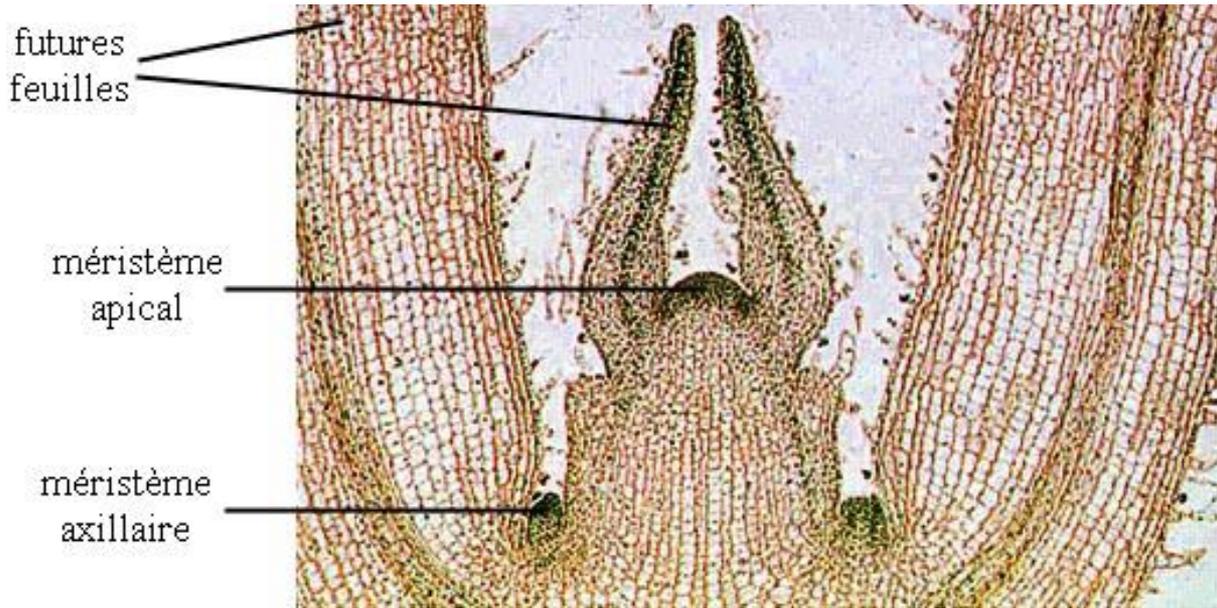


③ Croissance caulinaire

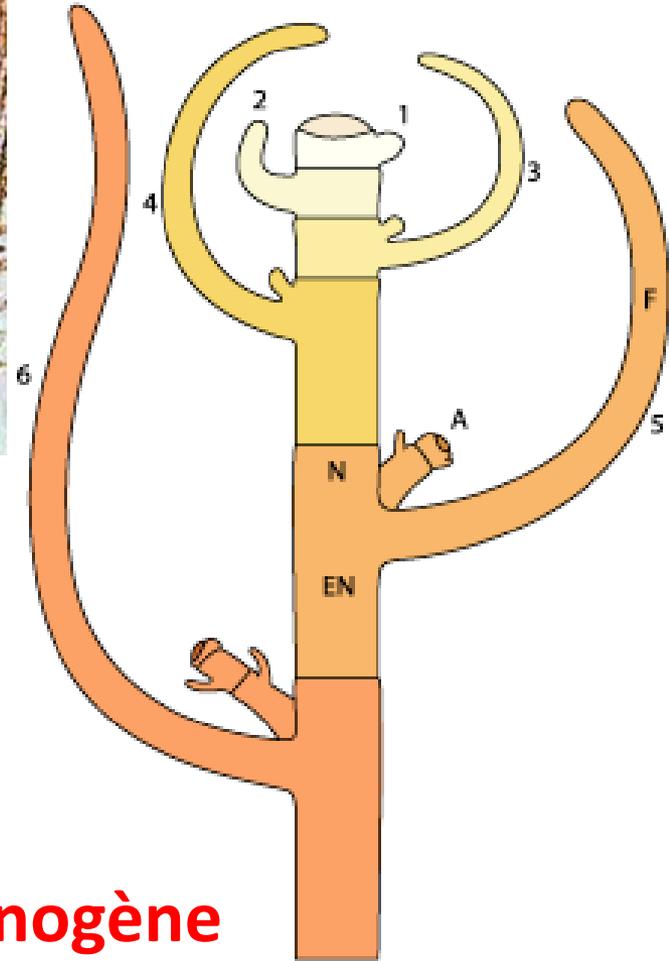


3-1 Organisation du MAC

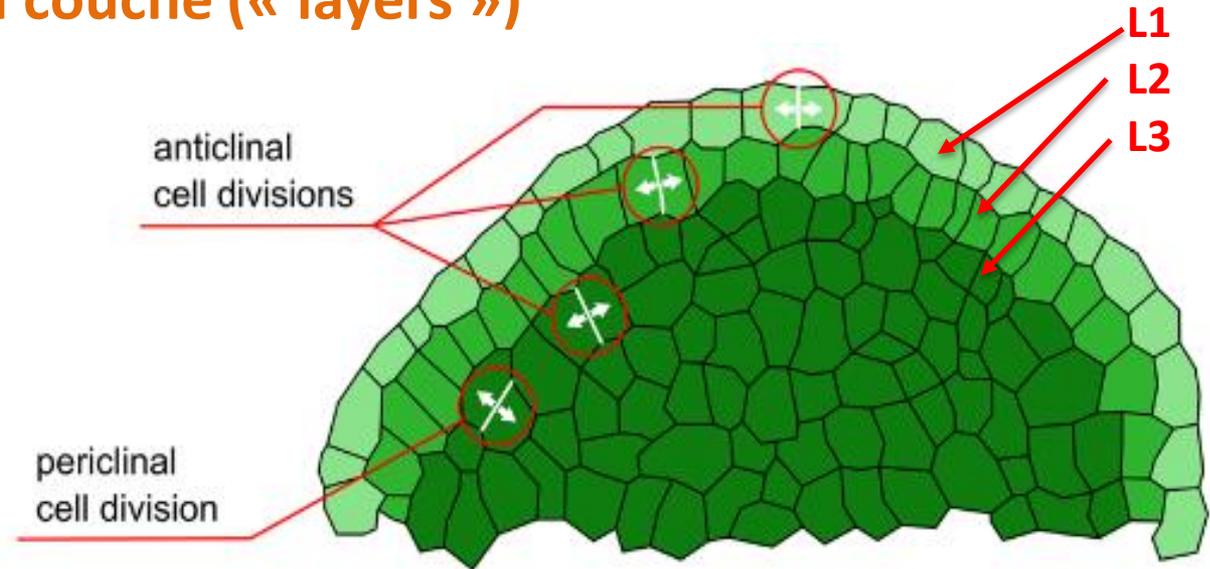
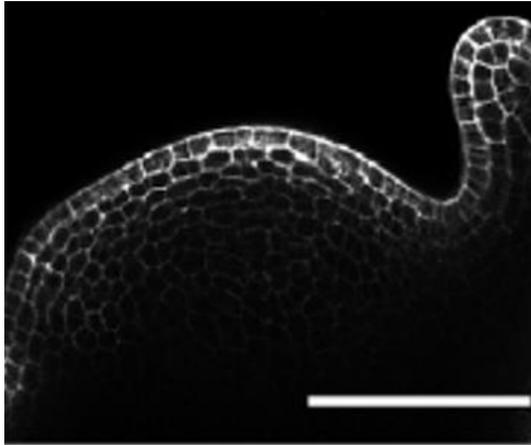


Dôme de 50 à 3000 μm de
diamètre à la base

Histogène & Organogène



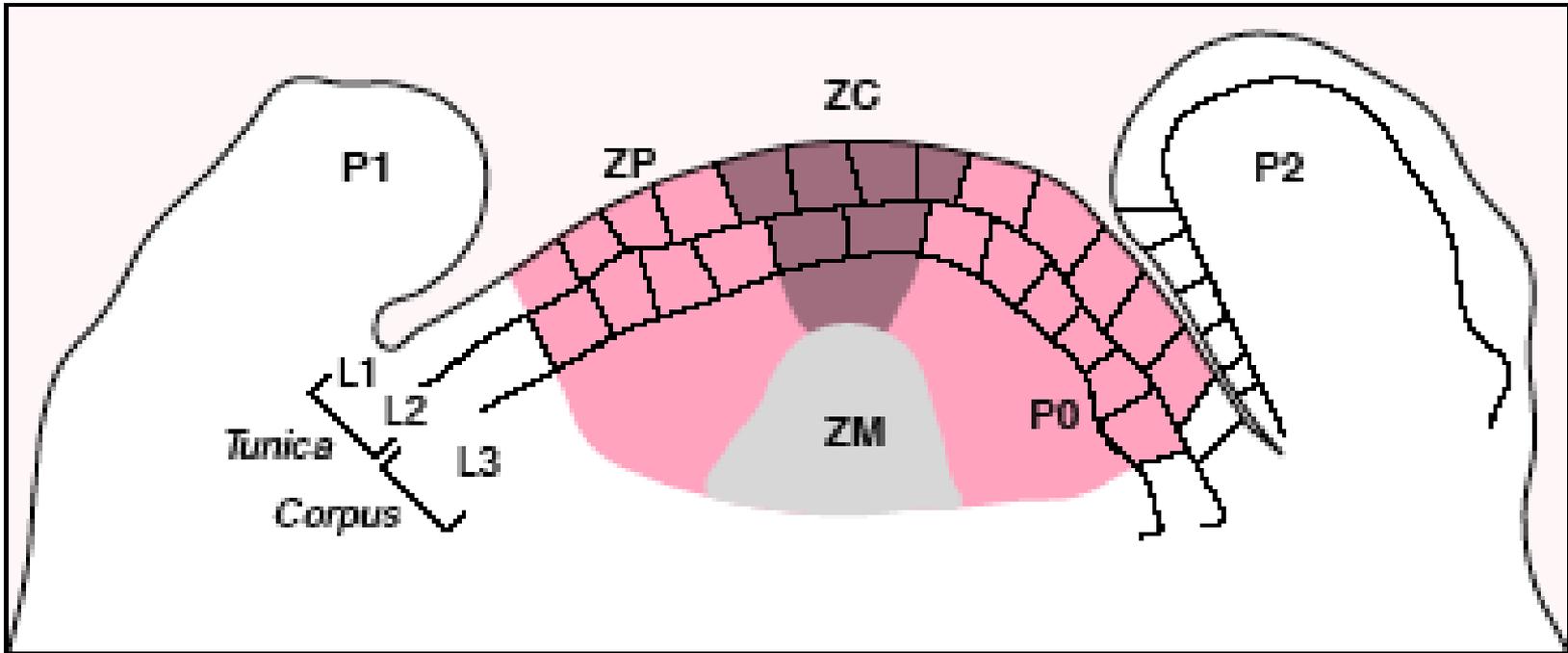
1 → Organisation en couche (« layers »)



Définit selon l'orientation des plans de divisions des cellules

- **L1** = Divisions Anticlinales → Tissus épidermiques
- **L2** = Divisions anticlinales → Parenchyme
- **L3** = Pas de plan particulier → Tissus vasculaires

2 → Organisation en zones



Zones: Index mitotique

ZC (Zone Centrale) = divisions lentes → **Cellules souches**

ZP (Zone Périphérique) = Divisions plus rapides → Formation de nouveaux organes

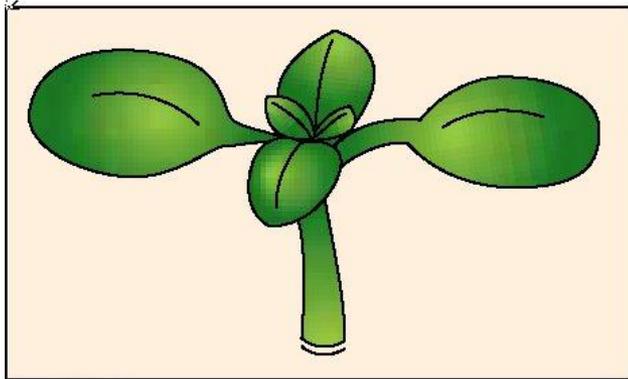
ZM (Zone Médullaire) → Construction de la tige

= *Rib Zone en anglais*

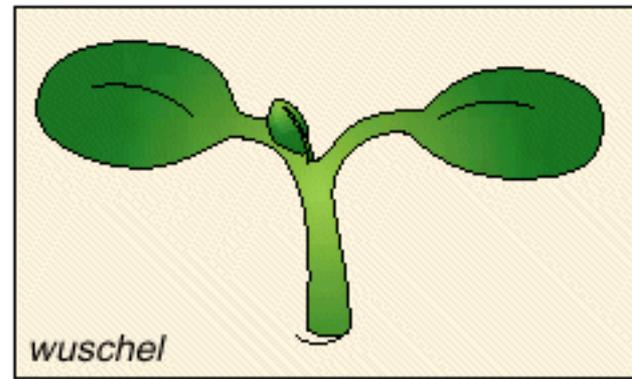
3-2 Auto-maintenance du MAC

→ Analyse génétiques historiques: **le mutant *wuschel* (*wus*)**

- Le MAC est mis en place au cours de l'embryogenèse mais le développement s'arrête précocement après que la plante ait formé quelques feuilles



Type sauvage



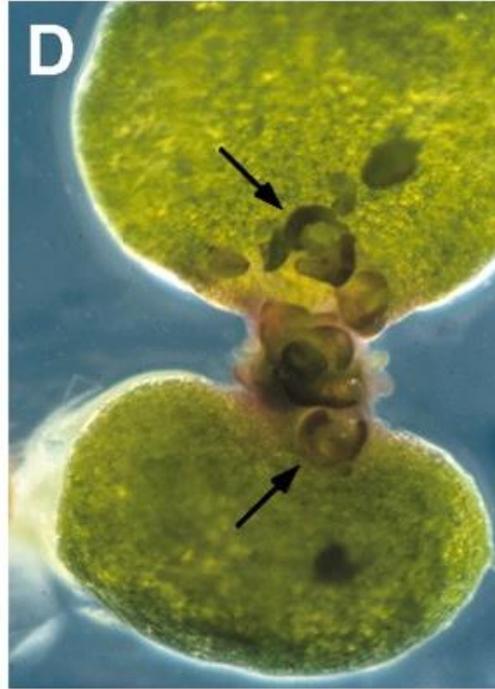
→ **Le facteur de transcription WUS est nécessaire pour le maintien des cellules souches**

