

Réponses des populations de vertébrés aux changements climatiques: paramétrage et premières applications de modèles prédictifs basés sur les processus démographiques

Jean-Michel Gaillard, Vladimir Grosbois,

Et les membres du groupe CLIMPOP



Biométrie et Biologie évolutive, CNRS-UMR 5558, Université Claude Bernard, Lyon 1

CEB Chizé, CNRS UPR 1934

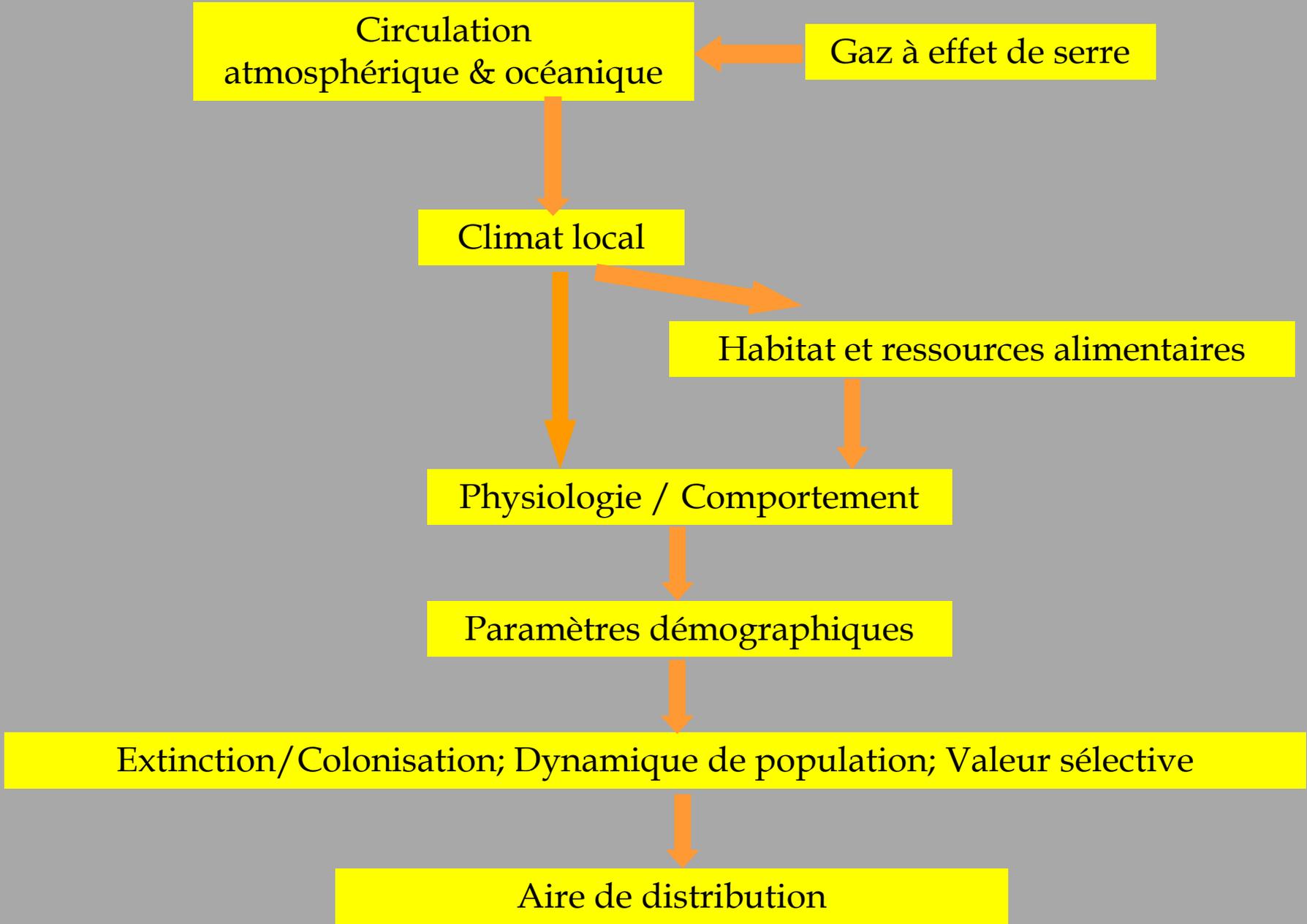
Centre d'écologie fonctionnelle et évolutive, CNRS UMR 5175, Montpellier

Laboratoire d'écologie, CNRS-UMR 7625, Université Pierre et Marie Curie, Paris

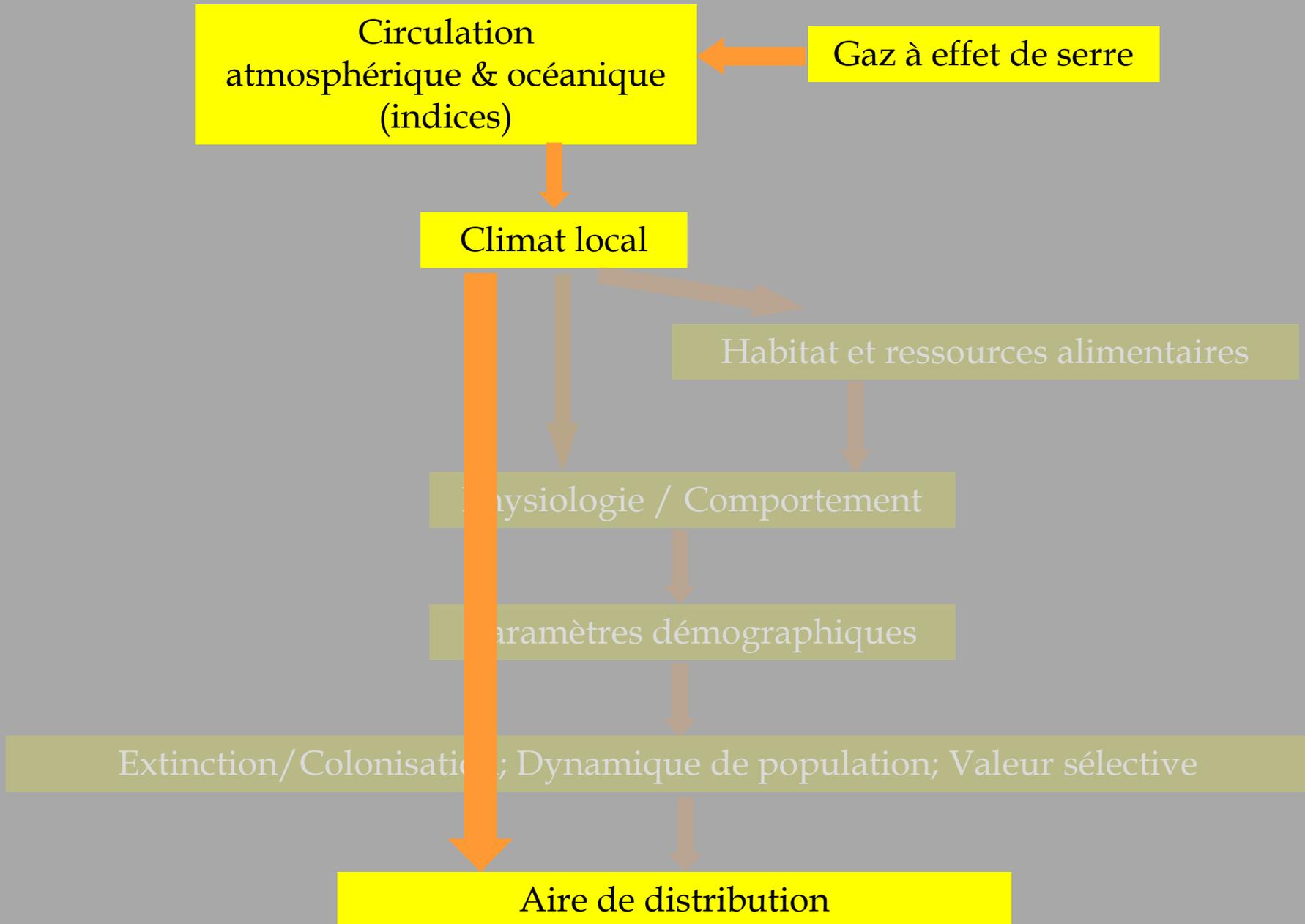
Laboratoire de parasitologie évolutive, CNRS-UMR 7103, Paris

Station biologique de Moulis, Saint Girons

Chaîne de mécanismes reliant climat et distribution des espèces



Modèles de niche climatique



Modèles de niche climatique (principe)

