



Forêts, changements globaux, zones vulnérables :

ce que nous apprend
la modélisation en écologie forestière

l'exemple des modèles de niche

Vincent BADEAU
UMR INRA Nancy - UHP Nancy I
Ecologie & Ecophysiologie Forestières
Equipe Phytoécologie
54280 Champenoux
badeau@nancy.inra.fr

AFORCE, 27 & 28 septembre 2016, Poitiers

La niche écologique : de quoi parle-t-on ?

George Evelyn *Hutchinson*, « Concluding remarks », *Cold Spring Harbor Symposia on Quantitative Biology*, 22, 2, 1957, 415–427

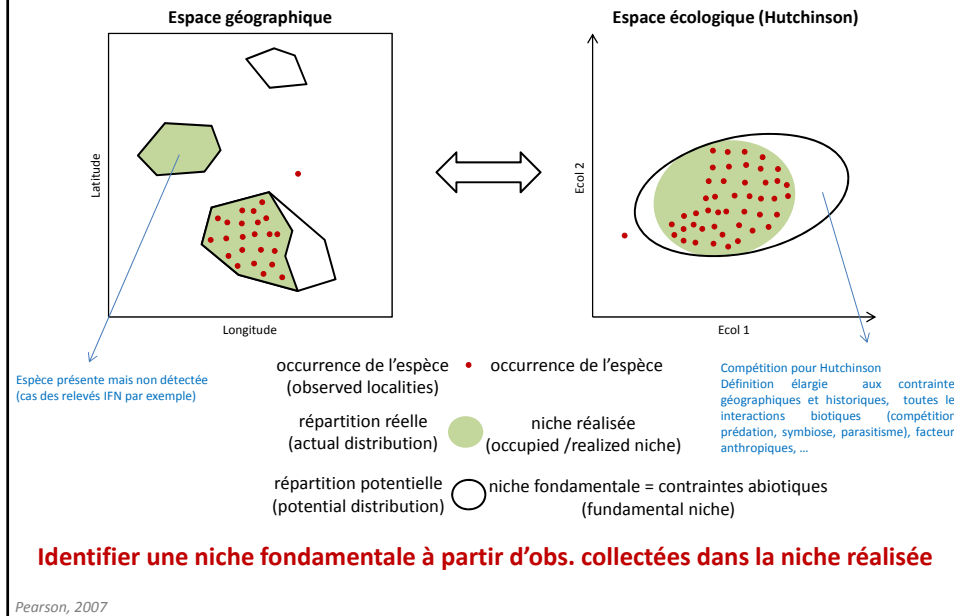
- La niche écologique comme une «enveloppe» (un hypervolume) où chaque dimension de l'espace représente :
 - une ressource (alimentaire, en matériaux, spatiale, offre en cachette, substrats ou perchoirs, ...)
 - ou une condition de l'environnement (température, précipitations, acidité, ...)
- Les conditions et les ressources sont des facteurs limitants que l'on peut hiérarchiser pour étudier la vulnérabilité de l'espèce dans l'environnement

Hutchinson distingue deux sortes de niches :

La **niche fondamentale** qui réunit tous les composants et toutes les conditions environnementales nécessaires à l'existence d'un organisme.

La **niche réalisée** : elle est souvent comprise dans la niche fondamentale, réduite à l'espace qu'elle est contrainte d'occuper, du fait des compétitions avec les autres espèces effectivement présentes dans un espace donné.

La niche écologique : de quoi parle-t-on ?



Niche fondamentale / niche réalisée

Pinus radiata (pin de Monterey)

- Aire naturelle = trois zones très limitées
- **7 800** hectares
- UICN = espèce en danger



- Introduit en Espagne, Australie, Nouvelle-Zélande, Argentine, Chili, Uruguay, Kenya, Afrique du Sud
- **520 000** hectares de plantations denses dans l'hémisphère sud (Unasylva, 1954)
- **623 400** hectares (Unasylva, 1960)



Les modèles servent à synthétiser les connaissances et à faire apparaître les manques de connaissances

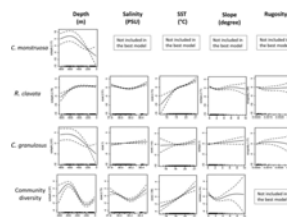
■ **Les modèles (de niche) ne sont pas une fin en soit mais des outils**

- les modèles de niches servent-ils à quelque choses ?
(hiérarchisation & quantification des incertitudes sur le passé récent et le futur)
- que nous apprennent-ils à propos de l'écologie des espèces ?
(relations climat & sol / présence / croissance / état sanitaire / provenances & plasticité / communautés ...)
- comment intégrer les connaissances sur l'écologie des esp. dans les modèles de niche ?
(compensations de facteurs ...)

**L'important n'est pas la carte
mais le modèle qu'il y a derrière**

● **Modèles statistiques**

→ recherche de corrélations



● **Modèles mécanistes**

→ simulation du fonctionnement des plantes
(d'une partie du fonctionnement ...)

