

A low-angle photograph of a dense forest. The camera is positioned near the ground, looking up at the towering trees. Sunlight filters through the dense canopy of leaves and branches, creating a dappled light effect. The colors are a mix of deep greens and bright yellows where the sun hits. The overall atmosphere is serene and natural.

Tenue des arbres au vent et acclimatation

by Jana Dlouhá, INRAE, UMR SILVA, Nancy

Arbre: poutre élancée soumise à une force latérale, projet d'ingénierie audacieux



qui parfois s'avère trop audacieux

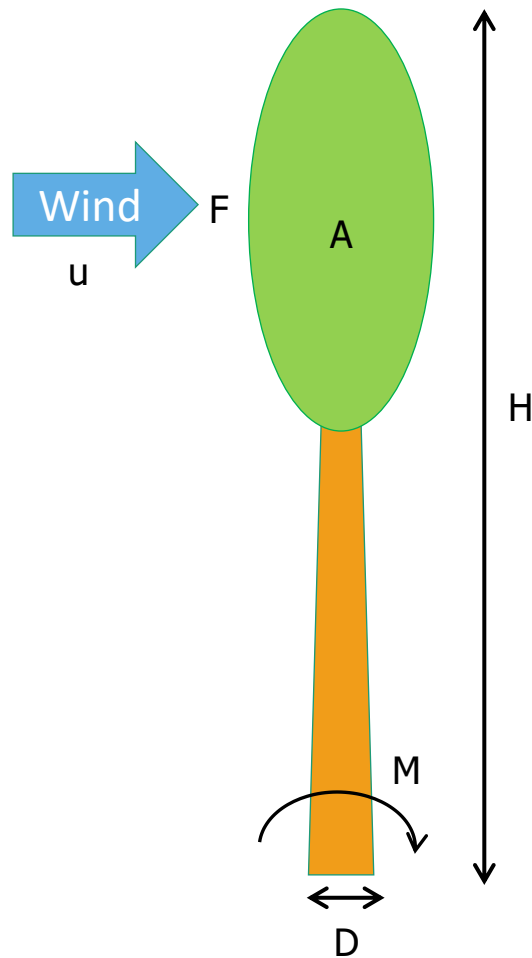


Storm Lothar (1999)



Un sous bois en Lorraine (futaie irrégulière)

L'arbre sous le vent: équilibre entre la résistance de l'arbre et la force de la traînée



Dimensions de l'arbre: Diamètre D , Hauteur H
Surface du houppier A

Chargement lié au vent: Vitesse u

Propriétés du bois : Résistance σ_{crit}

Moment fléchissant du vent : $M \sim H A u^2$

Contrainte/Déformation: $\sigma = E \varepsilon \sim M / D^3$
 $\sigma \sim u^2 H A / D^3$

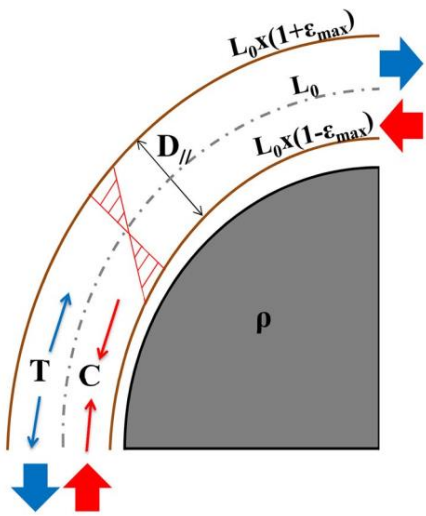
Sécurité face au vent $\frac{\sigma_{crit}}{\sigma}$: $SF \sim \underbrace{\sigma_{crit}}_{\text{Propriétés du bois}} \underbrace{\frac{D^3}{H A}}_{\text{Morphologie de l'arbre}} \underbrace{u^{-2}}_{\text{Chargement}}$

Un arbre vulnérable vis-à-vis du vent, c'est quoi?

- Un arbre très exposé au vent?
- Un arbre avec un houppier trop grand ou mal enraciné?
- ...?

Est-ce qu'un arbre vulnérable reste vulnérable ou est-ce qu'il peut agir sur sa vulnérabilité?