Données actuelles de
présence/absence d'une espèce

Données climatiques actuelles



Modèle définissant la niche
climatique de l'espèce

Modèle de projection du
climat futur

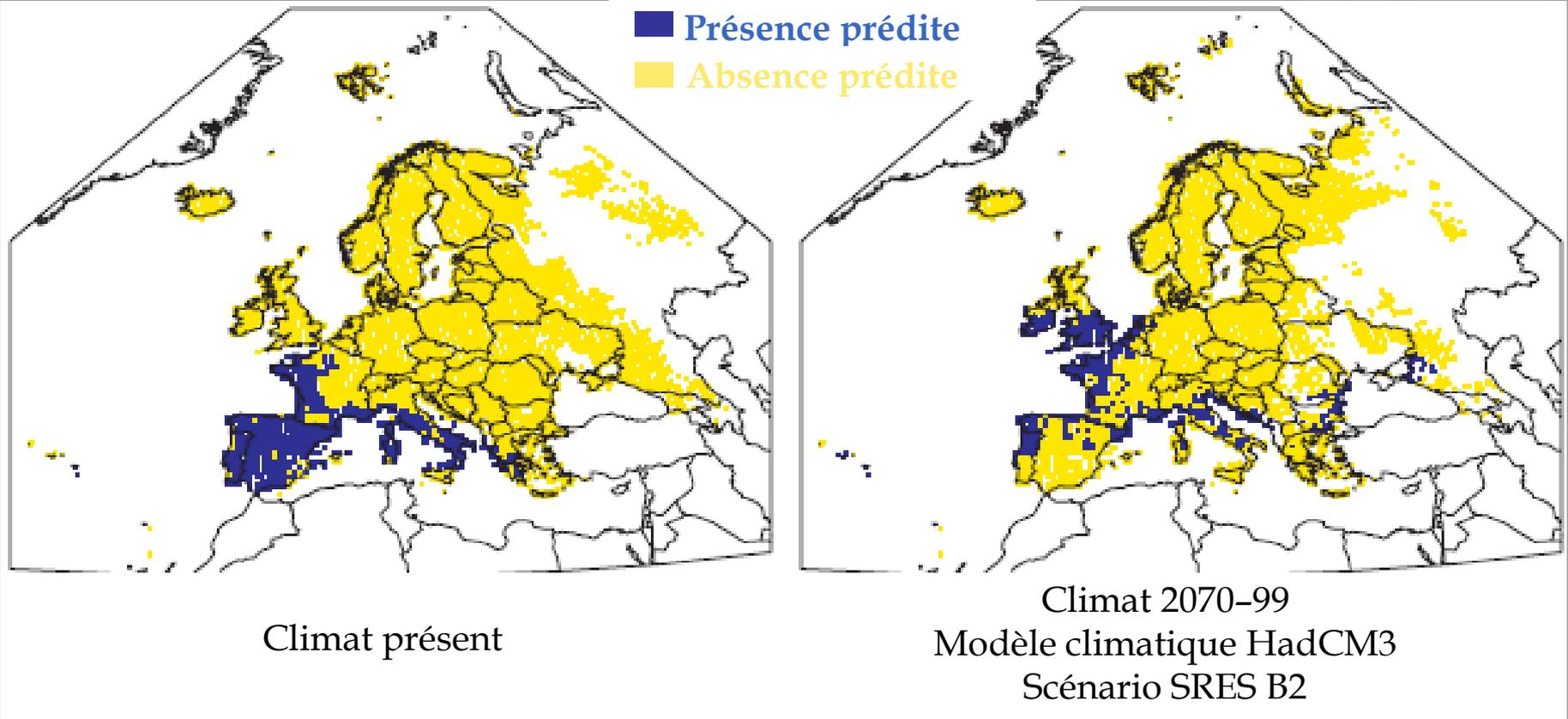


Projection de la future aire de
répartition de l'espèce

Modèles de niche climatique application à la fauvette pitchou *Sylvia undata*

Huntley et al. (2006). *Ibis* 148, 8-28

Potential impacts of climatic change upon geographical
distributions of birds



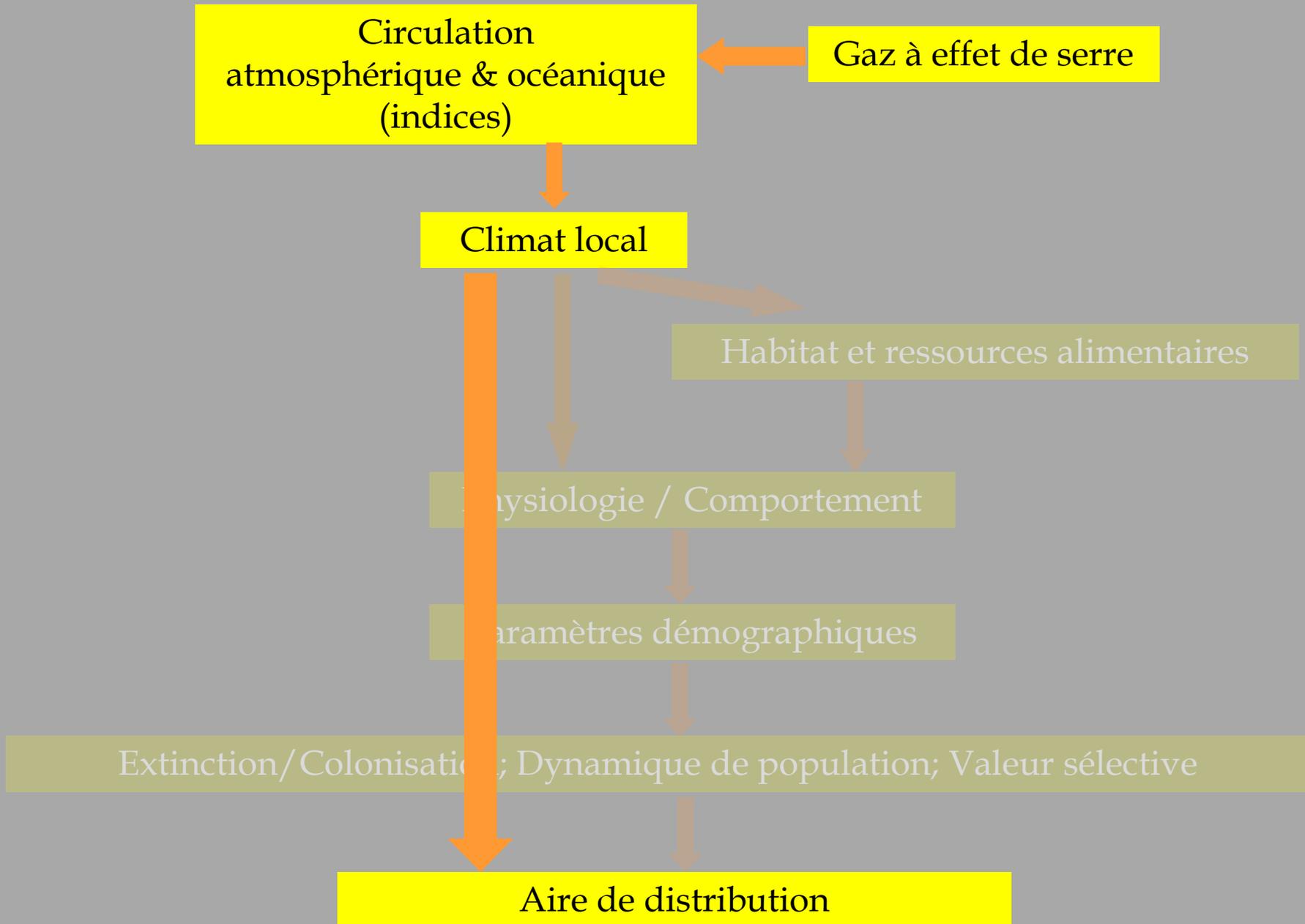
Déplacement vers le pôle et réduction de 14% de l'aire de répartition

Les sources d'incertitude dans les modèles de niche climatique

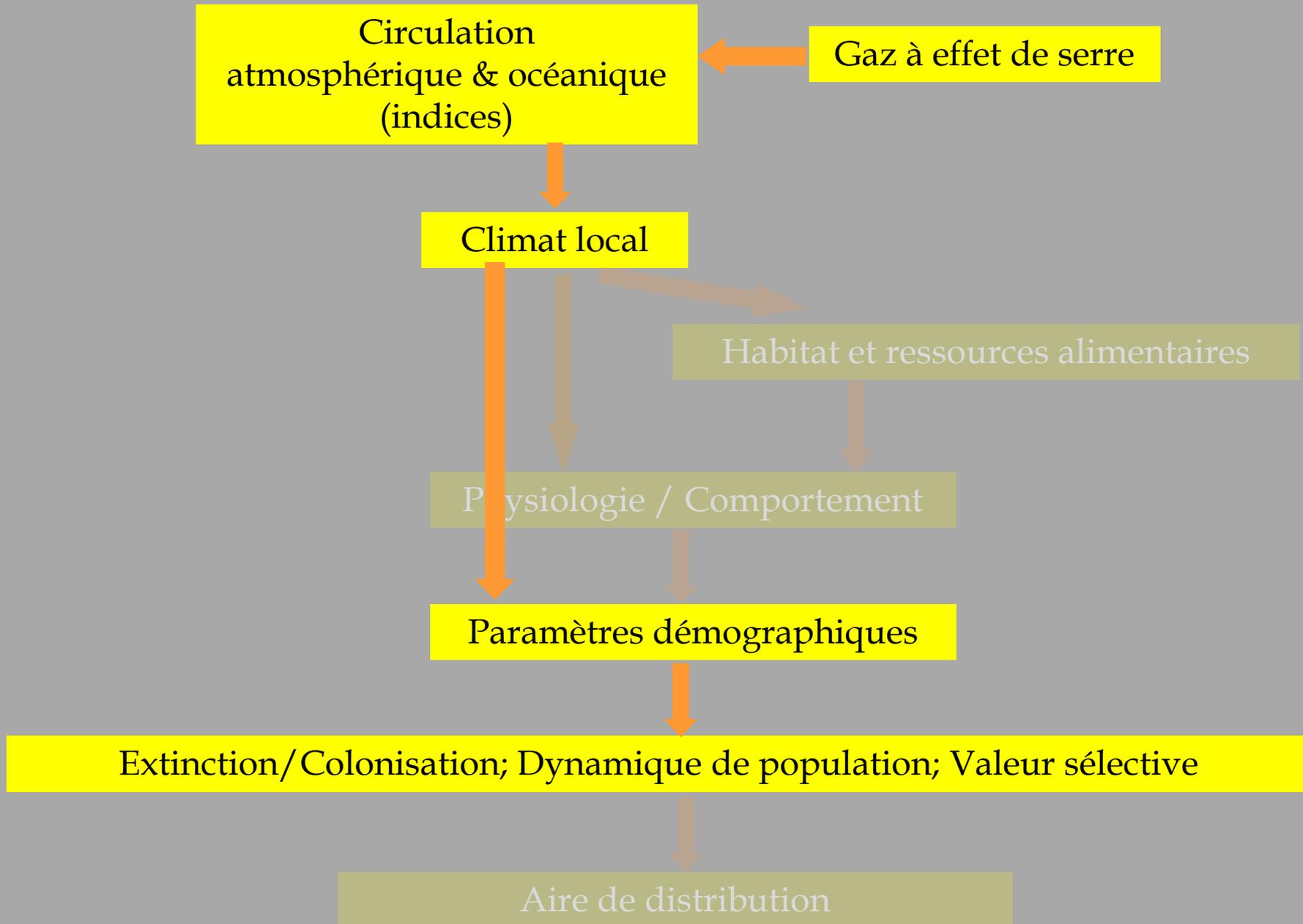
- Variables climatiques susceptible de structurer la niche d'une espèce
- Niche climatique réalisée correspond-elle à la niche climatique fondamentale ?
 - Systèmes source-puit
 - Maladaptation en limite d'aire de répartition
- Potentiel des espèces à s'adapter à de nouvelles conditions climatiques
 - Plasticité phénotypique
 - Sélection naturelle
- Potentiel des espèces à coloniser les aires dans lesquelles les conditions de leur niche climatique seront réunies à l'avenir

