

Effet de la gestion sur les services écosystémiques des forêts hétérogènes de montagne :

Analyse du compromis production- biodiversité par simulation

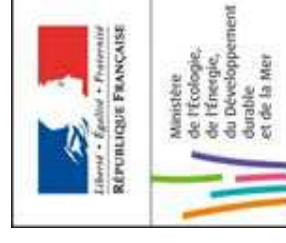
Valentine Lafond – Thomas Cordonnier – Benoît Courbaud

Colloque FORGECO – 3-4 décembre 2013

Pour mieux
affirmer
ses missions,
le Cemagref
devient Irstea



www.irstea.fr





Introduction

- Des forêts de montagne très multifonctionnelles / rendent de nombreux services écosystémiques (SE)

- Production de bois
- Stockage de carbone
- Protection (chute de blocs, érosion, avalanches...)
- Réservoir de biodiversité
- Recréation
- Esthétique...





Introduction

■ Produire plus tout en préservant mieux la biodiversité ?

(Assises de la forêt 2006, Grenelle 2007)

PRODUIRE PLUS DE BOIS

- Augmentation des prélèvements
- Vers une gestion plus « intensive » / « dynamique » ? (Legay et al. 2007)

↓ Diamètre d'exploitabilité

↓ Stock (et gros bois)

Compatibilité ?

MIEUX PRÉSERVER LA BIODIVERSITÉ

- Favoriser l'hétérogénéité des forêts ?
 - Espèces, tailles, structures spatiales
 - ⇒ Diversité de niches
- Conserver les attributs favorables à la biodiversité (Bauhus et al. 2009)
 - Gros et très gros bois
 - Bois mort (sol / debout)
 - Arbres porteurs de micro-habitats

(Lassauce et al. 2011; Vuidot et al. 2011; Winter et Möller 2008)





Introduction

■ Questions

- Quels leviers de dynamisation en futaie irrégulière ?
- Quels effets sur les différents SE?

■ Objectif

- Étudier la réponse des SE (production & biodiversité) aux leviers de gestion en futaie irrégulière

■ Hypothèses

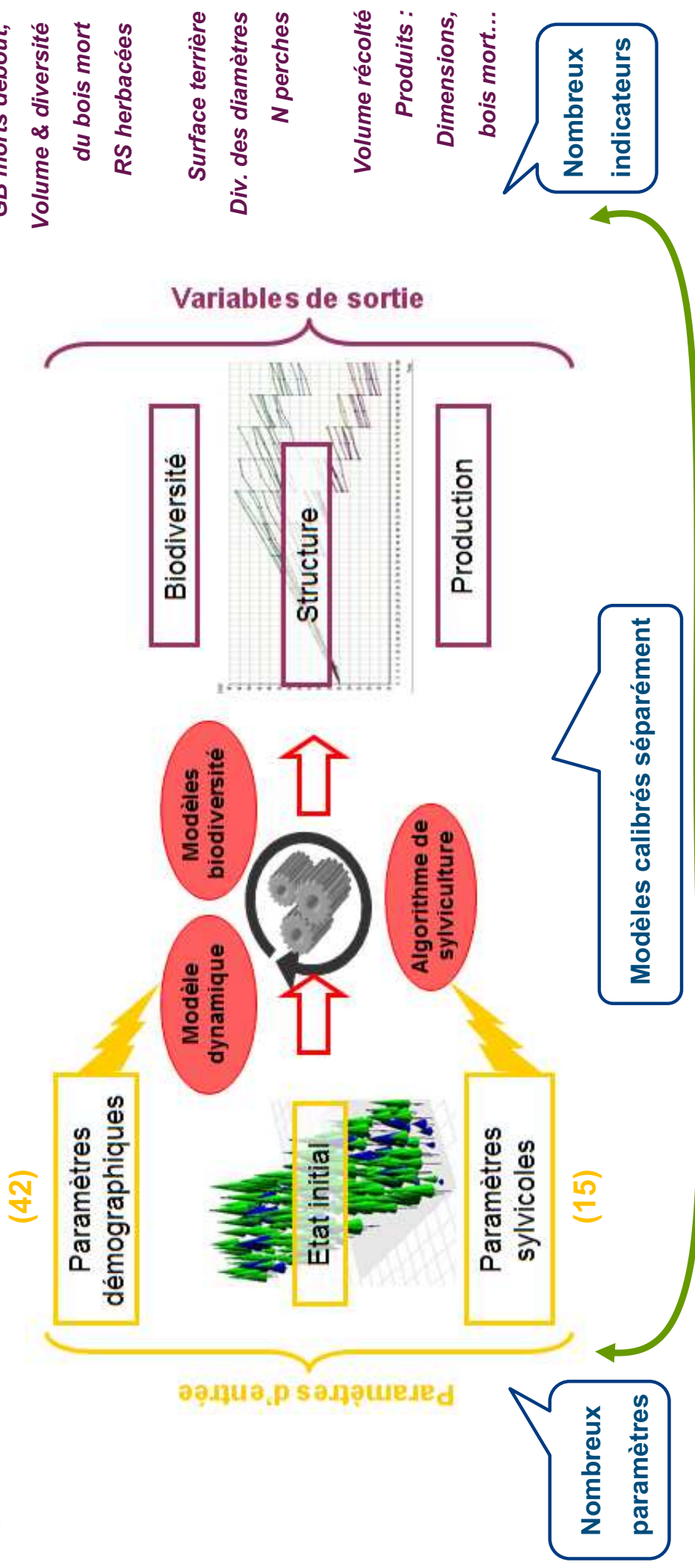
- Les indicateurs répondent différemment à la gestion

⇒ Situations de compromis entre indicateurs

- Compromis assurés par gestion d'intensité intermédiaire ?



