

Forêts anciennes et stockage de carbone.

Jean-François Dhote, Patrick Vallet, Francois Rouault de Coligny, Jean-Michel Leban, Céline Meredieu, Christine Deleuze, Pascal Jarret, Jean-Pierre Bouillet, Jean-Paul Laclau

▶ **To cite this version:**

Jean-François Dhote, Patrick Vallet, Francois Rouault de Coligny, Jean-Michel Leban, Céline Meredieu, et al.. Forêts anciennes et stockage de carbone.. CGAAER, Groupe Forêt-Bois, Audition, Apr 2015, Paris, France. pp.50 slides. hal-01580730

HAL Id: hal-01580730
https://hal.science/hal-01580730

Submitted on 5 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Forêts anciennes et stockage de C

Jean-François Dhôte (INRA), Patrick Vallet (Irstea), François de Coligny, Jean-Michel Leban, Céline Meredieu (INRA), Christine Deleuze, Pascal Jarret (ONF), Jean-Pierre Bouillet, Jean-Paul Laclau (CIRAD)

Groupe Forêt-Bois du CGAAER

15 avril 2015

Sommaire

- estimer le stock de carbone dans la biomasse ligneuse, à partir d'inventaires forestiers
- explorer les relations entre sylviculture et stocks de carbone, à partir de modèles dynamiques et plates-formes de simulation
- Conclusions

merci à

tous les techniciens des ci-devant Administration des Eaux et Forêt, Station de Sylviculture et Production…

On évoquera des stocks de carbone jusqu'à des âges de peuplements élevés (180-250 ans)



Source : ONF (Jarret, 2014)

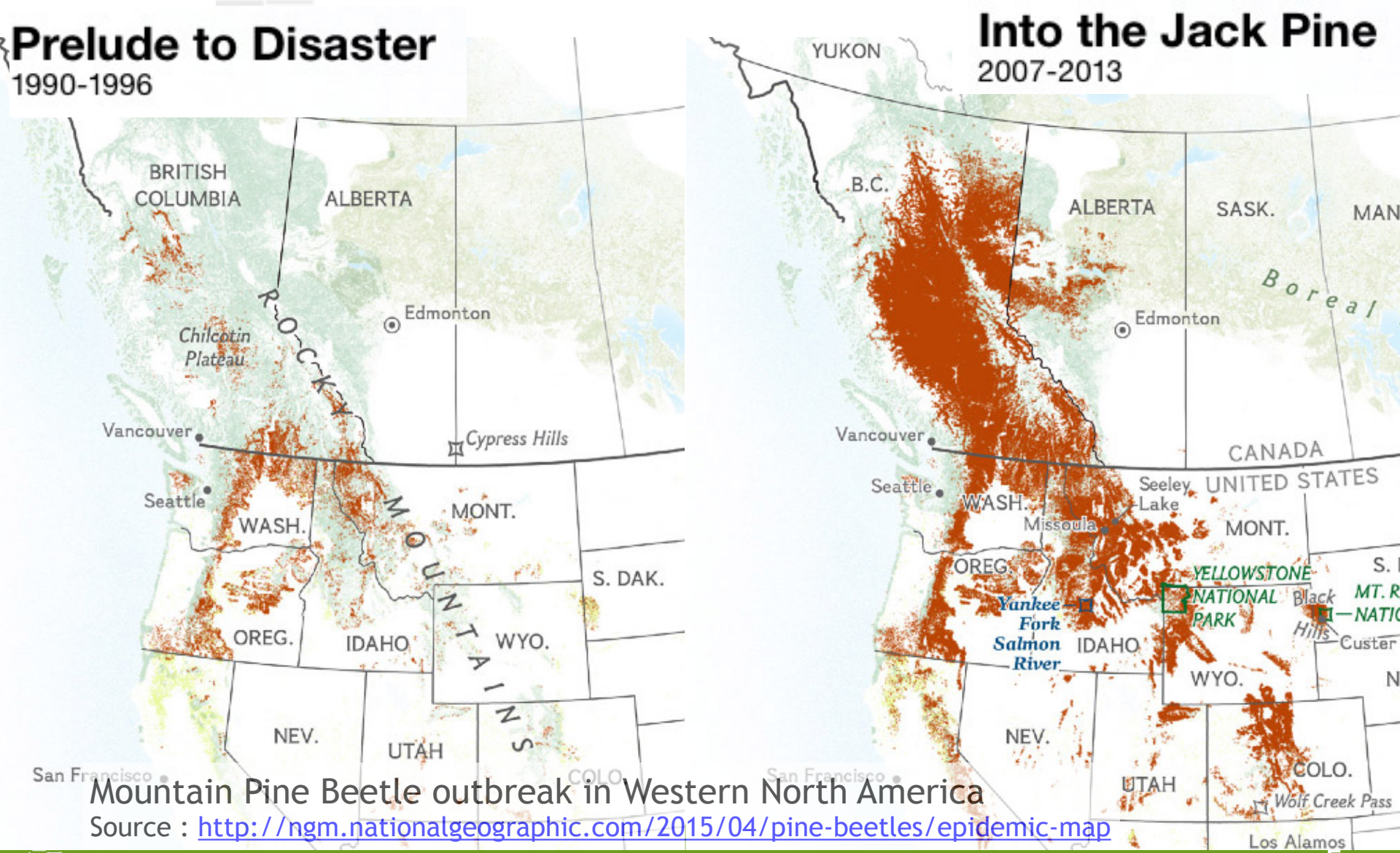
…et des stocks dans les sols et les produits





Source : ONF (Jarret, 2014)

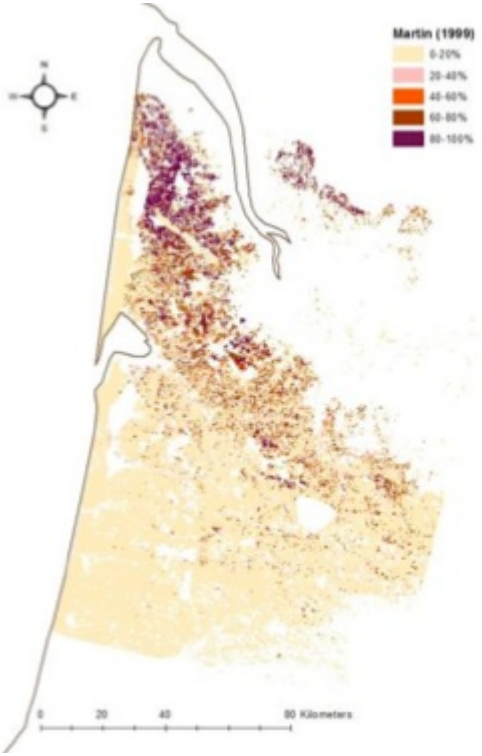
On n'évoquera pas les grands dégâts biotiques…



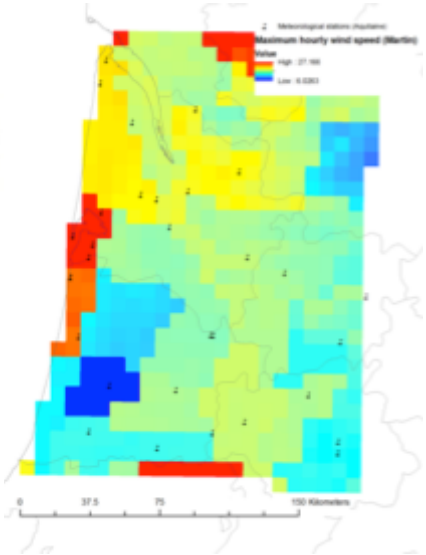
Mountain Pine Beetle outbreak in Western North America

Source : http://ngm.nationalgeographic.com/2015/04/pine-beetles/epidemic-map

…ni les grands dégâts d'origine abiotique

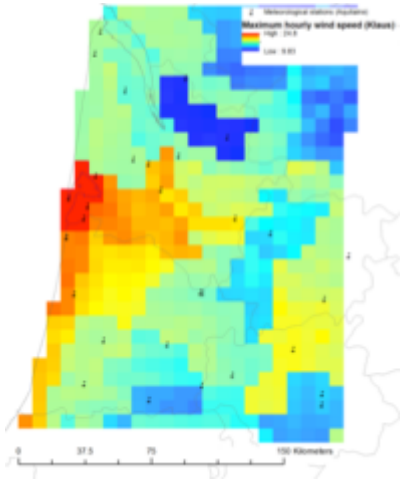


Tempête Martin (1999)
perte de 24 millions de
m^3 de pin maritime

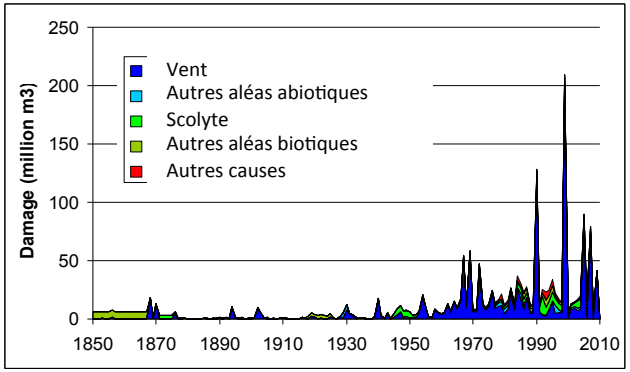




Tempête Klaus (2009) :
perte de 43 millions
de m^3 de pin maritime



Sources : Meredieu et al. (2014), Gardiner et al. (2010)

