

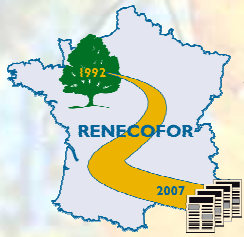
*Relations entre
les stades phénologiques
et
les variables climatiques*



*François Lebourgeois
Jean-Claude Pierrat
Sébastien Cecchini*

*Les auteurs remercient tous les observateurs du réseau
qui assurent depuis 1997 les relevés des données.*

15 ans de suivi des écosystèmes forestiers, Beaune, 9-11 mai 2007



1. Contexte et objectifs

Contexte

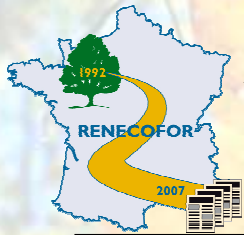
- élément clé de l'autécologie des essences
- marqueur de l'évolution du climat
- non participation au « International Phenological gardens »
- RENECOFOR : peuplements forestiers adultes



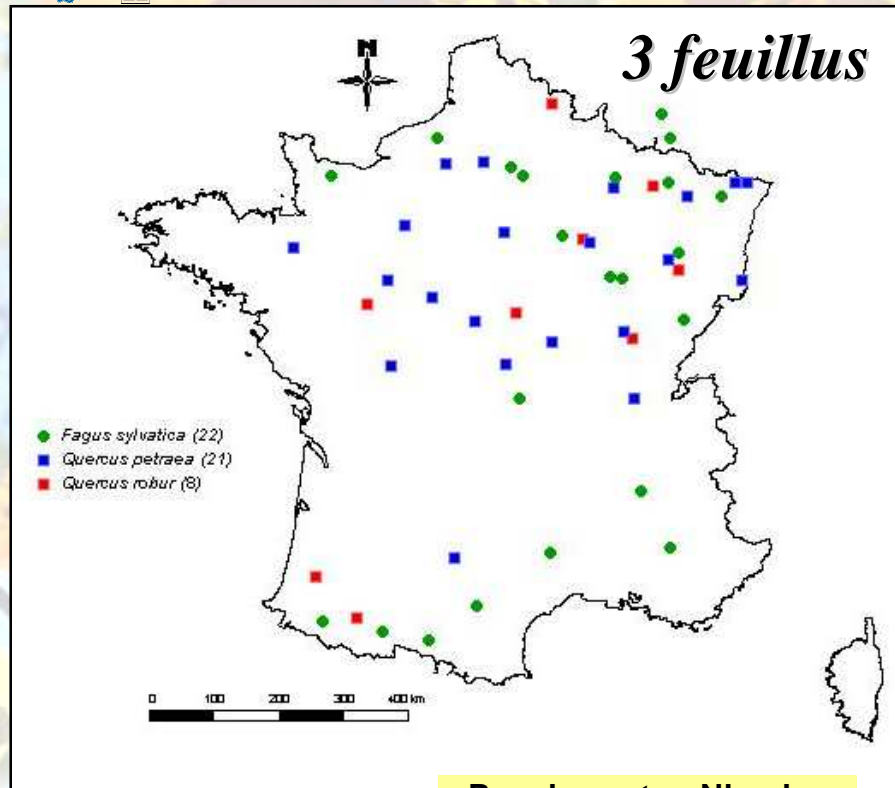
Phénologie : étude du cycle de développement annuel

Objectifs : étudier...

- la variabilité interspécifique
- la variabilité spatiale
- les relations entre les phénophases et les variables du milieu (lat., alt. $T^{\circ}C...$)
- construire des modèles permettant d'expliquer ces variabilités à l'échelle de la France



