

**GeForHet**

**Produire tout en préservant  
la biodiversité:  
quelle gestion multifonctionnelle des peuplements  
forestiers hétérogènes ?**



**B.Courbaud ; V.Lafond ;  
T.Cordonnier ; E.Mermin  
F.Gosselin**



**C.Deleuze ; D.François ;  
B.Chopard ; T.Sardin**

BGF – Colloque de restitution des projets 2010 – Nancy, 5-6 Juin 2014



Ministère  
de l'Écologie,  
du Développement  
durable  
et de l'Énergie





## Introduction

### Pour une Gestion Multifonctionnelle et Durable

- > Adapter la Production à la demande industrielle
- > Mieux conserver de la biodiversité



### Les Peuplements forestiers hétérogènes

- > Un atout pour la multifonctionnalité à l'échelle du peuplement
- > Une longue tradition mais des approches empiriques peu formalisées



#### Enjeu structure

- > Maintien du capital
- > Equilibre de la structure

#### Enjeu production

- > Diminuer les diamètres des grumes
- > Récolte soutenue



#### Enjeu biodiversité

- > Diversité des niches
- > Espèces liées aux TGB et au Bois mort
- > Diversité de la flore de sous bois

## Questions et hypothèses

### Quels leviers de gestion ?

Intensité et diamètres coupés

-> Effet sur les produits récoltés et sur la diversité de niches ?

Conservation essences minoritaires / Gros Bois / Bois Mort

-> Effet sur la biodiversité associée et sur les produits ?

Agrégation du prélèvement

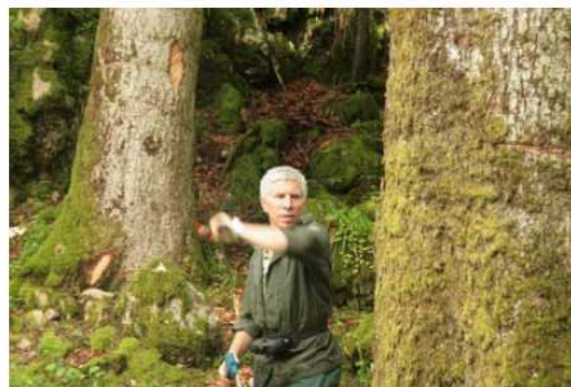
-> Effet sur la diversité des niches ?

### Quelles synergies / quels compromis ?

production x biodiversité

production x production

biodiversité x biodiversité

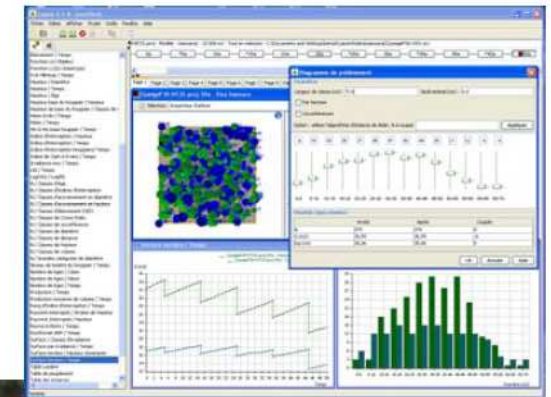




## Méthode

### Mise au point de modèles

- Simulateur de dynamique forestière
- Algorithme de gestion



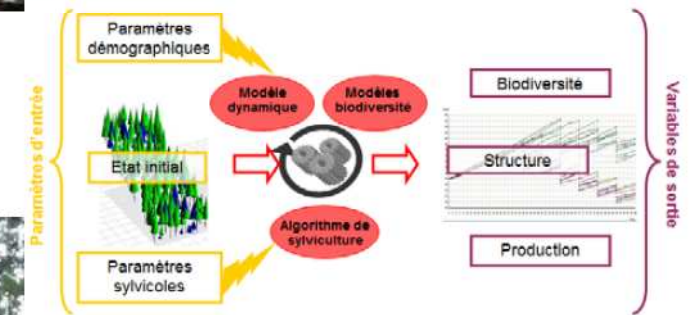
### Développement d'indicateurs

- Structure
- Production de bois
- Biodiversité



### Expériences de simulation

- Effet des variations de sylviculture
- Techniques d'analyse de sensibilité



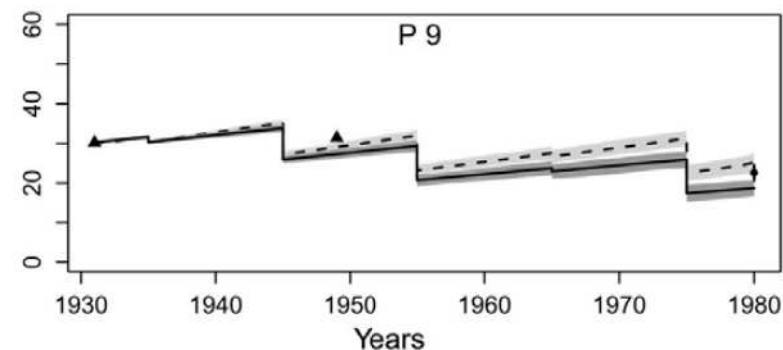
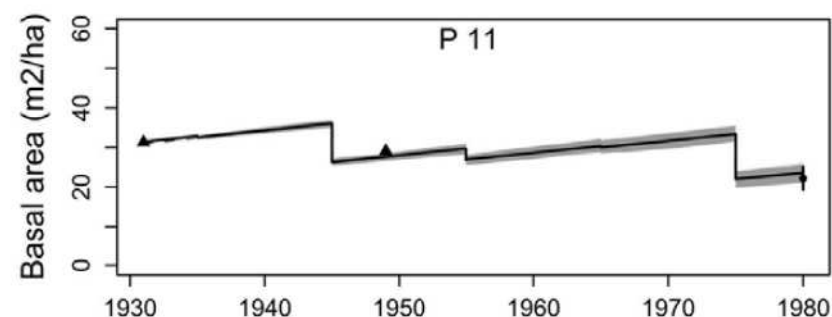
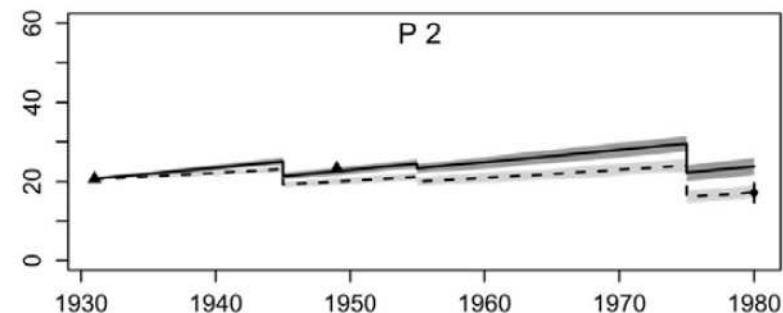
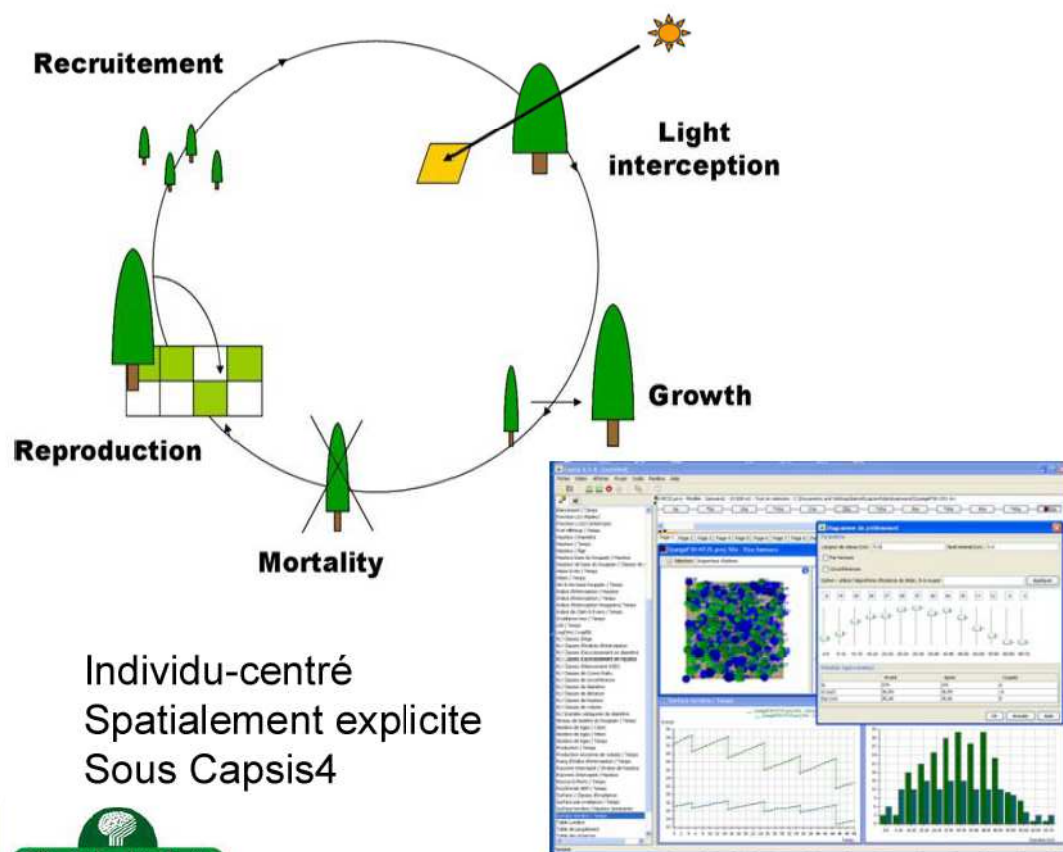
### Expérimentation de terrain

