



Alexandre Bosc
Denis Loustau
Christophe Moisy
Virginie Moreaux
Tovo Rabemanatsoa

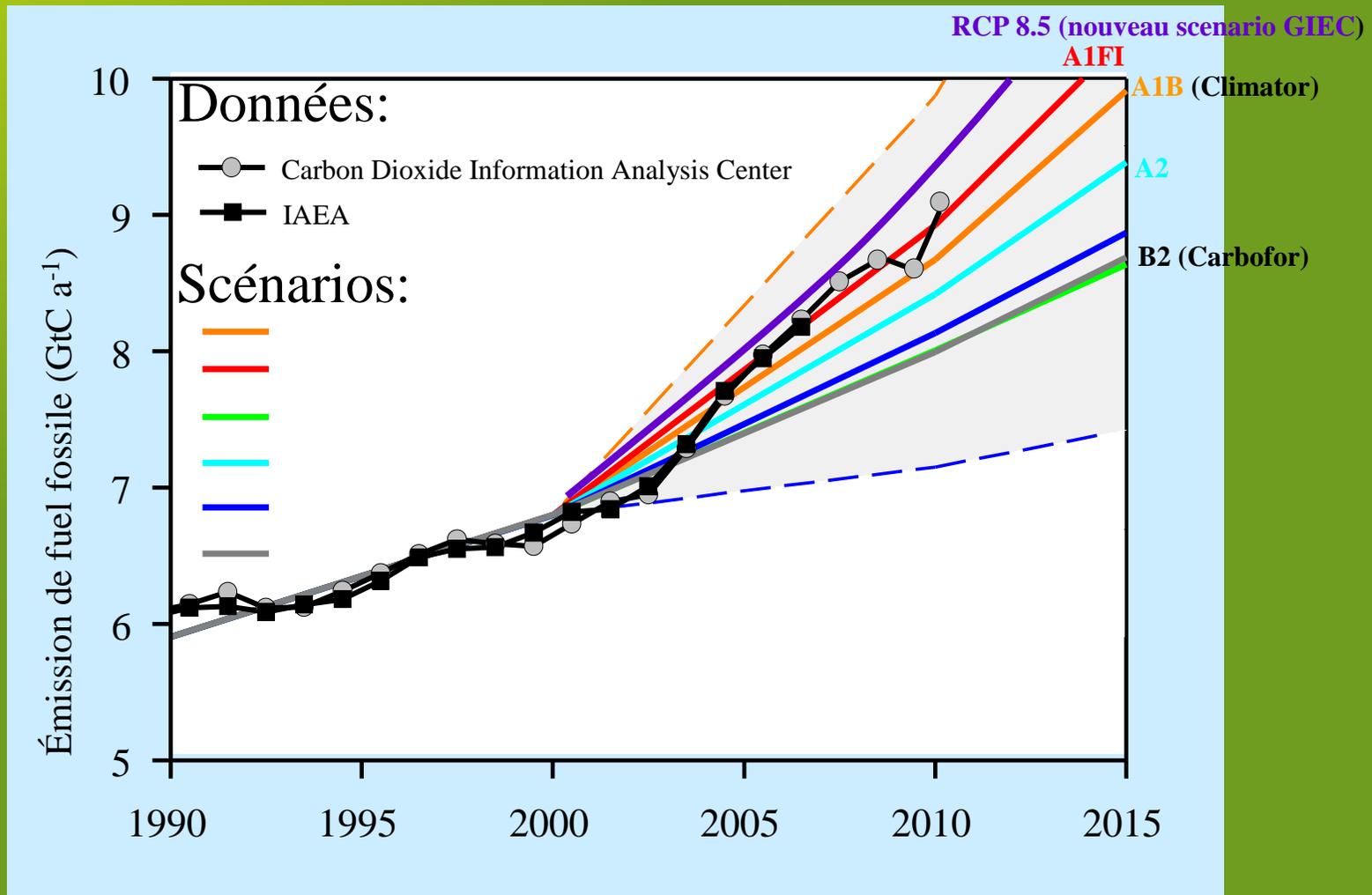
Une approche de modélisation distribuée du fonctionnement des forêts gérées sur la France

Unité EPHYSE
Centre de Bordeaux Aquitaine



La glorieuse incertitude

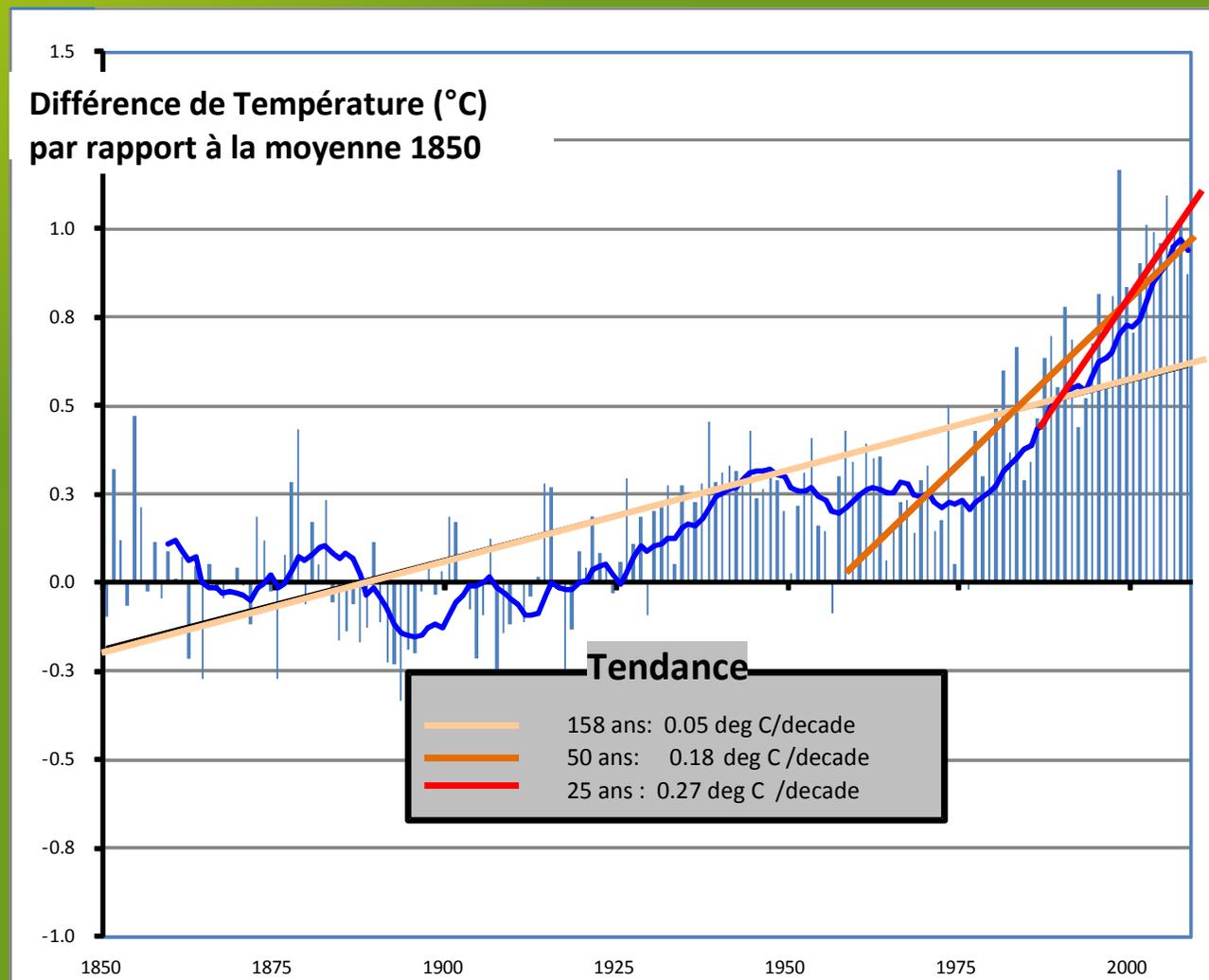
Emissions observées et scénarios du GIEC



