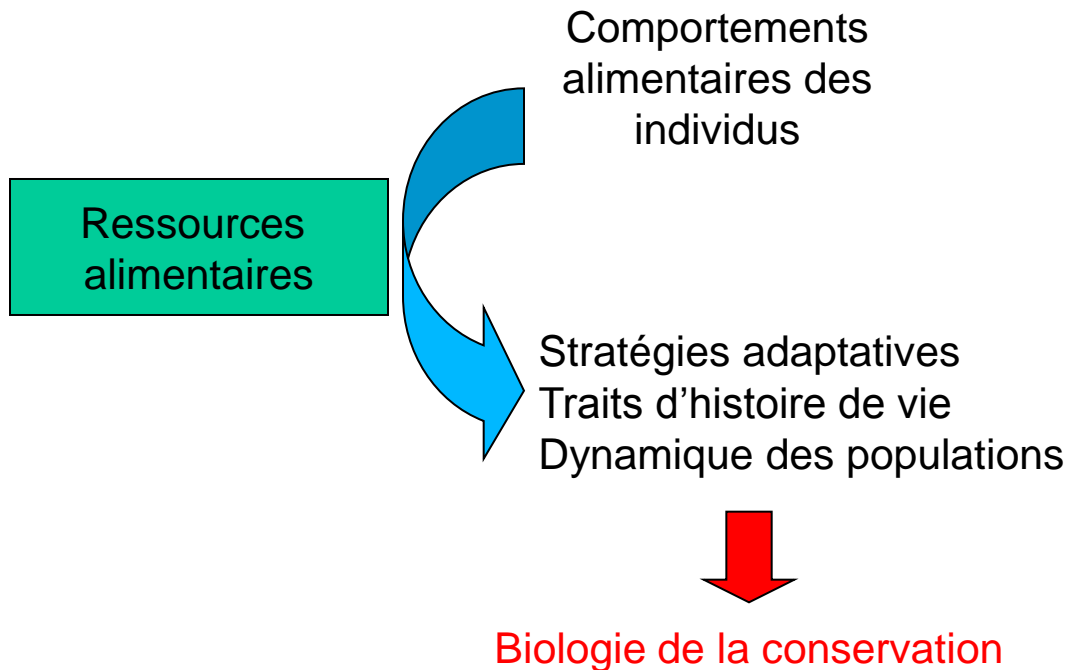


# Ecologie comportementale

## Optimal foraging et conservation

Olivier Duriez

olivier.duriez@cefe.cnrs.fr



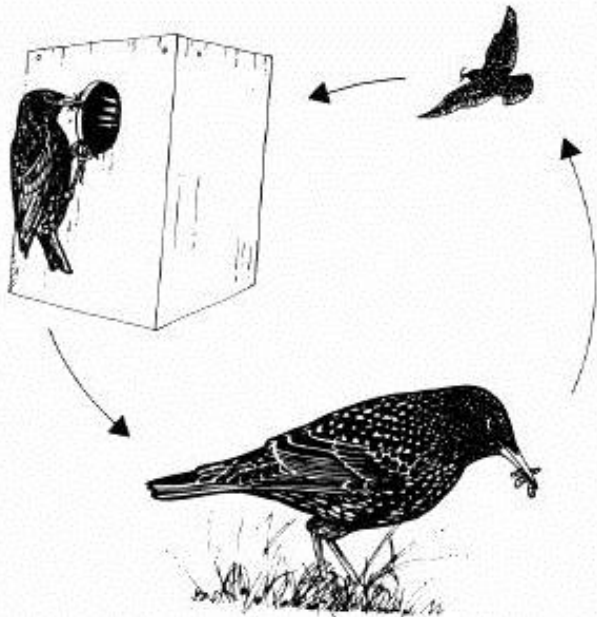
# Modèles d'optimalité

- Approche par les coûts et bénéfices => compromis
  - *Fitness* (valeur adaptative) => survie et reproduction
  - Mesures + pratiques (dépenses énergétiques, masse repas, réserves corporelles...)
- Concepts économiques appliqués à l'écologie
  - McArthur & Pianka 1966
- 3 composantes
  1. But (*currency = devise de conversion*)
    - Maximiser gain d'énergie, échapper à la prédation...
  2. Contraintes
    - Distances à parcourir, progéniture à nourrir...
  3. Variable de décision
    - Quand s'arrêter de se nourrir pour aller nourrir la progéniture? => variable = s'arrêter ou continuer

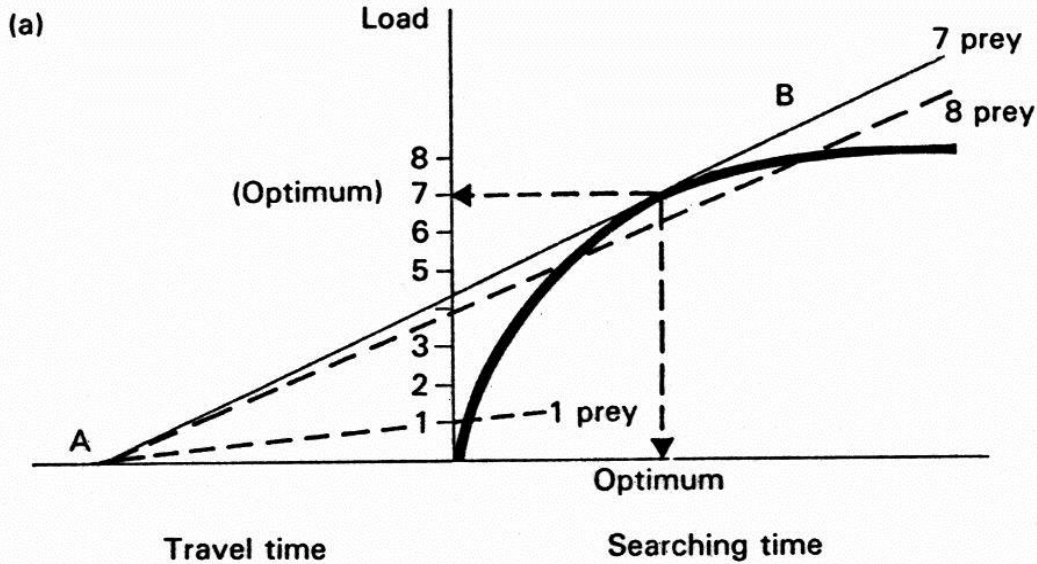
# optimal foraging

Ex Etourneau (*Sturnus vulgaris*)

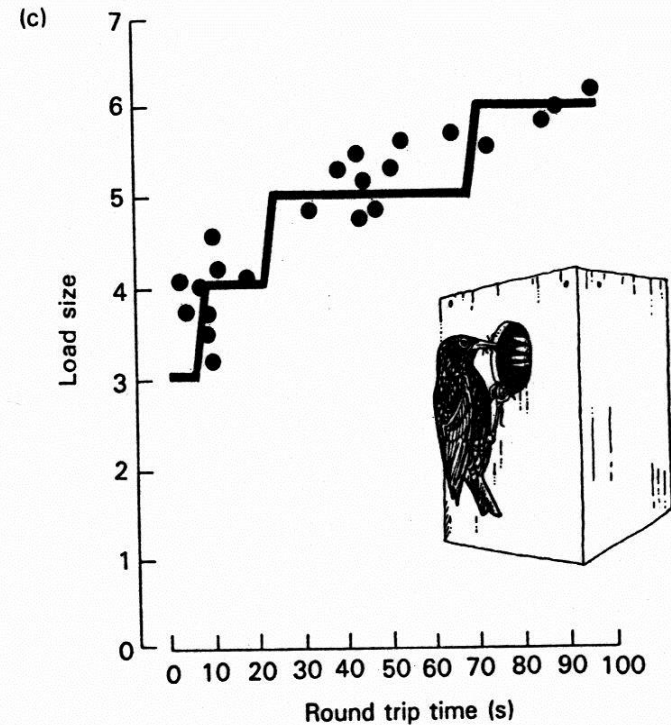
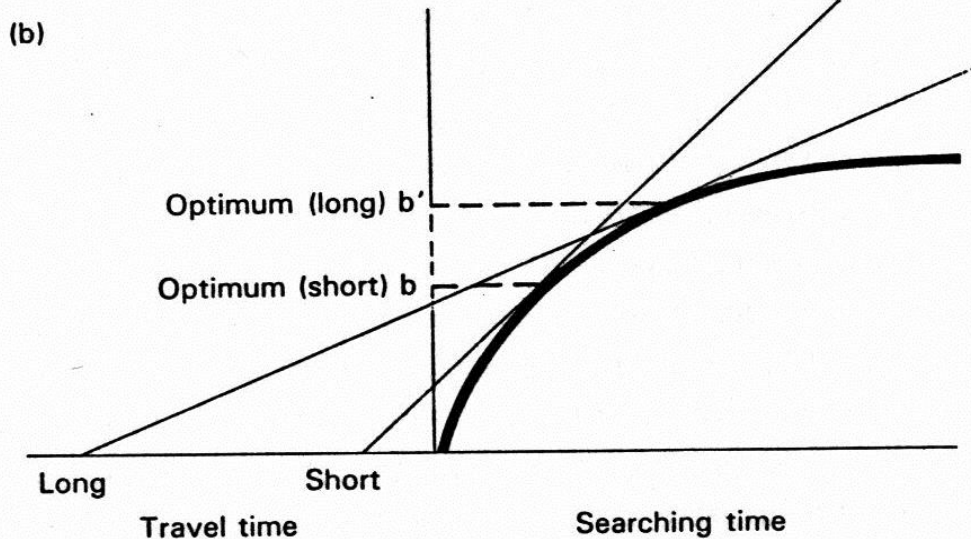
- Passereau: longévité <5 ans
  - investissement dans reproduction: >5 poussins
- But = maximiser apports nourriture aux poussins en minimisant la dépense énergétique du parent
- Contraintes:
  - Transport des vers dans le bec → efficacité de capture diminue quand nb proies déjà capturées augmente
  - Vol coûte cher en énergie → coût augmente qd nb proies augmente et qd nb voyages augmente (→ 400 voyages/j)
- Variables de décision: *combien de proies faut-il amener à chaque voyage pour maximiser l'apport de nourriture aux poussins?*



# Théorème de la valeur marginale



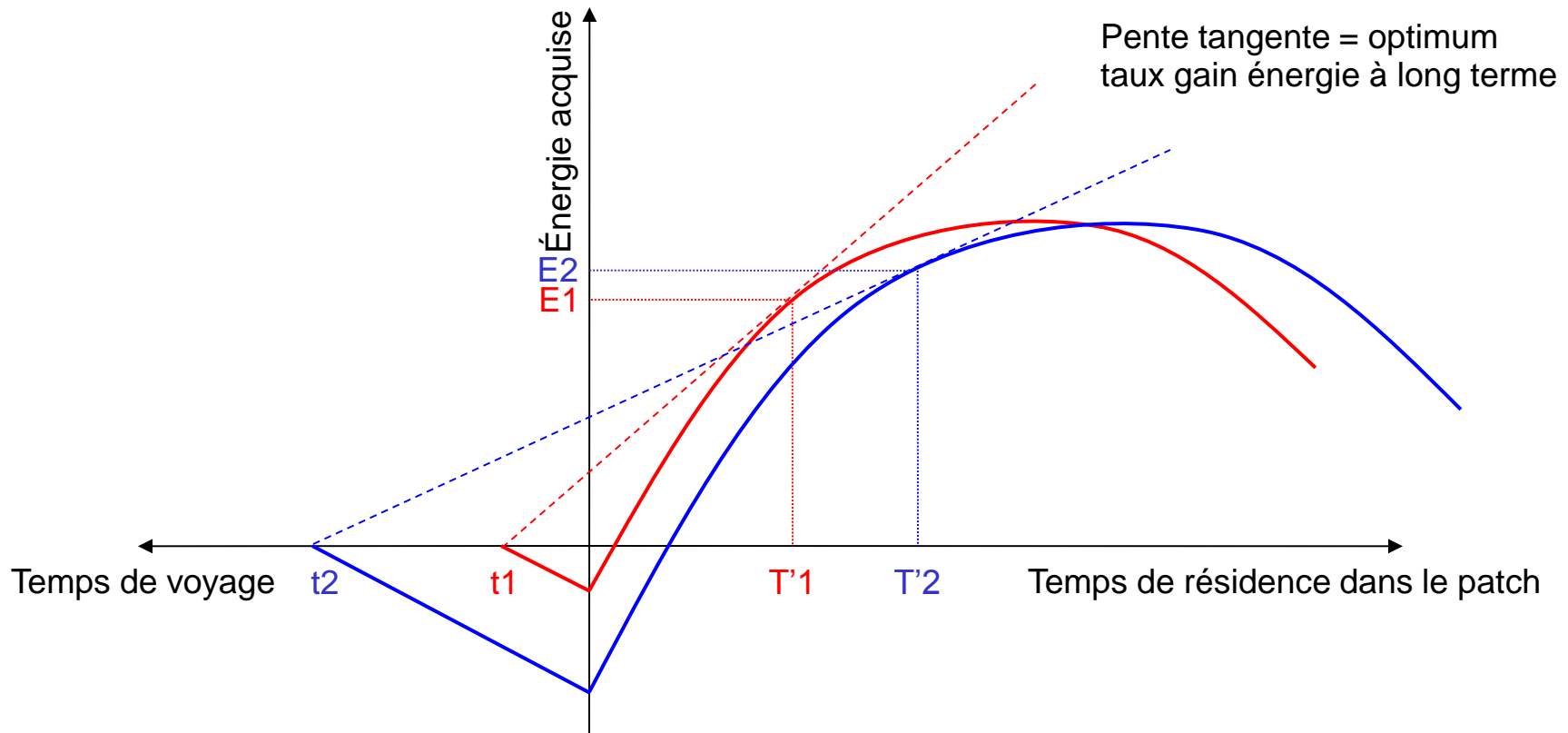
Pente = charge / (T trajet + T alim)  
 = taux d'apport de proies  
 → Taux max quand pente max



# Théorème de la valeur marginale

## Théorème de la valeur marginale (Charnov 1976)

- Patch = ressource limitée → déplétion → profitabilité diminue
- *À quel moment faut-il changer de patch?*



Temps de résidence optimal = taux d'ingestion espéré au moment où il quitte le patch au moins égal au taux d'ingestion moyen à long terme dans l'ensemble des autres patches

# limites du théorème de la valeur marginale

- Règles de décision (*rules of thumbs*)

Comment l'animal peut résoudre ces problèmes théoriques très complexes sans ordinateur ??? → SIMPLEMENT

⇒ Règles de décision simples dont la performance s'approche du modèle théorique

1. Règle de nombre: “quitte le patch après  $n$  proies”
2. Règle de temps: “quitte le patch après  $t$  secondes”
3. Règle de temps d'abandon: “quitte le patch après  $g$  secondes de recherche infructueuse”
4. Règle de taux: “quitte le patch quand le taux d'ingestion tombe sous un valeur critique  $r$ ”

Ces règles fonctionnent ± bien selon nombre patches, hétérogénéité, connaissance de la qualité du patch...

- Th. valeur marginale inadéquat pour prédire décisions quand:
  - Compromis entre différentes activités (alim / vigilance...)
  - Variations décisions selon l'état interne de l'animal (réserves)
  - Environnement est stochastique (jamais prévisible)

# Limites du théorème de la valeur marginale

- *Tamias rayé* (*Tamias striatus*)
  - Alimenté graines tournesol à différentes distances du terrier



→ Modèle prédit une augmentation du temps dans la parcelle et une accumulation plus importantes de graines quand distance augmente

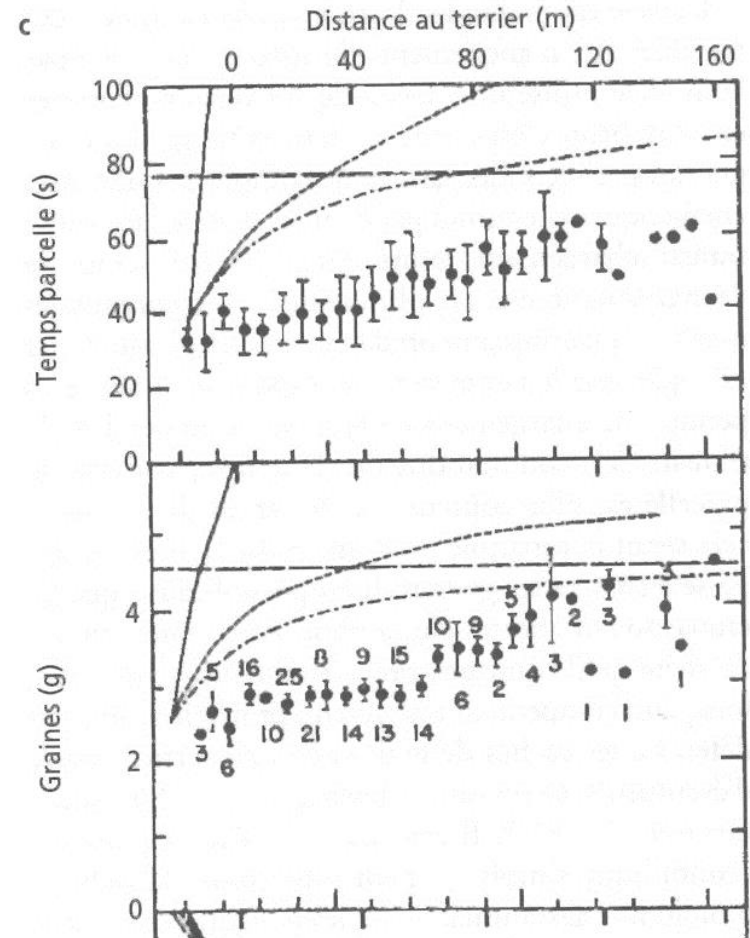
→ Mesures en accord qualitatif mais pas quantitatif

→ il manque des paramètres...

**Prédation**

Territorialité

**Manipulation aliments...**



# Choix de la proie

Temps de manipulation vs. Valeur énergétique de l'aliment

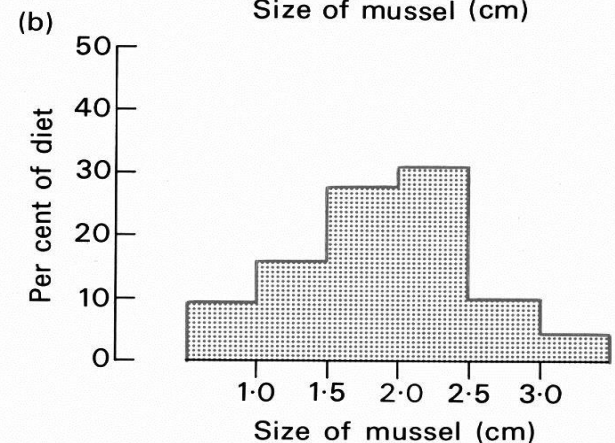
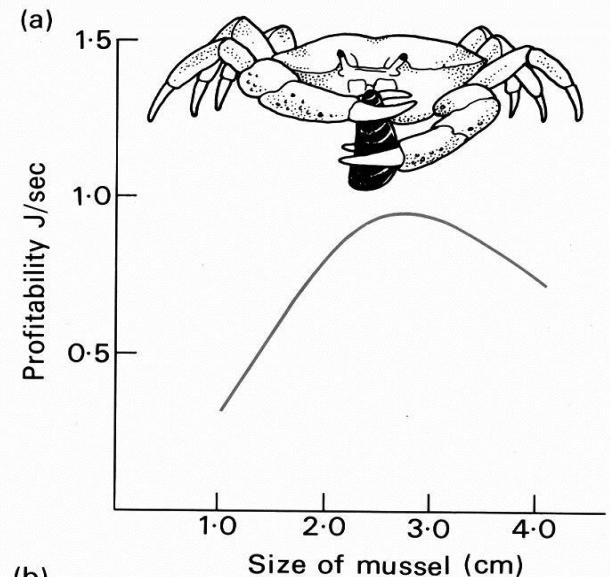
Ex crabes (*Carcinus maenas*)

- Les grosses moules sont riches en nutriments mais sont longues à manipuler
- les petites moules sont faciles à manipuler mais pauvres en nutriments

⇒ Choix taille intermédiaire pour optimiser la profitabilité

Mais pourquoi utiliser quand même quelques moules extrêmes?

⇒ influence temps de recherche:  
intérêt de consommer qq proies moins profitables plutôt que d'attendre de trouver une proie de la taille idéale



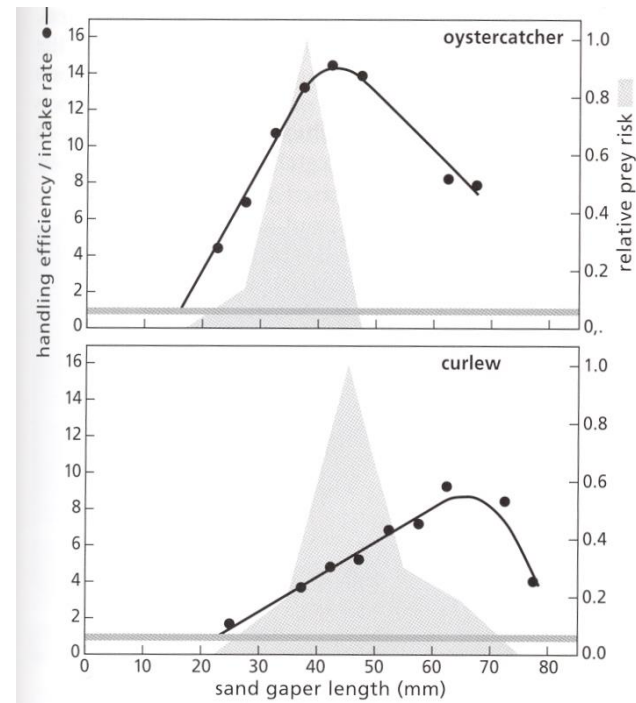
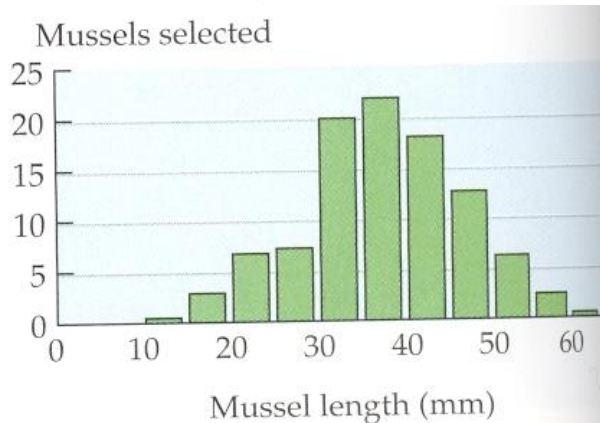
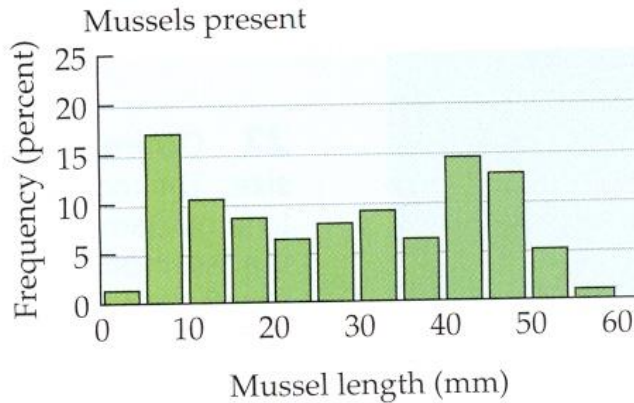


# Choix de la proie

Temps de manipulation vs. Valeur énergétique de l'aliment

Ex huitriers pies (*Haematopus ostralegus*)

→ Choix taille intermédiaire pour optimiser la profitabilité



# Choix de la proie: contraintes physiologiques

Herbivores: nourriture pauvre en nutriments essentiels et difficile à digérer

Ex élan (*Alces alces*)

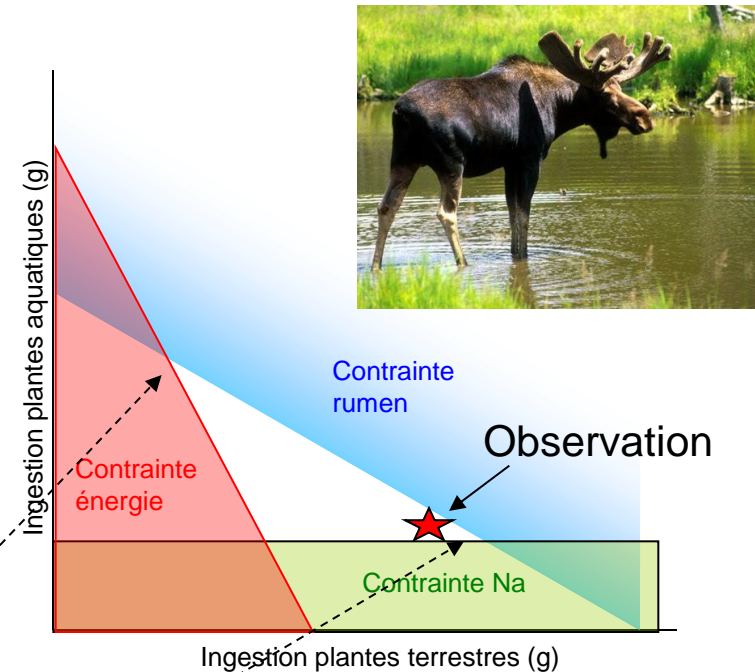
- plantes aquatiques riches en Na et peu énergétiques
- plantes terrestres pauvres en Na mais plus énergétiques et plus digestes
- rumen limite capacité d'ingestion

⇒ Quel est le régime optimal ?

⇒ le régime optimal se trouve dans le triangle, mais où?

- pour maximiser Na → max plantes aquatiques
- pour minimiser le temps dans l'eau et maximiser énergie

⇒ élan choisit de maximiser taux d'ingestion d'énergie quotidien

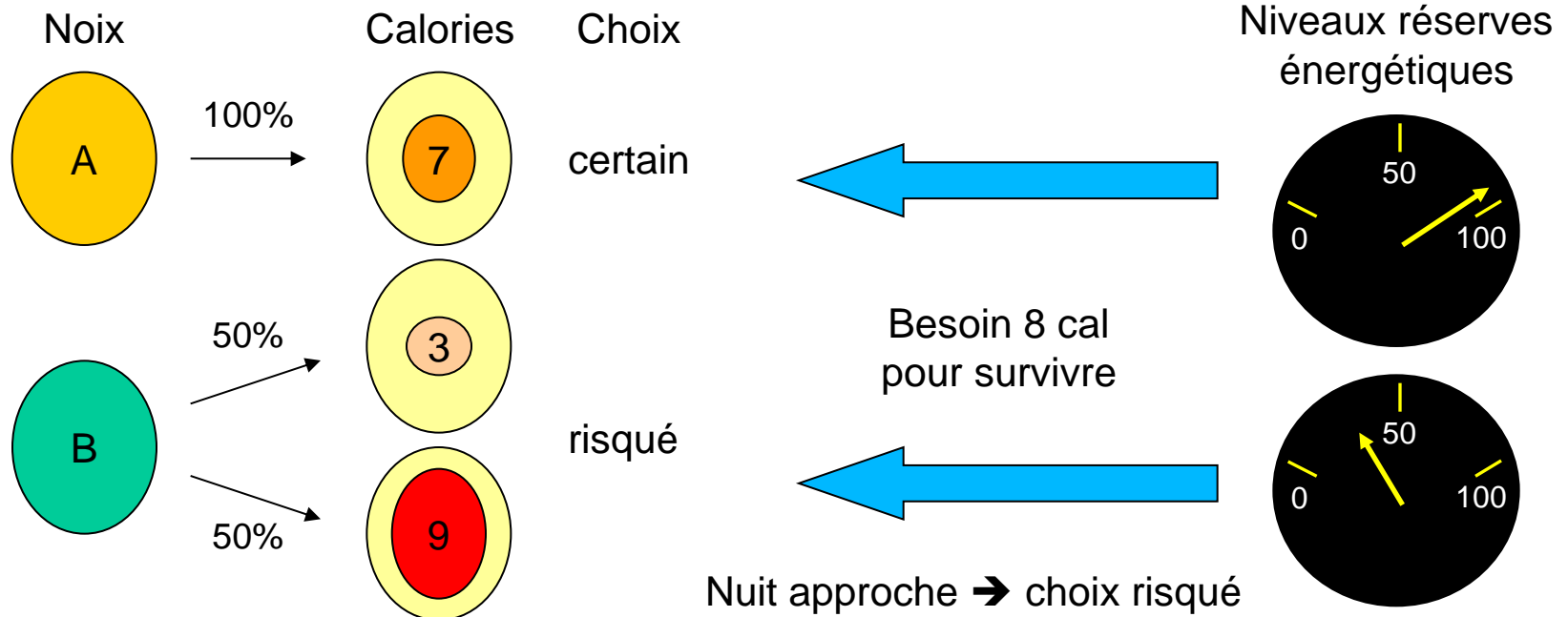


# Sensibilité au risque

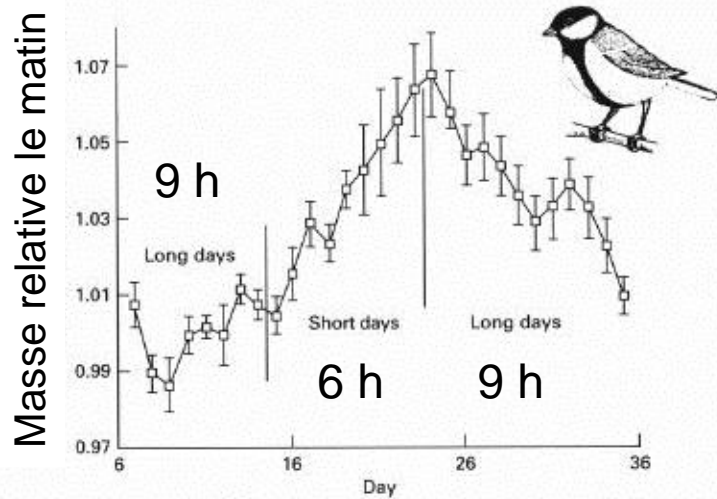
Le comportement dans un patch change selon le danger

Ex passereaux en hiver → risque de mort de faim

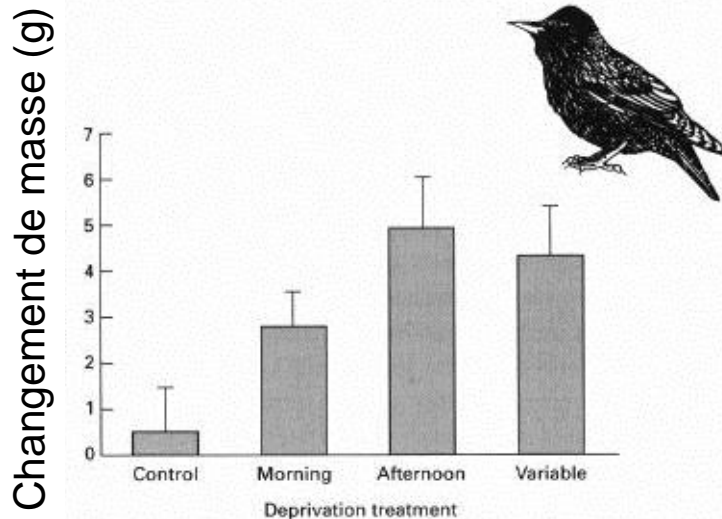
- *Enclin au risque (Risk-prone)* (« flambeurs »: préf. Risque / certitude)
- *Aversion au risque (Risk-averse)* (« épargnant »: préf. Certitude / risque)
- Variations selon la prévisibilité du milieu (variance)



# sensibilité au risque: réserves énergétiques



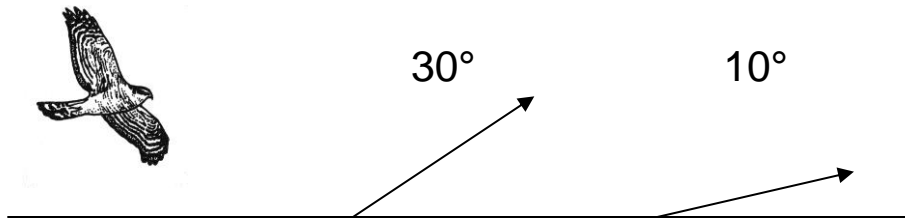
- Exp mésanges (*Parus major*)
- variation photopériode = variation du temps d'alimentation
  - Augmentation masse corporelle quand période alimentation diminue



- Exp étourneau
- interruptions provoquées pendant les périodes d'alimentation
  - Dans tous les cas, augmentation masse corporelle = réserves énergétiques
  - Augmentations plus fortes quand les interruptions ont lieu l'après-midi ou n'importe quand

# réserves énergétiques et risque de prédation

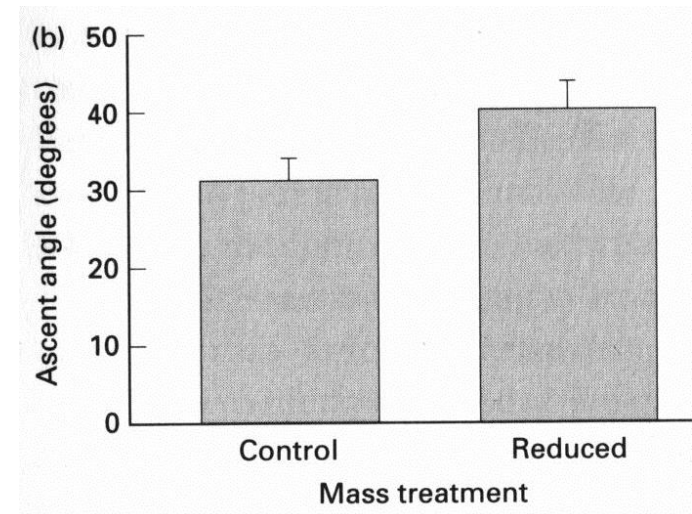
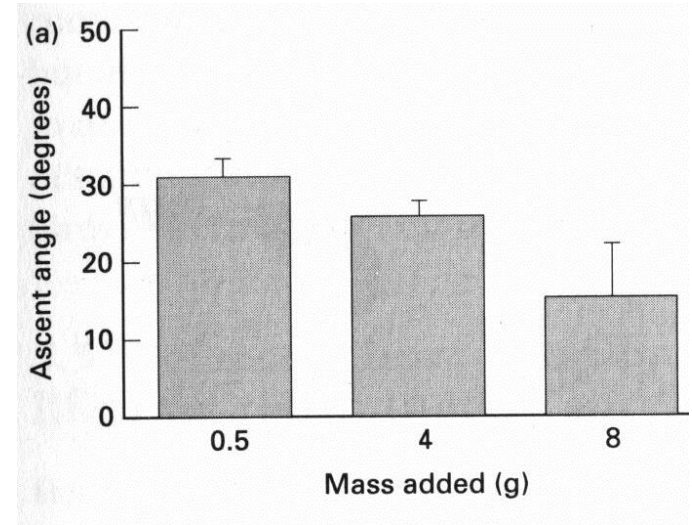
- Exp étourneaux
- ajout de poids (handicap) ou cure d'amaigrissement
- leurre de prédateur
- mesure angle d'envol