2. Matériel et méthodes



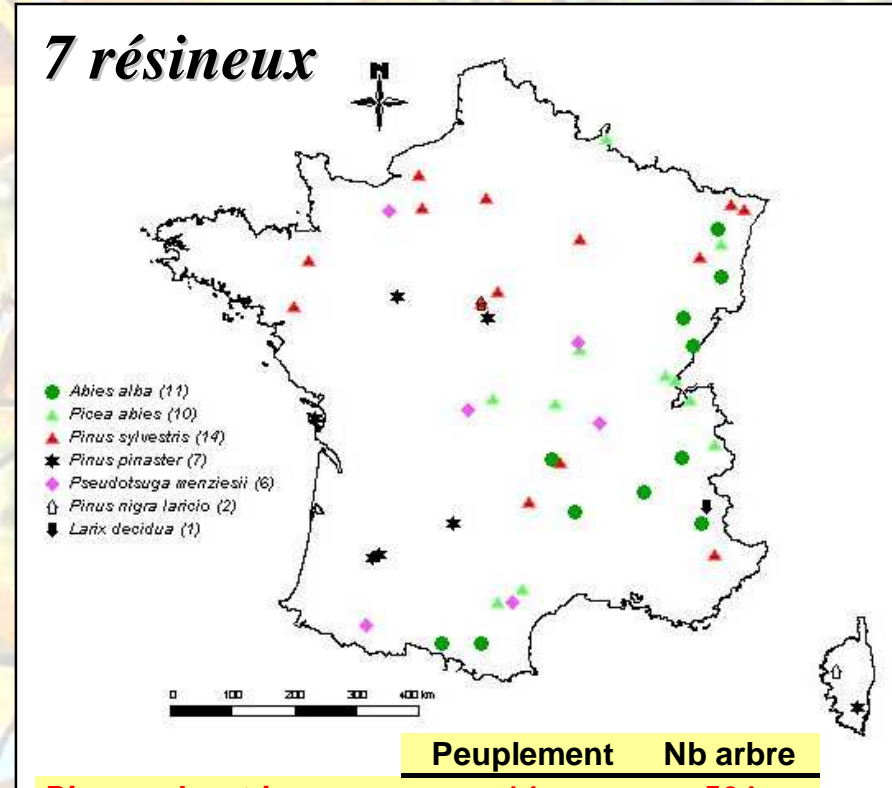
Fagus sylvatica

Quercus petraea

Quercus robur

Peuplement	Nb arbre
22	792
21	756
8	288
51	1836

36 arbres / site



Pinus sylvestris

Abies alba

Picea abies

Pinus pinaster

Pseudotsuga menziesii

Pinus nigra ssp. Laricio

Larix decidua

Peuplement	Nb arbre
14	504
11	396
10	360
7	252
6	216
2	72
1	36
51	1836

14

11

10

7

6

2

1

51

504

396

360

252

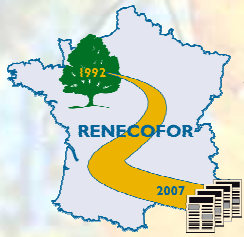
216

72

36

1836

15 ans de suivi des écosystèmes forestiers, Beaune, 9-11 mai 2007

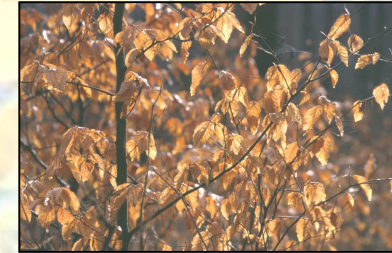


2. Matériel et méthodes



Débourrement
752 observations

Période
1997-2005



Jaunissement
405 observations

80 stations
météorologiques

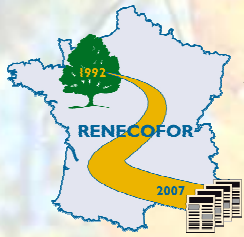


jour julien pour lequel 10% des arbres présentent sur au moins 20% du houppier des bourgeons ouverts