Raupach et al. 2007, *PNAS*, updated; Le Quéré et al. 2009, *Nature Geoscience*; FMI 2009
Friedligstein et al., 2011, *Nature Geoscience*. Moss et al. 2010, *Nature*.

Et quelques certitudes:

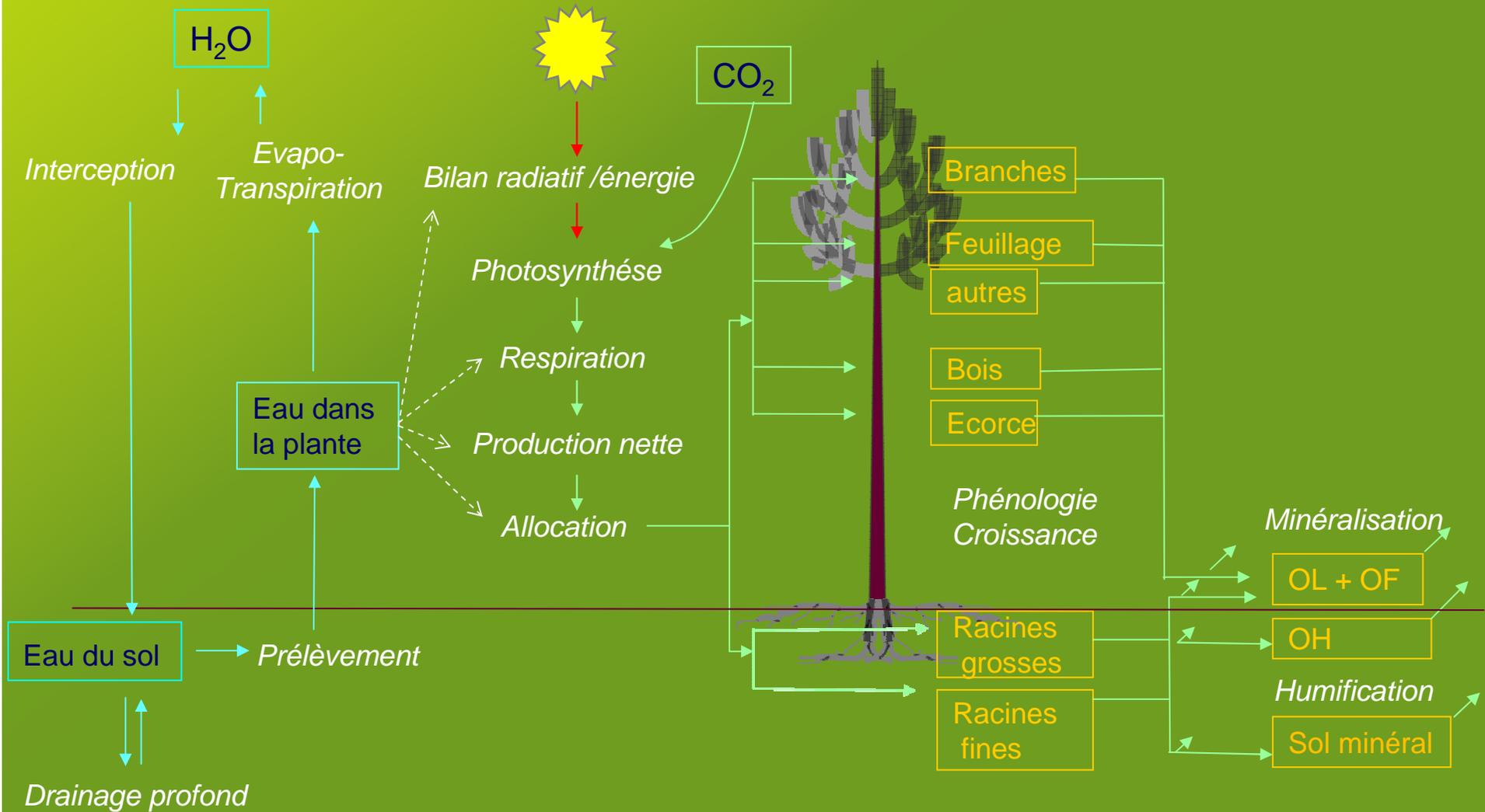
évolution de la température en Europe



L'approche processus en 2008

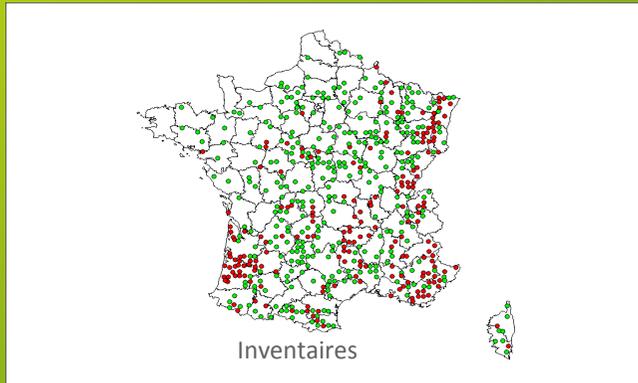
- Simule la production en bois et biomasse, et des services écosystémiques (cycles du carbone, de l'azote, des gaz à effet de serre);
- En prenant en compte la sensibilité au climat, CO₂, azote .. des arbres ;

