

SAISONNALITÉ ET RÉSISTANCE AU GEL DES FORÊTS TEMPÉRÉES

Yann Vitasse

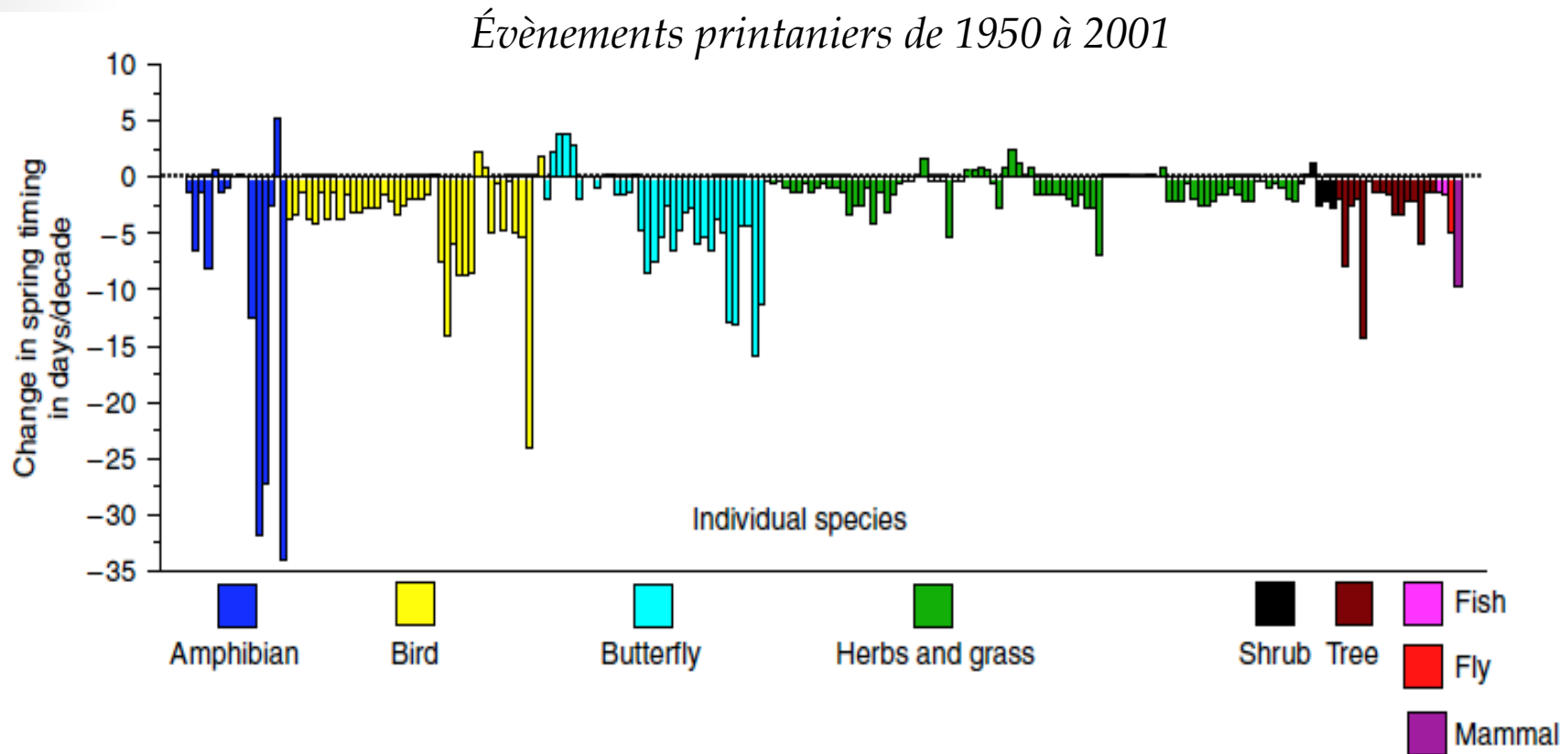


PHENO 2015 – Clermont Ferrand –

Mardi 17 Novembre 2015



IMPACT DU CC SUR LA PHÉNOLOGIE



Parmesan et al. Global Change Biology 2007

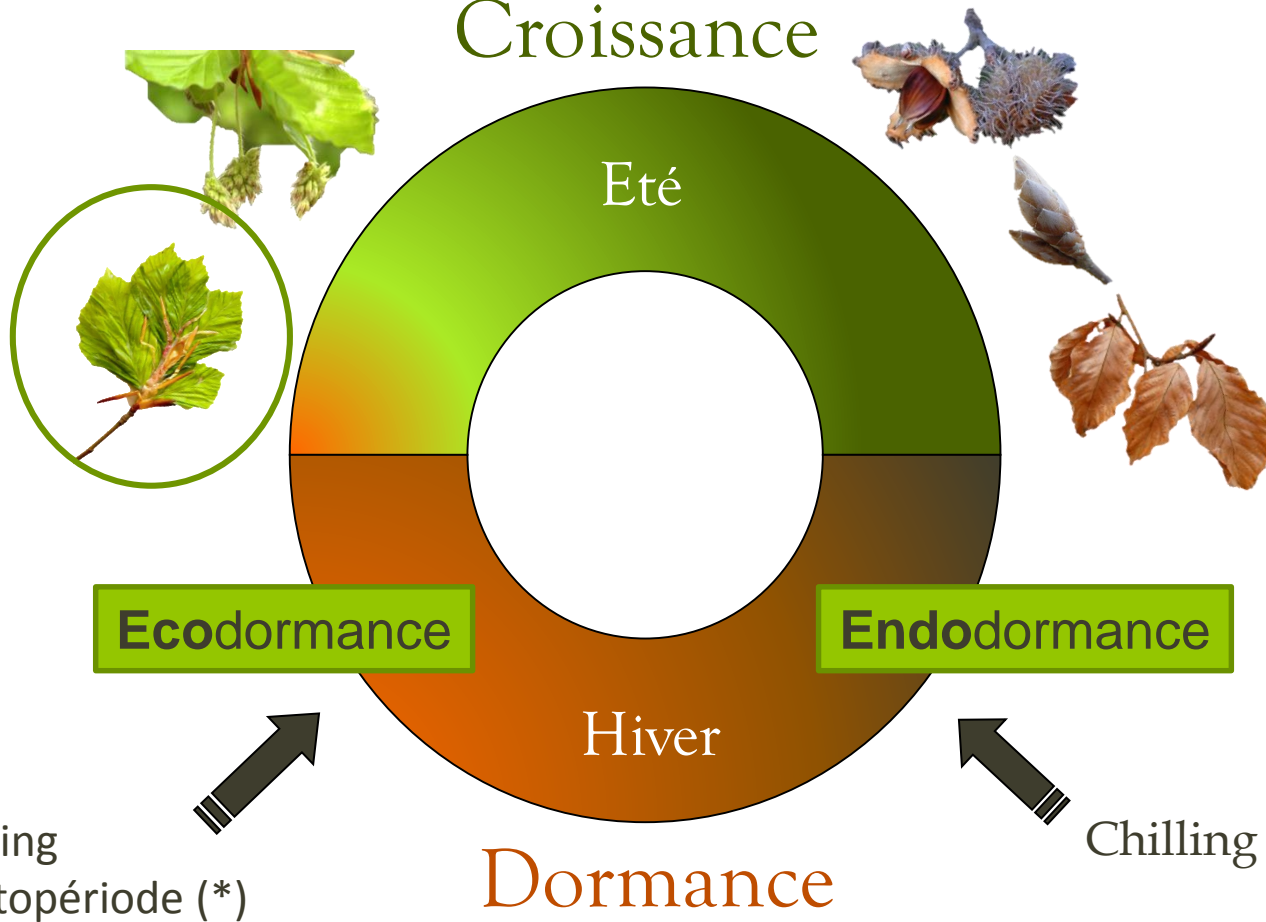
→ Printemps de plus en plus précoce pour tous les taxons...

CYCLE PHÉNOLOGIQUE

Cycle phénologique des arbres tempérés caducifoliés

Fagus sylvatica

Croissance

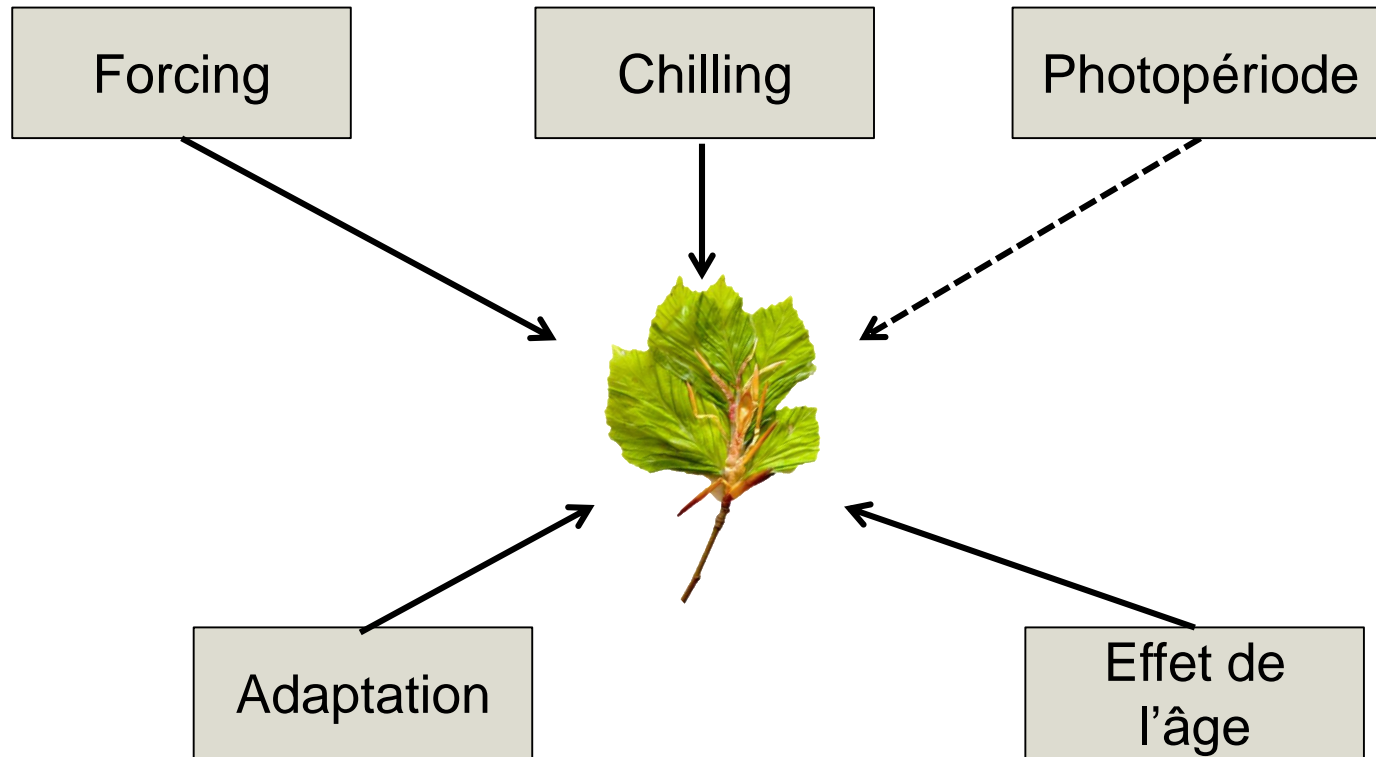


OUTLINES

1. Facteurs contrôlant le débourrement des arbres de forêts tempérées
2. Résistance au gel & Phénologie
3. Phénologie & Réchauffement Global

ENVIRONNEMENT & GÉNÉTIQUE

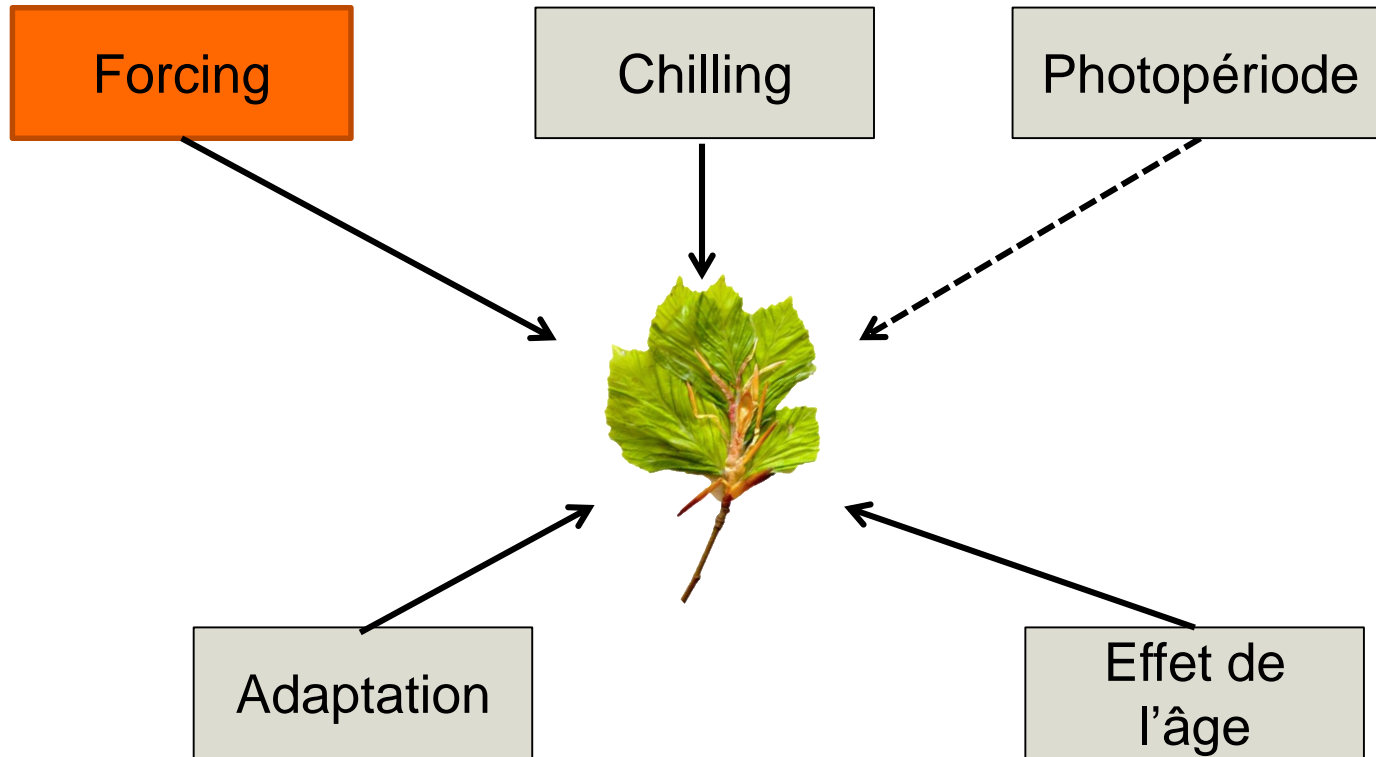
Facteurs environnementaux



Facteurs génétiques & Ontogénétiques

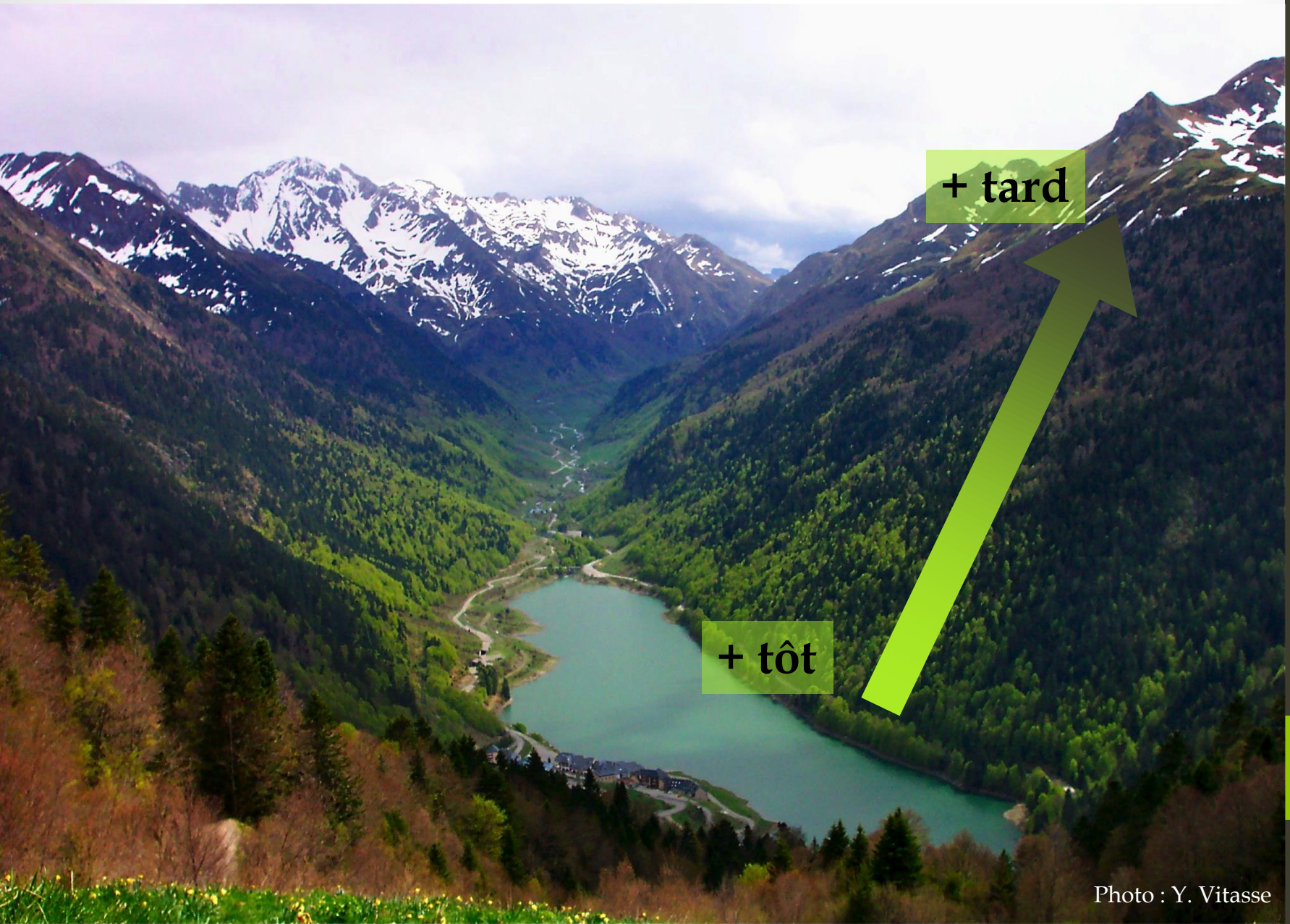
ENVIRONNEMENT & GÉNÉTIQUE

Facteurs environnementaux



Facteurs génétiques & Ontogénétiques

RÔLE DES 'FORCING'



