Changements de productivité des forêts – résultats récents, faits nouveaux

JD Bontemps, AgroParisTech - centre de Nancy

jdbontemps.agroparistech@gmail.com

CAQSIS 2014, Gembloux

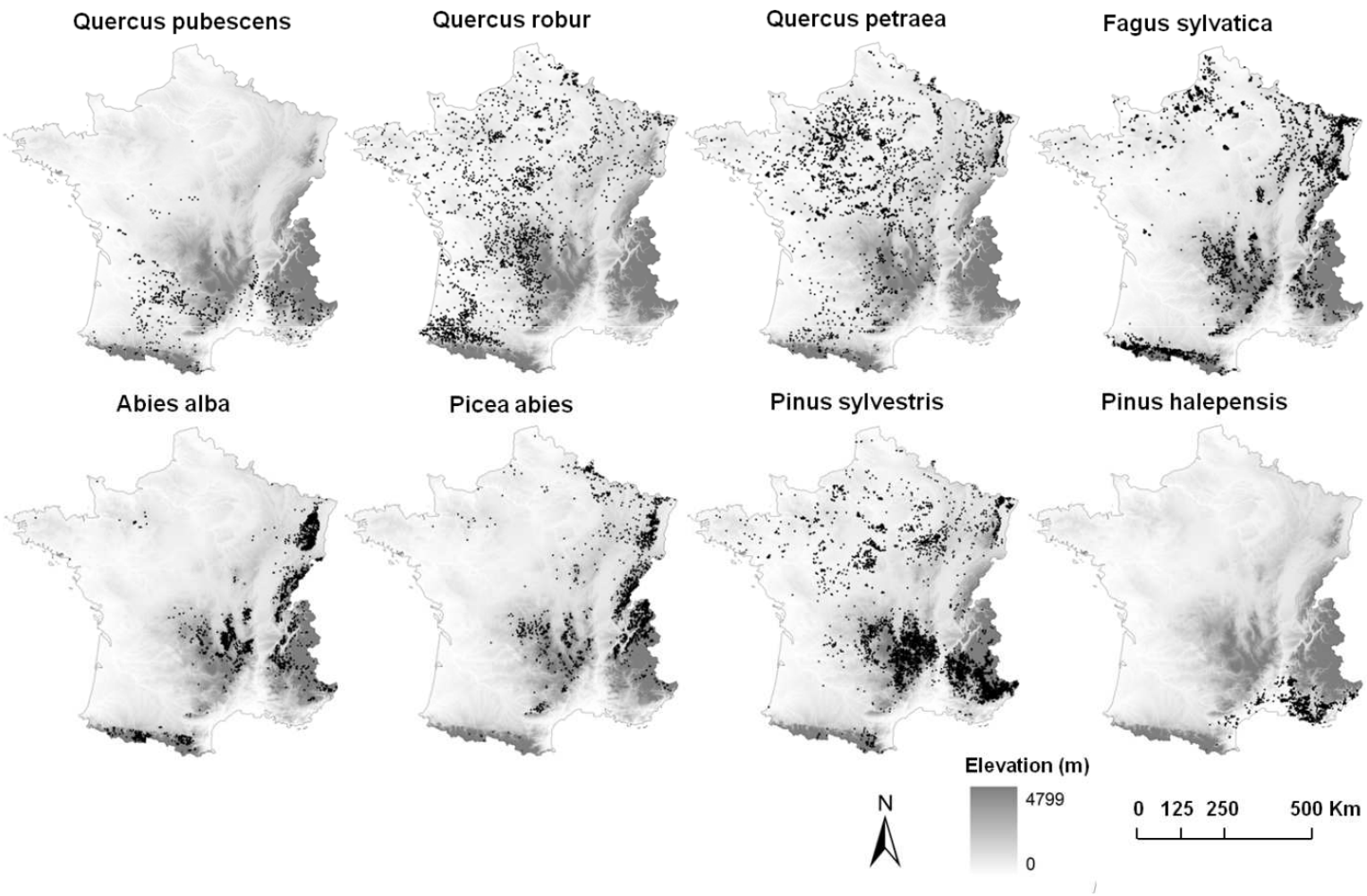
Etudes présentées

- Changements récents de la productivité de 8 espèces ligneuses à partir des données de l'IFN
  - Thèse M. Charru (hêtre et épicéa à CAQ14 2011)
- Exploration sur la croissance du hêtre dans les Flandres belges
  - Travaux W. Aertsen (collaboration KUL, Kint)
- Variations de densité du bois et productivité en biomasse
  - Thèse T. Franceschini sur l'épicéa + travaux récents
  - Travaux P. Pinto sur l'Araucaria au Chili

CHANGEMENTS DE PRODUCTIVITE RÉCENTS DE 8 ESPÈCES LIGNEUSES EN FRANCE (IFN)

Charru M, Seynave I, Hervé JC, Bontemps JD

Espèces et secteurs étudiés



Espèces et secteurs étudiés

Peuplements purs et réguliers des différentes essences

- contrôle de la densité et SD
- contrôle de la fertilité de site par facteurs environnementaux

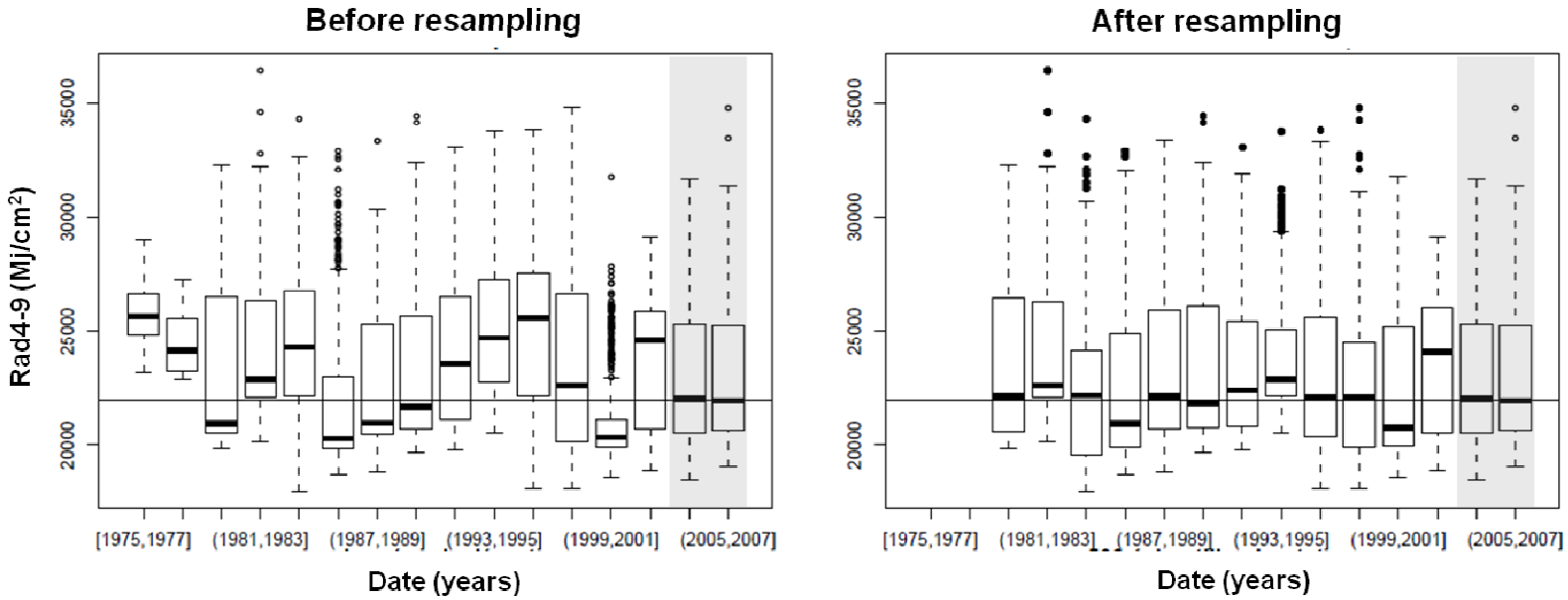
Espèce	Milieu	N points
Picea abies	Montagne (plaine)	2224
Abies alba	Montagne	2980
Fagus sylvatica	Montagne et plaine	5249
Pinus sylvestris	Colline et plaine	6020
Quercus robur	Colline et plaine	2907
Quercus petraea	Colline et plaine	4035
Quercus pubescens	Plaine méditerranéenne	588
Pinus Halepensis	Plaine méditerranéenne	1053