$$S_t = I_t \cdot \frac{g_{st}^{eff} - g_{st}^a}{g_{st}^{eff}}$$

$$\Delta S_t = I_t \cdot \frac{g_{st}^{eff} - g_{st}^a}{g_{st}^{eff}}$$

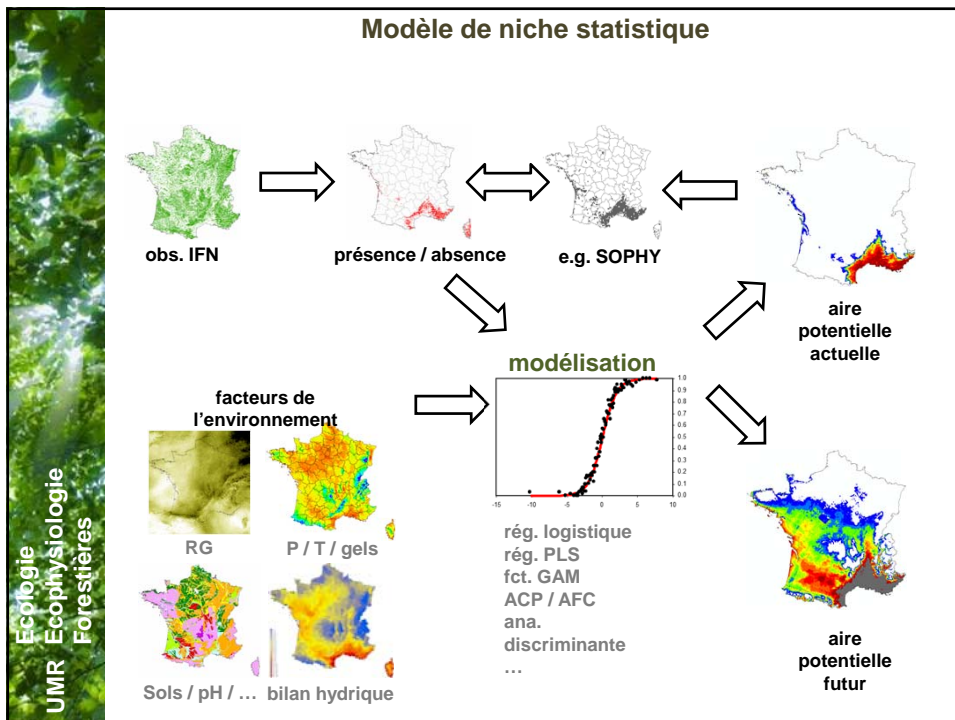
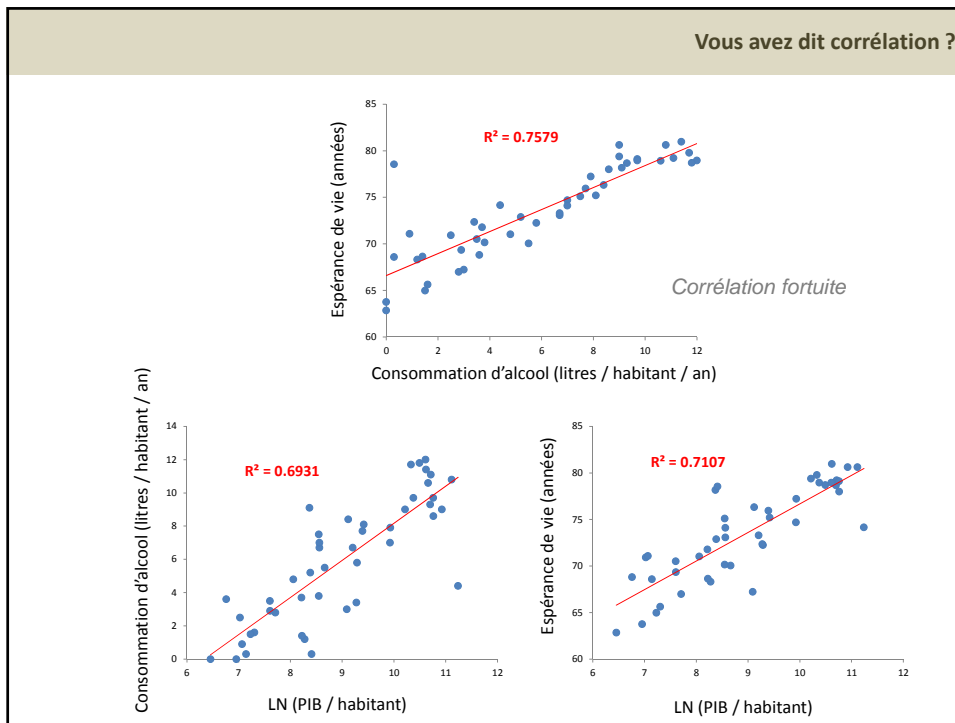
$$S_h = I_h \cdot \frac{J_{max}^{eff} - J_{max}^a}{J_{max}^{eff}}$$

$$I_t = \frac{g_{st}^a / g_{st} \cdot \partial P_n / \partial C_t}{g_{st}^a + \partial P_n / \partial C_t}$$

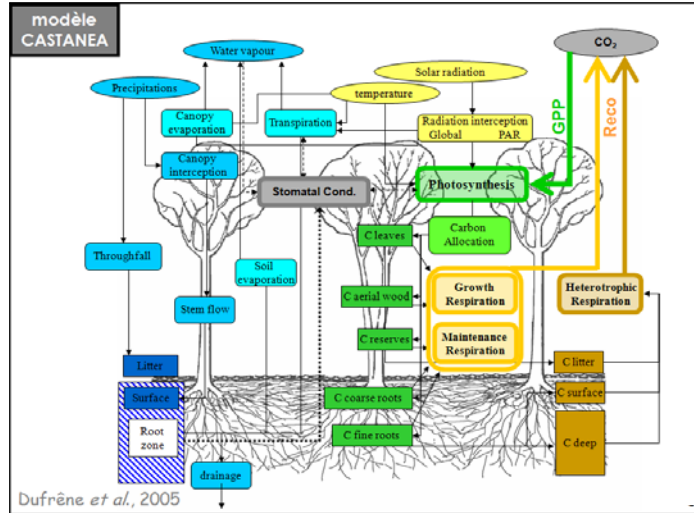
$$I_m = \frac{g_{st}^a / g_{st} \cdot \partial P_n / \partial C_t}{g_{st}^a + \partial P_n / \partial C_t}$$

$$I_h = \frac{g_{st}^a}{g_{st}^a + \partial P_n / \partial C_t}$$

$$\frac{\partial P_n}{\partial C_t} = \frac{(1 + O / K_o) \cdot K_t \cdot V_{max} \cdot (C_t - \Gamma)}{(1 + O / K_o) \cdot K_t + C_t + (1 + O / K_o) \cdot K_t + C_t} \cdot C_t + \frac{V_{max} \cdot C_t \cdot \Gamma}{(1 + O / K_o) \cdot K_t + C_t} \cdot C_t \cdot C_t$$

