



L'estimation de la biomasse et de la productivité forestière à l'épreuve des changements environnementaux

CIAG, 16 décembre 2011

Jean-Daniel Bontemps

AgroParisTech

UMR 1092 « LERFoB »

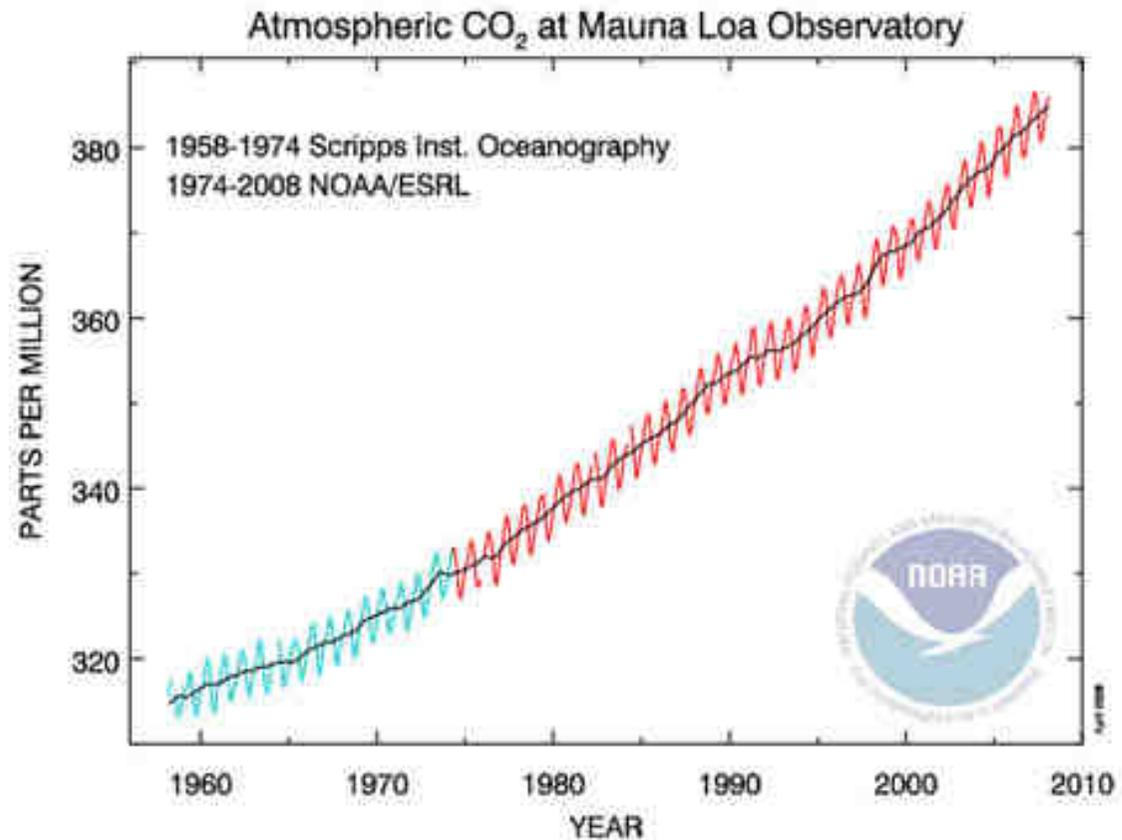


Les enjeux



- ① Evaluer des **stocks**, notion de **gisement**
 - pour différents produits : **bois d'œuvre, énergie**
 - ou fonctions : **stocks de carbone**

Les enjeux



Re-evaluation of forest biomass carbon stocks and lessons from the world's most carbon-dense forests

Heather Keith¹, Brendan G. Mackey, and David B. Lindenmayer

2009, *PNAS*

Les enjeux



LETTERS

PUBLISHED ONLINE: 19 JUNE 2011 | DOI: 10.1038/NCEO1182

nature
geoscience

Small temperature benefits provided by realistic afforestation efforts

Vivek K. Arora^{1*} and Alvaro Montenegro²

Les enjeux



② Evaluer des flux

- quels **prélèvements** potentiels ? ...
- ... quel flux d'entrée ? **Productivité** ?
- notion de **durabilité** : **prélèvement/productivité** ?

Les enjeux



Review

2010, *Biomass and Bioenergy*

Criteria and indicators for sustainable forest fuel production and harvesting: A review of current standards for sustainable forest management

Inge Stupak^{a,*}, Brenna Lattimore^b, Brian D. Titus^c, C. Tattersall Smith^b

Les enjeux



③ Evaluer la **productivité forestière**

- = **accroissement biologique**
- **sous fort contrôle environnemental...**
- ... **un environnement qui change !**

Les enjeux



2005, *Nature*

LETTERS

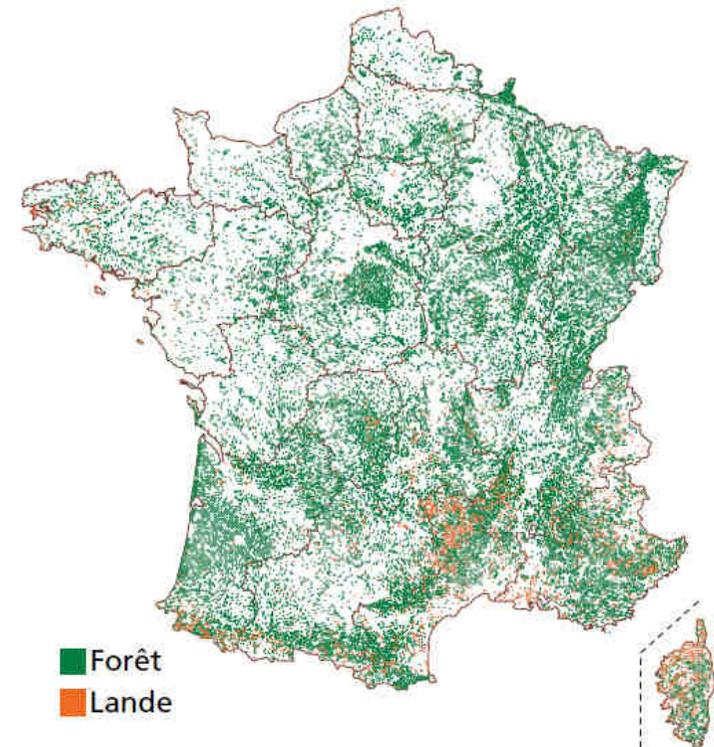
Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003

Ph. Ciais¹, M. Reichstein^{2,3}, N. Viovy¹, A. Granier⁴, J. Ogée⁵, V. Allard⁶, M. Aubinet⁷, N. Buchmann⁸, Chr. Bernhofer⁹, A. Carrara¹⁰, F. Chevallier¹, N. De Noblet¹, A. D. Friend¹, P. Friedlingstein¹, T. Grünwald⁹, B. Heinesch⁷, P. Keronen¹¹, A. Knohl^{12,13}, G. Krinner¹⁴, D. Loustau⁵, G. Manca^{2†}, G. Matteucci^{15‡}, F. Miglietta¹⁶, J. M. Ourcival¹⁷, D. Papale², K. Pilegaard¹⁸, S. Rambal¹⁷, G. Seufert¹⁵, J. F. Soussana⁶, M. J. Sanz¹⁰, E. D. Schulze¹², T. Vesala¹¹ & R. Valentini²

Les enjeux

A grande échelle :

- **territoires**, bassins d'approvisionnement
- **nationale**, politique forestière, comptabilité
- **exhaustivité** sur un domaine



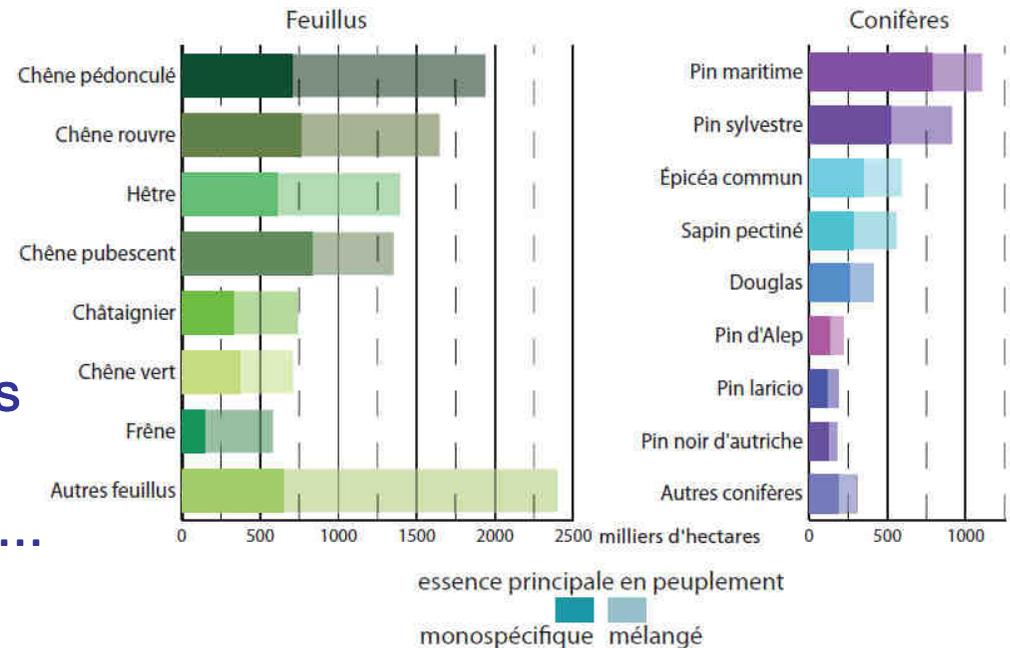
Les enjeux

En intégrant la **diversité des espèces**

- une ressource nationale **hétérogène...**
- ...difficilement « simplifiable »

Ce qui est spécifique:

- **allométries** de développement
- réponse **environnementale**
(niche écologique)
- approches **systématiques**



Contenu de l'exposé

- ① L'évaluation de la biomasse forestière
 - ② L'évaluation de la productivité forestière
l'effet des changements environnementaux
- innovations récentes, dans une perspective historique
 - aspects d'intégration (territoire, espèces)