- Mise en place sur 4 sites



## Le simulateur Samsara.2

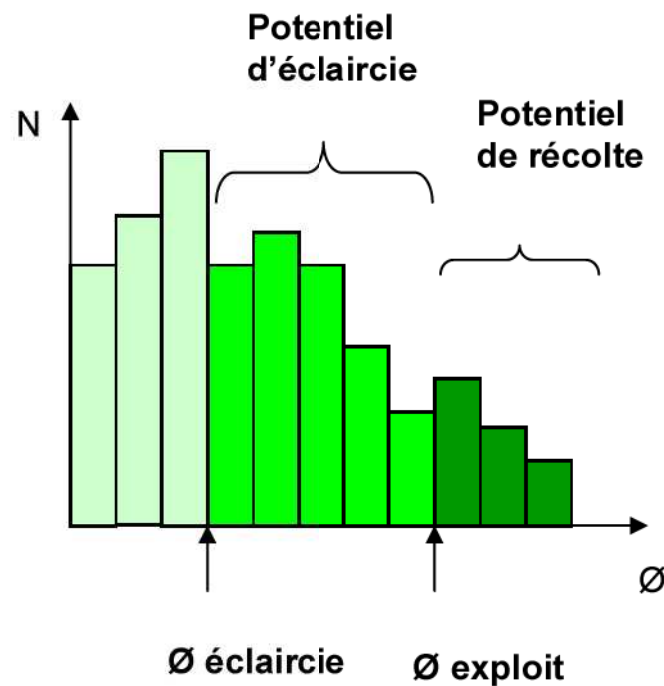
- Amélioration de la régénération
- Evaluation satisfaisante sur 50 ans  
À Queige (Alpes) et Prénovel (Jura)



Reproduction de dynamique passée  
Entre deux inventaires

## Développement d'un algorithme de sylviculture irrégulière pour diriger la quantité et le choix des arbres coupés

Intensité basée sur les potentiels de récolte et d'éclaircie  
Priorité à la récolte



### 7 leviers « type de prélèvement »

- G coupée max
- G coupée standard
- G coupée min
  
- D exploitabilité
- % max Récolte / Potentiel
  
- D éclaircie
- % max Eclaircie / Potentiel



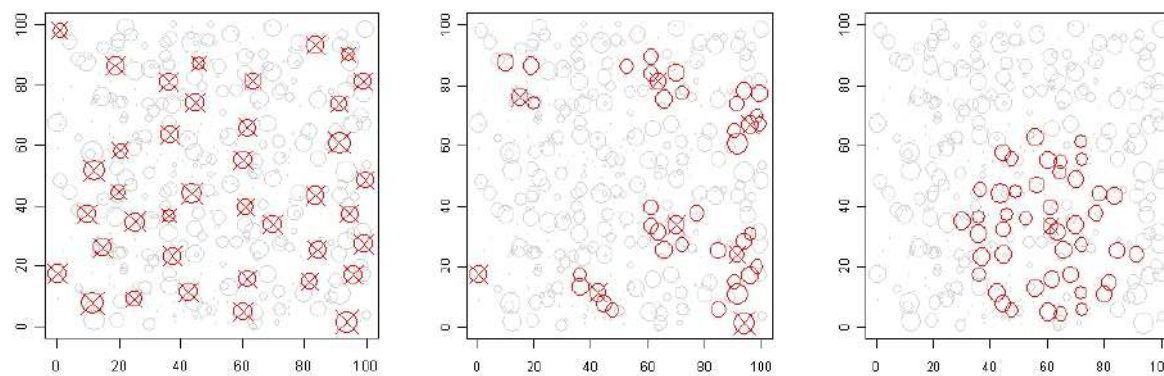


## 4 leviers « conservation »

- Seuil essences minoritaires
- Nb mini GB
- % mini Bois Frais dans la récolte
- Pondération essences minoritaires

## 4 leviers « distribution spatiale »

- Agrégation des prélèvements
- Dist mini entre arbres coupés
- Localisation des récoltes en zone dense
- Localisation des éclaircies en zone dense