Modélisation

$$\Delta G = f_1(E_1 \ldots E_k)\ f_2\ (RDI)\ f_3\ (H_0)\ f_4(t)$$

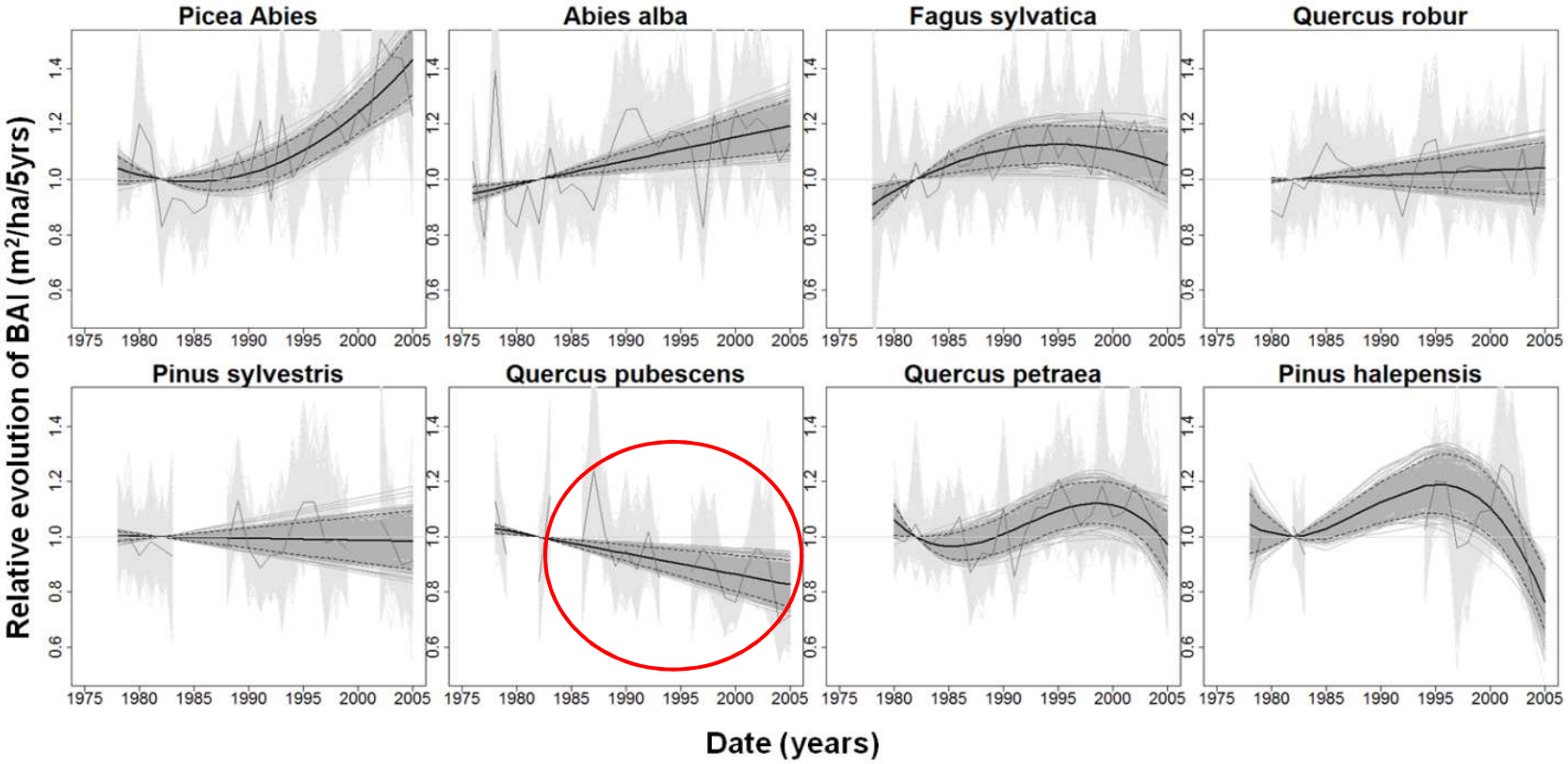
- Deux points critiques:
  - Identifier les $E_1 \ldots E_k$: régression PLS par espèce (autécologie)
  - déséquilibres temps-espace (sondage IFN / département) : construction d'échantillons bootstrap pour équilibrer les facteurs $E_1 \ldots E_k$
    - nouvelle méthode = distributions de référence
    - balance par paire d'années, ACP pour réduire la dimensionalité
- Linéarisation du modèle

Exemple : radiations sur F. sylvatica



➢ Contrôle pour chaque espèce, et facteur E_i

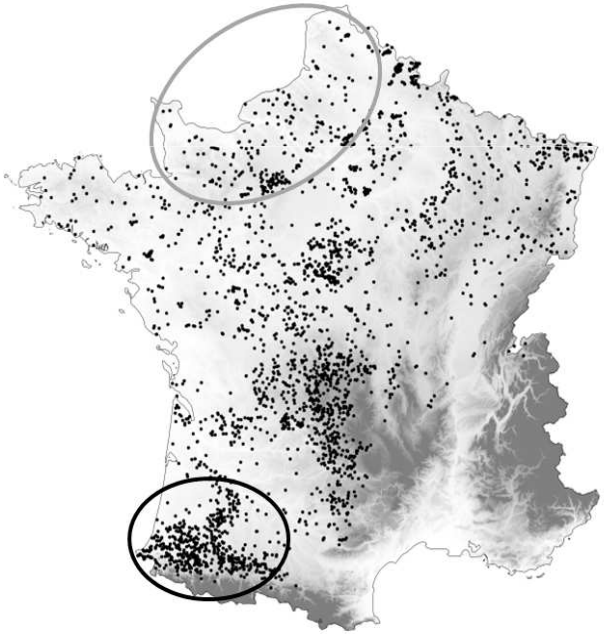
Chronologies historiques

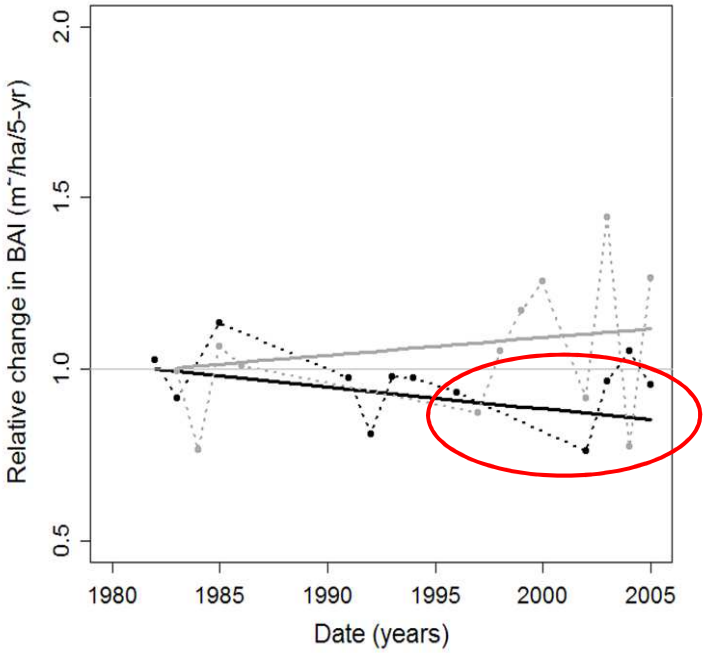


- +42% à -17% sur 1980 – 2005

Variations régionales marquées

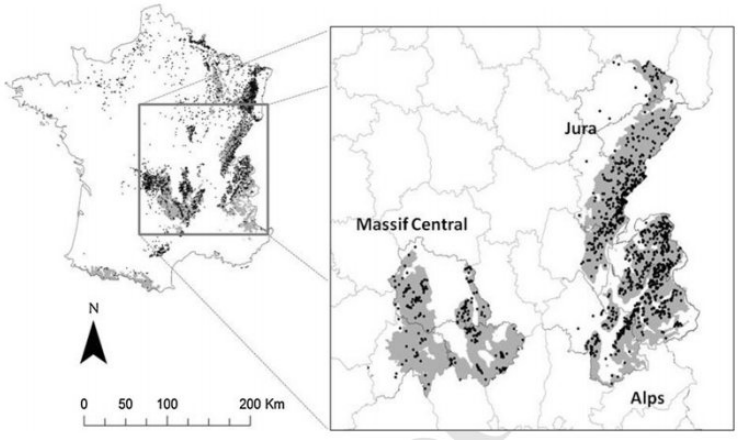
- Quercus robur : inversion de signe Nord-Sud (≈ pubescent)





Variations régionales marquées

Charru et al, 2014 (Trees)



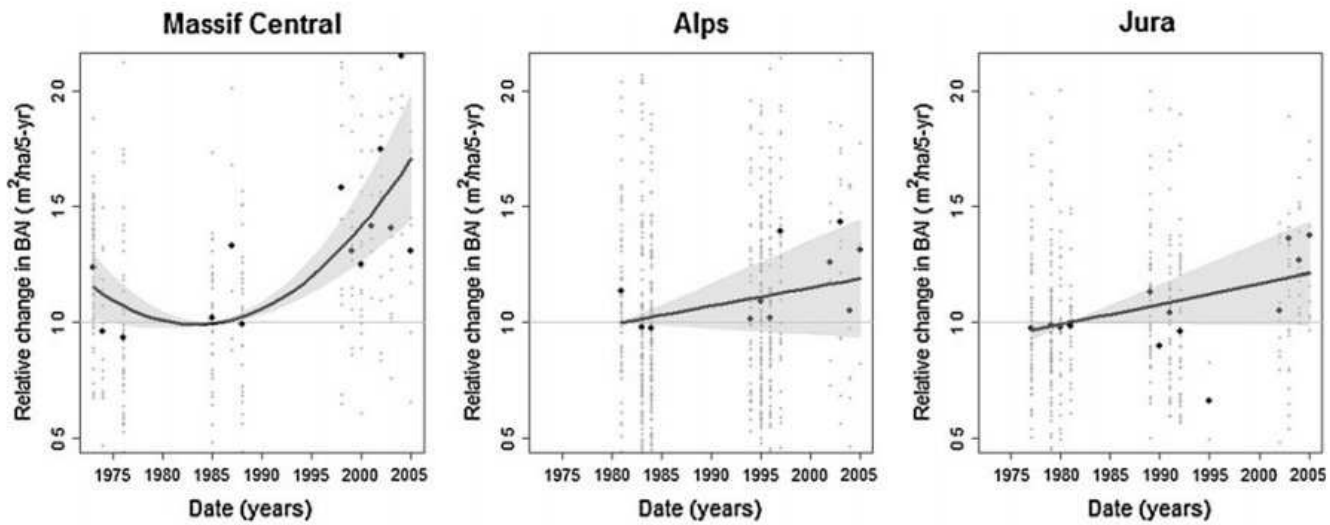
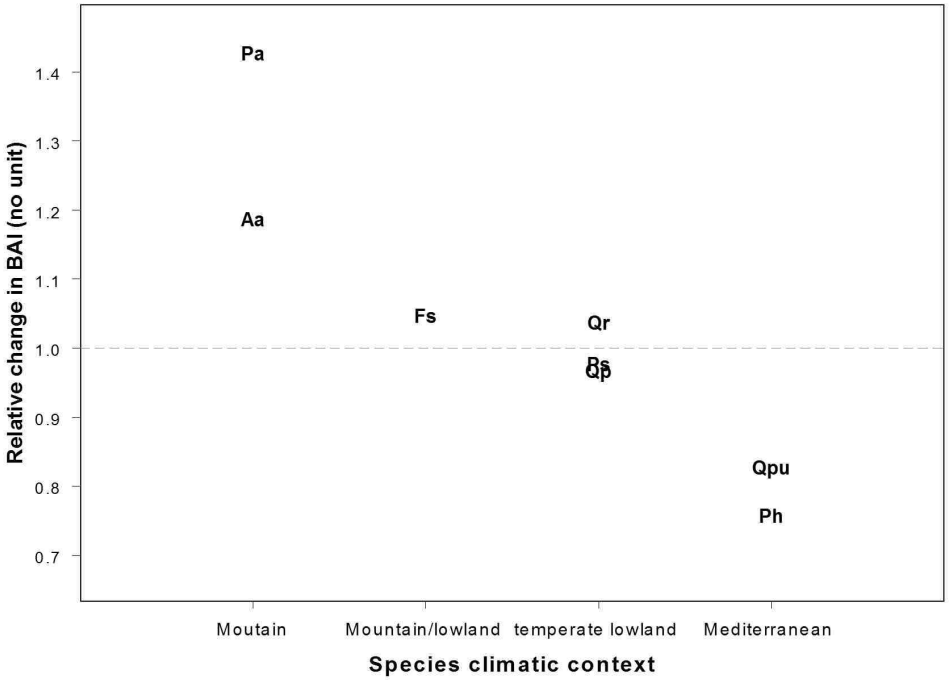