→ L'angle d'envol diminue quand l'oiseau est plus lourd

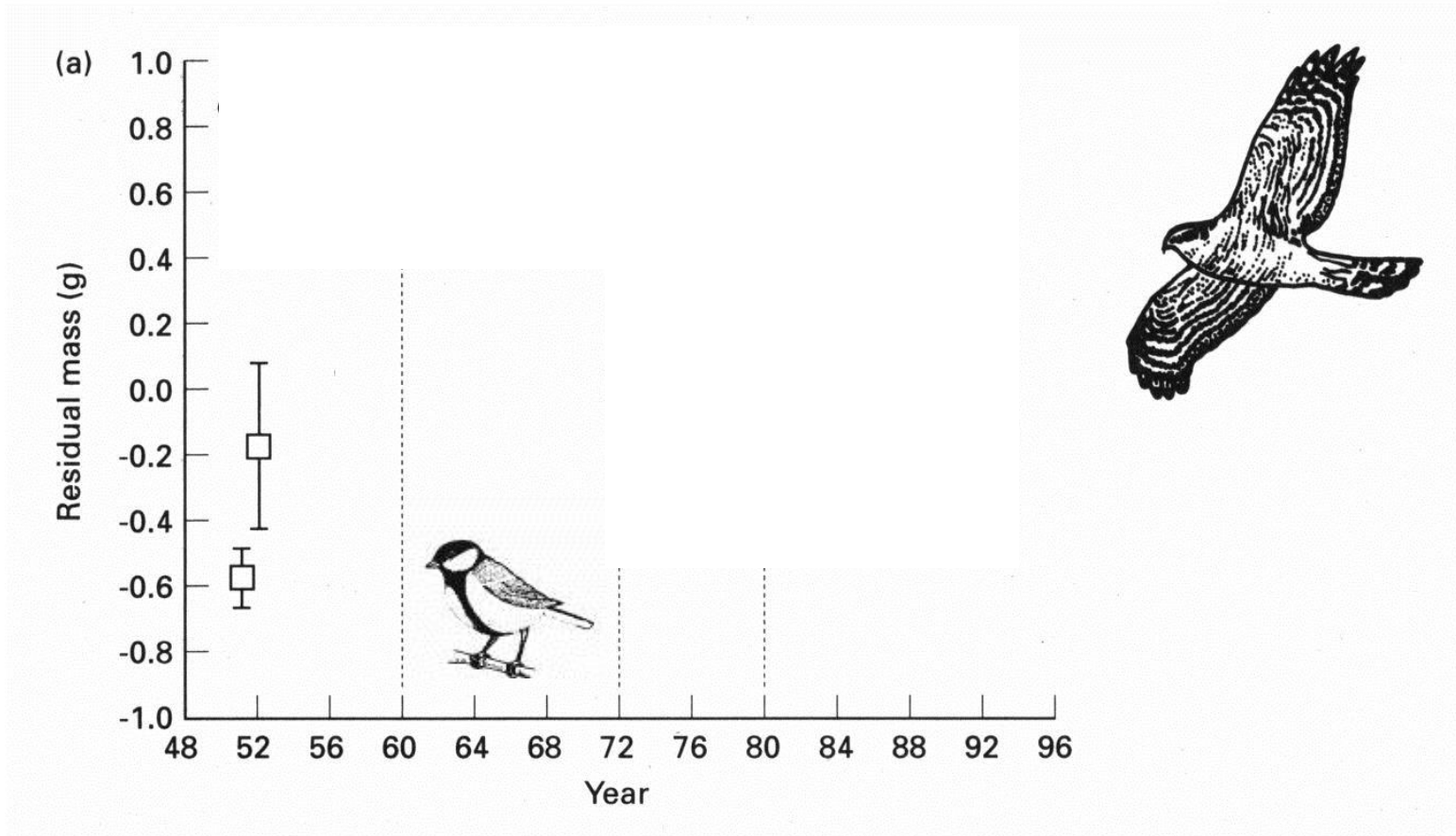
→ Surplus de poids handicape les oiseaux à l'envol

→ risque de prédation important



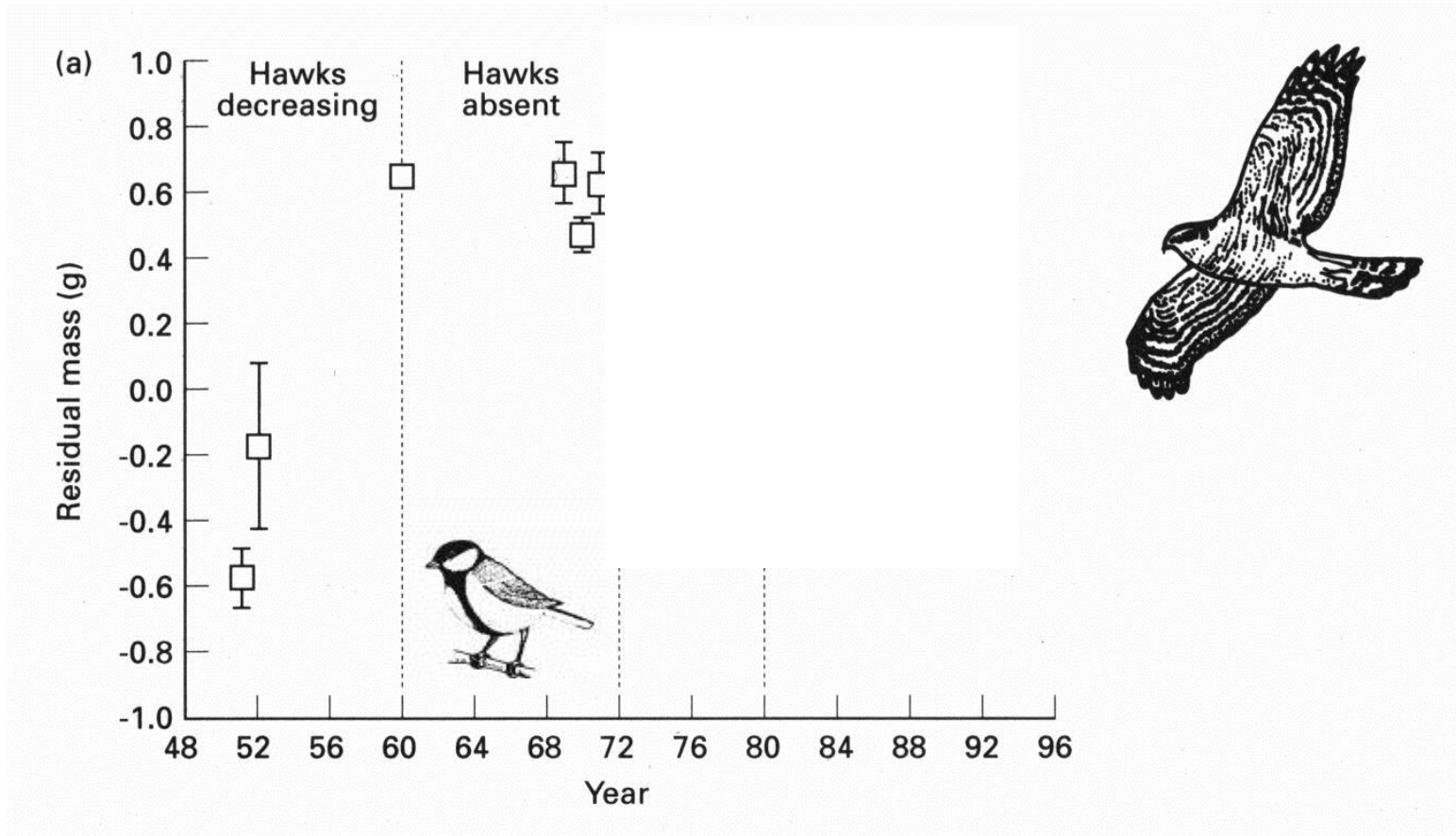
# réserves énergétiques et risque de prédation

Exp: comparaison de la masse d'une population de mésanges (UK) à des périodes avec / sans prédateur (disparition rapaces par DDT)



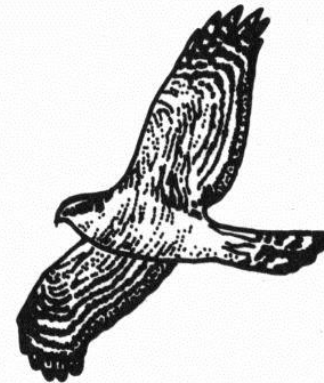
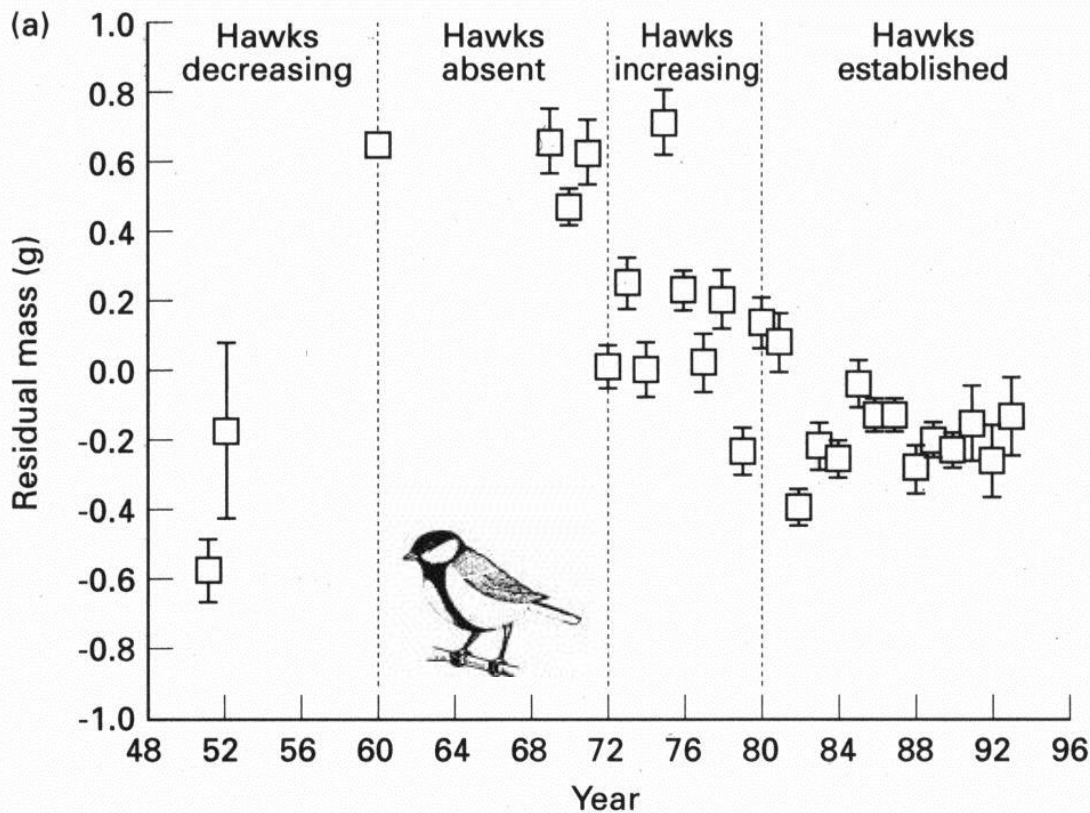
# réserves énergétiques et risque de prédation

Exp: comparaison de la masse d'une population de mésanges (UK) à des périodes avec / sans prédateur (disparition rapaces par DDT)



# réserves énergétiques et risque de prédation

Exp: comparaison de la masse d'une population de mésanges (UK) à des périodes avec / sans prédateur (disparition rapaces par DDT)



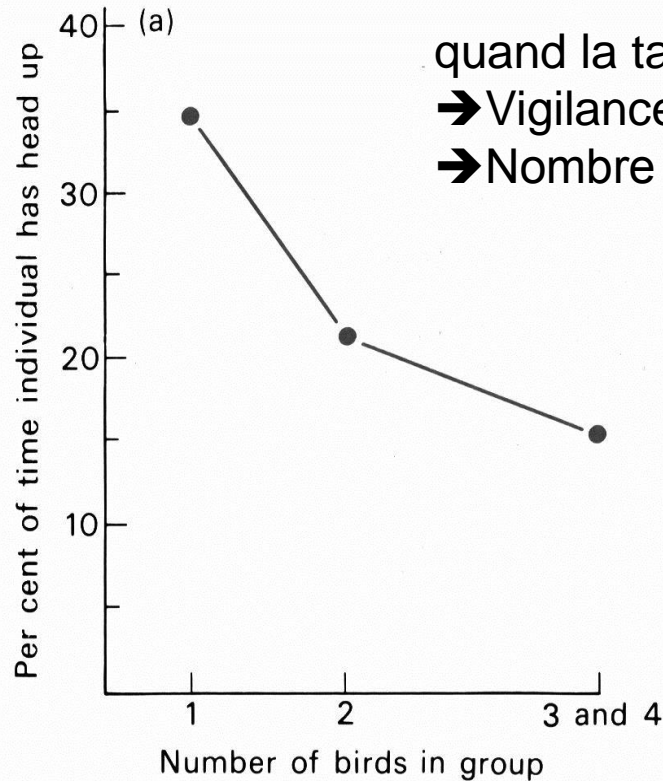
→ Le niveau de graisse augmente quand les prédateurs sont absents

→ Compromis stocker des réserves / risque de prédation



# Le grégarisme

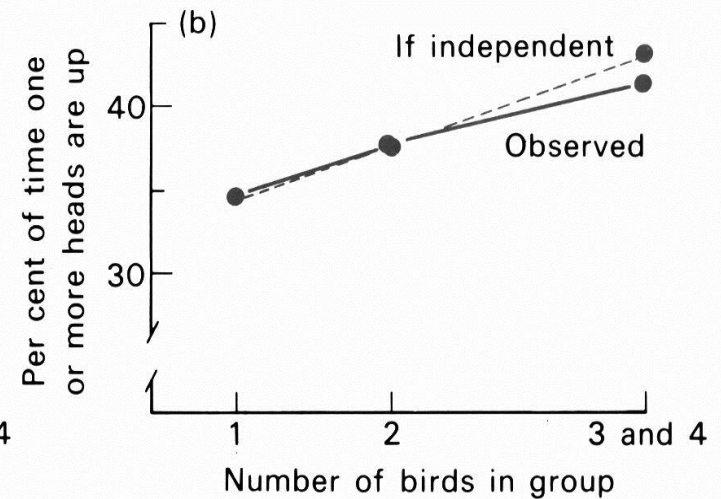
Une des solutions pour résoudre le compromis alimentation / prédation  
⇒ Principal avantage: multiplier l'effort de vigilance global tout en laissant plus de temps à chaque individu pour s'alimenter



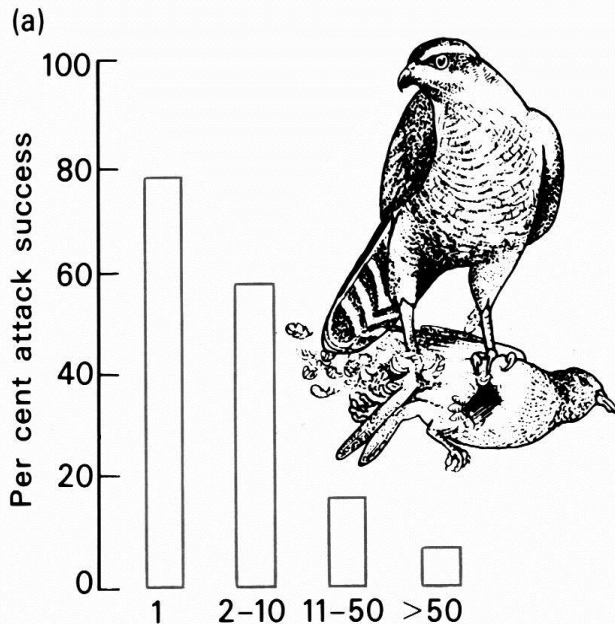
quand la taille du groupe augmente

→ Vigilance individuelle diminue

→ Nombre d'oiseaux en vigilance augmente

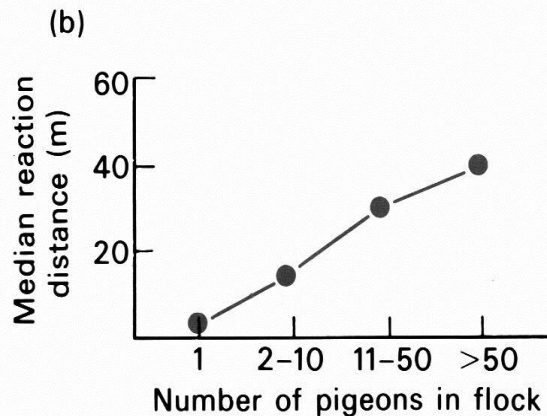


# Le grégarisme



Autour des palombes / vols pigeons

- % attaques réussies diminue quand la taille du groupe augmente



- Diminuer l'efficacité de l'attaque du prédateur en le repérant plus tôt

- Diluer dans la masse du groupe la probabilité d'être soi-même la proie

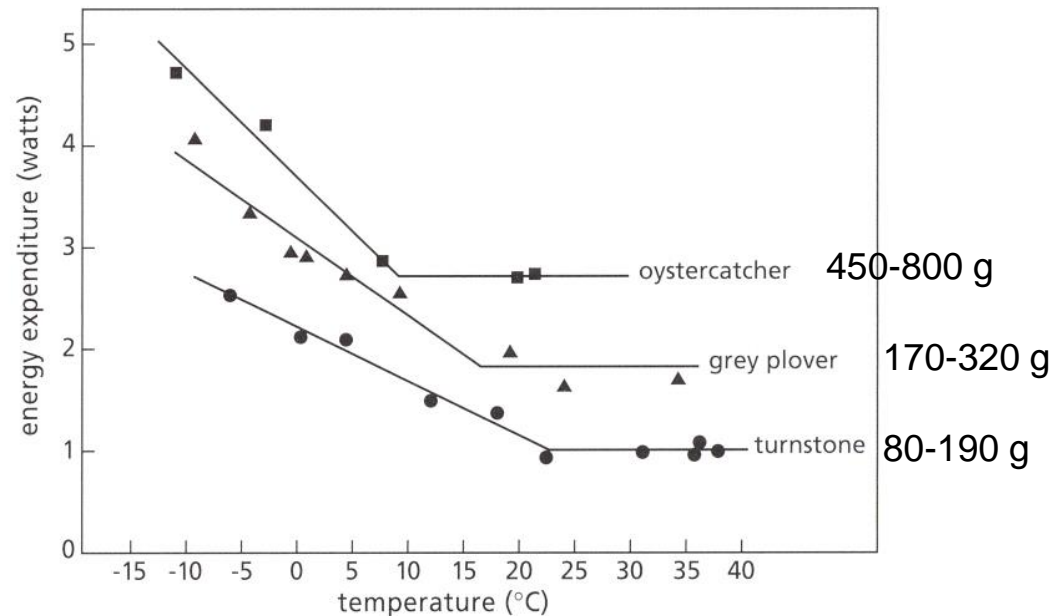
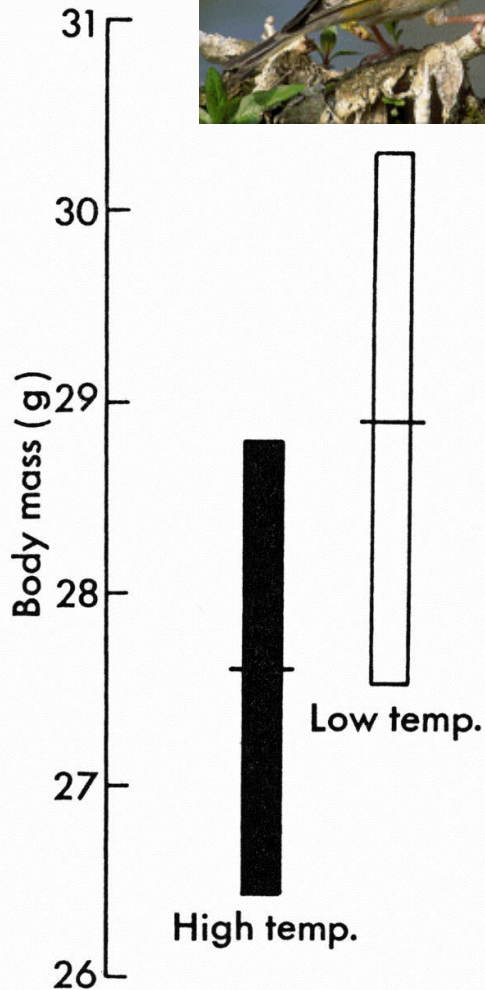
# réserves énergétiques et environnement



Ex verdiers (*Carduelis chloris*) maintenus à 20°C puis à 15°C

=> Masse augmente à faible température

Les réserves énergétiques permettent de tamponner les pertes de chaleur + impossibilité temporaire de s'alimenter en hiver



# Distribution libre idéale

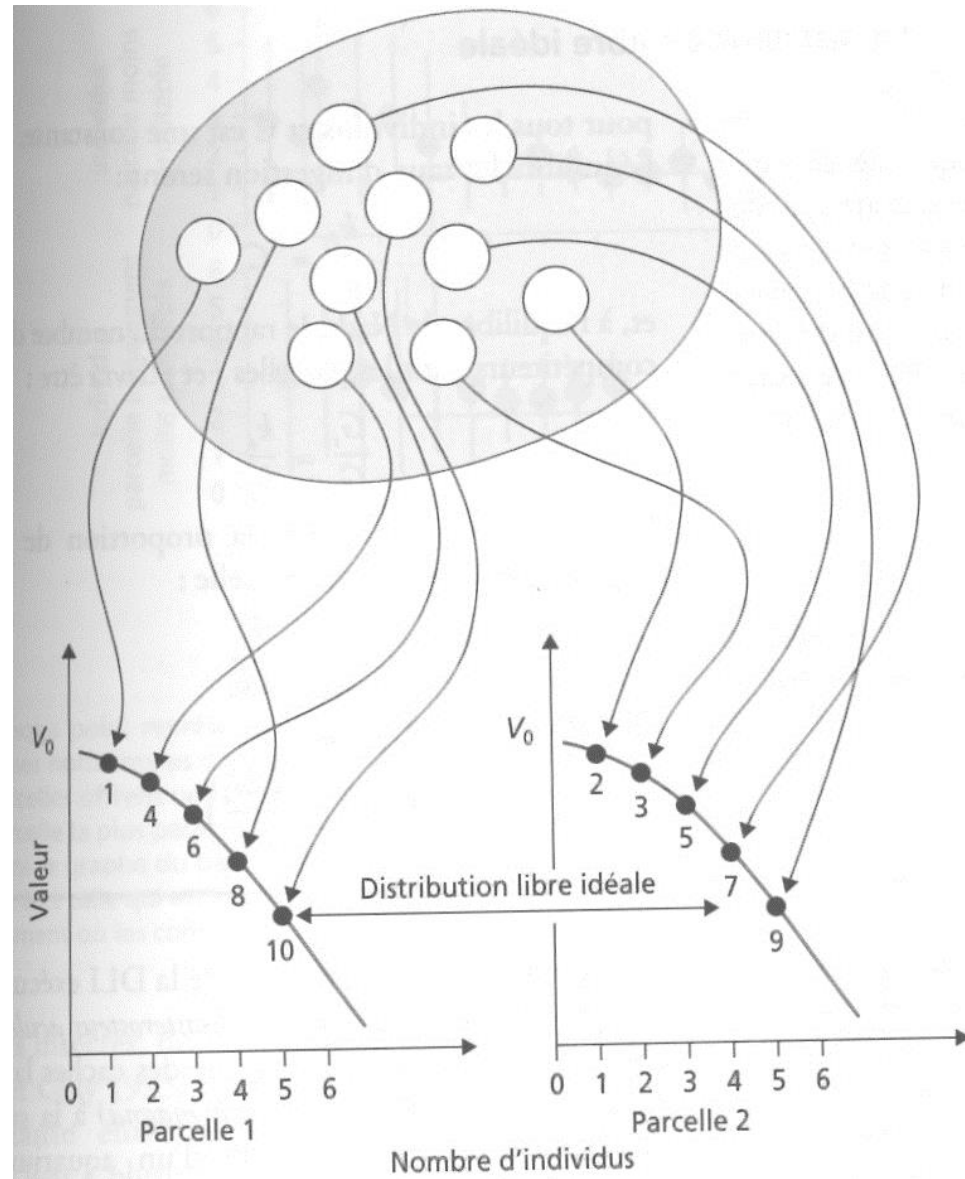
Fretwell & Lucas 1970: tous les individus se répartissent dans leur habitat de telle manière qu'ils puissent maximiser leur fitness, à condition qu'ils soient libres de leurs déplacements.

## Présupposés

- Pas de limite au nb de compétiteurs qui peuvent exploiter la ressource
- Individus libres de choisir où aller
- Individus « idéaux » omniscients sur la qualité des sites...

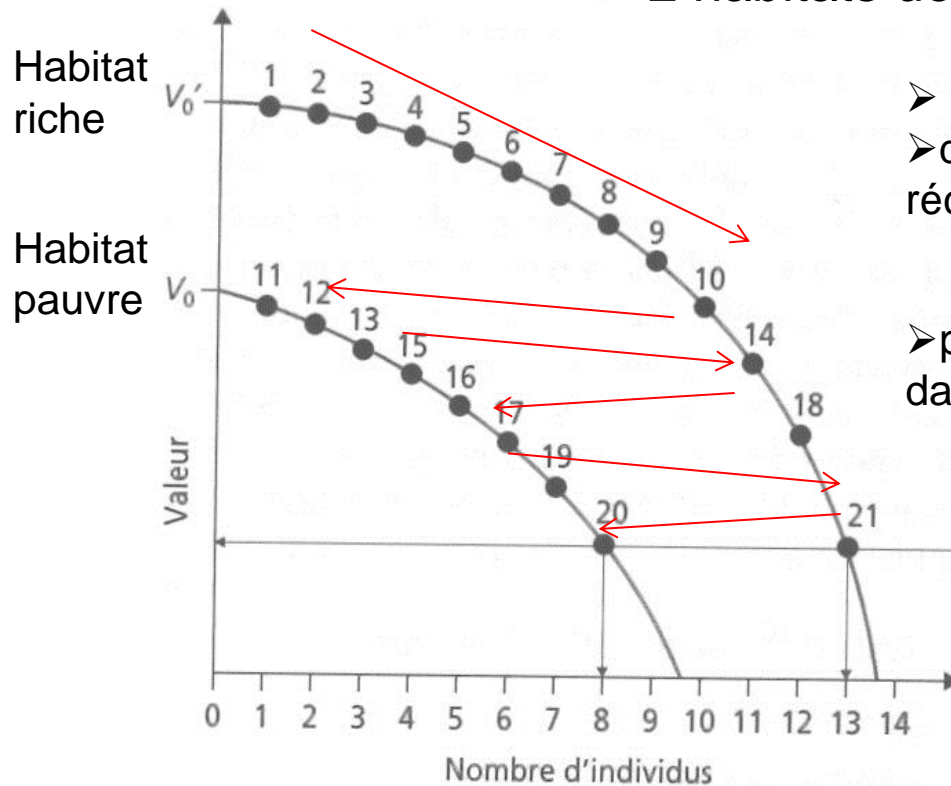
## Ex: 2 habitats de valeur égale

- premiers: habitat riche
- suivants: déplétion => baisse de la récompense par individu
- 2 habitats sont occupés de telle manière que les récompenses par individu soient les mêmes dans les 2



# Distribution libre idéale

## 2 habitats de valeur différente



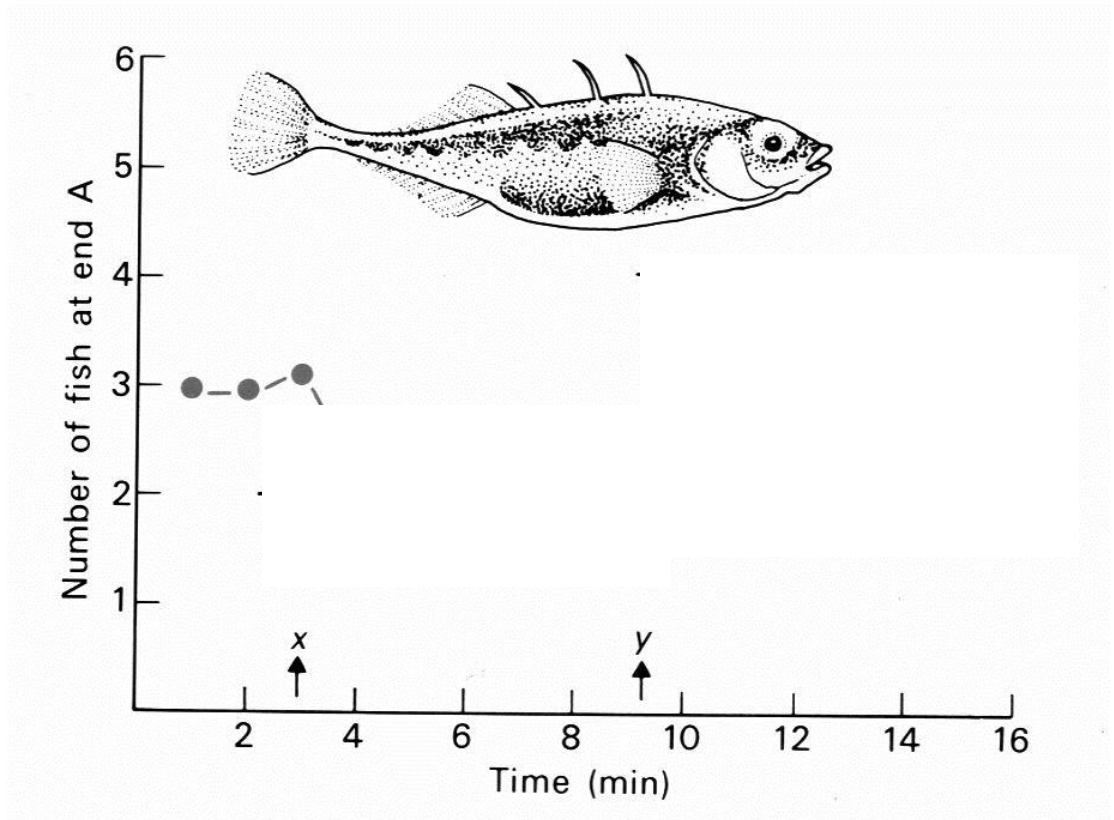
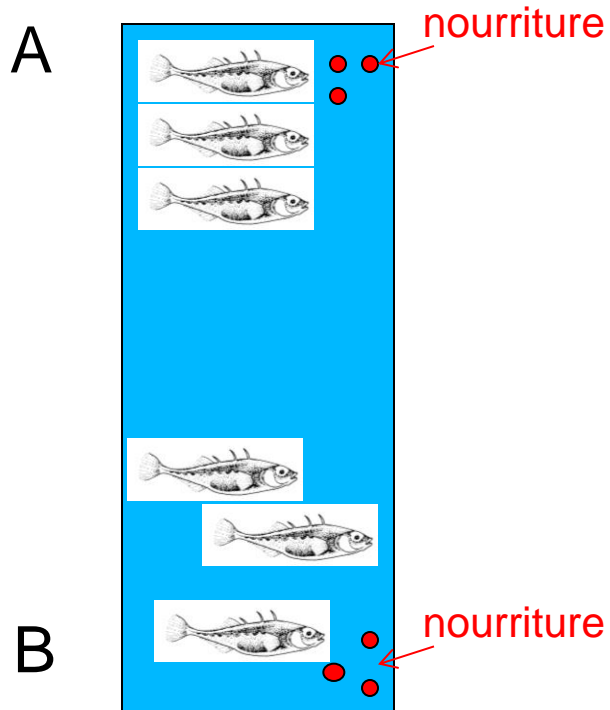
- 10 premiers: habitat riche
- déplétion progressive => baisse récompense par individu

- passé 10 compétiteurs => intéressant d'aller dans habitat pauvre

➔ Les 2 habitats sont occupés de telle manière que les récompenses par ind. soient les mêmes dans les 2

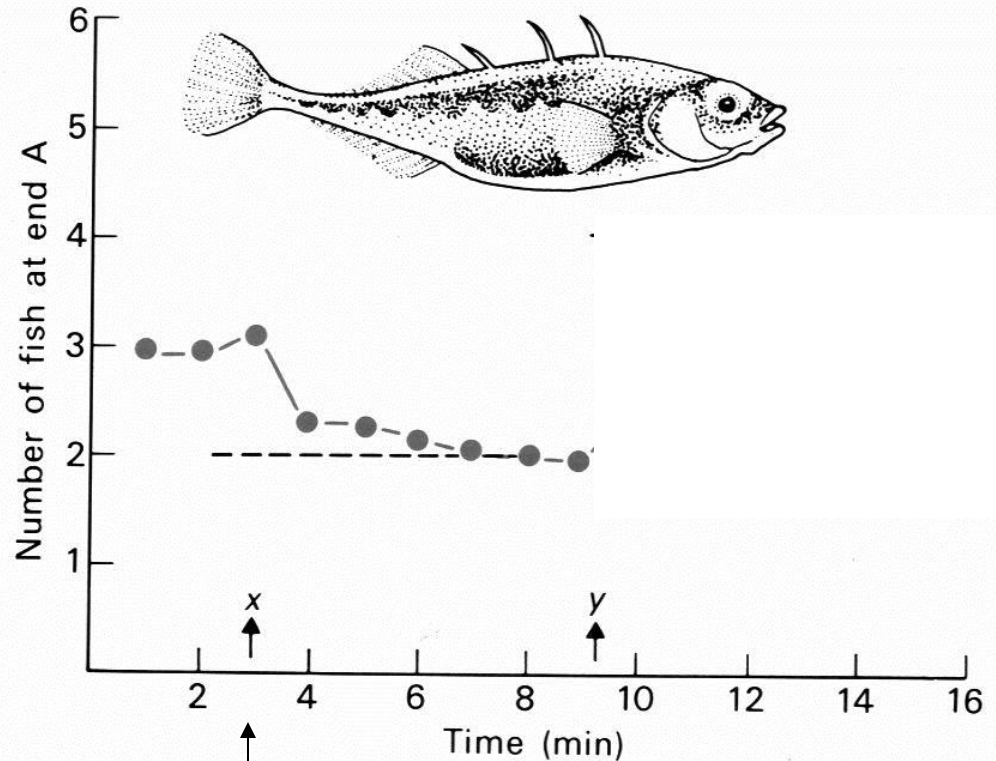
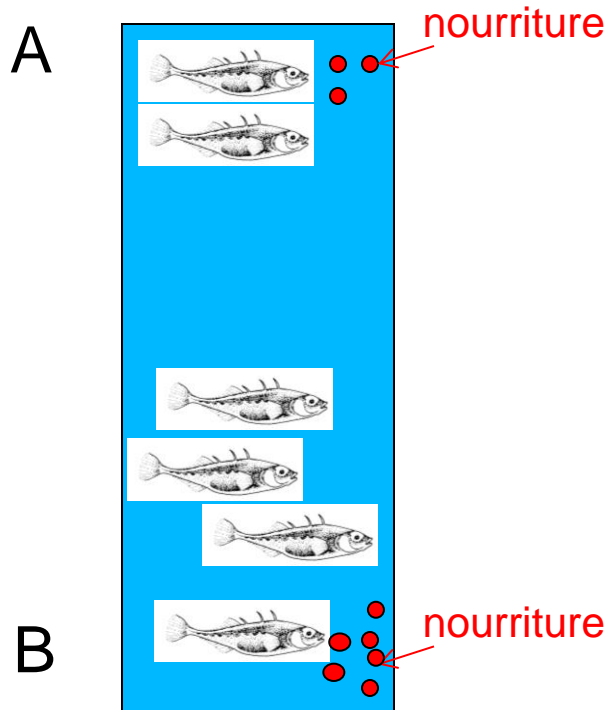
# Distribution libre idéale

