

# **Nouvelles approches intégrant sol et climat pour le développement d'outils cartographiques d'aide à la décision forestière en contexte de changement climatique**

## **Application à l'échelle locale**

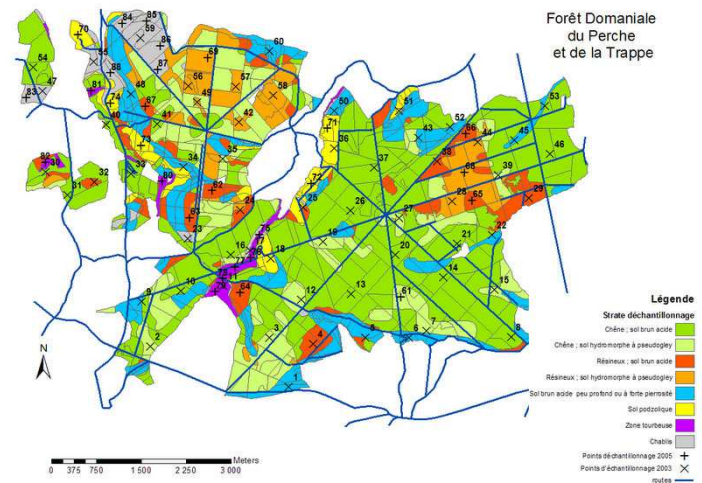
**Paulina Pinto ; Christian Piedallu**

UMR INRA-AgroParisTech-Université de Lorraine SILVA

[paulina.pinto@agroparistech.com](mailto:paulina.pinto@agroparistech.com)

# Contexte

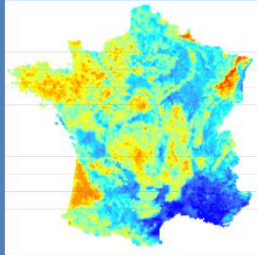
- La carte de station constitue l'outil traditionnel des gestionnaires pour évaluer les potentialités forestières.
- Dans un contexte de changement climatique, **le gestionnaire** doit tenir compte des changements à long terme quand il est confronté aux choix des essences lors de l'aménagement. Cette prise en compte vise à intégrer la vulnérabilité potentielle des peuplements face au réchauffement.
- Les outils disponibles (catalogues + guides): n'existent pas partout; peu de cartes, coûteuses; ne tiennent pas compte des évolutions environnementales à long terme.
- Ceci conduit à développer des outils et méthodes nouveaux qui permettent la **cartographie à faible coût** et intègrent le **climat et sol dans la définition des caractéristiques stationnelles** et **des potentialités des essences**.



# Le développement des cartes numériques

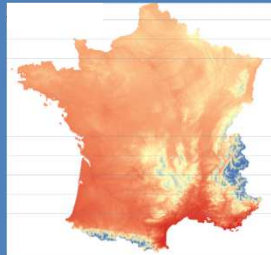
- Variables environnementales : sol, climat

Variables  
nutritionnelles



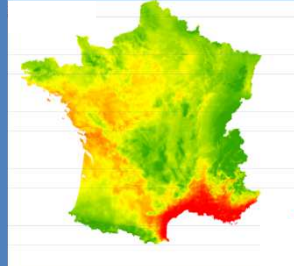
pH

Variables  
climatiques



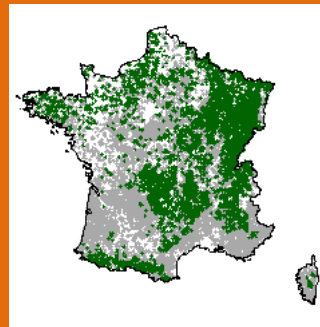
Température  
moyenne annuelle

Variables  
hydriques



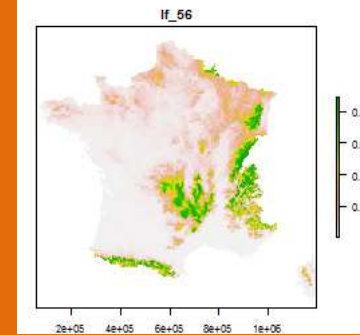
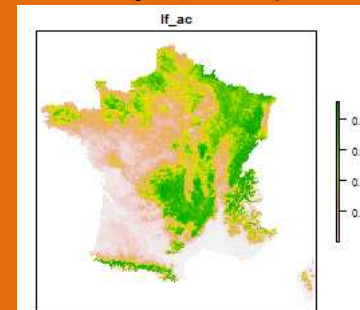
Déficit hydrique

P/A Hêtre



- Potentialités des essences

Hêtre (probabilité  
de présence)



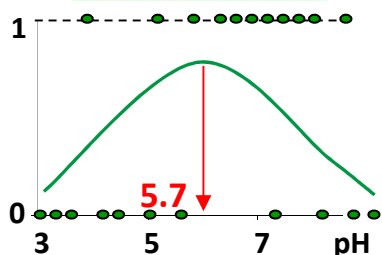
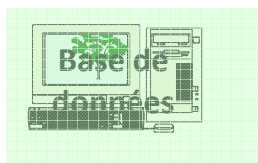
Sources : LERFOB – IGN

- La résolution spatiale/précision des outils peut elle permettre une utilisation à l'échelle de la propriété forestière ?

# Les conditions d'une mise en œuvre locale

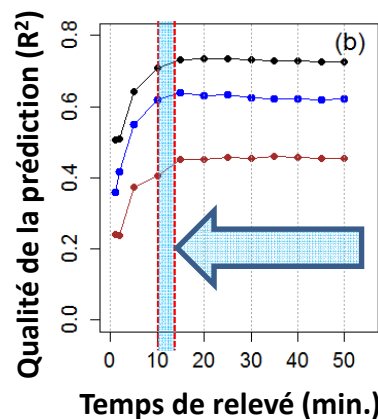
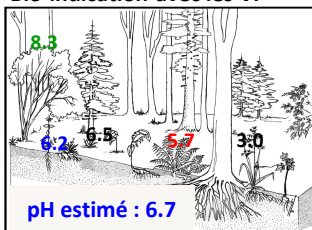
- *Il faut remplir différentes conditions:*
  - (i) Disposer à **bas coût** de cartes prédictives de variables liées **au sol** et au **climat** à fine résolution spatiale
  - (ii) Vérifier que la qualité de la prédiction permet de restituer des gradients locaux de ces variables
  - (iii) Disposer de modèles permettant de cartographier **des indicateurs de potentialité des essences** : distribution, la croissance, l'état de santé des espèces intégrant des variables environnementales.
  - (iv) Vérifier si ces cartes permettent de délimiter à fine échelle les potentialités des essences.

