



Un GRAND merci à tous les observateurs du réseau !

## Prédiction des changements phénologiques des forêts tempérées françaises au cours du XXIème siècle selon différents scénarios climatiques

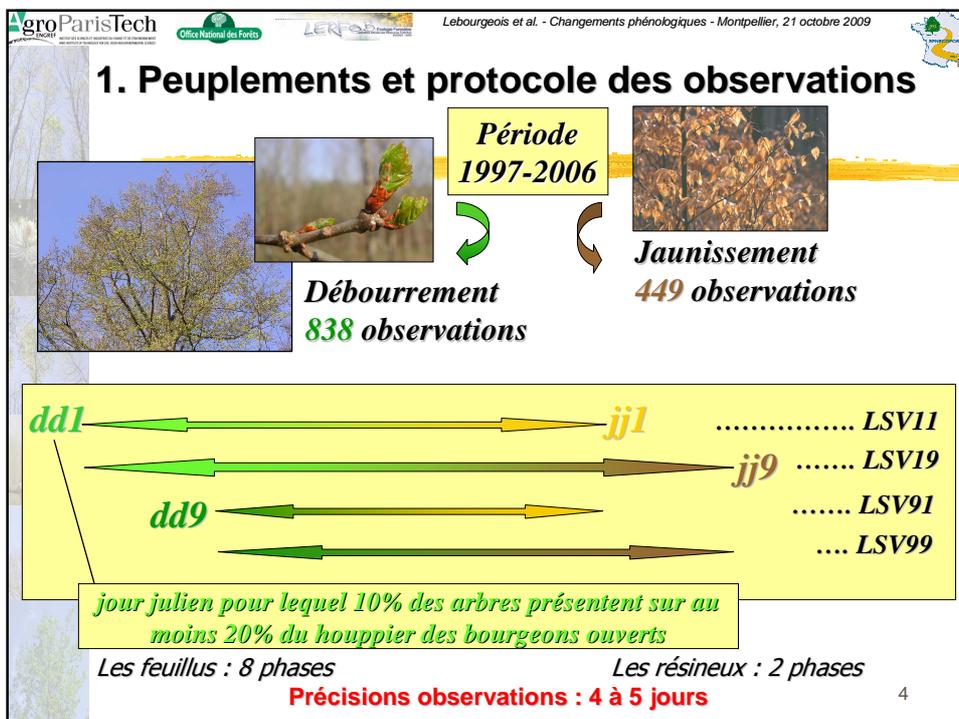
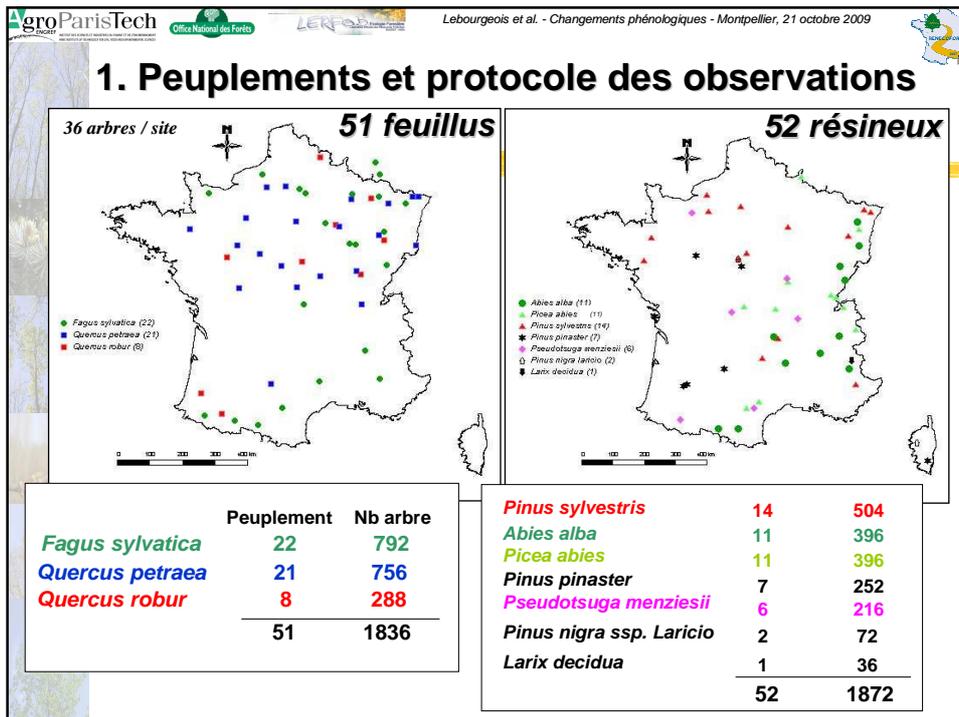
F. Lebourgeois, J.C. Pierrat, V. Perez, C. Piedallu,  
S. Cecchini, E. Ulrich