Hétérogénéité spatiale

○ Arbres coupés

## Développement d'indicateurs basés sur la structure et la dynamique du peuplement

### Durabilité

- *Surface terrière*
- *Diversité des diamètres*
- *Nb de perches*

### Production

- *Volume récolté*
- *Dg récolté*
- *% Bois Frais*  
*dans la récolte*

### Biodiversité

- *Diversité des essences*
- *Nb TGB vivants*
- *Nb GB morts debout,*
- *Volume de bois mort*
- *Diversité du bois mort*
- *Richesse herbacées*

### Nécessité de développer deux sous-modèles

- > *Modèle de décomposition du bois mort*
- > *Modèle de richesse spécifique de la flore du sous bois*



## Modèle de décomposition du bois mort

Adaptation d'un modèle construit dans les Carpates (Holeksa et al., 2008)

-> Matrices de transition entre 8 classes de décomposition

-> Réduction du volume associé

-> Probabilité de chute des bois morts debout

-> **nb de pièces de bois**

**Debout / Au sol**

**par classe de décomposition**

**et classe de taille**



## Modèle de Richesse de la flore de sous bois

Utilisation de 475 placettes IFN en sapinière-pessière dans les Alpes et le Jura

### Analyse de 6 groupes écologiques

-> herbacées / ligneuses

-> héliophiles / intermédiaires / sciaphiles

Prédiction pour chaque groupe de

-> **la richesse spécifique**

-> **les abondances**

En fonction de

-> l'environnement

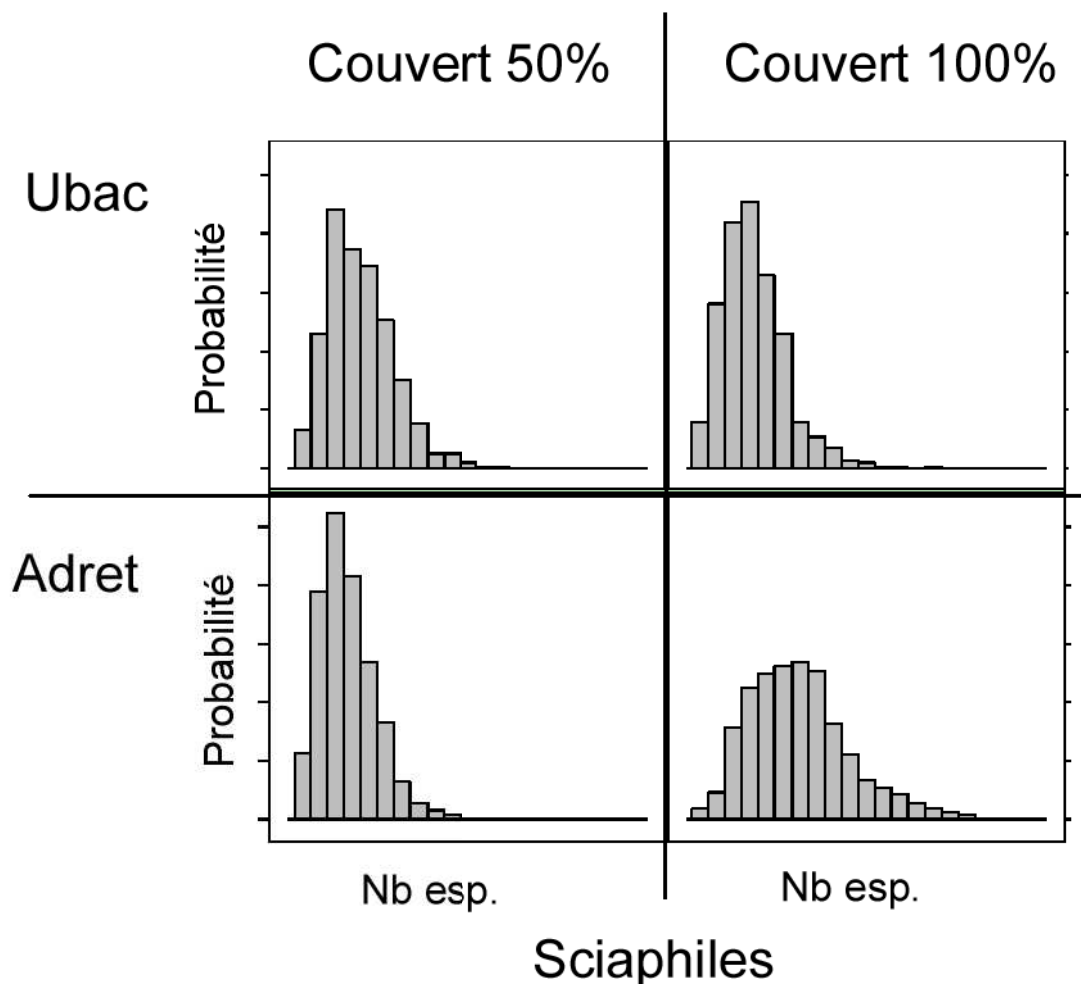
-> la structure du peuplement

Richesse: Distribution de probabilité du nb d'espèces de chaque groupe

$$nbEspèces \sim D(\mu, \sigma) \quad \mu = f(cli, pédo).g(Cover_{sp}, G_{sp}, G_{dbh})$$
$$\sigma = h(cli, pédo)$$



## Modèle de richesse de la flore de sous bois ex: Effet du couvert sur la richesse spécifique



Pour les herbacées sciaphiles  
- Faible en ubac  
- Fort et positif en adret

Pour les herbacées héliophiles  
- Fortement négatif en Ubac  
- Faible en adret

## Bilan étude de la flore de sous bois

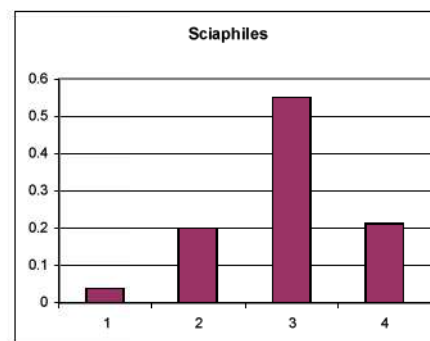
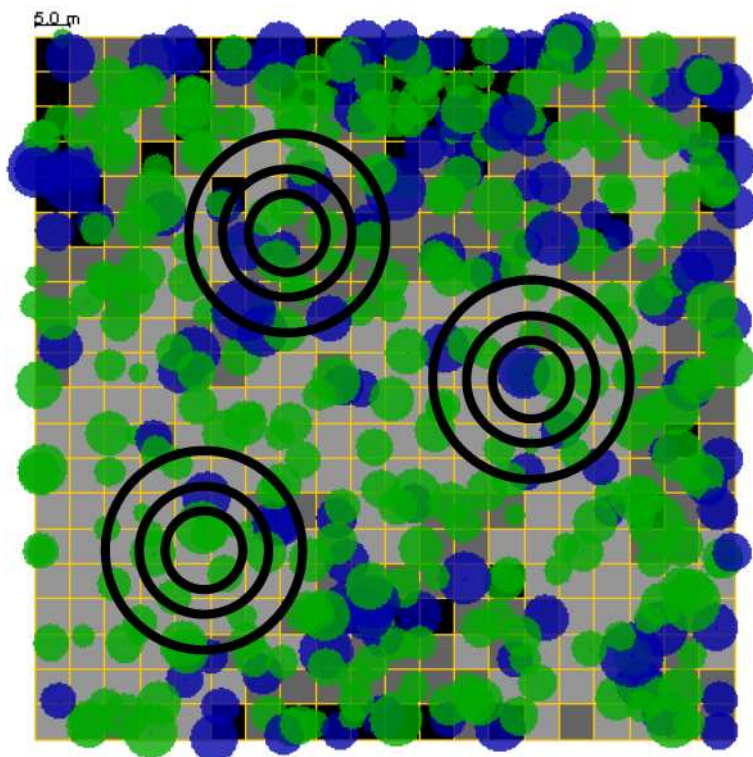
- couvert, surface terrière et perches ont un effet négatif sur la richesse floristique
- la richesse en essence a un effet plutôt positif sur la richesse floristique
- en adret ou pH acide, la richesse semble augmenter avec la fermeture
- en ubac ou pH peu acide, la richesse augmente avec ouverture