# SOL : Optimisation des couts d'acquisition des variables sol sur le terrain. Bio-indication par les plantes.



Espèce	pH
Abies alba	3.0
Acer campestre	7.1
Acer monspessulanum	8.5
Acer opalus	8.5
Acer platanoides	7.7
Acer pseudoplatanus	8.4
Achillea millefolium	7.1
Aconitum lycoctonum	7.1
Actaea spicata	6.9
...	

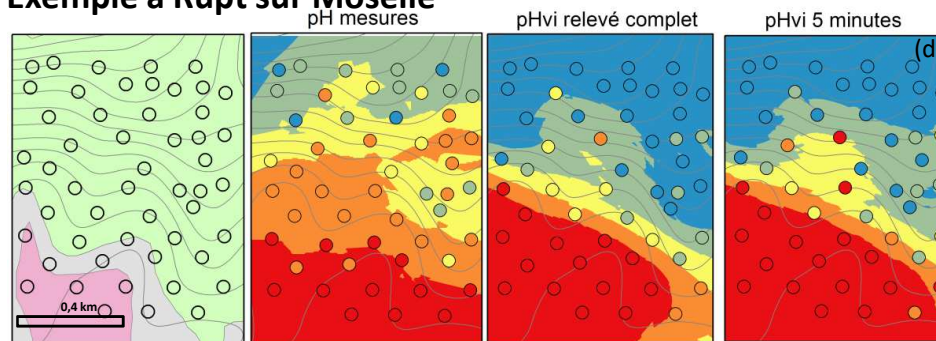
## Bio-indication avec les VI



(Pinto, et al. 2016; *Ecological Indicator*)

● pH  
● ST  
● CN

## Exemple à Rupt sur Moselle



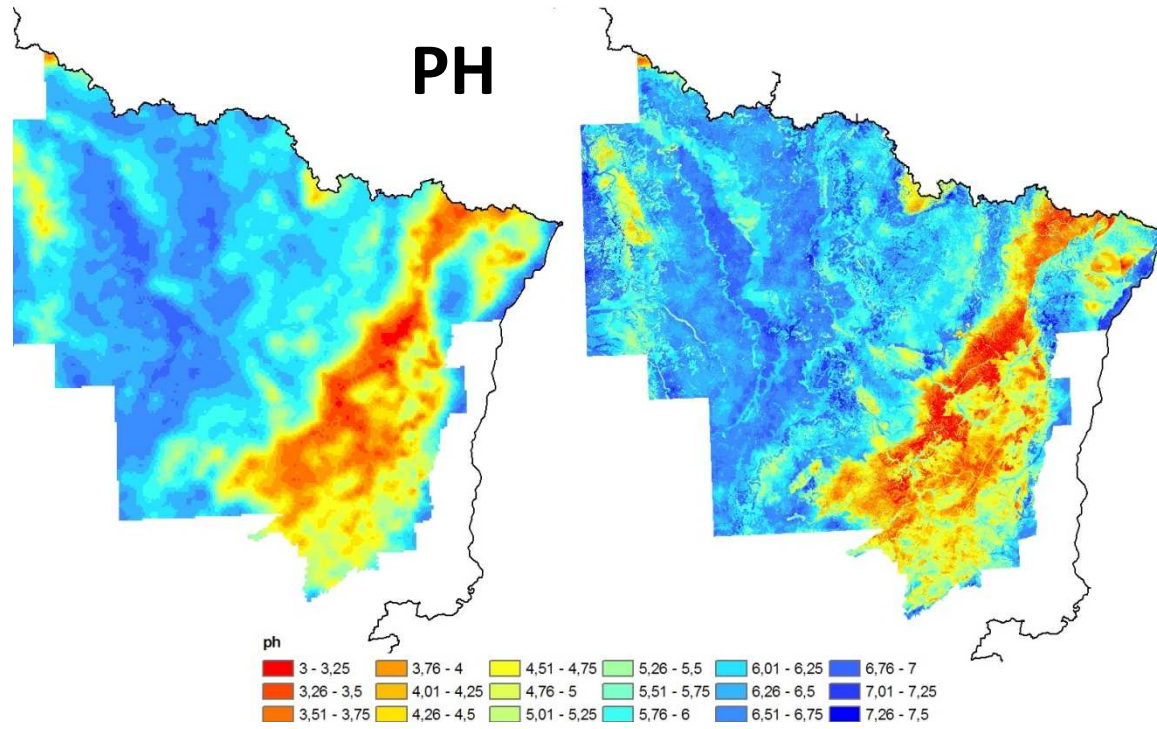
■ Granite neutre  
■ Conglomérat principal acide  
■ Grès siliceux

pH<sub>eau</sub>  
● 3,0 - 4,0  
● 4,0 - 4,5  
● 4,5 - 5,0  
● 5,0 - 5,5  
● 5,5 - 6,5

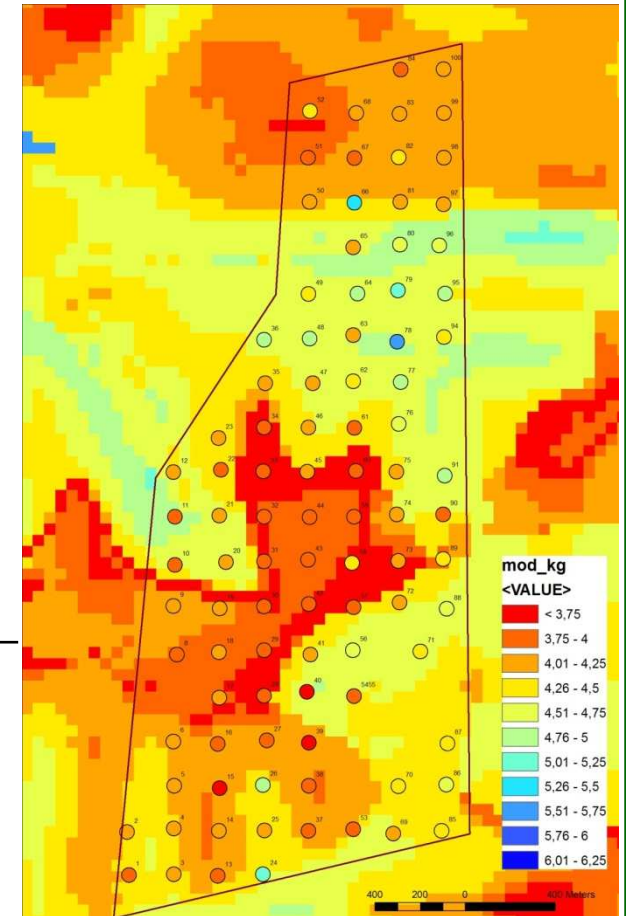
$R^2 = 0.72$   
REQM = 0.75

(Pinto, et al. Acceté *Rendez vous Techniques*)

