Evaluation d'un modèle de dynamique forestière :

Cas des forêts hétérogènes de montagne avec Samsara2

V.Lafond – B.Courbaud – T.Cordonnier

Office National des Forêts

CAQ14-Capsis13-Caqsis1
Avignon, 4-5-6 avril 2011

Cemagref
Sciences, eaux & territoires

Introduction

- **De nombreuses questions…**
  - Nouvelles attentes sociétales (biodiversité, carbone…)
  - Incertitudes face aux changements climatiques
    - *Gestion plus durable, multifonctionnelle ?*
    - *Quels scénarios de gestion privilégier ?*
    - *Besoin d'expérimenter*

- **Mais expérimentation complexe en forêt…**
  - Lenteur des cycles en forêt
  - Difficile contrôle des facteurs

➢ **Enjeu :**

Utiliser les modèles de simulation comme support à l'expérimentation !

(Goreaud *et al.* 2005; Peng 2000; Pretzsch *et al.* 2008)

Introduction

- **Quels modèles pour expérimenter de manière fine ?**
  - **Individus-centrés**
  - **Spatialement explicites**

  } *⇒ Comportements individuels et interactions*
  ⇒ Gestion : sélection individuelle, structure spatiale

- **Problématique :**
  - ***Modèles calibrés à l'échelle de l'individu***
    => prédictions fiables à l'échelle de la communauté ?

- **Hypothèses :**
  - **Agrégation des comportements individuels + interactions entre individus**
    => comportement cohérent du modèle à l'échelle de la communauté

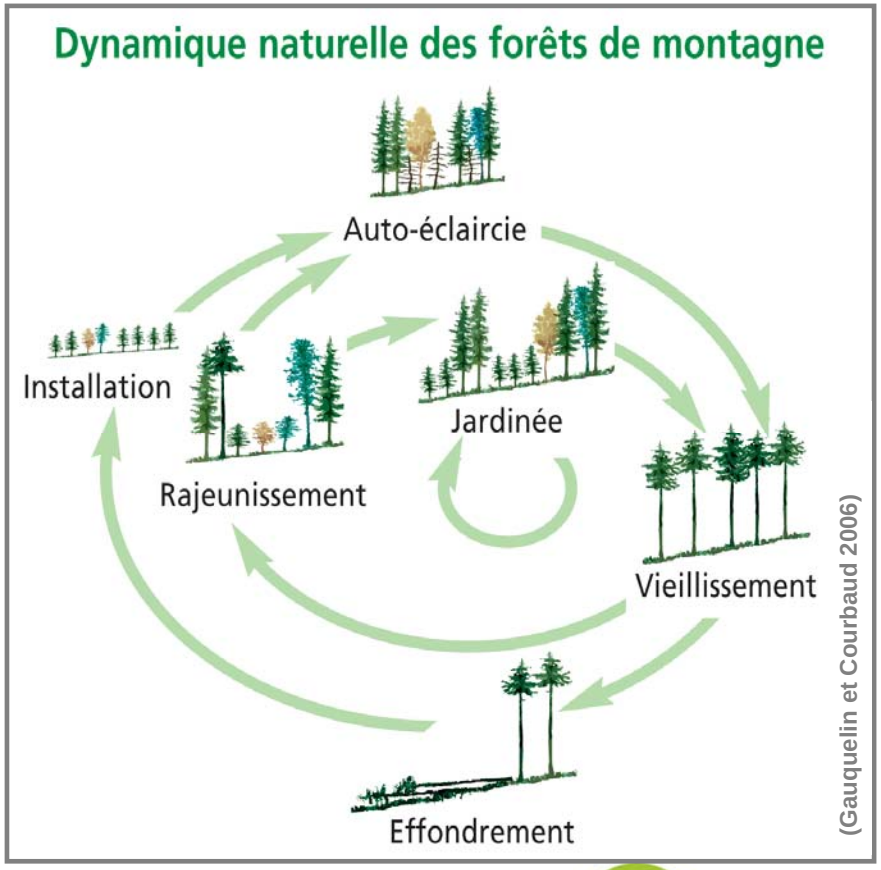
  - **Prédiction des caractéristiques de la communauté**
    avec une marge d'erreur acceptable.

Introduction

- **Objectif(s) du modélisateur :**
  Evaluer le modèle à l'échelle de la communauté (peuplement forestier) :

➢ Etudier son comportement,
la cohérence des prédictions
et des processus démographiques simulés

➢ Quantifier les biais de prédiction



- **Objectif(s) de la présentation :**

➢ Présenter la méthode mise en place
dans le cadre de l'évaluation
du modèle Samsara2

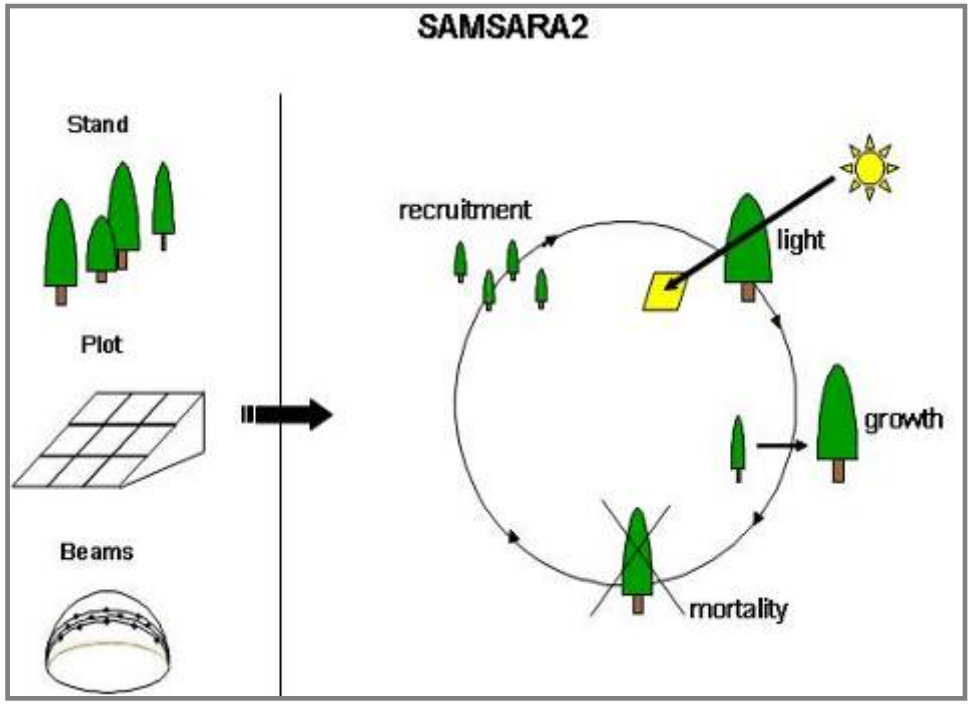
➢ Illustrer et discuter la méthode
au vu des premiers résultats