La Modélisation de la production par l'approche multi-processus

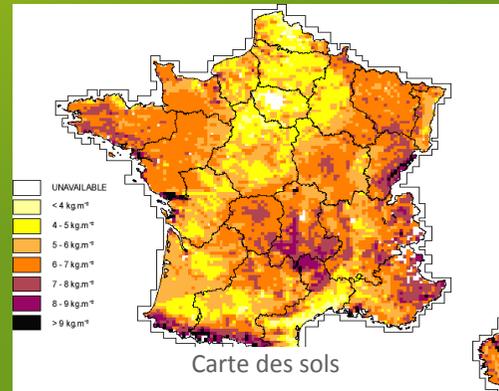


Approches de spatialisation CARBOFOR : 50 x 50km

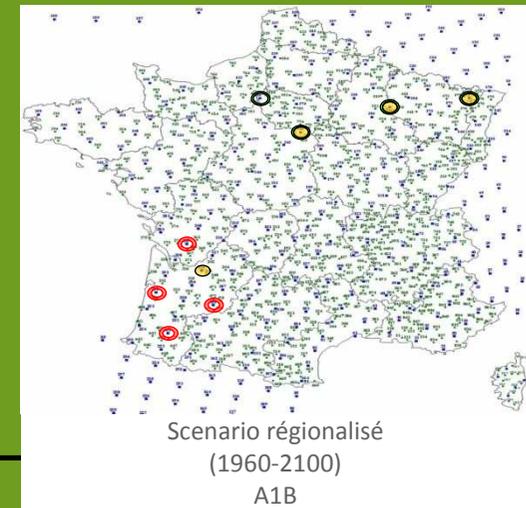
Données IFN:
Essence, biomasse



Données IFN, RMQS
Carbone sol, réserve utile



Scénario climatique



**Modèles de
Fonctionnement**

Projets
CARBOFOR, CLIMATOR,
DRYADE, QDIV

X

Matrices régionales

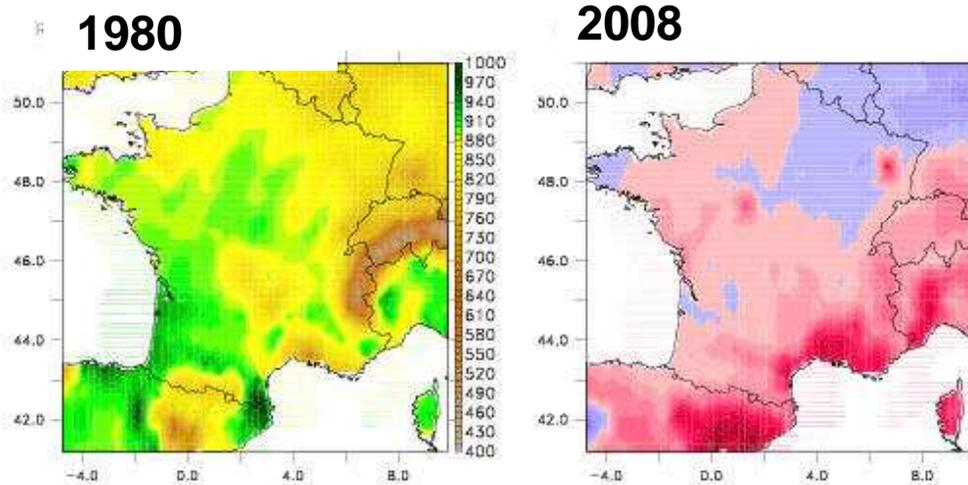
Classes de Sol (N)
Points de grille (Climat)
Initialisation des peuplements

=

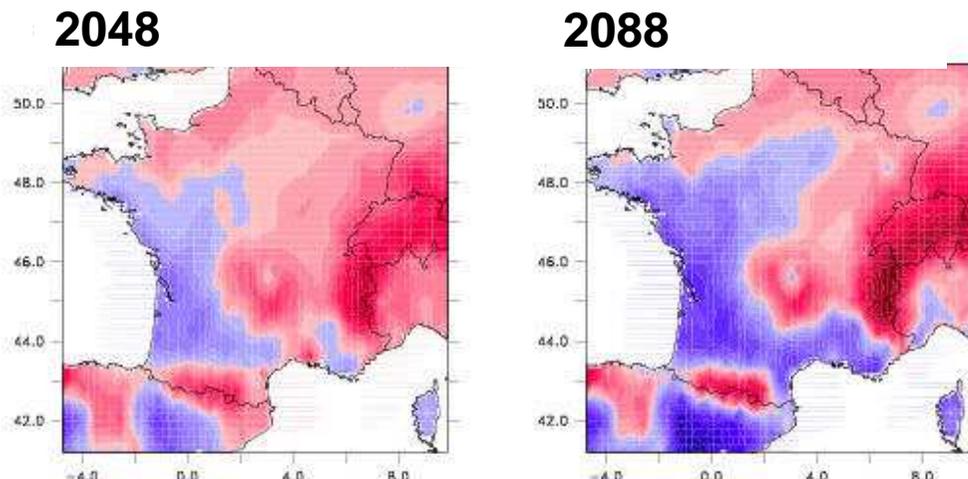
**Analyse des impacts
« Services écosystémiques »**

Estimation des flux
Séquestration de carbone
Scénarios de productivité
forestière
Analyse de vulnérabilité