+ tard

+ tôt

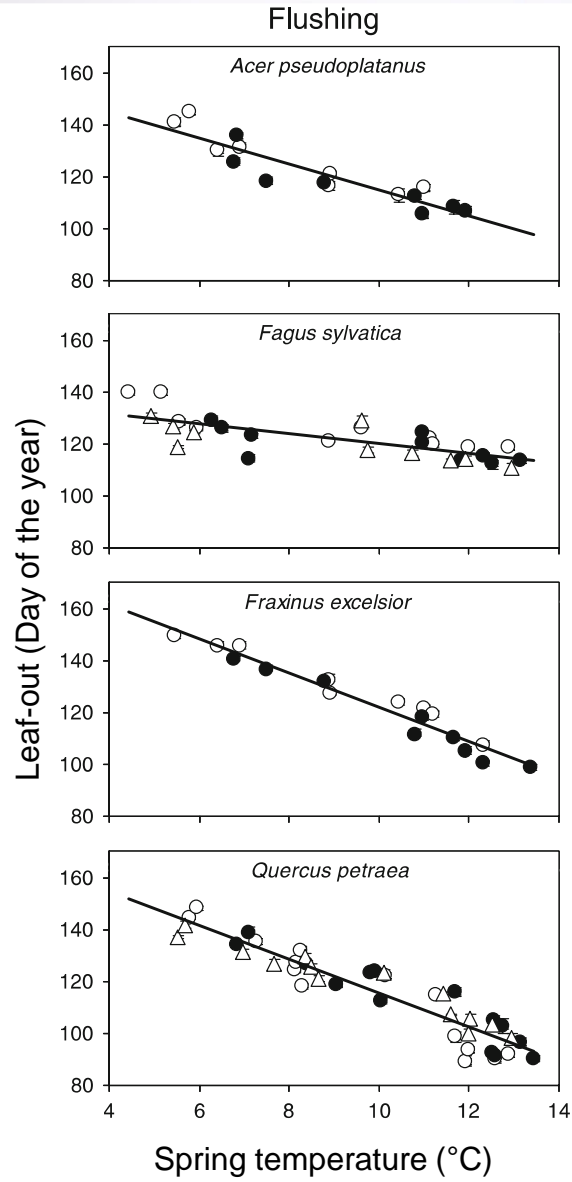
Facteurs régulant le débourement

1

17/11
2015

Photo : Y. Vitasse

RÔLE DES 'FORCING'



Erable sycomore



-5.0 days °C⁻¹

Δmax = 39 days
24 days/ 1000 m

Hêtre



-1.9 days °C⁻¹

Δmax = 29 days
11 days/ 1000 m

Frêne élevé



-6.6 days °C⁻¹

Δmax = 51 days
29 days/ 1000 m

Chêne sessile

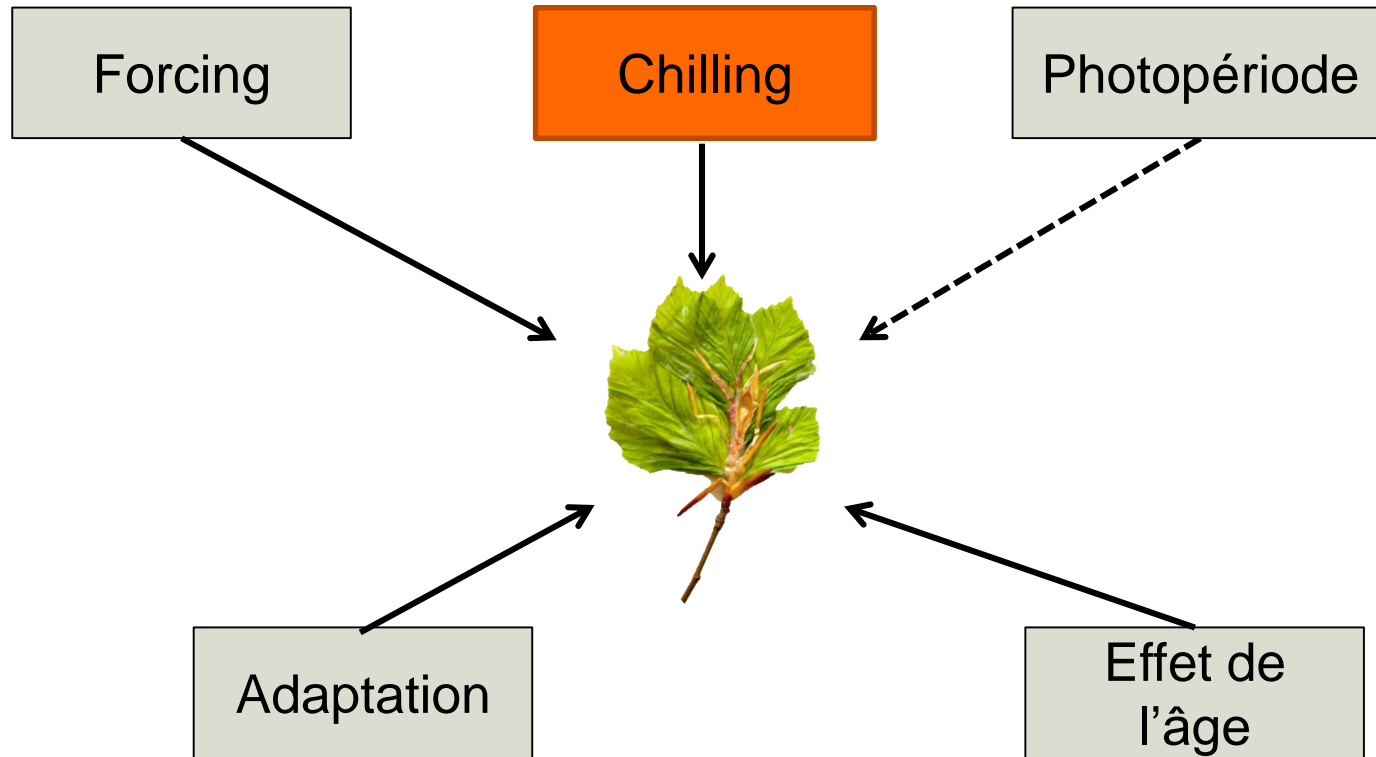


-6.5 days °C⁻¹

Δmax = 59 days
33 days/ 1000 m

ENVIRONNEMENT & GÉNÉTIQUE

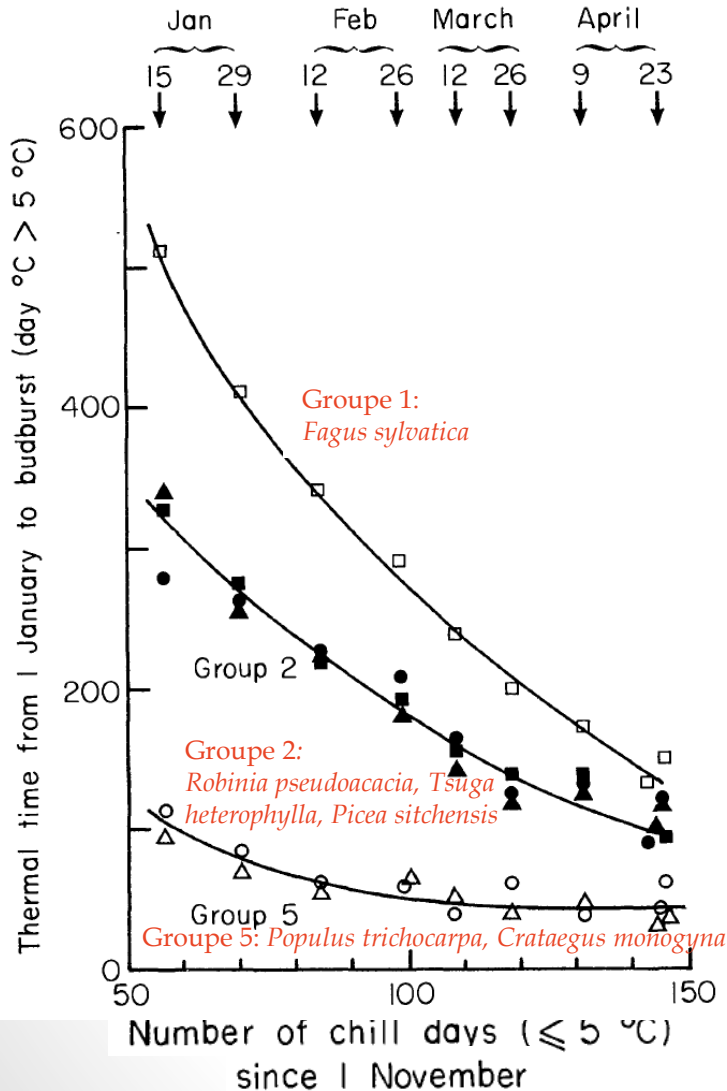
Facteurs environnementaux



Facteurs génétiques & Ontogénétiques

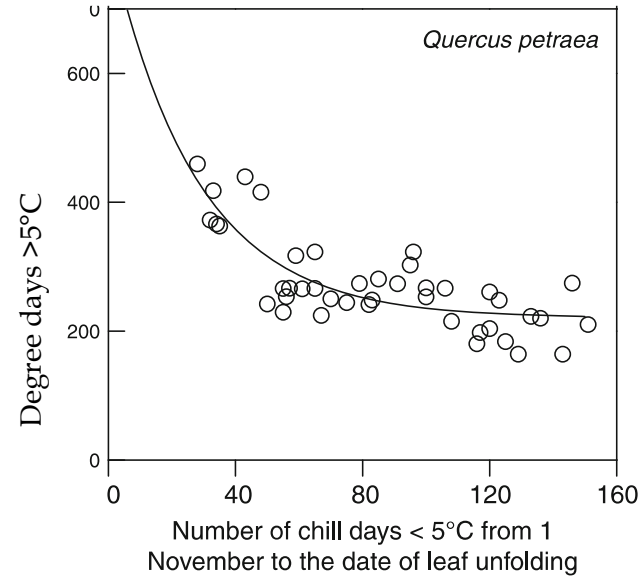
RÔLE DES 'CHILLING'

Experimental evidences



Murray et al., 1989 J. applied Ecology

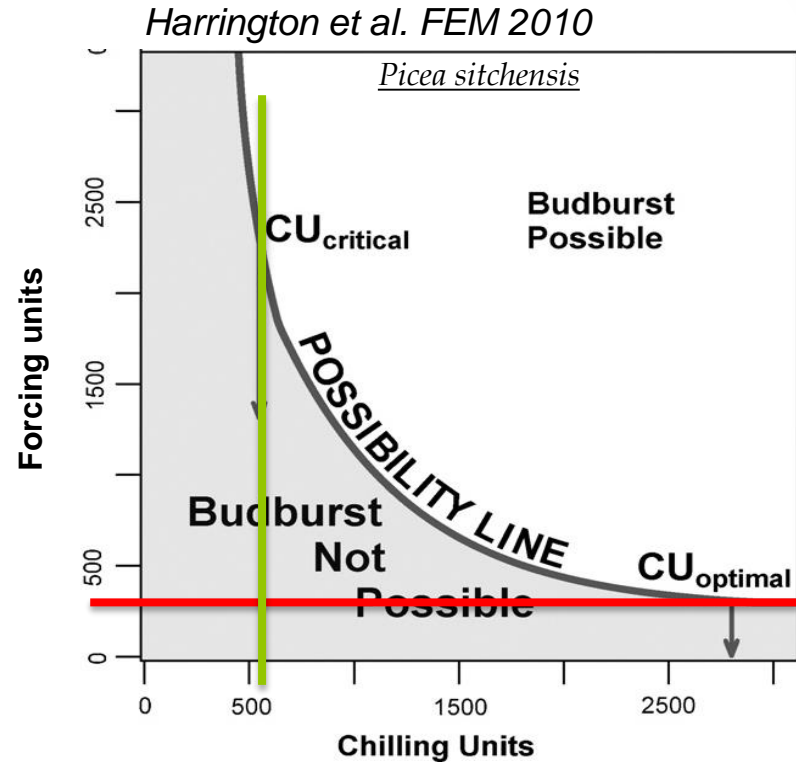
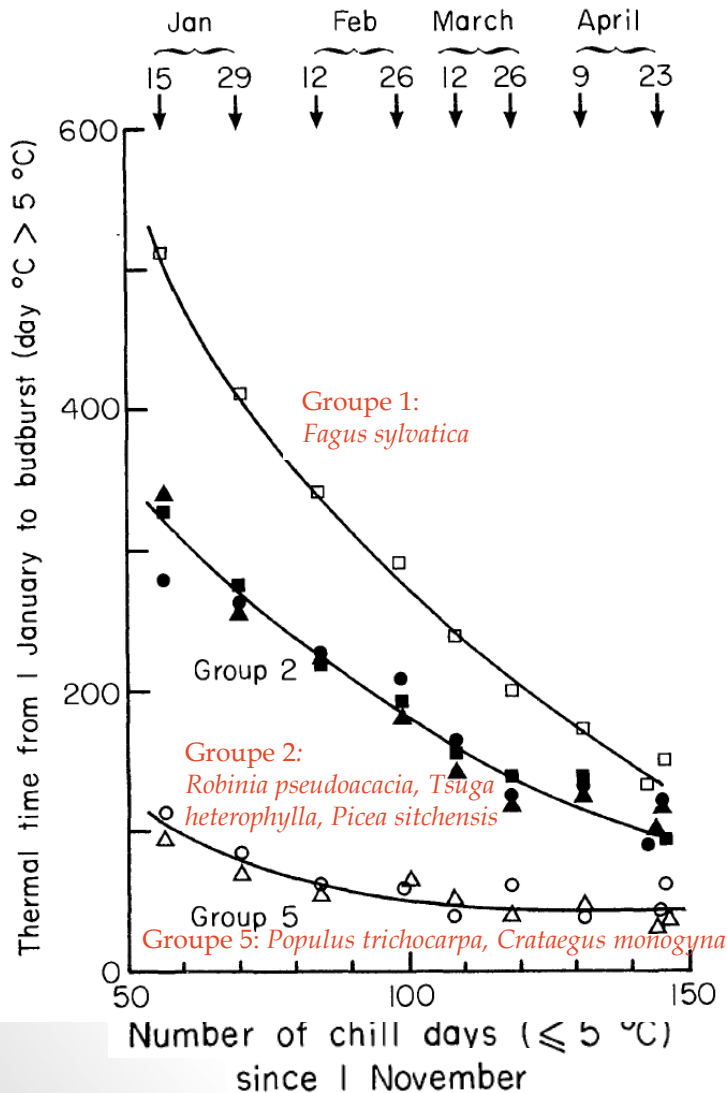
in situ



Vitasse & Basler Eur. J. For. Res., 2013

→ Températures de Chilling comprises entre ~0 to 5°C
 (Coville, Science, 1920)
 → ≠ relations selon les espèces

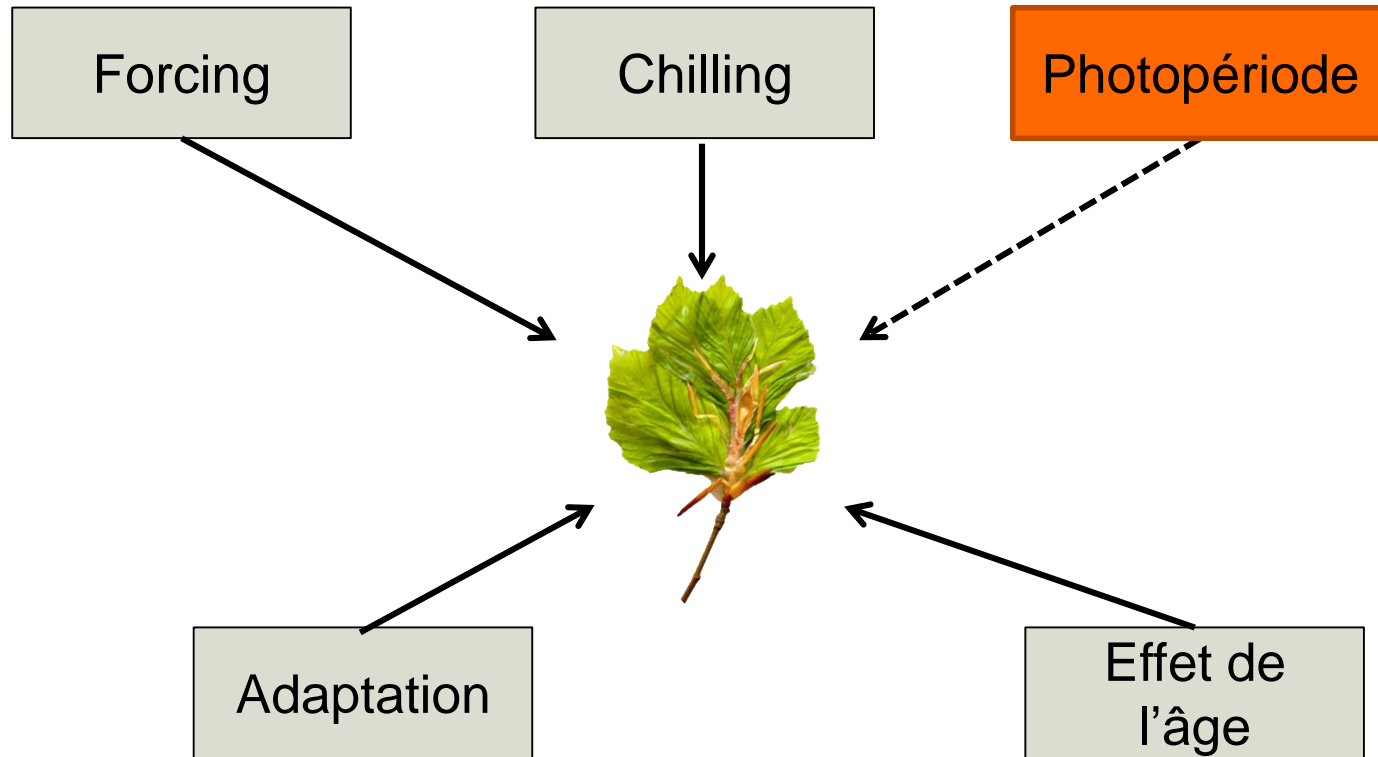
RÔLE DES 'CHILLING'