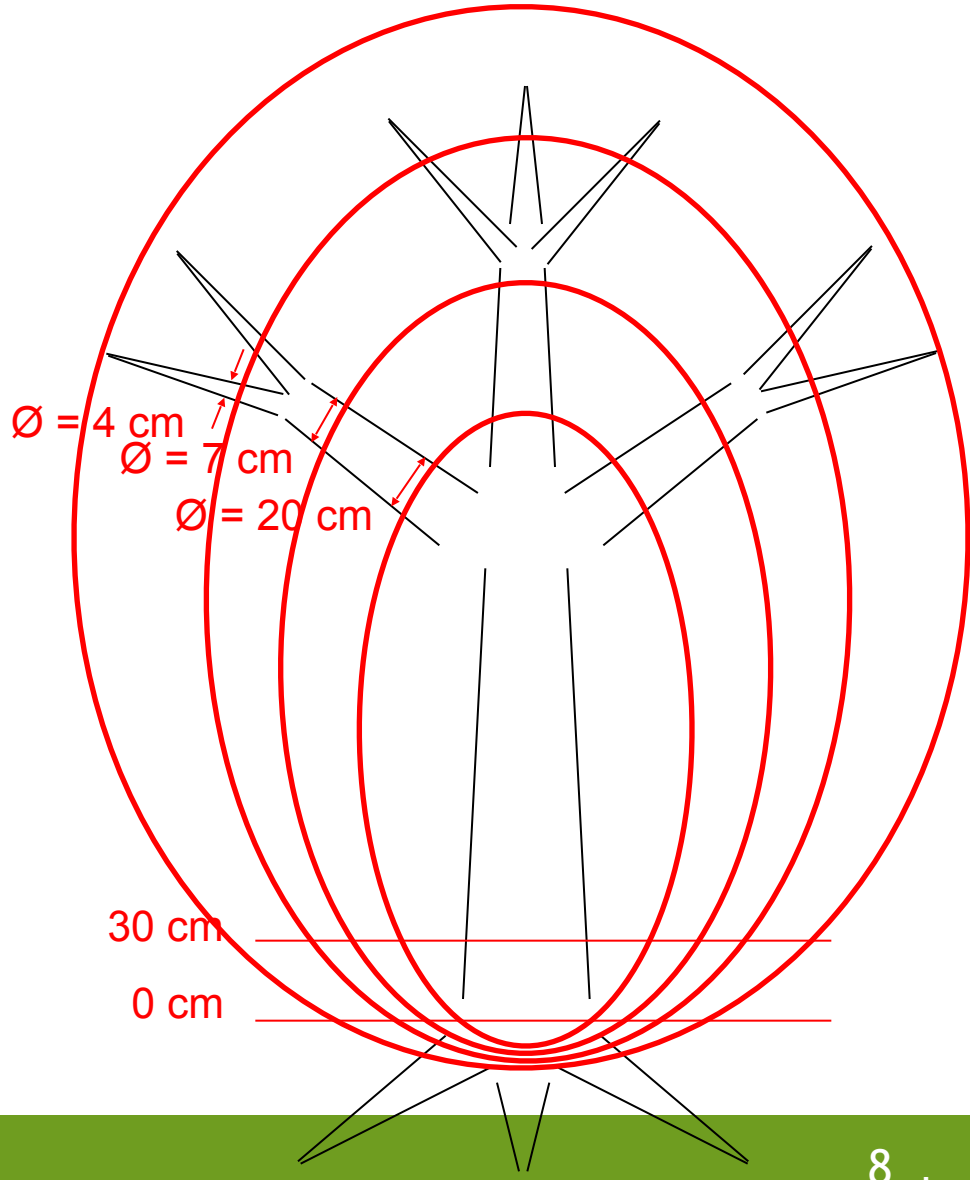


_01

Estimer les stocks de C dans la biomasse à partir d'inventaires forestiers

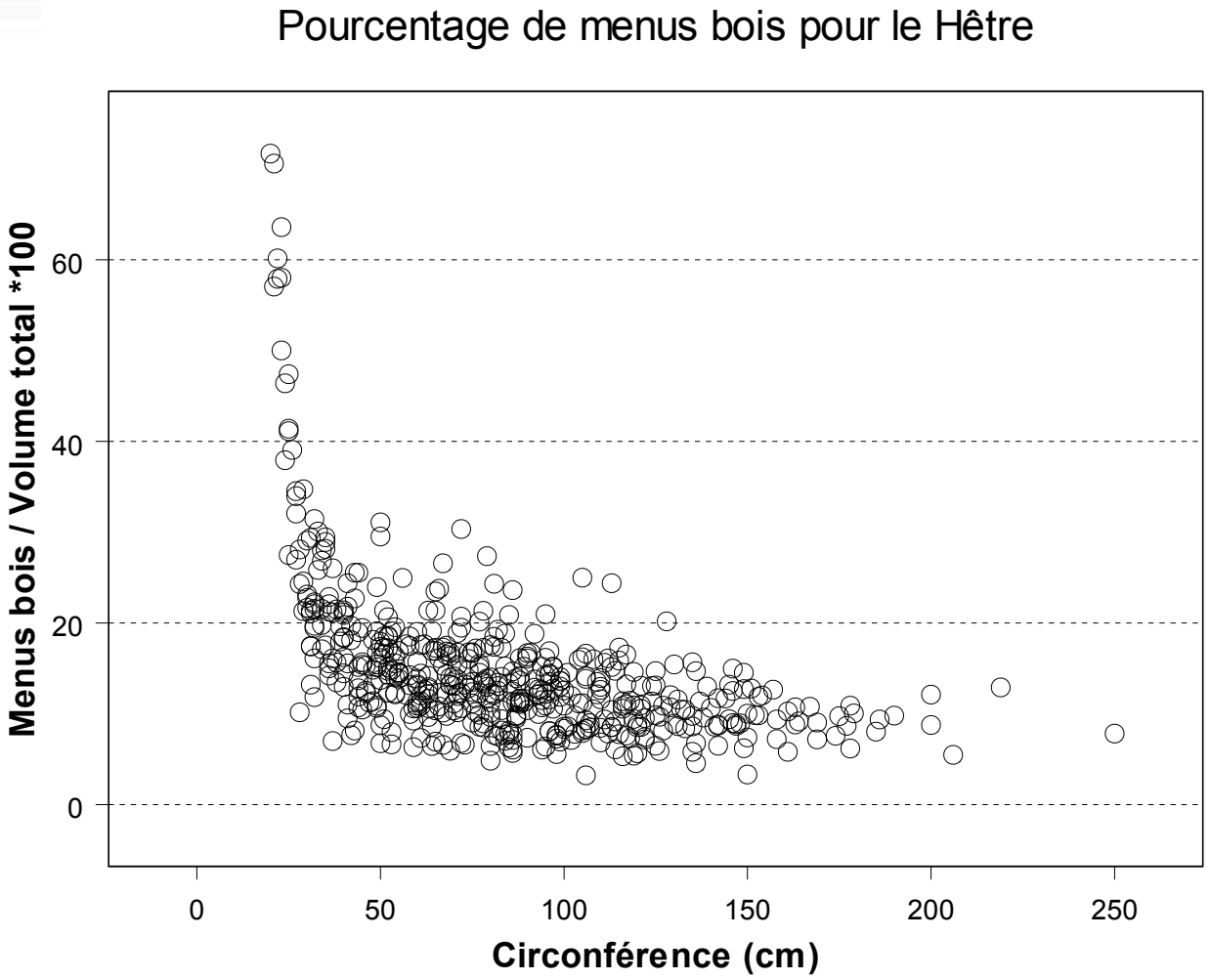
Objets cubés : définitions, découpes…

- Une multitude de définitions du volume différentes
  - Volume tige
  - Volume tige + branches
  - Découpe 20 cm, 7 cm, 4 cm, 0 cm
  - Souche incluse ou non
  - Volume des grosses racines
  - Volume système racinaire complet



Que représentent les menus bois (tissus de diamètre sur écorce < 7cm) ?





Estimation des stocks de C pour une ressource forestière

Méthode actuelle pour la France :

Dupouey et Pignard (1999, 2001) :

C_Stock = VIfn x BranchEF x RootEF x DENSITY x CARBON

Carbofor (2004):

C_Stock = VLerfob x RootEF x DENSITY x CARBON

VIfn = volume bois-fort tige (découpe 7cm)
(← tarifs de cubages IFN)

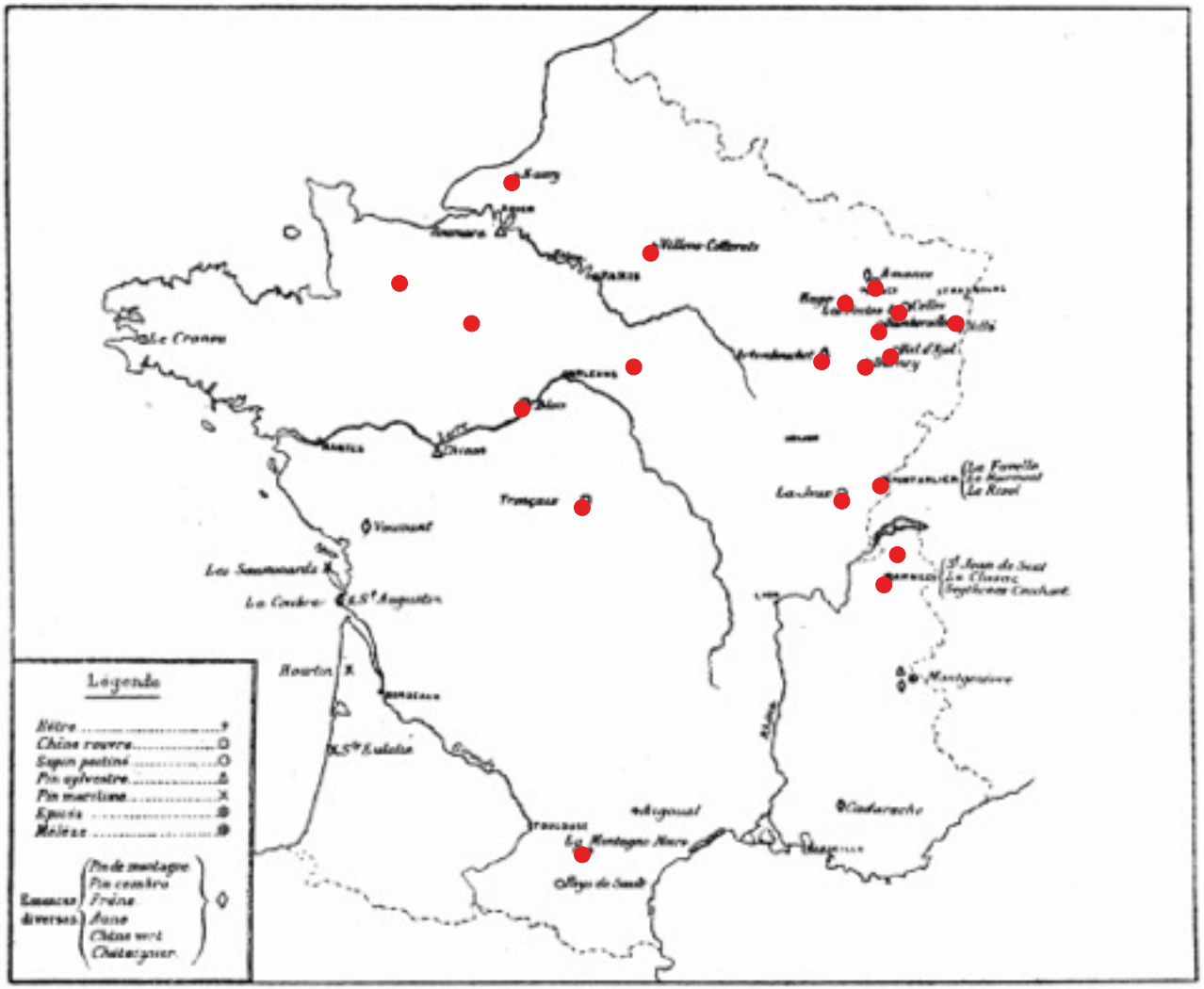
VLerfob = volume total
(tarifs de cubages Vallet et al. (2006), établis sur la base d'un réseau de placettes permanentes)

Les autres facteurs multiplicatifs, BranchEF, RootEF, DENSITY, CARBON sont des valeurs fixées (évt espèce-dépendantes)

Hypothèses et ressources utilisées

- Hypothèses :
  - Le couple (d130, h) contient l'information nécessaire et suffisante pour rendre compte des variations de forme
  - Pas de covariation avec région biogéogr., station, structure
  - Deux espèces « botaniquement proches » ← même tarif
- Ressources :
  - Fonds d'archives « Station de Recherches Forestières » (INRA)
  - 10aines de milliers de cubage bois-fort + menus bois
  - Période de relevé : 1920-1950
  - Principales essences forestières
  - Futaies régulières, pureté ≥ 80% dans 90% des cas
  - … mais une gamme suffisante de morphologies individuelles

Localisation des forêts (= échantillon analysé)



Situation au 1er octobre 1930 des places d'expériences destinées à l'étude des principales essences forestières.