Présentation du modèle Samsara2

*Modèle de dynamique pour les **sapinières-pessières* irrégulières** de montagne*

(Courbaud 2004;Courbaud *et al.* 2001)

** Abies alba Mill.*
Picea abies Mill.



•Caractéristiques :

- Individu-centré
- Spatialement explicite
- Module de **transmission de la lumière**

(Courbaud *et al.* 2003, Vieilledent et al. 2010a)

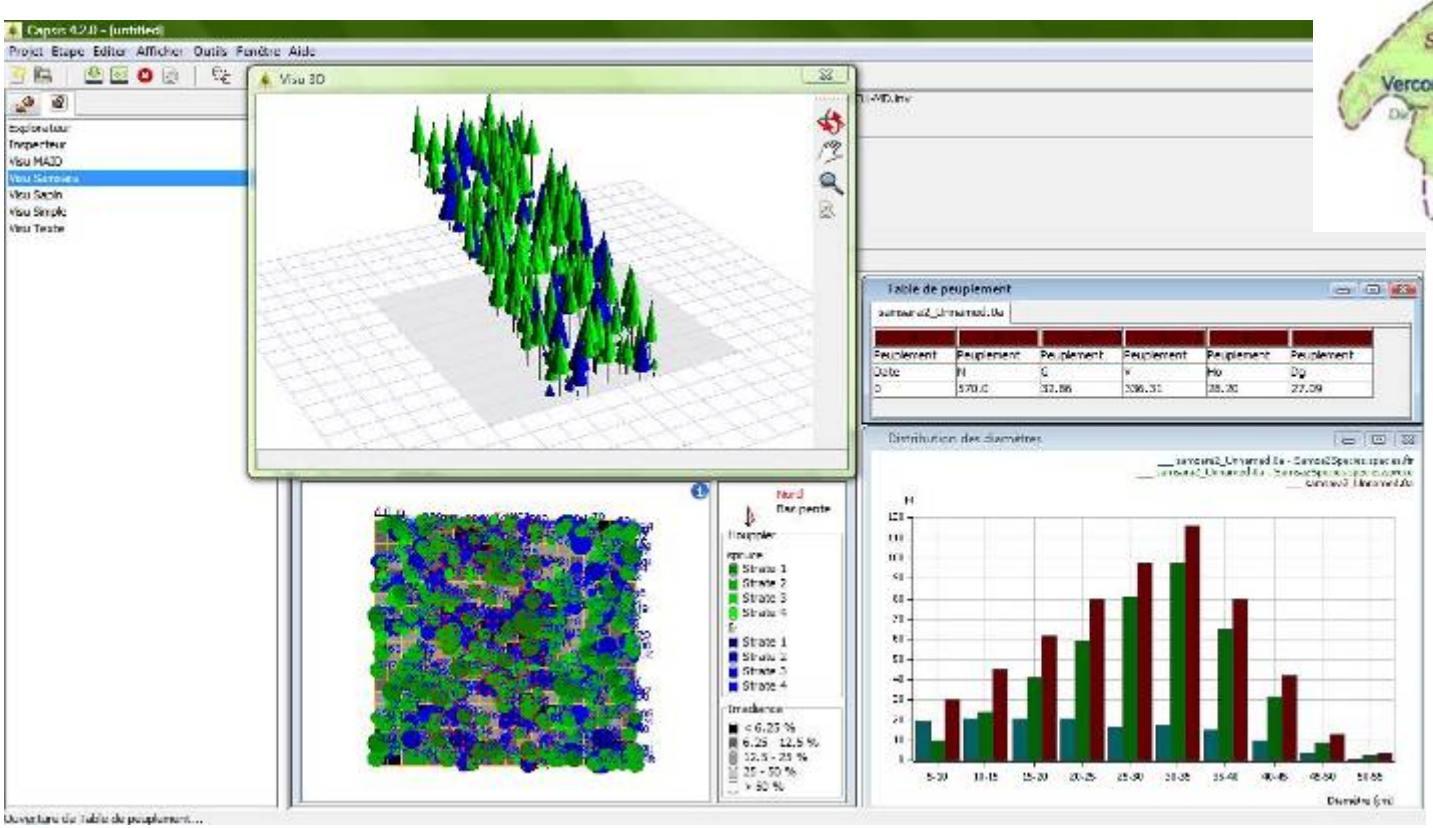
• Modèles (Thèse G.Vieilledent) :

- ✓**Croissance**
- ✓**Mortalité** (Vieilledent *et al.* 2010b, Seignobosc et al. In prep)
- ✓**Recrutement**

Présentation du modèle Samsara2

- **Domaine de calibration de Samsara2**
  - Alpes du Nord
  - Peuplements irréguliers à sapin et épicéa
  - Période récente (1980-2000)

(Gauquelin et Courbaud 2006)



- **Fonctionnement**

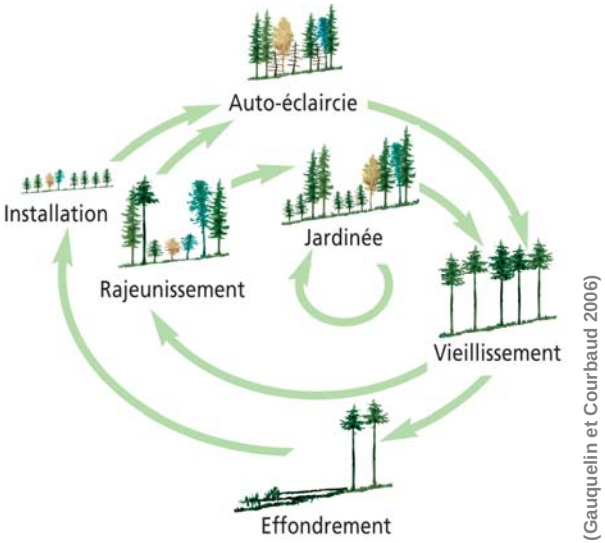
Plateforme de simulation **Capsis4**

(de Coligny 2005, de Coligny 2007)

Présentation générale de la méthode

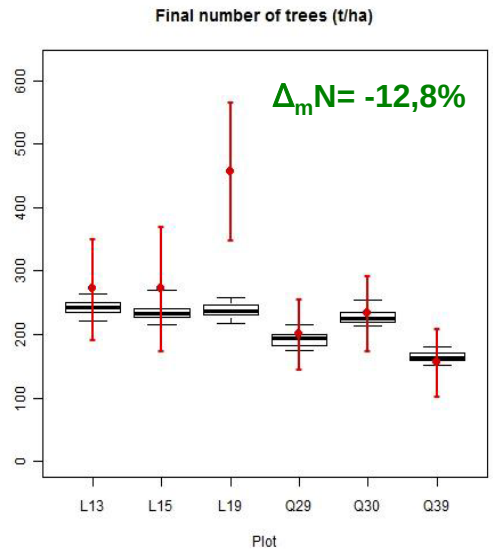
A) Evaluation qualitative :