## Plan

1. **Peuplements et protocoles**
2. **Objectifs et méthodes**
3. **Résultats et conclusions**





agroParisTech  
Office National des Forêts  
LERFOL  
Lebourgeois et al. - Changements phénologiques - Montpellier, 21 octobre 2009

## 2. Objectifs et méthodes

### 1. Construction des modèles reliant les phénophases et les variables climatiques (période 1997-2006)

- 143 stations météorologiques (données « ponctuelles »)
- Pas de temps mensuel
- $T_{\text{moy}}$ , P, (P-ETP<sub>turc</sub>)  
(Lebourgeois et al. 2002, Lebourgeois et Piedallu, 2005)
- Rayonnement global (Rg)  
(Modèle Hélios, Piedallu et Gégout, 2007)
- Exclusion: altitude, long. et latitude  
(Lebourgeois et al. RFF, 2008)

48 variables

### 2. Cartographie à l'échelle de la France entière sur la période récente (1991-2000)

(données spatialisées, Climate Research Unit, New et al. 1999, 2000, 2002, www.cru.uea.ac.uk)

- Type « fonctionnel » : feuillus / résineux
- chênes / hêtre

5

agroParisTech  
Office National des Forêts  
LERFOL  
Lebourgeois et al. - Changements phénologiques - Montpellier, 21 octobre 2009

## 2. Objectifs et méthodes

### 3. Prédiction à l'échelle de la France entière sur la période 2041-2050 et 2091-2100

Tyndall Centre for Climate Change Research (TYN SC 1.0 - 10'x10')  
(Mitchell et al. 2004; Zierl and Bugmann 2007)

4 modèles : HadCM3, CSIRO2, CGCM2, PCM  
2 scénarios : A2 et B2

6

agroParisTech  
Office National des Forêts  
LEFOR  
Lebourgeois et al. - Changements phénologiques - Montpellier, 21 octobre 2009

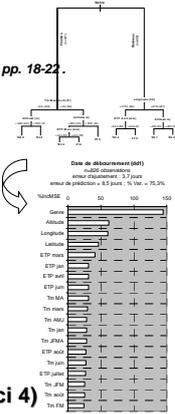
## 2. Objectifs et méthodes



### 4. Régressions multivariées « Forêts d'arbres aléatoires » (Random Forest)

BREIMAN L. - Bagging predictors. - *Machine Learning*, vol. 24, n° 1996, pp. 123-140.  
BREIMAN L. - Random Forests. - *Machine Learning*, vol. 45, n° 2001, pp. 5-32.  
LIAW A., WIENER M. - Classification and regression by randomForest. - *R News*, vol. 2-3, n° 12, 2002, pp. 18-22.

- interactions multiples
- non linéarité des interactions
- pas d'hypothèses de normalité des variables
- utilisables même quand nb variables > nb observations
- arbre simple => agrégation => forêt d'arbres
- bootstrap => calibration/vérification  
=> qualité d'ajustement du modèle et de prédiction  
=> %IncMSE
- choix de l'opérateur  
ntrree = nb d'arbres (ici 10000)  
mtry = nb de variables pour différencier les niveaux (ici 4)