 **Nécessité de comprendre les mécanismes démographiques sous-tendant les impacts du climat**

Modèles de niche climatique



Les mécanismes démographiques



Le réseau CLIMPOP: cadre privilégié pour étudier l'influence des facteurs climatiques sur la démographie des vertébrés

Opération	Responsable	Milieu	Sites	Espèces
1 – Reptiles	J. Clobert M. Massot	Landes, prairies humides	Cévennes	Lézard vivipare
2 – Mésanges	M. Lambrechts - J. Blondel	Forestier	Corse, Provence	Mésanges charbonnière et bleue
3- Hirondelles	A. Moller	Agricole et urbain	Danemark, Europe	Hirondelles
4 – Oiseaux marins	H. Weimerskirch C. Barbraud	Marin	Antarctique	Albatros, pétrels, manchots
5 – Ongulés	J.M. Gaillard A. Loison	Forestier et montagnard	Alpes, Pyrénées, Lorraine, Poitou	Chevreaux, cerfs, bouquetins, chamois/isards
6 – Méthodologie	J.D. Lebreton O. Gimenez	Transversal méthodologique		

Mise en commun



Méthodes

Données

Réseau international (CLIMWORK)

Acquis de la première phase de financement IFB-GICC1

1. Etablir un cadre méthodologique commun pour l'étude de l'impact du climat sur démographie vertébrés:

- Recenser les méthodes utilisées dans la littérature
- Les évaluer

2. Innovations dans le domaine de l'analyse des données:

- Outils pour les analyses à l'échelle inter-population
- Outils pour détecter réponses non linéaires

3. Analyses d'étude de cas avec méthodologie pertinente et standardisée

- Mésanges bleues
- Oiseaux de mer

Un trait démographique particulièrement étudié: la survie adulte

Objectifs de la seconde phase de financement GICC2

1. Axe méthodologique:

- Evaluer la robustesse des résultats de la littérature portant sur les relations entre climat et survie de vertébrés (cas typique: cigogne blanche)
- Innovations méthodologiques (taille d'effet, Bayésien)

2. Axe étude de cas: mécanismes sous-tendant les impacts du climat sur la survie de vertébrés

- Interactions climat/statu sanitaire sur la survie des isards
- Interactions climat/densité sur la survie des chevreuils
- Effets directs et indirects des conditions climatique sur la survie des macareux moines

3. Axe analyse intégrée (méta-analyse)

- Comparaison de l'impact de différents types de variables climatiques sur la survie des oiseaux

Objectif ultime: modèles de projection de population intégrant les mécanismes démographiques par lesquels le climat influence les populations de vertébrés

Axe méthodologique, une étude typique:
recherche des facteurs climatiques influençant
la survie adulte des cigognes blanches du
Baden-Würtemberg



- Relativement peu d'années d'étude
- Un cycle saisonnier complexe (espèce migratrice)
- Connaissance du système à priori assez limitée
 - Les saisons de forte mortalités inconnues
 - Pas d'information sur les facteurs influençant ressources alimentaires



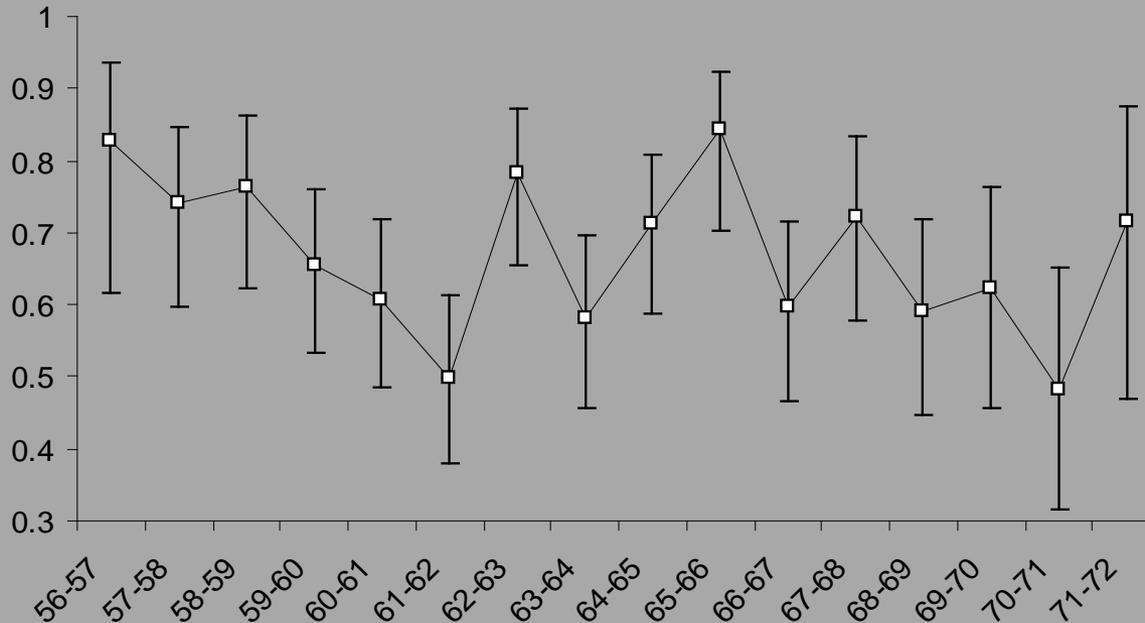
Beaucoup de facteurs climatiques potentiellement influents

Grosbois, V. et al. Assessing the impact of climate on vertebrate vital rates using individual monitoring data. In press à Biological Reviews

Axe méthodologique, une étude typique: recherche des facteurs climatiques influençant la survie adulte des cigognes blanches du Baden-Würtemberg



16 années



Grosbois, V. et al. Assessing the impact of climate on vertebrate vital rates using individual monitoring data. In press à Biological Reviews

Axe méthodologique, une étude typique: recherche des facteurs climatiques influençant la survie adulte des cigognes blanches du Baden-Würtemberg



- Relativement peu d'années d'étude
- Un cycle saisonnier complexe (espèce migratrice)
- Connaissance du système à priori assez limitée
 - Les saisons de forte mortalités inconnues
 - Pas d'information sur les facteurs influençant ressources alimentaires



Beaucoup de facteurs climatiques potentiellement influents

Grosbois, V. et al. (Sous presse Biological Reviews) *Assessing the impact of climate on vertebrate vital rates using individual monitoring data.*

Axe méthodologique, une étude typique: recherche des facteurs climatiques influençant la survie adulte des cigognes blanches du Baden-Würtemberg

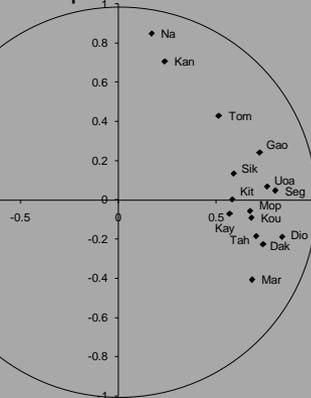


22 variables climatiques

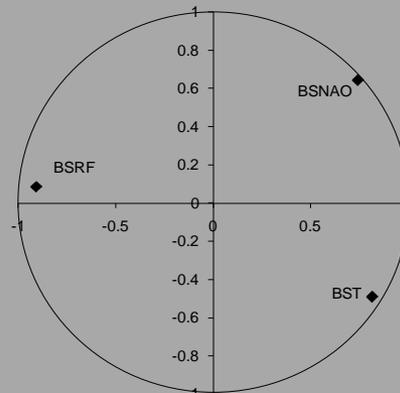
- 15 var pluie Sahel
- 3 var climat en période pré-reproductrice (Temp, Préc, NAO)
- 3 var climat en période reproductrice (Temp, Préc, NAO)
- 1 var climat période de retour de migration (NAO hivernale)