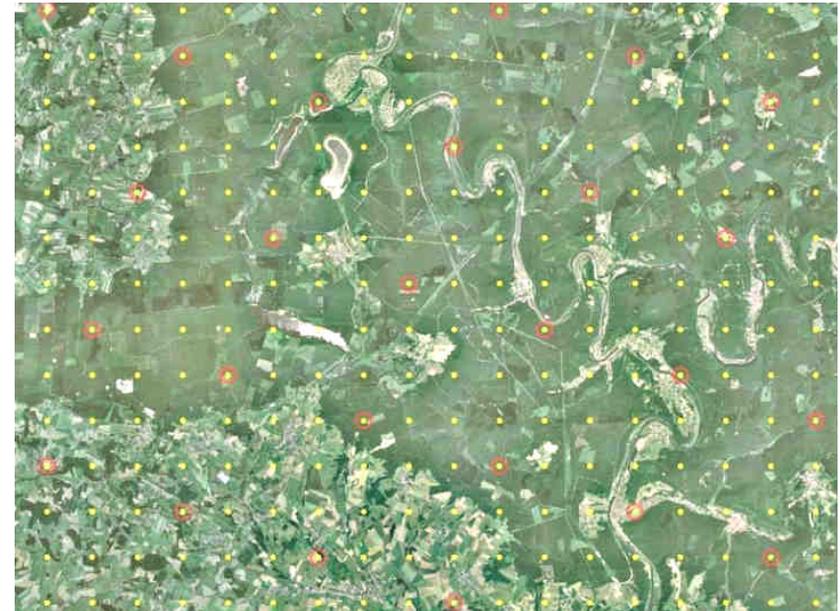
1

L'évaluation de la biomasse



FORÊT de ... Date: ...
 Propriétaire: ...
 Mètre: ...

DÉTAILS		SOMMAIRE	
Essai	Volume en m³	Essai	Volume en m³
1	100	1	100
2	200	2	200
3	300	3	300
4	400	4	400
5	500	5	500
6	600	6	600
7	700	7	700
8	800	8	800
9	900	9	900
10	1000	10	1000
Total		Total	



Principes de l'évaluation

- biomasse, carbone... = **d'abord un volume**
 - densité du bois, teneur spécifique C
- volumes **d'arbres**, sommés sur un « domaine »
- volume **non mesurable** (rapidement, de façon non-destructive)
- **estimer** le volume, notion de « **tarif de cubage** » (modèle)
 - prédire un volume à partir de quantités accessibles, C et H

$$V = f C^2 H, f = \text{facteur de forme (pas une constante)}$$

Une approche classique...

Une histoire « ancienne »

- tarifs « Algan » (1894)
- période des chocs pétroliers

Une grande diversité

- quel volume ? (« tige » ...)
- diversité des espèces/contextes
- nb. prédicteurs (« entrées »)

➤ causes de « spéciation/radiation »

➤ > 160 références publiées, > 600 tarifs « gestion »

Espèce	N tarifs
Chênes	16
Hêtre	11
Epicéa commun	20
Sapin pectiné	12
Pin sylvestre	6
Pin maritime	9
Chataîgnier	2
Chêne pubescent	2
Douglas	10
Charme	4

Longuetaud et Deleuze

ANR Emerge

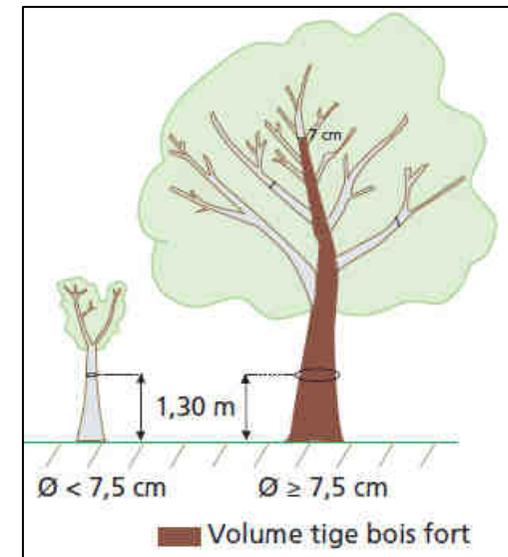


... en renouvellement (1) tarifs à visée exhaustive

IFN : tarifs « bois fort tige » (7 cm)

À visée systématique :

- échelle nationale, contextes sylvicoles, espèces
- tarifs à 3 ou 4 entrées



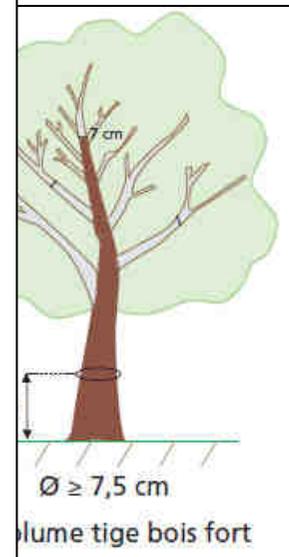
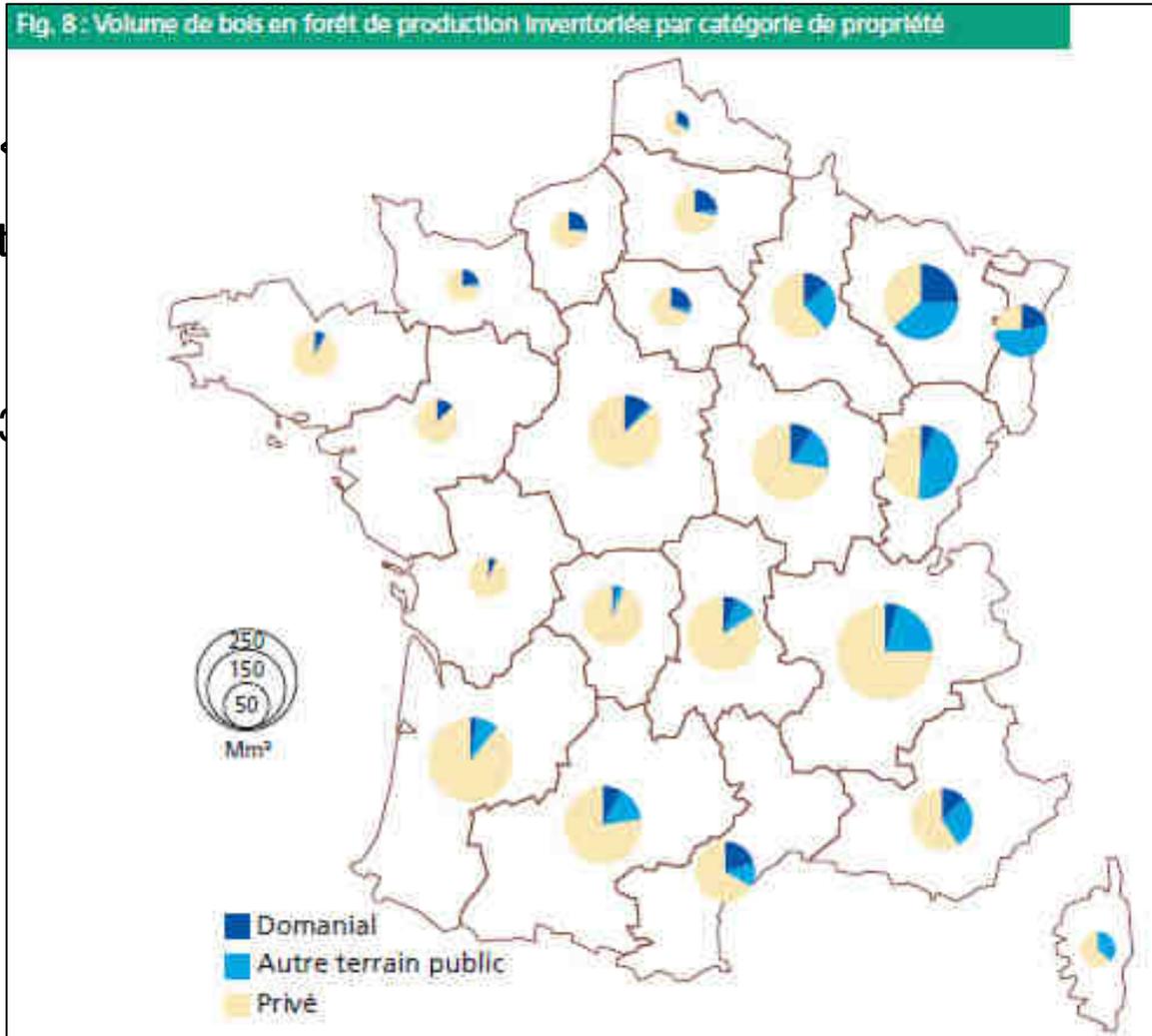
... en renouvellement (1) tarifs à visée exhaustive

