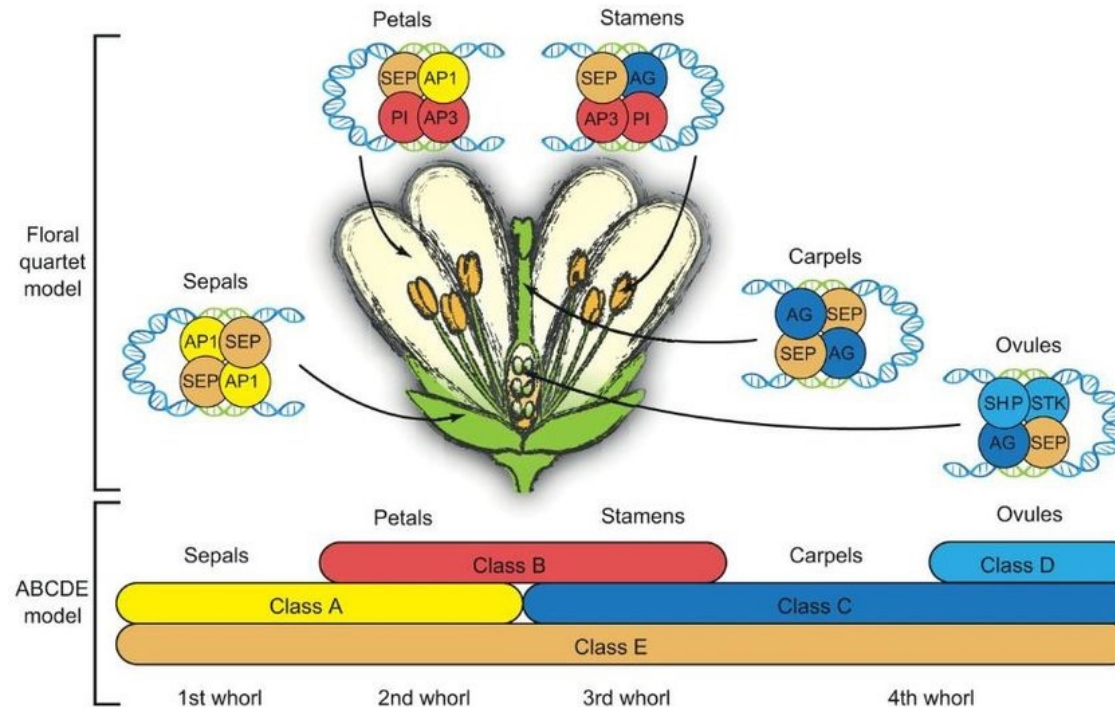
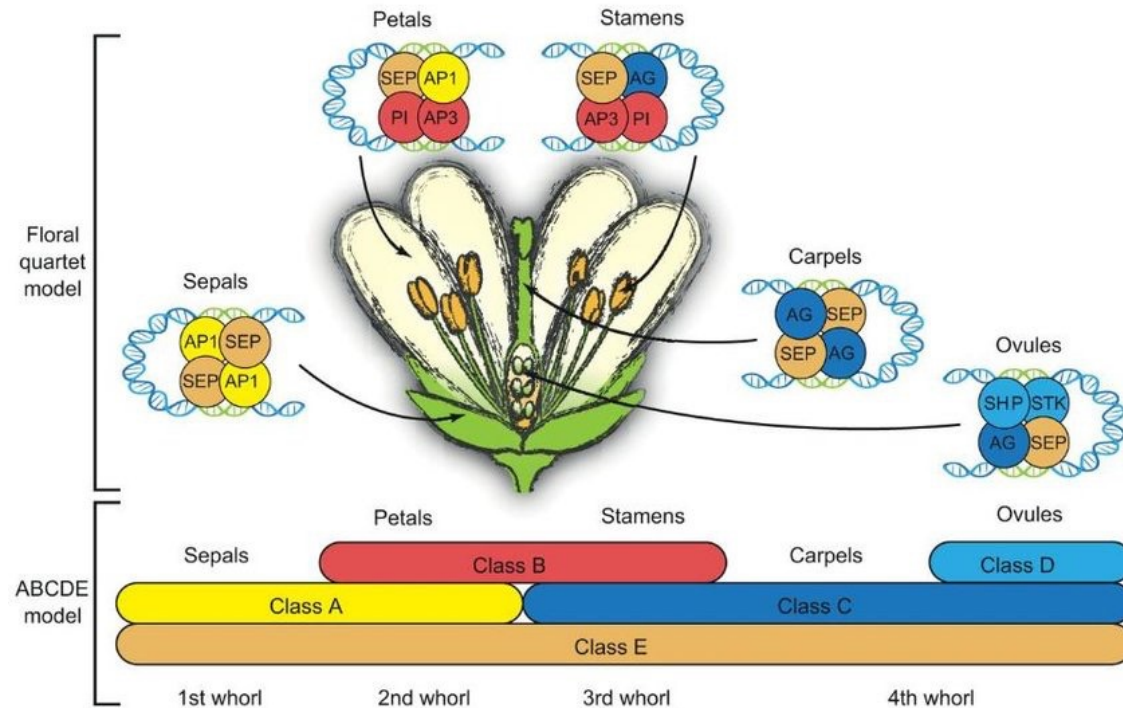


SV-B-3 -LE DÉVELOPPEMENT POST-EMBRYONNAIRE DES ANGIOSPERMES : ADAPTATIONS ET PLASTICITÉ PHÉNOTYPIQUE



SV-3-2 : DEVELOPPEMENT DE L'APPAREIL REPRODUCTEUR

Quand fleurir est une question de survie des espèces....



Le développement reproductif met en place la fleur par transition du méristème apical caulinaire en méristème reproducteur

facteurs environnementaux
cf SVB3-3 (T°C, lumière)