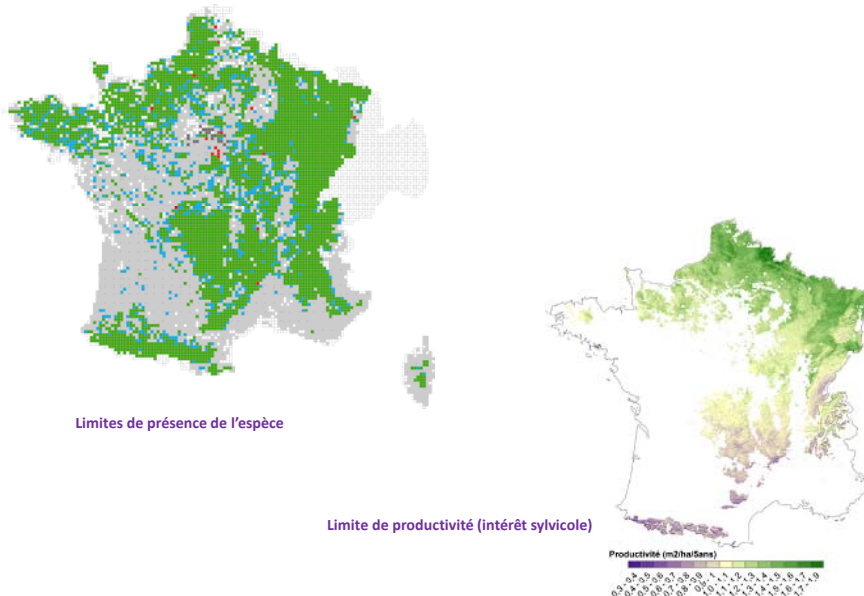


CASTANEA :
exemple de modèle mécaniste du fonctionnement des forêts (C, H₂O, N)

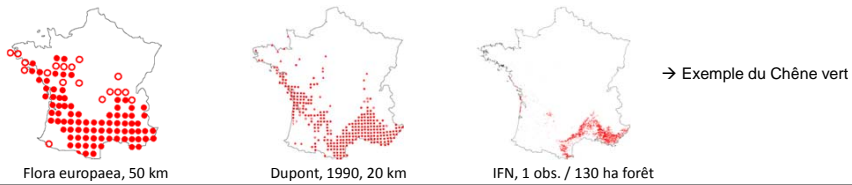
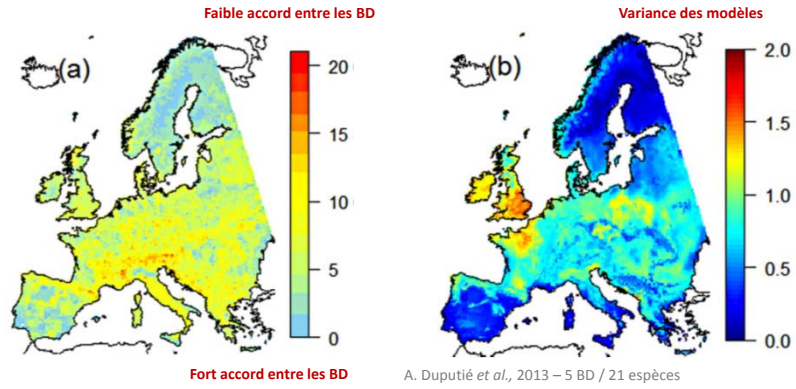


- échanges C, H₂O et croissance des peuplements forestiers (équiennes, arbre moyen)
 - Hêtre, Chêne sessile, Pin sylvestre, Pin maritime, Epicéa, Chêne vert

Quelle limite pour les aires actuelles ?



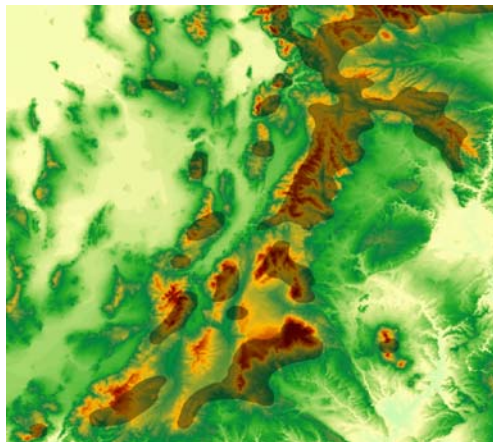
Jeux de données sur les espèces : occurrences ou enveloppes



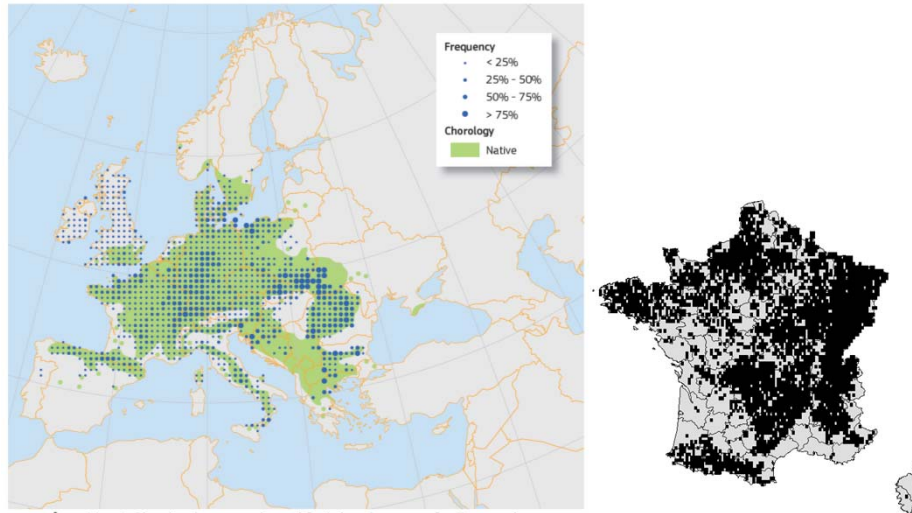
Jeux de données sur les espèces : occurrences ou enveloppes