Prévisions pour la France: 4 périodes – 50x50 km



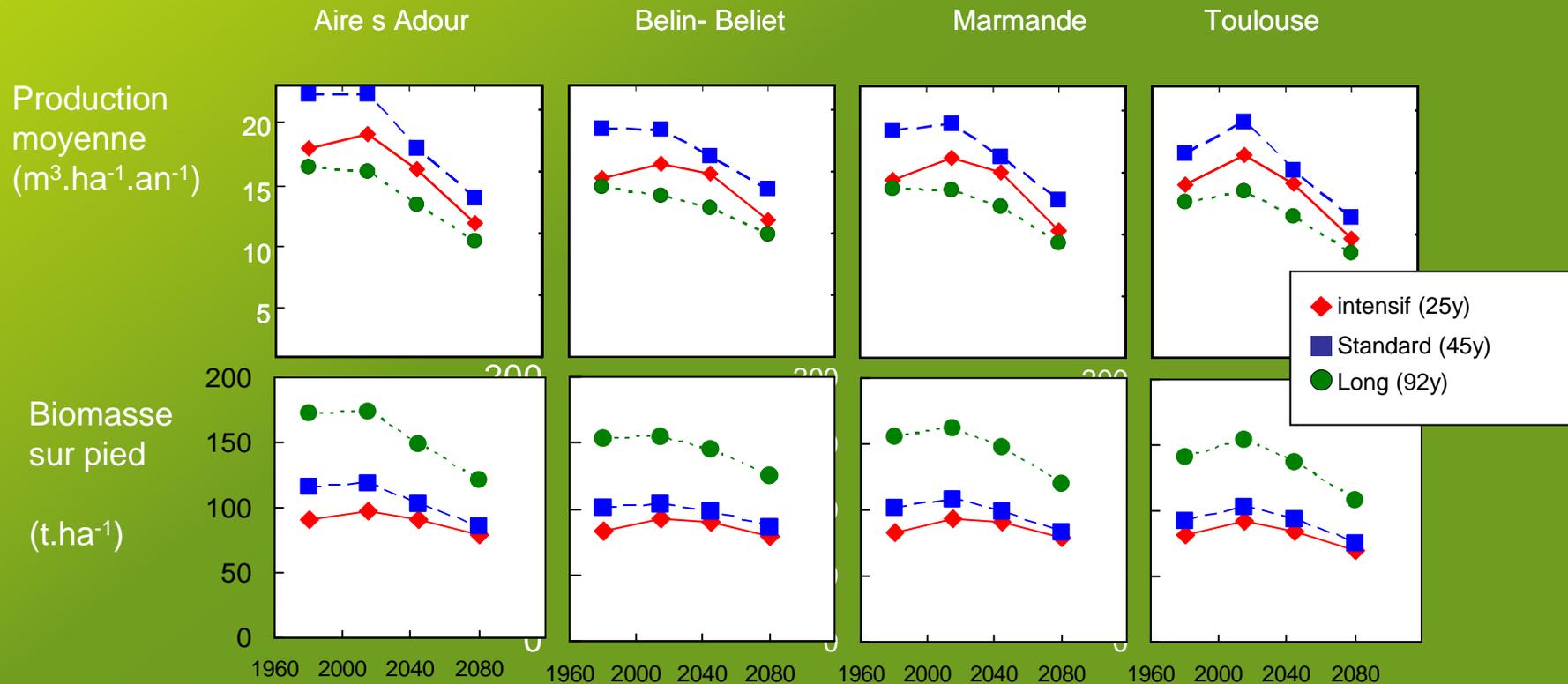
Anomalie NPP ($\text{gC.m}^{-2}.\text{an}^{-1}$)



Conifères de plaine 1960 – 2100

- Évolution discontinue avec une inversion en 2040
- Contrastes géographiques importants avec un effet décroissant du Nord au Sud

Les impacts prévus: études de cas (*Carbofor, Climator*)



- Forte variation géographique des impacts (gradient climatique)
- Déclin général à long terme
- Opportunités à court terme

Qu'a-t-on appris ?

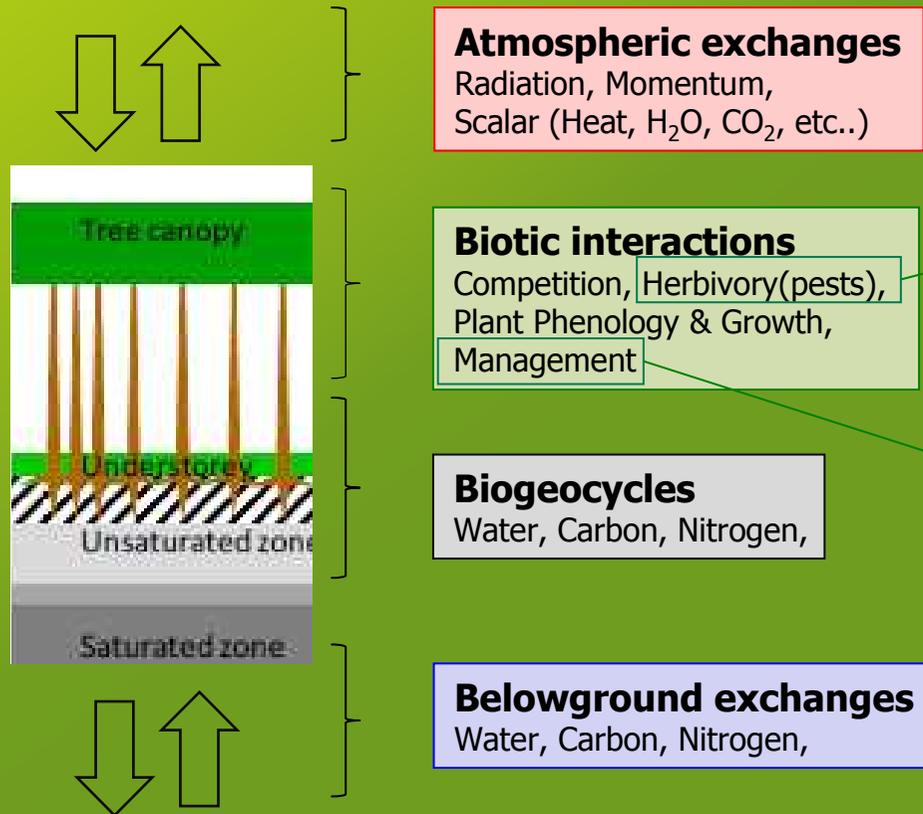
- Des prédictions présentant un zonage géographique important
- Des scénarios favorables à court terme, puis défavorables à l'exploitation forestière
- Un changement trop rapide pour laisser place à l'amélioration génétique
- Une marge d'adaptation par la gestion, mais comment ?