Transition florale = EF + IF

Induction florale
= acquisition de l'aptitude
à fleurir
phase végétative

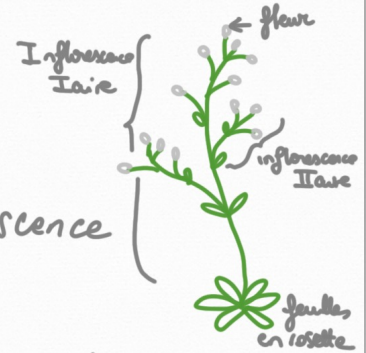
Evocation florale (EF)
ou usage florage

Engagement
de l'ensemble des
cellules du NAC
→ Irreversible.
phase préflorale

Initiation florale (IF)
ou organogénèse florale
phase de
différenciation
florale

Fleuraison

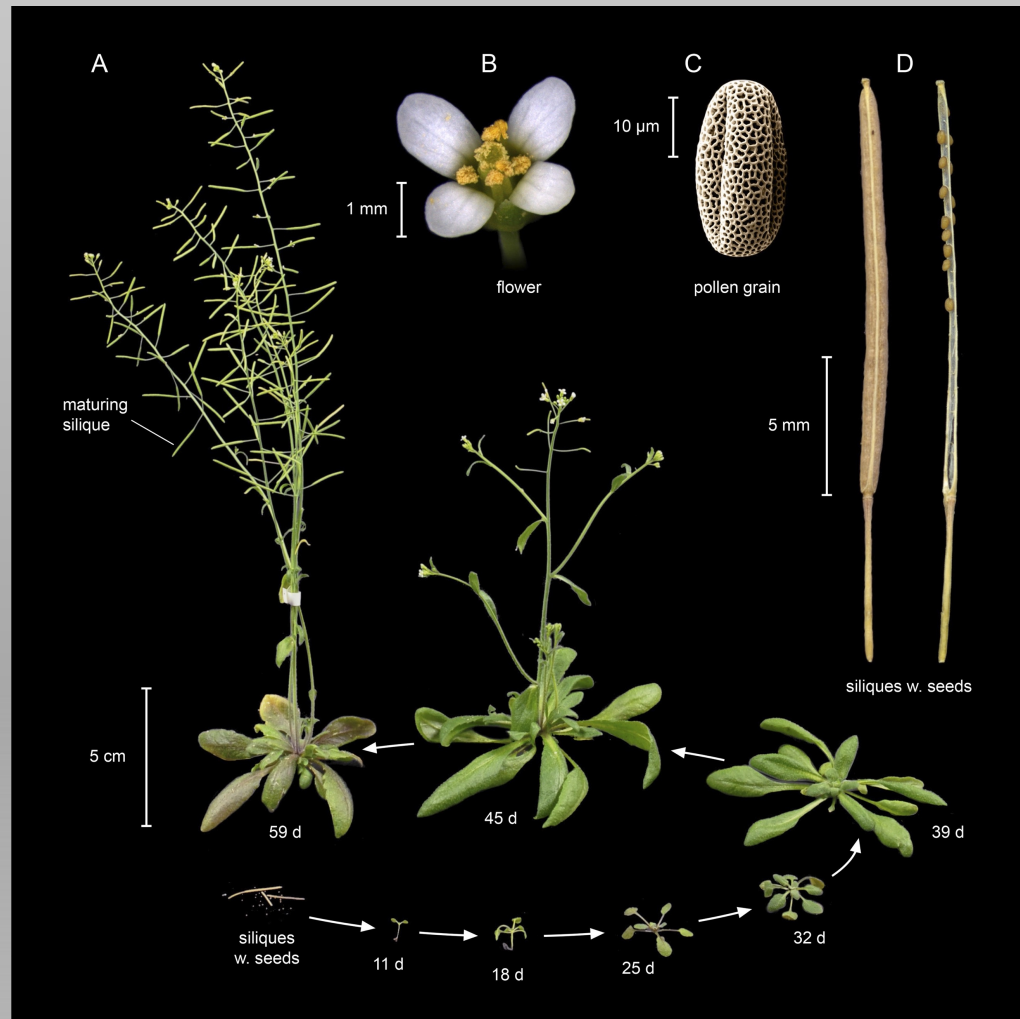
Fleur ou
Inflorescence



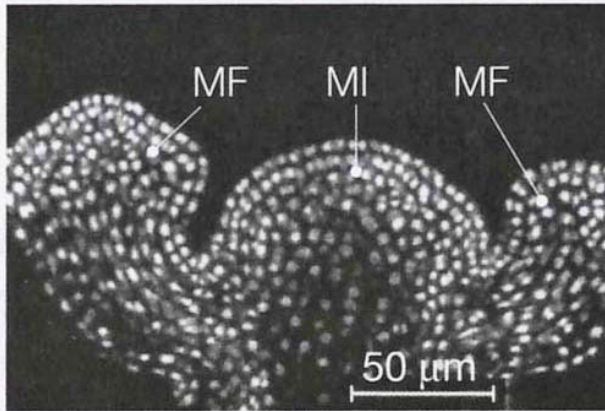
. Note en place de la fleur et son contrôle -

Les étapes

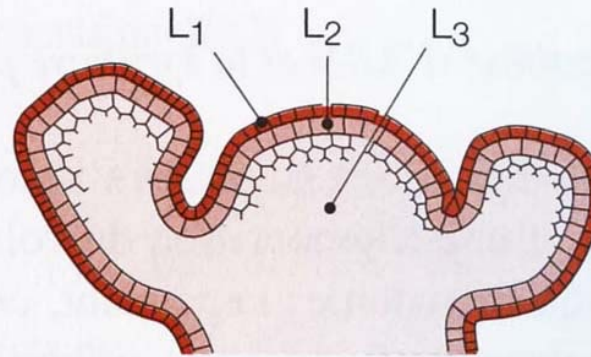
MAC



Ute Krämer (2015) The Natural History of
Model Organisms: Planting molecular
functions in an ecological context with
Arabidopsis thaliana eLife



a.



b.

Organisation des méristèmes inflorescentiel et floral.

a. Coupe longitudinale du méristème inflorescentiel (MI) et de méristèmes floraux (MF) d'Arabidopsis.

b. Schéma d'interprétation. L1 forme les tissus épidermiques des organes floraux. L2 forme les tissus sous épidermiques des organes floraux et les cellules germinales, en général. L3 forme les tissus internes des organes floraux.

(In Kleiman, La reproduction des Angiospermes, p. 75, éd. Belin sup)

facteurs environnementaux
ex: SVR3-3 (T°C, lumière)

Transition florale = EF + IF

Apik en place de la fleur et son contrôle -

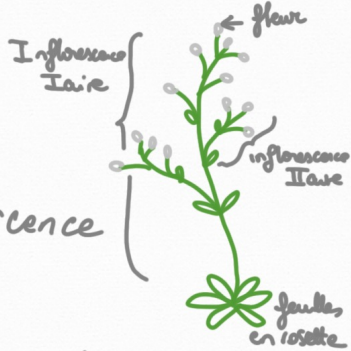
Induction florale
= acquisition de l'aptitude
à fleurir
phase végétative