- Durée minimum de froid pour permettre le débourrement
- Somme minimale de température chaude requise quand la dormance a été pleinement levée par les chilling

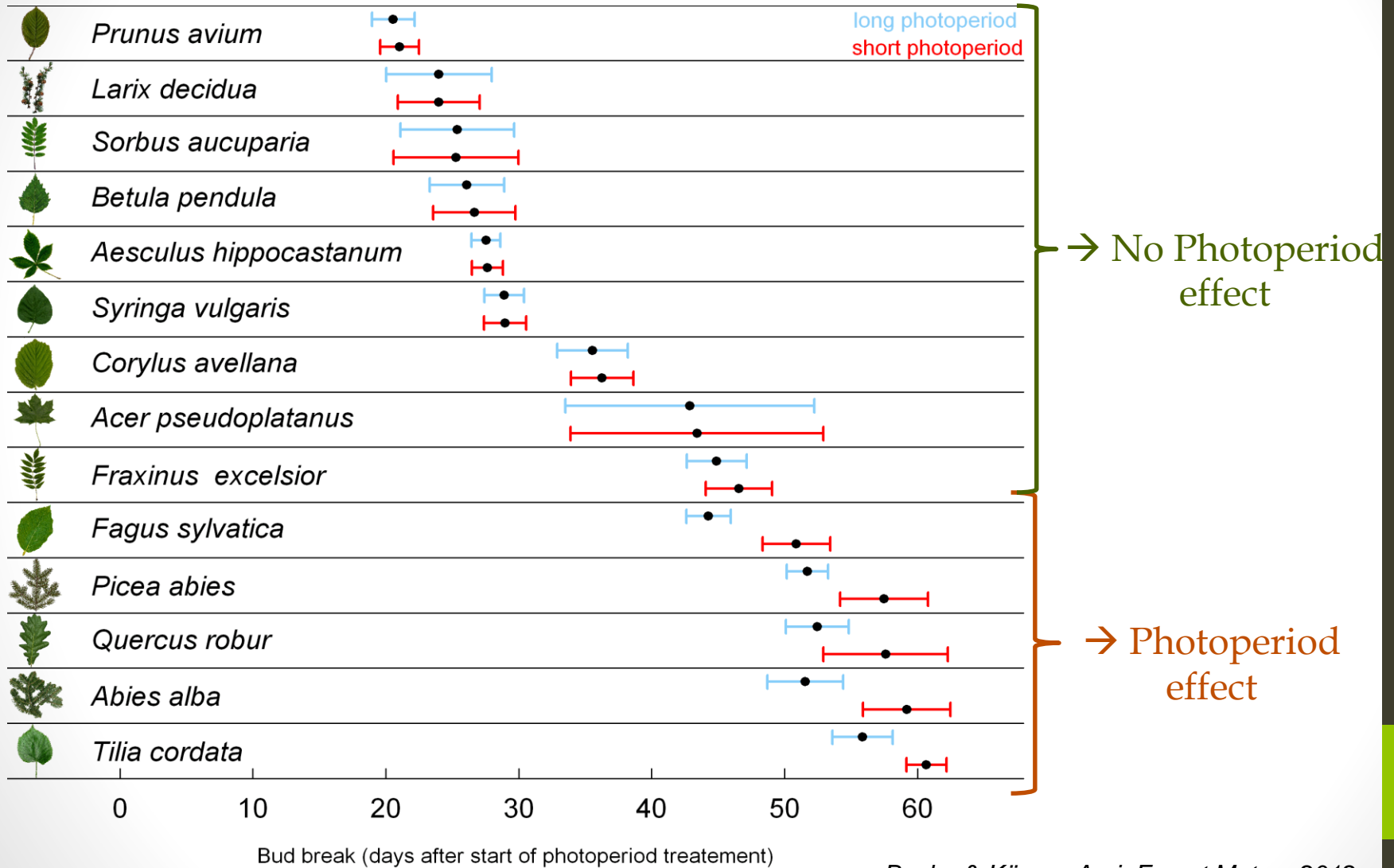
ENVIRONNEMENT & GÉNÉTIQUE

Facteurs environnementaux



Facteurs génétiques & Ontogénétiques

RÔLE DE LA PHOTOPÉRIODE



Basler & Körner, Agri. Forest Meteo. 2012

RÔLE DE LA PHOTOPÉRIODE

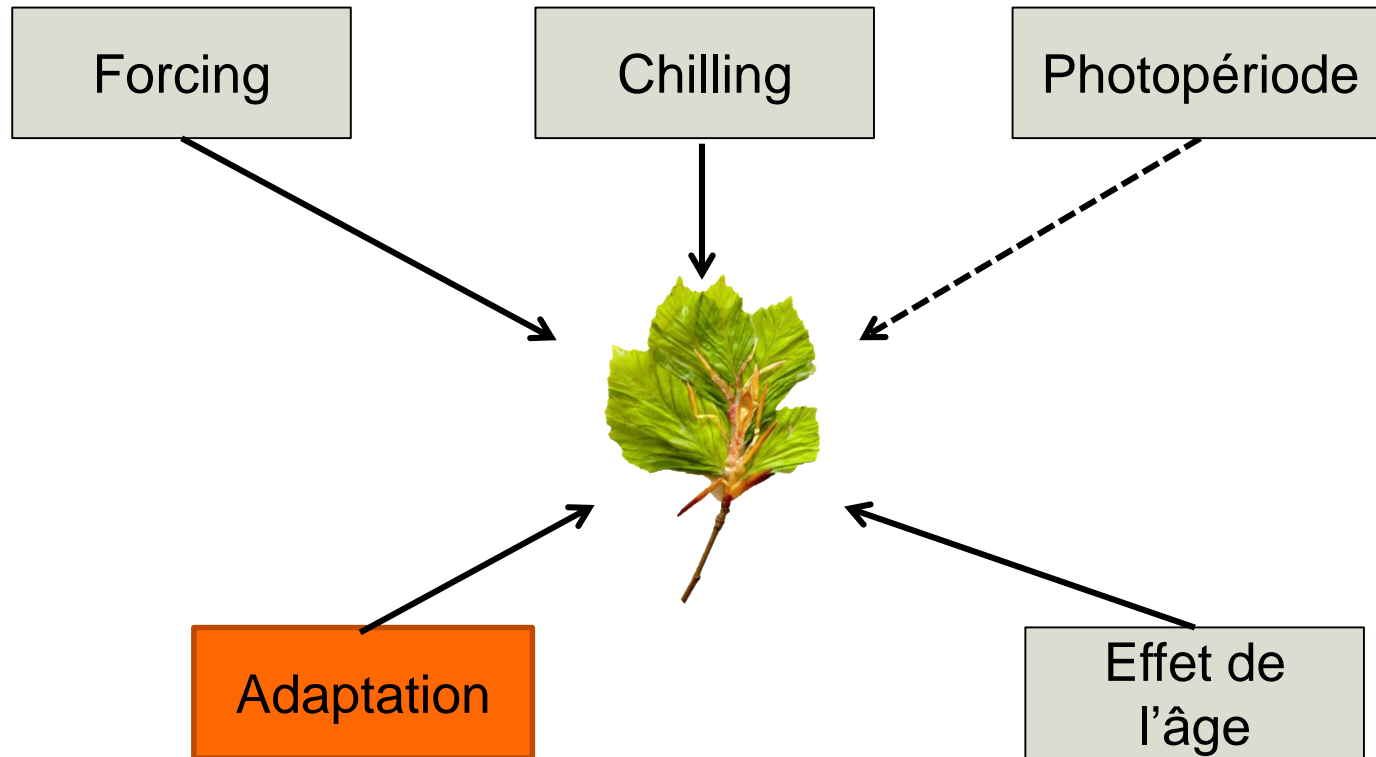


Fig. 5 Development of *Fagus sylvatica* buds kept under translucent (upper twig) or light-tight bags (lower twig) on 25 April 2014.

Zohner & Renner, New Phytologist 2015

ENVIRONNEMENT & GÉNÉTIQUE

Facteurs environnementaux



Facteurs génétiques & Ontogénétiques

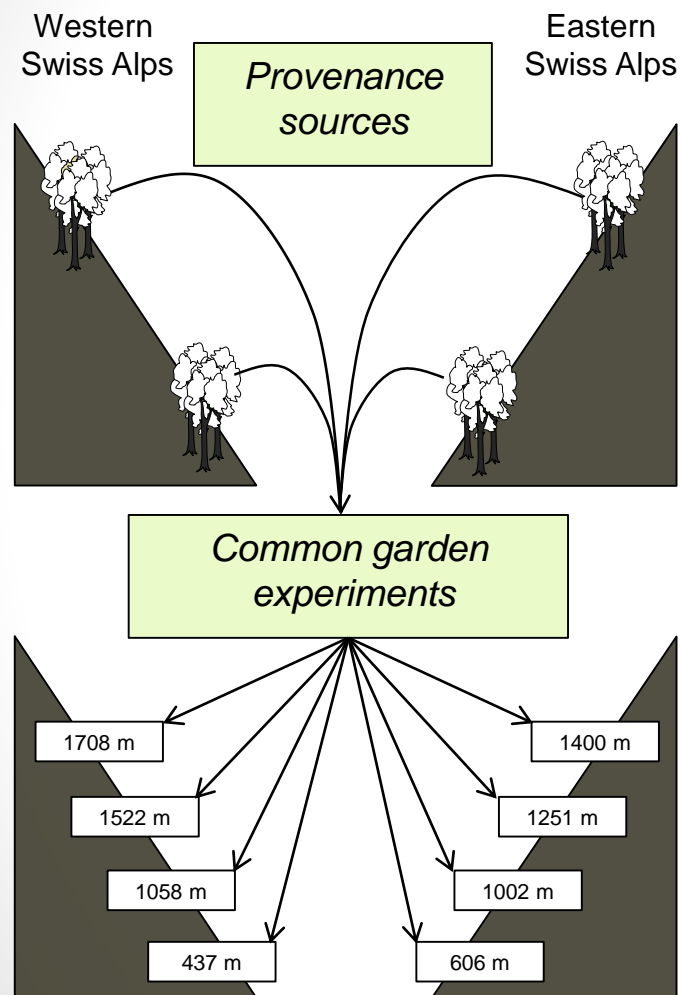
ADAPTATIONS GÉNÉTIQUES

Effets génétiques
versus
effets non génétiques

ADAPTATIONS GÉNÉTIQUES

Projet ERC - TREELIM 2010-2014 (PI: Christian Körner)

4702 pots déplacés !



Vitasse et al. 2014 *Functional Ecology*

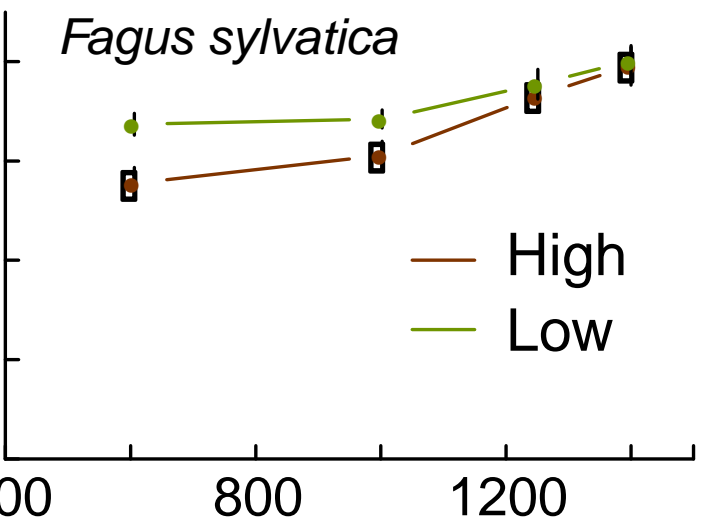
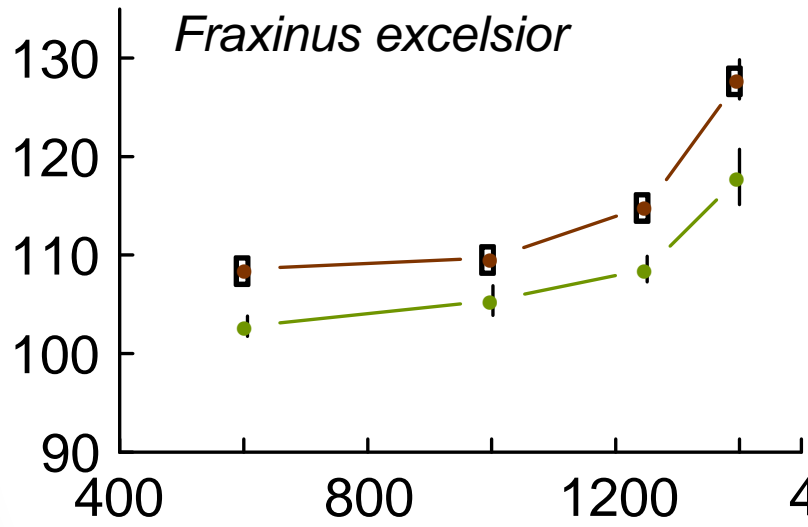


ADAPTATIONS GÉNÉTIQUES

Leaf-out (Day of the year)

CO-GRADIENT VARIATION
(pop from **higher** elevation are later)

COUNTER-GRADIENT VARIATION
(pop from **lower** elevation are later)



Elevation of the garden (m)

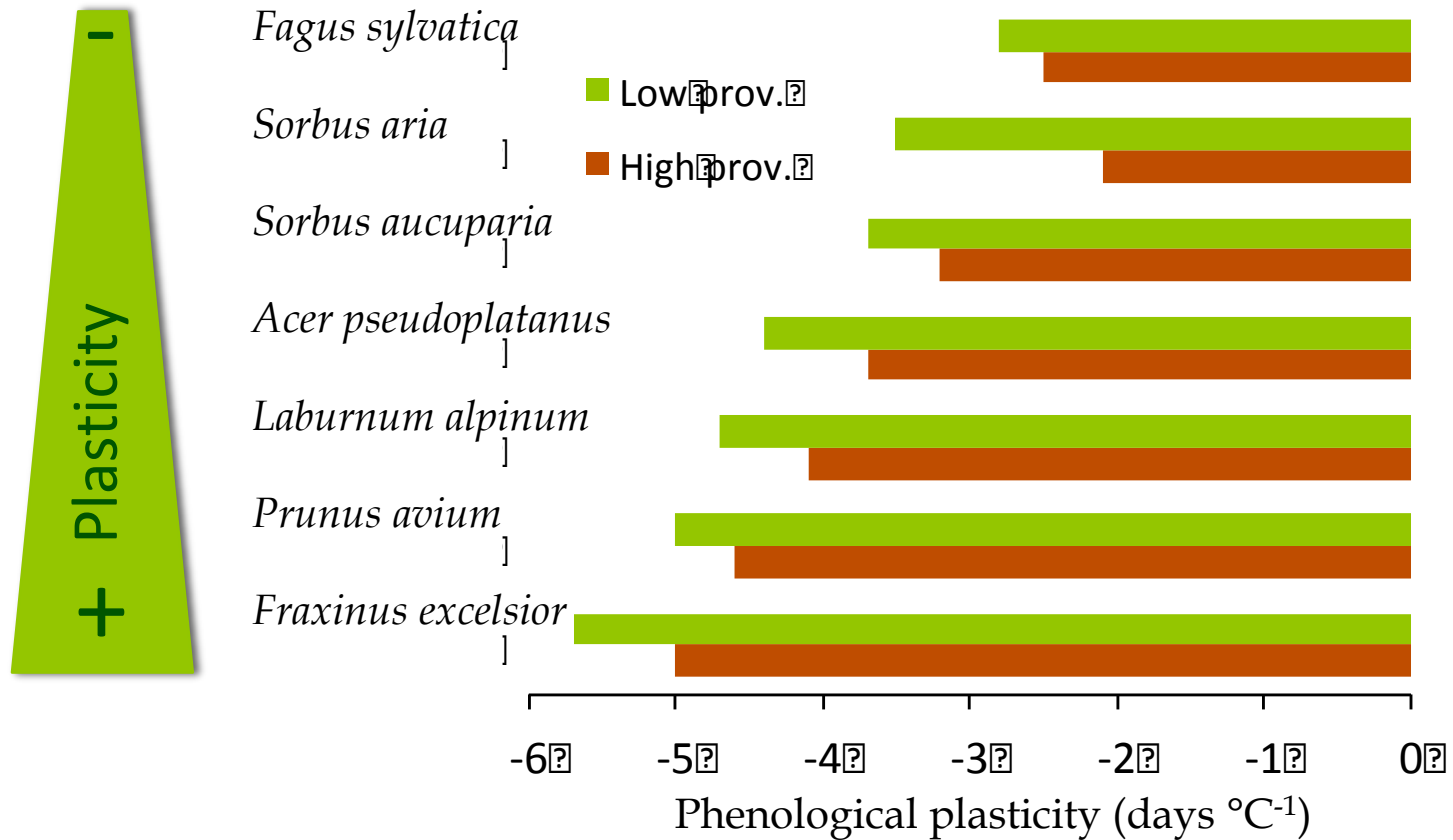
Vitasse et al. 2013 *Oecologia*

→ Le plus souvent co-gradient variation, mais le hêtre est souvent une exception...