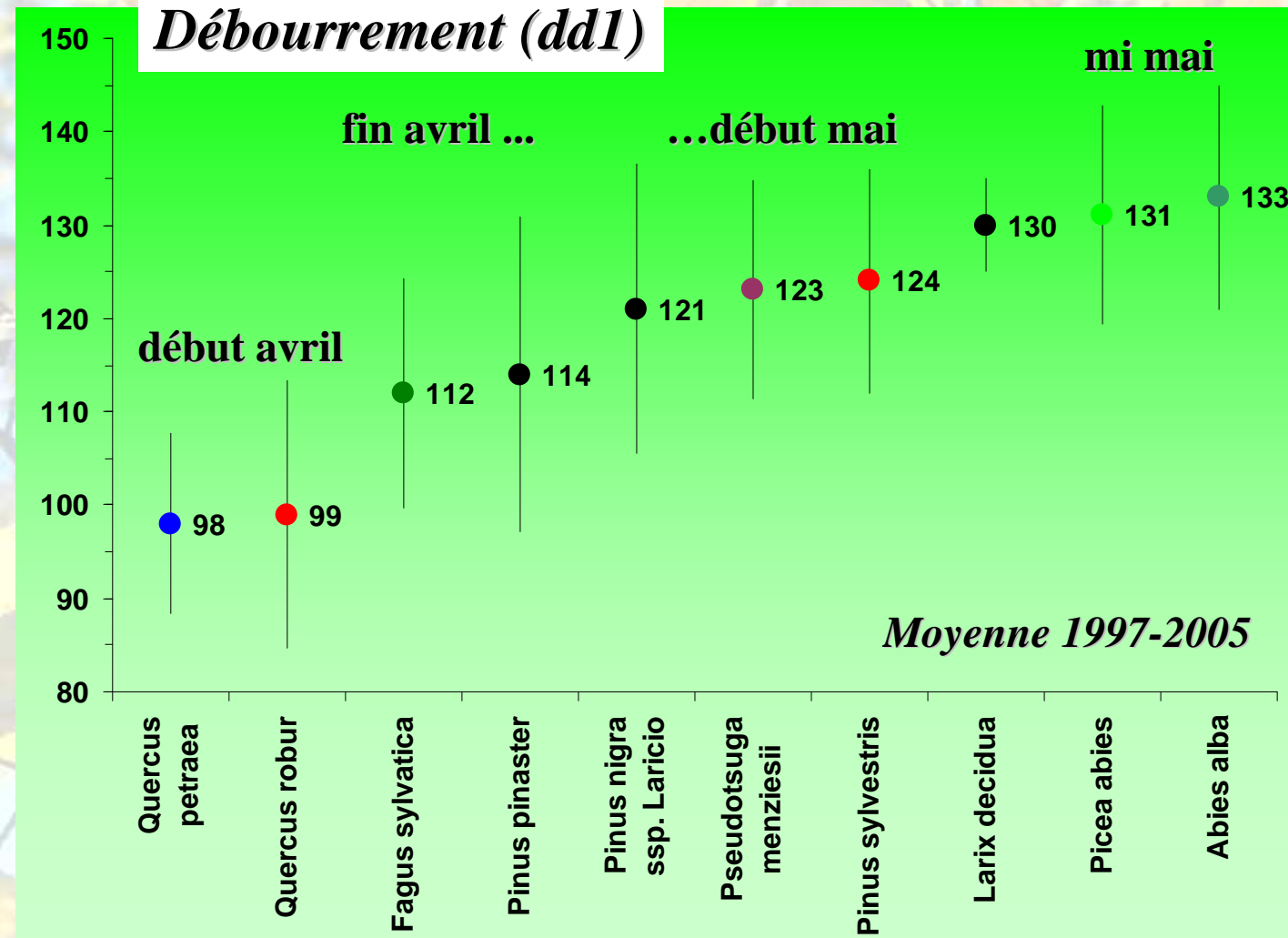
Les feuillus : 8 phases

Les résineux : 2 phases

15 ans de suivi des écosystèmes forestiers, Beaune, 9-11 mai 2007



3. Résultats : variabilité entre espèces

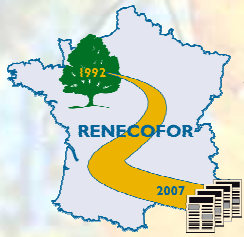


Durée (dd9-dd1)
moy. 10 jours

Par peuplement

- *entre années*
- ± 7 jours
- *extrêmes*

moy. 20 jours



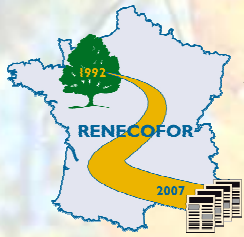
3. Résultats : variabilité entre espèces

Jaunissement et durée de la saison de végétation

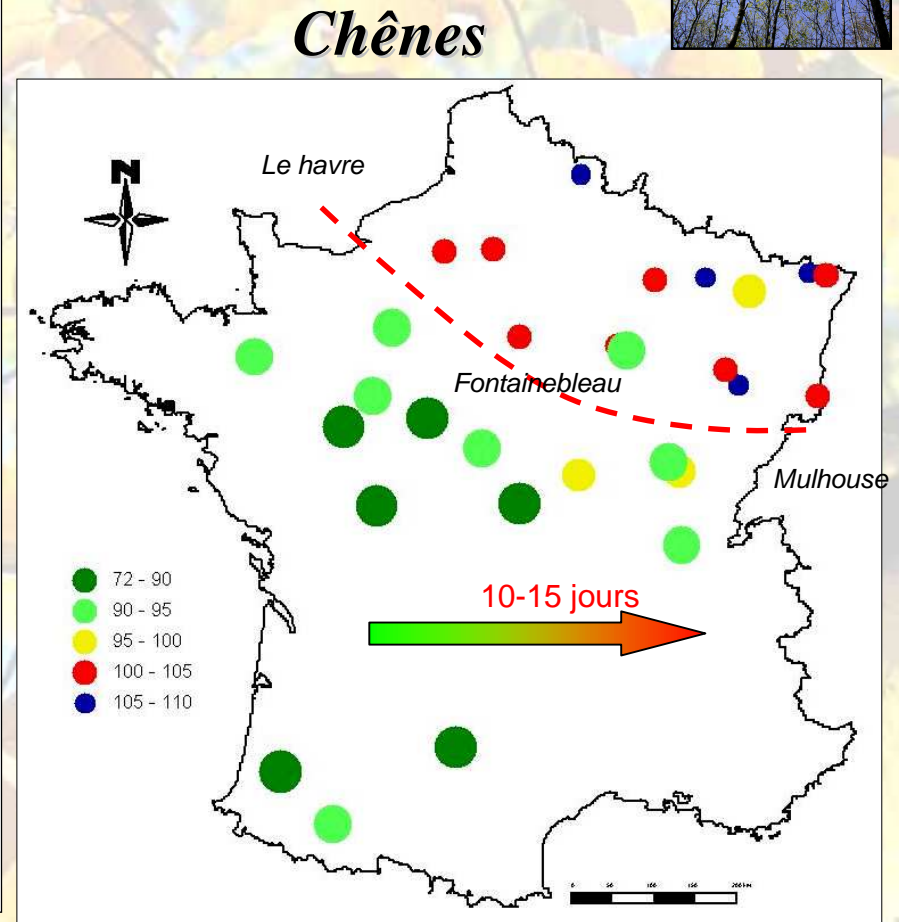
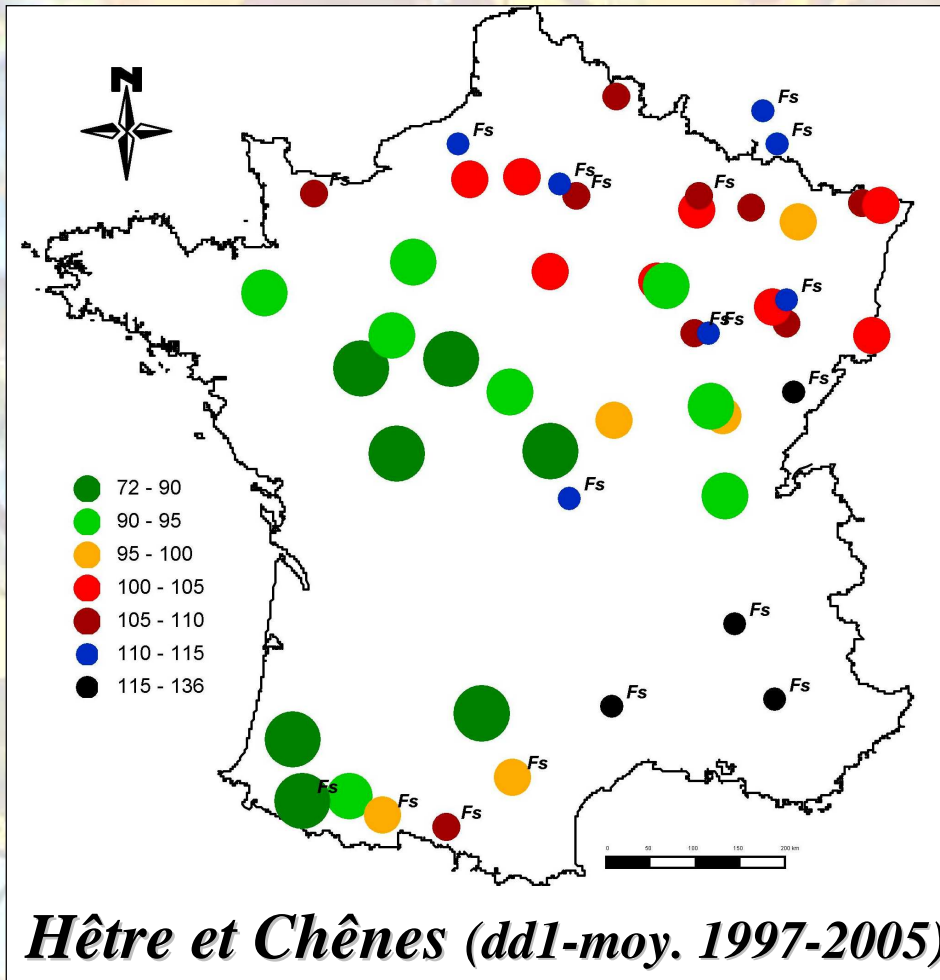
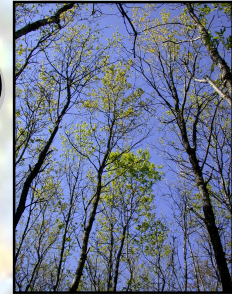