Evocation florale (EF)
ou usage florale

Initiation florale (IF)
ou organisation florale

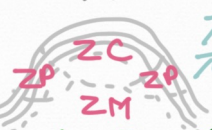
Fleuraison

Fleur ou
Inflorescence



Les étapes

MAC



Arrêt de la C indifférenciée

↑ durcissement
↑ rx glucides

MF

ou

MI

↑ réinitiation
↑ ZP

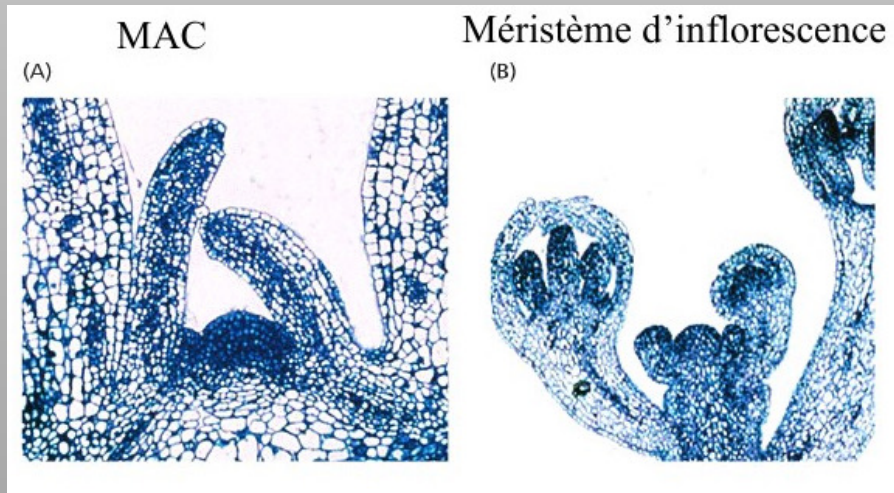
↑ apex
↑ bombée

↑ grande propéité
végétative → bractées

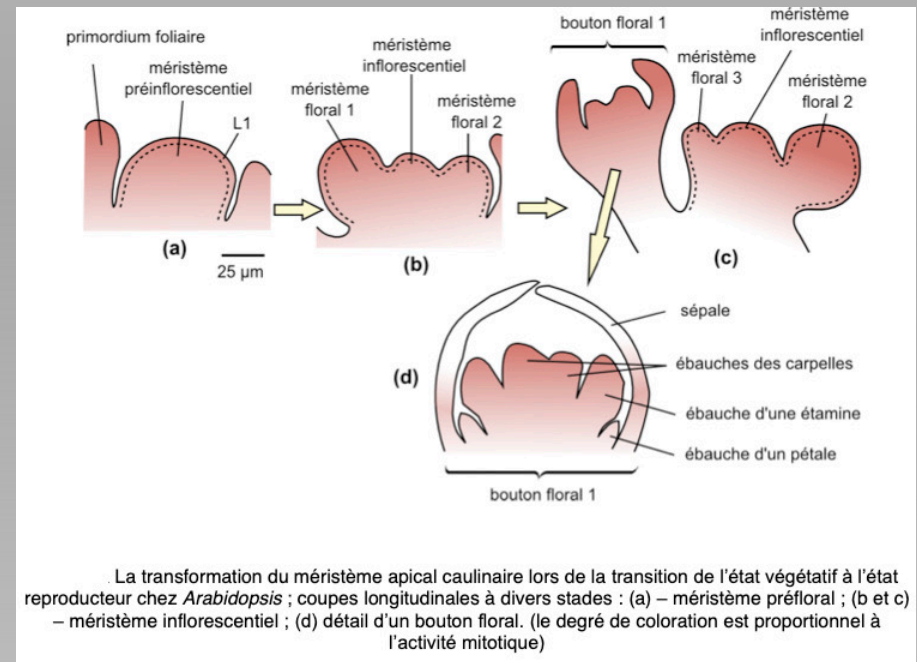
↑ synthèse ARN,
↑ protéine

Les structures
et leur évolution

Document : Méristème
 inflorescentiel chez *Arabidopsis*
thaliana In plant physiology, 4^{ème} Ed



Document : Transformation du MAC
 d'*Arabidopsis thaliana*



facteurs environnementaux
ex: SUP3-3 (T°C, lumière)

Transition florale = EF + IF

À la place de la fleur et son contrôle.

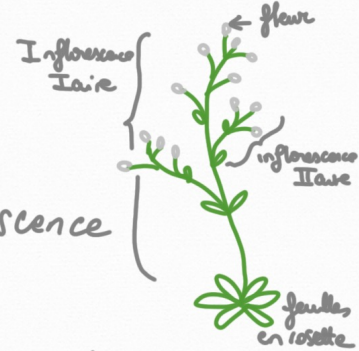
Induction florale
= acquisition de l'aptitude
à fleurir
phase végétative

Evocation florale (EF)
ou usage florale

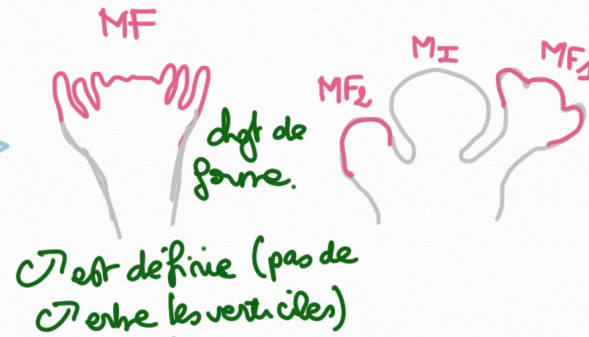
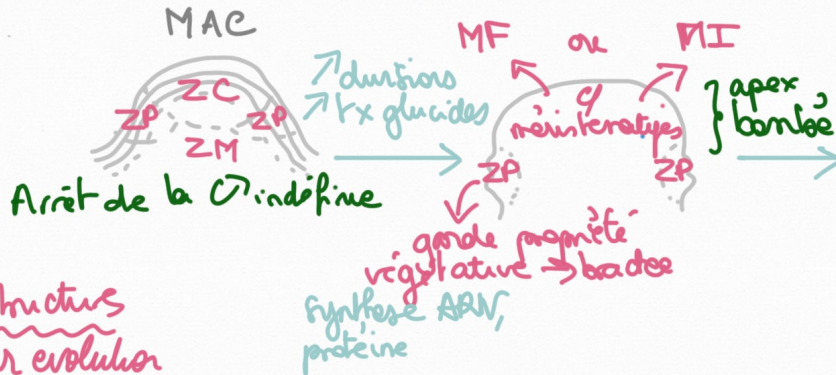
Initiation florale (IF)
ou organisation florale

Fleuraison

Fleur ou
Inflorescence



Les étapes



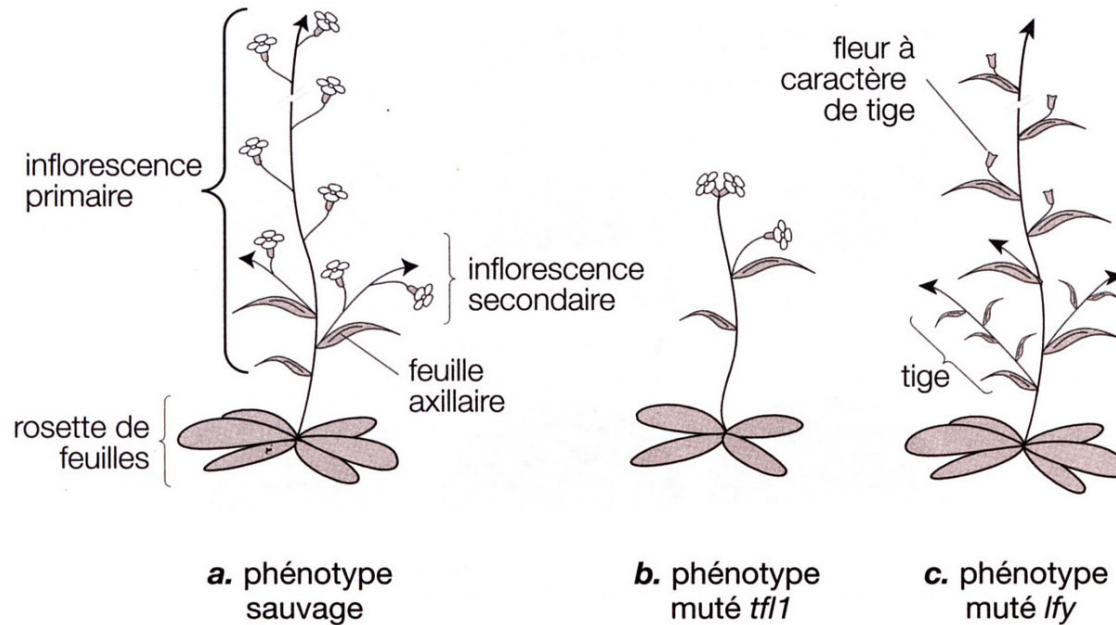
Les structures
et leur évolution



Méristème préinfrascriptiel → méristème
infrascriptiel → méristème floral (→ fleurs)

Développement de l'appareil reproducteur de l'arabette des Dames. Chez Arabidopsis, l'induction florale transforme le méristème végétatif apical en **méristème infrascriptiel**. Ce méristème infrascriptiel croît de manière indéterminée et commence par produire 2 à 5 méristèmes infrascriptiels secondaires axillés par une feuille, puis de nombreux méristèmes floraux.

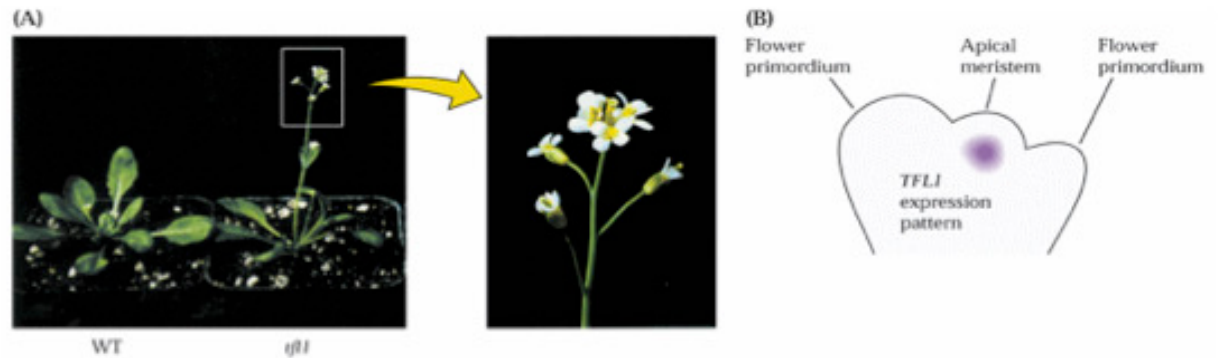
Les méristèmes infrascriptiels et floraux sont disposés selon une **phyllotaxie spiralee**. Chaque méristème infrascriptiel secondaire se développe et produit à son tour des méristèmes floraux selon le même principe, il en résulte une architecture composée d'une inflorescence principale porteuse de 2 à 5 inflorescences latérales. Chaque méristème floral se développe ensuite de manière déterminée, produisant 4 verticilles d'organes floraux



