

# La modélisation forestière au service de la multifonctionnalité à l'échelle du peuplement et du massif

***P. Vallet<sup>1</sup>, T. Bronner<sup>2</sup>, F. de Coligny<sup>3</sup>, V. Lafond<sup>4</sup>, V. Cucchi<sup>1,5</sup>, T. Cordonnier<sup>4</sup>***

*1 – UR « Ecosystèmes Forestiers », Irstea Nogent sur Vernisson*

*2 – Auto-entrepreneur*

*3 – UMR « Amap », INRA Montpellier*

*4 – UR « Ecosystèmes Montagnards », Irstea Grenoble*

*5 – ITK, Montpellier*



[www.irstea.fr](http://www.irstea.fr)

Colloque FORGECO, 4-5 décembre 2012, Lyon



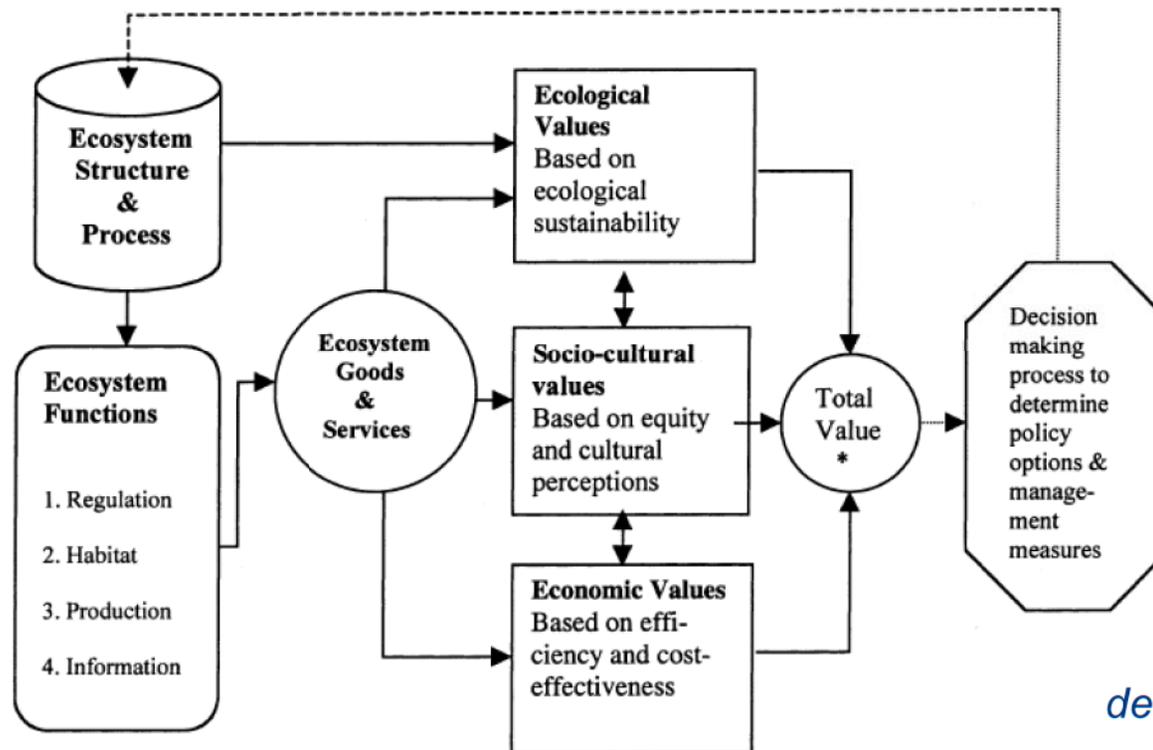
# La multifonctionnalité

## Quelques notions liminaires

- Une classification des « fonctions » des écosystèmes (*de Groot et al. 2002*)
  - Régulation (climat local ou global, prévention des crues...)
  - Habitat (biodiversité, diversité génétique...)
  - Production (bois matériau, bois énergie...)
  - Information (récréation, informations culturelles et artistiques...)
  
- Une classification des types de « valeurs »
  - Valeur écologique
  - Valeur socio-culturelle
  - Valeur économique

# La multifonctionnalité

## Quelques notions liminaires



*de Groot et al. 2002*



- Impossibilité de maximiser chacune de ces fonctions simultanément
  - Quels apports de la modélisation et de la simulation pour trouver les bons compromis, à l'échelle de la parcelle forestière, et du territoire



