Effet de la gestion en futaie irrégulière sur la production et la biodiversité en forêt hétérogène de montagne

Outils, démarche et premiers résultats

Valentine Lafond – Thomas Cordonnier – Benoît Courbaud

Pour mieux affirmer ses missions, le Cemagref devient Irstea

www.irstea.fr

CAQSIS 2013 – 10 avril 2013

Contexte

- **Notion de service écosystémique**
  - **Millennium Ecosystems Assessment (2005)**
  - **Stratégie nationale pour la biodiversité**

  « Utilisation par l'homme des <u>fonctions écologiques</u> de certains écosystèmes …»

- **Meilleur intégration des fonctions de la forêt**
  - **Production, protection, biodiversité, stockage de C…**

- **Produire plus tout en préservant mieux la biodiversité**
  - **Assises de la forêt, Grenelle 2007**
  - **Renouvellement des itinéraires sylvicoles**
  - **Réponse de chaque service à la gestion => compatibilité / compromis ?**

Contexte

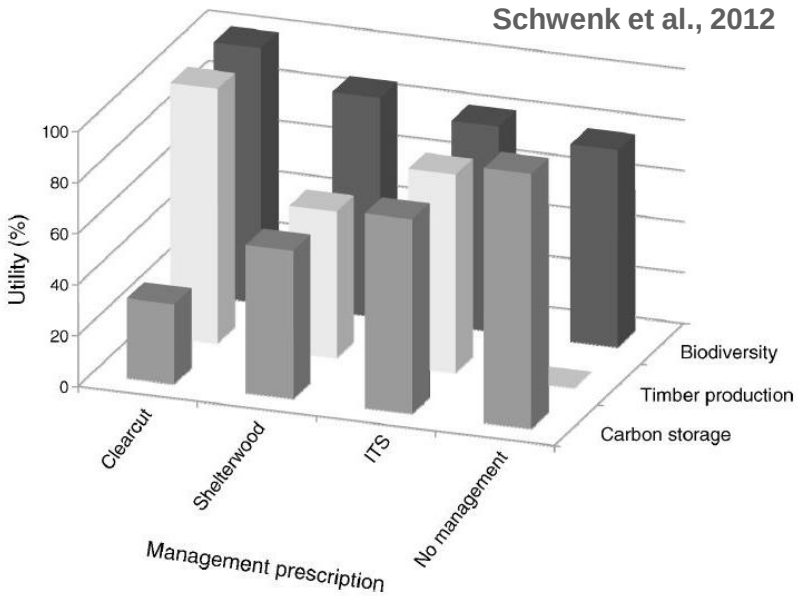
Expérimentation sylvicole

- **Complexe : lenteur des cycles, difficile contrôle des facteurs …**
- **Modèles simulation => support expérimentation** (Goreaud *et al.* 2005; Peng 2000; Pretzsch *et al.* 2008)

Ex. d'études (simulation) sur compromis entre SE

Etude	Gestion							Product.	Protect.	C	Biodiv.	O_2	Eau	F. sol	Analyse compromis
	-	FR	CP	FI	CD	CF	B								
Schwenk et al. 2012	X	X	X	X				X		X	X (oiseaux)				MCDA Somme Pondérée
Baskent et al. 2008 & 2009	X	X	X	X				X X		X X		X	X		- Somme $ / SE
Buongiorno et al. 2012				X				X		X					???
Duncker et al. 2012	X	X			X		X	X biomasse		X	X (BM, GB, compo, habitats)		X	X	ACP
Seidl et al. 2007	X	X			X	X		X		X	X (BM, Compo. naturalité)				Coûts
Temperli et al. 2013		X		X				X			X (Compo., structure)				-

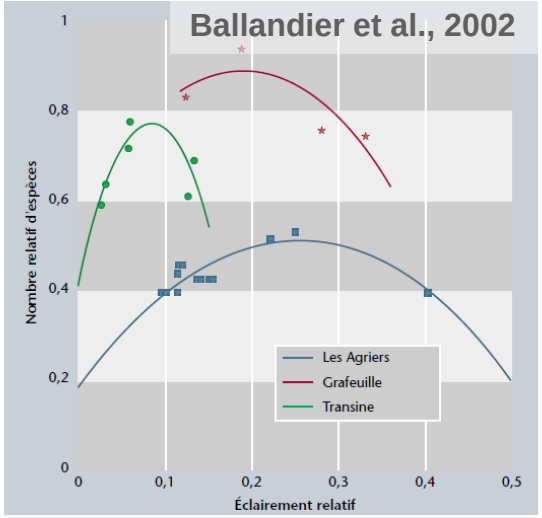
Objectif & hypothèses



- **Objectif**

Etudier la réponse des SE (prod. & biodiv.) à la gestion (paramètres sylvicoles)

- **Hypothèses**
  - **Les indicateurs répondent différemment à la gestion**
  - **Solutions optimales peu probable**
  - **Situations de compromis entre indicateurs :**
    - **entre SE différents**
    - **entre indicateurs d'un même SE**