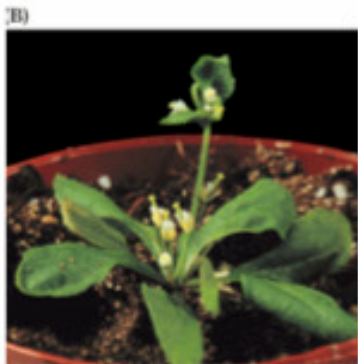
Document :
 Contrôle génétique
 de l'identité des
 méristèmes par
TFLI (**Terminal
 flower**) et *LFY*
 (**Leafy**) chez
Arabidopsis

Contrôle génétique de l'identité des méristèmes par *TFLI* et *LFY* chez *Arabidopsis*.

Les méristèmes à croissance indéterminée sont figurés par des flèches. Les plantes *mutées* pour *LFY* (*lfy*) produisent à la place des fleurs des tiges caractérisées par des entrenœuds allongés, une phyllotaxie alterne et une croissance indéterminée. Plus haut, les fleurs normales sont remplacées par des fleurs à caractère de tige : elles présentent des organes floraux à phyllotaxie alterne et non verticillée, des entrenœuds plus allongés, une croissance indéterminée. De plus, ces « fleurs » ne portent que des sépales et des carpelles. (D'après Okamuro et coll., *The Plant Cell*, 5, 1993, pp. 1183–1193.)



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

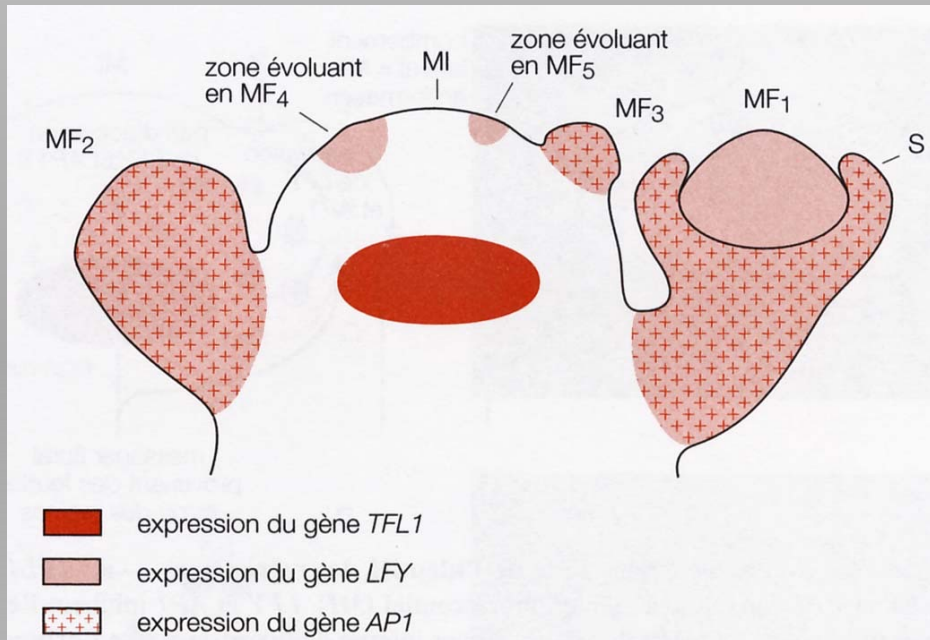


LEAFY (LFY),

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 précocement en fleur

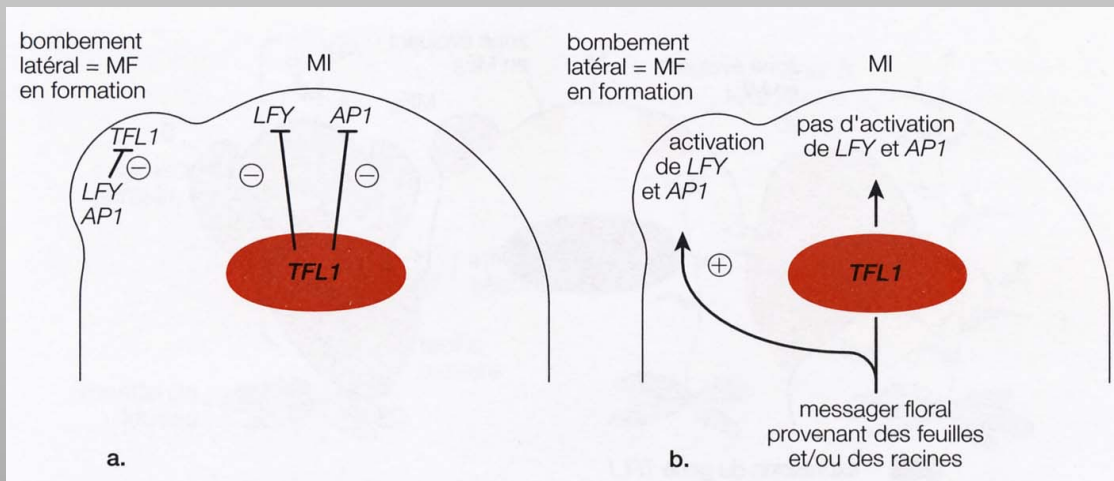
Les gènes *Terminal flower* (*TFL1*), *Apetala 1* (*AP1*) et *Leafy* (*LFY*) sont donc les gènes de l'identité inflorescentielle (*TFL1*) et floral (*AP1* et *LFY*), c'est à dire les gènes responsables de la réorganisation du méristème végétatif en méristème inflorescentiel et floral (l'évocation florale).



Document : Expression des gènes d'identité du méristème.

Le gène *TFL1* s'exprime au centre du méristème inflorescentiel (MI), sous l'apex, les gènes *LFY* et *AP1* s'expriment spécifiquement dans les ébauches de méristème floral (MF) et dans les méristèmes floraux développés.

➔ Ce sont les relations antagonistes entre *TFL1* et *LFY / AP1* qui permettent la séparation des méristèmes inflorescentiel et floral.

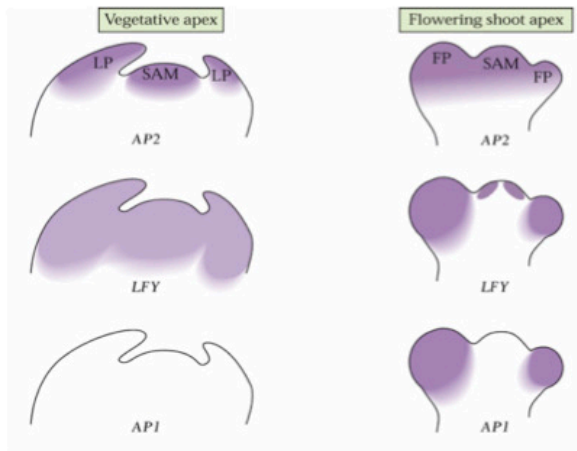


Document : Modèles du contrôle génétique de l'identité des méristèmes.

a. *TF1* inhibe l'expression de *LFY* et *AP1* dans le méristème inflorescentiel (MI). *LFY* et *AP1* inhibent l'expression de *TFL1* dans le **méristème floral (MF)**.
 b. Le messenger interne de floraison active l'expression de *LFY* et *AP1* dans le méristème floral. L'action de ce messenger sur *LFY* et *AP1* est bloquée par *TFL1* dans le **méristème inflorescentiel**.