Facteurs régulant le débournement

1

PLASTICITÉ PHÉNOLOGIQUE

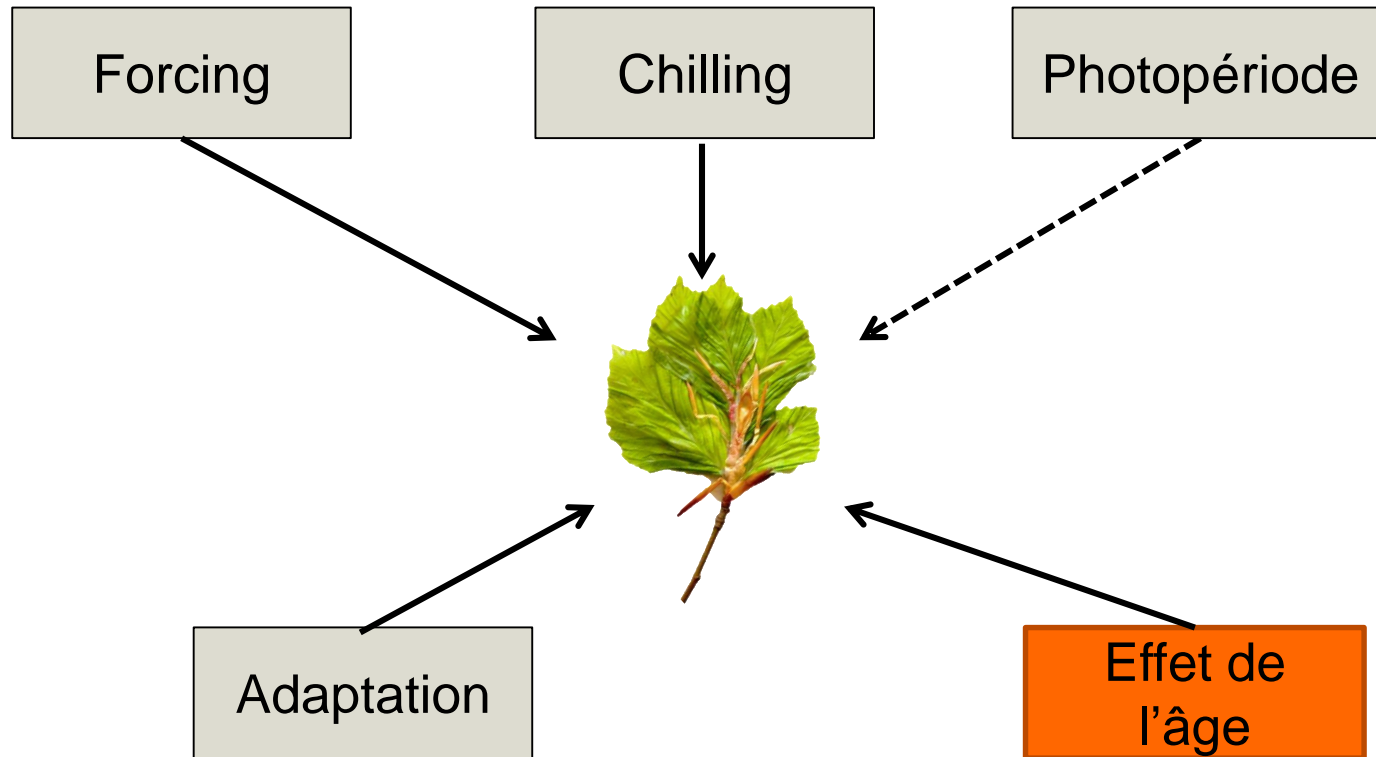


Vitasse et al. 2013 *Oecologia*


→ Les populations de hautes altitudes ont une plasticité phénologique aux températures printanières légèrement plus faible

ENVIRONNEMENT & GÉNÉTIQUE

Facteurs environnementaux

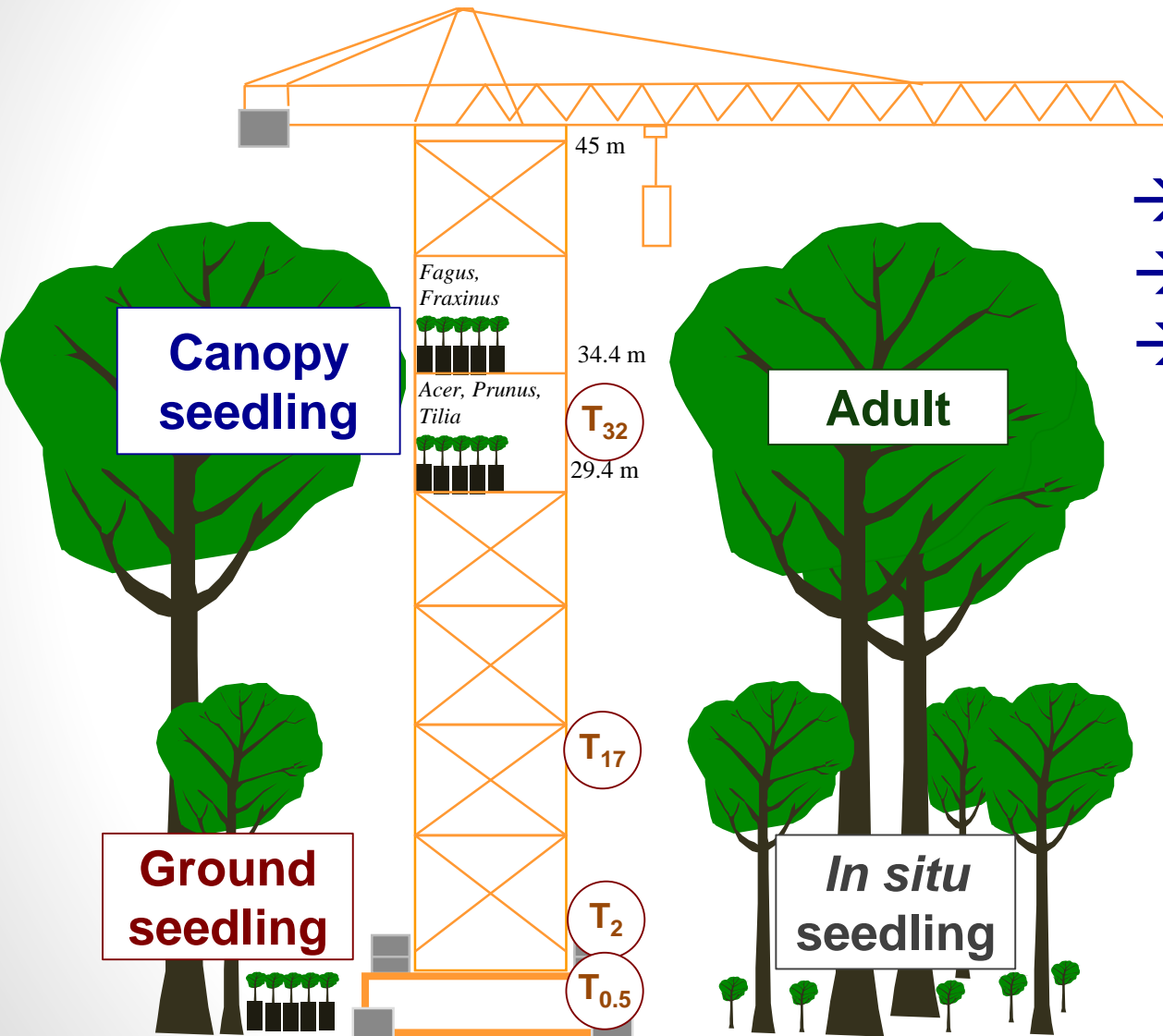


Facteurs génétiques & Ontogénétiques



Microclimat vertical
ou
Effets ontogénétiques ?

EFFETS ONTOGÉNÉTIQUES



- 4 groupes
- Gradient vertical
- 5 espèces



**Canopy
seedling**

Adult

**Ground
seedling**

*In situ
seedling*

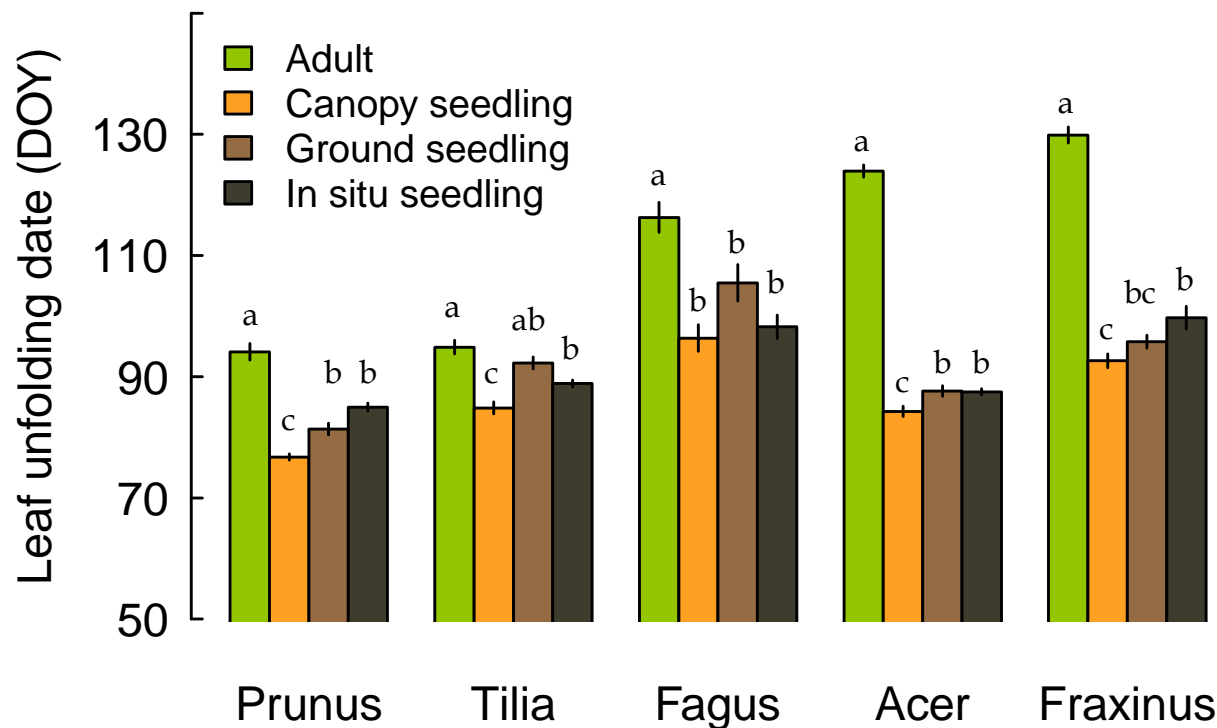


Observation du débourrement

→ 2 fois par semaine pour chaque groupe



EFFETS ONTOGÉNÉTIQUES



Vitasse 2013, *New Phytologist*

→ Forts effets ontogénétiques (jeunes arbres plus précoces)

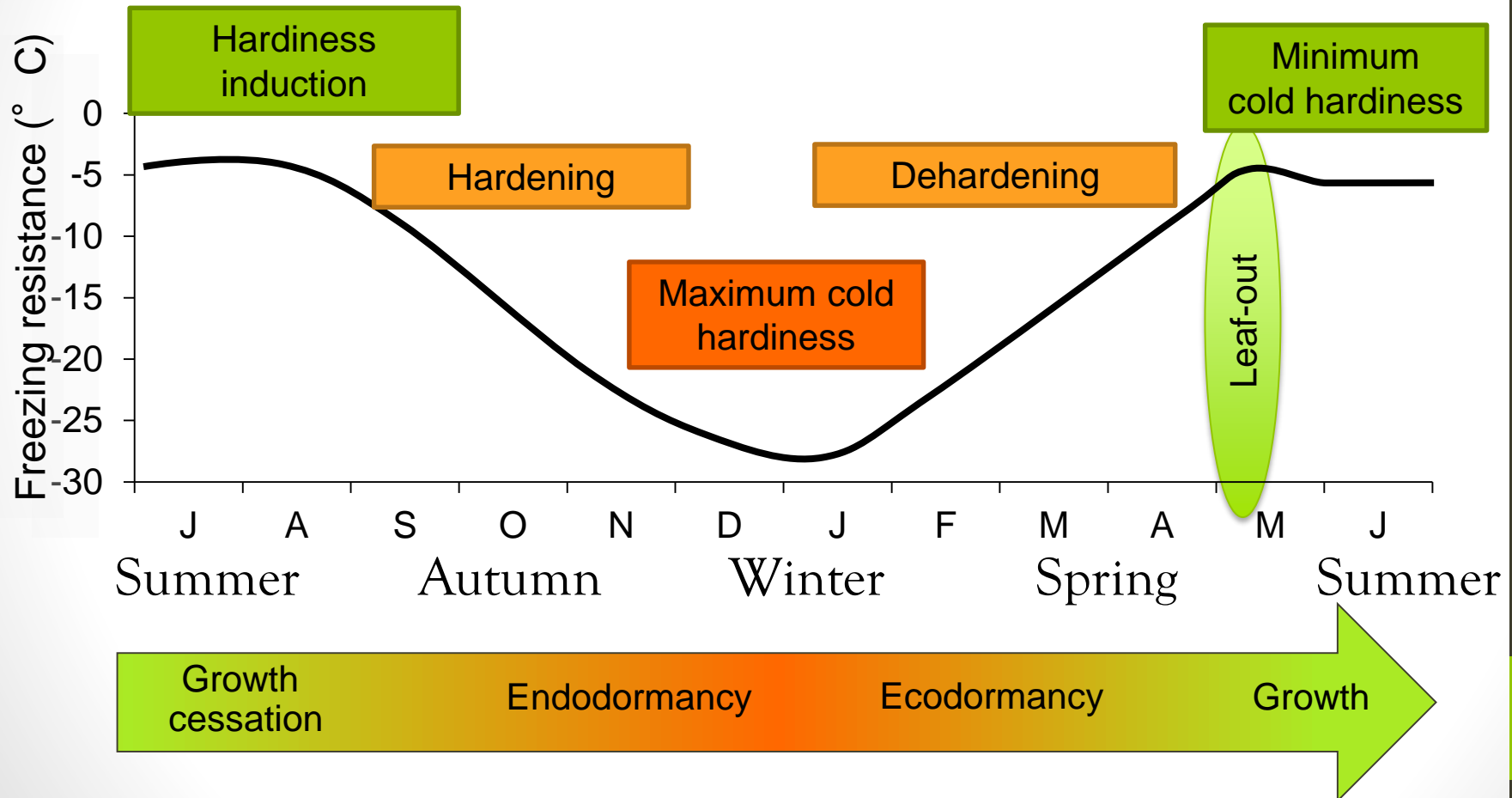
→ Problèmes pour transférer les résultats expérimentaux issus de jeunes arbres pour appréhender l'impact du CC sur la phénologie des forêts...

2. RÉSISTANCE AU GEL & PHÉNOLOGIE



SEASONAL PATTERN OF COLD HARDINESS

Example *Fagus sylvatica*



FROST DAMAGES IN LATE SPRING



*Pyrenees 05/06/2007
1600 m asl*

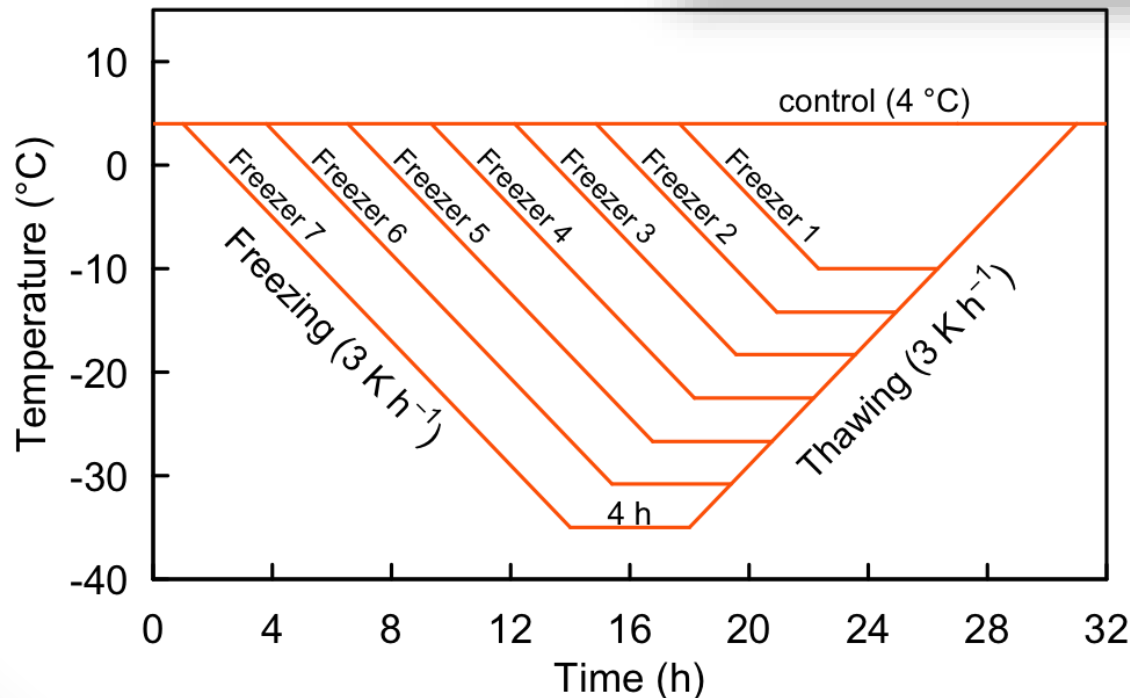
FROST DAMAGES IN LATE SPRING

*Pyrenees 05/06/2007
>1600 m asl*



ASSESSING FREEZING RESISTANCE

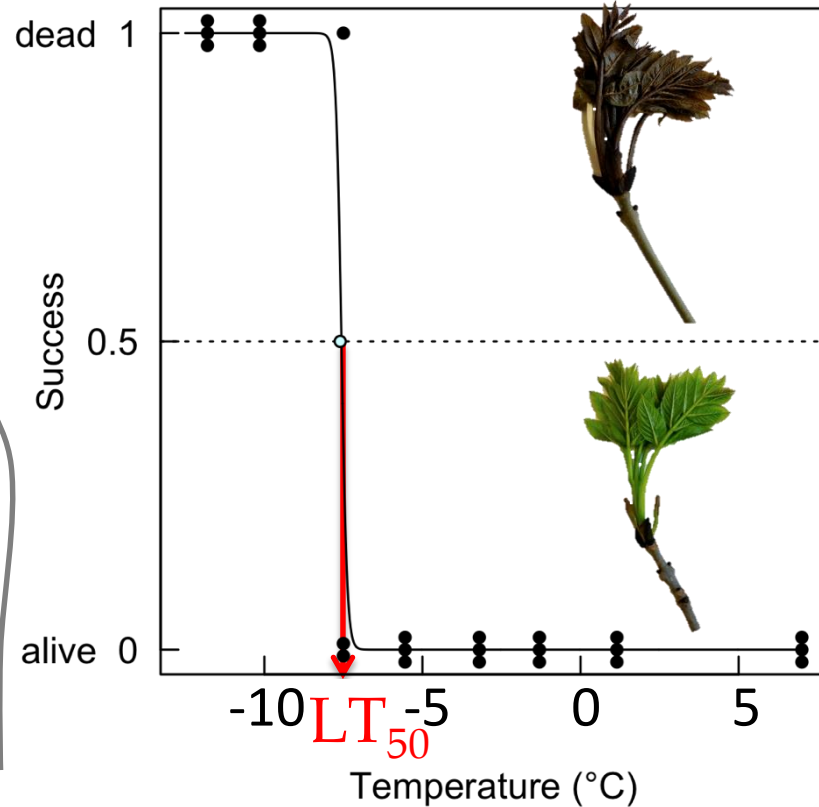
- Congélateurs contrôlés par ordinateurs
- Congélations simultanées à $\neq T$
- Vitesse de congélation et décongélation lente (3 K h^{-1})