Thigmomorphogénèse ou alors comment la mécanique impacte la croissance des plantes



La déformation perçue déclenche une réaction de croissance afin de réduire le risque mécanique auquel l'arbre est exposé

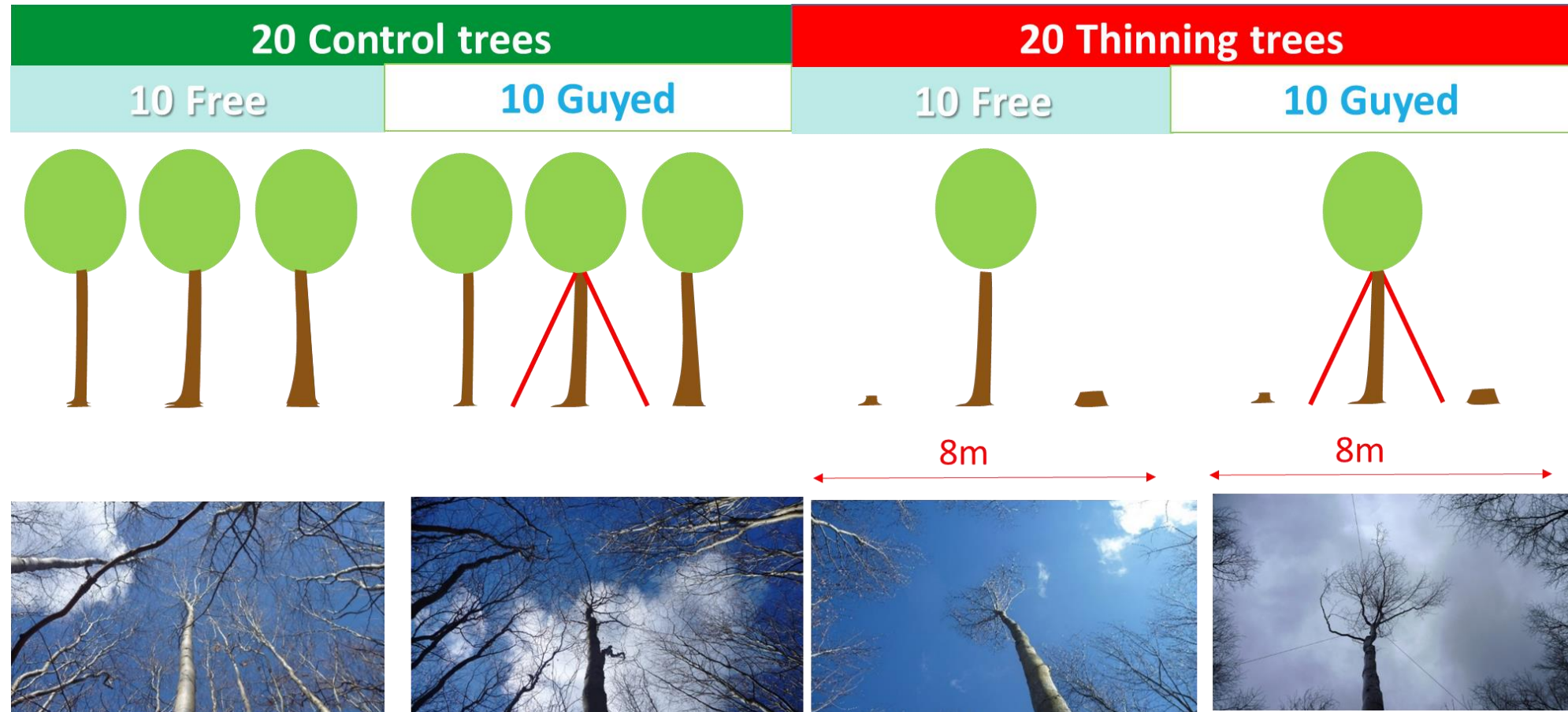
Importance de la thigmomorphogénèse dans les conditions naturelles

Vent-Eclair: site pilote lorrain pour examiner l'importance sylvicole de la thigmomorphogénèse