L'approche process-modèle en 2012:

- Simule la production en bois et biomasse, et des services écosystémiques (cycles du carbone, de l'azote, des gaz à effet de serre);
- Prend en compte la sensibilité au climat, CO₂, azote .. des arbres et du sous-étage;
- Permet de représenter l'impact de facteurs biotiques (ravageurs);
- et de la sylviculture: sol, sous étage, fertilisation, peuplement principal;

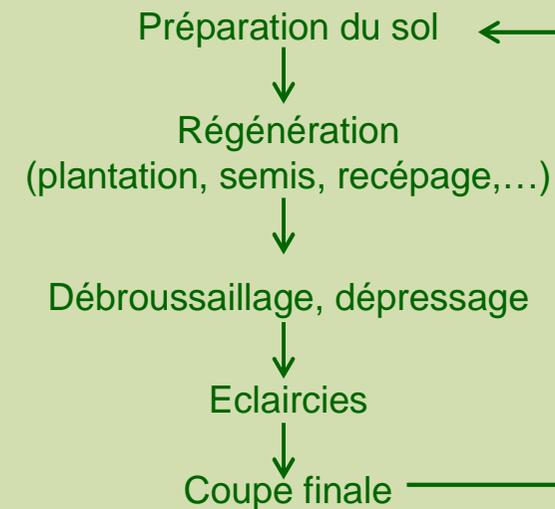
Développement de nouveaux modules

GO+ process model



- résolution horaire, spatialisation à 8x8 km
- arbres+végétation+soi
- gestion, scenarios
- Pinus, Eucalypt,(Fagus)

Modèle de phytophage Options Sylvicoles

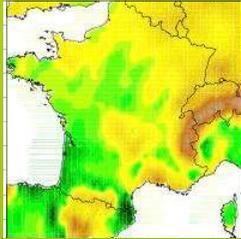


• Scénario standard: situation actuelle;

• Scénario intensif : Intensification de la récolte et la production.

LAI reduction in relationship with caterpillar density
(DSF data observed over 1990-2010 across 400 plots)

Expériences de simulation en cours



- Simulations France entière à 8 x 8 km de 1970 à 2100

- Résolution horaire



- Fonctionnement et croissance Pins, Eucalyptus, (Hêtre),

- Futaie, taillis,...



- Stress abiotiques et biotiques (Processionnaire du Pin)

- Dynamiques 1970 - 2100 sous scénarios A1B, A2

Interactions Climat × intensification sylvicole × phytophage

Exemples d'application

Analyse de sensibilité de trois itinéraires sylvicoles Sud Ouest

- Scénario climatique (A2 - régionalisation ARPEGE)

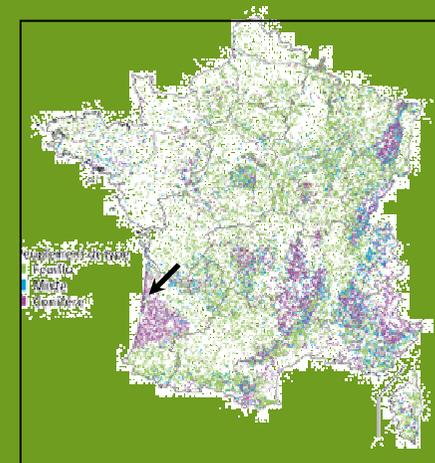
		<u>1970-2000</u>	<u>2020-2050</u>	<u>2070-2100</u>
T moy	(°C)	12.7	14.6	17.5
Précipitations	(mm.y-1)	951	920	656
CO2	(ppm)	355	414	722

- Options sylvicoles ITK

✓ EUCA : [10yr Eucalypt coppice, R1 +R2 +R3] x 1

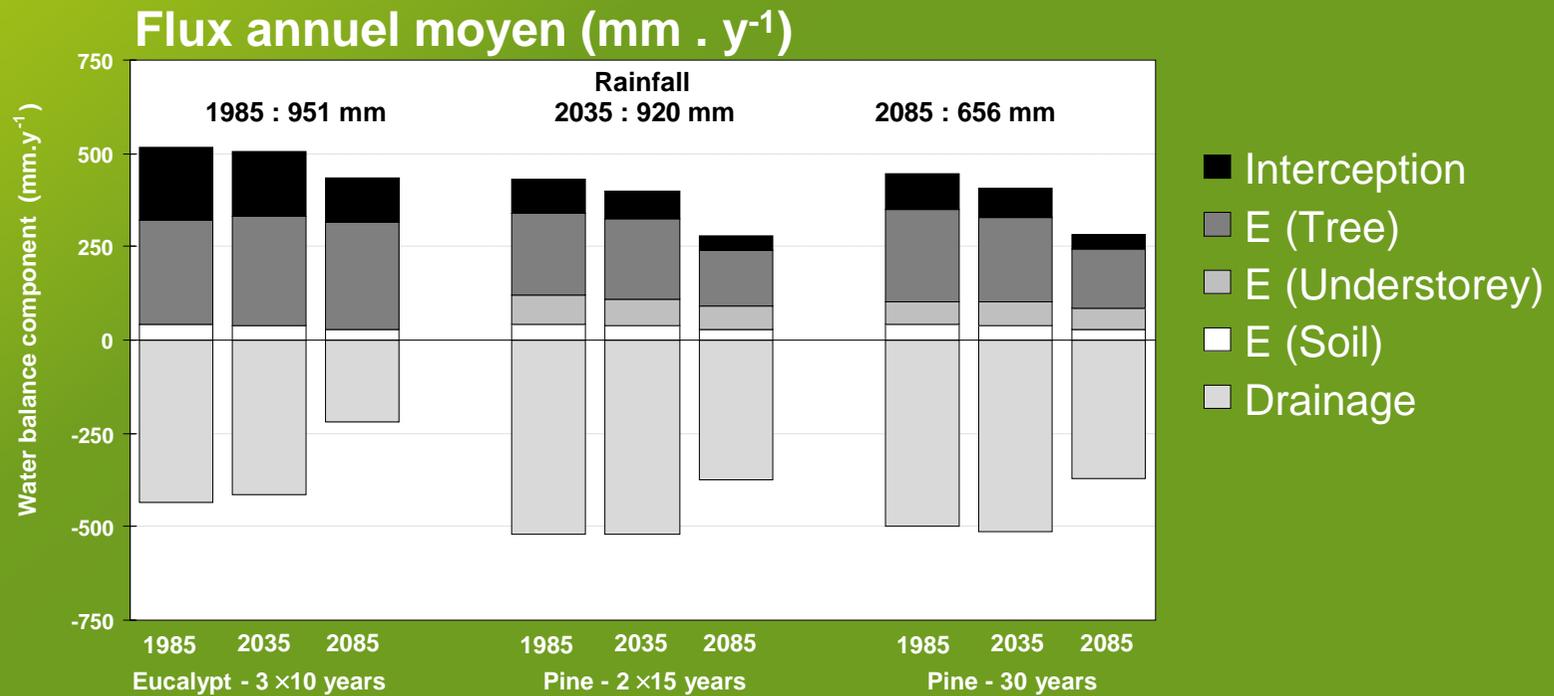
✓ PIN15 : [15 yr rotation, ploughing] x 2