- Cohérence de la **dynamique** simulée, des **processus** reproduits
- Peuplement théoriques
- **Long terme** (1000 ans)



B) Evaluation quantitative :

- Capacité à prédire les caractéristiques
- **Quantification** des **biais** de prédiction
- Peuplements réels, comparaison avec des données empiriques
- **Moyen terme** (50-100 ans)



Cemagref
Sciences, eaux & territoires

A) Evaluation qualitative

1) Peuplement théorique

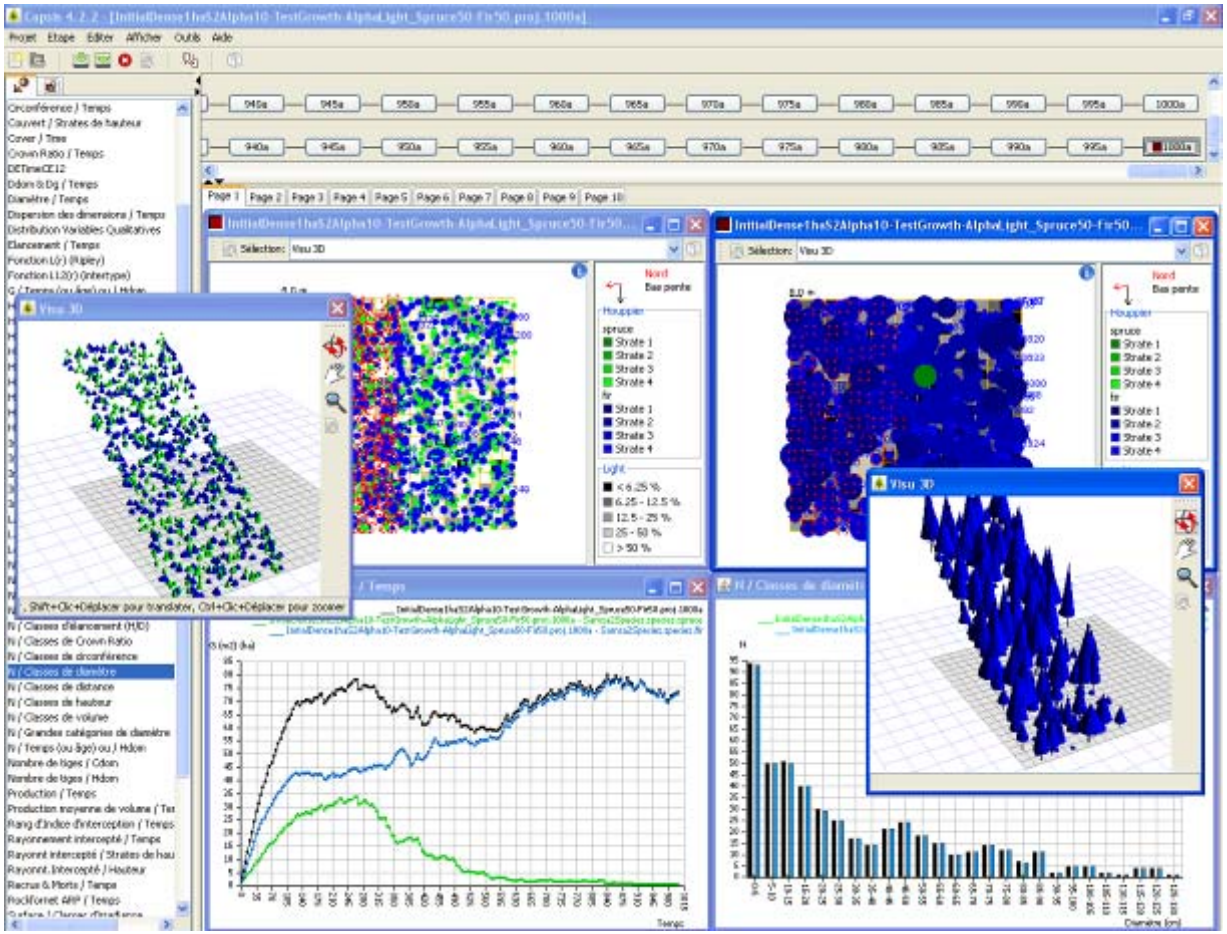
- **Régénération**
  - Dense (1500 t/ha)
  - ∅ * = 5cm
- **Composition** :
  - sapin pur
  - épicéa pur
  - mélange 50-50%

2) Simulation dynamique

  - Sur 1000 ans
  - Sans perturbations

3) Analyse de la dynamique

- **Stock**
  - Densité, N (t/ha)
  - Surface terrière, G**(m²/ha)
- **Structure**
  - N / classe de taille (∅ *)
- **Composition**
  - N, G**… / espèce



** Diamètre à 1,30m*

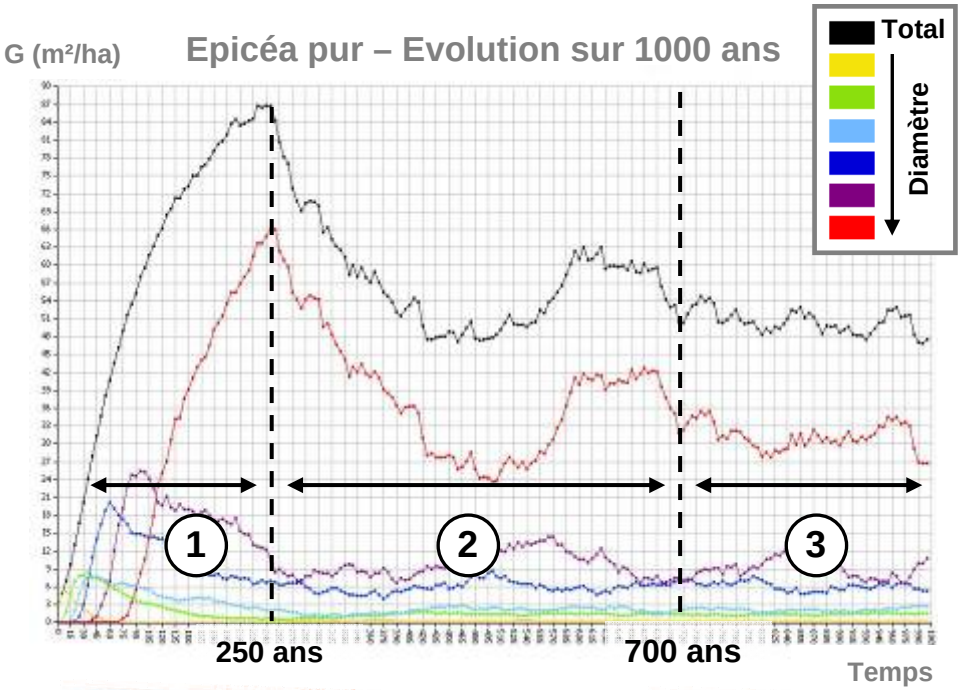
*** G= somme des sections à 1,30m*

A) Evaluation qualitative

- **Evolution du stock**

- **Identification des 3 phases**
  décrites par Bormann et Likens (1979) :