→ Expériences d'expression ectopique de *WUS*

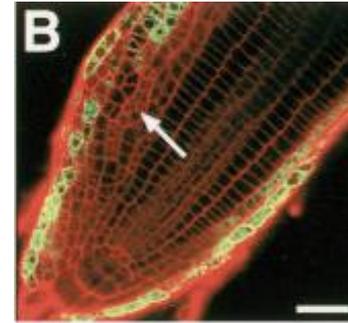
Sur l'hypocotyle

Sur des feuilles

Sur des racines



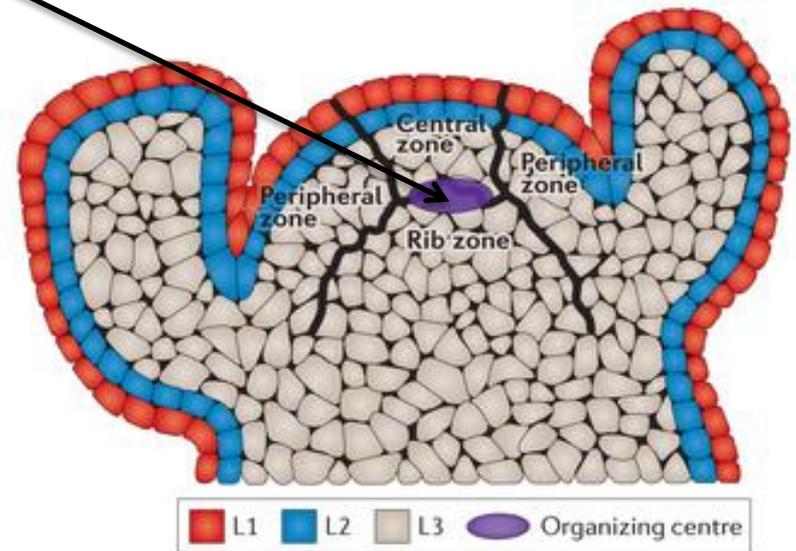
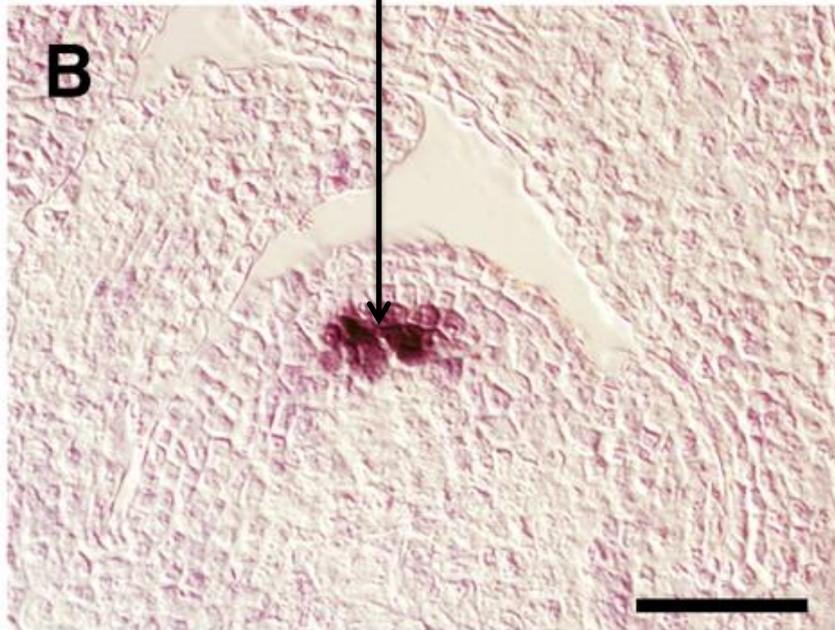
Gallois J et al. *Development* 2002



Gallois J et al. *Genes and Dev.* 2004

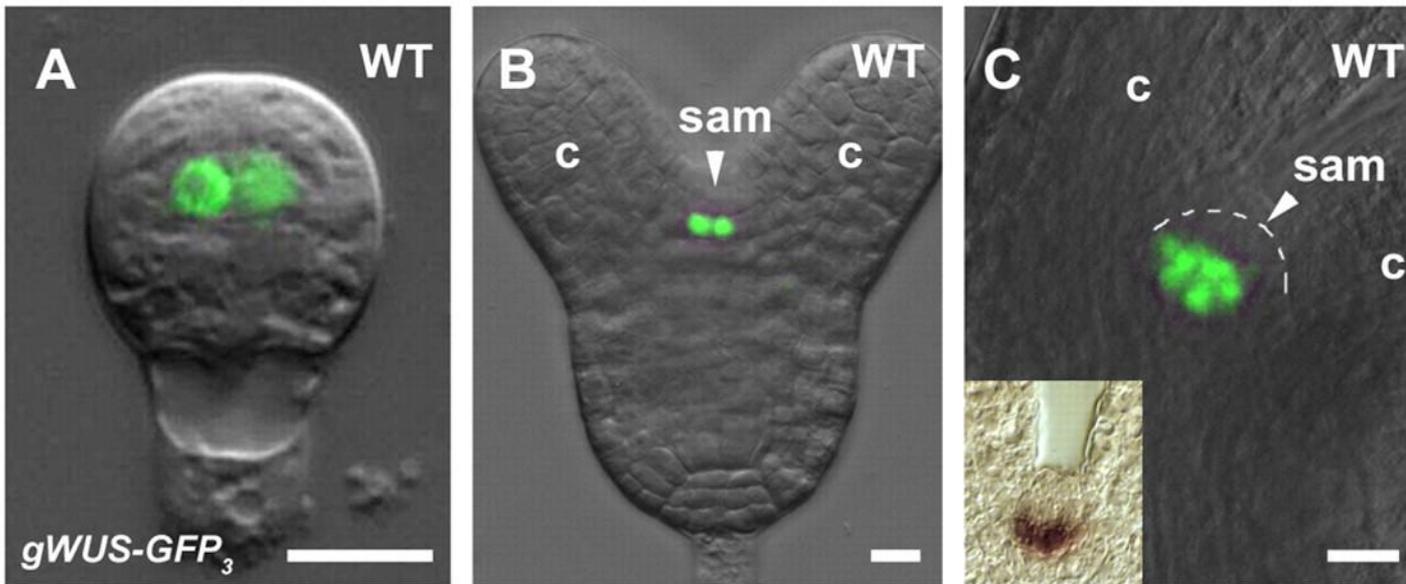
WUS est nécessaire et suffisant pour la formation de cellules souches

Le domaine d'expression de *WUS* spécifie le **Centre Organisateur (CO)** du MAC



Expression *in situ* de *WUS* au sein du MAC

WUS est exprimé dès le stade 16 cellules pour la mise en place des cellules souches



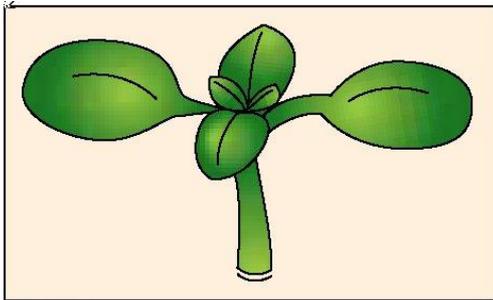
16 cellules

Stade Coeur

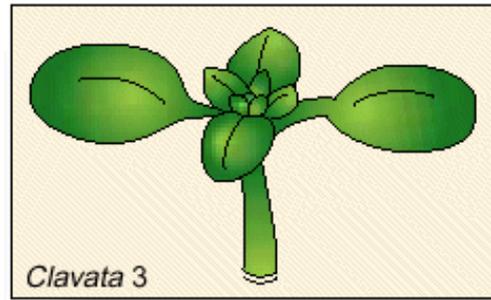
Embryon mature

→ Les mutants *clavata (clv)*

- Taille du méristème très élargie (1000X >)
- Augmentation de la production d'organes / type sauvage
- Augmentation du nombre de cellule de la zone centrale



Type sauvage

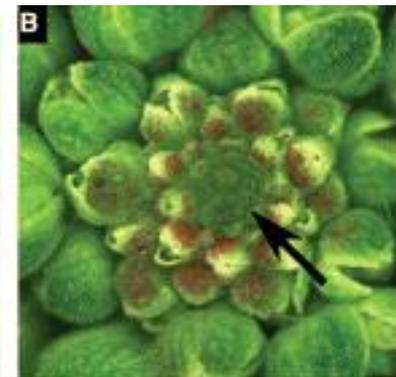
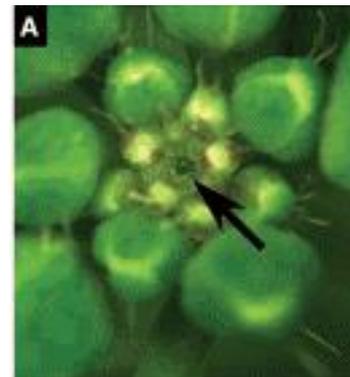


Clavata 3

WT

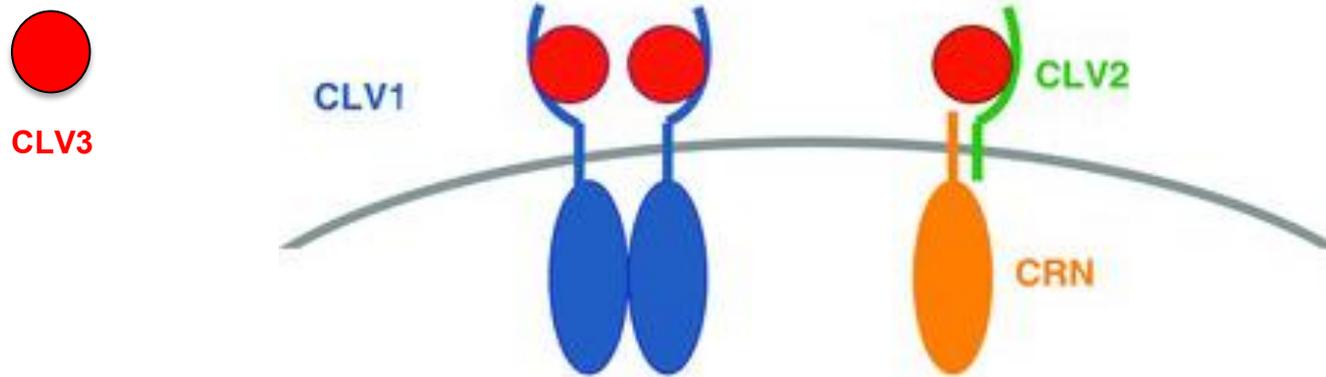
clv3

→ Les facteurs **CLAVATA** limitent les divisions des cellules souches

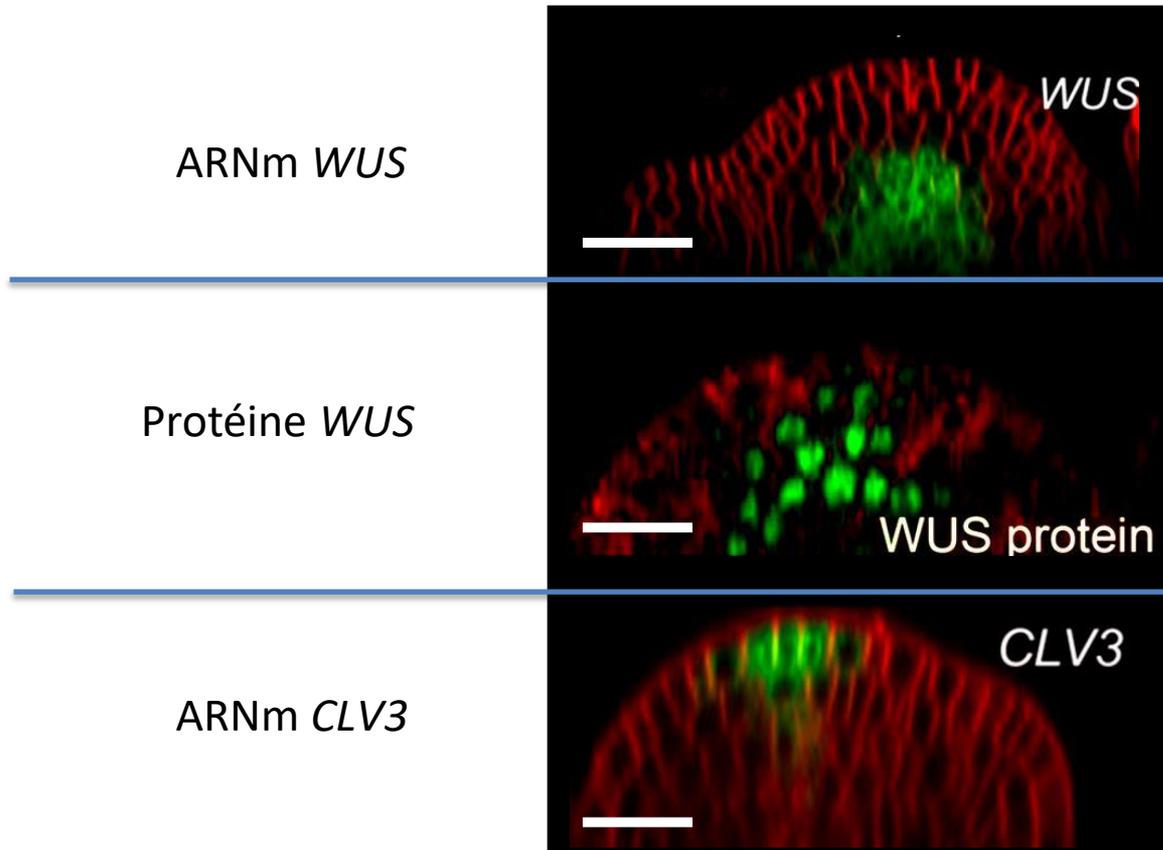


Les facteurs CLAVATA

- CLV3 = petit peptide secrété
- CLV1 = Récepteur transmembranaire avec un domaine kinase intra-cellulaire capable de fixer CLV3 sous forme d'un **homodimère**
- CLV2 = Protéine transmembranaire proche de CLV1 mais qui ne possède pas de domaine kinase intracellulaire. S'associe à CRN (CORYNE) qui possède uniquement un domaine kinase intracellulaire. Ils s'associent en **hétérodimère** pour se lier à CLV3.

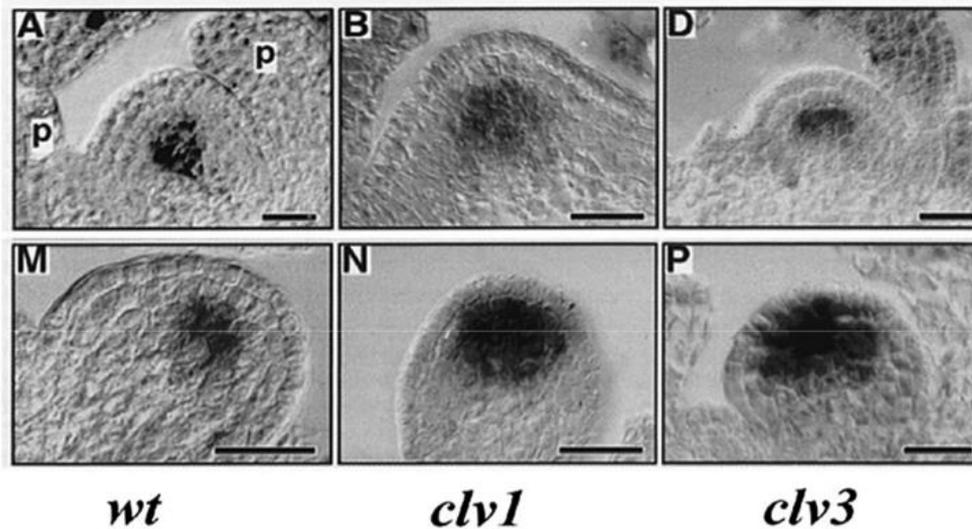


WUS est transporté via les plasmodesmmes et active l'expression de *CLV3* dans les cellules supérieures du MAC (couches L1 et L2 de la ZC)

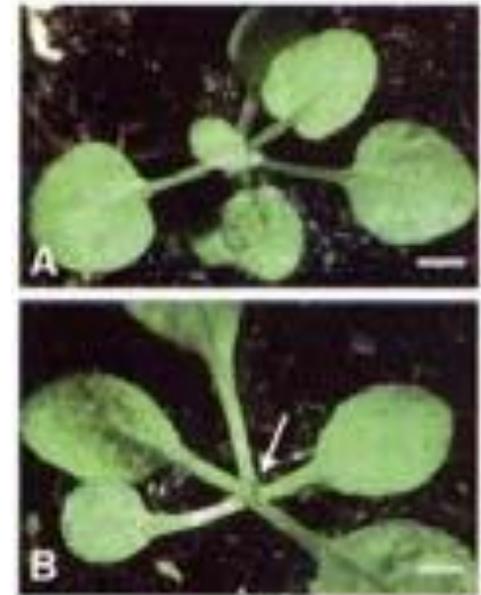


➔ Rôles antagonistes de WUS et CLV:

Expression de *WUS* dans les mutants *clv1* & *clv3*



Une surexpression de
CLV3 mime le phénotype
WUS



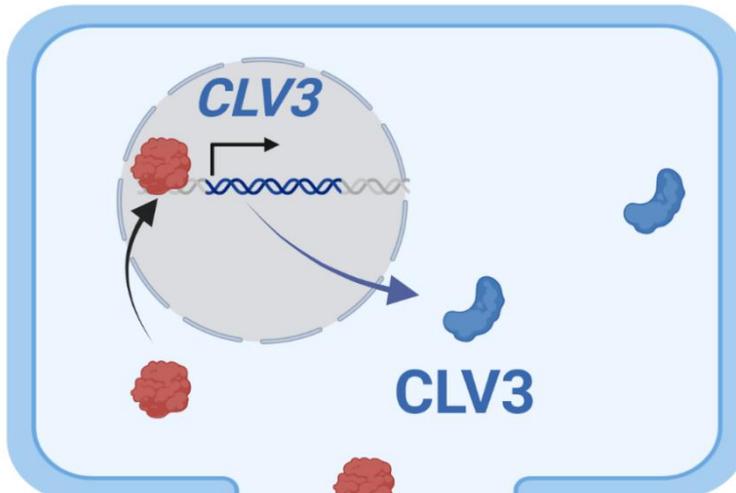
WT

CLV3 OE

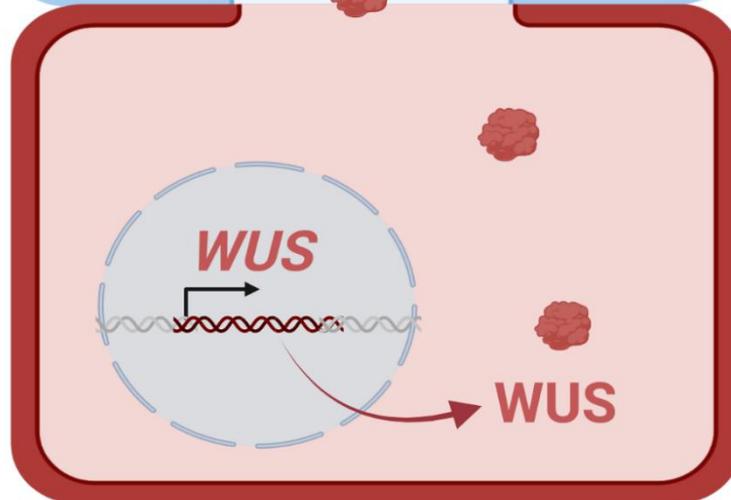
CCL: CLV1 et CLV3 inhibent l'expression de
WUS en dehors du centre organisateur

Boucle de rétroaction WUS/CLV permet le maintien de la taille du MAC

Cellule de la zone centrale

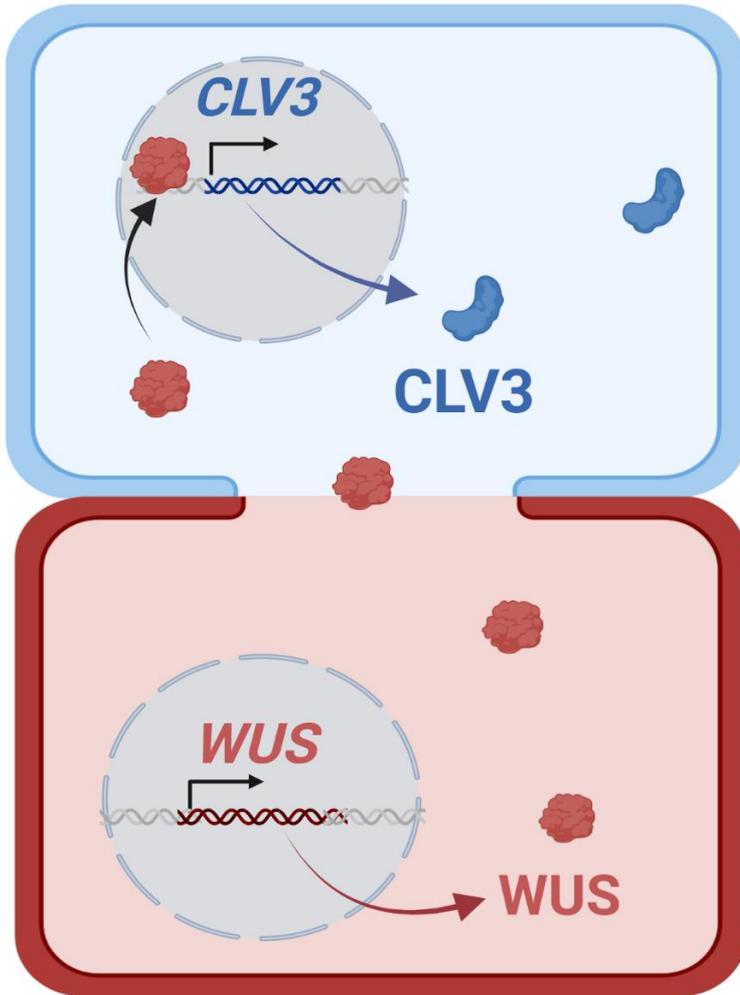


WUS est exprimé dans les cellules du CO. Il est transporté via les plasmodesmes et **active l'expression de CLV3** dans les cellules supérieures du MAC (couches L1 et L2 de la ZC)

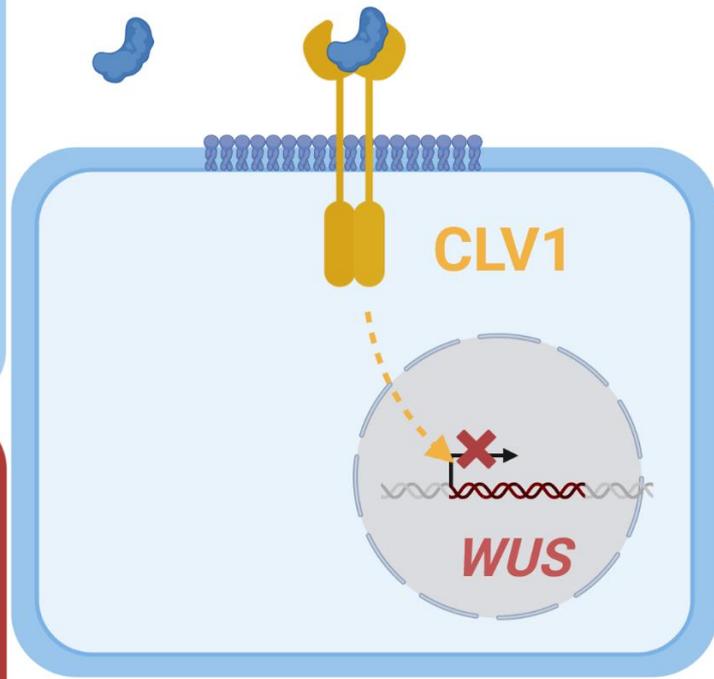


Cellule du Centre Organisateur

Cellule de la zone centrale

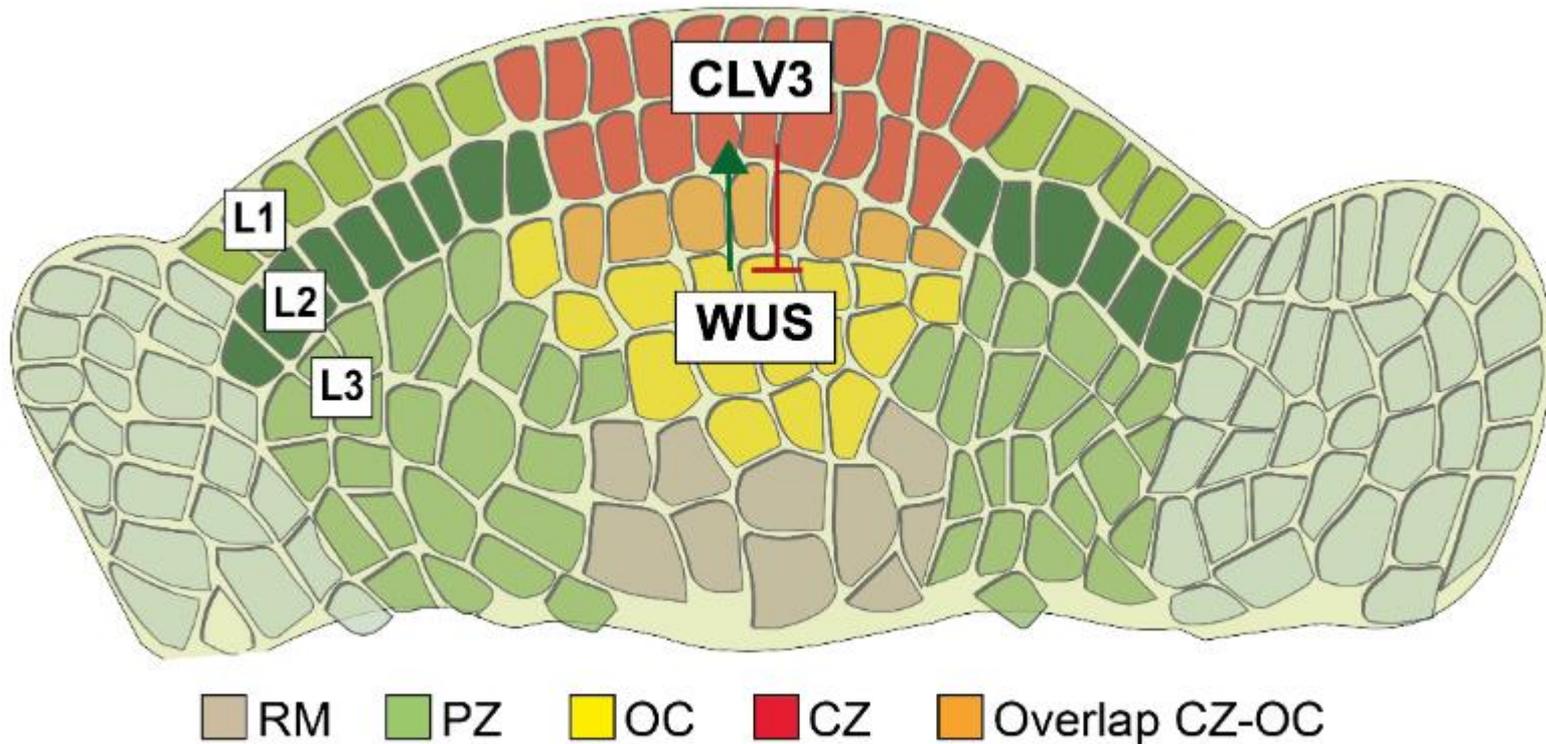


Cellule du Centre Organisateur



→ CLV3 diffuse dans les couches sous-jacentes et se fixe au récepteur CLV1 ou CLV2/CRN

→ La fixation de CLV3 entraine la répression de l'expression de *WUS* en dehors des cellules du CO

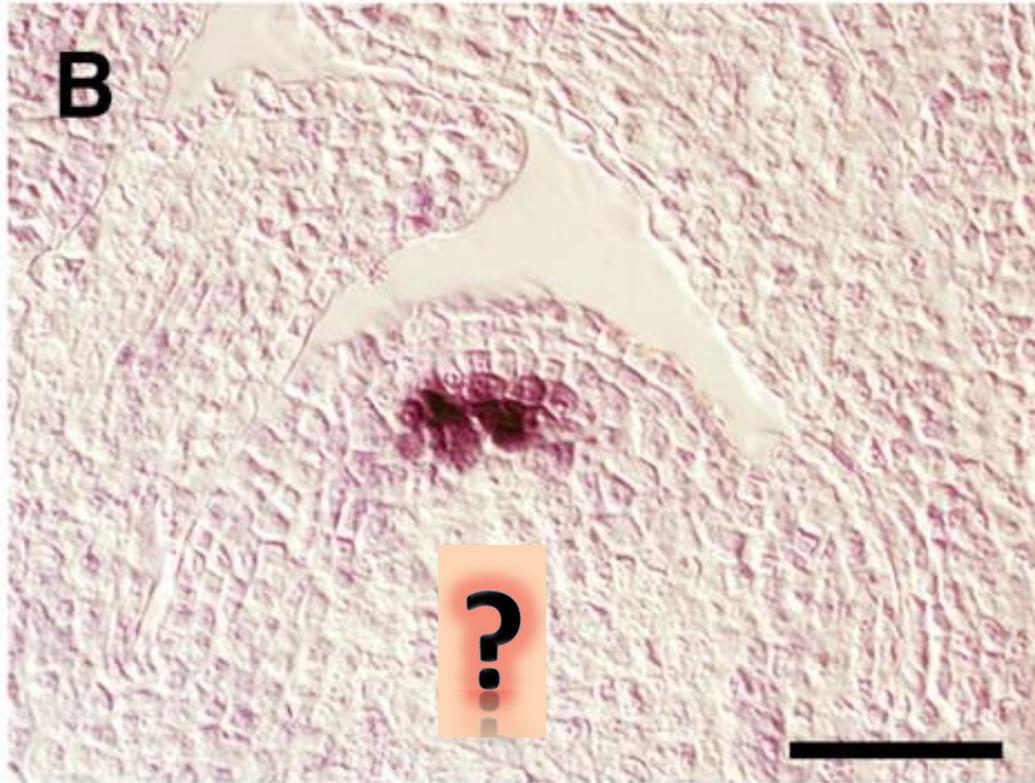


→ Le MAC dispose d'un **frein** (CLV) et d'un **accélérateur** (WUS) pour contrôler son fonctionnement et la production de nouveaux organes

→ Système qui fonctionne comme une boucle d'autorégulation autonome.

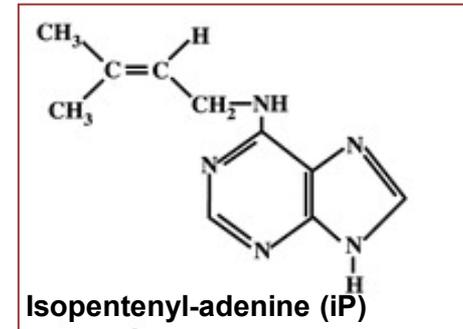
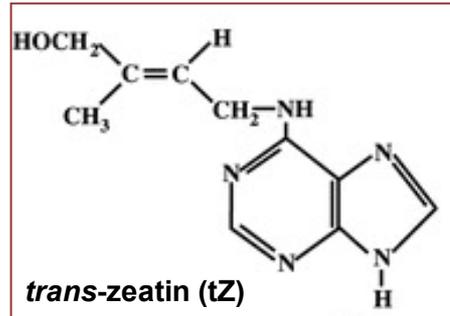
→ Permet le maintien d'une taille constante du MAC

Comment l'expression de WUS est-elle maintenue dans le Centre Organisateur?



→ Rôle des cytokinines

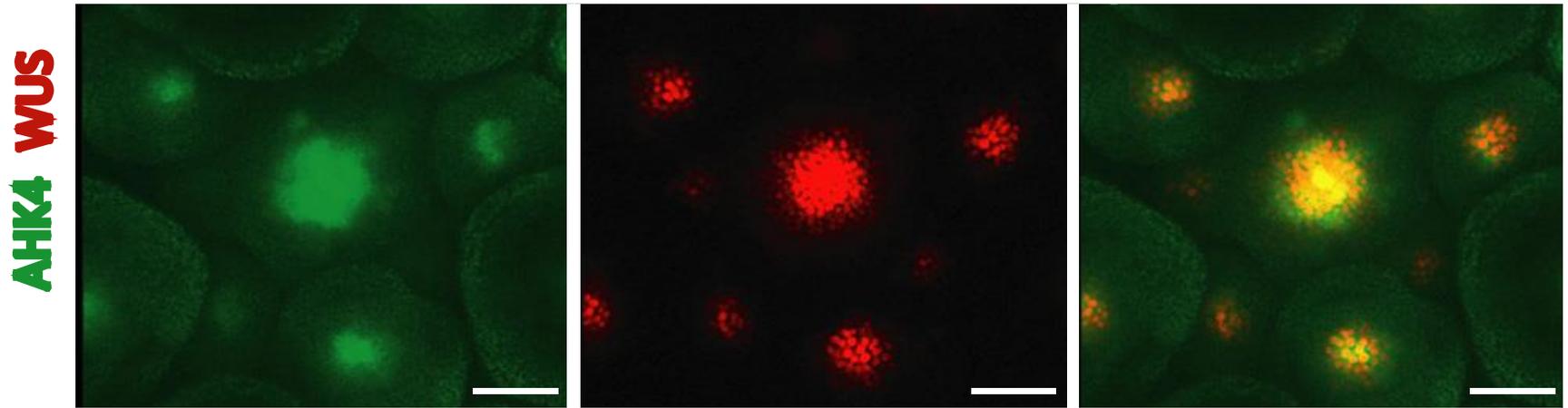
Cytokinins are N⁶-substituted adenine-related compounds.



