



# **Observation de la phénologie : Signaux moléculaires & tissulaires**



# Qui sommes-nous ?

## Bénédicte Wenden

- Floraison
- Plantes annuelles
- Arbres fruitiers
- Phénologie
- Dormance
- Biologie moléculaire
- Réseaux de gènes
- Modélisation
- Analyse et visualisation de données

## Guillaume Charrier

- Résistance au gel
- (Eco)Physiologie des arbres
- Métabolisme carboné
- Dormance
- Phénologie
- Nucléation / Propagation de la glace
- Conductivité hydraulique
- Stress abiotique
- Modélisation mécaniste





# Qu'entendons-nous par signaux biologiques?





# Contexte de l'atelier

Phénologie : on pense souvent à des stades visibles

→ Echelle BBCH, ateliers signaux optiques

MAIS certains stades sont invisibles à l'œil nu ou difficiles à observer

- Initiation florale
- Levée de dormance
- Sénescence

Méthodes pour suivre ces stades:

⇒ Echelle moléculaire (Béné)

⇒ Echelle Tissulaire (Gui)





# Contexte de l'atelier

## Modèles biologiques

- ⇒ Microorganismes
- ⇒ Animaux
- ⇒ Plantes en général (dormance graines)
- ⇒ Plantes annuelles (vernalisation)
- ⇒ Plantes pérennes (dormance)
  - ⇒ Herbacés
  - ⇒ **Ligneux**



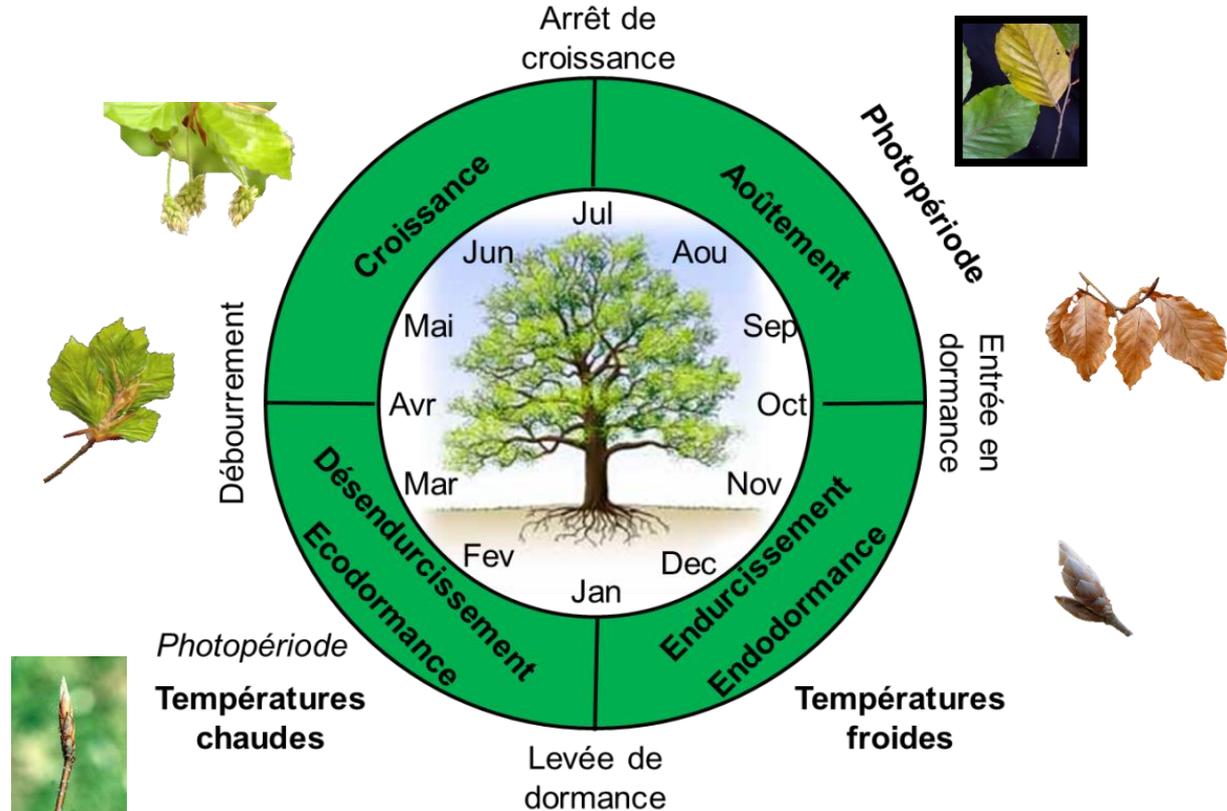


# Exemple des plantes pérennes

**Paradormance** : inhibitions de croissance extérieure au bourgeon (ex. présence des feuilles)

**endodormance** : inhibition intrinsèque : levée par température froide

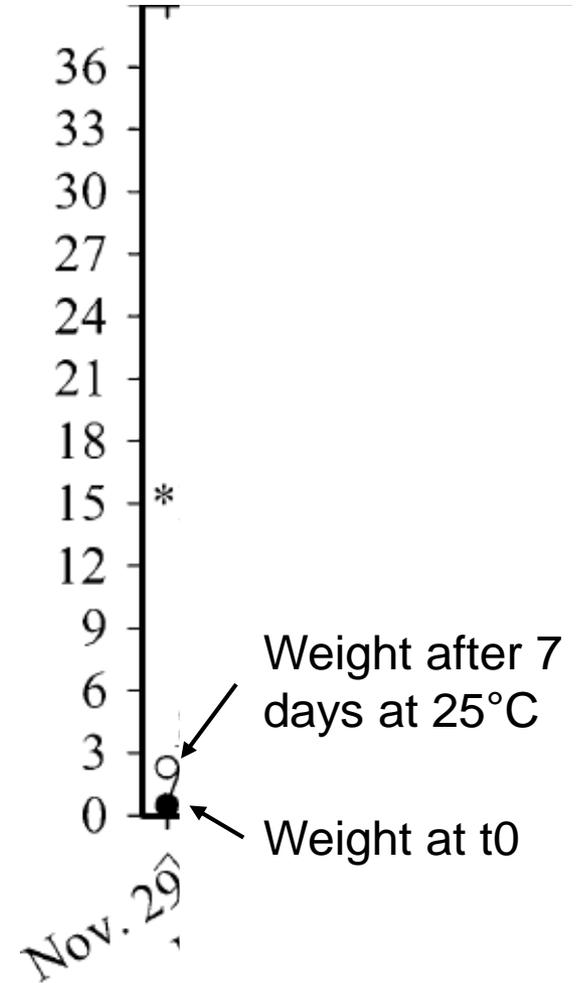
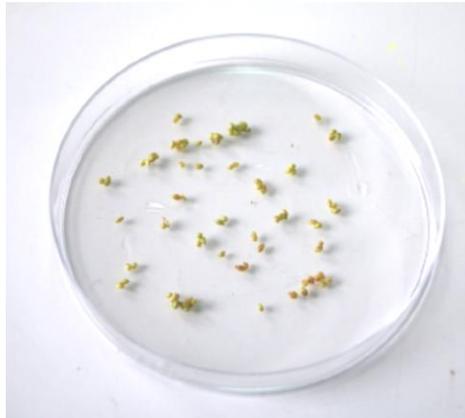
**écodormance** : inhibition liée aux conditions environnementales : levée par température chaude, jours longs