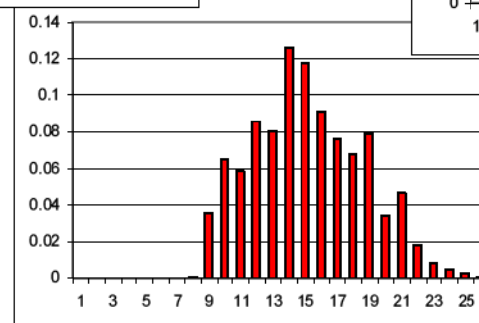
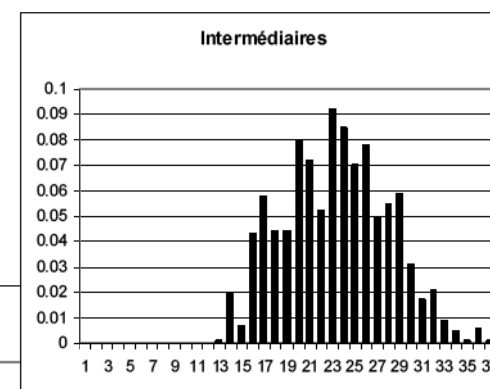


## Richesse de la flore de sous-bois Simulation dans Samsara.2

Tirage de placettes IFN dans le peuplement  
Calcul des distributions de probabilité pour chaque groupe



Héliophiles



**Effets**

- du mode de prélèvement
- des stratégies de conservation
- de l'agrégation des prélèvements

**Sur**

- la structure
- la production
- la biodiversité

D exploit	42.5	67.5
D éclaircie	17.5	32.5
G coupe	4	7
Nb GB conservés	0	6
Surf. agrégats	1	2500

## Méthode d'analyse de sensibilité

Tous les facteurs varient en même temps  
Calcule des réponses de tous les indicateurs

## Analyse en quatre temps

Identification des facteurs influents (EE - méthode de Morris)  
Analyse des effets des prédicteurs sur les réponses (SRC - métamodèles)  
Analyse des non-linéarités et des interactions (surfaces de réponse)  
Analyse multicritère (fronts de Pareto)



## Effets des différents facteurs sylvicoles (sur les 50 dernières années)

### Effets sur la structure

#### Surface terrière

- Effet négatif des forts prélèvements de GB ou BM
- Effet négatif de l'agrégation

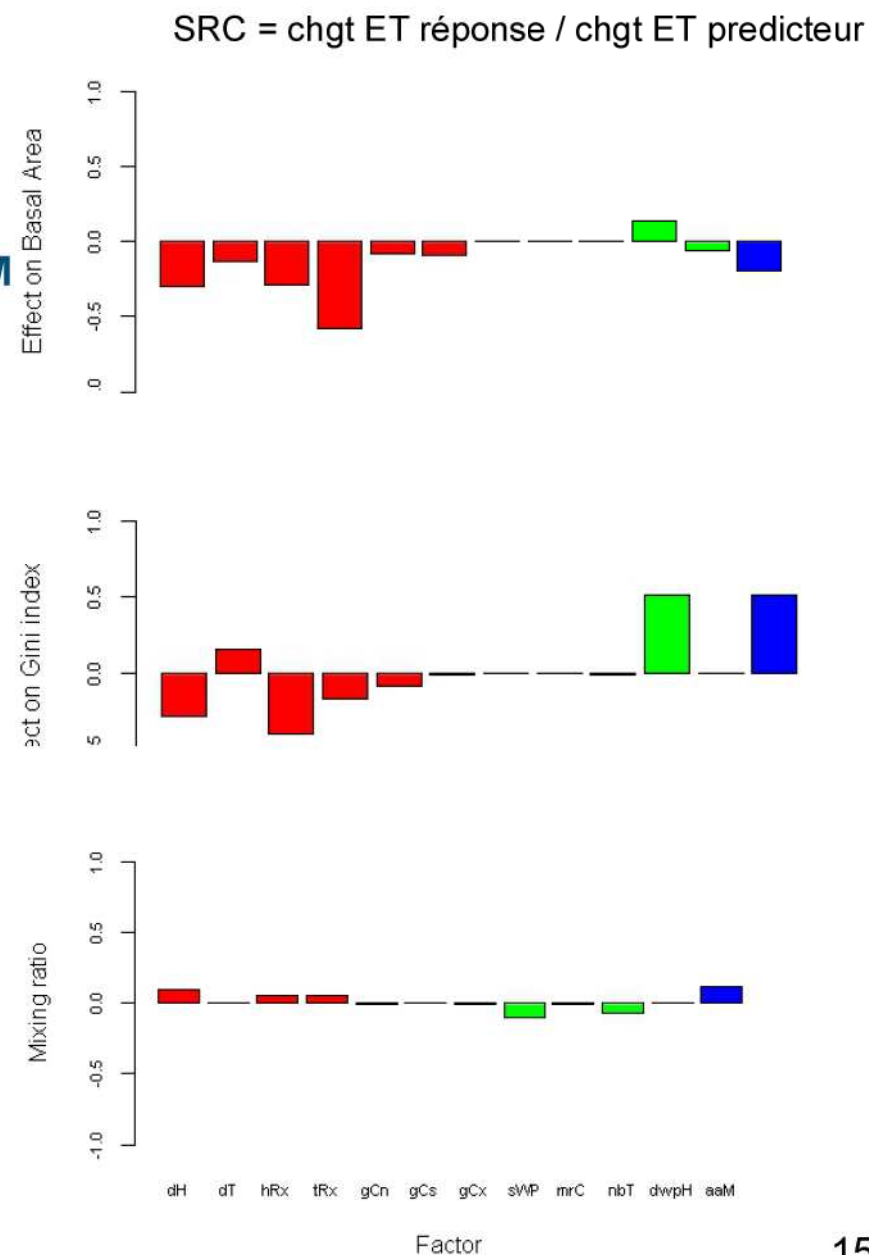
#### Diversité des diamètres

- Effet positif de la conservation
- Effet positif de l'agrégation

#### Taux de mélange

- très peu d'effet

- paramètres de mode de prélèvement
- paramètres de conservation
- paramètres d'agrégation