Matériel et méthode



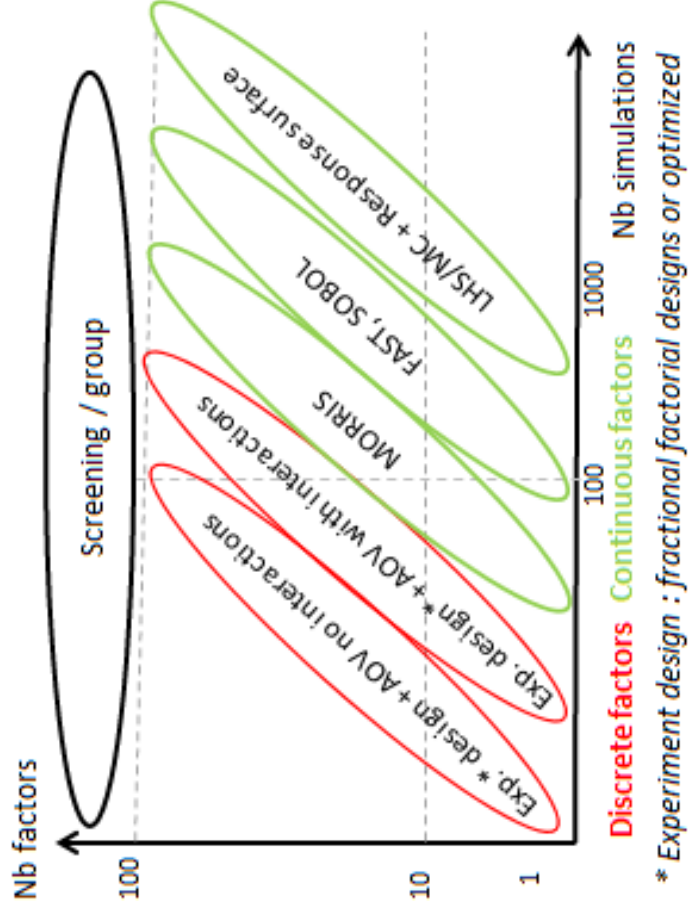
Analyse de sensibilité => étude de la réponse des indicateurs aux variations des paramètres d'entrée

- Cohérence, comportement du système?
- Facteurs influents / non influents ?
 - Plan d'expérience ?



Matériel et méthode

- Choix de la technique d'analyse de sensibilité (AS) ?
 - Nombreuses techniques disponibles
 - Si temps de simulation long et/ou nombreux facteurs et/ou modèle stochastique
 - Méthode de Morris (Morris 1991; Campolongo et al. 2007)

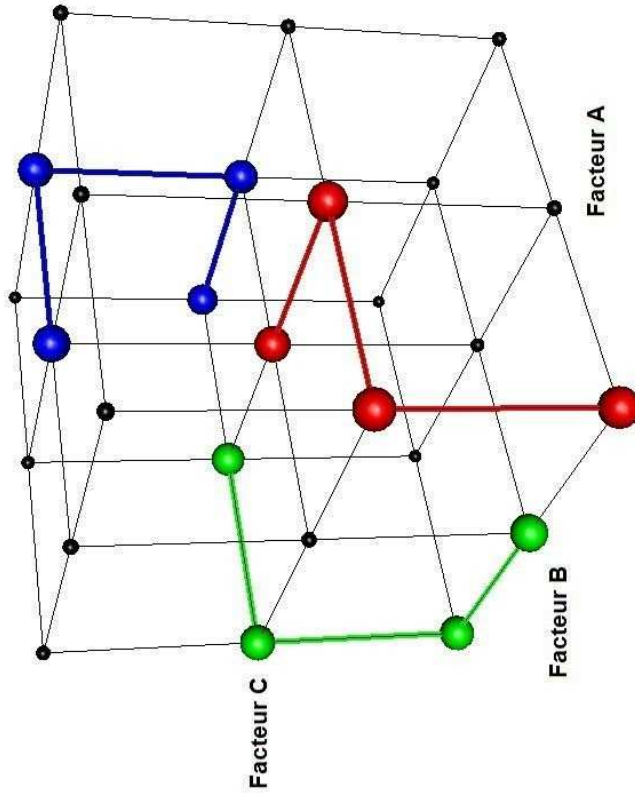


Adapted from S. Mahévas



MEXICO

Exploration de l'espace factoriel
avec la méthode de Morris
(ex. avec 3 facteurs et 3 trajectoires)





Matériel et méthode

- Facteurs testés et plan d'expérience
 - 16 facteurs : 15 paramètres algorithmes sylviculture + « effet peuplement »
 - 4 ou 6 modalités / facteur : 1700 combinaisons testés (parmi 1.2×10^9)

Code	Paramètre	min	max	nb niveaux	Échelle
dH	diamètre d'exploitabilité (cm)	42.5	67.5	6	classique
dT	diamètre d'éclaircie (cm)	17.5	32.5	4	classique
gCx	prélèvement maximum par coupe (m²)	7	12	6	classique
gCs	prélèvement standard par coupe (m²)	4	7	4	classique
gCn	prélèvement minimum par coupe (m²)	1	4	4	classique
hRx	% de récolte (en surface terrière) dans les arbres de diamètre $d \geq dH$	0.25	1	6	classique
tRx	% d'éclaircie (en surface terrière) dans les arbres de diamètre $dT \leq d < dH$	0	0.5	6	classique
sWP	puissance de pondération liée à la proportion de l'espèce	0.1	100	4	log10
hdWP	puissance de pondération liée au diamètre des arbres pour la récolte	0.1	100	4	log10
tdWP	puissance de pondération liée au diamètre des arbres pour l'éclaircie	0.1	100	4	log10
aaM	surface maximale des trouées (m²)	1	2500	6	log10
dB	distance tampon entre arbres ou groupes récoltés (m)	0	15	4	classique
nbT	nb d'arbres préservés pour la biodiversité (nb/ha)	0	6	4	classique
dwrpH	% des arbres morts frais récoltés	0	1	6	classique
mrC	Seuil de préservation des essences minoritaires (% surface terrière min)	0	0.3	4	classique

Arbres cibles (diamètres)

Quantités & proportions prélevées

Arbres cibles proba. de coupe = f(diamètre, espèce)

Structure spatiale des prélèvements

Préservation de la biodiversité (arbres bio, bois mort, espèces minoritaires)



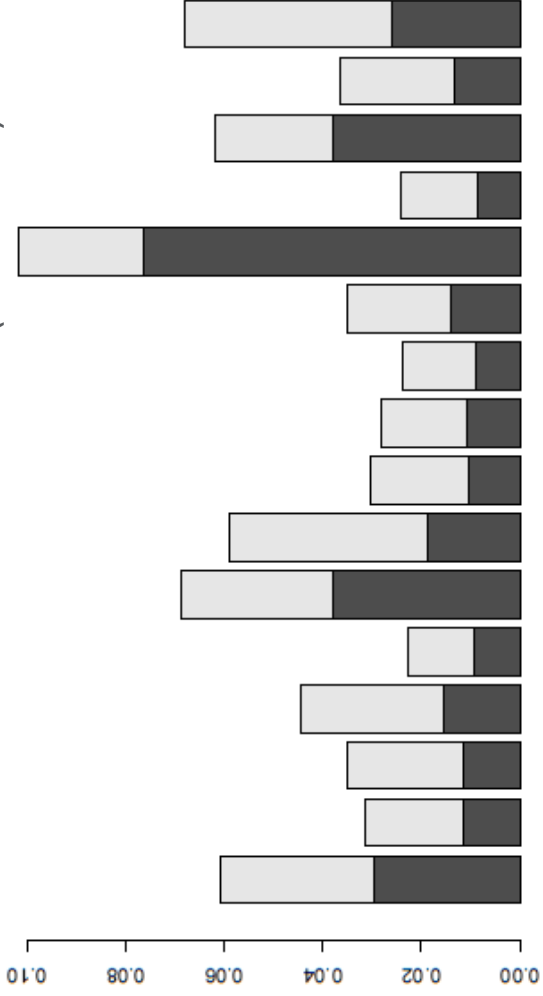
Résultats

Légende :