# Comment suivre la dormance ??



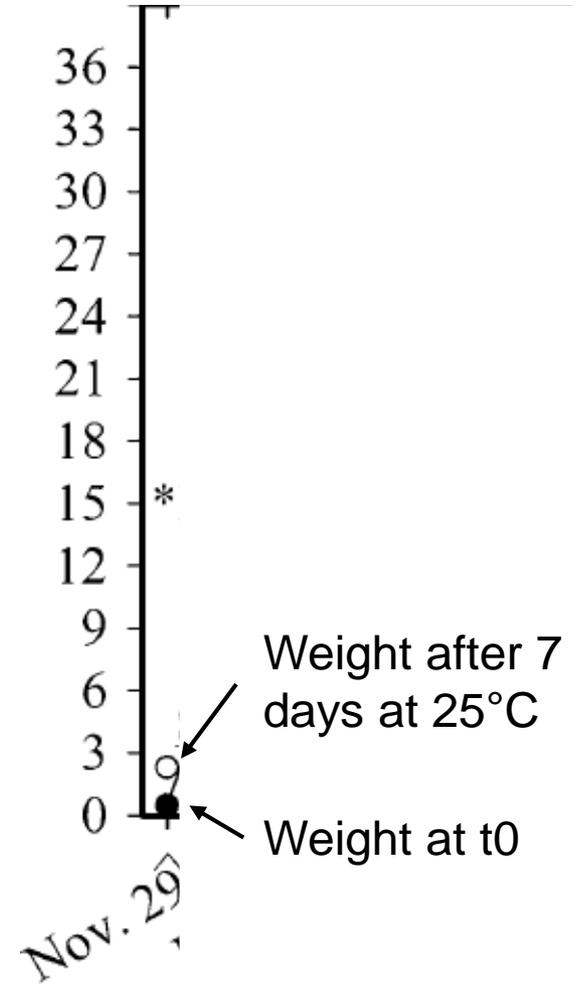
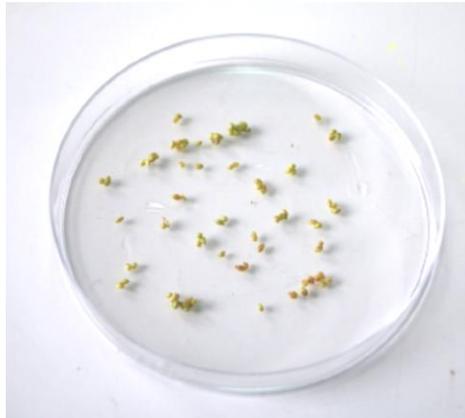
## Test de Tabuenca



# Comment suivre la dormance ??



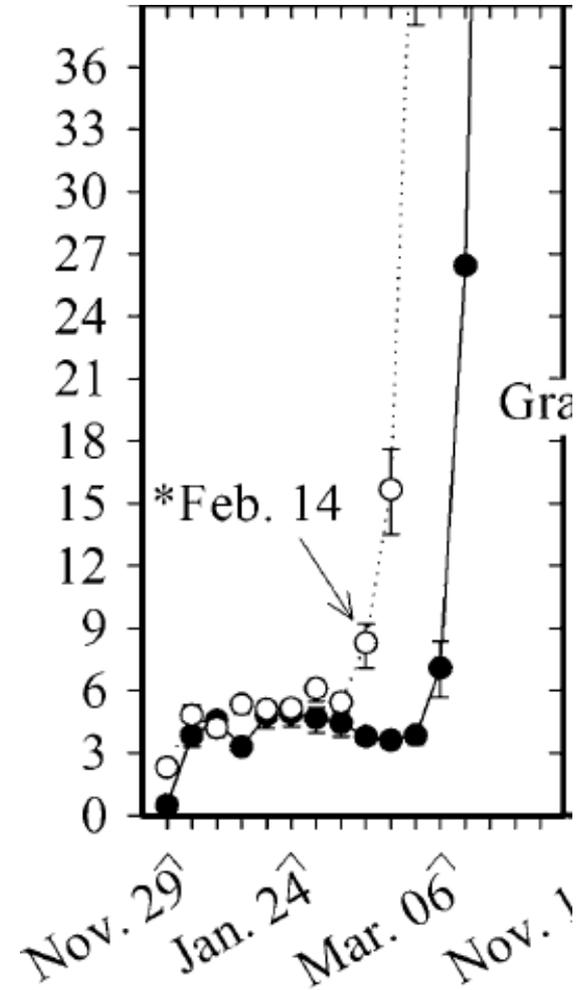
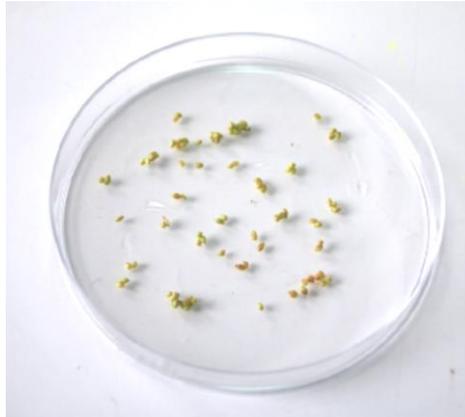
## Test de Tabuenca



# Comment suivre la dormance ??



## Test de Tabuenca



# Comment suivre la dormance ??



## Test de boutures de nœuds



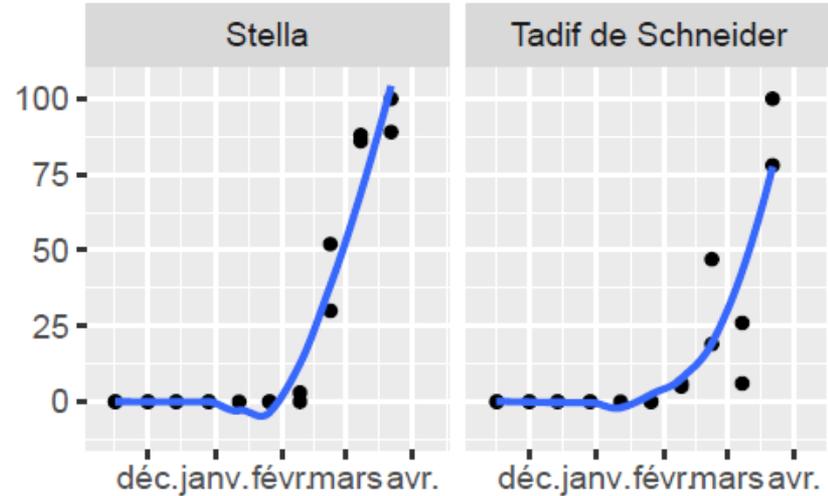
# Comment suivre la dormance ??



Forçage sur rameaux



Pourcentage de débourrement après 10 jours en forçage





# Comment suivre la dormance ??

- Test de Tabuenca
- Test de boutures de nœuds
- Forçage sur rameaux
  - Gourmand en matériel
  - Chronophage
  - Biais des conditions de forçage
  - Résultat à posteriori



# Question scientifique sous-jacente



Peut-on suivre les stades phénologiques cachés en analysant les signaux internes aux organismes au cours de leur cycle ?



# Question scientifique sous-jacente

➡ Peut-on suivre les stades phénologiques cachés en analysant les signaux internes aux organismes au cours de leur cycle ?

➡ Quels marqueurs ?

➡ Comment ?