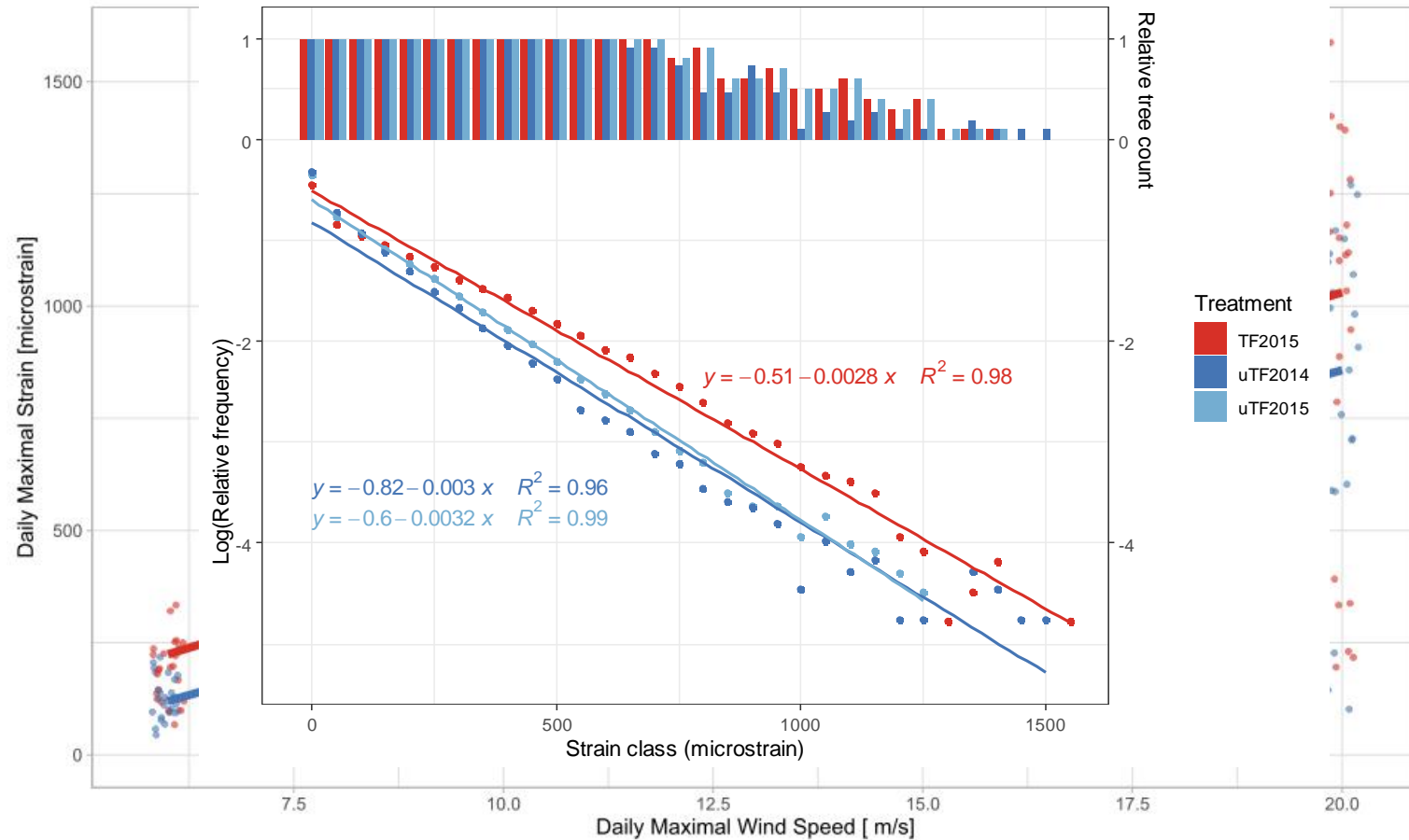


Perchis de
hêtres de 30
ans en retard
d'éclaircie

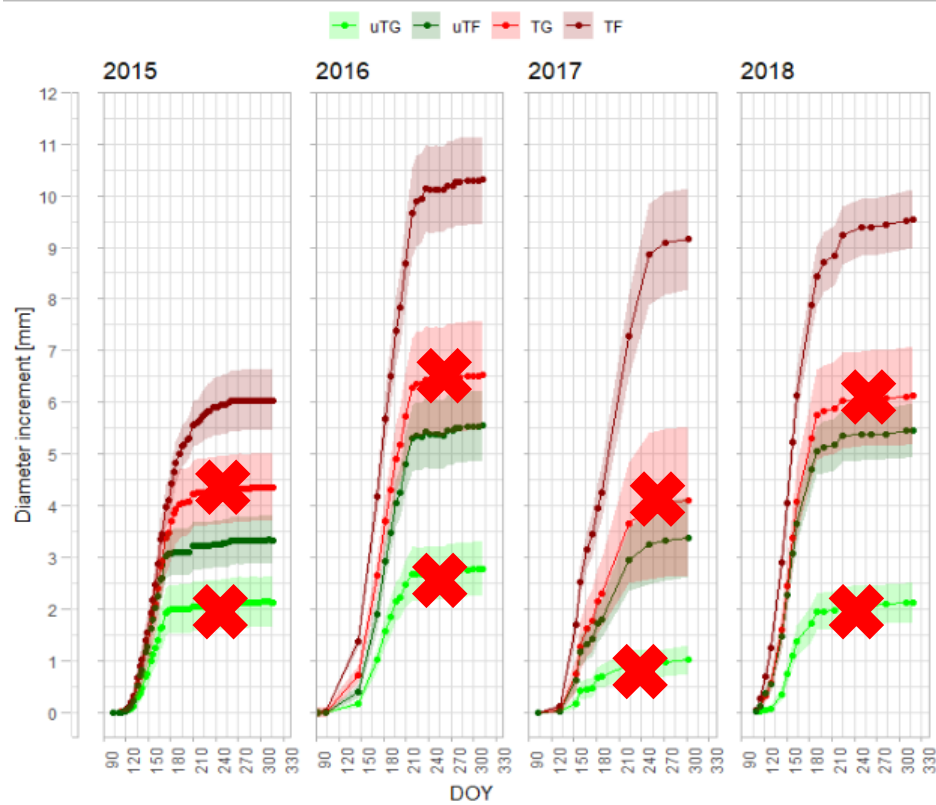
Vent-Eclair: site pilote lorrain pour examiner l'importance sylvicole de la thigmomorphogénèse