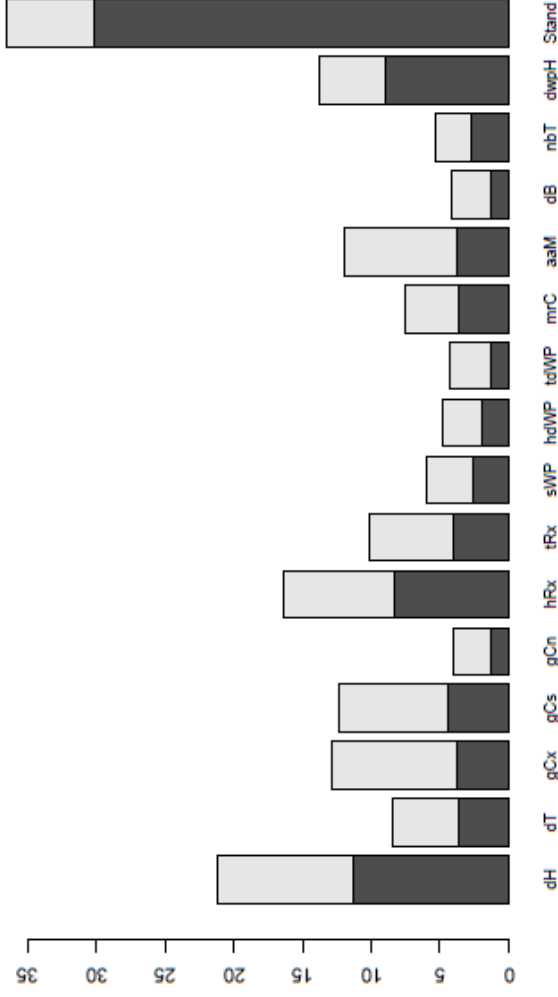
- effet principal
- interactions ou non linéarité

9

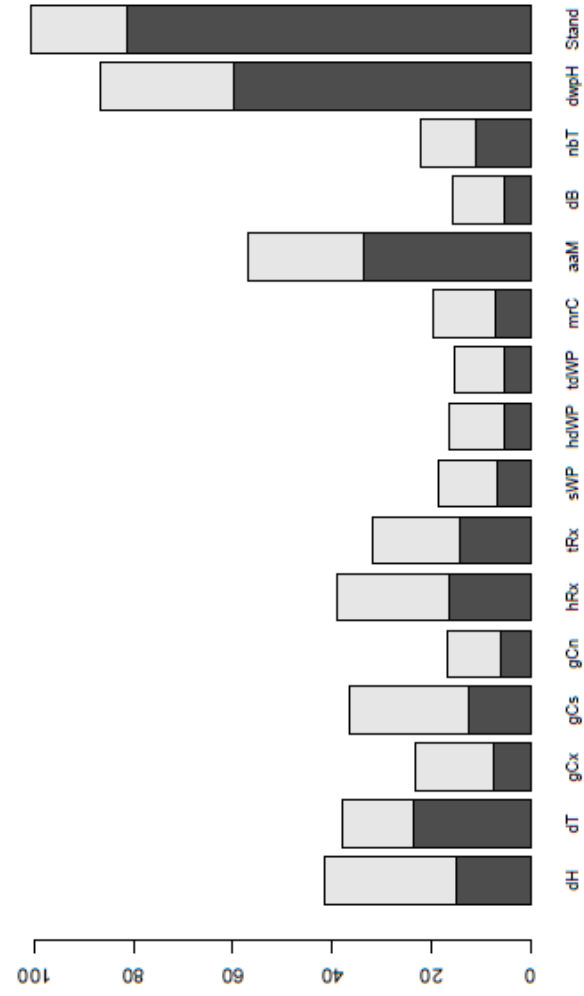
STRUCTURE - Diversité des diamètres (indice de Gini)



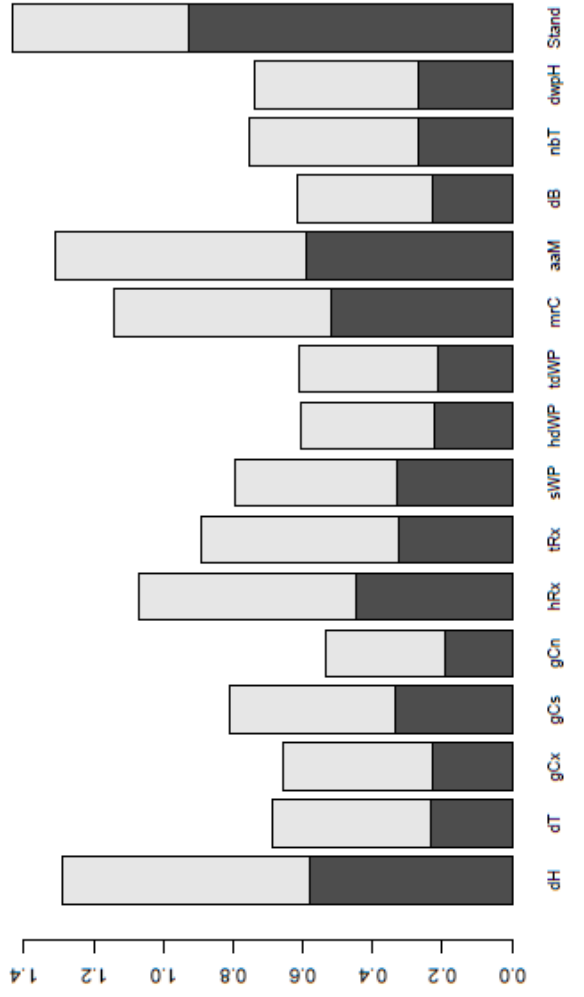
PRODUCTION – Volume de bois récolté (m3/ha/10ans)



BIODIVERSITÉ– Volume de bois mort (m3/ha)



BIODIVERSITÉ– Nb d'espèces herbacées héliophiles (/placette)





Résultats

Légende :