Ex: 6 épinoches dans un aquarium



# Distribution libre idéale

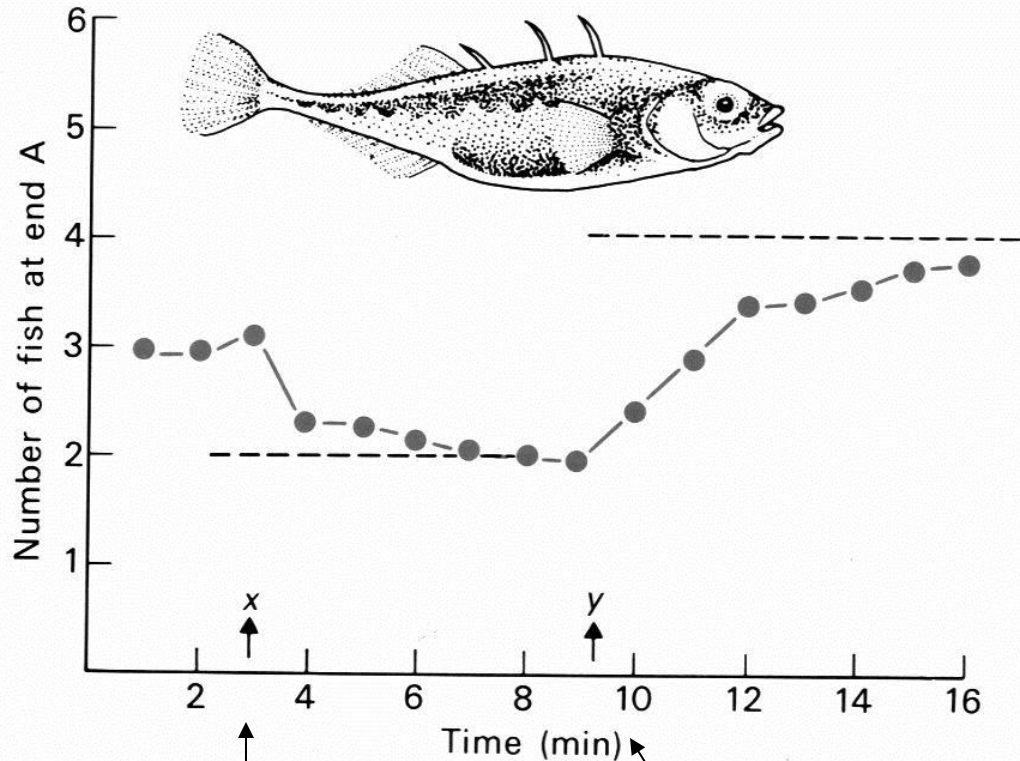
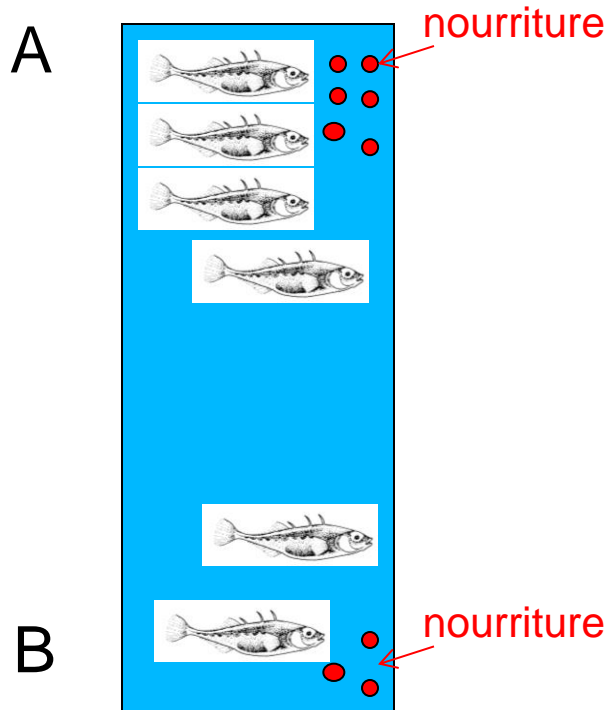
Ex: 6 épinoches dans un aquarium



2 fois plus de nourriture placée à l'extrémité B qu'à l'extrémité A

# Distribution libre idéale

Ex: 6 épinoches dans un aquarium

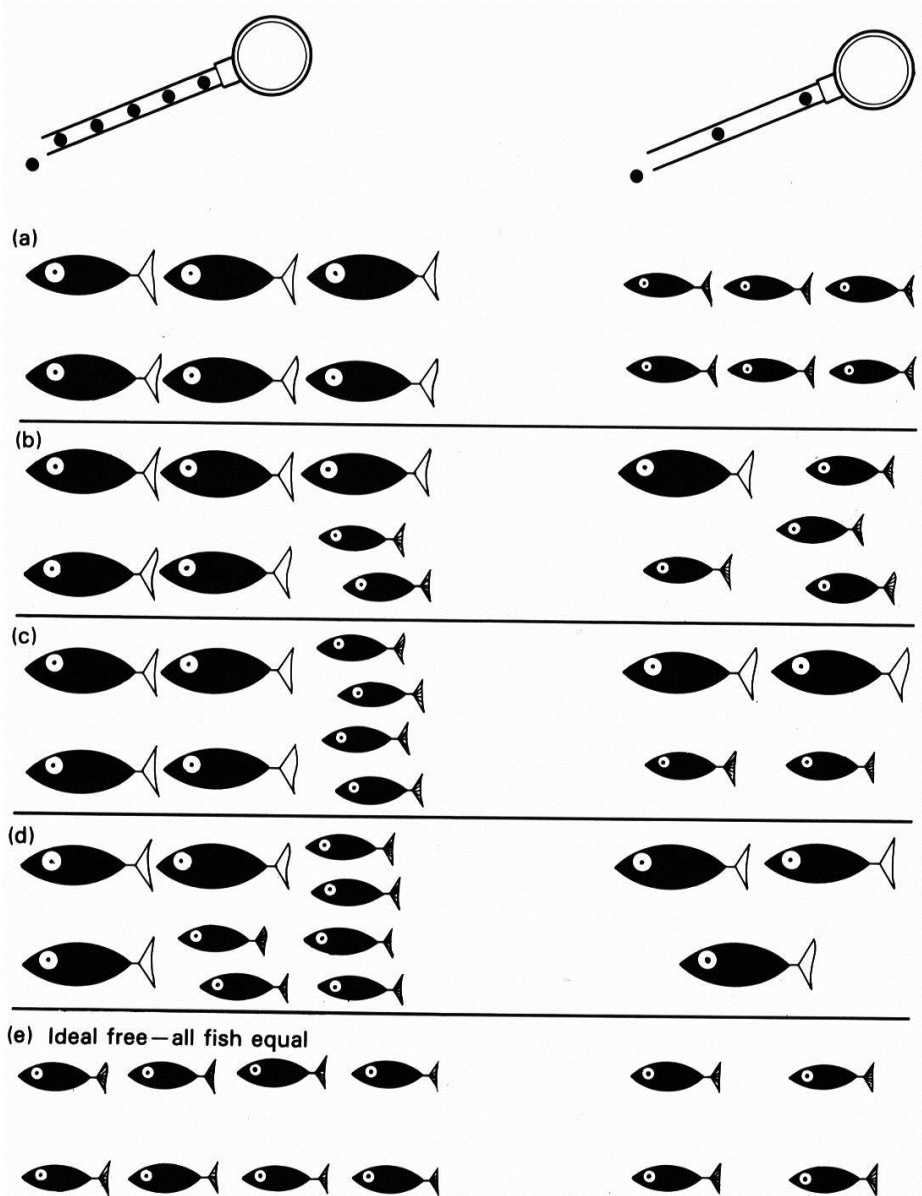


2 fois plus de nourriture placée à l'extrémité B qu'à l'extrémité A

2 fois plus de nourriture placée à l'extrémité A qu'à l'extrémité B



# Distribution libre idéale: limites



Compétiteurs rarement égaux et n'ont pas une connaissance parfaite de leur habitat

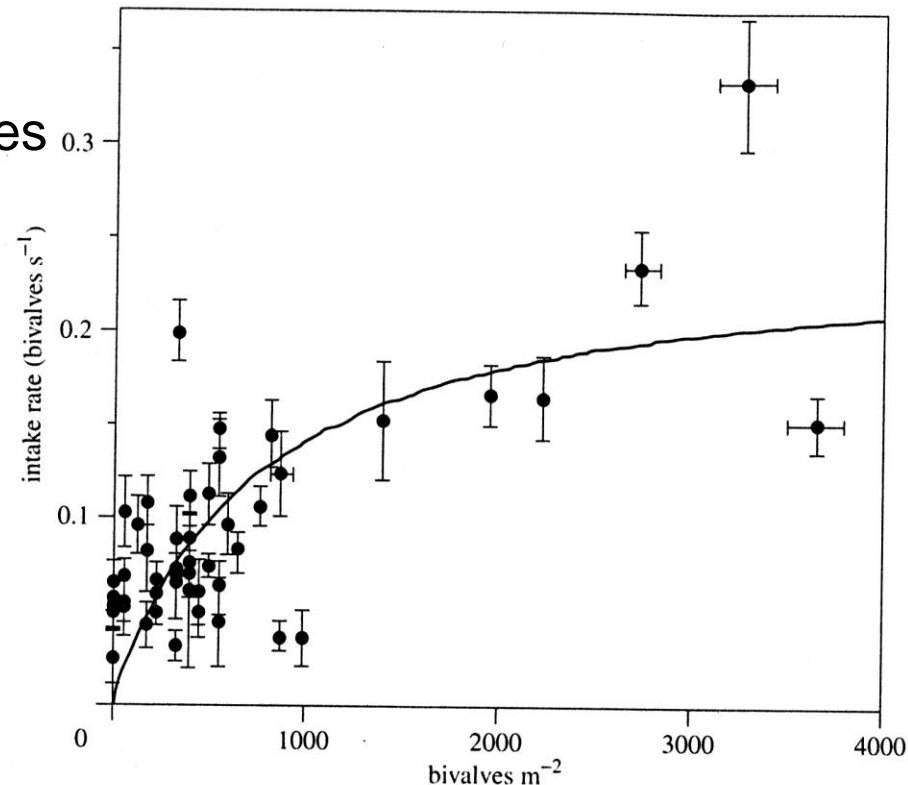
Ex: aquarium à 12 poissons et 2 fois plus de nourriture à gauche qu'à droite

=> Selon l'efficacité ou la compétitivité des individus, il existe de multiples arrangements possibles!

➔ **Distribution despotique idéale:** monopolisation de la ressource par quelques individus

# Compétition par exploitation

- Déplétion de la ressource à mesure que les consommateurs restent longtemps ou sont plus nombreux
  - ⇒ Taux d'ingestion (*intake rate*) par individu diminue quand la quantité de proies diminue
  - ⇒ Plateau = contrainte de temps de manipulation, de digestion...
  - ⇒ Réponse fonctionnelle
- Ex Barges à queue noire / mollusques



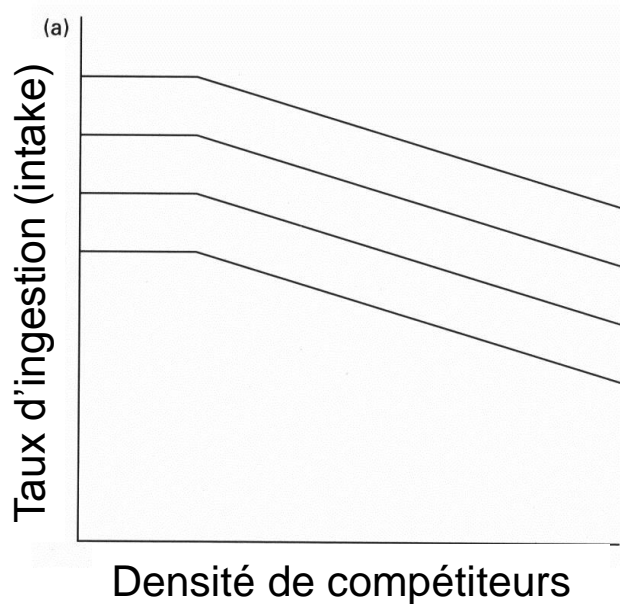
# Compétition par interférence

Déclin du taux d'ingestion résultant du comportement d'un autre individu

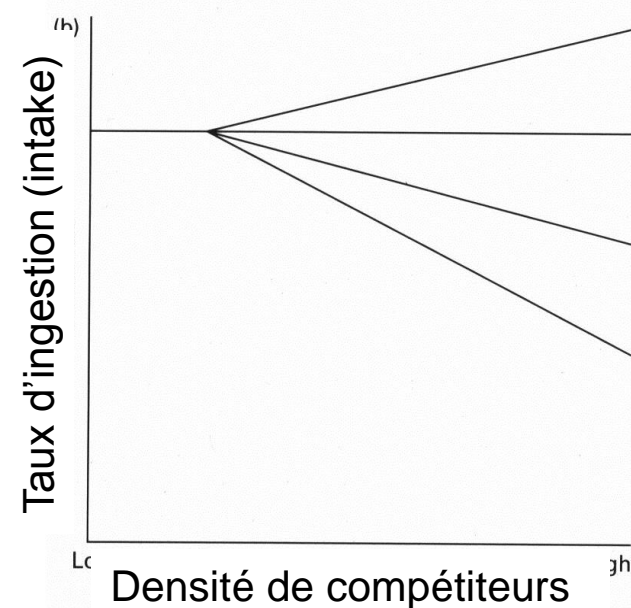
**Interférence passive**: perturbation des proies par les compétiteurs

**Interférence active**: agression, kleptoparasitisme

⇒ **Réponse agrégative**



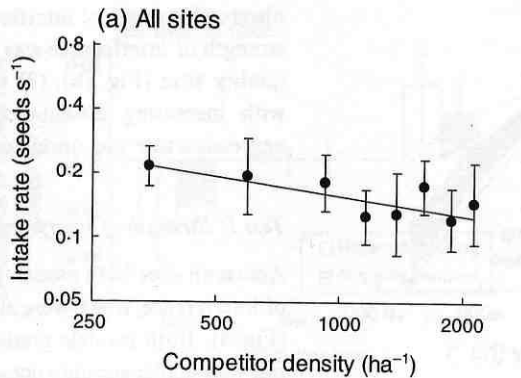
Individus différents par leur efficacité d'ingestion mais ont une susceptibilité à l'interférence égale



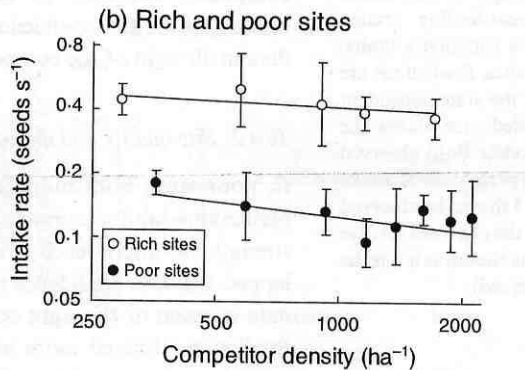
Individus ont la même efficacité d'ingestion mais diffèrent par leur susceptibilité à l'interférence

# Compétition par interférence

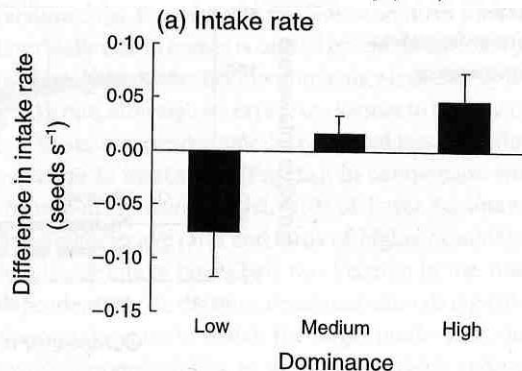
Ex: grues cendrées  
(*Grus grus*)  
Nourriture = maïs



Interférence active: taux d'ingestion diminue quand le nombre de compétiteurs augmente



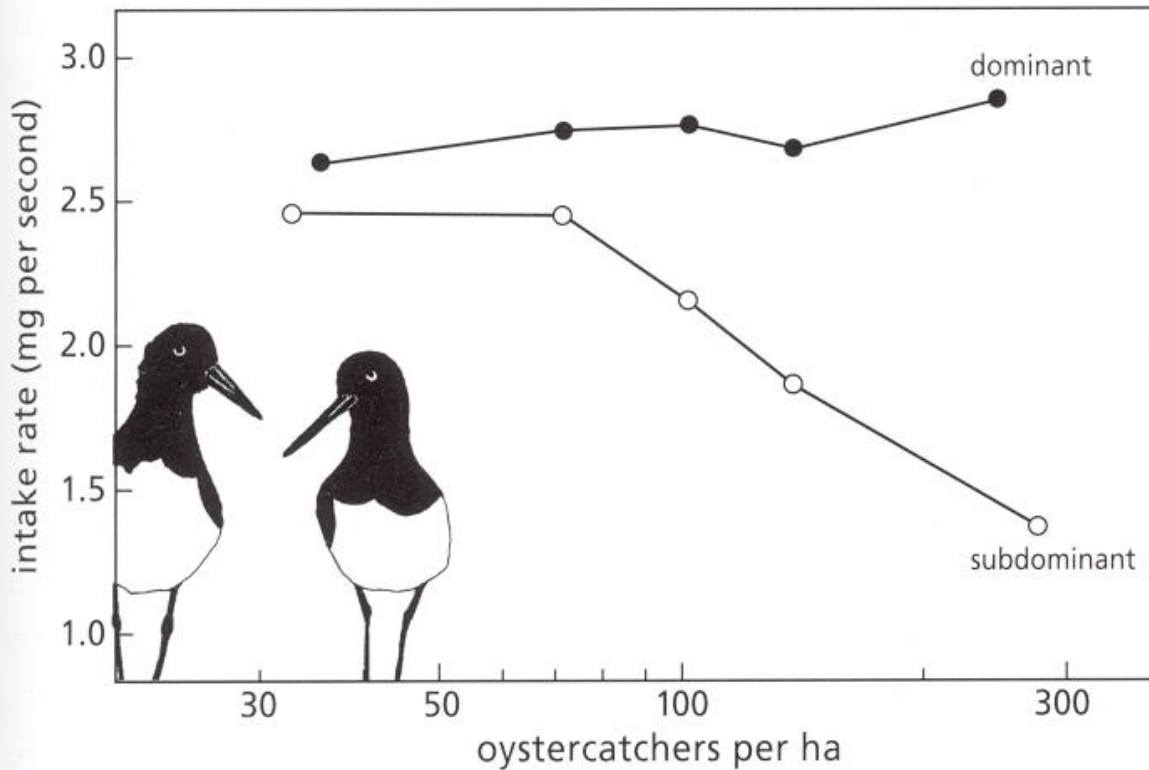
Interférence seulement dans les sites pauvres, pas dans les riches



Taux d'ingestion varie selon le rang de dominance: augmente chez les dominants (kleptoparasitisme) et diminue chez les subordonnés.

# Compétition par interférence

## Huitriers-pies



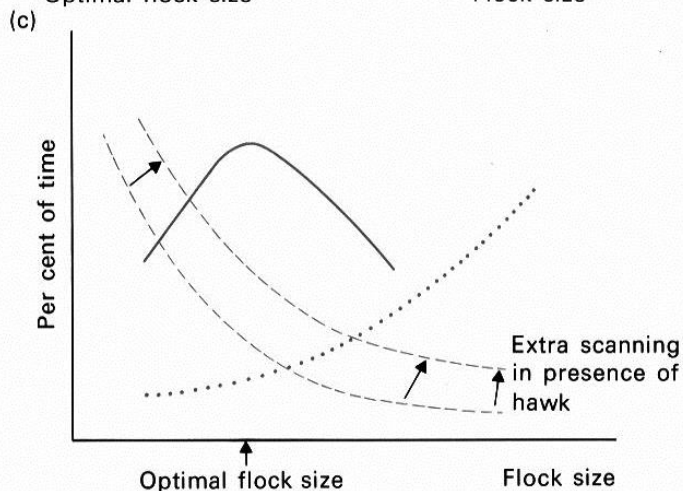
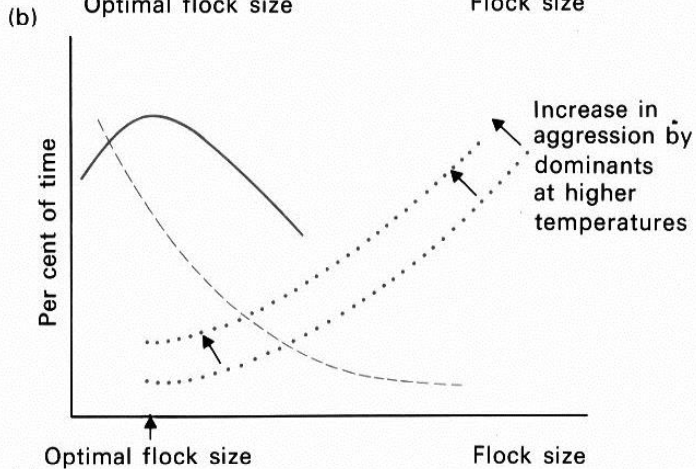
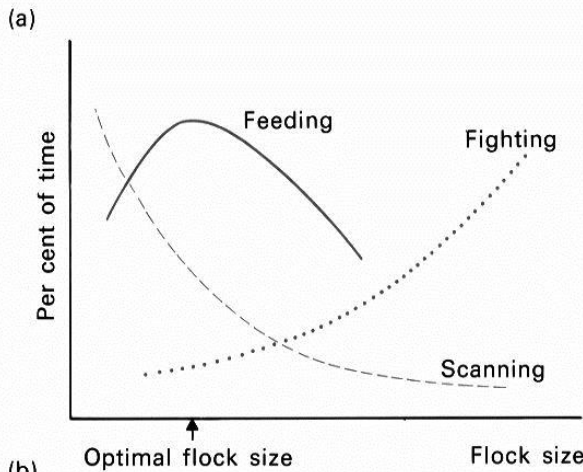
Le taux d'ingestion augmente avec la densité des compétiteurs pour les dominants → kleptoparasitisme

# Taille de groupe optimale

Compromis entre

- vigilance / prédateurs
- compétition par exploitation
- compétition par interférence passive (gêne) et active (agressions)

Exemple groupe de passereaux: le temps disponible pour l'alimentation est la résultante du temps de vigilance et du temps d'interactions



a. Quand taille groupe augmente, individus passent moins de temps en vigilance et plus de temps à se battre → max de temps d'alim pour taille de groupe intermédiaire

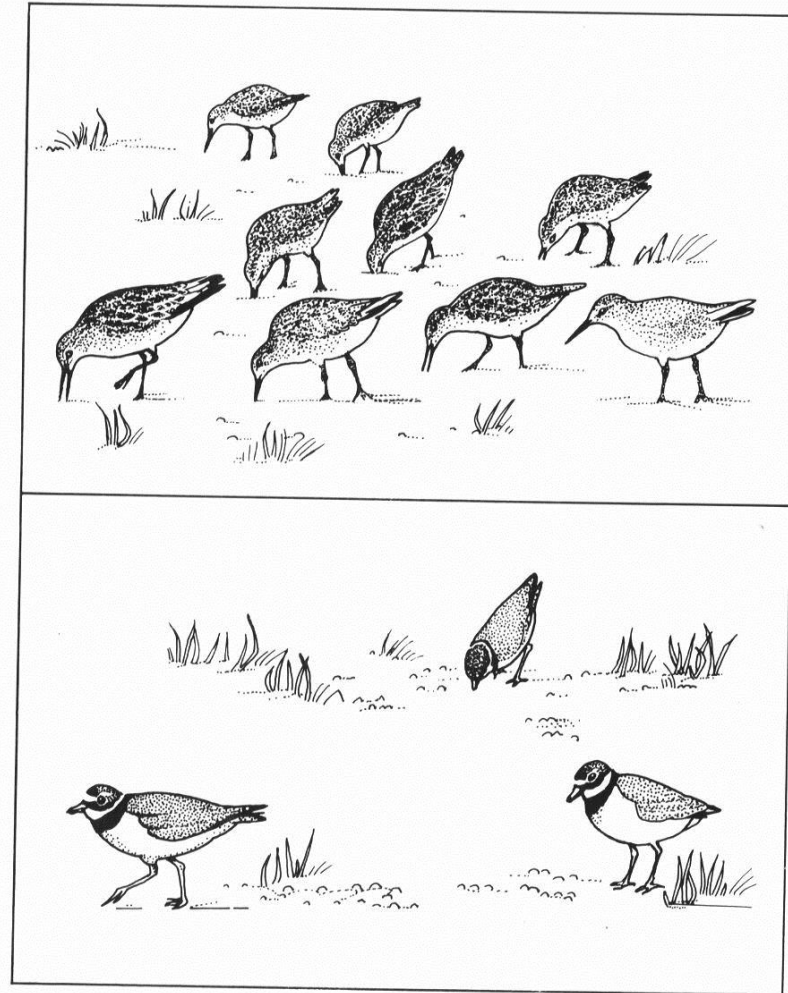
b. T°C élevée → + de nourriture et – thermorégulation → dominants peuvent passer plus de temps à attaquer les autres → taille groupe optimale diminue

c. Risque de prédation augmente → temps de vigilance augmente → taille groupe optimale augmente

# Taille de groupe optimale

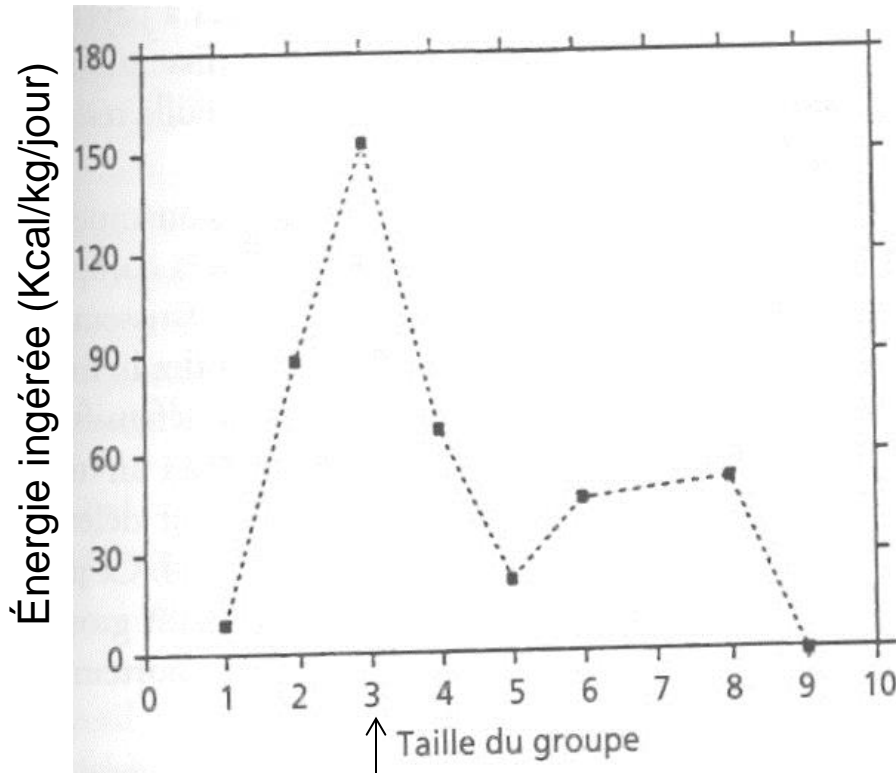
Compromis entre

- vigilance / prédateurs
  - compétition par exploitation
  - compétition par interférence passive (gêne) et active (agressions)
- 
- Ex: limicoles tactiles vs. visuels
  - Tactiles (bécasseaux) peuvent vivre en grands groupes car peu d'interférence dans la recherche alimentaire
  - Visuels (pluviers et gravelots) vivent en solitaire ou petits groupes pour réduire l'interférence

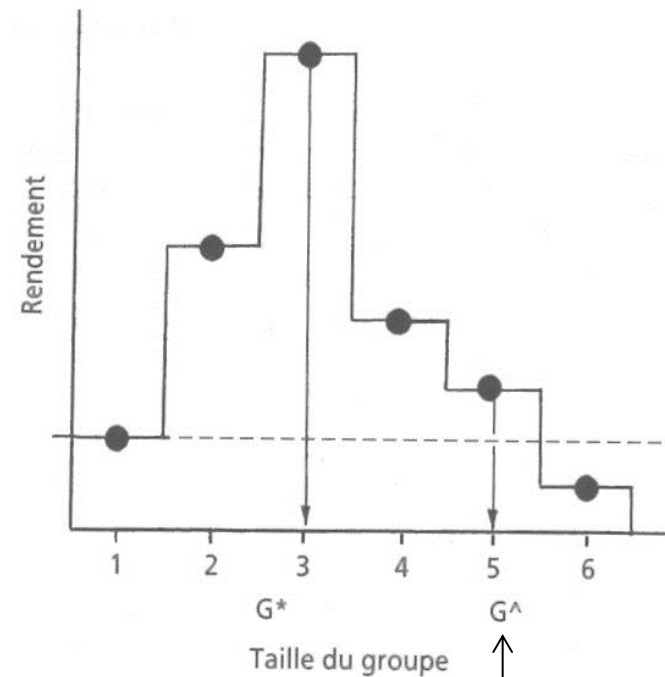


# Taille de groupe optimale

Exemple groupes d'orques *Orcinus orca*



Taille de groupe optimale = 3 individus



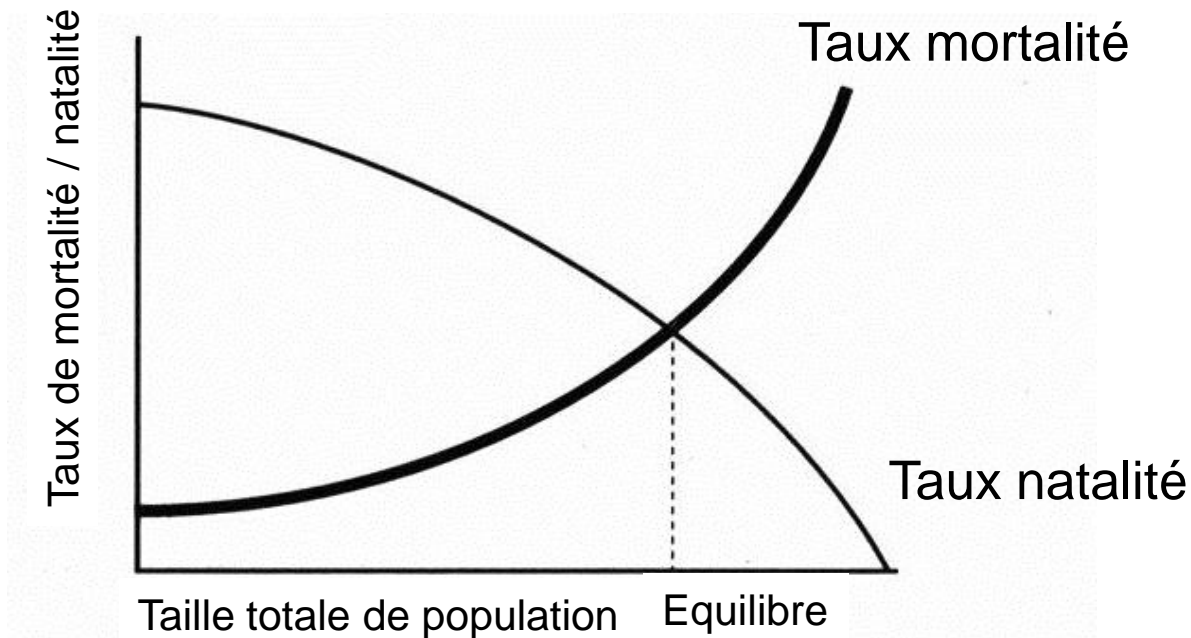
Taille de groupe stable = 5 individus  
(il est préférable pour le 4<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> individus de se joindre au groupe, mais plus pour le 6<sup>ème</sup>)