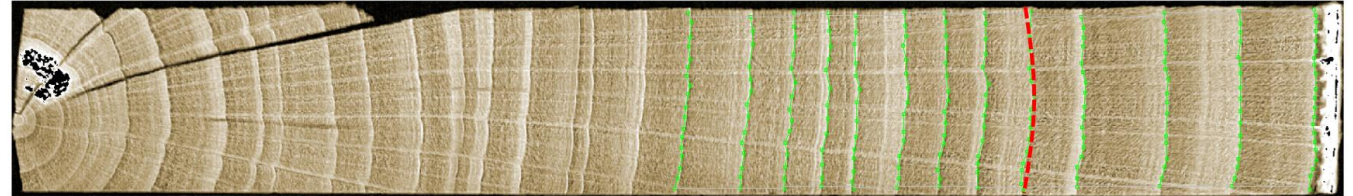
Changement de régime de déformations après éclaircie



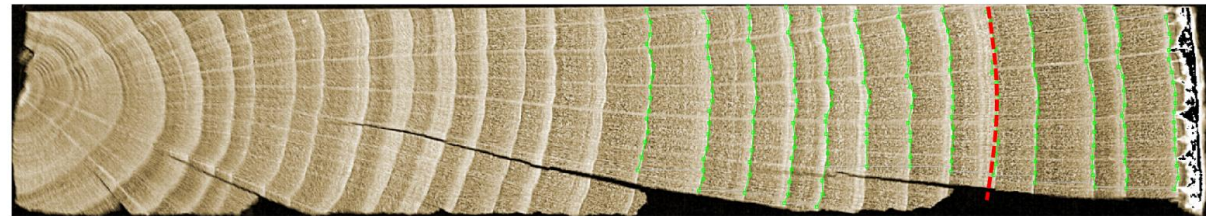
Effet du vent sur la croissance radiale



Croissance arbre éclairci libre

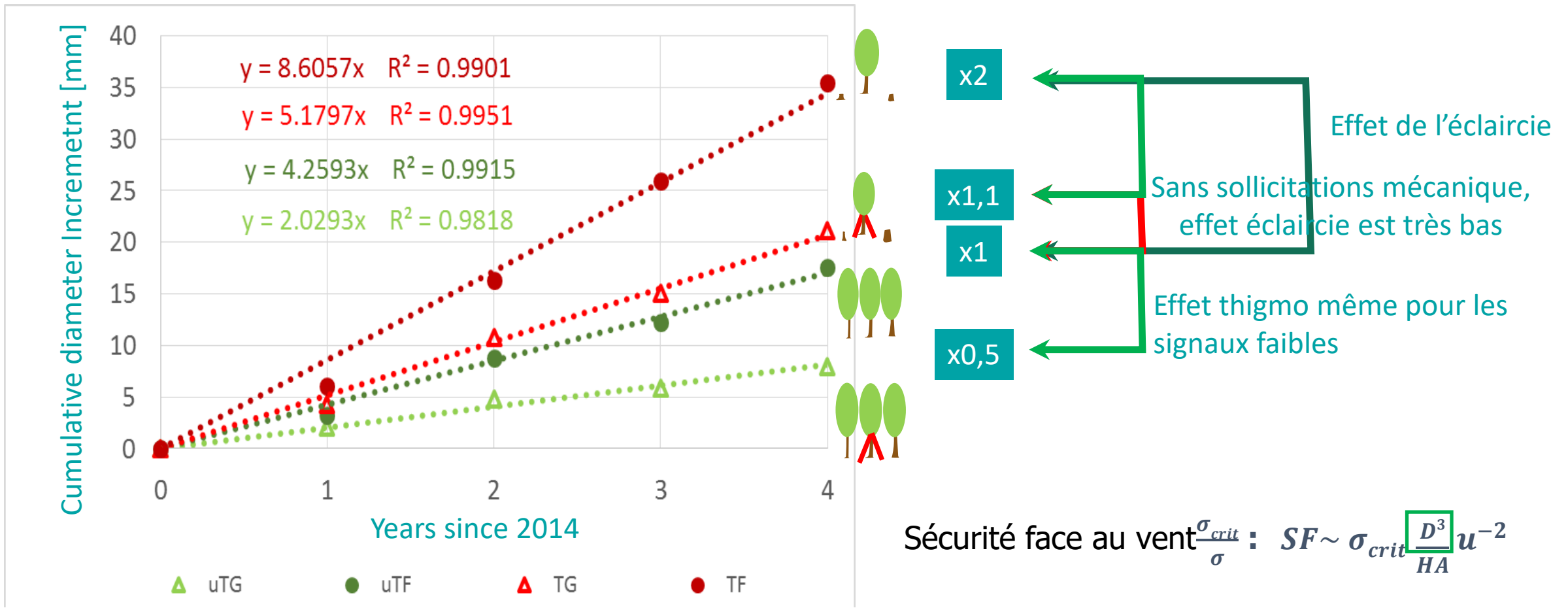


Croissance arbre éclairci haubané

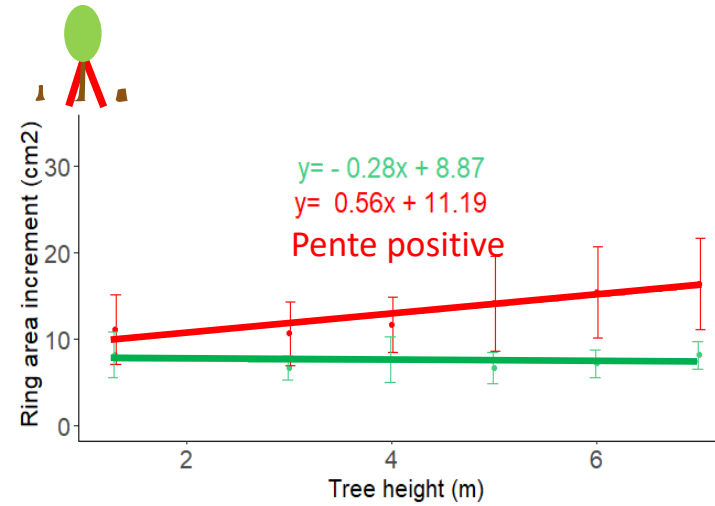