- Facteur très influent
- Facteur influent
- Facteur moyennement influent

10

Facteurs	Durabilité					Biodiversité										Production				Total			
	Stock Structure		Perches			Arbres		Bois Mort		RS Scia.		RS Interm.		RS Helio.		Produits							
	G	Gini	ICE	Nb	% Ep.	D	Nb TGB	Vol. BMG	Vol. BMF	Div. BM	Nb GB	moy.	SD	moy.	SD	moy.	SD	Vol. Rec.	Dg Rec.		PPD	% Ep.	Σ des rangs Global
dH	2	5	2	3	5	5	4	4	2	5	4	2	4	4	3	3	2	1	3	2	69	3	
dT	9	11	8	12	12	14	11	6	11	3	10	8	15	10	8	11	11	9	8	9	8	204	10
gCx	7	9	10	11	13	11	6	9	4	9	6	11	9	5	6	12	10	5	10	11	14	188	9
gCs	6	7	7	8	6	10	5	7	8	8	7	7	6	6	7	7	7	6	6	7	10	148	7
gCn	13	16	16	14	16	16	14	13	14	12	12	16	13	15	14	16	15	16	9	5	3	278	13
hRx	3	2	4	4	7	6	2	5	6	4	3	4	5	3	3	5	6	3	7	6	5	93	4
tRx	5	6	5	5	2	7	7	8	5	6	8	6	7	7	5	6	4	8	5	4	4	120	5
sWP	10	12	13	7	4	4	13	12	10	13	13	12	10	12	16	8	13	11	12	14	12	231	12
hdWP	14	13	12	15	15	12	12	14	15	14	15	14	12	14	13	15	12	13	13	15	9	281	14
tdWP	15	15	11	13	10	15	15	16	16	16	16	13	16	13	15	14	14	14	14	13	11	295	15
mrC	12	10	6	6	8	1	9	11	9	10	11	5	3	9	9	4	5	10	15	12	15	180	8
aaM	4	1	1	1	3	2	3	3	3	7	5	3	1	2	1	2	1	7	2	10	6	68	2
dB	16	14	14	16	14	8	16	15	13	15	14	15	14	16	12	13	16	15	16	16	16	304	16
nbT	11	4	15	9	11	13	10	10	12	11	9	10	11	11	11	9	8	12	11	8	13	219	11
dwpH	8	8	9	10	9	9	8	2	7	1	1	9	8	8	10	10	9	4	3	1	7	141	6
Stand	1	3	3	2	1	3	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	4	2	1	37	1



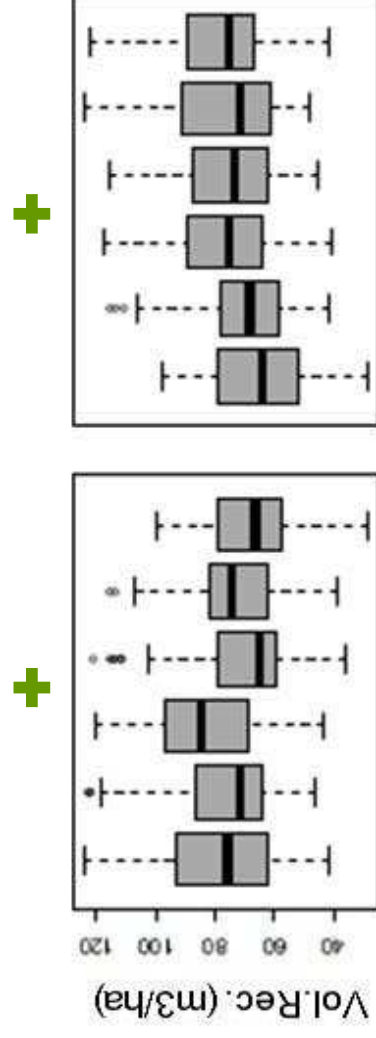
⇒ Facteurs les plus influents : effet « peuplement » (stand) & taille des trouées (aaM)

⇒ Leviers de dynamisation : diamètre d'exploitabilité (dH) & intensité de la récolte (hRx))

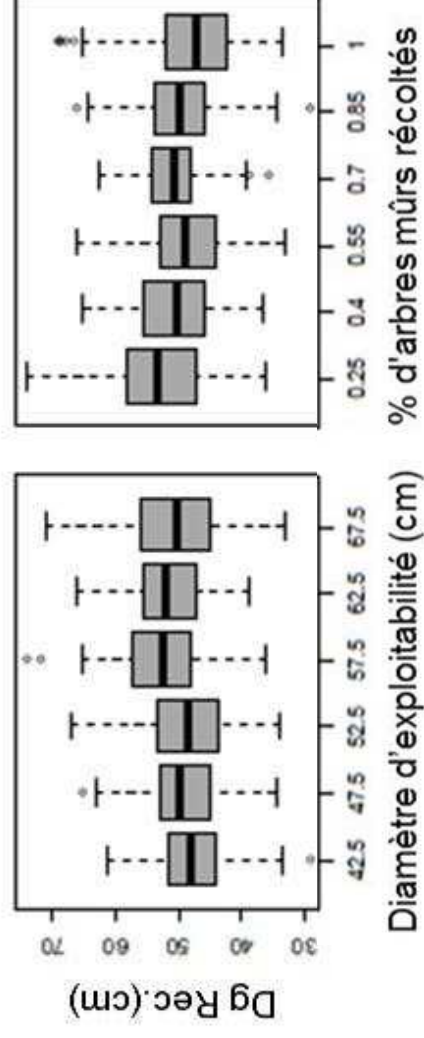


Résultats – intensification & production

*Volume de bois récolté
par intervention (m³/ha)*



*Diamètre moyen (cm)
des arbres récoltés*



Dynamisation

Dynamisation



Résultats – intensification & biodiversité

Densités d'arbres (nb/ha)