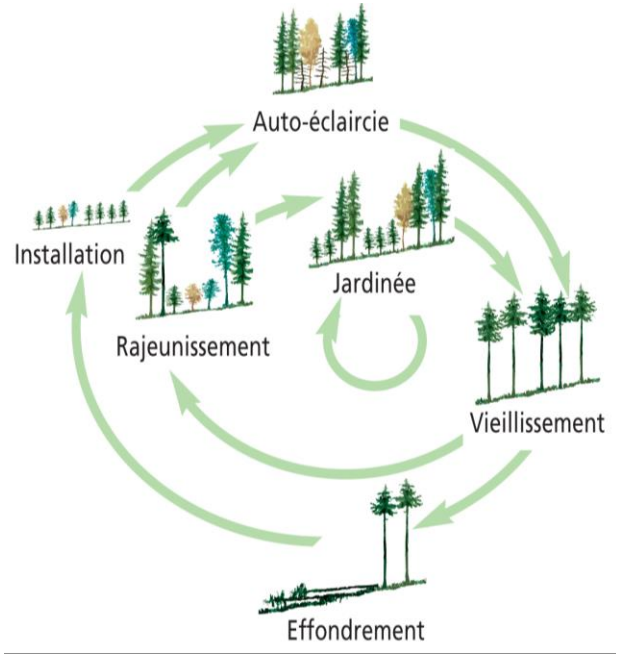


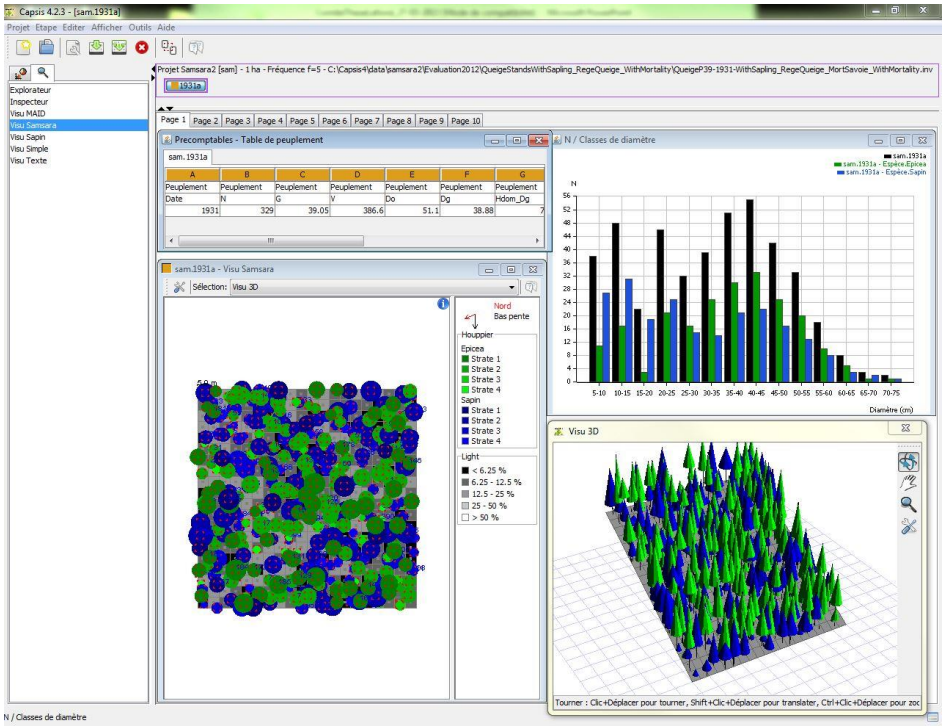
Contexte étude

- **Forêts de montagne**
  - **Alpes du Nord**
  - **Puis Jura**

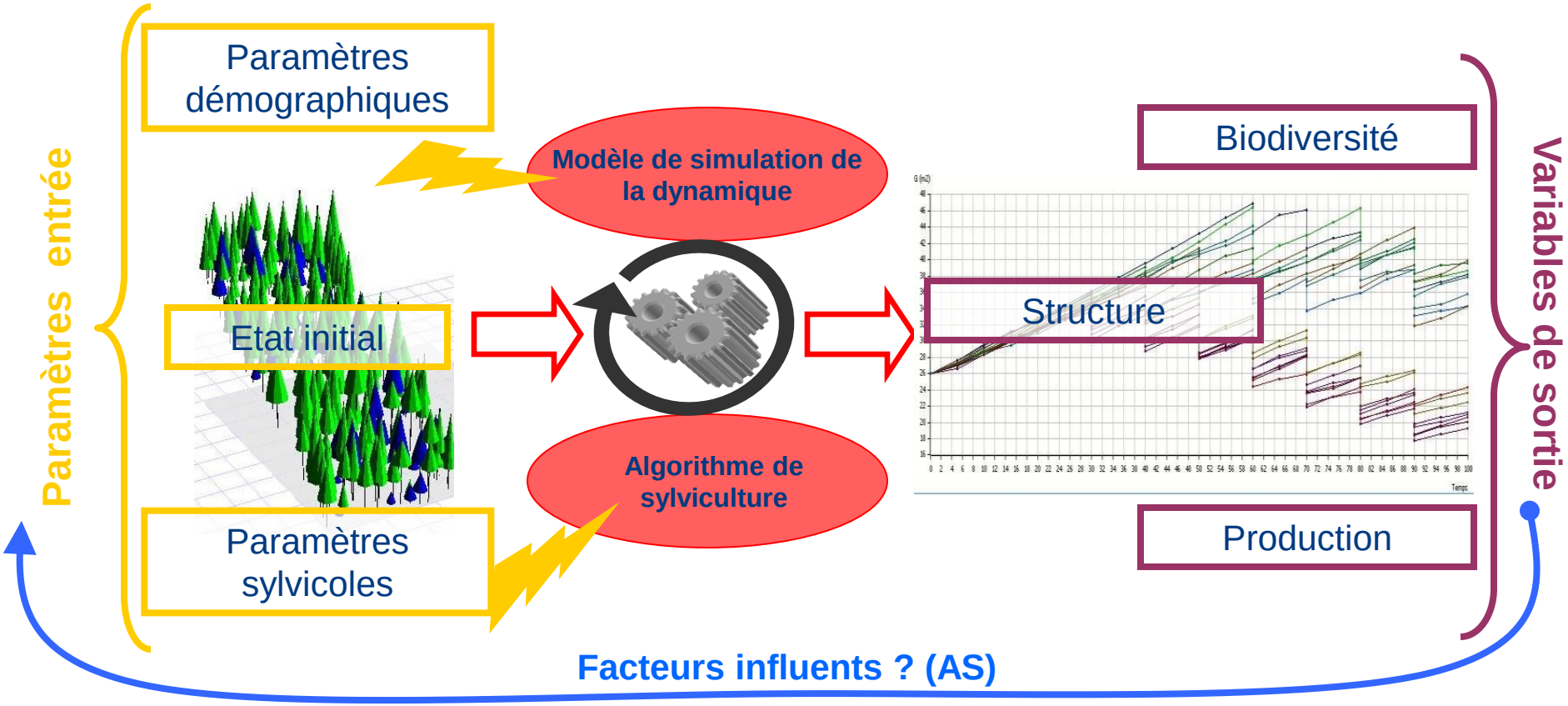
- **Peuplements hétérogènes**
  - **Irréguliers**
  - **Mixtes : sapin et épicéa**

- **Gestion en futaie irrégulière**
  - **Coupe tous les 10 ans**
  - **Combinaison d'opérations**





Démarche d'expérimentation par simulation



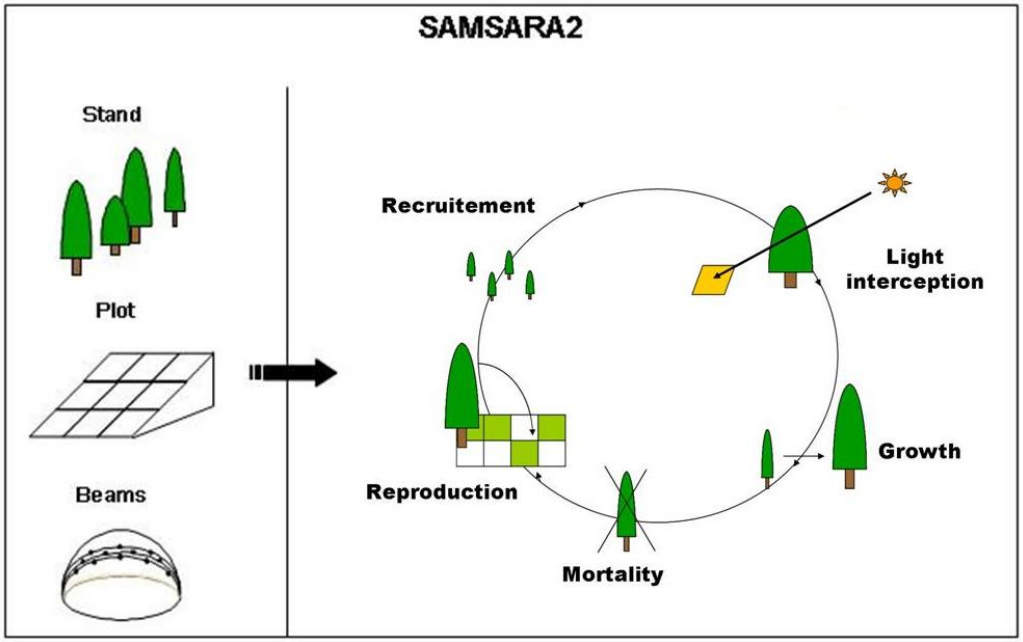
Présentation de Samsara2

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

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

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

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



- **Modèles :**
  - ✓ **Croissance***
  - ✓ **Mortalité**
  - ✓ **Recrutement**
  - ✓ **Relations allométriques***

