



# Utilisation en écologie ...

Présentation 1: Concepts, hypothèses, approches et limites

**Présentation 2:** Utilisation en écologie et verrous méthodologiques

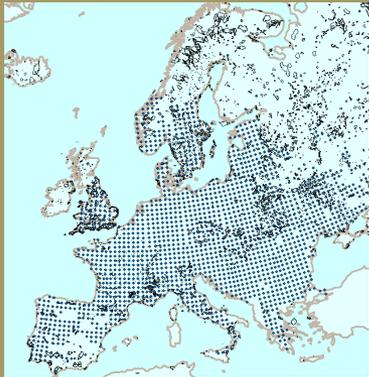
Présentation 3: Cas particulier des invasions biologiques

# SDMs en pratique

## Potential distribution of a given species

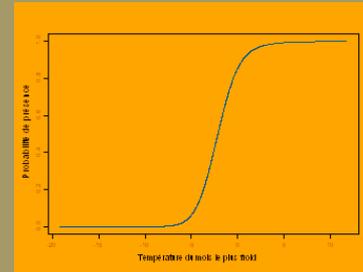
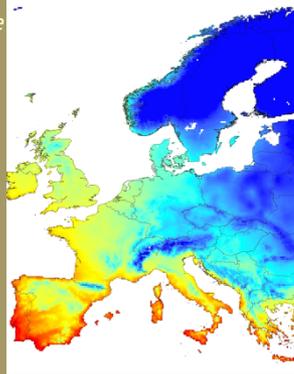
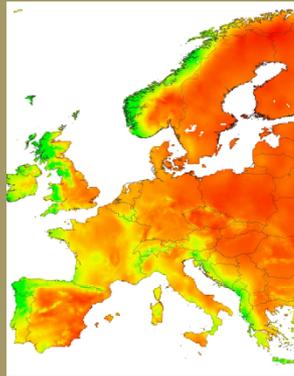
Minimum temperature  
of the coldest month

*Sitta europaea*



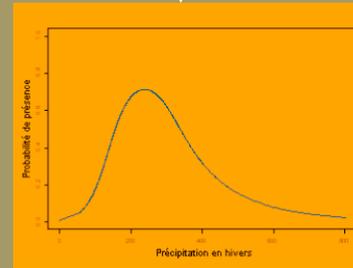
Observed distribution  
(EBCC)

Humidity



Models

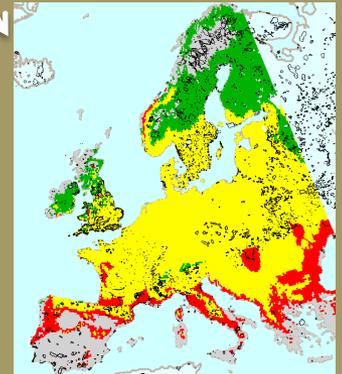
$$E_R \sim a + \sum \beta_i X_i$$



Geographic representation  
of the niche



Future habitats



Geographic space

Ecological space

Geographic space

# Principales catégories de modèles de prédiction de répartition

- **Modèles de distribution d'espèces (SDMs)**

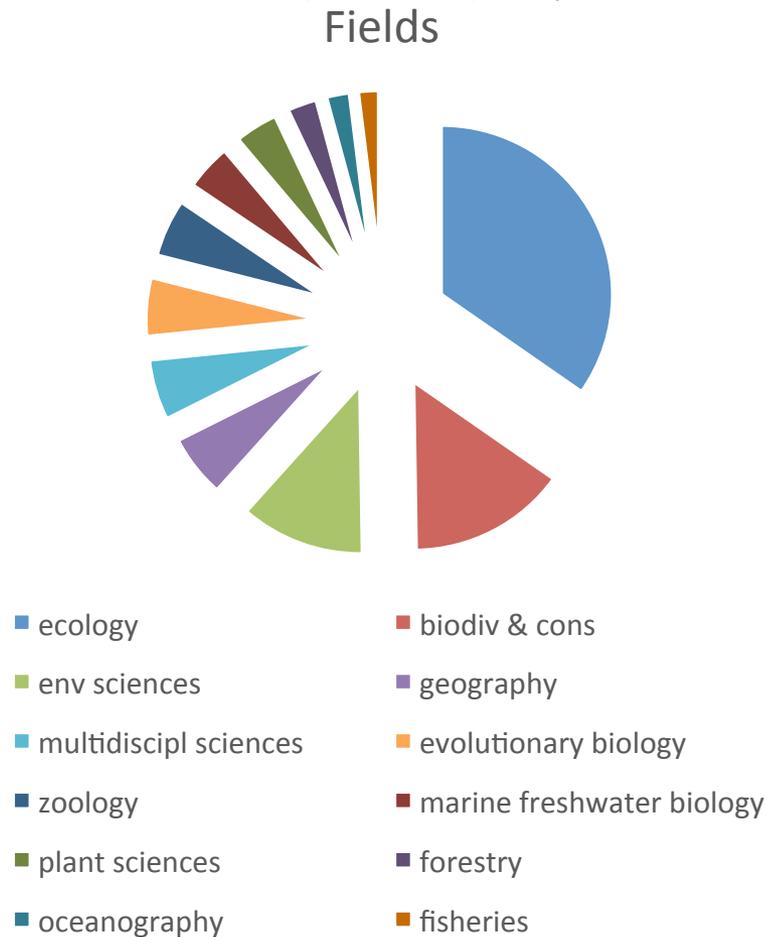
Modèles de niche environnementale, modèles d'habitat, modèles de prédiction de répartition

- Modèles mécanistiques, écophysiologicals
- Modèles de dynamique spatiale des populations
- Modèles hybrides (corrélatifs + dispersion + population + écophysio)

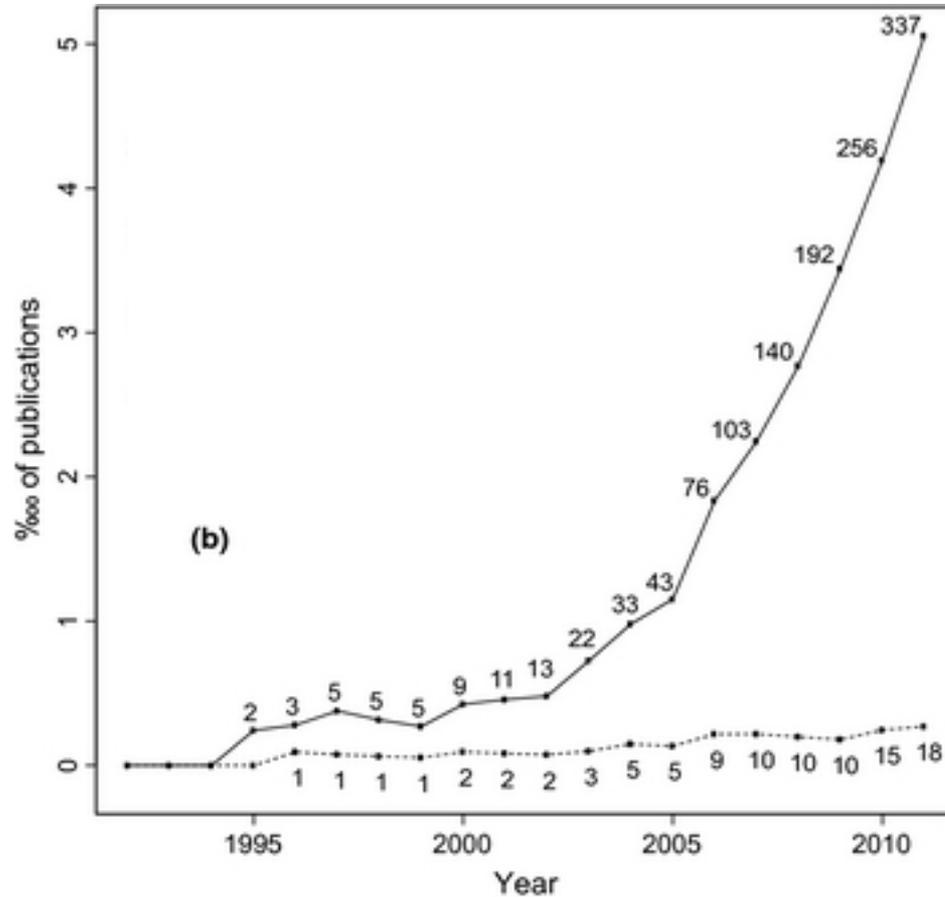
# SDMs en pratique

A quick search in ISI Web of Science using “species distribution models” OR “niche models” OR “habitat models” OR “bioclimatic models” highlights

- **21 973 papers, 74% of which published in the past 10 year,** in fields as varied as



# Quelles utilisations ?



Only SDM papers in the four important conservation domains (biological invasions, critical habitat, reserve selection, translocation) discussed in the paper

with (dashed line) the keyword 'decision'

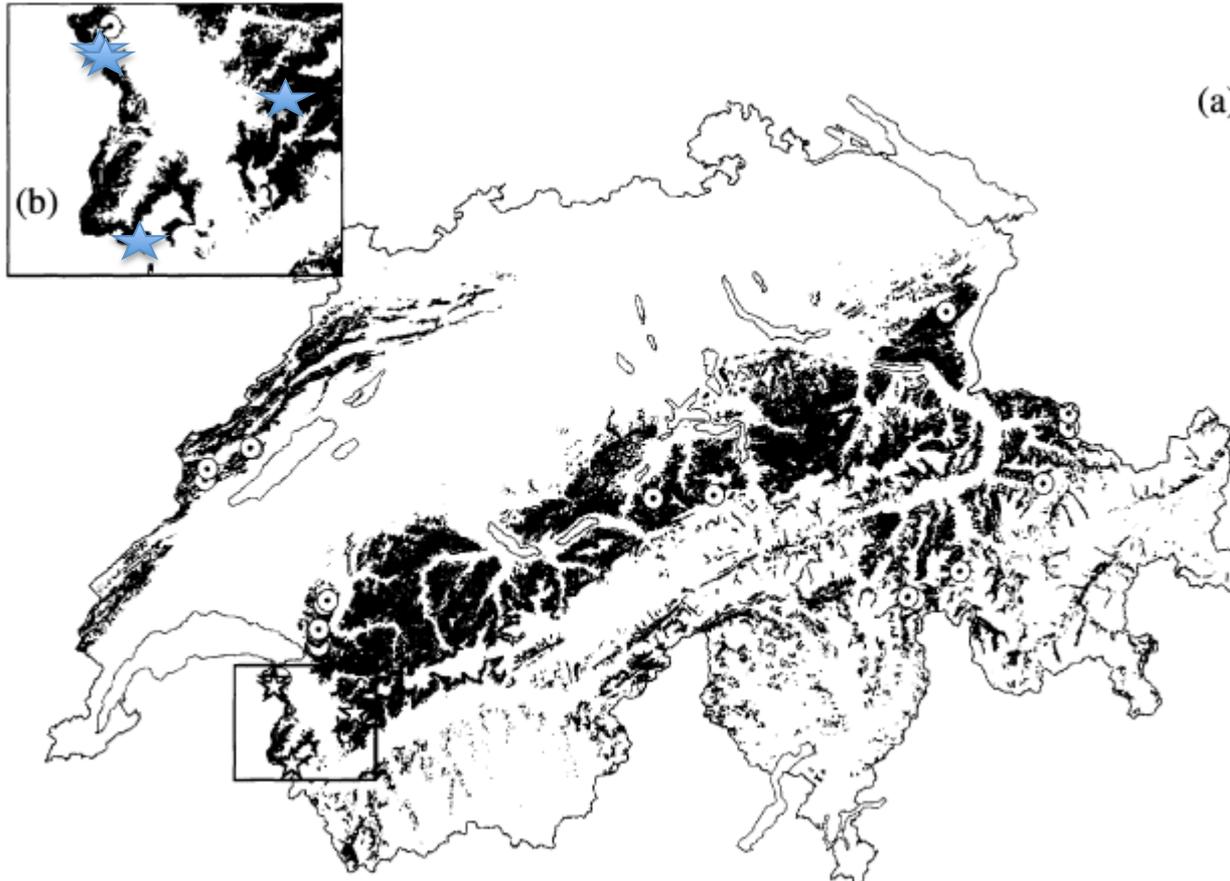
# Quelles utilisations ?

- Suggérer des sites d'échantillonnage pour les espèces rares
- Découvrir des espèces
- Aider les plans de conservations et la mise en place de réserves
- Estimer l'impact des changements climatiques et d'habitat

# Quelles utilisations ?

- Suggérer des sites d'échantillonnage pour les espèces
- Découvrir des espèces
- Aider les plans de conservations et la mise en place de réserves
- Estimer l'impact des changements climatiques et d'habitat