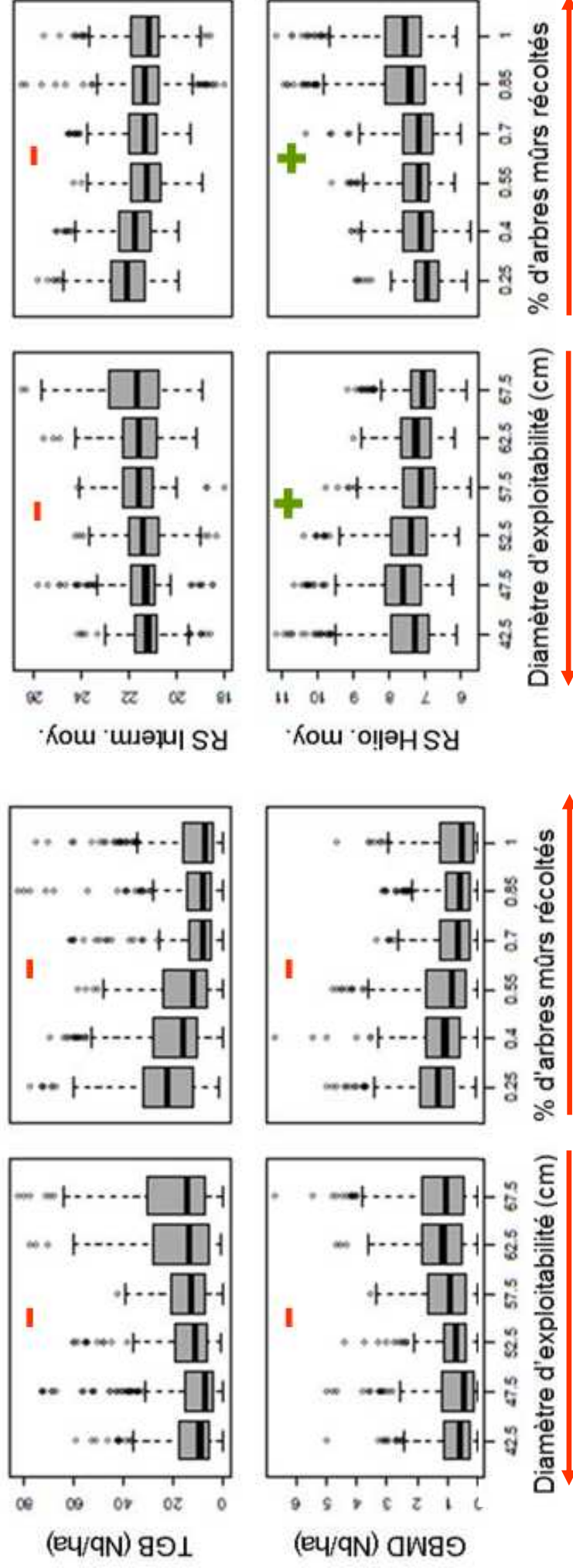
potentiellement porteurs de micro-habitats

- Très Gros Bois vivants ($d \geq 70\text{cm}$)
- Gros Bois Morts Debout ($d \geq 50\text{cm}$)

Richesse spécifique des herbacées

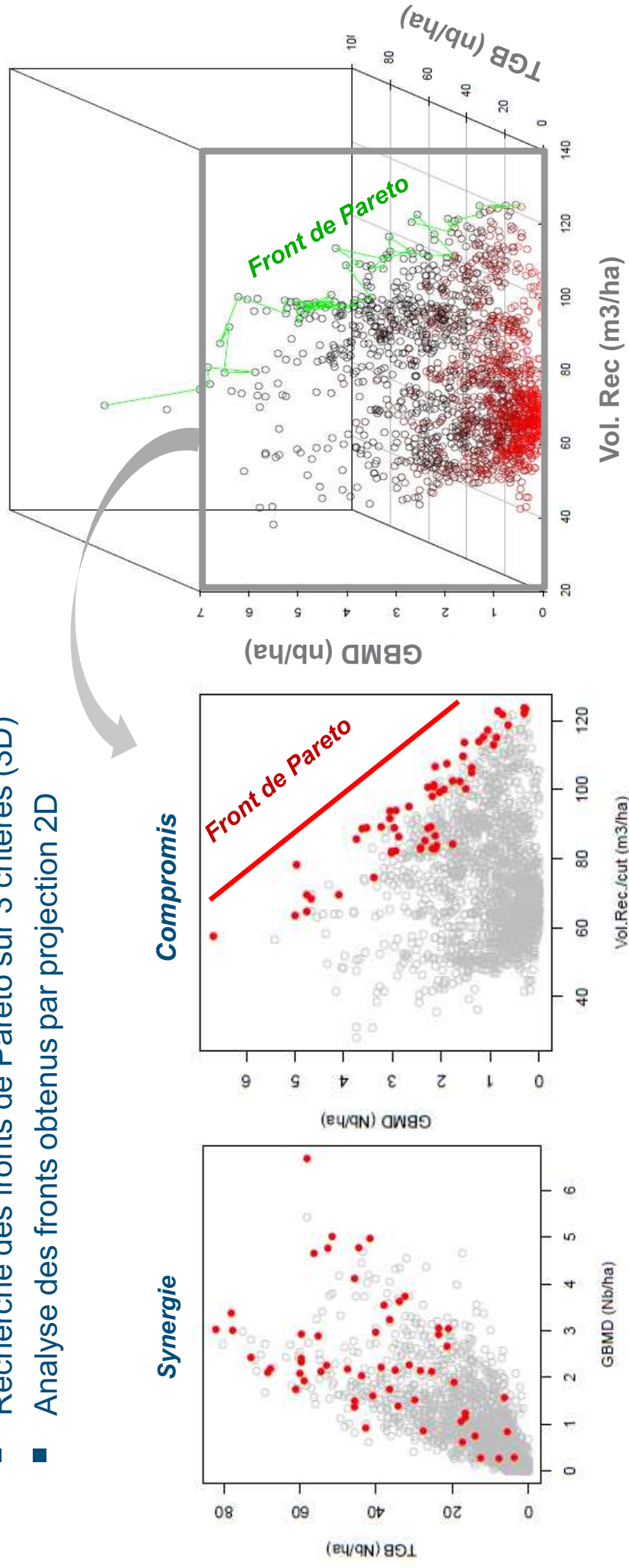
intermédiaires & héliophiles

(nb moyen d'espèces / placette IFN)



Résultats – compromis entre indicateurs

- **Détection de compromis entre indicateurs ?**
 - Réponses différentes à la gestion
 - Mais beaucoup de « bruit » / nb combinaisons testées
- **Analyse des compromis / fronts de Pareto**
 - Front de Pareto = ensemble des scénarii « non dominés »
 - Recherche des fronts de Pareto sur 3 critères (3D)
 - Analyse des fronts obtenus par projection 2D