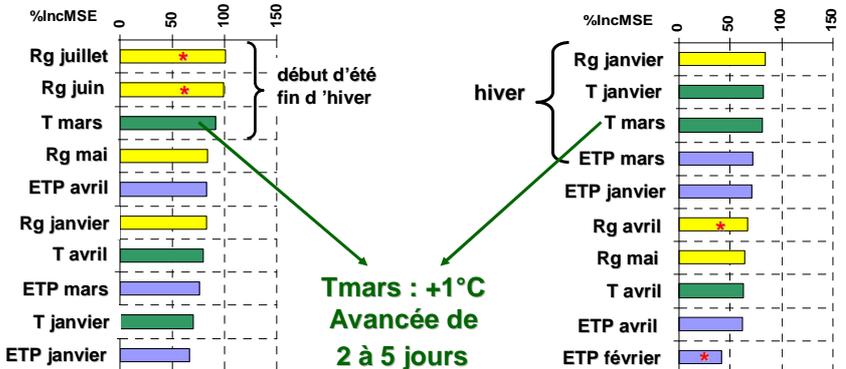
7

agroParisTech  
Office National des Forêts  
LEFOR  
Lebourgeois et al. - Changements phénologiques - Montpellier, 21 octobre 2009

## 3. Résultats Déterminisme du débourrement (dd1) par groupe « fonctionnel »



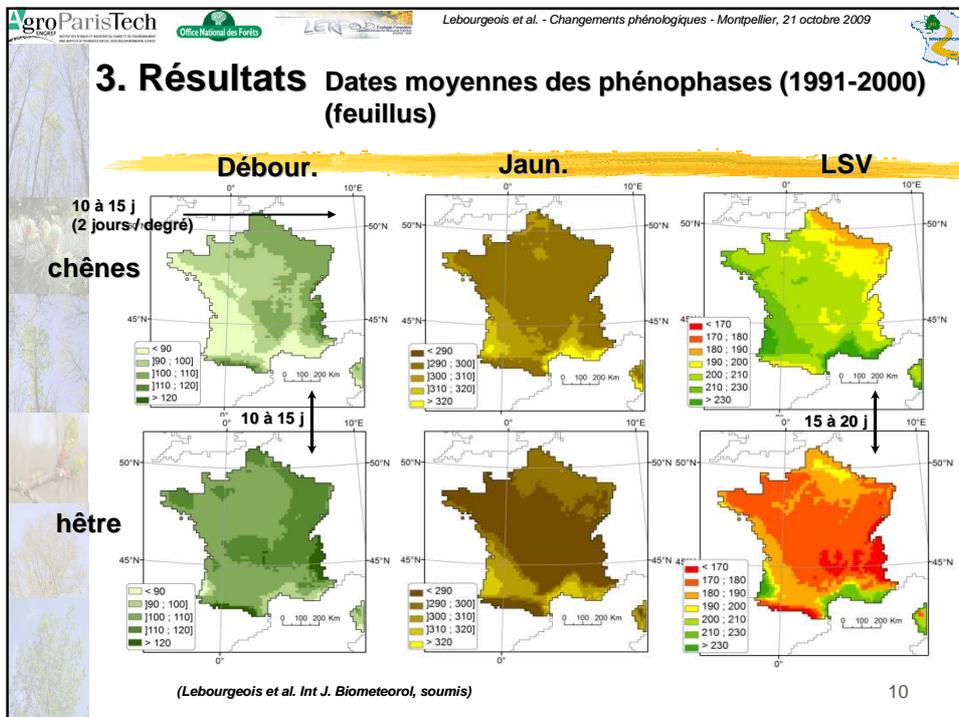
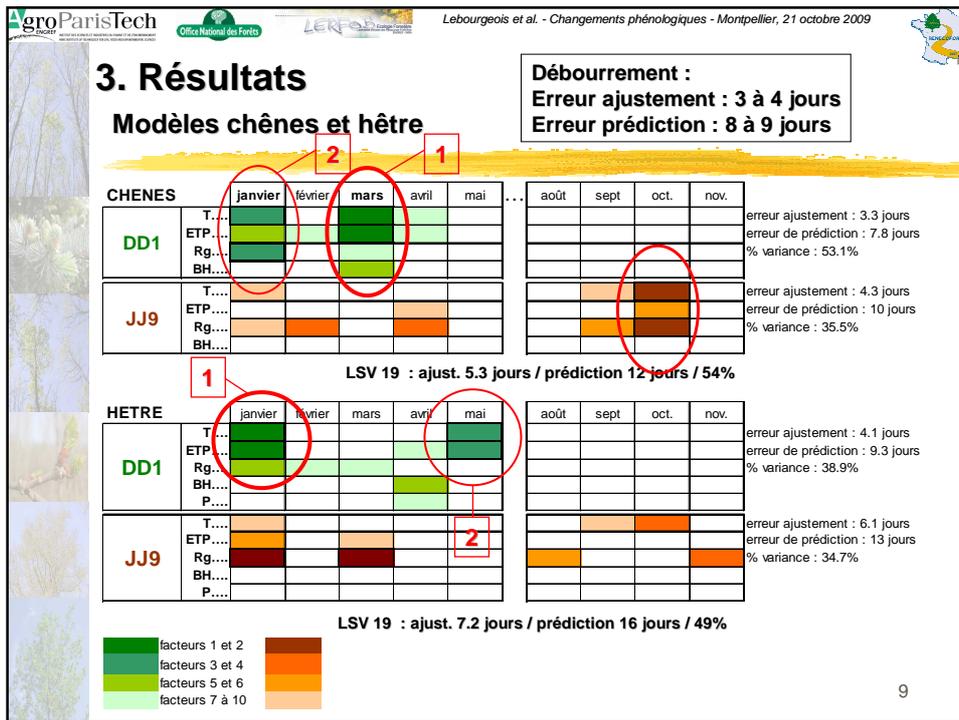
**Résineux**      **8 facteurs communs**      **Feuillus**  
\* = facteurs différents

