

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

P. Vallet¹, T. Bronner², F. de Coligny³, V. Lafond⁴, V. Cucchi^{1,5}, T. Cordonnier⁴

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

Colloque FORGECO, 4-5 décembre 2012, Lyon



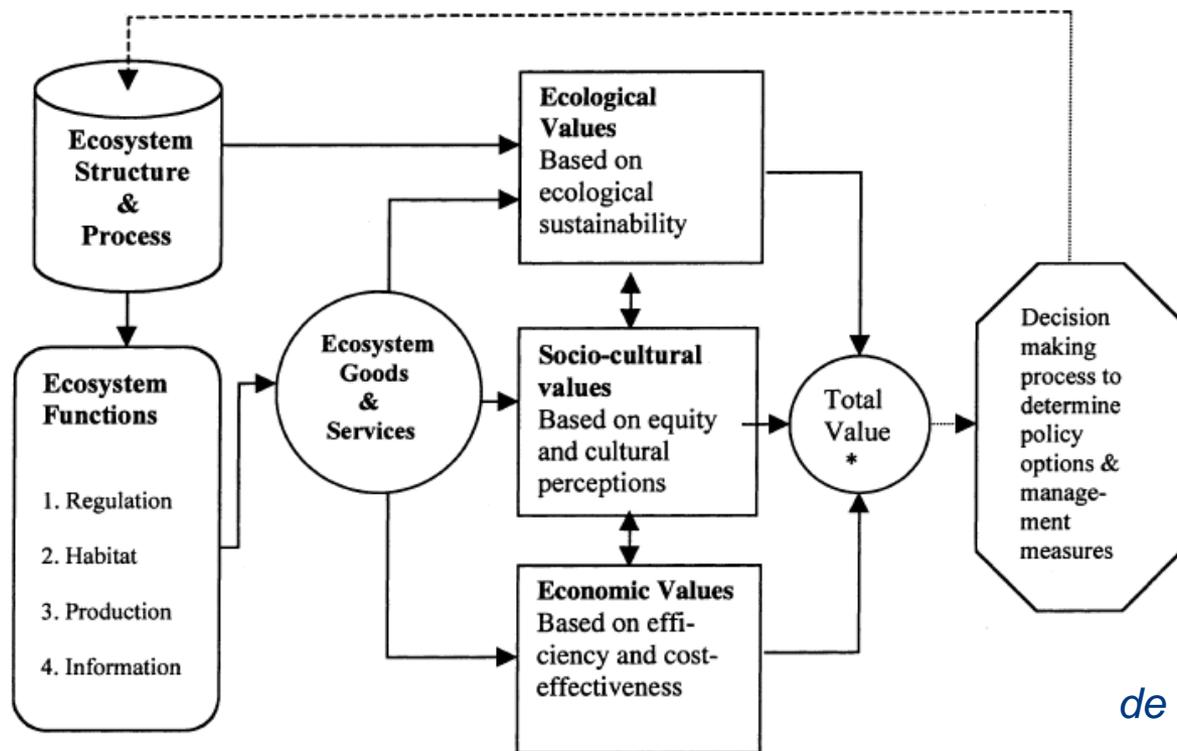
La multifonctionnalité

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*)