Problème d'accès à des données de qualité



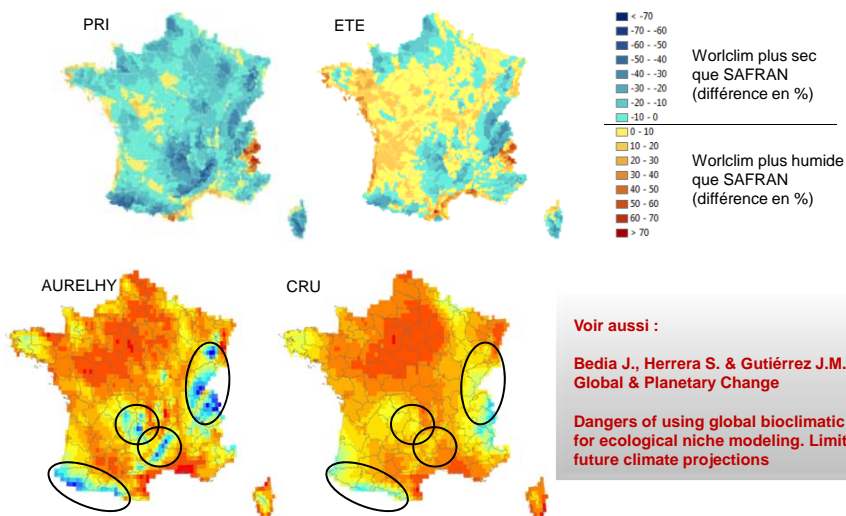
Jeux de données sur les espèces : occurrences ou enveloppes



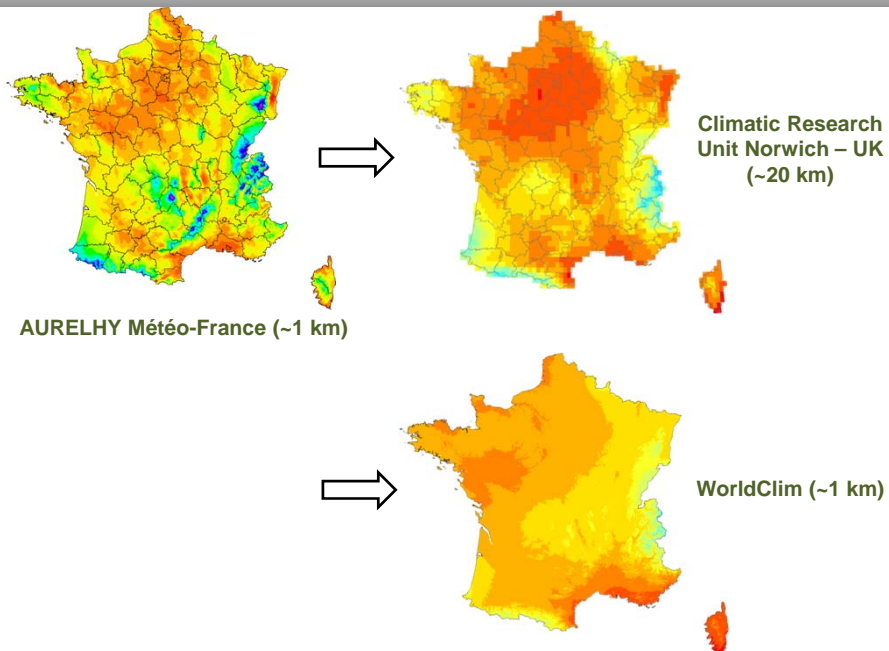
Problème d'accès à des données de qualité sur de vastes territoires
 → nécessaire pour échantillonner la « variabilité » naturelle

Climat actuel : des sources (trop) considérables de données

AURELHY, SAFRAN, SATMOS, WorldClim, PRISM, CRU, ECA&D, ERA, Chelsa-Clim, ISPRM_Mars, ClimateEU, Ero4M, GPCC, Euro / Med Cordex....



Climat actuel : des sources (trop) considérables de données



Climat actuel : des sources (trop) considérables de données

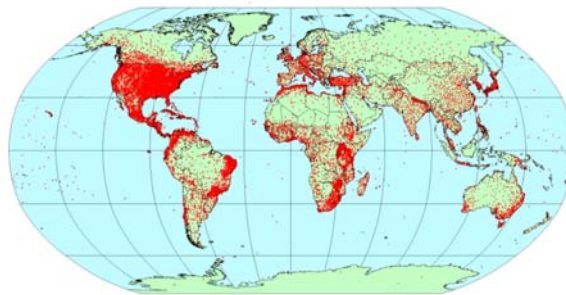


Figure 2. Locations of climate stations with mean temperature data.

AURELHY Météo-France → 1300 à 1700 (T) / 3300 à 3400 (RR)

Sylvae → 493 (T) / 419 (RR)

Worldclim → ~ 80 postes pour la France → relief et pas climat

Ne pas confondre précision (le réalisme de la valeur du pixel) et résolution (la taille du pixel)

Quel(s) prédicteur(s) climatique(s) ?