# L'analyse multicritères

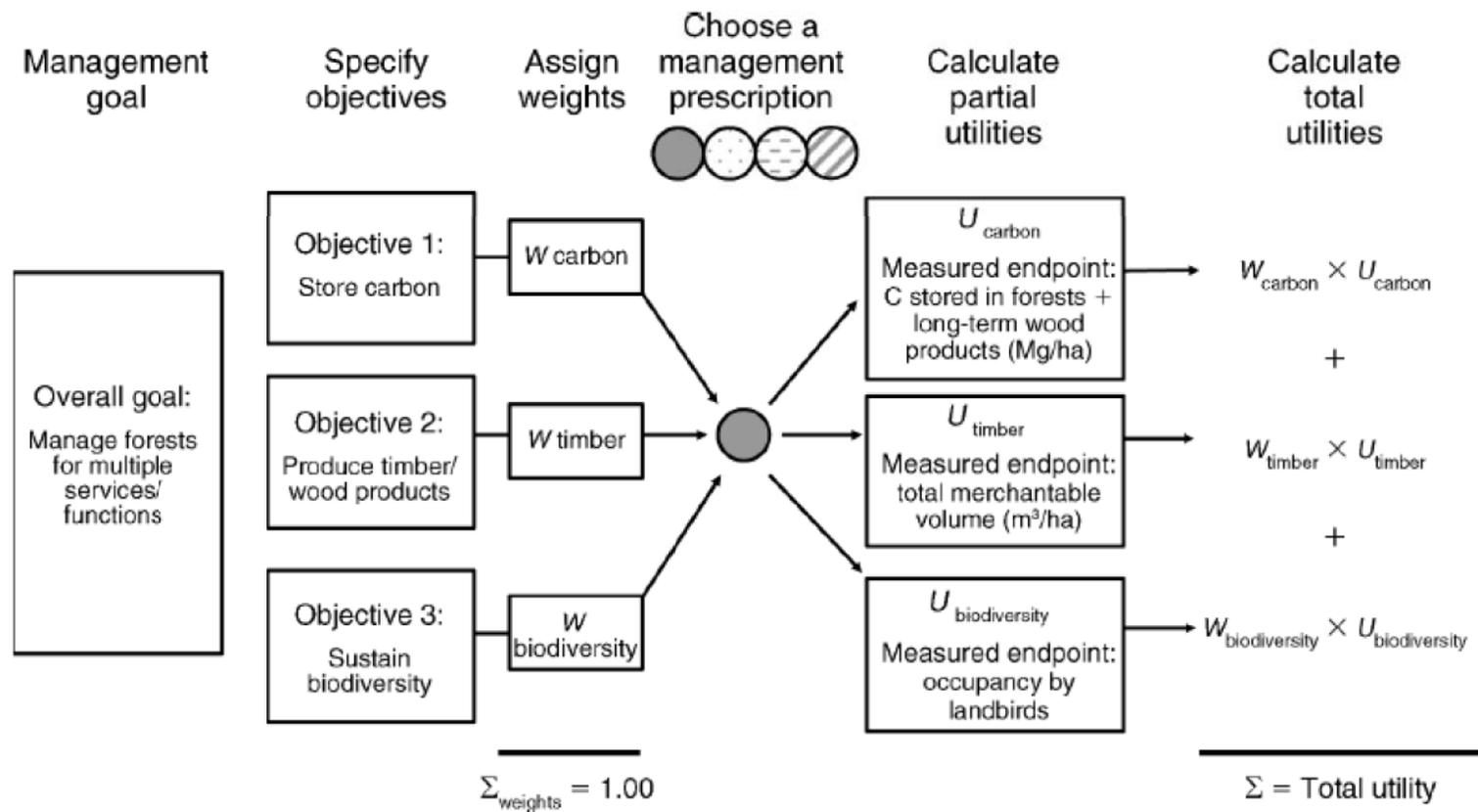
## Recherche des meilleurs compromis

- **Création de métriques**
  - Comment comparer la valeur de la biodiversité, de la production de bois, du stockage de carbone, de la récréation.
  - Exemples :
    - Construire une valeur économique pour toutes les fonctions
    - Créer une valeur standardisée (exemple de *Schwenk et al. 2012*)
  
- **Pondération des différentes valeurs des fonctions de l'écosystème**
  - En fonction des **types d'acteurs** (*Jalilova et al. 2012, Lexer et Seidl 2009*)
  - Dans un **contexte territorial** donné
  
- **Création d'outil d'aide à la décision**
  - Analyse bibliographique sur les outils d'aide à la décision de *Muys et al 2010* :
    - La différence entre simulateurs et outils d'aide à la décision (i.e. incluant interfaces conviviales, outils d'optimisation, etc.) s'estompe largement avec la puissance informatique
    - Défis restant à relever :
      - Le besoin des décideurs d'intégration de services toujours plus nombreux
      - Le besoin de sorties crédibles et vérifiées (éviter les boîtes noires)