5 covariables après regroupement des variables fortement corrélées

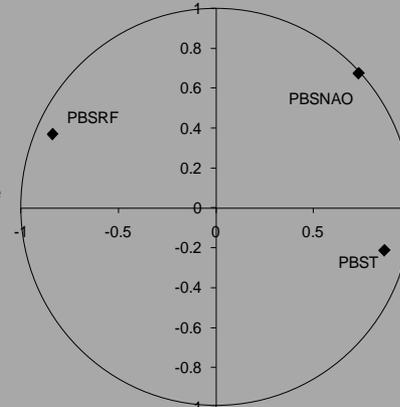
Précipitations sud Sahel



Précipitations
nord/centre Sahel



Climat période
reproductrice



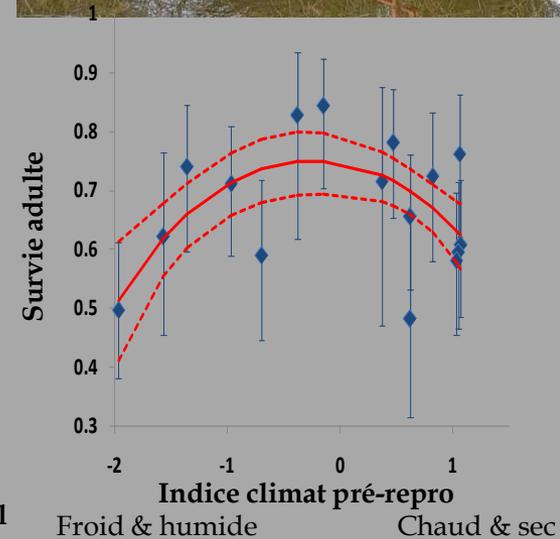
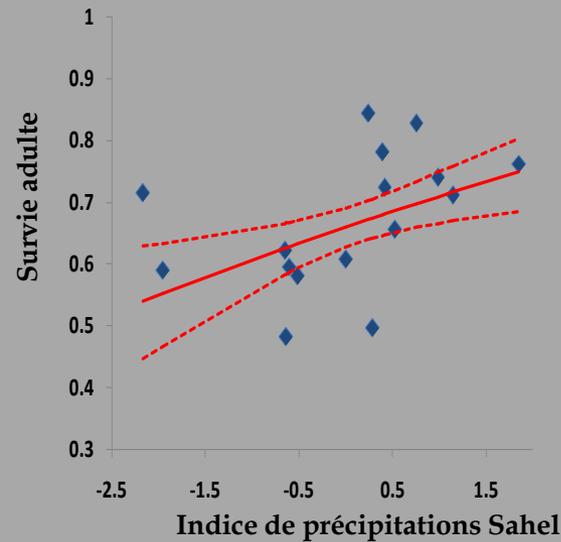
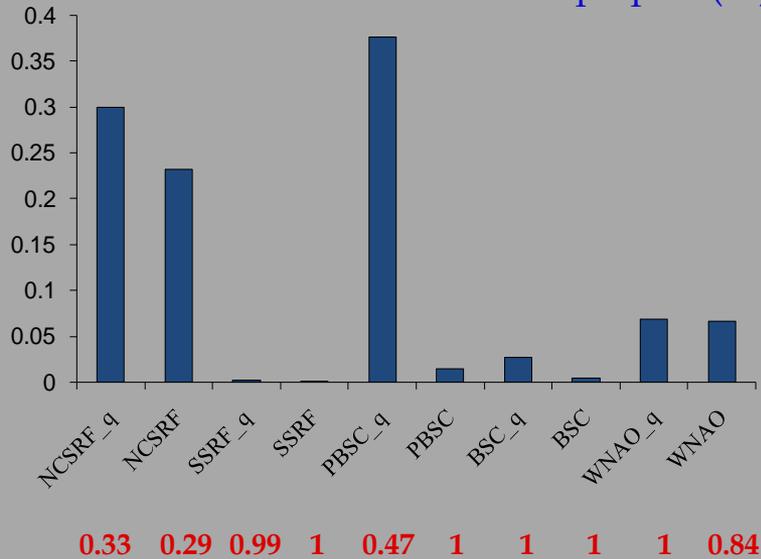
Climat période
pré-reproductrice

Grosbois, V. et al. Assessing the impact of climate on vertebrate vital rates using individual monitoring data. In press à Biological Reviews

Axe méthodologique, une étude typique: recherche des facteurs climatiques influençant la survie adulte des cigognes blanches du Baden-Württemberg



Fraction des variations expliquée (R^2)



Effets potentiellement important ($R^2 \sim 30\%$) / Faible soutien statistique (faibles P -valeurs)

- Caractère exploratoire des études d'impact du climat sur démographie
- Besoin d'une meilleure connaissance des mécanismes sous-jacents
- Besoin de regrouper les résultats de pour généraliser les conclusions

Grosbois, V. et al. Assessing the impact of climate on vertebrate vital rates using individual monitoring data. *Biological Reviews*. Sous presse

Axe méthodologique, innovation: une mesure de taille d'effet

Taille d'effet

- Mesure de l'impact biologique
- Nécessaire pour mener des méta-analyses

➔ Besoin de mesures de taille d'effet standardisées et munies de mesure de précision

Mesure de l'impact relatif: coefficient de détermination (R^2)

- Fraction de la variance (hors variance d'échantillonnage) expliquée
- Pas de mesure de précision (par d'intervalle de confiance)

➔ Besoin d'une mesure de la précision

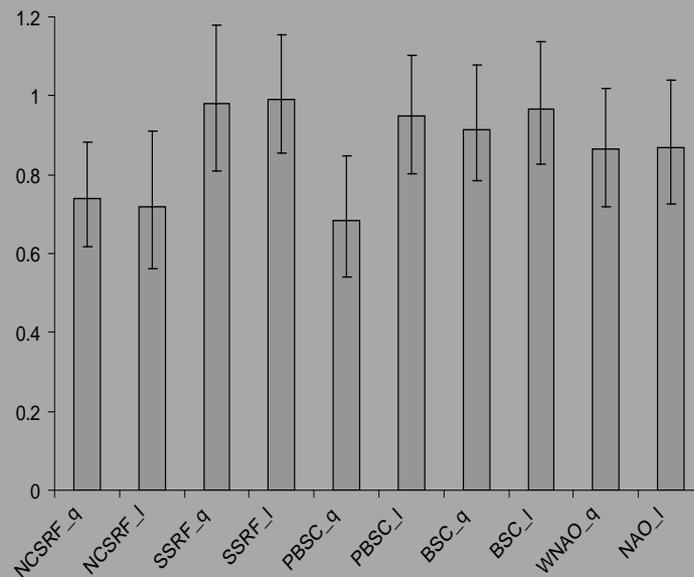
Mesure de l'impact absolu: estimation de la pente de la régression

- Sensible à la fonction de lien choisie pour l'analyse
- Sensible aux transformation des covariables
- Sensible à la forme de la relation
- Une mesure de précision associée (intervalle de confiance)

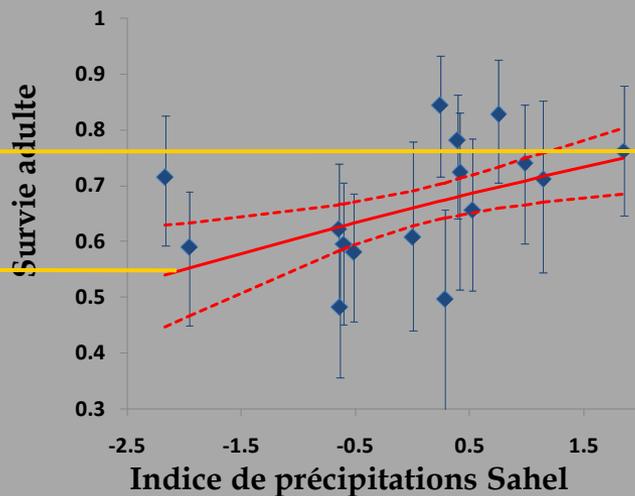
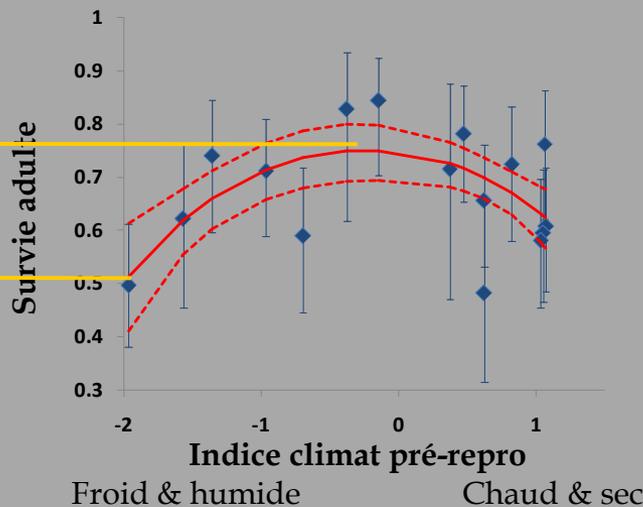
➔ Besoin d'une mesure standardisée de l'impact absolu

Axe méthodologique, innovation: une mesure de taille d'effet

Survie prédite min / Survie prédite max



- Insensible à la fonction de lien choisie pour l'analyse
- Insensible aux transformations des covariables
- Insensible à la forme de la relation
- Une mesure de précision associée (intervalle de confiance)