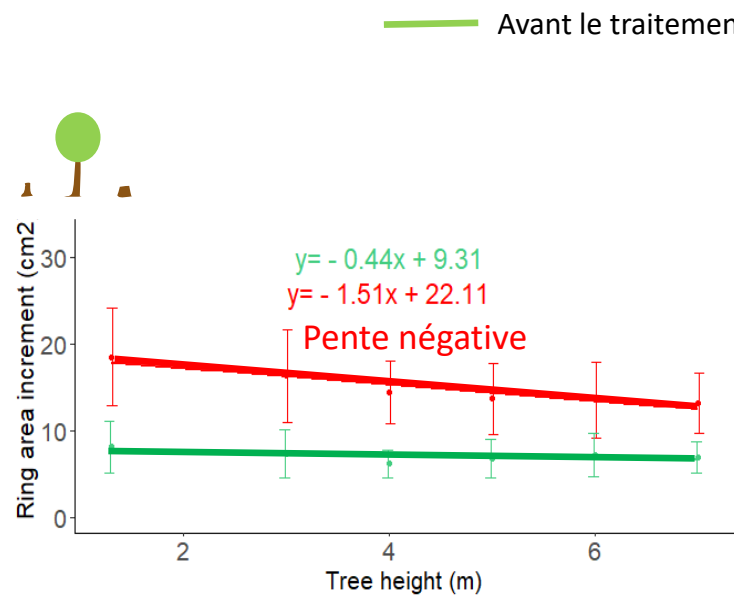


L'année du traitement

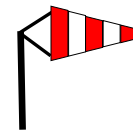
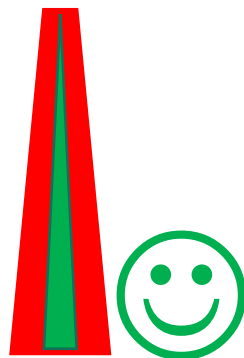
Effet cumulé du vent sur la croissance radiale: suivi de 4 ans après éclaircie/haubanage



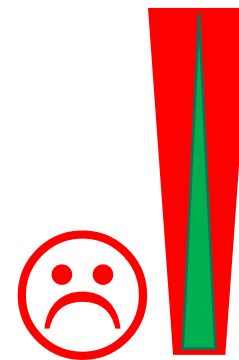
Impact des sollicitations mécaniques sur la forme du tronc de l'arbre