# Suggérer des sites d'échantillonnage pour les espèces rares



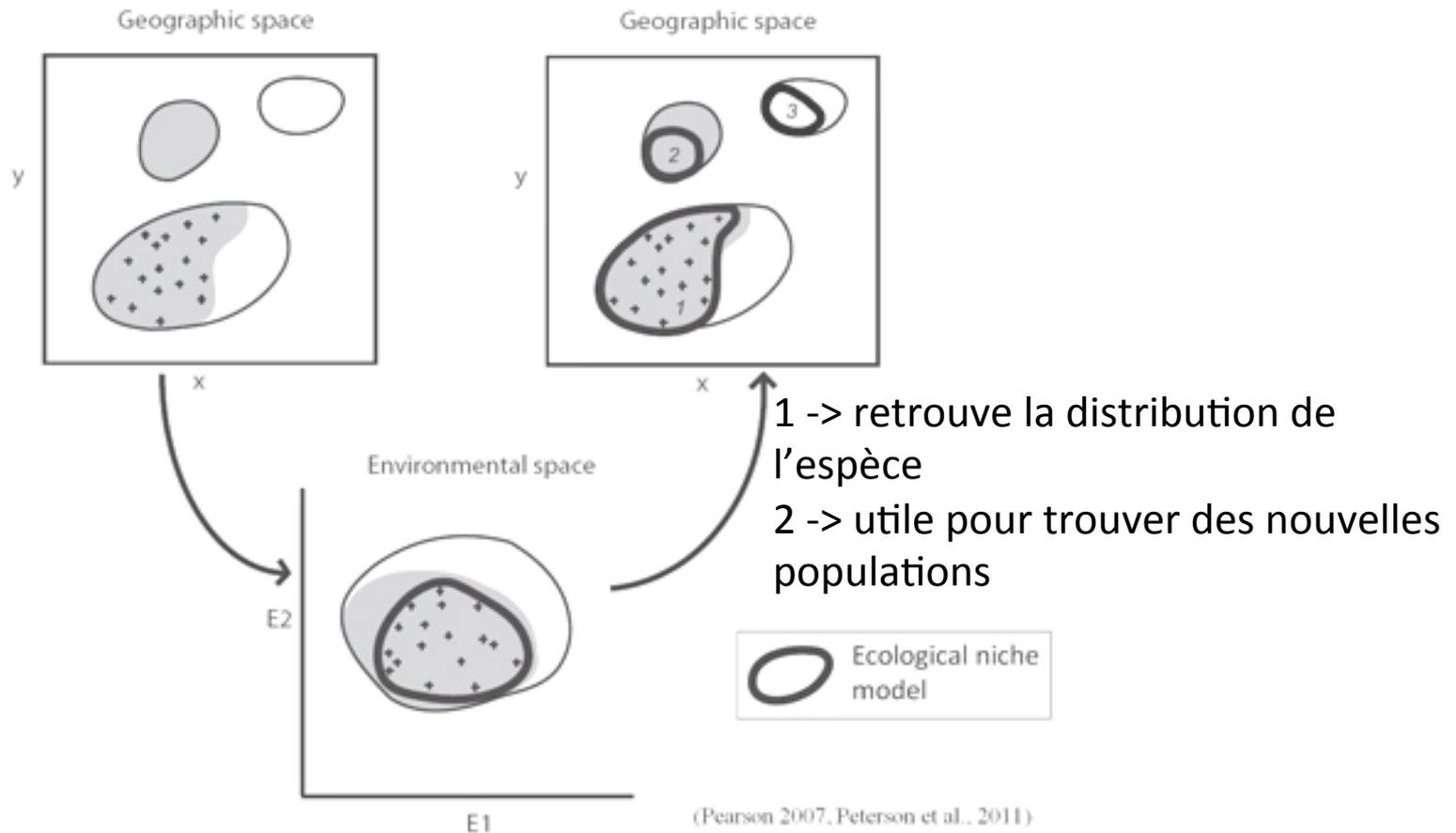
1000 spécimens dans les alpes



4 nouvelles populations trouvées en visitant les sites à environnement favorable prédit

Engler et al. (2004)

# Suggérer des sites d'échantillonnage pour les espèces rares



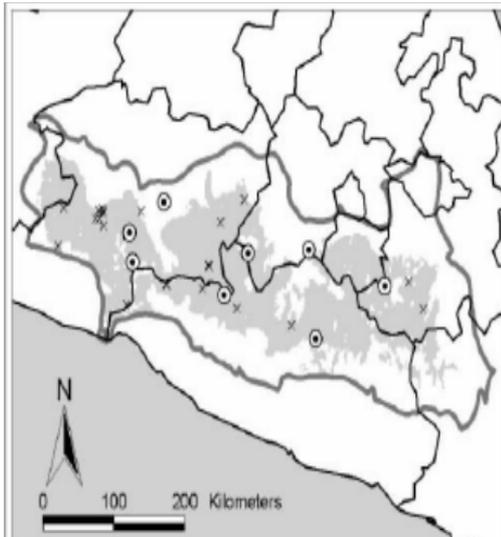
# Suggérer des sites d'échantillonnage



89 espèces modélisées et testées  
à travers 8 sites

**Table 1** Summary of test sites and predictive accuracy of community predictions at the eight test sites in the Balsas Basin, south-western Mexico

No.	Locality and source	Data source	Latitude	Longitude	Species predicted
1	Zicuiran, Michoacán	Villaseñor Gomez (1985)	18°57'	101°54'	74
2	Tacámbaro, Michoacán	Méndez (1997)	19°14'	101°28'	71
3	Infiernillo, Michoacán	Feria (2001)	18°40'	101°52'	43
4	Las Tinajas, Guerrero	Feria (2001)	18°21'	100°43'	40
5	Bejucos, Mexico	Feria (2001)	18°45'	100°25'	38
6	Valente Trujillo, Guerrero	Feria (2001)	17°56'	99°34'	32
7	Huautla, Morelos	Peterson & Feria (unpubl. data)	18°47'	98°99'	44
8	Tlancualpicán, Puebla	Feria (1997)	18°26'	98°42'	77



South western Mexico

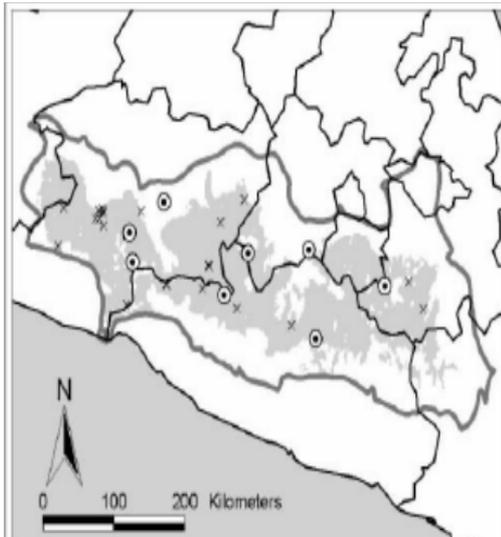
# Suggérer des sites d'échantillonnage



89 espèces modélisées et testées  
à travers 8 sites

**Table 1** Summary of test sites and predictive accuracy of community predictions at the eight test sites across the Balsas Basin, south-western Mexico

No.	Locality and source	Data source	Latitude	Longitude	Species predicted	Species observed
1	Zicuiran, Michoacán	Villaseñor Gomez (1985)	18°57'	101°54'	74	50
2	Tacámbaro, Michoacán	Méndez (1997)	19°14'	101°28'	71	70
3	Infiernillo, Michoacán	Feria (2001)	18°40'	101°52'	43	36
4	Las Tinajas, Guerrero	Feria (2001)	18°21'	100°43'	40	37
5	Bejucos, Mexico	Feria (2001)	18°45'	100°25'	38	38
6	Valente Trujillo, Guerrero	Feria (2001)	17°56'	99°34'	32	37
7	Huautla, Morelos	Peterson & Feria (unpubl. data)	18°47'	98°99'	44	44
8	Tlancualpicán, Puebla	Feria (1997)	18°26'	98°42'	77	43



South western Mexico

# Quelles utilisations ?

- Suggérer des sites d'échantillonnage pour les espèces rares
- Découvrir des espèces
- Aider les plans de conservations et la mise en place de réserves
- Estimer l'impact des changements climatiques et d'habitat

# Découvrir de nouvelles espèces

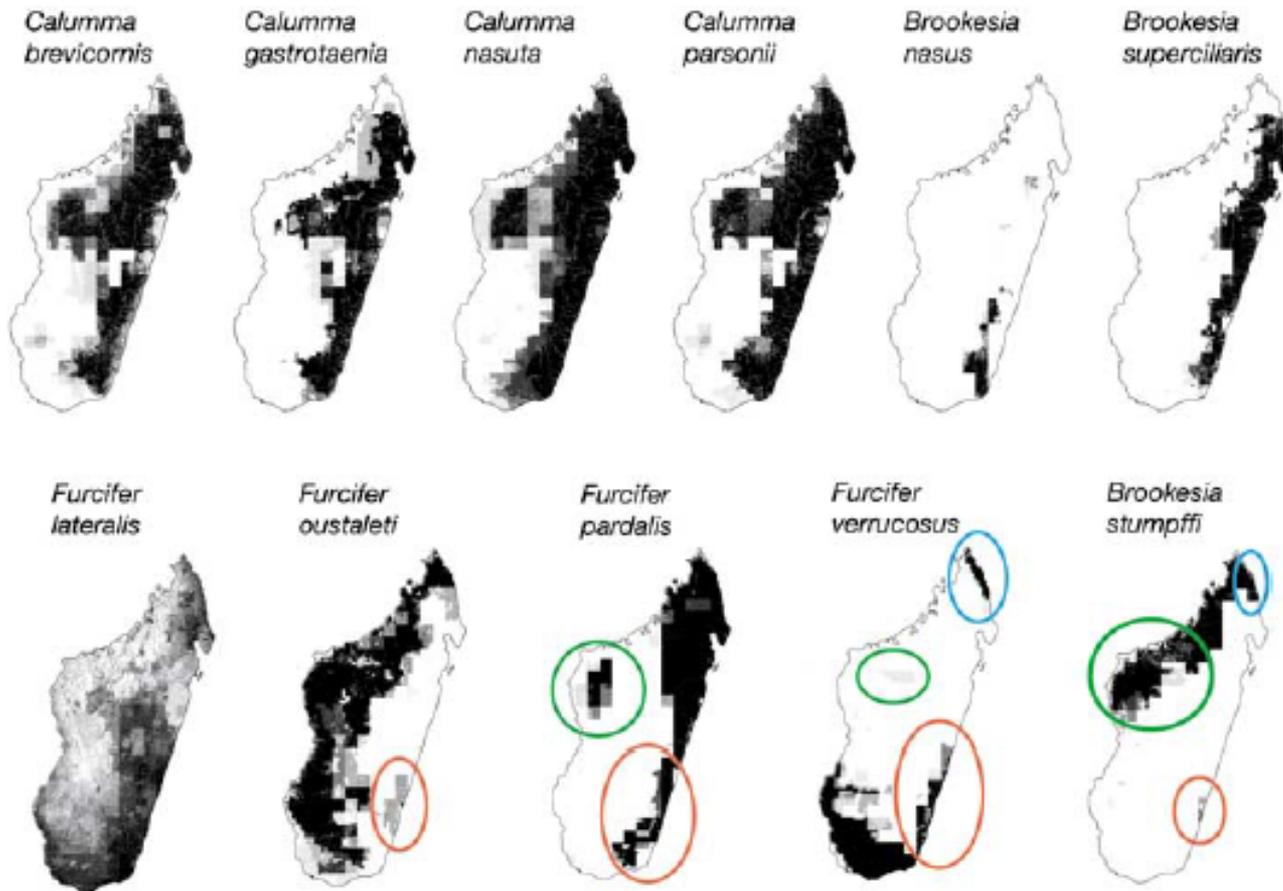
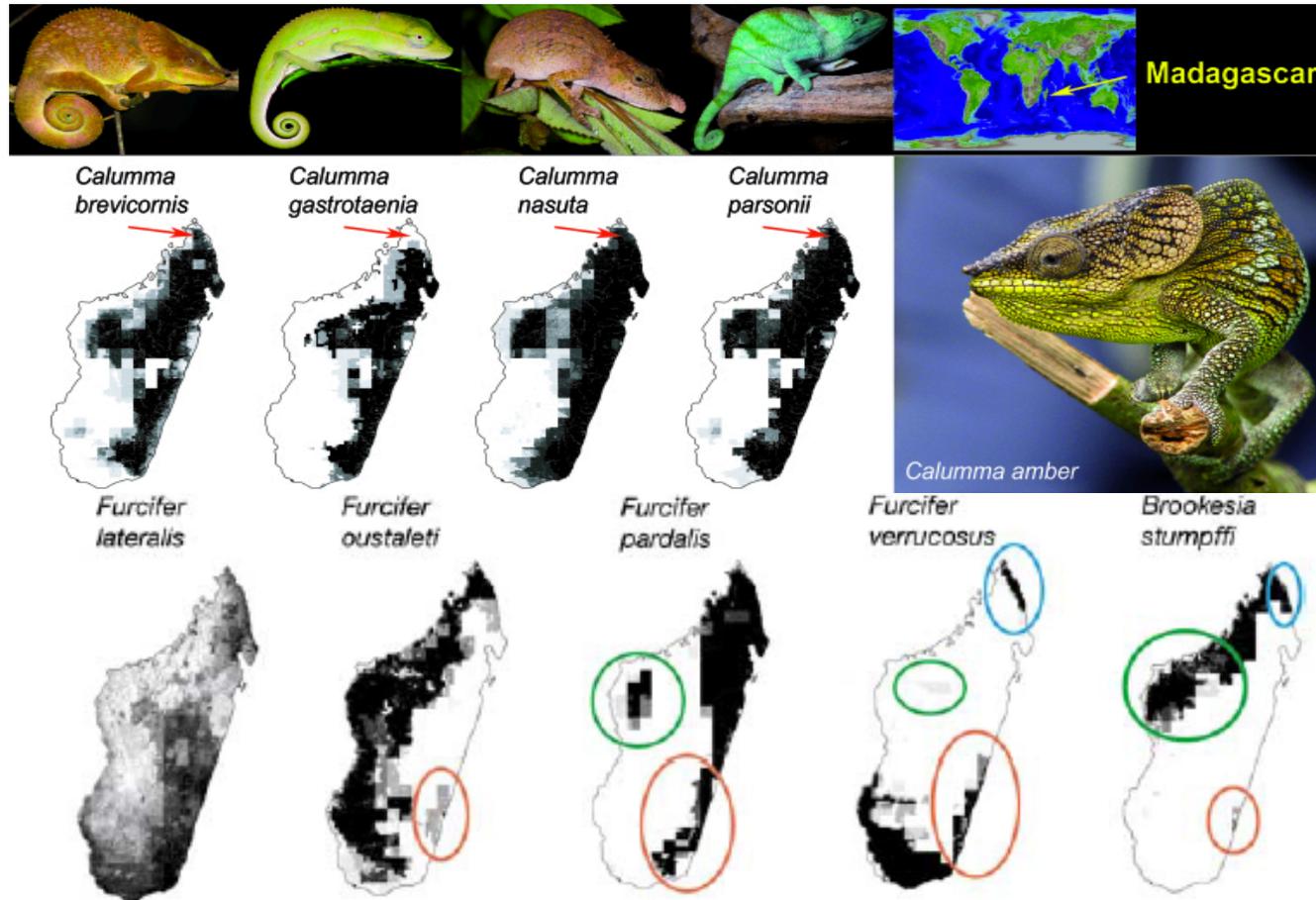


Figure 1 Ecological niche distribution models for 11 chameleon species in Madagascar. The sum of ten best-subset models is shown, with darker shading representing greater model agreement. Areas of over-prediction are circled. The intersecting over-prediction regions in the west (green) and northeast (blue) have recently yielded seven new locally endemic chameleon species; the other area in the southeast (red) remains poorly studied. The models are based on combined specimen locality data for all species except *F. verrucosus* and *F. oustaleti* (post-1988 locality data only; see Methods).