# SOL : Cartographie à large échelle et validation locale



Ex Site Rupt sur Moselle :  
(3km \* 1.5 km, pas 200 m)



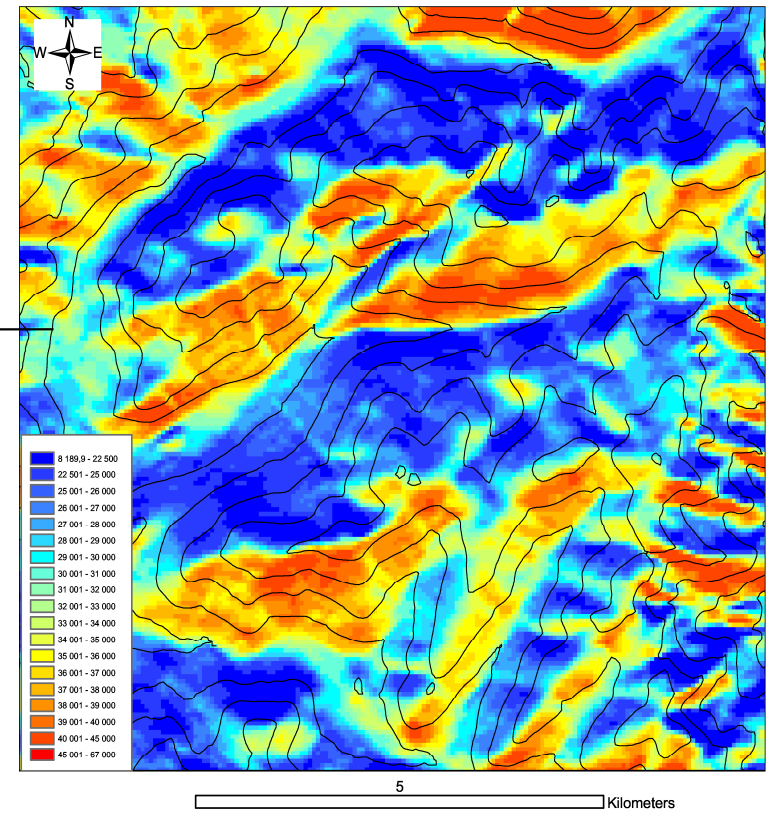
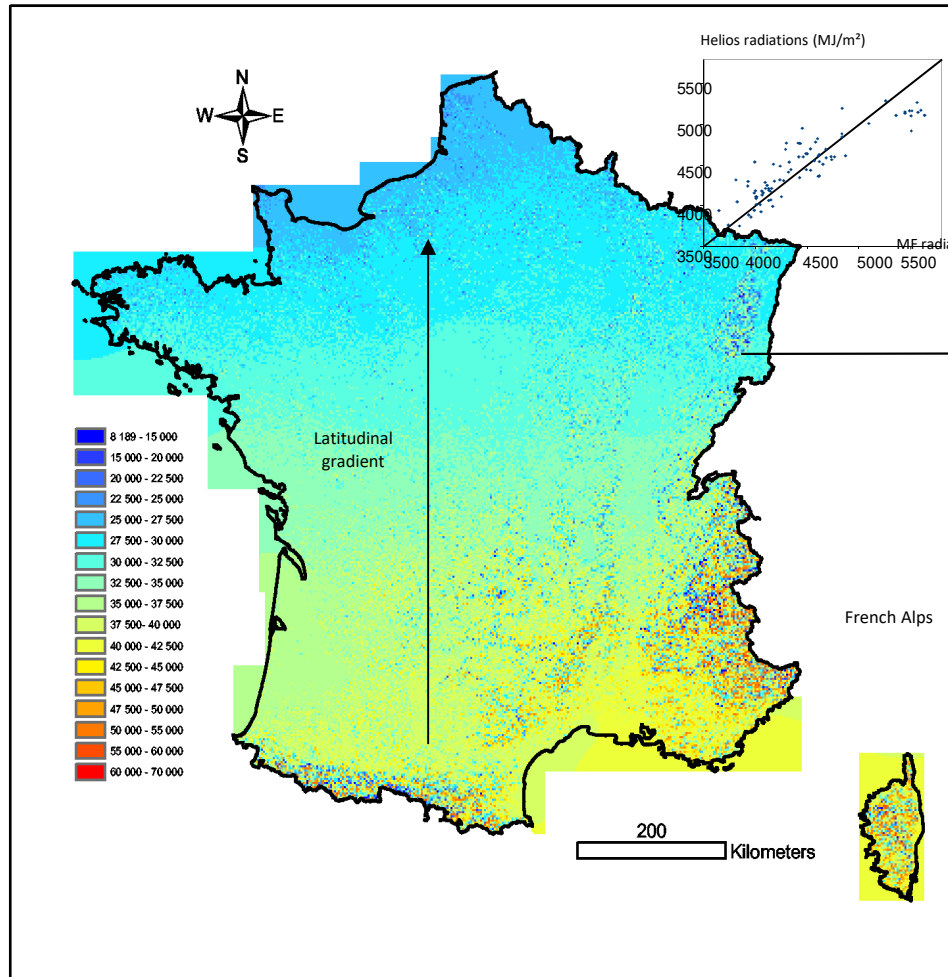
(Riofrio, 2010. Rapport MSc.)