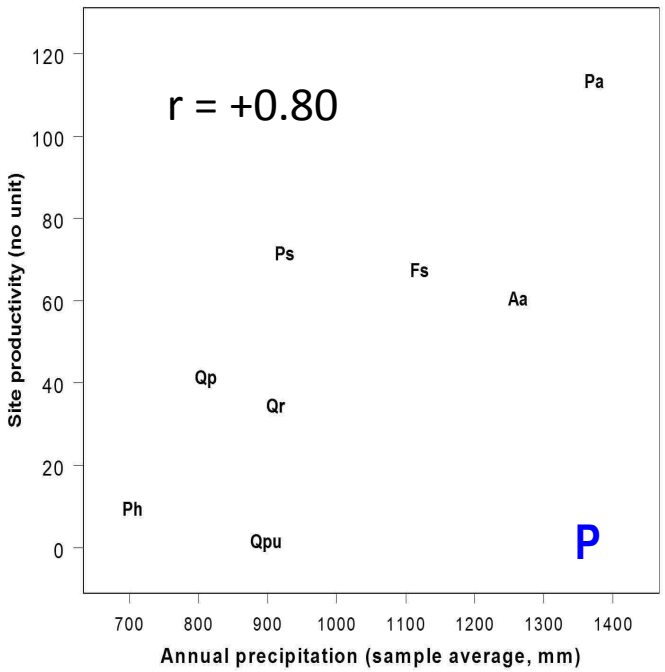
Fig. 2 Historical BAI changes relative to the reference year 1981 for Norway spruce in the three regional contexts under study (Eqs. 7 and 8, *black lines*). *Grey dots* correspond to the partial residuals of date. *Black dots* correspond to annual averages of these partial residuals. The *grey areas* correspond to the 95 % level bilateral confidence intervals for the fitted trends relatively to the reference year 1981 for which they reach 1 by construction

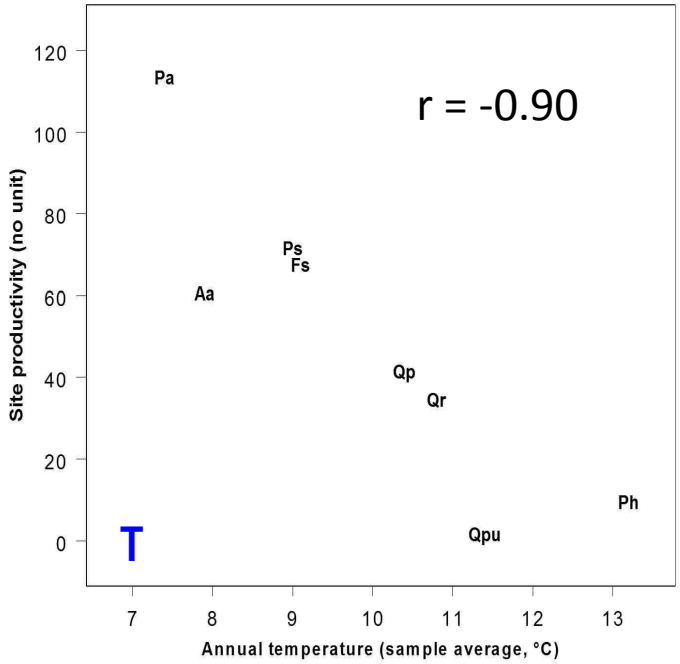
Déterminisme environnemental



- Correlations sur $\Delta(\Delta G)/\Delta t$ (changement moyen et niveau final)
- Avec moyennes d'échantillonnage de T, P, et fertilité (f1(E1…Ek))

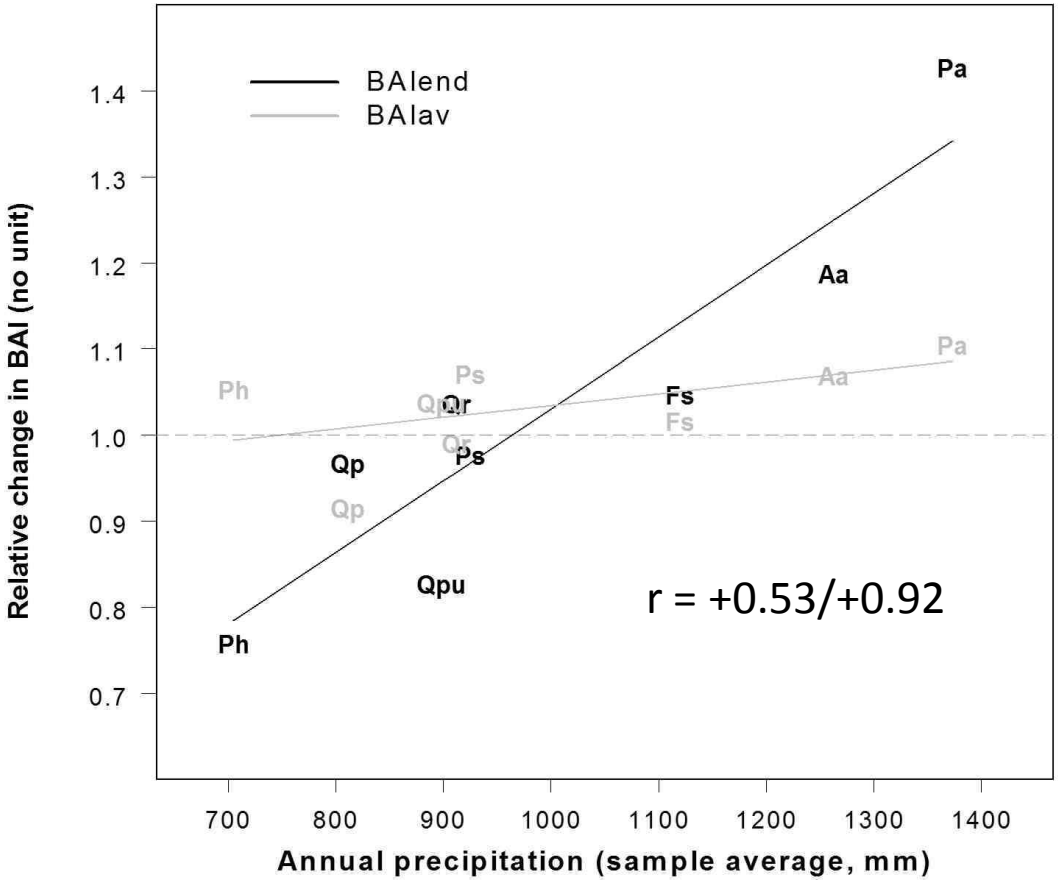
Déterminisme environnemental





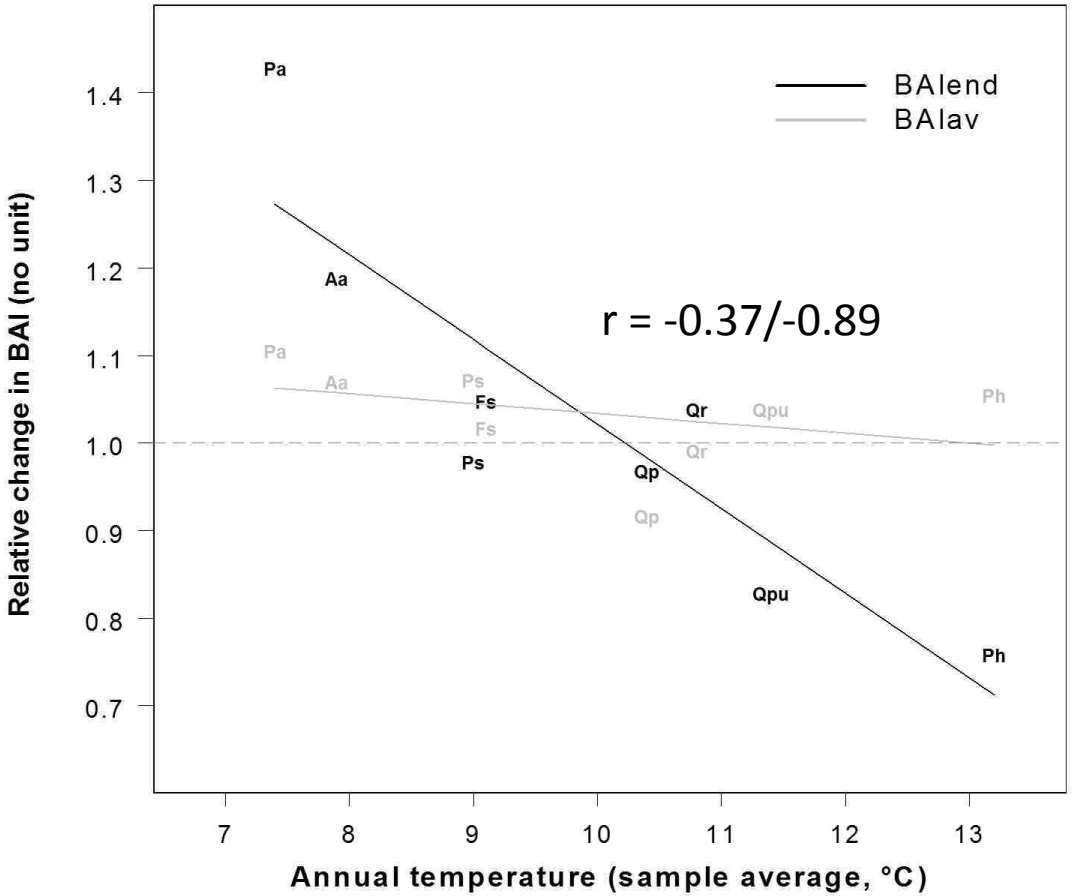
- structuration climatique de la productivité du système espèce – milieu
- (r = -0.90 entre T et P (“chaud/sec”, vs “froid/humide”))

