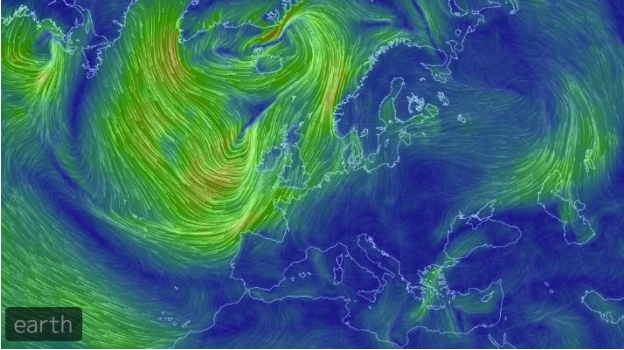


# Le vent, un signal environnemental majeur pour la croissance végétale (de l'aléa à l'adaptation)



Mair Photographie, mair.ch

séance publique de l'Académie d'Agriculture  
organisée par B Moulia (section 5) et Meriem Fournier (section 2)



## En Agriculture et Foresterie

Les effets mécaniques du vent = un (terrible) aléa !





- **En céréales à paille**

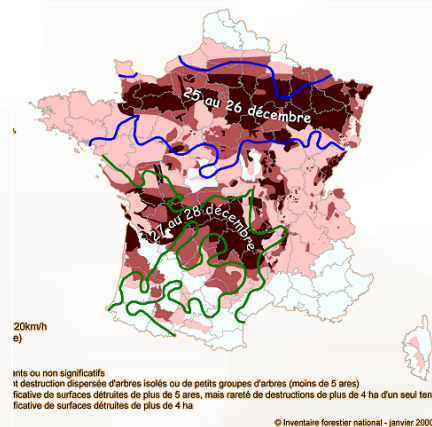
, la verse des céréales =>

Dans le monde pertes environ 10% ! (Cymmit)

risque de perte de rendement ++ dizaines de quintaux par hectare (Arvalis-Cetiom Infos, 2014)

et surtout: variabilité du rendement

- **En forêts de production**

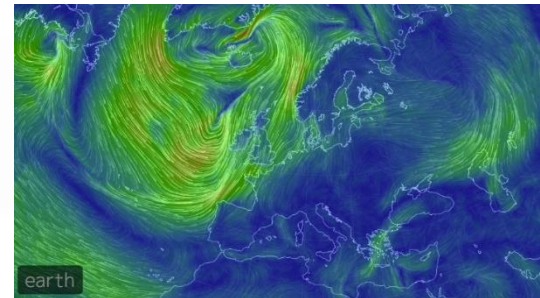


- dernière décennie = 2 tempêtes centennales et 8 décennales : 50% pertes en volumes , bilan CO<sub>2</sub>

- 1<sup>er</sup> aléa de la forêt française
- Désorganisation de la filière

**Et globalement, çà risque bien de ne pas s'arranger ...**





# 1- Changement climatique

## France / Europe

**Période de végétation:** Orages plus puissants et plus précoces (juin)

**Tempêtes cycloniques hivernales :** pas de consensus (à la différence de l'Amérique du Nord) (depend du déplacement du rail des tempête sur l'Atlantique )

**Vents flash (rafales descendante,** ex Corse 2023 224 km/h) devrait augmenter (surtout du printemps à,l'automne , mais possible toute l'année ex Toulouse)

**Zone méditerranéennes**

**Médicanes** plus puissants

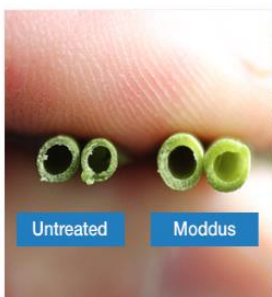
**Zone tropicales**

**Cyclones plus puissants, trajectoires différentes**



## 2-Limitation de nos outils de “contrôle”

- **En céréales à paille** au bout de l'usage de raccourcisseurs génétiques et chimiques



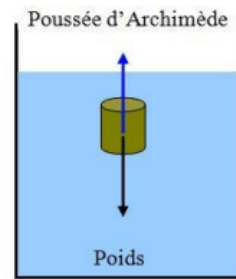
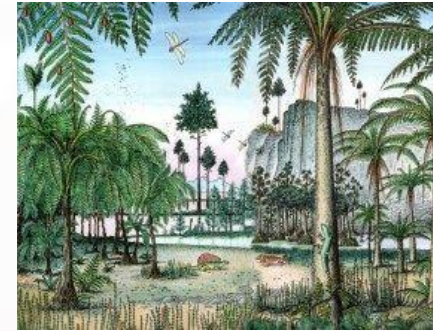
- **En forêts de production**

- contraintes multiples sur le choix des essences
- incertitudes sur la structure des peuplements (moindre densité) et sur l'effet de l'éclaircie (qui semble augmenter la casse au vent pendant environ 5 ans)

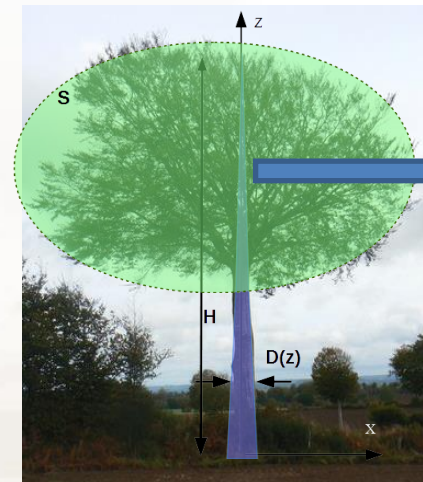


# Mais les plantes terrestres ont du braver les vents tout au long de leur Evolution !

- Autres périodes très ventées, par exemple au Dévonien et au Crétacé
- colonisation de la terre ferme et de la dimension verticale  
=> **changement drastique d'exposition aux effets mécaniques**