Mécaniquement stable

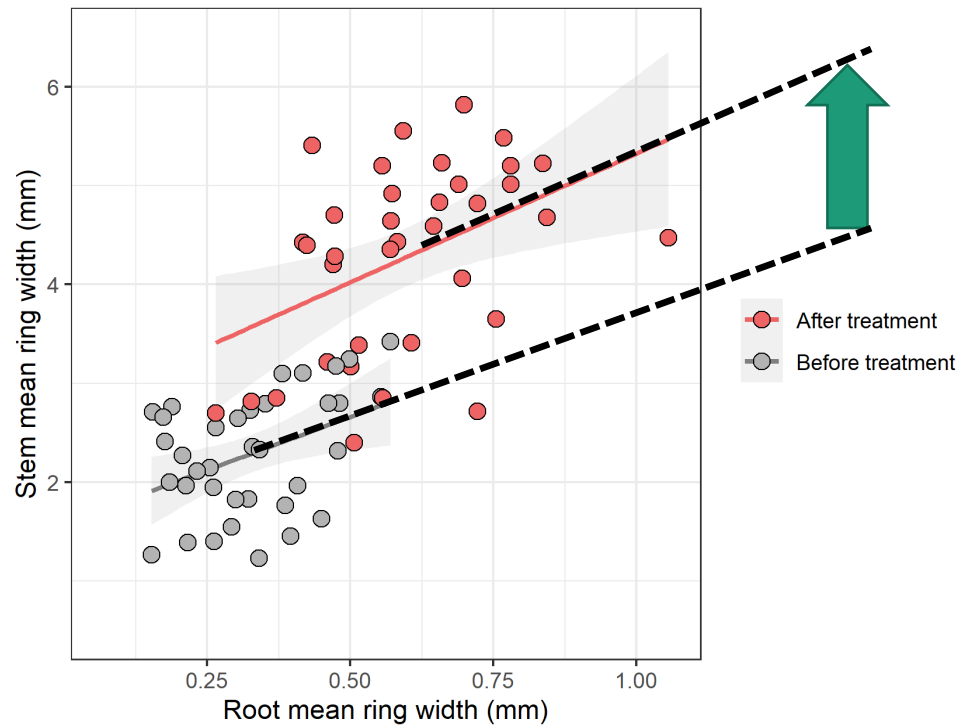


Mécaniquement instable



Distribution de la biomasse entre les compartiments de l'arbre

Perche de hêtre éclaircies



Dlouha et al. 2023

Après l'éclaircie, plus de biomasse est allouée au tronc qu'aux racines

Probablement car le risque mécanique au niveau des troncs est bien supérieure à celle du système sol-racines à ce stade de développement

Conclusion sur la thigmomorphogénèse chez les arbres en milieu naturel

- L'arbre contrôle activement sa sécurité mécanique via un signal mécanique perçu durant le fléchissement de la tige sous le vent qui permet d'ajuster sa croissance pour devenir plus résistant
- Ce sont surtout des perturbations soudaines de son milieu qui le rendent vulnérable (éclaircie, trouée...) et ceci de façon transitoire
- L'ajustement de la croissance au signal mécanique s'avère être un mécanisme très sensible au changement du signal mécanique et omniprésent dans la vie de l'arbre
- Il est essentiel d'intégrer la thigmomorphogénèse dans les évaluations de stockage de carbone et de risque mécanique des peuplements et de le considérer dans la réflexion sur les itinéraires sylvicoles innovants

Merci pour votre attention!