# Mortalité densité-dépendante

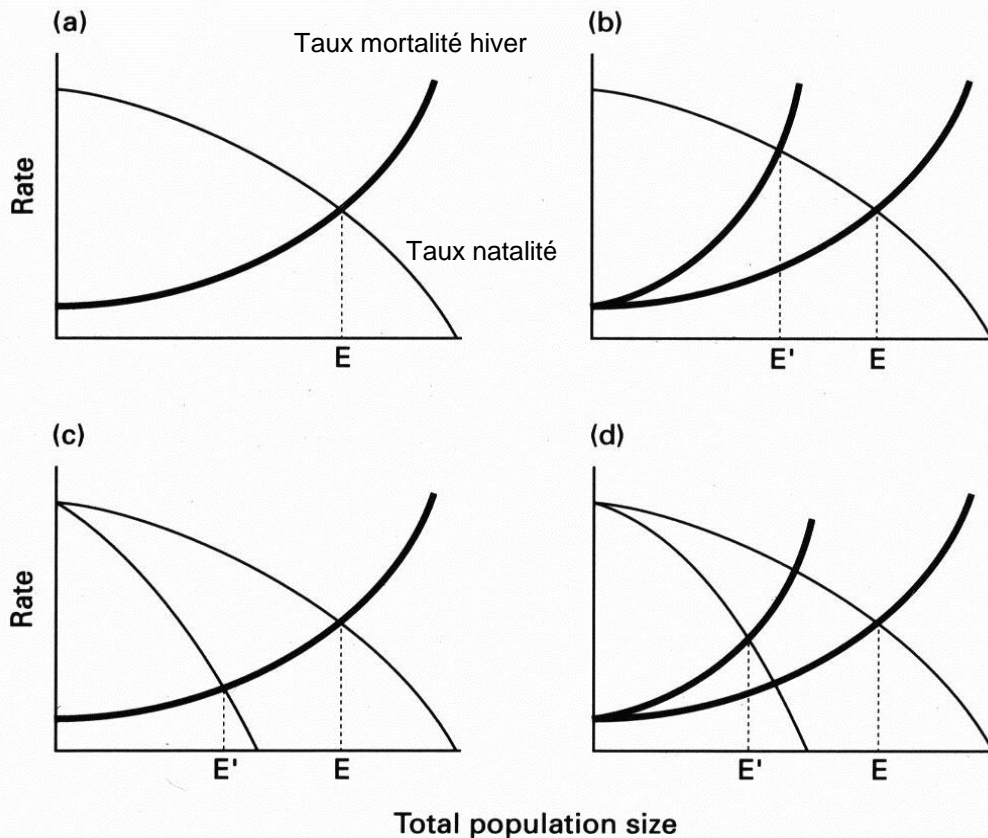
Mortalité par manque de ressources:

- un nombre trop élevé d'individus dans une aire restreinte va provoquer:
  - une diminution de la ressource disponible (compétition par exploitation)
  - une augmentation de la compétition par interférence



# Mortalité densité-dépendante

- Mortalité par manque de ressources: un nombre trop élevé d'individus dans une aire restreinte va provoquer une diminution de la ressource disponible en même temps qu'une augmentation de l'interférence



- a) Pop à l'équilibre pour une taille de pop E
- b) Perte d'un habitat d'hivernage → mortalité augmente → décalage de la courbe de mortalité à gauche → équilibre pour une taille de pop réduite E'
- c) Perte d'un habitat de reproduction → natalité diminue
- d) Perte des habitats de reproduction et hivernage → mortalité augmente et natalité diminue

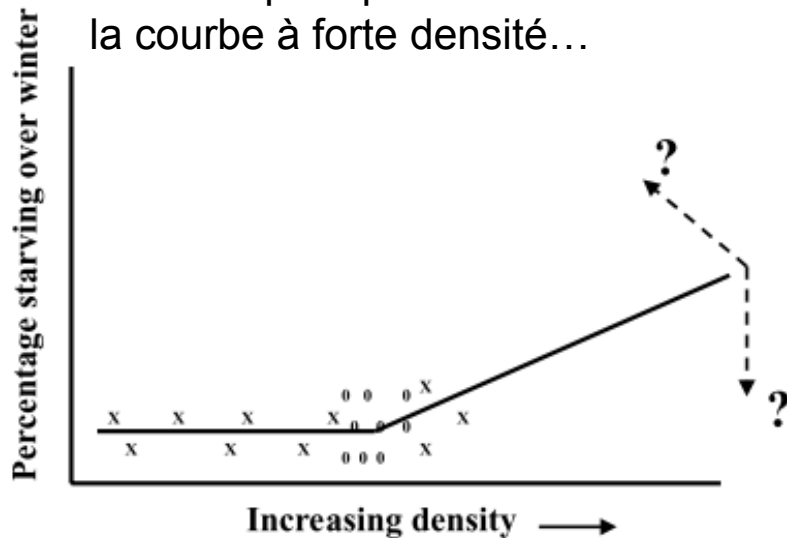
# Comportement et dynamique des populations

- Populations composées d'individus
  - individus soumis à la *sélection naturelle* → parviennent à transmettre leurs gènes en fonction de leurs *décisions comportementales*
  - **Peut-on améliorer les prédictions de dynamique des populations en se basant sur les prises de décisions des individus?**
  - **Modèles individuels comportement-centrés = “Behavioural-based Individual Models” (BBIM)**
- principe: prédire la condition corporelle des individus à chaque instant et en déduisent les taux de mortalité
- Utilisations théoriques: étude des règles de décision
  - Applications à la conservation: prédictions de l'impact des changements environnementaux
    - Changements climatiques
    - Perte d'habitats, impact dérangements humains
    - Nouveaux compétiteurs (esp invasives)

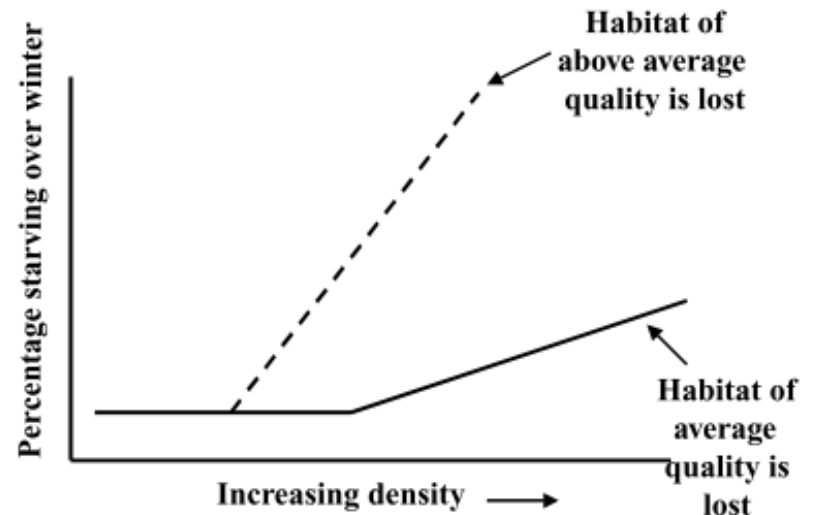
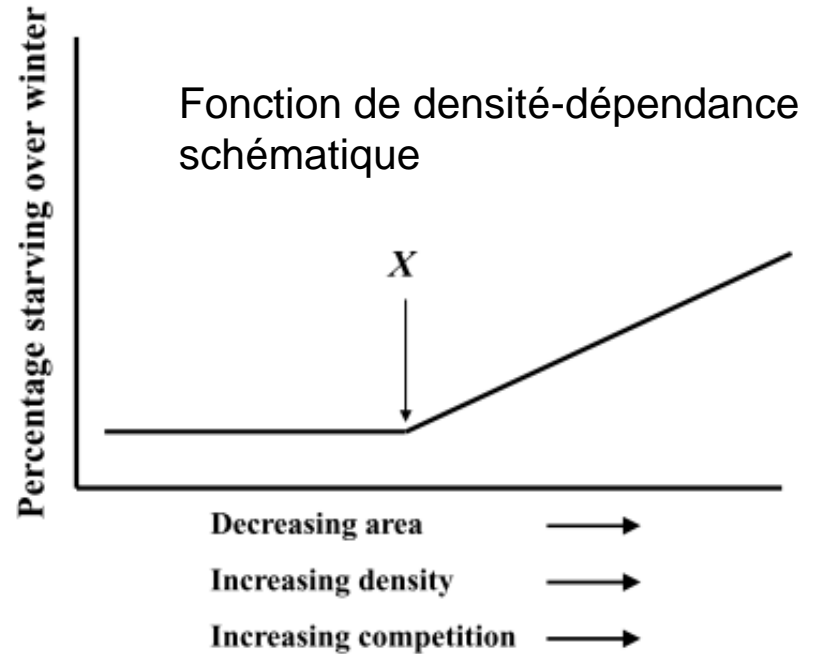
# Comportement et dynamique des populations

## → Concepts à la base des BBIM

Après plusieurs années de collectes de données, il se pourrait qu'on n'ait pas les données pour prévoir la forme de la courbe à forte densité...

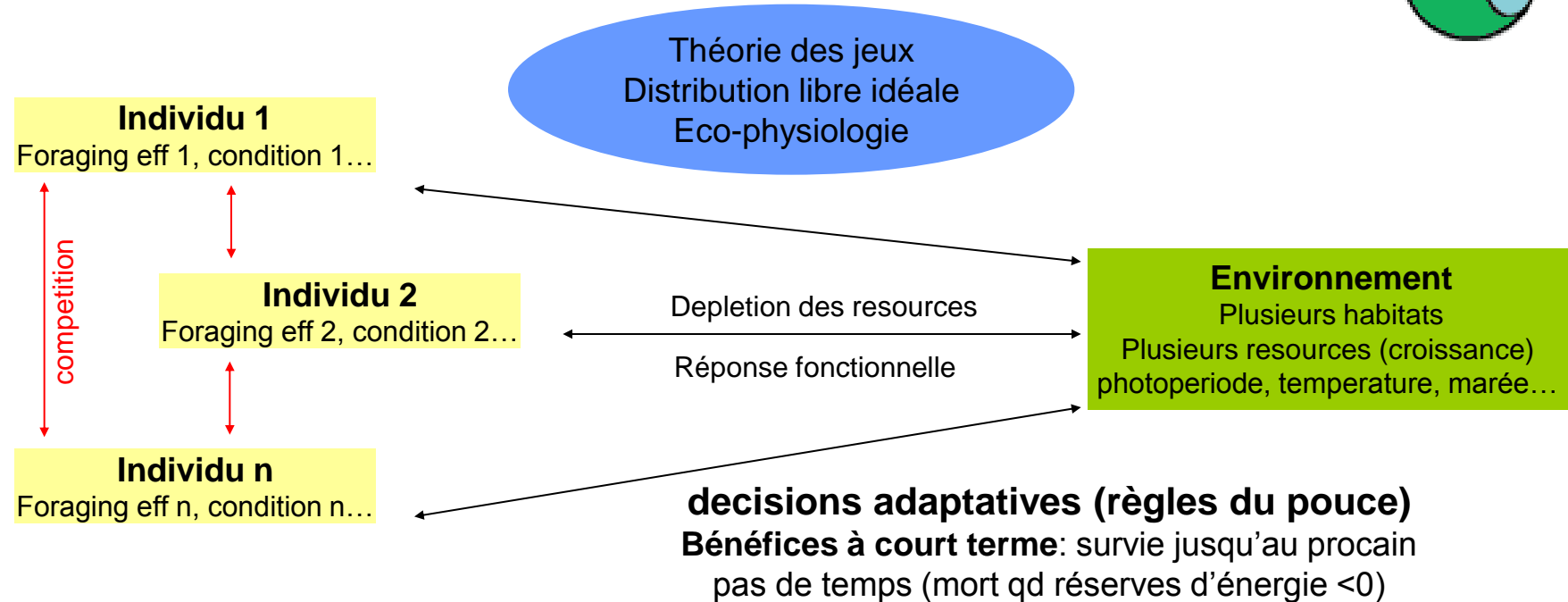


La forme de la courbe de densité-dépendance pourrait varier en fonction de la qualité de l'habitat perdu...



# Modèles individuels comportement-centrés : program MORPH

R. Stillman, R. Caldwor, J. Goss-Custard – CEH Dorset



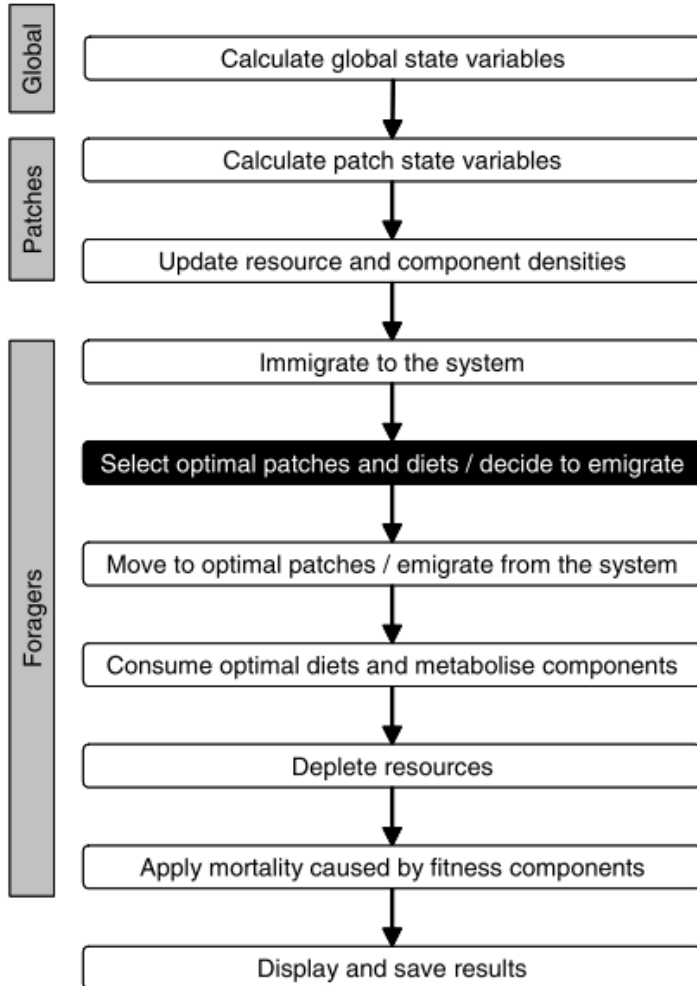
➡ Consequences à long terme sur le dynamique des populations

➡ Test de scenarios de **modifications environnementales**

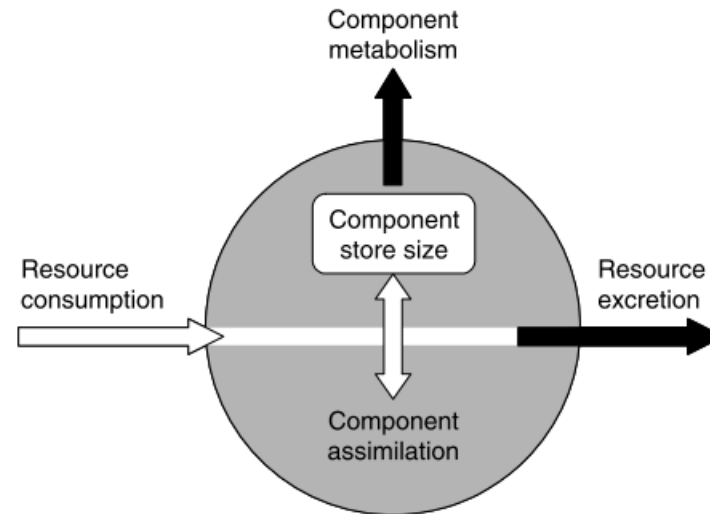
# Modèles individuels comportement-centrés : program MORPH



Séquence des calculs du BBIM



Stillman, R.A. (2008) MORPH – An individual-based model to predict the effect of environmental change on foraging animal populations. *Ecological Modelling* **216**, 265-276.



# Modèles individuels comportement-centrés

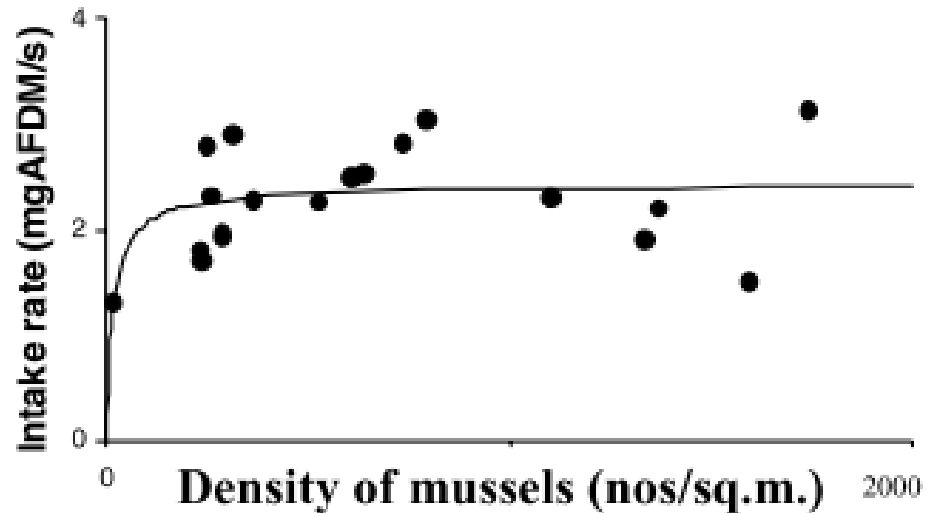
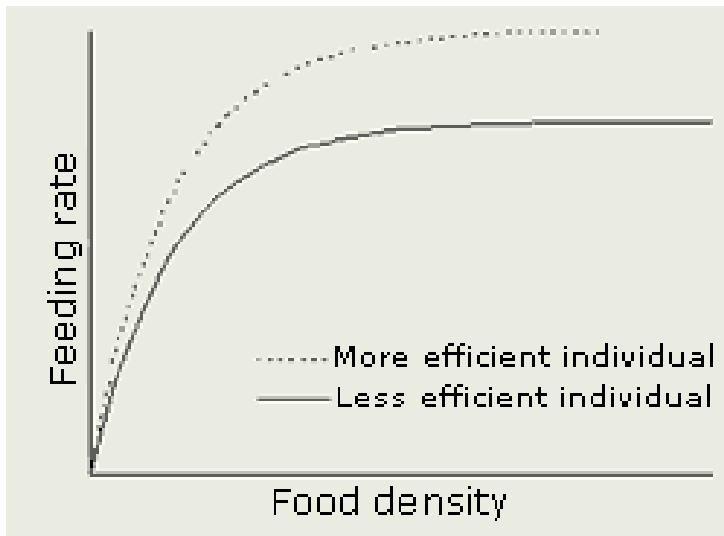
- Modèle d'étude: l'Huitrier-pie *Haematopus ostralegus*
- Oiseau limicole vivant sur les vasières et se nourrissant de mollusques
- BBIM basés sur les recherches fondamentales en **écologie des oiseaux et de leurs proies**
- Connaissance de la biologie des population de proies, leur distribution, qualité nutritive, dynamique des populations...



# BBIM: connaissances nécessaires

Suivis d'oiseaux bagués pour comprendre les variations individuelles de comportements:

- Efficacité recherche alimentaire



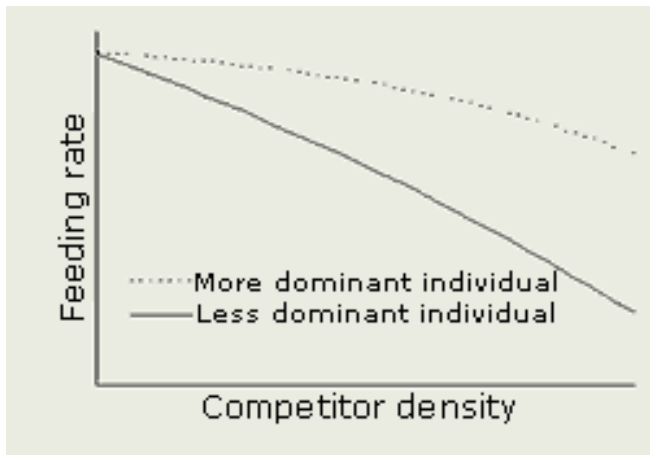
Réponse fonctionnelle



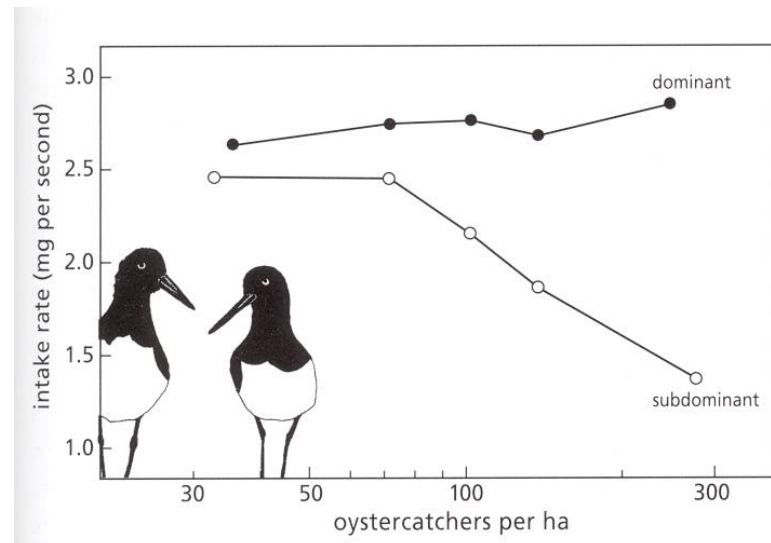
# BBIM: connaissances nécessaires

Suivis d'oiseaux bagués pour comprendre les variations individuelles de comportements:

- Efficacité recherche alimentaire
- Compétitivité / agressivité



Réponse agrégative



# BBIM: connaissances nécessaires

Suivis d'oiseaux bagués pour comprendre les variations individuelles de comportements:

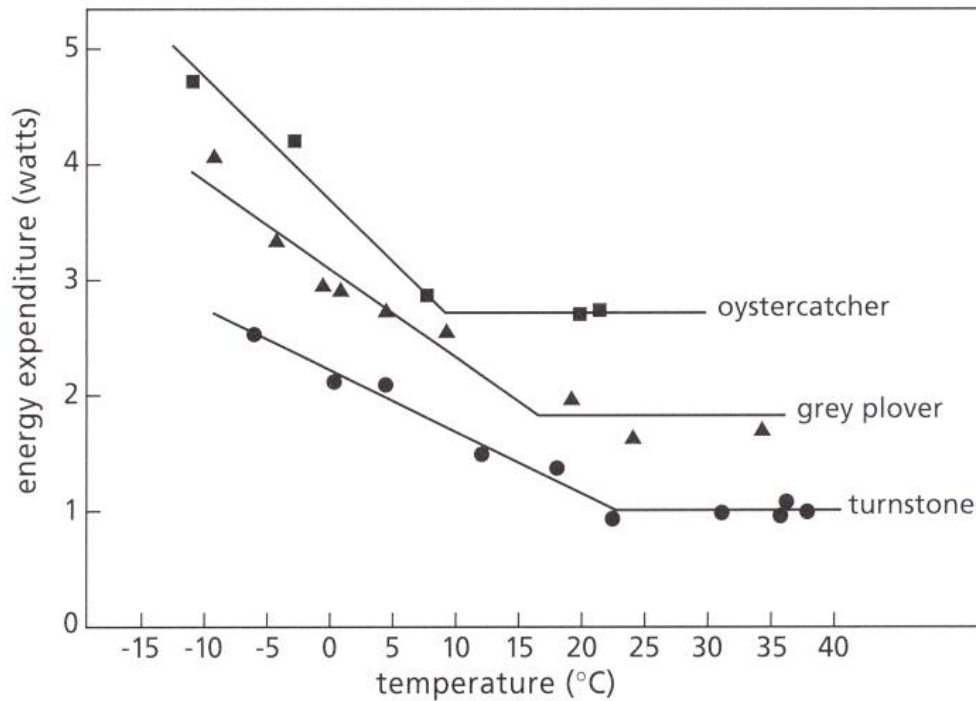
- Efficacité recherche alimentaire
- Compétitivité / agressivité
- Sensibilité aux dérangements humains...



<b>Oystercatchers</b>	<b>Shellfishing, disturbance</b>	<b>8 estuaries</b>
		<b>4 countries</b>
<b>Other shorebirds:</b>	<b>Disturbance, habitat loss,</b>	<b>12 species</b>
	<b>bait-digging, <i>Spartina</i></b>	<b>10 estuaries</b>
	<b>encroachment, hunting</b>	<b>4 countries</b>
	<b>sea-level rise, monitoring</b>	
	<b>estuary quality, mitigation</b>	

# BBIM: données requises

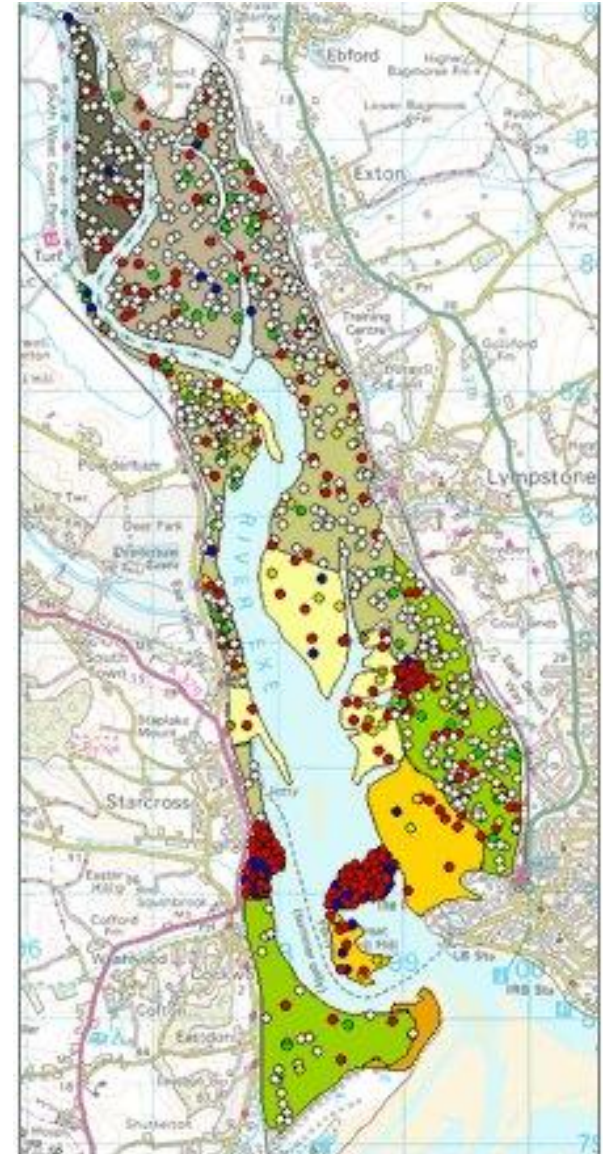
- taille des populations d'oiseaux
- besoins physiologiques des oiseaux
  - BMR, thermorégulation, budget-temps



# BBIM: données requises

## Nourriture disponible

- À mesurer au début de la période d'étude puis au cours de cette période
  - temps où elle est disponible (marée)
  - qualité de la nourriture (tailles des proies et richesse en nutriments)
- => Carte des potentialités alimentaires

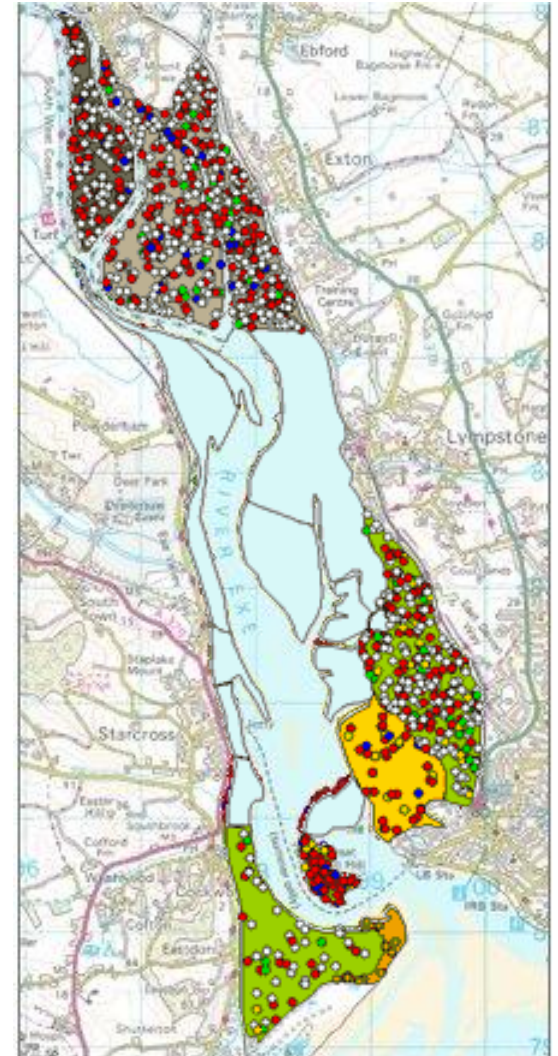


# BBIM: démonstration

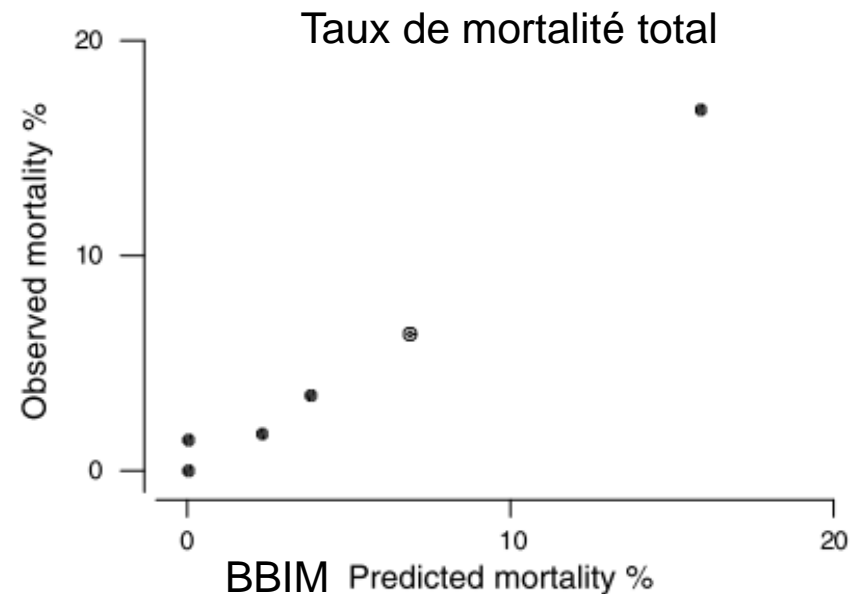
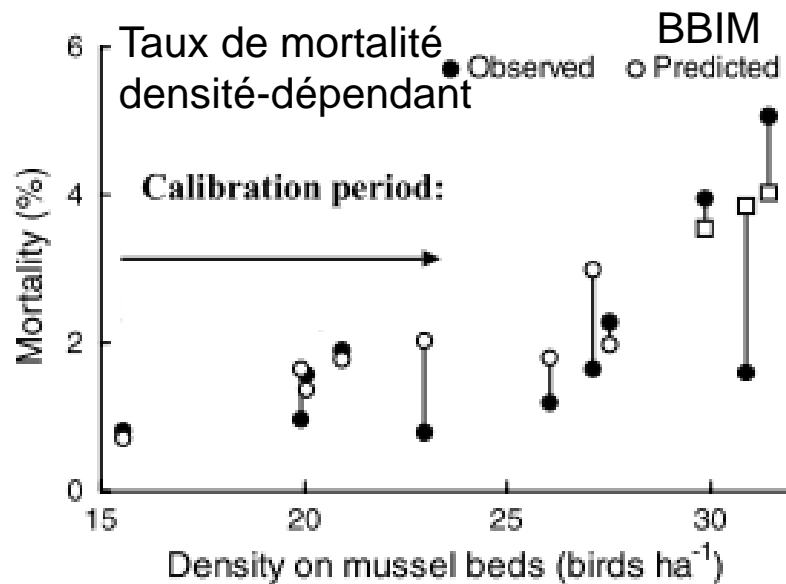
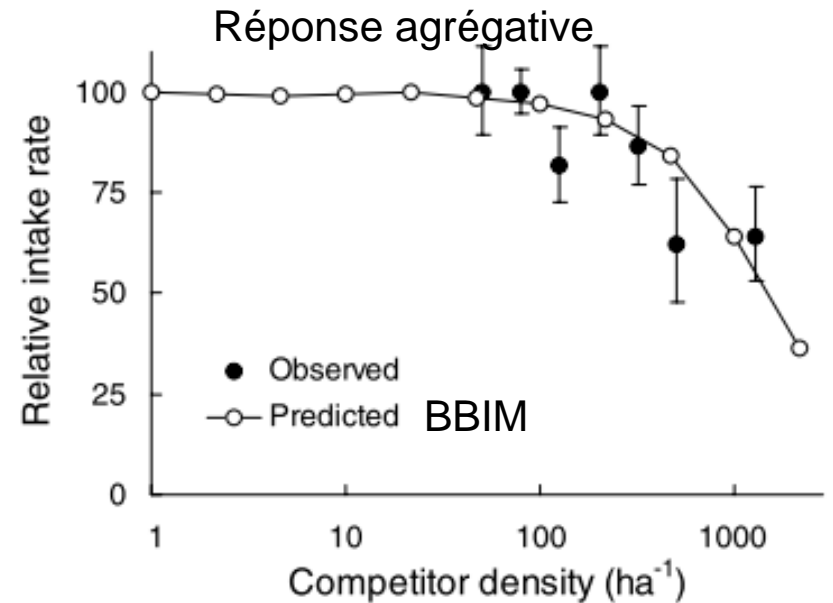
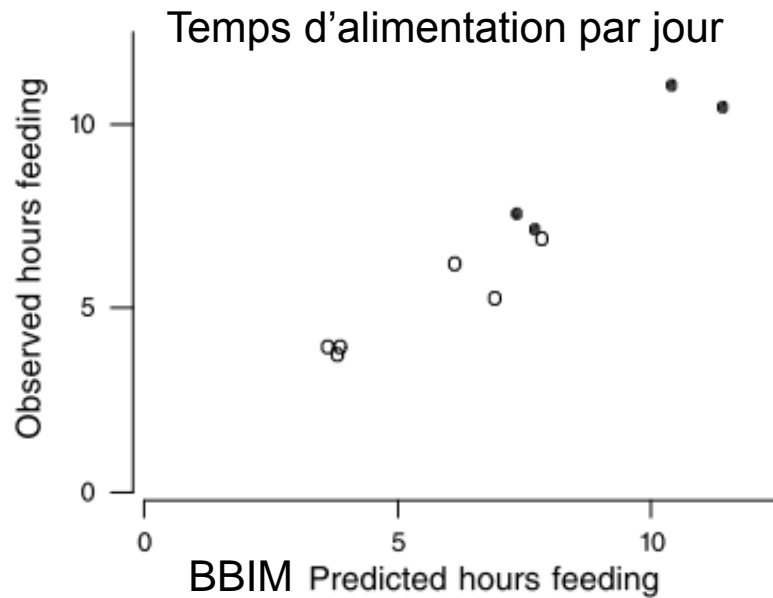
- estuaire de l'Exe (GB): huitriers en rouge
- Bleu = recouvert par la mer
- parcelles +/- riches proies
- Le modèle suit chaque individu pendant tout l'hiver et estime sa condition corporelle chaque jour