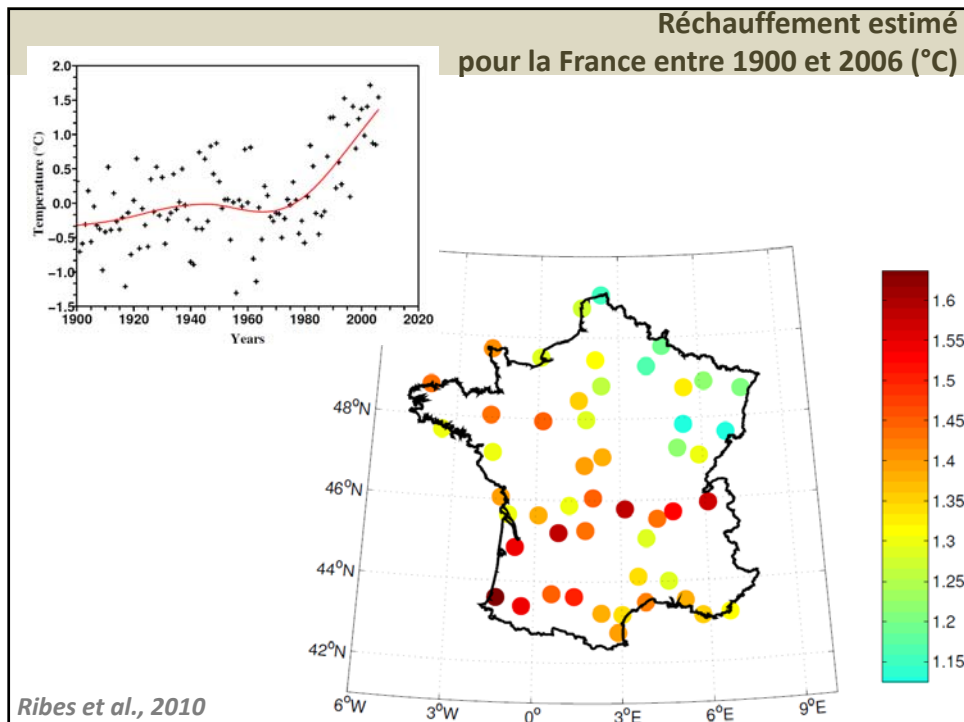
Normales mensuelles trentenaires

Indicateurs précalculés

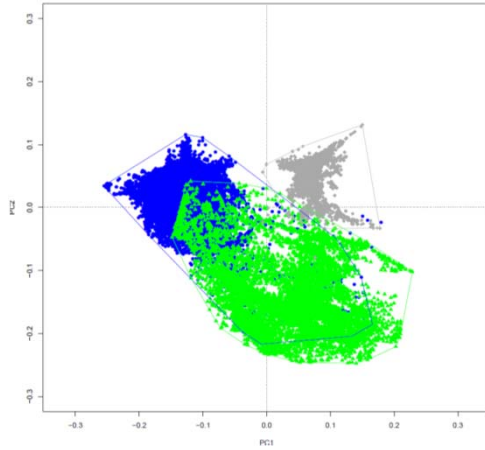
BIO01 = Annual Mean Temperature
BIO02 = Mean Diurnal Range (Mean of monthly (max temp - min temp))
BIO03 = Isothermality (BIO2/BIO7) (* 100)
BIO04 = Temperature Seasonality (standard deviation *100)
BIO05 = Max Temperature of Warmest Month
BIO06 = Min Temperature of Coldest Month
BIO07 = Temperature Annual Range (BIO5-BIO6)
BIO08 = Mean Temperature of Wettest Quarter
BIO09 = Mean Temperature of Driest Quarter
BIO10 = Mean Temperature of Warmest Quarter
BIO11 = Mean Temperature of Coldest Quarter
BIO12 = Annual Precipitation
BIO13 = Precipitation of Wettest Month
BIO14 = Precipitation of Driest Month
BIO15 = Precipitation Seasonality (Coefficient of Variation)
BIO16 = Precipitation of Wettest Quarter
BIO17 = Precipitation of Driest Quarter
BIO18 = Precipitation of Warmest Quarter
BIO19 = Precipitation of Coldest Quarter

Indicateurs synthétiques

Indicateurs « écophysiologiques » génériques et partagés



Quel(s) prédicteur(s) climatique(s) ?

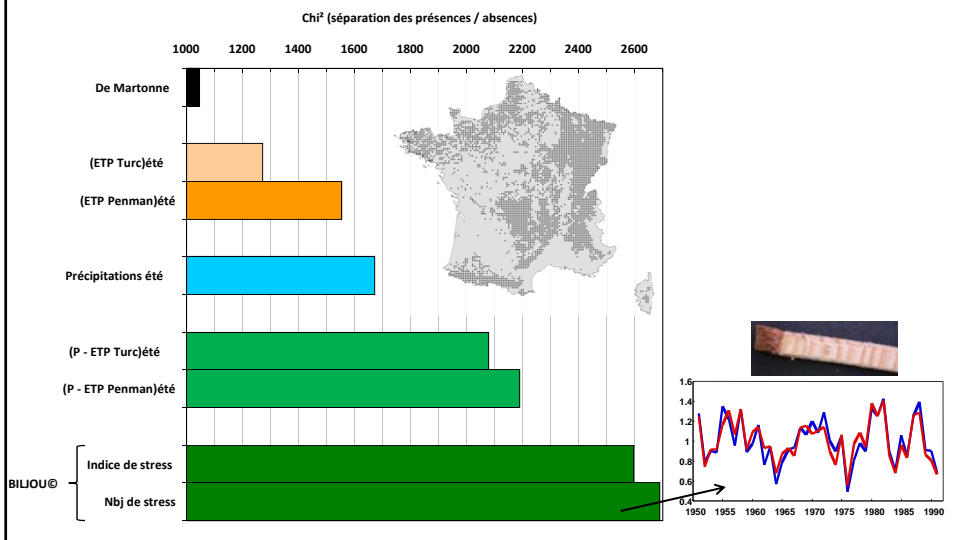


Niche bioclimatique du Douglas projetée dans le premier plan factorielle d'une ACP des variables climatiques élémentaires

Boiffin et al., in press

Quel(s) prédicteur(s) climatique(s) ?

Exemple du hêtre



Climats & prédicteurs explicites

Safran 1959 – 20xx au pas de temps journalier / 9000 mailles de 8x8 km

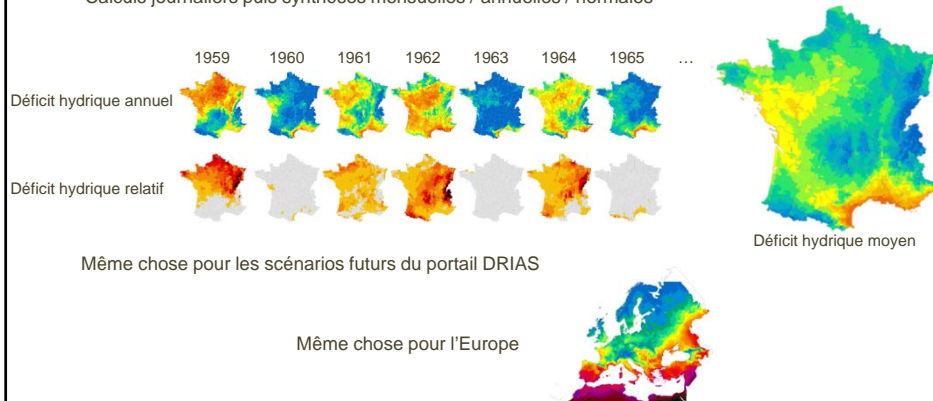
ETP Penman (VB / AG) ou Penman-Monteith (FAO) implémentée dans Biljou©