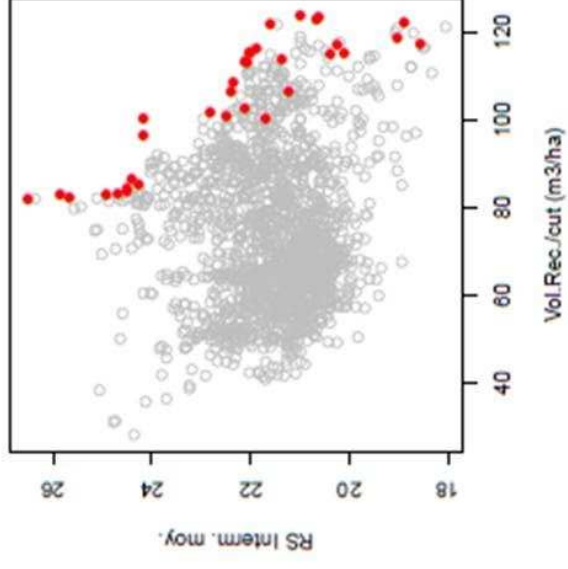
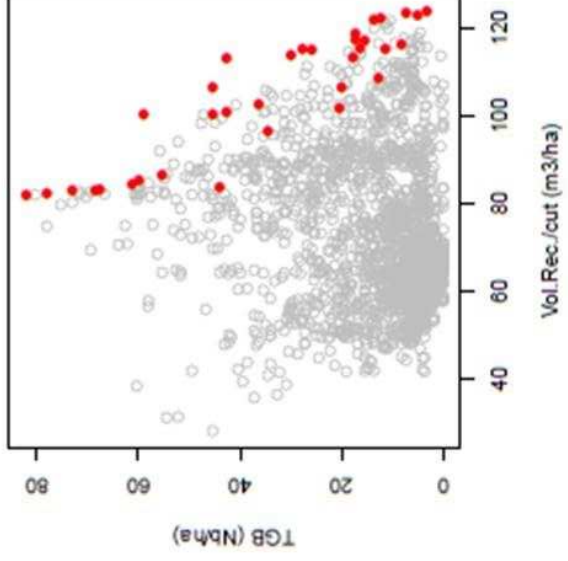
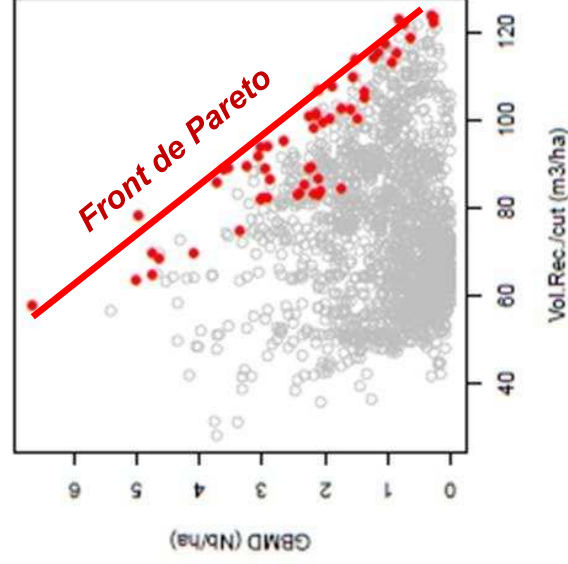




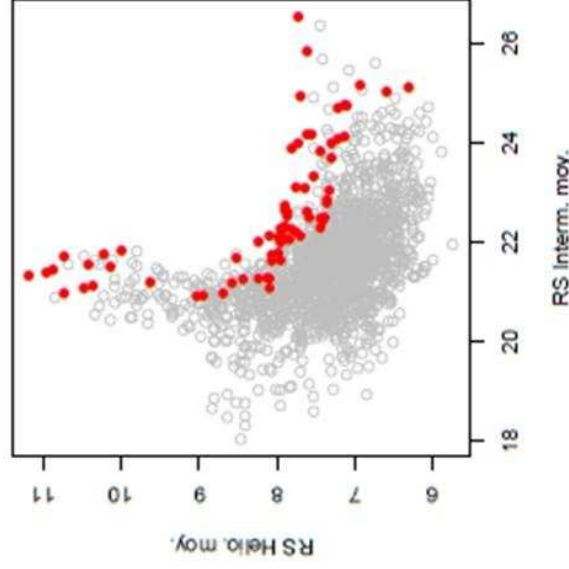
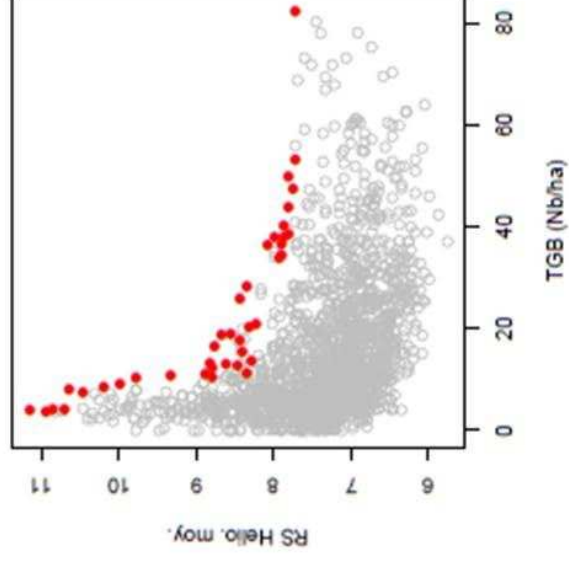
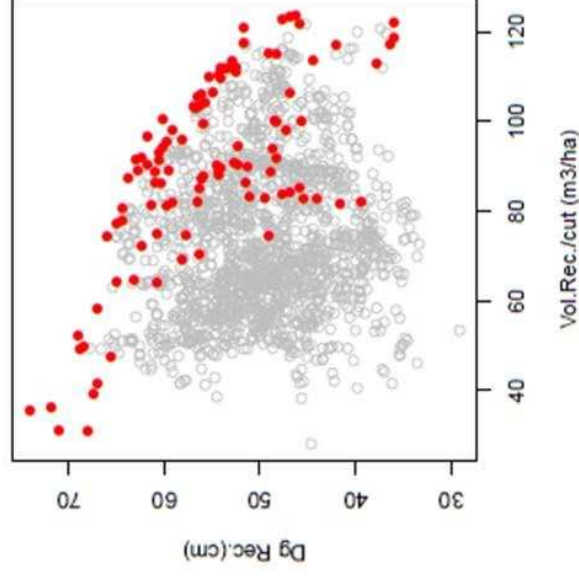
Résultats – compromis entre indicateurs