Déterminisme environnemental



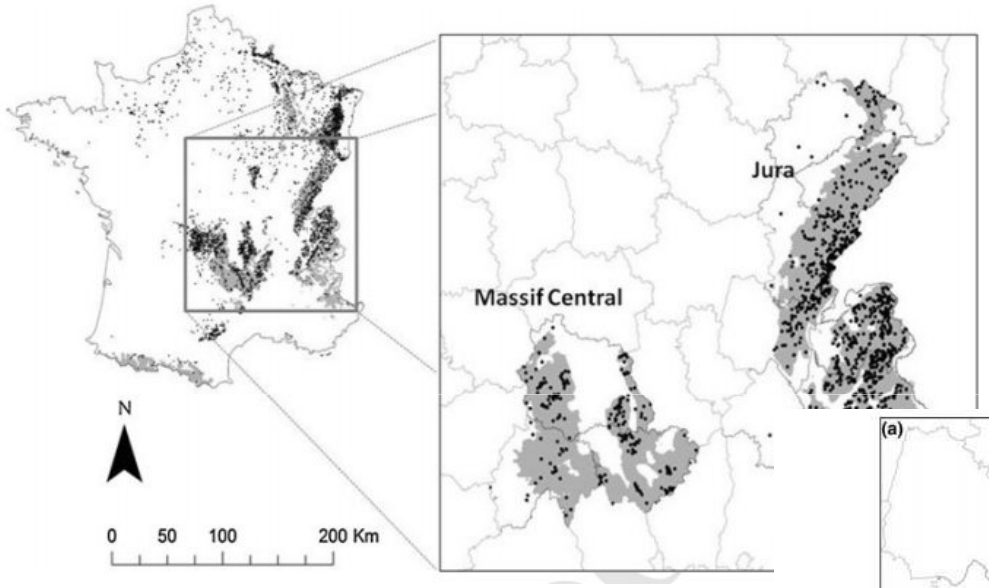
➢ $\Delta(\Delta G)/\Delta t$ plus fort en milieu plus humide (et frais)…

Déterminisme environnemental



➢ $\Delta(\Delta G)/\Delta t$ plus faible en milieu plus chaud (et sec)… avec point d'inversion

Variations spatiales haute-résolution



Charru et al, 2014 (Trees)

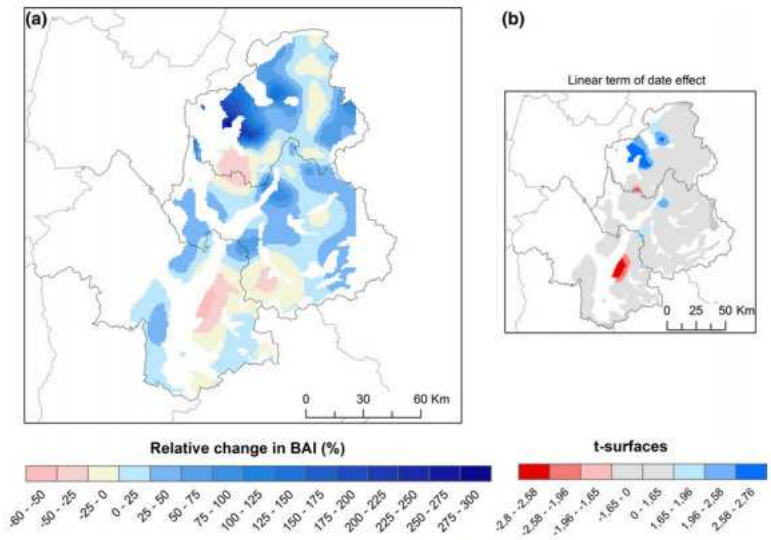


Fig. 5 **a** Spatial pattern of the relative change in Norway spruce BAI (Eq. 12) between 1981 and 2005 in the Alps and **b** *t* surfaces (see "Methods") of the linear term of the date effect. As in Fotheringham et al. (2002), we used the thresholds of 1.96 and 2.58 for the *t* surfaces that correspond to the 95 and the 99 % significance levels, respectively

- Forte variabilité, inversions locales
- Rôle des conditions locales
- Caractère "fractal" des $\Delta(\Delta G)/\Delta t$

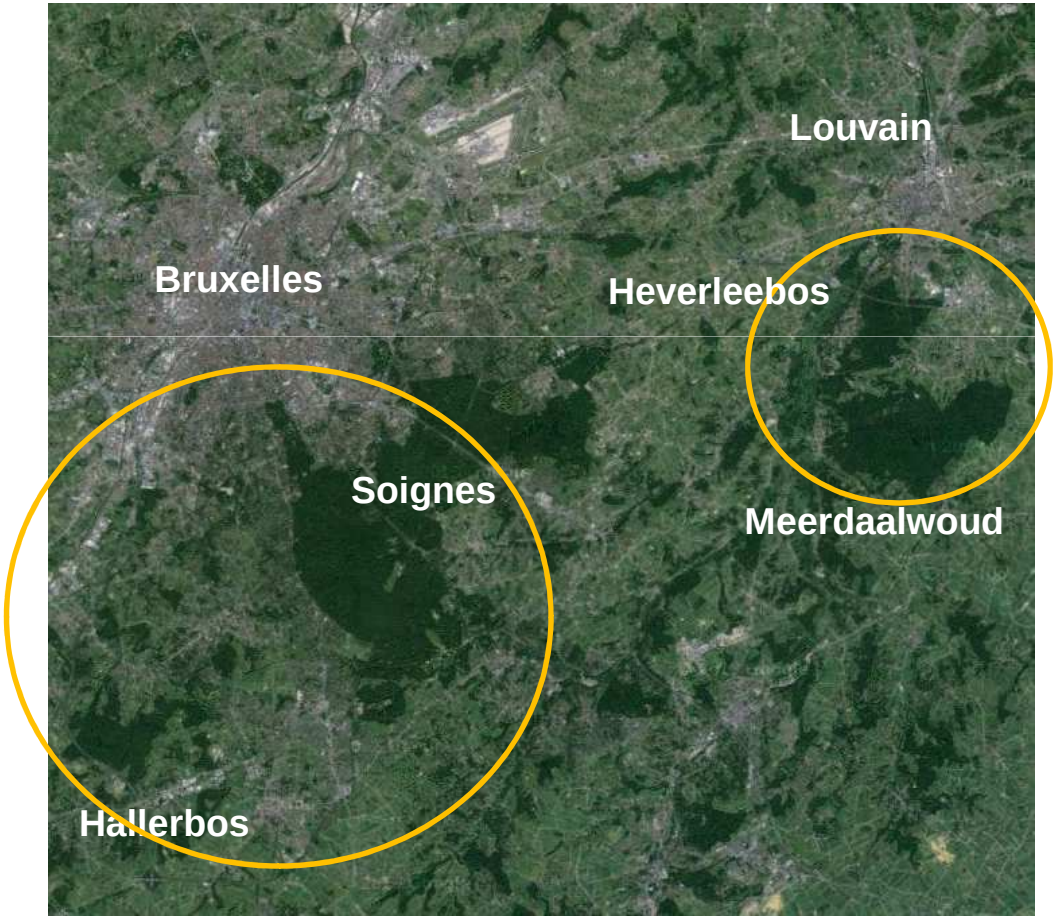
Bilan

- Une forte **variabilité inter-espèces**
- Bien **structurée par éco-région**, rôle prépondérant du climat
- Pubescent (-) en marge Nord, chênes (-) dans le Sud
- Le rôle du **réchauffement récent**
- Notion **d'adaption régionale** des espèces / productivité **???**
- Une **variation régionale/spatiale** à haute fréquence
- Sens des **moyennes ?**
- Approches de modélisation plus exogéno-centrée (ressources)

ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ DU HÊTRE EN FLANDRE BELGE

Aertsen W, Janssen H, Kint V, Bontemps JD, Van Orshoven J, Muys B

Zone d’étude


Louvain
Bruxelles
Heverleebos
Soignes
Meerdaalwoud
Hallerbos

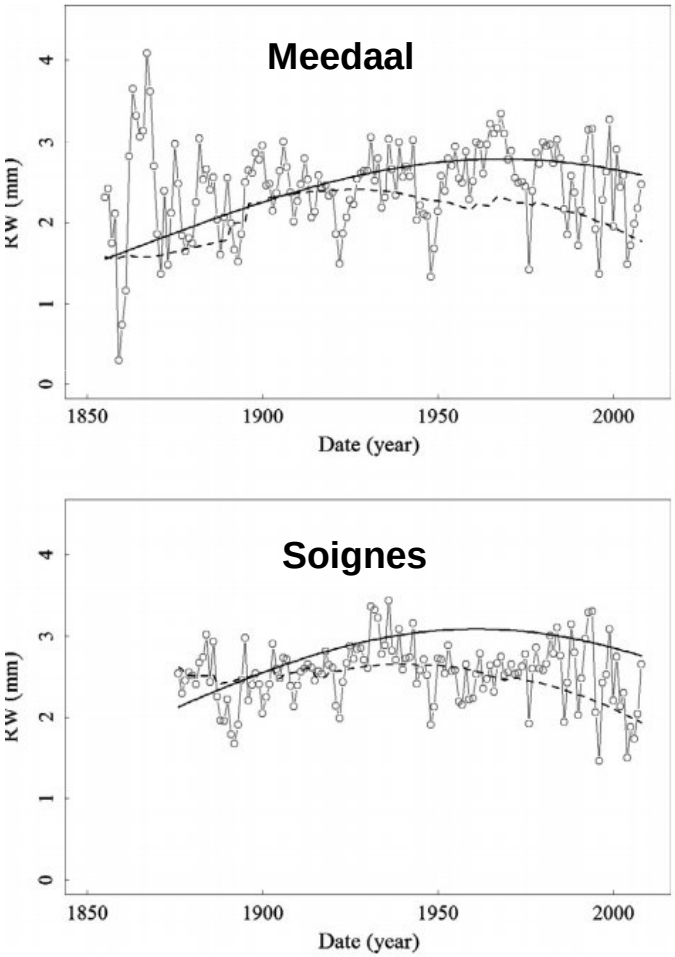
Evolution de la productivité du hêtre (croissance radiale dominants)

- Peuplements **purs** et **réguliers**
- **99 placettes**, système de **générations** (mais pas paires strictes)
- Soignes: 70 points / 3 générations
- Meerdaal/Heverleebos: 29 points / 2 générations
- **1 dominant / placette**, **CR à 1.00m**
- Collaboration sur les méthodologies statistiques

- Très **fortes productivités** (H0(100 ans) = 38 à 40 m
- **Fort** niveau de **dépôts N**, **saturation détectée sur feuillus** (Kint et al. 2012)

➢ **Quels changements de productivité dans des sites très fertiles, et N-enrichis ?**

Evolutions de productivité



- Changements +, avec saturation + déclin 2e moitié Xxe siècle
- **+27%** Meerdaalbos/Heverleebos/100 ans
- **+20%** Soignes
- Original : changements + faibles, et une saturation “précoce”

Aertsen et al. 2014(FEM)

Bilan

- Une progression de la productivité moins forte qu'ailleurs en Europe

- Hypothèse d'un tamponnage par la fertilité (≠ Charru !)
  - réponse à optimum du chprod à la fertilité stationnelle ?