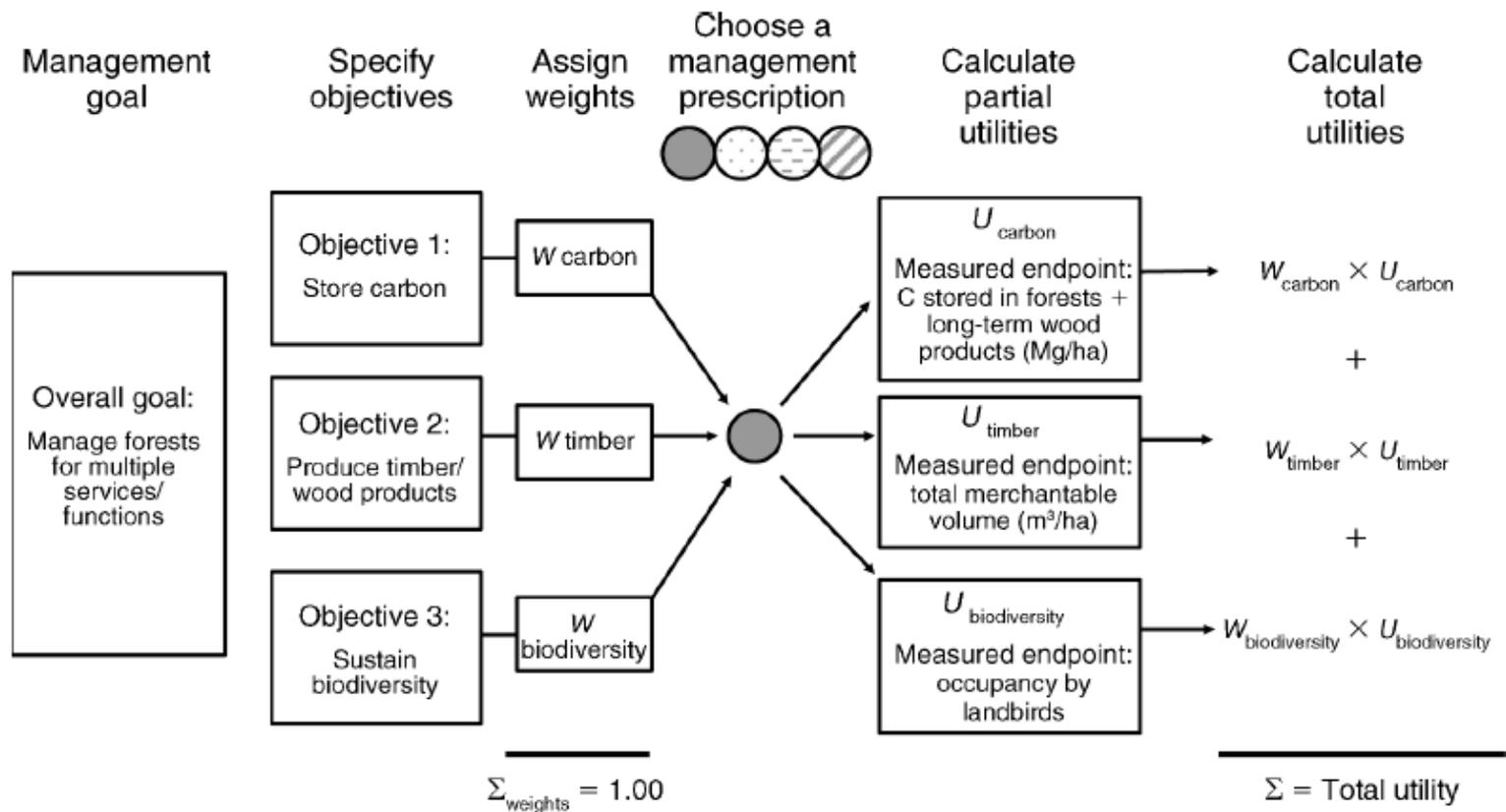
- **Pondération des différentes valeurs des fonctions de l'écosystème**
 - En fonction des **types d'acteurs** (*Jalilova et al. 2012, Lexer et Seidl 2009*)
 - Dans un **contexte territorial** donné

- **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

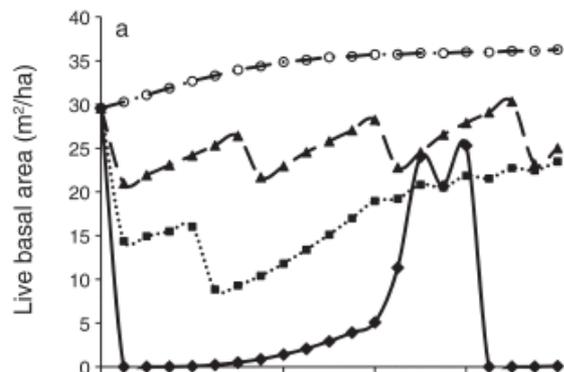


Exemple d'analyse multicritère

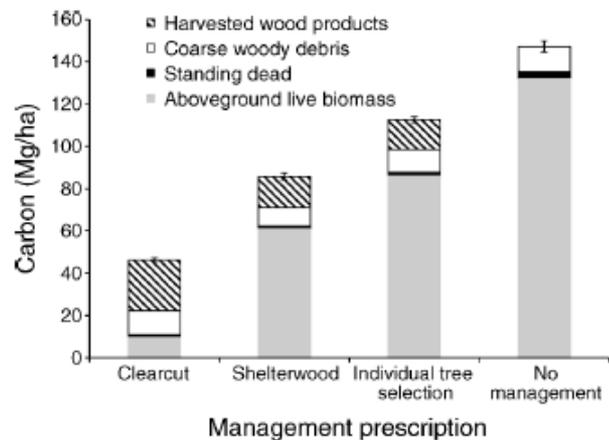
Schwenk et al. 2012, Ecological Applications

