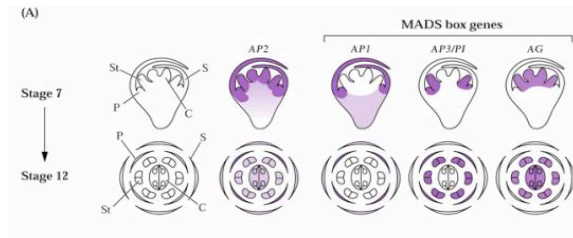
->indéterminée



Le modèle ABC prédit que chaque gène ou paire de gène contrôle l'identité de deux verticilles (whorls)

Les produits des gènes A et C s'inhibent mutuellement





Box 1. ABC and SEP genes

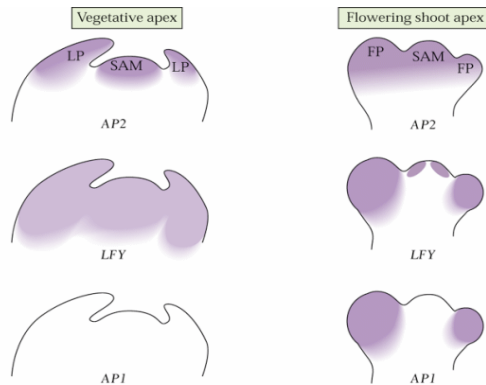
AG	AGAMOUS (Arabidopsis C class)
AP1	APETALA1 (Arabidopsis A class)
AP3	APETALA3 (Arabidopsis B class)
DEF	DEFICIENS (Antirrhinum AP3 orthologue)
GLO	GLOBOSA (Antirrhinum PI orthologue)
PI	PISTILLATA (Arabidopsis B class)
PLE	PLENA (Antirrhinum AG orthologue)
SEP1	SEPALATA1
SEP2	SEPALATA2
SEP3	SEPALATA3
SQUA	SQUAMOSA (Antirrhinum AP1 orthologue)

Le profil d'expression des gènes confirme (en partie) le modèle ABC
D'autres gènes y ont été ajoutés

Autres gènes impliqués:

APETALA 1 et 2: mutations augmentent le phénotype *lfy*

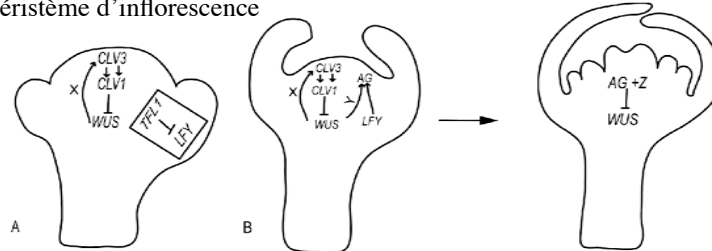
CAULIFLOWER: mutants *cal ap1* surproduisent des méristèmes floraux, inflorescence de type chou-fleur



LEAFY est exprimé ds méristème végétatif => rôle d'intégration des signaux de floraison ?

profils d'expression recouvrants: augmentation mutuelle d'activité -> probablement facteurs de transcription (sauf TFL1)

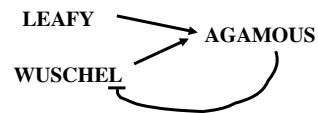
Interactions géniques lors du passage du méristème végétatif au méristème d'inflorescence



Dans le méristème apical, LEAFY est inhibé et AGAMOUS aussi puisque la croissance est indéterminée

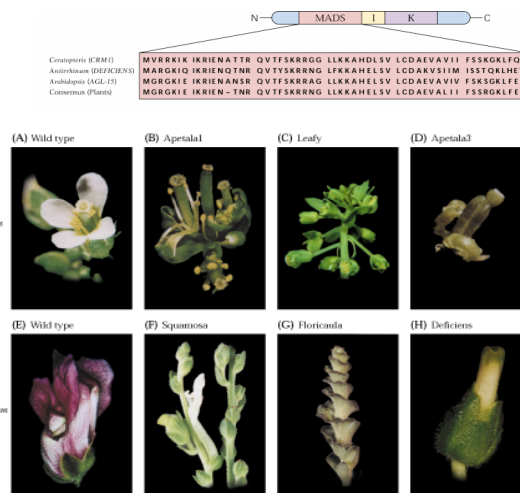
Après activation de LEAFY (florigène etc...)
 WUSCHEL et LEAFY activent conjointement AGAMOUS,
 LEAFY donne une spécificité temporelle (devenir une fleur),
 WUSCHEL donne spécificité régionale (rester un méristème)