- Plus plausible : saturation par N (de 15 à 40 km/ha/an)
  - pas observée sur feuillus, ni Europe ni US…

DENSITÉ DU BOIS ET ÉVOLUTION DE LA PRODUCTIVITÉ EN BIOMASSE

Franceschini T, Pinto P, Leban JM, Hervé JC, Bontemps JD

Tendances LT de densité du bois

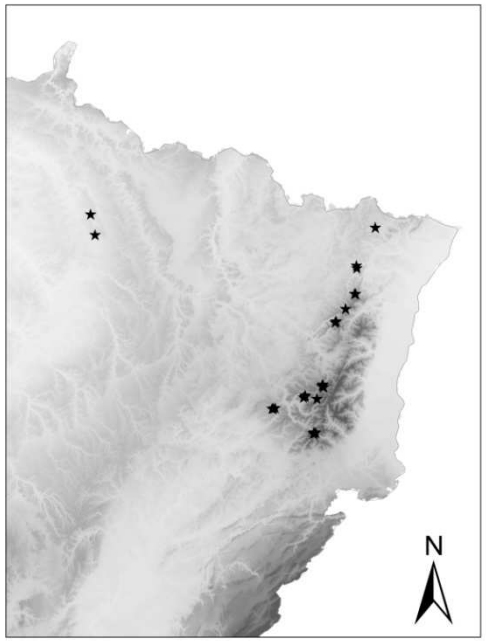
- **Toujours peu de travaux…**
  - Dmax: Conkey 1988 (épicéa rouge, US), Briffa et al. 1998 (boréal Nord)
  - Déclin de densité, perte de sensibilité à T (divergence)

- **Travaux de l'école française (Dmoy, à AC et LC constants)**
  - Bergès et al. 2000 (chêne sessile) : stable à -3.5 à -5% sur 20e siècle
  - Franceschini et al. 2010 (épicéa NE) : -5% idem
  - Bontemps et al. 2013 (hêtre NE) : -10% idem

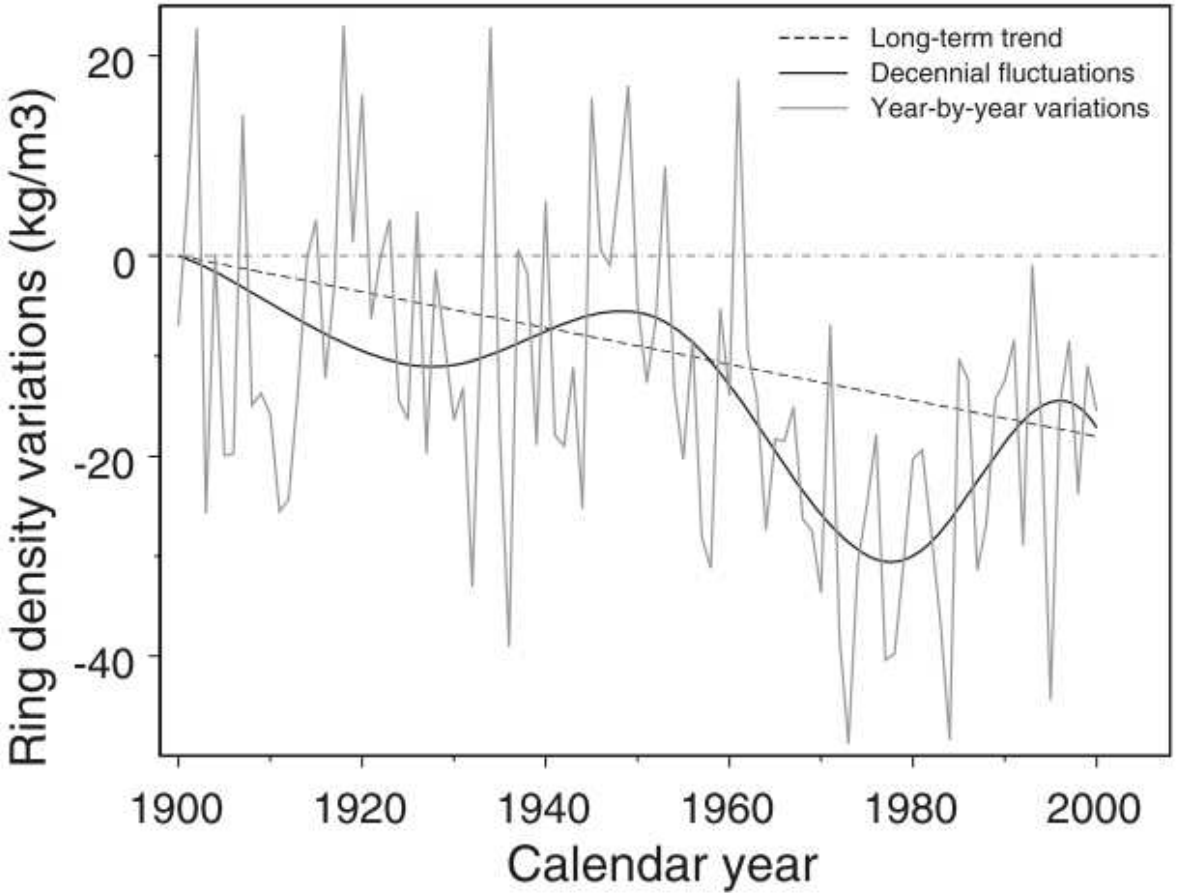
- **A LC constant… mais augmentation historique de LC**
  - résineux : relation (-) D – LC
  - Variations historiques de Dmoy ? (éléments sur le hêtre)
  - Accroissement biomasse / dimensionnel ? (éléments sur l'épicéa)

Méthodologie/modélisation

- **Echantillons annuels**, plus modestes en points (13 sites)
- Méthode des **paires** (jeunes/vieux = station, 3 générations / site)
- Echantillonnage **3 arbres dominants**
- **Analyses de tiges** (H0), **CR0** à 1.30m, **densité du cerne** à 1.30m
- Modèle: **Dmoy = f1(R/AC) + f2 (LC) + f3 (date) (+ effets individuels)**

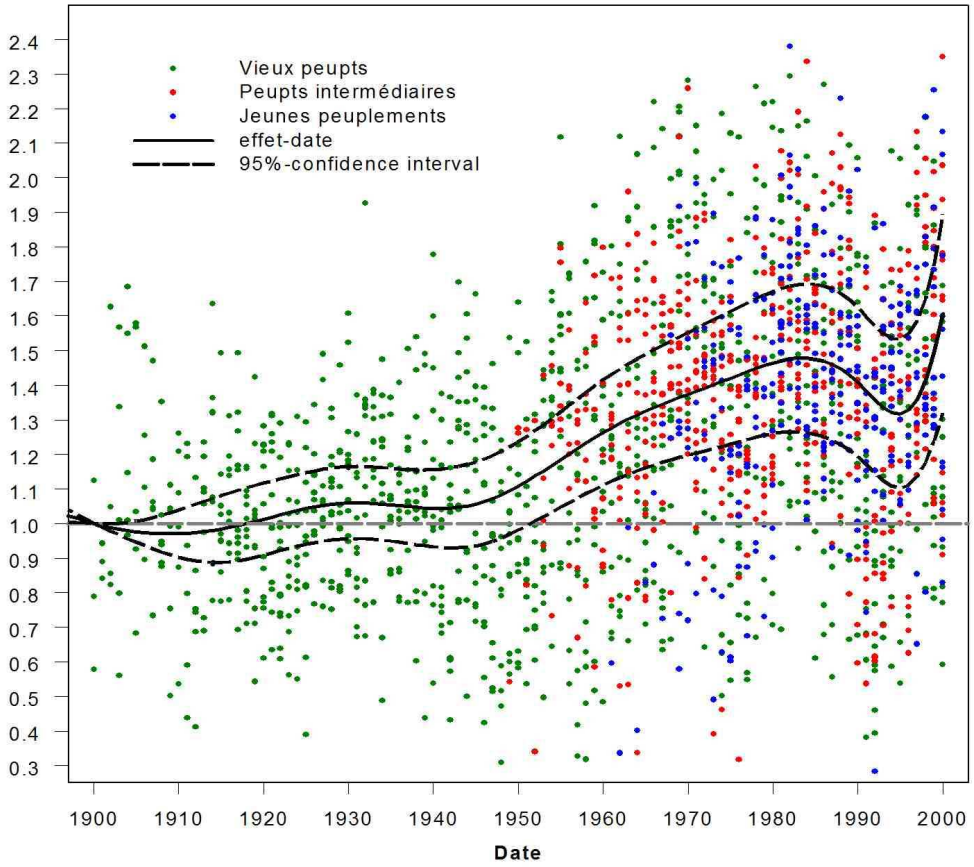


Dmoy cerne épicéa NE



Franceschini et al (2010, AFS)