Survie prédite max

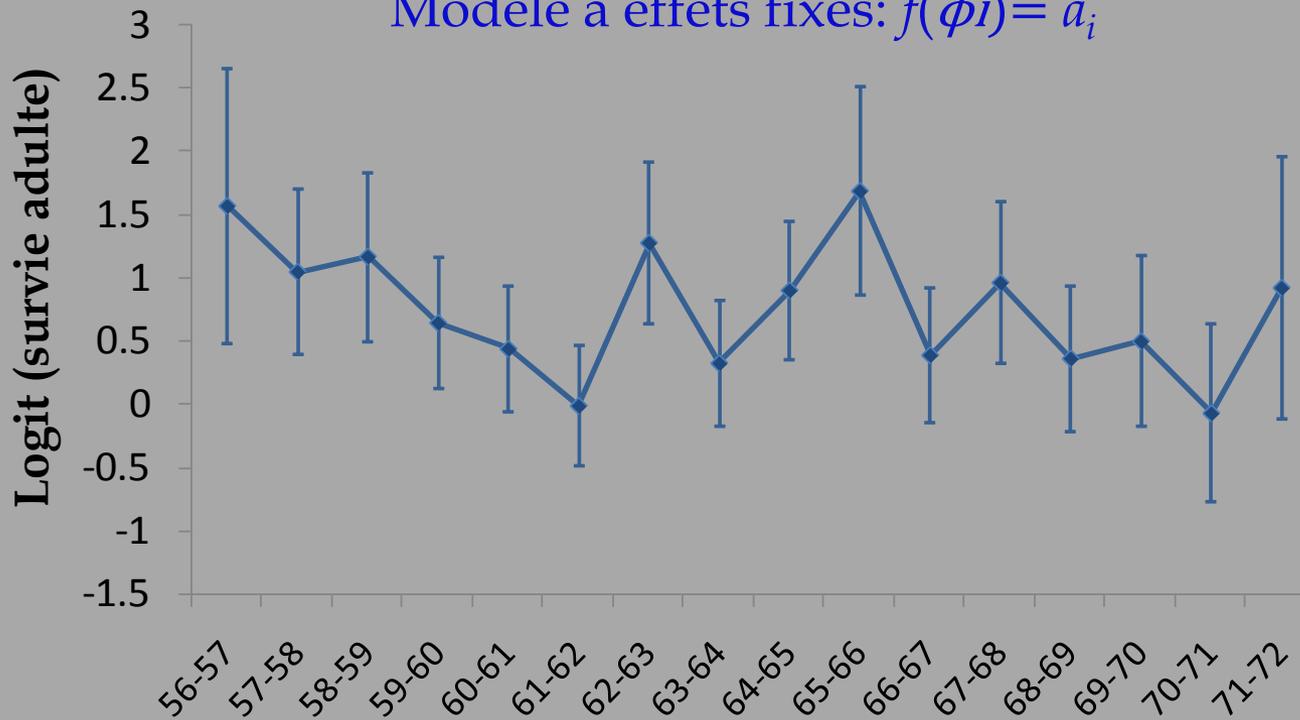
Survie prédite min

Survie prédite max

Survie prédite min

Axe méthodologique, innovations: apport du Bayésien

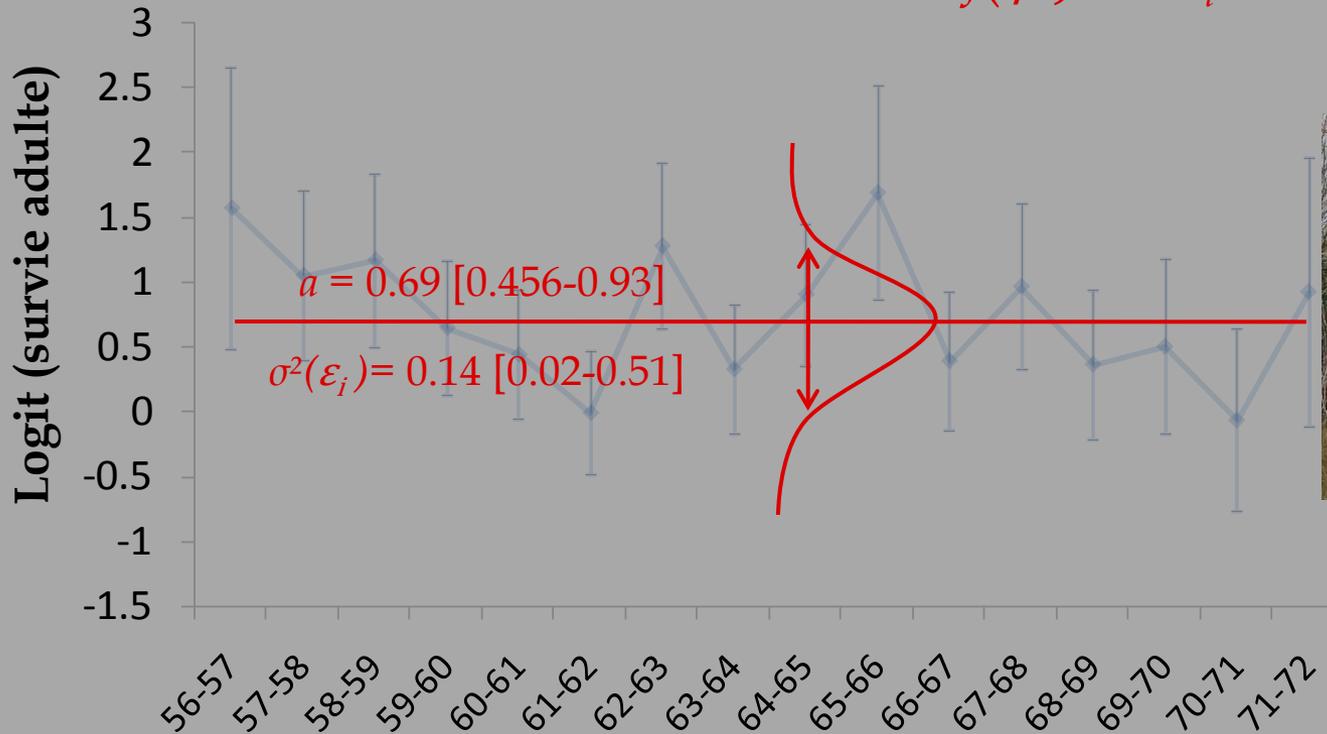
Modèle à effets fixes: $f(\phi_i) = a_i$



16 paramètres; 1 (a_i) par année d'étude i

Axe méthodologique, innovations: apport du Bayésien

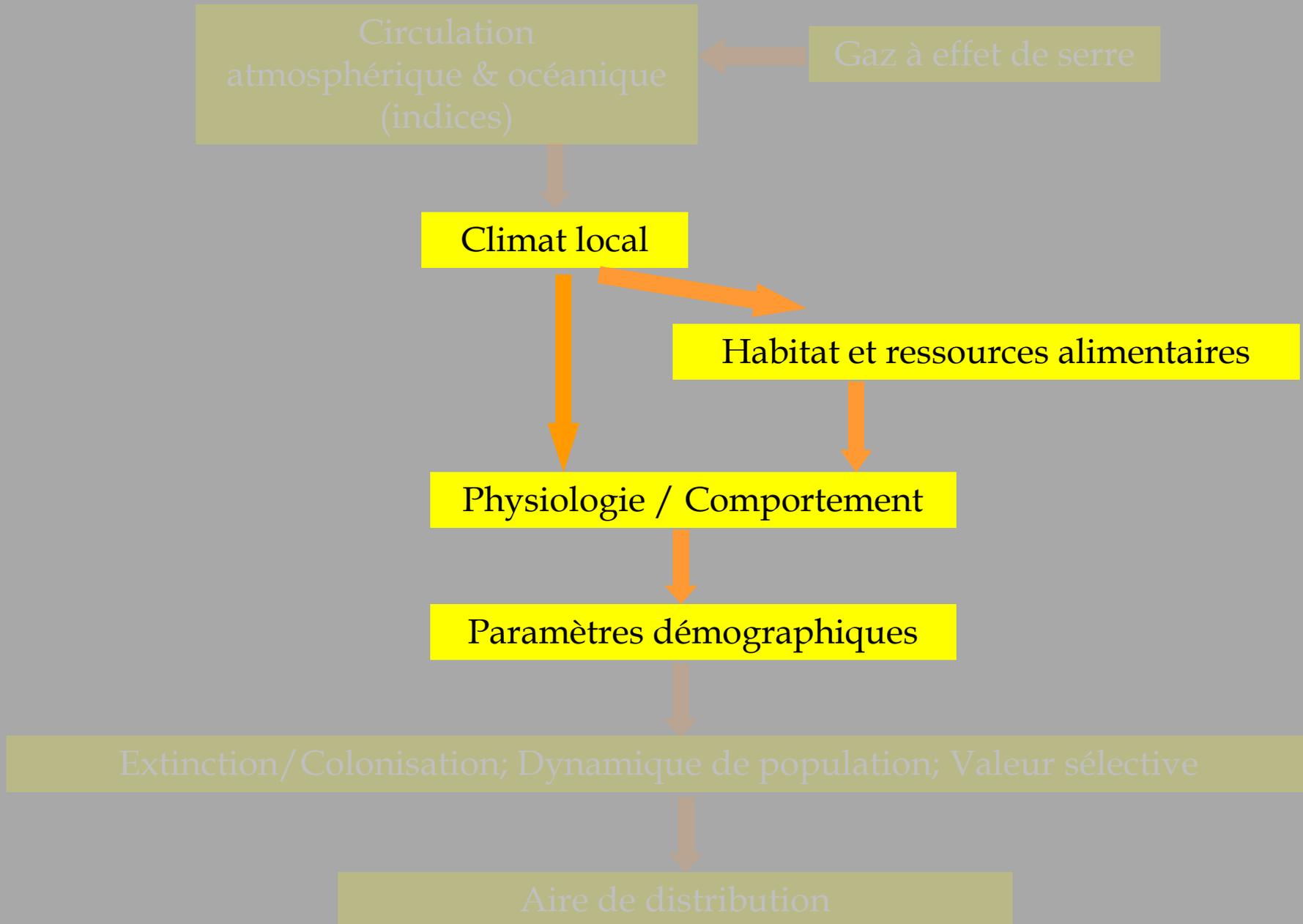
Modèle à effets aléatoire $f(\phi_i) = a + \varepsilon_i$