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)

Document : Autres gènes impliqués (pour info)

LFY, est un intégrateur floral c'est-à-dire qu'il a pour rôle de centraliser l'information issue de signaux endogènes et exogènes (Cf SVB3-3) pour conduire à l'activation des gènes d'identité des méristèmes floraux (gènes FMI, exprimés après les intégrateurs floraux) comme AP1, TFL1 mais aussi par interactions LFY

facteurs environnementaux
cf SVB3-3 (T°C, lumière)

- N'ête en place de la fleur et son contrôle.

$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda_0} + \frac{1}{\lambda_1}$

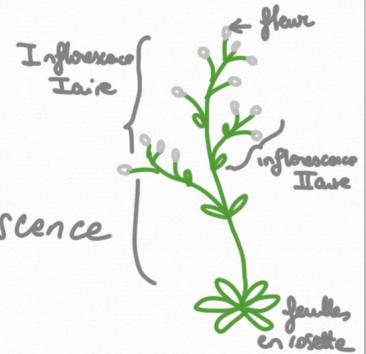
Induction florale
= acquisition de l'aptitude
à fleurir
phase végétative

Evocation florale (EF)
ou image florale

Initiation phase (IF)
(or orjanoferek florale)

Flourison

► Fleur ou Inflorescence



Les étapes

Engagement
de l'ensemble des
cellules du NAC
→ Irreversible.
→ Irreversible.

phase
proflorale

phase de
différenciation
florale

MAC

Arret de la Circulation

MF ou MI
↙ ↘
noninteractifs
ZA ZA



MF

MF₂

MF₁

d'ent de gomme.

entre les verucules

Les structures et leur évolution

grande majorité
régulatrice → brades

Synthèse ARN,
protéine

Le contrôle
génétique

Gènes d'identité du
neurone floral (FMI)
et gène inhibiteur.

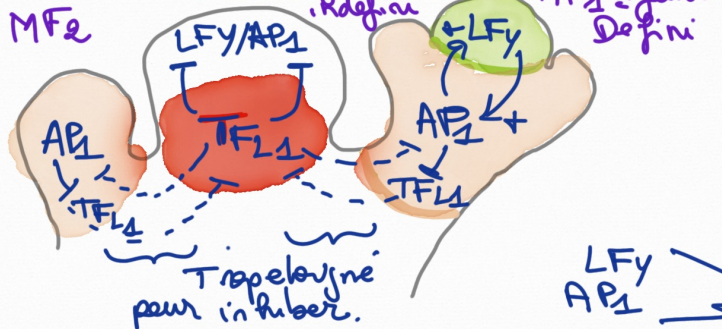
LFY (Leafy)*
AP₁ (apetala)
(gene antagoniste de
l'identité floral).

TFL₁ (gène de l'identité
fluorescent).

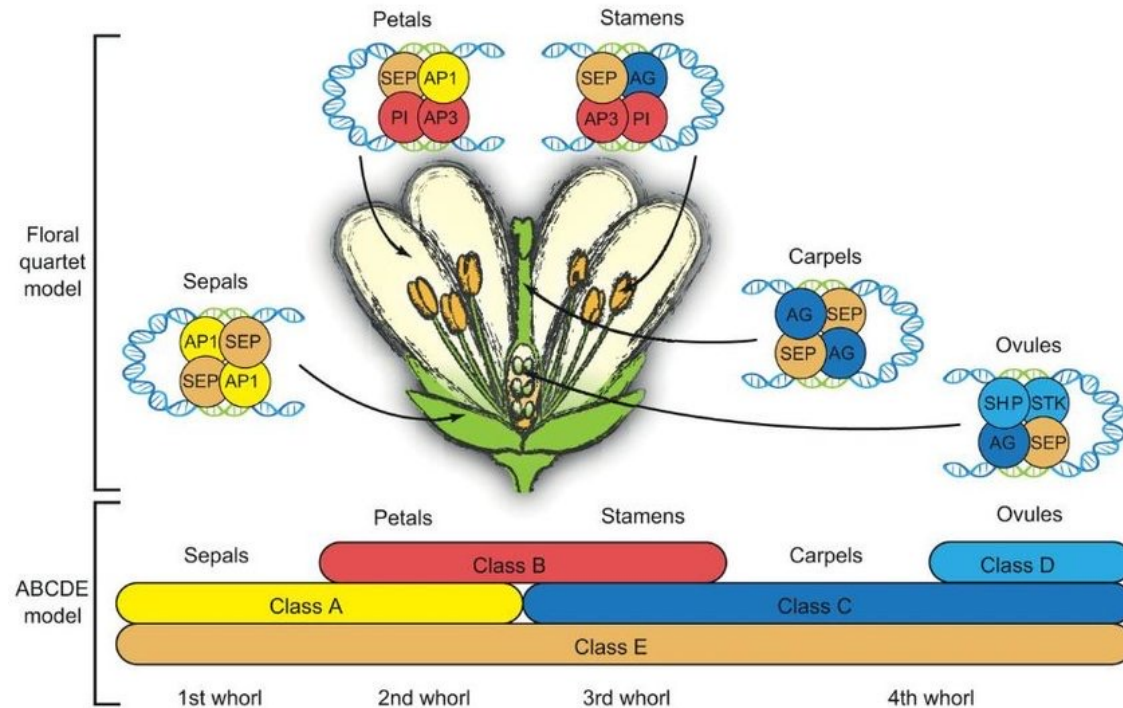
Toujours même ordre

MI $\Rightarrow$ fonction n'est
redéfinie

MF₁ = Funktion
Defini

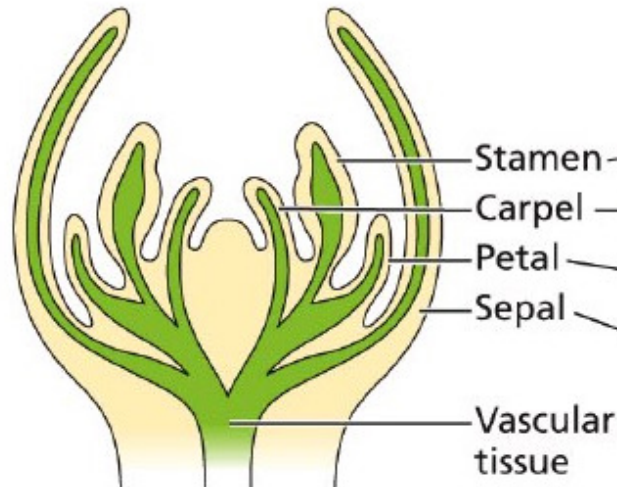


LFy
AP₁

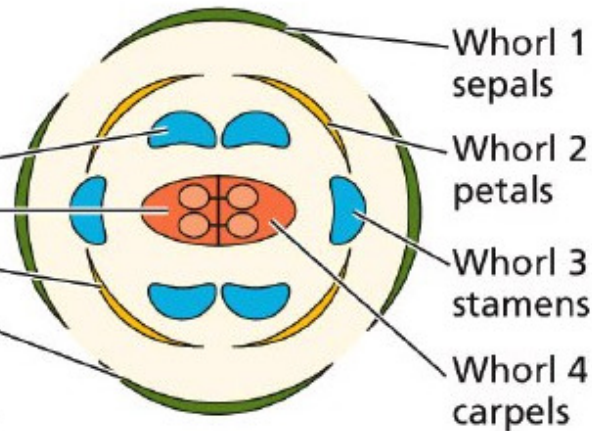


La construction de la fleur sous contrôle génétique

(A) Longitudinal section through developing flower



(B) Cross section of developing flower showing floral whorls



Représentation schématique d'une coupe longitudinale d'une fleur en développement
Représentation schématique des 4 cercles des futures pièces florales de cette même fleur.