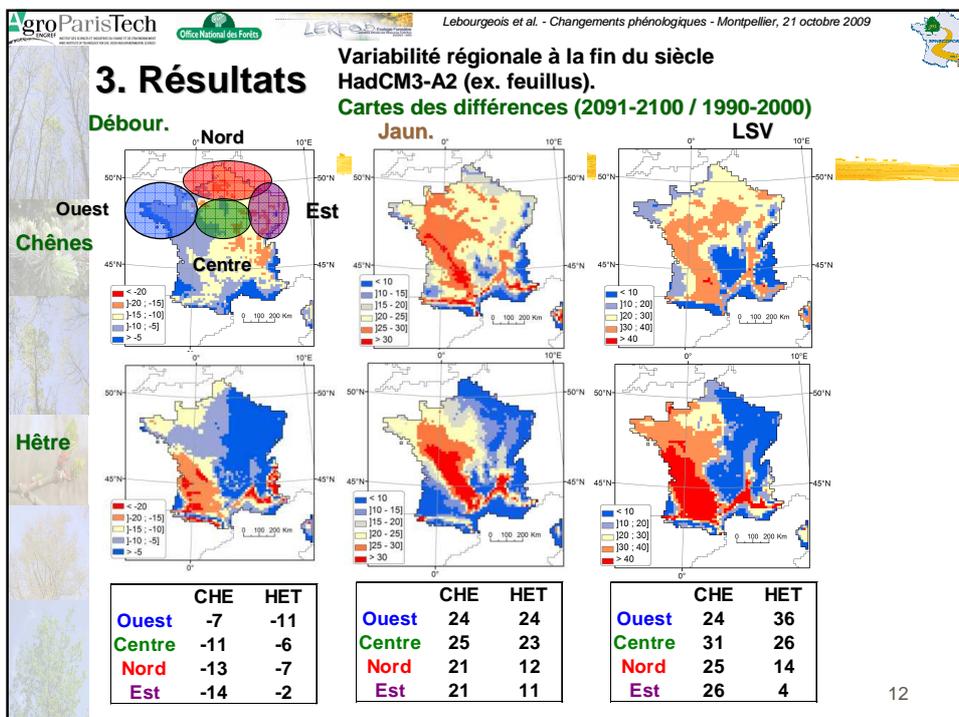
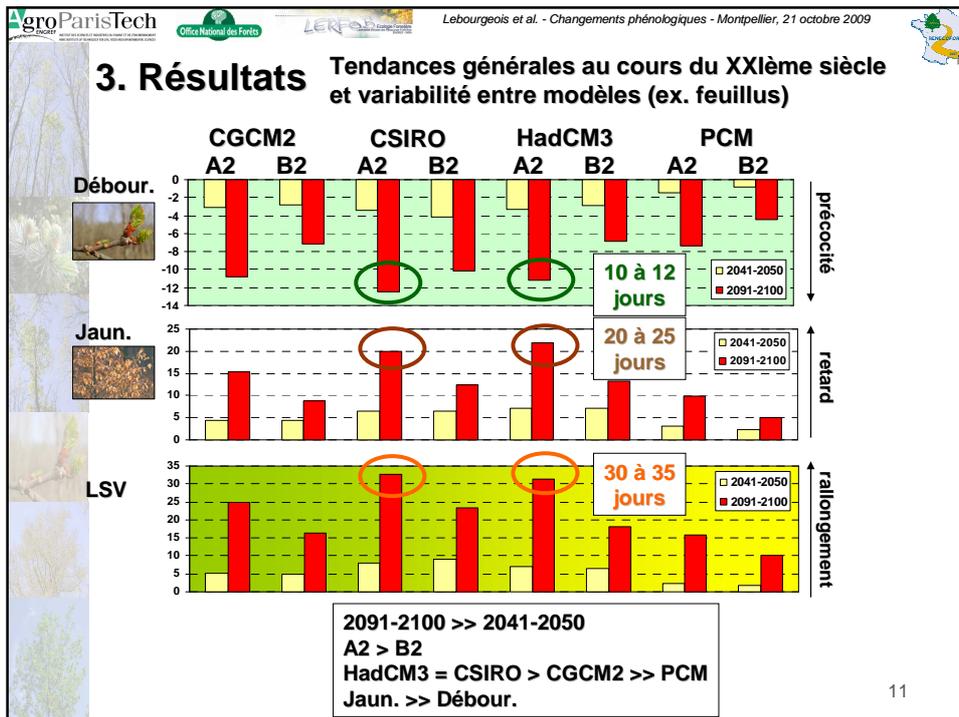