- 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)

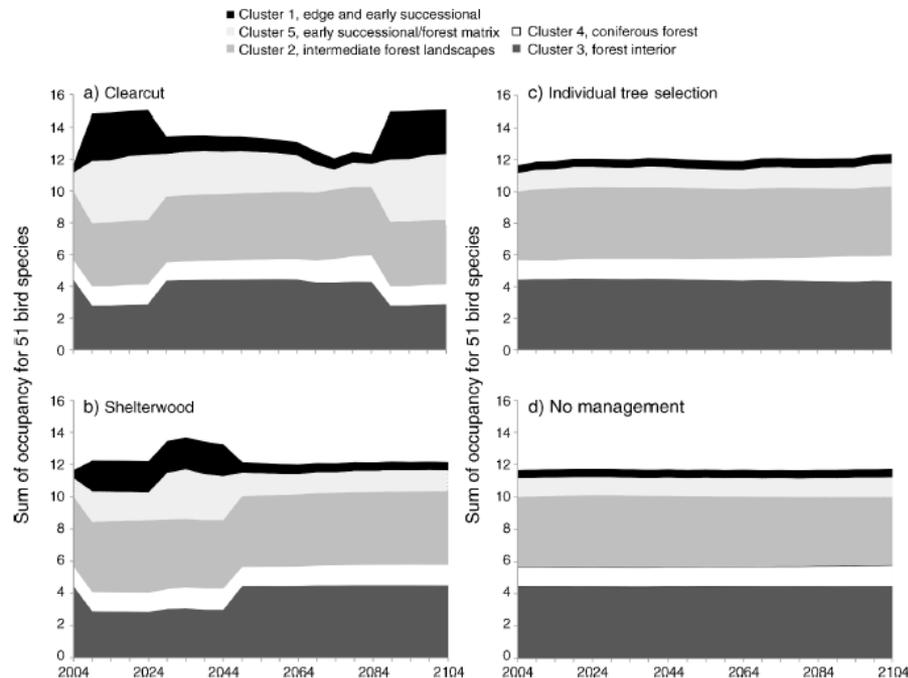


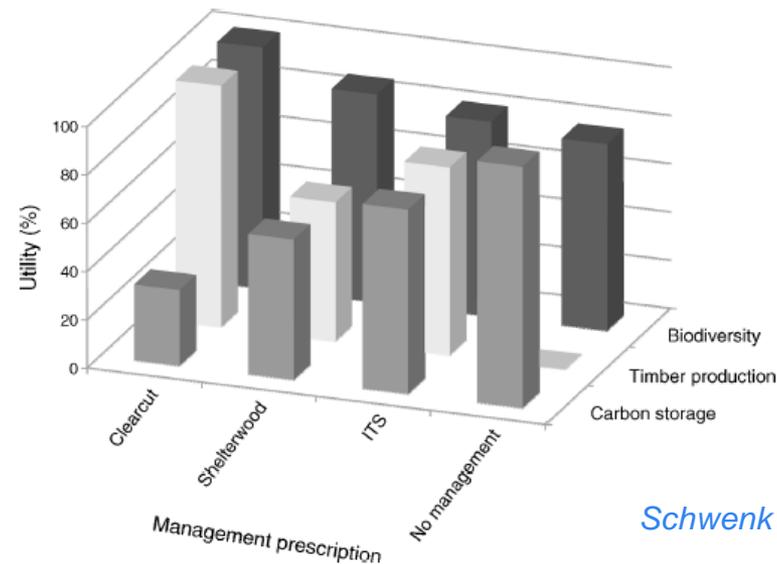
FIG. 4. Average predicted occupancy summed for all 51 forest birds species, grouped in clusters, for the four management prescriptions: (a) clearcut with short harvest interval (clearcuts in 2004 and 2084), (b) shelterwood with long harvest interval (partial harvest in 2004, removal cut in 2024), (c) 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 → [0; 1] (*Schwenk et al. 2012*)
 - Méthode discutable (la valeur optimale existe t'elle dans l'échantillon ? Interpolation linéaire ?)
 - Mais efficace