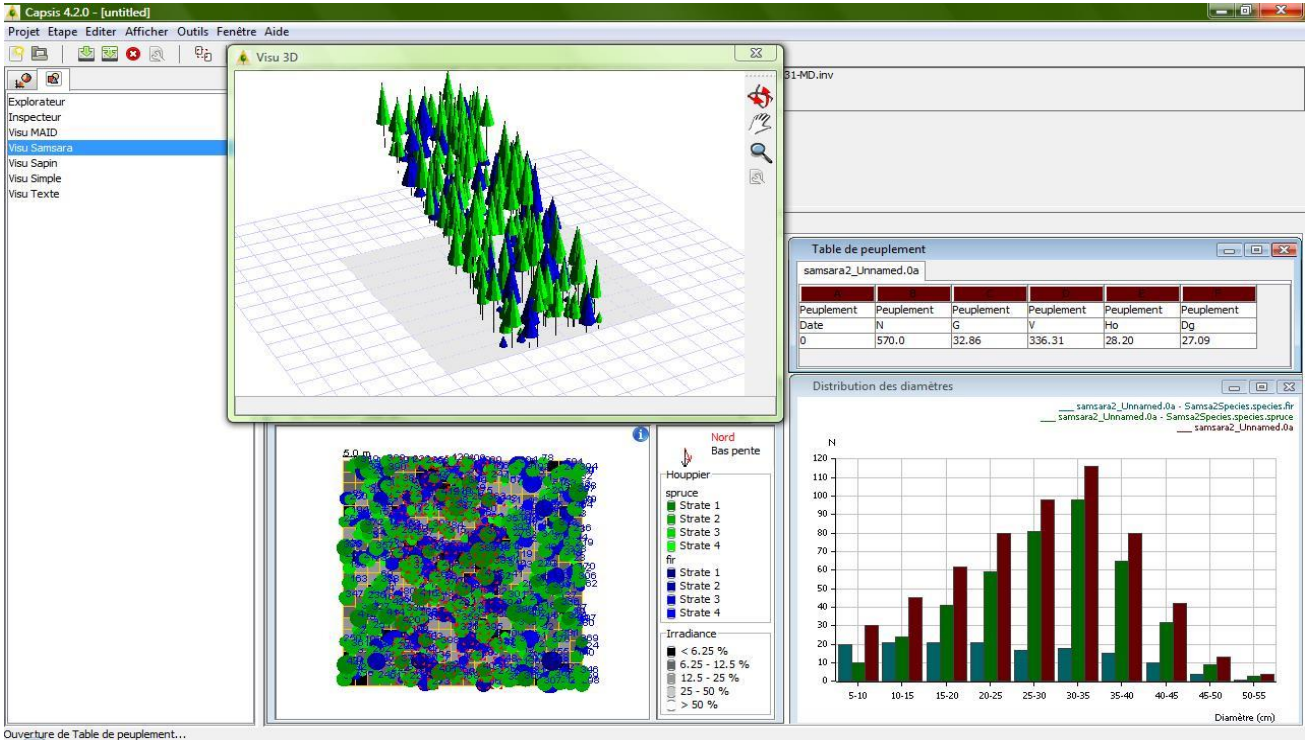
* **Modulation par variabilité individuelle** (thèse G. Vieilledent)

- **θ performance indiv. des arbres**
- **tirage aléatoire dans distributions (à la création)**

Présentation de Samsara2

(Gauquelin et Courbaud 2006)

- **Calibration de Samsara2**
  - Alpes du Nord, sapinières-pessières irrégulières
  - Echelle individu
  - Données
    - *Données IFN (Savoie)*
    - *Placettes permanentes (Queige)*



- **Fonctionnement**

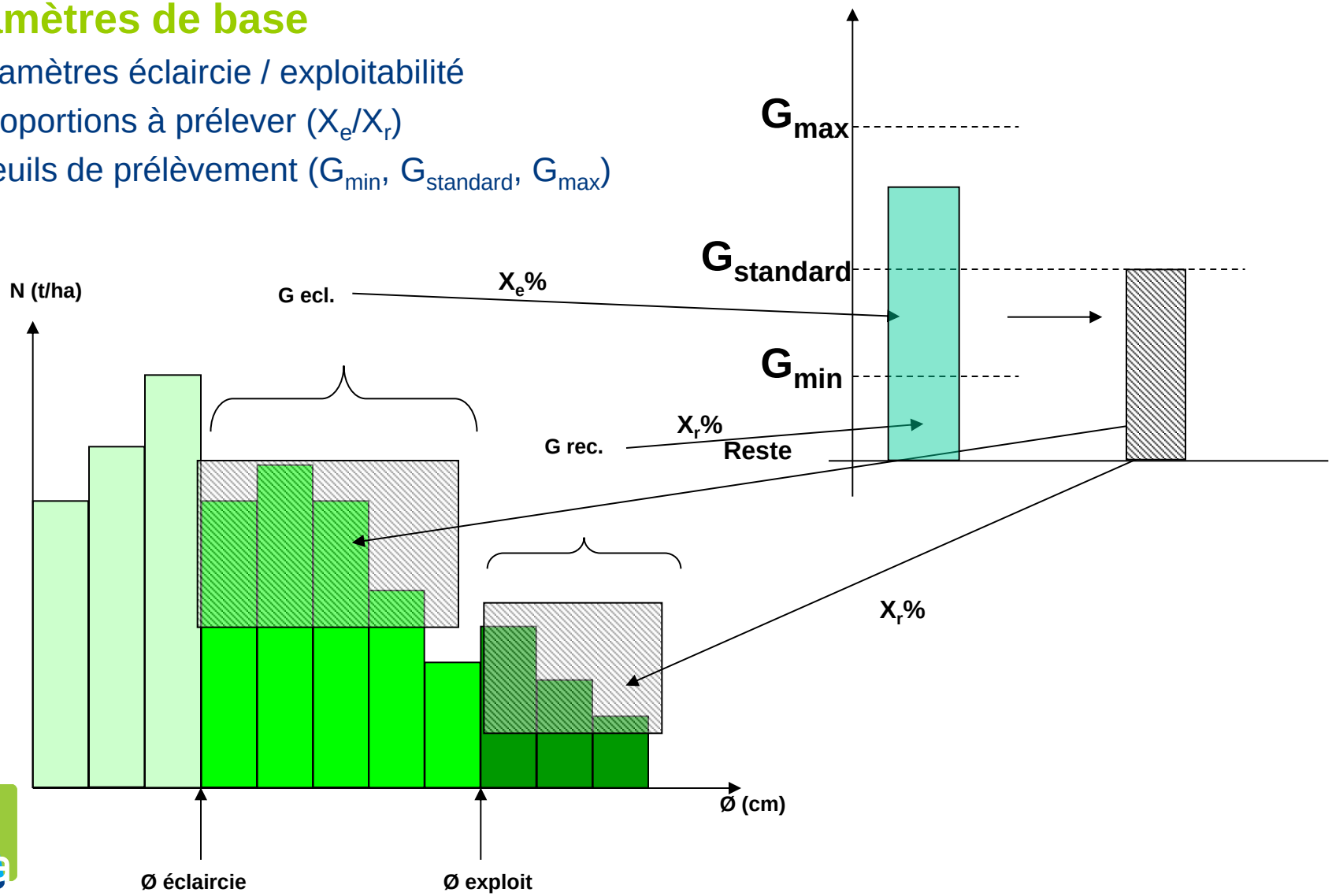
Plateforme de simulation Capsis4

(de Coligny 2005, de Coligny 2007, Dufour-Kowalski et al. 2012)

Modélisation de la gestion => Algorithme

Paramètres de base

- Diamètres éclaircie / exploitabilité
- Proportions à prélever (X_e/X_r)
- Seuils de prélèvement (G_{min}, $G_{standard}$, G_{max})