# Exemple d'analyse multicritère

*Schwenk et al. 2012, Ecological Applications*

- Fonctionnement global de la méthode

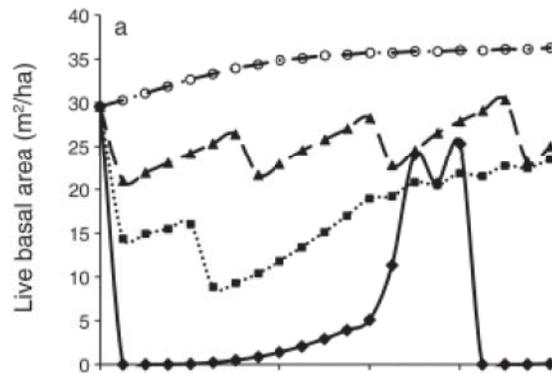


# Exemple d'analyse multicritère

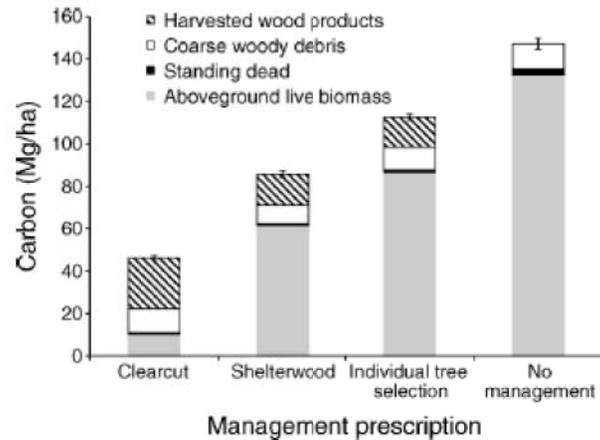
*Schwenk et al. 2012, Ecological Applications*

- Evaluation de l'impact des régimes sylvicoles pour les différentes fonctions
  - Utilisation des différents modèles (croissance, carbone, biodiversité...)

Production  
de bois



Stockage  
de carbone



Biodiversité  
(ici, 51 espèces d'oiseaux)

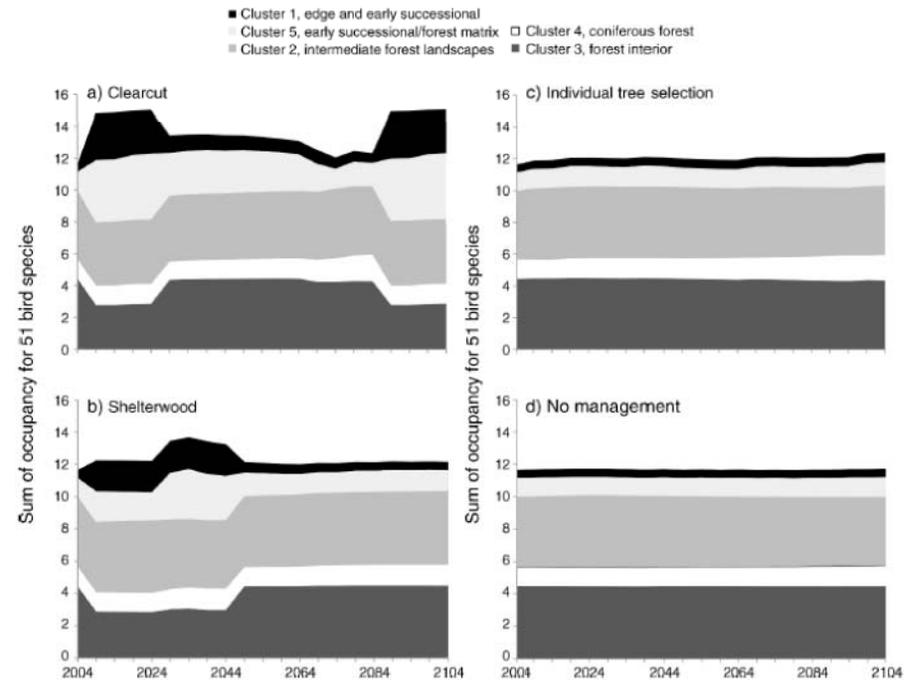
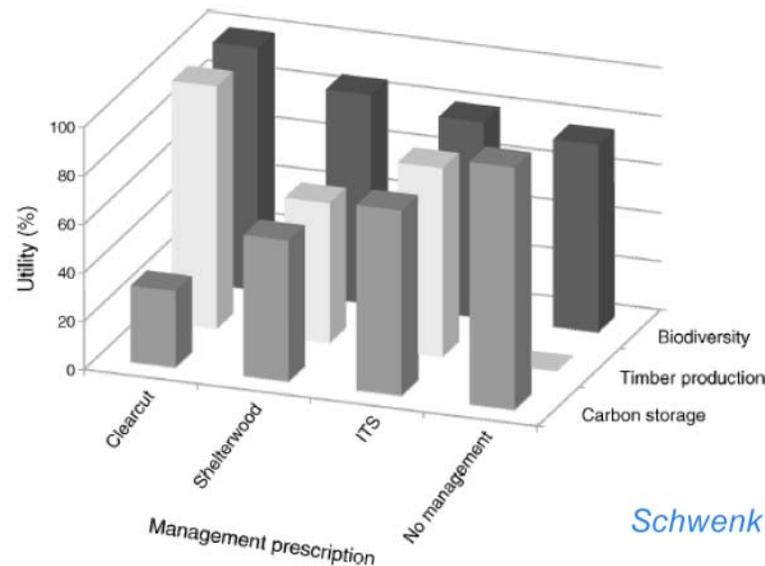


FIG. 4. Average predicted occupancy summed for all 51 forest birds species, grouped in clusters, for the four management prescriptions: (a) clearcut with short harvest interval (clearcuts in 2004 and 2084), (b) shelterwood with long harvest interval (partial harvest in 2004, removal cut in 2024), (c) individual tree selection, 30-year entry cycle, and (d) no management.