Exemple d'analyse multicritère

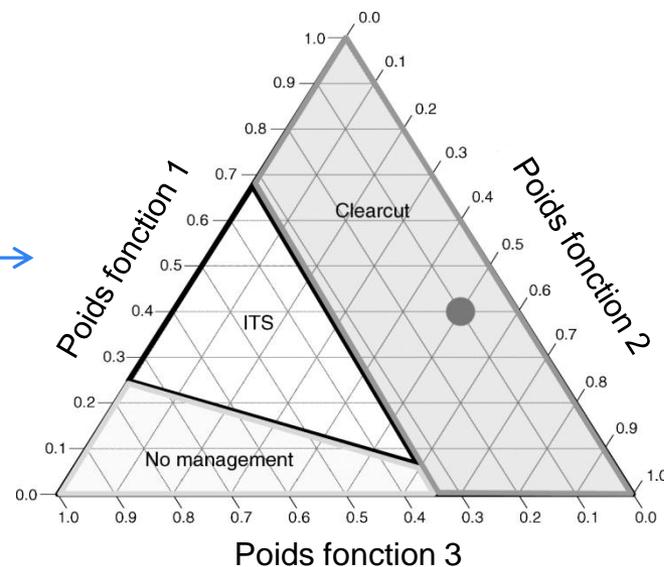
Schwenk et al. 2012, Ecological Applications

- 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

(*Jalilova et al. 2012, Lexer and Seidl 2009*)





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*)

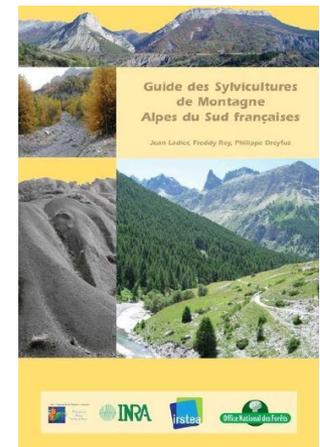
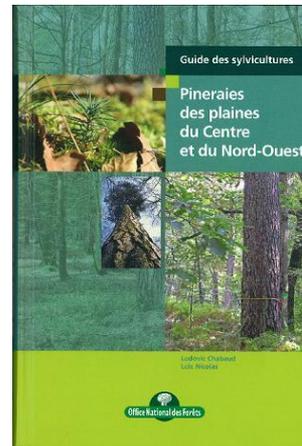
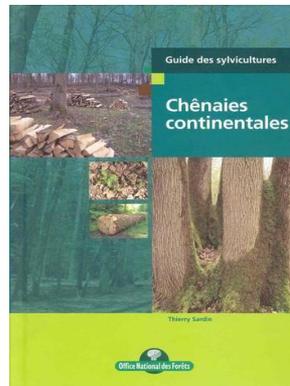
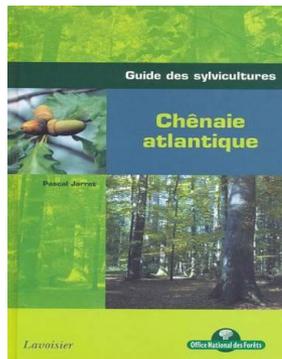
- Construction d'un simulateur à partir de Capsis (*Dufour-Kowalski et al. 2012*):
 - Utilisation des modules de croissance éprouvés pour la dendrométrie
 - Connexion à un SIG
 - Développement de modèles de biodiversité (Avec le projet complémentaire ISCAR)

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)