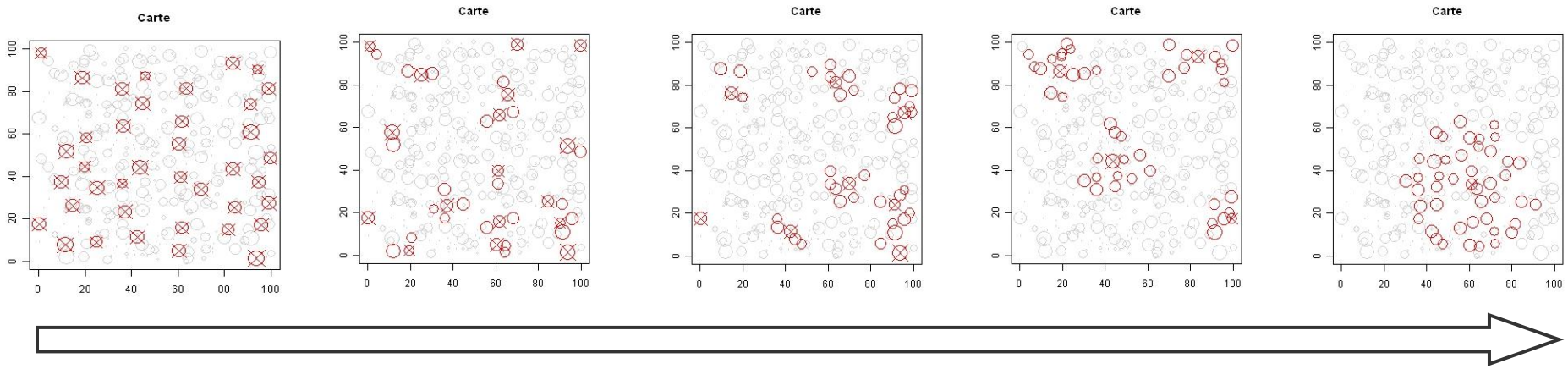


Modélisation de la gestion => Algorithme

Paramètres de sélection spatiale

- **Aire d'agrégation maximale**
  - ⇒ **Pieds à pieds**
  - ⇒ **Prélèvements par groupes ou trouées**

- **Distance tampon entre arbres récoltés et entre agrégats → Mise à distance**



Aire d'agrégation des prélèvements

Modélisation de la gestion => Algorithme

Paramètres de sélection individuelle

Tirage aléatoire pondéré, 2 types de pondération :

- **Proportion de l'espèce ➔ Préserver semenciers espèce minoritaire**
- **« Densité locale » ➔ Récolte prioritaire des gros bois**
  ➔ Ciblage des zones denses (trouées)

Valeur et combinaison des pondérations => Différentes stratégies possibles !

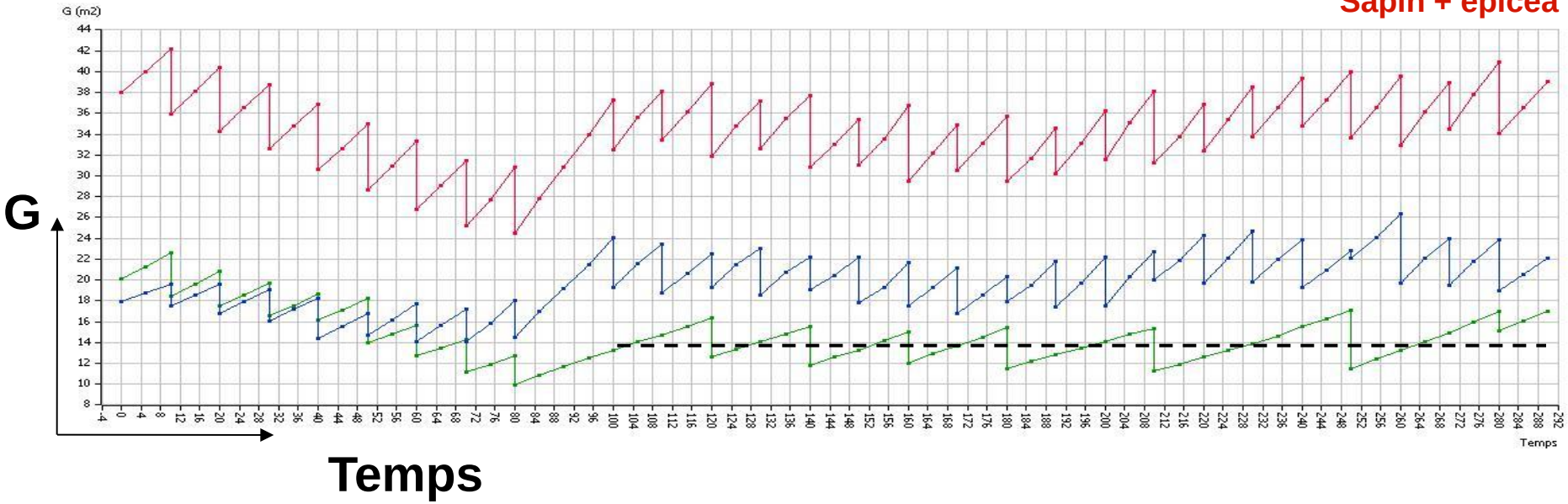
Valeur des puissances de pondération		Hiérarchie des paramètres de sélection			Type de sélection obtenu
Proportion espèce	Densité locale	Proportion espèce	Densité locale	Autres paramètres	
0	0	-	-	1	Sélection totalement aléatoire
0	10	-	1	2	Concentration sur les gros bois avec possibilité d'exceptions
10	0	1	-	2	Concentration sur les espèces majoritaires avec possibilité d'exceptions
10	10	1	1	2	Concentration sur les gros bois des espèces majoritaires avec possibilité d'exceptions
10	100	2	1	3	Récolte prioritaire des gros bois concentration sur les espèces majoritaires, pratiquement aucune exception

Modélisation de la gestion => Algorithme

Paramètres de conservation de la biodiversité

- **Espèce minoritaire : si % espèce < ratio ➔ espèce non récoltée**
- **Gros arbres à conservés en vieillissement (les N plus gros)**
- **Arbres morts : % V bois mort prélevé**

Légende
Sapin
Epicéa
Sapin + épicéa



➢ **Bilan : un algorithme multi-stratégies (15 paramètres !)**

Article (présentation + illustration) accepté dans *Annals of Forest Science*

Variables de sortie

- **Structure, durabilité :**

G, varG, $N_{perches}$, Diversité des diamètres (Gini sur G)

- **Indicateurs production :**

V_{rec}, $varV_{rec}$, Dg_{rec}, % rotations sans coupe

- **Indicateurs biodiversité** => indirects !
  - Arborée : taux de mélange (%$G_{épicéa}$)
  - Floristique : diversité espèces (groupe)

    Modèles = f (structure, composition) (F.Gosselin)
  - Micro-habitats: $G_{(GB,TGB)}$
  - Faune saproxylique :

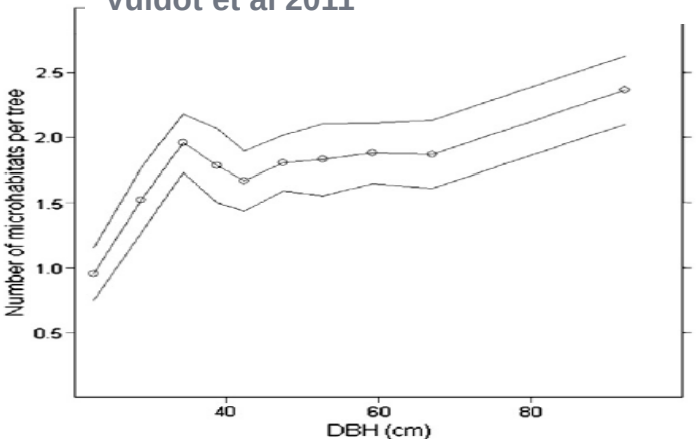
Volume et diversité (*) du bois mort

Modélisation du compartiment bois mort

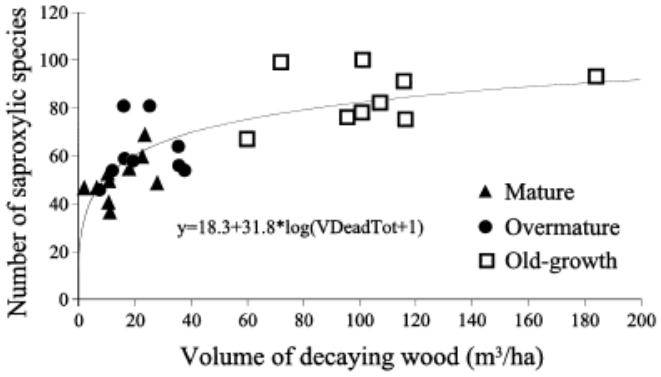
+ décomposition

* Adapté de Brin et al. (2009) : diam. x décomp.