Origine du jeu de données

Espèce	Nb PU*	PU x Inv	Install. mini	Install. maxi	Δt moyen	Δt maxi
Chêne	44	488	1883	1934	58	116
Hêtre	38	368	1882	1934	60	118
Sapin	36	314	1882	1934	43	74
P. sylv.	25	150	1925	1956	34	58
Epicéa	15	88	1928	1956	31	34
Douglas	7	72	1931	1956	51	69
≠ Résin.**	67	362	1921	1956	24	39
Total	243	2027	1882	1956	41	118

** PU : placette unitaire* *INV : inventaire* *** 14 espèces ≠*

Source : Archives INRA-LERFoB, Install. Expérim. Croissance

Inventaires de placettes expérimentales dans les années 1930 (Protocole : Oudin, 1930)



Inventaire d'un perchis (chêne rouge, *Quercus rubra* L.).
Forêt domaniale d'Amance (Meurthe-et-Moselle).

Chêne rouge, Amance (54)

Hêtre, Eawy (76)



Inventaire d'un perchis (hêtre, *Fagus sylvatica* L.).
Forêt domaniale d'Eawy (Seine-Inférieure).

Cubage par billons, pesée des fagots et de la charbonnette



Cubage de bois abattu (Douglas, *Pseudotsuga Douglasii* Car.).
Forêt domaniale d'Amance (Meurthe-et-Moselle).

Douglas, Amance (54)

Hêtre, Eawy (76)



Cubage de bois abattu (hêtre, *Fagus sylvatica* L.).
Forêt domaniale d'Eawy (Seine-Inférieure).

Taille*structure du jeu de données

	Nb of forests	Nb of compartments	Nb of datasets	Nb of trees
Sessile Oak	5	15	42	1222
Douglas Fir	2	3	7	224
Norway Spruce	5	5	8	309
Common Beech	5	19	42	1293
Scots Pine	3	8	17	389
Silver Fir	5	10	27	762

Domaine-cible : ressource française de métropole

Source : Memento IGN (2014)

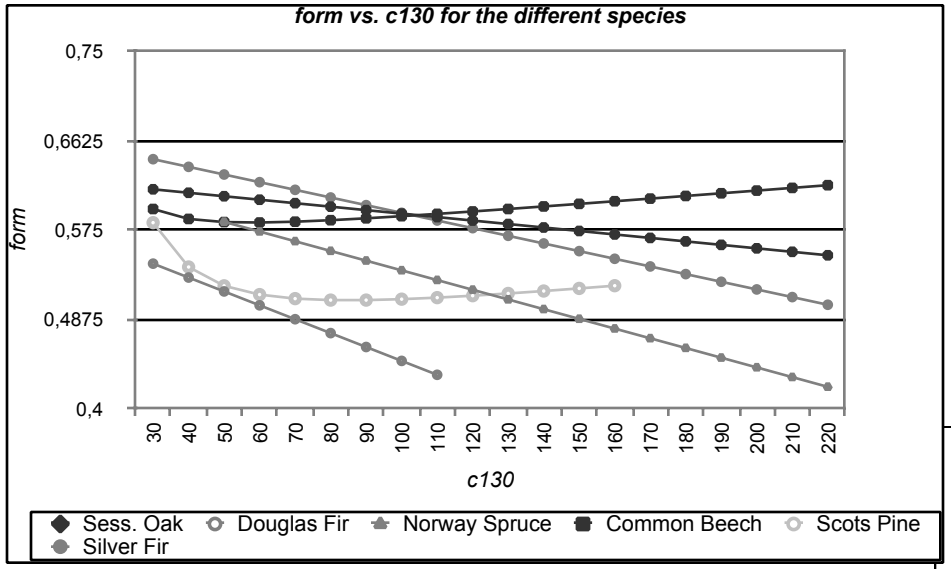
Feuillus		Résineux	
Chêne sessile	12 %	Pin maritime	5 %
Chêne pédonculé	11 %	Epicéa	8 %
Hêtre	10 %	Sapin	8 %
Châtaigner	5 %	Pin sylvestre	6 %
Charme	4 %	Douglas	4 %
Chêne pubescent	4 %	Autres résineux	5 %
Frêne	4 %		
Autres feuillus	14 %		

TOTAL	100 %

Données disponibles 57 %

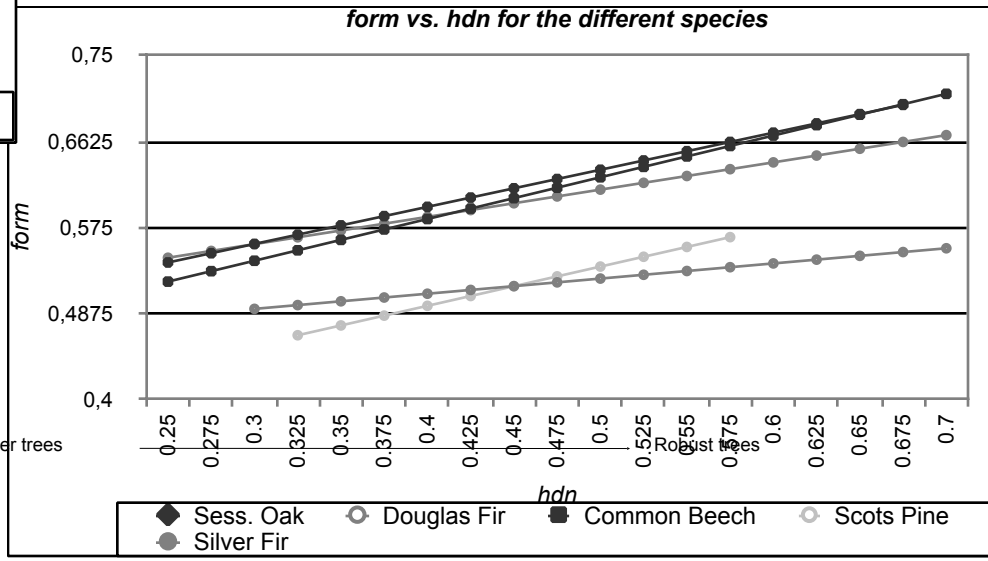


Résultats : comportement du coefficient de forme des arbres



Avec la grosseur (circonférence)

Avec la robustesse (√c130 /h)



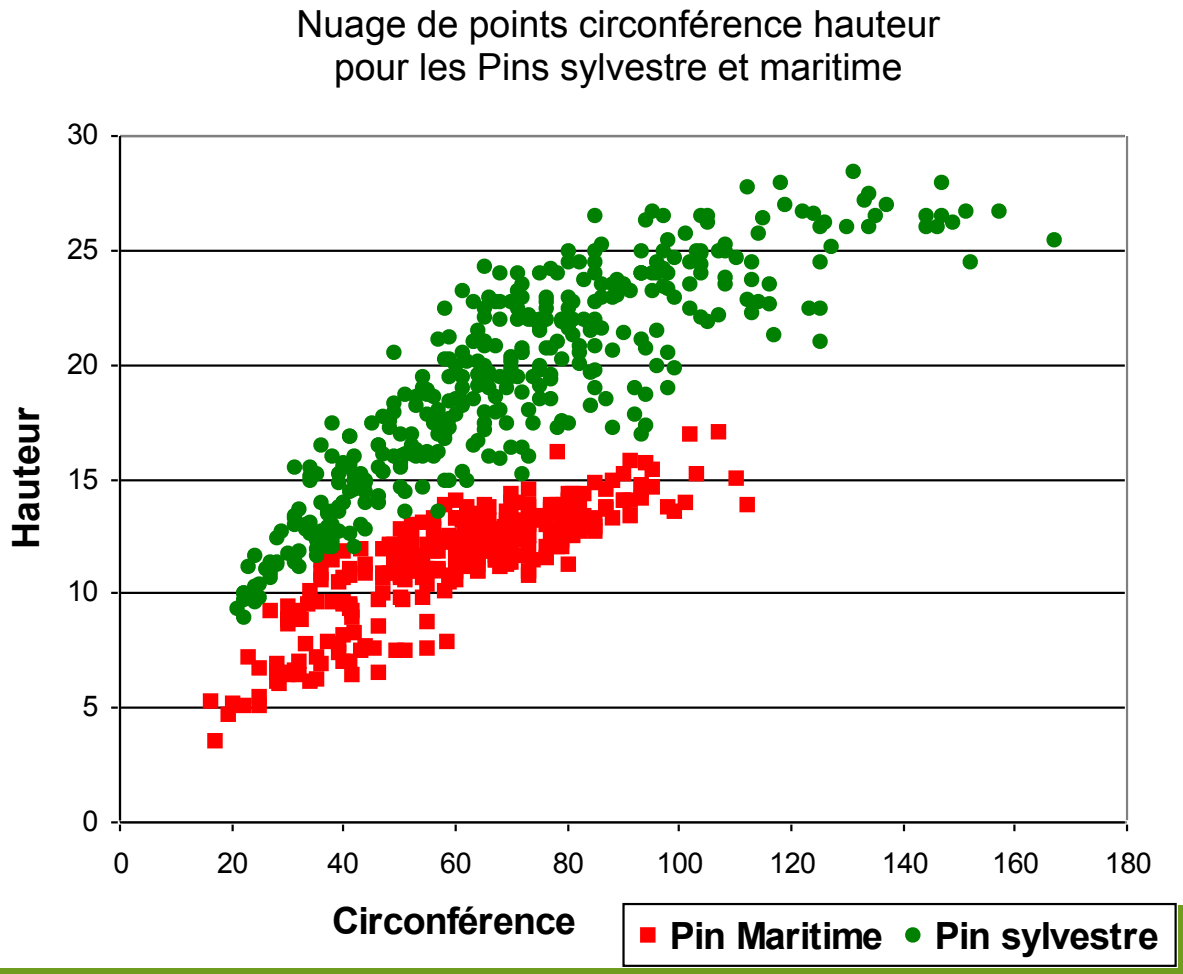
Principaux résultats

- Substitution volume → facteur de forme
- Groupes de comportements spécifiques :
  - Feuillus : légère différence entre Hêtre et Chêne sessile
  - Résineux « sombres » (Sapin, Épicéa, Douglas) : similaires
  - Pins : ressemblent aux feuillus
  - Feuillus et Pins : la robustesse est prépondérante
  - Groupes cohérents cf études / autres continents
- Fusion d'espèces :
  - Toutes sont ≠, sauf les Pins (voir zoom)
- Variations
  - Pas de tendance temporelle (cf changements de productivité)
  - Légères variations spatiales, sans structuration géographique
  - Effet structure (TSF, taillis) : non testable, à étudier

Le cas des pins

- Pins sylvestre et maritime : fortes ≠ des caractéristiques dendrométriques, sylvicoles et écologiques