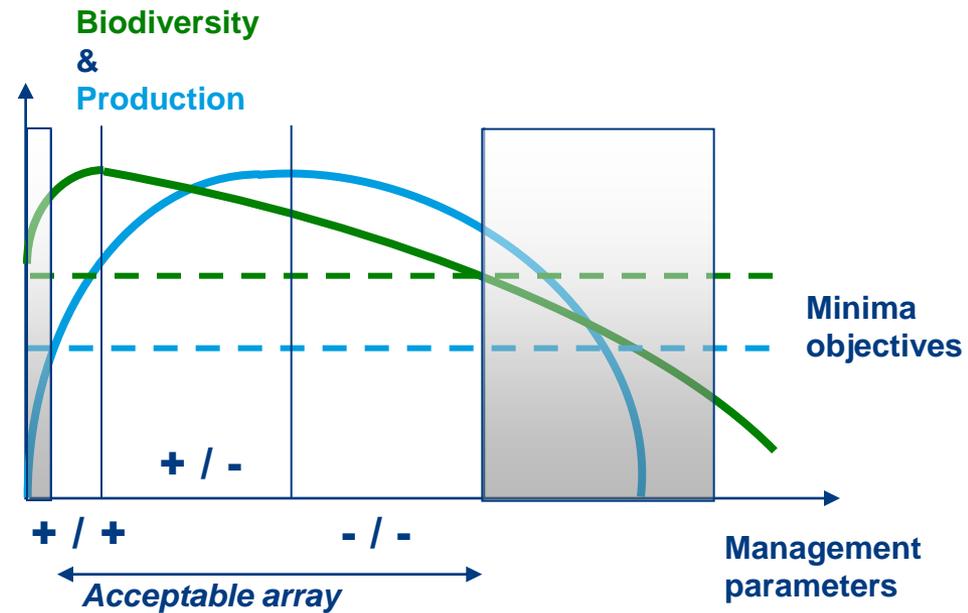
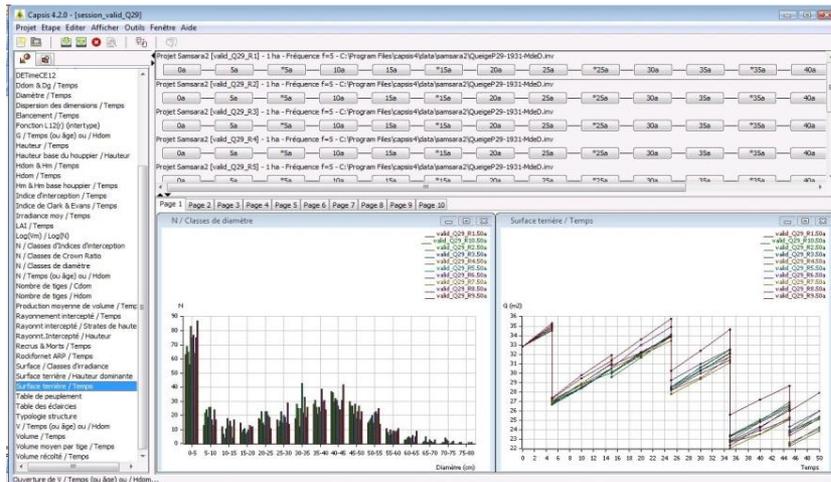