# Signaux biologiques à l'échelle moléculaire





# Quelles molécules ?

Point important : connaître certains mécanismes

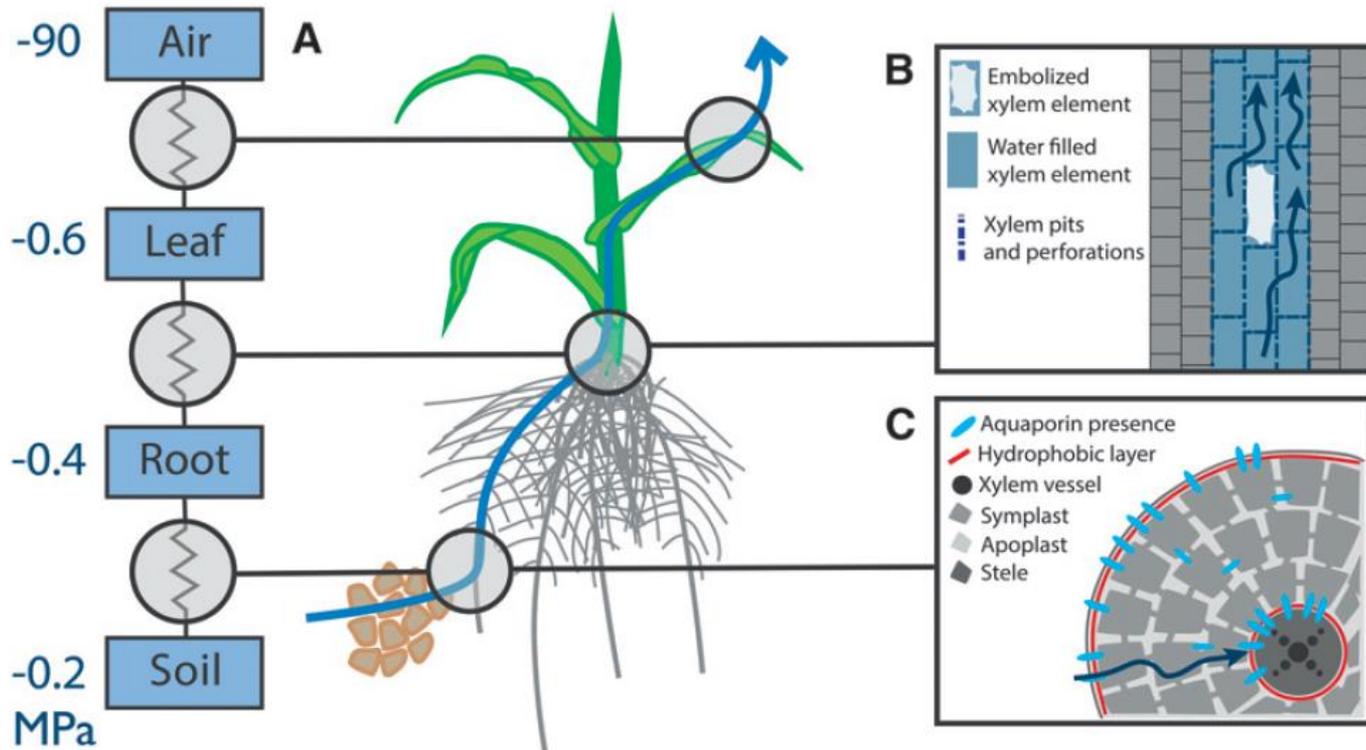
- Physiologie
- Ecophysiologie
- Métabolisme / Energie
- Statut hydrique

- Sucres/amidon
- Gènes exprimés
- Protéines
- Nucléotides (NTP, ATP)
- Hormones (ABA, GA, CK, Aux, ...)
- ROS (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)



# Quelles molécules ? Eau

Contenu en eau et potentiel hydrique



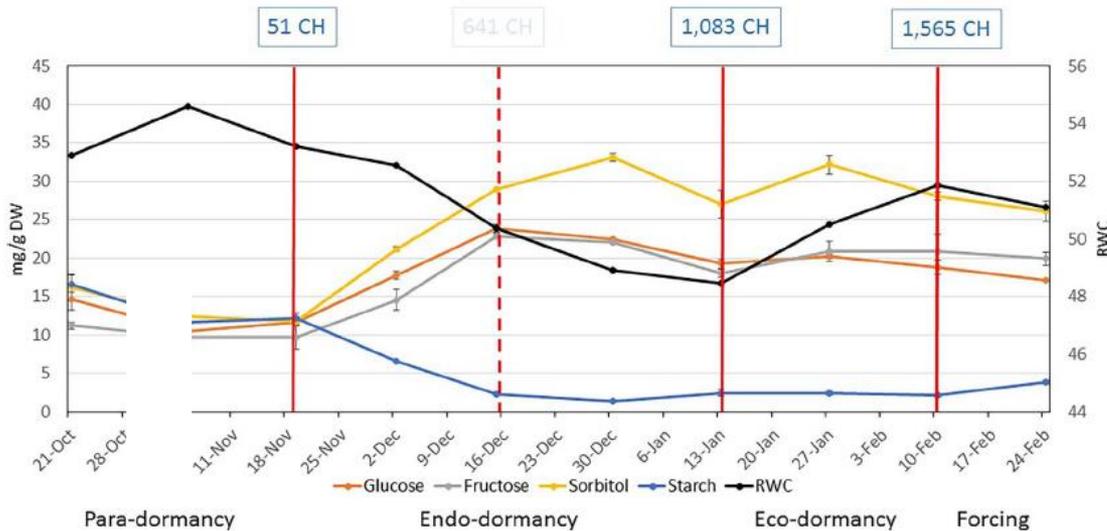


# Quelles molécules ? Eau

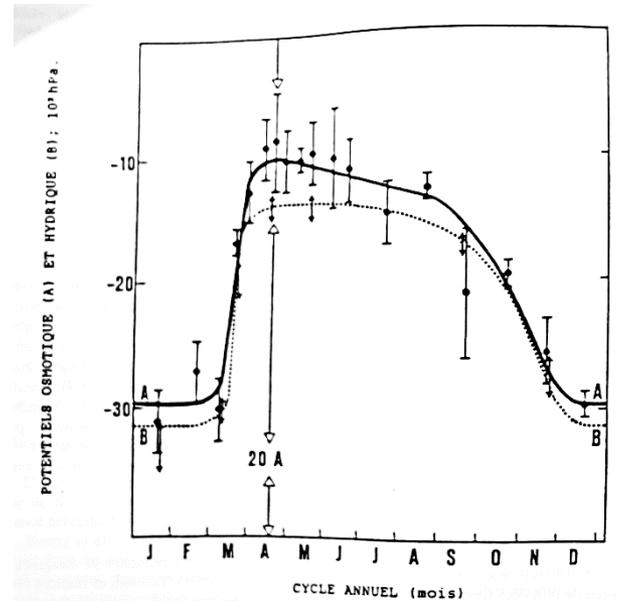


Contenu en eau, potentiels hydrique et osmotique  
Exemple de la dormance des arbres

Carbohydrate and RWC content over the course of winter 2014/15  
cv. 'Schneiders'



Haufmann & Blanke, 2017, J. Plant Physiol.