Début de stress, durée du stress, indice de stress pour 2 types de couvert x 5 LAI x 8 RU :

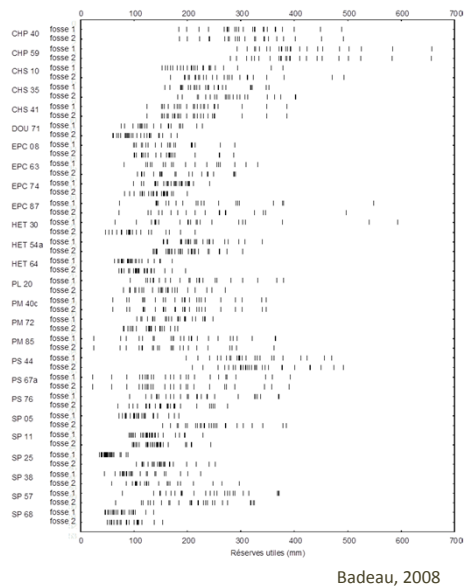
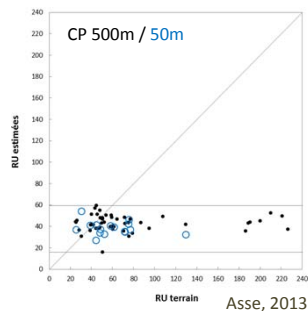
- 5 RU fixes (50 / 100 / 150 / 200 / 250 mm)
- 3 RU par petite région IFN (mode, c10, C90)

Phénologie fixe / variable spatialement / variable spatialement et temporellement (hêtre & chênes)

Calculs journaliers puis synthèses mensuelles / annuelles / normales



Amélioration des modèles : réserve utile en eau des sols



Amélioration des modèles : réserve utile en eau des sols (7/8)

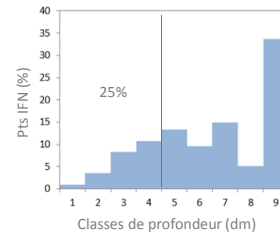
■ France → projet GICC FAST (2008 – 2011)

163 936 relevés IFN (1 point / 100 ha = 1/200 000 = pixel de 2 km)

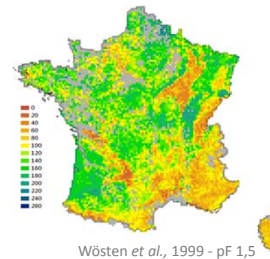
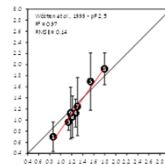
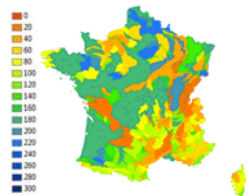
75% des points n'ont qu'une seule couche
profils limités à 1m

20 fct de pédotransfert x 3 pF CC :
comparaison avec 132 mesures (Duval, Bigorre, Nicolas, Peiffer, Granier)

en moyenne : 50% des points IFN auraient une RU<80mm
69% avec méthode CP
(35% pour les relevés de la base EcoPlant)



synthèse des distributions de RU par polygones d'intérêt

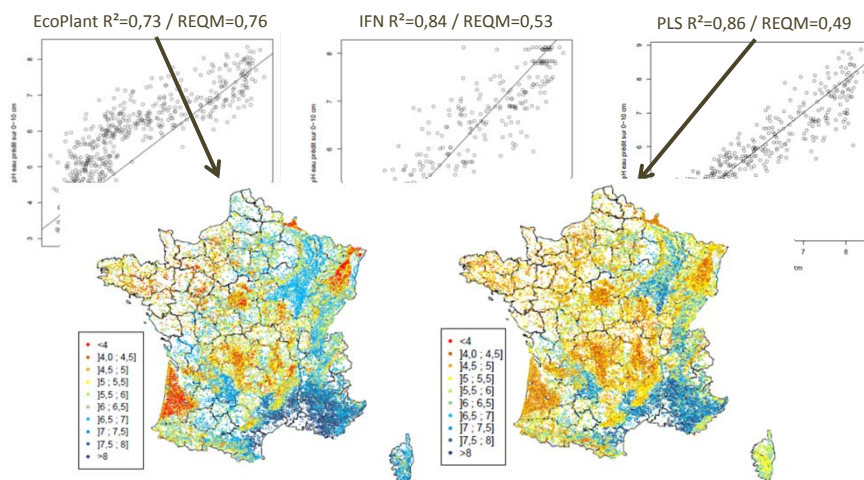


■ Europe & monde → projet Bil'Europe

Amélioration des modèles : bioindication

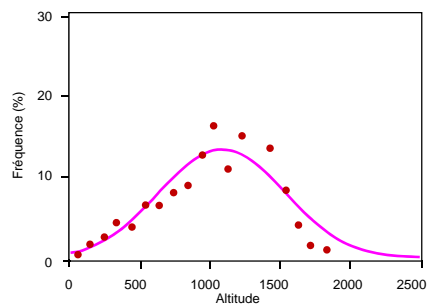
■ France uniquement :

- Renaud Rabastens, 2009 (prb du temporel)
- Rémy Gobin, 2011 (bioindication de la contrainte hydrique)
- Julie Magnier & Thierry Bélouard, 2011 (pH à l'échelle nationale)



Quel modèle mathématique ?

LOG → Simple logistic regression
GLM → Generalized Linear Model, LOG with quadratic terms included and interaction terms excluded,
GBM → Generalized Boosted Regression Trees,
SRE → Surface Range Envelopes,
GAM → Generalized Additive Models,
CTA → Classification Trees Analyses,
ANN → Artificial Neural Networks,
RF → Random Forests,
MARS → Multivariate Adaptive Regression Spline,
FDA → Flexible Discriminant Analysis.