# Exemple d'analyse multicritère

*Schwenk et al. 2012, Ecological Applications*

- Evaluation de l'impact des régimes sylvicoles pour les différentes fonctions
  - Utilisation des différents modèles (croissance, carbone, biodiversité...)
  
- Standardisation des réponses, afin de pouvoir les comparer
  - Méthode classiquement utilisée (*Temperli et al. sous presse, Bradford et al. 2012, D'Amato et al. 2011, Wolfslehner et al. 2012...*)
  - Par exemple, valeur minimale et maximale du jeu de données  $\rightarrow [0; 1]$  (*Schwenk et al. 2012*)
    - Méthode discutable (la valeur optimale existe t'elle dans l'échantillon ? Interpolation linéaire ?)
    - Mais efficace

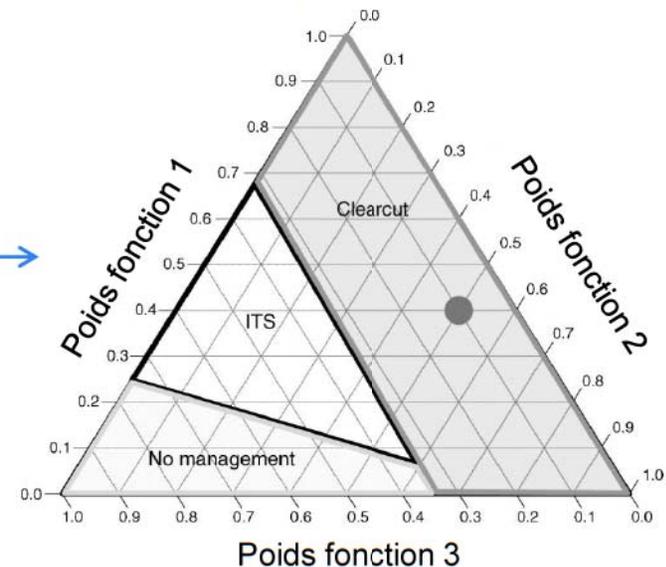


*Schwenk et al. 2012*

# Exemple d'analyse multicritère

*Schwenk et al. 2012, Ecological Applications*

- Evaluation de l'impact des régimes sylvicoles pour les différentes fonctions
  - Utilisation des différents modèles (croissance, carbone, biodiversité...)
  
- Standardisation des réponses, afin de pouvoir les comparer
  - Méthode classiquement utilisée (*Temperli et al. sous presse, Bradford et al. 2012, D'Amato et al. 2011, Wolfslehner et al. 2012...*)
  - Par exemple, valeur minimale et maximale du jeu de données  $\rightarrow [0; 1]$  (*Schwenk et al. 2012*)
    - Méthode discutable (la valeur optimale existe t'elle dans l'échantillon ? Interpolation linéaire ?)
    - Mais efficace
  
- Pondération des objectifs
  - Méthodes de priorisation
    - soit de manière exploratoire
    - soit par les acteurs





# Les avancées dans Forgeco

Analyse à l'échelle de la forêt d'Orléans et des Quatre Montagnes (Vercors)

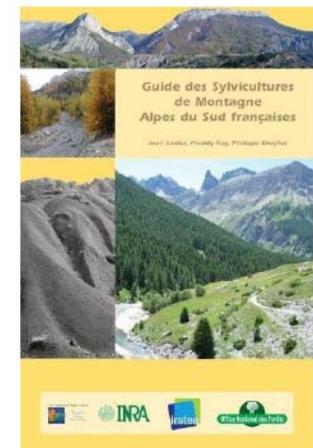
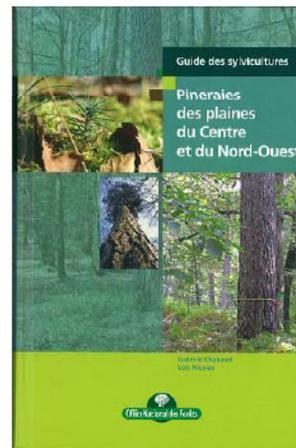
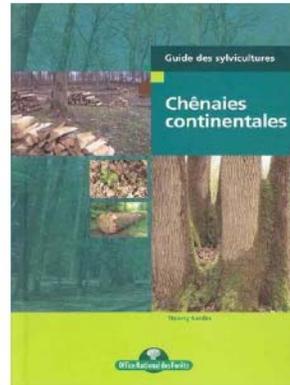
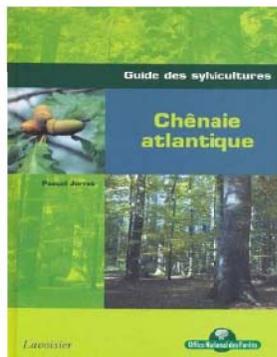
- Avec les constats suivants :
  - Assembler des modèles de différente nature est plus prometteur que de développer un modèle global pour la multifonctionnalité (*Pretzsch et al. 2008*)
  - Besoin d'outils validés et crédibles (*Muys et al. 2010*)
  
- Construction d'un simulateur à partir de Capsis (*Dufour-Kowalski et al. 2012*):
  - Utilisation des modules de croissance éprouvés pour la dendrométrie
  - Connexion à un SIG
  - Développement de modèles de biodiversité (Avec le projet complémentaire ISCAR)