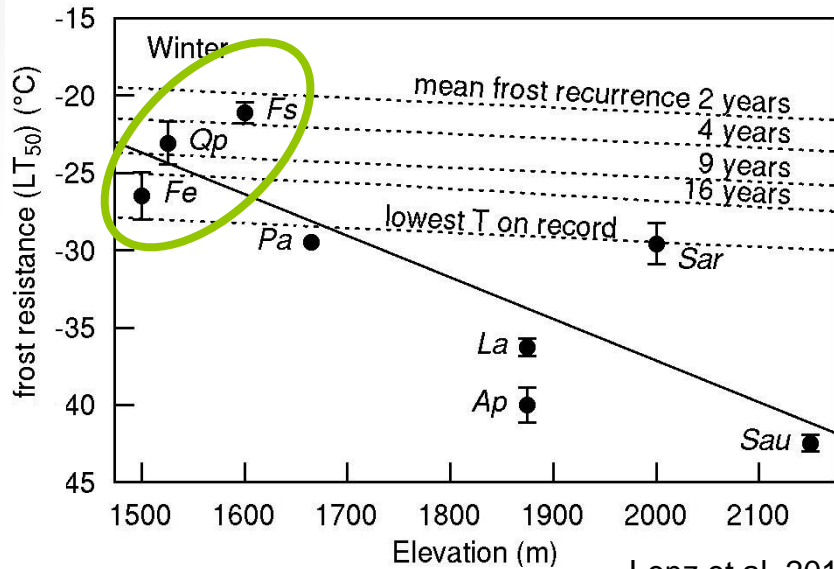
ASSESSING FREEZING RESISTANCE

Observations visuelles... LT_{50} par Régressions logistiques

Fagus sylvatica



WINTER FREEZING RESISTANCE



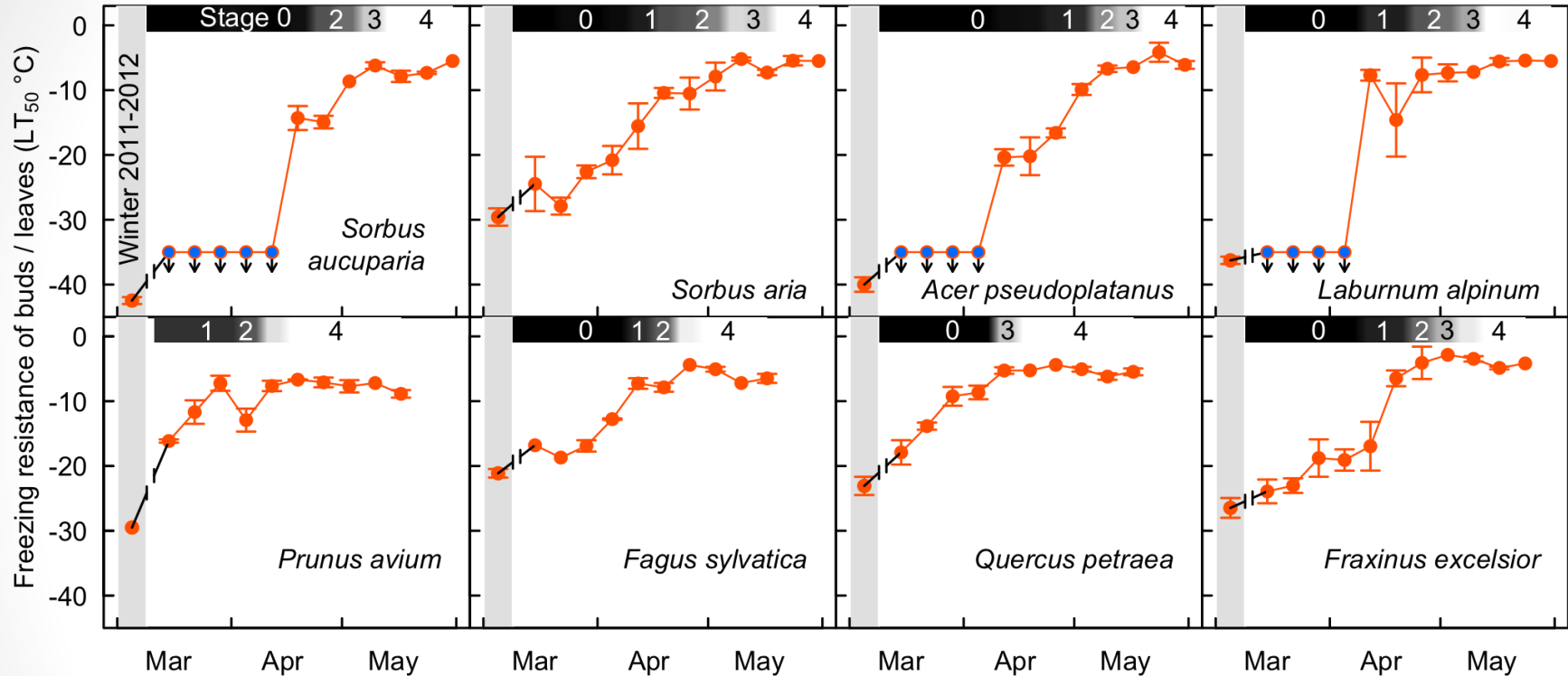
Lenz et al. 2013 *New Phytologist*

Hiver

→ entre -20°C et -45°C

→ Espèces de basses altitudes pourraient être limitées par les températures basses hivernales...mais... (voir plus loin)

SPRING FREEZING RESISTANCE

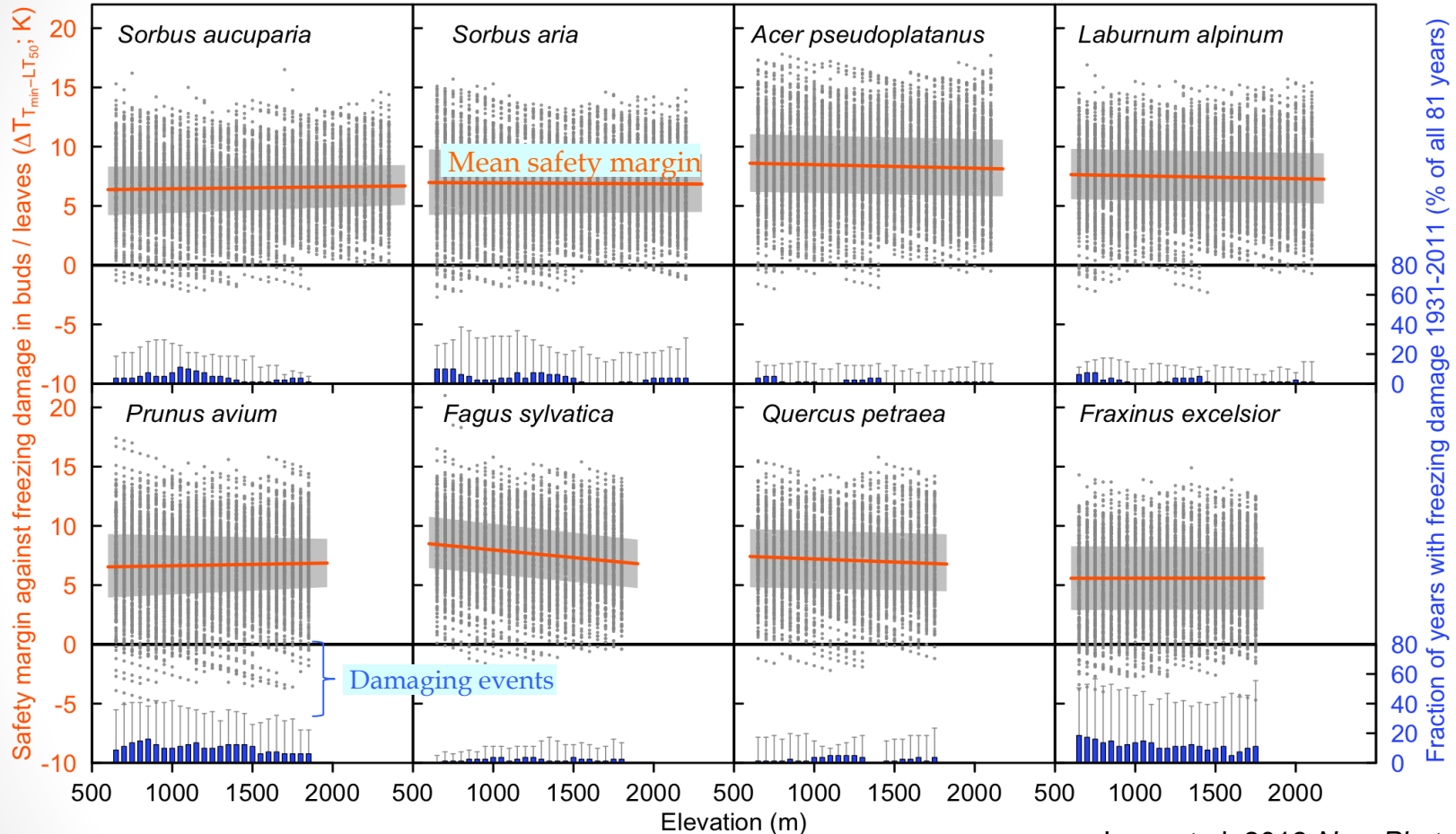


Lenz et al. 2013 *New Phytologist*

→ Résistance au gel minimale au cours du débournement

SECURITY MARGIN AGAINST FROST

Données phéno modélisées



→ Même marge de sécurité face au gel le long des gradients altitudinaux (sauf le hêtre ...)

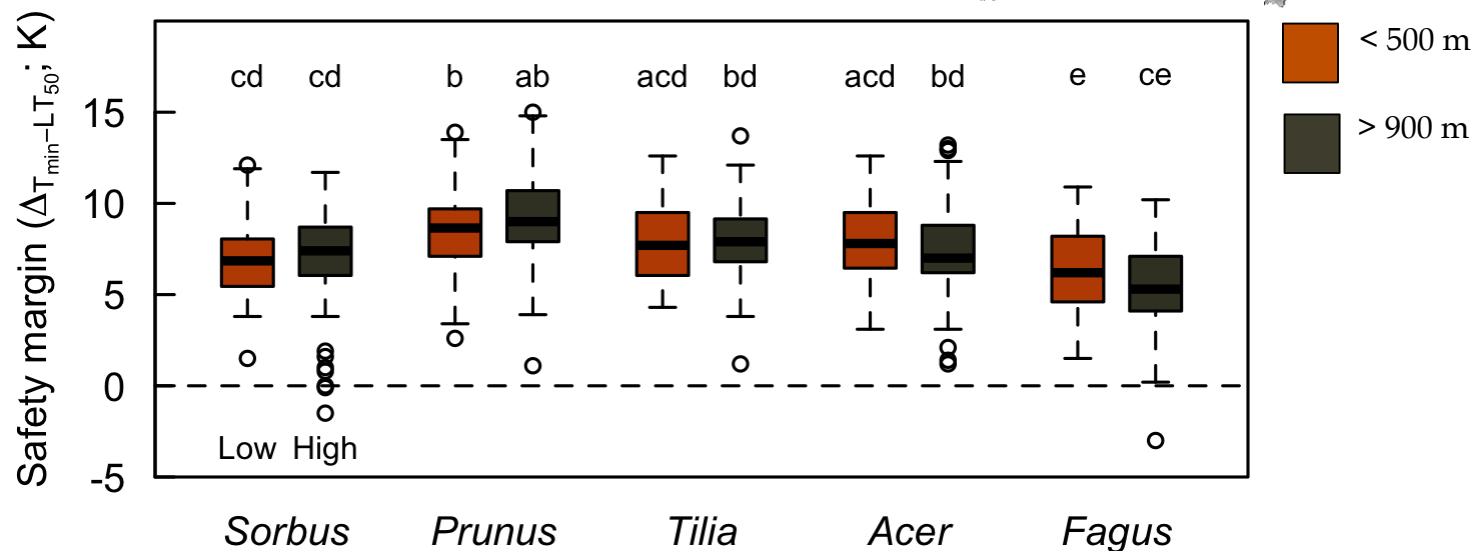
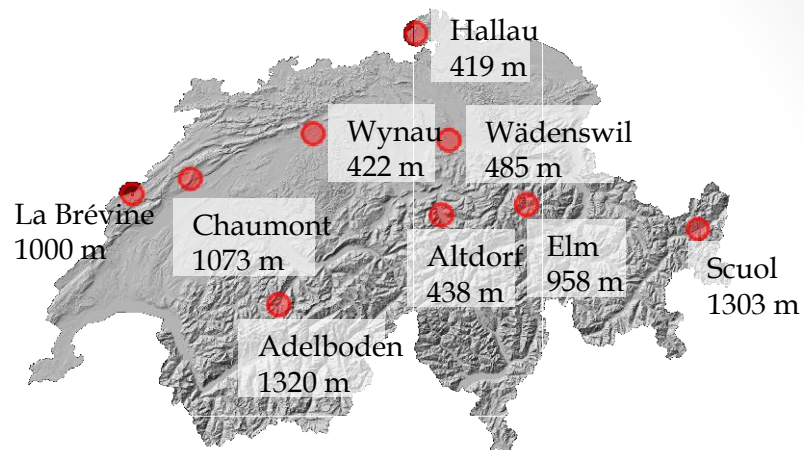
SECURITY MARGIN AGAINST FROST

Données phéno observées

MeteoSwiss network

Phenology 15 - 30 years

Temperature 1981 - 2012



Lenz et al. *in revision*

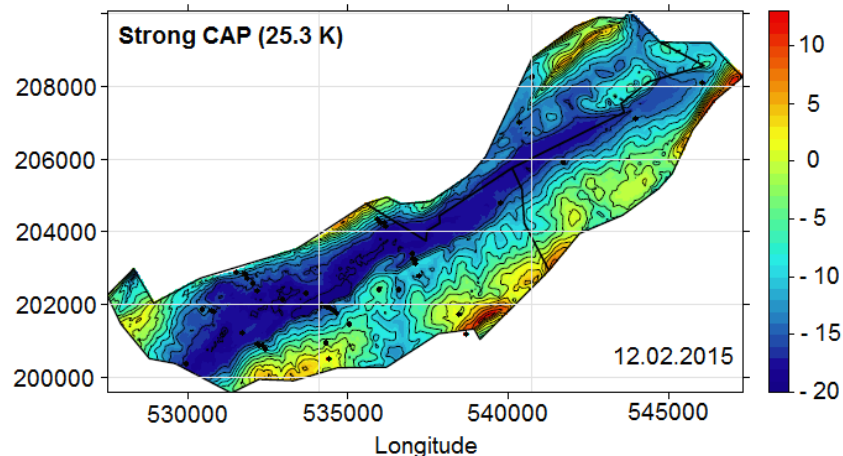
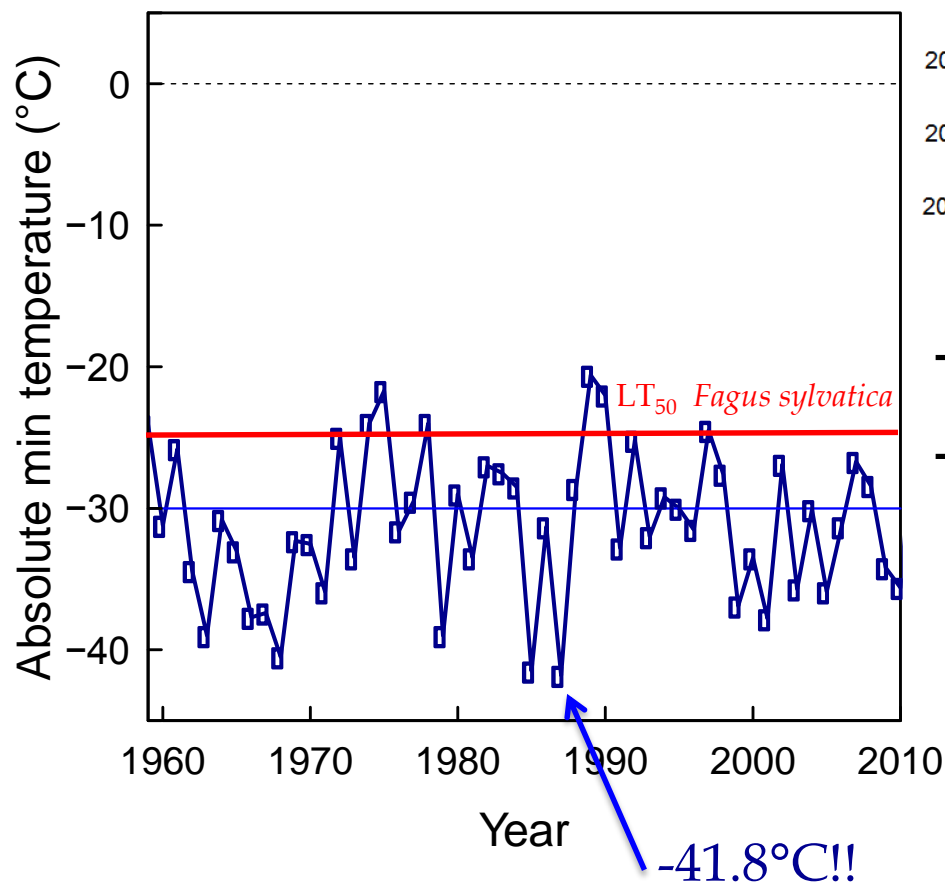
→ Même marge de sécurité à basses et hautes altitudes en raison du décalage phénologique

PLASTICITÉ DE LA RÉSISTANCE AU GEL



VALLÉE DE LA BRÉVINE ...