Evaluation des modèles

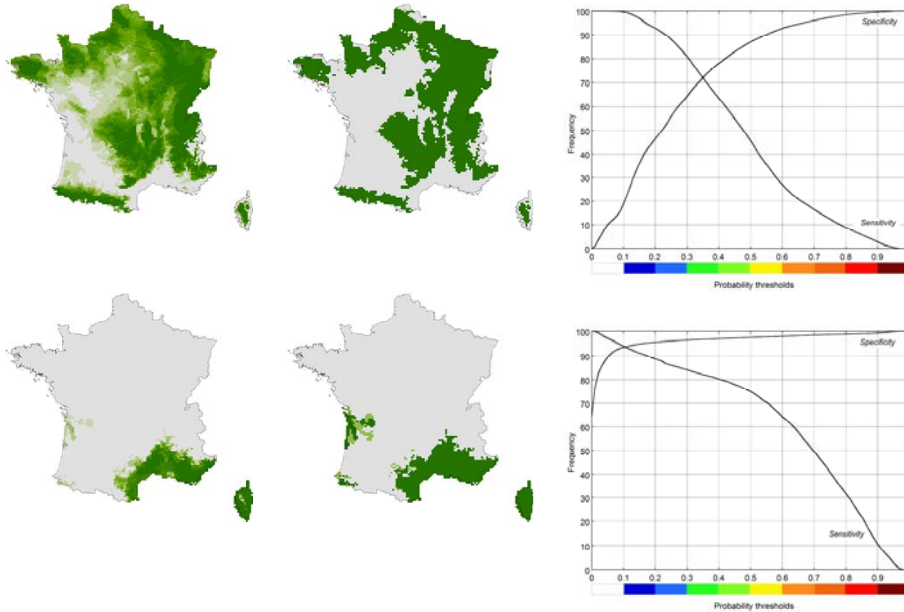
- Calibration du modèle avec 70% des données
- Validation du modèle avec 30% des données

		observations	
		présences	absences
modèle	présences	A	B
	absences	C	D

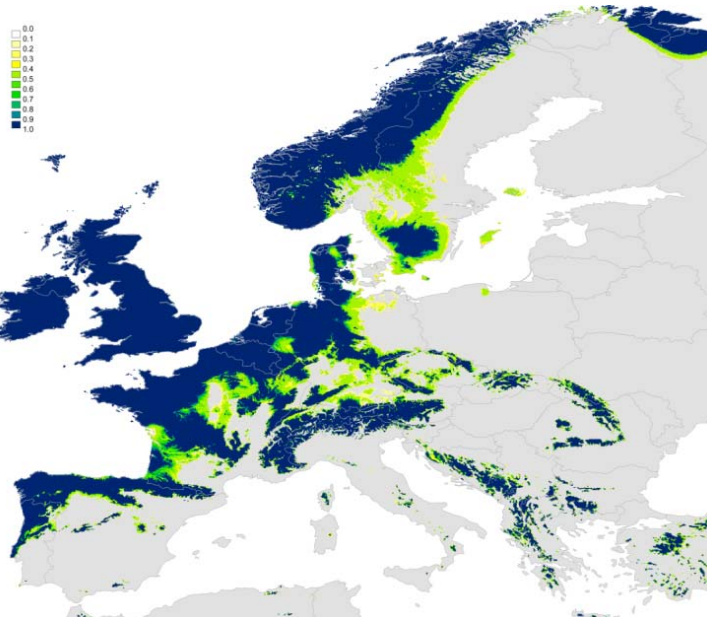
C et B doivent tendre vers 0 pour maximiser les valeurs de : $\text{Sensitivité} = A / (A + C)$

$\text{Spécificité} = D / (B + D)$

Transformation des probabilités en pres. / abs.?