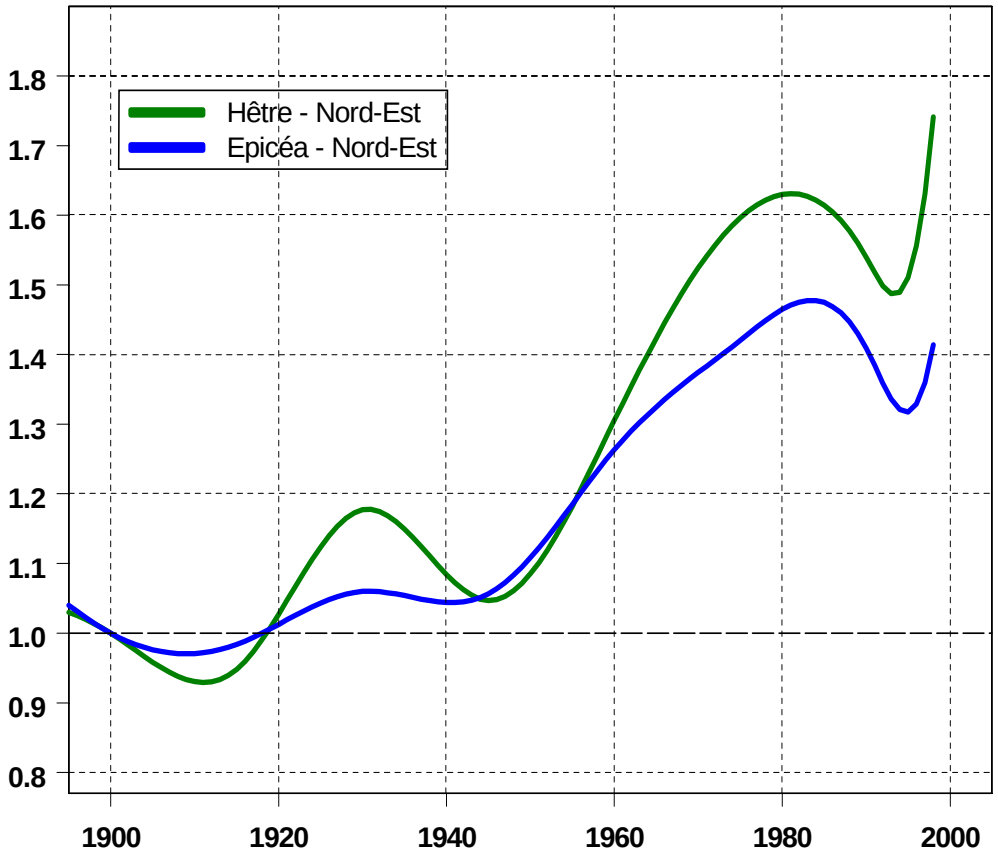
Hauteur dominante épicéa NE



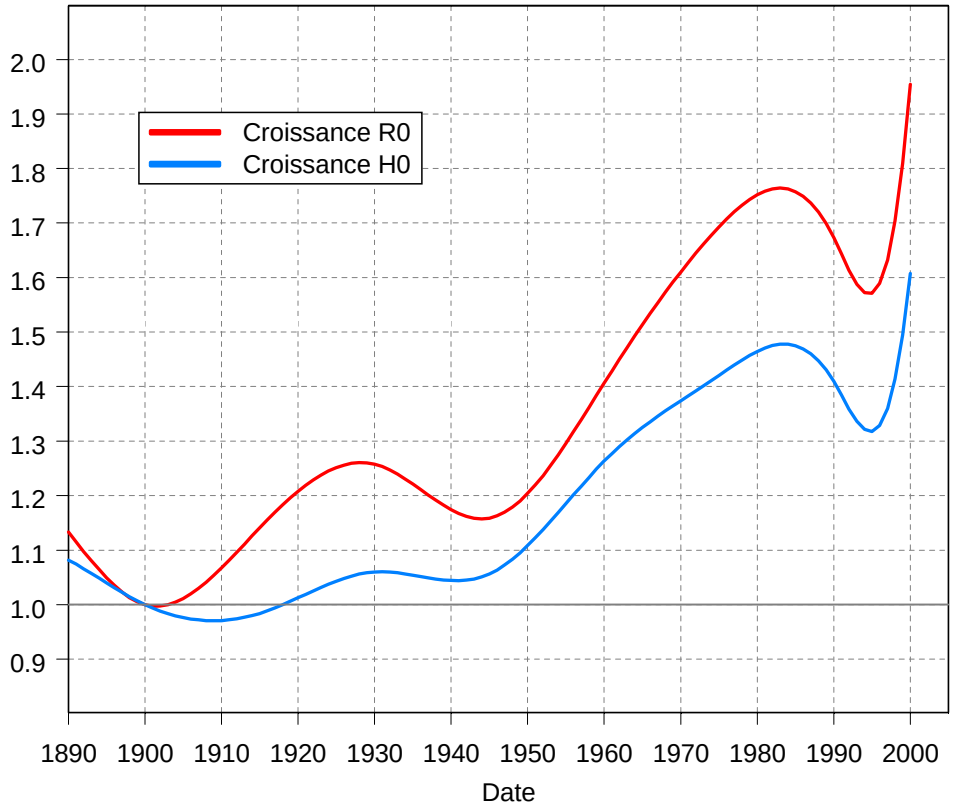
Bontemps et al. (non publié)

- changement marqué : +50% sur 100 ans

La forte similitude hêtre/épicéa NE



Croissance radiale des dominants (R0)

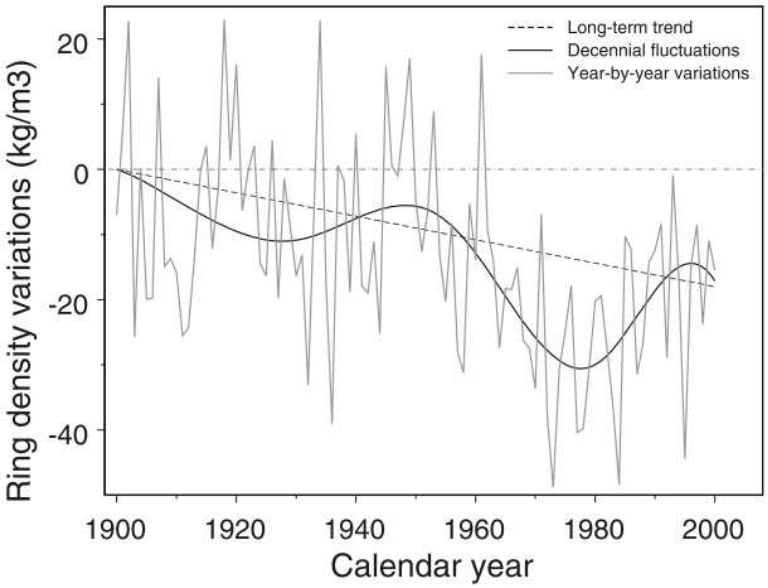


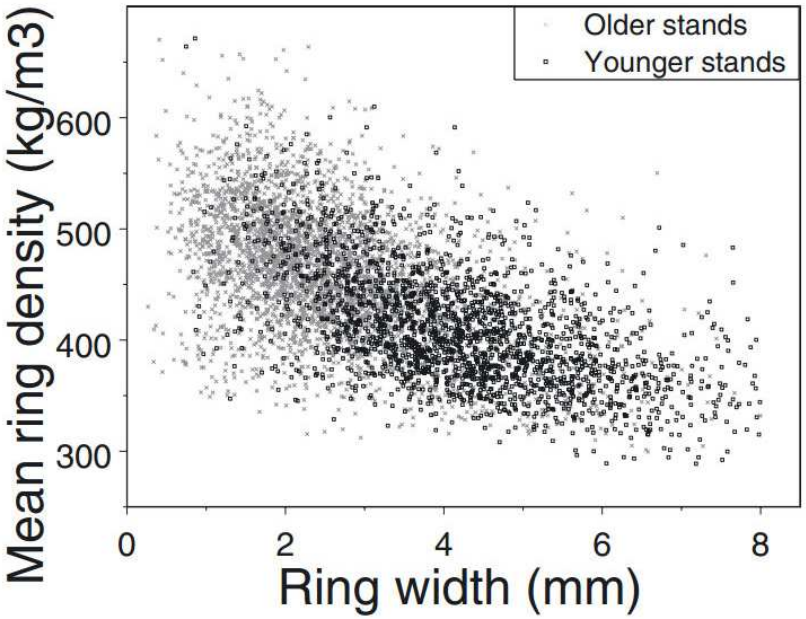
Bontemps et al. (non publié)

- changement + marqué : +70% sur 100 ans

Séquestration en biomasse – quelle tendance?

- Baisse de densité à LC constante
- Relation négative D – LC (résineux)
- Quelle évolution historique de la densité ?





① Densité du cerne: évolution historique

Niveau fertilité (LC)	-2σ	-σ	m	+σ	+2σ
LC (mm)	1.8	3.1	4.3	5.6	6.8
LC **+70%**	3.1	5.25	7.4	9.5	11.6
ΔDmoy - LC (kg/m3)	**-29.3**	**-27.3**	**-25.6**	**-24.3**	**-23.1**
ΔDmoy - t	**-20.0**	**-20.0**	**-20.0**	**-20.0**	**-20.0**
ΔDmoy TOT	-49.3	-47.3	-45.6	-44.3	-43.1
ΔDmoy %	**-11.5**	**-11.0**	**-10.6**	**-10.3**	**-10.0**

- OG comparable entre sources de variations (-)
- Effet fertilité faible
- -10% sur 100 ans sur Dmoy 1.30m

② Séquestration en biomasse

- On raisonne à arbre dominant constant (D, H), suivi au cours du siècle, en tenant compte des gammes de fertilité

- Hypothèse : D130 et ses variations s'appliquent à tout le cerne
  - Dmoy varie évidemment, mais on s'intéresse à la variation temporelle
  - Variation temporelle intrinsèque présumée homogène
  - LC varie le long du profil, mais l'effet de LC est supposé semblable

- Volume de cerne apprécié par différenciation d'un tarif de cubage
  - Tarif volume aérien total Vallet 2006

② Séquestration en biomasse

Niveau fertilité (LC)	-2σ	-σ	m	+σ	+2σ
LC (mm) – 1900	1.8	3.1	4.3	5.6	6.8
D (cm) – 1900	**30**	**35**	**40**	**45**	**50**
H (m) – 1900	**20.0**	**25.0**	**30.0**	**35.0**	**40.0**
ΔVolume cerne (rel)	**1.25**	**1.25**	**1.25**	**1.25**	**1.25**
Δ Biomasse cerne (kg)	17.5	31.1	50.2(*)	75.3	106.9
Δ Biomasse cerne (%)	**7.8**	**8.4**	**8.9**	**9.3**	**9.6**

(*) = 10 T biomasse/ha/an (200 dominants)