✓ PIN30 : [30 yr rotation, ploughing] x 1



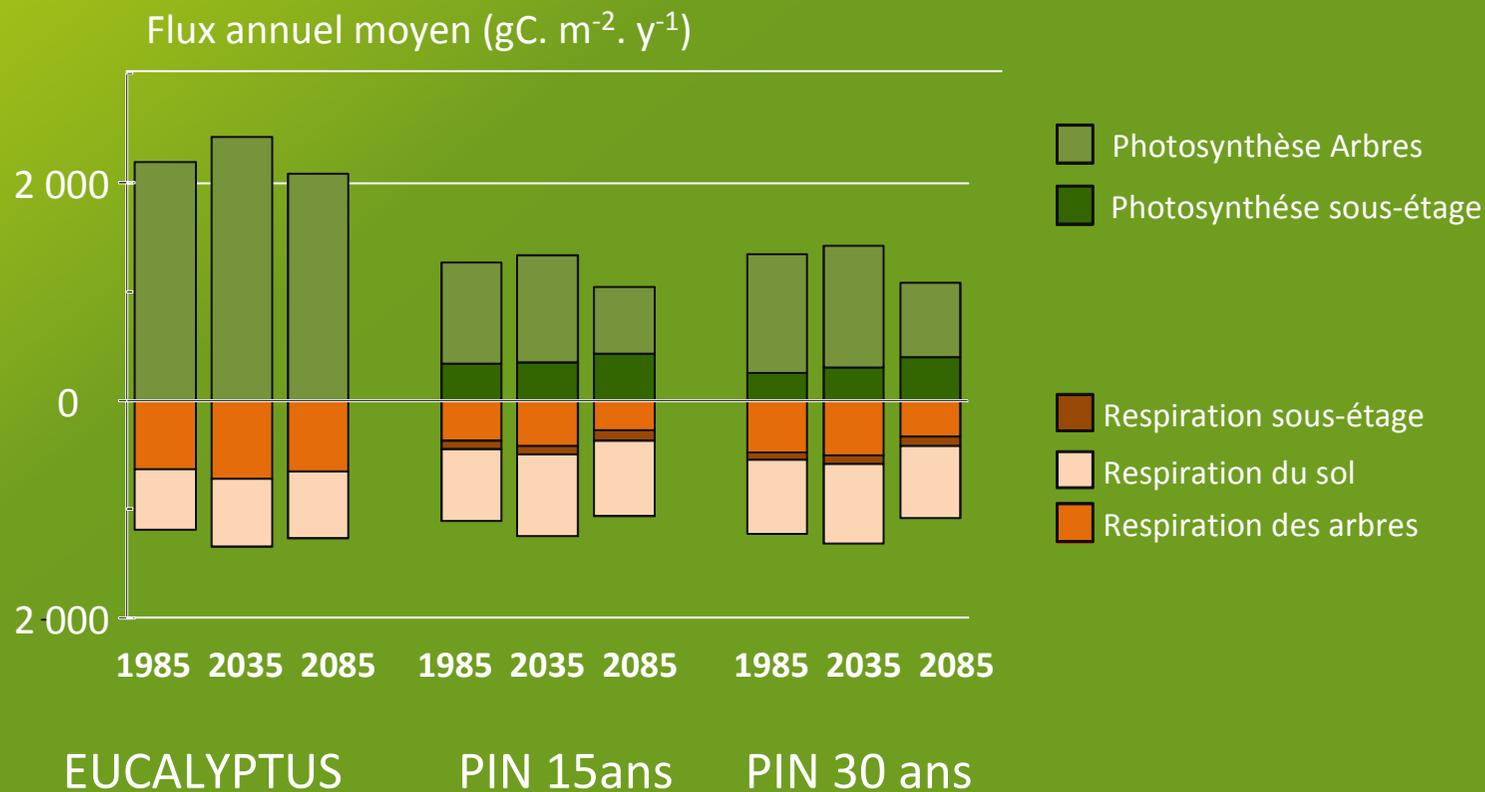
Sorties (ex.1)