Calibration / validation

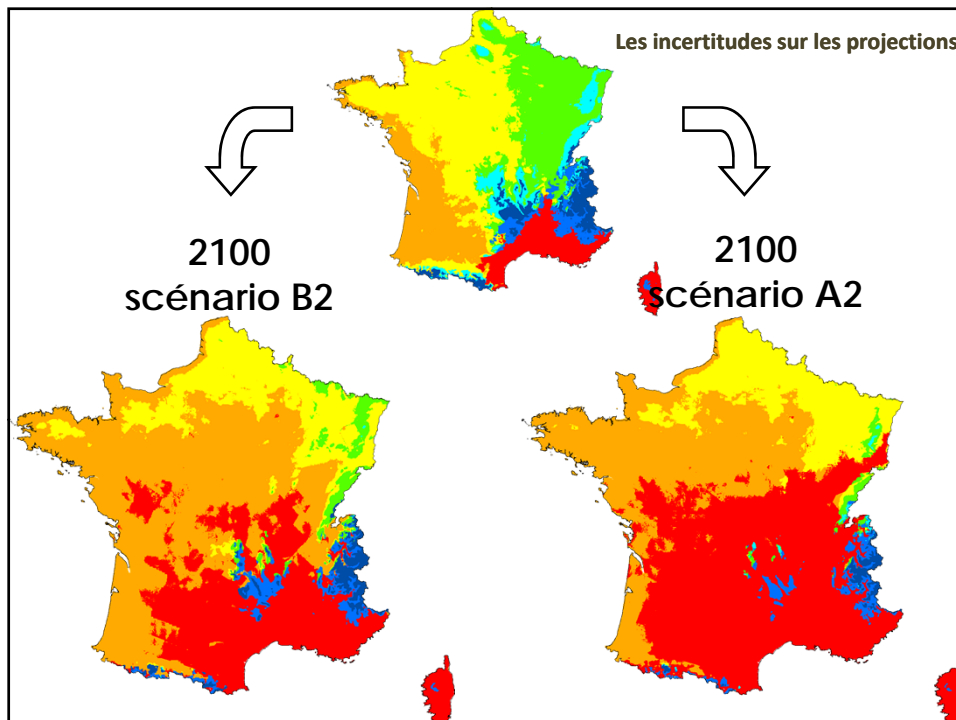


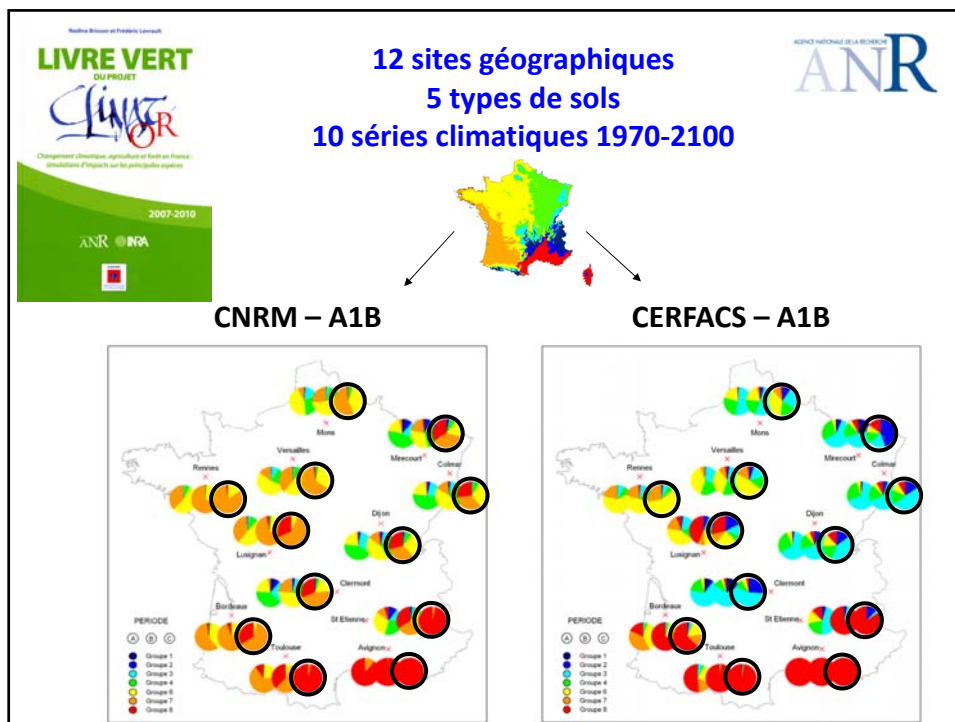
Sur la calibration des modèles

- répartition des espèces (et le domaine géographique)
- données climatiques & autres facteurs de l'environnement
- choix des paramètres climatiques (et autres, comme le pH ...)
- méthode de choix des paramètres (processus de sélection des variables)
- choix de l'équation qui relie prés. / abs. et paramètres (LOG, GAM, ...)
- découpage des probabilités en classes de prés. / abs.

Sur les projections

- modèle climatique / scénario d'émission / méthode de régionalisation





Les modèles (les cartes) sont-ils utilisables malgré les incertitudes

Oui

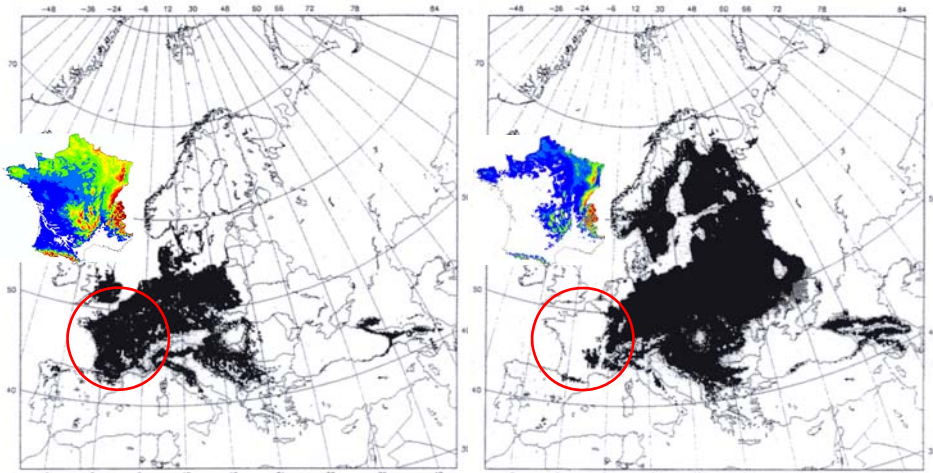
- si l'on compare des tendances d'évolution
- si l'on compare les paramètres déterminants (climat, sol, etc.)
- si l'on compare plusieurs modèles
- si l'on compare plusieurs scénarios

Les cartes sont-elles utilisables malgré les incertitudes

Exemple du hêtre

actuel

futur



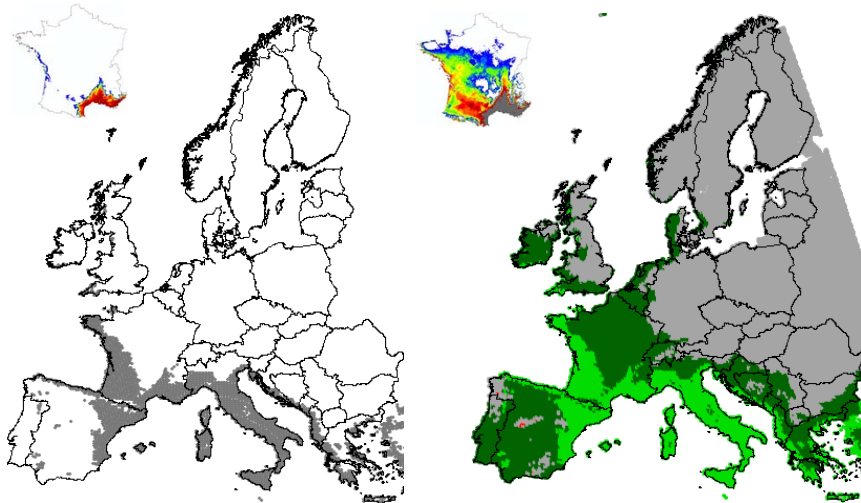
Sykes & Prentice, 1995 + CARBOFOR, 2004

Les cartes sont-elles utilisables malgré les incertitudes

Exemple du chêne vert

actuel

Futur (A1 Hadcm3 2080)



Thuiller, comm. pers. + CARBOFOR, 2004

Hêtre actuel et 2050 – ANR QDiv