  1) **Accumulation**
  2) **Transition**
  3) **Etat d'équilibre**

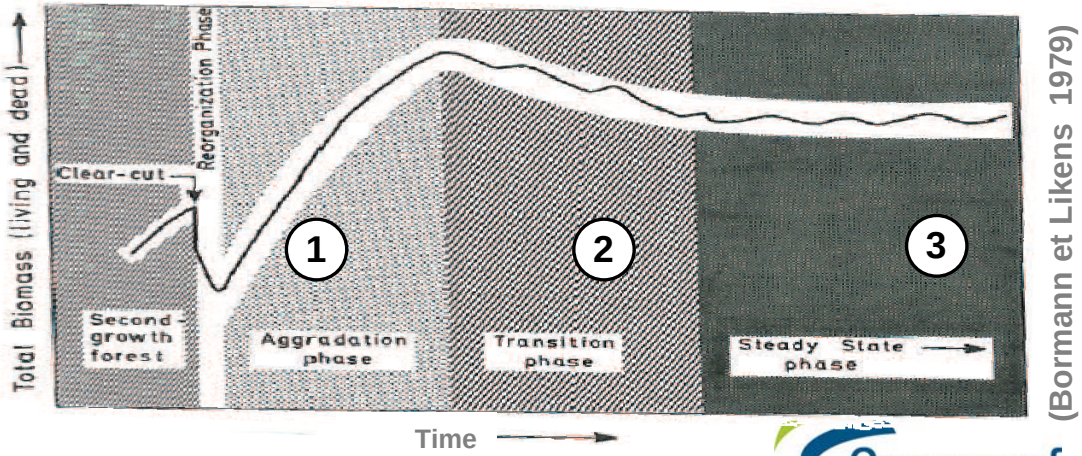


- **Stock maximal** = 87m²/ha

=> Cohérent avec Assmann (1970):

- 75m²/ha en moyenne
- max 83m²/ha

(épicéa, peuplement régulier non géré)



(Bormann et Likens 1979)

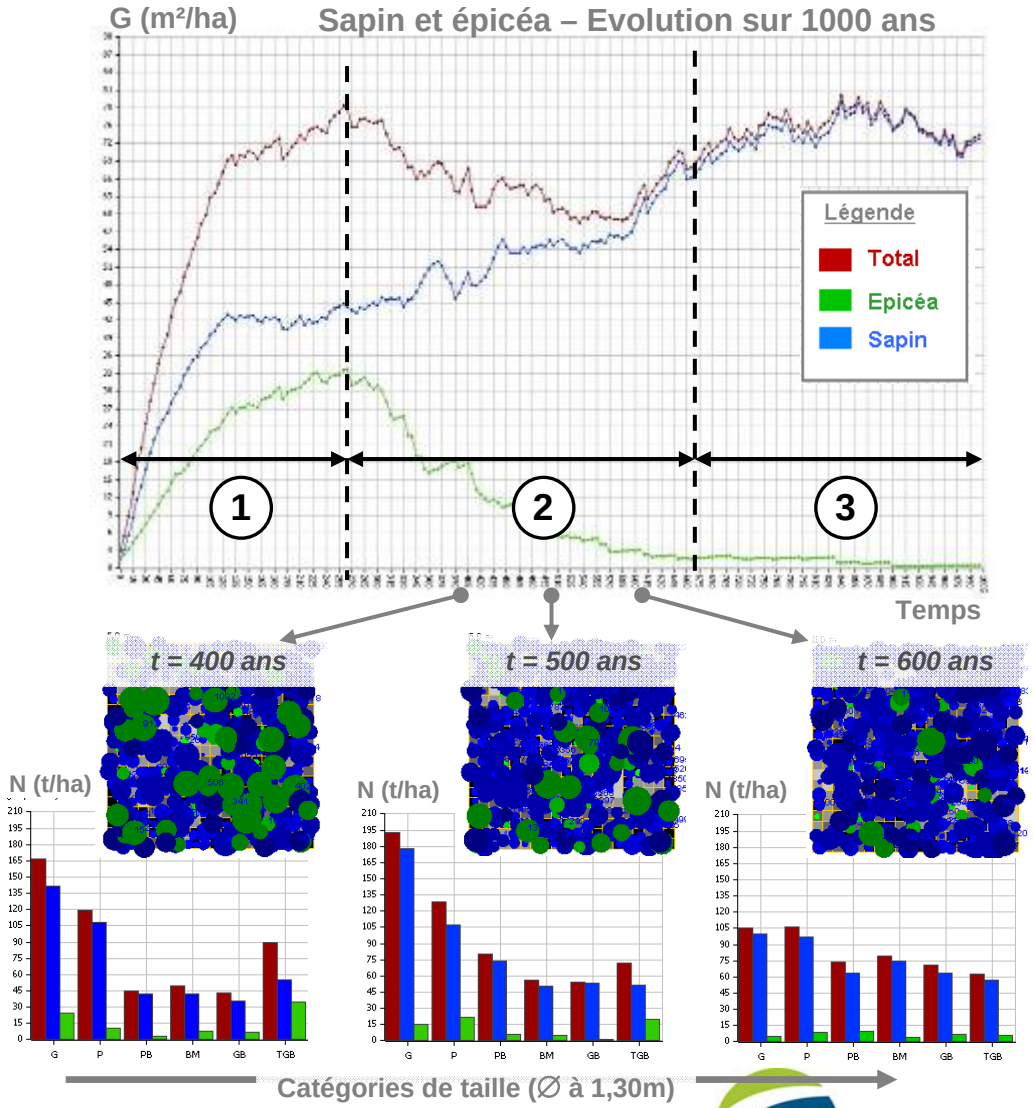
A) Evaluation qualitative

- **Evolution de la composition**

- **Exclusion compétitive de l'épicéa par le sapin...**
  - Mortalité des vieux épicéas
  - Régénération faible

- **… Par manque de lumière au sol !**
  - Peuplement très dense, couvert très fermé…
  - Tolérance à l'ombrage (jeunes individus) = facteur limitant de survie d'une espèce (Schütz 1997)