IFN : tarifs «

À visée syst

- échelle

- tarifs à 3

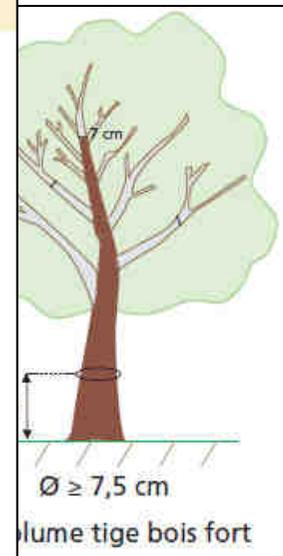
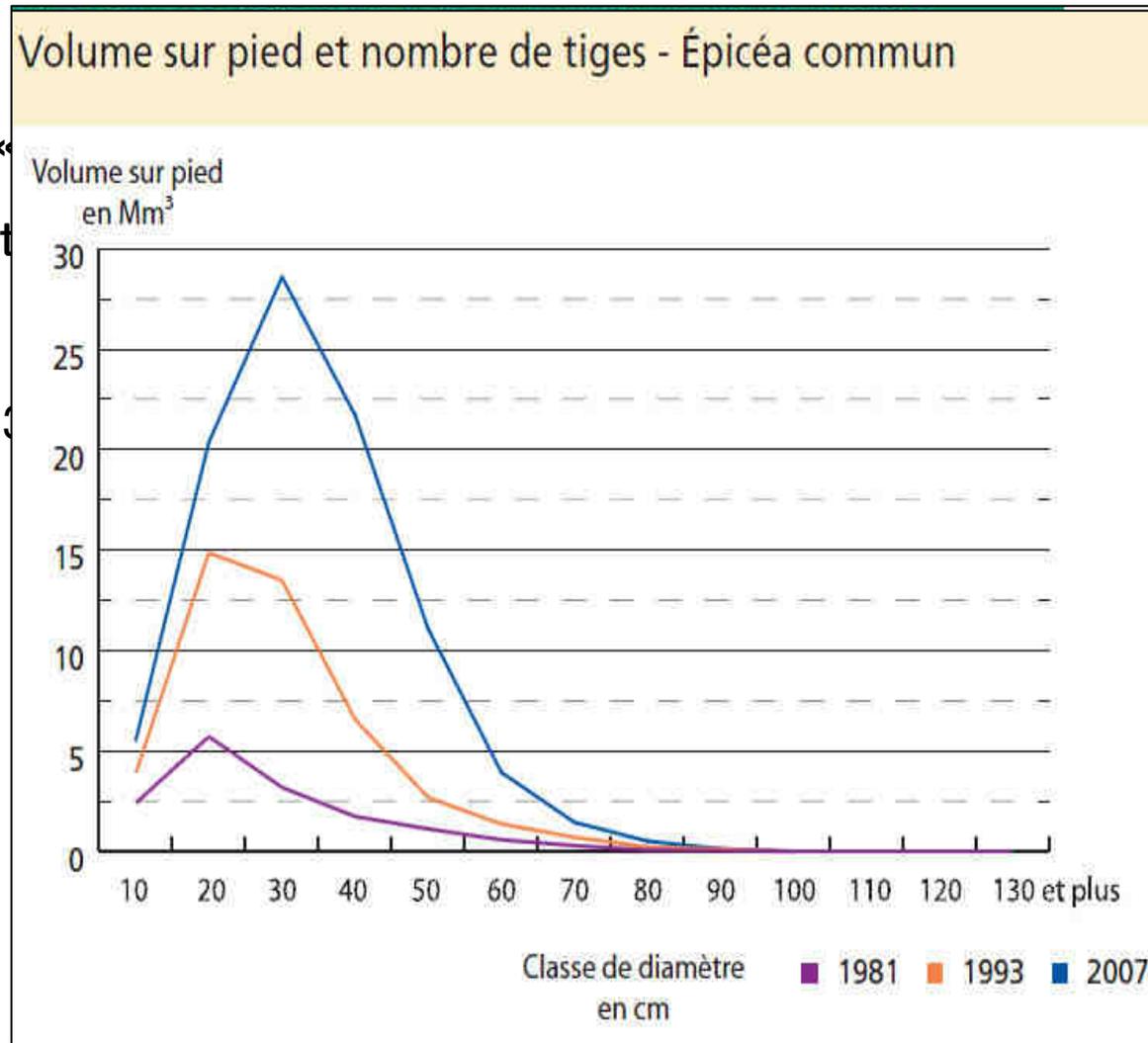


... en renouvellement (1) tarifs à visée exhaustive

IFN : tarifs «

À visée syst

- échelle
- tarifs à 3



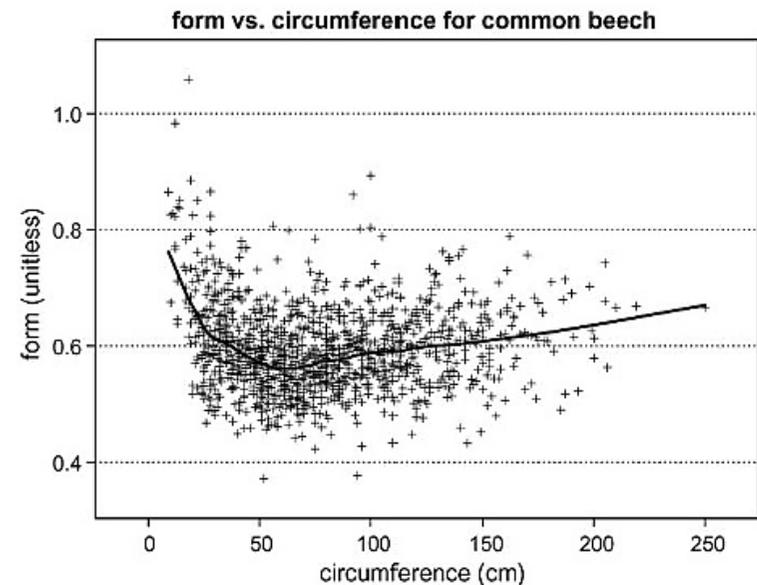
... en renouvellement (2)

tarifs « volume total aérien »

Tarifs « volume aérien total » (Vallet et al. 2006), 7 espèces

- mesures par l'administration forestière 1920-1950
- volumes « branches » par soustraction

Espèce
Chênes
Hêtre commun
Epicéa commun
Sapin pectiné
Pin sylvestre
Pin maritime
Chataîgnier
Chêne pubescent
Douglas
Charme



- 2/3 du volume de la ressource

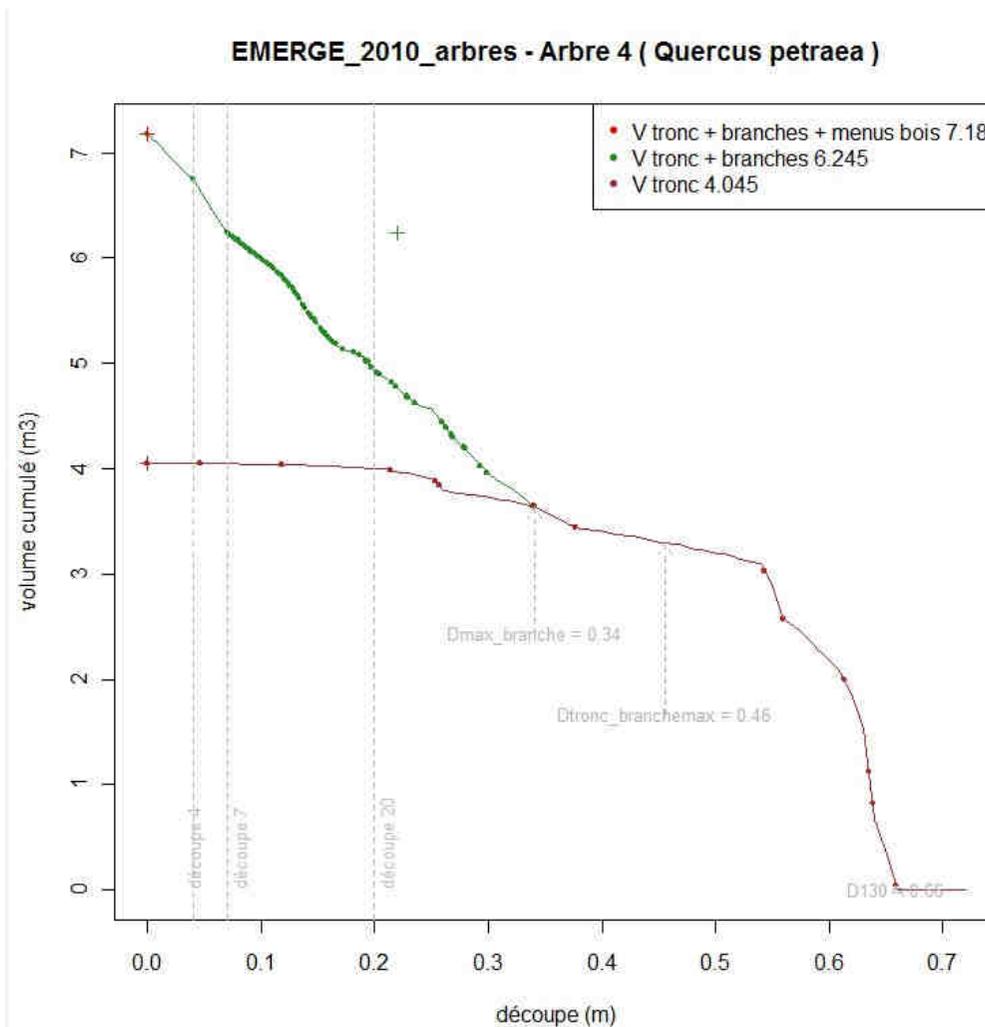
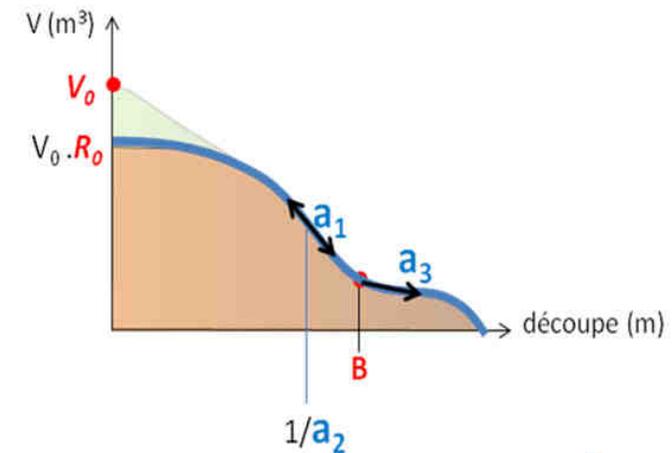
... en renouvellement (3) tarifs « à découpe continue »

Des tarifs flexibles, multi-objectifs

- découpes commerciales variées, jusqu'au VT
- branches, bois énergie,...

$$V_d = f(C, H, d)$$

... en renouvellement (3) tarifs « à découpe continue »


 Γ


Longuetaud et al., ANR Emerge

Une perspective : l'inventaire et l'acquisition de morphologie automatique

Le lidar terrestre (laser)

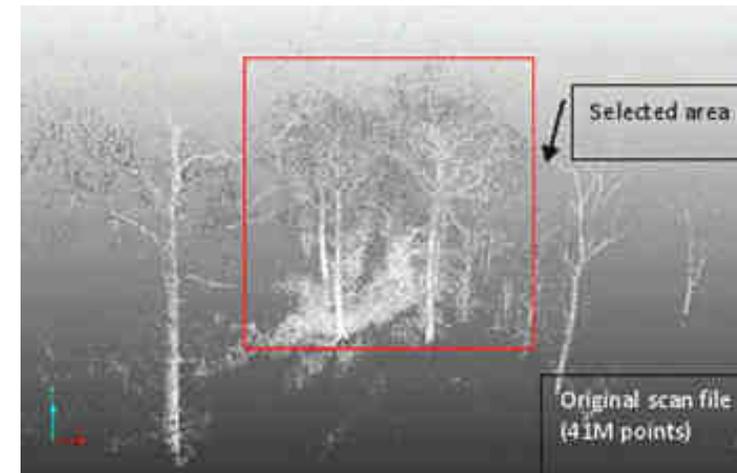
Perspectives

- inventaire, volume total...
- analyses par compartiment
- forme/défilement des tiges