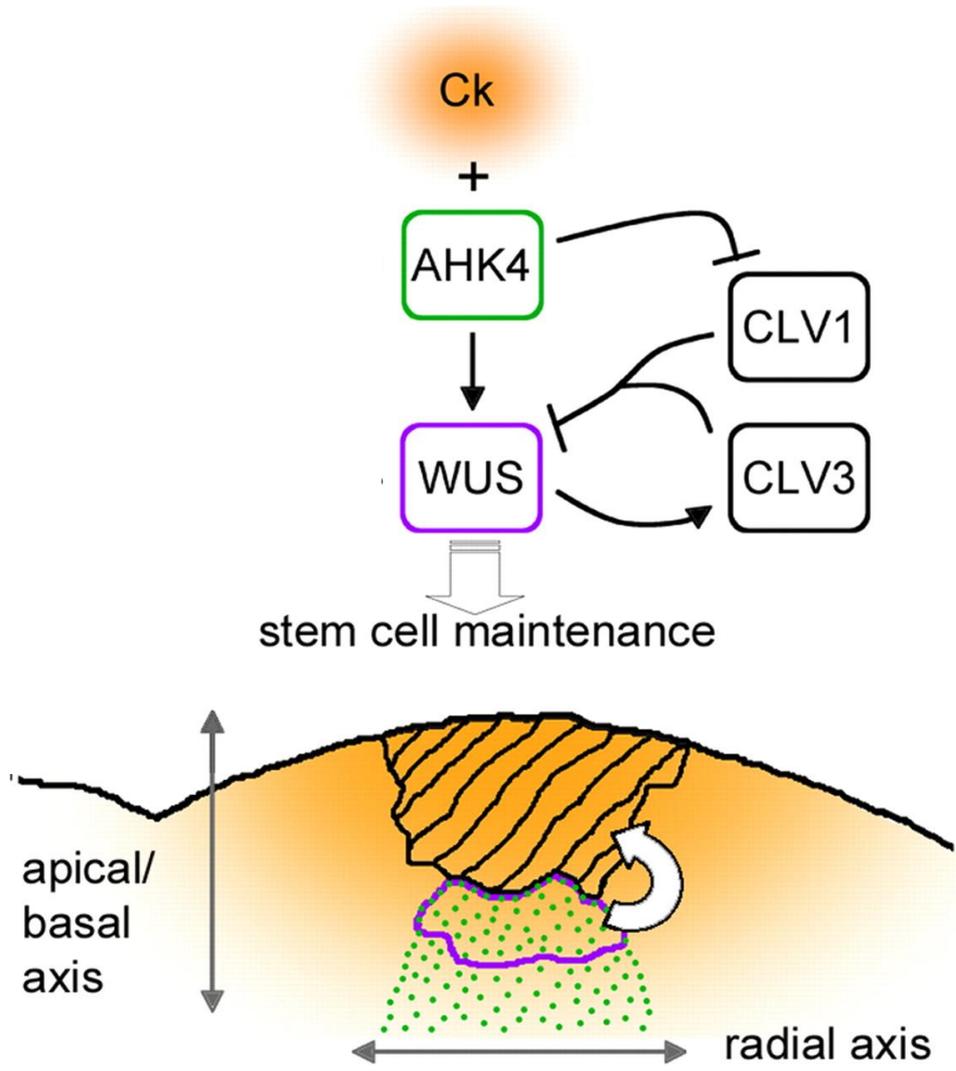
AHK4 = Récepteur Transmembranaire aux cytokinines

Action précise des cytokinines dans le CO

Expérience de co-localisation du récepteur AHK4 et de l'expression de *WUS*

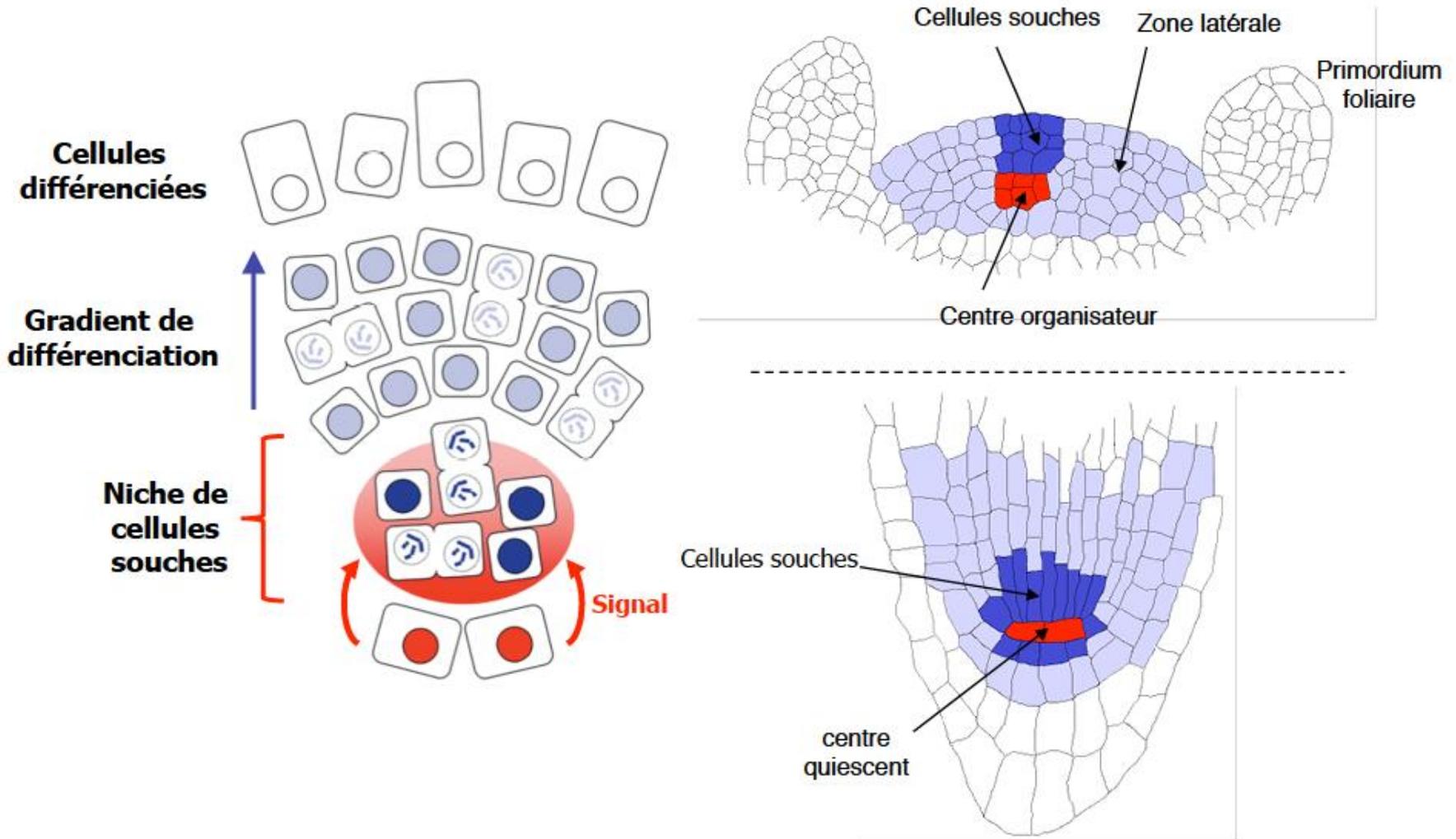


Boucle de rétroaction Cytokinines/Wuschel dans le centre organisateur



Comparaison des niches de cellules souches caulinaires et racinaires

Centre Organisateur = Centre Quiescent = Réservoir de Cellules souches

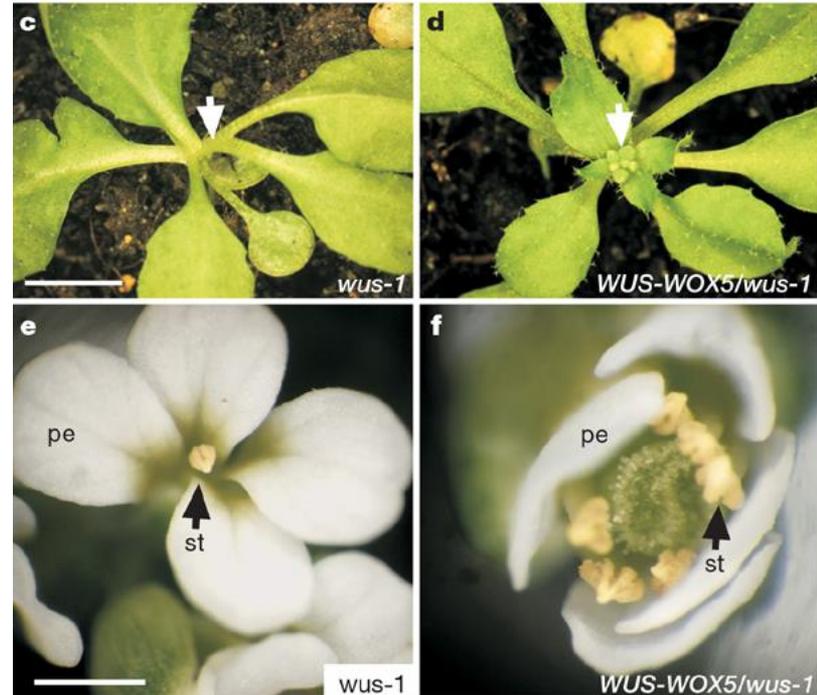
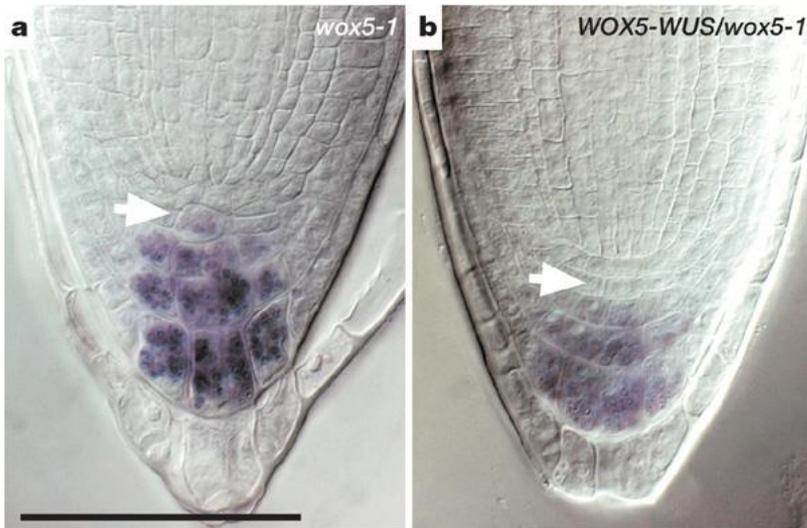


➔ **WOX5 = Gène marqueur du centre organisateur**

➔ **WUS et WOX5 sont interchangeables entre les 2 méristèmes apicaux**

Complémentation de *wus* par WOX5

Complémentation de *wox5* par WUS



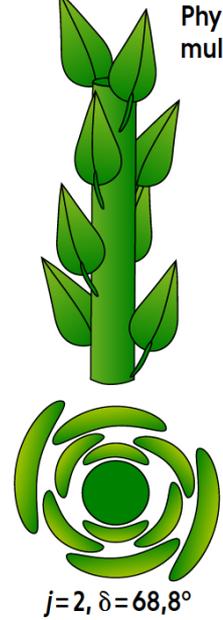
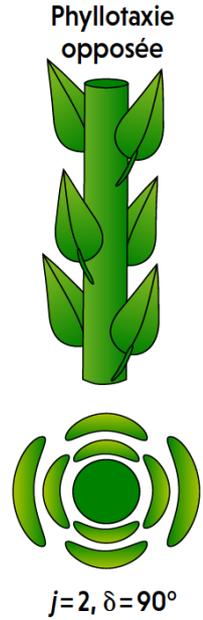
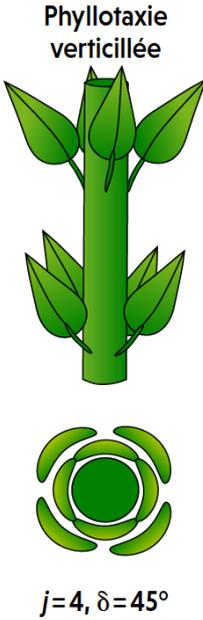
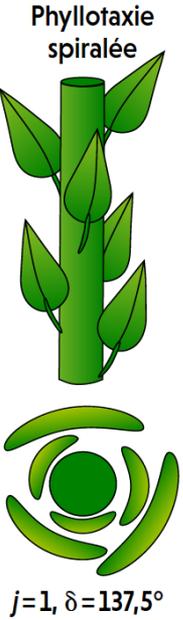
Cellules du CQ

3-3 La Phyllotaxie

On appelle **phyllotaxie** l'ordre dans lequel sont implantés les feuilles ou les rameaux sur la tige d'une plante, ou, par extension, la disposition des éléments d'un fruit, d'une fleur, d'un bourgeon ou d'un capitule.



oe_

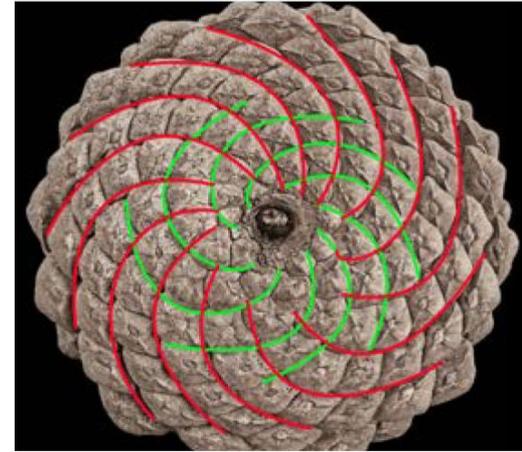
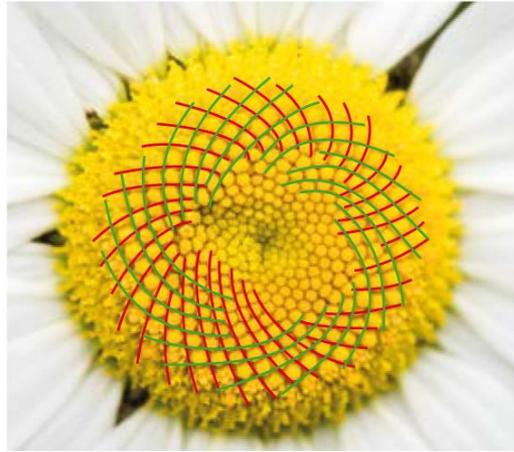
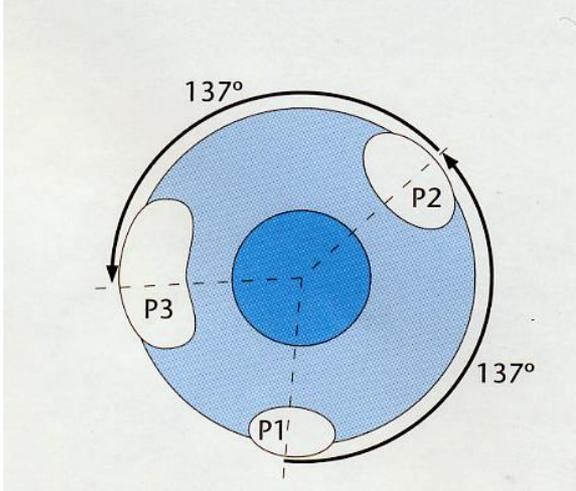


Les principaux types de phyllotaxie, caractérisés par le nombre j d'organes insérés au même nœud de la tige, et par l'angle δ de divergence entre les organes successifs.