## Effets sur la production

### Volume récolté

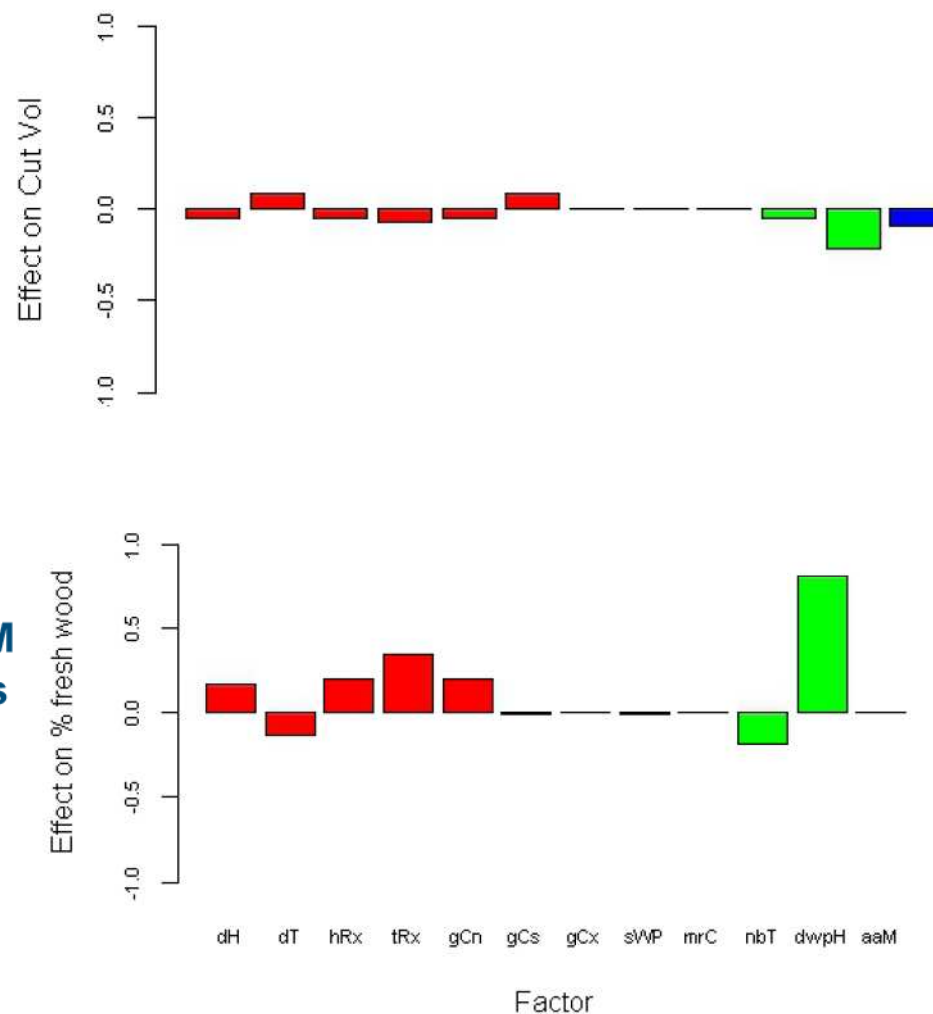
- Peu d'effet du mode de prélèvement
- effet négatif de la conservation du BMort
- effet négatif de l'agrégation

### % Bois frais dans la récolte

- effet positif de forts prélèvements de GB ou BM
- effet négatif de la conservation d'arbres vivants
- effet positif de la conservation d'arbres morts

- paramètres de mode de prélèvement
- paramètres de conservation
- paramètres d'agrégation

SRC = chgt ET réponse / chgt ET prédicteur





## Effets sur la biodiversité

### Diversité arborée

- Faible effet du mode de prélèvement
- Effet positif de la rétention des es. minoritaires
- Les trouées favorisent l'épicéa

### Diversité du bois mort

- Effet négatif de forts prélèvements de GB et BM
- Effet positif de la conservation des TGB et Bois Morts

### Richesse des sciaphiles

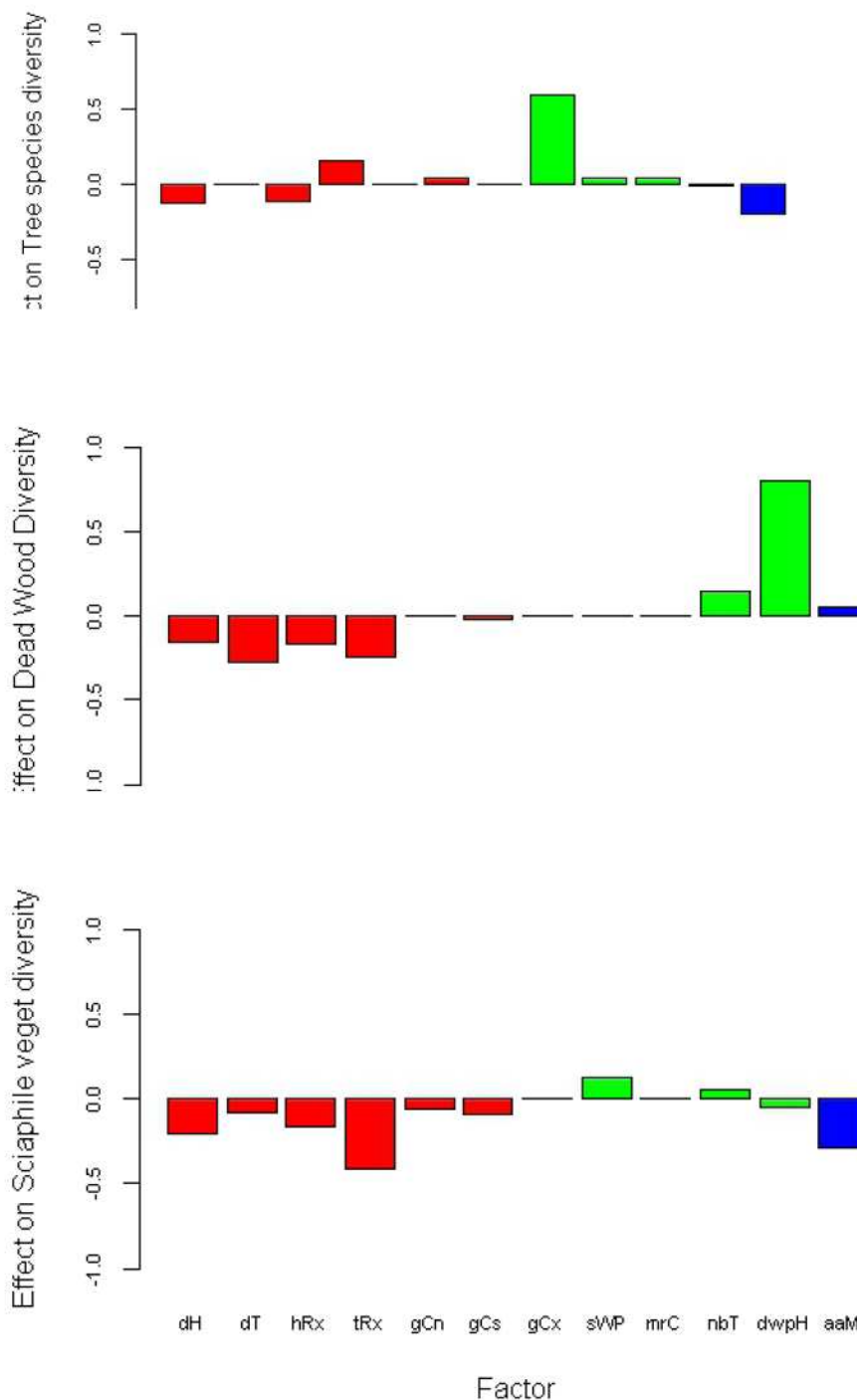
- Effet négatif de forts prélèvements des BM
- Effet positif de la conservation des es. minoritaires
- Effet négatif de l'agrégation