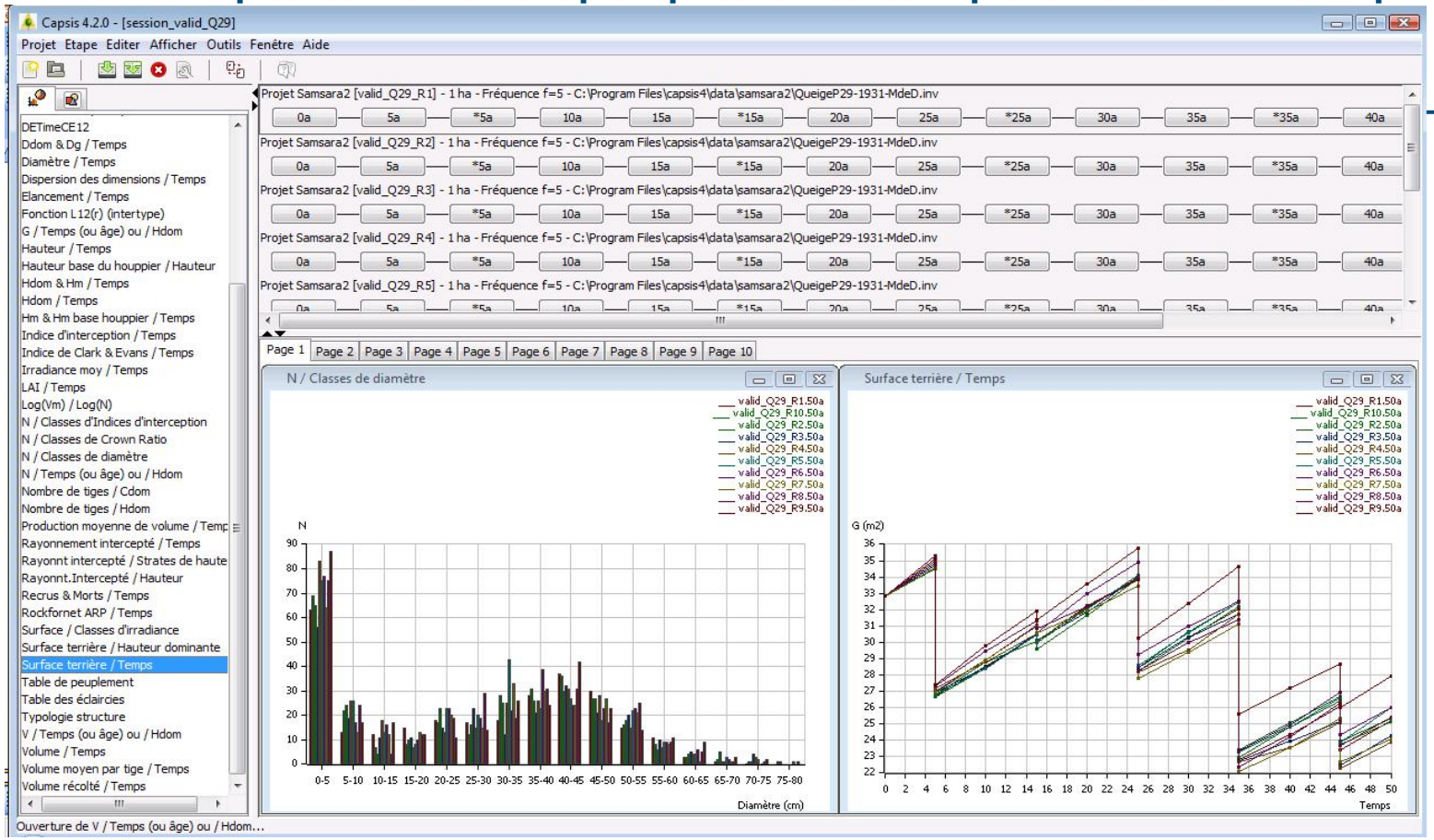
- **Autres variables…**



Cemagref
Sciences, eaux & territoires

B) Evaluation quantitative

- **Etape 1 : Création du peuplement initial** (inventaire)
- **Etape 2 : Reproduction de la dynamique sous Capsis4 :**
  - **dynamique naturelle** / modèle **Samsara2**
  - **gestion** / **algorithme** de sylviculture (Lafond *et al.*, *in prep.*)
- **Etape 3 : Caractéristiques prédites => comparaison données empiriques**



Etapes

Répétitions

Variables de sortie

Cemagref
Sciences, eaux & territoires

B) Evaluation quantitative

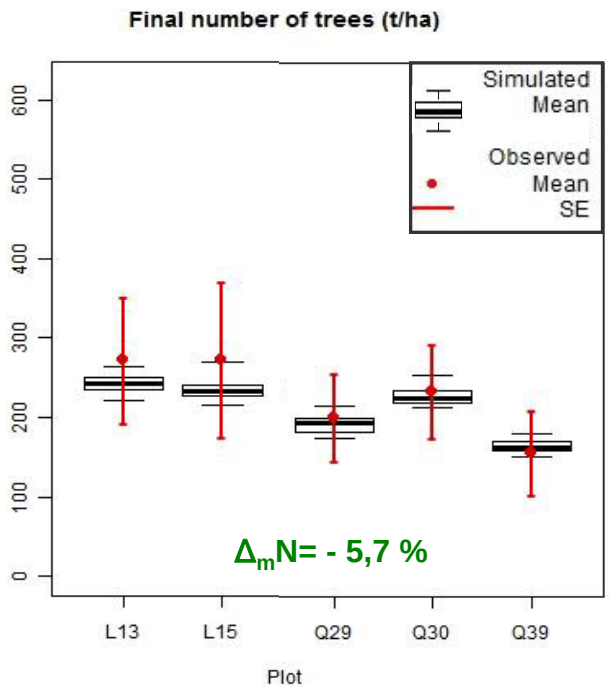
- **Prédiction des caractéristiques globales ?**

- **Variables**
  N (t/ha), G (m^2/ha), V (m^3/ha)…

- **Comparaison graphique**
  – Valeurs **prédites** (boxplot)
  – Valeur **observées** (moyenne + incertitude)

- **Quantification des écarts**
  – ***Pour chaque répétition i :***
    - *Comparaison de la valeur prédite (P_i)*
    - *à la valeur observée (O)*

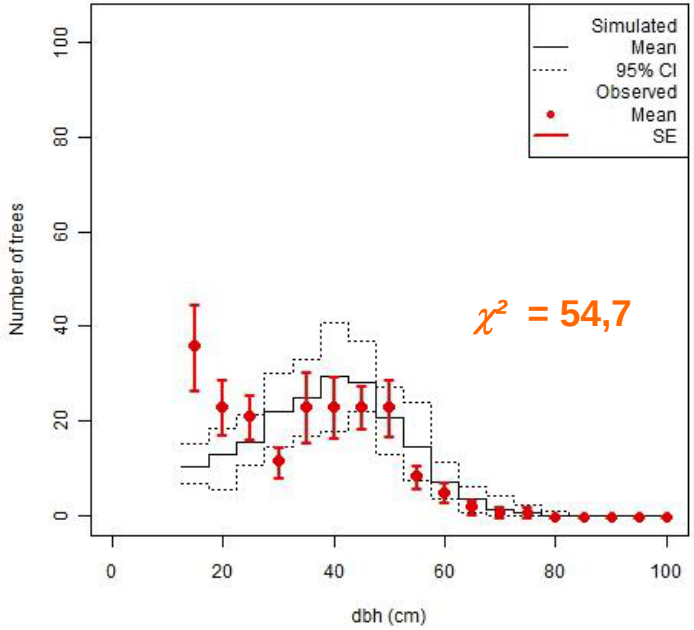
=> Ecart moyen + variabilité



$$\Delta'_i = \frac{P_i - O}{O} \times 100$$

B) Evaluation quantitative

- **Prédiction de la structure ?**
- **Distribution par classes de taille**
  => ici ∅ à H= 1,30 m
- **Comparaison graphique**
  - Valeurs **prédites**
  - Valeur **observées** (moyenne + incertitude)
- **Distance entre distributions**
  - *Mesurée par le* ***χ^2 de Pearson***
    (Reynolds *et al.* 1988, Pearson 1900)
    - *Comparaison effectifs prédits (P_i)*
    - *et espérés (E_i)*
  - Distance :
    - *Estimée par classe de ∅*
    - *Somme => distance totale = χ^2*