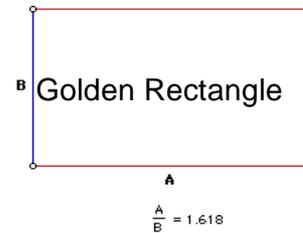
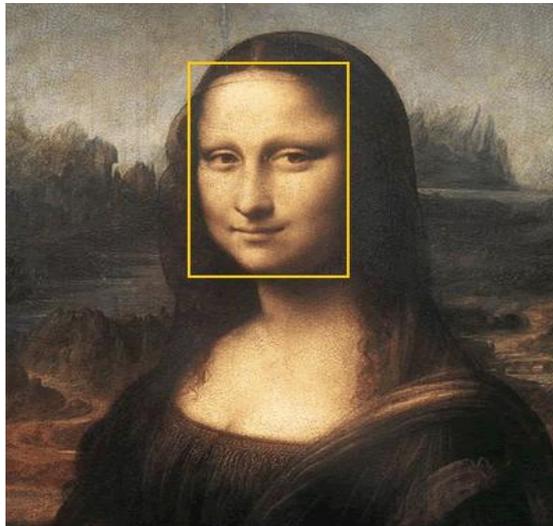
La spirale: une forme très répandue dans la nature



L'angle d'or: 137°



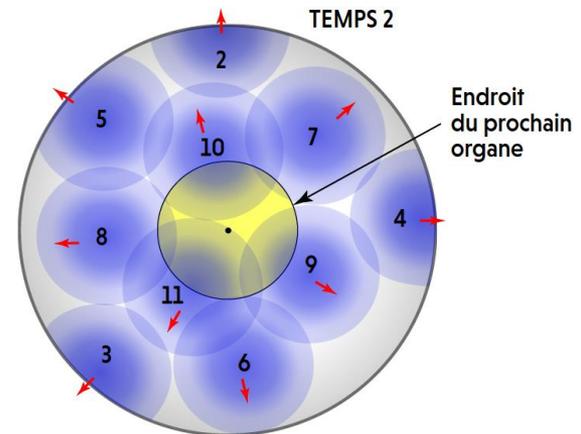
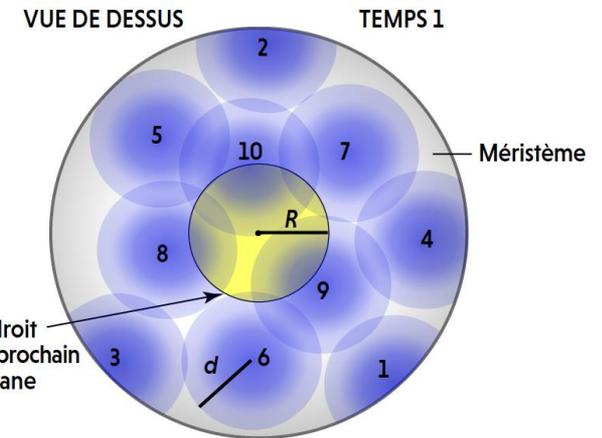
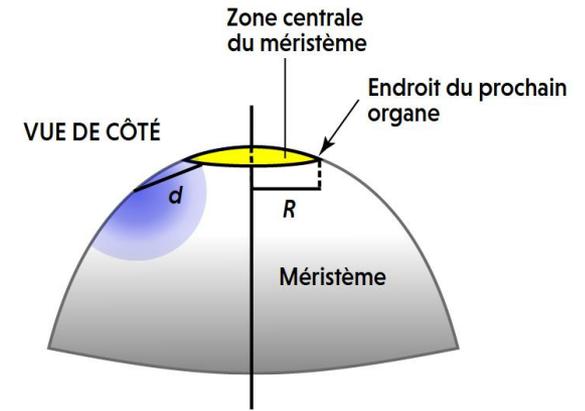
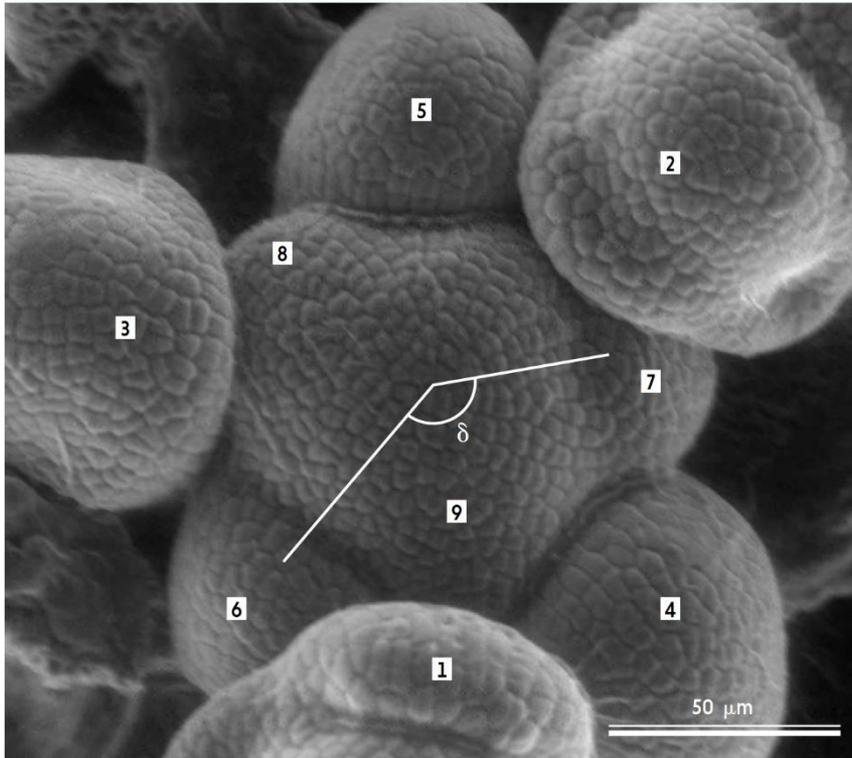
The golden ratio is visually pleasing and used by artists and architects



The lengths of the sides differ by the golden ratio

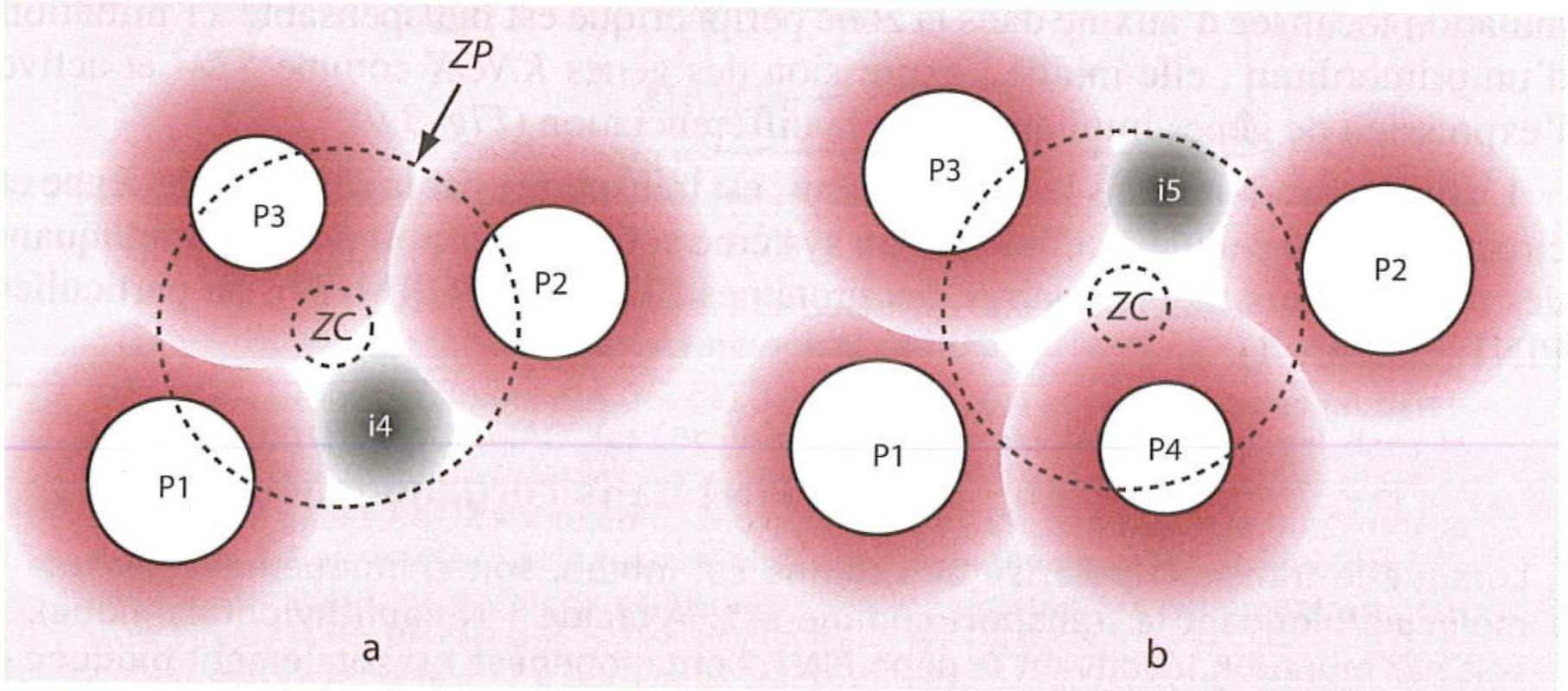


Possible de prévoir l'emplacement du primordia suivant



Modèle des champs inhibiteurs

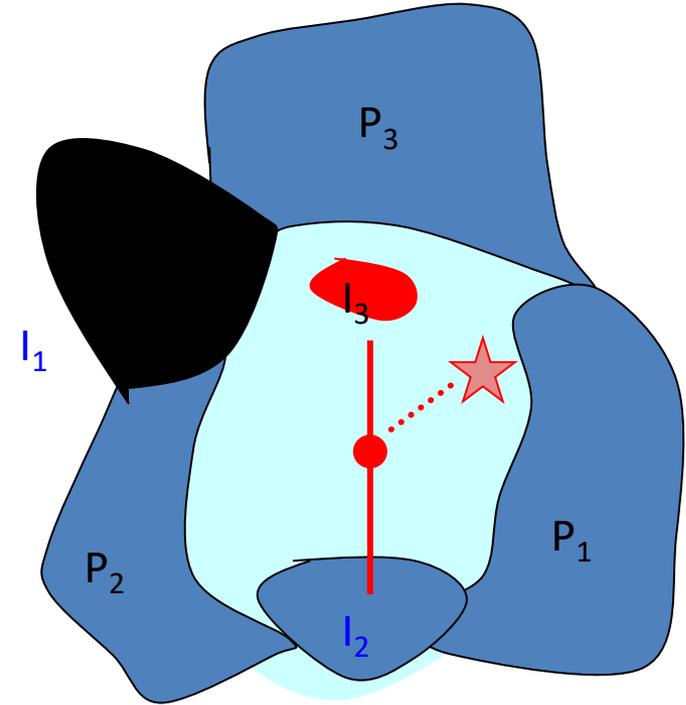
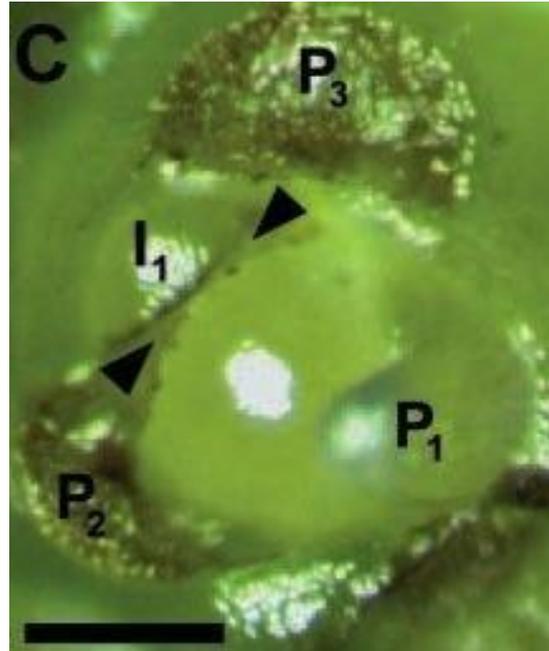
Hofmeister 1868; Wardlaw 1949



P = Primordia
I = Initium = Primordia naissant

Morot-Gaudry et al. Dunod 2009

Experiences de micro-dissection



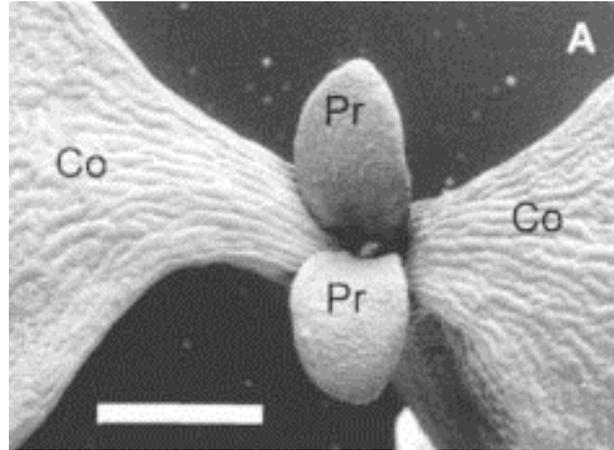
Au lieu d'émerger à sa position attendue (étoile), I3 s'est déplacé vers I1

Cette expérience montre que la position I1 influence la position I3

Le rôle de l'auxine

L'auxine est **nécessaire** et **suffisante** pour la formation des organes caulinaires (mutant *pin1*)

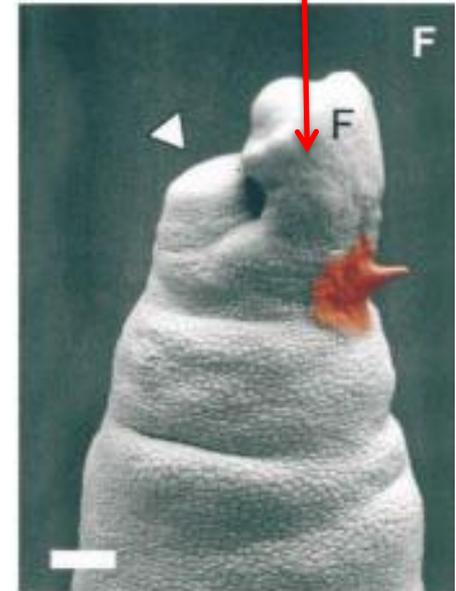
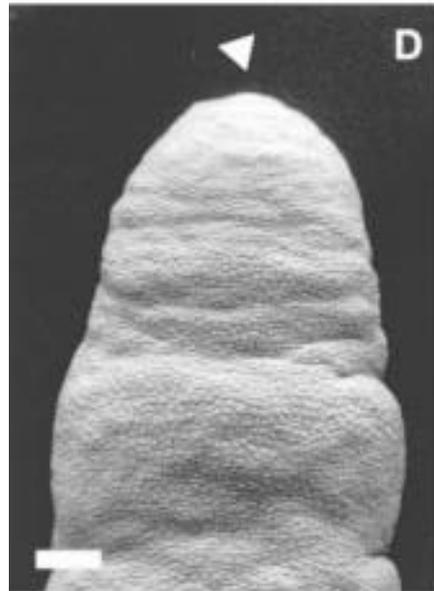
Plante WT