Vuidot et al 2011

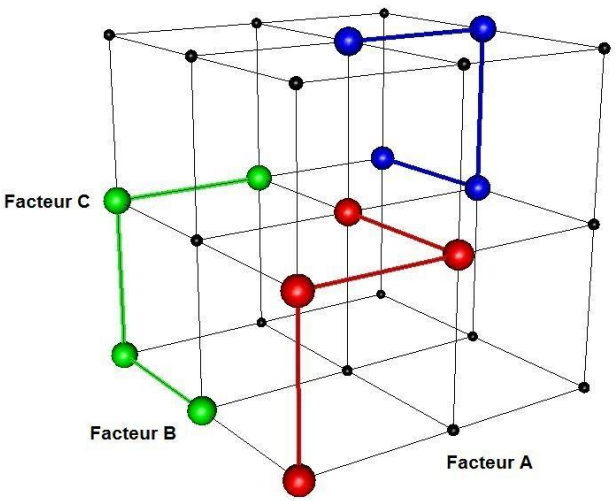


Martikainen et al 2000



Analyse de sensibilité

- **Screening / méthode de Morris**
  - Coût faible : r (p+1) combinaisons
- **Variation paramètres :**
  - Sylvicoles : 4 ou 6 niveaux / facteur
  - Etat initial ? *
- **Simulation**
  - 150ans, rotation 10ans, analyse t = {50,100,150}



Ex. avec r = 3 trajectoires et p = 3 facteurs

Param_code	Param	Param_type	Default	infLim	supLim	nbLevels
dH	dHarvest	cutTarget	**52.5**	42.5	67.5	6
dT	dThin	cutTarget	**27.5**	17.5	32.5	4
gCx	gCutMax	cutQuantity	**8**	7	10	4
gCs	gCutStandard	cutQuantity	**6**	4	7	4
gCn	gCutMin	cutQuantity	**4**	1	4	4
hRx	harvestRatioMax	cutTarget	**0.5**	0.5	1	6
tRx	thinRatioMax	cutTarget	**0.2**	0	0.5	6
sWP	speciesWeightPower	indivSelec	**1**	0	10	4
hdWP	harvestingDensityWeightPower	indivSelec	**10**	0	10	4
tdWP	thinningDensityWeightPower	indivSelec	**0**	-2	4	4
mrC	mixRatioCrit	indivSelec	**0.2**	0	0.3	4
aaM	aAggregateMax	spatial	**500**	0	2500	6
dB	distBuffer	spatial	**10**	0	45	4
nbT	nBioTrees	biodiversity	**0**	0	6	4
dwpH	deadWoodProportionHarvested	biodiversity	**0.5**	0.25	1	4

* Plan d'expérience appliqué à 4 peuplements initiaux (structure x densité)

Analyse de sensibilité

- **Indices de Morris**

Effets élémentaires (EE)

⟹ **Effet moyen : μ***

⟹ **Variabilité : σ**

(non linéarité ou interactions)

- **Indice de sensibilité**

Distance euclidienne

⟹ **Rangs des facteurs**

$$eDist = \sqrt{\mu^{*2} + \sigma^2}$$

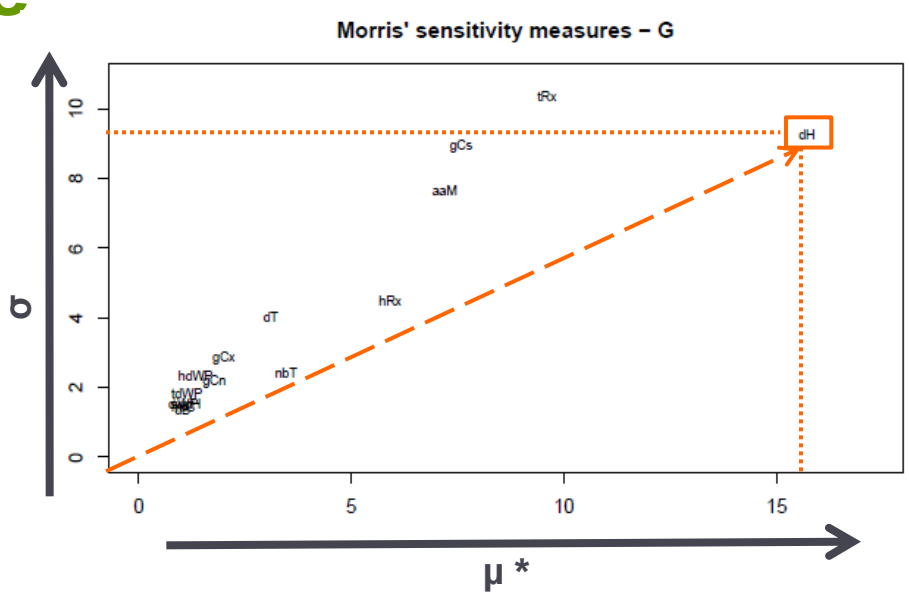
- **Classement**

⟹ **Somme des rangs**

⟹ **Ordre global**

5 facteurs influents :