$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{n} \frac{(P_i - E_i)^2}{E_i}$$

Cemagref
Sciences, eaux & territoires

Synthèse - Discussion

A) Evaluation qualitative

- Dynamique et processus reproduits de manière cohérente (valeurs, évolution…)

- Mais conditions théoriques, sans perturbations !
  => Coupler avec des modèles :
  - *de dynamique de perturbations naturelles*
    (Ancelin et Courbaud 2004, Seignobosc *et al. In prep*)
  - *de sylviculture (algorithmes)* (Söderbergh et Ledermann 2003)

B) Evaluation quantitative

- Détection et quantification de biais de prédiction…

- Acceptabilité de ces biais ?
  – Ordre de grandeur : Biais ≈ incertitude sur la valeur de référence

- Difficulté à reproduire la sylviculture passée
  – Données de suivi de la gestion
  – Algorithmes de sylviculture adaptés (Lafond *et al. In prep*)

Conclusion - Perspectives

- **Utilisation de modèles individus-centrés à l'échelle de la communauté ?**
  - Dynamique cohérente de la communauté, même à long terme
  - Existence de biais de prédiction… acceptables ?

- **Utiliser Samsara2 comme support à l'expérimentation ?**
  - Résultats encourageants
  - Perspectives d'utilisation intéressantes

- **Perspectives d'application de la méthode ?**
  - Méthode généraliste
    évolution du stock, distribution en catégories de taille, composition…
  - Combinaison de deux approches complémentaires
  - Exportable… en adaptant les variables !

Références bibliographiques

- **Ancelin, P., B. Courbaud, et al. 2004.** Development of an individual tree-based mechanical model to predict wind damage within forest stands. Forest ecology and management, 203: 101-121.
- **Assmann, E. 1970.** The Principles of Forest Yield Study. Pergamon Press, Oxford.
- **Bormann, F. H. et G. E. Likens 1979.** Pattern and process in a forested ecosystem. New York, USA, Springer-Verlag.
- **Courbaud, B. 2004.** Intérêt des modèles pour l`ingénierie écologique : exemples à partir du modèle de dynamique des peuplements forestiers SAMSARA. Ingénieries - E A T, spécial Ingénierie écologique :49-56.
- **Courbaud B., de Coligny F. & Cordonnier T. 2003.** Simulating radiation distribution in a heterogeneous Norway spruce forest on a slope. Agricultural and Forest Meteorology, 116 :1-18.
- **Courbaud B., Goreaud F., Dreyfus P. et Bonnet F.R. 2001.** Evaluating thinning strategies using a Tree Distance Dependent Growth Model: Some examples based on the CAPSIS software "Uneven-Aged Spruce Forests" module. Forest Ecology and Management, 145:15-28.
- **Courbaud, B. 1995.** Modélisation de la croissance en forêt irrégulière. Perspectives pour les pessières irrégulières de montagne. Revue forestière française, spécial Modélisation de la croissance des arbres forestiers et de la qualité des bois:173-182.
- **de Coligny, F. 2005.** CAPSIS: Computer-Aided Projection for Strategies in Silviculture, a software platform for forestry modellers. *In* Workshop on Information Science for Agriculture and Environment (ISAE), Guizou Normal University, GuiYang, P.R. China.
- **de Coligny, F. 2007.** Efficient building of forestry modelling software with the Capsis methodology. *In* Pma 2006: Second International Symposium on Plant Growth Modeling, Simulation, Visualization and Applications, Proceedings Eds. T. Fourcaud et X.P. Zhang. Ieee Computer Soc, Los Alamitos, pp. 216-222.
- **Gauquelin, X. et B. Courbaud, 2006.** Guide des sylvicultures de montagne - Alpes du Nord françaises, Cemagref, CRPF Rhône-Alpes, ONF.
- **Goreaud, F., F. De Coligny, B. Courbaud, J.F. Dhote, P. Dreyfus et T. Perot 2005**. La modélisation : un outil pour la gestion et l'aménagement en forêt. Vertigo. 6:12.

Références bibliographiques

- **Lafond, V., Courbaud, B., et de Coligny, F. *in prep*.** Reconstructing harvesting diameter distributions from synthetic data in uneven-aged selection forests.
- **Pearson, K. 1900.** On the criterion that a given system of deviation from the probable in the case of a correlated system of variables is such that it can be reasonably supposed to have arisen from random sampling. Philosophical Magazine Series 5, 50: 157-175.
- **Peng, C. 2000.** Understanding the role of forest simulation models in sustainable forest management. Environmental Impact Assessment Review. 20: 481-501.
- **Pretzsch, H., R. Grote, B. Reineking, T. Rotzer et S. Seifert 2008.** Models for forest ecosystem management: A European perspective. Annals of Botany. 101:1065-1087.
- **Reynolds, M.R, Burk, T.E., Huang , W.C. 1988.** Goodness-of-FiT tests and Model Selection Procedures for Diameter Distribution Models. Forest Science, 34(2): 373-399.
- **Schütz, J.P. 1997.** Sylviculture 2. La gestion des forets irrégulières et mélangées. Presses polytechniques et universitaires romandes. 178 p.
- **Seignobosc, M., Courbaud, B. In prep.** Estimating forest disturbance regimes: combining periodic inventories and mortality time series in a Bayesian state-space model.
- **Söderbergh, I. and T. Ledermann 2003.** Algorithms for simulating thinning and harvesting in five European individual-tree growth simulators: a review. Computers and Electronics in Agriculture, 39(2): 115-140.
- **Vanclay, J. K. et J. P. Skovsgaard 1997.** Evaluating forest growth models. Ecological Modelling, 98(1): 1-12.
- **Vieilledent, G., B. Courbaud, G. Kunstler et J.F. Dhote 2010.** Mortality of silver fir and Norway Spruce in the Western Alps - a semi-parametric approach combining size-dependent and growth-dependent mortality. Annals of Forest Science. 67
- **Vieilledent, G., B. Courbaud, et al. 2010.** "Individual variability in tree allometry determines light resource allocation in forest ecosystems: a hierarchical Bayesian approach." Oecologia 163(3): 759-773.