Comparaison carte/mesures	R <sup>2</sup> carte 50 m	R <sup>2</sup> carte 1km
Lorraine (602)	0.63	0.55
Bure (82)	0.39	0.21
<b>Rupt (69)</b>	<b>0.40**</b>	<b>0.01</b>



# Climat: Modélisation et cartographie

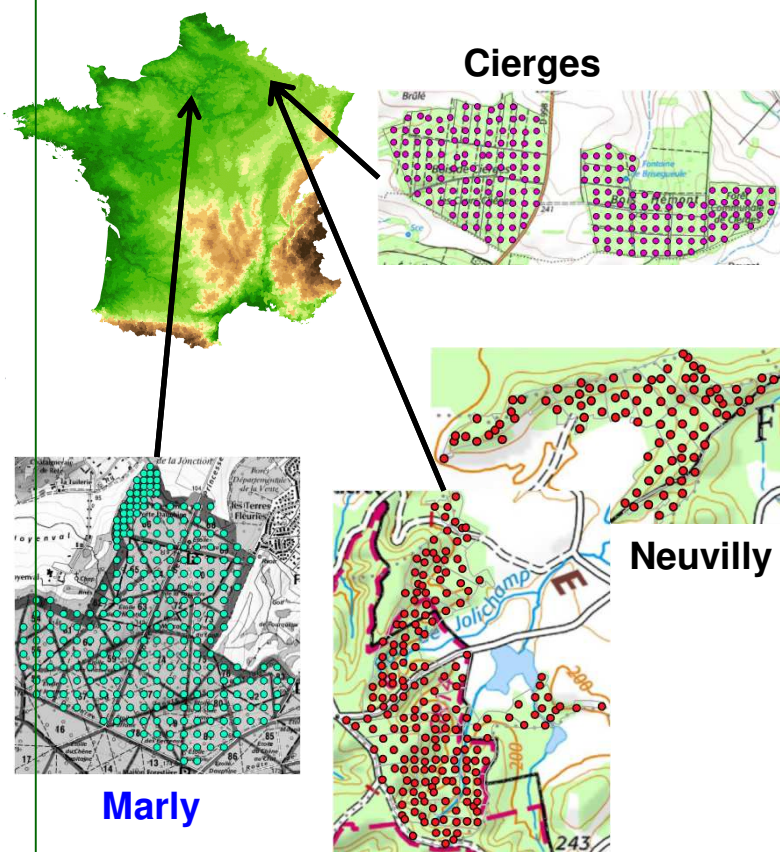
Ex: Rayonnement solaire, modèle Hélios, pas de temps mensuel, moy61-1990, pixels 50m



(Piedallu et al., *Annals of Forest Sciences*, 2007)

# Un exemple d'application

- Application dans le N-E Argonne et Ile de France



Forêt	Marly-Le-Roi	Cierges	Neuvilly-en-Argonne
Région	Ile-de-France	Lorraine	Lorraine
Département	Yvelines	Meuse	Meuse
Statut	Forêt Domaniale	Forêt Communale	Forêt Communale
Nombre de placettes	274	210	293



# Caractérisation- cartographie du pH par bioindincation

- Acquisition des données stationnelles à Marly le Roi – Protocole 555

## Légende

Parcelles

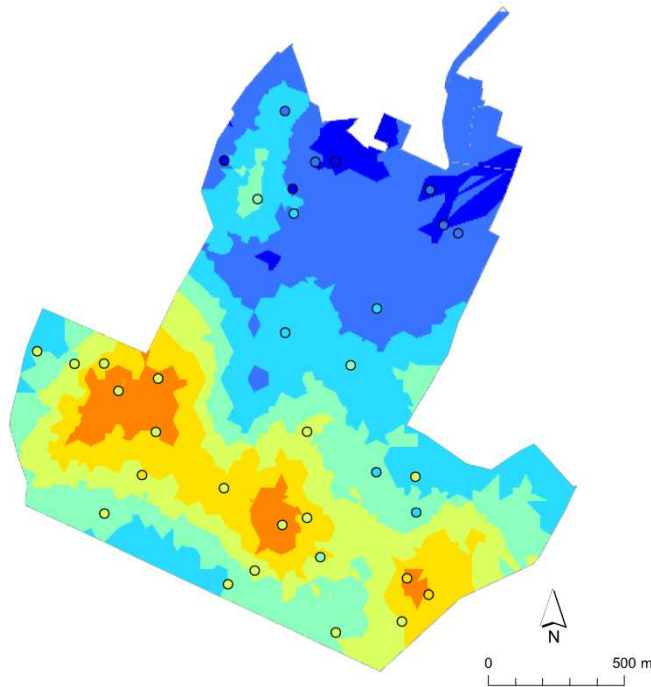
## Légende

### pH mesuré 2017

- 3,0 - 3,5
- 3,5 - 4,0
- 4,0 - 4,5
- 4,5 - 5,0
- 5,0 - 5,5
- 5,5 - 6,0
- 6,0 - 6,5
- 6,5 - 7,0

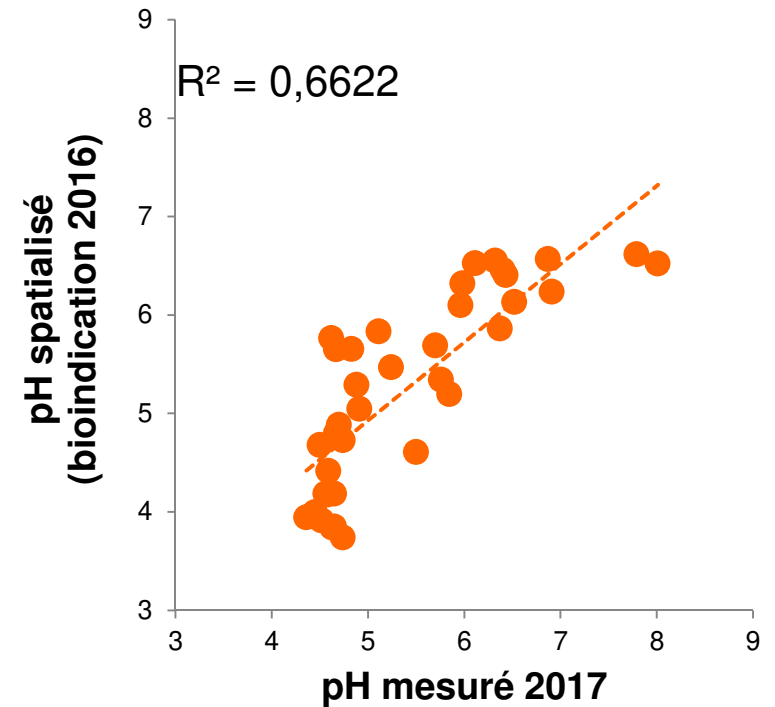
### Interpolation du pH

- 3,5 - 4
- 4,0 - 4,5
- 4,5 - 5
- 5,0 - 5,5
- 5,5 - 6
- 6,0 - 6,5
- 6,5 - 7



Bioindication du pH sur 274 relevés floristiques optimisés en temps (5 min). Campagne terrain 2016.