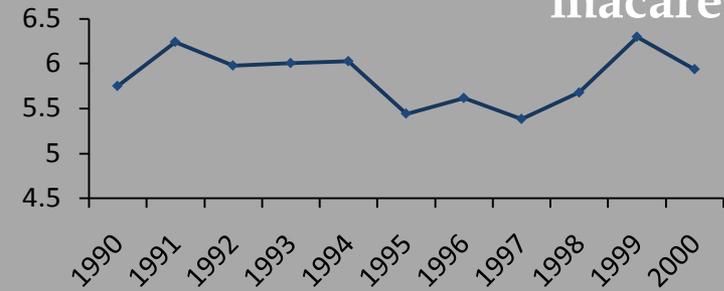
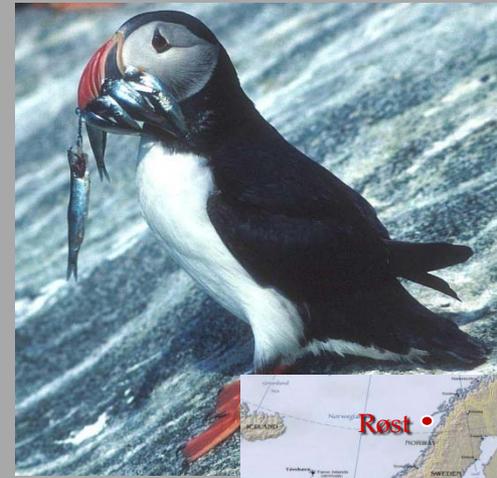
- Modélisation parcimonieuse des variations de survie
- Estimation de la variance de la survie

Gimenez et al. (sous presse). *WinBUGS for Population Ecologists: Bayesian Modeling Using Markov Chain Monte Carlo Methods*. Modeling Demographic Processes in Marked Populations, Proceeding Euring

Les mécanismes démographiques

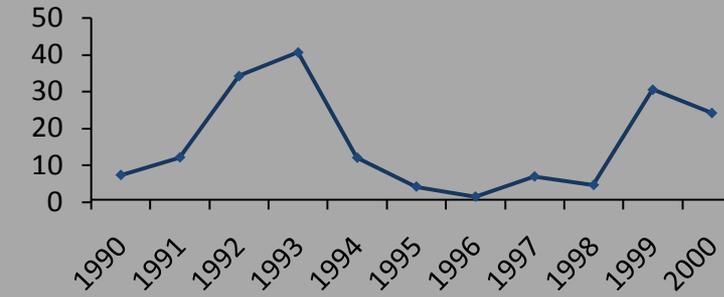


Etudes de cas: analyse de piste; effet direct ou indirect (via les ressources) du climat sur la survie des macareux moines



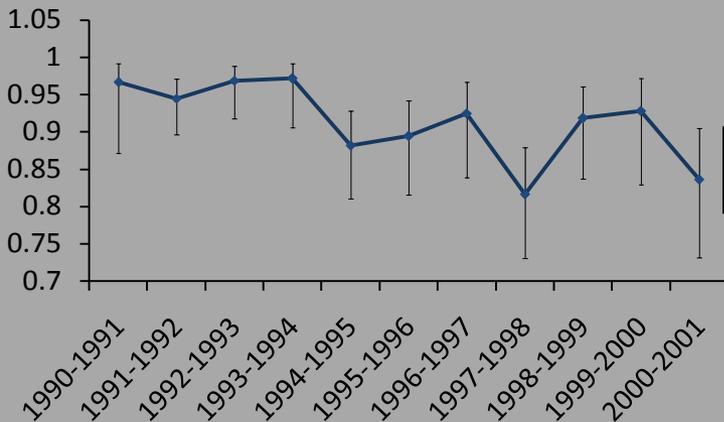
Température de surface de l'eau

$$b=0.38 [-0.14; 0.88]$$



Abondance des poissons fourrage (harengs)

$$b=0.06 [-0.27; 0.36]$$



Survie annuelle

$$b=0.28 [-0.03; 0.58]$$

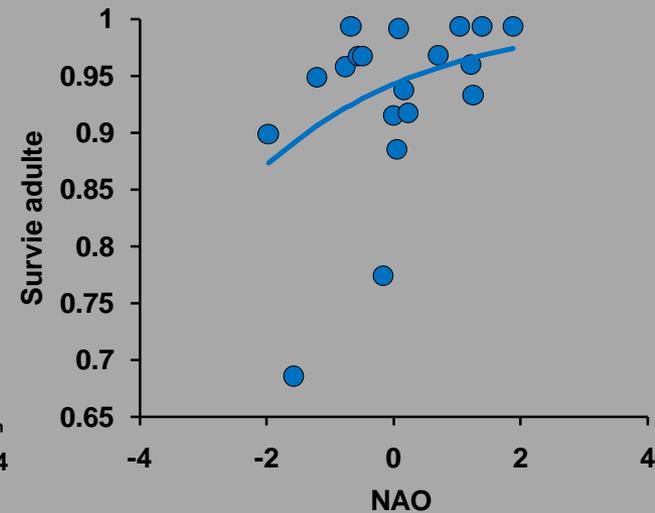
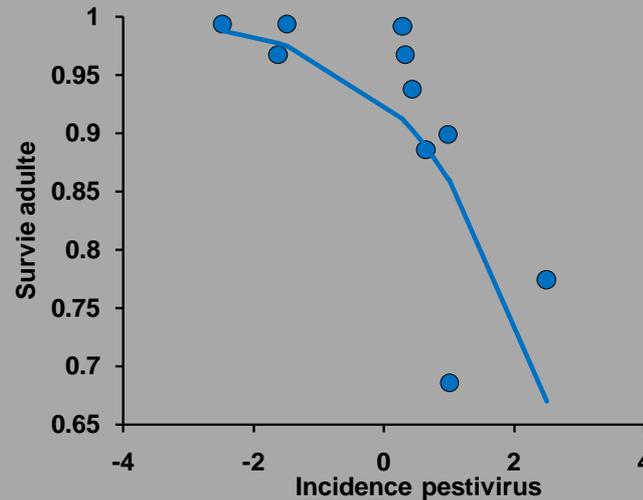
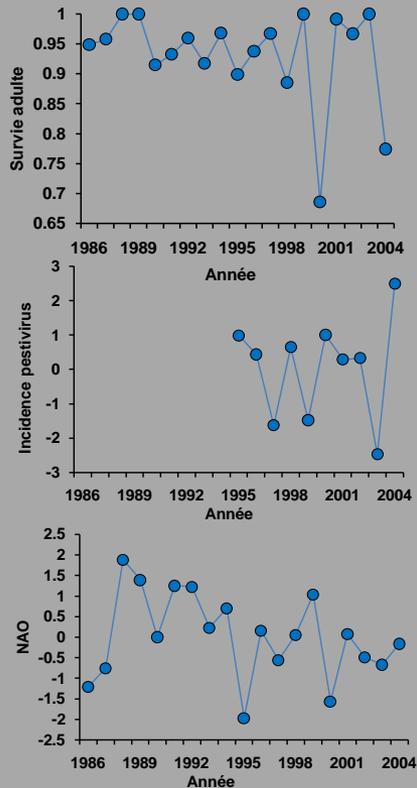
La température de surface de l'eau influence la survie via son impact sur les ressources alimentaires

Gimenez et al. (En préparation) *Path analysis and structural equation modeling of mark-recapture data.*

Axe études de cas: les conditions climatiques défavorables aggravent-elles l'impact d'un pestivirus sur la survie d'une population d'isards ?



Modèle	delta AIC
Constant	16.12
Incidence(pestivirus)	2.71
NAO	8.9
Incidence(pestivirus)+NAO	0
Incidence(pestivirus) x NAO	0

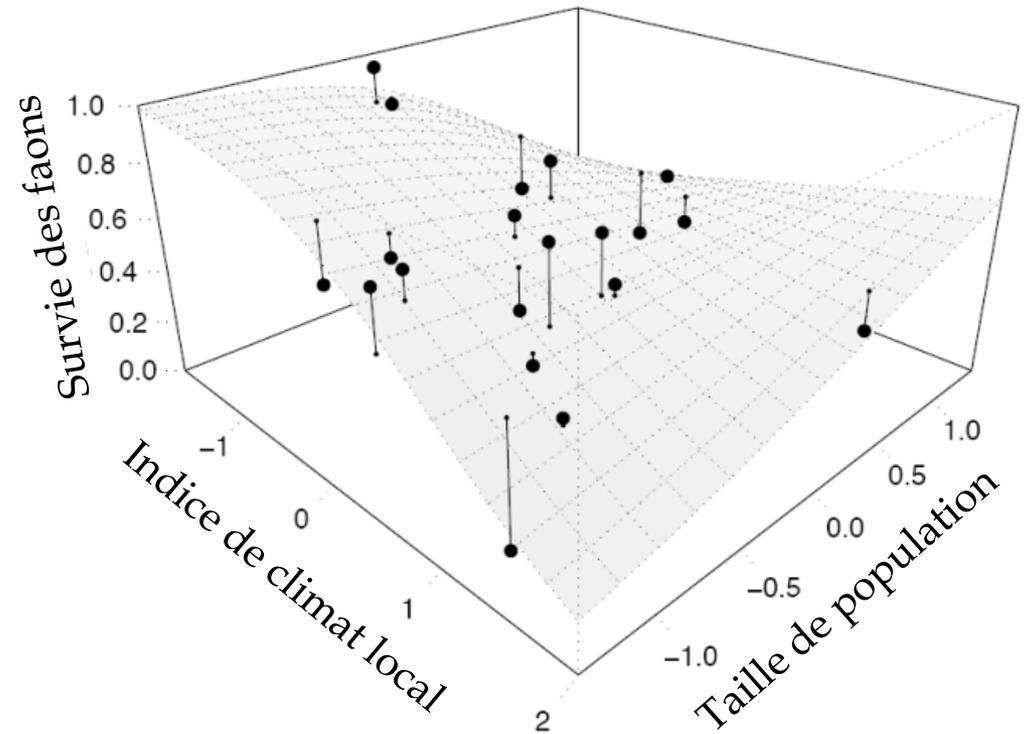


L'impact du pestivirus ne semble pas plus intense lorsque les conditions climatiques sont défavorables Pioz et al. (en préparation) *Impact of a pestivirus on the survival in a population of isards.*

Axe études de cas: les conditions climatiques défavorables la densité dépendance de la survie d'une population de chevreuils ?