SIMMEM : Simulateur Multi-Modules pour l'Echelle Massif

# CAPSIS

Croissance d'Arbres en Peuplement avec Simulation d'Interventions Sylvicoles

- Plateforme informatique et communauté scientifique
  - Rassemble modélisateurs de la croissance forestière de multiples organismes
  - Développement de modules de simulation depuis 1994
  - Modules largement utilisés par les gestionnaires (guides de sylviculture)



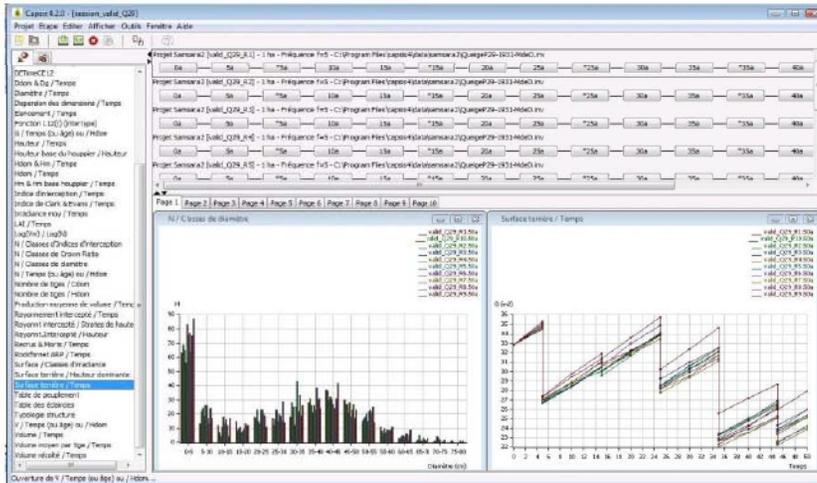
- Guides de sylviculture : illustration d'une certaine acceptation des résultats



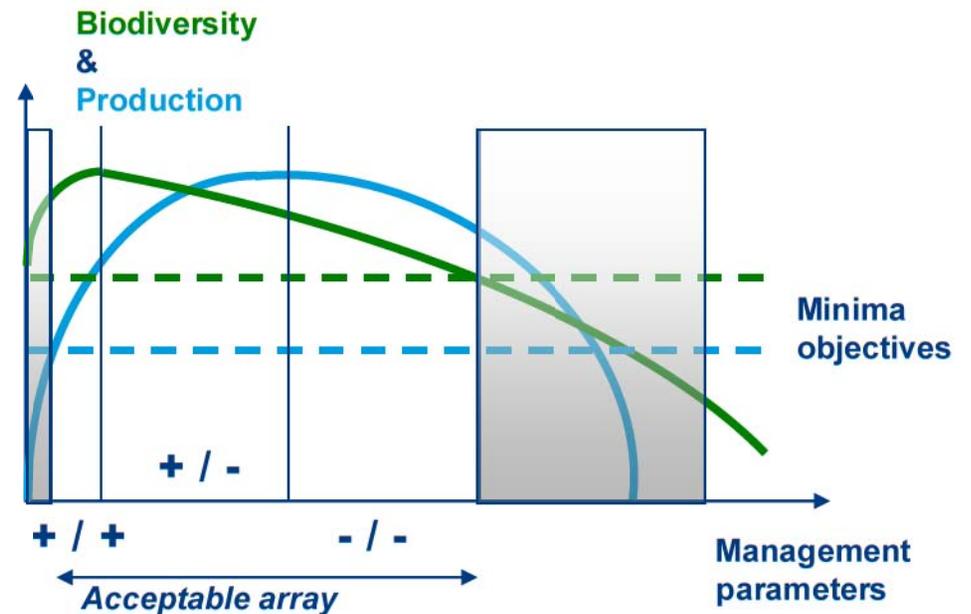
# CAPSIS

Croissance d'Arbres en Peuplement avec Simulation d'Interventions Sylvicoles

- Les modules, la plupart fonctionnant à l'échelle de la parcelle, permettent d'évaluer l'influence de la sylviculture sur les structures dendrométriques
  - Possibilité d'évaluer l'évolution d'indicateurs indirects d'autres services (ex: diversité des structures comme l'indice de Shannon ou de Gini)