Suivi des déformations et de la croissance

strain



strain gages glued on
homemade transducer



sampling rate = 4Hz

radial growth

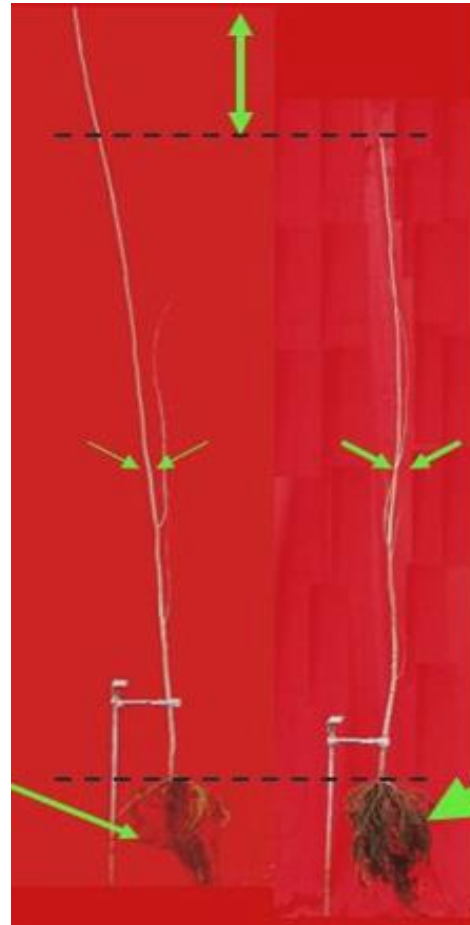


automatic point dendrometer

sampling rate = every 30 minutes

Expé en serre: effets sur la morphologie

témoin

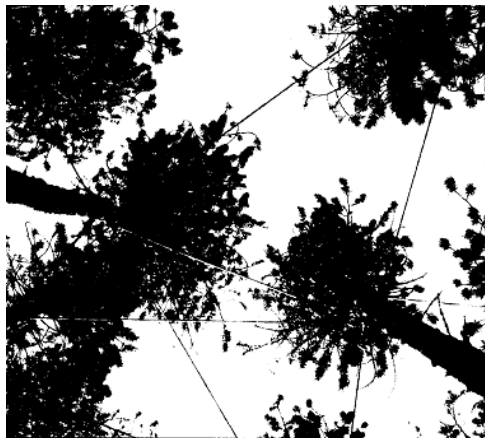


Fléchi une fois toutes les 3 heures pendant 6 semaines

De: Coutand, 2010

Expériences limitant les sollicitations mécaniques en forêt

Mark Rudnicki
Assistant professor
U. Of Connecticut

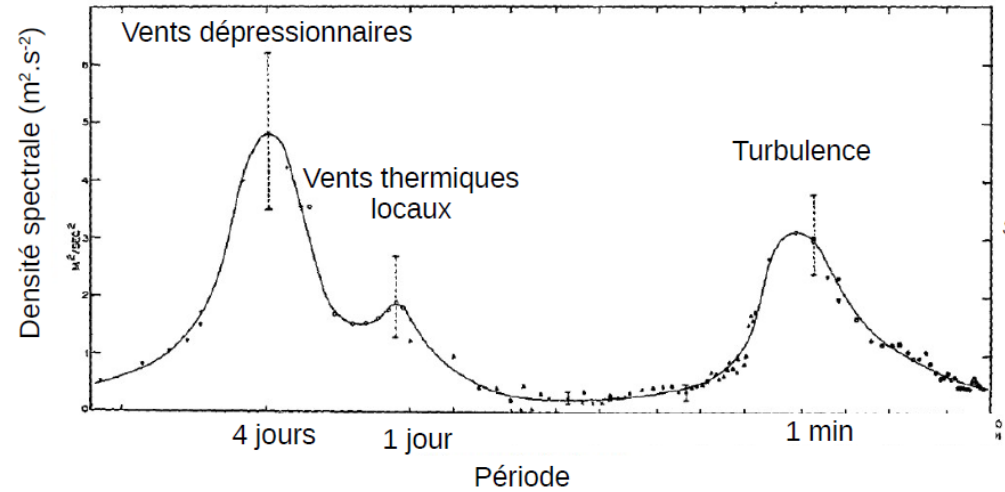
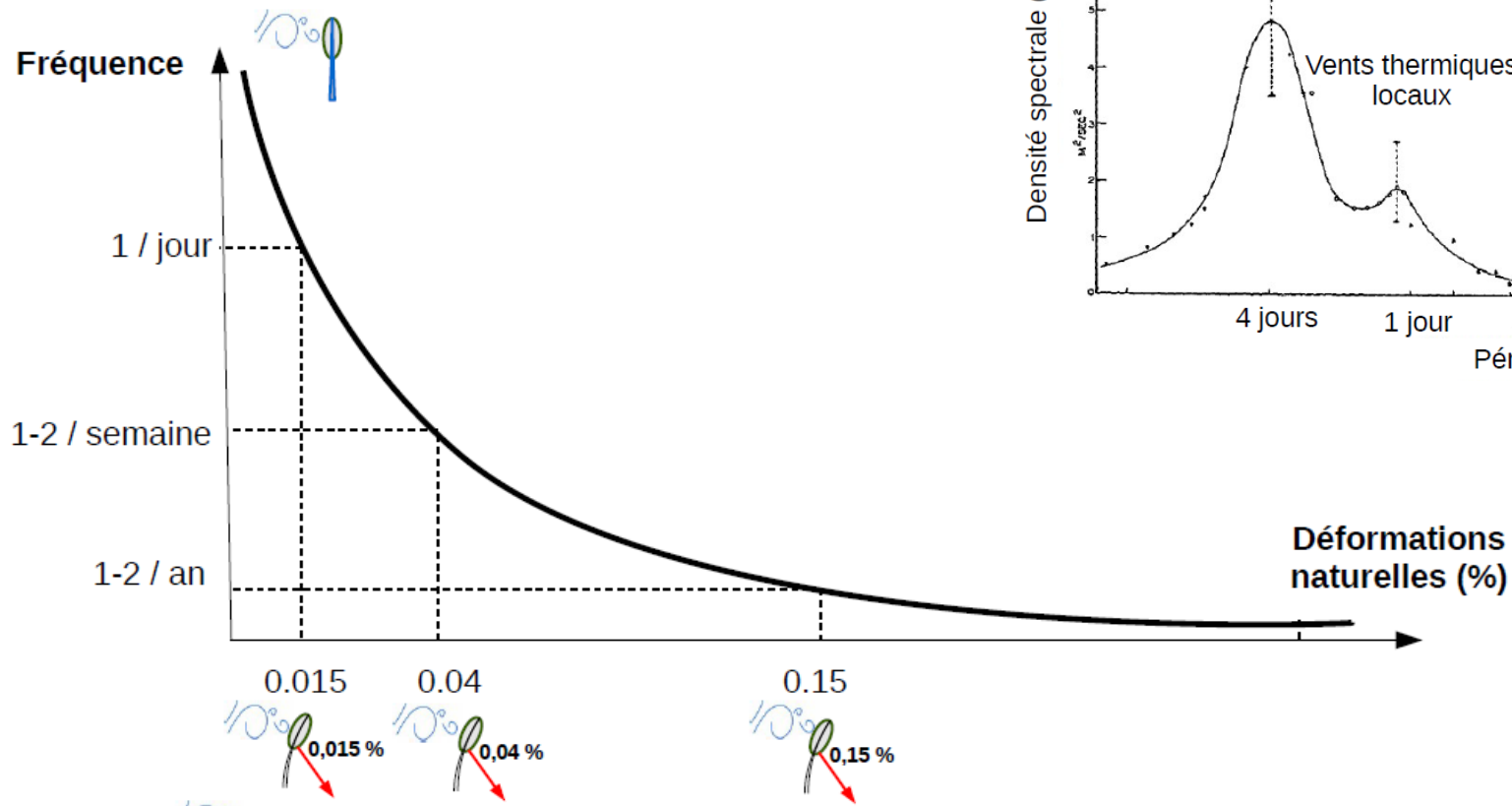