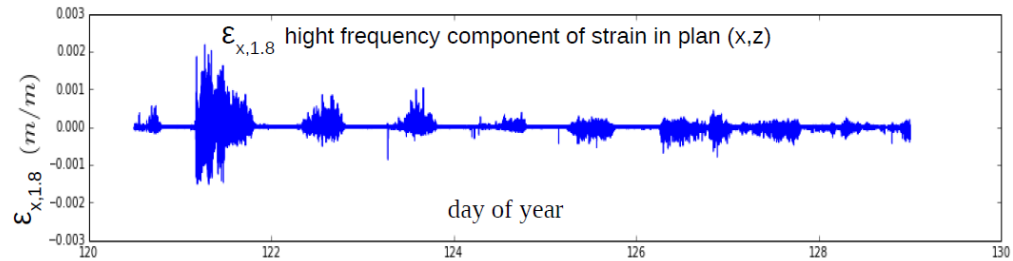


⇒ **Une tige rigide**  
(pour porter la masse des feuilles et fruits / gravité) => fournit un **bras de levier au vent**



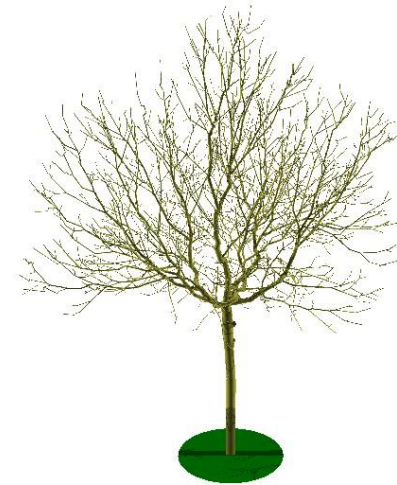
**Amplification mécanique**

⇒ face au vent très turbulent et donc fluctuant,



une tige rigide + masses portées  
=> Risque de **résonance**

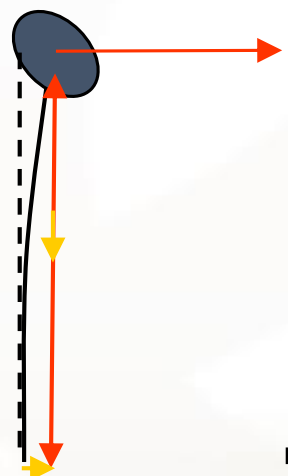
**2eme Amplification mécanique**



⇒ **Énorme pression de sélection**

# Première stratégie retenue par la selection naturelle

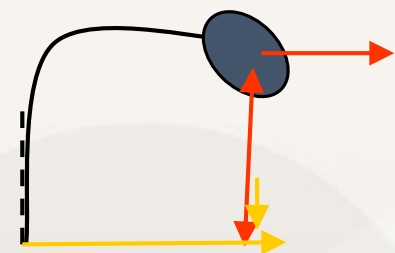
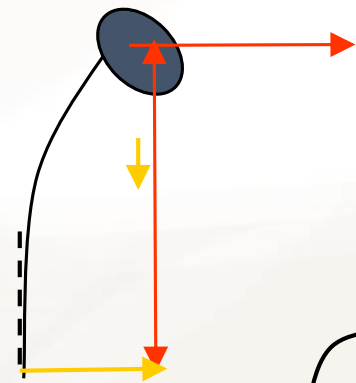
## La stratégie du Roseau... et ses limites



J de la Fontaine



C Darwin



**Il faut une autre stratégie !!!...**





# Exposition au vent varie énormément au cours de la vie d'une plante

## Dans la nature

topographie



Stature



Voisinage amont



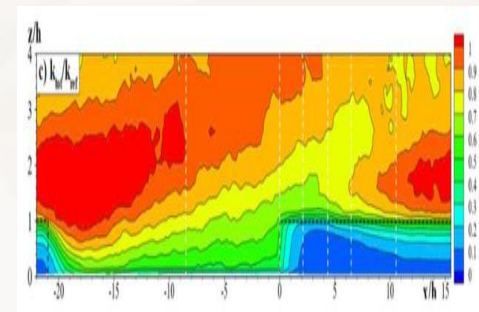
## Dans l'(agri)culture

Structure du paysage (coupes)

haies



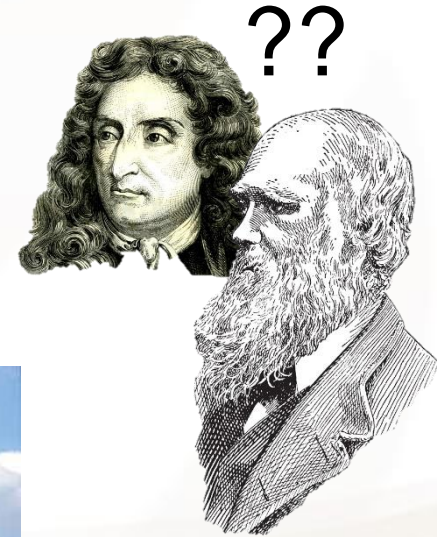
Hauteur et hétérogénéité du couvert



**Donc ce n'était pas gagné ! Mais ...**

# Mais heureusement : sélection très forte d'une stratégie de résistance au vent par acclimatation (plasticité développementale)

Le chêne (et le hêtre) avisés !