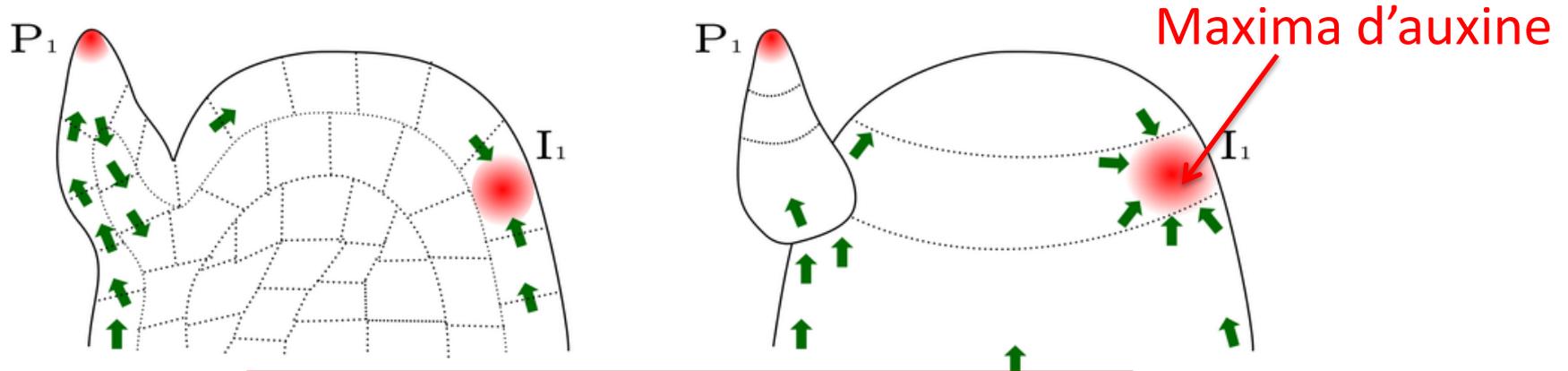
Dépôt d'auxine

Primordia foliaire

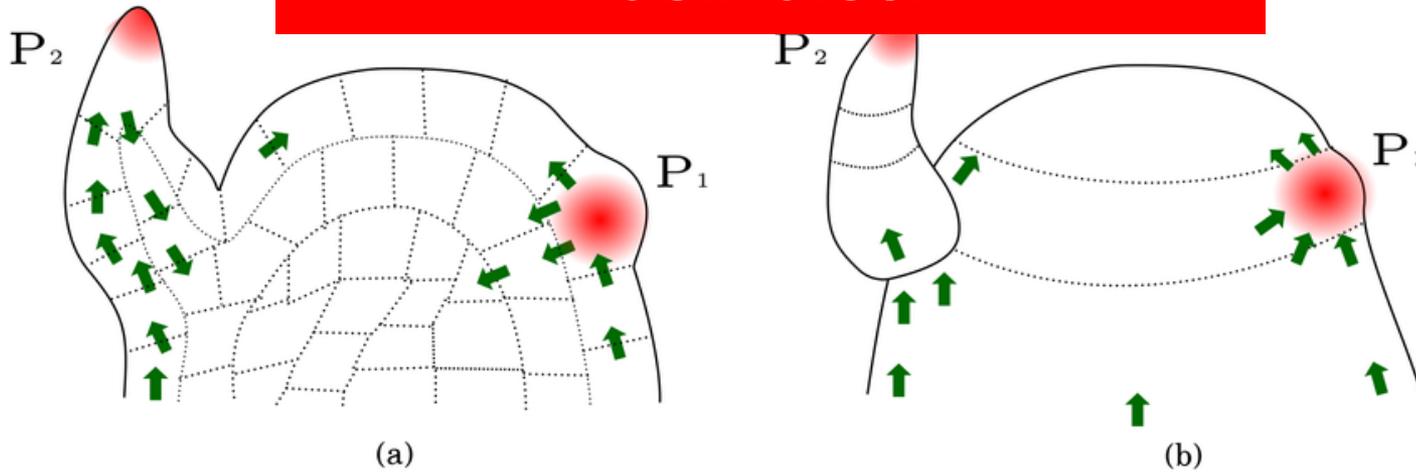
Mutant *pin1*



→ Chaque nouvel organe crée un puit d'auxine qui réduit la concentration en hormone à proximité



Modèle d'absence de champ activateur

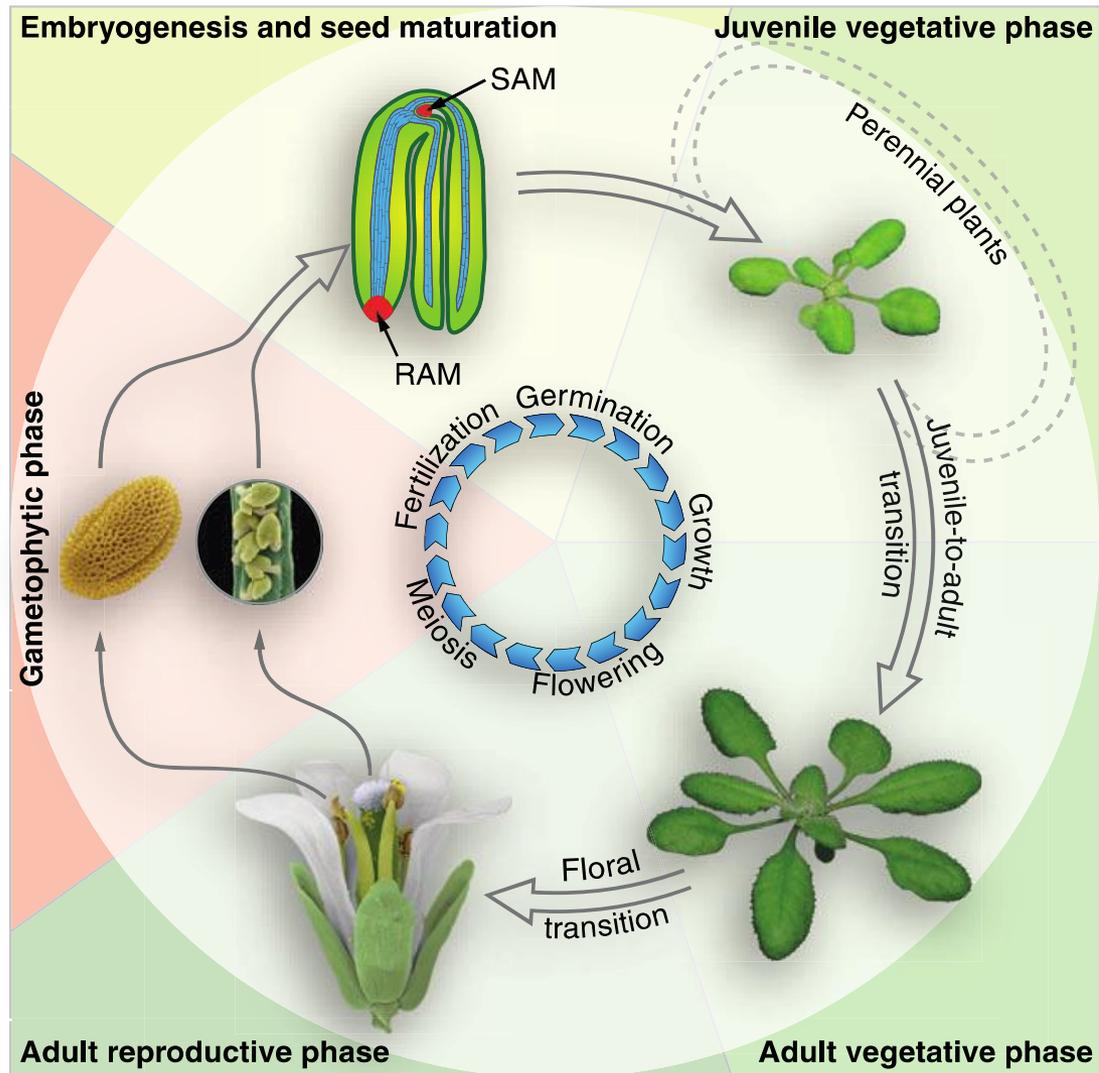


→ Transport polaire de l'auxine

④ Passage de la phase végétative à la phase reproductive

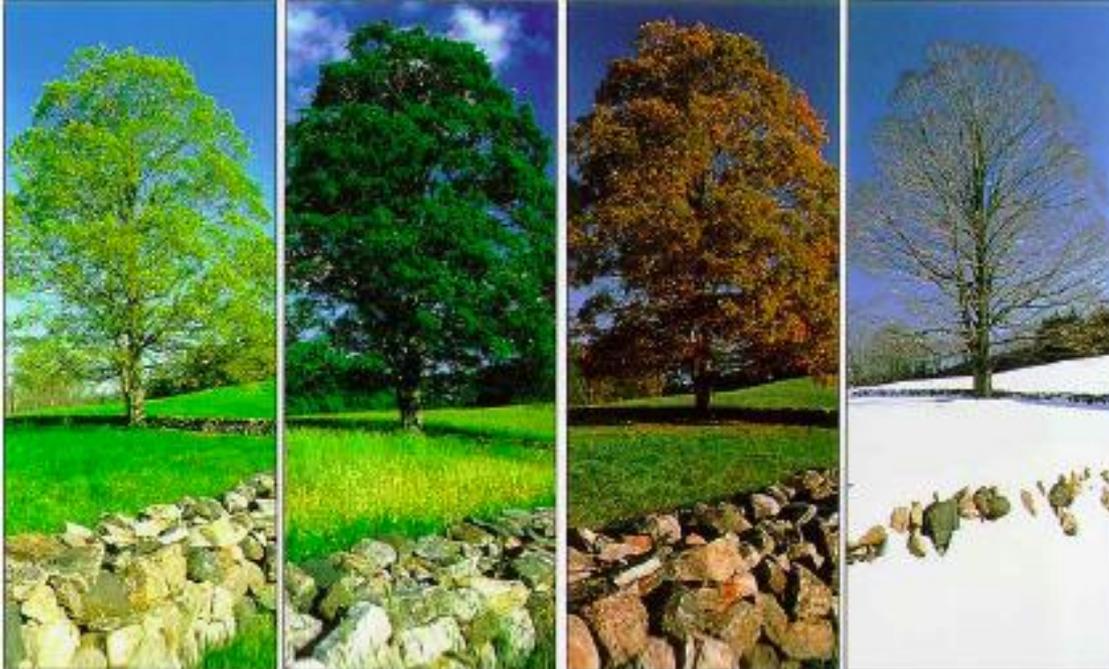


Les transitions de phases

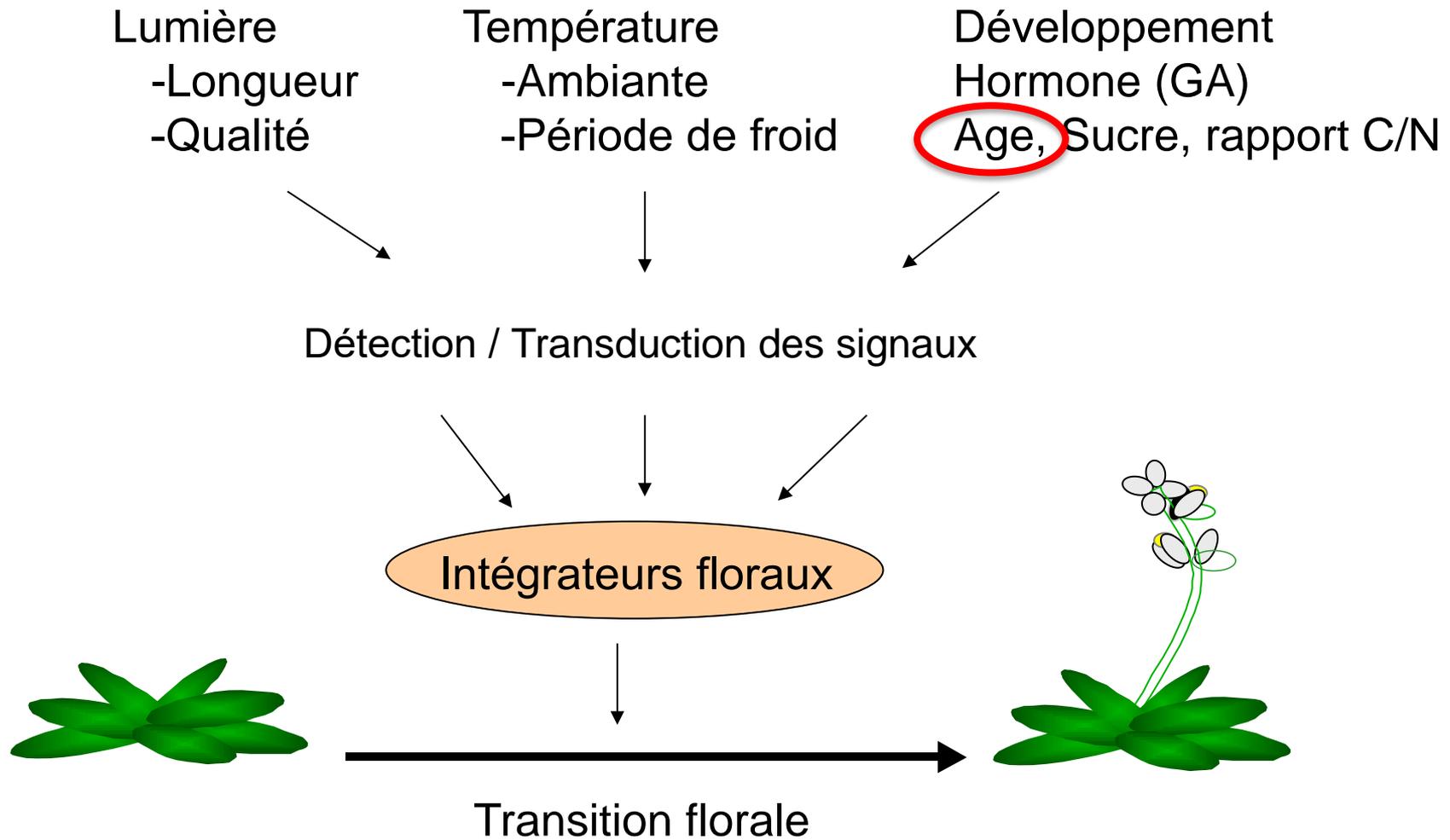


Induction florale

- Très variable d'une espèce à l'autre (pas de consensus)
- Permet d'assurer la reproduction sexuée à une période « **propice** » de l'année.
- Facilite la pollinisation croisée grâce à la **synchronisation de la floraison** des individus au sein d'une espèce.



Intégration de plusieurs voies



Durée de la phase juvénile très variable

espèce	durée phase juvénile
rosier	20 - 30 jours
vigne	1 an
pommier	4 - 8 ans
citronnier	5 - 8 ans
lierre	5 - 10 ans
érable sycomore	15 - 20 ans
chêne sessile	25 - 30 ans
hêtre	30 - 40 ans

induction florale



intégrateurs floraux



gènes d'identité du
méristème floral



gènes d'identité du
méristème végétatif

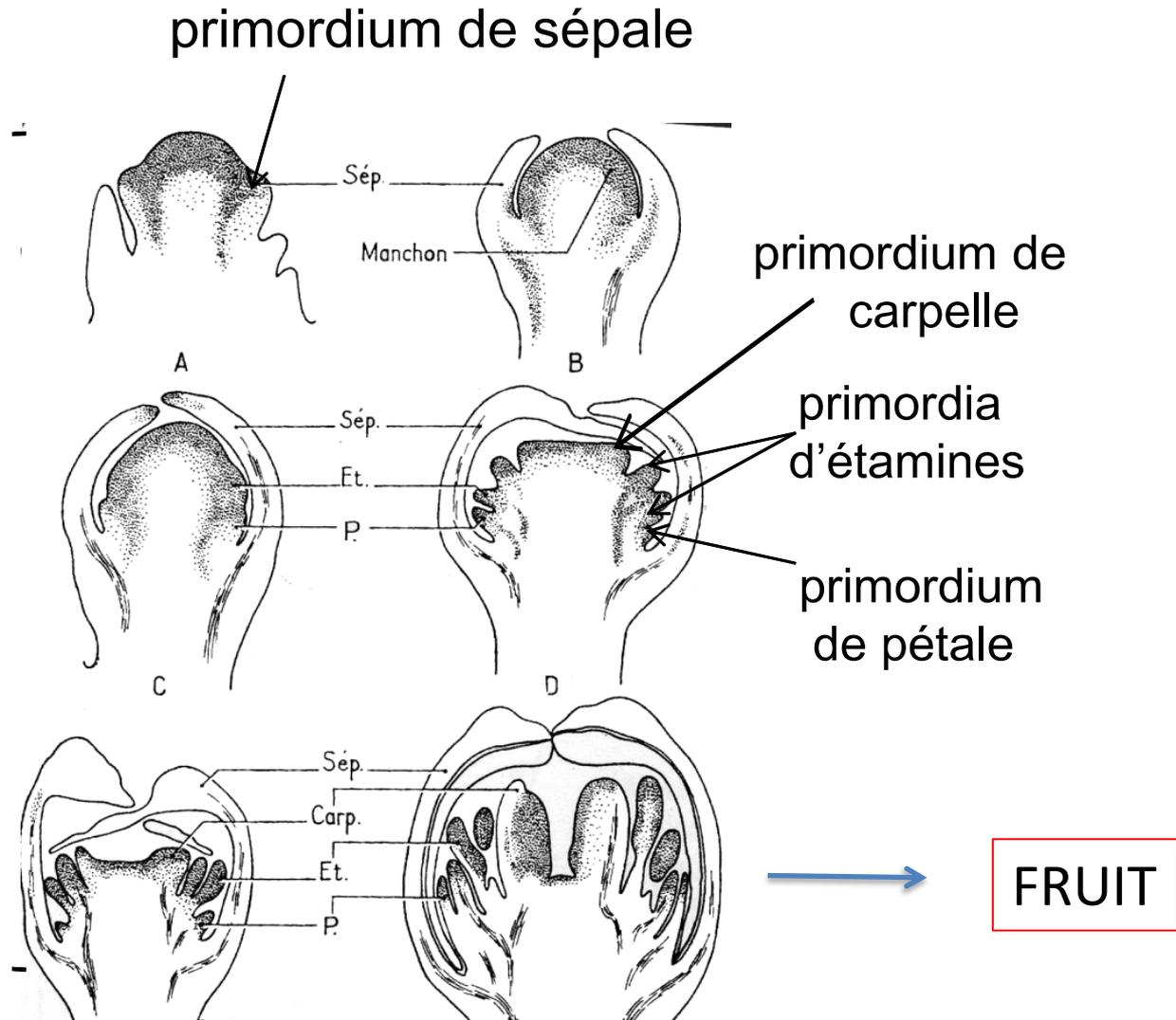


méristème
végétatif



méristème
reproducteur

La construction de la fleur correspond à un arrêt du développement continu et à **une disparition des cellules souches**