Difficultés

- développement algorithmique
- temps de calcul



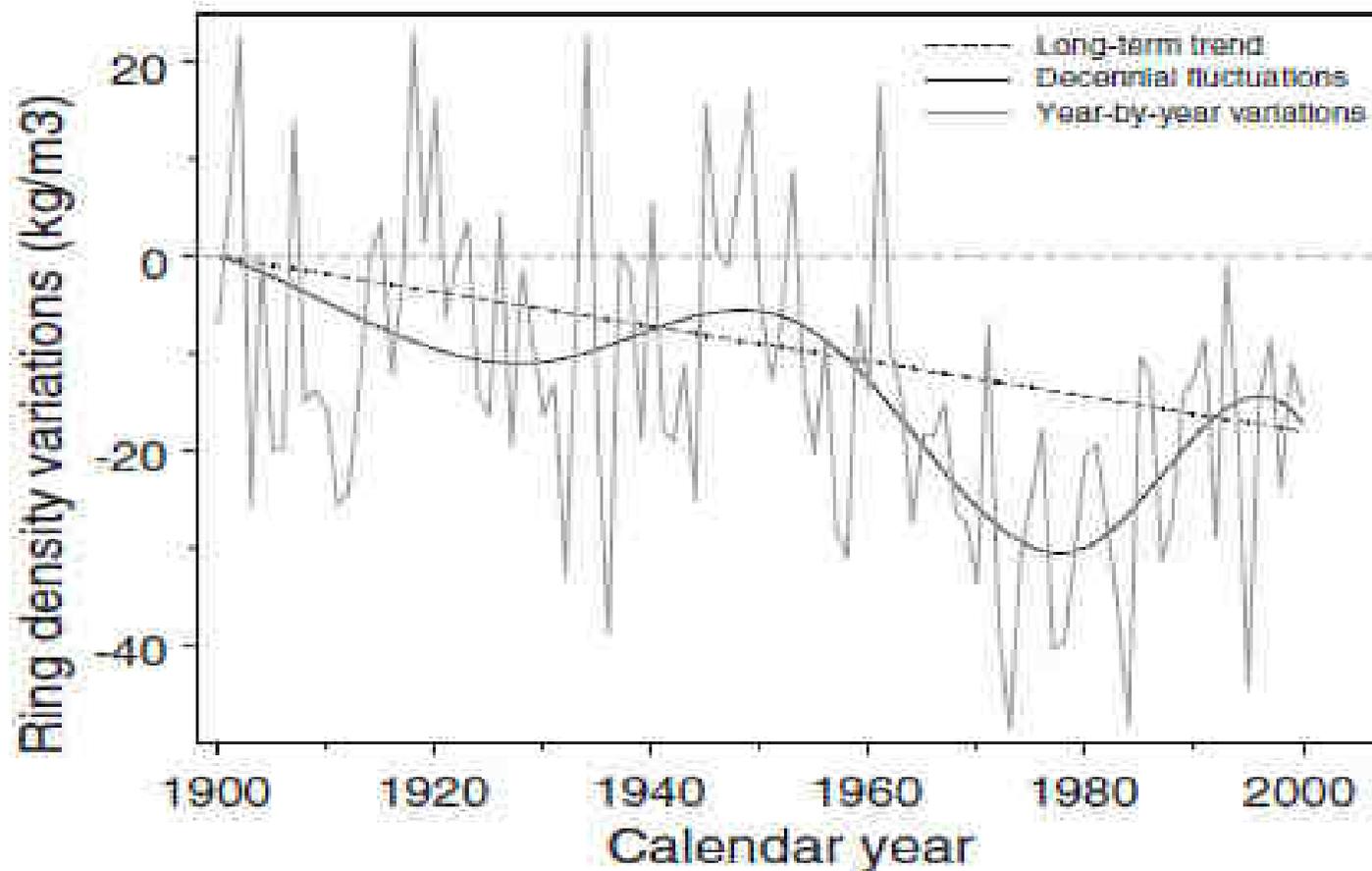
Dassot et al., 2011

Du volume à la biomasse: la densité du bois

- usage: souvent valeurs spécifiques moyennes
- pas une constante
 - varie avec l'âge, la hauteur, la vitesse de croissance...
- varie dans le temps : effet des **changements de l'environnement**
 - une baisse de 5-10% sur 100 ans, **générale**
 - causalité pas claire

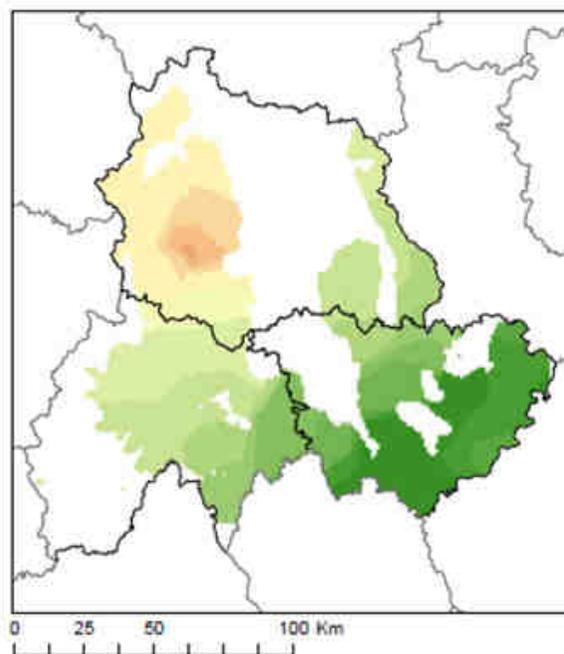
Du volume à la biomasse: la densité du bois

Epicéa, Franceschini et al. 2010



2

L'évaluation de la productivité



Une première solution opérationnelle

Productivité d'un peuplement non mesurable « aisément »

- ① estimation directe = **mesures rétrospectives** systématiques (IFN)
- ② reconstitution par **analyse de bilan** = Δ stock + prélèvements (réseaux PP)

Une solution générique indirecte : **l'indice de fertilité** (De Perthuis 1788)

- en peuplement régulier...
- **hauteur d'un peuplement à un âge donné**
- ne dépend que des **facteurs de l'environnement**
- **lien étroit** entre hauteur et **production totale** (lois de Eichhorn, 1900 – 1950)

Une première solution opérationnelle

(age, hauteur) → IF → productivité → croissance individuelle (v, d)

Un « succès » important

- ~10.000 occurrences depuis 1992 (google scholar)
- entrée des tables de production, **simulateurs de dynamique forestière**
- définition de **scénarios sylvicoles** (prélèvements / durabilité)

Outils à statut opérationnel

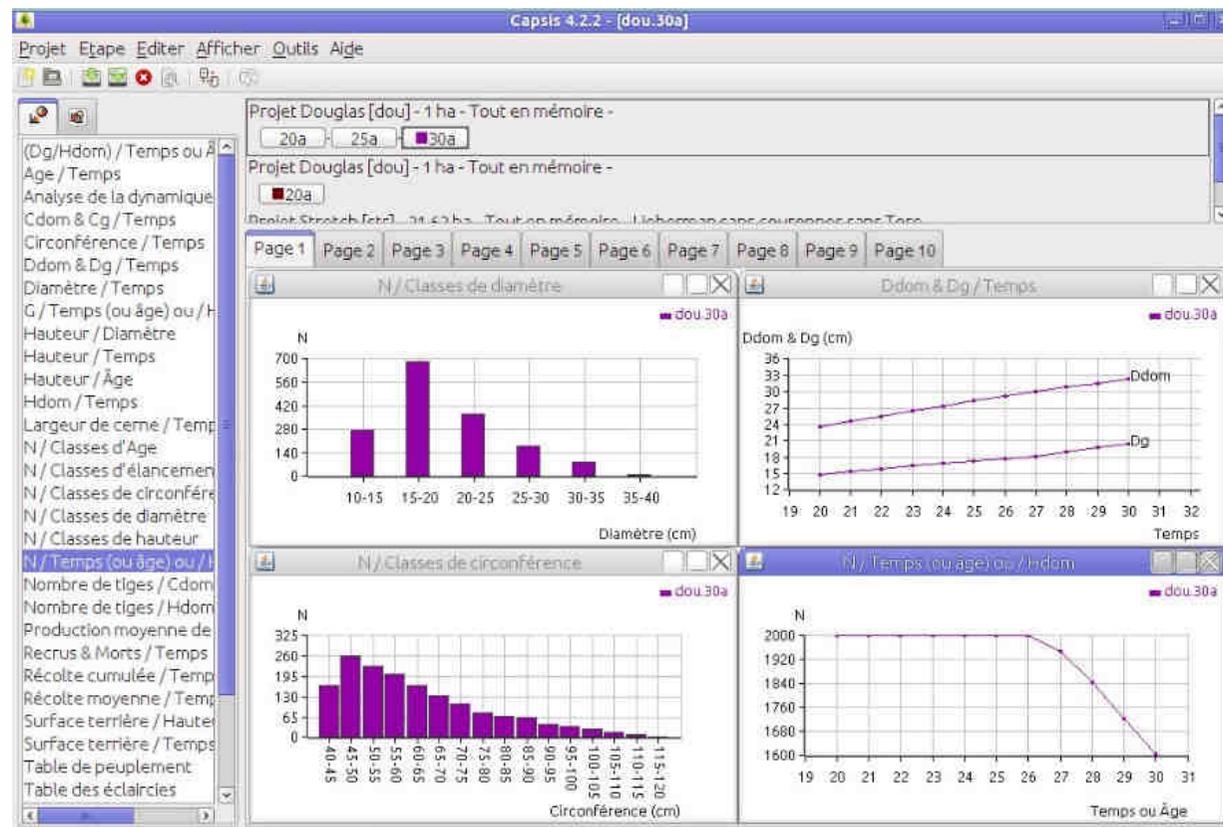
- plateforme de simulation **CAPGIS** (> 20 simulateurs espèce/région)
- élaboration de **guides de sylviculture nationaux**
- typologie sylvicole **européenne** (Forest Management Alternatives, Eforwood)