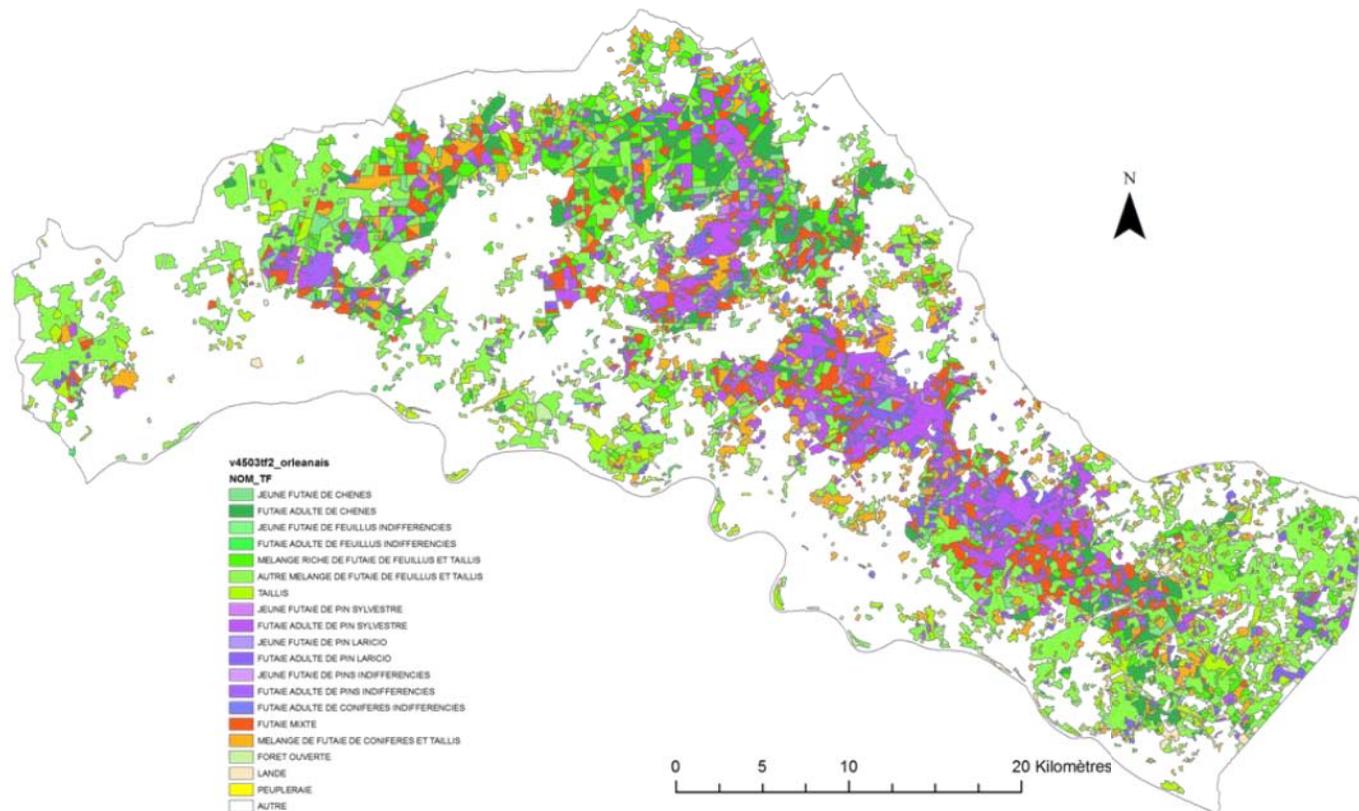
Evaluation de scénarios à l'échelle de la parcelle



# SIMMEM

Simulateur Multi-Modules pour l'Echelle Massif

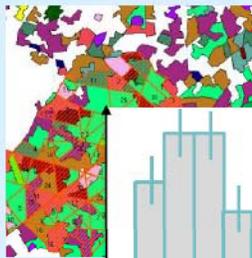
- Utilisation des différents modules de Capsis pour l'échelle territoire
  - Pour simuler simultanément la croissance des peuplements sur tout un territoire
  - Pour produire des sorties dendrométriques permettant l'utilisation d'indicateurs indirects



# SIMMEM

Simulateur Multi-Modules pour l'Echelle Massif

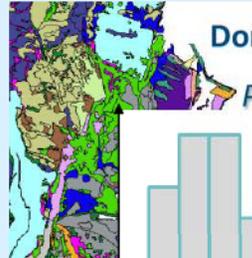
## Production de données géoréférencées en amont