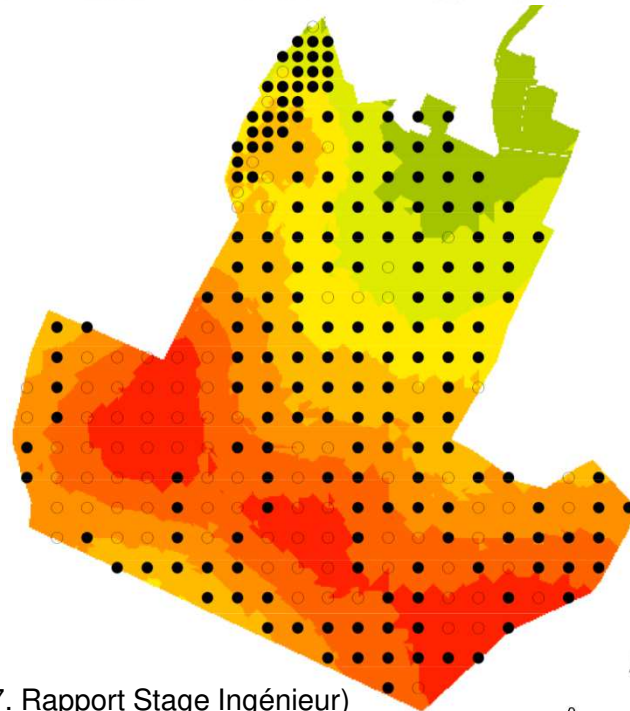
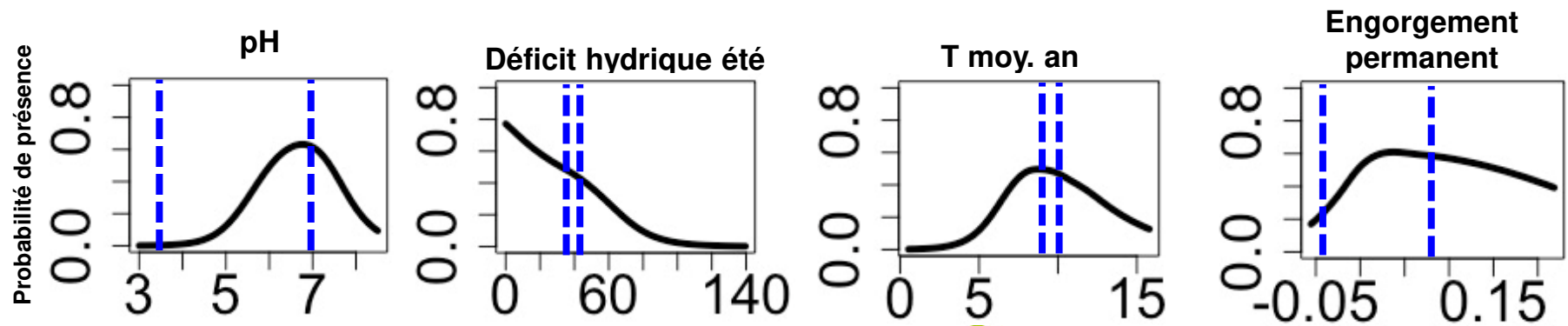
Interpolation à partir des 274 points de pH bioindiqués



# Potentialité des essences - modèle de distribution

- A partir de données sol bio-indiquées et données climatiques période actuelle

## *Fraxinus excelsior*



### Légende

#### Présence / absence réelle

- Absence
- Présence

#### Interpolation des probabilités

- 0 - 0,1
- 0,1 - 0,2
- 0,2 - 0,3
- 0,3 - 0,4
- 0,4 - 0,5
- 0,5 - 0,6
- 0,6 - 0,7
- 0,7 - 0,8
- 0,8 - 0,9
- 0,9 - 1

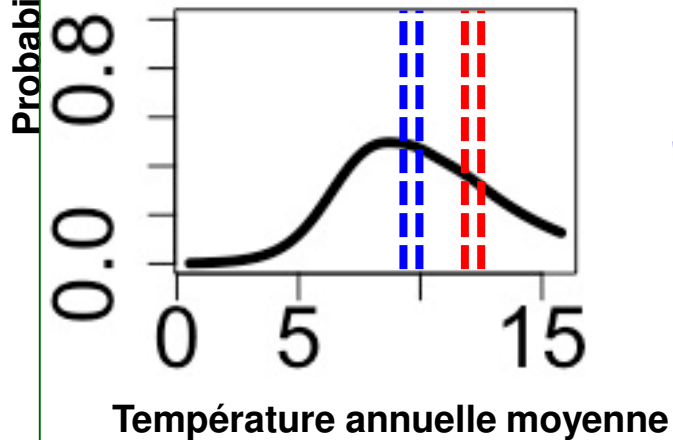
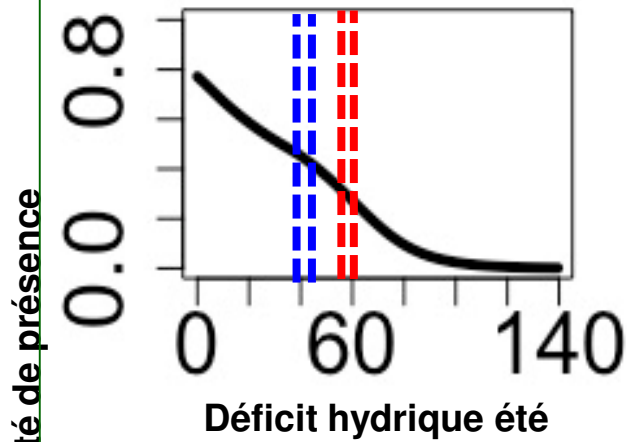
(Dietz, 2017. Rapport Stage Ingénieur)