# Stratégie d'adaptation en 2 rideaux

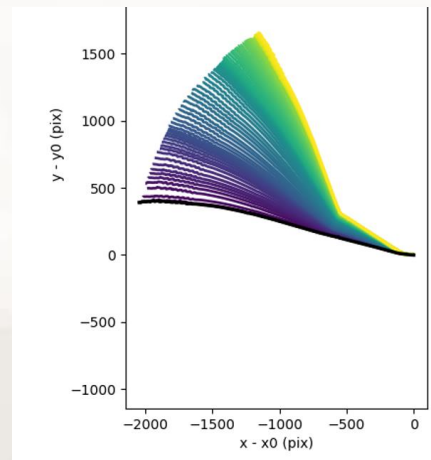


22/05/2024

Acclimatation au vent => développer une résistance adaptée



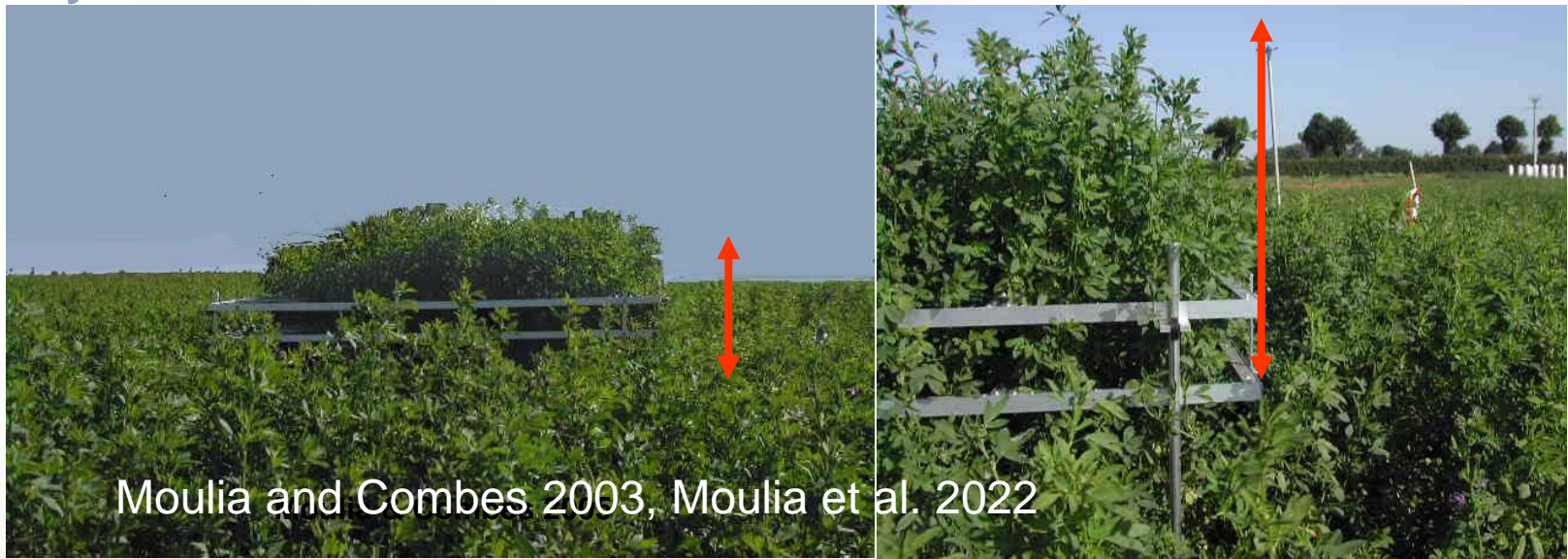
## Résilience aux accidents



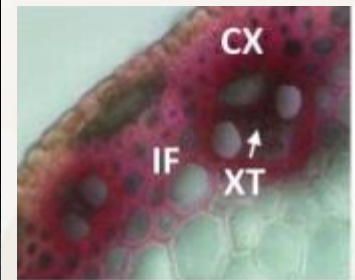
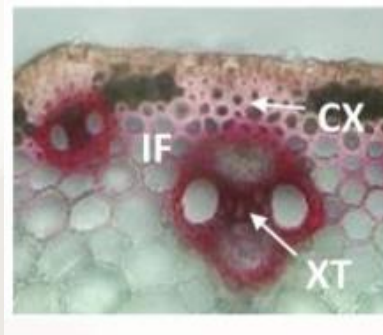
# Leçon de choses (phénoménologie)

## 1- Herbacées

- dicotylédones : ex la luzerne



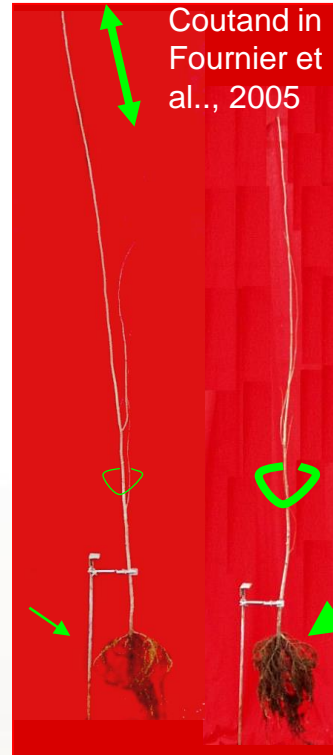
- monocotylédones : ex Brachipodium)



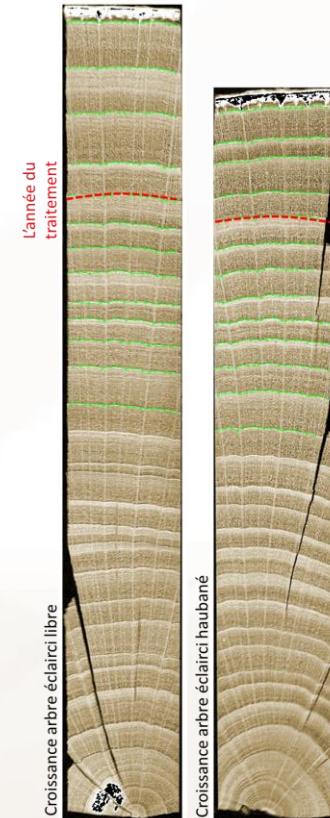
# Leçon de choses (phénoménologie)