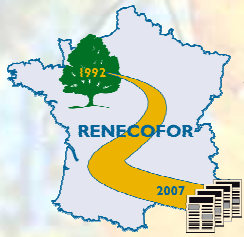
	<i>ddl</i>	<i>LSV19</i>	<i>jj9</i>
<i>Hêtre</i>	<i>fin avril (112)</i>	<i>180 jours</i>	<i>mi octobre (292)</i>
<i>Chênes</i>	<i>début avril (100)</i>	<i>200 jours</i>	<i>fin octobre (300)</i>

Durée (jj9-jj1)
moy. 16 jours



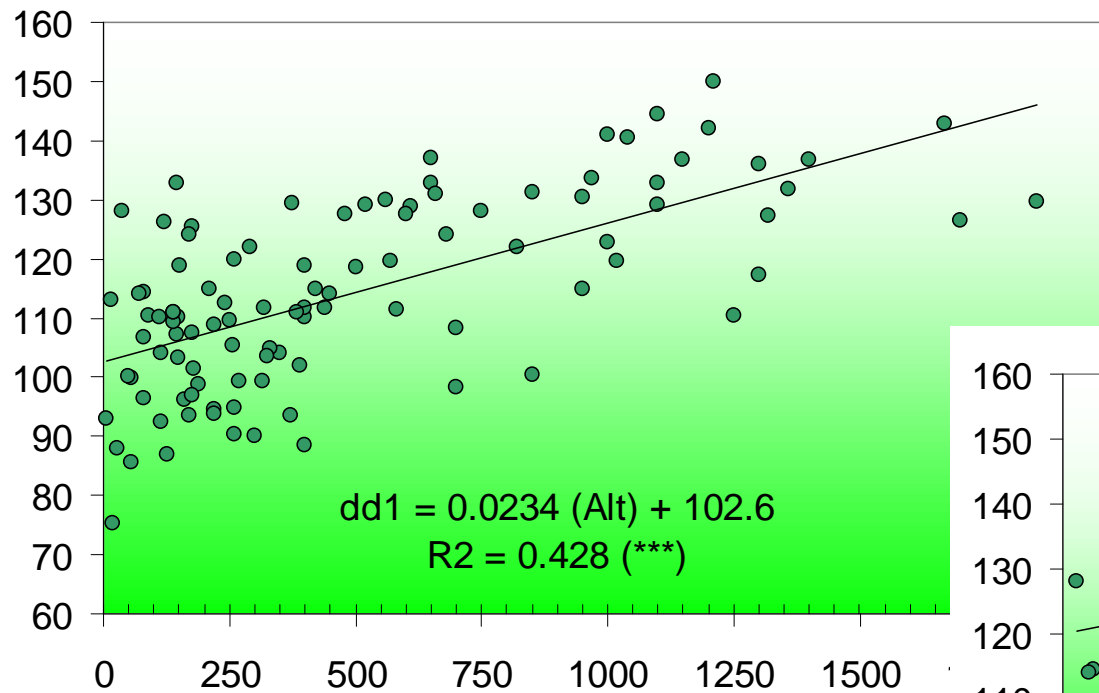
3. Résultats : variabilité spatiale (dd1)