The 'cold pole' of Switzerland



Vitasse et al. submitted

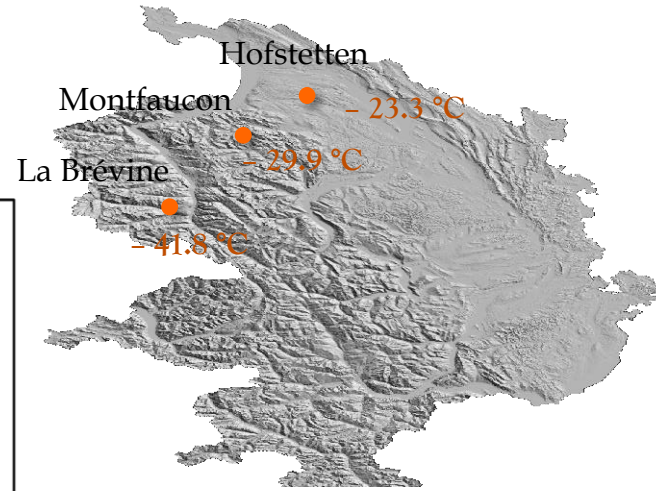
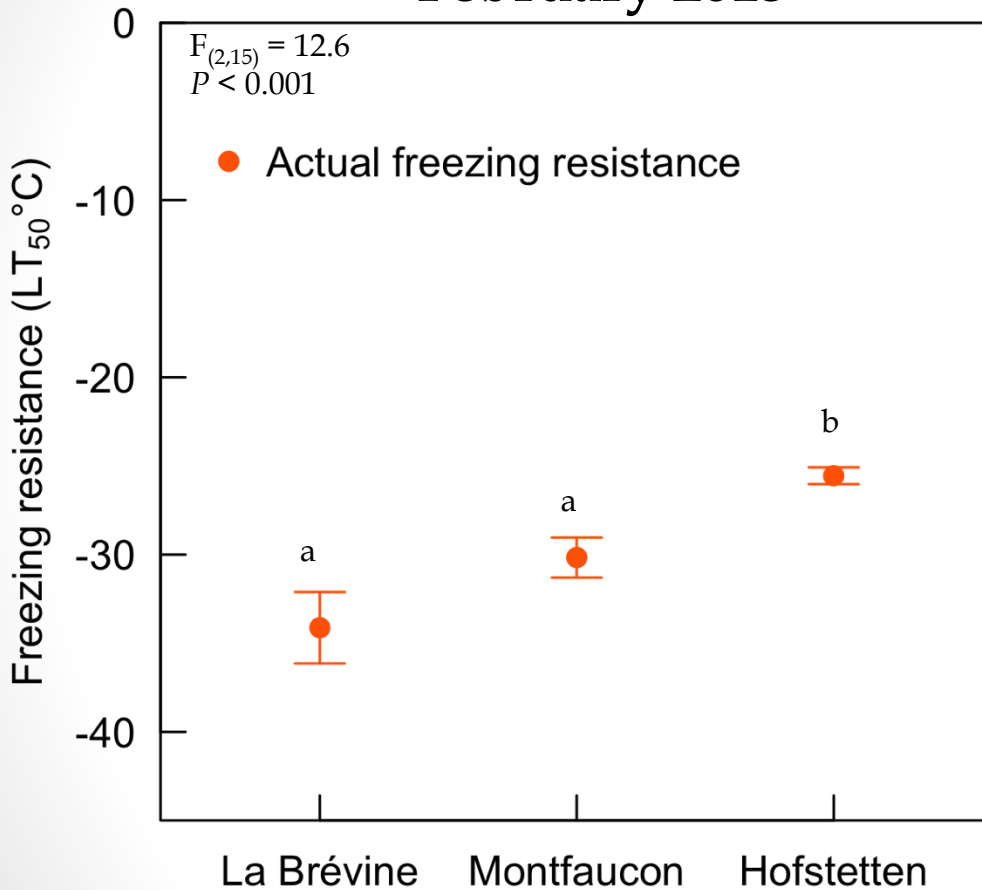
- $< -30^{\circ}\text{C}$ ~ tous les 2 ans
- Bourgeons du hêtre résistent normalement à ~ -20 à -25°C ...

...Bizarre...,
il y a plein de hêtres là-bas!!



PLASTICITÉ DE LA RÉSISTANCE AU GEL

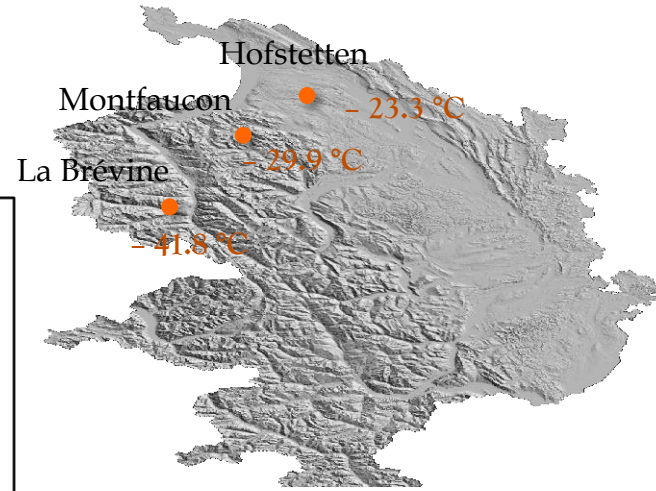
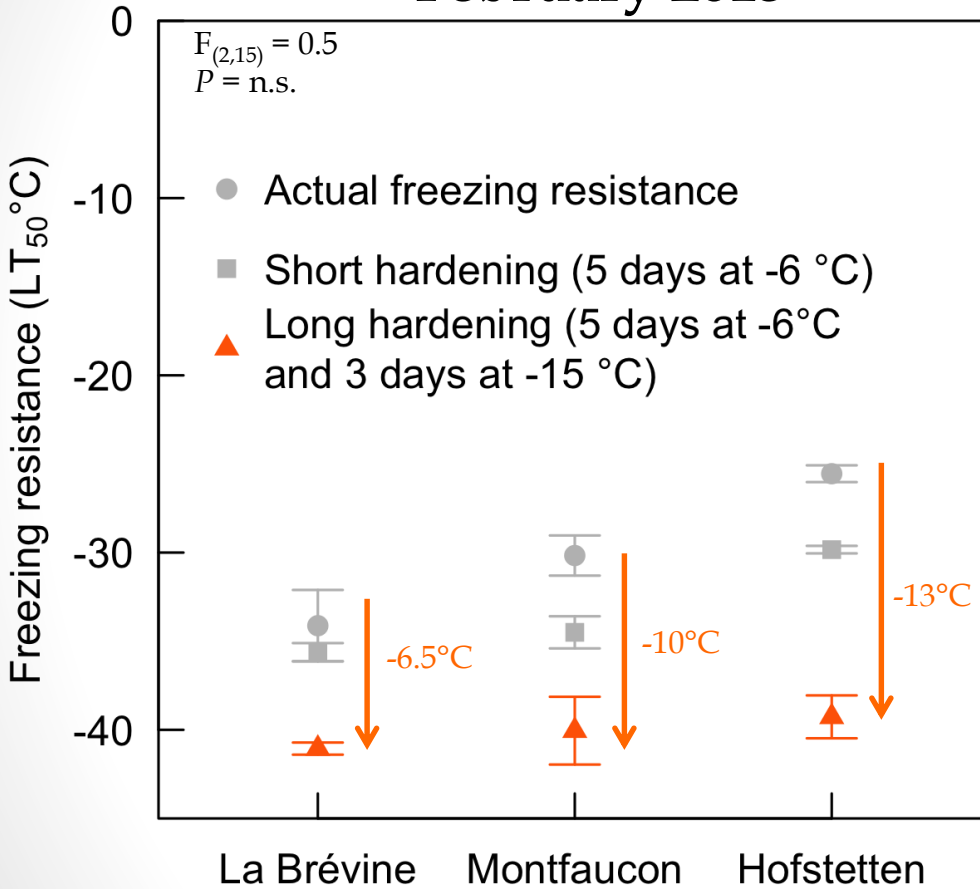
February 2013



Lenz et al. *in revision*

PLASTICITÉ DE LA RÉSISTANCE AU GEL

February 2013



→ L'endurcissement artificiel a permis d'augmenter la résistance au gel des 3 provenances vers une valeur similaire $\sim -40^{\circ}\text{C}$

Lenz et al. *in revision*

→ Contrairement aux températures printanières, les températures hivernales semblent jouer un rôle mineur dans la distribution des espèces

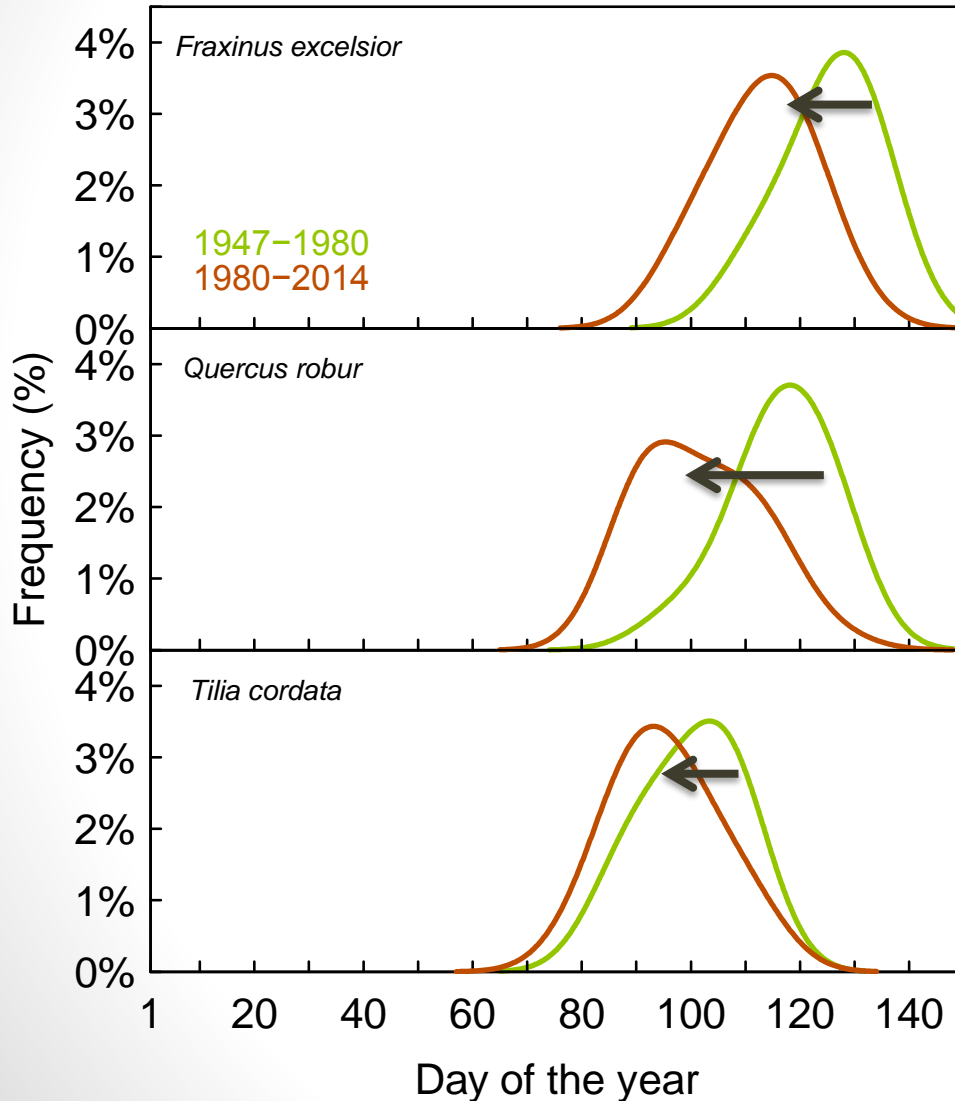
3. PHÉNOLOGIE & CHANGEMENT CLIMATIQUE



source photo: <http://www.andrewcohen.org>

PHÉNOLOGIE & CHANGEMENT CLIMATIQUE

Observations locales: débourrement UK de 1947 à 2014



Décalage ~ -13 days

Décalage ~ -15 days

Décalage ~ -5 days

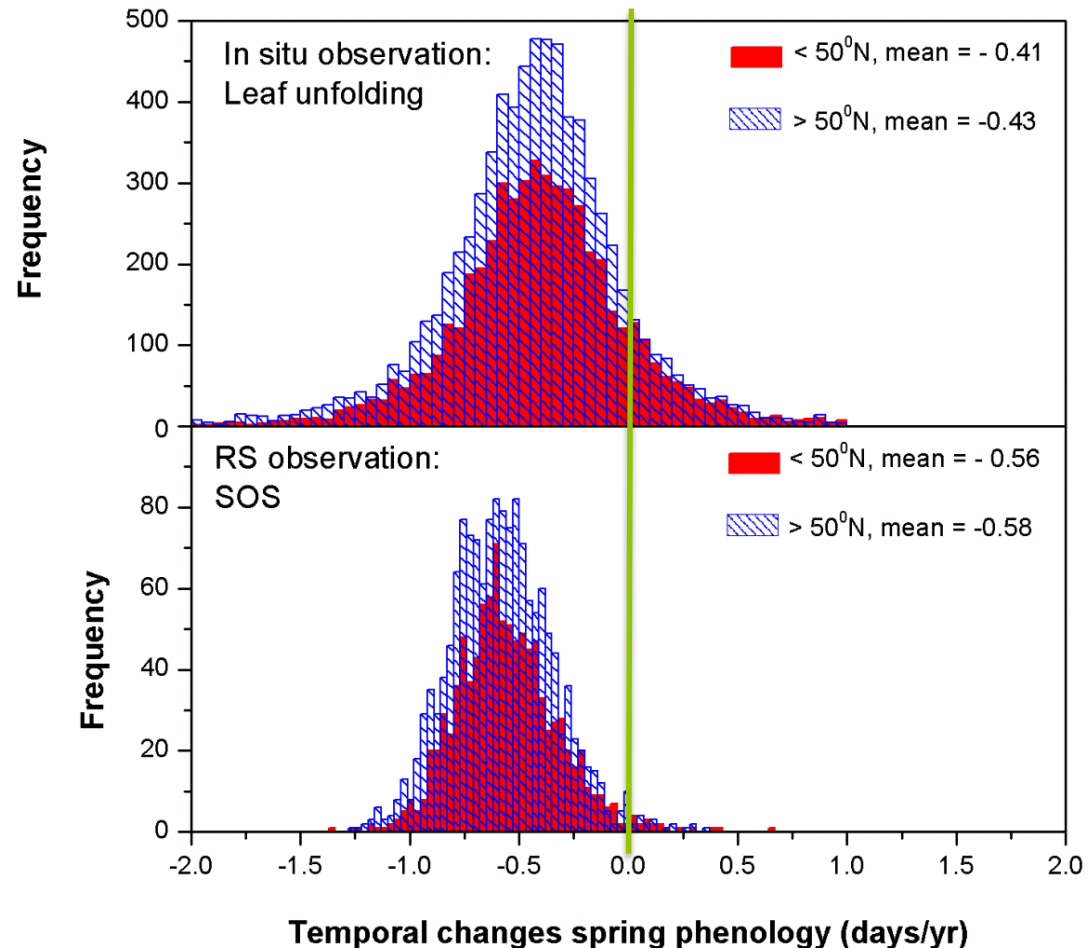
Unpublished data from Jean Combes /
Woodland Trust

PHÉNOLOGIE & CHANGEMENT CLIMATIQUE

Etude plus large : European pattern 1982-2011

Observations terrain

Données satellites



PHÉNOLOGIE & CHANGEMENT CLIMATIQUE

Körner & Basler, *Science* (2010)

Phenology Under Global Warming

Christian Körner and David Basler

In most temperate tree species, phenological events such as flowering and leaf-out are

Reply to Körner & Basler
Chuine et al. Science (2010)

Warming, Photoperiods, and Tree Phenology

Reply to Körner & Basler ("Phenology Under Global Warming," *Science*, 19 February 2010) because of

Roberts et al. GCB 2015
Predicting a change in the order of spring phenology in temperate forests
ADRIAN M.I. ROBERTS¹, CHRISTINE TANSEY^{2,3}, RICHARD J. SMITHERS⁴ and ALBERT B. PHILLIMORE²

Wolkovich et al. Nature 2012
Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change
E. M. Wolkovich¹, B. I. Cook^{2,3}, J. M. Allen⁴, T. M. Crimmins⁵, J. L. Betancourt⁶, S. E. Travers⁷, S. Pau⁸, N. J. B. Kraft^{10,11}, T. R. Ault¹², K. Bolmgren^{13,14}, S. J. Mazer⁵, G. J. McCabe¹⁶, B. J. McGill¹⁷, C. Parmesan¹⁸

Laube et al. GCB 2014
Chilling outweighs photoperiod in preventing precocious spring development
JULIA LAUBE*†, TIM H. SPARKS*††, NICOLE ESTREL*‡, P. ANKERST§ and ANNETTE MENZEL*††

Marchin et al., GCB (2015)

Temperature alone does not explain phenological variation of diverse temperate plants under experimental warming
Renée Marchin et al.

William A. Hoffmann and Robert R. Dunn

Zohner and Renner New Phytol (2015)
Perception of photoperiod in individual buds of mature trees regulates leaf-out

Fu et al. Nature (2015)

Declining global warming effects on the phenology of spring leaf unfolding

Yongshuo H. Fu^{1,2}, Hongfang Zhao¹, Shilong Piao^{1,3,4}, Marc Peaucelle⁵, Shushi Peng^{1,5}, Guiyun Zhou⁶, Philippe Ciais⁵, Mengtian Huang¹, Annette Menzel^{7,8}, Josep Peñuelas^{9,10}, Yang Song¹¹, Yann Vitasse^{12,13,14}, Zhenzhong Zeng¹ & Ivan A. Janssens²

Role of chilling and photoperiod under intense debate but same outputs:
Flushing will not continue to get earlier in a linear way....