## 2- Ligneuses

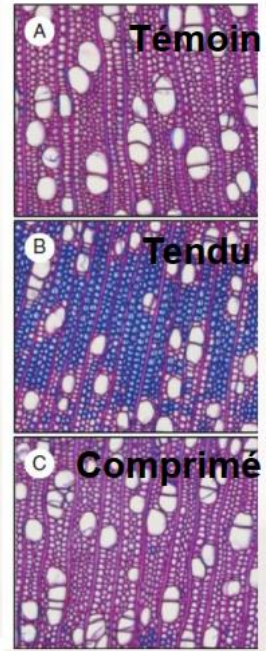
- Prunus (jeune)



- Fagus (adulte)



- Populus



Dogmo et al 2022

Roignan et al 2018

Niez et al 2018

# Thigmomorphogenèse



↳ **Syndrôme de réponses morphogénétiques coordonnées à l'exposition au vent**

- Croissance aérienne longitudinale
- + Croissance aérienne radiale
- Floraison
- + Développement racinaire
- + Modification des propriétés mécaniques (différenciation du bois, modifications pariétales, module de Young)

# Acclimatation (plasticité adaptative)

①  
⇒ Réduire sa prise au vent et ses bras de levier (sans fléchir comme un roseau).



⇒ Ou, si possible, se serrer les branches et **se mettre à couvert en regroupant**

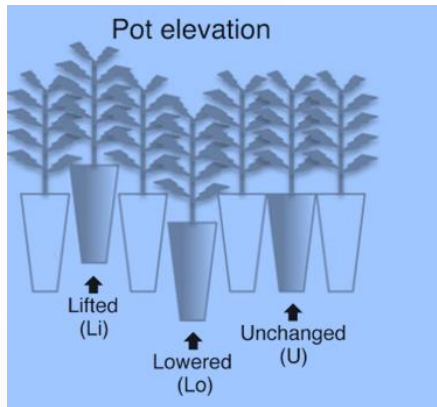


②  
⇒ **Augmenter ses résistances**

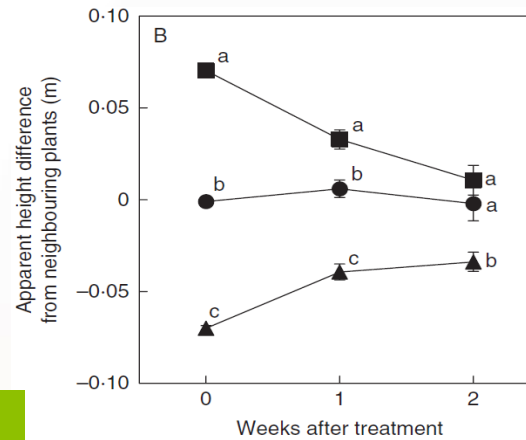
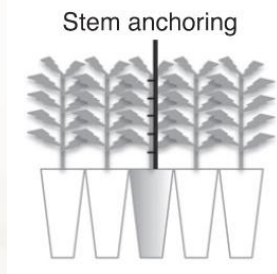
- à la casse des tiges (verse caulinaire, volis)
- au déracinement (verse racinaire, chablis)

De manière équilibrée

## ⇒ Se mettre à couvert



*Croissance d'un front lisse*



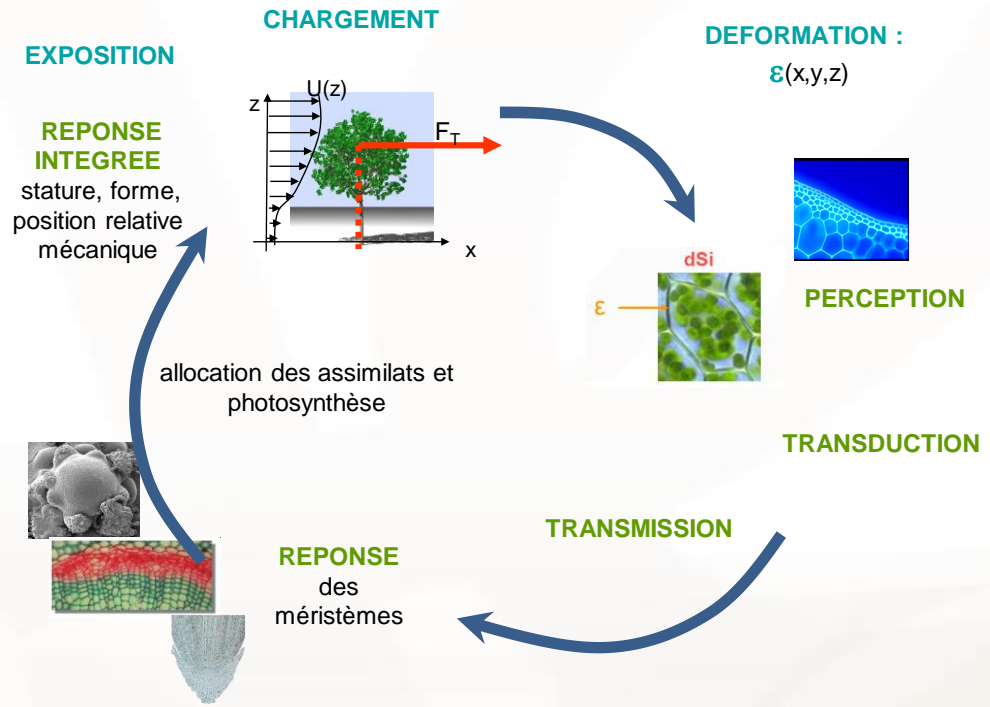
Nagashima *et al*  
2011, 2012



.... Protection collective vis à vis du vent



# Cycle Thigmomorphogénétique

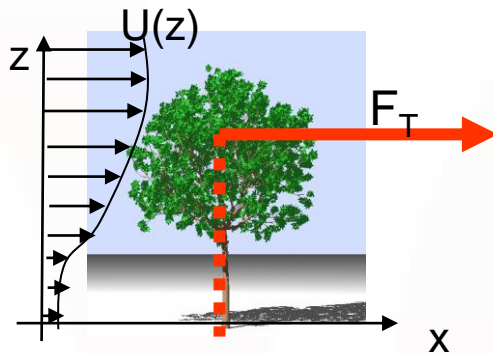


**Acclimatation (plasticité adaptative)**



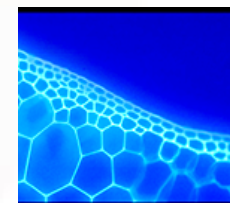
## CHARGEMENT

Le vent sollicite l'ensemble de la structure plante:



## DEFORMATION :

Distribue la déformation  $\epsilon(x,y,z)$  au sein des tissus hétérogènes



dSi

$\epsilon$



**PERCEPTION**  
par les seules  
cellules vivantes

**TRANSDUCTION**  
Activation de genes

**TRANSMISSION :**  
signaux secondaires  
systémiques

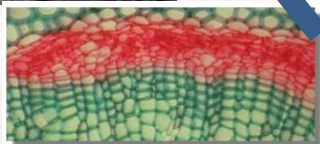
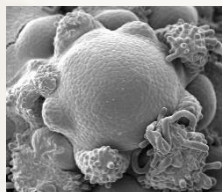
**REPONSE** des  
méristèmes :  
croissance et  
différentiation,  
force de puit

Conséquences sur  
l'allocation des assimilats  
et même sur la  
photosynthèse

En fonction de son  
**EXPOSITION**

**REPONSE  
INTEGREE**

stature, forme,  
position relative  
mécanique



# Signaux morphogénétiques environnementaux

Dépasser le cadre conceptuel qui prévalait :

- **Effets environnementaux via la production de biomasse**, son allocation, et sa réduction par les stress
- **Effet vent sur échange gazeux** ( transpiration et (un peu) photosynthèse
- **Tenue mécanique**: déterminée par la **génétique** (tissus de soutien) et soumise à l'**aléa** (tempête)

## Signaux environnementaux

- **Interaction physico-chimique environnement -structure**
- **Perception**
- **Réponse** (mobilisant l'énergie issue du métabolisme)

**Anticipation**  
(essentiel à la vie fixée)

## ⇒ la réponse d'acclimatation au vent des plantes (thigmomorphogénèse) éepond de 4 Structures

- Structure aérodynamique (interactions mécaniques vent-couvert-plantes)

↳ Mécanique des fluides et des solides, biomécanique

- Structure mécanique ( tenir la charge , distribuer les déformation)