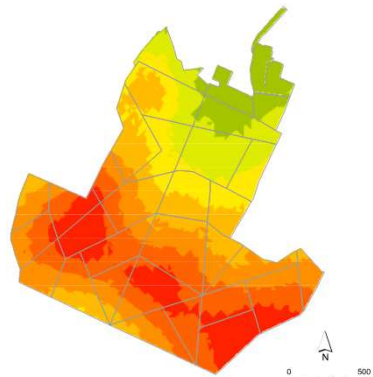
# Potentialité des essences - modèle de distribution

- Evolution future des potentialité des essences – période 2041-2076

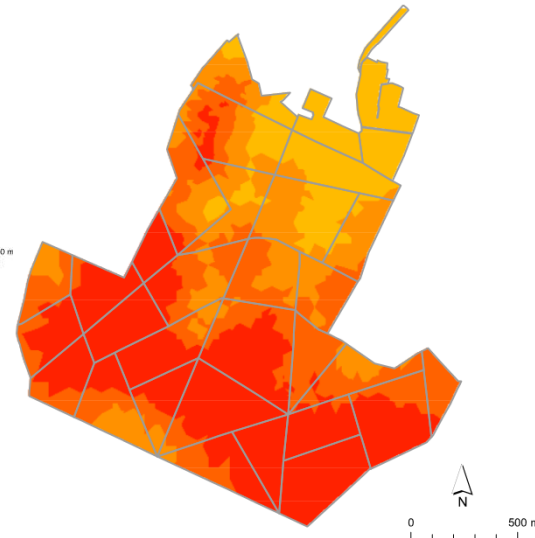
*Fraxinus excelsior*



Période 1961-1990



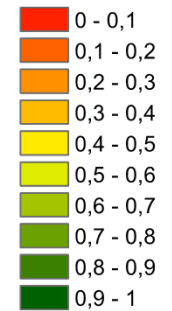
Période 2041-2070



Modèle  
ARPEGE,  
scénario a1b

Légende

Interpolation des probabilités

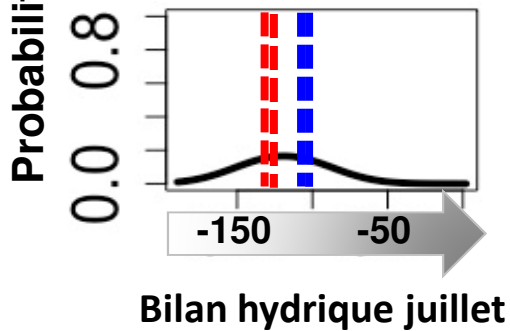
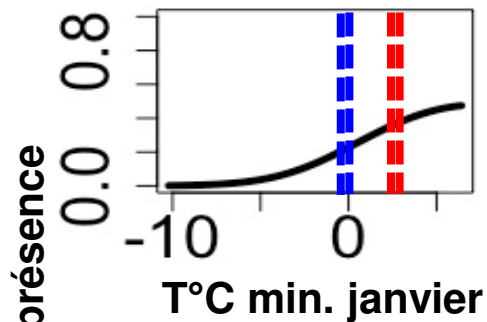


Interpolation des probabilités de présence obtenues par le modèle Piedallu en condition de climat futur

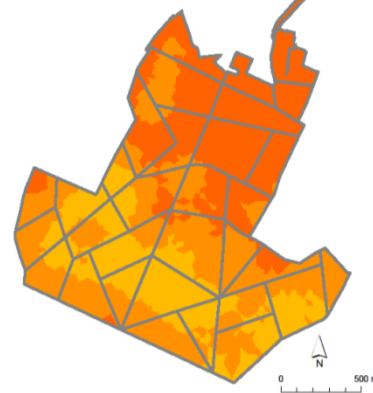
# Potentialité des essences - modèle de distribution

- Evolution future des potentialité des essences – généralisable à plusieurs essences