Si <seuil létal => mort de l'individu

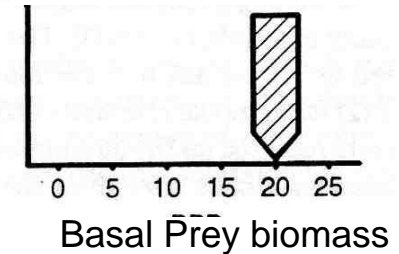
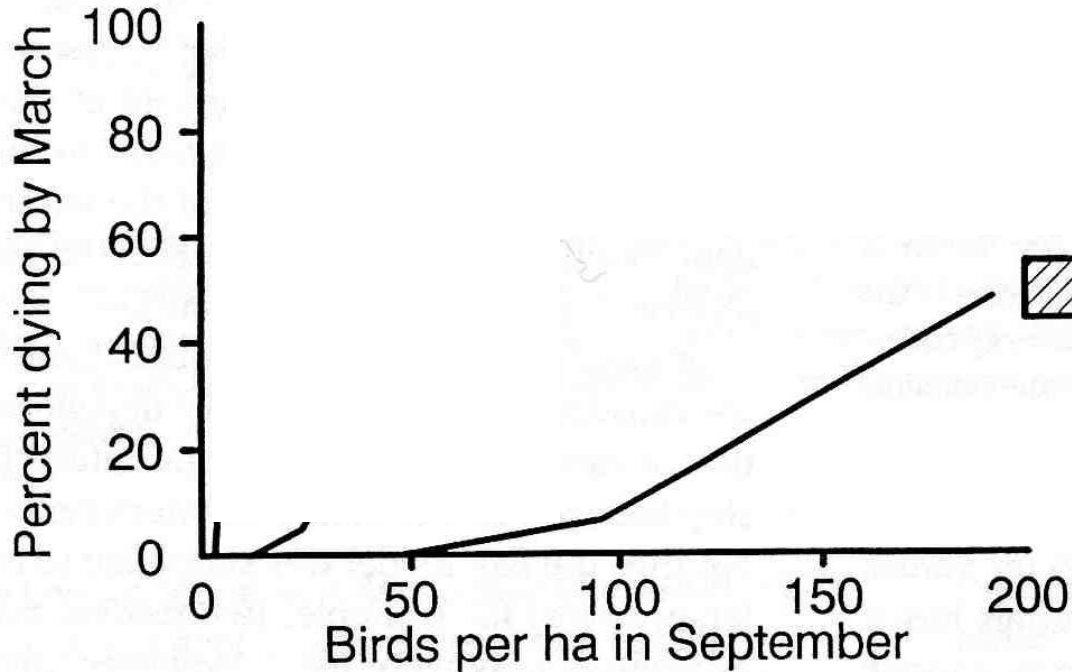
⇒ Évolution de la population d'oiseaux et de proies chaque jour de l'hiver



# BBIM: calibration / données



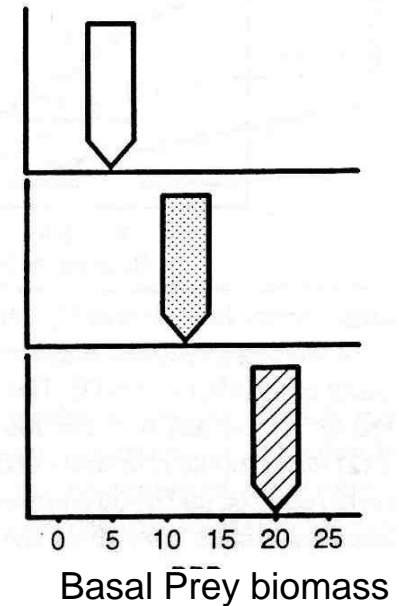
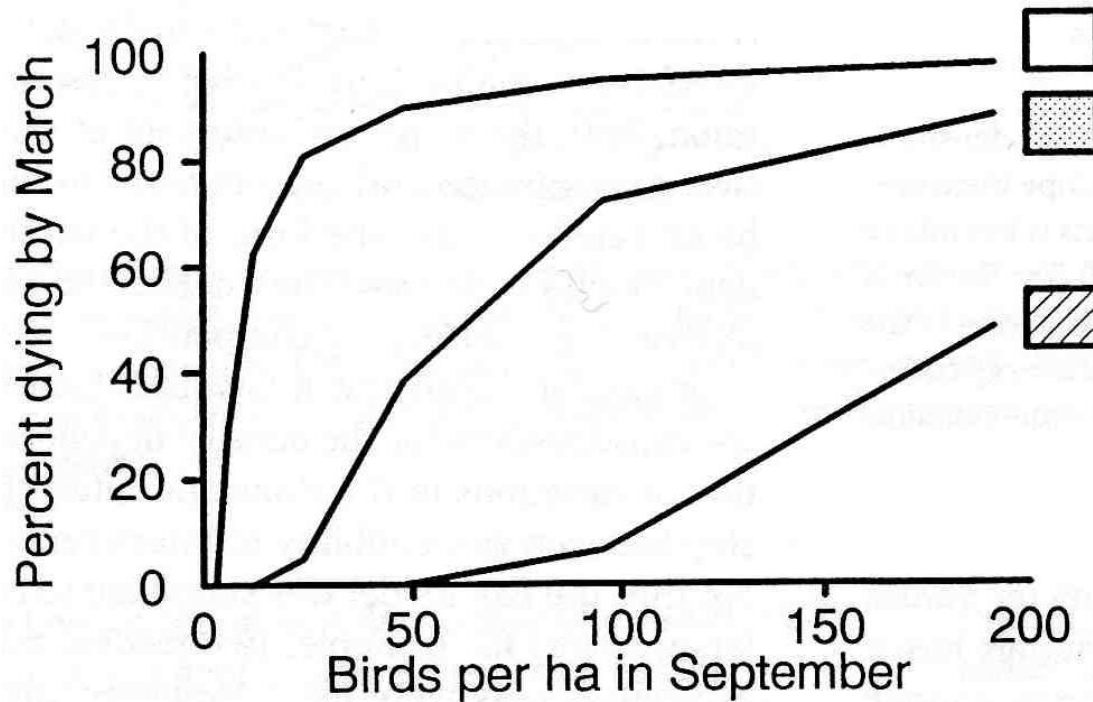
# Prédire la mortalité en fonction de la densité de ressources disponible en automne?



→ La forme de la courbe de mortalité densité-dépendante change dramatiquement :

- Linéaire si beaucoup de proies en début d'hiver

# Prédire la mortalité en fonction de la densité de ressources disponible en automne?



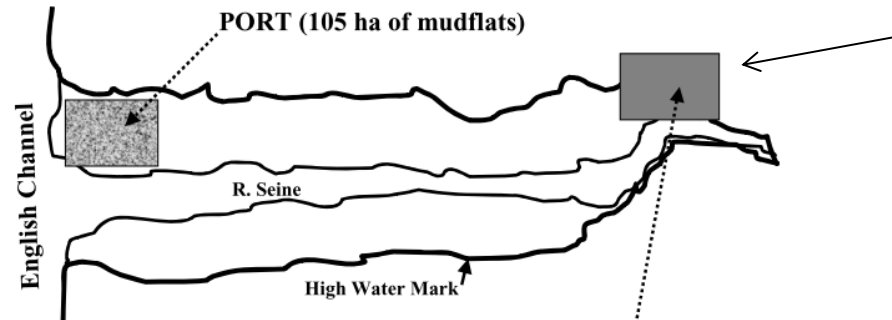
→ La forme de la courbe de mortalité densité-dépendante change dramatiquement :

- Linéaire si beaucoup de proies en début d'hiver
- Non-linéaire si peu de proies disponibles

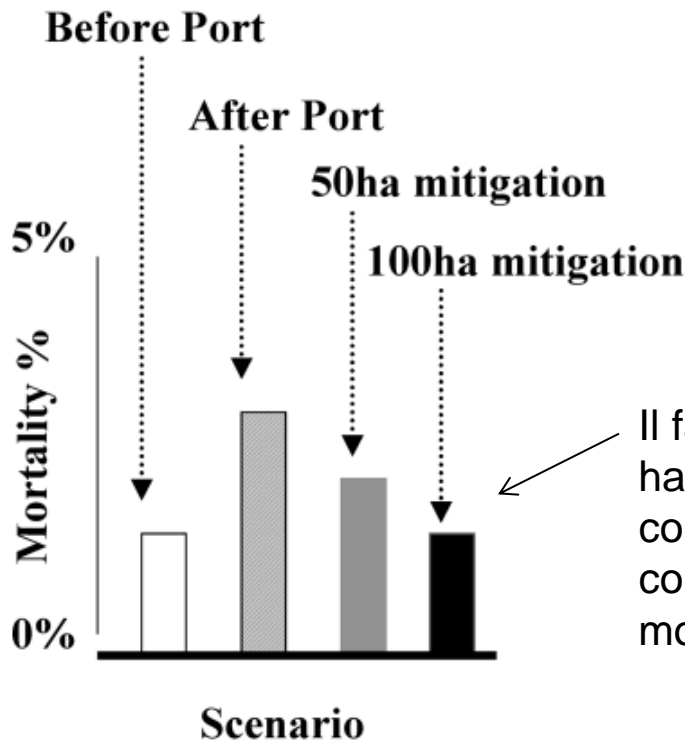


# Prévoir les effets de perte d'habitats et mesures compensatoires

Le Havre:  
construction d'un  
port sur 105 ha de  
vasières



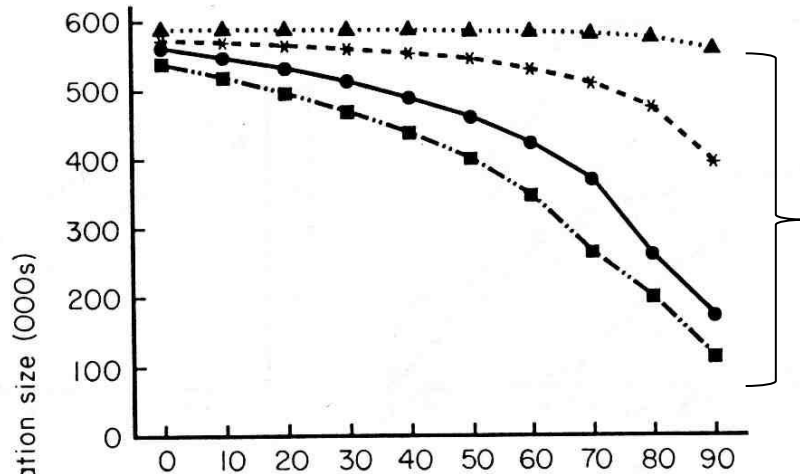
Mesure  
compensatoire:  
création de vasière  
de 50ha ou 100 ha



Il faut au moins 100  
ha de vasière en  
compensation pour  
conserver le taux de  
mortalité actuel

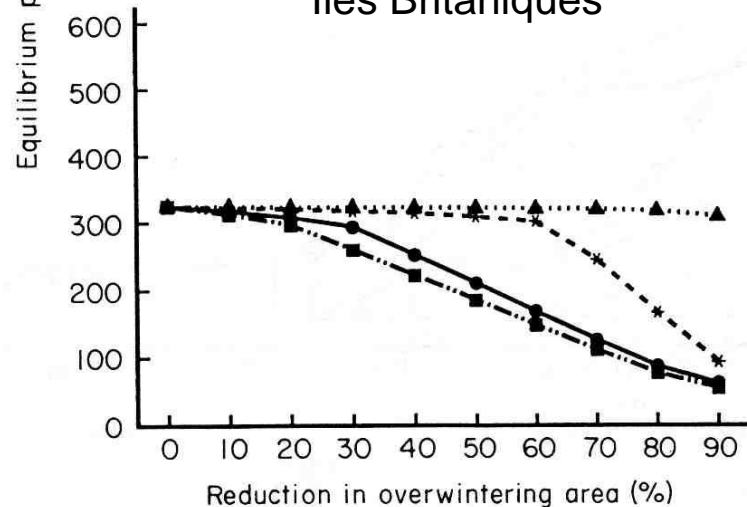
# Prévoir la taille des populations en fonction de pertes d'habitat d'hivernage

Europe continentale



Différentes valeurs de mortalité densité-dépendante en hiver

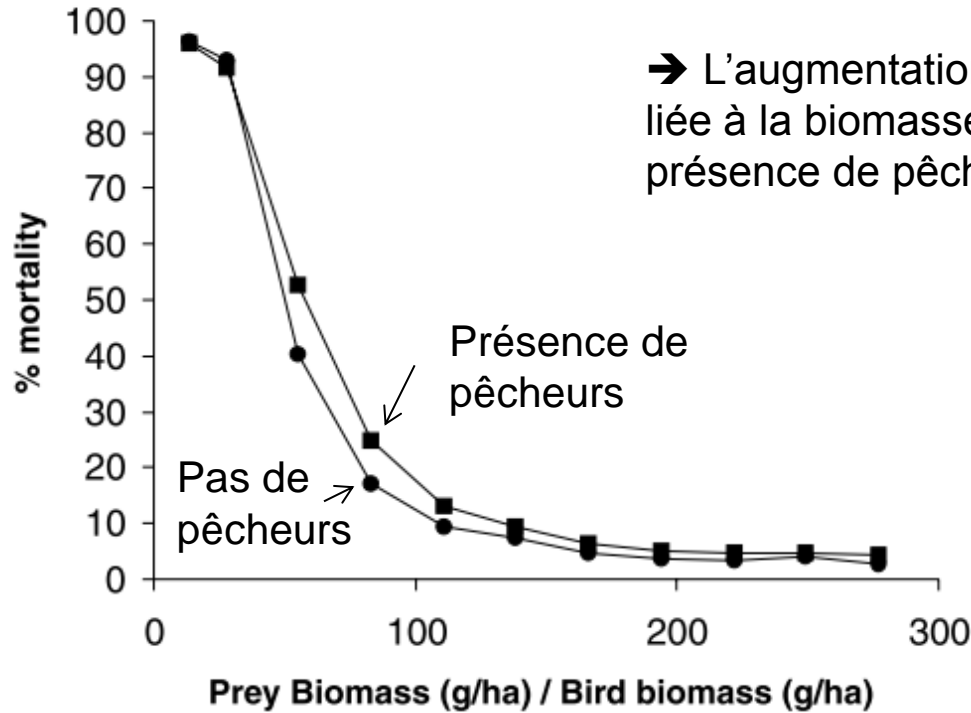
Iles Britanniques



→ réponse non linéaire !

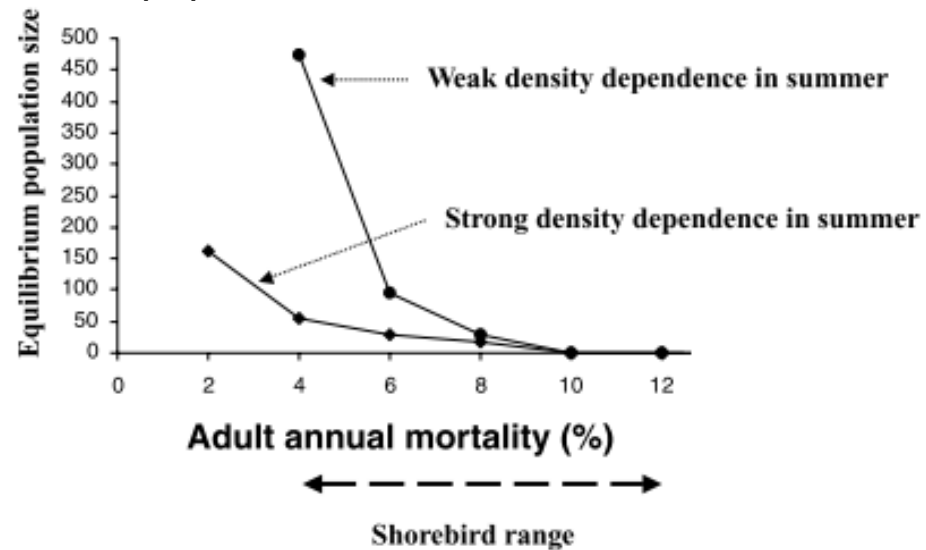
→ réponse diffère selon la région géographique

# Prévoir les conséquences de dérangements par les pêcheurs à pied

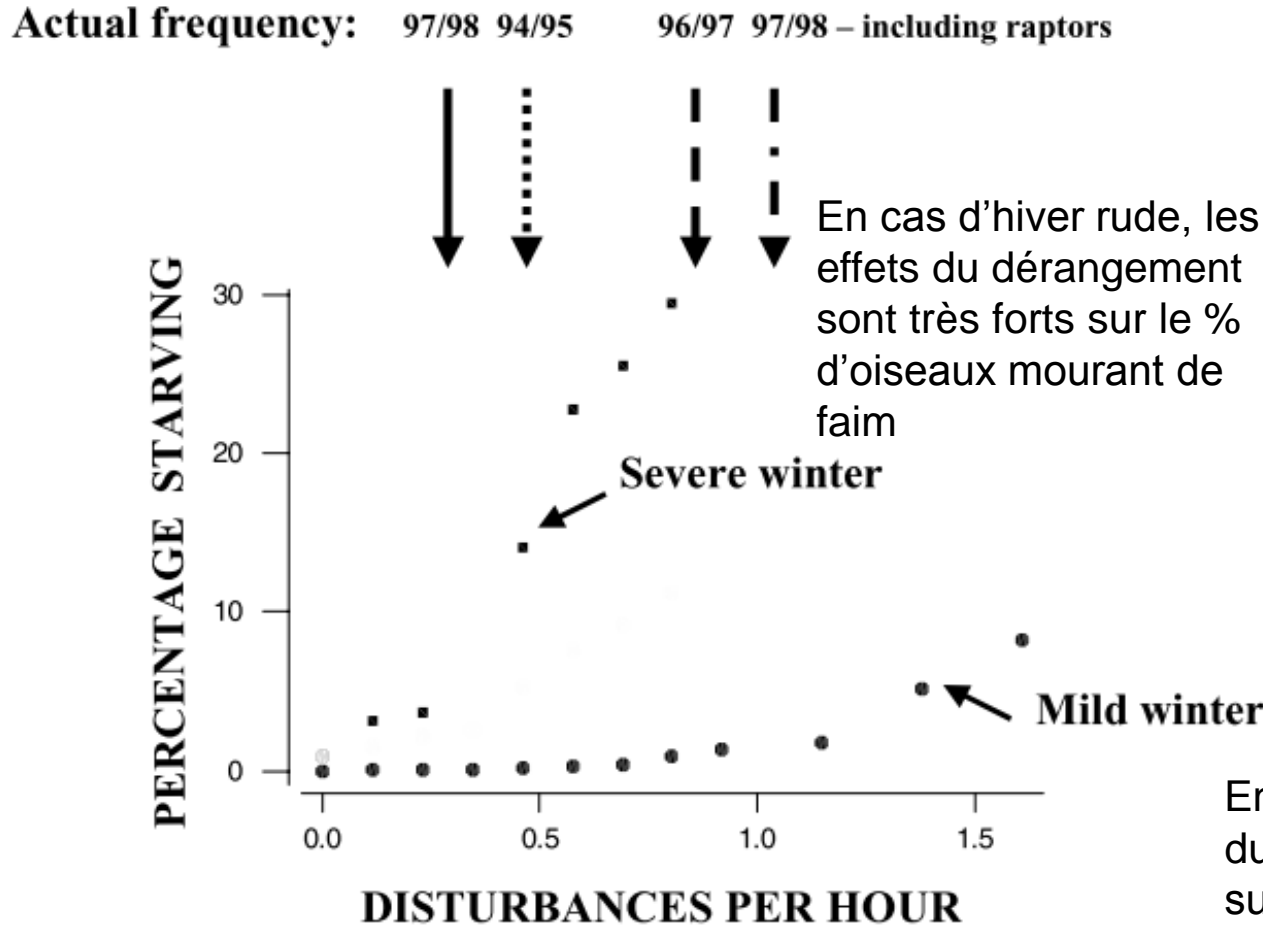


→ L'augmentation de mortalité semble davantage liée à la biomasse de proies disponibles qu'à la présence de pêcheurs...

Pourtant une augmentation minimale de la mortalité peut avoir des effets dramatiques sur la taille de la population



# Prévoir les conséquences de dérangements par les pêcheurs à pied



En cas d'hiver doux, les effets du dérangement sont minimes sur le % d'oiseaux mourant de faim

# Modèles individuels comportement-centrés

## Avantages

- ✓ individus essaient de maximiser leur **fitness à court terme**. Règles de décision faciles à programmer et à comprendre.
- ✓ Compétition par interférence et par exploitation, **déplétion** des ressources et mortalité **densité-dépendante** inhérents.
- ✓ **Monde détaillé et réaliste**, avec plusieurs habitats, régimes alimentaires, et types de compétiteurs.

→ **Donnent des prédictions dans un monde réaliste, excellent pour les études appliquées**

## Limites

- ✓ besoin **d'études très détaillées (couteuses en temps)** de:
  - comportement des espèces (suivi à long-terme d'individus marqués pour estimer les variations individuelles)
  - ressources alimentaires pour tous les sites
- ✓ décisions dépendent entièrement de **règles du pouce** établies par le chercheur. Effort pour prouver leur **validité**.

# What decision rules might pink-footed geese use to depart on migration? An individual-based model

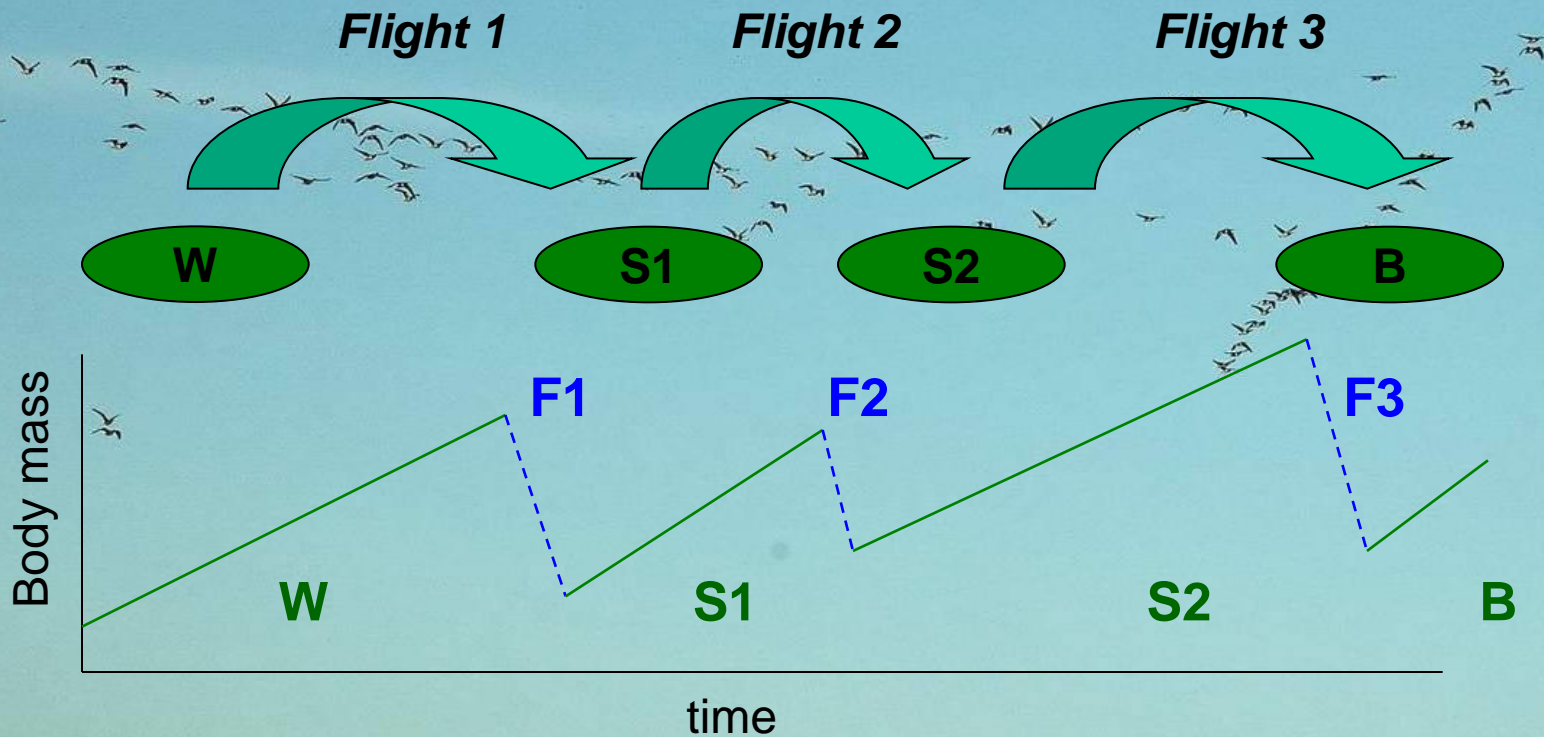
Behav Ecol 20:560-569.

Olivier Duriez,<sup>a</sup> Silke Bauer,<sup>a</sup> Anne Destin,<sup>a</sup> Jesper Madsen,<sup>b</sup> Bart A. Nolet,<sup>a</sup> Richard A. Stillman,<sup>c</sup> and Marcel Klaassen<sup>a</sup>



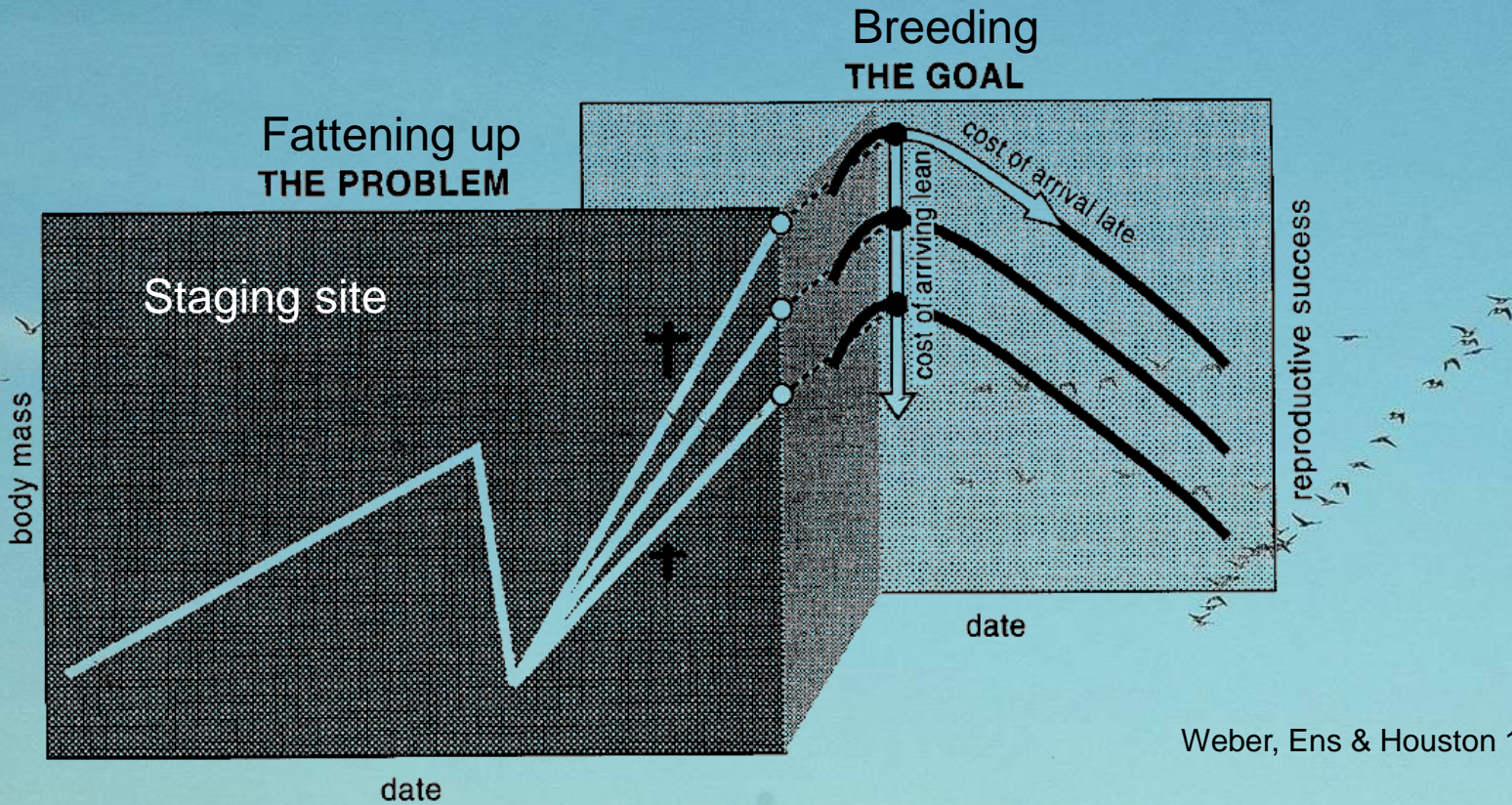
# Bird migrations and population dynamics

Migrations are extreme examples of **movements** where **individual behaviour** has dramatic consequences for **population dynamics**



➔ Most « migration » time is spent on staging sites, storing body reserves

# Bird migrations and population dynamics



Weber, Ens & Houston 1998 *Evol Ecol*

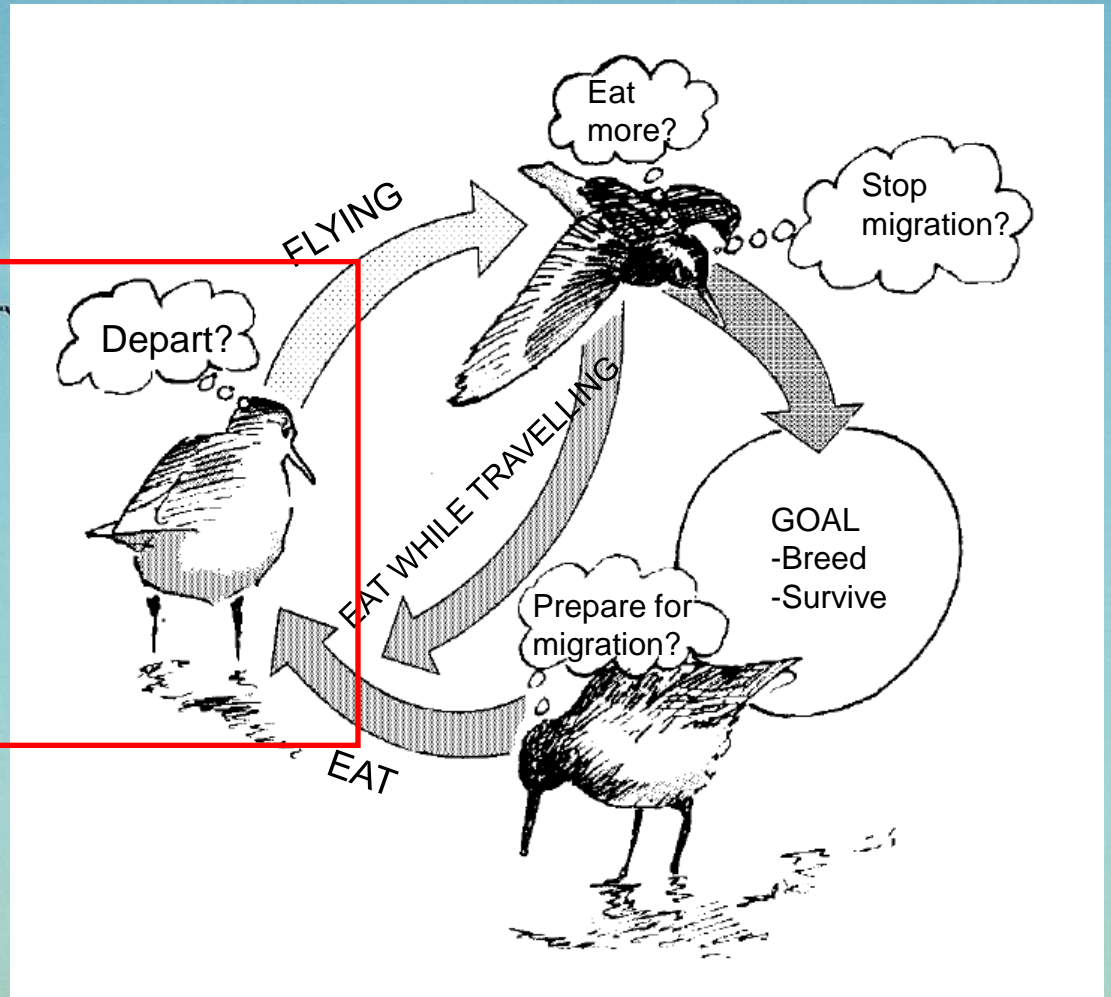
Individual behaviour has important fitness consequences →  
population dynamics (*Survival, Breeding success*)



# Decision rules?

# How and when to depart?

- What cue(s)?