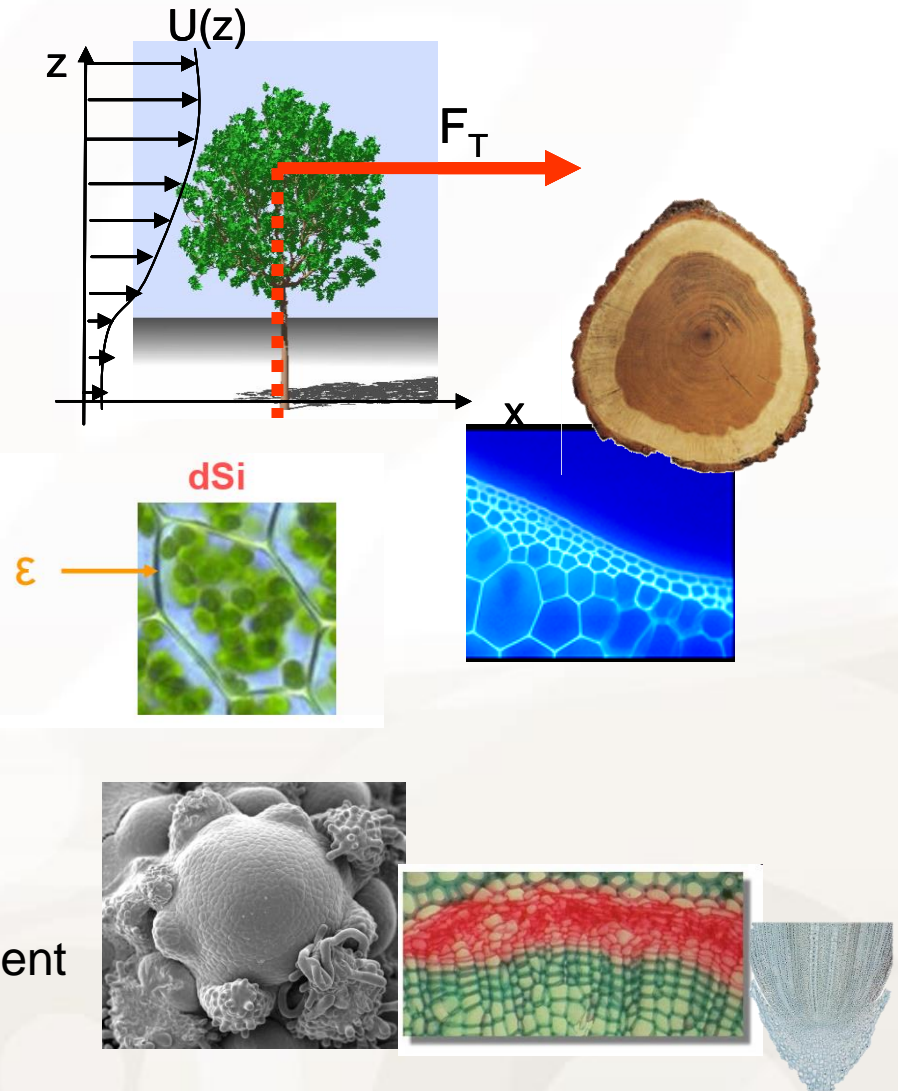
↳ (bio)Mécanique des solides

- Structure perception: senseurs

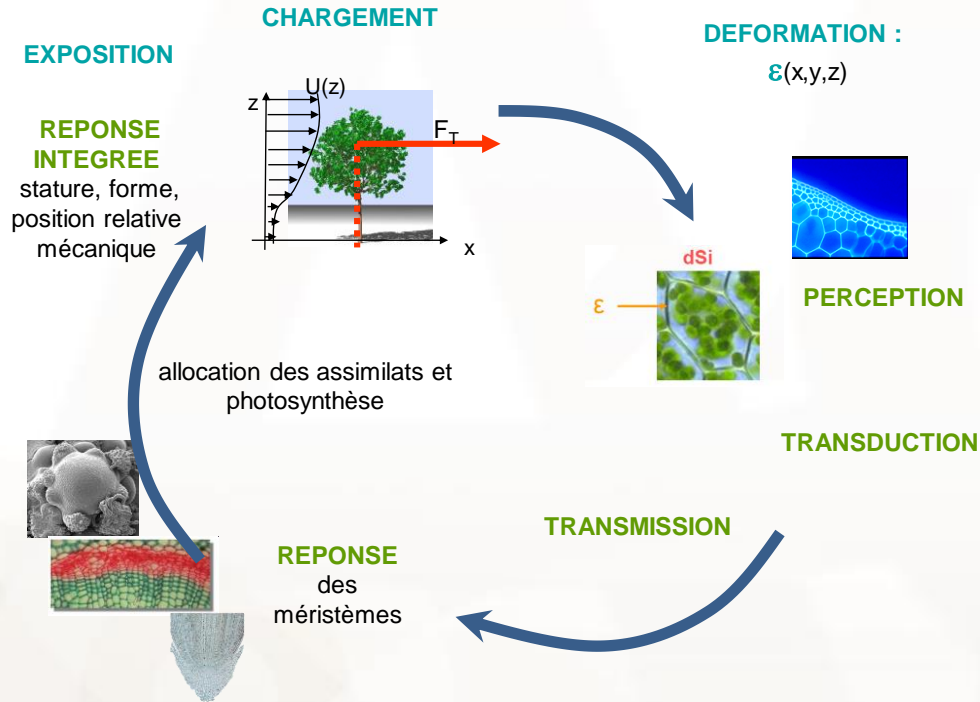
↳ Mécanobiologie

- Structure méristématique : réponses (croissance et différenciation)

↳ Biologie (de la plasticité) du développement



# Cycle Thigmomorphogénétique



**Acclimatation (plasticité adaptative)**

## QUESTIONS SUPPL

comment **s'assurer que la résistance est adaptée** alors qu'on ne connaît pas les tempêtes ?

comment **ne pas sur-réagir** aux vents répétés mais sans danger ?  
**Accommodation** ?

quelles sont les **limites de cette acclimatation adaptative** ?  
**Différences de stratégies entre espèces** ?

quels **usages agricoles, horticoles et forestiers** ?

**Application** dans un contexte de **transition écologique**

La recherche française a été à la pointe de cette recherche

Malgré des investissements (humains et matériels) .. limités

Grâce à nos structures de recherches permettant **l'interdisciplinarité au long cours**

**Et des applications sont en routes dans différents secteurs**

C'est ce que vont vous présenter nos intervenantes et intervenants



**Sylvain Dupont** est Directeur de Recherches à l'INRAE au sein de l'UMR ISPA à Bordeaux. Son travail porte sur la modélisation numérique de l'écoulement du vent sur les paysages et sur les couverts végétaux



**Jana Dlouhá** est Chargée de Recherches à l'INRAE au sein de l'UMR SILVA à Nancy. Son travail porte sur la biomécanique des arbres forestiers, en lien avec l'écologie forestière



**Nathalie Leblanc-Fournier** est Maitresse de Conférences à l'Université Clermont-Auvergne, au sein de l'UMR PIAF à Clermont-Ferrand. Son travail porte sur les mécanismes moléculaires de réponses des plantes aux stimulations mécaniques externes, comme le vent.