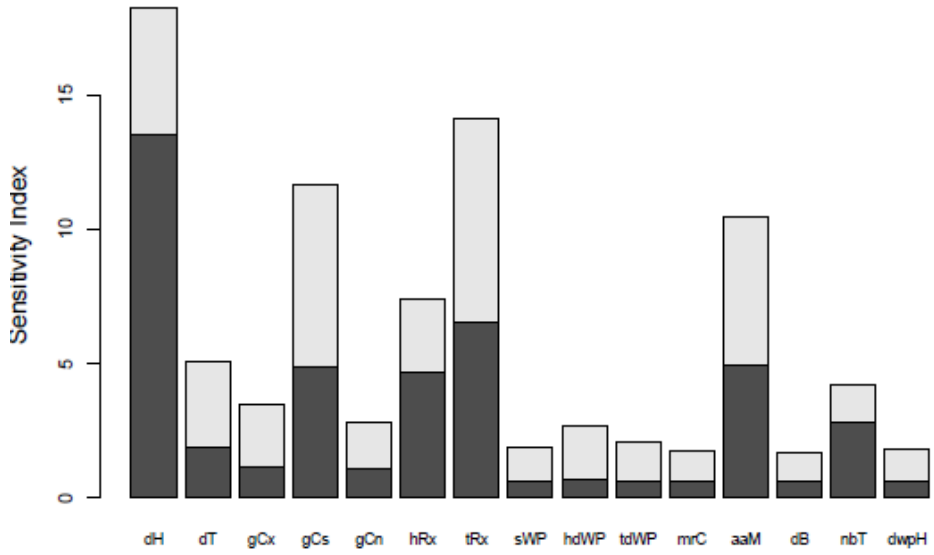
dH, tRx, aaM, gCs, hRx



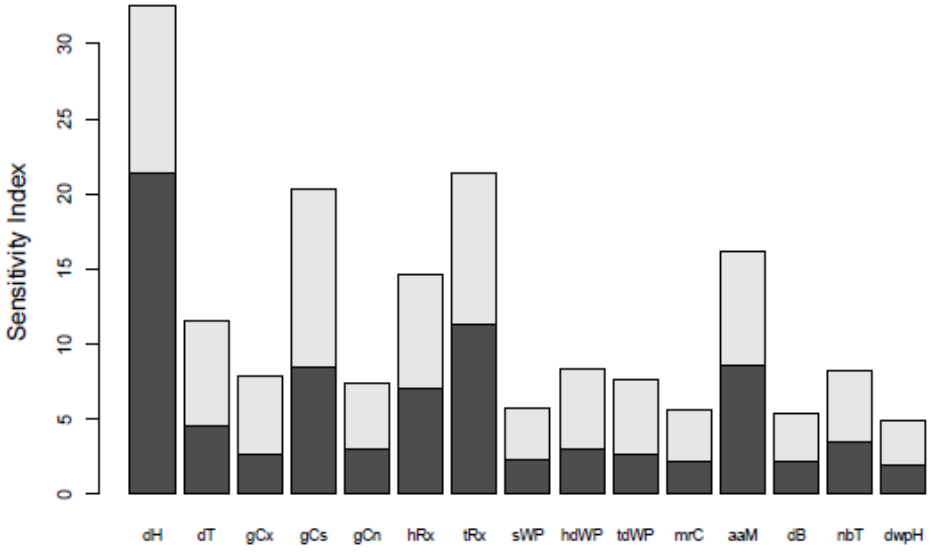
Factors	N	G	Dg	GiniG	PoleQty	varG	GGB	Vdw	Ddw	MixR	CutV	CutDg	varCutV	%Cut0	RankSum	GlobalRank
dH	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	**16**	**1**
dT	5	6	7	5	6	7	7	6	8	8	3	3	6	5	**82**	**6**
gCx	7	8	8	9	8	10	8	9	11	14	9	10	8	9	**128**	**9**
gCs	4	3	3	6	4	4	3	3	13	5	5	4	3	7	**67**	**4**
gCn	10	9	9	10	11	6	9	11	7	10	12	6	4	3	**117**	**8**
hRx	6	5	5	7	5	5	4	5	3	7	6	7	7	4	**76**	**5**
tRx	3	2	2	4	3	2	2	2	2	4	4	5	2	2	**39**	**2**
sWP	12	12	12	12	12	9	12	12	9	6	15	11	10	10	**154**	**12**
hdWP	8	10	10	11	9	14	10	7	15	9	8	12	14	14	**151**	**11**
tdWP	11	11	11	8	10	12	11	10	5	15	10	9	11	11	**145**	**10**
mrC	13	14	13	13	14	11	15	13	12	11	11	15	12	15	**182**	**13**
aaM	2	4	6	1	2	3	5	4	10	2	2	2	5	6	**54**	**3**
dB	15	15	15	15	13	13	14	14	14	12	13	13	13	12	**191**	**15**
nbT	9	7	4	2	7	8	6	8	4	3	7	8	9	8	**90**	**7**
dwpH	14	13	14	14	15	15	13	15	6	13	14	14	15	13	**188**	**14**

Détail indice de sensibilité pour : (à t=150 ans)