Impact du CC sur la Phénologie

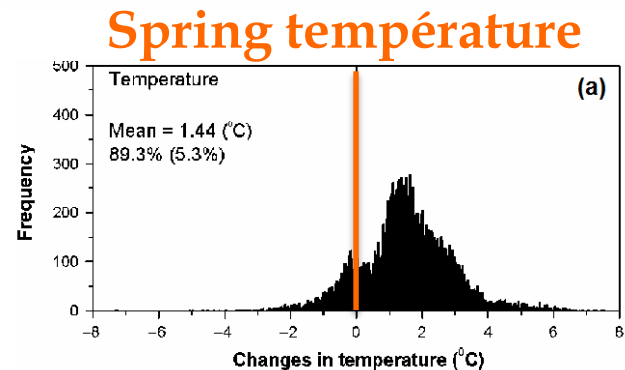
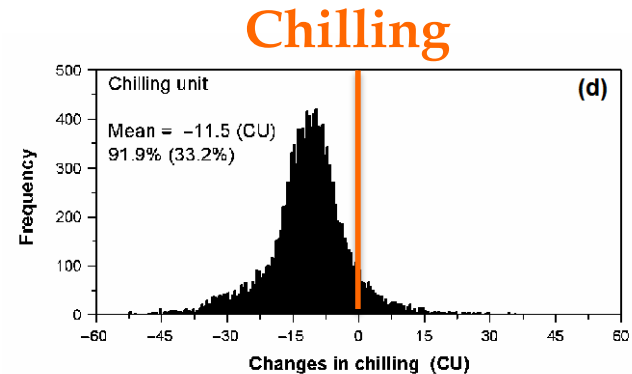
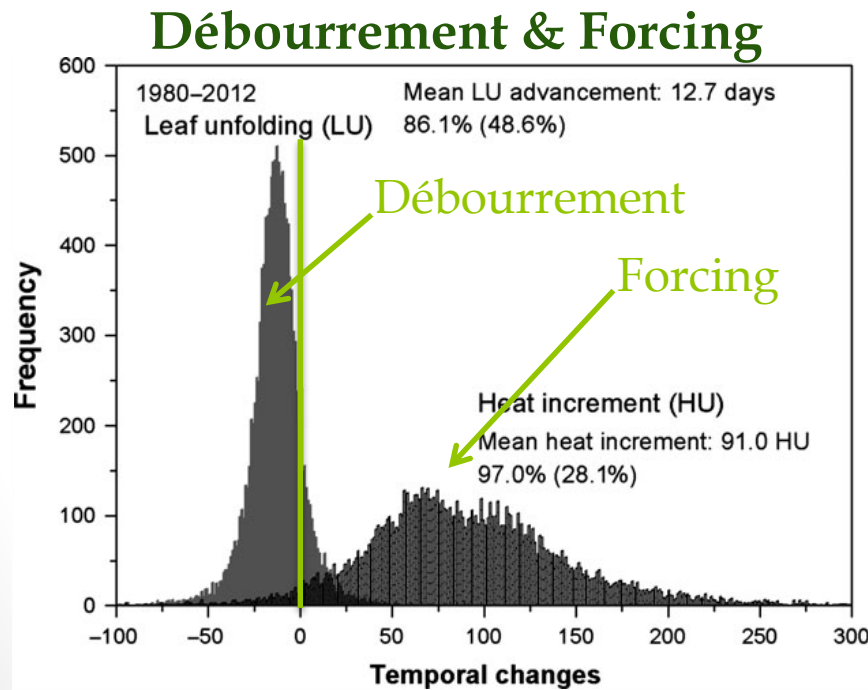
RECENT OUTCOMES

Global Change Biology

Fu et al. *Global Change Biology* 2015

Increased heat requirement for leaf flushing in temperate woody species over 1980–2012: effects of chilling, precipitation and insolation

YONGSHUO H. FU^{1,2}, SHILONG PIAO^{1,3,9}, YANN VITASSE^{4,5,6}, HONGFANG ZHAO¹, HANS J. DE BOECK², QIANG LIU¹, HUI YANG¹, ULRICH WEBER⁷, HEIKKI HÄNNINEN⁸ and IVAN A. JANSSENS²



→ Somme de Forcing pour débourrer augmente (chilling diminuent)

RECENT OUTCOMES

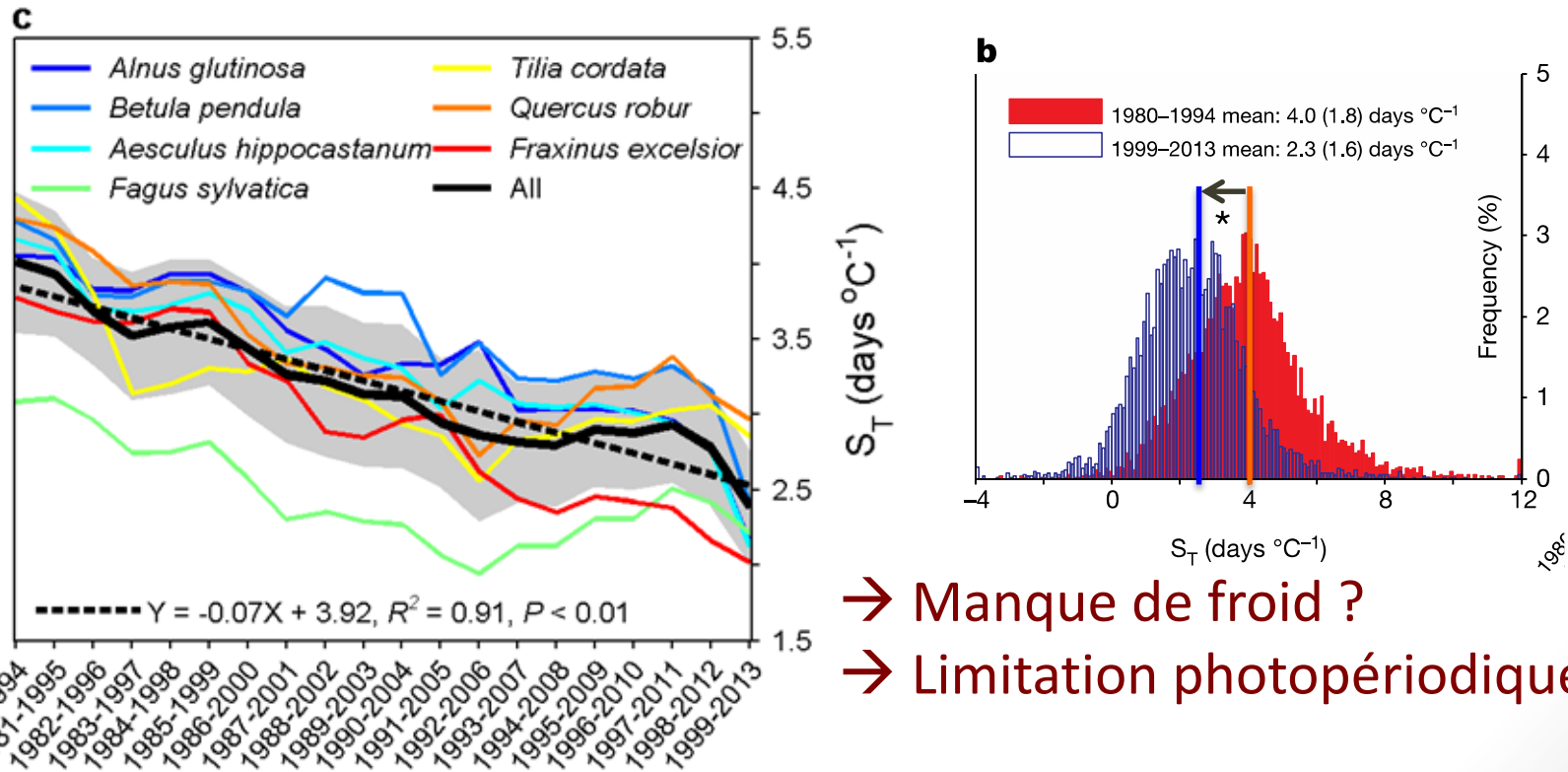
LETTER

Fu et al. Nature 2015

doi:10.1038/nature15402

Declining global warming effects on the phenology of spring leaf unfolding

Yongshuo H. Fu^{1,2}, Hongfang Zhao¹, Shilong Piao^{1,3,4}, Marc Peaucelle⁵, Shushi Peng^{1,5}, Guiyun Zhou⁶, Philippe Ciais^{1,5}, Mengtian Huang¹, Annette Menzel^{7,8}, Josep Peñuelas^{9,10}, Yang Song¹¹, Yann Vitasse^{12,13,14}, Zhenzhong Zeng¹ & Ivan A. Janssens²



- Manque de froid ?
- Limitation photopériodique ?

CONCLUSION / DISCUSSION

- Les '**Chilling**' et '**forcing**' conditionnent la levée de dormance et l'initiation de la croissance + influence **photopériode** chez certaines espèces
- **Adaptations** locales des populations (souvent co-gradient) et forts **effets ontogénétiques** (jeunes arbres ≠ adultes)
- **Résistance au gel au cours du débourrement** apparaît comme un facteur clé dans la répartition des espèces (≠ hiver)
- La phénologie est un **bon indicateur du CC** mais l'avance du printemps provoqué par le CC **diminue** probablement en raison **d'un manque de froid et/ou d'une limitation photopériodique**

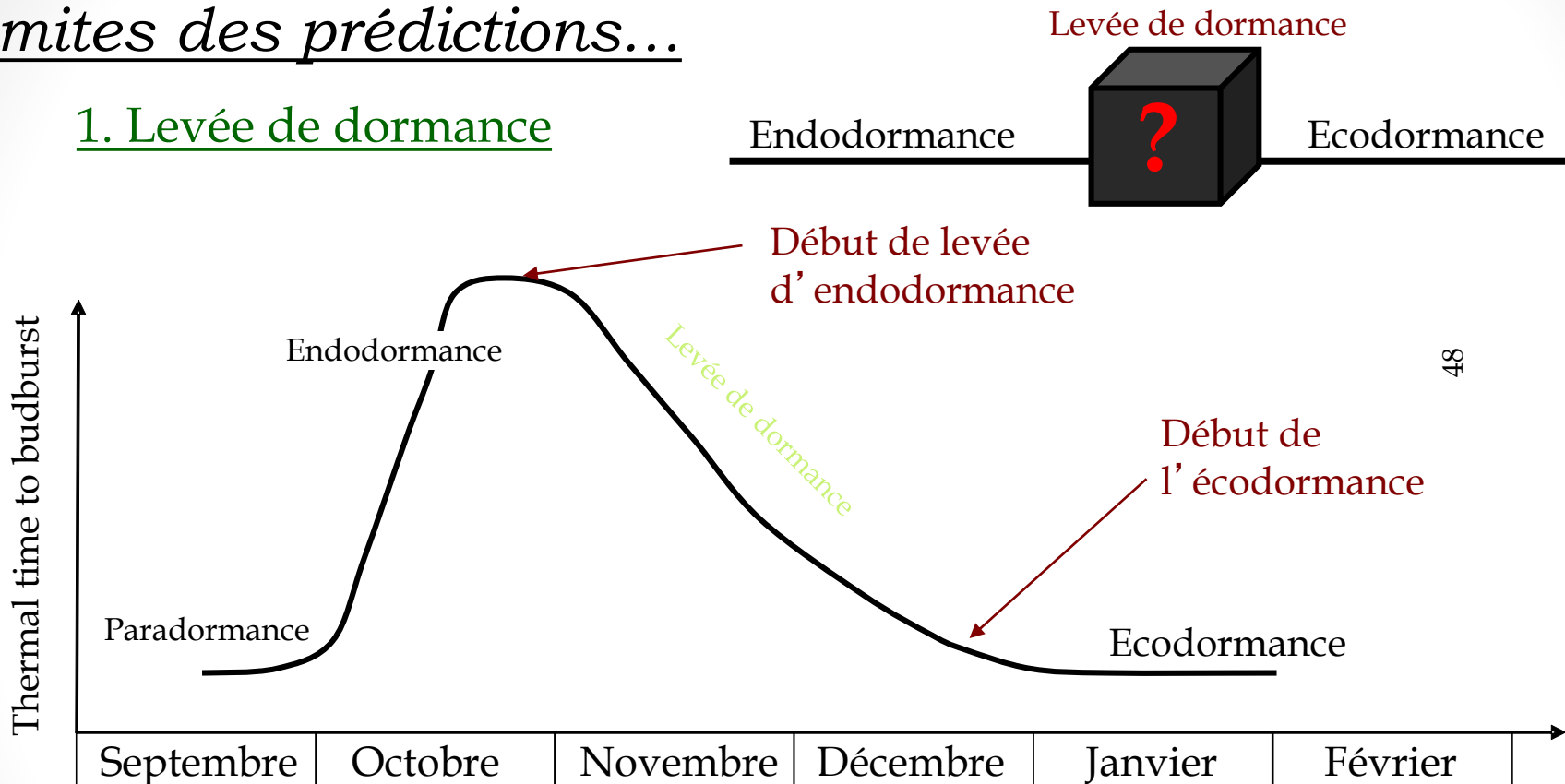
Merci...



Comment les espèces forestières vont répondre au changement climatique ?

Limites des prédictions...

1. Levée de dormance



2. Limitation par le froid ?

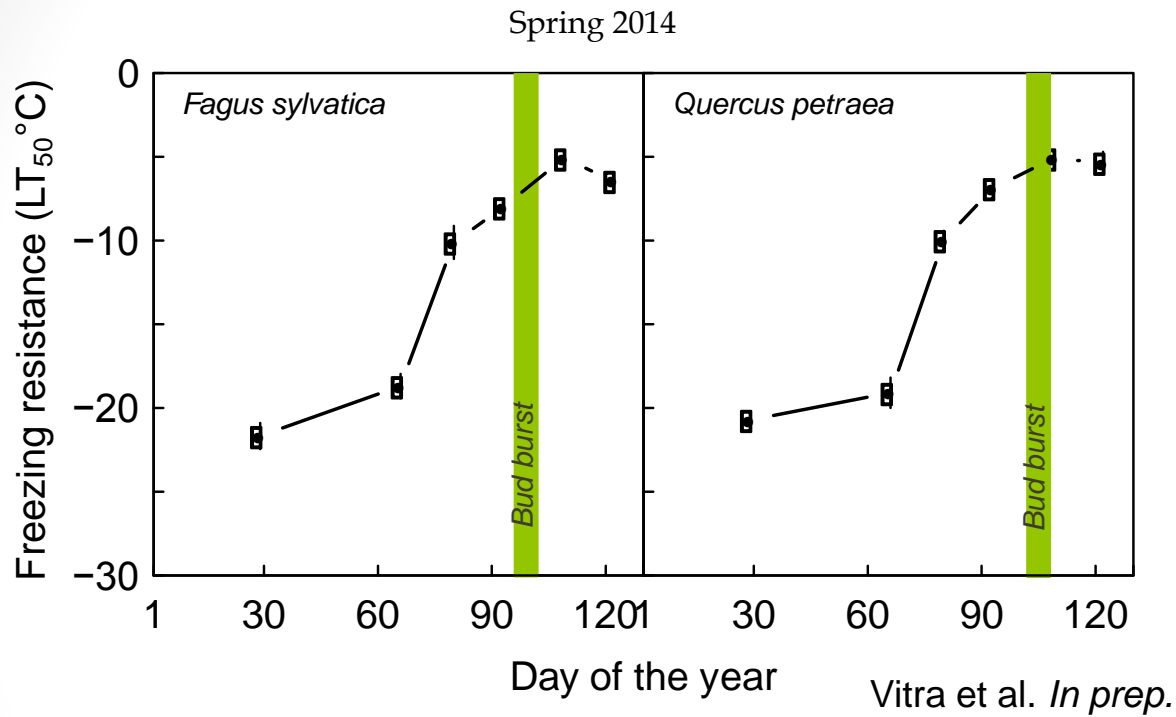
- populations situées dans climat relativement froid (versant Nord + altitude)
- nécessité d'ajuster les modèles dans les marges sud de répartition et à basse altitude

3. IMPACT DU CC SUR LA PHÉNOLOGIE

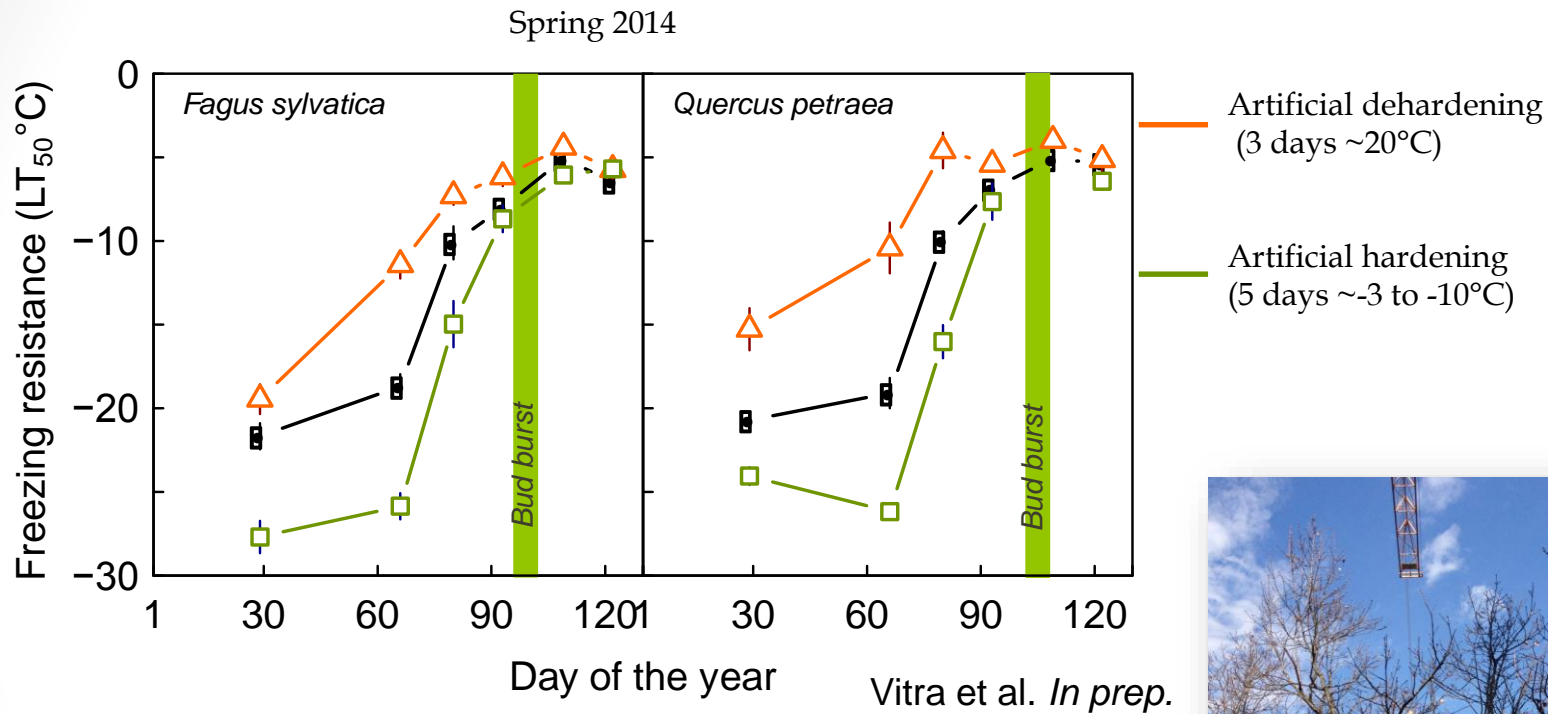


Photo: Yongshuo Fu

PLASTICITY IN COLD HARDINESS



PLASTICITY IN COLD HARDINESS



- High plasticity in response to colder or warmer temperature in late winter
- Minimum of potential to acclimate in early spring shortly before bud development



PHÉNOLOGIE ?

“L’étude des évènements biologiques cycliques en relation avec les variations saisonnières du climat”

Schwartz, M.D., 2003.