# Oie à bec court



● Svalbard

● North-Norway

● Mid-Norway

● Denmark

## Characteristics of their migration

- Arctic breeders
- distinct stop-over sites
- time spent on stop-overs >> time in flight

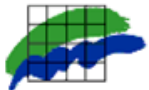
# Background database: Capture-resighting programme since 1990

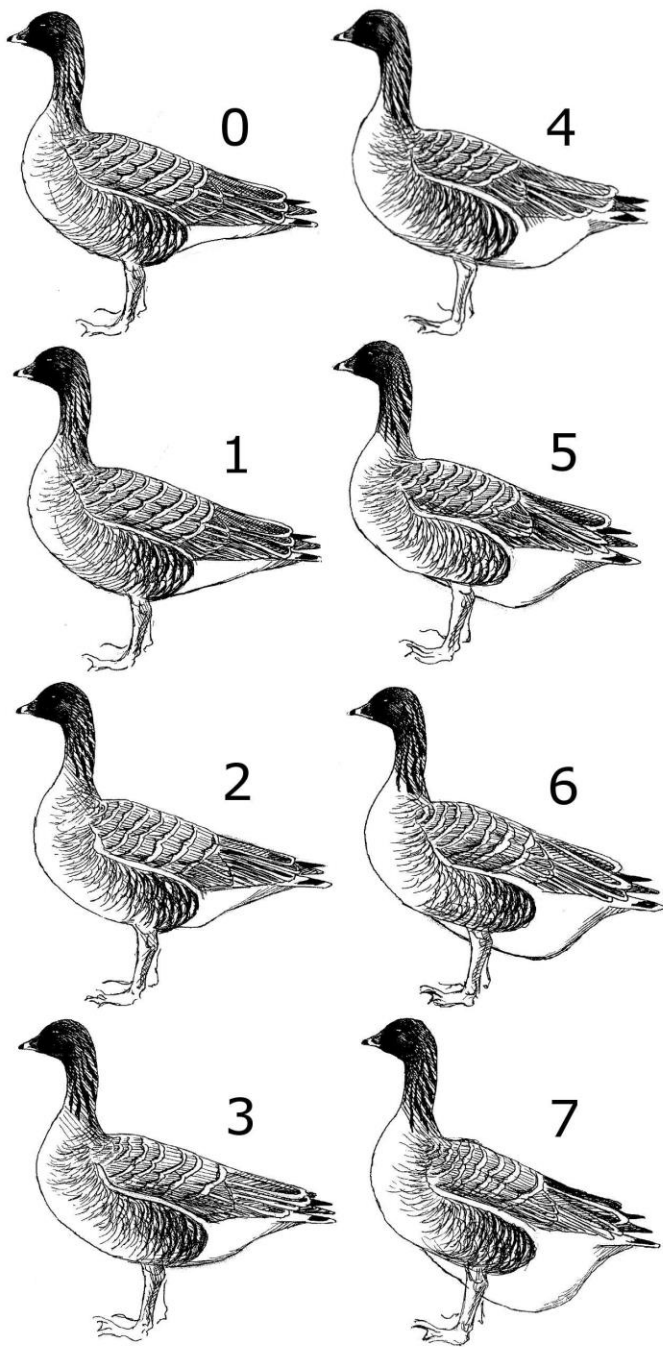


blue 'X21' - 51.18N 03.07E - 20/12/03 - © Yves Baptiste

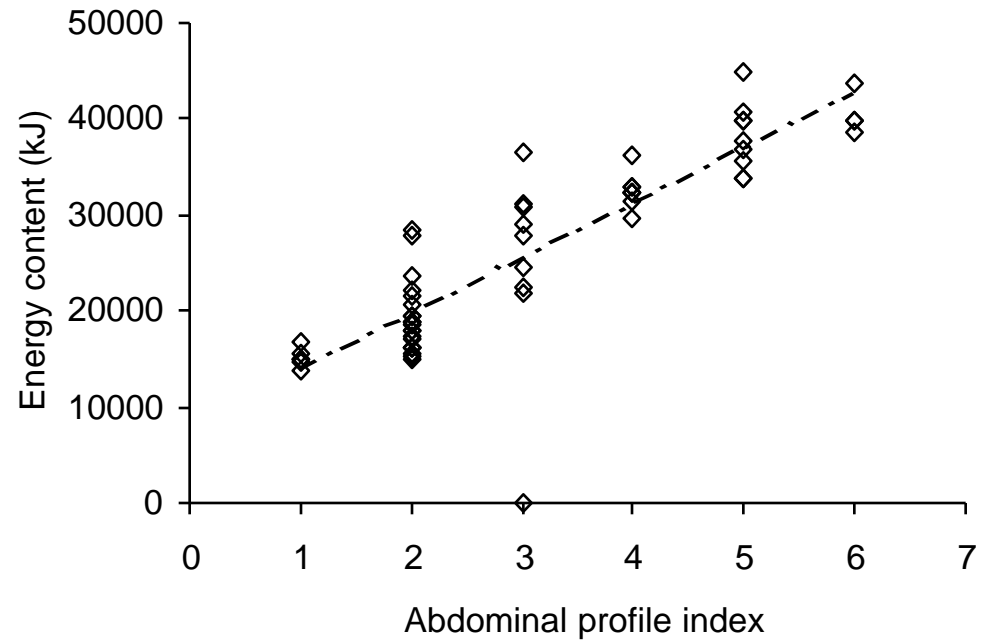


>2000 birds neck-banded  
>200,000 visual controls





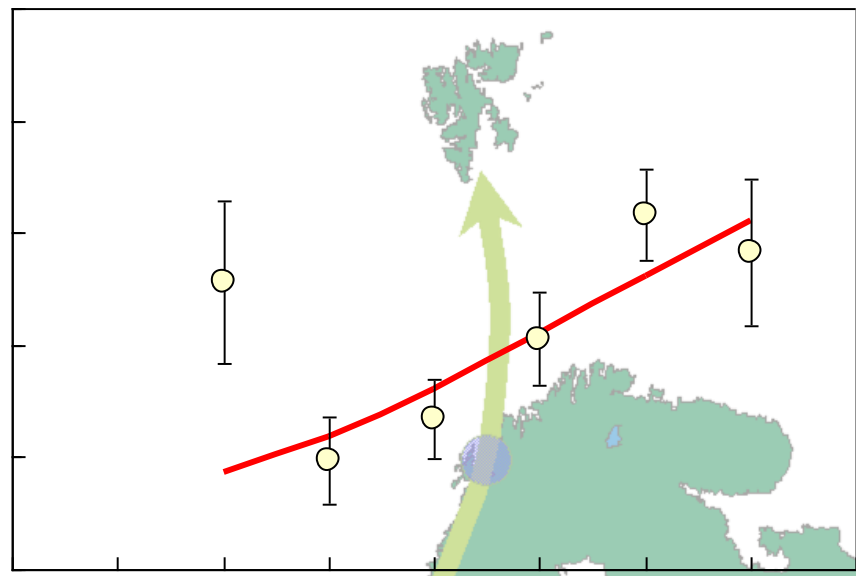
Abdominal profile index:  
 a useful field predictor of  
 energy gain rates  
 in individually marked birds



Source: Madsen & Klaassen (2006)

summer survival

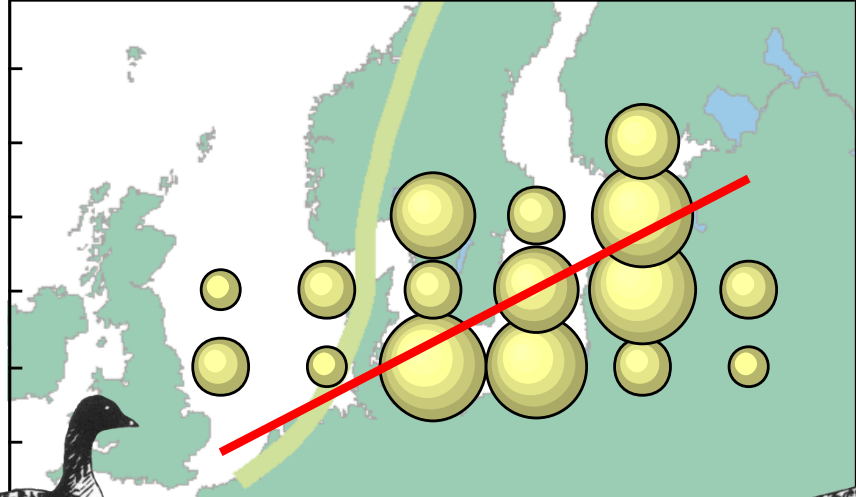
1.00  
0.95  
0.90  
0.85  
0.80  
0.75



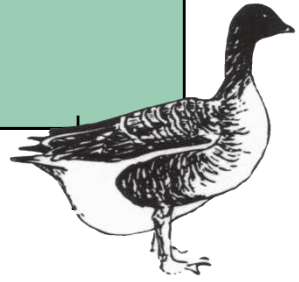
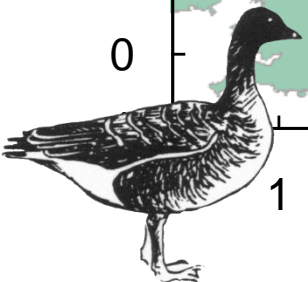
The "worlds" are intimately connected

number of young produced

5  
4  
3  
2  
1  
0



Spring body condition is positively related to winter/spring climate

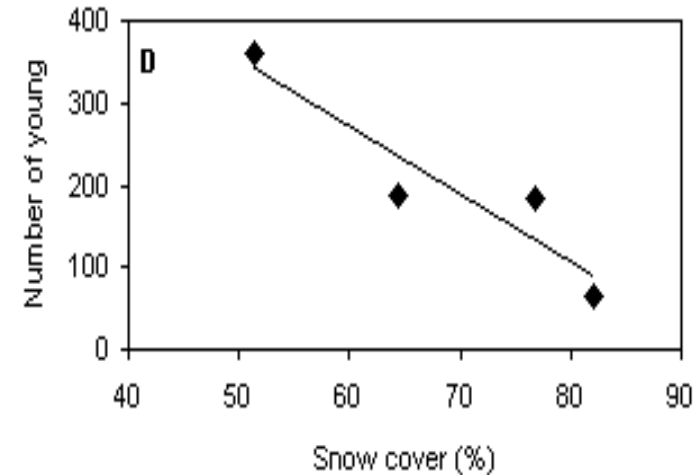
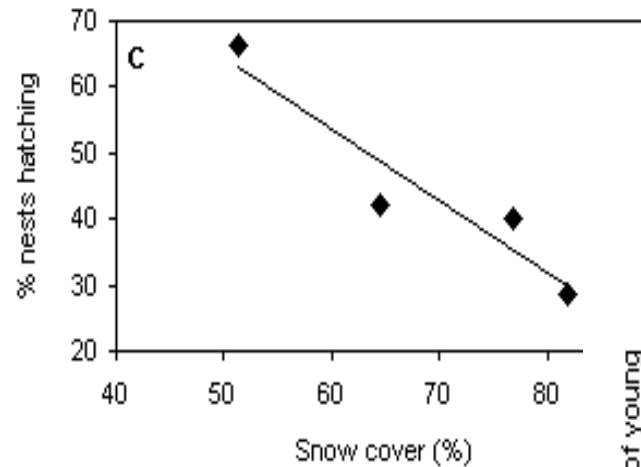
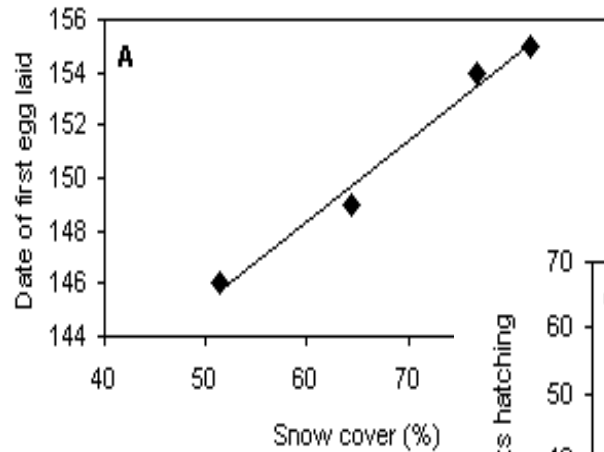


1 2 3 4 5 6

abdominal profile index Vesterålen

Source: Madsen & Klaassen in prep.

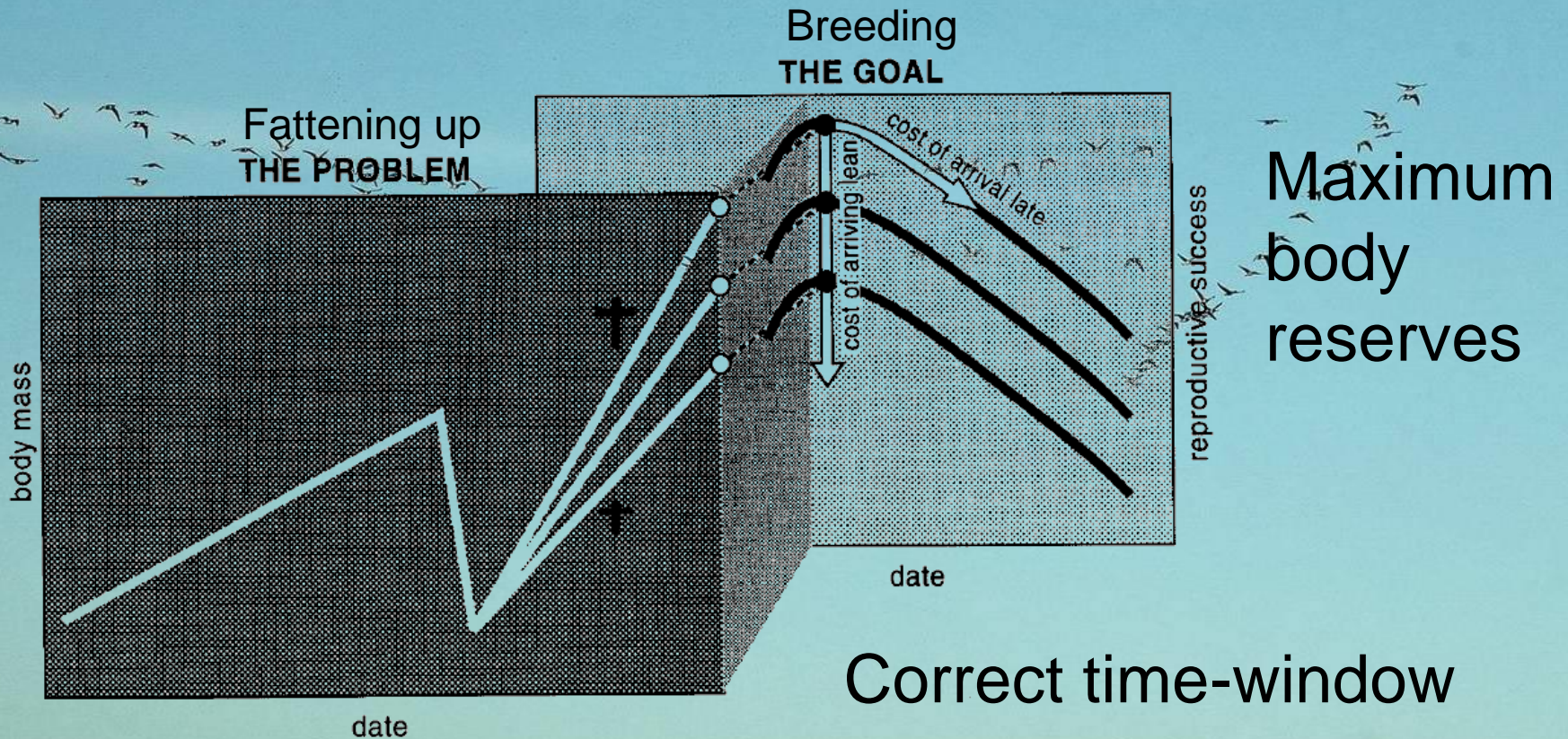
# Snow cover affects timing and nesting success



Narrow time-window for  
successful reproduction: 8 days

# Life-history trade-off

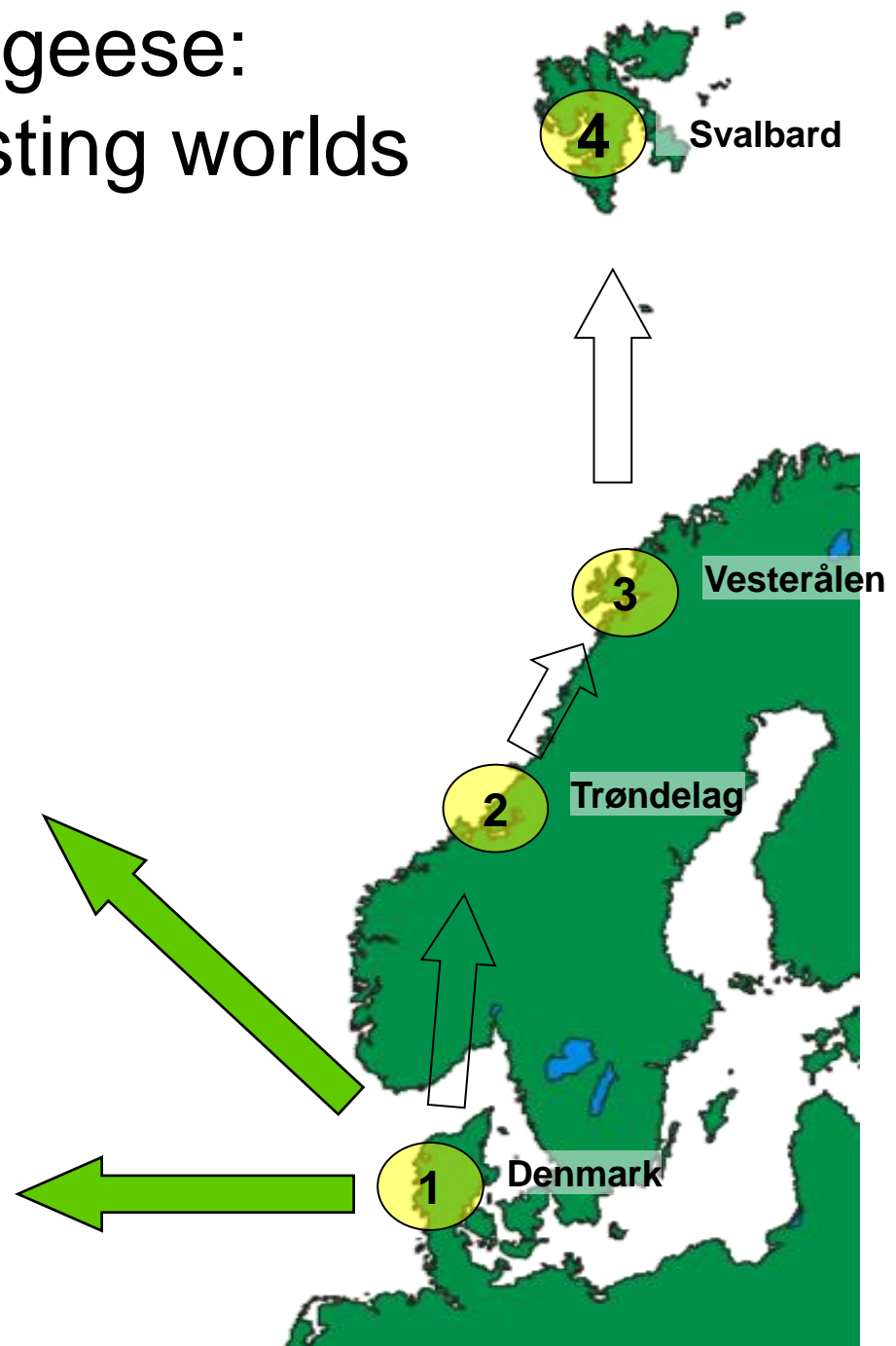
## Arrival at the breeding grounds



# Migratory Arctic-nesting geese: adapted to life in contrasting worlds



Highly anthropized landscape  
Fertilized pastures





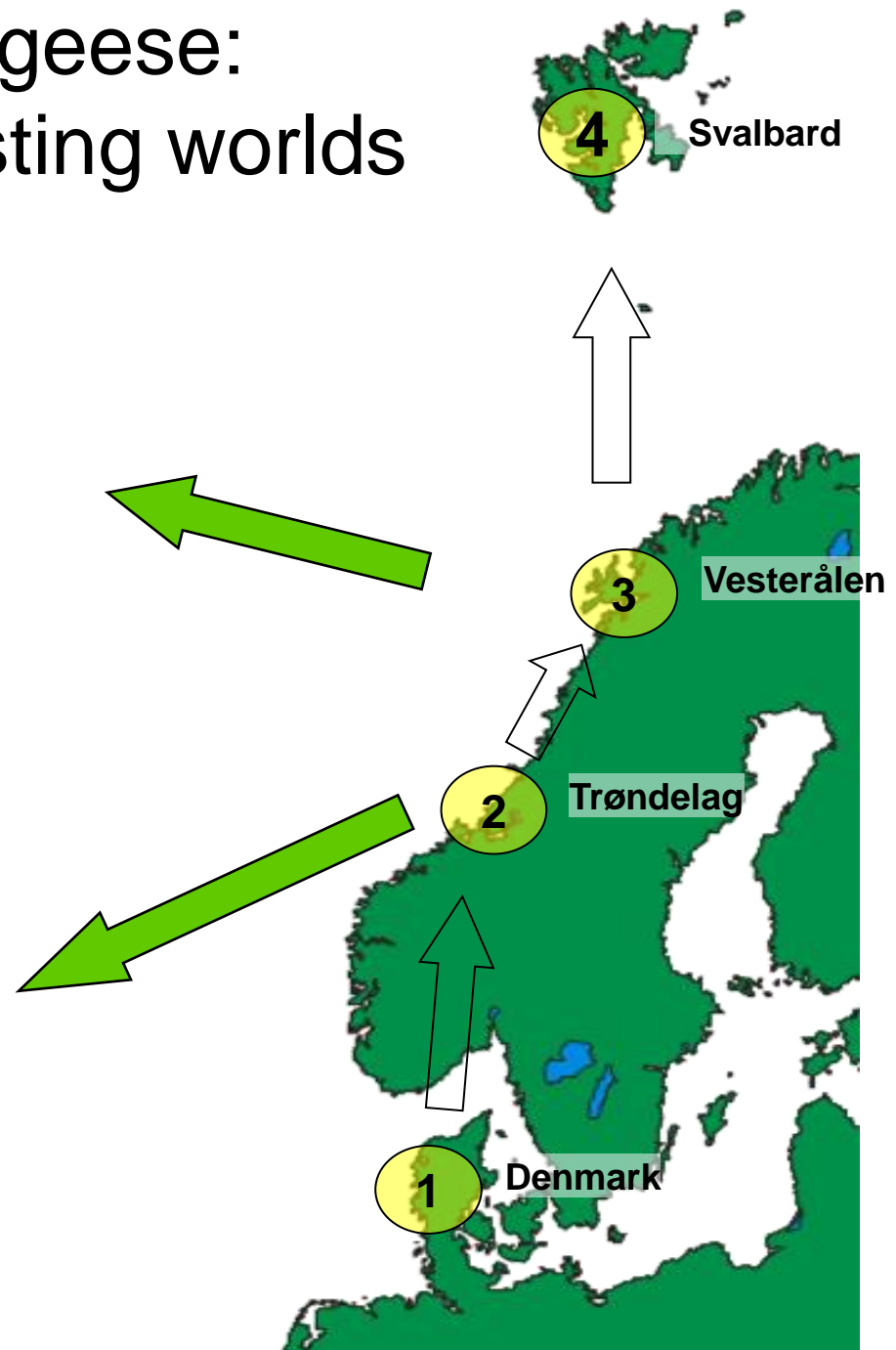
# Migratory Arctic-nesting geese: adapted to life in contrasting worlds



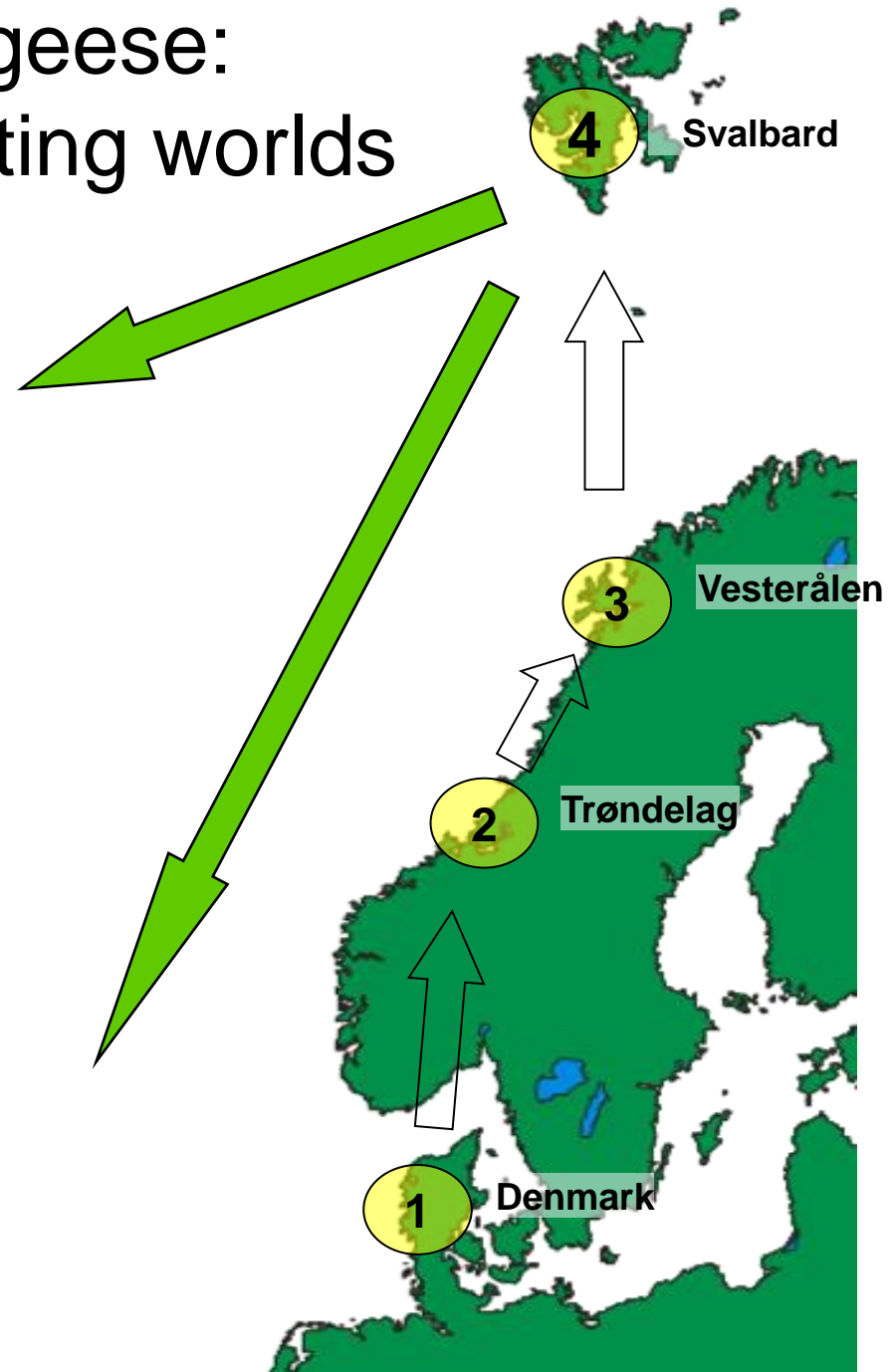
Small pastures



Covered with snow in early spring

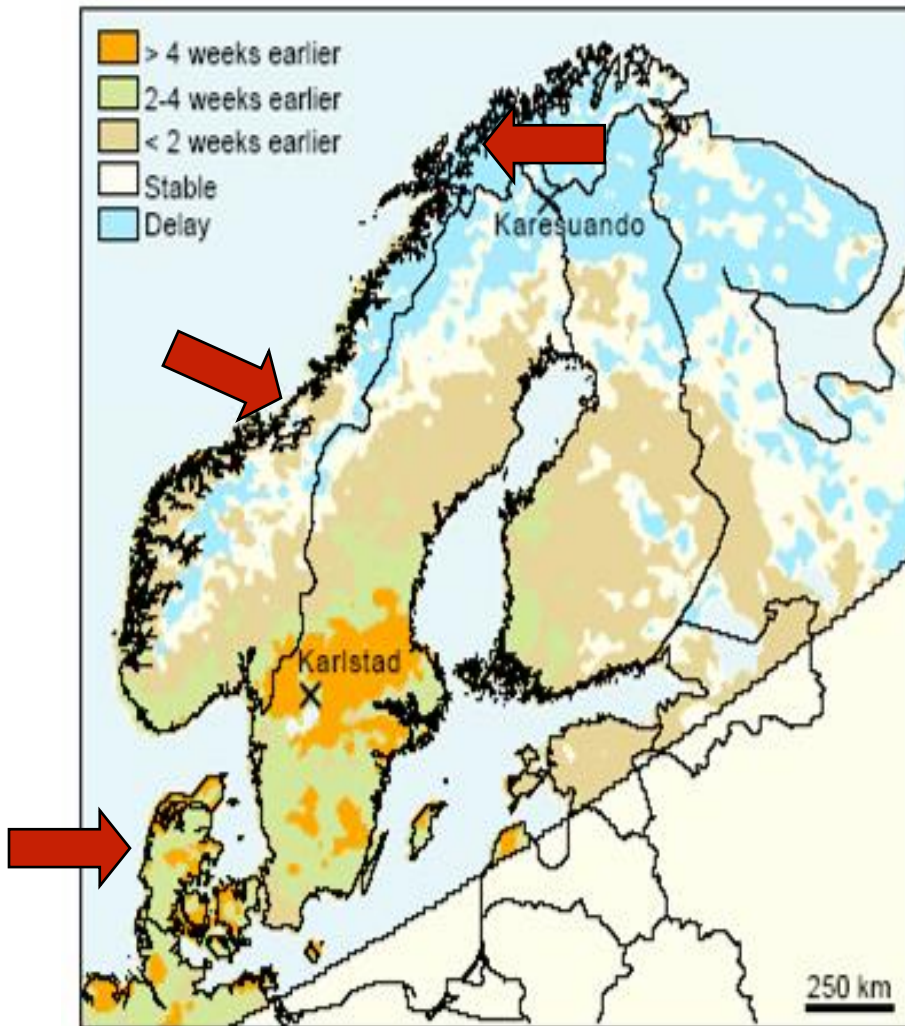


# Migratory Arctic-nesting geese: adapted to life in contrasting worlds



# Change in onset of spring, 1982 – 2002

Based on NDVI, NAO index and temperatures

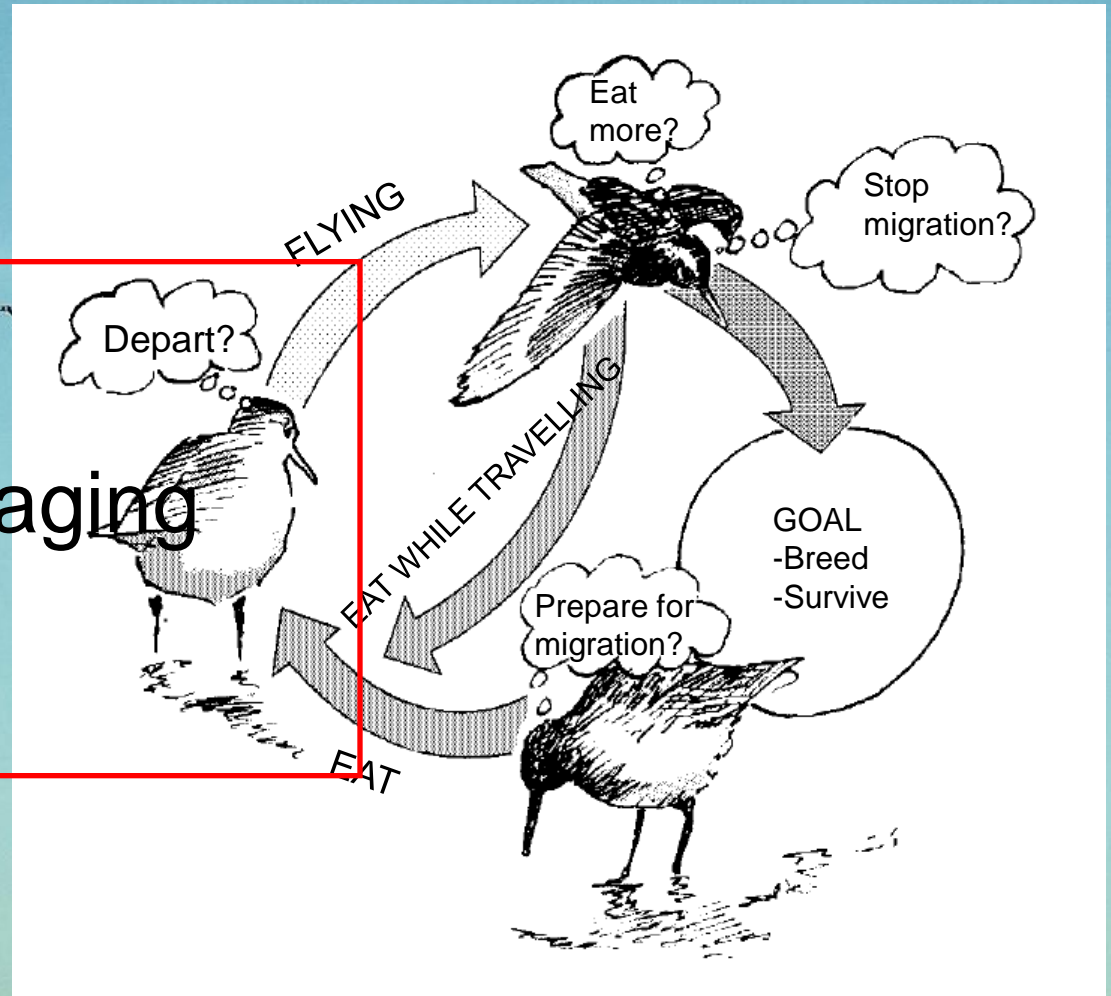


**Global warming → changes  
in ecological processes  
(ex: phenology of plants)**

Source: Høgda et al. (2008)

# Migratory Arctic-nesting geese: adapted to life in contrasting worlds

- What cue(s)?
- Same cue at all staging sites?
- Constant in time?