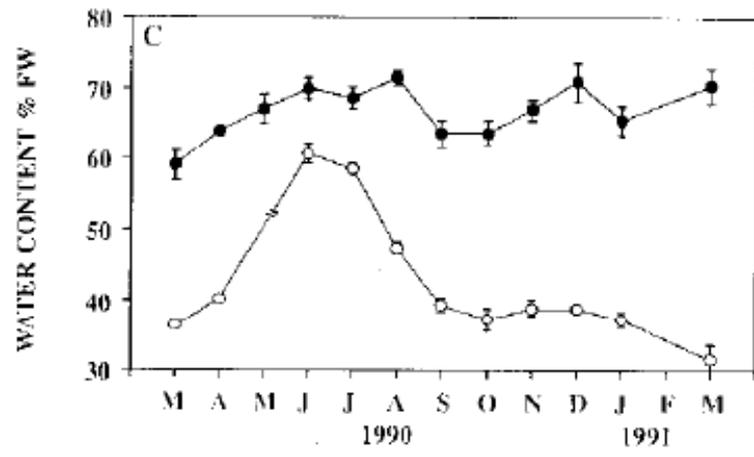
Cottignies, 1990



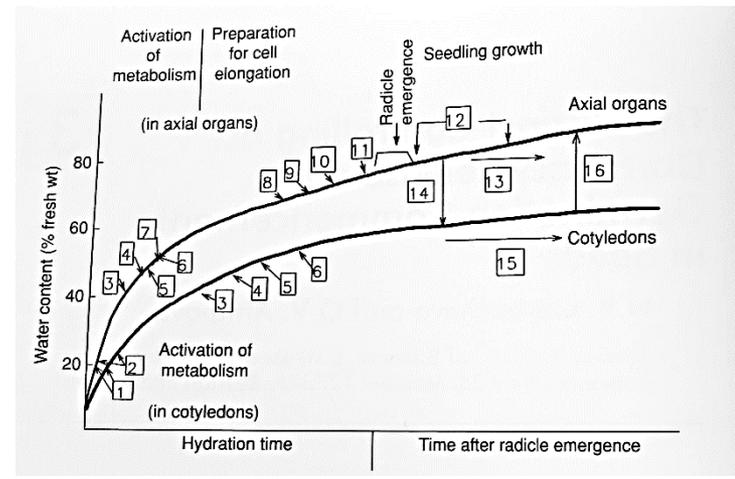
# Quelles molécules ? Eau

Contenu en eau et potentiel hydrique

Exemple de la dormance des arbres, de la germination de graines

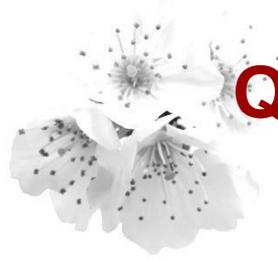


Rinne et al., 1994, Tree Physiol.



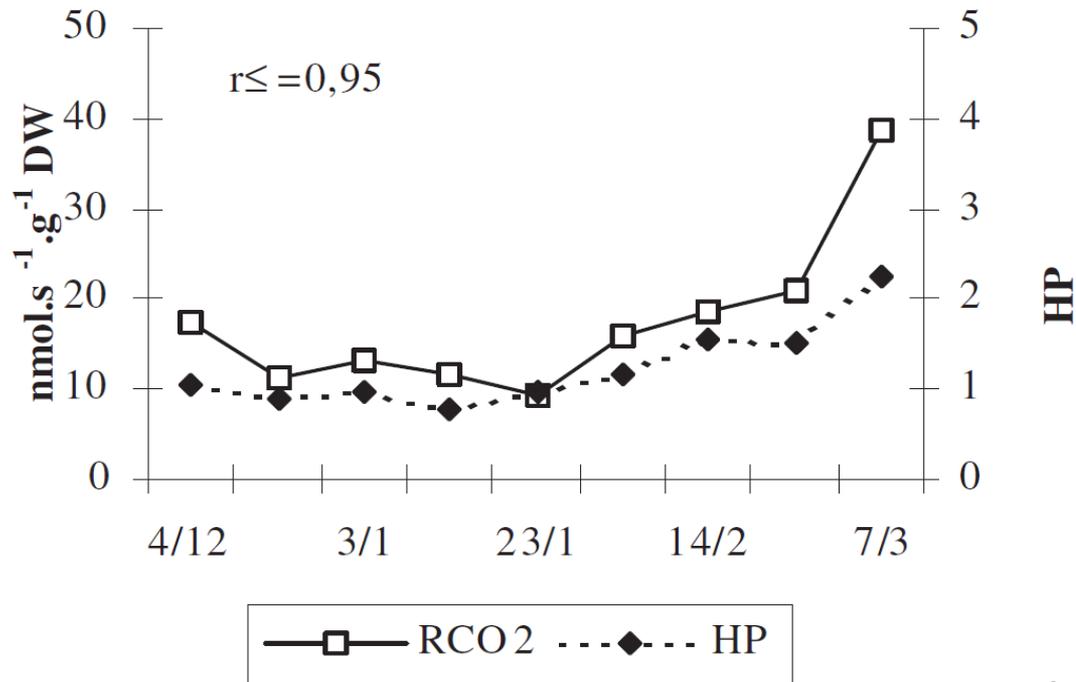
Obroucheva & Antipova, 2000





# Quelles molécules ? Eau et énergétique

Contenu en eau et reprise d'activité métabolique



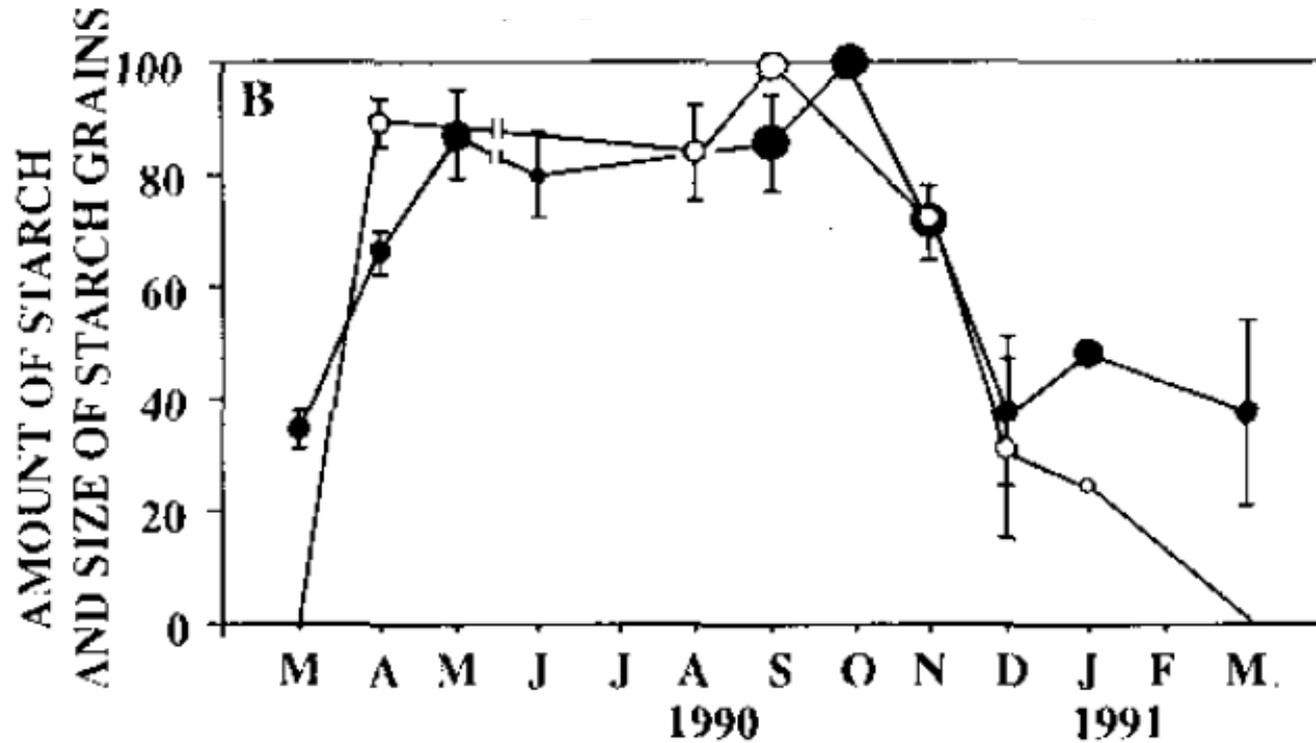
Leite *et al.*, 2006

Respiration et contenu en eau (Pêcher)