Erreur d'ajustement : 4.5 jours  
Erreur de prédiction : 10.1 jours  
% Variance : 45%

Erreur d'ajustement : 4.1 jours  
Erreur de prédiction : 9.5 jours  
% Variance : 46%

**Tmars : +1°C  
Avancée de  
2 à 5 jours**







## 4. Conclusions

- **dd1** : chênes > hêtre > résineux
- **Gradients régionaux** : Est => Ouest (180 à > 220 jours)  
=> carte Europe (Rötzer & Chmielewski, 2001).
- **Alt, Long. et Lat.** => Rg et Temp. mais  $r^2$  moins bons (non montrés)
- **Prédictions 8 à 9 jours** <=> éq. aux modèles plus complexes (Kramer et al. 2000; Rötzer et al. 2004; Schaber and Badeck 2003; Thompson and Clark 2008).
- **Effet T°C hiver** : hêtre > chênes  
=> chilling requirement (Kramer 1995, Falusi and Calamassi 1997; Murray et al. 1989).
- **Jaun.** : effet Rg ( <=> durée jour) (Kramer 1995)

13

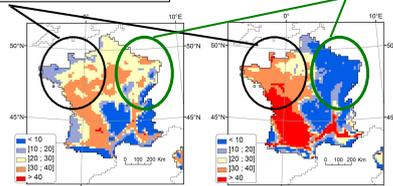


## 4. Conclusions

- **Changements** notables fin du siècle  
=>LSV : 10-20 à > 40 jours (jaun > déb)  
=> HadCM3-A2 : 3-3.5°C printemps / 5 à 6°C automne

Ouest... Hêtre > Chênes

Est... Chênes > Hêtre



- **Validité des prédictions...**  
=> domaine de présence des essences  
=> ratio besoins en froid / chaud => déséquilibre ?  
=> si trop forte chaleur en hiver hêtre << chênes (Heide 1993; Morin and Chuine 2005; Murray et al. 1989, Thompson and Clark 2008).

14