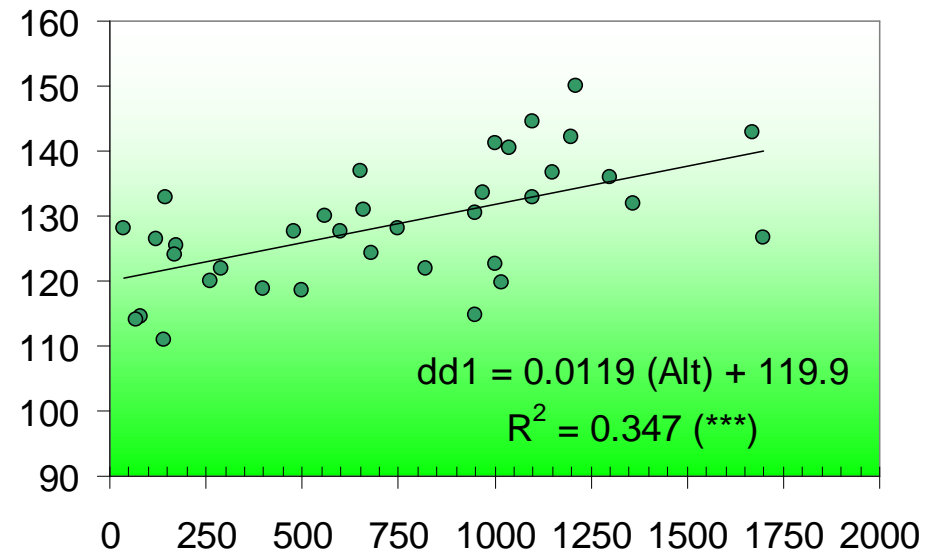
3. Résultats : modèle simple

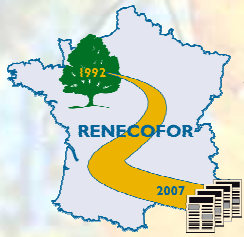
Débourrement (dd1) et altitude (15 à 1850 m)



*Toutes espèces
retard 2 jours / 100 m
(3 jours pour la LSV)*

*Pin sylvestre, sapin et épicéa
retard 1 jour / 100 m*

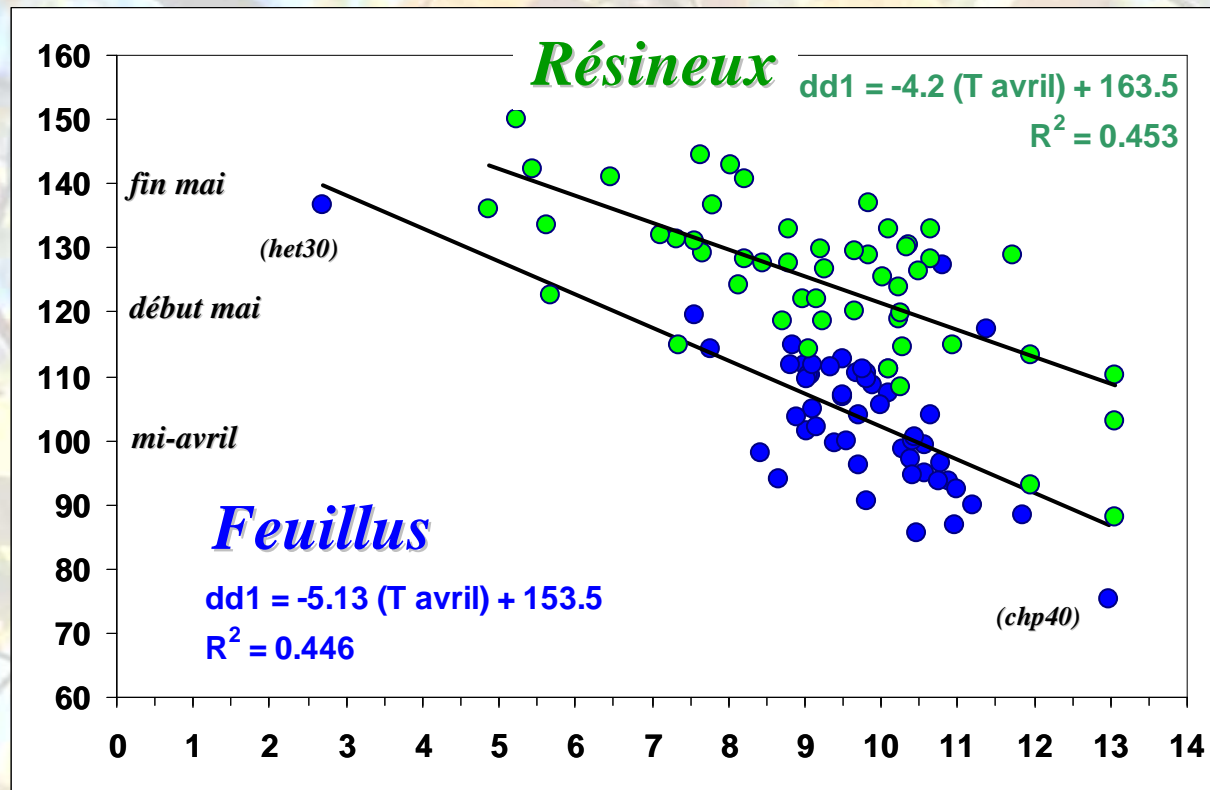




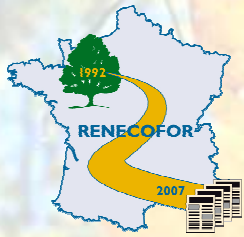
3. Résultats : modèle simple

Débourrement (dd1), jaunissement (jj9) et température (°C)