# Quelles molécules ? Sucres

Sucres et composés carbonés – exemple de la dormance des arbres

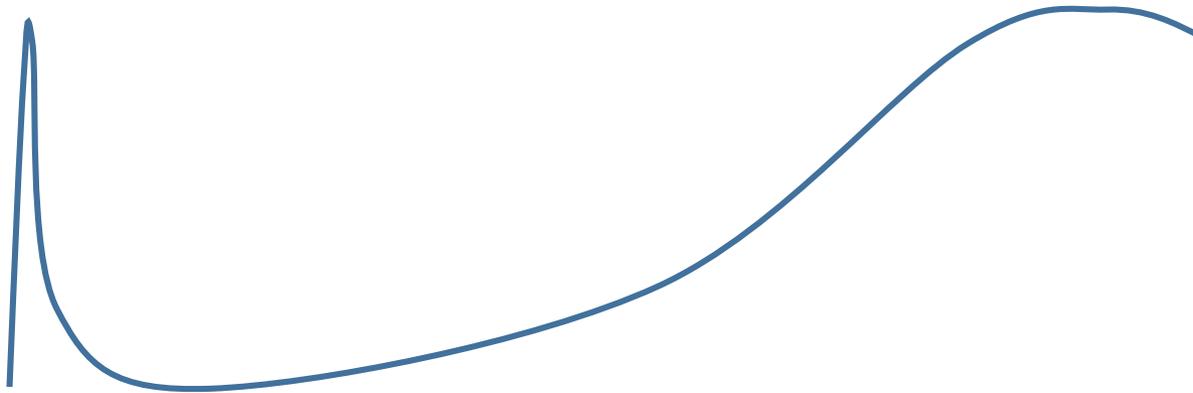
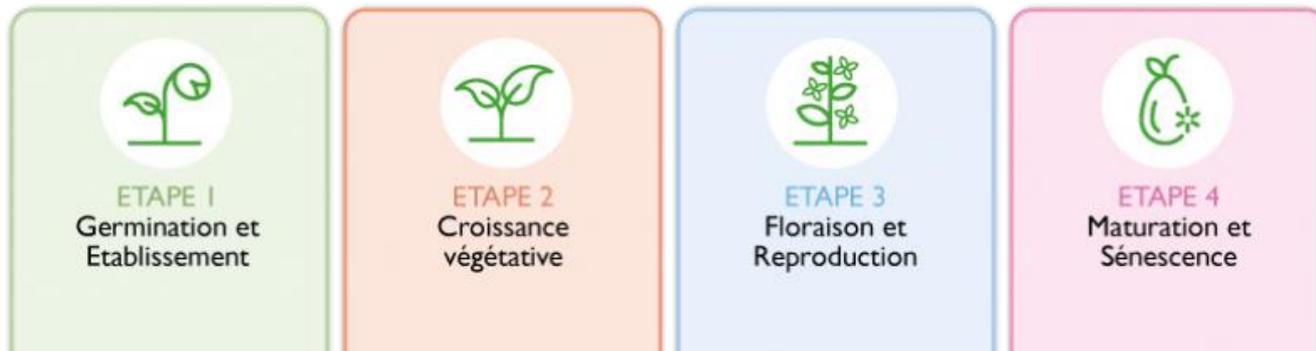




# Quelles molécules ? Hormones

## Acide abscissique

- Intervient à des étapes clés du développement des plantes





# Quelles molécules ? Hormones

## Acide abscissique

- Intervient à des étapes clés du développement des plantes
- Hormone du stress
- Dormance de la graine
- Sénescence et dormance





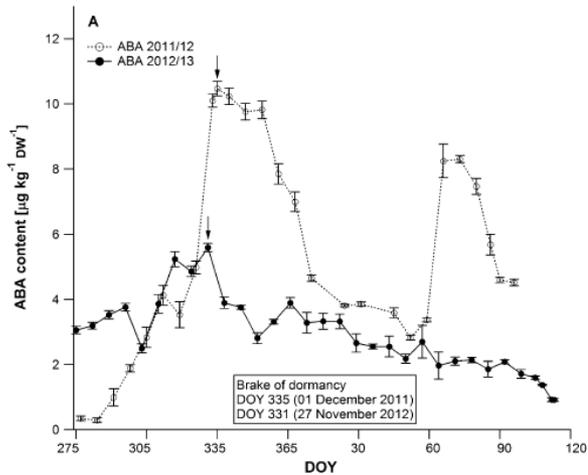
# Quelles molécules ? Hormones



Acide abscissique – exemple de la dormance des arbres

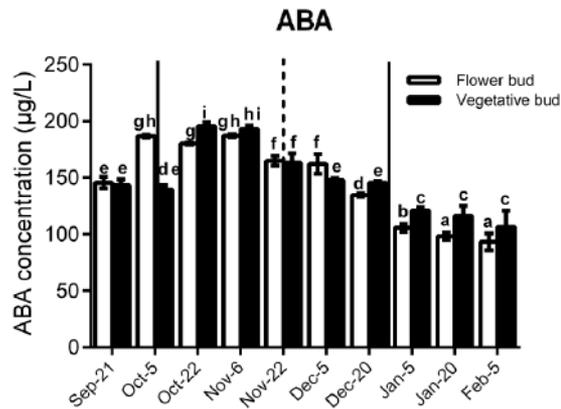
## Cerisier

(Götz *et al.*, Scientia Horticulturae, 2014 )



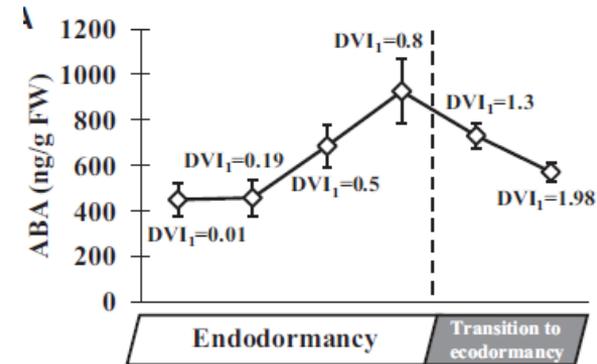
## Pêcher

Wang *et al.*, Frontiers in Plant Science, 2016



## Poirier

Tuan *et al.*, PCP, 2017



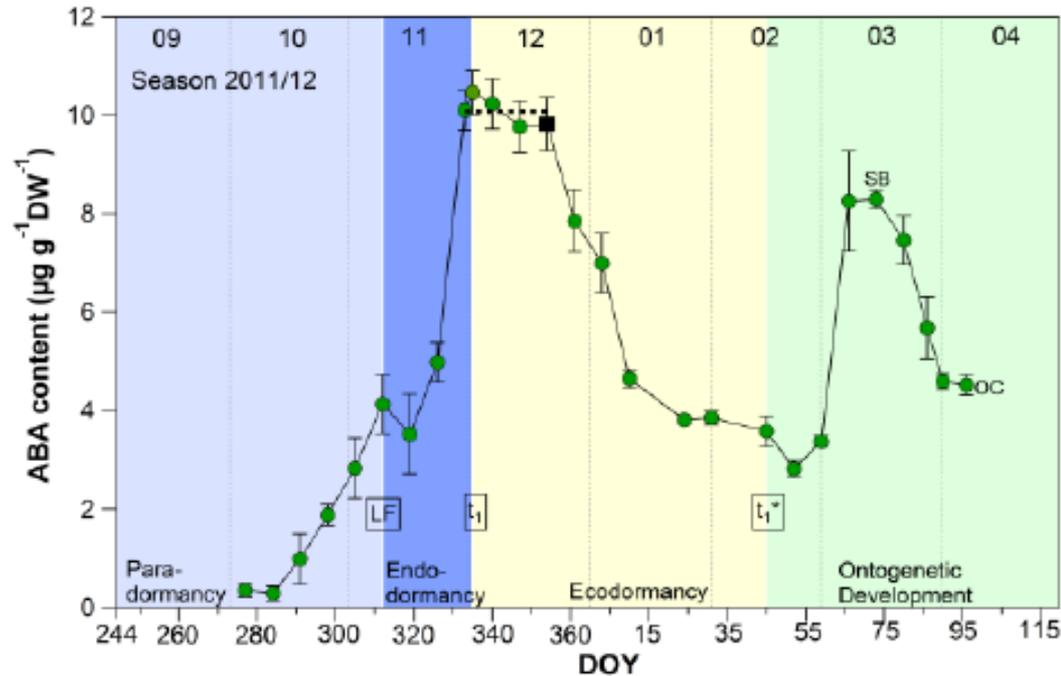


# Quelles molécules ? Hormones



Acide abscissique – exemple de la dormance des arbres

Suivi des phases de dormance chez le cerisier (Chmielewski et al., 2017, Journal of Horticulture )