# Data required to build IBM?

## Migratory flights

- ✓ Weather data
- ✓ energy expenditure
- ✓ body reserve dynamics

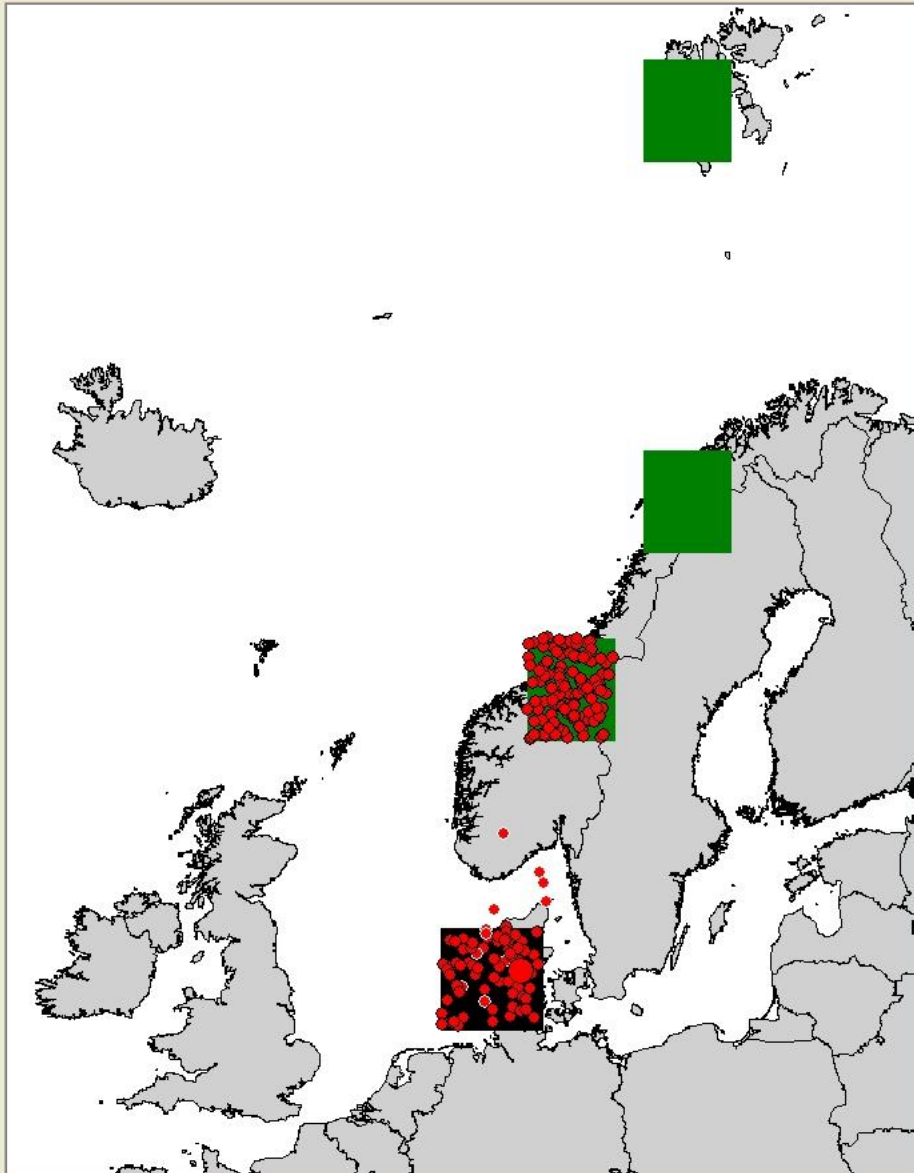
## Stop-over

- ✓ number & distribution
- ✓ food availability
- ✓ energy expenditure
- ✓ predation & disturbance

## Breeding grounds

Reproductive success





TimeStep	TimeStepLen	Day	Time	TempS1	TempS2	TempS3	TempS4	GDDs1	GDDs2	GDDs3	GDDs4	TempDepartS1
92	1	3	19	7.5	4.5	-1.7	-4.9	865.1	598.3	238.8	89.4	7

Patch	PatName	Size	Latitude	Longitude	Site	Daylength	Daylight	GDDOnset	OnsetSpring	PlantGrowthLimit	Availa
1	Denmark	100000000	55.117	8.667	1	13.62	0	1	1	68.22	1
2	Trondelag	100000000	63.417	10.417	2	14.1722	1	540	1	91.45	7
3	Vesteralen	100000000	68.75	14.9	3	14.6781	1	540	0	89.55	12
4	Svalbard	100000000	78.2	14	4	16.8157	1	60	0	50.61	55

Patch	Resource	ResName	Consumed	Dens	EnergyDens
1	1	GrassWheat	0	68.081496589353	19.84
2	1	GrassWheat	375967.45677125	57.7108515640409	19.84
3	1	GrassWheat	0	0	19.84
4	1	GrassWheat	0	0	19.84

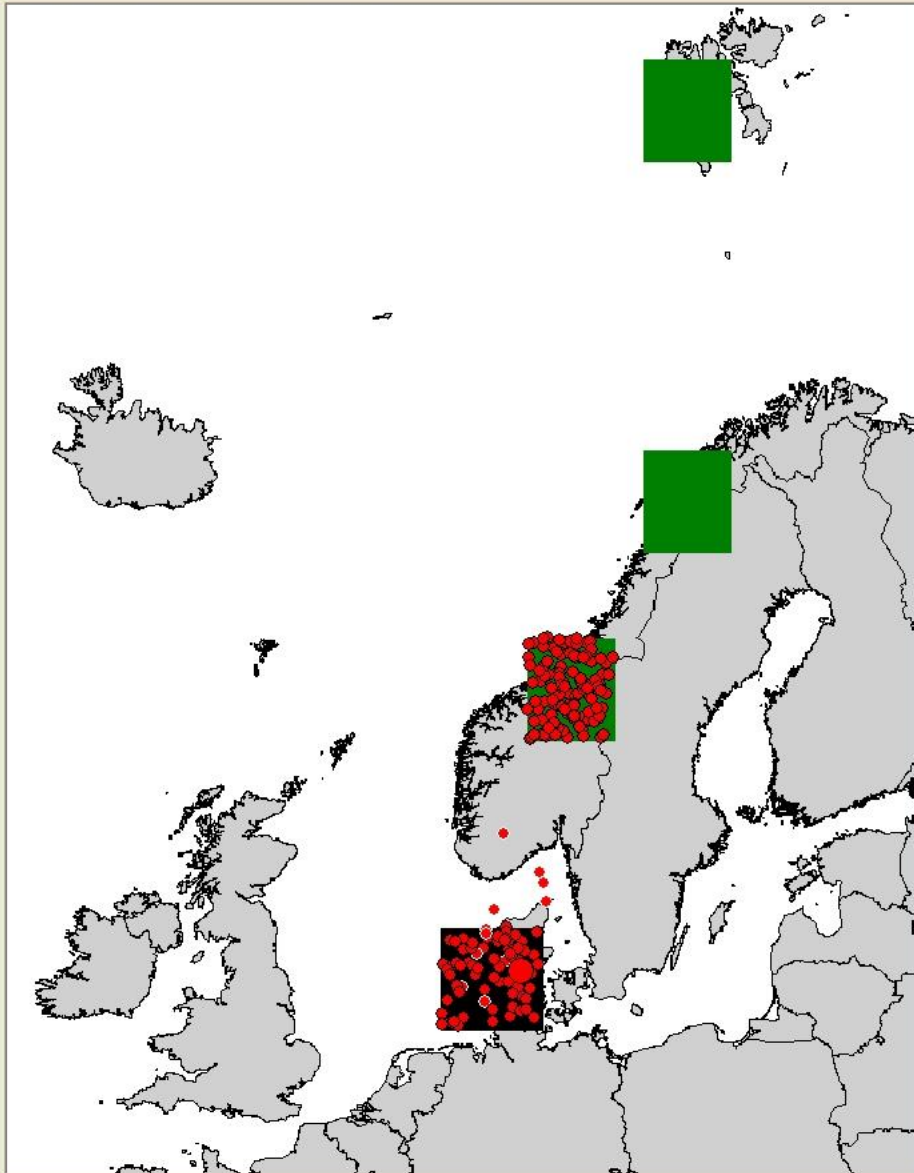
  

Patch	Diet	DietName	Dens	EnergyDens
1	1	GrassWheatDiet	68.081496589353	19.84
2	1	GrassWheatDiet	57.7108515640409	19.84
3	1	GrassWheatDiet	0	0
4	1	GrassWheatDiet	0	0

Forager	ForType	ForName	Immig	Present	Starvation	Emig	ForagingEff	ImmigrationSite	ImmigrationDay
52	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.944883693251024	1	1
53	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	1.0599541189334	1	1
54	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.975947055680716	1	1
55	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.877897862424681	1	1
56	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	1.06175080905169	1	1
57	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.960263388212872	1	1
58	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	1.01768313457826	1	1
59	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.997186194990133	1	1
60	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.965507895537222	1	1
61	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.963648940200197	1	1
62	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	1.04906926576598	1	1
63	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.981956353612457	1	1
64	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.935679869027823	1	1
65	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.975013850474223	1	1
66	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	1.02096536213768	1	1
67	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	1.12080343358558	1	1
68	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	1.04153998929564	1	1
69	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	1.02050544356304	1	1
70	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.977448583706847	1	1

Next Slower Faster Hide Resume Quit



TimeStep	TimeStepLen	Day	Time	TempS1	TempS2	TempS3	TempS4	GDDs1	GDDs2	GDDs3	GDDs4	TempDepartS1
92	1	3	19	7.5	4.5	-1.7	-4.9	865.1	598.3	238.8	89.4	7

Patch	PatName	Size	Latitude	Longitude	Site	Daylength	Daylight	GDDOnset	OnsetSpring	PlantGrowthLimit	Availa
1	Denmark	100000000	55.117	8.667	1	13.62	0	1	1	68.22	1
2	Trondelag	100000000	63.417	10.417	2	14.1722	1	540	1	91.45	7
3	Vesteralen	100000000	68.75	14.9	3	14.6781	1	540	0	89.55	12
4	Svalbard	100000000	78.2	14	4	16.8157	1	60	0	50.61	55

Patch	Resource	ResName	Consumed	Dens	EnergyDens
1	1	GrassWheat	0	68.081496589353	19.84
2	1	GrassWheat	375967.45677125	57.7108515640409	19.84
3	1	GrassWheat	0	0	19.84
4	1	GrassWheat	0	0	19.84

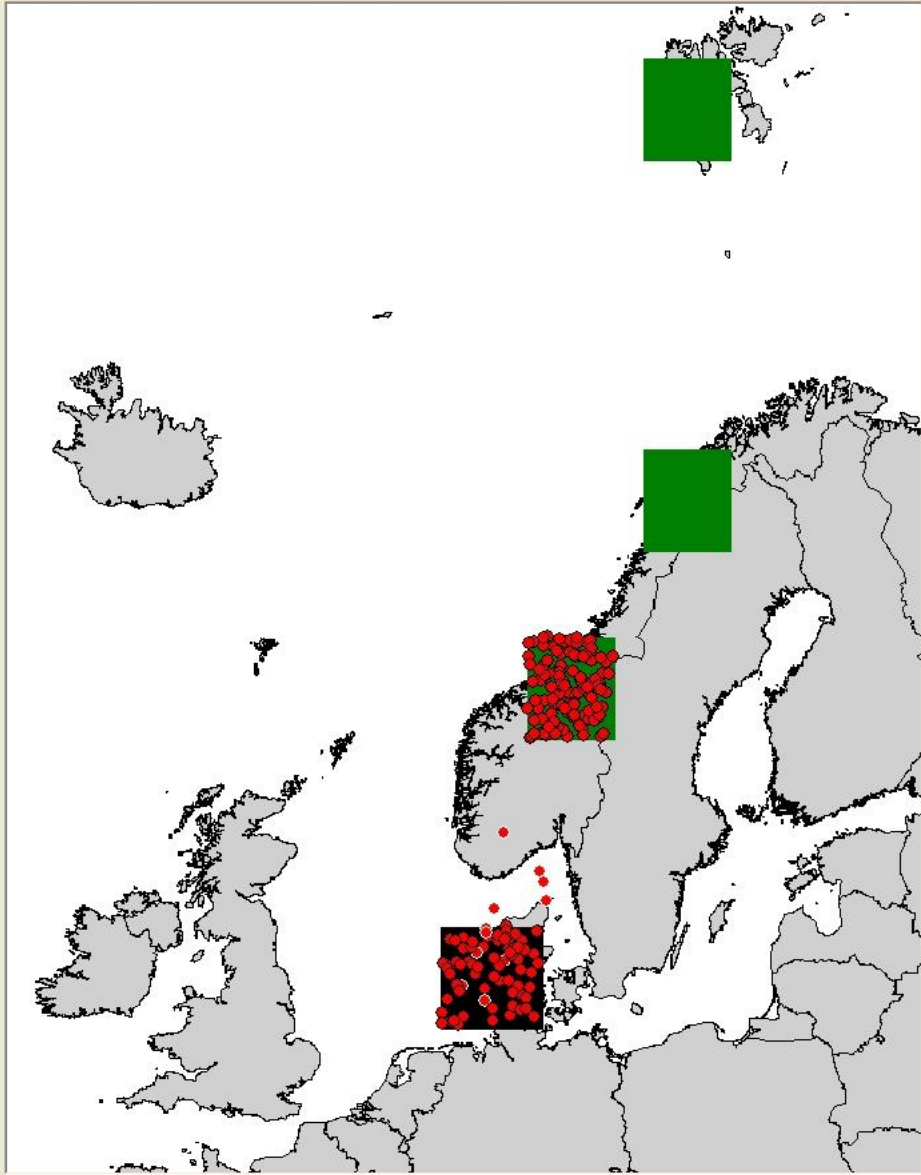
  

Patch	Diet	DietName	Dens	EnergyDens
1	1	GrassWheatDiet	68.081496589353	19.84
2	1	GrassWheatDiet	57.7108515640409	19.84
3	1	GrassWheatDiet	0	0
4	1	GrassWheatDiet	0	0

Forager	EnergyMetRate	PastEnergyMetRate	EnergyTargetStore	EnergyInitStore	EnergyFinalStore
52	61.416	211.07175	34336	10048.6354048094	10158.5919266672
53	61.416	50.65865	34336	10672.6961869355	10782.6515521155
54	61.416	50.65865	34336	11942.1378913172	12052.0901334224
55	31.104	46.68195	34336	15393.5655648965	15362.4615648965
56	31.104	46.68195	34336	11566.7277320774	11535.6237320774
57	61.416	50.65865	34336	13055.630155902	13165.5824558425
58	31.104	46.68195	34336	16536.0012979622	16504.8972979622
59	61.416	50.65865	34336	12950.4121976899	13060.3678520402
60	61.416	50.65865	34336	11077.7594854241	11187.71479277
61	61.416	50.65865	34336	13963.442927351	14073.3954007973
62	31.104	46.68195	34336	15528.0755058758	15496.9715058758
63	31.104	46.68195	34336	16713.2497212778	16682.1457212778
64	61.416	248.78475	34336	9822.22594107271	9932.18263643144
65	31.104	46.68195	34336	13966.0619266822	13934.9579266822
66	31.104	46.68195	34336	14314.2931037243	14283.1891037243
67	61.416	50.65865	34336	10543.6929426071	10653.6475559417
68	61.416	50.65865	34336	13885.8520006457	13995.8085803372
69	31.104	46.68195	34336	13275.1009440005	13243.9369440005
70	31.104	46.68195	34336	15966.3179272467	15935.2139272467

Next Slower Faster Hide Resume Quit

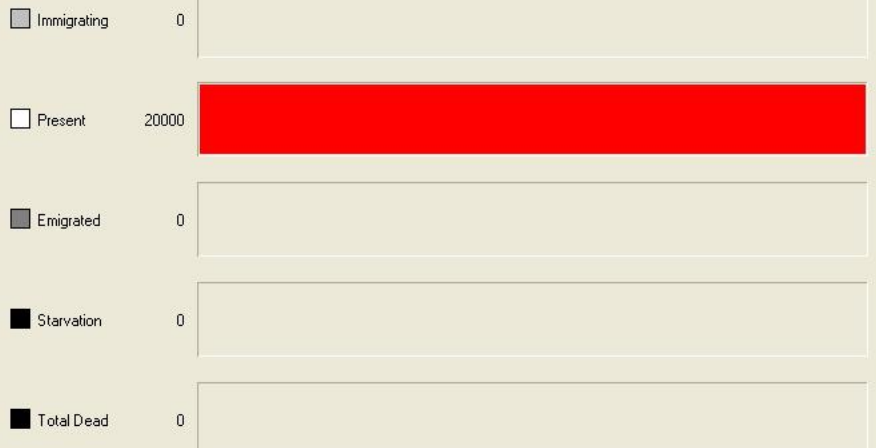


Variables | Resources | Foragers | Details | Parameters

**Forager Types**

PinkFootedGoose

**Individual Numbers**

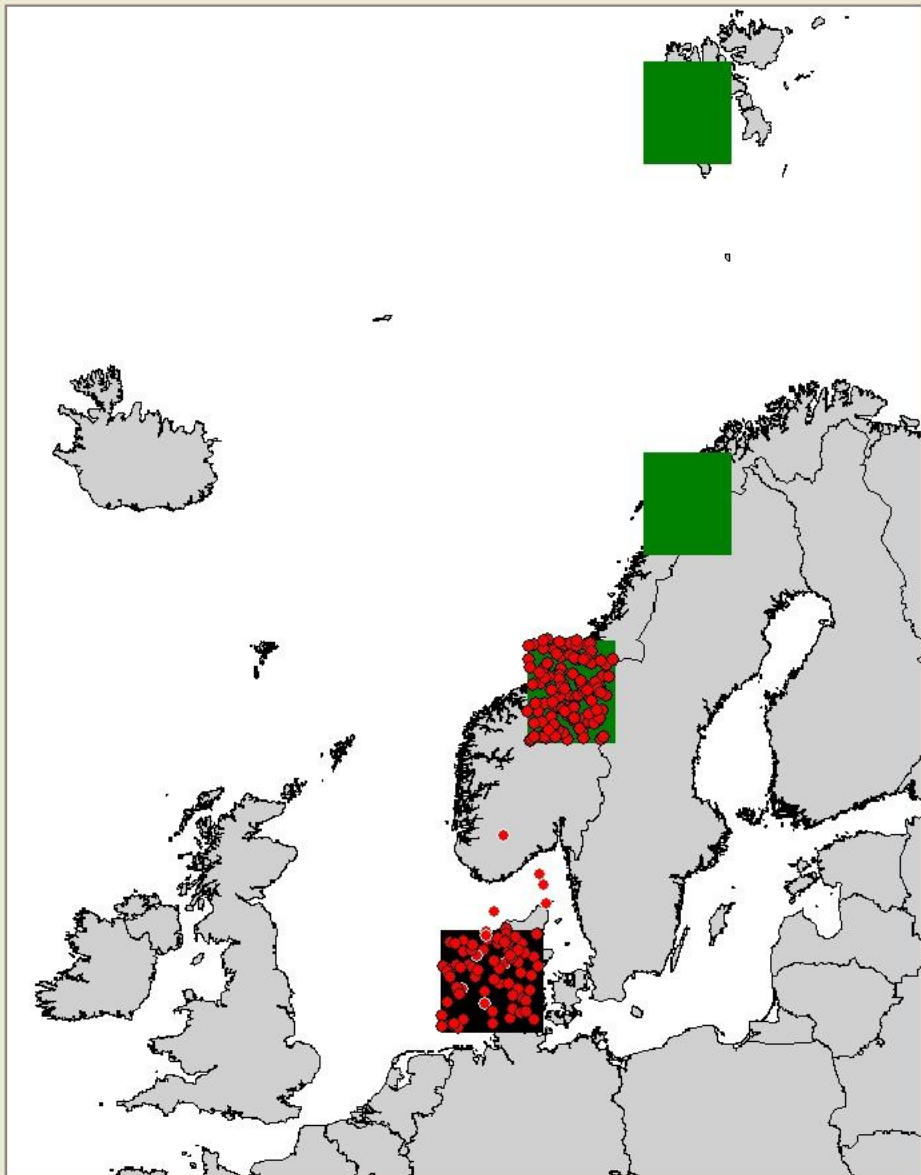


**Individual Distribution**



Next | Slower | Faster | Hide | Resume | Quit



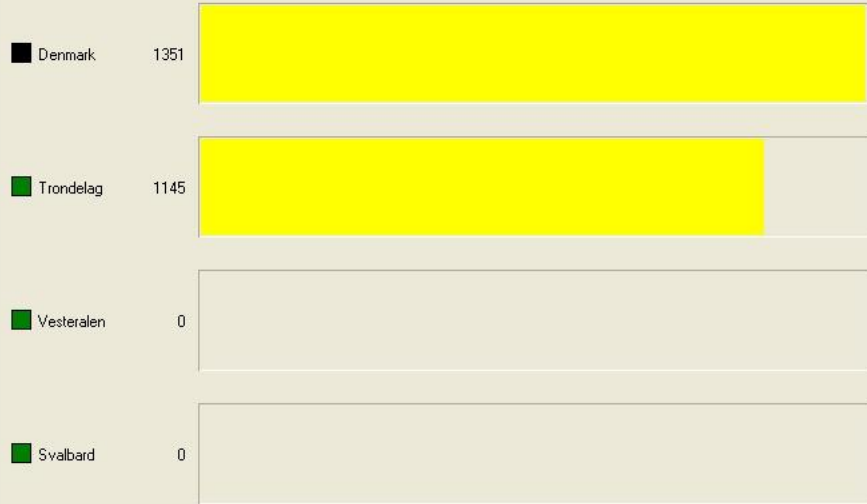


Variables Resources Foragers Details Parameters

Resource Types

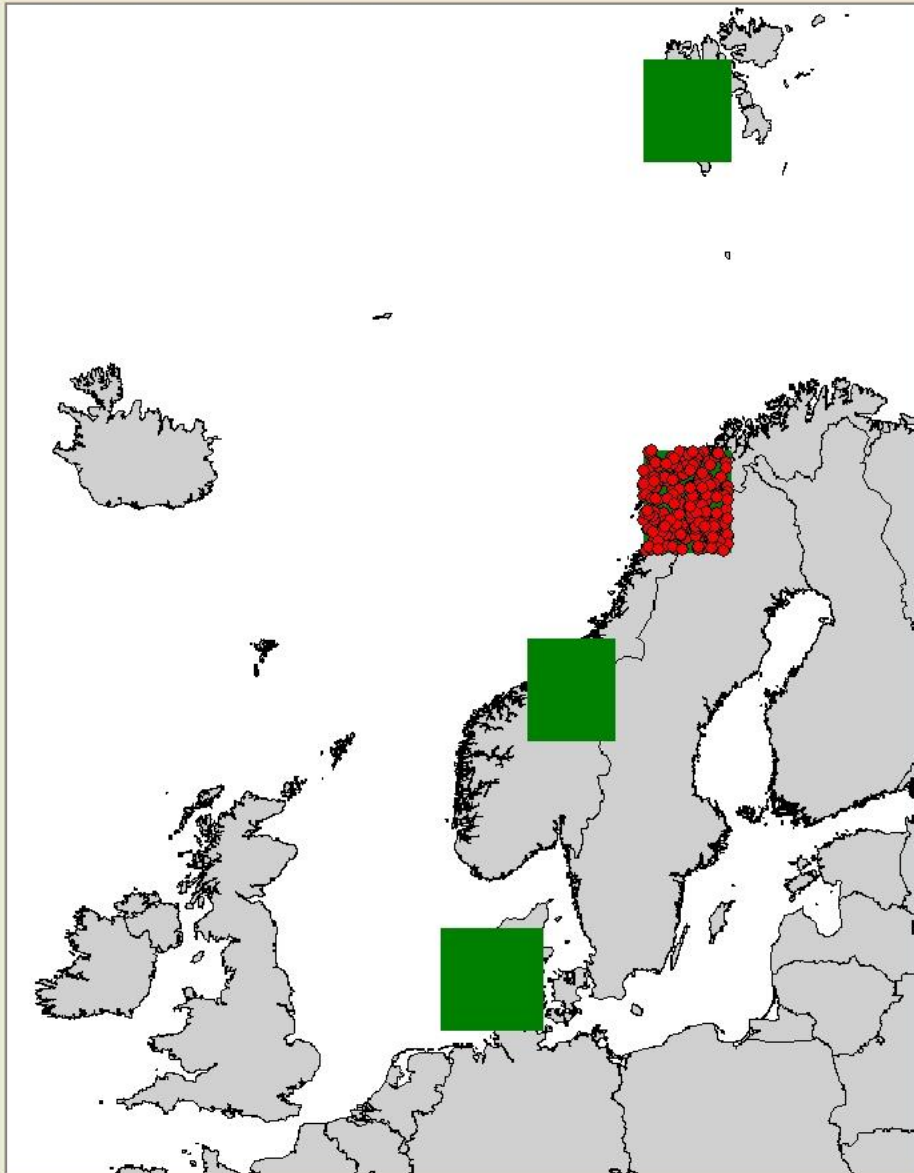
GrassWheat

Energy Distribution



Next Slower Faster Hide Resume Quit





TimeStep	TimeStepLen	Day	Time	TempS1	TempS2	TempS3	TempS4	GDDs1	GDDs2	GDDs3	GDDs4	TempDepartS1
1018	1	42	9	12.5	12.5	2.7	-10.1	1357.7	971.6	479.4	137.1	7

Patch	PatName	Size	Latitude	Longitude	Site	Daylength	Daylight	GDDOnset	OnsetSpring	PlantGrowthLimit	Availa
1	Denmark	100000000	55.117	8.667	1	16.6308	1	1	1	68.22	1
2	Trondelag	100000000	63.417	10.417	2	18.8054	1	540	1	91.45	7
3	Vesteralen	100000000	68.75	14.9	3	22.3221	1	540	0	89.55	12
4	Svalbard	100000000	78.2	14	4	24	1	60	0	50.61	55

Patch	Resource	ResName	Consumed	Dens	EnergyDens
1	1	GrassWheat	0	68.0197968859244	19.84
2	1	GrassWheat	0	91.5533394585115	19.84
3	1	GrassWheat	0	0	19.84
4	1	GrassWheat	0	0	19.84

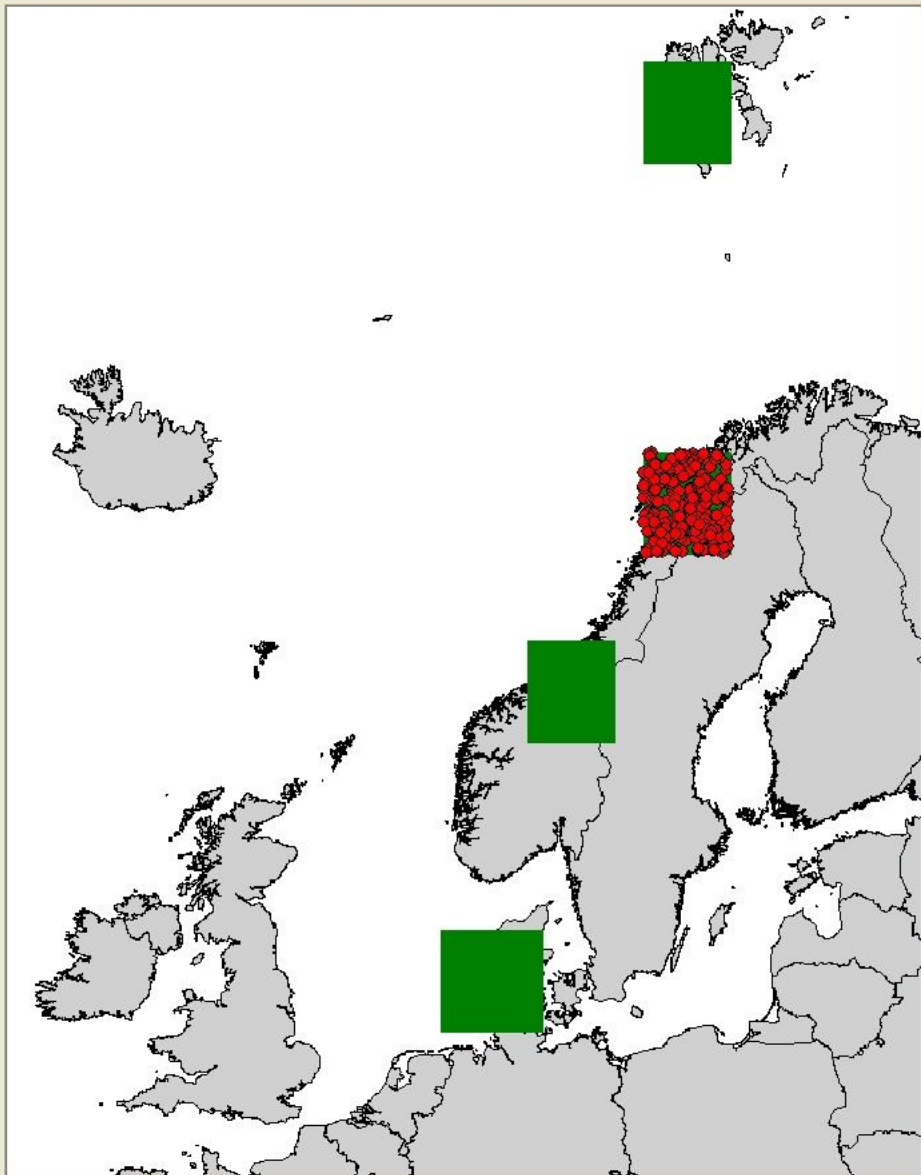
  

Patch	Diet	DietName	Dens	EnergyDens
1	1	GrassWheatDiet	68.0197968859244	19.84
2	1	GrassWheatDiet	91.5533394585115	19.84
3	1	GrassWheatDiet	0	0
4	1	GrassWheatDiet	0	0

Forager	ForType	ForName	Immig	Present	Starvation	Emig	ForagingEff	ImmigrationSite	ImmigrationDay
1	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	1.00783207263862	1	1
2	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.978011891002328	1	1
3	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.934722548155316	1	1
4	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.91316723142065	1	1
5	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.995679660875662	1	1
6	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	1.01395457803441	1	1
7	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	1.00373744515591	1	1
8	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	1.06934496412026	1	1
9	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	1.17306651940624	1	1
10	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.982891811826255	1	1
11	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.961101569891448	1	1
12	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	1.12419562231541	1	1
13	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.910311596531613	1	1
14	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	1.05524873422023	1	1
15	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.959717822056744	1	1
16	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.800099017599092	1	1
17	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	1.0698717273557	1	1
18	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	0.976384373766364	1	1
19	1	PinkFootedGoose	0	100	0	0	1.09575172240085	1	1

Next Slower Faster Hide Resume Quit



Variables Resources Foragers Details Parameters

Resource Types

GrassWheat

Energy Distribution

Denmark 1350



Trondelag 1816



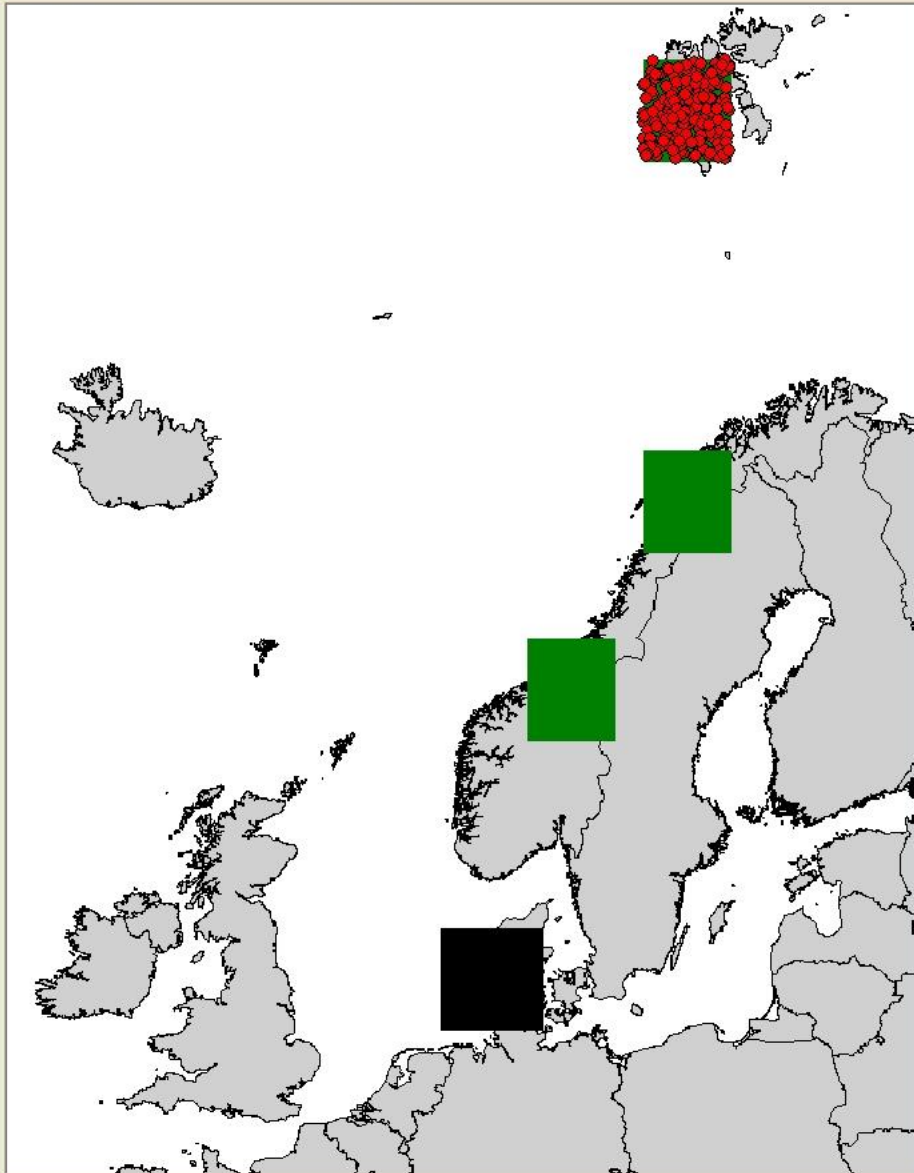
Vesteralen 1711



Svalbard 1006



Next Slower Faster Hide Resume Quit



TimeStep	TimeStepLen	Day	Time	TempS1	TempS2	TempS3	TempS4	TempDepartS1	TempDepartS2	TempDepartS3	TempDepartS4
1372	1	57	3	10.9207	12.8424	5.3974	-3.5128	7	10	5	-3

Patch	PatName	Size	Latitude	Longitude	Site	Daylength	Daylight	OnsetSpring	StableSpring	AvailableDay	Temperature
1	Denmark	100000000	56.5	8.667	1	17.7888	0	1	1	1	8.4207
2	Trondelag	100000000	63.417	10.417	2	21.2354	1	19	25	25	15.3424
3	Vesteralen	100000000	68.75	14.9	3	24	1	35	43	43	5.3974
4	Svalbard	100000000	79	14	4	24	1	48	60	55	-3.5128

Patch	Resource	ResName	Consumed	Dens	EnergyDens
1	1	GrassWheat	0	66.3659112045288	19.84
2	1	GrassWheat	0	90.7242853071574	19.84
3	1	GrassWheat	0	88.9468146751664	19.84
4	1	GrassWheat	485072.823705157	38.5106790868672	19.84

Patch	Diet	DietName	Dens	EnergyDens
1	1	GrassWheatDiet	66.3659112045288	19.84
2	1	GrassWheatDiet	90.7242853071574	19.84
3	1	GrassWheatDiet	88.9468146751664	19.84
4	1	GrassWheatDiet	38.5106790868672	19.84