- Guides de sylviculture : illustration d'une certaine acceptation des résultats

CAPSIS

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

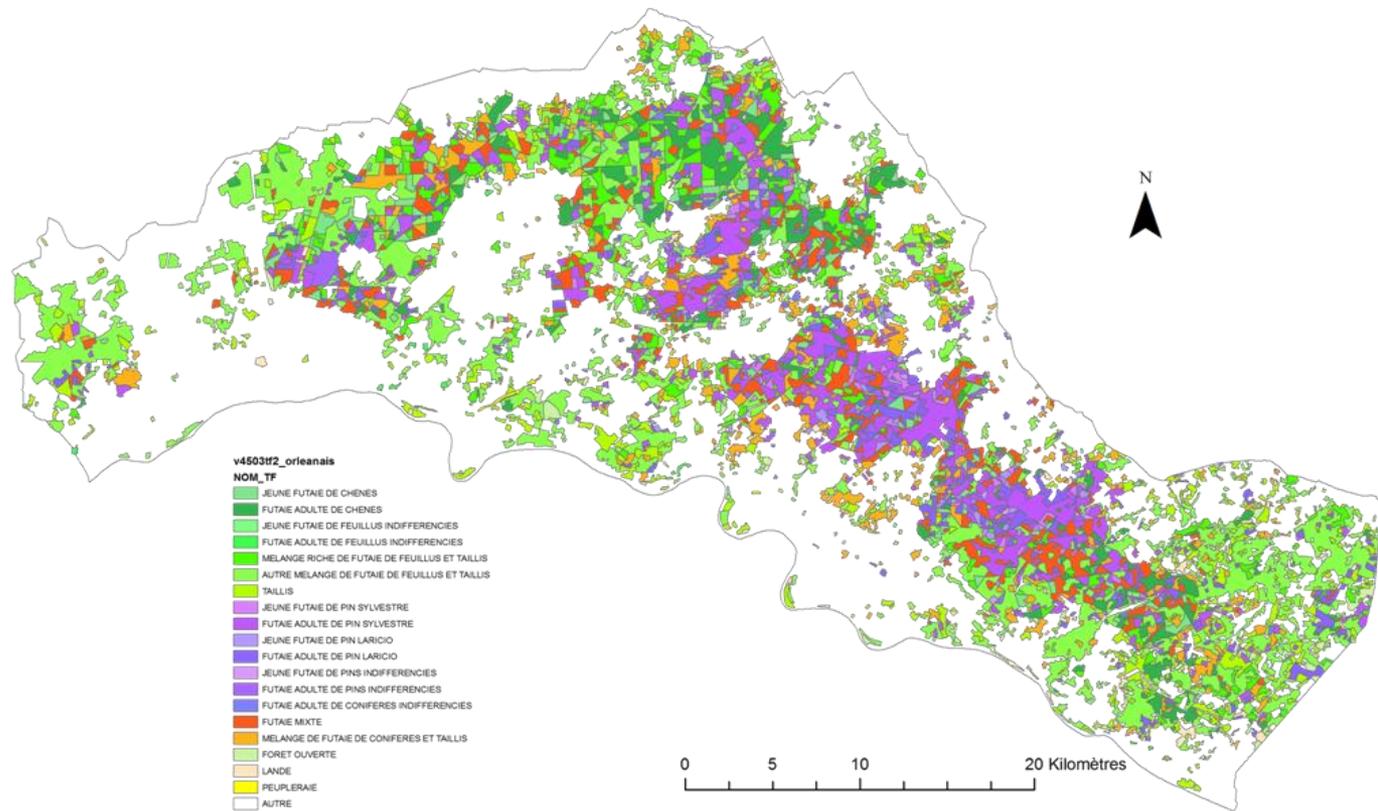
- Les modules, la plupart fonctionnant à l'échelle de la parcelle, permettent d'évaluer l'influence de la sylviculture sur les structures dendrométriques
 - Possibilité d'évaluer l'évolution d'indicateurs indirects d'autres services (ex: diversité des structures comme l'indice de Shannon ou de Gini)



SIMMEM

Simulateur Multi-Modules pour l'Echelle Massif

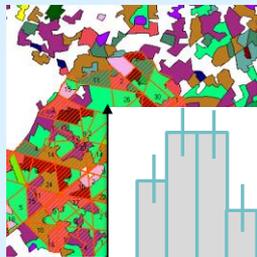
- Utilisation des différents modules de Capsis pour l'échelle territoire
 - Pour simuler simultanément la croissance des peuplements sur tout un territoire
 - Pour produire des sorties dendrométriques permettant l'utilisation d'indicateurs indirects