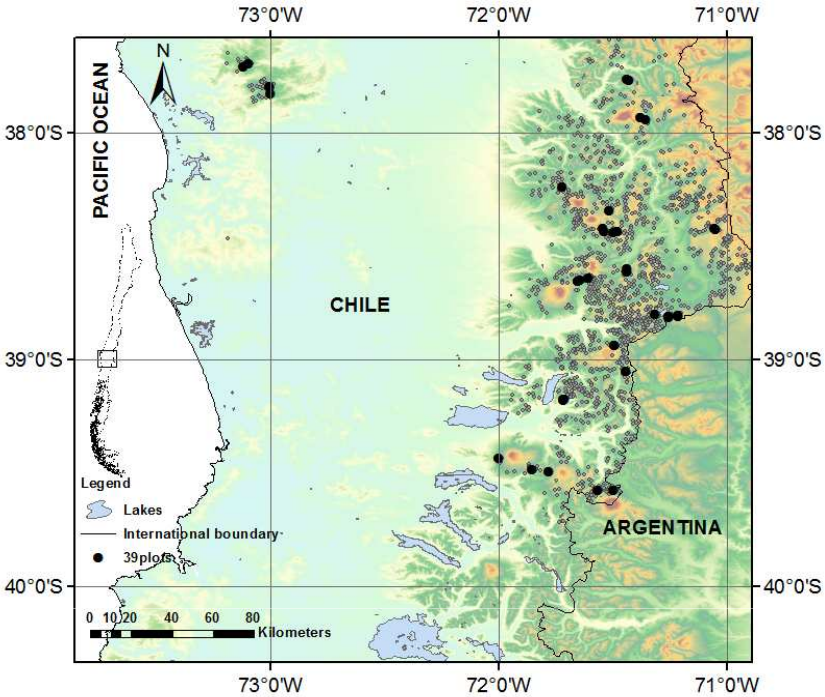
- de 8 à 10% de gain de séquestration de biomasse à H et D constants

Bilan

- Un “effet d’éponge” quasi-parfait (+10% matière)
- Un patron qui pourrait concerner tous les résineux
- Systématisation et effort de recherche nécessaire
  - variations de D, un sujet relativement confidentiel (et ↘ LERFoB)
  - séquestration de carbone dans la partie aérienne des forêts
- Feuillus moins concernés ((+) D-LC)

EVOLUTION DE CROISSANCE ET DE DENSITE DU CERNE D'ARAUCARIA ARAUCANA AU CHILI

Pinto P, Franceschini T, Gégout JC, Bontemps JD, Leban JM



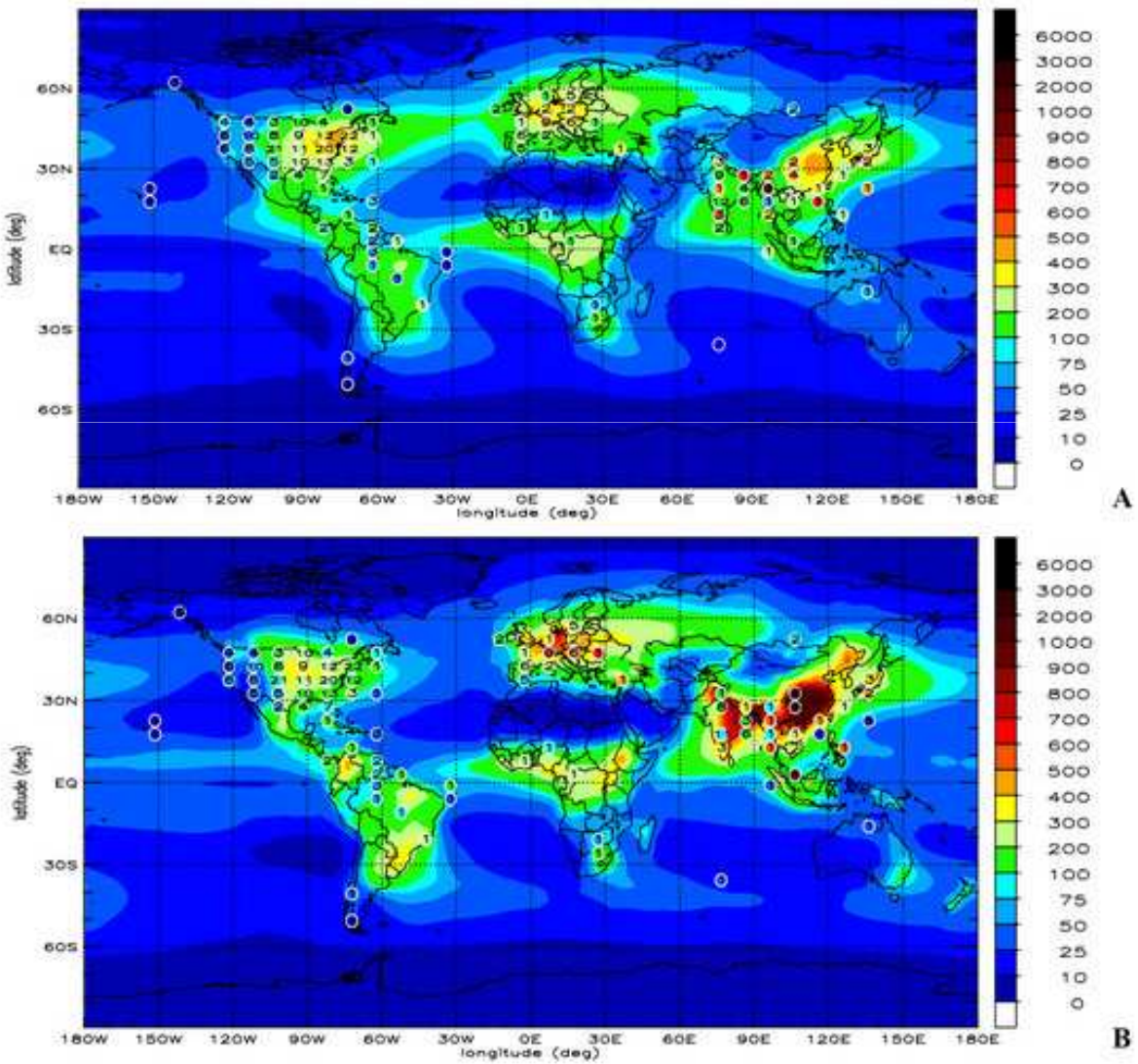
- Une situation **couvrant la période pré-industrielle** (CO_2)
- **Pas affectée** par les **dépôts atmosphériques** anthropiques (N)
- **Pas affectée** par la **gestion**
- **Peu affectée** par le **CC**

- Araucaria araucana (l'arbre aux singes) sur la Cordillière des Andes
- 37 placettes, 3 arbres dominants, CR et μ-densité 1.30m, avec de larges gammes d'âges