$$\text{Sécurité face au vent} \frac{\sigma_{crit}}{\sigma} : SF \sim \sigma_{crit} \frac{D^3}{HA} u^{-2}$$

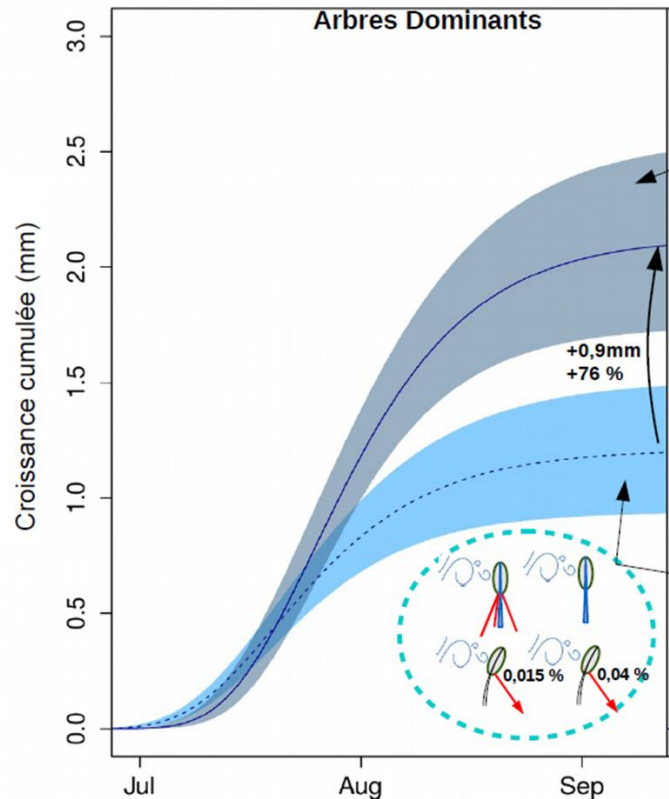
Pinus contorta (50-55 ans) attachés à 10m pour réduire les balancements et les moments de flexion en dessous de 10m
Belle expérience (répétitions, plusieurs sites et placettes, Alberta)
Résultats spectaculaires après six ans

Ratio of growth after (1999-2003) / before (1993-1997) tethering	Tethered trees	Control trees
Height	40%	-20%
Basal area at 1.3m	-23%	-7%
Basal area at 10m	46%	-9%

Quels sont les épisodes venteux perçus?



Quels sont les épisodes venteux perçus?



Filtre les vents récurrents journaliers de faible intensité

Perçoit les événements rares et plus intenses

=> **seuil de sensibilité compris entre 0,04 et 0,15%**

6semx3flexions=18 flexions à 0,15% => +76% de croissance (cumulée)

=> **syndrome thigmomorphogénétique retrouvé en conditions naturelles**