Raxworthy et al. (2003) Nature

# Découvrir de nouvelles espèces



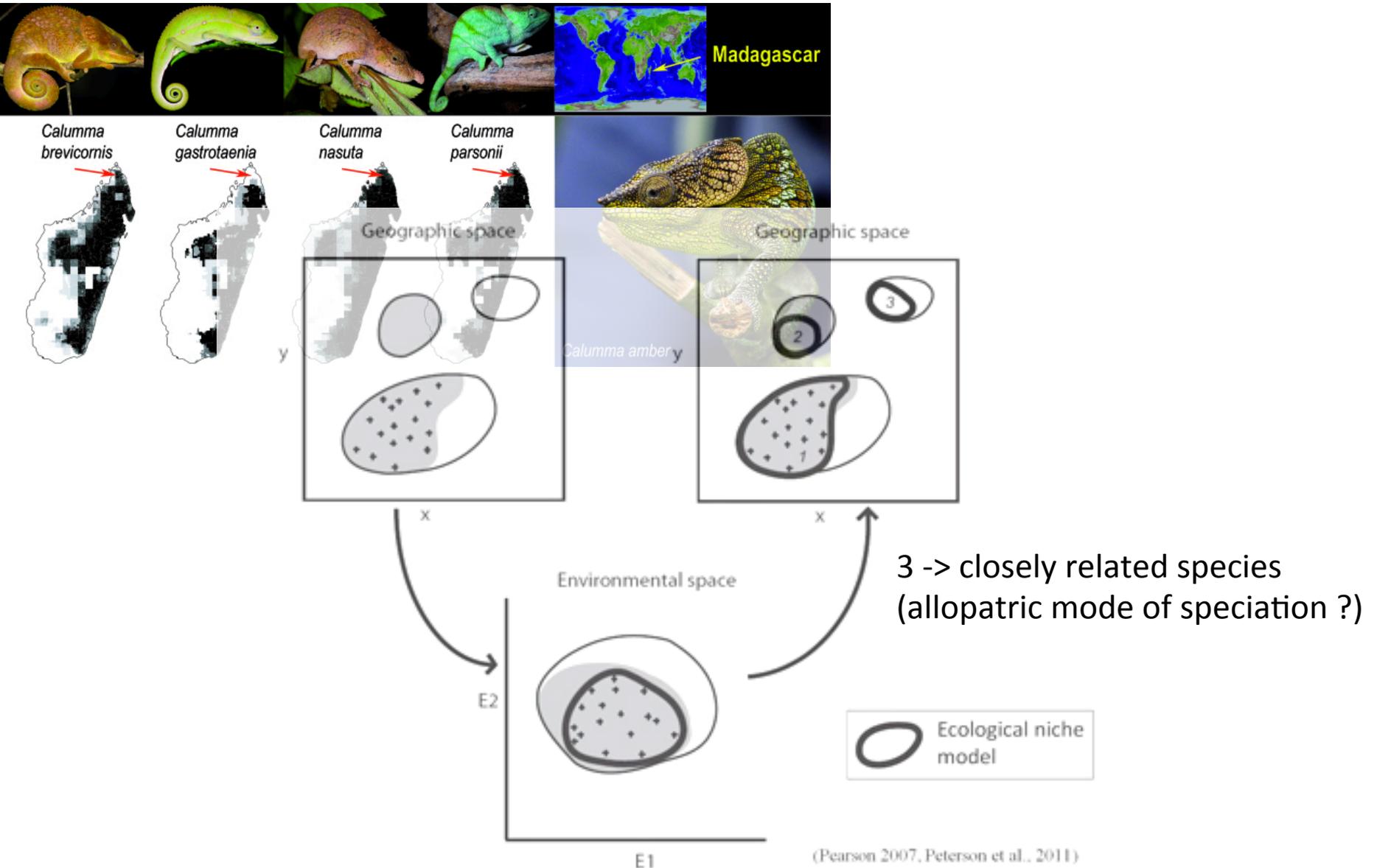
7 nouvelles espèces identifiées dans les zones à très forte proba. de présence prédite



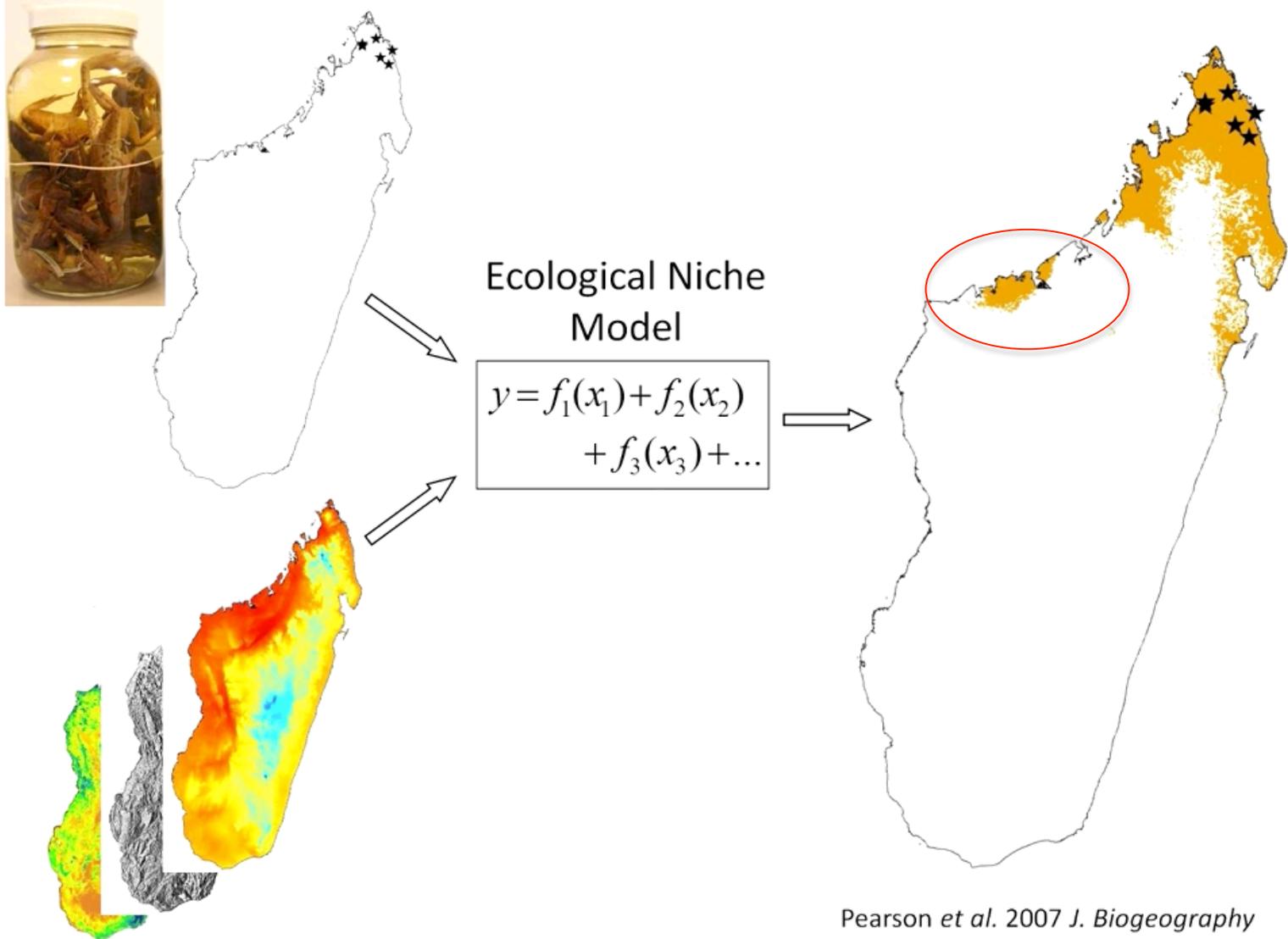
Figure 1 Ecological niche distribution models for 11 chameleon species in Madagascar. The sum of ten best-subset models is shown, with darker shading representing greater model agreement. Areas of over-prediction are circled. The intersecting over-prediction regions in the west (green) and northeast (blue) have recently yielded seven new locally endemic chameleon species; the other area in the southeast (red) remains poorly studied. The models are based on combined specimen locality data for all species except *F. verrucosus* and *F. oustaleti* (post-1988 locality data only; see Methods).

Raxworthy et al. (2003)

# Découvrir de nouvelles espèces



# Découvrir de nouvelles espèces



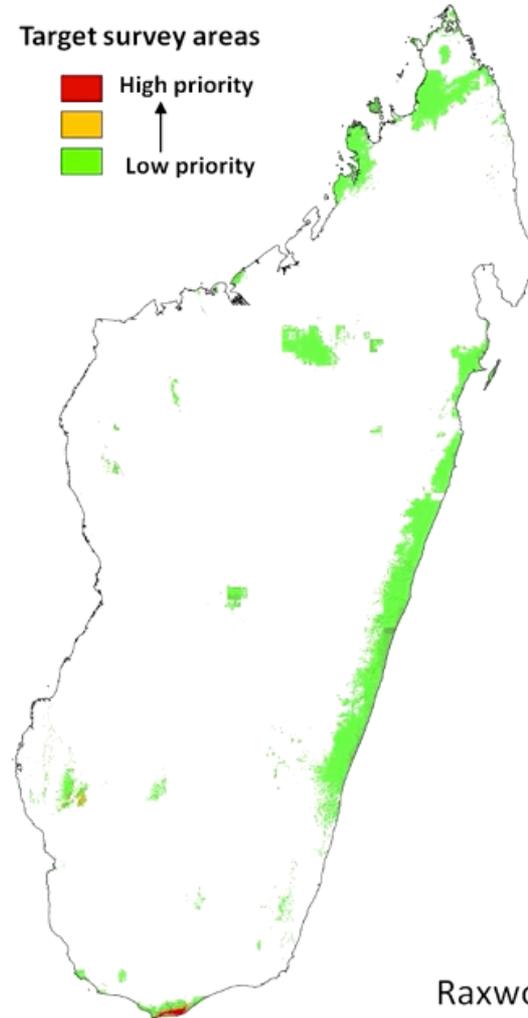
# Découvrir de nouvelles espèces

## Guiding field surveys for biodiversity discovery



Target survey areas

- High priority
- Low priority



Raxworthy, Pearson et al. in prep.

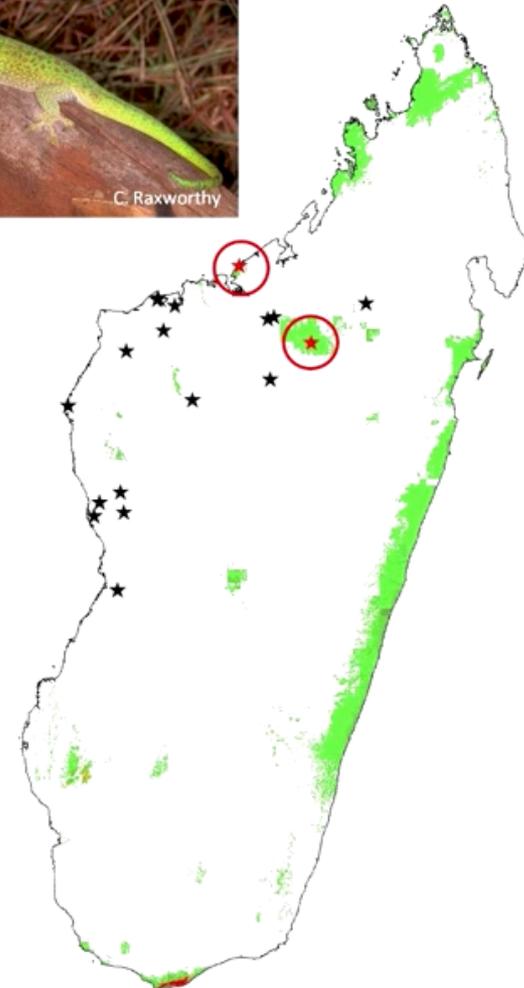
# Découvrir de nouvelles espèces

2007-2009 field seasons: multiple new reptile species and range extensions

*Calumma* sp. (undescribed)



*P. kochi*



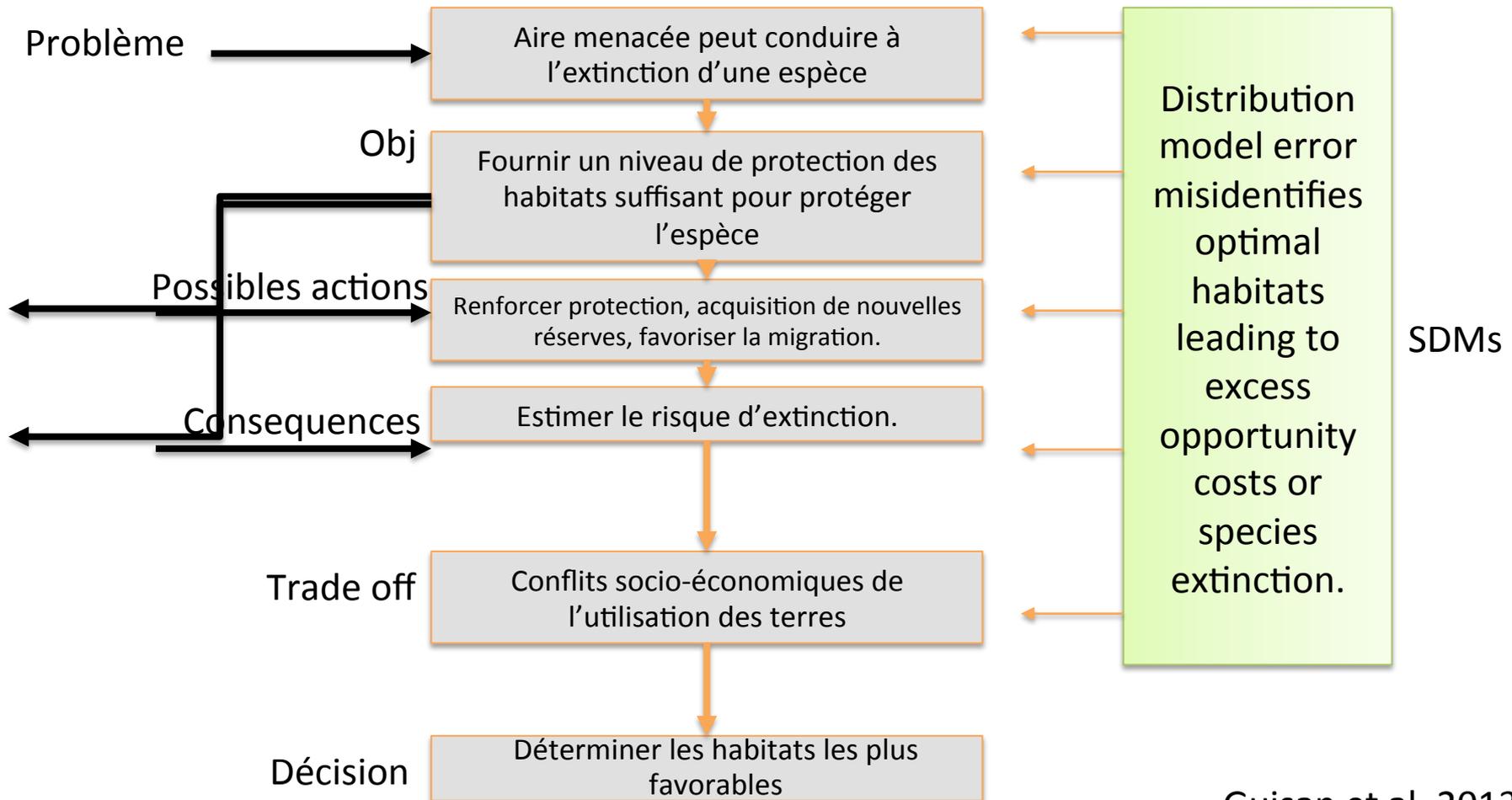
Raxworthy & Pearson, in prep.