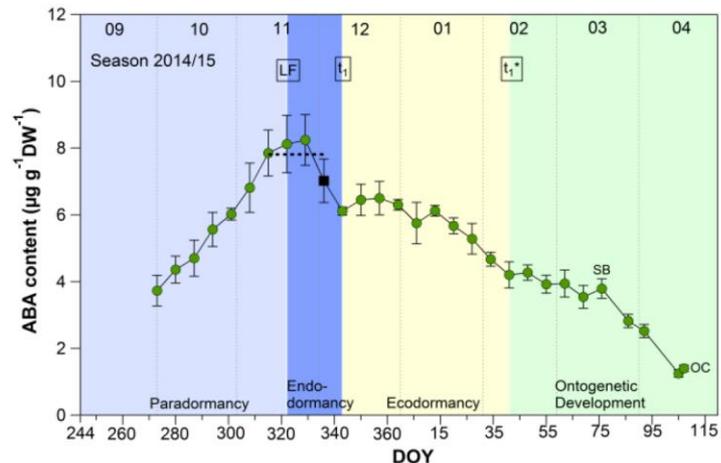
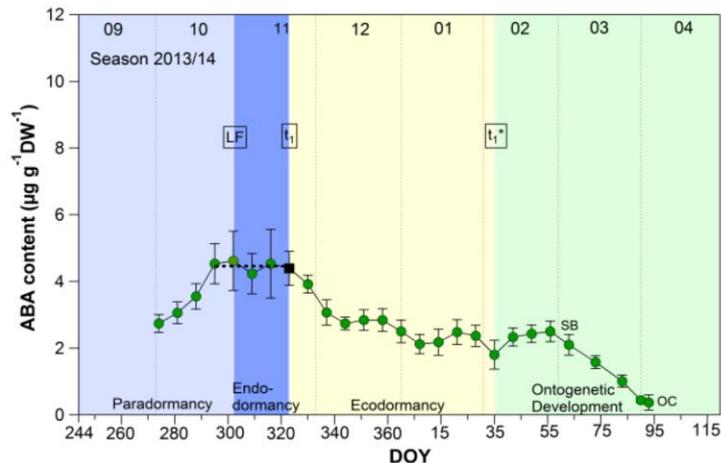
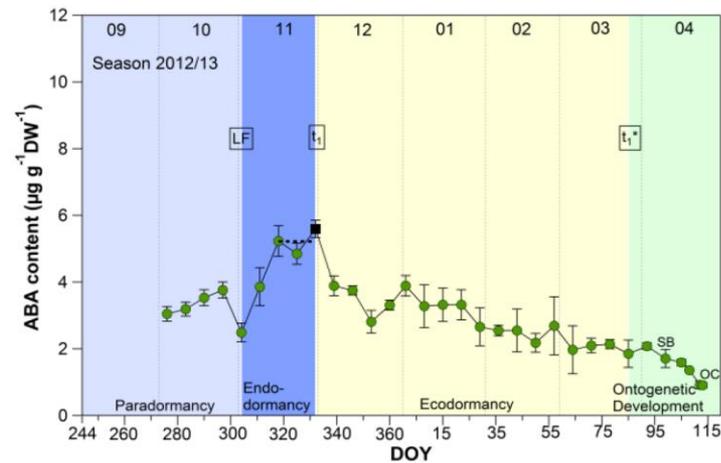
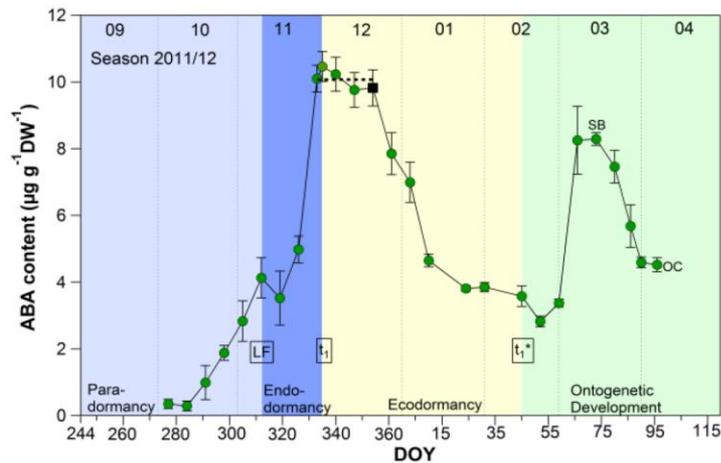


# Quelles molécules ? Hormones



## Acide abscissique – exemple de la dormance des arbres

Suivi des phases de dormance chez le cerisier (Chmielewski et al., 2017, Journal of Horticulture)