- Scénarii « non dominés » (sur 3 critères =>3D) => *Front de Pareto*

Entre SE :
Production
VS
Biodiversité



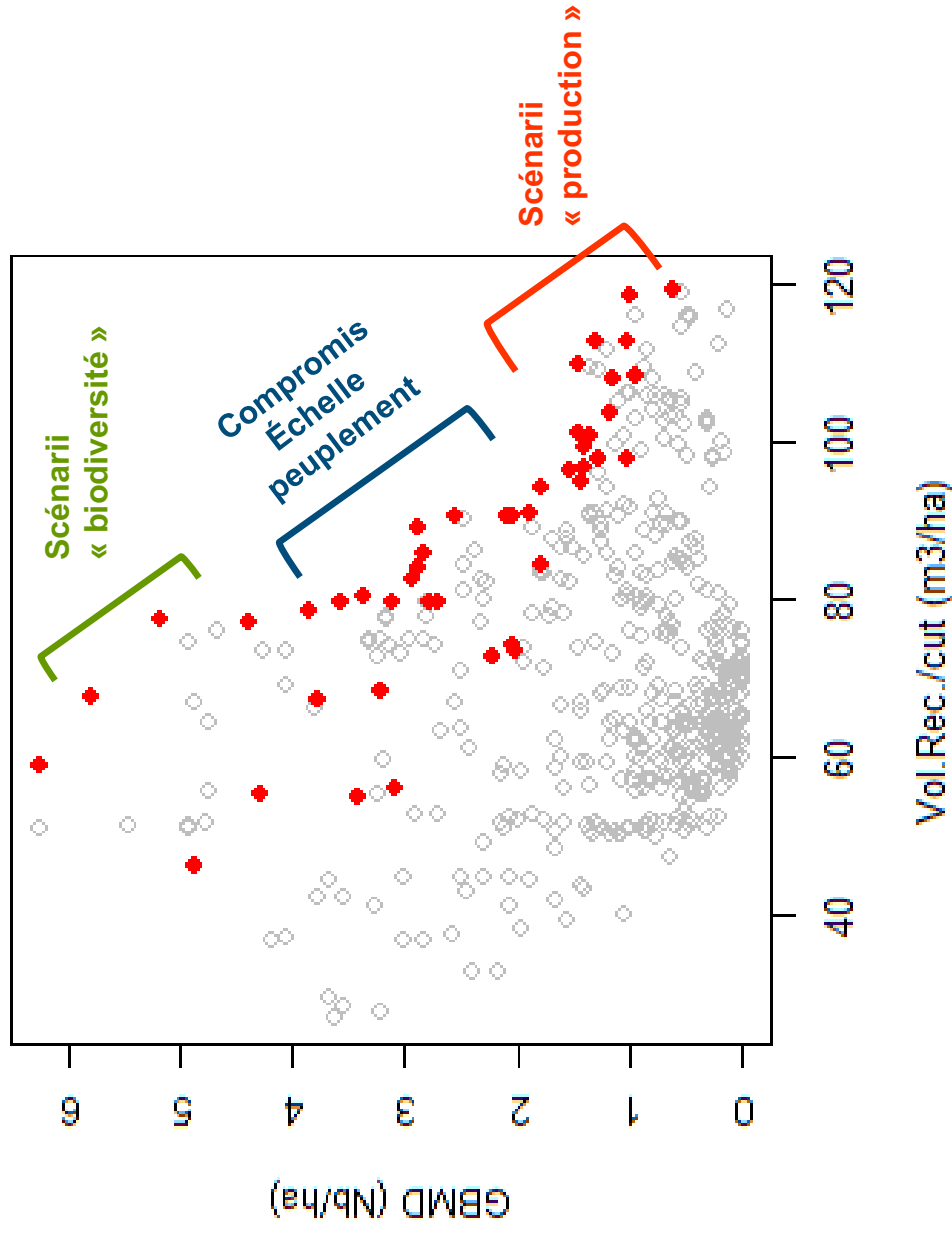
Au sein
du même
SE





Discussion– Perspectives

- **Choix des scénarii de gestion & questions d'échelle ?**
 - Recherche de compromis à l'échelle du peuplement
 - Ou à l'échelle du paysage/massif, via une mosaïque de peuplements +/- spécialisés

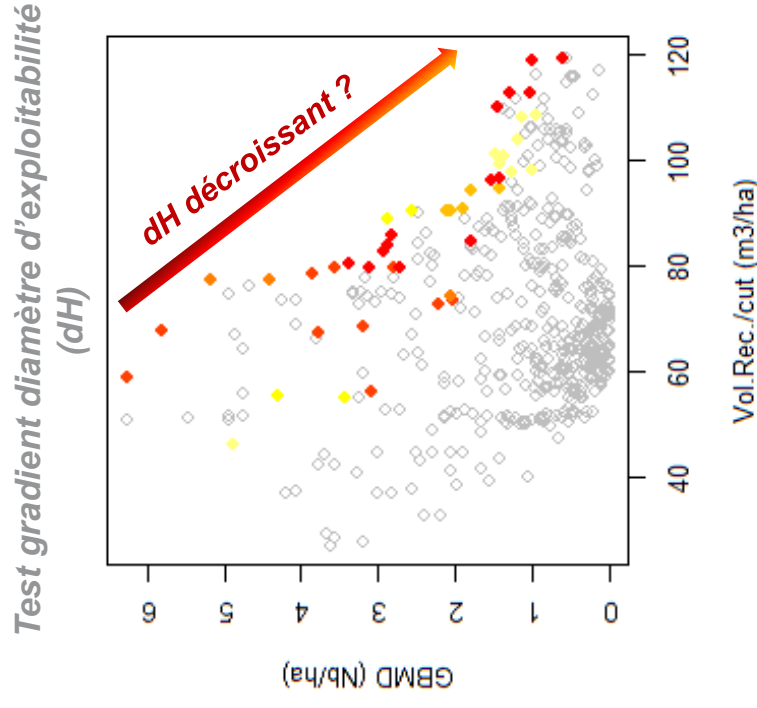
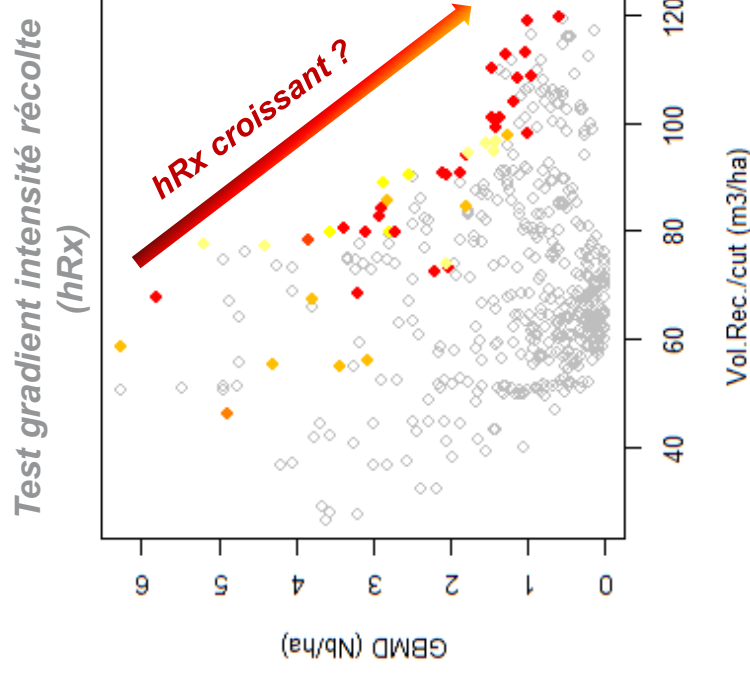
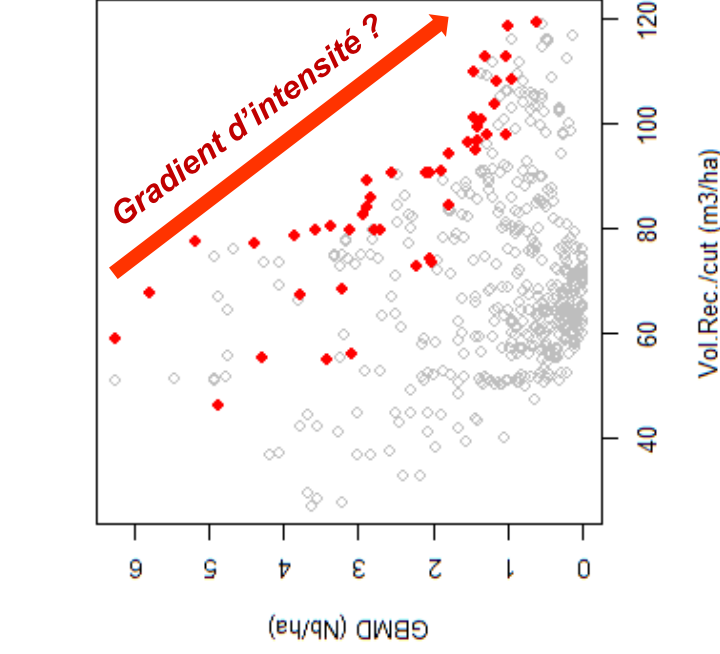