Bilan hydrique annuel moyen de 3 ITK



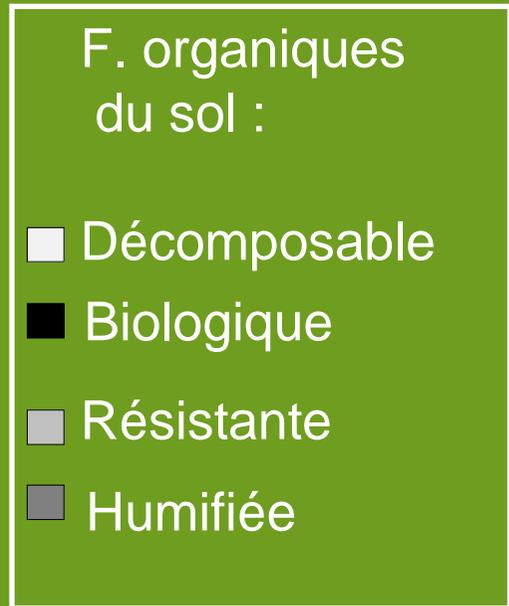
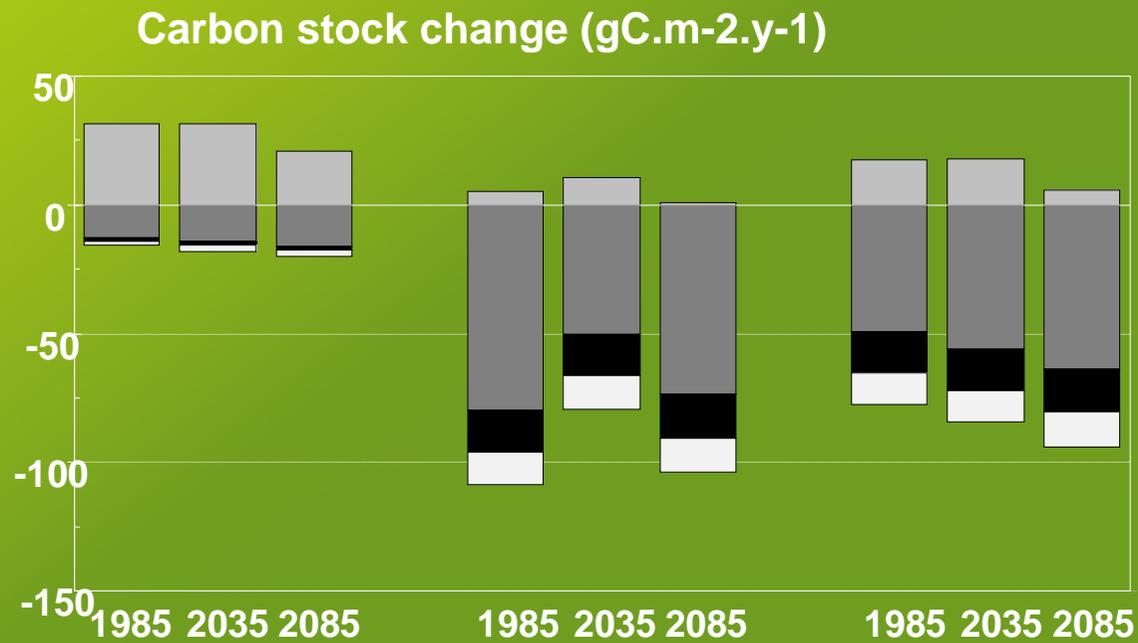
Sorties (ex.1)

Flux annuel moyen de C-CO₂



Sorties (ex.1)

Variation annuelle du stock de carbone du sol



EUCALYPTUS
(0 labour)

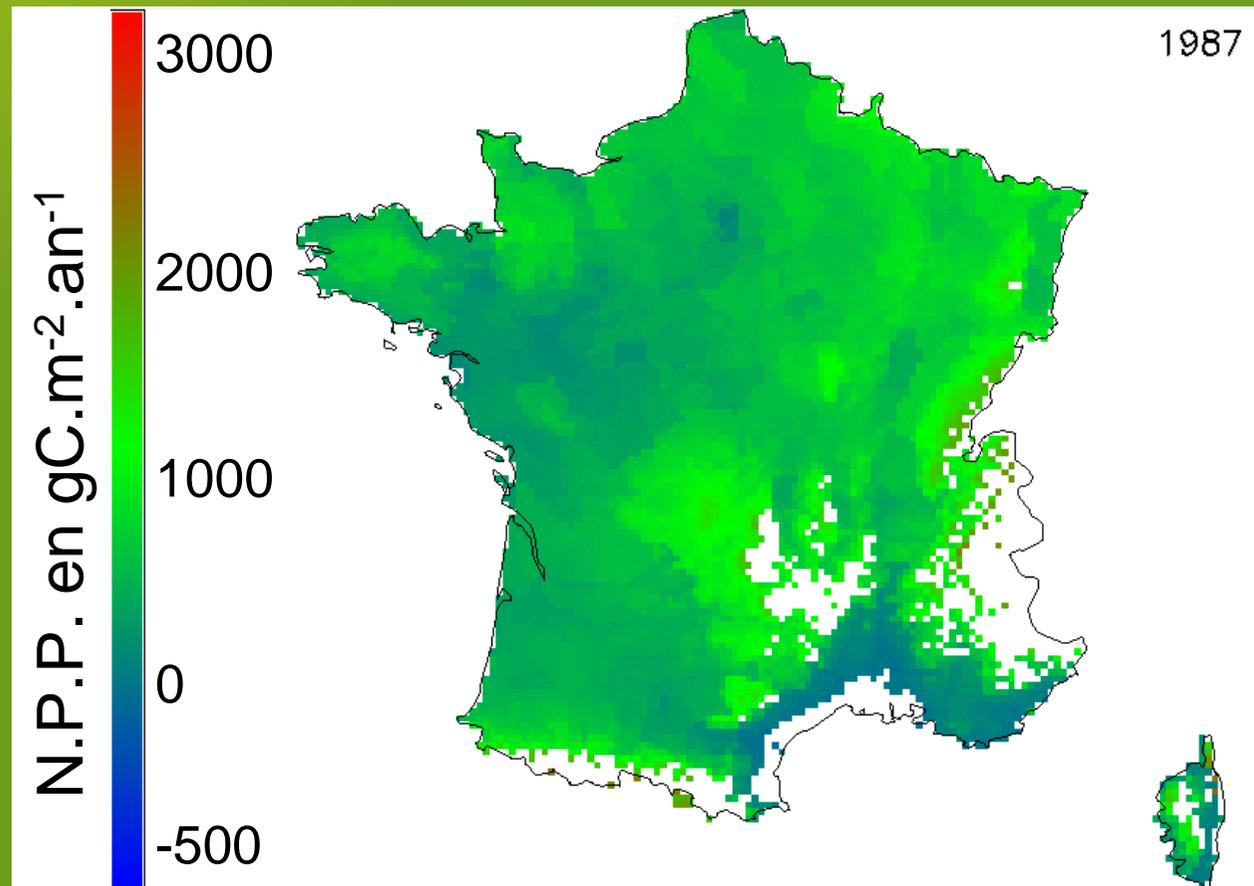
PIN 15ans
(2 labours)