### Richesse des héliophiles

- Effet positif de forts prélèvements des BM
- Effet ambiguë de l'agrégation via l'épicéa

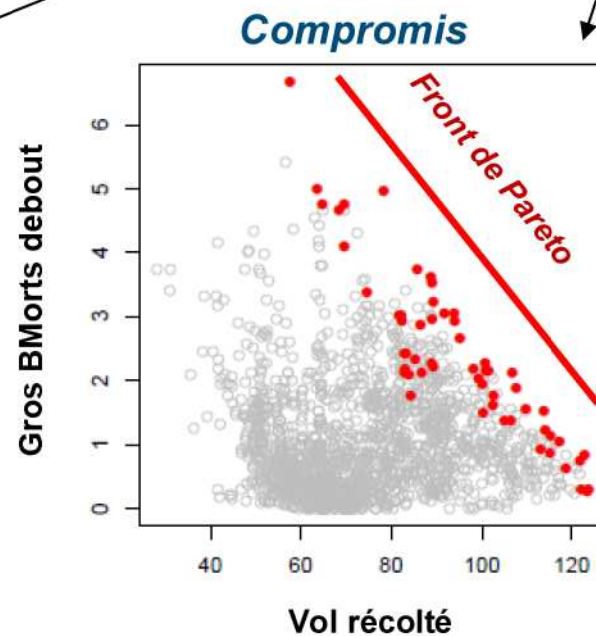
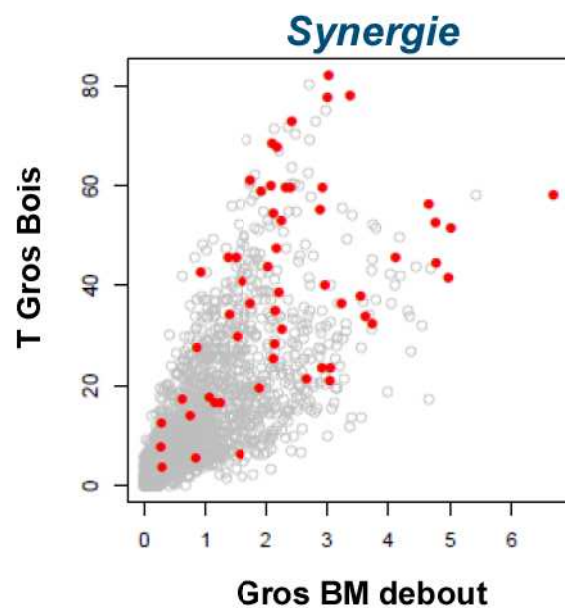
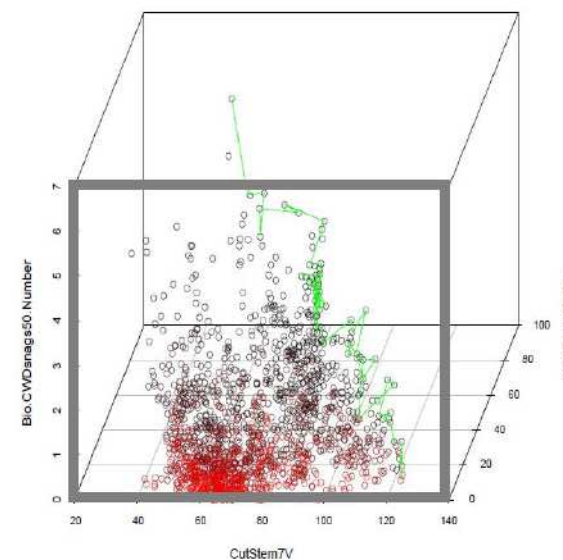
**Possibilité de compensation  
D'une diminution de l'exploitabilité  
Par les stratégies de conservation ?**

SRC = chgt ET réponse / chgt ET prédicteur



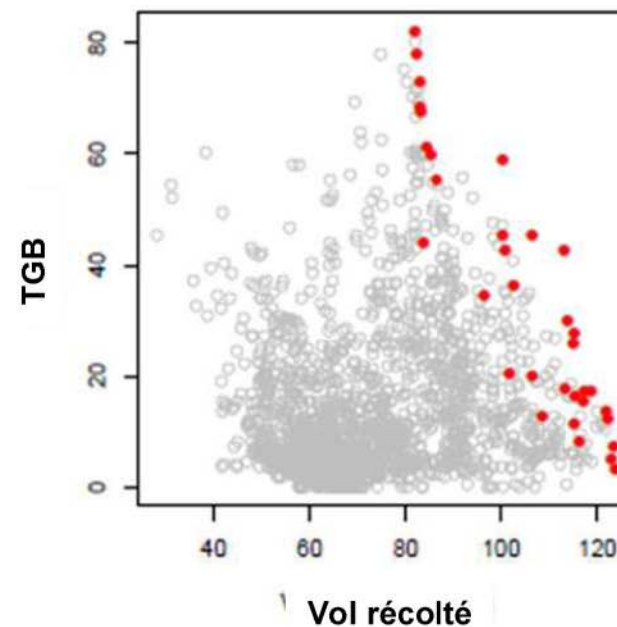
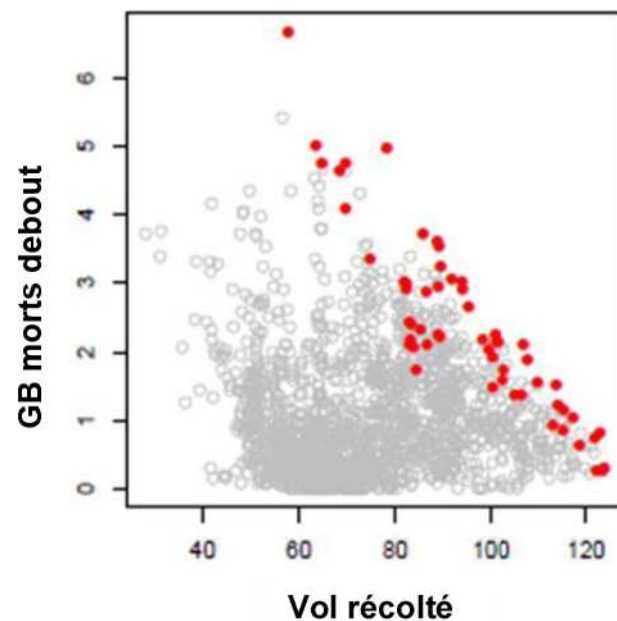
## Etape en cours : Analyse multicritère