Changements environnementaux

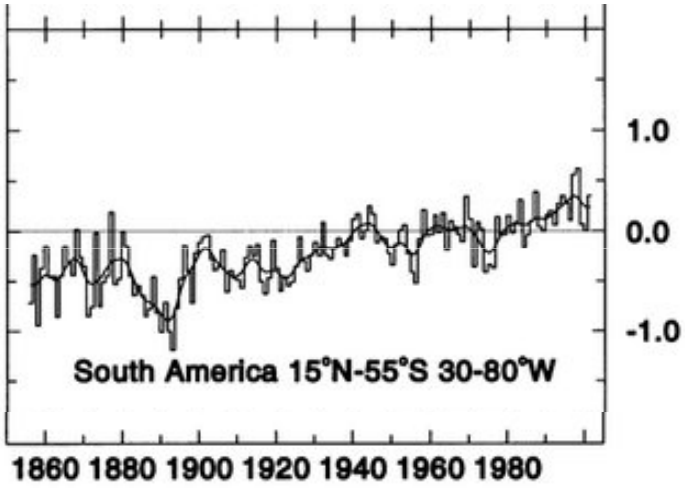
NO3

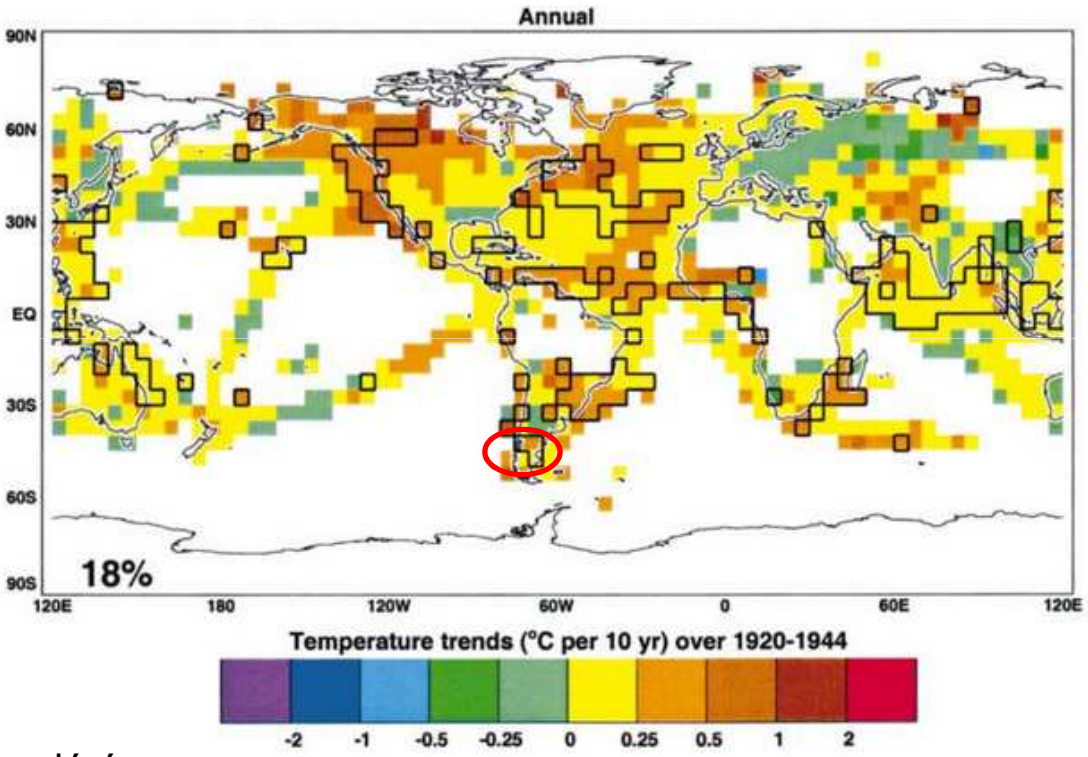
NHx



Dentener & al 2006

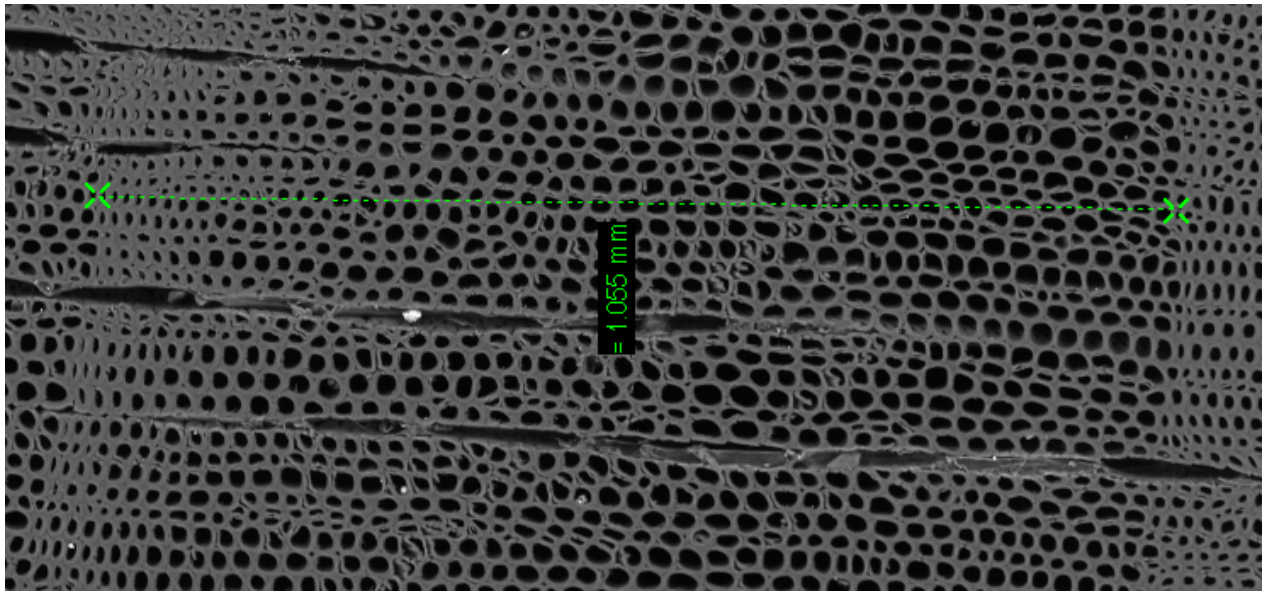
Changements environnementaux



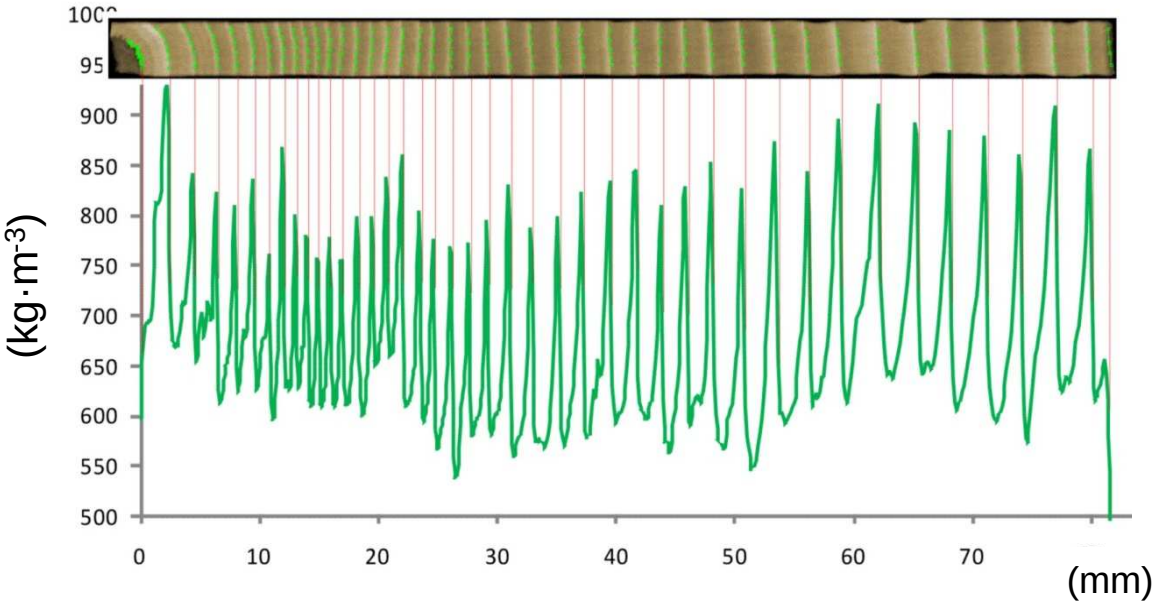


- Un réchauffement probablement modéré
- < 0.5°C sur 100 ans
- Pas de données directes

Jones & Moberg 2003

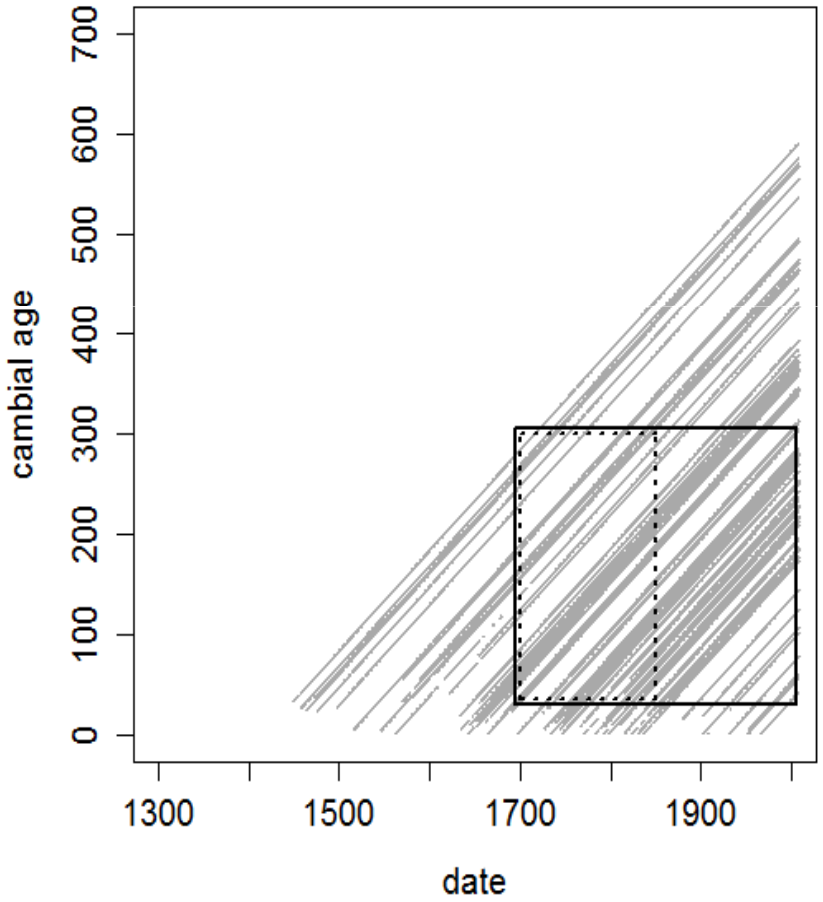


- Arbre sempervirent, à écailles
- Cerne pas toujours évident à distinguer visuellement
- Variations de densité intra-cerne

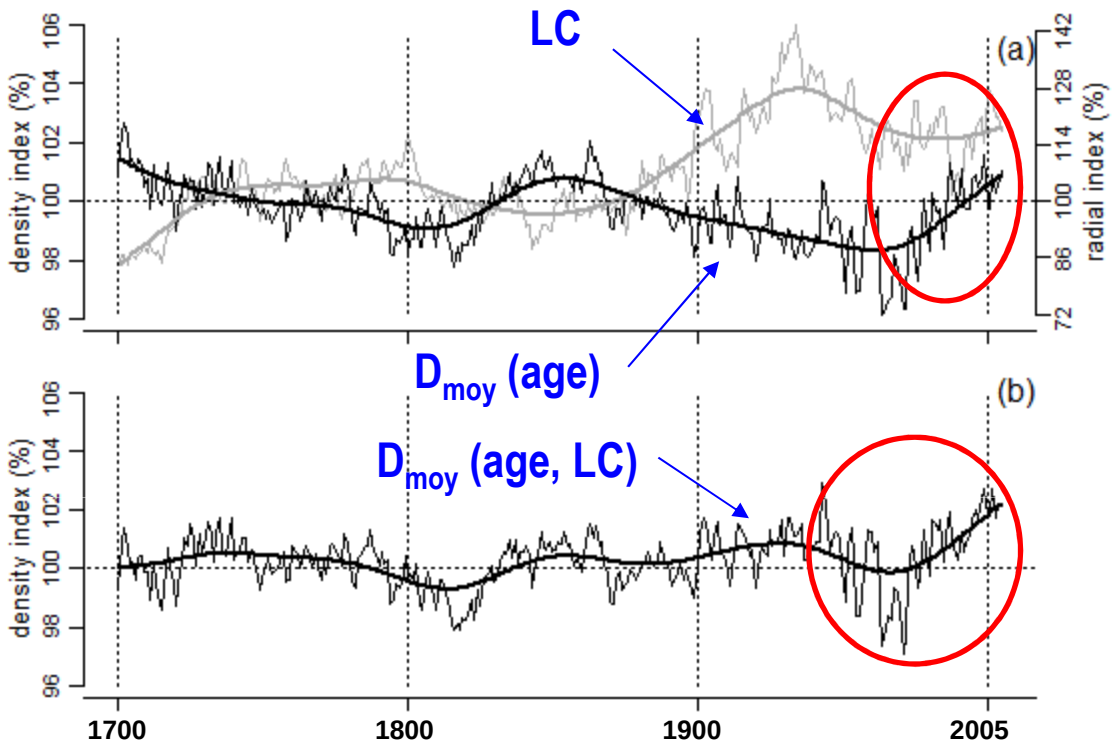


Plan d'échantillonnage

- Méthode type **RCS** (dendro)
- Restriction à **1700-2000**
- Construction de **courbes "âge" pré-industrielles** (1700-1850)
- **Standardisation** pour l'ensemble de la période



Tendances de croissance et densité



- Augmentation de croissance (+30%) entre 1850-1930, décroissance ensuite
- Pas de variation significative de densité (± 2%)
- Oppositions de phase Dmoy-LC (relation (-) Dmoy-LC = classique résineux)
- Inversion en fin de période, avec ↗ (extrêmes sur les 50 dernières années)

Bilan

- Plaisant de constater une absence de signal à la période pré-industrielle !
- Un démarrage mi-XIXe siècle de la croissance attribuable au CO_2…
- …mais une tendance qui décline ensuite
- Peu de variations de la densité du bois
- Des extrêmes en fin de période, une forme en cuiller commune avec l'Europe, une variation conjointe de D et LC…
- Interprétation qui reste peu évidente

Changements de productivité des forêts – résultats récents, faits nouveaux

JD Bontemps, AgroParisTech - centre de Nancy

jdbontemps.agroparistech@gmail.com

CAQSIS 2014, Gembloux