Puis AGAMOUS détermine l'identité des organes floraux et la croissance déterminée du méristème floral en réprimant WUSCHEL



AG, PI, AP1 et AP3
 appartient à une famille de
 facteurs de transcription
 conservés durant l'évolution
 contenant un domaine de liaison
 à l'ADN (MADS box genes)

Des gènes similaires
 participent à
 l'élaboration de fleurs
 différentes

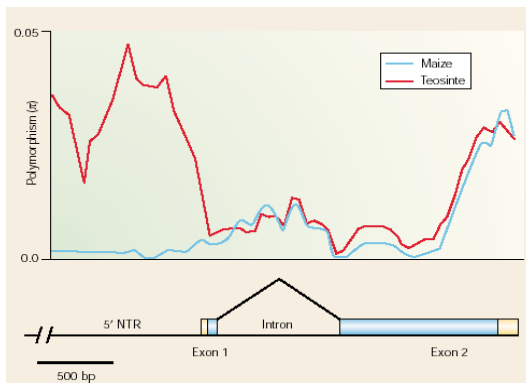


Les gènes de développement floral se retrouvent chez des plantes sans fleurs, ex: homologue fonctionnel de LEAFY chez le pin (complète la mutation *lfy* d'arabidopsis). Les gènes MADS existent chez les fougères → recrutement tardif dans la formation de la fleur angiosperme. (Exaptation moléculaire)
 Mads genes des plantes ↔ Hox genes des animaux (Meyerowitz, 2002, Science 295 p 1482)

L'évolution morphologique peut résulter du changement de la régulation des facteurs de transcription

Ex: la modification de fonctionnement du gène TEOSINTE BRANCHED est importante pour les changements morphologiques qui ont conduit du Teosinte sauvage au Maïs cultivé.

Le polymorphisme est plus grand dans la région 5' non-codante du gène TEOSINTE BRANCHED chez les populations naturelles de teosinte, l'ancêtre du maïs, que chez les populations de maïs où des allèles particuliers ont été fixés par la domestication en 10 000 ans -> signature de la sélection



L'évolution des séquences non-codantes des homéogènes Hox serait ainsi en cause dans les changements morphologiques des animaux (Carroll S. 2008, Cell 134 p.25)

Relation entre photopériode et aptitude à fleurir

Classification	Caractères	Exemples
Espèces aphotiques	Forment l'initium floral à l'obscurité	Jacinthe Pomme de terre
Espèces nyctipériodiques (jours courts)	Recquièrent nbre minimal de cycles photoinductifs (phase obscure > longueur de nuit critique)	Chrysanthème (8-10 cycles) période critique de 14 à 14h30
Espèces hémériopériodiques (jours longs)	Recquièrent nbre minimal de cycles photoinductifs (photopériode > longueur de jour critique)	Soja, épinard, chanvre, jusquiame noire Période critique de 13 à 14 h pour épinard
Espèces indifférentes	floraison indépendante du nombre de cycle photoinductifs	Orge, tomate, maïs; pois