dd1 : corrélations les plus fortes avec fin hiver / début print. (fév. à avril $r^2 > 0.4$)



retard de 4-6 jours / °C

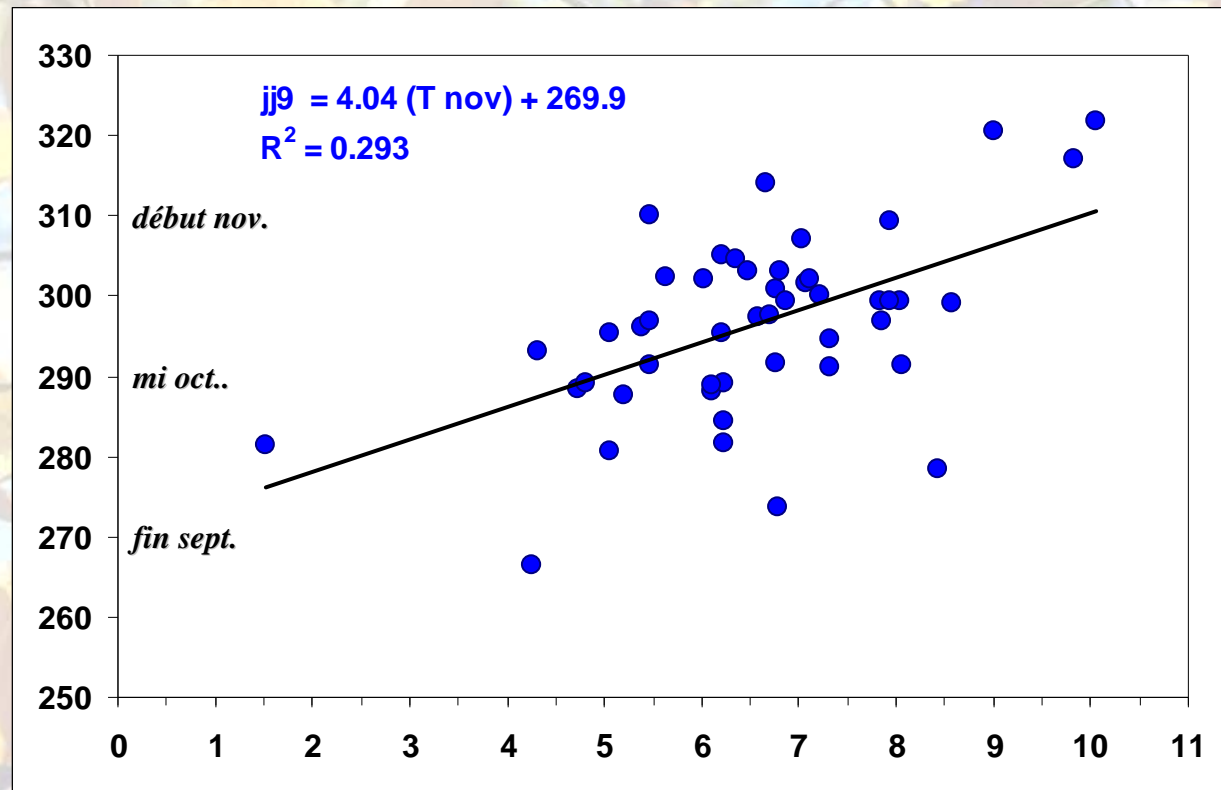


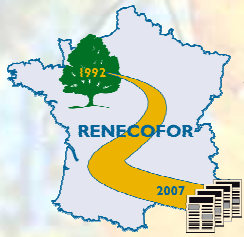
3. Résultats : modèle simple

Débourrement (dd1), jaunissement (jj9) et température (°C)

jj9: corrélations les plus fortes avec automne ($r^2 > 0.3$)

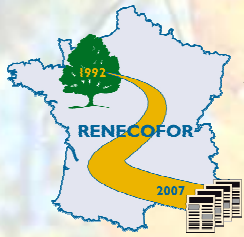
*Avancée
de 4 jours / °C*





3. Résultats : modèle « complexe »

- Régressions multiples
- 2 à 6 paramètres : **Espèce, Altitude, Latitude, Régime thermique**
- r^2 entre 0,32 et 0,92
- qualité de prédiction du...
 - débourrement : 2 à 6 jours
 - jaunissement : 5 à 8 jours
 - durée saison de végétation : 9 à 12 jours