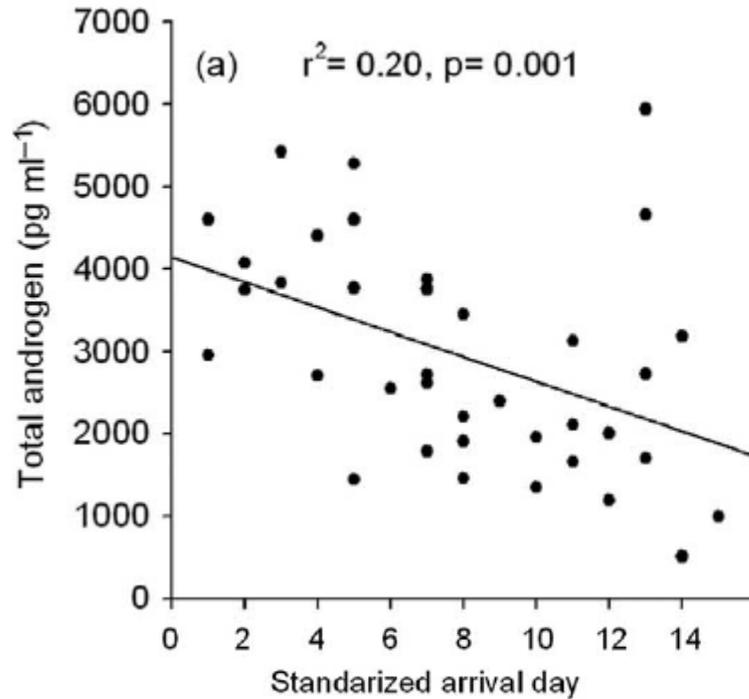


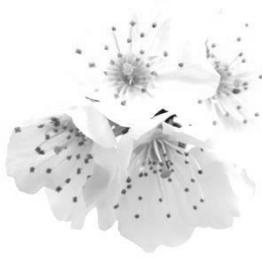


# Quelles molécules ? Hormones

Androgènes – exemple de la reproduction d'un oiseau migrateur

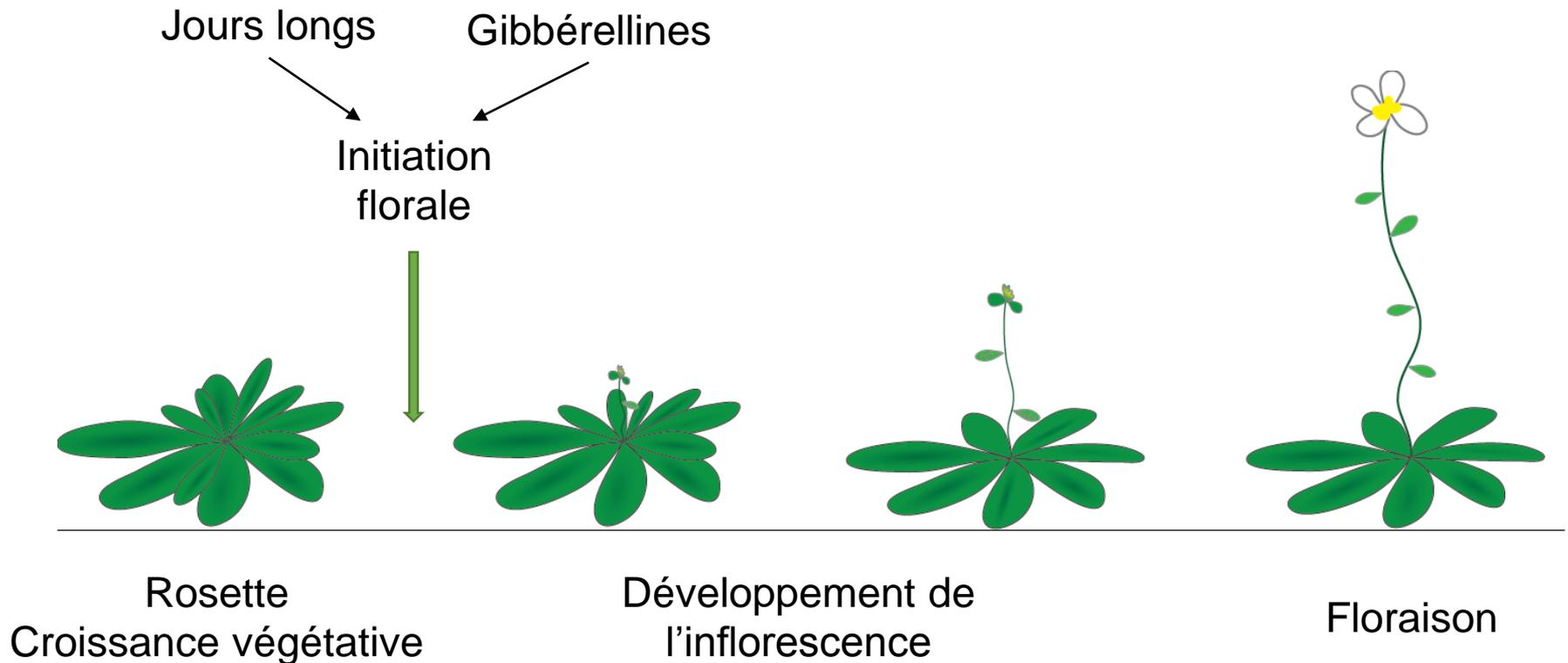
La quantité d'androgènes chez les mâles influence la date d'arrivée au site de reproduction

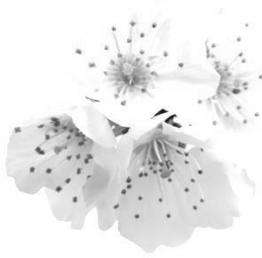




# Quelles molécules ? Gènes candidats

Exemple de l'initiation florale chez *Arabidopsis thaliana*

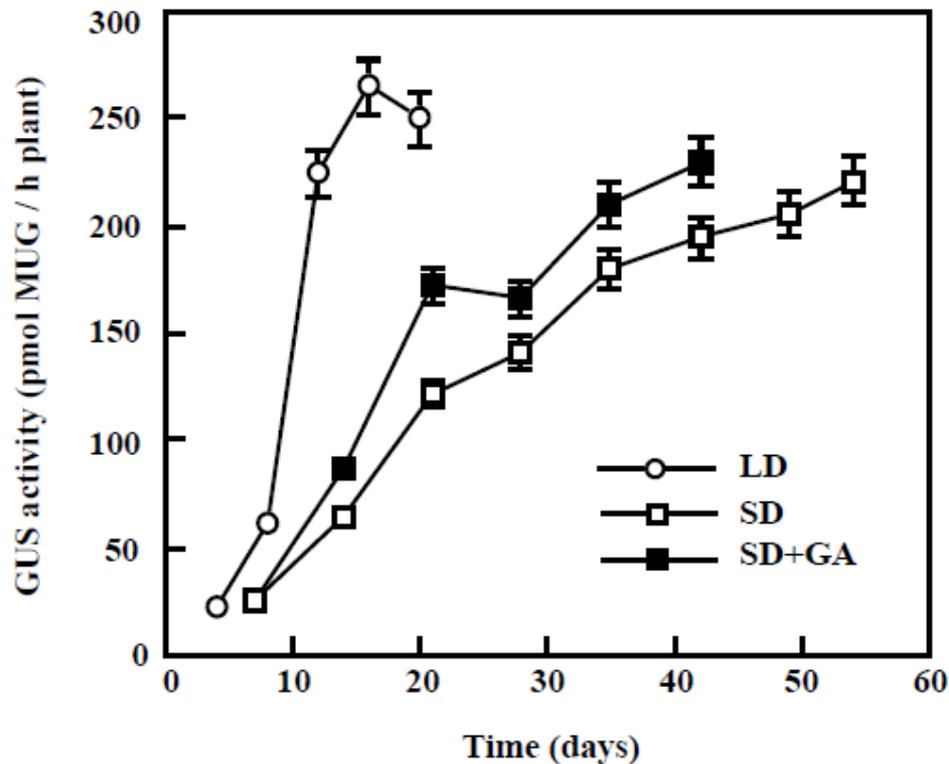


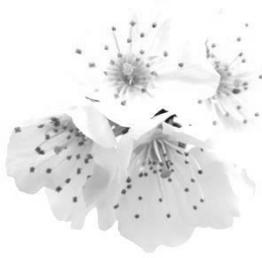


# Quelles molécules ? Gènes candidats

Exemple de l'initiation florale chez *Arabidopsis thaliana*

L'augmentation de l'expression de *LFY* marque l'initiation florale

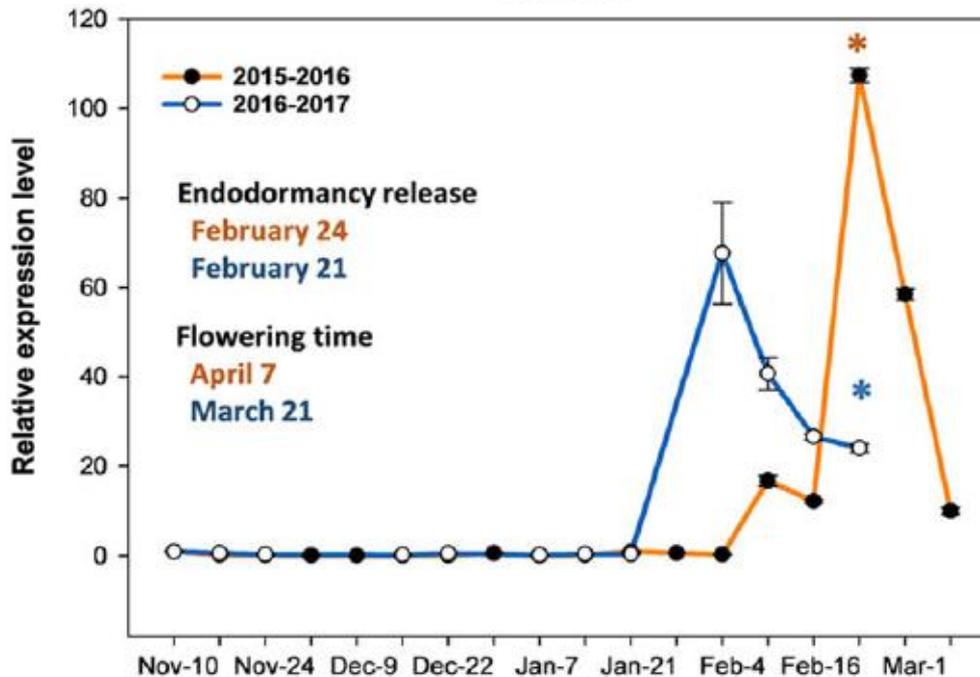




# Quelles molécules ? Gènes candidats

Suivi de la levée de dormance chez l'amandier

L'augmentation de l'expression de la catalase *PdP40* marque la levée de l'endodormance