Un gène essentiel pour le développement la fleur: *AGAMOUS* (*AG*)

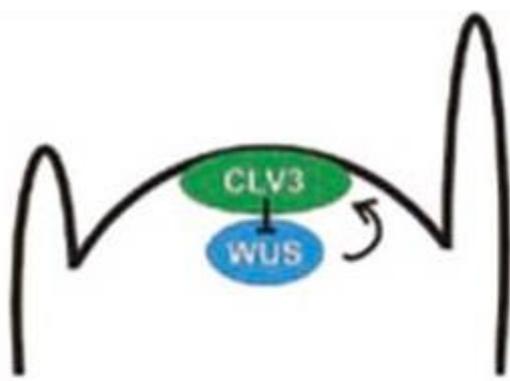


Type sauvage

Mutant *ag*: des fleurs dans des fleurs

AG est nécessaire pour la disparition des cellules souches au sein du MAC

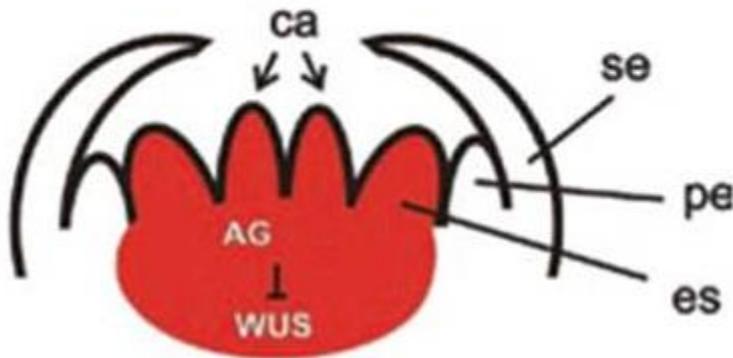
Boucle de rétroaction WUS/AGAMOUS



Stade végétatif



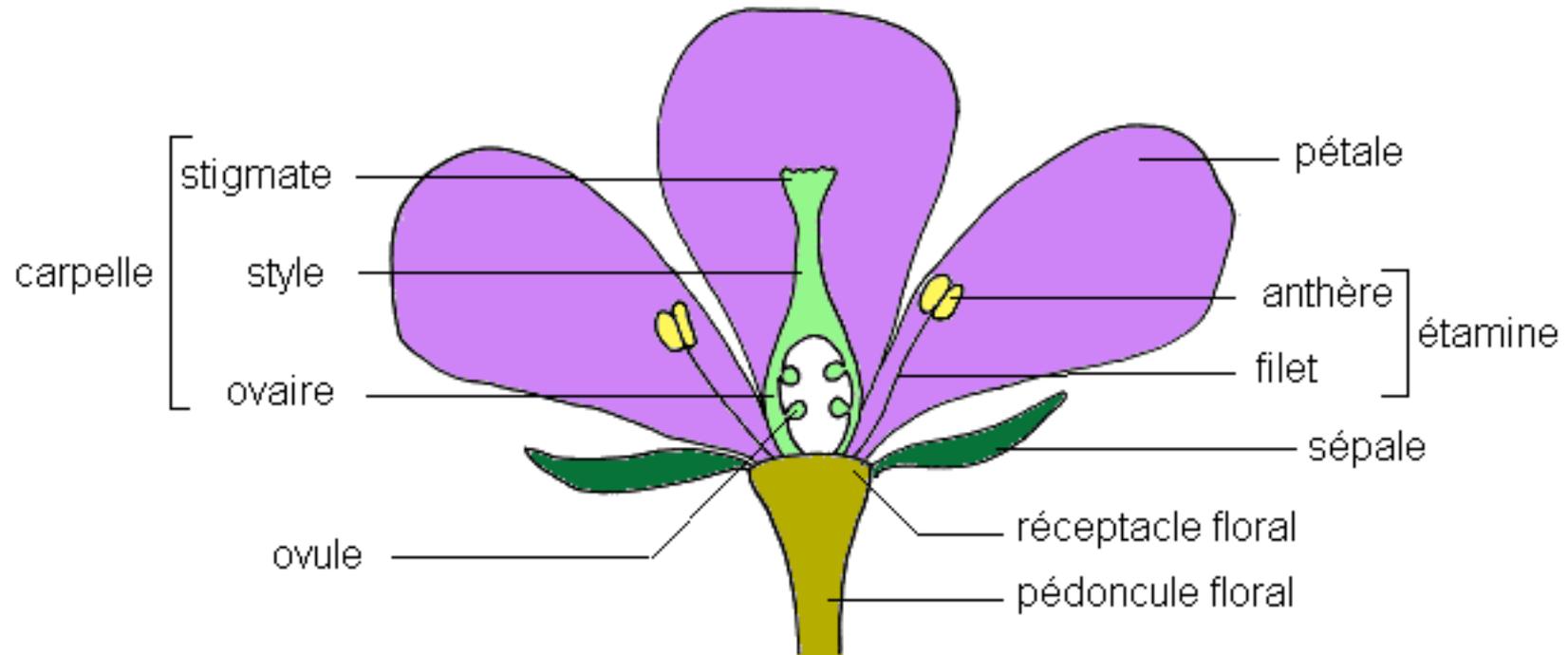
Induction florale: transformation MV en MF:
WUS induit l'expression de AG



Morphogenèse florale:
AG inhibe l'expression de WUS
Terminaison de la fleur

ca:= carpelle; pe = pétale; es = étamine; ca = carpelle ; MV = Méristème végétatif MF = Méristème floral

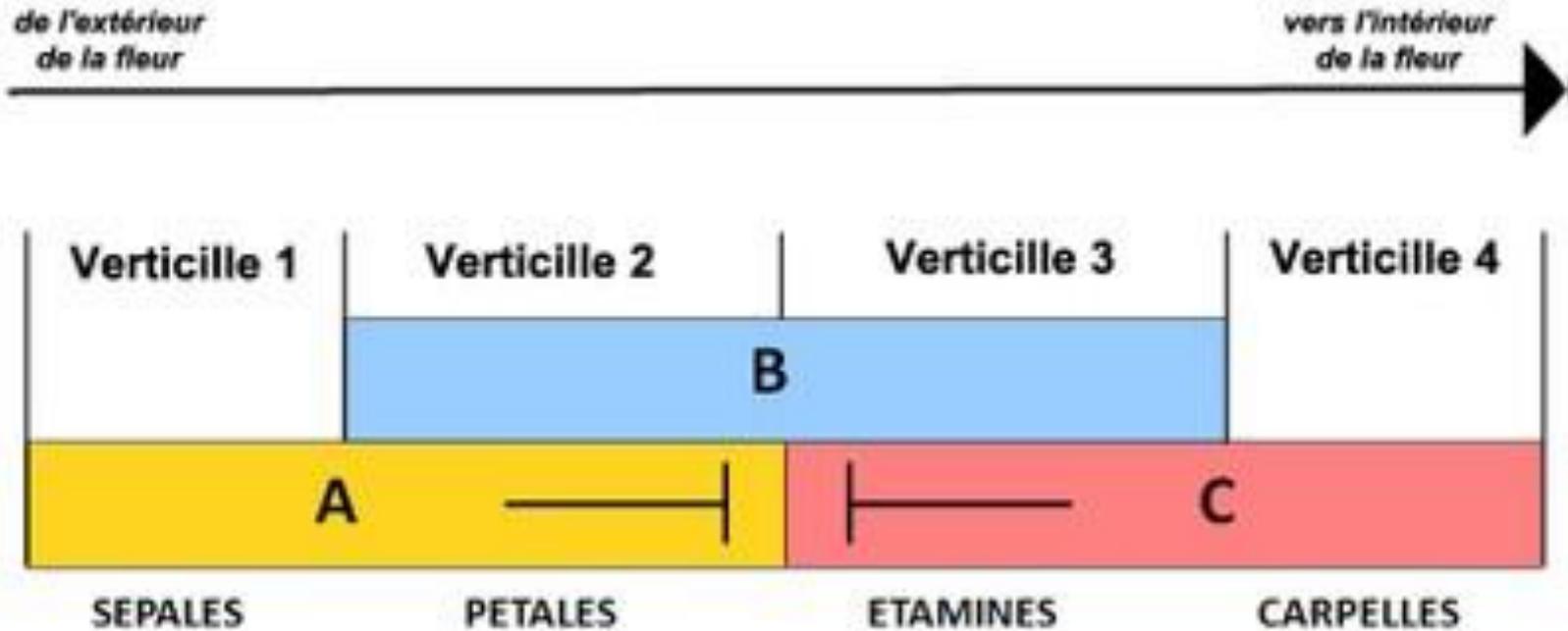
Une structure dont l'organisation est très conservée au sein des angiospermes



Coupe schématique d'une fleur

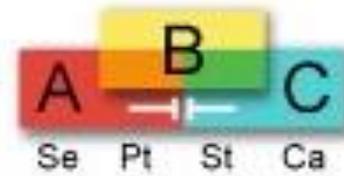


Le modèle ABC et la construction de la fleur



Identification de mutants homéotiques

Wild-type



A-function mutant



apetala2

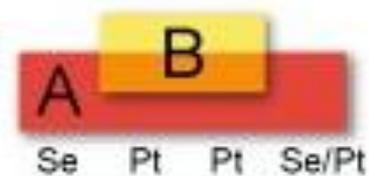
B-function mutant



pistillata

→ Phénotype du triple mutant ABC?

C-function mutant



agamous

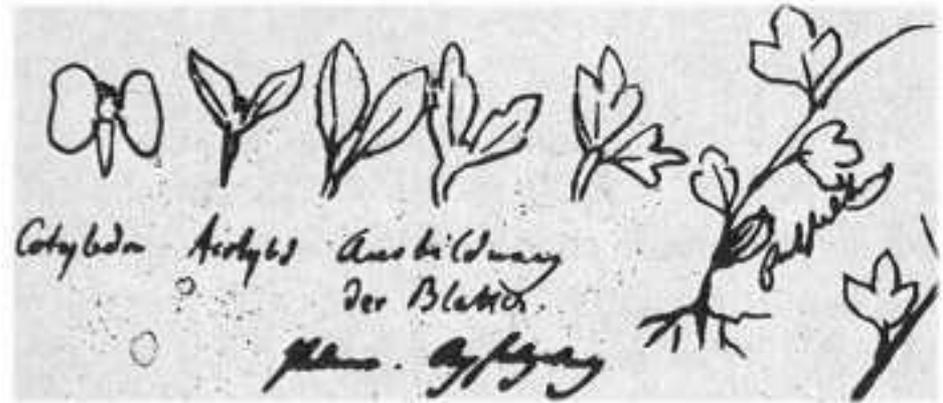
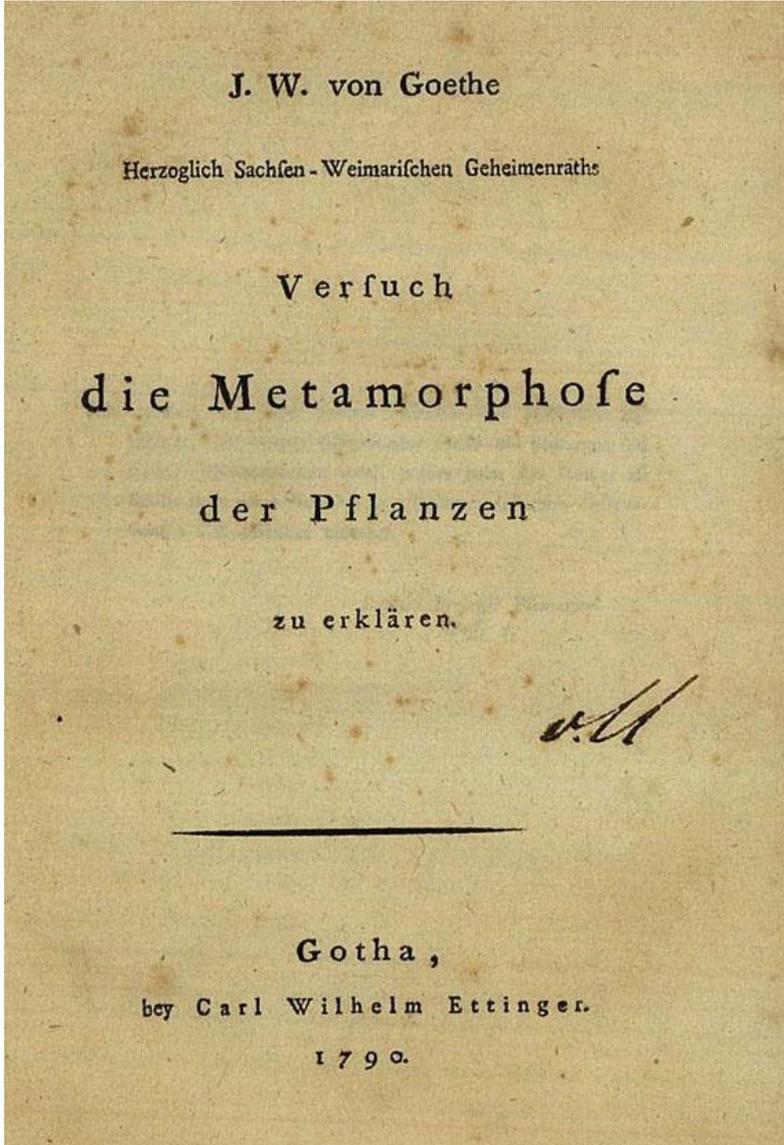


Type sauvage



Triple mutant A⁻B⁻C⁻

Goethe avait raison....