SIMMEM

Simulateur Multi-Modules pour l'Echelle Massif

Production de données géoréférencées en amont

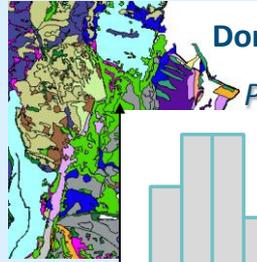


Parcellaire



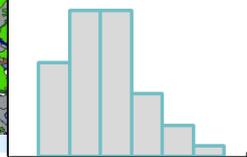
Structures dendro réelles ou virtuelles

diamètres



Données abiotiques

Proxy de la fertilité



proba profondeur sol

```

#1: Global Level
DATE=2014
TOTAL_AREA=107428221.49
XMIN=42701.04
XMAX=42701.04
YMIN=71252.02
YMAX=420397.15
YDAM=71252.02

#2: Forest Data Level
# HERE THE AREAS HAVE BEEN MODIFIED -> EQUALS PLOT AREA
#1: FORESTED - FORESTABILITY - FOREST_TYPE - SITE_INDEX - AREA - FOREST_TYPE_CODE - FOREST_TYPE_NAME
422 1.0 PRV 1 1184 37 PITAIN ADULTE DE FOP PEUVRETE OREBARD 22 0.1384 11.28 -1 -1 10.01
64 2.0 PRV 2 142 87 PITAIN ADULTE DE FOP PEUVRETE OREBARD 22 0.1442 -1 -1 -1 7.127 -
29 1.0 PRV 1 2000 18 PITAIN ADULTE DE CERES OREBARD 49 0.20 -1 -1 22.87 19.39 -

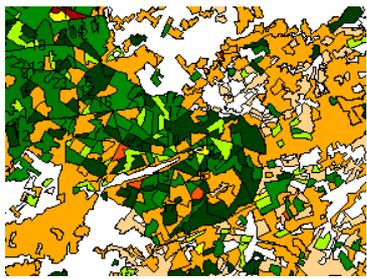
#3: Classes Diameter Level
TABLED - FORESTED DIAMETER
422 0.0000000000 0.0 0
422 0.0000000000 2.0 0
422 0.0000000000 3.0 0
422 0.0000000000 4.0 0
422 0.0000000000 5.0 0
422 0.0000000000 6.0 0
422 0.0000000000 7.0 0
422 0.0000000000 8.0 0
422 0.0000000000 9.0 0
422 0.0000000000 10.0 0
422 0.0000000000 11.0 0
422 0.0000000000 12.0 0
422 0.0000000000 13.0 0
422 0.0000000000 14.0 0
422 0.0000000000 15.0 0
422 0.0000000000 16.0 0
422 0.0000000000 17.0 0
422 0.0000000000 18.0 0
422 0.0000000000 19.0 0
422 0.0000000000 20.0 0
422 0.0000000000 21.0 0
422 0.0000000000 22.0 0
422 0.0000000000 23.0 0
422 0.0000000000 24.0 0
422 0.0000000000 25.0 0
422 0.0000000000 26.0 0
422 0.0000000000 27.0 0
422 0.0000000000 28.0 0
422 0.0000000000 29.0 0
422 0.0000000000 30.0 0
422 0.0000000000 31.0 0
422 0.0000000000 32.0 0
422 0.0000000000 33.0 0
422 0.0000000000 34.0 0
422 0.0000000000 35.0 0
422 0.0000000000 36.0 0
422 0.0000000000 37.0 0
422 0.0000000000 38.0 0
422 0.0000000000 39.0 0
422 0.0000000000 40.0 0
422 0.0000000000 41.0 0
422 0.0000000000 42.0 0
422 0.0000000000 43.0 0
422 0.0000000000 44.0 0
422 0.0000000000 45.0 0
422 0.0000000000 46.0 0
422 0.0000000000 47.0 0
422 0.0000000000 48.0 0
422 0.0000000000 49.0 0
422 0.0000000000 50.0 0
422 0.0000000000 51.0 0
422 0.0000000000 52.0 0
422 0.0000000000 53.0 0
422 0.0000000000 54.0 0
422 0.0000000000 55.0 0
422 0.0000000000 56.0 0
422 0.0000000000 57.0 0
422 0.0000000000 58.0 0
422 0.0000000000 59.0 0
422 0.0000000000 60.0 0
422 0.0000000000 61.0 0
422 0.0000000000 62.0 0
422 0.0000000000 63.0 0
422 0.0000000000 64.0 0
422 0.0000000000 65.0 0
422 0.0000000000 66.0 0
422 0.0000000000 67.0 0
422 0.0000000000 68.0 0
422 0.0000000000 69.0 0
422 0.0000000000 70.0 0
422 0.0000000000 71.0 0
422 0.0000000000 72.0 0
422 0.0000000000 73.0 0
422 0.0000000000 74.0 0
422 0.0000000000 75.0 0
422 0.0000000000 76.0 0
422 0.0000000000 77.0 0
422 0.0000000000 78.0 0
422 0.0000000000 79.0 0
422 0.0000000000 80.0 0
422 0.0000000000 81.0 0
422 0.0000000000 82.0 0
422 0.0000000000 83.0 0
422 0.0000000000 84.0 0
422 0.0000000000 85.0 0
422 0.0000000000 86.0 0
422 0.0000000000 87.0 0
422 0.0000000000 88.0 0
422 0.0000000000 89.0 0
422 0.0000000000 90.0 0
422 0.0000000000 91.0 0
422 0.0000000000 92.0 0
422 0.0000000000 93.0 0
422 0.0000000000 94.0 0
422 0.0000000000 95.0 0
422 0.0000000000 96.0 0
422 0.0000000000 97.0 0
422 0.0000000000 98.0 0
422 0.0000000000 99.0 0
422 0.0000000000 100.0 0
    
```