Les simulateurs de croissance/production

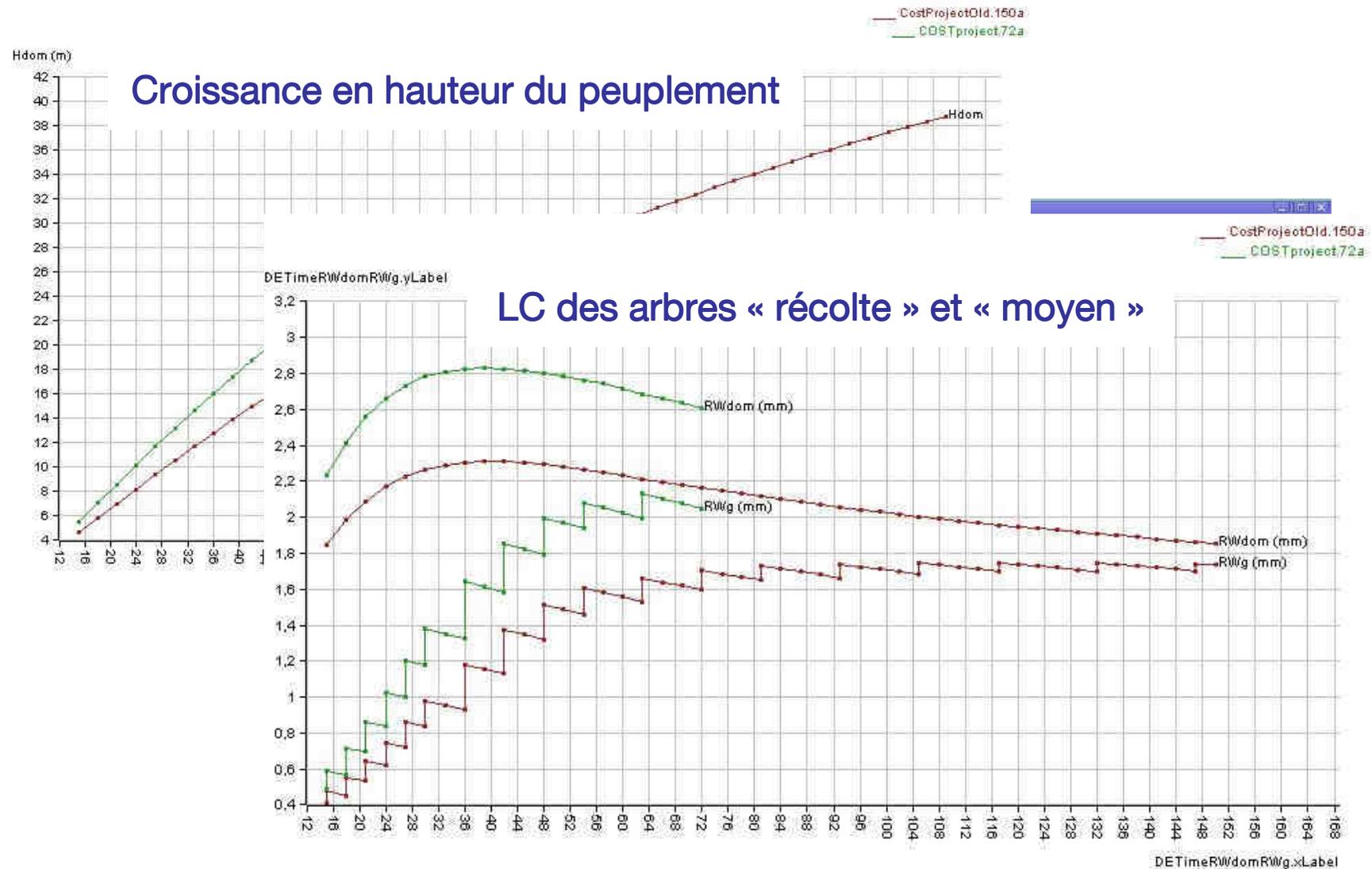


Capsis

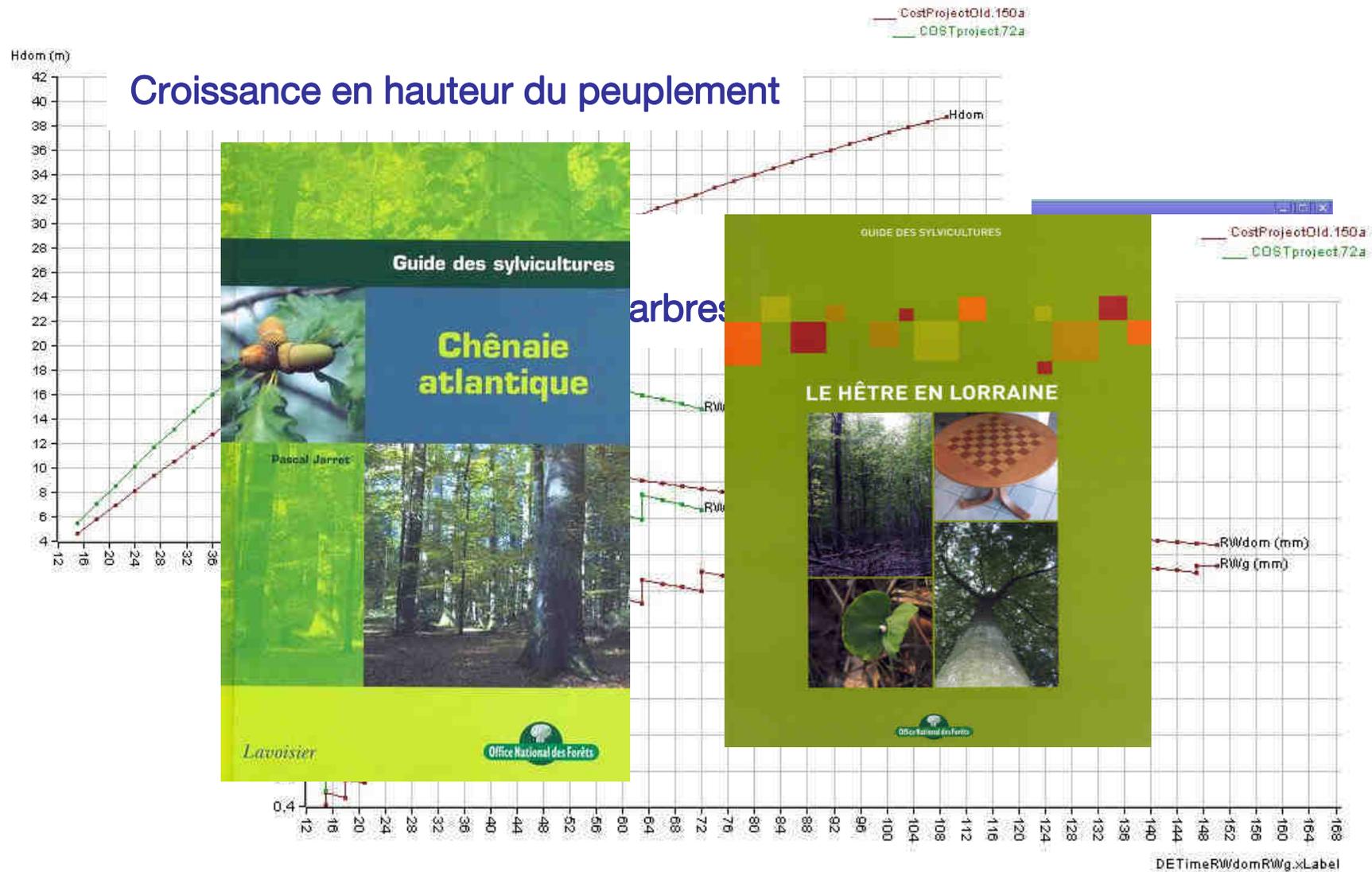
Computer-aided projection of strategies
in silviculture



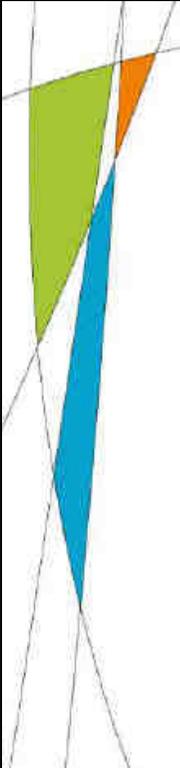
Les simulateurs de croissance/production