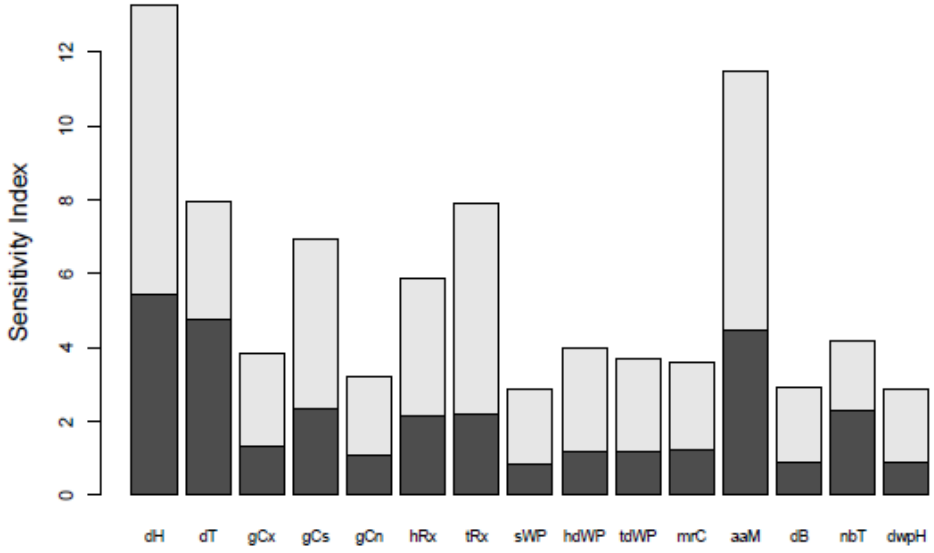
Surface terrière



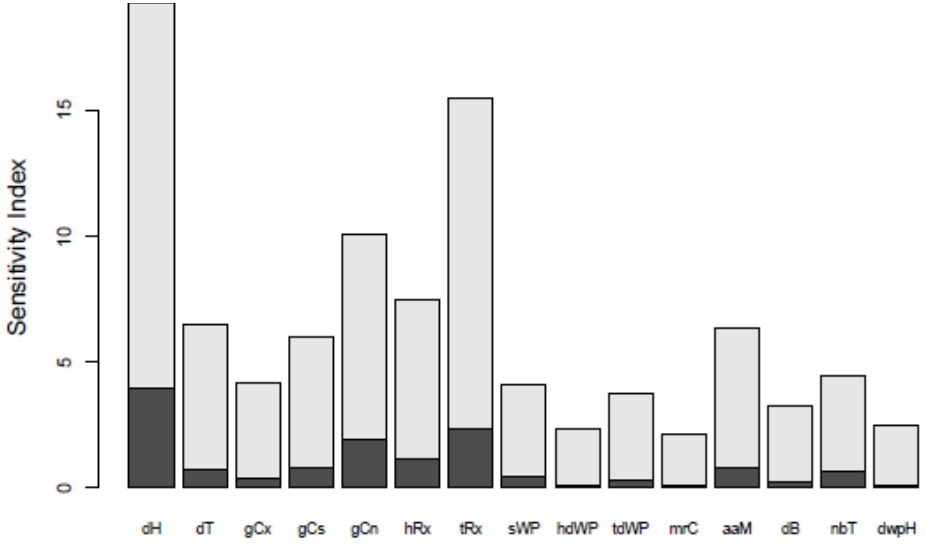
Volume de bois mort



Volume moyen récolté par rotation

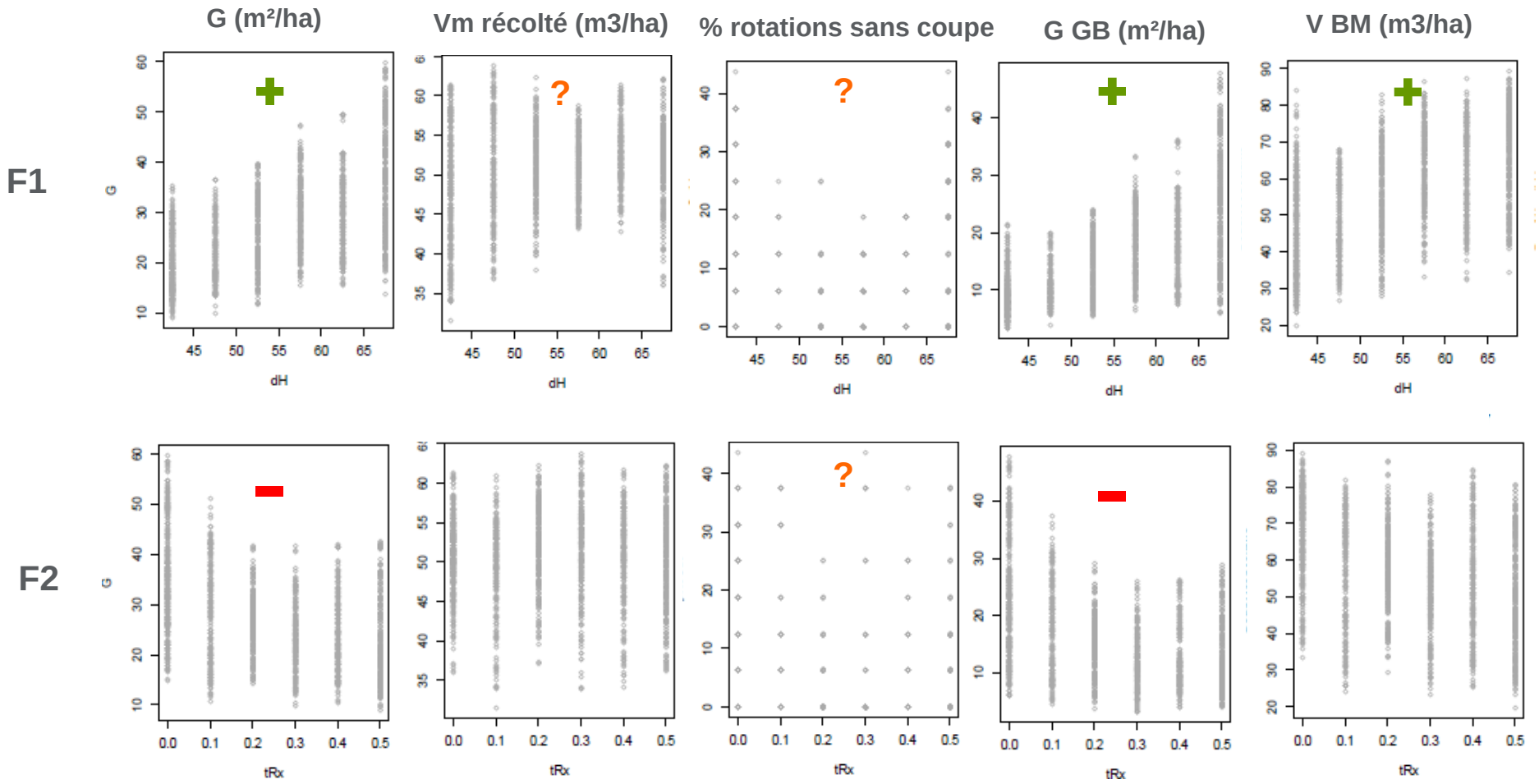


% de rotations sans coupe



Relations indicateurs - facteurs

- **Réponses de 5 variables (à t = 150 ans) aux deux facteurs les plus influents :**
  - Effet du diamètre d' exploitabilité (F1 = dH, en haut)
  - Proportion max d'éclaircie (F2 = tRx, enbas) sur 5 variables



Bilan résultats AS

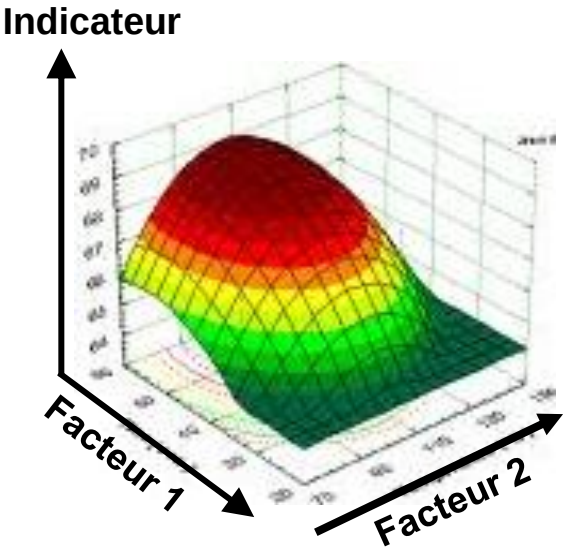
- **Résultats**

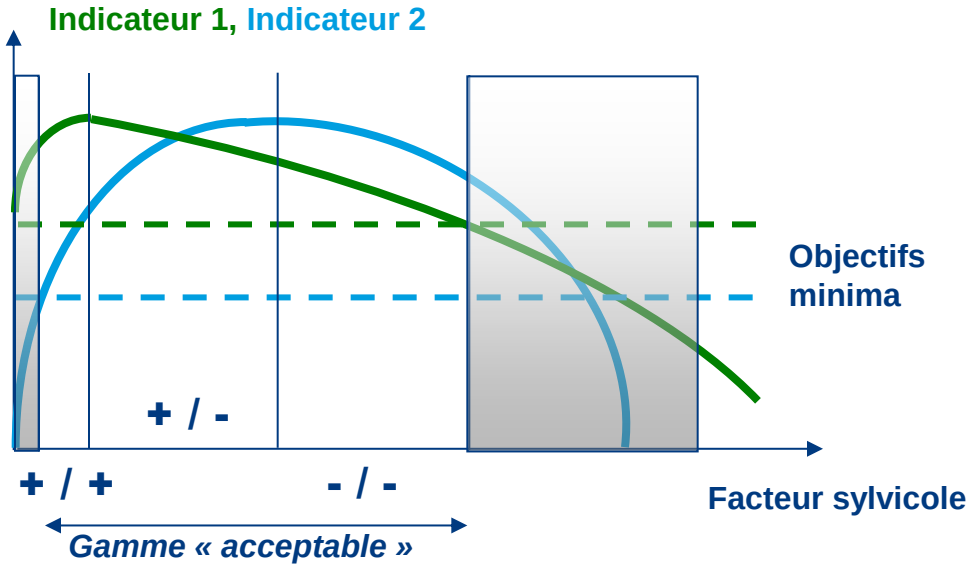
Fact. Infl.?	Diam. rec & ecl		% Prel. rec & ecl		Niveaux prélèvement			Spatial		Pondérations esp & densité loc.			Conserv. Biodiv Esp. / TGB / BM		
	dH	dT	hRx	tRx	gCn	gCs	gCx	aaM	dB	sWP	hdDW	tdWP	mrC	nbT	dwpH
Oui	X		X	X		X		X							
Peu		X			X		X							X	
Non									X	X	X	X	X		X

- **Résultats « robustes »**
  - **Peu d'effet « date »**
  - **Effet faible de l'« état initial » ?**