# Quelles utilisations ?

- Quantifier la niche environnementale d'une espèce
- Tester des hypothèses biogéographiques, écologiques ou évolutives
- Suggérer des sites d'échantillonnage pour les espèces rares
- Découvrir des espèces
- Aider les plans de conservations et la mise en place de réserves
- Estimer l'impact des changements climatiques et d'habitat

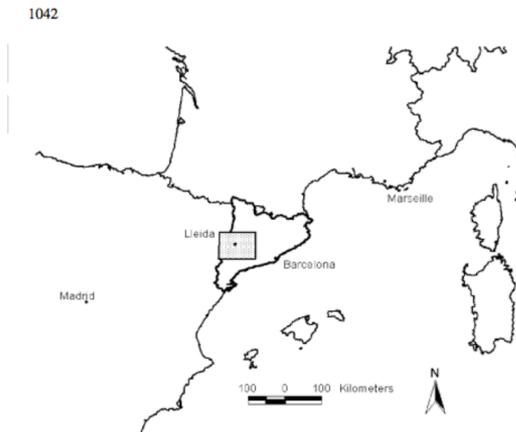
# Processus de prise de décision :

## Mise en place de réserve



# Identification d'habitats critiques pour la survie des espèces

Exemple : Trois espèces d'oiseaux protégées par la directive européenne oiseaux dans l'Est de l'Espagne



Modélisation 13 oiseaux



*Melanocorypha calandra*

Photo Durzan Cirano



*Calandrella brachydactyla*

Photo JM Garg



*Coracias garrulus*

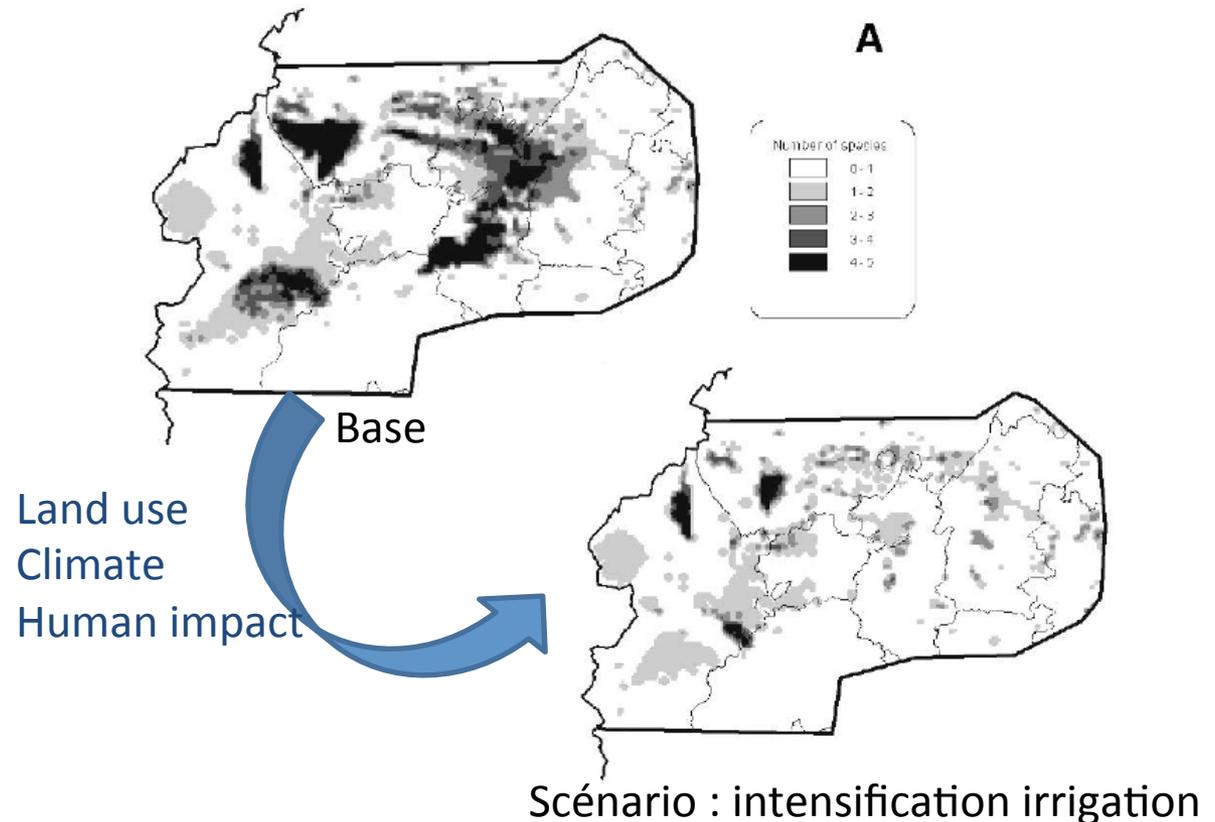
Photo C Svane

# Identification d'habitats critiques pour la survie d'une espèce

1 – Etude scientifique par Brotons et al. 2004 :

Utilisation SDMs pour prédire sensibilités oiseaux à l'intensification agricole (notamment l'irrigation)

Modélisation 13 oiseaux



# Identification d'habitats critiques pour la survie d'une espèce

1 – Etude scientifique par Brotons et al. 2004 :

Utilisation SDMs pour prédire sensibilités oiseaux à l'intensification agricole (notamment l'irrigation)

Catalonia (Spain)

**High-quality area** Présent : 75 800 ha Futur : 21 275 ha (28%)



Calandra lark (*Melanocorypha calandra*)

33 100 ha

Futur 11 600 ha (35%)



Short-toed lark (*Calandrella brachydactyla*)

34 300 ha

Futur No change in area



Roller (*Coracias garrulus*)

22 900 ha

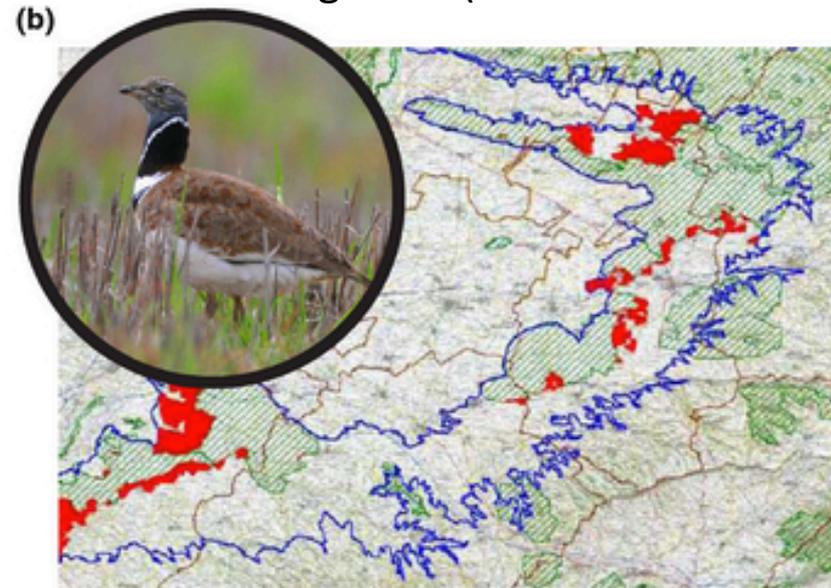
Futur 8250 ha (36%)

# Identification d'habitats critiques pour la survie d'une espèce

1 – Etude scientifique par Brotons et al. 2004 :

Utilisation SDMs pour prédire sensibilités oiseaux à l'intensification agricole (notamment l'irrigation)

2 – Identification d'habitats critiques pour les 3 Espèces (*high suitable areas with qualities above the mean of the habitat quality of highly Suitable areas*)



Habitat critique pour les 3 espèces d'oiseaux

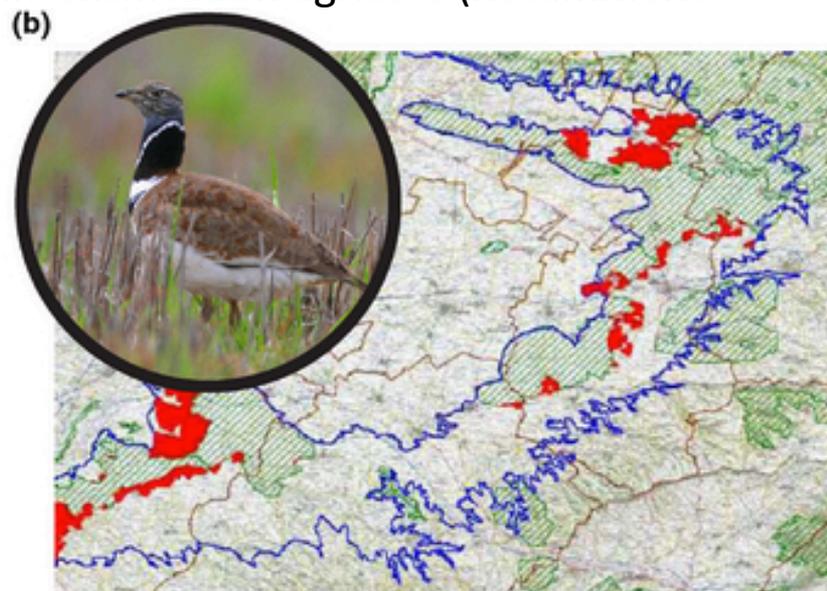
# Identification d'habitats critiques pour la survie d'une espèce

1 – Etude scientifique par Brotons et al. 2004 : Utilisation SDMs pour prédire sensibilités oiseaux à l'intensification agricole (notamment l'irrigation)

2 – Identification d'habitats critiques pour les 3 Espèces (*high suitable areas with qualities above the mean of the habitat quality of highly Suitable areas*)

3 – Government used the different categories of habitat for these species to articulate particular measures ensuring the persistence of critical sectors transformations planned

For instance, the plan conditions any habitat transformation within critical habitat of major potential to previous pilot studies demonstrating that such habitat alteration and species persistence are compatible.”



Habitat critique pour les 3 espèces d'oiseaux

# Quelles utilisations ?

- Quantifier la niche environnementale d'une espèce
- Tester des hypothèses biogéographiques, écologiques ou évolutives
- Suggérer des sites d'échantillonnage pour les espèces rares
- Découvrir des espèces
- Aider les plans de conservations et la mise en place de réserves
- Réintroduction et translocation d'espèces
- Estimer l'impact des changements climatiques et d'habitat

# Translocation et colonisation assistée

PARENTHÈSE :  
définitions  
(IUCN 2013)

Déplacement **DANS** l'aire  
de répartition

**Renforcement**

= augmentation de populations existantes

**Réintroduction**

= réintroduction dans son aire suite à extinction

Déplacement **HORS DE** l'aire  
de répartition

**Colonisation assistée**

= introduction hors de l'aire pour éviter extinction

**Remplacement écologique**

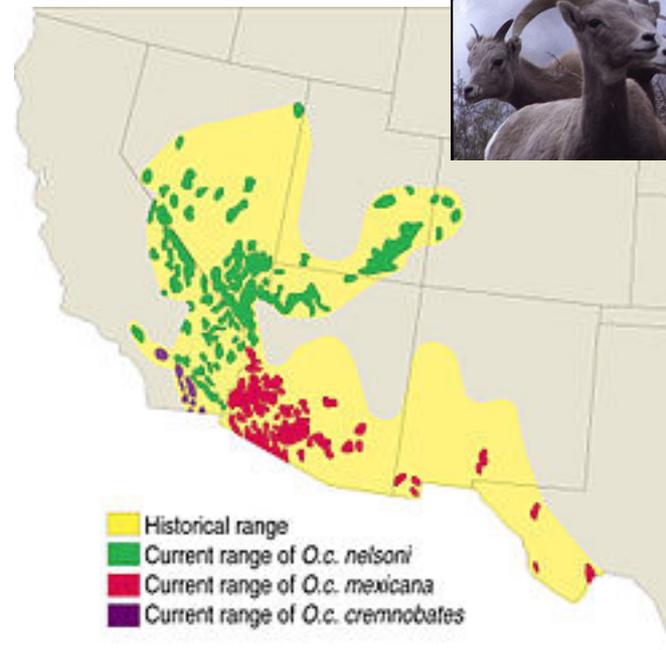
= introduction hors de l'aire pour remplacer une perte de fonction écologique

# Translocation et colonisation assistée

USA : « mouton à grandes cornes » du Sierra Nevada

Sous-espèce de *Ovis canadensis* la plus rare (125 individus en 1998)