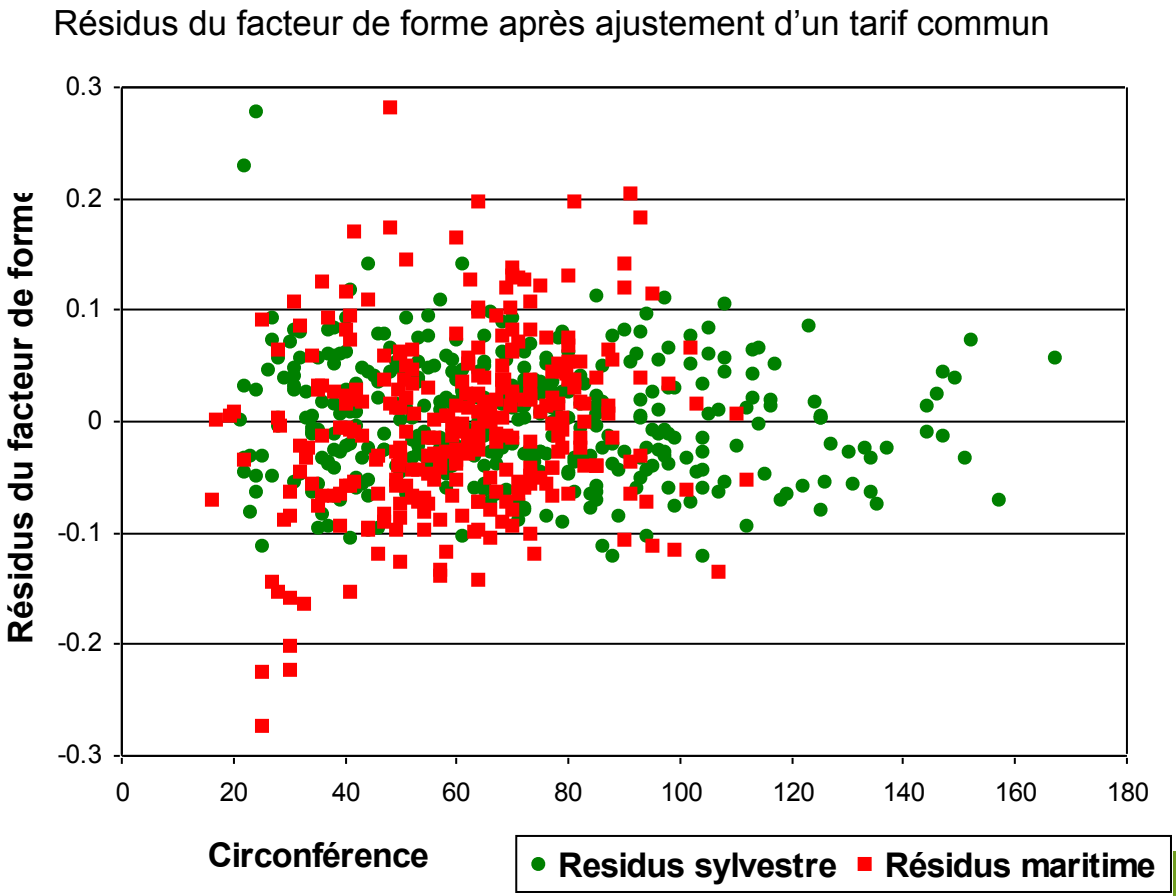




Le cas des pins

- Ajustement : un tarif de cubage commun (PM, PS), pas de biais/espèce

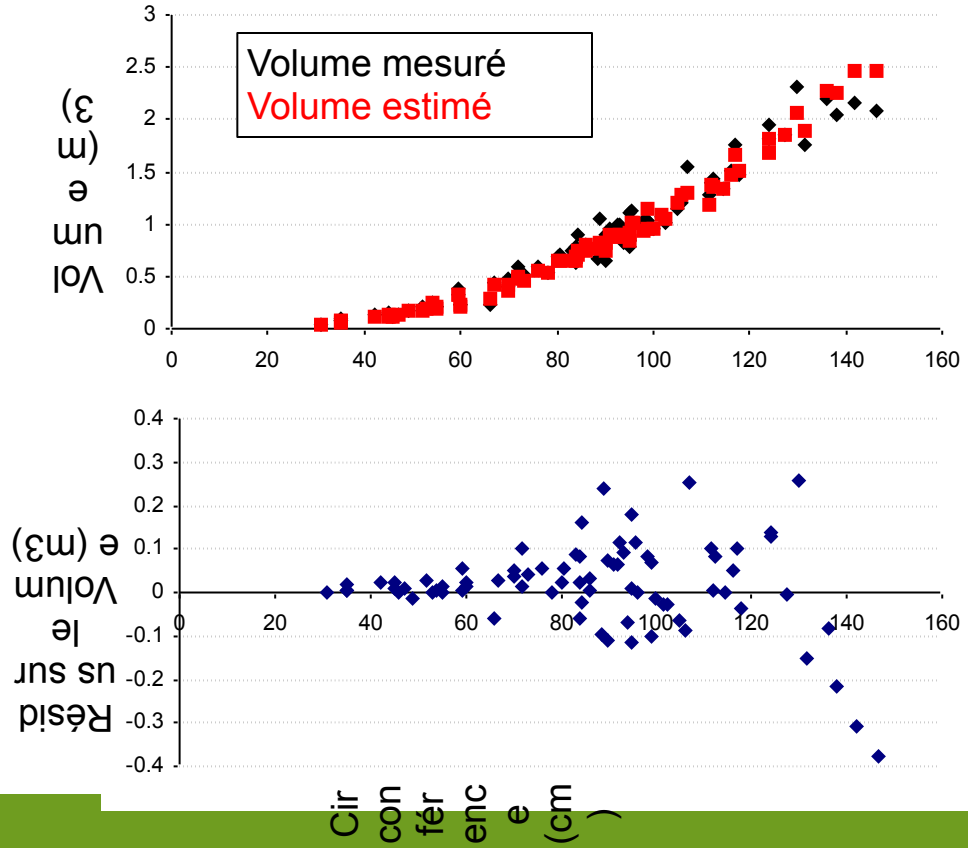




Le cas des pins : extrapolation au Pin laricio

- Utilisation du tarif commun sur 77 Pins laricio



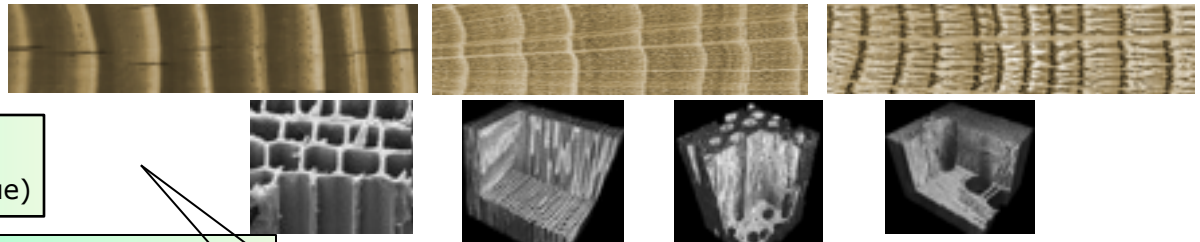


Procédure de cubage proposée par l'INRA (LERFoB) au ci-devant IFN (2005)

- Huit tarifs
  - Tous les chênes : Tarif Chêne sessile
  - Hêtre
  - Tous les épicéas, rés. divers : Tarif Épicéa commun
  - Tous les sapins : Tarif Sapin pectiné
  - Tous les pins : Tarif Pins sylvestre+maritime
  - Douglas
  - Tous les mélèzes : Tarif Mélèze d'Europe
  - Feuillus divers : Tarif Hêtre+Chêne en pool
- Validation réalisée / IFN (cf Bouchon et al., 1981)
  - Les coefficients d'expansion sont forts, mais…
  - cohérents avec précédents, semblent robustes en extrapolation

Pistes d'amélioration explorées dans le projet ANR EMERGE 2009-12 (coord. C. Deleuze, ONF)

Structure interne



Age
(houppier, age physiologique)

Espèces
(modèle architectural)

Anatomie du bois
(stabilité biomécanique, branchaison)

Génétique
(tempérament)

Date
(age, H, D, density…)

Silviculture (éclaircies, densité)
(compétition : H/D, branchaison)

Station (site index, pente, vents)

Structure externe

H

D

Branchaison

Distribution volume/biomasse

Liens entre Vol, Biom, Éléments minéraux, Pouvoir calorifique



_02

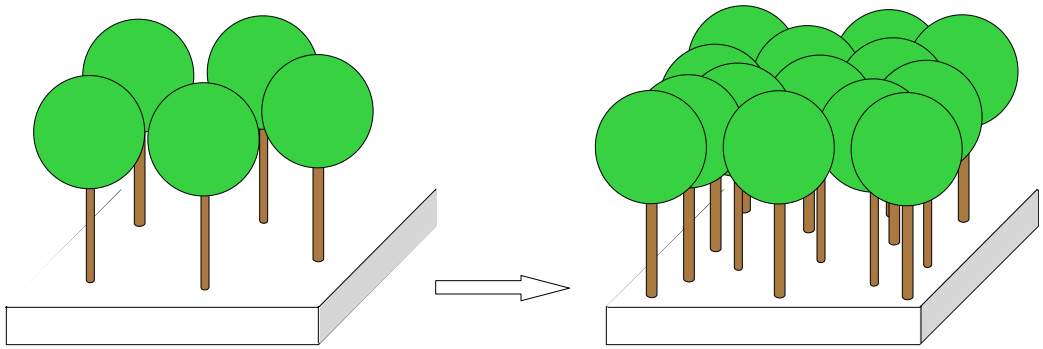
Sylviculture et stocks de carbone dans la biomasse (et les sols)

Sylviculture et valeur-carbone

- Tenter une **évaluation exhaustive** :
  - **sol** : climat, apports de litières, façons culturales
  - **biomasse** : régime, matériel végétal, âge d'exploitabilité, stock sur pied
  - **produits forestiers** : durée de vie, ACV, effets de substitution
  - émissions CO2 aux différentes étapes : sylviculture, transformation, utilisation
- **Trois options** (± faciles à combiner) pour accentuer la **valeur-carbone** :
  - augmenter le **stock** : en ralentissant les coupes
  - augmenter le **flux** : planter des espèces + productives (en tC/ha/an), façonner des peuplements + résistants à la sécheresse ou aux tempêtes
  - augmenter les effets de **substitution** : utiliser davantage de produits-bois
- Stratégie française :
  - sécuriser les stocks : façonner des forêts et une filière-bois en bonne santé
  - faire le plein des effets de substitution en développant les usages du bois

Impact de ≠ stratégies sylvicoles sur les stocks et flux de carbone

- **Espèces**
  - Chêne sessile
  - Hêtre
  - Pin laricio
  - Douglas

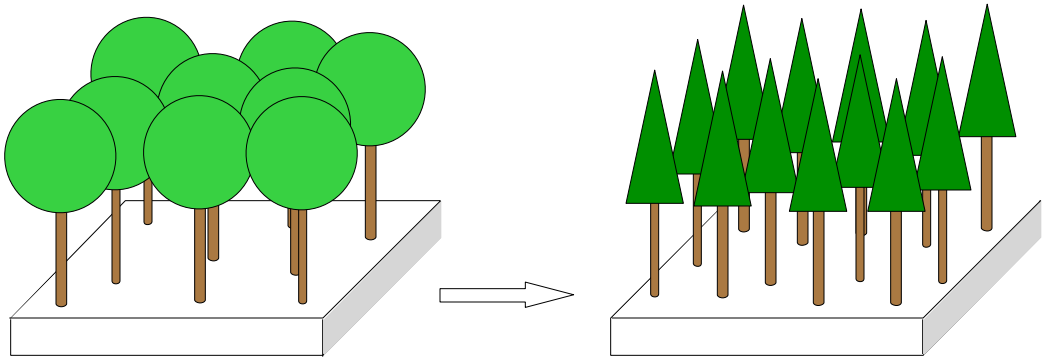


Stratégie 1 : Capitalisation par ralentissement des coupes

Source :Thèse Patrick Vallet, 2005 (actuellement Irstea Nogent/Vernissson)
Collaborations : C. Meredieu, J.M. Ottorini, J.M. Leban, F. de Coligny, E. Dambrine, I. Seynave, V. Badeau (INRA)