Discussion– Perspectives

■ Interprétation des fronts de Pareto ?

⇒ Gradient d'intensité de gestion ?



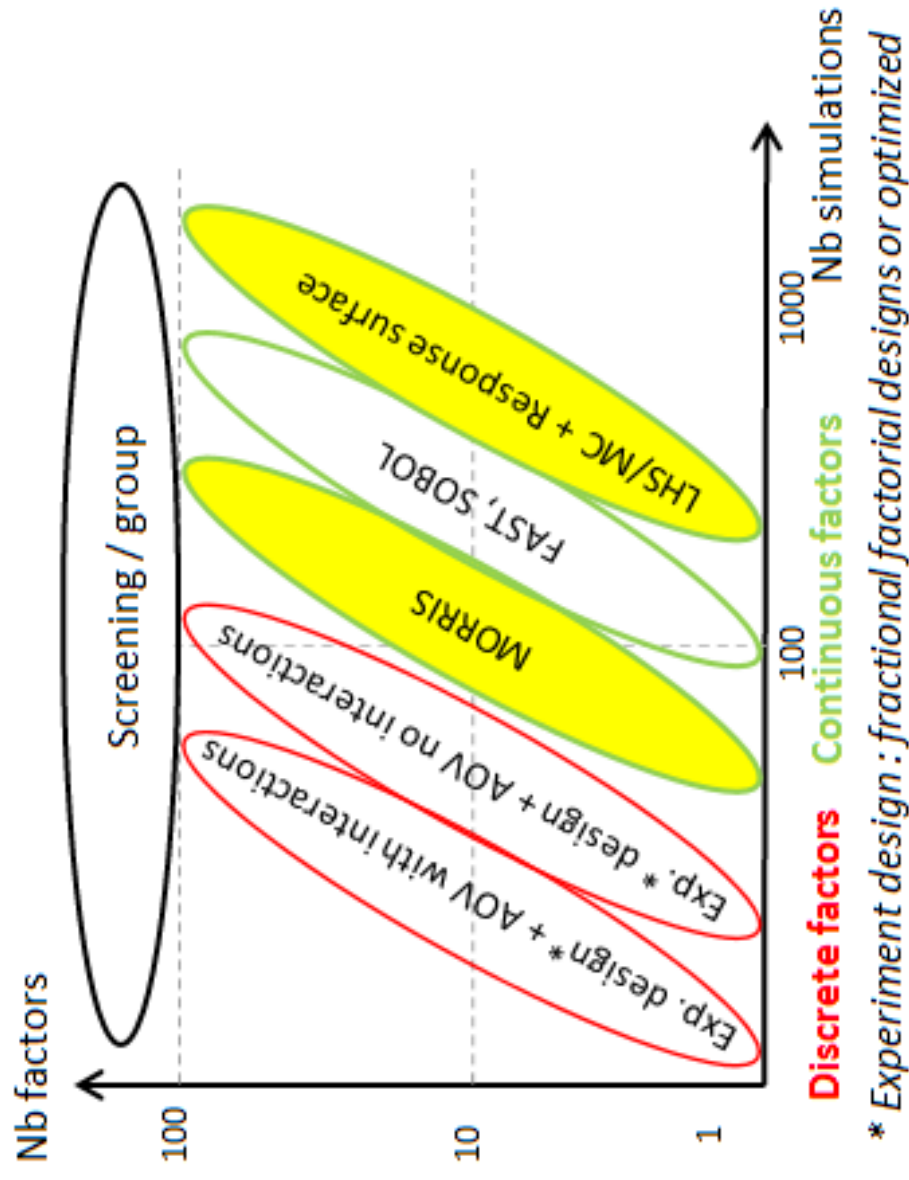
⇒ Groupes de scénarii proches ?

⇒ Comprendre les interactions entre facteur

⇒ Fronts de Pareto dépendant du plan d'expérience



Discussion– Perspectives



Adapted from S. Mahévas



MEXICO

Références bibliographiques

- **Campolongo F, Cariboni J, Saltelli A (2007)** An effective screening design for sensitivity analysis of large models. *Environmental Modelling & Software* 22:1509-1518
- **Ciric C, Ciffroy P, Charles S (2012)** Use of sensitivity analysis to identify influential and non-influential parameters within an aquatic ecosystem model. *Ecol Model* 246:119-130
- **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.
- **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), Guizhou Normal University, GuiYang, P.R. China.
- **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.
- **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.
- **Holeksa J, Zielonka T, Zywiec M, 2008.** Modeling the decay of coarse woody debris in a subalpine Norway spruce forest of the West Carpathians, Poland. *Can J For Res-Rev Can Rech* For 38:415-428
- **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*

Références bibliographiques

- **Morris, M. 1991.** Factorial Sampling Plans for Preliminary Computational Experiments. *Technometrics* 33, 161-174.
- **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.
- **Saltelli A, Ratto M, Andres F, Campolongo F, Cariboni J, Gatelli D, Saisana M, Tarantola S (2008)** Global sensitivity analysis. The primer. John Wiley and Sons.
- **Schütz, J.P. 1997.** Sylviculture 2. La gestion des forets irrégulières et mélangées. Presses polytechniques et universitaires romandes. 178 p.
- **Seidl R, Rammer W, Lexer MJ, 2011a.** Adaptation options to reduce climate change vulnerability of sustainable forest management in the Austrian Alps. *Can J For Res* 41:694-706
- **Seidl R, Schelhaas MJ, Lexer MJ, 2011b.** Unraveling the drivers of intensifying forest disturbance regimes in Europe. *Global Change Biology* 17:2842-2852
- **Zilliox C, Gosselin F, 2013.** Tree species diversity and abundance as indicators of understory diversity in French mountain forests: Variations of the relationship in geographical and ecological space. *For Ecol Manage Online First*