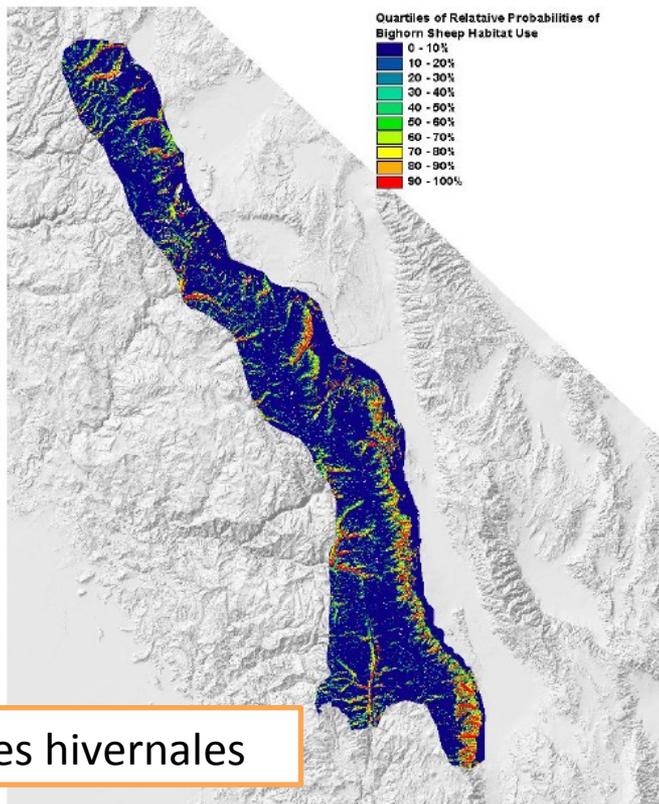
→ Statut en danger d'extinction aux USA, plan de recouvrement de la sous-espèce



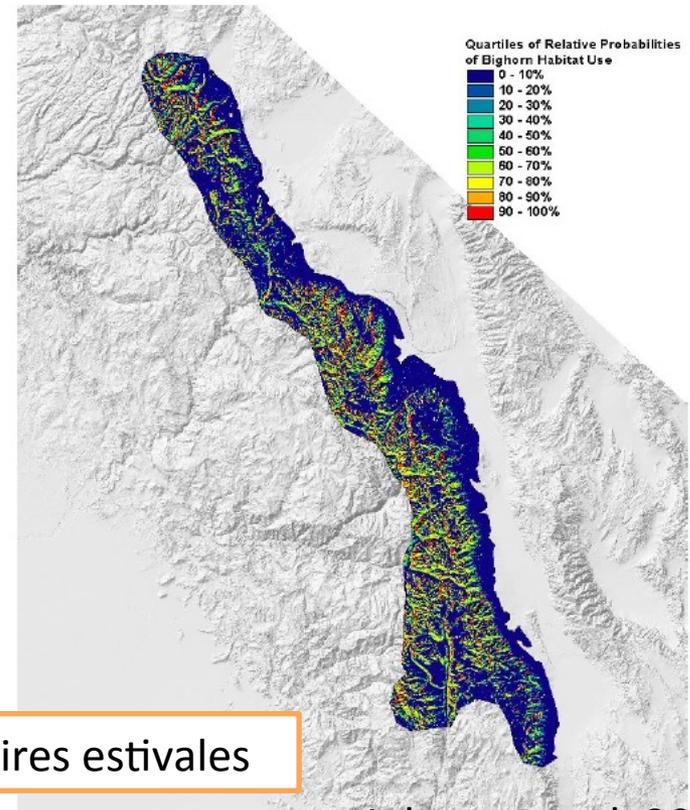
# Translocation et colonisation assistée

Recherche de zones pour la translocation [**réintroduction**] :

Modélisation des aires de répartition hivernales et estivales par GLM pour prédire les sites de translocation de nouveaux groupes + ressources + densité de prédateurs + déplacement des troupeaux domestiques



Aires hivernales



Aires estivales

# Quelles utilisations ?

- Quantifier la niche environnementale d'une espèce
- Tester des hypothèses biogéographiques, écologiques ou évolutives
- Suggérer des sites d'échantillonnage pour les espèces rares
- Découvrir des espèces
- Aider les plans de conservations et la mise en place de réserves
- Estimer l'impact des changements climatiques et d'habitat

# Outputs

- Espèce
  - Taille de l'aire de répartition
  - Aire perdue => aire à risque
  - Aire potentiellement favorable => migration / conflits / bénéfiques
- Site
  - Turnover (espèces)
  - Hot spot de changements
  - Cold spot de changements
  - Aires d'intérêt
  - Sélection d'aire

## Vulnérabilité aux changements globaux : recherche d'habitats critiques

SCAP : Création d'aires protégées pour espèces et habitats d'ici à 2020

Critères de protection (Coste et al. 2010) :

- Mauvaise inclusion dans le réseau actuel d'aires protégées  
(*Sensibilité aux changements climatiques*)

11 araignées retenues : « première française »

### Recherche d'habitats critiques actuels et futurs

*Dolomedes plantarius*



*Enoplognatha mordax*



*Arctosa fulvolineata*



*Argyroneta aquatica*



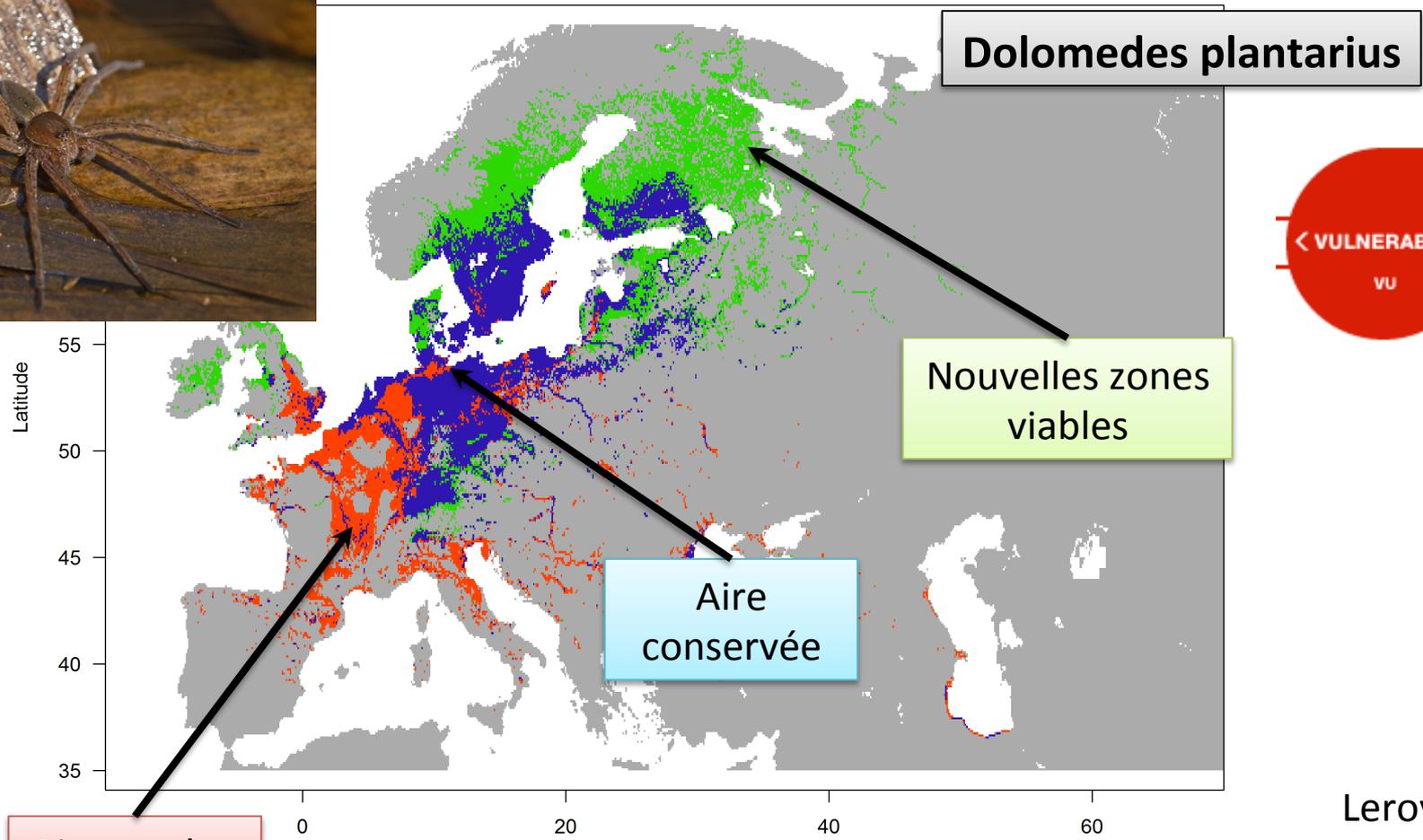
*Neon valentulus*



Courtoisie B. Leroy

Crédits photos : L. Picard, M. Paschetta, Sarefo

# Vulnérabilité aux changements globaux : recherche d'habitats critiques



Courtoisie B. Leroy

Leroy *et al.*  
2014, D&D

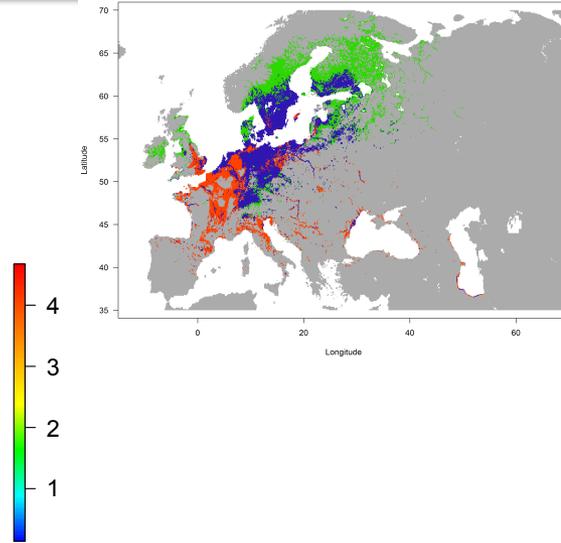
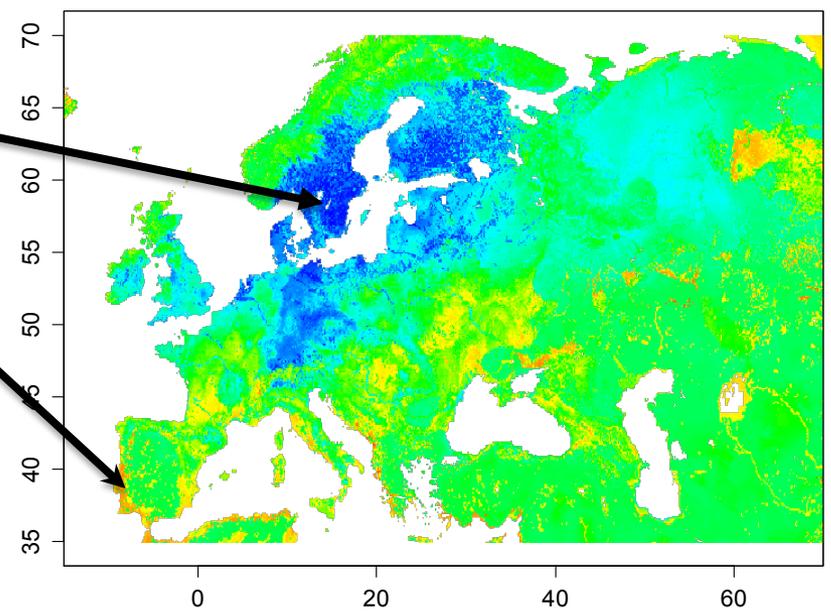
# Vulnérabilité aux changements globaux : recherche d'habitats critiques



**Dolomedes plantarius**

Prédictions  
similaires entre  
modèles

Désaccord entre  
modèles

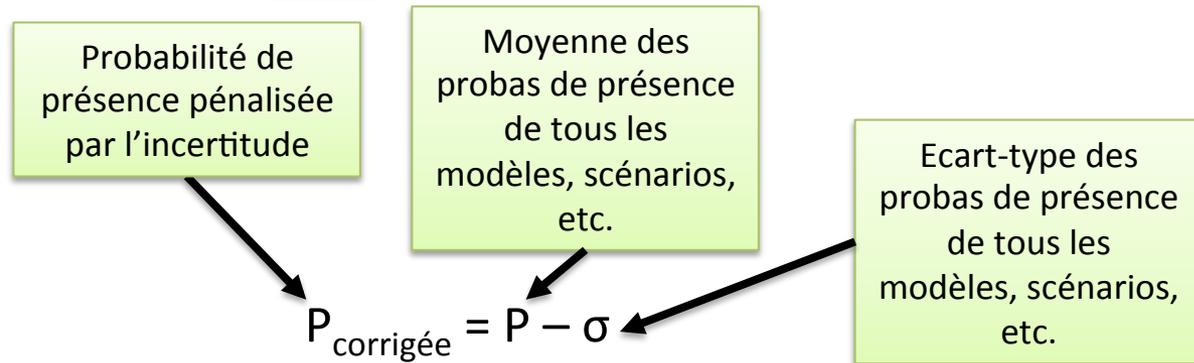


Cartes de « désaccord » entre modèles

# Prédiction spatiale prise en compte de l'incertitude

Exemple : recherche de zones **maximisant les chances de survie de l'espèce**

Identification des zones où tous les modèles prédisent le même résultat



$P = 0$  : faible probabilité de présence OU pas de consensus entre les modèles

$P > 0$  : probabilité de présence supérieure à zéro, consensus entre les modèles