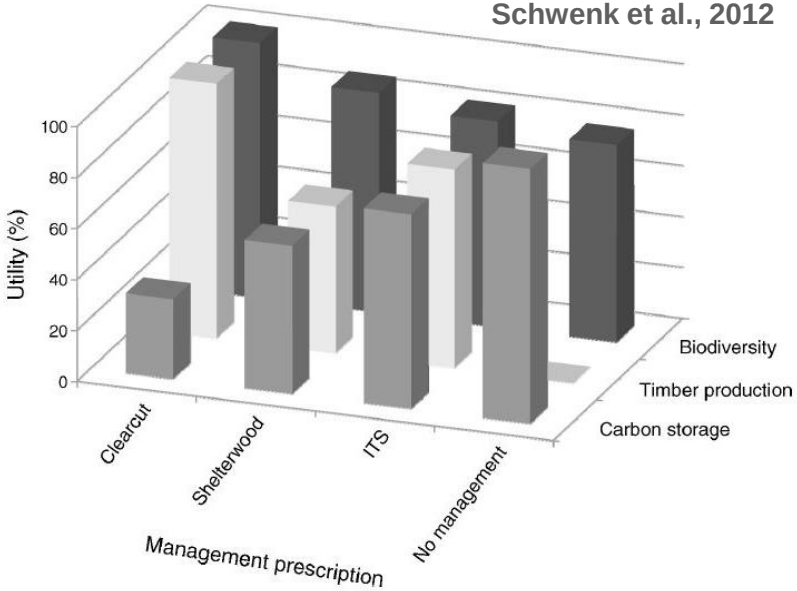
Perspectives - poursuite démarche

- **Poursuite démarche AS**
  - **2ème AS sur plan réduit**
  - **Métamodèle, surface de réponse**
  - **Interactions ordre 3**
- **Compromis entre SE ?**
  - **Analyse multicritère**





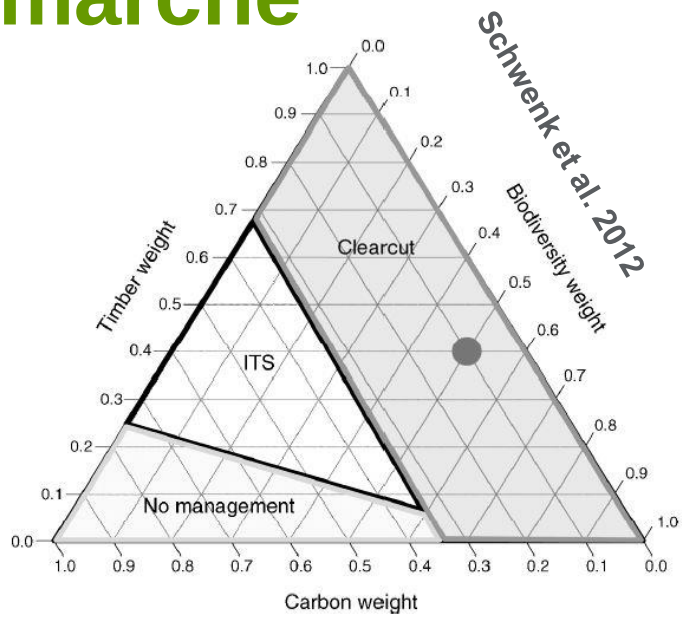
Schwenk et al., 2012

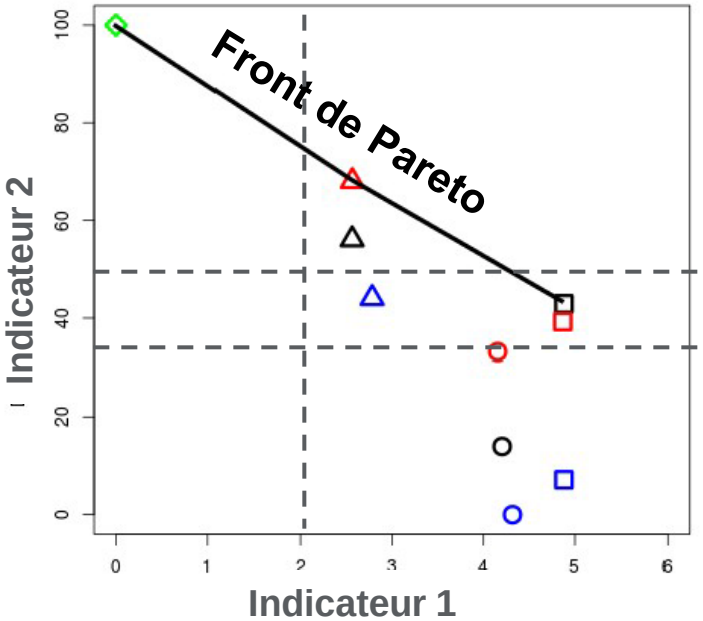


Perspectives - poursuite démarche

- **Analyse multicritère**
  - Pbs avec somme pondérée
  - Front de Pareto
    - Solutions « efficaces »
    - Recentrer l'étude

- **Sélection et analyse des scénarios**
  - Scénarios « favorables »
    - Niveaux « acceptables » / indic.
    - Compromis production-biodiversité
  - Démarche interactive (gestionnaires)
    - Seuils min / indic.
    - Filtre et analyse des scénarios
    - Discussion





Références bibliographiques

- **Baskent E.Z. and S. Keleş, 2009.** Developing alternative forest management planning strategies incorporating timber, water and carbon values: An examination of their interactions. Environmental Modeling and Assessment 14(4): 467-480.
- **Baskent E.Z., S. Keles and H.A. Yolasigmaz, 2008.** Comparing multipurpose forest management with timber management, incorporating timber, carbon and oxygen values: A case study. Scand. J. Forest Res. 23(2): 105-120.
- **Buongiorno J., E.A. Halvorsen, O.M. Bollandsas, T. Gobakken and O. Hofstad, 2012.** Optimizing management regimes for carbon storage and other benefits in uneven-aged stands dominated by Norway spruce, with a derivation of the economic supply of carbon storage. Scand. J. Forest Res. 27(5): 460-473.
- **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.

Références bibliographiques

- **Dufour-Kowalski S., B. Courbaud, P. Dreyfus, C. Meredieu and F. de Coligny, 2012.** Capsis: an open software framework and community for forest growth modelling. Ann. For. Sci. 69(2): 221-233.
- **Duncker P.S., K. Raulund-Rasmussen, P. Gundersen, K. Katzensteiner, J. De Jong, H.P. Ravn, M. Smith, O. Eckmüllner and H. Spiecker, 2012.** How Forest Management affects Ecosystem Services, including Timber Production and Economic Return: Synergies and Trade-Offs. Ecol. Soc. 17(4).
- **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.
- **Lafond, V., Cordonnier, T., de Coligny, F. et Courbaud, B. 2012.** Reconstructing harvesting diameter distributions from synthetic data in uneven-aged selection forests. Ann For Sci, 69 (2):235-243.
- **Lafond, V., Lagarrigues, G., Cordonnier, T., et Courbaud, B. 2013, *accepted*.** Uneven-aged management options to promote forest resilience for climate change adaptation: effects of group selection and harvesting intensity. Ann For Sci **Morris, M. 1991.** Factorial Sampling Plans for Preliminary Computational Experiments. Technometrics 33, 161-174**.**
- **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.

Références bibliographiques

- **Schütz, J.P. 1997.** Sylviculture 2. La gestion des forets irrégulières et mélangées. Presses polytechniques et universitaires romandes. 178 p.
- **Schwenk W.S., T.M. Donovan, W.S. Keeton and J.S. Nunery, 2012.** Carbon storage, timber production, and biodiversity: comparing ecosystem services with multi-criteria decision analysis. Ecol. Appl. 22(5): 1612-1627.
- **Seidl R., W. Rammer, D. Jager, W.S. Currie and M.J. Lexer, 2007.** Assessing trade-offs between carbon sequestration and timber production within a framework of multi-purpose forestry in Austria. For. Ecol. Manage. 248(1-2): 64-79.
- **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.
- **Temperli C., H.K.M. Bugmann and C. Elkin, 2012.** Adaptive management for competing forest goods and services under climate change. Ecol. Appl.
- **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.