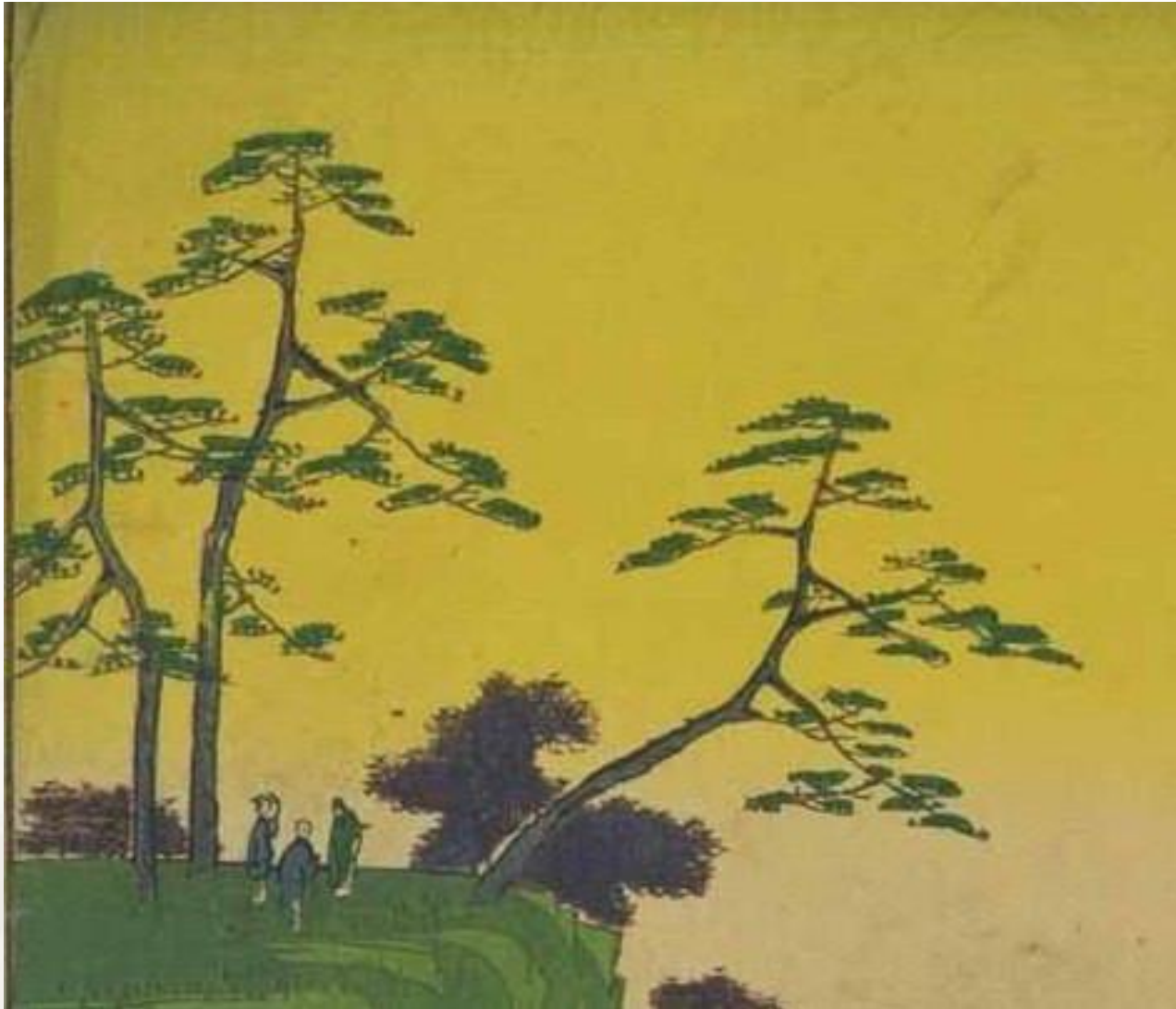
# LE SENS DU VENT



8

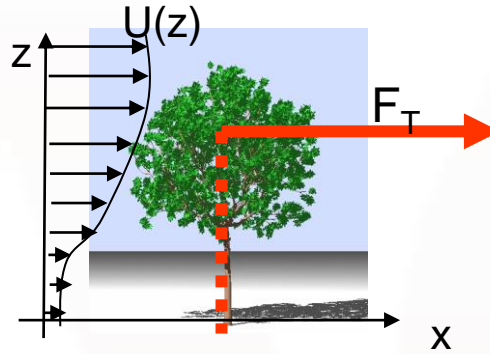
# continuous process of balance along development

和



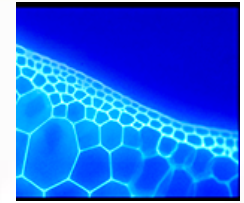
Hiroshige  
Utagawa, 1856  
"View of Konodai  
and the Tone  
River" in the  
series of 100  
views of Edo

# CHARGEMENT



# DEFORMATION :

$$\epsilon(x,y,z)$$



# PERCEPTION

# TRANSDUCTION

# TRANSMISSION

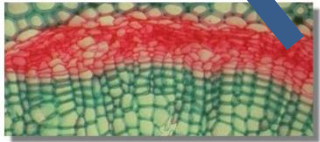
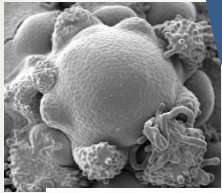
# EXPOSITION