Remerciements et collaborations

- **Projet**
  - **Produire plus tout en préservant mieux la biodiversité : quelle gestion multifonctionnelle des peuplements forestiers hétérogènes ?**
  - **Projet BGF, programme du GIP ECOFOR**

- **Collaborateurs**
  - **ONF**
    - ***C. Deleuze***
    - ***T. Sardin***
    - ***…***
  - **INRA AMAP (Capsis4 etc.)**
    - ***F. de Coligny***
    - ***S. Dufour***
  - **Cemagref de Nogent**
    - ***F. Gosselin***
    - ***…***

Merci de
votre attention

ANNEXES

Précisions sur le modèle Samsara2

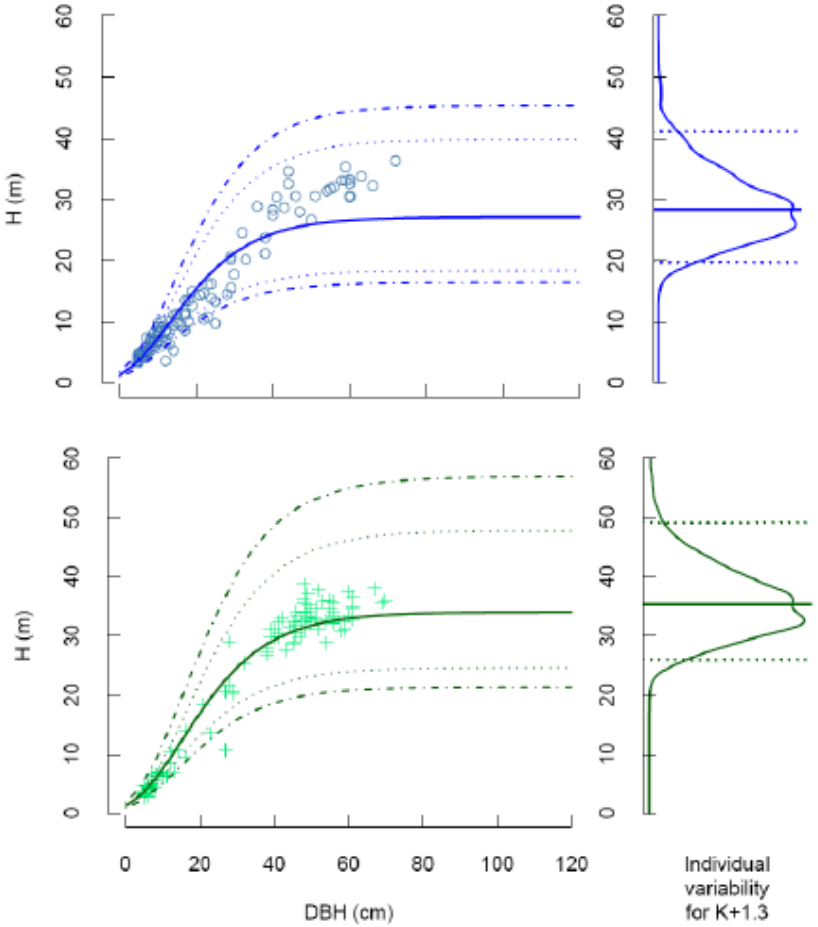
Office National des Forêts

Cemagref
Sciences, eaux & territoires

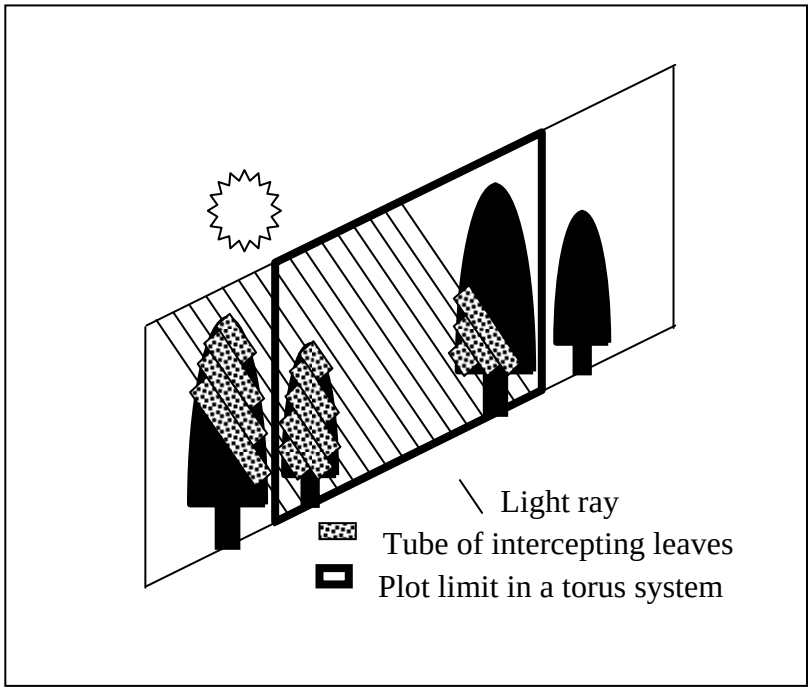
Précisions concernant le modèle Samsara2

Processus démographiques calibrés pour le sapin et l'épicéa

Allométries : houppier (Dbh)



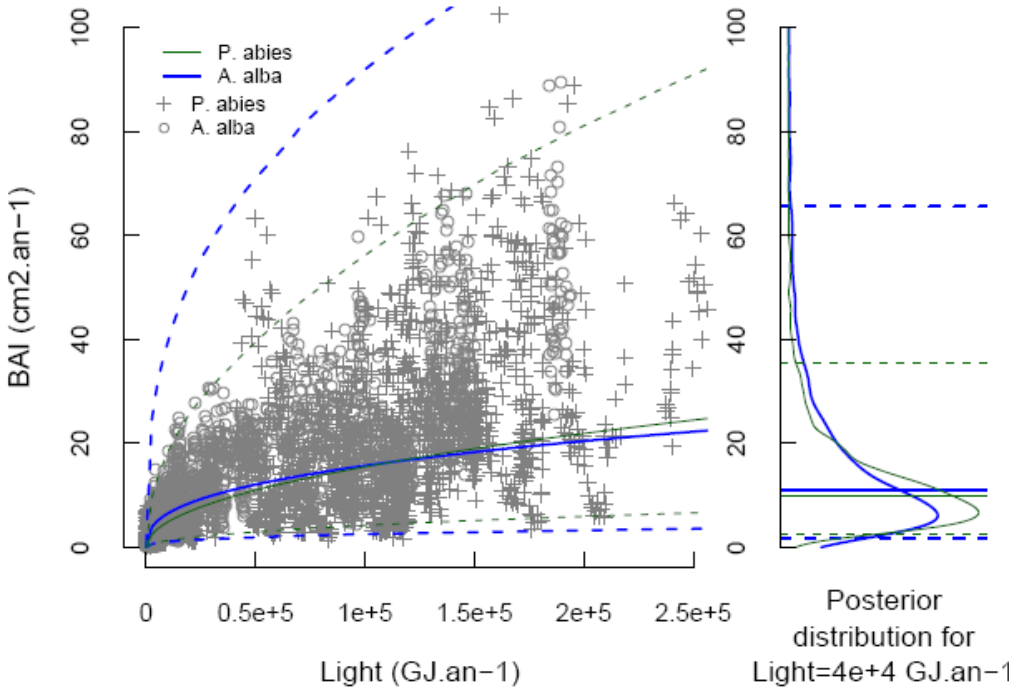
Interception de la lumière par chaque arbre