Fichier d'entrée standard



Scénarii sylvicoles
→ simulations à l'horizon 2050

SIMMEM
↓
modules unitaires



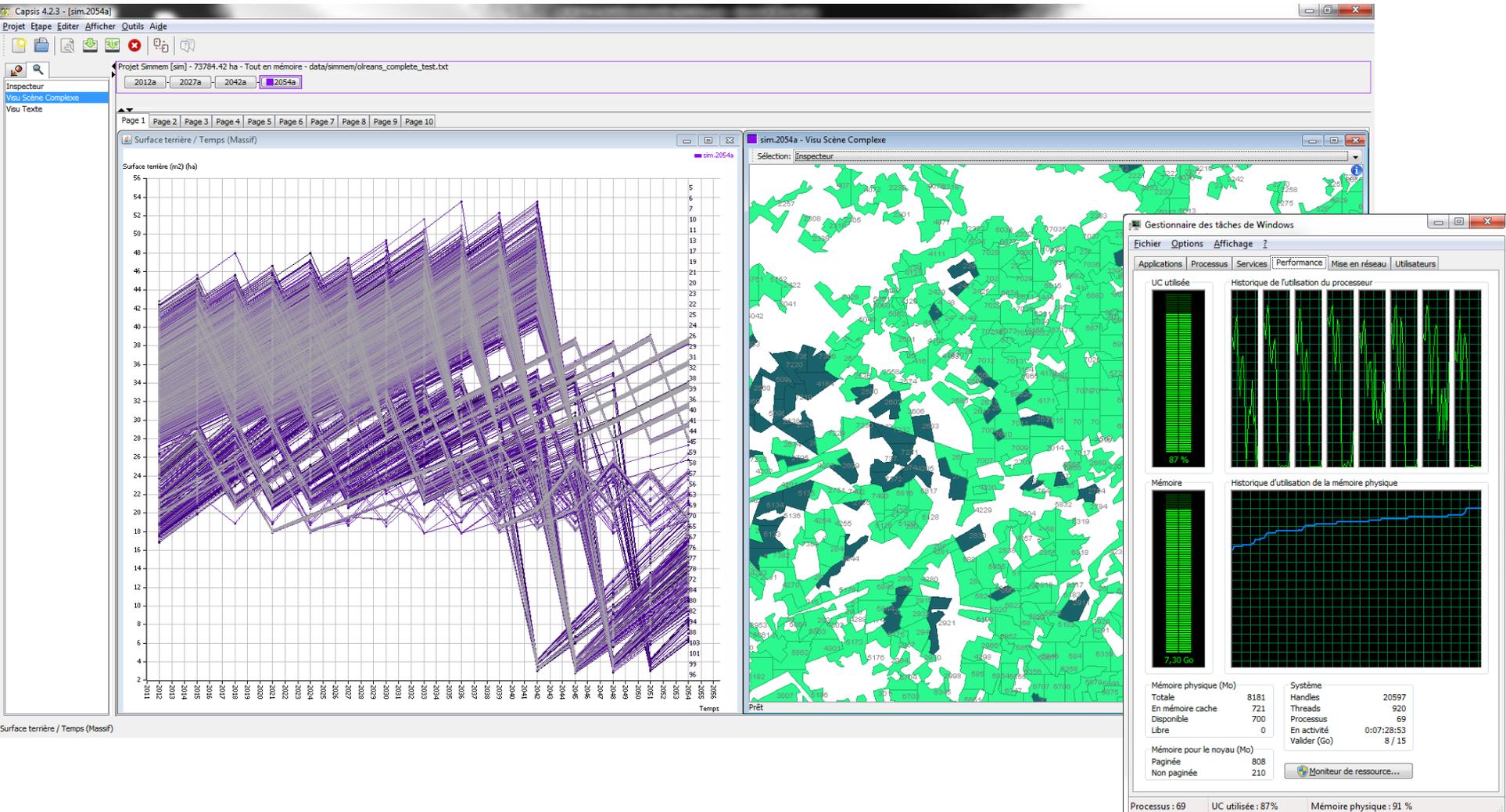
Sorties

- 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-Wurtemberg. *European Journal of Forest Research*, 131(1): 47-56.