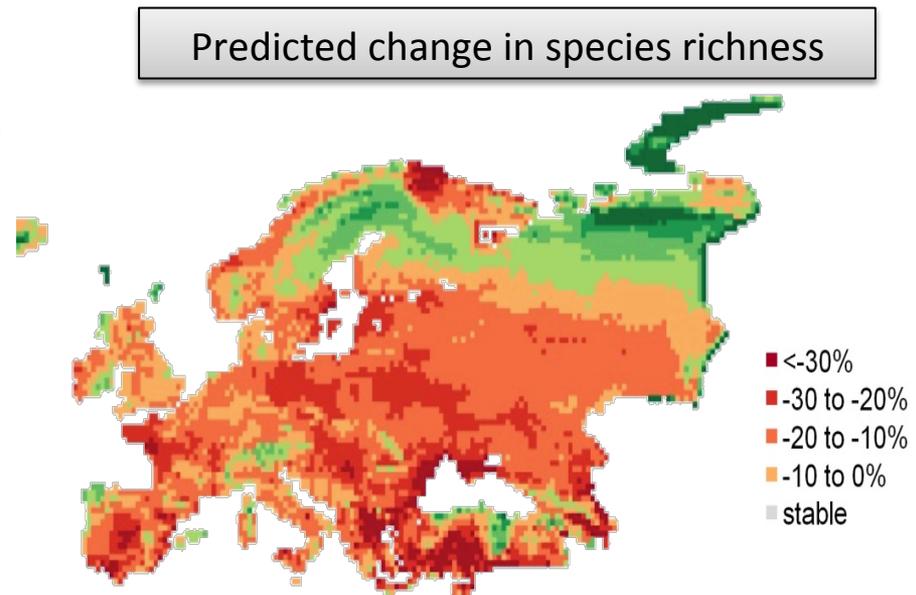
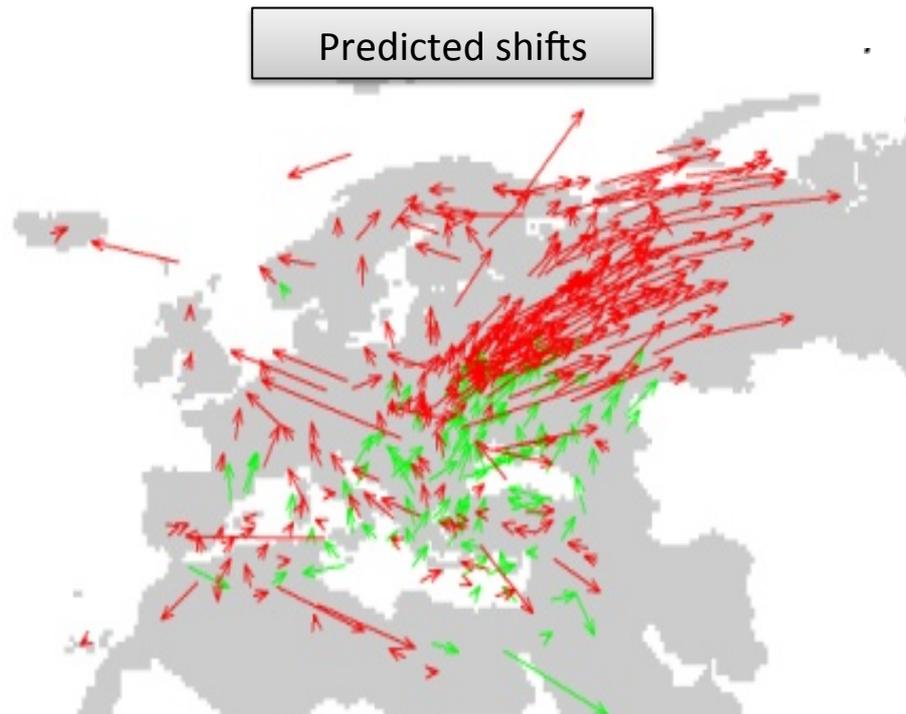
# Outputs

- **Espèce**
  - Taille de l'aire de répartition
  - Aire perdue => aire à risque
  - Aire potentiellement favorable => migration / conflits / bénéfiques
- **Site**
  - Turnover (espèces)
  - Hot spot de changements
  - Cold spot de changements
  - Aires d'intérêt
  - Sélection d'aire

## Cas des oiseaux européens: species turnover

SDMs pour 409 oiseaux européens

- Aire de répartition prédite pour diminuer pour près de 71% des espèces
- Déplacement de près de 335 km (médiane)



# Cas des oiseaux

## Diversité fonctionnelle ?



(Sekercioglu 2006)

Oiseaux => rôle central dans le fonctionnement des écosystèmes

*Service*

*type*

Regulating

*Service*

Seed dispersal

Pollination

Grazing

Pest control

*Providers*

Frugivores

Nectarivores

Grazers

Invertebrate &

vertebrate

feeders

Scavengers

Supporting

Carcasse & waste disposal

Nutrient

deposition

Ecosystem

engineering

Aquatic birds

Burrow & cavity

diggers

## Cas des oiseaux

### Diversité fonctionnelle ?



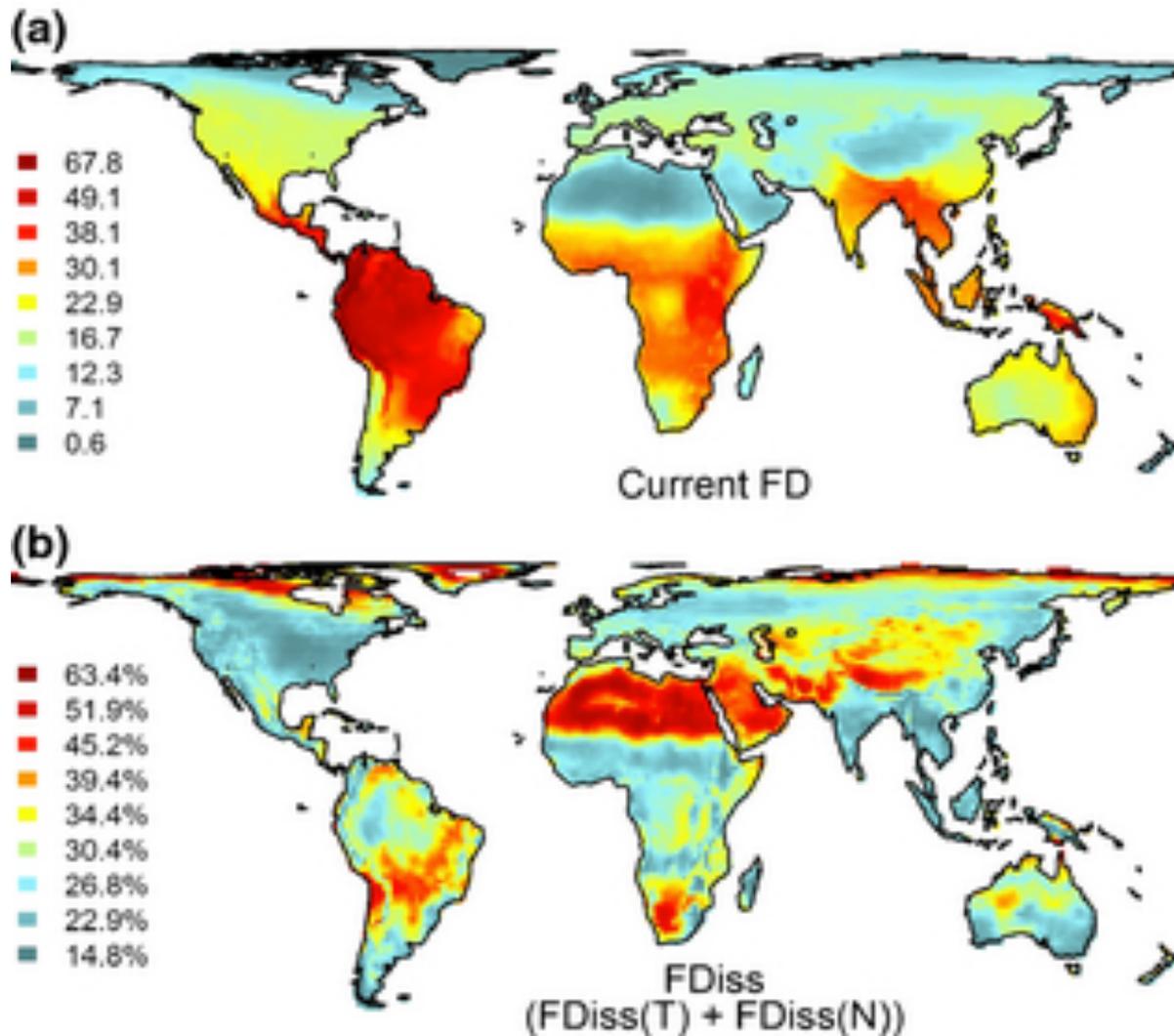
Oiseaux => rôle central dans le fonctionnement des écosystèmes

- SDMs pour 8715 oiseaux
- 16 traits (foraging height/type, activity time, body mass)

(Sekercioglu 2006)

## Cas des oiseaux : species turnover

Diversité fonctionnelle ?



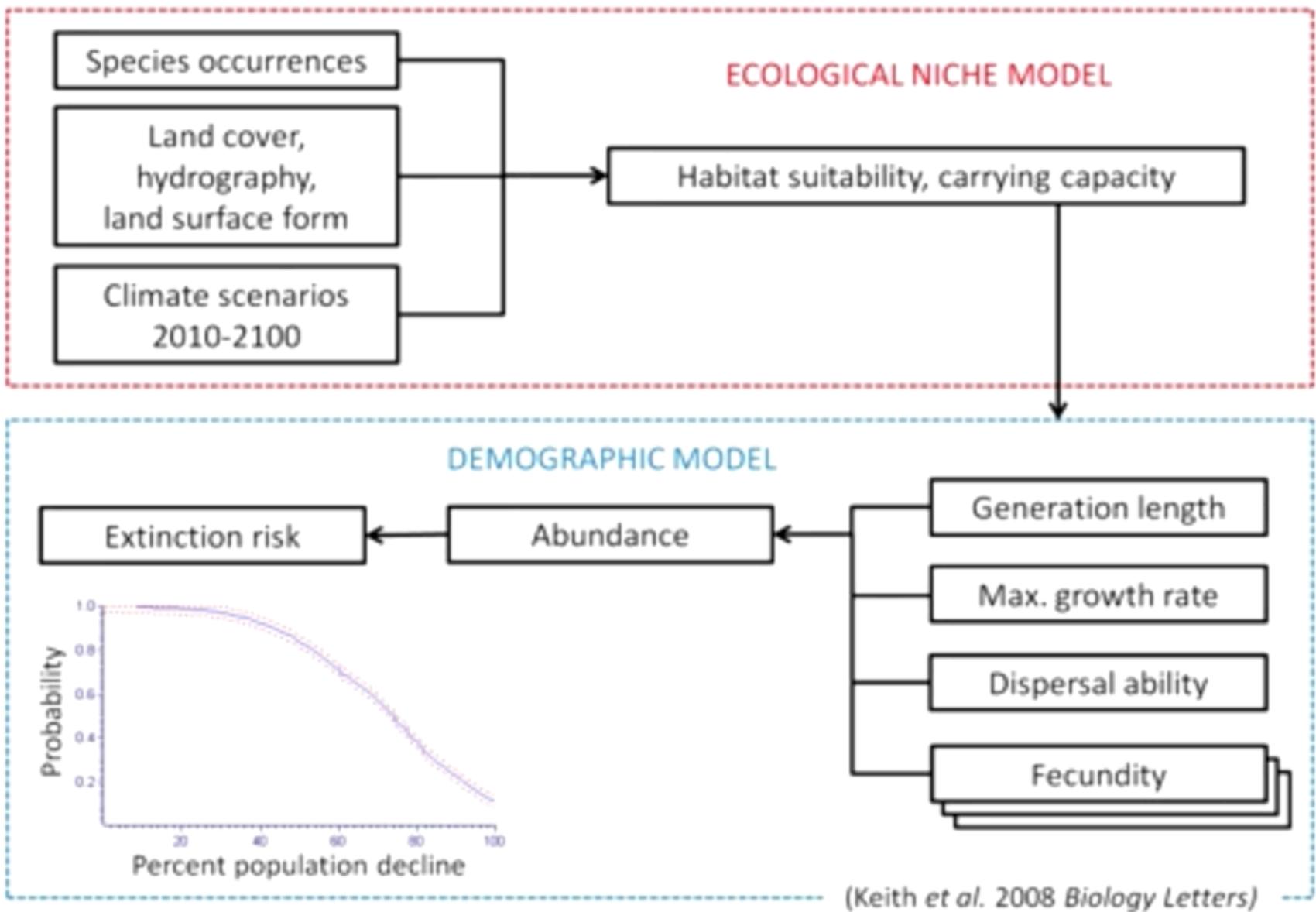
# Principales catégories de modèles de prédiction de répartition

- **Modèles de distribution d'espèces (SDMs)**

Modèles de niche environnementale, modèles d'habitat, modèles de prédiction de répartition

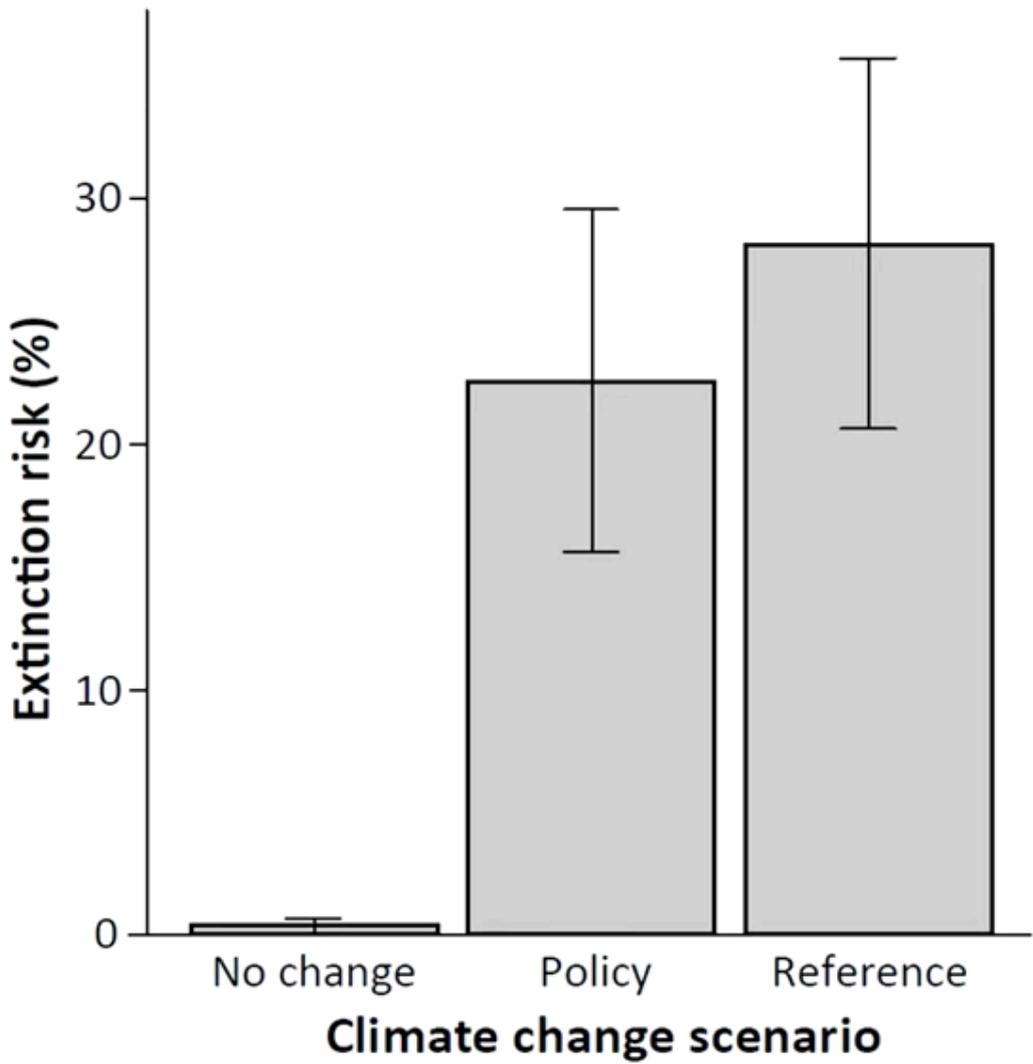
- Modèles mécanistiques, écophysiologicals
- Modèles de dynamique spatiale des populations
- Modèles hybrides (corrélatifs + dispersion + population + écophysio)