Impact de ≠ stratégies sylvicoles sur les stocks et flux de carbone

- **Espèces**
  - Chêne sessile ⇨ Pin laricio
  - Hêtre ⇨ Douglas



Stratégie 2 : Transformation (changement d'espèce)

Source : Thèse Patrick Vallet, 2005 (actuellement Irstea Nogent/Vernissson)
Collaborations : C. Meredieu, J.M. Ottorini, J.M. Leban, F. de Coligny, E. Dambrine, I. Seynave, V. Badeau (INRA)

Positionnement du travail

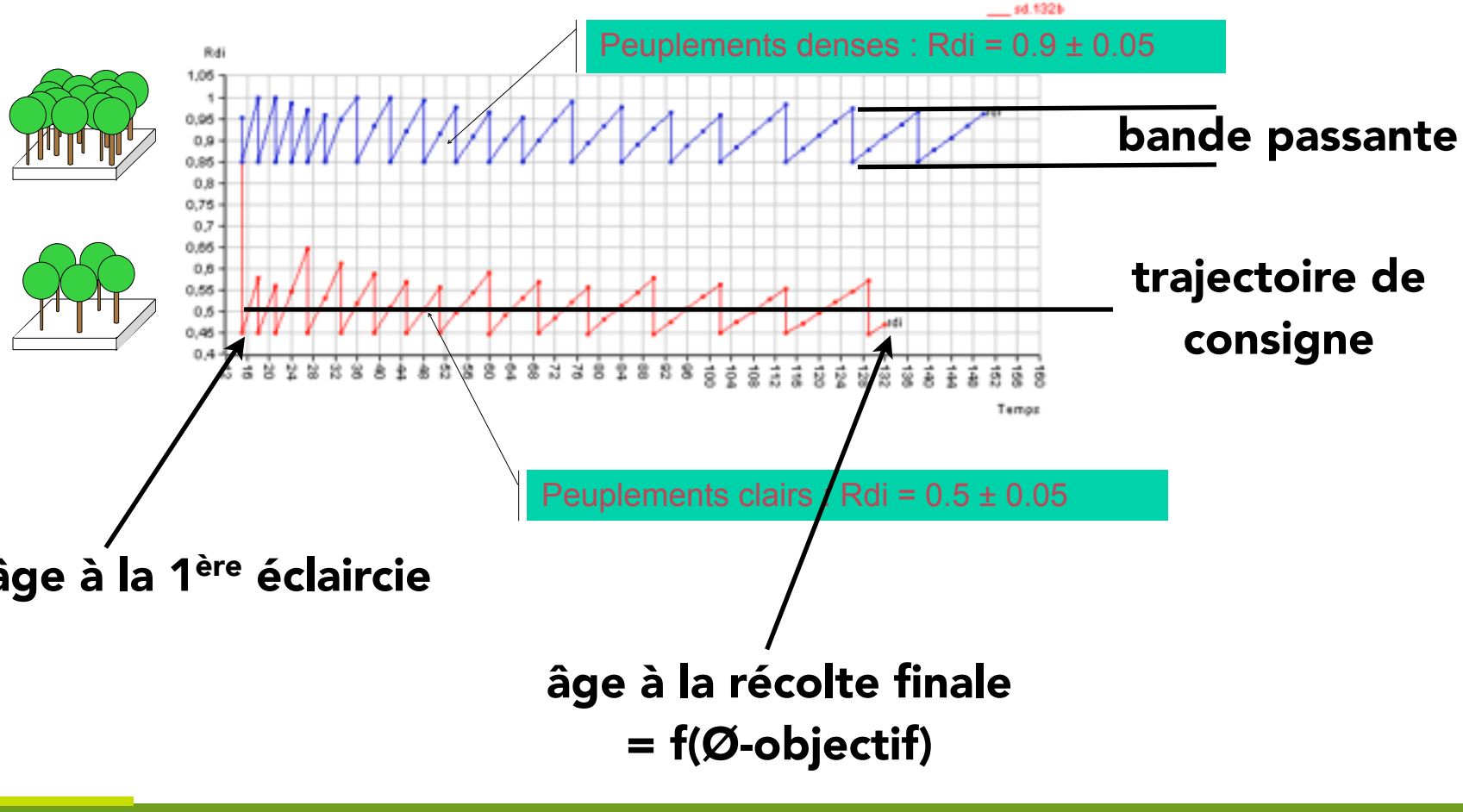
- Echelle spatiale : peuplement (1 hectare)
- Environnement : stable dans le temps, raisonnement “à station donnée”
- Horizon temporel :
  - *Révolution forestière (50 à 250 ans)* → ***régime permanent***
  - *30-50 ans* → ***régime transitoire***
- Démarche :
  - *formaliser le système biotechnique :* ***sol-peuplement-produits***
  - *constituer une* ***chaîne de modèles***
  - *plate-forme de simulation CAPSIS (F. de Coligny, 2003, http://coligny.free.fr/)*
- Deux dimensions importantes du problème non modélisées :
  - ***substitution*** *du carbone forestier au carbone fossile*
  - *impacts sociaux et économiques*

Chaîne de simulation

- Modèle Fagacées implémenté dans Capsis :
  - Simulation de scénarios sylvicoles
  - Comptabilité carbone / biomasse = part. aériennes et racines de transport
  - Exploitation des bois → carbone dans les produits forestiers
  - Décomposition et retour à l'atmosphère (loi type fiabilité, Weibull)
- Carbone du sol : simulé hors de Capsis
  - Modèle CENTURY (Parton, 1987, 1988)
  - Réseaux européens (RENECOFOR, 16x16 km) de monitoring des écosystèmes → vérification des prédictions de CENTURY

Définition des itinéraires sylvicoles sous CAPSIS

Indice de Densité Relative (RDI) selon l'âge :

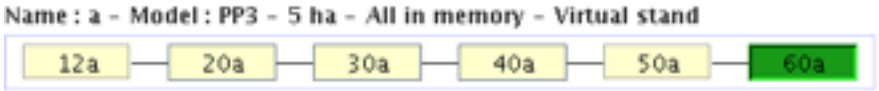


Principes généraux de la plate-forme CAPSIS

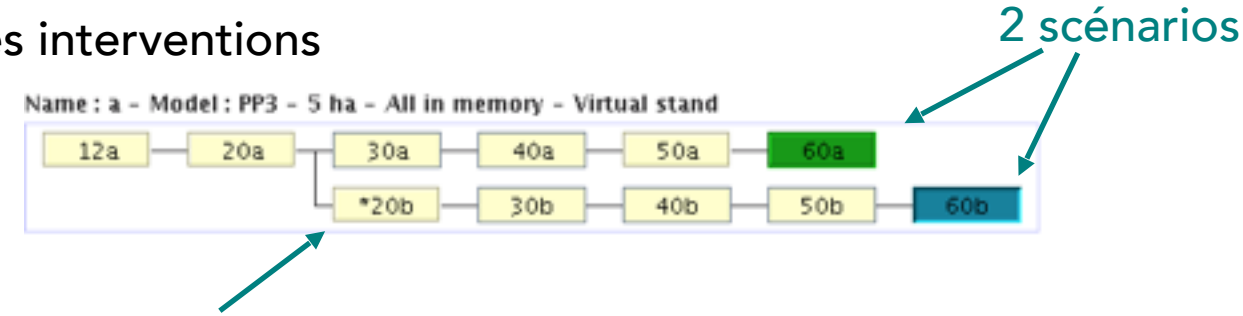
À partir d'un état initial (réel ou virtuel),