Modèle	delta AIC
Constant	6.55
Densité	5.7
Indice climat local	5.45
Incidence climat local + Densité	2.56
Incidence climat local x Densité	0



Les conditions climatiques défavorables intensifient la densité

dépendance Bonenfant et al. (soumis à Ecology) *Local weather packages outperform the NAO index in accounting for climatic influences on life history traits in temperate areas.*

Axe méta-analyse: identifier les espèces ou groupes zoologiques les plus sensibles aux changements climatiques

- 23 espèces d'oiseaux: résultats publiés sur relation survie adulte facteur climatique
- Impact du climat: fraction des variations temporelles expliquée par variables climatiques: R^2
- Variations de l'impact du climat selon caractéristiques écologiques :

Habitat



Régime alimentaire



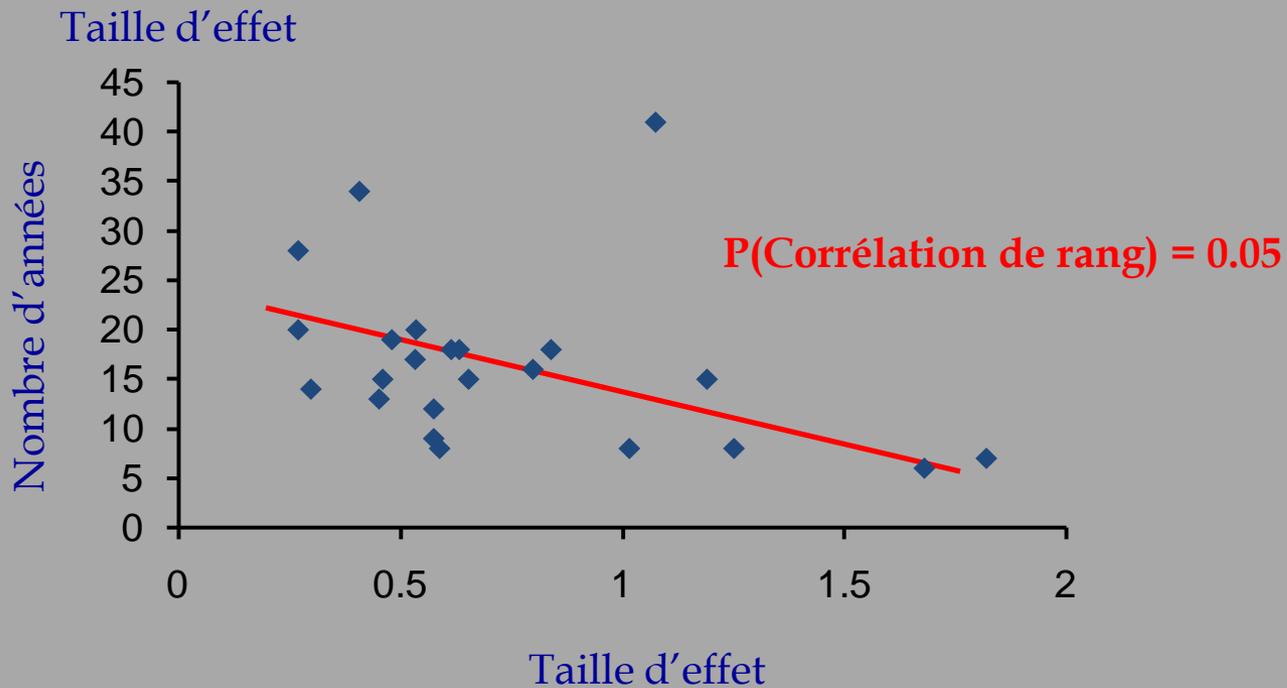
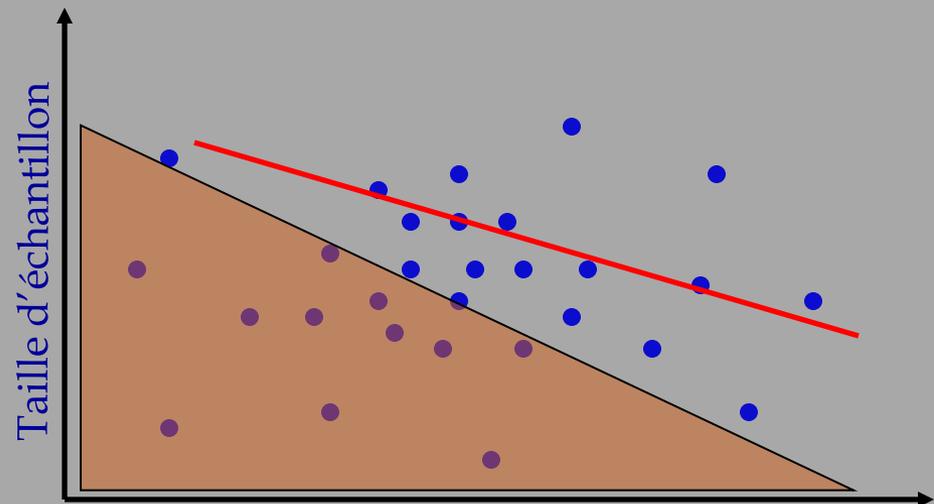
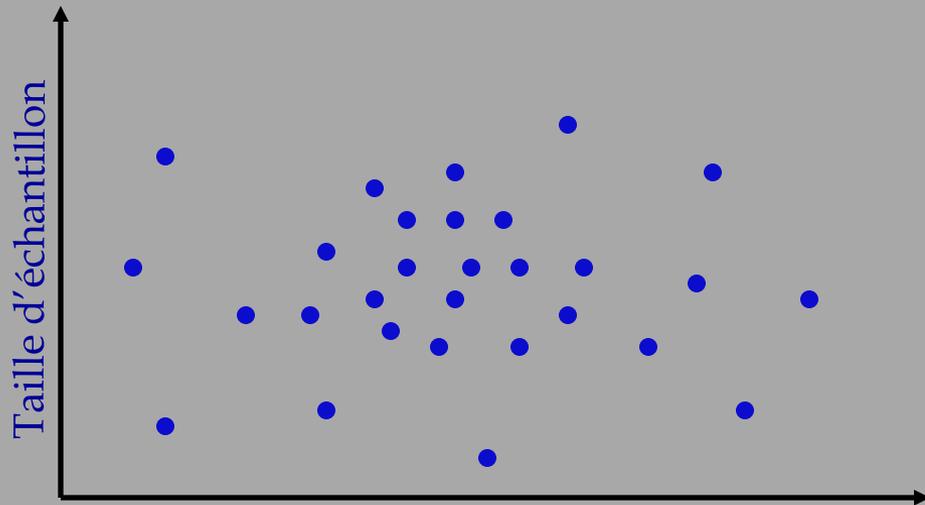
Statut migratoire



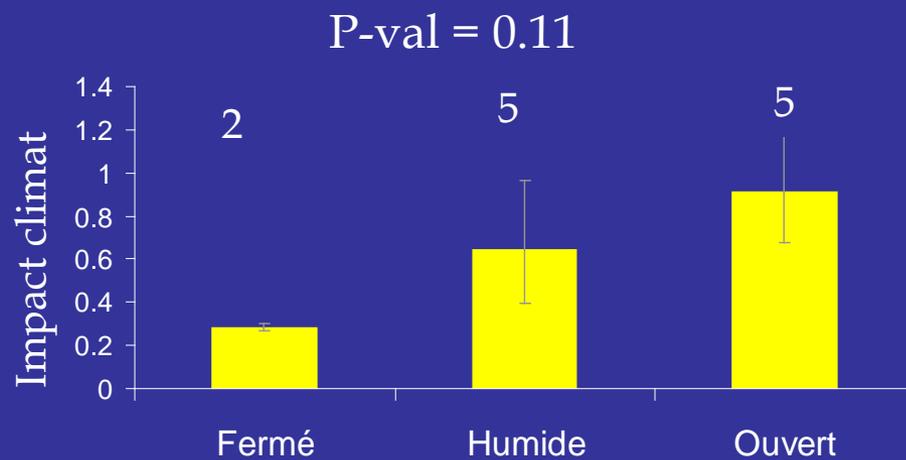
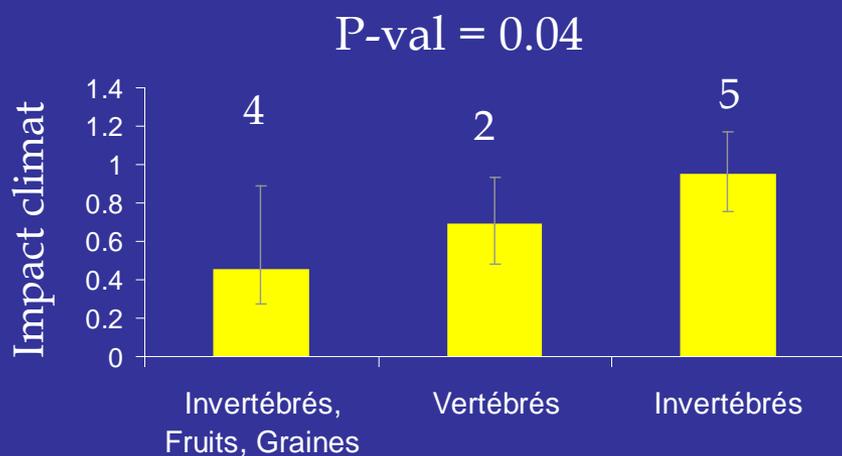
Longévité