Les simulateurs de croissance/production



L'intégration à l'échelle de massifs forestiers



SIMMEM :
Simulateur Multi-Module
pour l'Echelle Massif

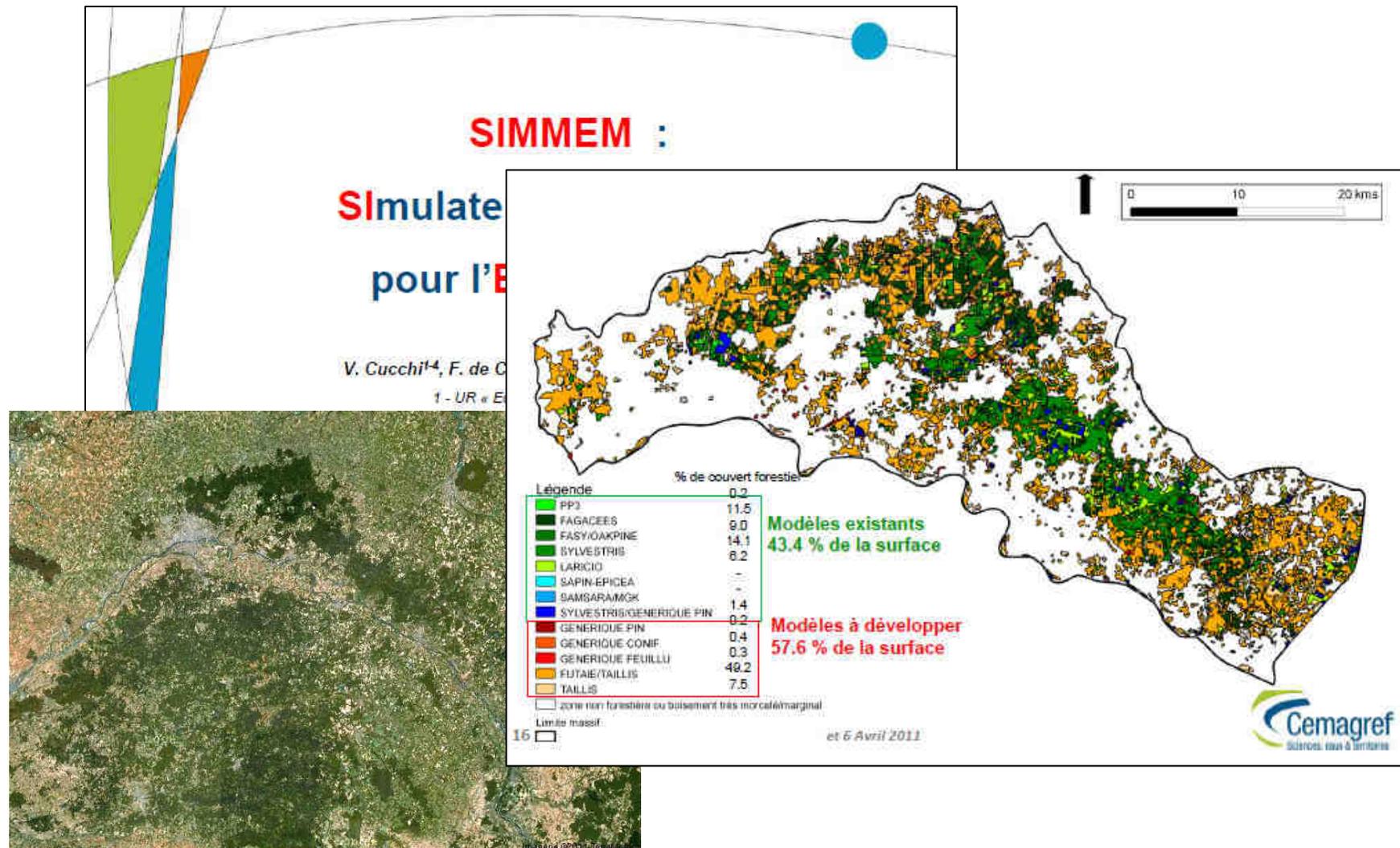
V. Cucchi^{1,4}, F. de Coligny², T. Cordonnier³, P. Vallet¹

1 - UR « Ecosystèmes Forestiers », Cemagref Nogent
2 - UMR « AMAP », Cirad-Cnrs-Inra-Ird-Université Montpellier II
3 - UR « Ecosystèmes Montagnards », Cemagref Grenoble
4 - société ITK, Montpellier (nouvelle domiciliation depuis mars)

Journées CAQ / CAPSIS
Avignon - 4, 5 et 6 avril 2011



L'intégration à l'échelle de massifs forestiers



Expliciter l'effet de l'environnement sur les indices de productivité

Une première rupture (1970 →, Hagglund & Lundmark, 1977)

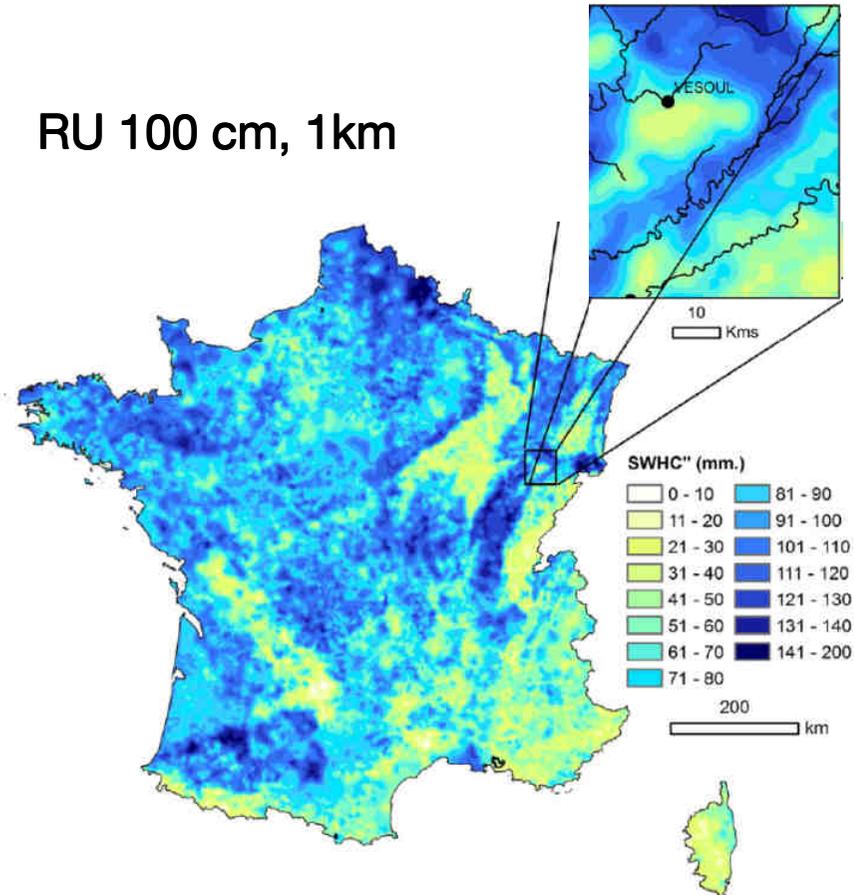
- $IF = f(\text{variables environnementales}) \rightarrow$ **mesure de niche** (\forall structure)
- prédire **à partir du milieu, sans mesurer** des peuplements
- dans des **contextes régionaux**

Développements récents (2000 → > 15 publications, échelle nationale)

- préoccupation pour les **changements environnementaux**
- développement des SIG (spatialisation), **extension géographique**
- **bases de données systématiques** des inventaires forestiers

Information géographique environnementale

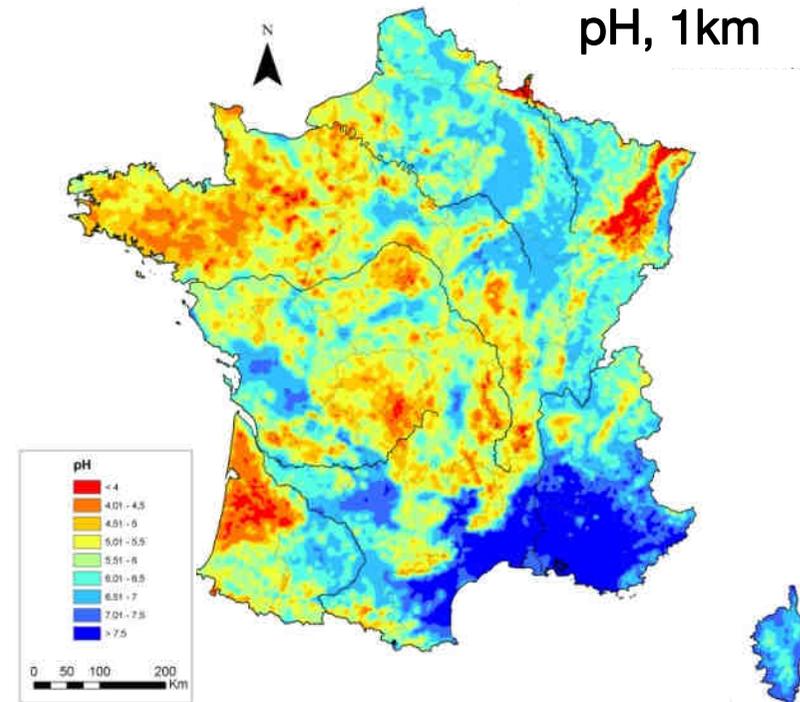
RU 100 cm, 1km



Piedallu et al, 2010, 2011



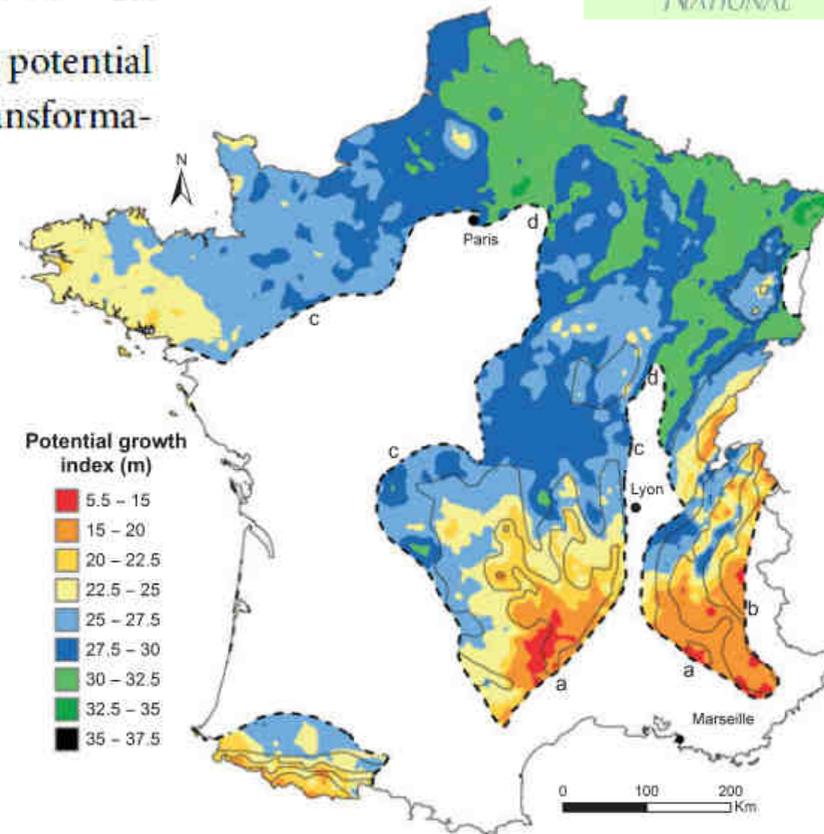
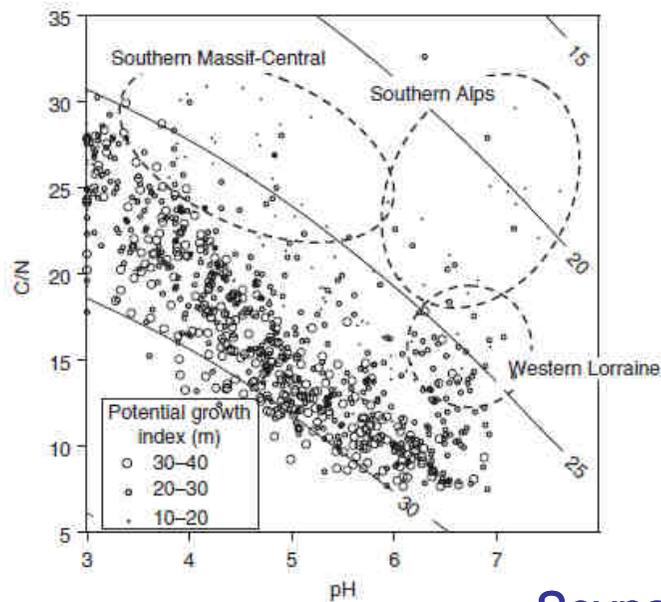
pH, 1km