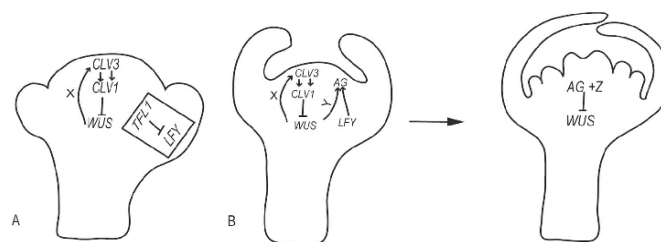
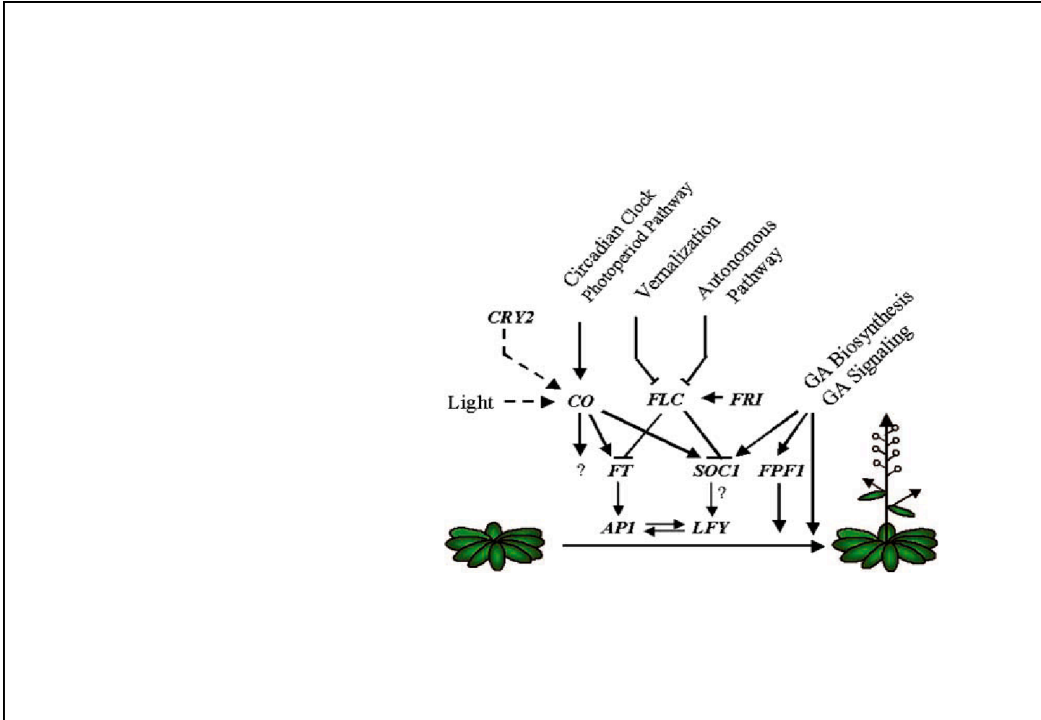
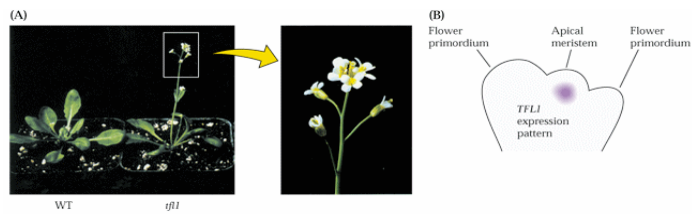


Figure 3. Model for the interactions between regulatory genes in the SAM and the floral meristem. A. During the reproductive phase, the SAM produces floral meristems from its flanks, whereas its central pool of stem cells is maintained by CLV pathway. Signaling by CLV3 through the CLV1 receptor complex limits the size of the WUS expression domain in the interior of the meristem. In turn, WUS activity, perhaps with the help of a diffusible signal (X), preserves the population of CLV3-expressing stem cells in the superficial cell layers. TFL simultaneously represses the expression of the floral meristem identity gene LFY in the SAM. B. LFY is up-regulated in early floral meristems, along with other genes that specify floral meristem identity. LFY is expressed throughout the floral meristem, and, along with WUS, it activates AG in the center of floral meristem where the stamens and carpels will form. LFY and WUS may require another factor (Y) to activate AG in the correct expression domain. C. Later in floral meristem development, when the carpel primordia are due to form, AG and another unidentified factor (Z) repress the expression of WUS, terminating stem cell maintenance and allowing gynoecium differentiation.



mutations de TERMINAL FLOWER 1 (TFL1) => terminaison précoce en fleur



TFL1 (indéterminé -> déterminé) antagoniste de LFY (déterminé -> indéterminé)