## *Castanea sativa*



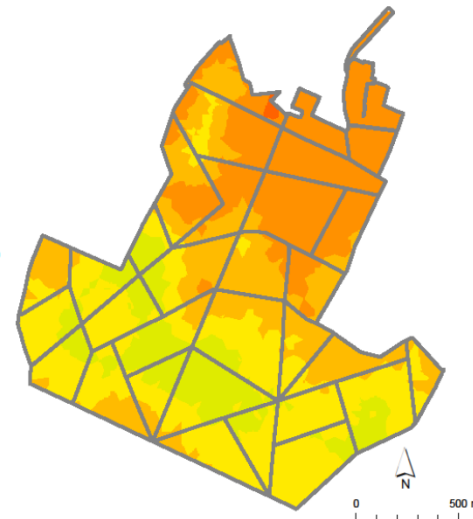
Période 1961-1990



— 1961-1990

— 2051-2070

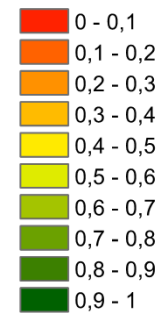
Période 2041-2070



Modèle  
ARPEGE,  
scénario a1b

### Légende

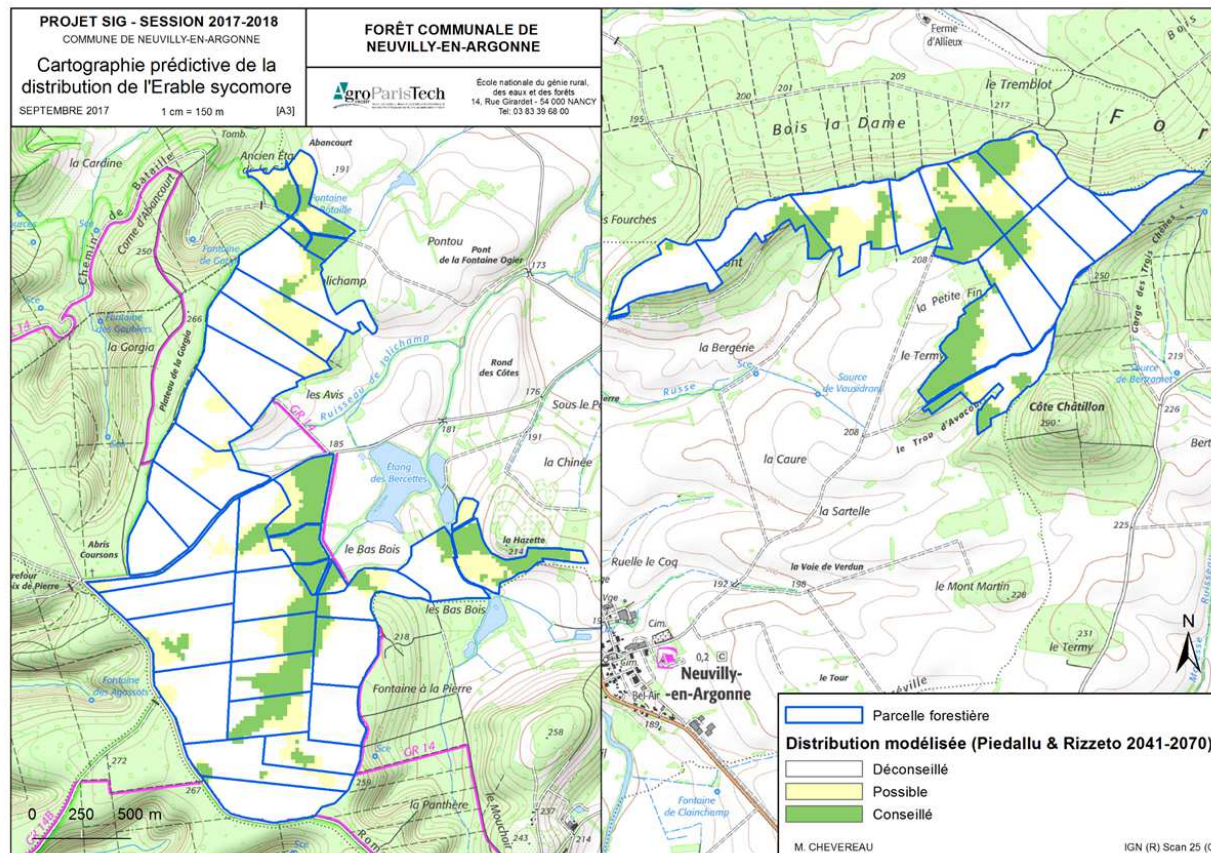
Interpolation des probabilités



*Interpolation des probabilités de présence obtenues par le modèle Rizzetto en condition de climat futur*

# Développements futurs

- Intégrer différents modèles : évaluation de l'incertitude  
Application de plusieurs mod. à l'échelle de la forêt de Neuville



(Travaux réalisés par étudiants de 3<sup>e</sup> année Ing – AgroParisTech)



# Conclusions

- **Pertinence à l'échelle locale:**
  - Facteurs du milieu : approche par modélisation (résolution 25-50m), ou approche terrain (relevés de 5'), permettent d'avoir des paramètres nécessaires.
  - Des modèles de distribution construits à l'échelle nationale, qui intègrent sol+climat, s'appliquent à l'échelle locale.
- **Démarche innovante formalisée :**
  - Basée sur des approches quantitatives
  - Intégrant le climat et son évolution
  - Intégrée de l'échelle du massif forestier à l'échelle nationale
  - Reliant milieu et potentialité des essences (zones favorables à distribution, croissance, santé)
- **Limites et perspectives**
  - Multiplicité des mod. distribution v/s peu de modèles productivité/état de santé
  - Besoin d'intégration de ces informations.
  - Modèles corrélatifs et courbes monotones: risque dans les prédictions en scénario climatique futur.



# Capacités nécessaires pour l'utilisation de ces outils

Compétence	Technicien	Ingénieur
Botanique	●	●
Pédologie	●	●
Dendrométrie	●	●
SIG	●	●
Manipulation de BD climatiques		●
Modélisation		●

[Paulina.pinto@agroparistech.fr](mailto:Paulina.pinto@agroparistech.fr)

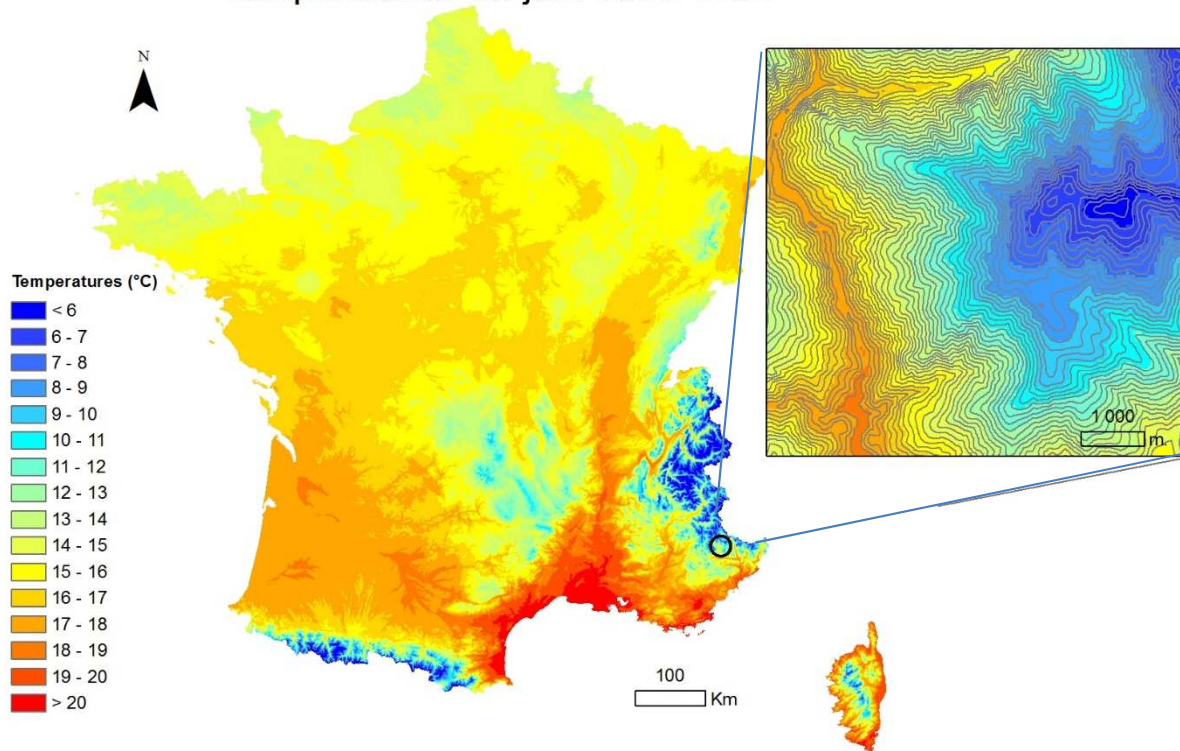
[Christian.piedallu@agroparistech.fr](mailto:Christian.piedallu@agroparistech.fr)