Indice de productivité du hêtre dans son aire de répartition

$$PGI = 3.9t5 - 2.8t7 - 0.13t1^2 - 0.57 \times 10^{-4}p12^2 + 0.35depth - 0.37C/N - 0.16pH^2 + 38.4 \quad [3]$$

This model explained 59% of the variance in the potential growth index with a RMSE of 3.8 m. Polynomial transforma-

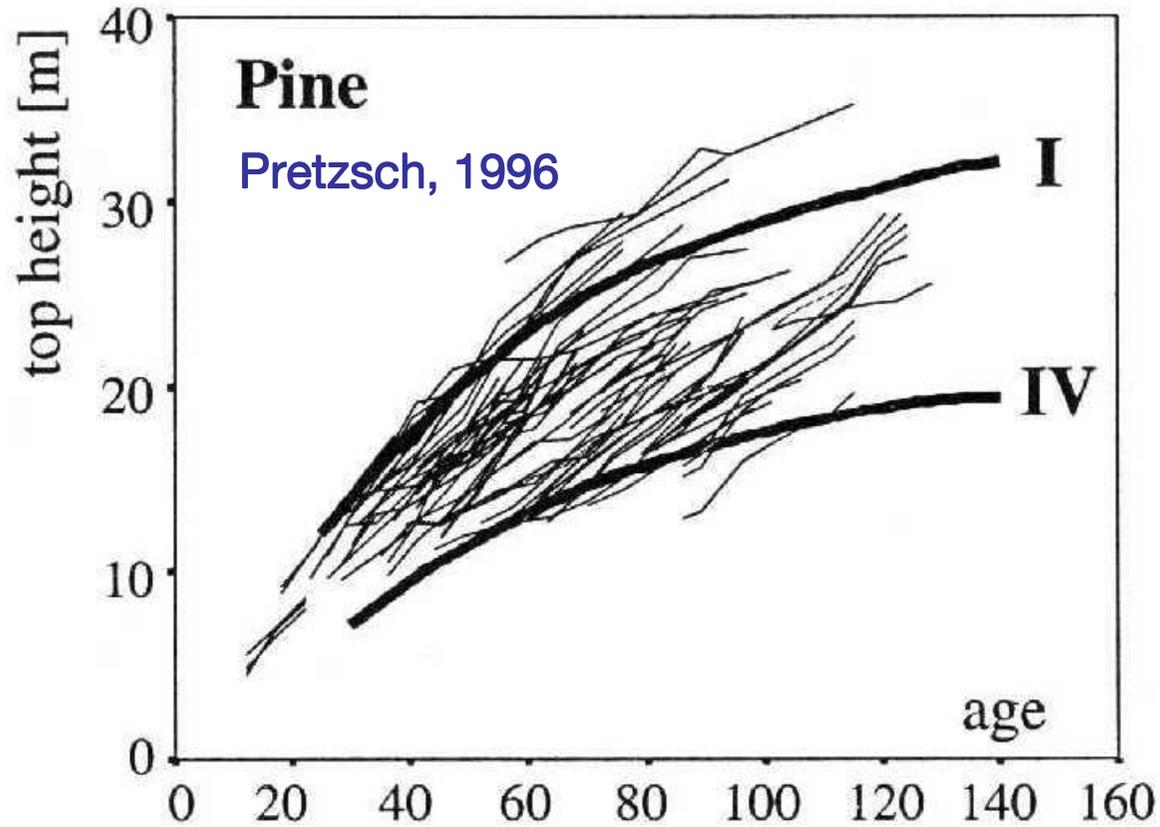


Seynave et al, 2008

L'IF: un concept en crise ?

- ① Evolution historique de la croissance
 - phénomène généralisé dans l'hémisphère Nord
 - l'IF varie **dans le temps** à site donné, **références** de calcul **invalides**

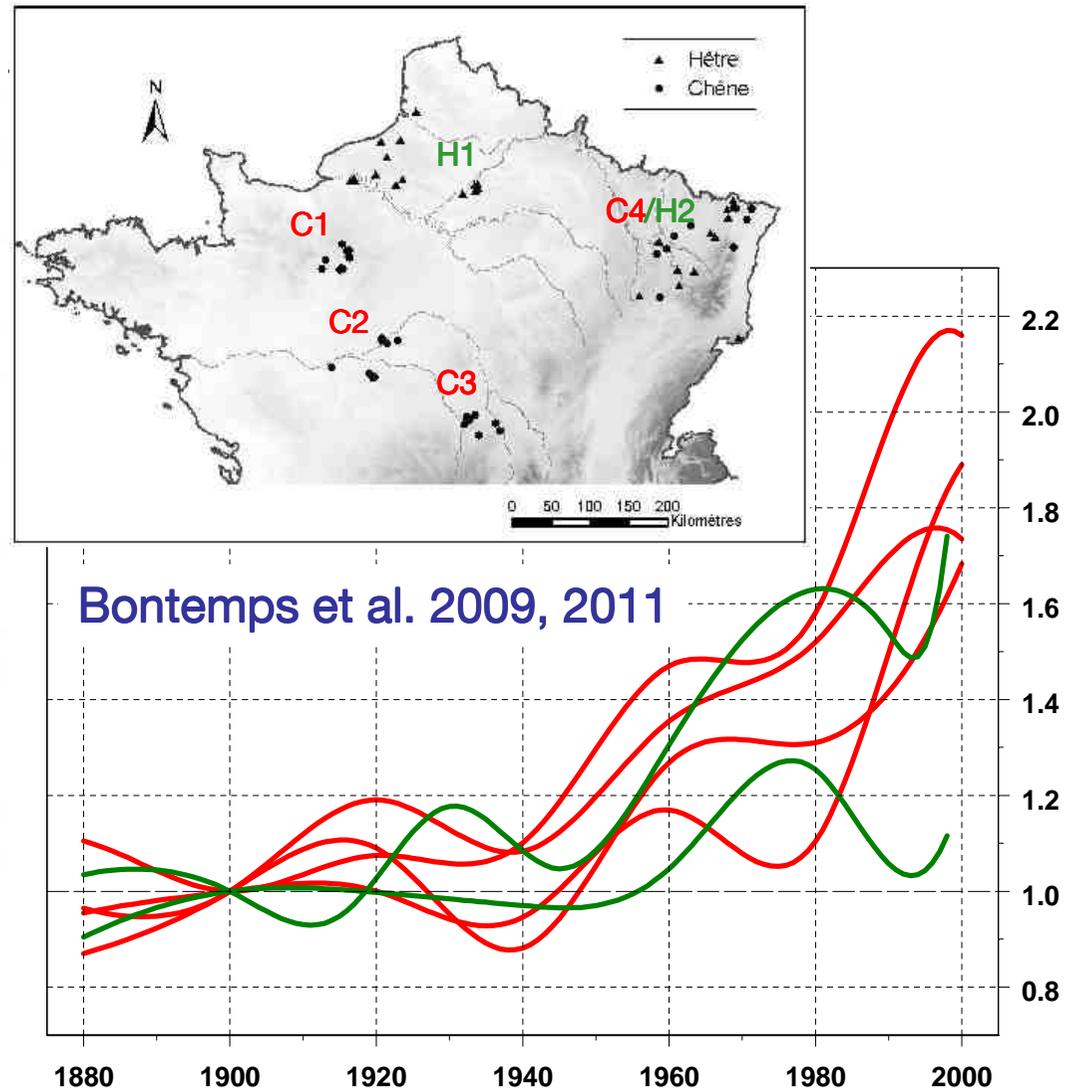
L'IF: un concept en crise ?



L'IF: un concept en crise ?