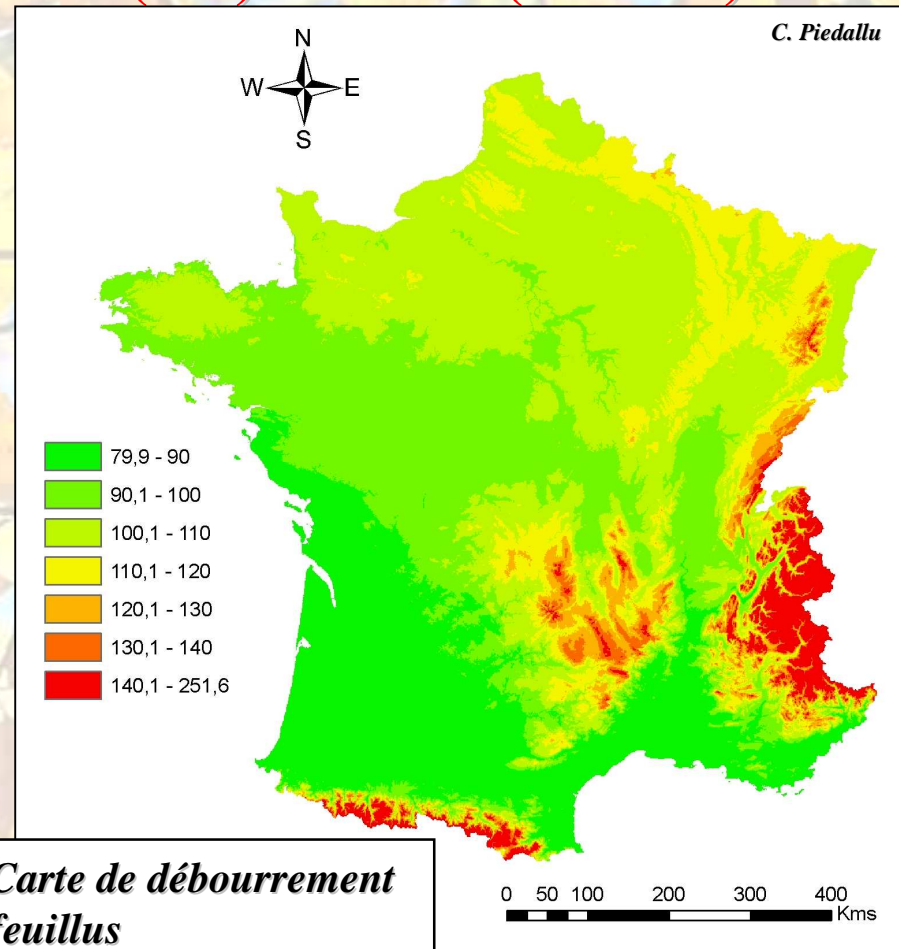
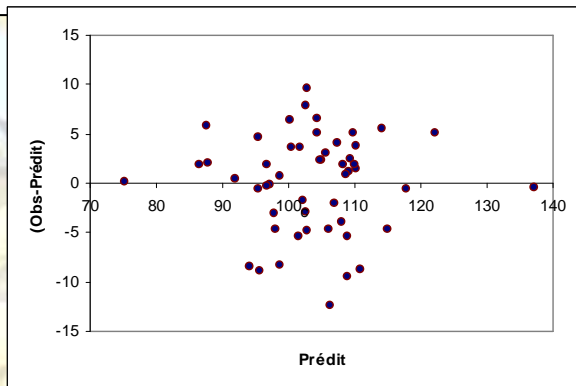
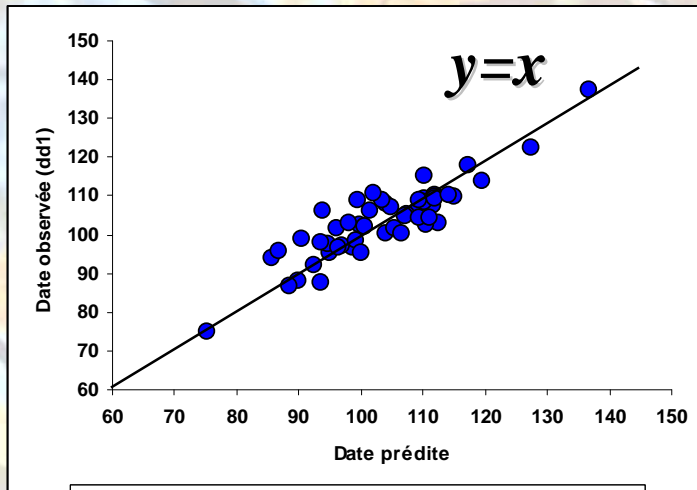


3. Résultats : modèle « complexe »

Les feuillus (hêtre et chênes)

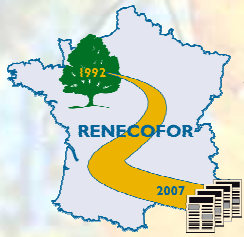
$$dd1 = -55.65 + 3.538 (\text{lat.}) + 0.0299 (\text{alt.}) - 1.8929 (\text{T Avril})$$

$$r^2=0.791 ; F = 59.31 ; Pr (F) = 0.0000$$



Carte de débourrement
feuillus

15 ans de suivi des écosystèmes forestiers, Beaune, 9-11 mai 2007



4. Conclusions

Renecofor :

- *premières « longues » séries sur des arbres forestiers adultes en conditions naturelles sur toutes la France*

- *résultats très prometteurs et analyses à suivre...*

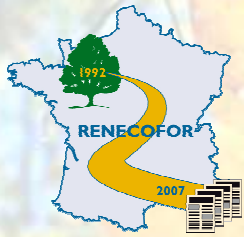
- *intégration des données dans le réseau phénologique français*

GDR SIP-GECC : *Système d'Information Phénologique pour la Gestion et l'Etude des Changements Climatiques* <http://medias.dsi.cnrs.fr/pheno/>

(voir aussi l'Observatoire des saisons : <http://junior.obs-saisons.fr/>... réseau amateur pour les observations)