PIN 30 ans
(1 labour)

Sorties spatialisées (ex.2)

Production nette biomasse conifères

→ France entière, 8x8 km , 1970 – 2100, scénario A2 / Arpège

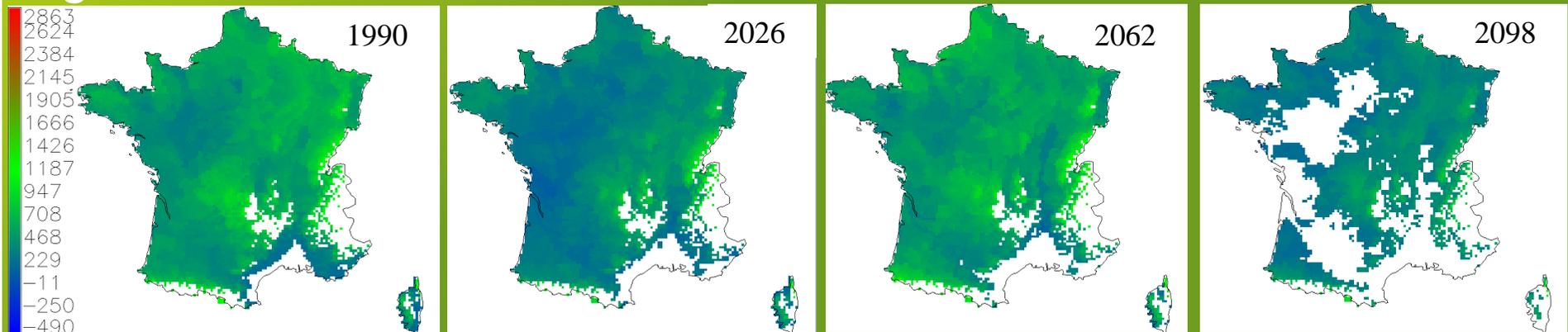


Sorties (ex.2)

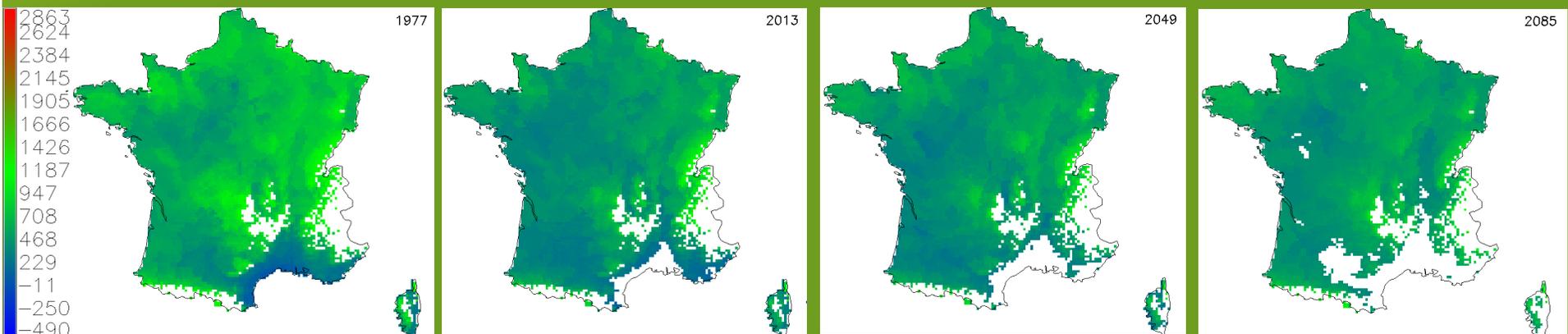
Spatialisation de la production nette biomasse conifères

→ Distribution égale de 3 classes d'âge en sylviculture « semi dédiée ».

âges: 0, 10, 25

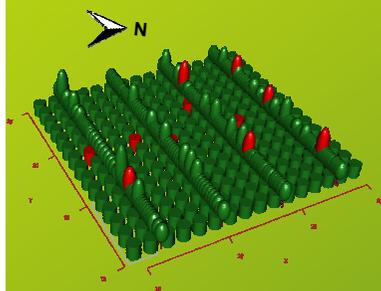


âges: 12, 24, 36

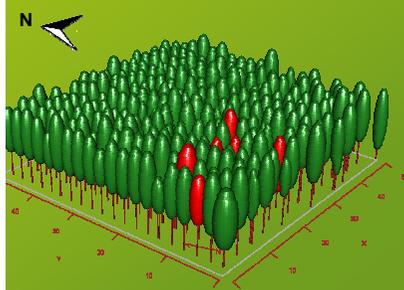


Applications en projet

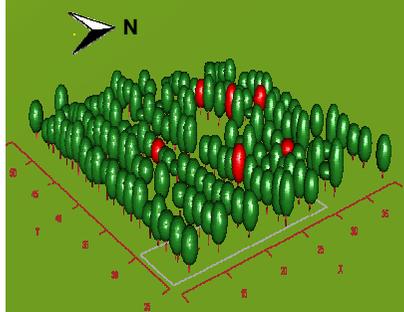
Pins + ajoncs



Eucalyptus



Douglas



- Approche participative recherche - gestion
- Itinéraires évolutifs
- Régionalisation à fine échelle de scénarios
- Ozone, Azote, Ravageurs

En cours: GICC2 (*FAST*), FP7 (*GHG-Europe*), ANR (*ORACLE*).



INRA- EFPA

Équipe GO+

Alexandre Bosc,
Jean-Sébastien Jacquet
Jyothi Kumari
Denis Loustau,
Christophe Moisy,
Virginie Moreaux
Tovo Rabemanantsoa,

(thèse),
(post doc),

(thèse et post doc),

Nathalie Bréda
Vincent Badeau
André Granier
Claudy Jolivet