créer des scénarios sylvicoles en exécutant un modèle d'évolution…

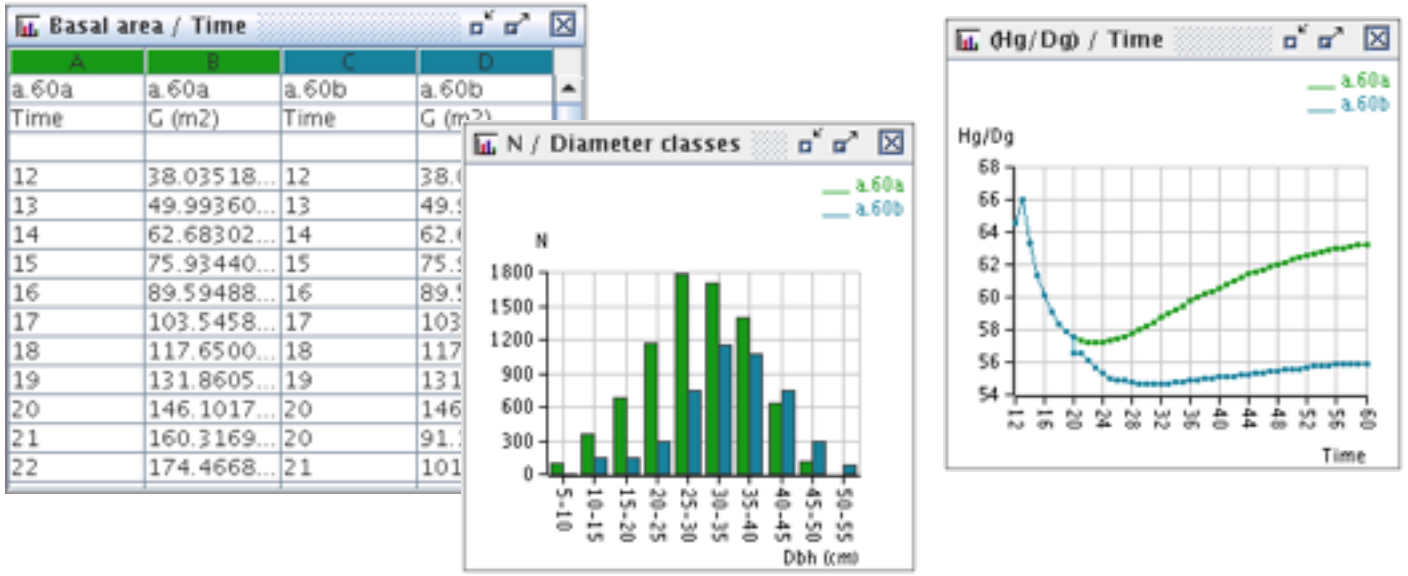


… et réaliser des interventions



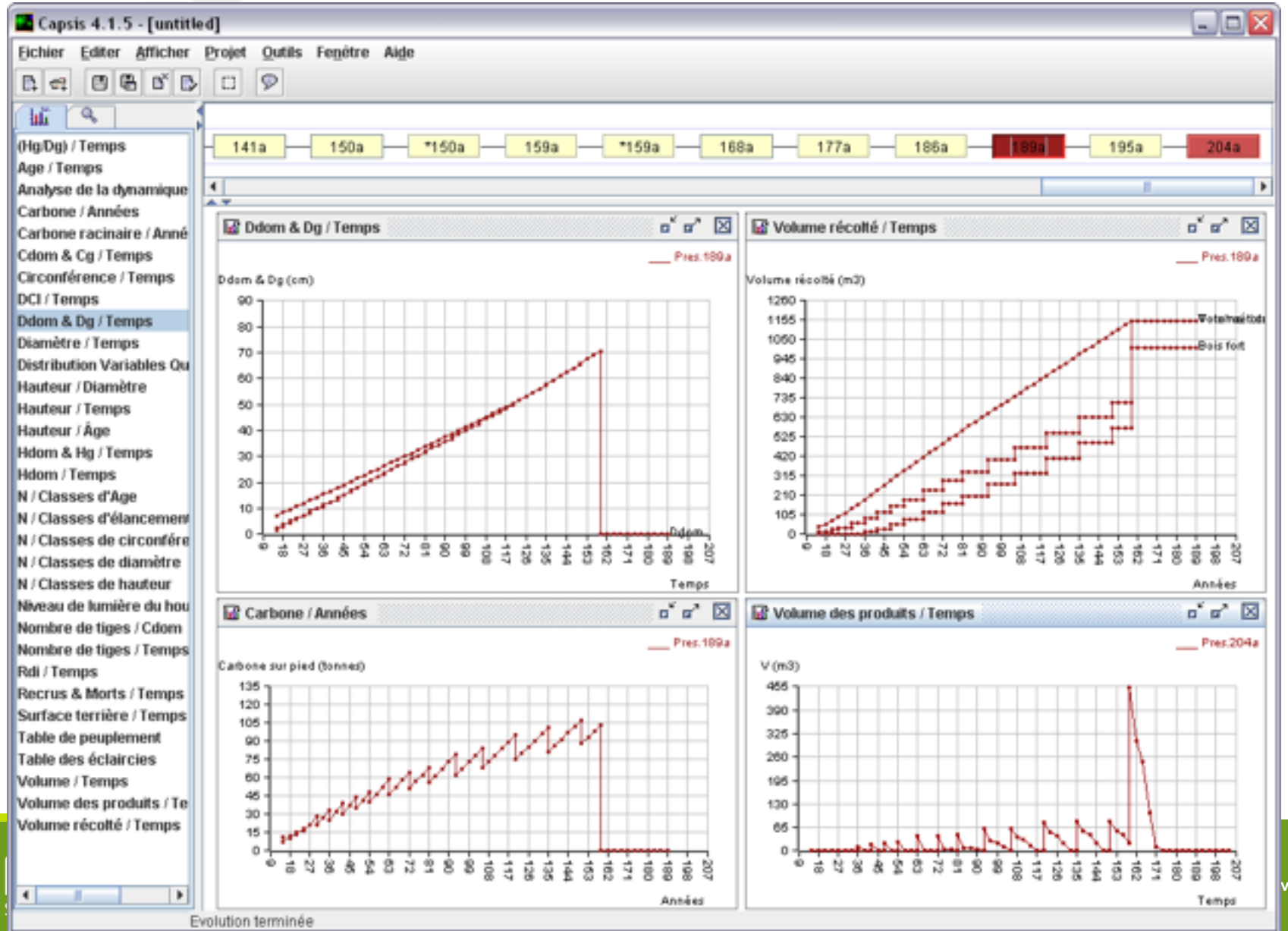
Principes généraux de la plate-forme CAPSIS

Utiliser des outils internes pour visualiser-vérifier les résultats



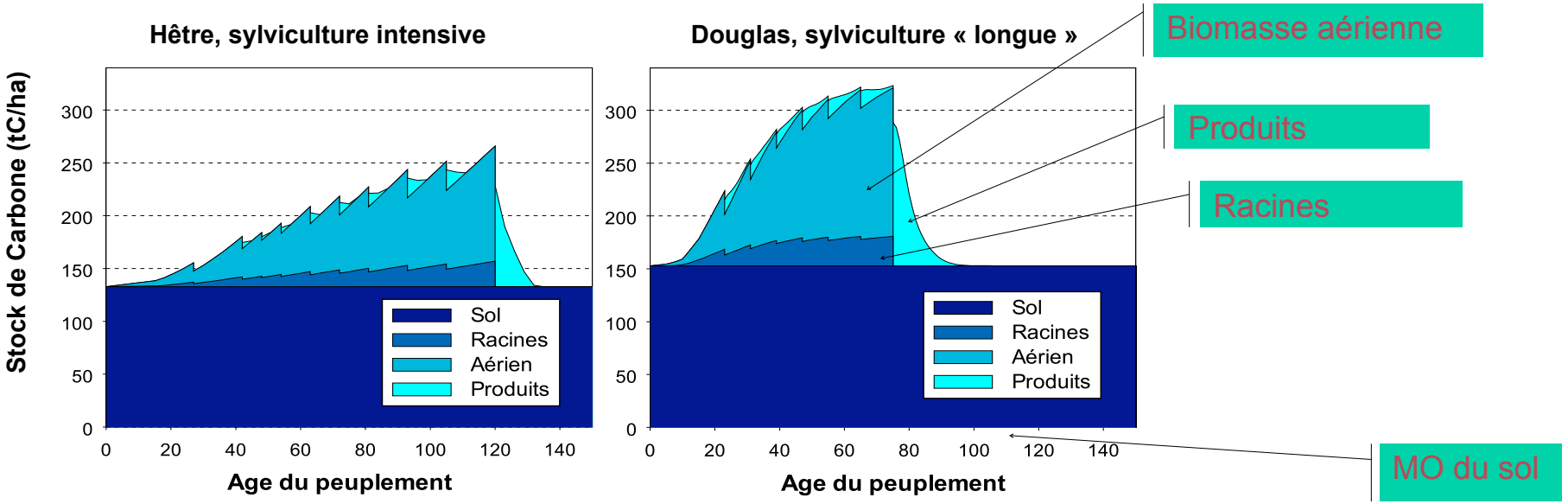
Exporter facilement les données vers d'autres outils informatiques (grapheurs, bases de données, etc…)

Interface-utilisateur graphique de CAPSIS



Représentation du système dynamique

Évolution des stocks de C dans le temps



→ Visualisation et calcul des transitions entre régimes

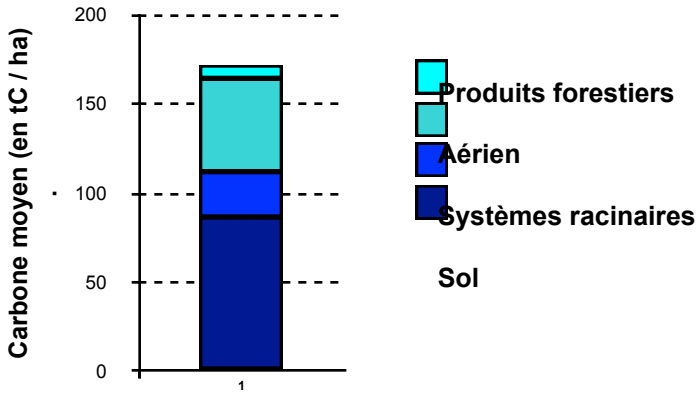
Sol : valeur d'équilibre du modèle Century

Produits : le relargage de CO_2 dépend de la durée de vie

Stock moyen

Moyenne des stocks de C sur une révolution :

$$\frac{\text{Intégrale des stocks de C}}{\text{Durée de révolution}}$$



→ **Résumer le régime permanent**

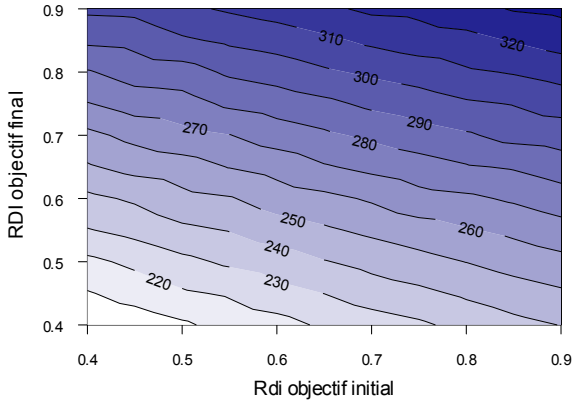
→ **Comparer des stratégies à ≠ durées de révolution**