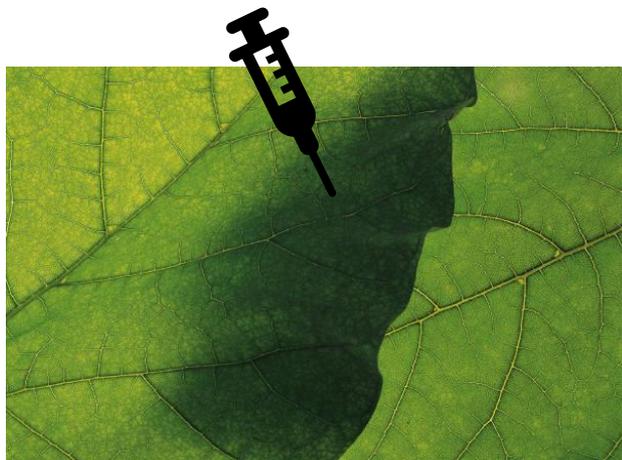


The Plant Journal (1996) 10(4), 663–677

Alteration of tobacco floral organ identity by expression of combinations of *Antirrhinum* MADS-box genes

« Expression of the organ identity genes outside the flower or inflorescence produced no effects, suggesting that additional factors are required to mediate their activity »

Transgénèse Facteur A + Facteur B

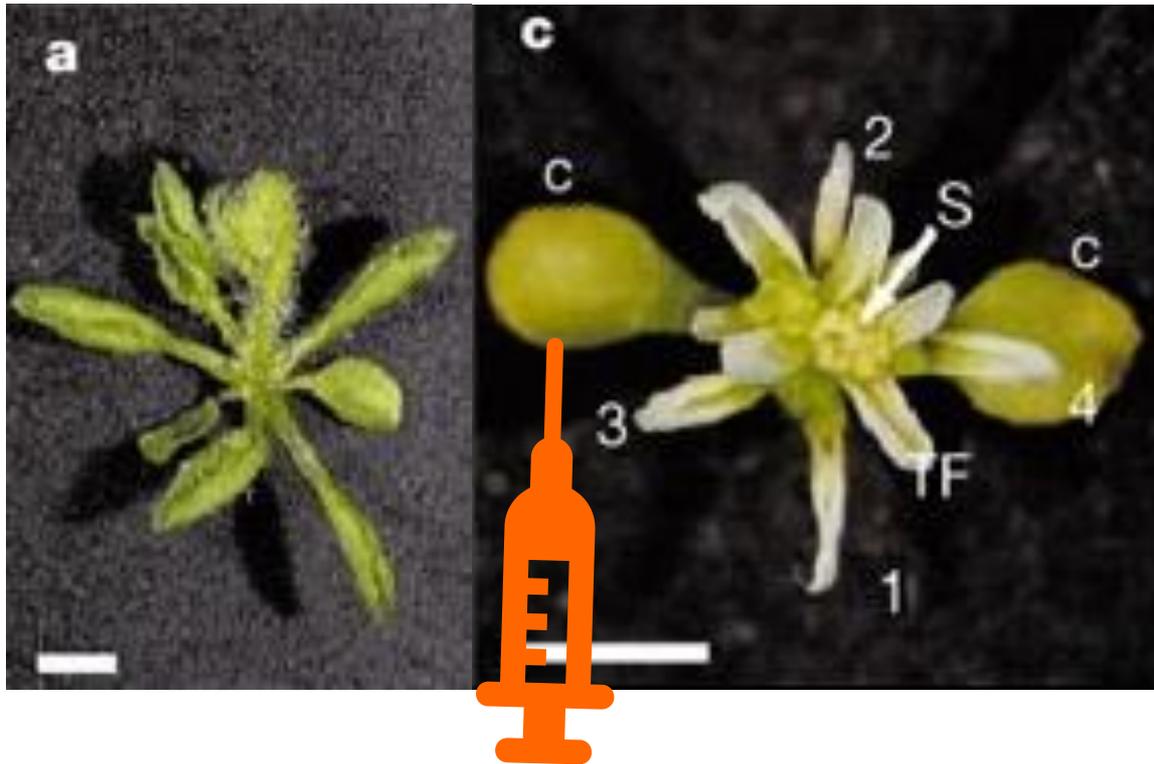


➔ Identification du quadruple mutant, muté dans les 4 gènes
SEPALLATA = Fonction E



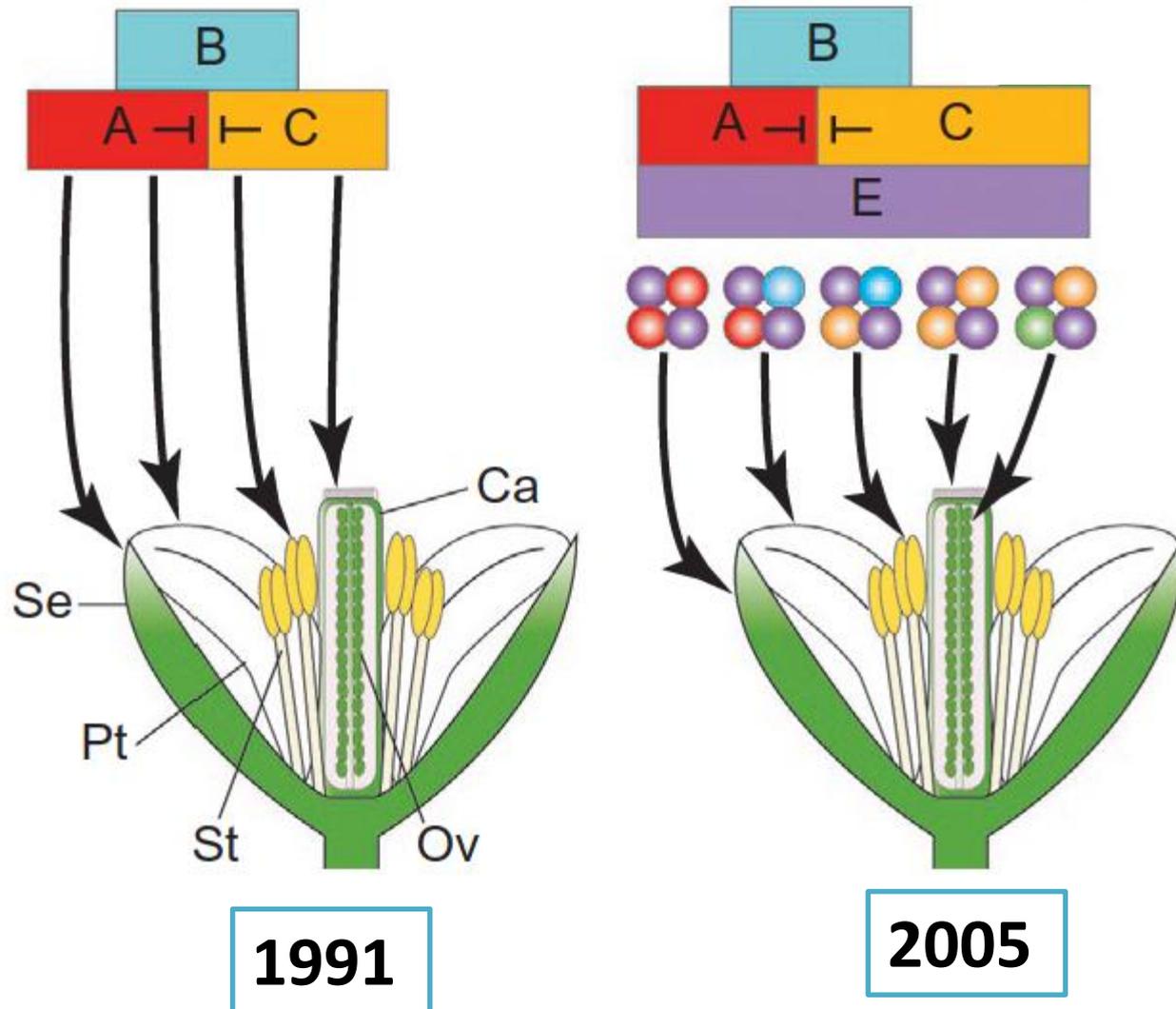
Ditta, G., et al . (2004).

Les facteurs des fonctions A, B et E sont suffisants pour transformer des feuilles en pétales

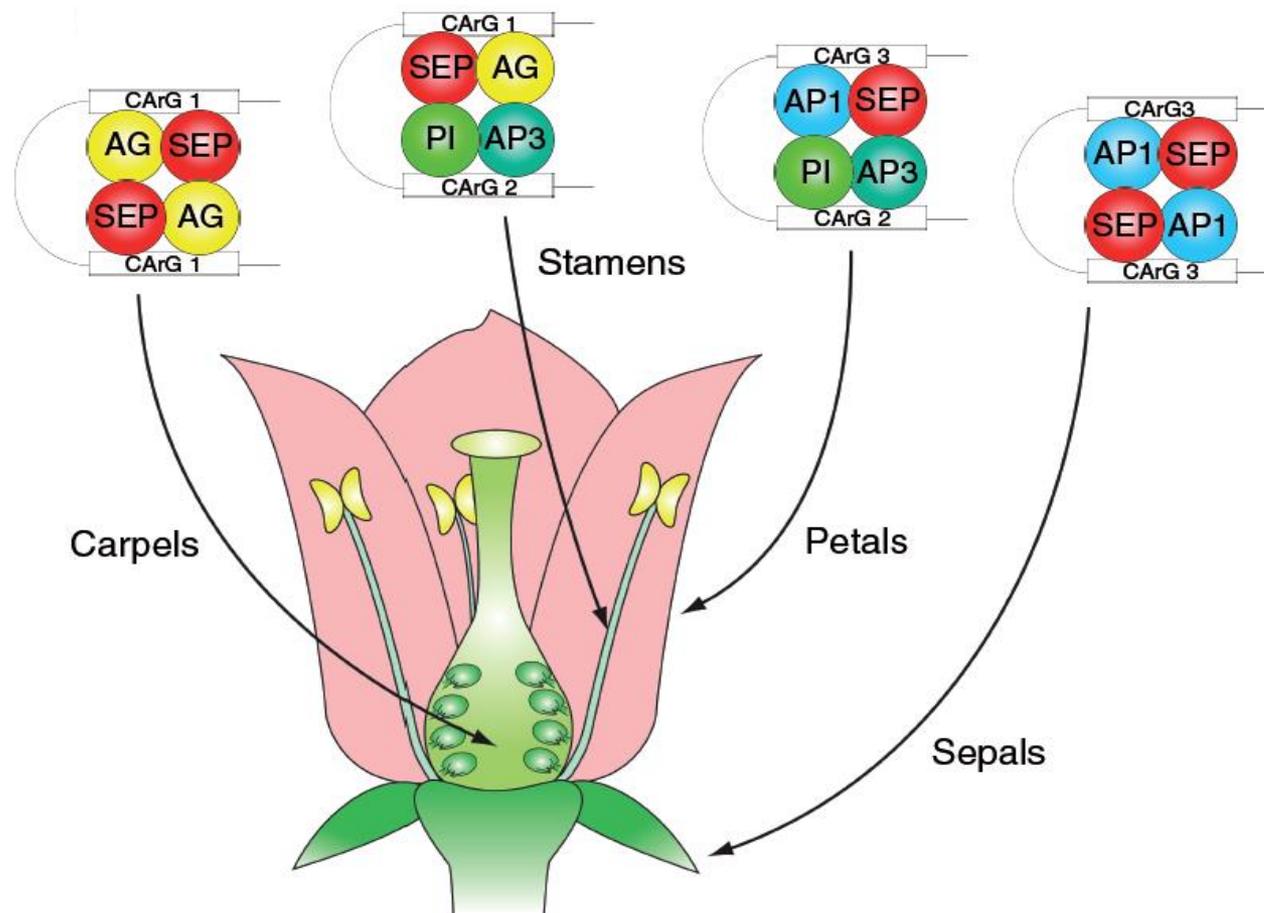


Transgénèse Facteurs A + B + E

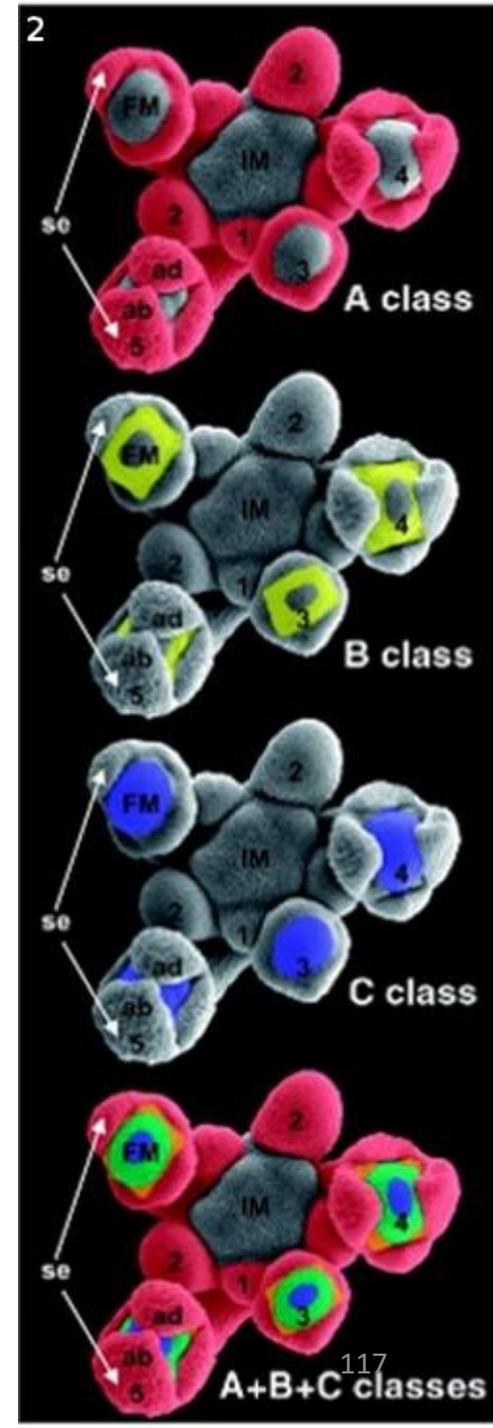
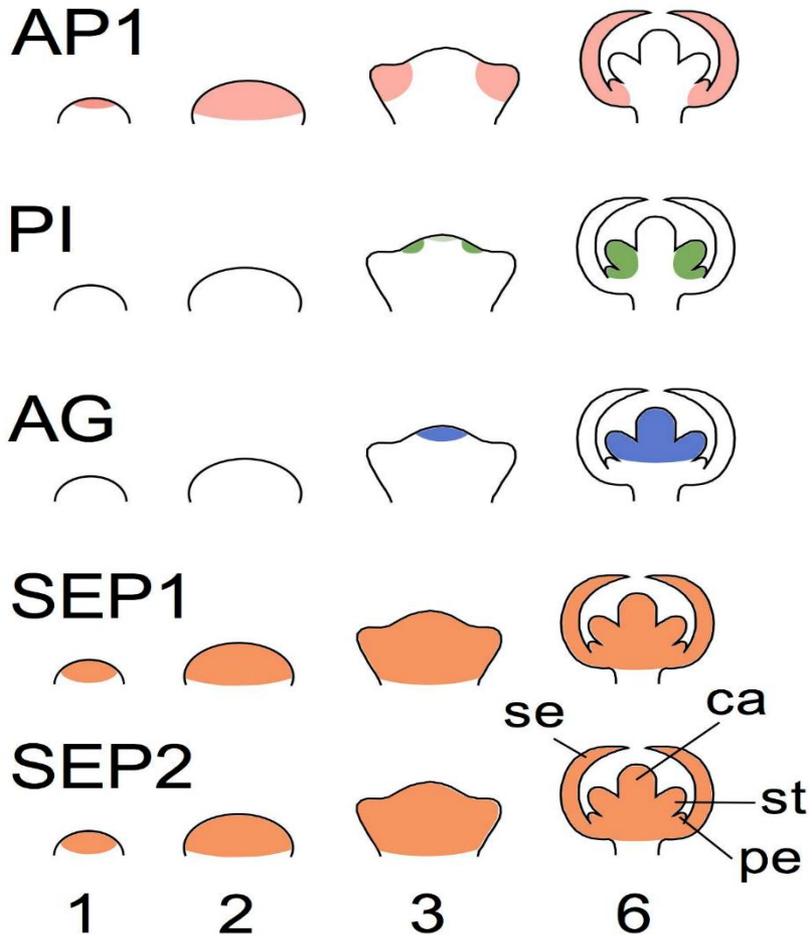
Révision du modèle ABC en ABC(D)E



Les protéines ABCE fonctionnent de façon combinatoire = Modèle du quartet floral



Corrélation entre la fonction des facteurs MADS et leur domaine d'expression



Des approches "EVO-DEVO"

« le développement documente l'évolution »