- Identifier les synergies ou compromis
- Identifier les scénarios performants
  - Front de Pareto = ensemble des scénarii « non dominés »
  - Recherche des fronts de Pareto sur 3 critères (3D)
  - Analyse des fronts obtenus par projection 2D

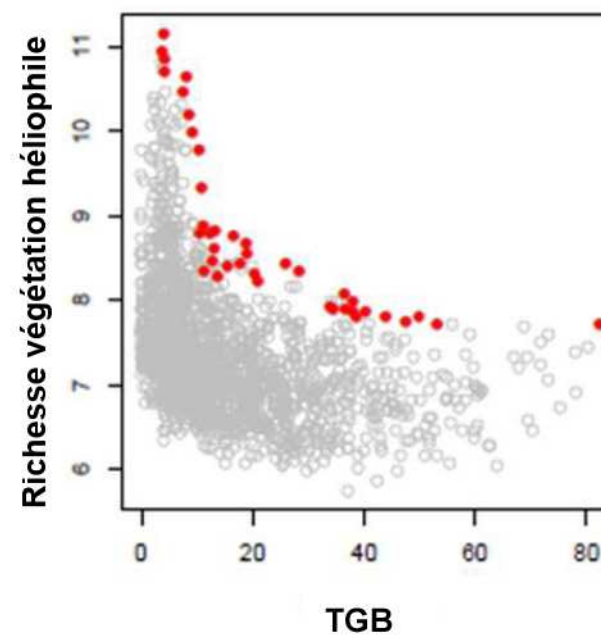
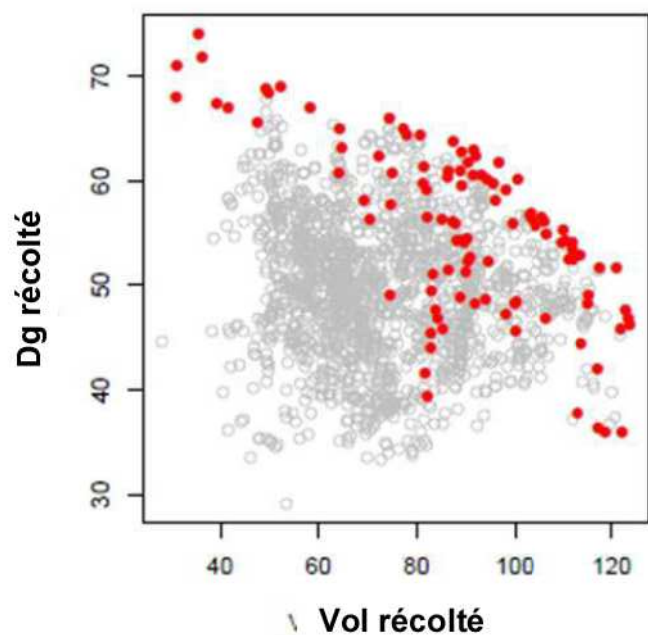


## 4 exemples de compromis

Compromis  
Production x  
Biodiversité

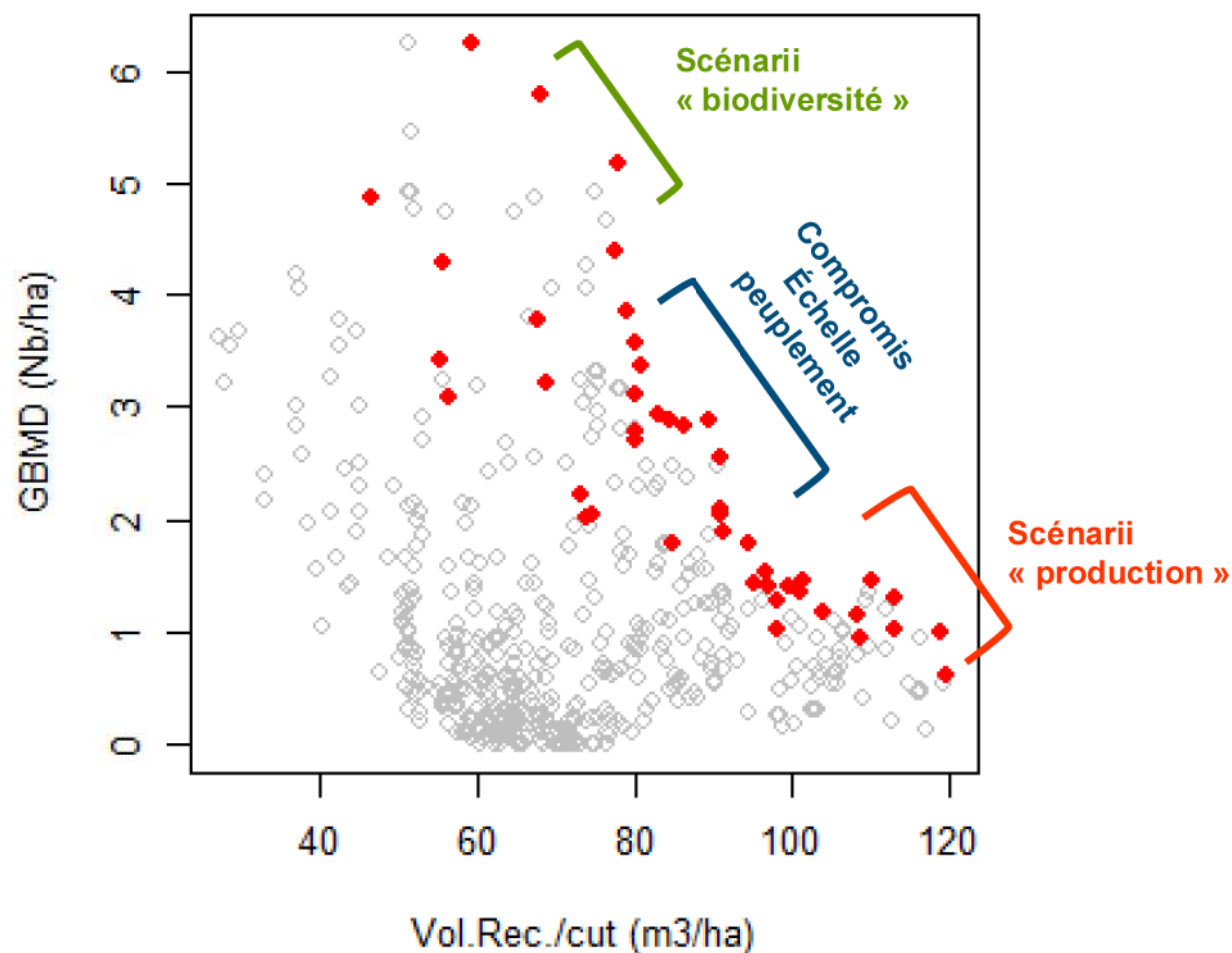


Compromis  
Prod x Prod  
  
Compromis  
Biodiv x Biodiv





- Identifier les sylvicultures correspondant aux scénarios performants
- Possibilités de compromis
  - à l'échelle du peuplement
  - à l'échelle du massif, via une mosaïque de peuplements +/- spécialisés