Rappel :

Les gènes homéotiques sont responsables de la mise en place des organes aux bons endroits, conformément au plan d'organisation de l'organisme.

Les gènes homéotiques se caractérisent par une séquence nucléotidique commune à tous les gènes homéotiques : l'homéoboîte. Le gène homéotique code pour une protéine appelée homéoprotéine.

L'homéoprotéine est un facteur de transcription codé par un gène homéotique. Elle possède une séquence en acides aminés commune à toutes les homéoprotéines : l'homéodomaine.

L'homéodomaine est une séquence de 60 acides aminés dont la conformation tridimensionnelle reconnaît spécifiquement des régions régulatrices de certains gènes.

L'homéoboîte est une séquence de 180 paires de base nucléotidiques qui code pour l'homéodomaine. La plupart des gènes homéotiques possèdent la boîte **MADS**.

La structure protéique tridimensionnelle de l'homéodomaine s'organise en trois hélices **a** qui forment le motif hélice-boucle-hélice (ou **HLH** pour Helix-Loop-Helix)

Le motif HLH constitue le domaine d'interaction avec la molécule d'ADN. C'est cette partie de la molécule qui s'insère dans le sillon de la double hélice de l'ADN et contribue à ouvrir celle-ci pour permettre la transcription.

L'homéodomaine est très conservé au cours de l'évolution et commun à toutes les homéoprotéines. Son degré de conservation est de l'ordre de **90%**.

Un gène homéotique produit une protéine à **homéodomaine**, motif très conservé qui lui permet de se fixer sur des sites précis de l'ADN et de contrôler l'expression d'autres gènes responsables du plan d'organisation de l'être vivant.



Sauvage
WT

Apetala 2

Pas de pétales
Sépales transformés en carpelle



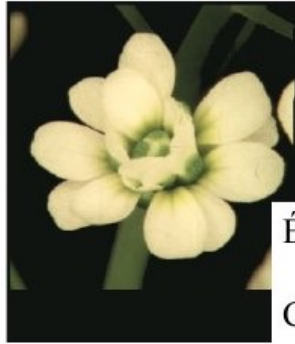
Sauvage
WT

pistlata

Pétale transformé en sépale
Étamine transformée en carpelle



Sauvage
WT



agamous

Étamines transformées en sépale
Carpelle transformée en pétale



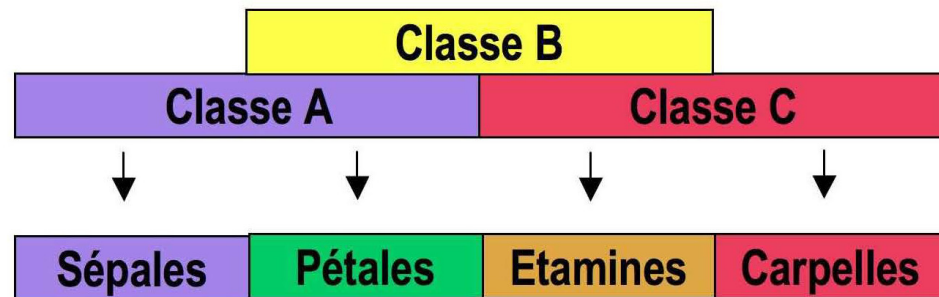
Sauvage
WT

Apetala 2

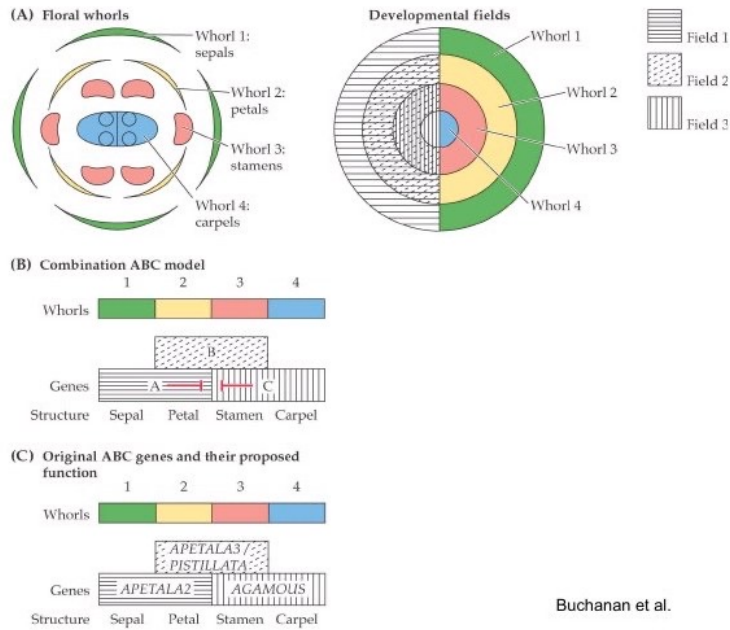
pistata

agamous

3 type de transformations homéotiques (organe transformé en un autre)