Reducing uncertainty by coupling with demographic models



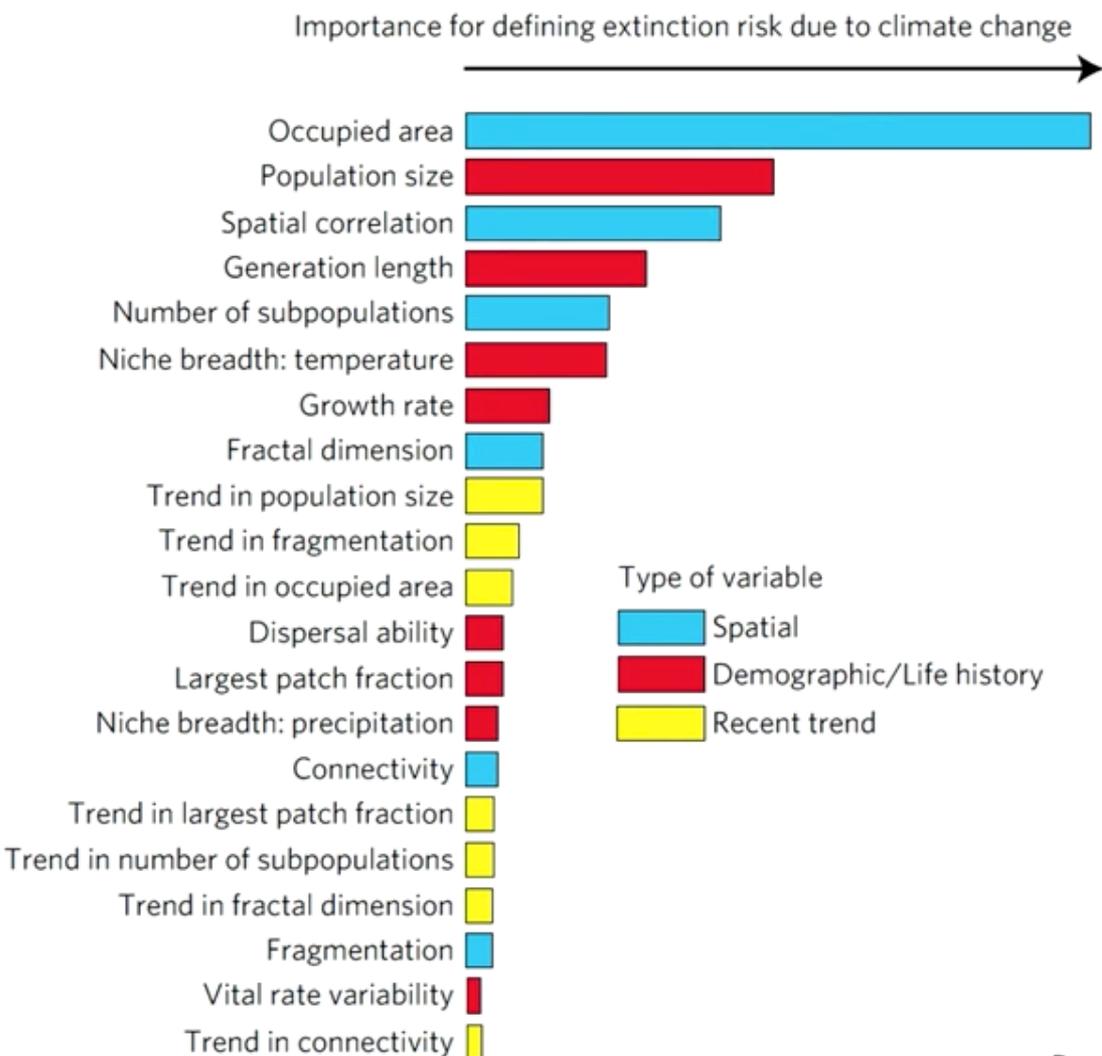
(Keith et al. 2008 *Biology Letters*)

Mean extinction risk for 36 species of herps in N. America



# Effets du changement climatique – Hybride model

Improving conservation assessment tools by identifying traits that make species vulnerable to climate change



# Modèles de distribution d'espèces

## Conclusion : Utilisation des SDMs

When projecting in space and time

Species range change does not measure the realized change in distribution

### **Loss: potential loss of currently suitable habitat**

It does not necessarily imply local extinction on the short term

Botanical gardens / arboretum usually maintain species outside their niche

### **Gain: potential new suitable habitat**

It does not imply successful migration!

The species has to disperse (dispersal filter), to recruit (biotic filter) and maintain viable populations (biotic filter, source-sink dynamics)

# What's next ? Les mathématiciens peuvent ils aider ?

## Ecological uncertainties

- capacité de dispersion
- capacité d'adaptation
- plasticité phénotypique
- interactions biotiques
- climat non analogue
- synergies avec les autres menaces

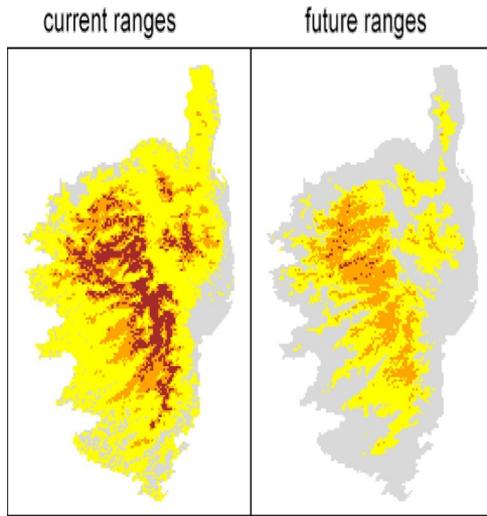
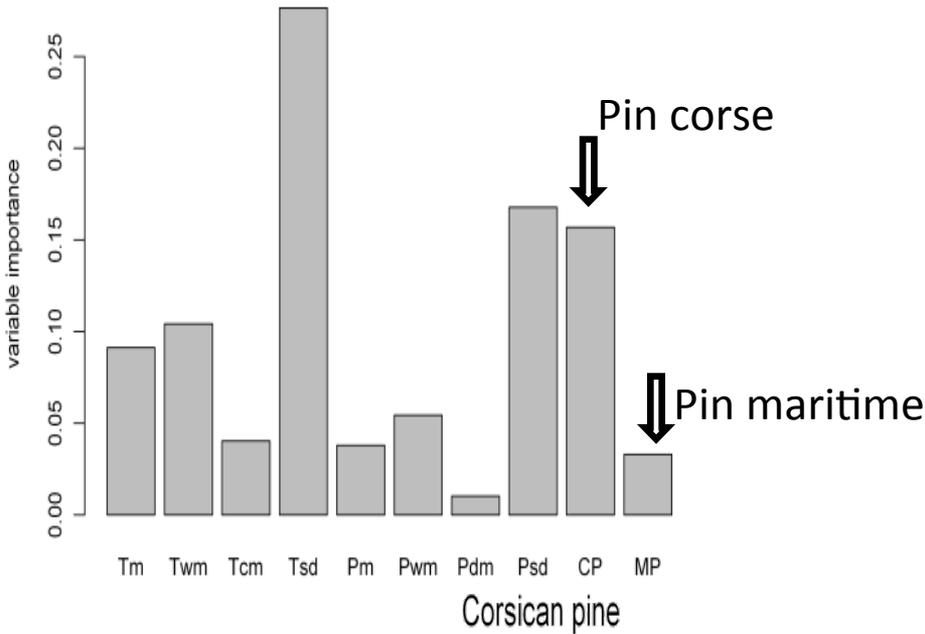
Biodiversity and Climate  
Change: Integrating  
Evolutionary and Ecological  
Responses of Species and  
Communities

Sébastien Lavergne,<sup>1</sup> Nicolas Mouquet,<sup>2</sup>  
Wilfried Thuiller,<sup>1</sup> and Ophélie Ronce<sup>2</sup>

*Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 2010. 41:321–50

# What's next ? Interactions biotiques

## Choix 1 : co-occurrences d'espèces (cas de la sittelle de Corse)



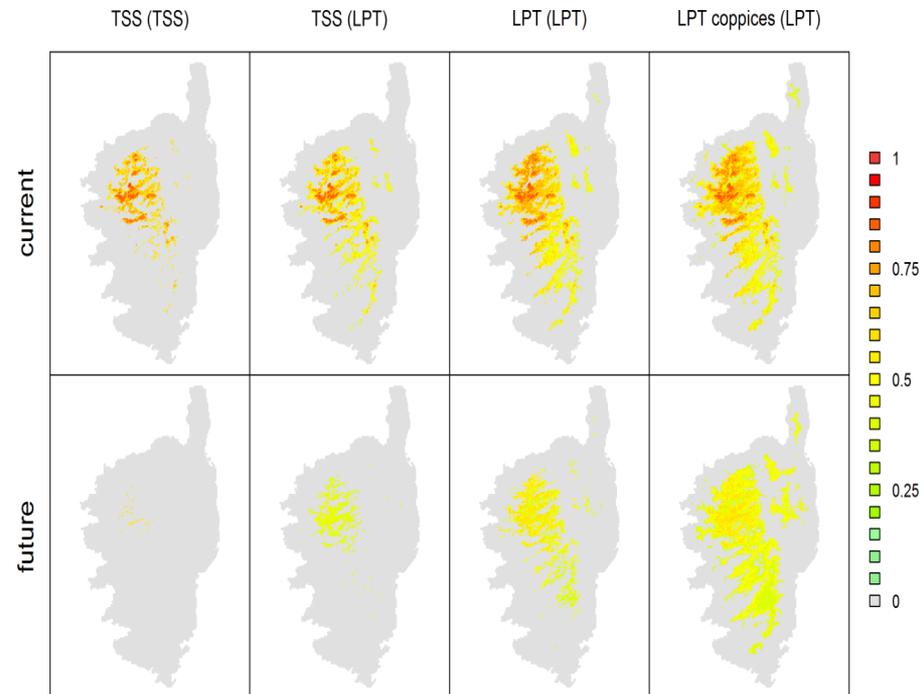
OPEN ACCESS Freely available online

PLoS one

## Back from a Predicted Climatic Extinction of an Island Endemic: A Future for the Corsican Nuthatch

Morgane Barbet-Massin\*, Frédéric Jiguet

Muséum National d'Histoire Naturelle, UMR 7204 MNHN-CNRS-UPMC, Centre de Recherches sur la Biologie des Populations d'Oiseaux, Paris, France



# What's next ? Interactions biotiques

Les mathématiciens peuvent ils aider ?

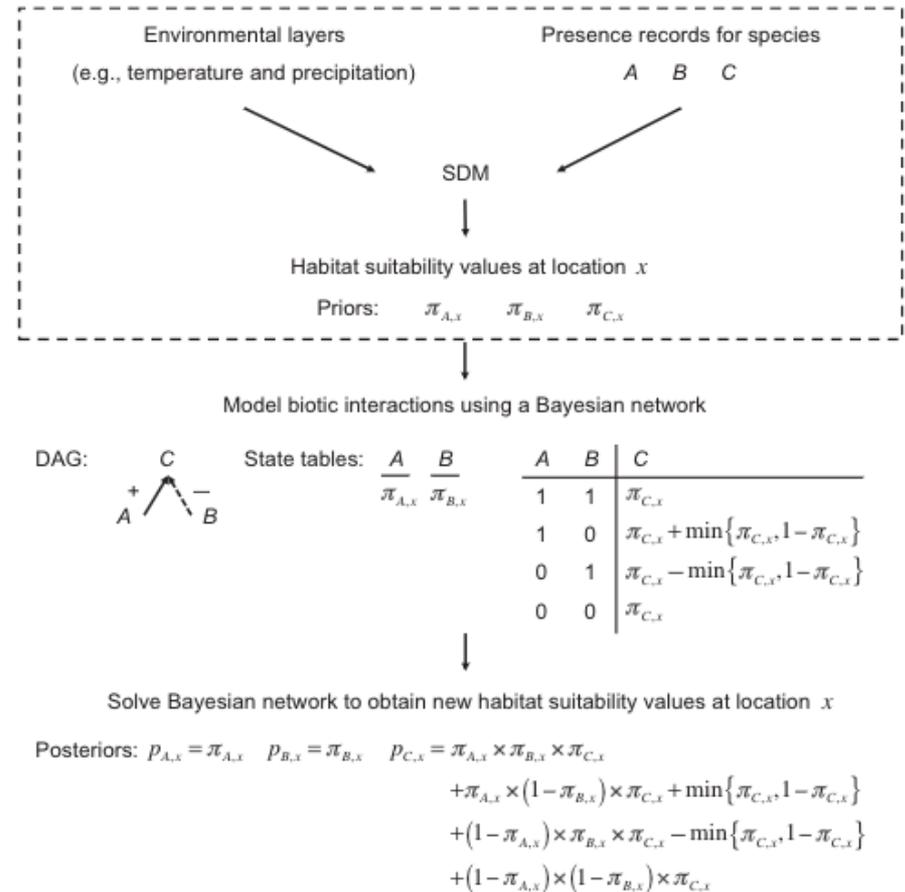
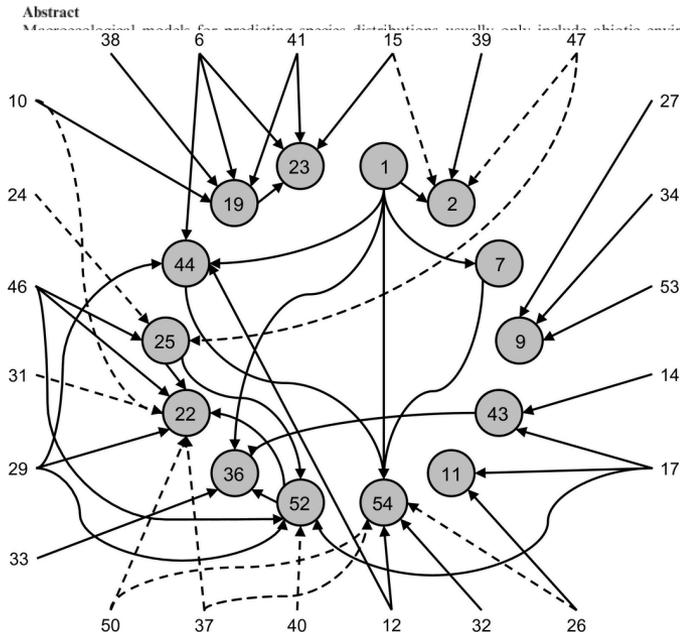
**Choix 1** : co-occurrences d'espèces (cas de la sittelle de Corse)