Parcellaire

Structures dendro réelles ou virtuelles

diamètres



Données abiotiques

Proxy de la fertilité

proba profondeur sol

```

SIMMEM
#11 SIMMEM 01/01
#12 SIMMEM 01/01
#13 TOTAL_SURFACE_HA 1000
#14 SIMMEM 01/01
#15 SIMMEM 01/01
#16 SIMMEM 01/01
#17 SIMMEM 01/01
#18 SIMMEM 01/01
#19 SIMMEM 01/01
#20 SIMMEM 01/01
#21 SIMMEM 01/01
#22 SIMMEM 01/01
#23 SIMMEM 01/01
#24 SIMMEM 01/01
#25 SIMMEM 01/01
#26 SIMMEM 01/01
#27 SIMMEM 01/01
#28 SIMMEM 01/01
#29 SIMMEM 01/01
#30 SIMMEM 01/01
#31 SIMMEM 01/01
#32 SIMMEM 01/01
#33 SIMMEM 01/01
#34 SIMMEM 01/01
#35 SIMMEM 01/01
#36 SIMMEM 01/01
#37 SIMMEM 01/01
#38 SIMMEM 01/01
#39 SIMMEM 01/01
#40 SIMMEM 01/01
#41 SIMMEM 01/01
#42 SIMMEM 01/01
#43 SIMMEM 01/01
#44 SIMMEM 01/01
#45 SIMMEM 01/01
#46 SIMMEM 01/01
#47 SIMMEM 01/01
#48 SIMMEM 01/01
#49 SIMMEM 01/01
#50 SIMMEM 01/01
#51 SIMMEM 01/01
#52 SIMMEM 01/01
#53 SIMMEM 01/01
#54 SIMMEM 01/01
#55 SIMMEM 01/01
#56 SIMMEM 01/01
#57 SIMMEM 01/01
#58 SIMMEM 01/01
#59 SIMMEM 01/01
#60 SIMMEM 01/01
#61 SIMMEM 01/01
#62 SIMMEM 01/01
#63 SIMMEM 01/01
#64 SIMMEM 01/01
#65 SIMMEM 01/01
#66 SIMMEM 01/01
#67 SIMMEM 01/01
#68 SIMMEM 01/01
#69 SIMMEM 01/01
#70 SIMMEM 01/01
#71 SIMMEM 01/01
#72 SIMMEM 01/01
#73 SIMMEM 01/01
#74 SIMMEM 01/01
#75 SIMMEM 01/01
#76 SIMMEM 01/01
#77 SIMMEM 01/01
#78 SIMMEM 01/01
#79 SIMMEM 01/01
#80 SIMMEM 01/01
#81 SIMMEM 01/01
#82 SIMMEM 01/01
#83 SIMMEM 01/01
#84 SIMMEM 01/01
#85 SIMMEM 01/01
#86 SIMMEM 01/01
#87 SIMMEM 01/01
#88 SIMMEM 01/01
#89 SIMMEM 01/01
#90 SIMMEM 01/01
#91 SIMMEM 01/01
#92 SIMMEM 01/01
#93 SIMMEM 01/01
#94 SIMMEM 01/01
#95 SIMMEM 01/01
#96 SIMMEM 01/01
#97 SIMMEM 01/01
#98 SIMMEM 01/01
#99 SIMMEM 01/01
#100 SIMMEM 01/01
    
```