Modèle ABC



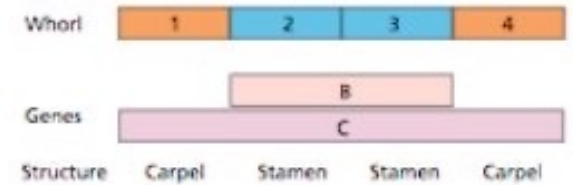
(A) Wild type



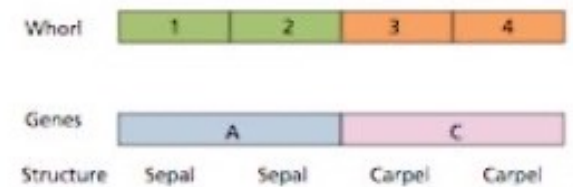
(B) Loss of C function

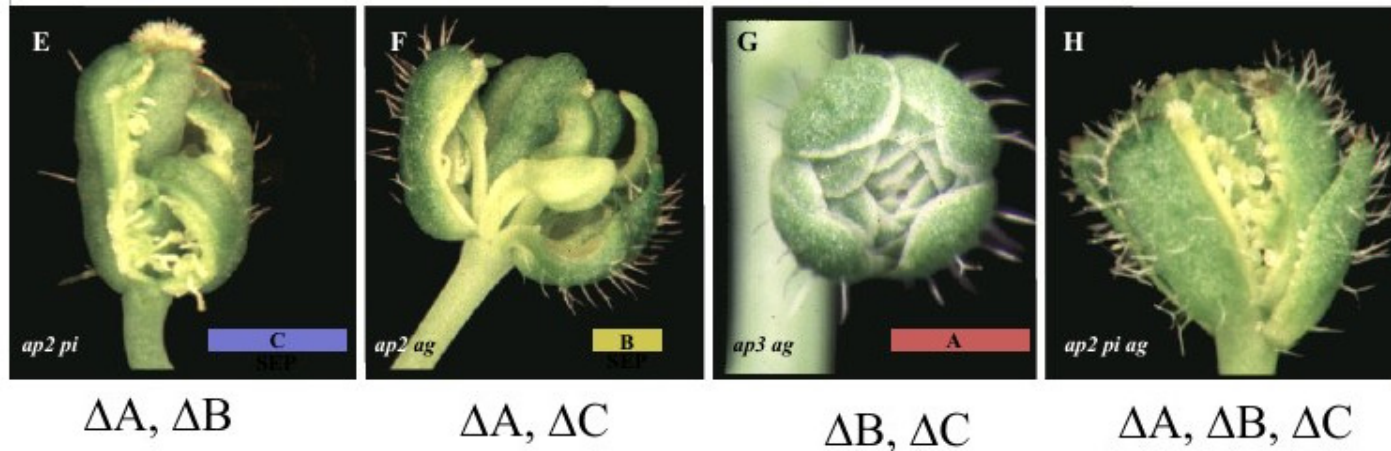


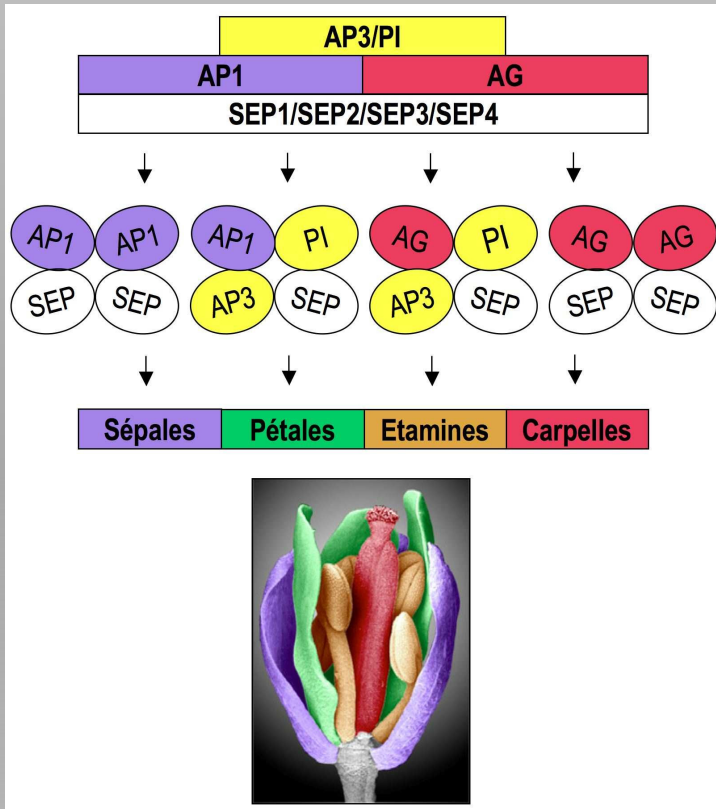
(C) Loss of A function



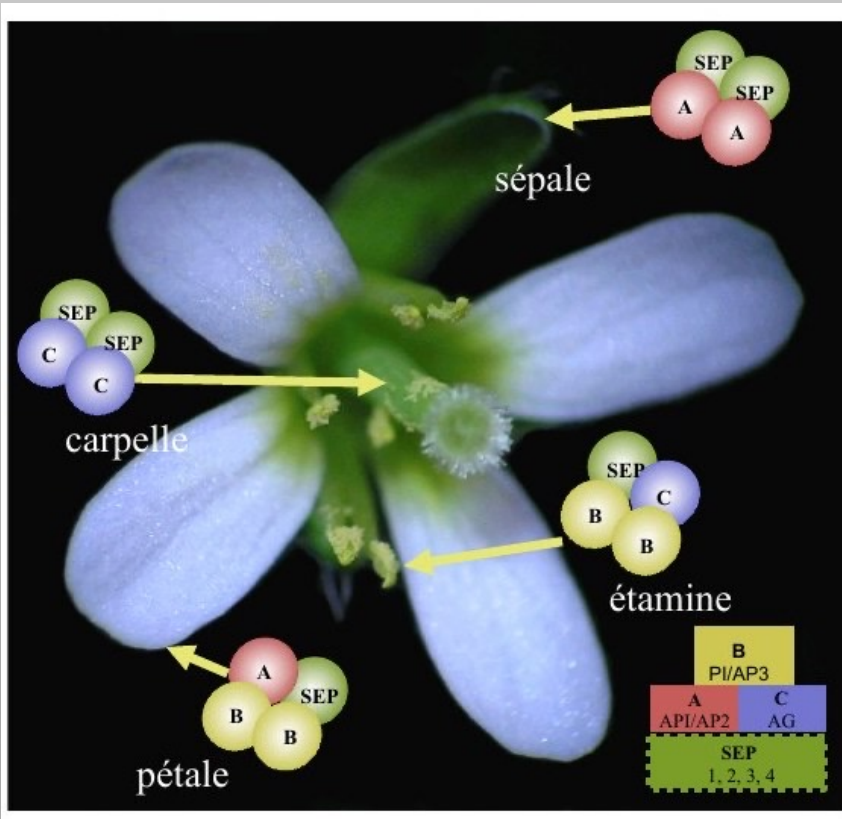
(D) Loss of B function



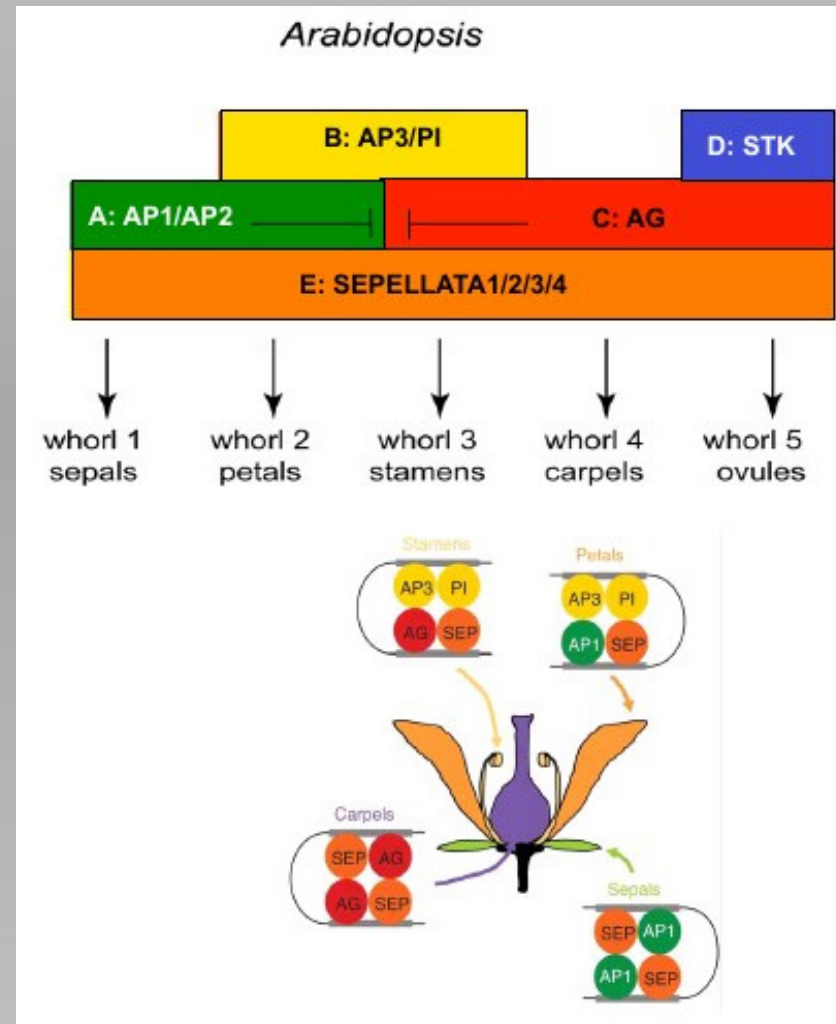




Modèle du quartet floral
(même chose que
modèle ABC pour le
respect des couleurs)



représentation du modèle
ABCE(Sep) et
correspondance au niveau
de la fleur d'*A. Thaliana*



Interprétation moléculaire du modèle ABCDE.
Le gène *D* intervient avec *C* et *E* pour les ovules.

Les tétramères, des facteurs de transcription, déterminent à la fois la **position** et la **formation des organes floraux** en se fixant sur séquences régulatrices de L'ADN.

facteurs environnementaux
cf SVB3-3 (T°C, lumière)

- Nite en place de la fleur et son contrôle.

Induction florale
= acquisition de l'aptitude à fleurir
phase végétative

Evocation florale (EF)
ou image florale

Initiation phase (IF)
organogenesis phase

$\neq$ levaison

→ Fleur ou Inflorescence



Les étapes

Engagement
de l'ensemble des
cellules du JAC
→ Irreversible.
→ Irreversible.

phase
proflorale

phase de
différenciation
florale

MAC

Arrière de la $\odot$ indifférente

MF

IV

MF

M:

ME

dit de
forme.