Axe méta-analyse: Biais de publication (Funnel plot)



Axe méta-analyse: variations de l'impact des variations climatique sur la survie en fonction du régime alimentaire et de l'habitat des oiseaux terrestres



Axe méta-analyse: variation des tailles d'effet en fonction des caractéristiques des facteurs climatiques

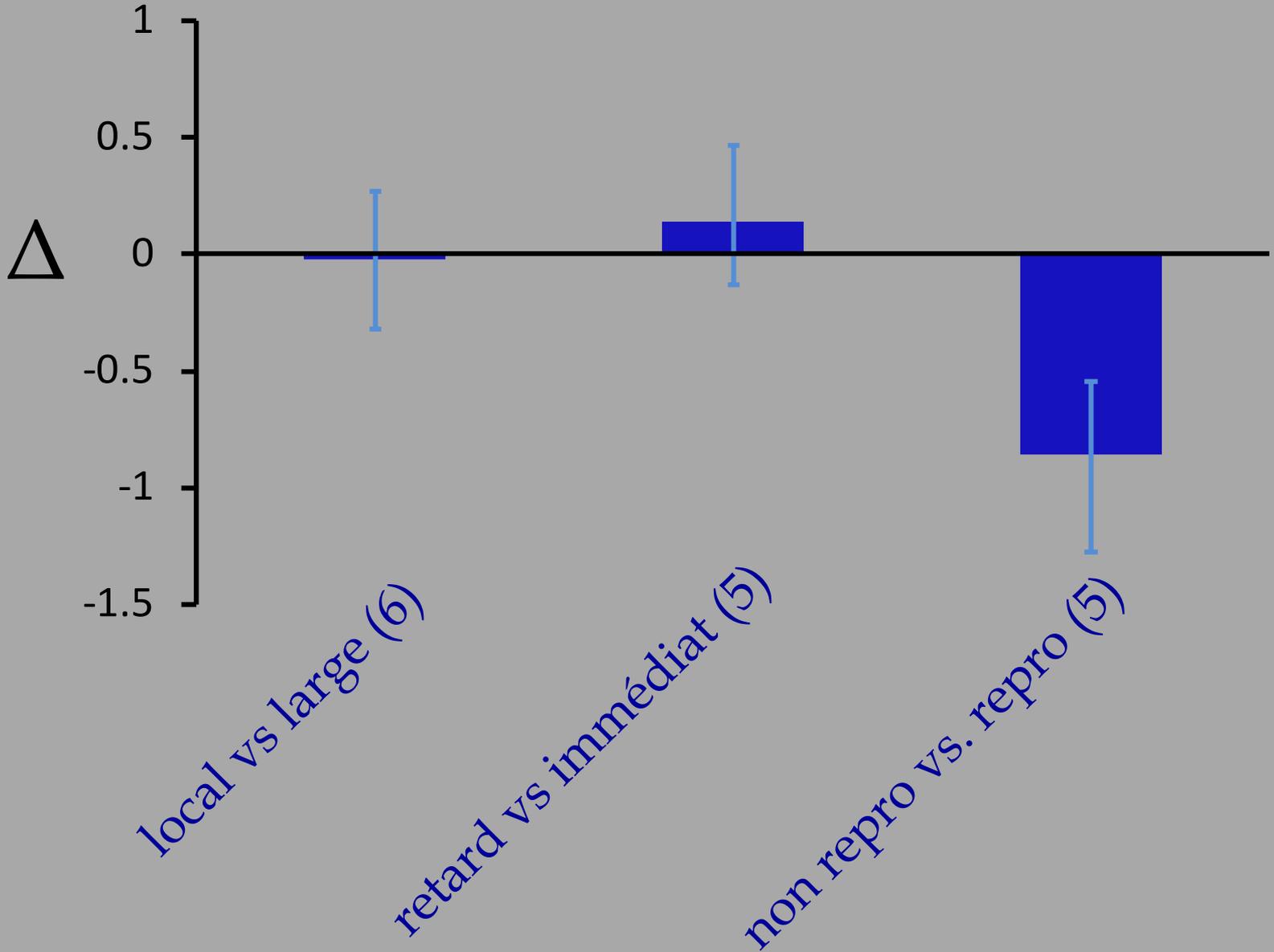
Facteurs climatiques caractérisés par des variables dichotomiques

- Echelle spatiale: Large / Locale
- Timing: Effet retard / Effect simultané
- Période de l'année: Saison de reproduction / Hors saison de reproduction

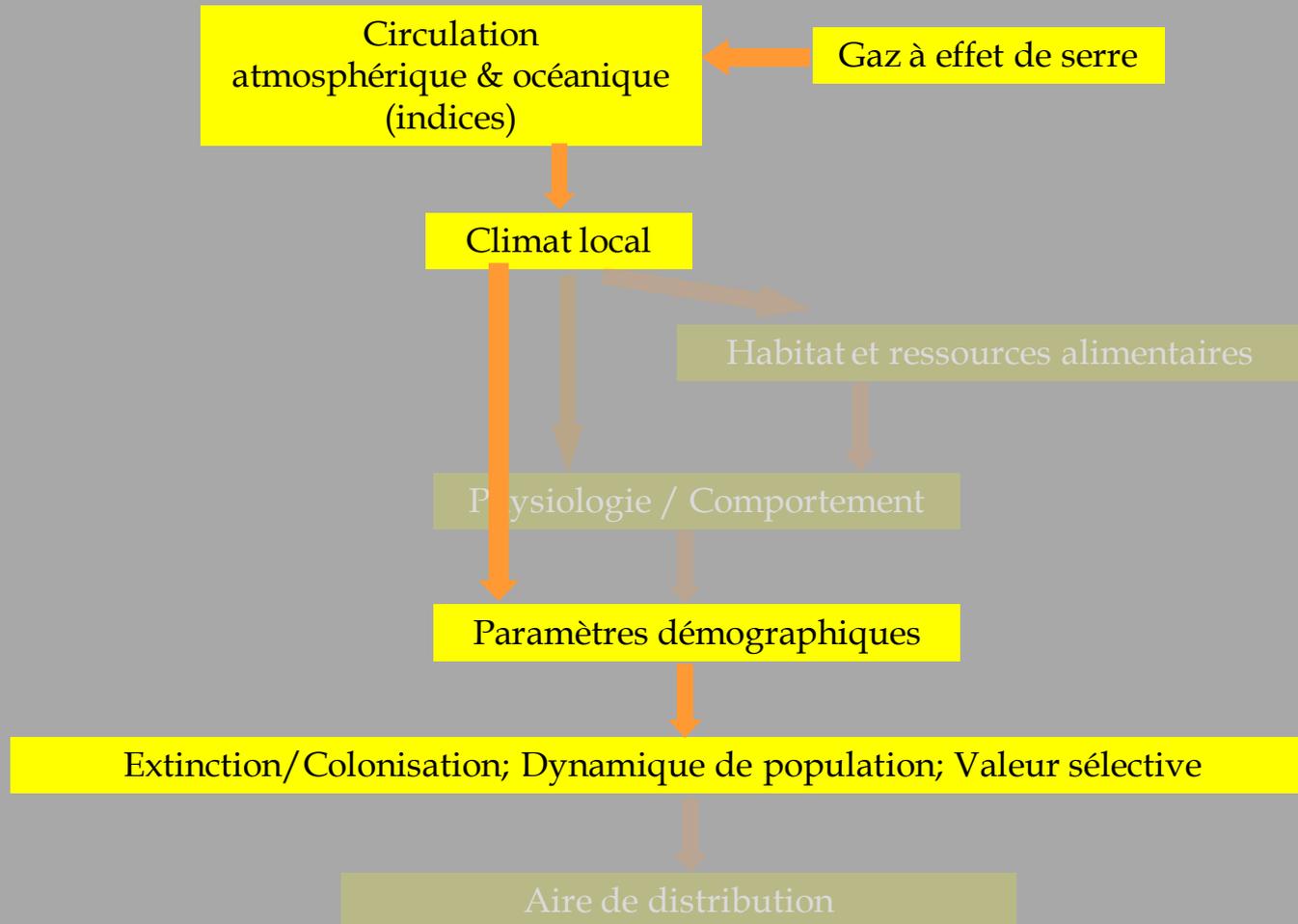
Analyse des différences de taille d'effet obtenues pour les deux types de facteurs climatiques

- Selection des études de cas dans lesquelles les deux types de variables ont été testées
- Δ reflète la différence de taille d'effet obtenue pour les deux types de variables climatiques
- Tester l'hypothèse $\Delta=0$

Axe méta-analyse: variation des tailles d'effet en fonction des caractéristiques des facteurs climatiques



Priorité: construction et étude de modèles prédictifs basés sur les processus démographiques



Etudes de sensibilité des populations aux changements de moyenne et variance des facteurs climatiques.