## 4 sites

Sur chaque site 2 U.E. de diamètre d'exploitabilité différent

Dexploit = 50-55 cm ou 60-65 cm

Saint-Pierre	Jura	sapin- épicéa
Noiremont	Jura	Sapin
La Table	Alpes	sapin- épicéa
Saint-Hugon	Alpes	Sapin



La Table

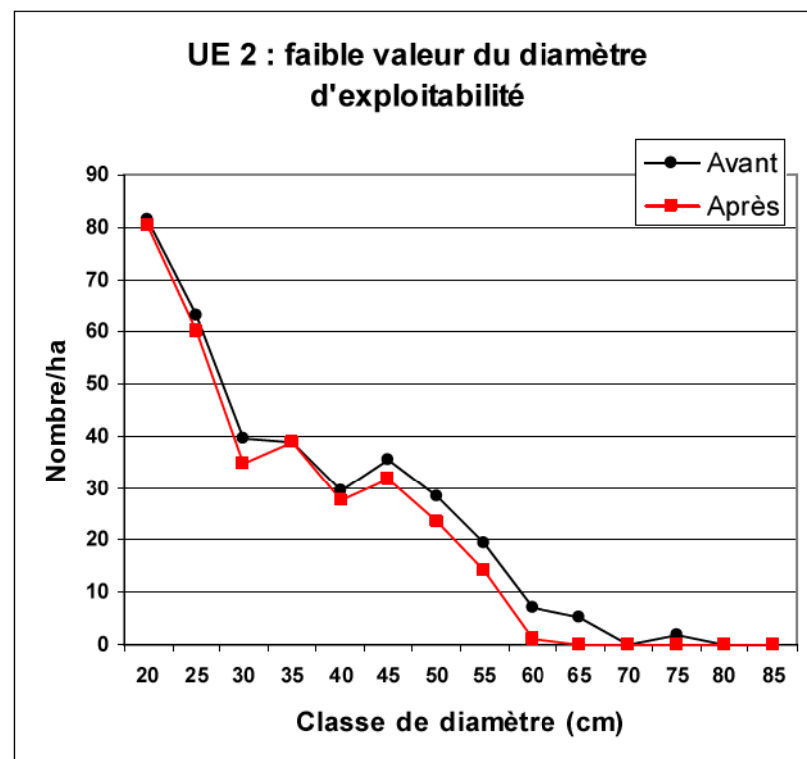
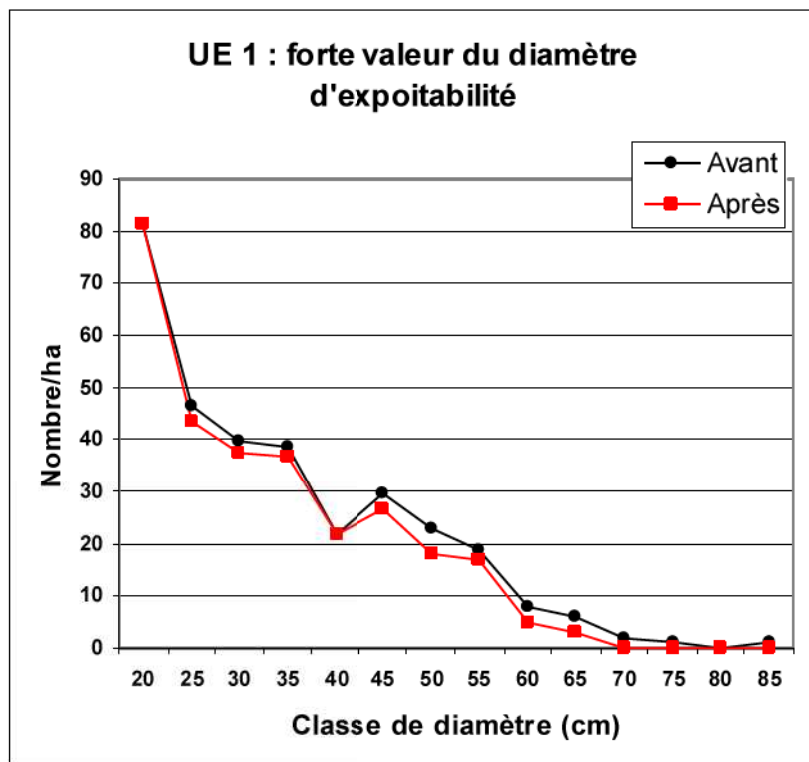


Saint-Pierre

### Questions :

- Arrive-t-on à maintenir une structure irrégulière ?
- Influence sur production, bois mort et régénération ?

## Résultat de la première intervention à Saint Pierre (Jura sapin-épicéa)



- **Nécessité de plusieurs rotations pour faire diverger les structures des UE**
- **Difficile de trouver des peuplements homogènes**
- **Difficile de contrôler un ensemble de facteurs tels que structure spatiale**
- **Remesure prévue dans 5 ans puis tous les 10 ans**  
pour évaluer durabilité, production et biodiversité



### Implications pour la gestion

#### Une baisse du Diamètre d'exploitabilité

- Ne semble pas mettre en péril la durabilité du système irrégulier
- Diminue à moyen terme Dg récolté
- Est plutôt négative pour la biodiversité liée au TGB

#### Les stratégies de conservation testées

- Ont peu d'impact sur la production
- Ont un effet positif sur la biodiversité

#### L'agrégation des prélèvements

- Augmente la diversité des diamètres récoltés
- A peu d'impact à long terme sur la biodiversité liée aux TGB
- Impacte la composition en essences et la flore

### Perspectives de recherche

#### Approfondir les travaux de simulation

- Poursuivre l'Analyse Multicritère
- Compléter les indicateurs  
(DendroMicroHabitats / abondance de la végétation / durabilité)
- Intégrer les gradients environnementaux et le changement climatique
- Tester des stratégies sylvicoles plus subtiles
- Simplifier et élargir les plans d'expérience

#### Approfondir les travaux de terrain

- Suivi de l'expérimentation mise en place
- Améliorer les indicateurs (ex DMH)
- Marteloscopes et échanges avec la gestion



An aerial photograph of a dense forest. The trees are in various stages of autumn, with many showing vibrant orange, yellow, and red foliage. Interspersed among these are numerous dark green evergreen trees. The overall scene is a rich tapestry of colors, suggesting a mountainous or hilly region. The lighting is bright, casting soft shadows and highlighting the textures of the tree canopies.

*Merci pour votre attention !*