Aucun effet de la fertilité de la station, si…

… des peuplements de fertilités ≠

sont récoltés au même diamètre-objectif

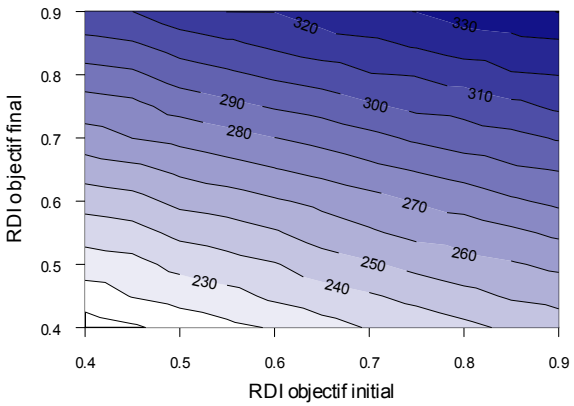
SI = 22 m



202 tC/ha

332 tC/ha

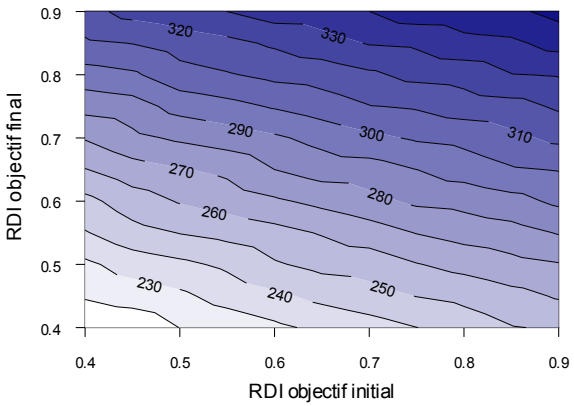
SI = 27 m



205 tC/ha

340 tC/ha

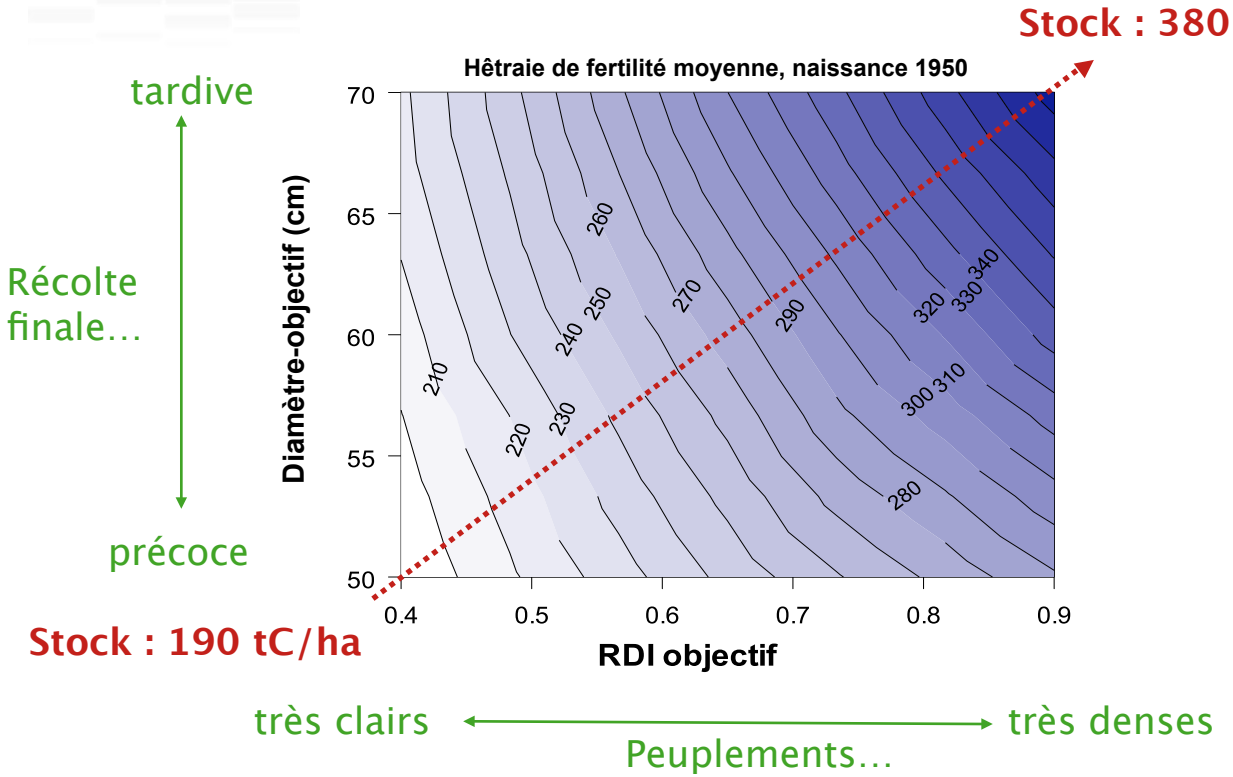
SI = 32 m



211 tC/ha

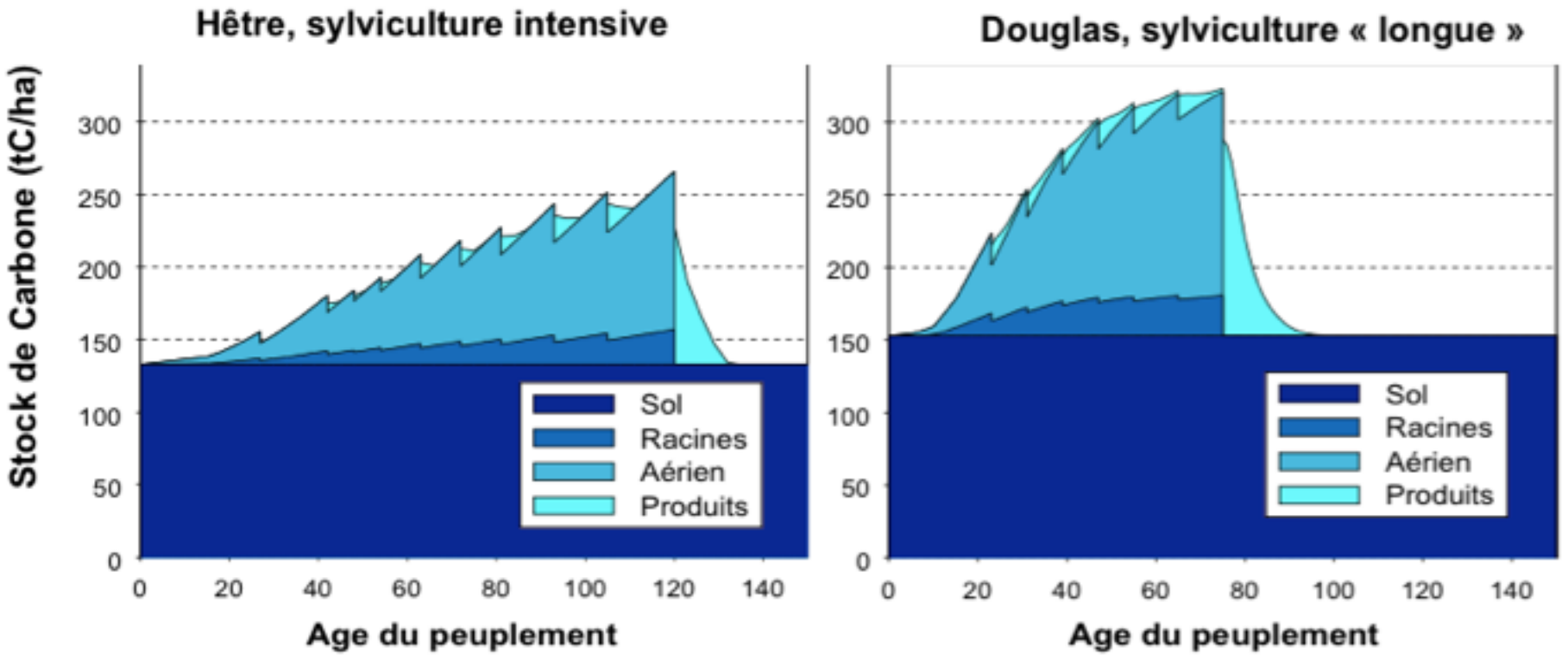
352 tC/ha

Sensibilité des stocks de C en hêtraie : effet des taux de coupes & diamètre d'exploitabilité

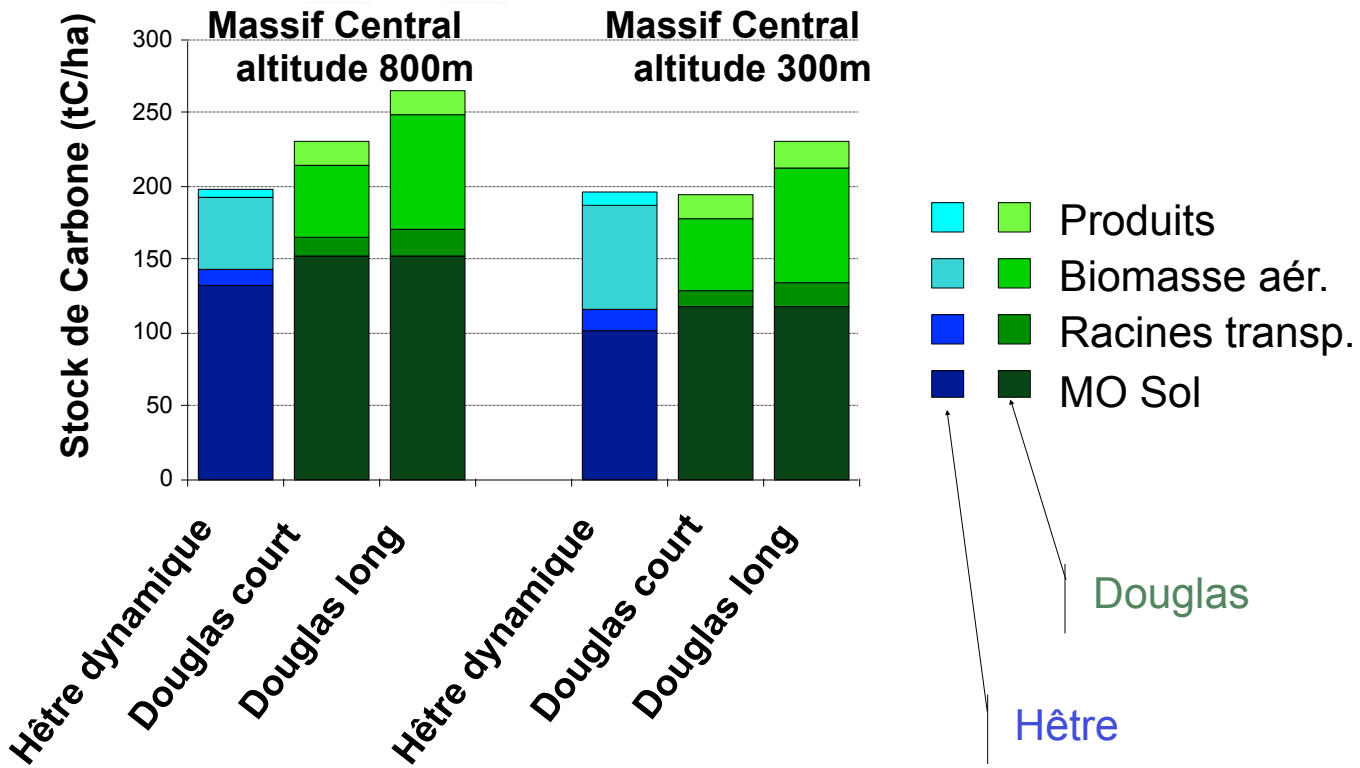


- Doublement possible du stock entre hêtraie claire et hyper-dense
- La hêtraie hyper-dense a **un stock très élevé et très vulnérable**
- 2 objectifs inconciliables : produits de qualité - maximiser stock de C/pied

Simulation Stocks de C sur une révolution forestière – type : Effet d'une **substitution feuillus->résineux** sur stations d'altitude dans le Massif Central



Transformation Hêtre → Douglas

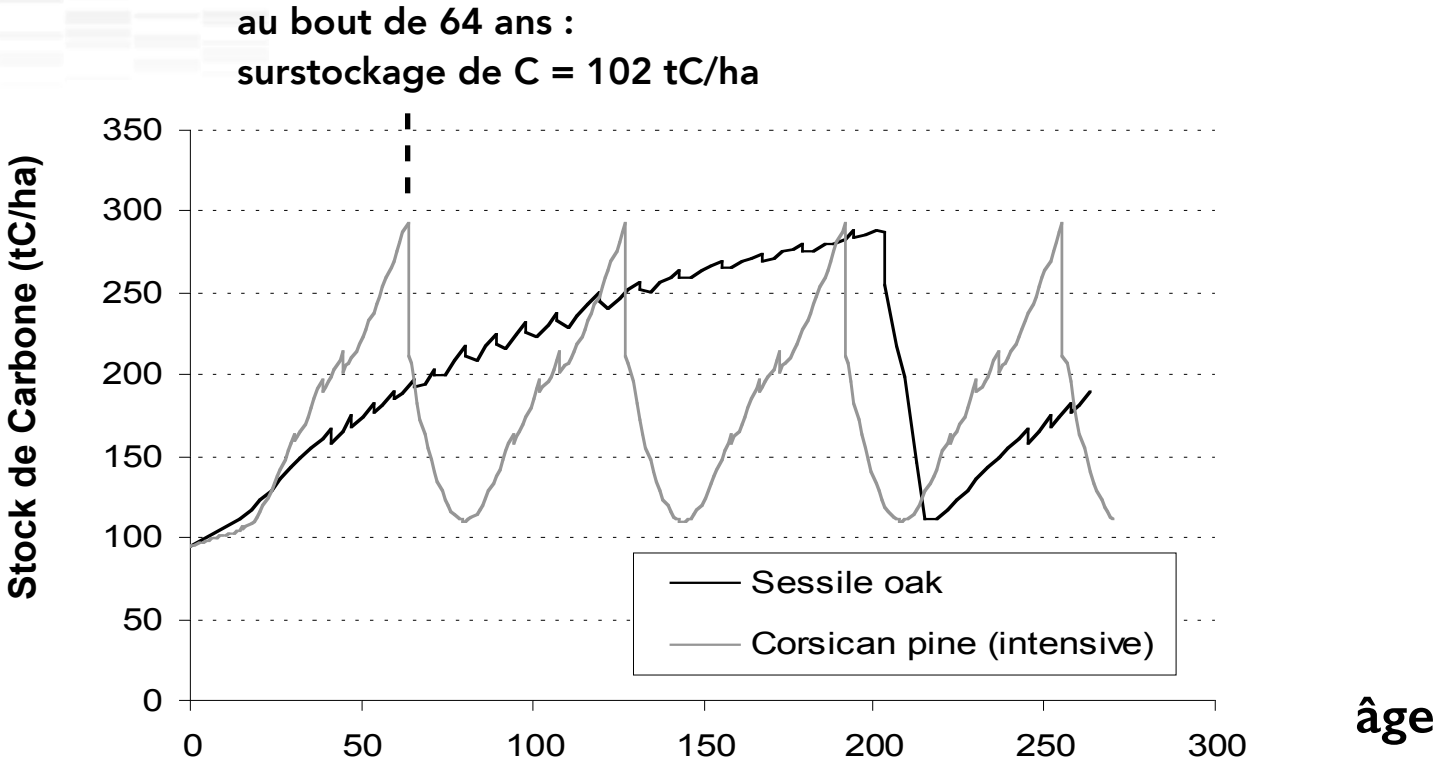


- Produits : stock faible, durée de vie << révolution, bp de déchets
- Meilleur résultat en résineux : produits + durables, production + rapide
- Valeur-carbone : **douglas >> hêtre**, il améliore le stock, le flux et les effets de substitution (**on gagne sur les 3 tableaux**)