**Choix 2** : SDMs + réseaux bayésiens (interactions explicites)

**ECOLOGY LETTERS**  
*Ecology Letters*, (2017) 20: 693–707 doi: 10.1111/ele.12121

**IDEA AND PERSPECTIVE** Linking macroecology and community ecology: refining predictions of species distributions using biotic interaction networks

Phillip P.A. Staniczenko,<sup>1,2,3</sup>  
 Prabu Sivasubramaniam,<sup>3,4</sup>  
 K. Blake Suttle<sup>5</sup> and  
 Richard G. Pearson<sup>3\*</sup>



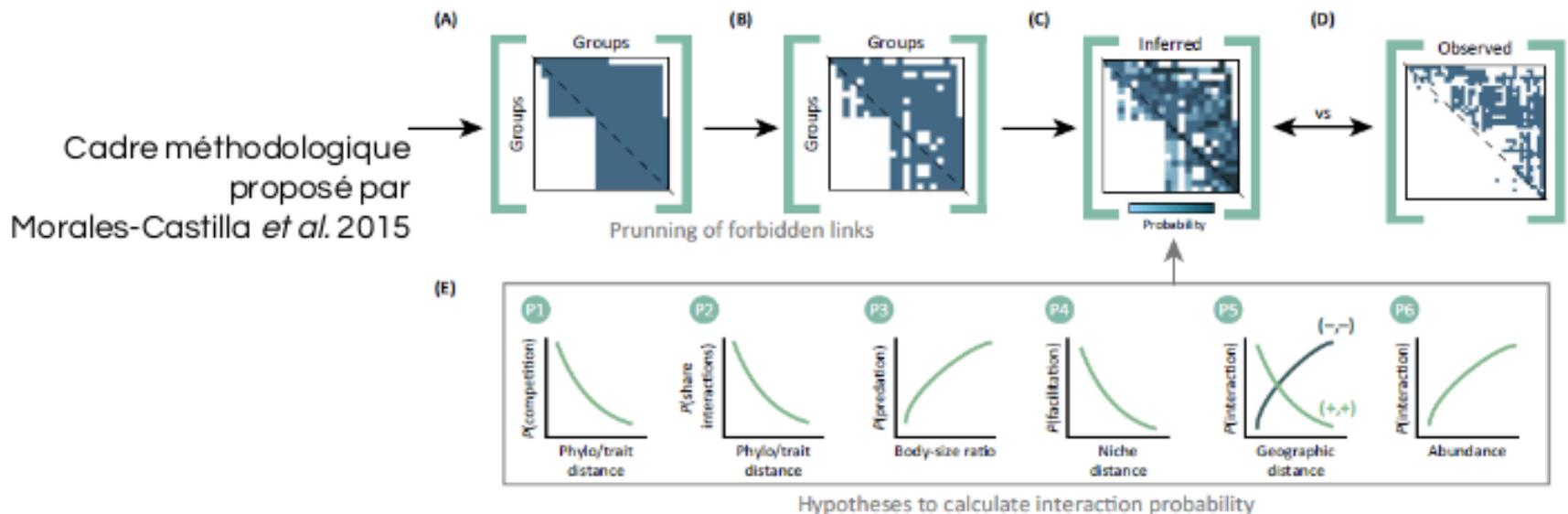
# What's next ? Interactions biotiques

Les mathématiciens peuvent ils aider ?

**Choix 1** : co-occurrences d'espèces (cas de la sittelle de Corse)

**Choix 2** : SDMs + réseaux bayésiens (interactions explicites)

**Choix 3** : utiliser des proxys



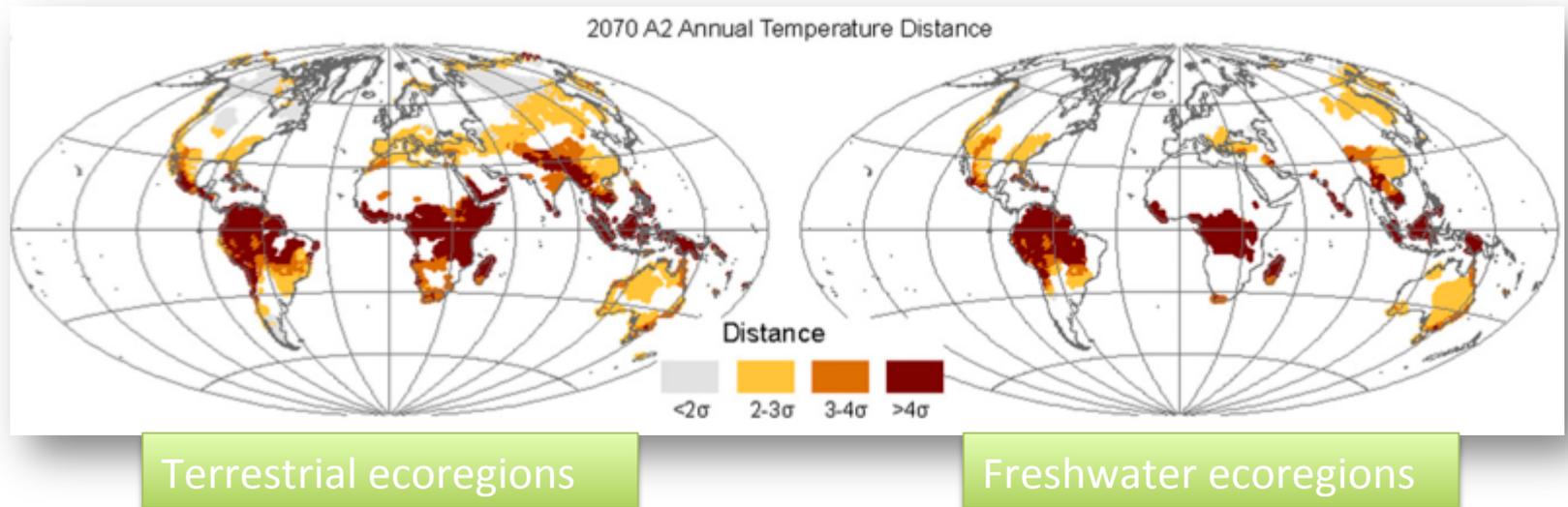
## Inferring biotic interactions from proxies

Ignacio Morales-Castilla<sup>1,2</sup>, Miguel G. Matias<sup>1,3,4</sup>, Dominique Gravel<sup>5,6</sup>, and Miguel B. Araújo<sup>1,3,3</sup>

# What's next ? Climat non analogue

Les mathématiciens peuvent ils aider ?

- No-analog situations
  - Combinations or values of future environmental conditions that do not exist nowadays



## Impacts of climate change on the world's most exceptional ecoregions

Linda J. Beaumont<sup>a,b,1</sup>, Andrew Pitman<sup>c</sup>, Sarah Perkins<sup>c</sup>, Niklaus E. Zimmermann<sup>d</sup>, Nigel G. Yoccoz<sup>e</sup>, and Wilfried Thuiller<sup>b</sup>

# What's next ? Climat non analogue

Les mathématiciens peuvent ils aider ?

- No-analog situations
  - Combinations or values of future environmental conditions that do not exist nowadays

Solutions?

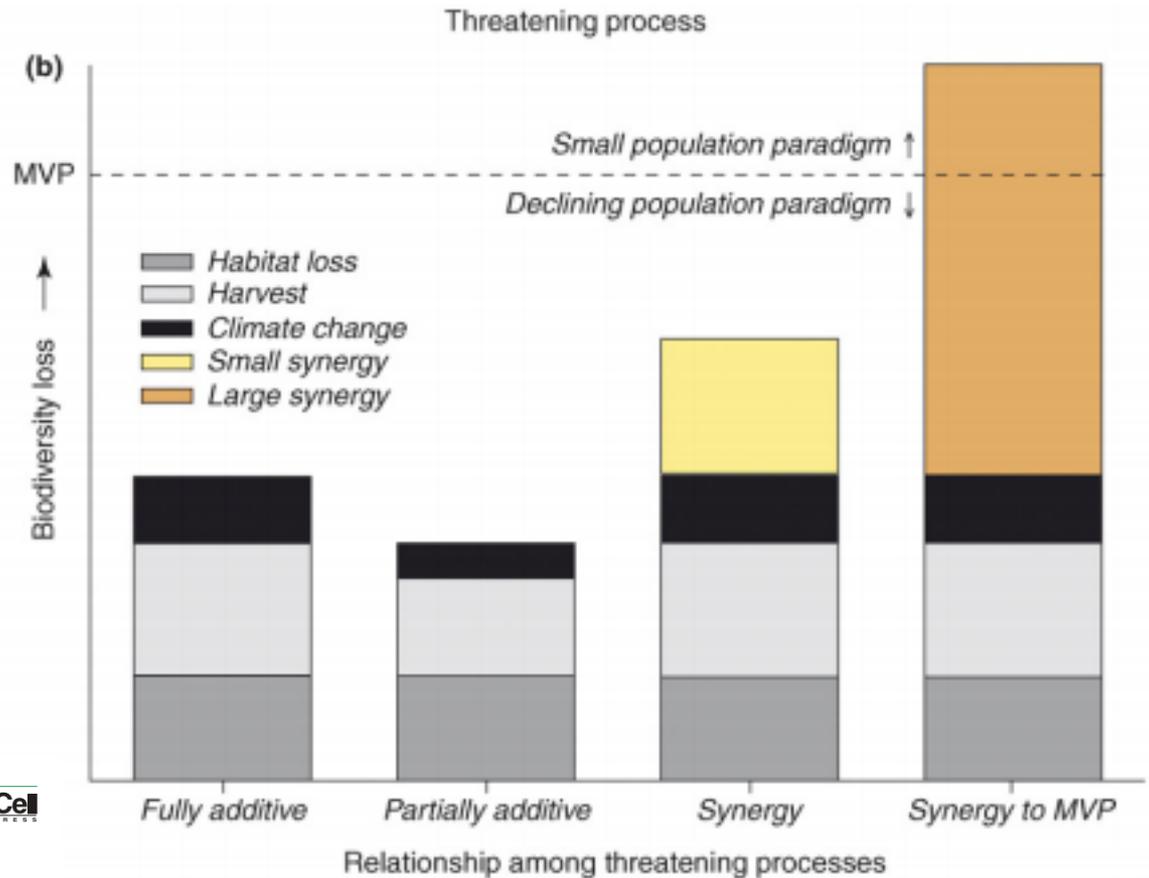
=> Clamping: remove areas which fold outside of the environmental conditions used to calibrate the models

⇒ Compare clamped and not clamped maps to show the areas of uncertainties

# What's next ? Synergie avec les autres menaces

## Les mathématiciens peuvent ils aider ?

- Recouvrement
- Synergie



Review

Cell

### Synergies among extinction drivers under global change

Barry W. Brook<sup>1</sup>, Navjot S. Sodhi<sup>2</sup> and Corey J.A. Bradshaw<sup>1,3,4</sup>

<sup>1</sup>Research Institute for Climate Change and Sustainability, School of Earth and Environmental Sciences, University of Adelaide, Adelaide, SA 5005, Australia

<sup>2</sup>Department of Biological Sciences, National University of Singapore, 14 Science Drive 4, Singapore 117543, Republic of Singapore

<sup>3</sup>South Australian Research and Development Institute, P.O. Box 120, Henley Beach, SA 5022, Australia

<sup>4</sup>School for Environmental Research, Charles Darwin University, Darwin, NT 0909, Australia

TRENDS in Ecology & Evolution

# Merci

Boris Leroy, Wilfried Thuiller et Morgane Barbet Massin

## **La relation entre distribution et la niche a été utilisée pour prédire :**

- species richness (Jetz & Rahbeck 2002)
- centres of endemism (Johnson, Hay & Rogers 1998),
- the occurrence of particular species assemblages (Neave, Norton & Nix 1996),
- the occurrence of individual species (Thuiller *et al.* 2003),
- the location of unknown populations (Guisan *et al.* 2006)
- the location of suitable breeding habitat (Osborne, Alonso & Bryant 2001),
- breeding success (Paradis *et al.* 2000),
- abundance (Jarvis & Robertson 1999),
- genetic variability of species (Scribner *et al.* 2001)

## **Aussi utilisée pour**

- help target field surveys (Engler *et al.* 2004),
- aid in the design of reserves (Li *et al.* 1999),
- inform wildlife management outside protected areas (Milsom *et al.* 2000)
- guide mediatory actions in human–wildlife conflicts (Sitati *et al.* 2003).
- monitor declining species (Osborne, Alonso & Bryant 2001),
- predict range expansions of recovering species (Corsi, Dupre & Boitani 1999),
- estimate the likelihood of species' long-term persistence in areas considered for protection (Cabeza *et al.* 2004)
- identify locations suitable for introduction (Debeljak *et al.*, 2001)
- identify locations suitable for reintroductions (Glenz *et al.*, 2001).
- identify sites vulnerable to local extinction (Gates & Donald 2000)
- identify sites vulnerable to species invasion (Thuiller *et al.* 2005),
- explore the potential consequences of climate change (Thuiller *et al.* 2005, 2006).