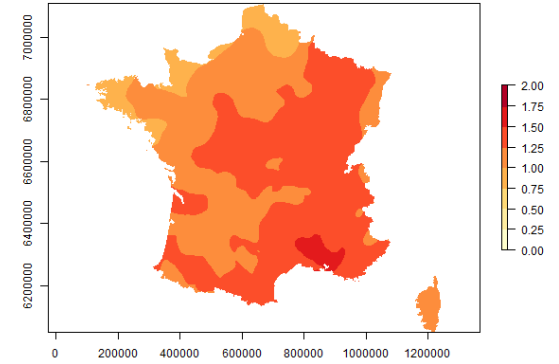
# Climat: Modélisation et cartographie

Ex: Température, précipitations, passé + évolutions

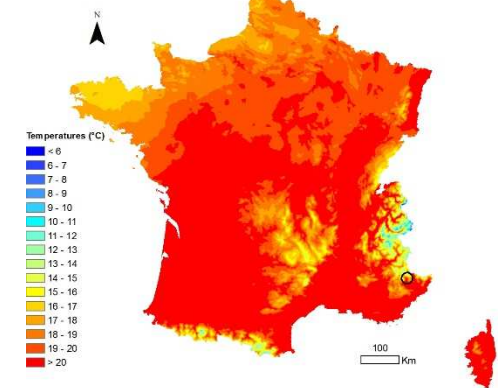
Températures de juin-1961-1990



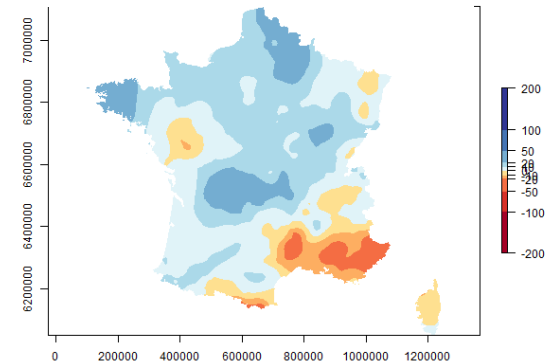
T° moy. estivales 1961-1987; 1988-2014



Températures de juin-2071-2100, modèle Hadcm2-a2



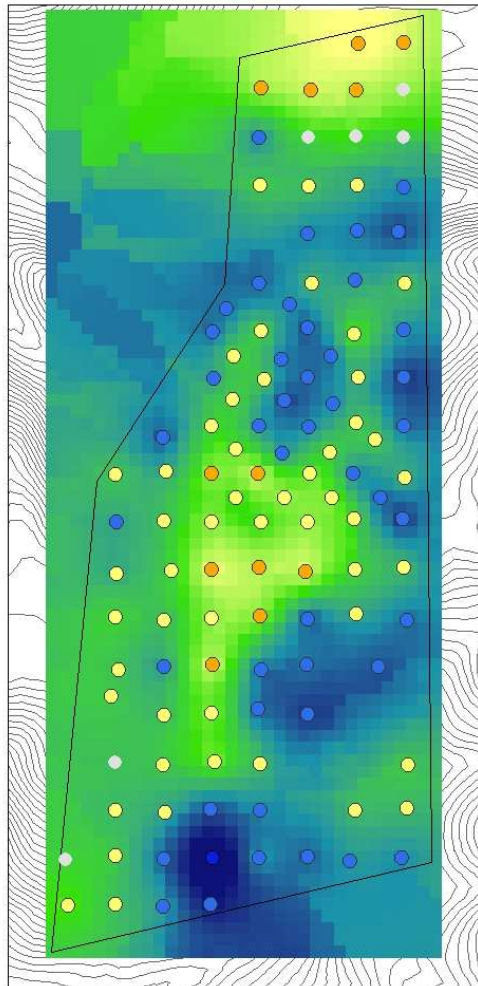
Evolutions P été 1961-1987; 1988-2014



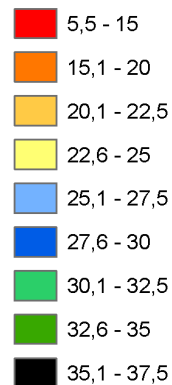
Source : LERFOB

## II. Evaluation des potentialités forestières

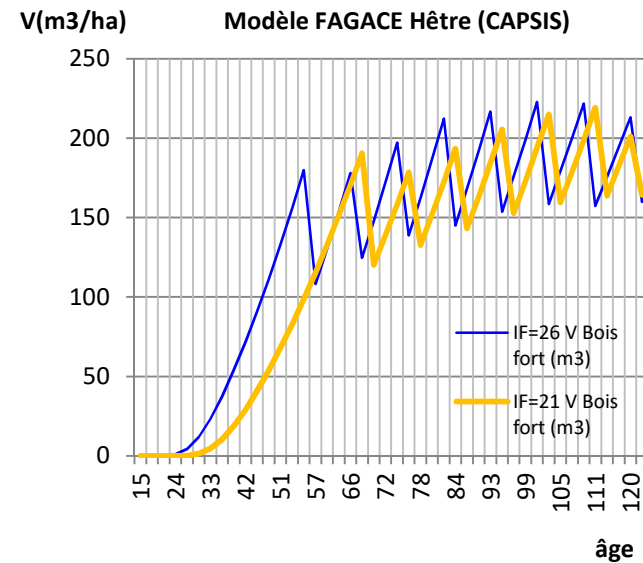
*Les modèles de productivité établis à l'échelle nationale sont ils assez fins pour être utilisés pour le choix des essences à l'échelle locale ? E.g. Hêtre*



**Gamme France**



**Gamme Rupt-sur-Moselle**



(i) Les modèles de productivité semblent pouvoir être utilisés à l'échelle locale.

(ii) Ils permettent de simuler des itinéraires sylvicoles et des prévisions de croissance adaptées aux stations

Modèle SI : Seynave, et al., 2008. J. Biogeography