Différentes options de substitution Feuillus → Résineux : Performances en termes de Stocks de C

Région	Essence feuillue	Stock de C moyen (tC/ha)	Essence résineuse	Stock de C moyen (tC/ha)	Différentiel
Centre - Pays de la Loire	Chêne	223	Pin laricio	174	-22%
Massif Central Alt. 300 m	Hêtre	197	Douglas	195	-1%
Massif Central Alt. 800 m	Hêtre	198	Douglas	266	+34%

Dynamique comparée Chêne sessile-Pin laricio



- Le Pin laricio surclasse le Chêne en productivité : +1,6 tC/ha/an en 64 ans
- … mais le Chêne est meilleur en stock moyen (longueur du stade adulte)
- Pour la valeur-carbone : il faut arbitrer entre stock, flux et substitution

Les sols, un facteur de variabilité des stocks … et des flux ?

Le contenu en carbone est très variable

Exemple pour trois types de peuplements forestiers



COMPOSANTES	Pins gris	Epinette noire	Érablière
Arbres vivants			
Feuillage	2.2	4.6	1.8
Fruits	0.5	1.7	0.2
Branches vivantes	4.8	7.8	22.3
Branches mortes	1.2	3	0.9
Troncs	**48**	**44.5**	**61**
Écorce	4.9	7	9.5
Souches, racines	10	20.4	16.1
TOTAL aérien	**71.6**	**89**	**111.8**
Végétation au sol	0.4	0.7	0.6
Arbres morts	19.8	1.8	5.4
Horizons organiques du sol	20.3	69.6	16.1
Sol minéral	48.9	90.2	214.3
TOTAL Sol	**89.4**	**162.3**	**236.4**
TOTAL PEUPLEMENTS	**161**	**251.3**	**348.2**



Tonnes/ha

MORRISON, I.K., N.W. FOSTER et P.W. HAZLETT, 1993. * Carbon Reserves, Carbon Cycling, and Harvesting Effects in Three Mature Forest Types in Canada. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 23(3), p. 403-412.

_03
Conclusions

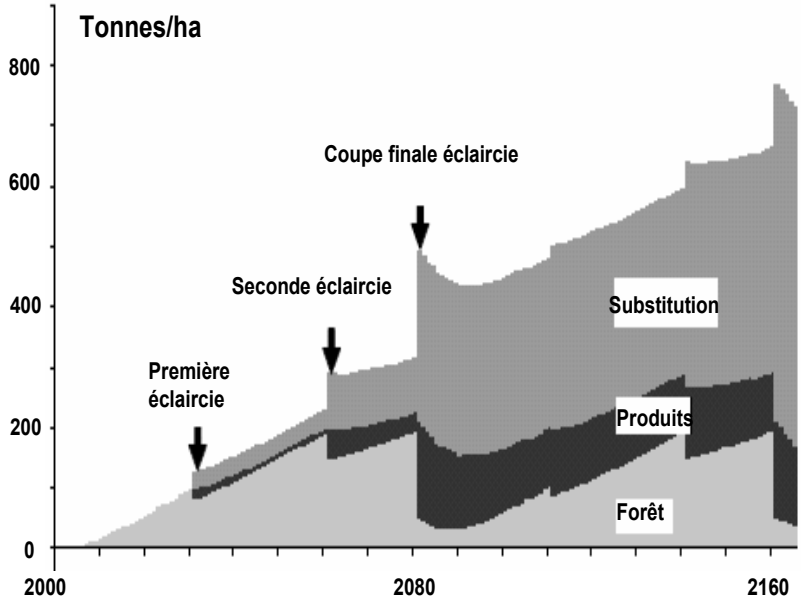
Conclusions sur la valeur-carbone des itinéraires sylvicoles

- Méthode :
  - *« Der Teufel liegt im Detail » → il faut des modèles*
  - *le C dans les produits représente une fraction très faible*
    insister sur la substitution du C fossile par du C renouvelable
  - *le C du sol est une fraction très importante*
    étudier dynamiques de court- et long-terme, effets climatiques
- Options sylvicoles :
  - *capitaliser en forêt : biologiquement possible, opportun ?*
  - *transfos feuillus→résineux étudiées : stimulent fortement les flux de carbone, arbitrages stock-flux à discuter*

Autres représentations du système dynamique pour expliquer l'effet ++ de l'usage du bois



Effet de la substitution



Substituer le béton par du bois constitue un moyen de diminuer les émissions de carbone de 1,1 tonne de CO2/m3 de bois utilisé (***important***)

L'utilisation du bois en construction permet de constituer un réservoir de carbone pour la durée de vie du bâtiment de 0,9 tonne de CO2/m3 de bois utilisé (***impact positif mais faible***)

Consommer du bois pour produire de l'énergie, soit au terme du cycle de vie des bâtiments ou d'autres sources, par substitution de combustibles fossiles, est une utilisation clé à développer (***impact systémique positif, cumulatif, d'importance majeure***)

Perez Garcia J., Lippke B., Comnick J., Manriquez C.,2005.
An assessment of carbon pools, storage, and wood products market substitution using life-cycle analysis results.
Wood and Fiber Science, 37 Corrim Special Issue, 2005, pp. 140 – 148

Pour convaincre sur les forêts de demain, savoir calculer/construire de belles structures avec nos bois locaux

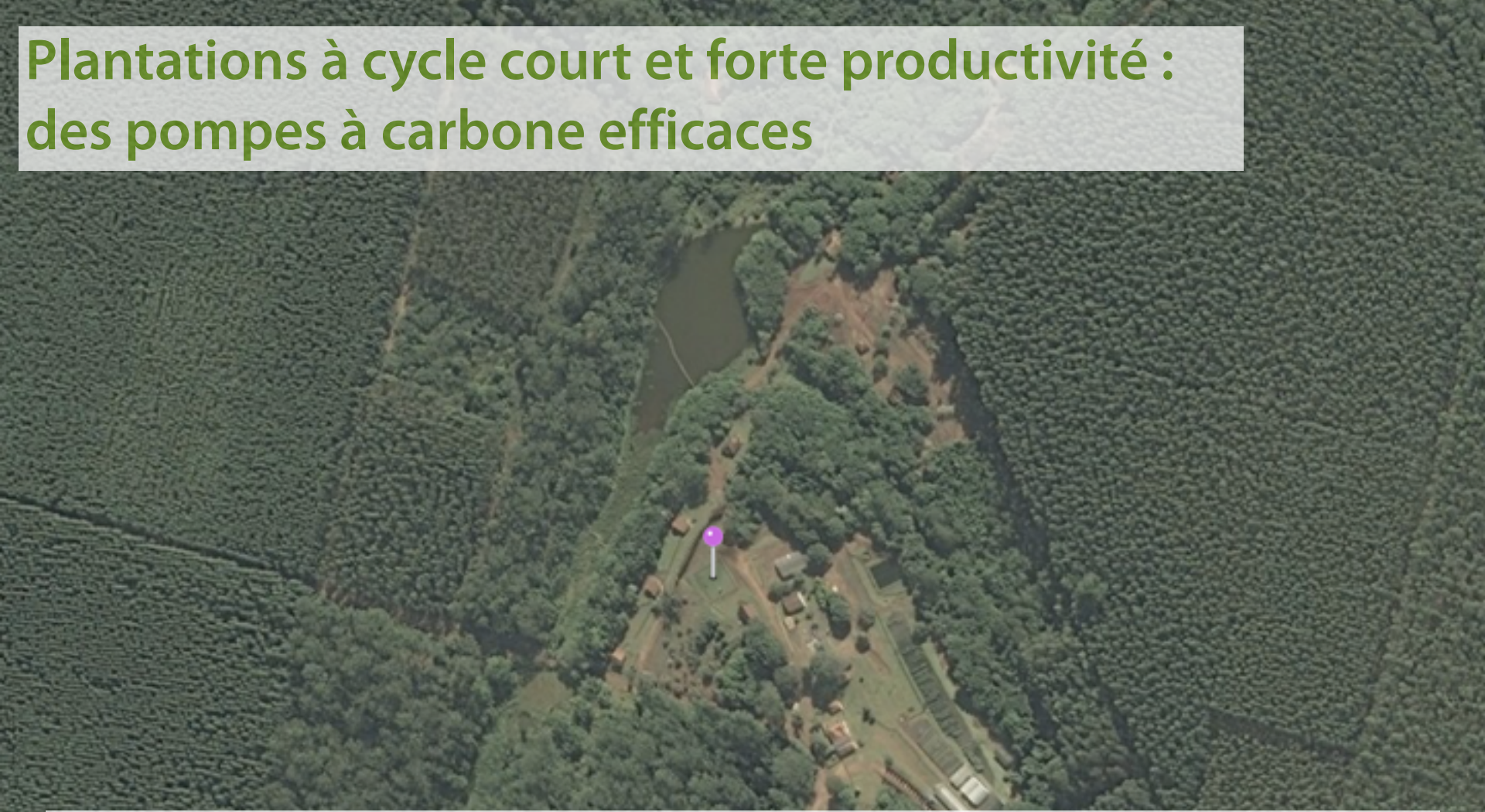




Stockage de carbone et ancienneté des forêts

- L'ancienneté des forêts est probablement assez indépendante du stock de C :
  - le stock dans la biomasse dépend fortement des essences en place, de l'âge moyen des peuplements, du caractère ± intense des éclaircies
  - le stock dans le sol hérite des usages anciens : sans doute léger avantage aux forêts anciennes, à évaluer
- Carbone : distinguer stocks, flux, émissions évitées
  - à surface disponible contrainte, et sous forts risques climatiques, privilégier une stratégie « flux » plutôt que « stock »
  - actuellement, les flux les + forts sont enregistrés dans des forêts très jeunes (cf plantations tropicales d'eucalyptus, 40 m^3/ha/an)

Plantations à cycle court et forte productivité : des pompes à carbone efficaces



Expérimentations sur eucalyptus
Station expérimentale de sciences forestières
Univ. de São Paulo - ESALQ, Itatinga



Expérimentations sur eucalyptus
Station expérimentale de sciences forestières
Univ. de São Paulo - ESALQ, Itatinga