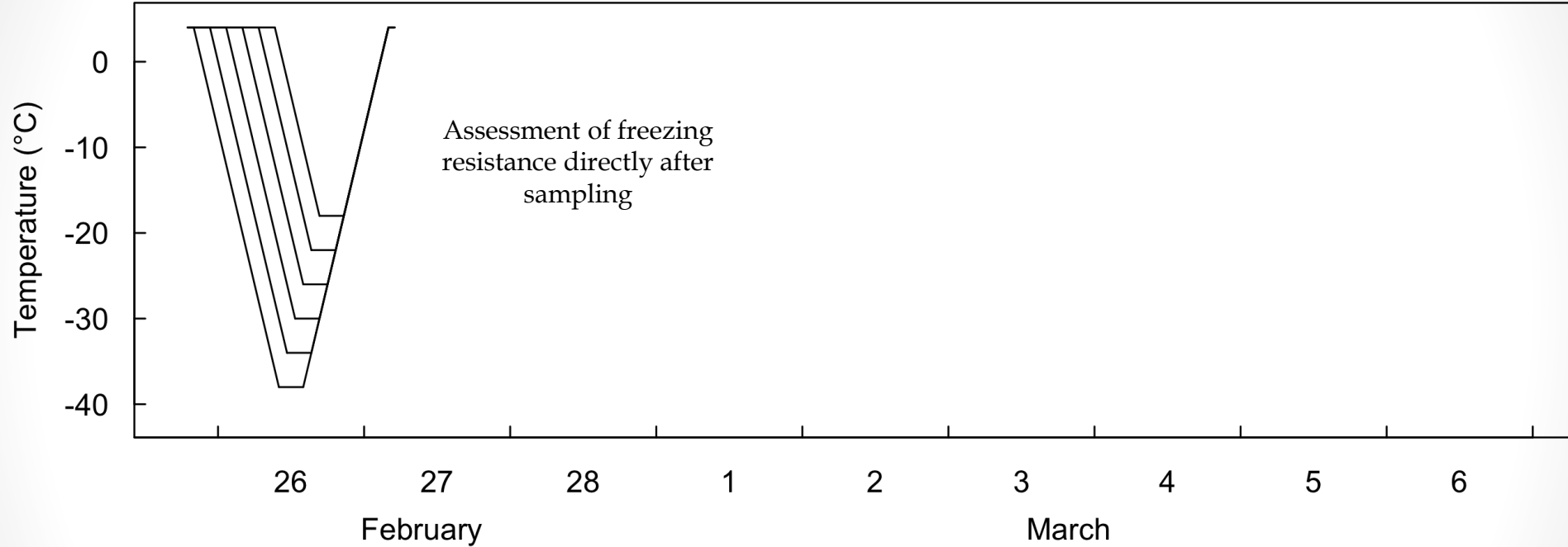


“Life is about timing”

CARL LEWIS

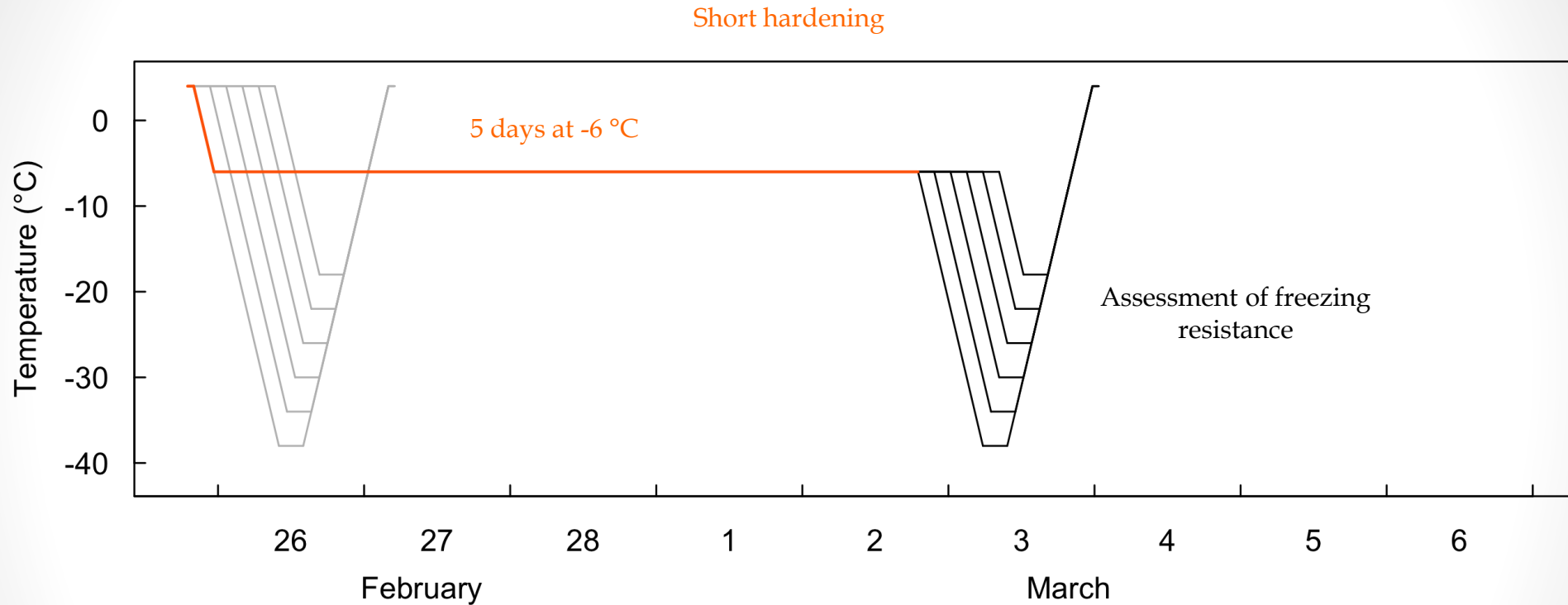
Treatments

Actual freezing resistance



Actual resistance directly after sampling

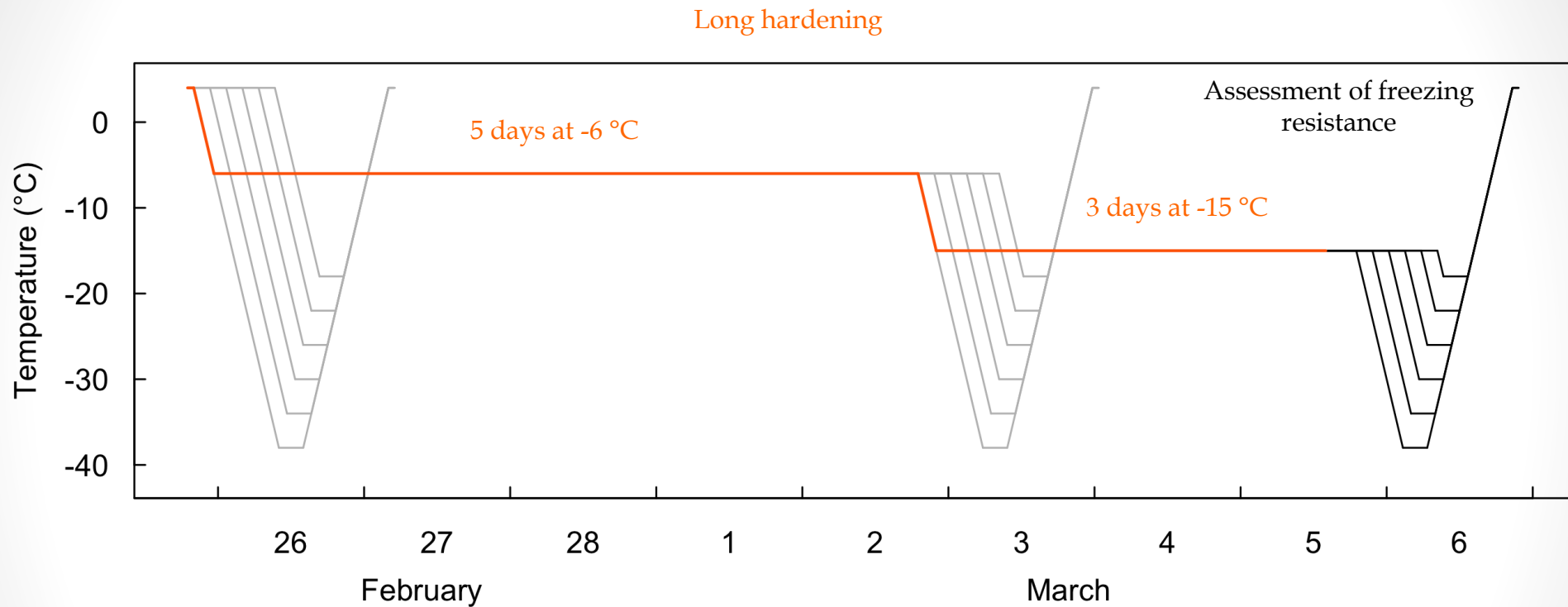
Treatments



Actual resistance directly after sampling

Short hardening 5 days at -6 °C

Treatments

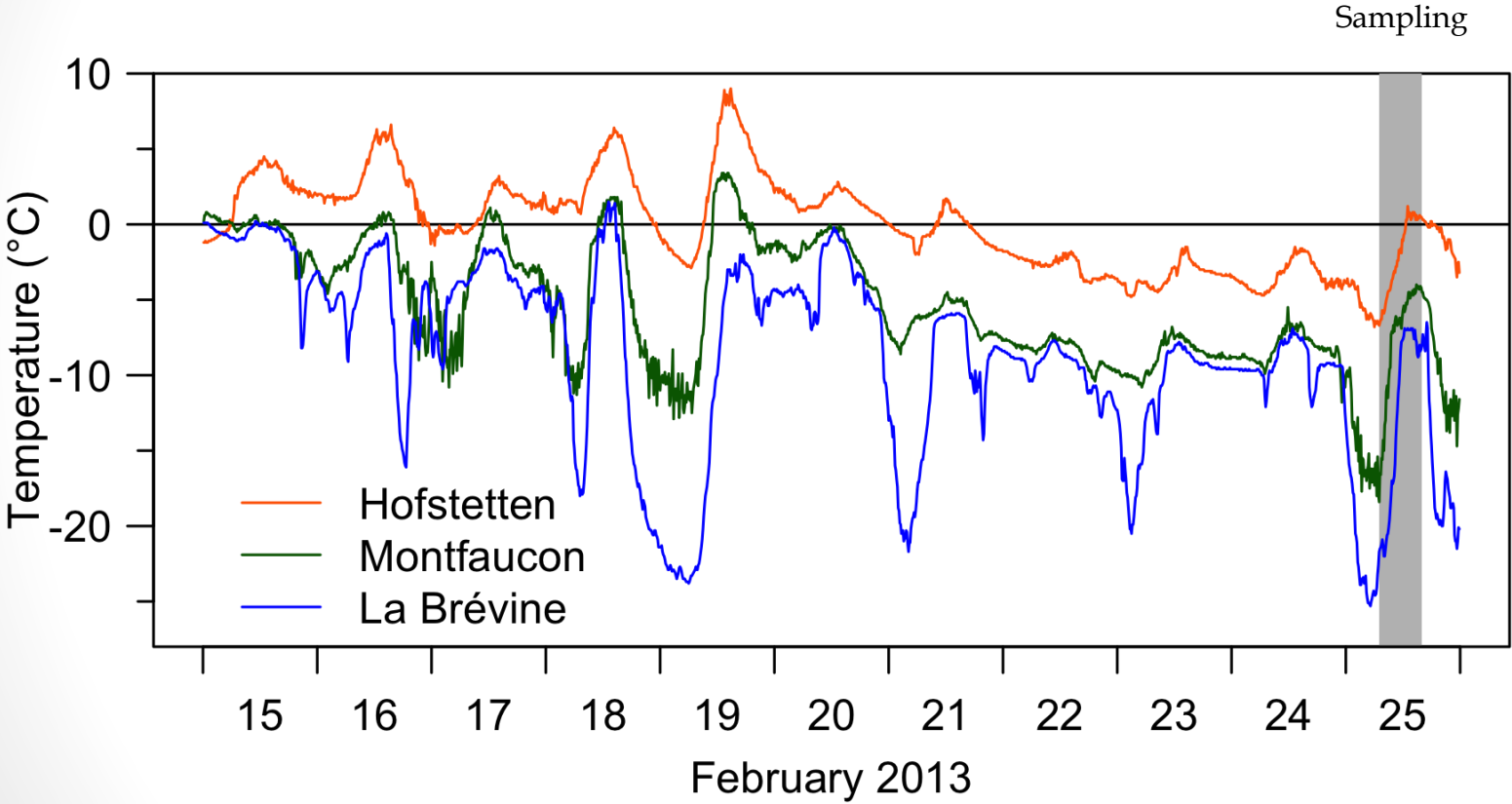


Actual resistance directly after sampling

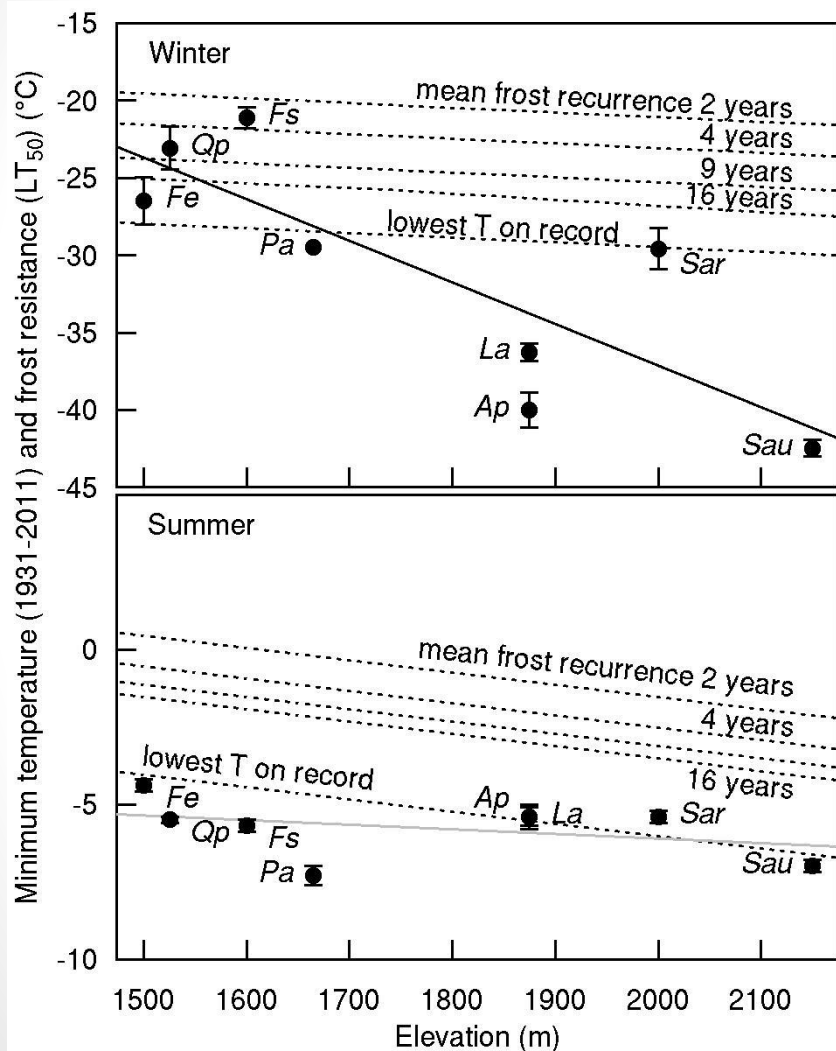
Short hardening 5 days at -6 °C

Long hardening 5 days at -6 °C & 3 days at -15 °C

Air temperatures before sampling



WINTER/SUMMER FREEZING RESISTANCE



Hiver

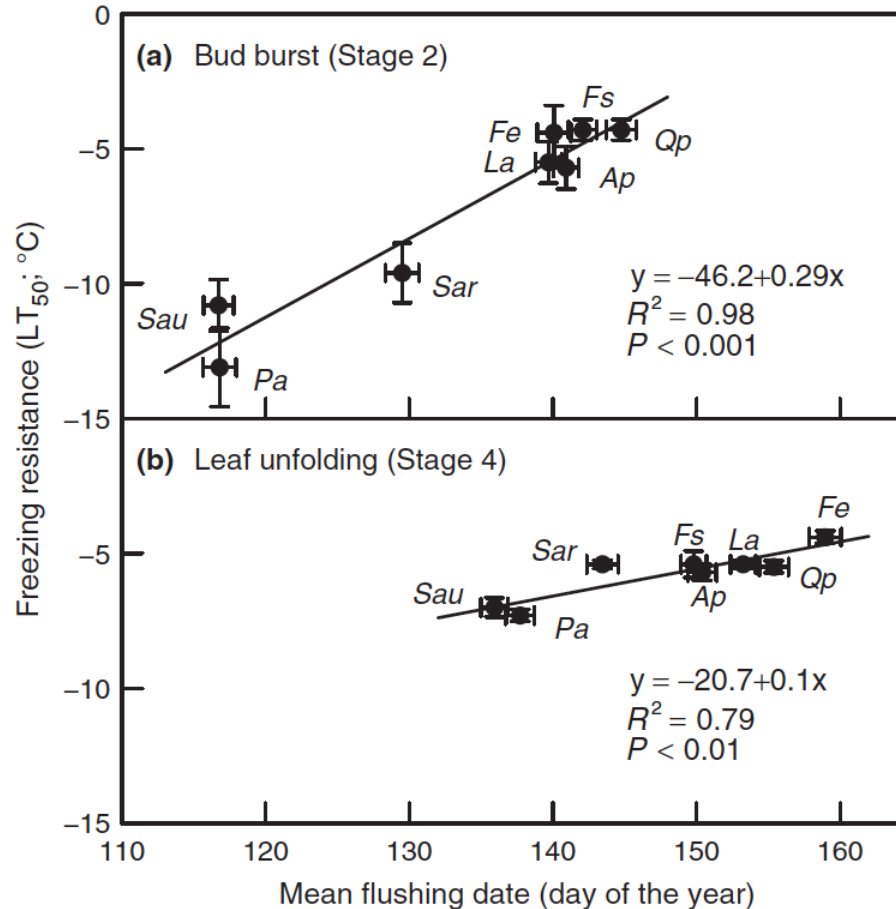
- entre -20°C et -45°C
- Espèces de basses altitudes pourraient être limitées par les températures basses hivernales...mais... (voir plus loin)

Eté

- entre -4°C et -8°C
- En été toutes les espèces sont plutôt en sécurité par rapport au risque de dommage par le gel

Lenz et al. 2013 *New Phytologist*

SPRING FREEZING RESISTANCE



Lenz et al. 2013 *New Phytologist*

→ Plus forte résistance des espèces à débourrement précoce