Fichier d'entrée standard



Scénarii sylvicoles → simulations à l'horizon 2050

SIMMEM ↓ modules unitaires



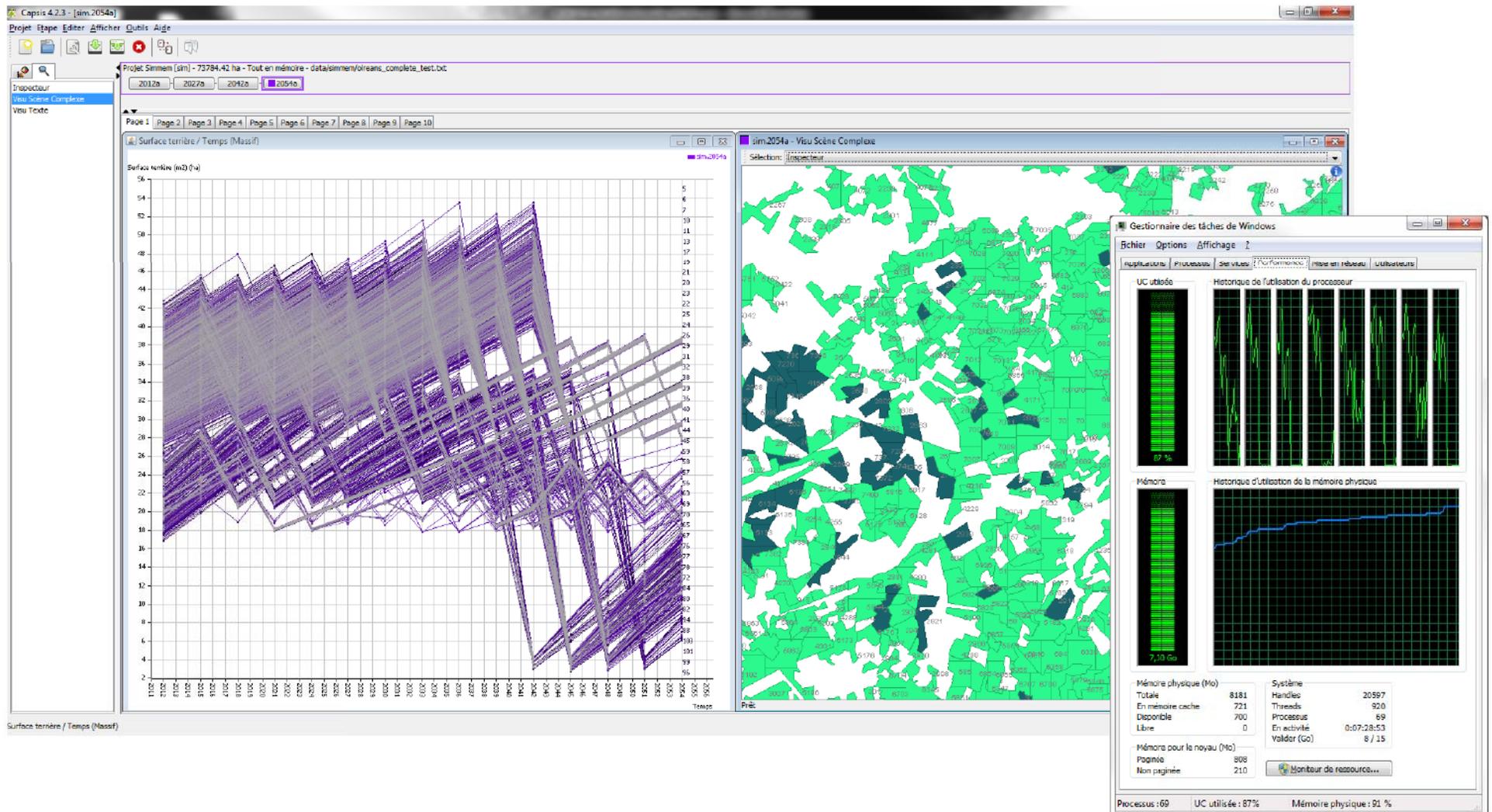
### Sorties

- indicateurs production
- carbone
- biodiversité échelle peuplement



# SIMMEM

Simulateur Multi-Modules pour l'Echelle Massif





## Pour l'analyse multicritère

- Les sorties de SIMMEM sont de nature **dendrométrique**. Elles permettent d'évaluer à l'échelle du massif, **en fonction du scénario sylvicole choisi par l'utilisateur**, plus ou moins aisément :
  - La production de bois
  - Les stocks de carbone des peuplements
  - La diversité des peuplements à l'échelle du massif (% de peuplement feuillus et résineux, la structure en âge, ...)
  - La diversité des structures en intra-parcelle
  
- **Pour la biodiversité**
  - Dans un certain nombre d'études, évaluation d'indices et critères de diversité des structures, mais pas la biodiversité en tant que telle (*D'Amato et al. 2011*, *Buongiorno et al. 2012*, *Temperli et al. 2012*, *Lexer and Seidl 2009...*) → sens et magnitude des réponses par toujours clairs
  
- **Apports du projet ISCAR**
  - Développement d'indicateurs indirects spécifiques aux sites d'études : sur la flore, les bryophytes, l'avifaune (rapaces)



## En conclusion

- Construction de SIMMEM, un simulateur à l'échelle du massif forestier (forêt d'Orléans ou Massif des Quatre Montagnes)
- Bénéficiant des capacités de modèles de croissance forestière reconnus et utilisés par la profession
- Permettant d'intégrer sorties de services écosystémiques, si tant est que des indicateurs indirects à base dendrométrique soient développés
  - Exemple de plusieurs taxons (en cours dans le projet ISCAR)
  - Sur ce mode, possibilité d'ajouter de multiples autres services



## Littérature citée

- Bradford, J. B., & D'Amato, A. W. 2012. Recognizing trade-offs in multi-objective land management. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(4): 210-216.
- Buongiorno, J., Halvorsen, E. A., Bollandsas, O. M., Gobakken, T., & Hofstad, O. 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. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 27(5): 460-473.
- D'Amato, A. W., Bradford, J. B., Fraver, S., & Palik, B. J. 2011. Forest management for mitigation and adaptation to climate change: Insights from long-term silviculture experiments. *Forest Ecology and Management*, 262(5): 803-816.
- de Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. 2002. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, 41(3): 393-408.
- Dufour-Kowalski, S., Courbaud, B., Dreyfus, P., Meredieu, C., & de Coligny, F. 2012. Capsis: an open software framework and community for forest growth modelling. *Annals of Forest Science*, 69(2): 221-233.
- Jalilova, G., Khadka, C., & Vacik, H. 2012. Developing criteria and indicators for evaluating sustainable forest management: A case study in Kyrgyzstan. *Forest Policy and Economics*, 21(0): 32-43.
- Lexer, M. J., & Seidl, R. 2009. Addressing biodiversity in a stakeholder-driven climate change vulnerability assessment of forest management. *Forest Ecology and Management*, 258, Supplement(0): S158-S167.
- Muys, B., Hynynen, J., Palahi, M., Lexer, M. J., Fabrika, M., Pretzsch, H., Gillet, F., Briceno, E., Nabuurs, G. J., & Kint, V. 2010. Simulation tools for decision support to adaptive forest management in Europe. *Forest Systems*, 19: 86-99.
- Pretzsch, H., Grote, R., Reineking, B., Rotzer, T., & Seifert, S. 2008. Models for forest ecosystem management: A European perspective. *Annals of Botany*, 101(8): 1065-1087.
- Schwenk, W. S., Donovan, T. M., Keeton, W. S., & Nunery, J. S. 2012. Carbon storage, timber production, and biodiversity: comparing ecosystem services with multi-criteria decision analysis. *Ecological Applications*, 22(5): 1612-1627.
- Temperli, C., Bugmann, H., & Elkin, C. sous presse. Adaptive management for competing forest goods and services under climate change. *ESA Preprint*.
- Wolfslehner, B., Bruchert, F., Fischbach, J., Rammer, W., Becker, G., Lindner, M., & Lexer, M. J. 2012. Exploratory multi-criteria analysis in sustainability impact assessment of forest-wood chains: the example of a regional case study in Baden-Württemberg. *European Journal of Forest Research*, 131(1): 47-56.