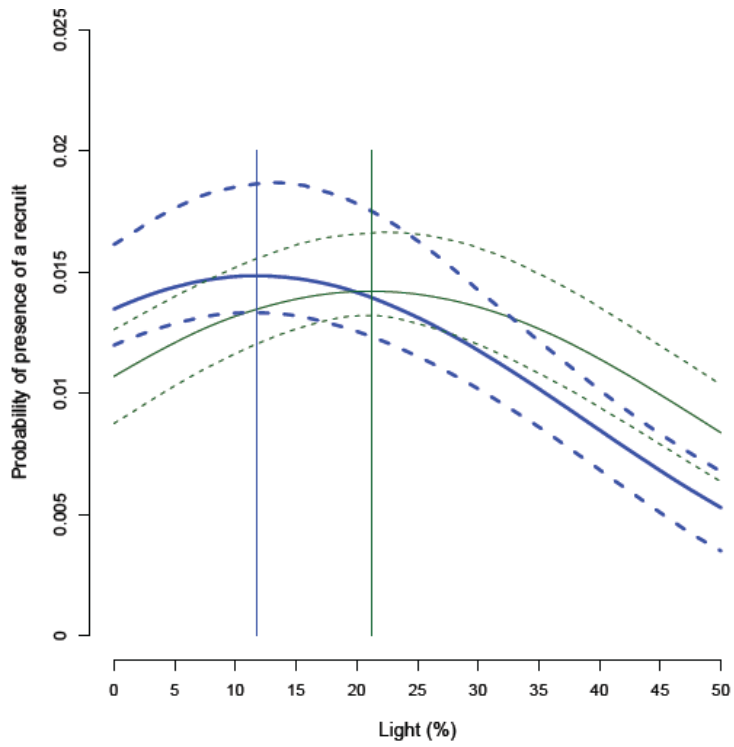
Cemagref
Sciences, eaux & territoires

Précisions concernant le modèle Samsara2

Croissance (dbh, lumière)



Recrutement



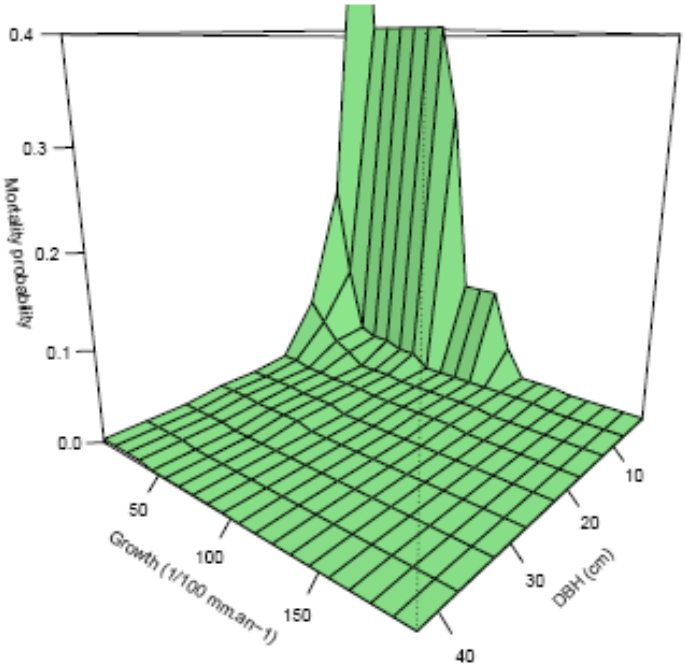
Cemagref
Sciences, eaux & territoires

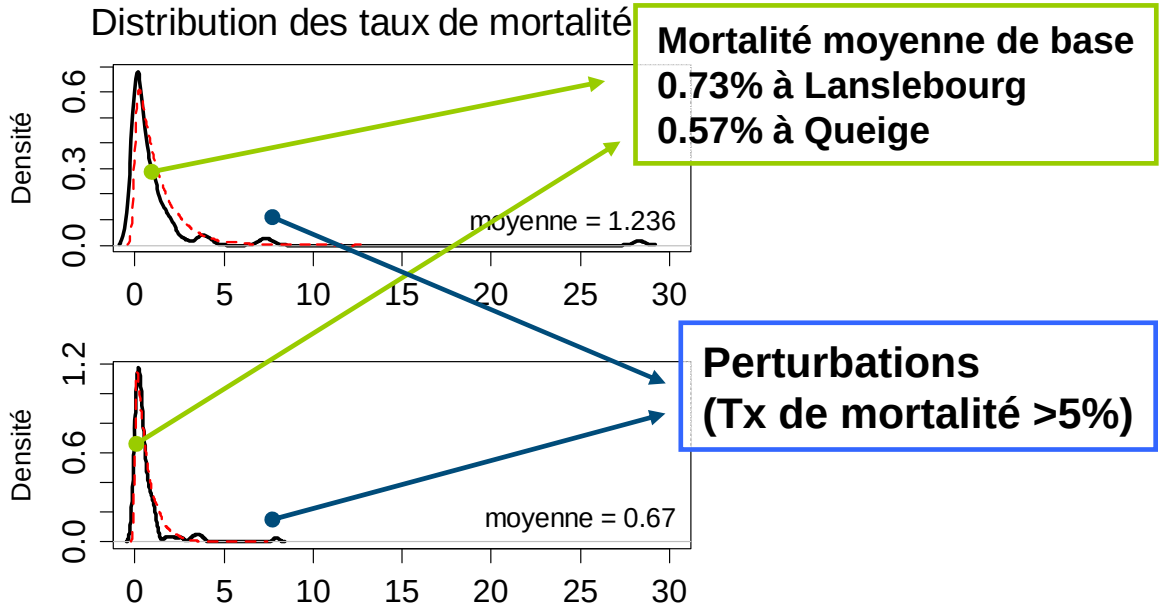
Précisions concernant le modèle Samsara2

Mortalité

Arbres de dbh < 30 cm
Mortalité =f(Dbh, Accroissement)
(Thèse G. Vieilledent)

Arbres de dbh > 30 cm
Taux de mortalité de long terme
(Thèse M.Seignobosc)





Cemagref
Sciences, eaux & territoires