- *il faut continuer... encore un GRAND merci à tous les observateurs !*

15 ans de suivi des écosystèmes forestiers, Beaune, 9-11 mai 2007



Température... un facteur clé



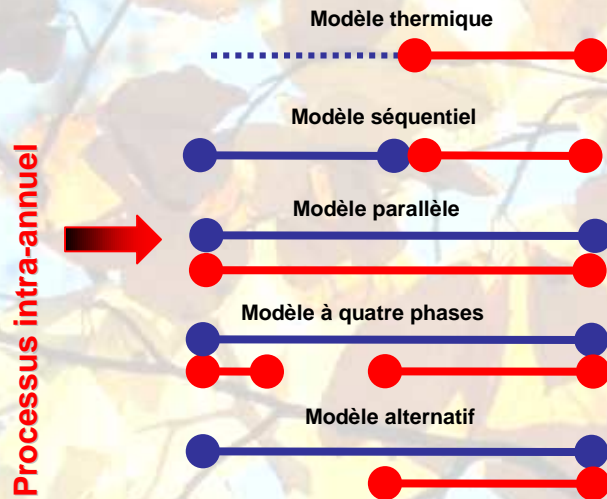
hiver



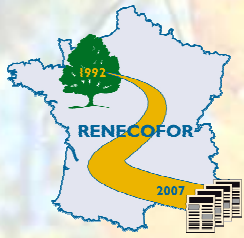
printemps

Satisfaction des besoins en froid : accumulation d'unités de développement (*chilling units*) permettant aux bourgeons de passer la phase suivante

Satisfaction des besoins en chaleur : accumulation d'unités de croissance (*forcing units*) permettant aux bourgeons d'éclater

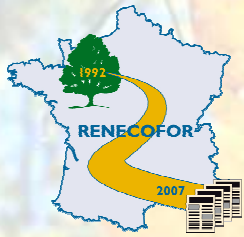


- Dates du début d'action
- T°C seuil (*chilling* ou *forcing*)
- Accumulation au dessus de ces seuils



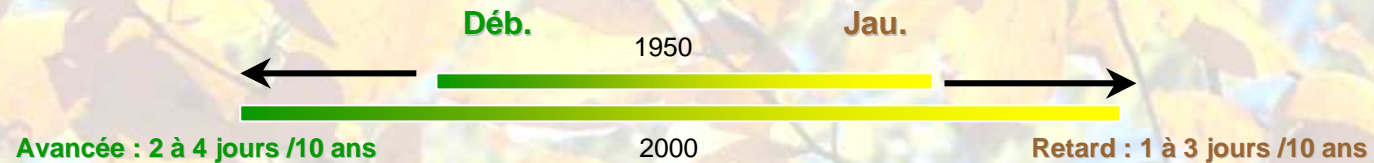
Les longues séries de données phénologiques dans le monde

- Dates de vendange en Bourgogne (1370 à l'actuel)
- Dates de floraison du prunus à Kyoto au Japon (depuis 9e siècle)
- Série de Thomas Mikesell en Ohio (1883-1912)
- Série de la famille Marsham en Angleterre (1736-1925)
- Stations du « *International Phenological Gardens* » : 6423 stations en Europe Centrale et de l'Est (1960 à nos jours)



Depuis 1950... modification du rythme saisonnier de développement...

(Menzel et Fabian 1999 ; Chmiellewski et Rotzer 2001 ; Menzel 2000 ; Ahas et al. 2002 ; Penuelas et al. 2002 ; Root et al. 2003)



LSV : +10 à 15 jours

Chute des feuilles

Espèce	Région	Période	Variation moy. Nb jours/décennie	Référence
Quercus robur	U. K.	1950-1996	-4.3 to -5.8	(Cannell et al. 1999)
Quercus robur	Germany	1951-1996	-3.1	(Menzel et al. 2001)
Quercus robur	Estonia	1948-1996	-1.7	(Ahas et al. 2000)
Betula pendula	Germany	1951-1996	-3.7	(Menzel et al. 2001)
Betula pendula	Estonia	1948-1996	-2.9	(Ahas et al. 2000)
Betula pendula	Northern Europe	1951-1998	-2.7	(Ahas et al. 2002)
Fagus sylvatica	Germany	1951-1996	-2.3	(Menzel et al. 2001)
Picea abies	Germany	1951-1996	-3.1	(Menzel et al. 2001)
Populus tremuloides	Canada	1900-1997	-2.6	(Beaubien & Freeland 2000)
			-3.0	

Signe - : plus
précoce

Région	Phénophase	Nb esp.	Variation moy. Nb jours/décennie	Période	Référence
Europe	spring events	14	-2	1959-1993	(Menzel & Fabian 1999)
Europe, North Am., Asia	spring events	33	-3.9	1950-2000	(Root et al. 2003)
Germany	leaf colouring	3	0.7	1951-1996	(Menzel et al. 2001)
Germany	leaf unfolding	5	-3.2	1951-1996	(Menzel et al. 2001)
Estonia	leaf unfolding	2	-2.3	1948-1996	(Ahas et al. 2000)
Europe, North Am.	leaf unfolding	9	-3.5	1950-2000	(Root et al. 2003)
Spain	flowering	38	-4.2	1952-2000	(Penuelas et al. 2002)
North-Am.	flowering	14	-3	1970-1999	(Abu-Asab et al. 2001)
Estonia	flowering	3	-2.5	1948-1996	(Ahas et al. 2000)
Europe, North Am.	flowering	12	-3.6	1950-2000	(Root et al. 2003)
Spain	fruiting	17	-8	1974-2000	(Penuelas et al. 2002)
Europe	autumn events	14	1.6	1959-1993	(Menzel & Fabian 1999)
			-2.8		

15 ans de suivi des écosystèmes forestiers, Beaune, 9-11 mai 2007