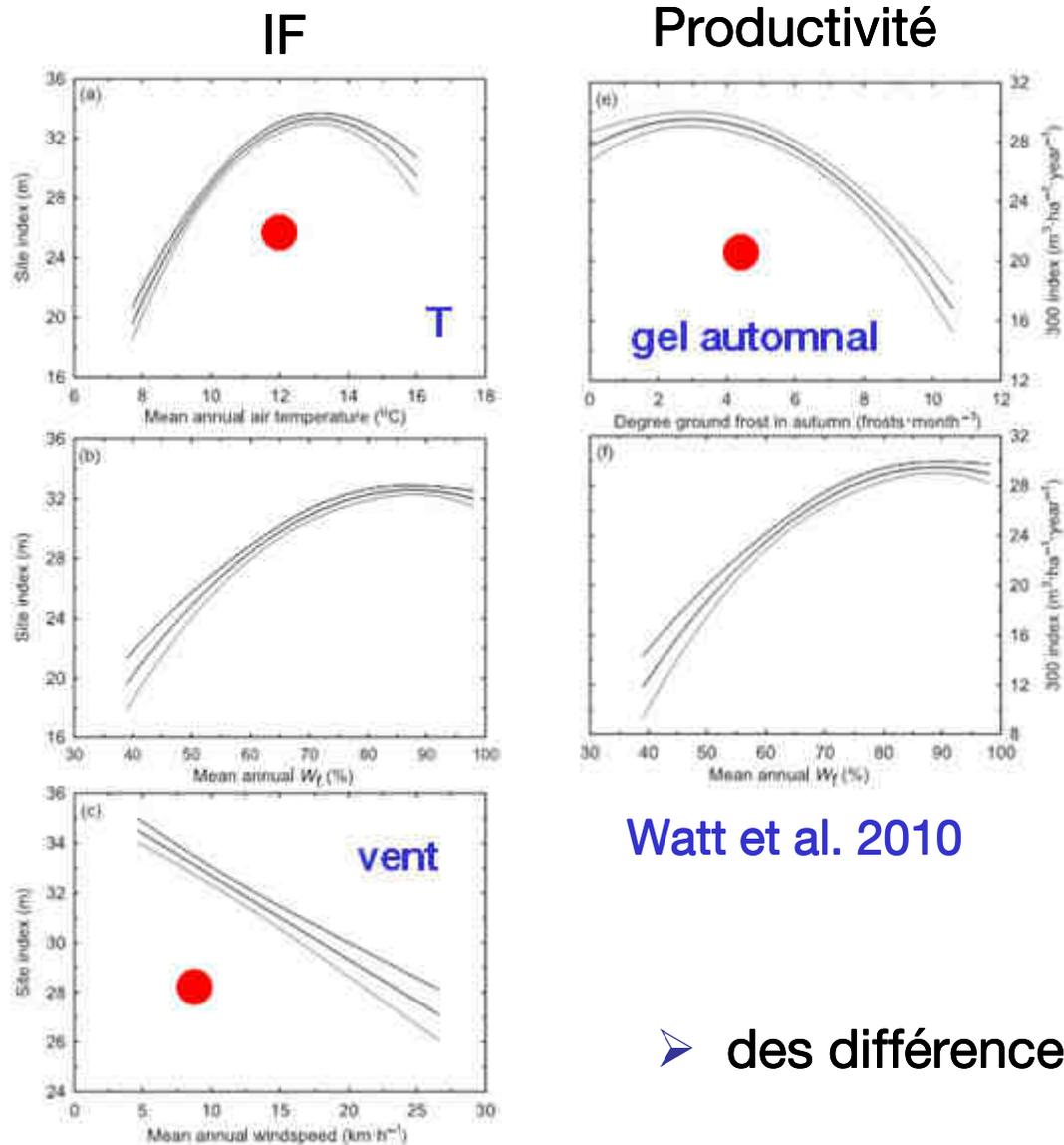
Spiecker & al., 1996



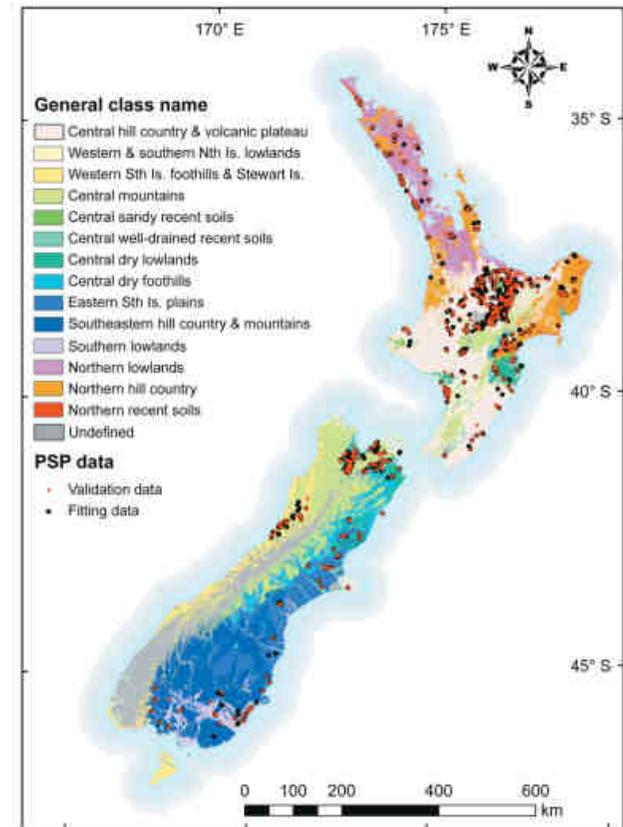
L'IF: un concept en crise ?

- ① Evolution historique de la croissance
 - phénomène généralisé dans l'hémisphère Nord
 - l'IF varie dans le temps à site donné, références de calcul invalides
- ② Effet différentiel de l'environnement sur la croissance I et II

Indice de fertilité vs productivité



Watt et al. 2010



➤ des différences: effets thermiques, vent !

L'IF: un concept en crise ?

- ① Evolution historique de la croissance
 - phénomène généralisé dans l'hémisphère Nord
 - l'IF varie dans le temps à site donné, références de calcul invalides
- ② Effet différentiel de l'environnement sur la croissance I et II
 - invalidation environnementale de la loi de Eichhorn
- 💣 IF... mesure indirecte... des effets de l'environnement
 - environnement **historiquement pas** documenté...
 - **relations directes** « environnement – productivité »
 - avec une logique systématique/grande échelle (= grille IFN)

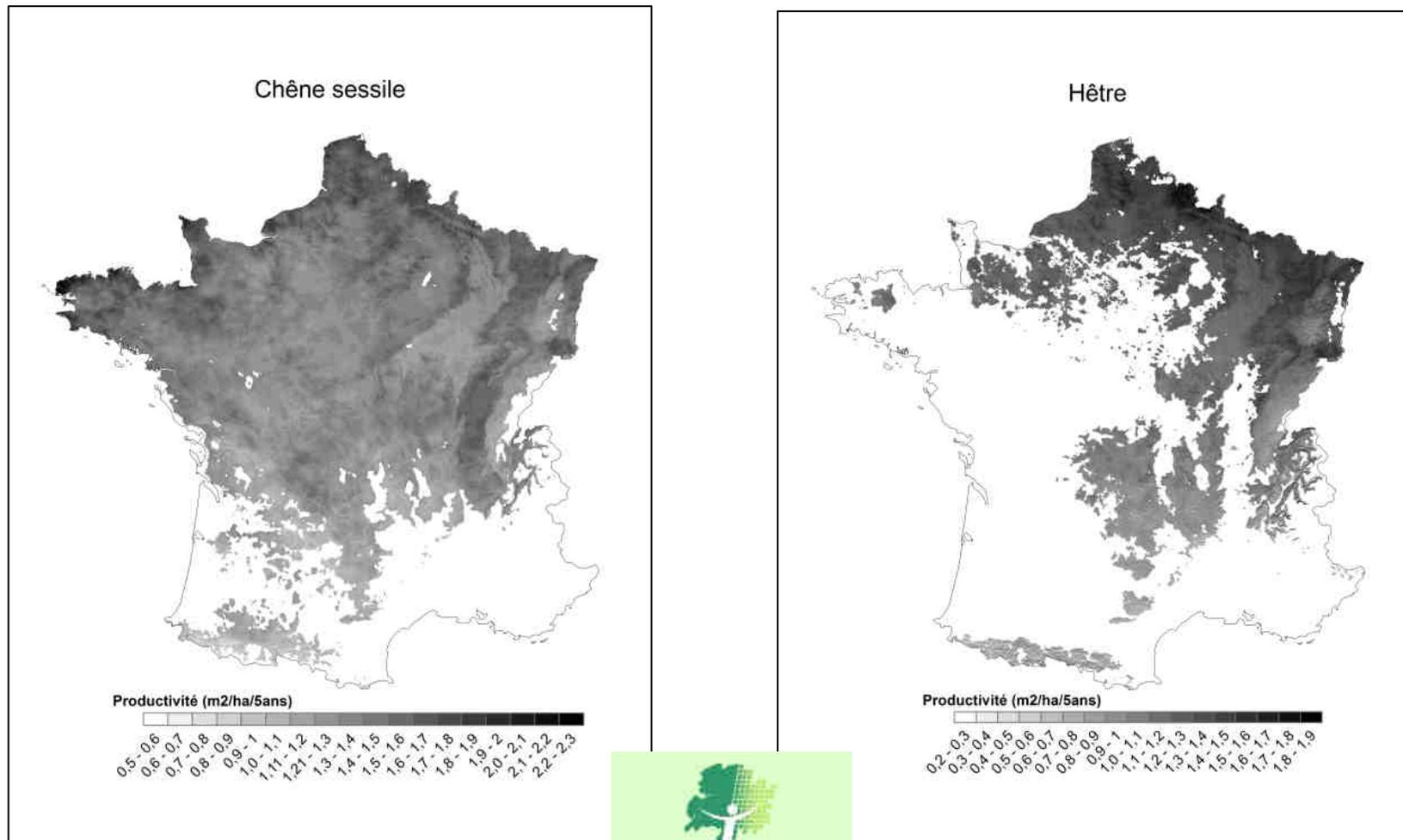
Déterminisme environnemental de la productivité (éch. nationale)



	ChPub	ChPed	ChSes	Hetre	Sapin	Epicéa	PinSyl	PinAlep
RU10_5	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
RU5_5	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓
RU6_5	↑	↑	↓	↑	↑	↓	↑	↓
RU7_5	↑	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓
RU8_5	↑	↑	↓	↑	↑	↑	↑	↑
RU9_5	↓	↑	↓	↑	↑	↑	↓	↓
DH5_5	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑	↑
DH6_5	↑	↑	↓	↑	↑	↑	-	↑
DH7_5	↓	↑	↑	↑	↑	↓	↓	↓
DH8_5	↓	↓	↓	↑	↑	↑	↑	↓
DH9_5	↓	↓	↑	↓	↑	↑	↓	↓

Charru, 2011 (thèse)

Cartographie prédictive de la productivité environnementale



« Take-home » messages

- **Estimer biomasse et productivité: de nouveaux enjeux**
 - 💣 plus de **compartiments**...
 - 💣 de façon **plus intégrée** (territoire, espèces)...
 - 💣 avec un **couplage explicite avec l'environnement** !

- **Des concepts/méthodes en évolution**
 - rôle des **grilles d'inventaire** (BD, ressource)
 - rôle des **outils prédictifs** (modèles) et **SIG**
 - rôle des **nouvelles métrologies**

- **Compréhension du comportement des espèces**
 - patrons de biomasse et gradients environnementaux
 - biogéographie, **vitalité et résilience** aux CH ENV

- **Indicateurs de suivi, approches prédictives/prospectives**

MERCI