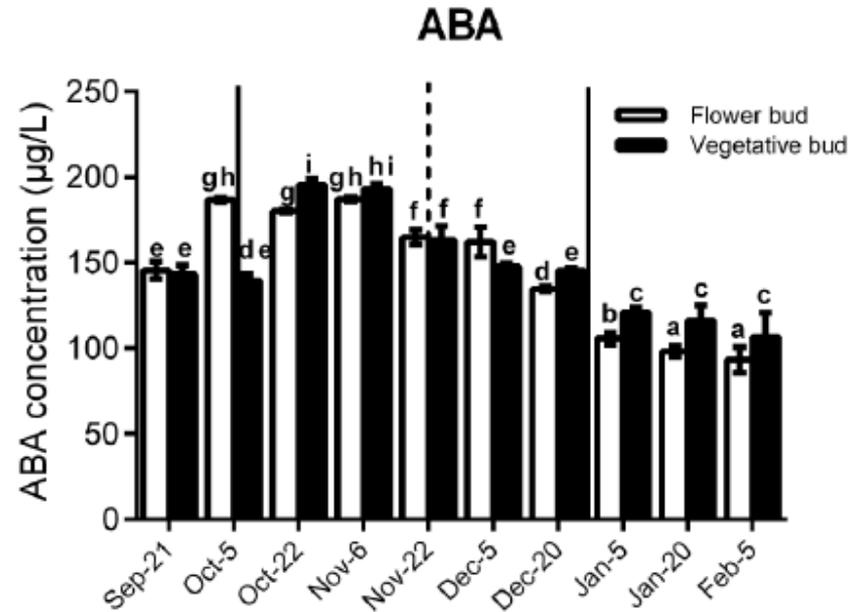
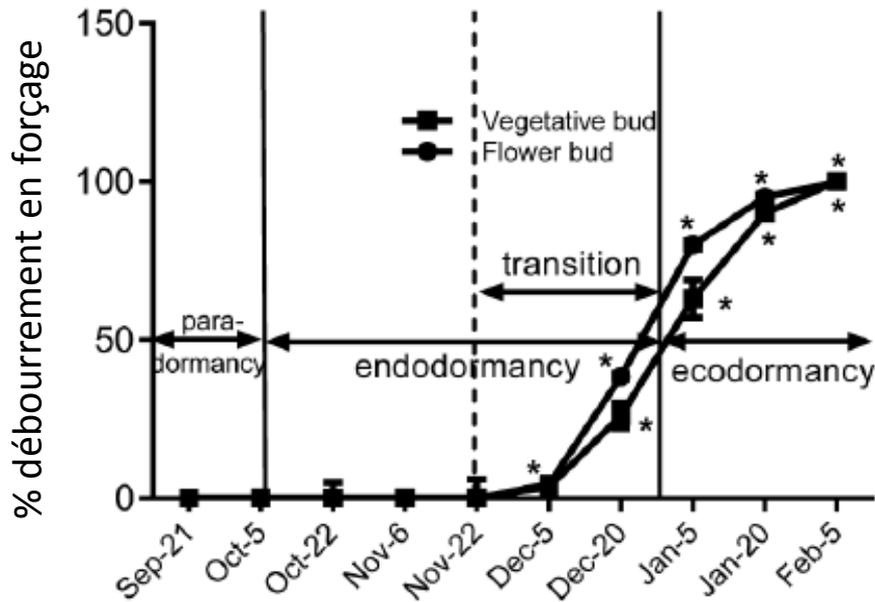
# Points de vigilance





# Points de vigilance

- Comparaison avec les techniques « classiques » de phénotypage



Pêcher

Wang *et al.*, *Frontiers in Plant Science*, 2016



# Points de vigilance

- Quels stimuli environnementaux on veut tester ?
  - ⇒ Lumière
    - ⇒ Quantité
    - ⇒ Qualité
  - ⇒ Température
    - ⇒ Froid
    - ⇒ Chaud
  - ⇒ Mécanique
    - ⇒ Rapport Croissance primaire / secondaire



# Points de vigilance

- L'échantillonnage est clé
  - Quels individus ?
  - Quels organes ?
  - Quel calendrier ?
  - Au moins 3 réplicats biologiques !!!



# Points de vigilance

- Techniques mises en œuvre
  - Expertise
  - Equipement
  - Plateformes
  - Budget (!)



# Points de vigilance

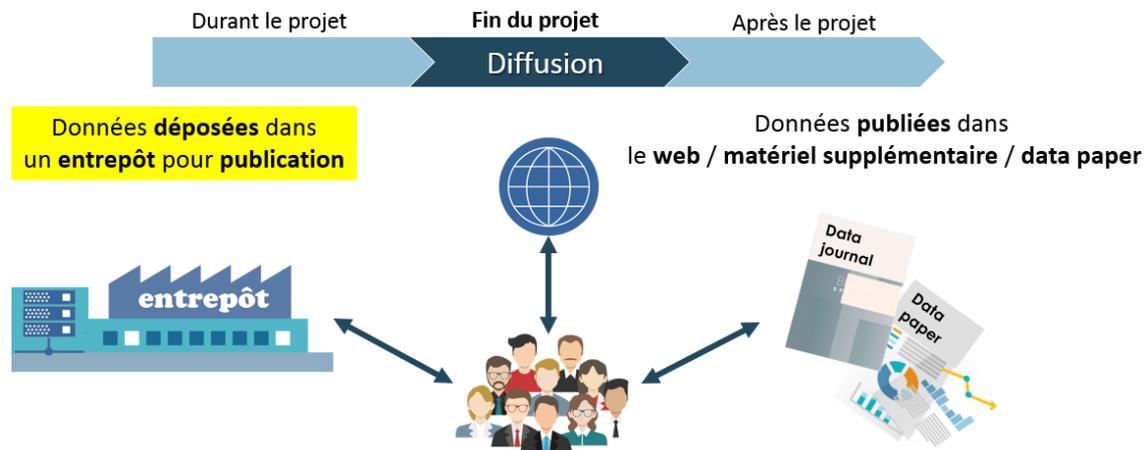
- Traitement des données
  - Expertise
  - Stagiaires ? Post-docs ?
  - Formation personnelle

➔ La visualisation des données est essentielle



# Points de vigilance

- Stockage et mise à disposition des données
  - Entrepôts de données (Dryad, Zenodo, data.inra.fr)
  - Mise à disposition de plus en plus demandée par les journaux



La diffusion a un objectif de **partage**, de **publication**. Vous ouvrez vos données pour le processus d'évaluation et de validation (peer review), ou pour permettre l'accès à un public plus large. La diffusion peut se faire via le dépôt dans un entrepôt de données, la mise en ligne sur le site web du projet de recherche, dans le **web des données** (linked data), ou encore une publication en **matériel supplémentaire** d'un article (supplemental data) ou dans un **Data paper** (d'une revue ou d'un Data journal).



# Qu'entendons-nous par signaux biologiques?

Retour sur les mots clés