$\mathcal{C}$ est définie (pas de $\mathcal{C}$ entre les verticales)

Les structures et leur évolution

glande magnétique
régulatrice → brades

Le contrôle génétique

Gènes d'identité du
neurone floral (FMI)
et gènes intégrateurs.

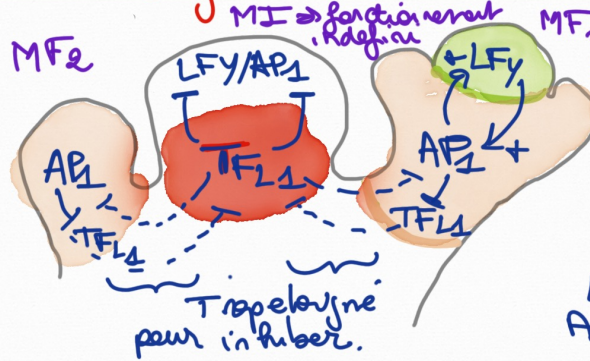
LFy (Leafy)*
AP1 (apetala)
(gene antagoniste de
l'identité floral).

TFL₁ (gène de l'identité
inflorescentiel).

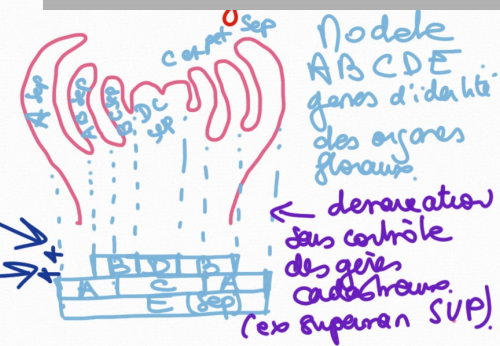
Toujours même ordre

MI $\Rightarrow$ fonctionner
redéfinition

MF₁ = Funktion



LFy
AP₁



Les gènes d'identité d'organes floraux sont activés par les gènes d'identité du méristème floral : AP1 et LFY

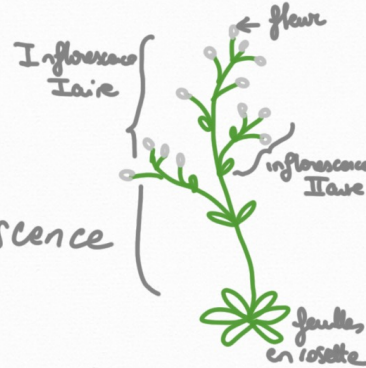
facteurs environnementaux
cf SVB3-3 (T°C, lumies) Transition florale = EF + IF →

Les étapes

Initiation phase (IF)
(or organogenesis phase)

Flourish

→ Fleur ou Inflorescence



Arachidopsis
thaliana
Brassicaceae



MAC

MF ou MI

ZC ZM ZP

↑ durcisseurs
↑ rx glucides

↑ q mélangés
↑ ZP

↑ apertures
↑ barrière

Arrêt de la Cindifine

fructus
r évolution

glande prothé
régulatrice → barrière

Synthèse ARN,
protéine

MF

MF₂

MF₁

MF₃

d'ent de la gomme.

est définie (pas de entre les vertèbres)

Les structures et leur évolution

Le contrôle
génétique

Gènes d'identité du
neurone glial (FMI)
et gènes interférents.

LFy (Leafy)*
AP1 (apetala)
(gene antagoniste de
l'identité floral).

TFL1 (gène de l'identité
inflorescentiel).

Toujours même ordre

MF2

MF1 = fonctionnerait redéfinir

MF1 = fonctionnement Défini

LFY/AP1

AP1

TFL1

TFL4

Tripletyne pour inhiber.

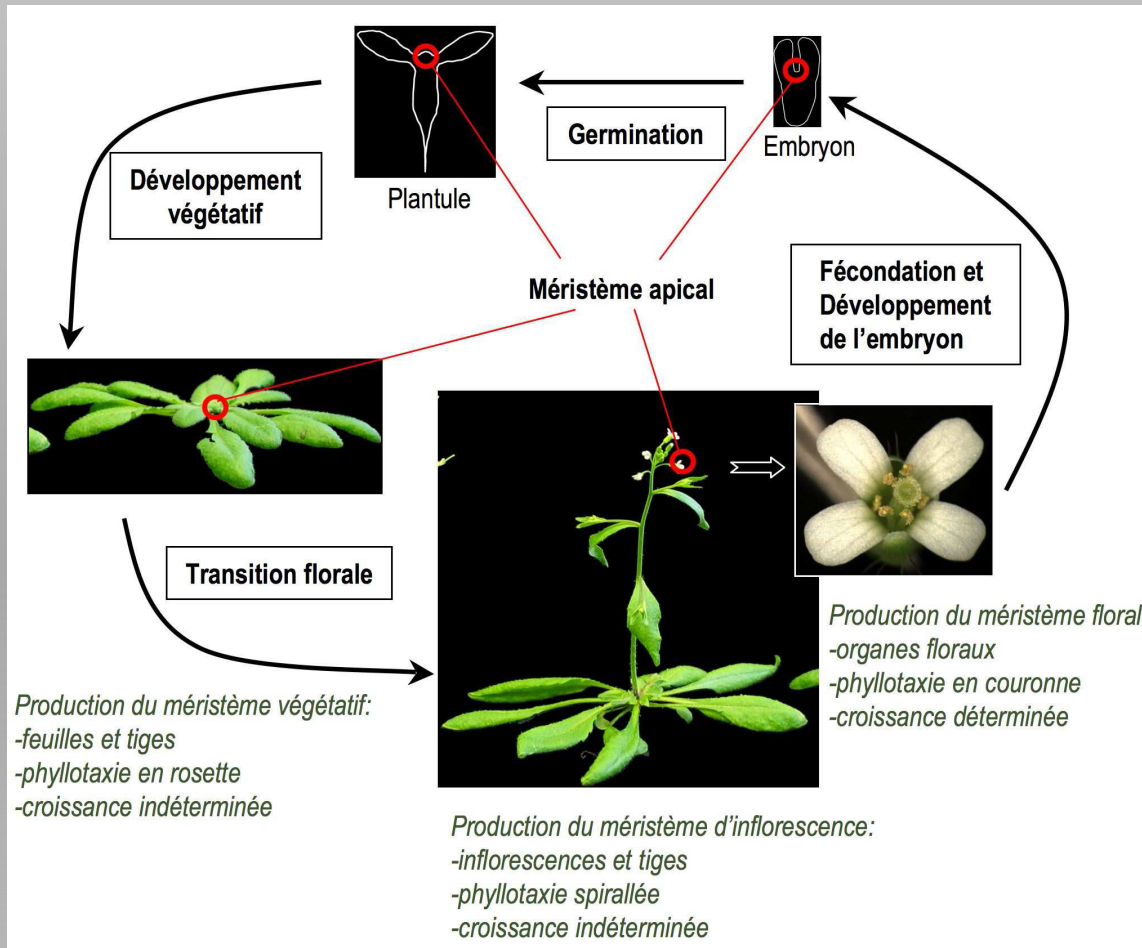
LFY AP1

④ Disposition des
→ pièces florales et
fleurs typiques de
la femelle

Nodele
A B C D E
genes d'identité
des organes
floraux.

← dérégulation
sans contrôle
des gènes
cancer
ex. supran SVP)





L'initiation de la floraison fait intervenir des facteurs environnementaux et des **messagers internes**, circulant entre le lieu de réception d'un signal de floraison et le lieu de réponse, le méristème végétatif. Quels sont les mécanismes mis en jeu ? comment la plante, organisme fixé, s'adapte aux conditions changeantes du milieu ... ➔ SV B 3-3