## REPONSE INTEGREE

stature, forme,  
position relative  
mécanique

allocation des assimilats et  
photosynthèse

REPONSE  
des  
méristèmes

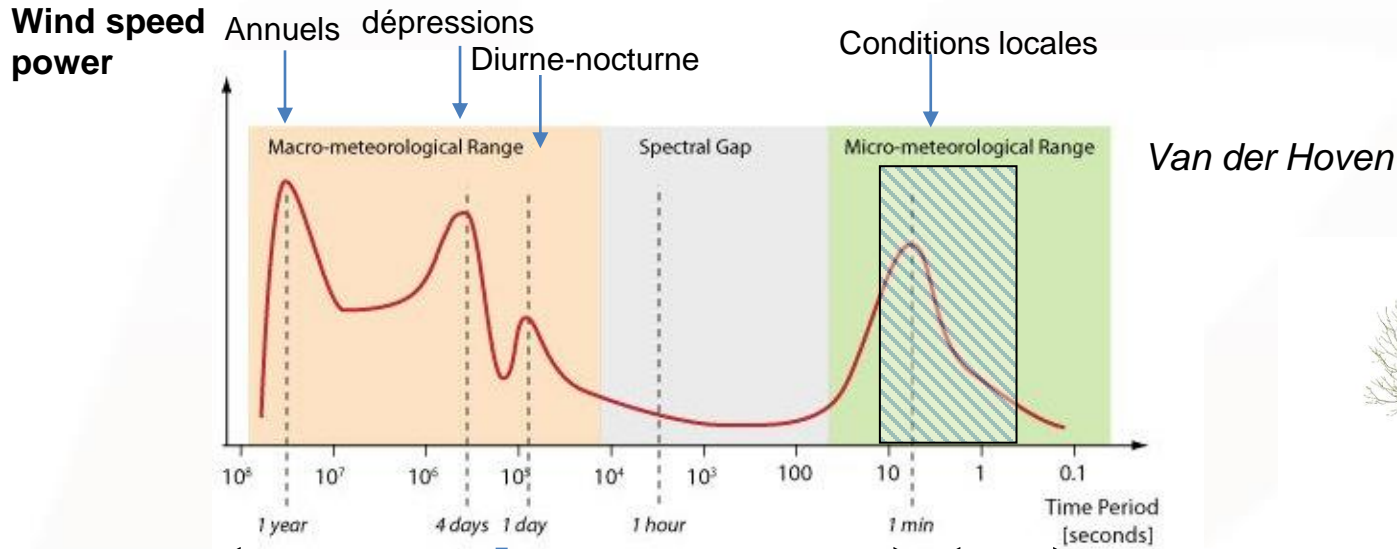




## En serre



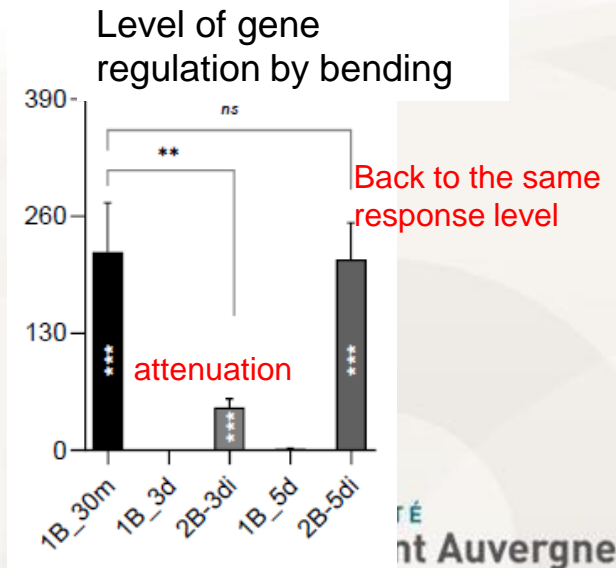
# Part II: The fluctuating nature of mechanical wind loads



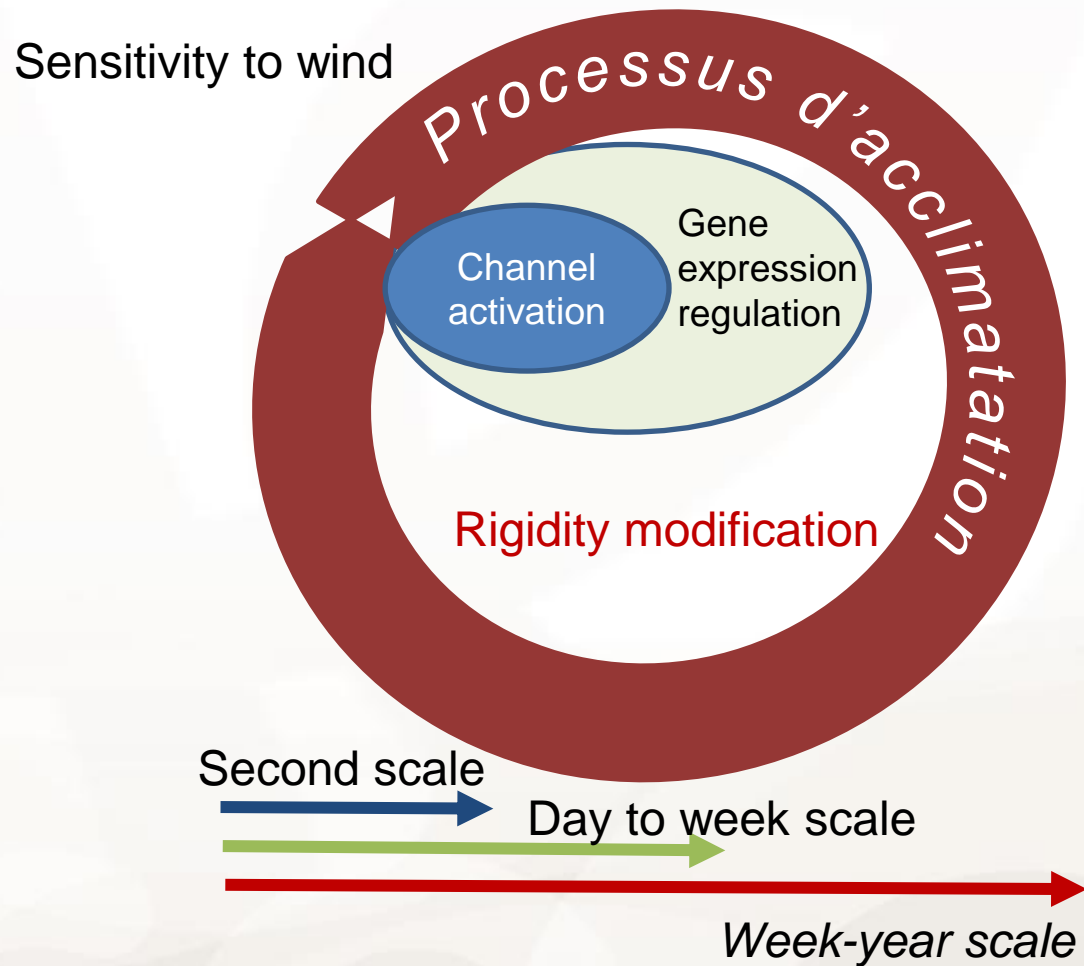
- Previous data: attenuation of **short-term responses** (one day to one week)

What effect on long-term responses ?

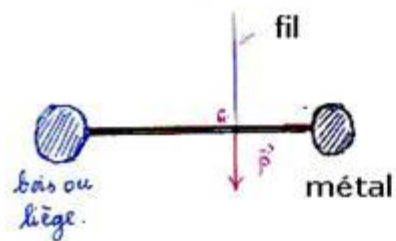
What about mechanisms involved ?



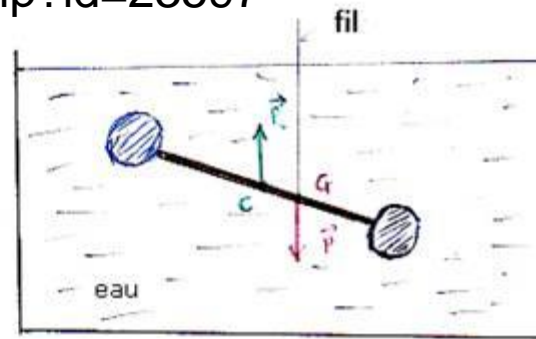
# Conclusion



<http://mediatheque.accesmad.org/educma/d/mod/page/view.php?id=23597>



Equilibre dans l'air



Equilibre dans l'eau