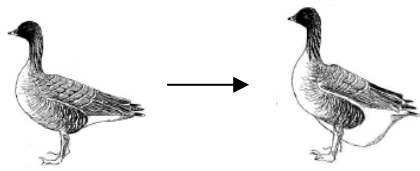
  

Forager	EnergyMetRate	PastEnergyMetRate	EnergyTargetStore	EnergyInitStore	EnergyFinalStore
1	65.6948352	65.8258432	34336	26551.8361267253	26615.4799823752
2	65.6948352	65.8258432	34336	26551.8765791698	26615.5202472459
3	65.6948352	65.8258432	34336	26551.8627823316	26615.5128279466
4	65.6948352	65.8258432	34336	26551.8686499236	26615.5153191862
5	65.6948352	65.8258432	34336	26551.8516340328	26615.4998038942
6	65.6948352	65.8258432	34336	26551.8545684748	26615.5089283449
7	65.6948352	65.8258432	34336	26551.8012838206	26615.4477655087
8	65.6948352	65.8258432	34336	26551.8599083549	26615.5102040708
9	65.6948352	65.8258432	34336	26551.8510843695	26615.5001921069
10	65.6948352	65.8258432	34336	26551.9002718639	26615.5550694138
11	65.6948352	65.8258432	34336	26551.8645955471	26615.515766617
12	65.6948352	65.8258432	34336	26551.8288485904	26615.4797695591
13	65.6948352	65.8258432	34336	26551.869880947	26615.5234279841
14	65.6948352	65.8258432	34336	26551.8857055227	26615.5299988448
15	65.6948352	65.8258432	34336	26551.845164468	26615.4946473563
16	65.6948352	65.8258432	34336	26551.8364509246	26615.4839330111
17	65.6948352	65.8258432	34336	26551.837352946	26615.4870234098
18	65.6948352	65.8258432	34336	26551.8462601922	26615.5001198572
19	65.6948352	65.8258432	34336	26551.8971864475	26615.5457939842

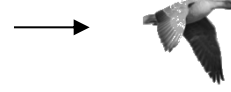
Next Slower Faster Hide Resume Quit

7 scenarios  
of decision rules

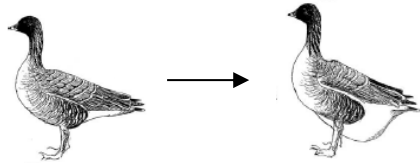
Rule 1:



*Minimal  
body stores*



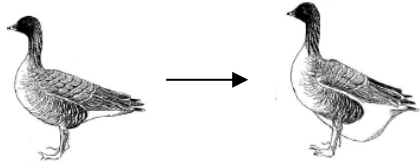
Rule 2:



*Maximal  
body stores*



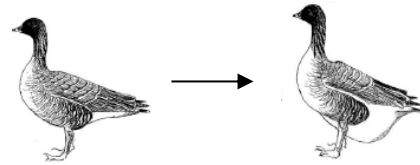
Rule 3:



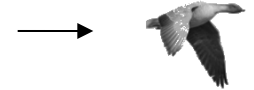
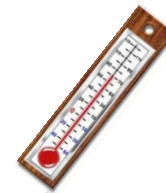
+ *Calendar dates  
(photoperiod)*



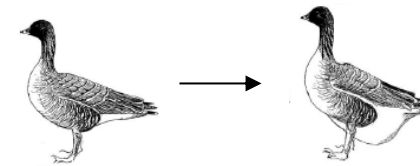
Rule 4:



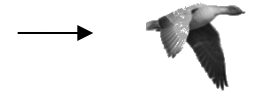
+ *Temperature  
threshold*



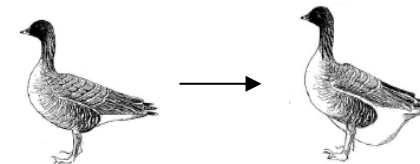
Rule 5:



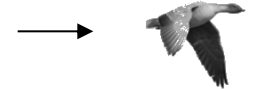
+ *Plant phenology*



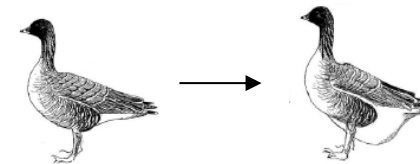
Rule 6:



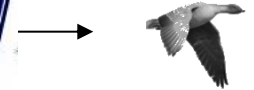
+ *Fixed duration of  
stay*



Rule 7:



+ *Mixture of cues*

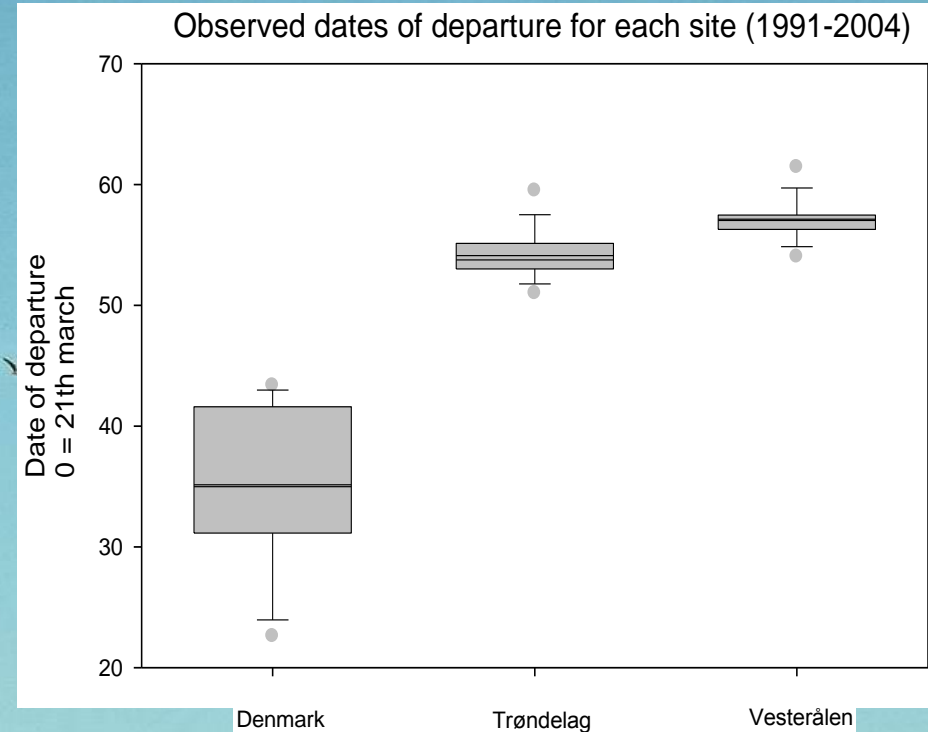


# What decision rules do geese use to depart on migration?

→ comparison between observed and predicted values for each site for each year

→ Median departure dates

→ Survival

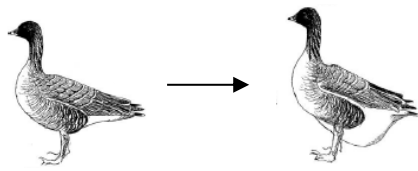


Method for comparison:

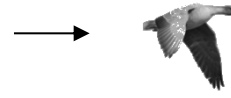
root mean squared deviation (RMSD) (Kobayashi and Salam 2000): smaller is better

$$RMSD = \sqrt{\frac{1}{n(\text{year})} \sum_{i=1}^n ((\text{predict})_i - (\text{observed})_i)^2}$$

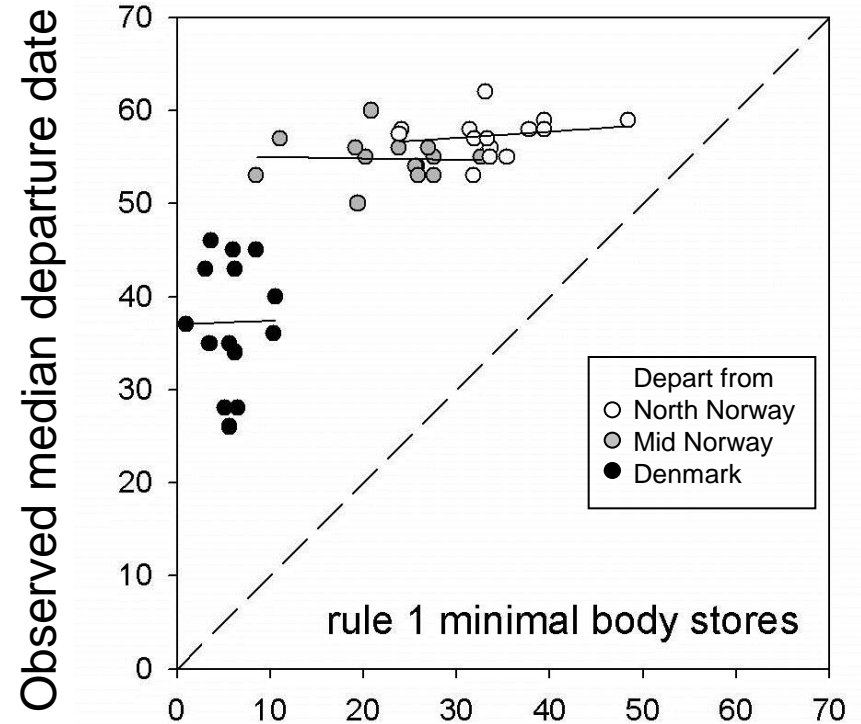
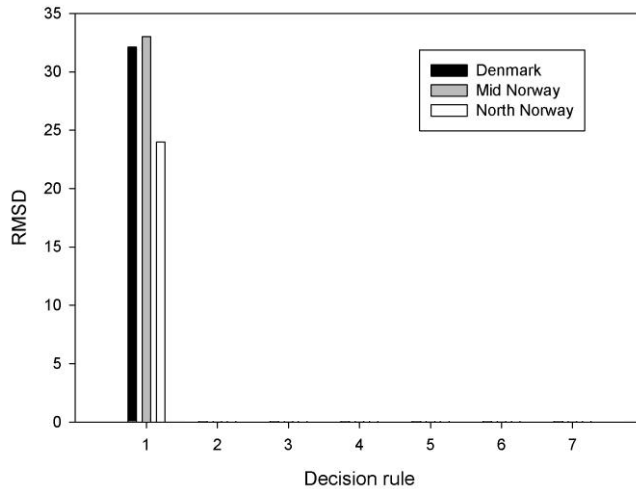
Rule 1:



*Minimal  
body stores*



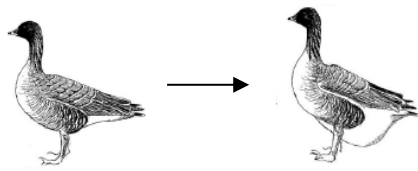
Survival:  $0.023 \pm 0.46$  (0 – 0.125)



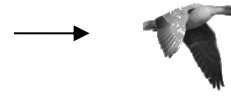
→ Birds depart too early and 95% die after 10 days in site 2 because of lack of resource

→ rules must integrate some environmental cues

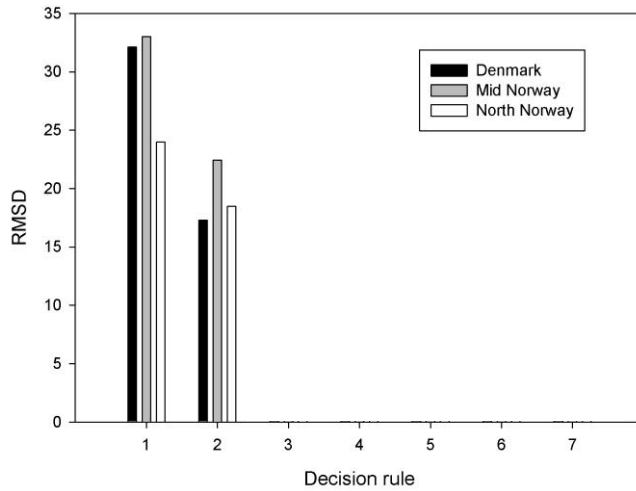
Rule 2:



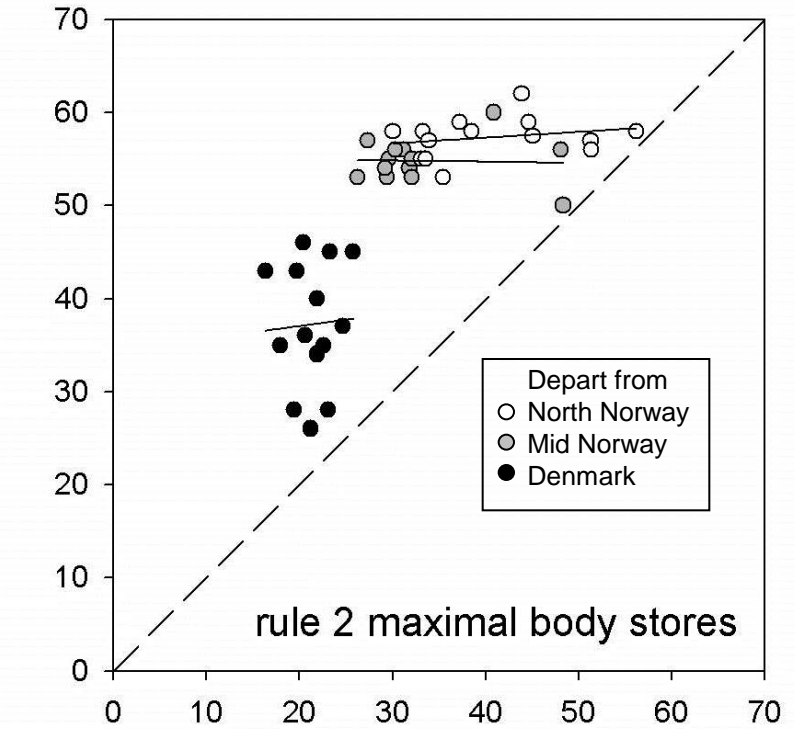
*Maximal  
body stores*



Survival:  $0.995 \pm 0.008$  (0.975 – 1)



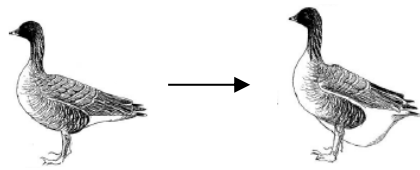
Observed median departure date



Predicted median departure date



Rule 3:

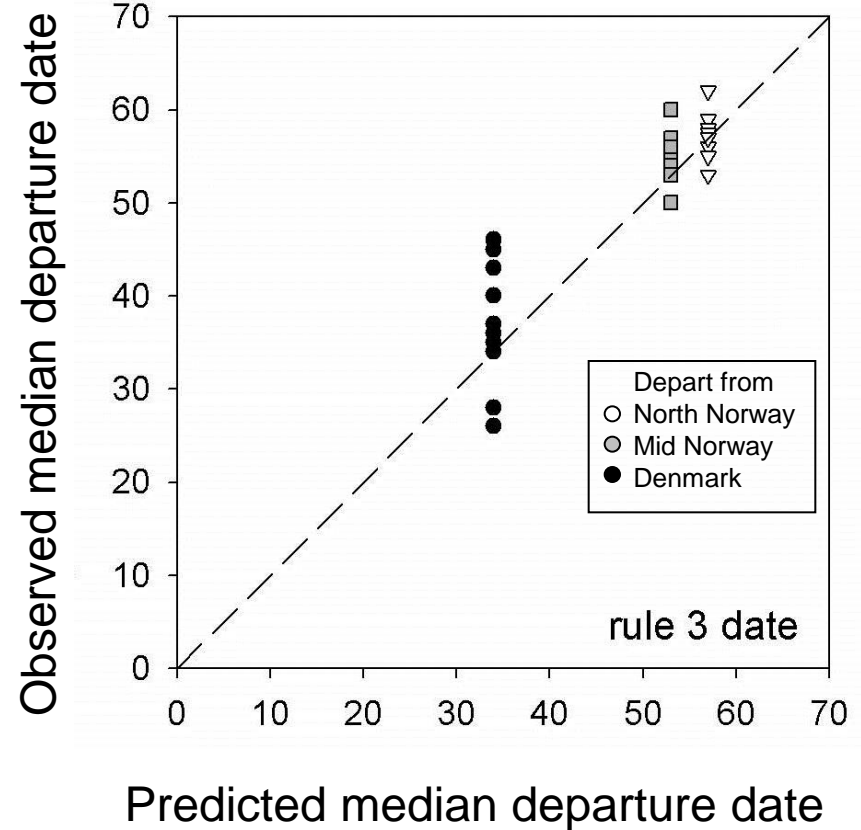
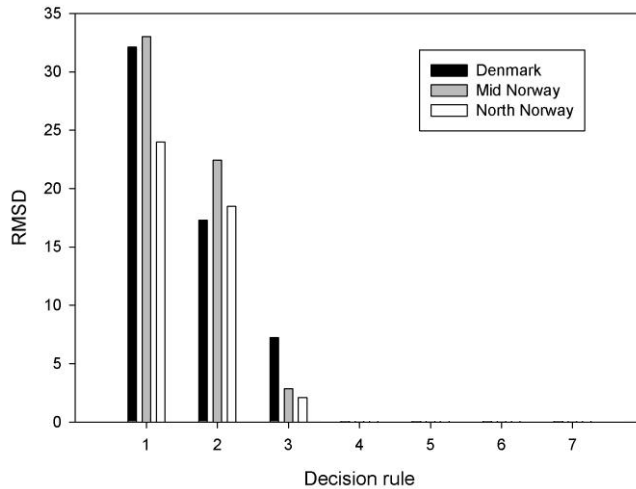


+

*Calendar dates*  
(photoperiod)



Survival:  $1 \pm 0.00$



➔ Better fit but does not reflect natural variation of staging times

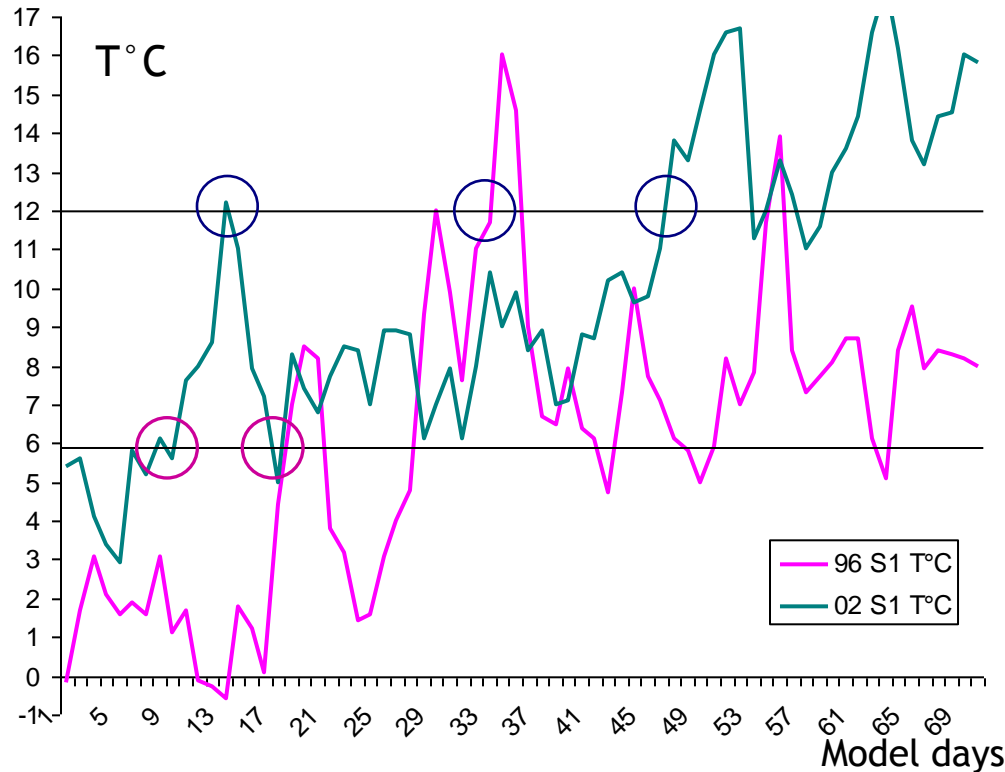
➔ potentially suitable for Norwegian sites

Rule 4:



+

Temperature threshold



- Case 1: High threshold: geese who have enough energy stores leave, but the others often must wait for a long time before leaving.
- Case 2: Low threshold: to compensate coldest years, but it induce a too earlier leaving.

Rule 4:

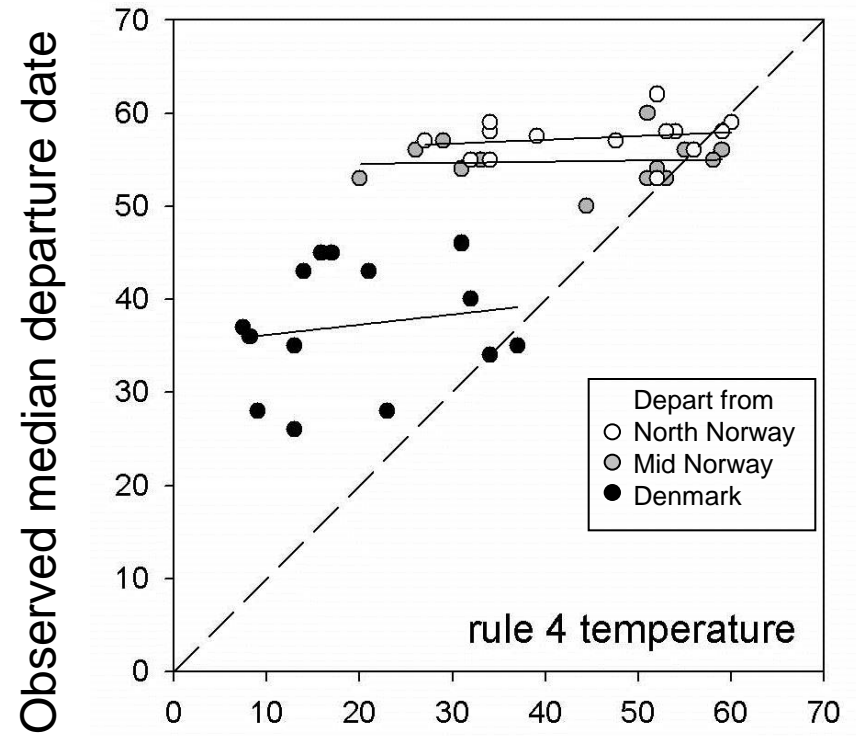
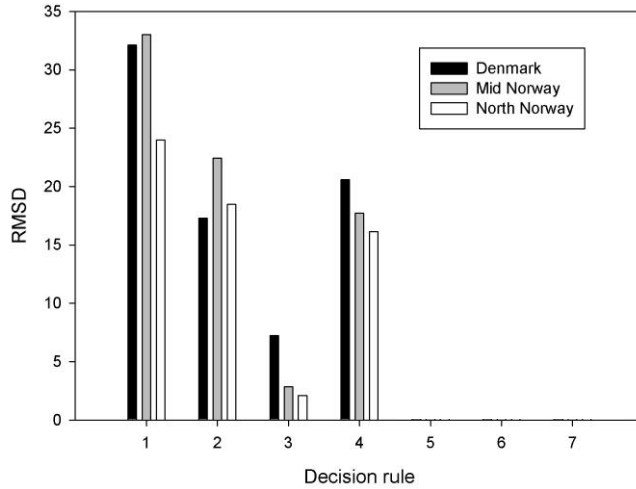


+

*Temperature threshold*



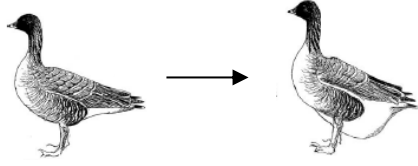
Survival:  $0.706 \pm 0.371$  (0.013 – 1)



Predicted median departure date

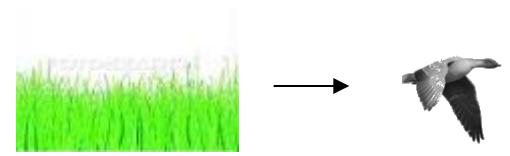
➔ Temperatures correlated between Denmark and Norwegian sites, but not with Svalbard

Rule 5:

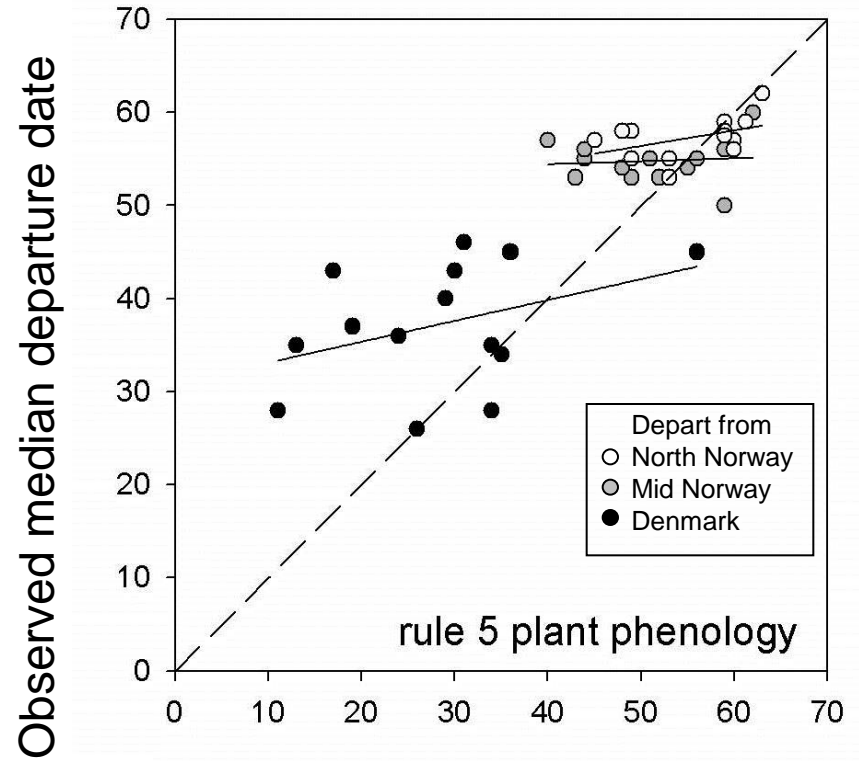
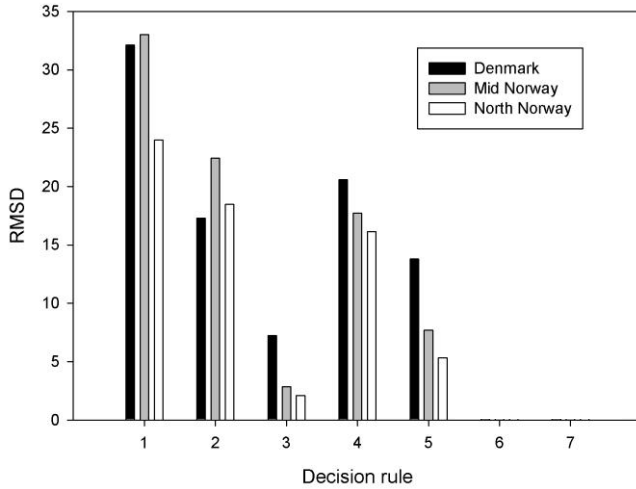


+

*Plant phenology*



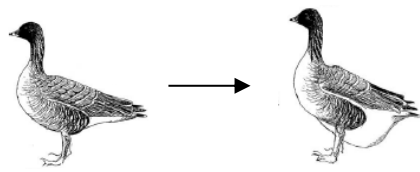
Survival:  $1 \pm 0.00$



**Growing Degree-Days:** cumulated temperatures over time  
*used in phenological studies to predict blooming*

➔ Good fit for Norwegian sites

Rule 6:

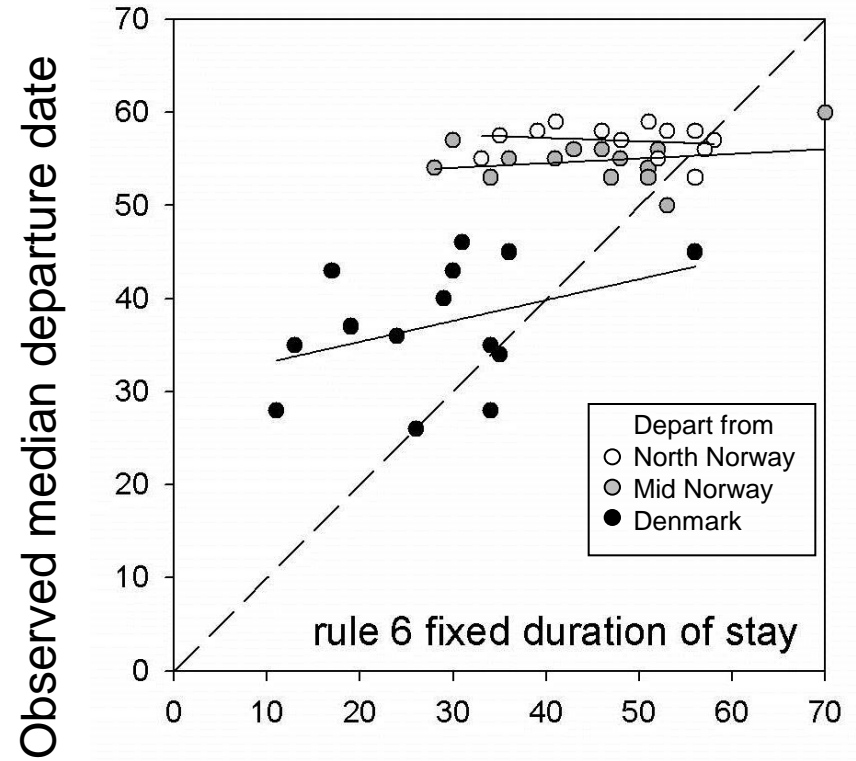
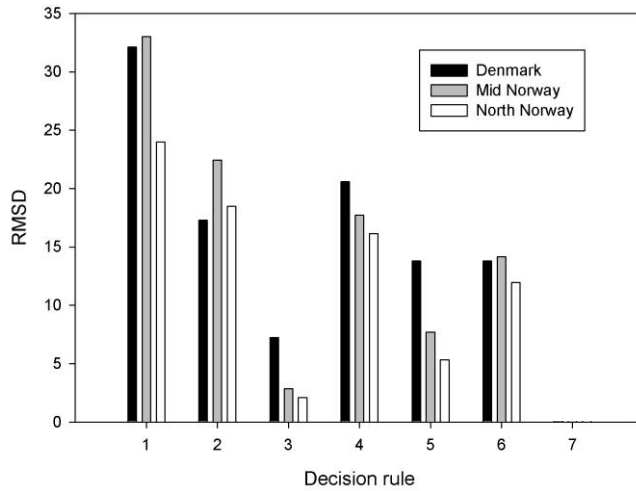


+

*Fixed duration of stay*

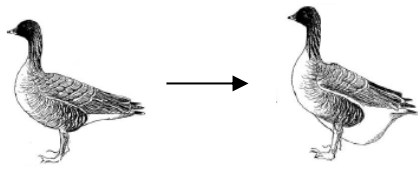


Survival:  $1 \pm 0.00$

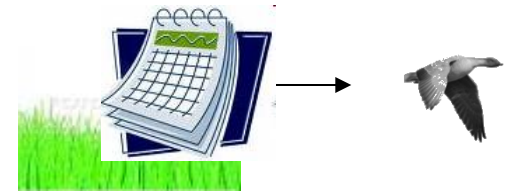


➔ Mismatch in some years with late spring

Rule 7:



+ *Mixture of cues*

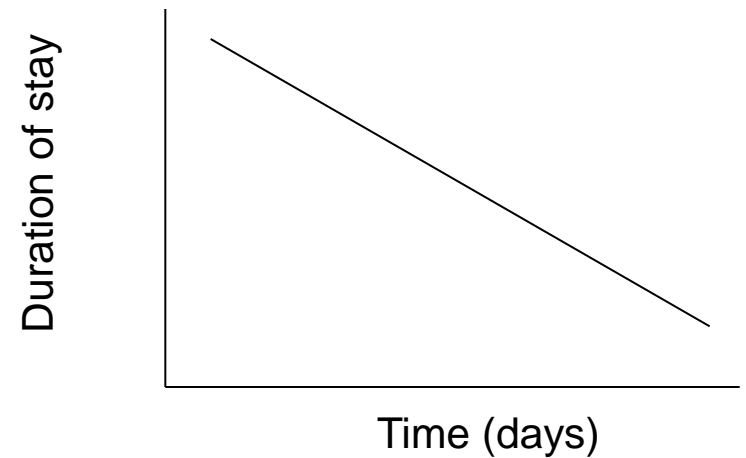
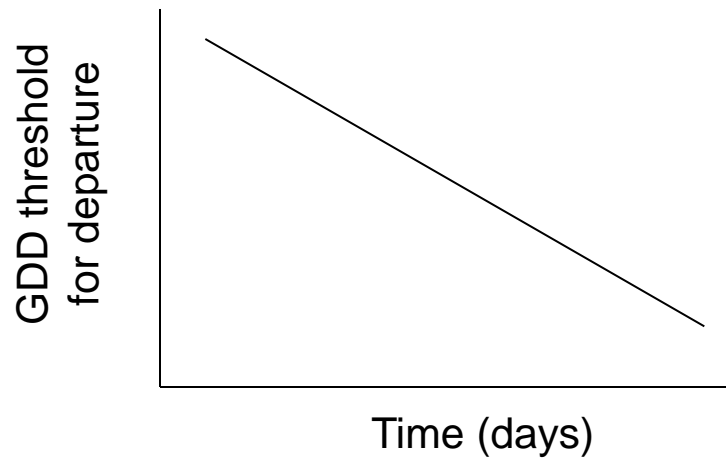


Integration of the « urge to breed »:

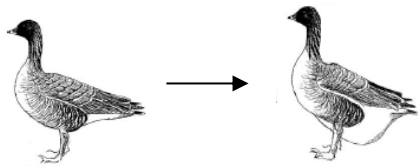
→ Different rules in each site

Denmark & Mid Norway:  
interaction between phenology and  
calendar date

North Norway: interaction  
between duration of stay  
and calendar date

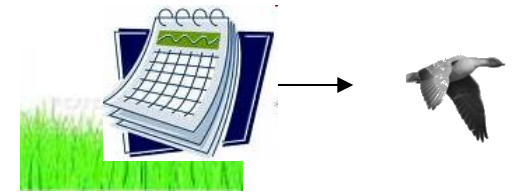


Rule 7:

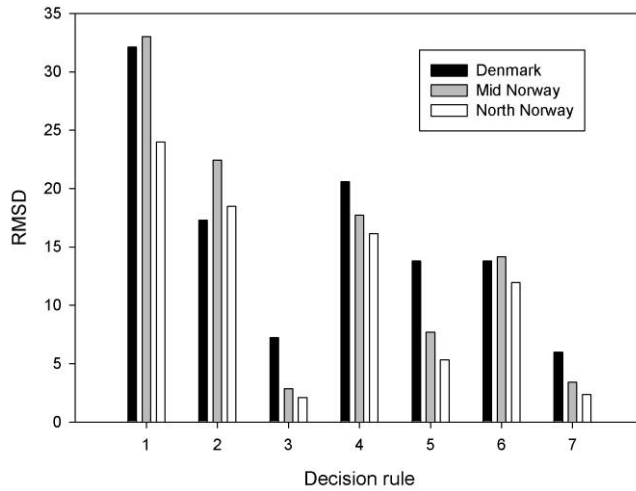


+

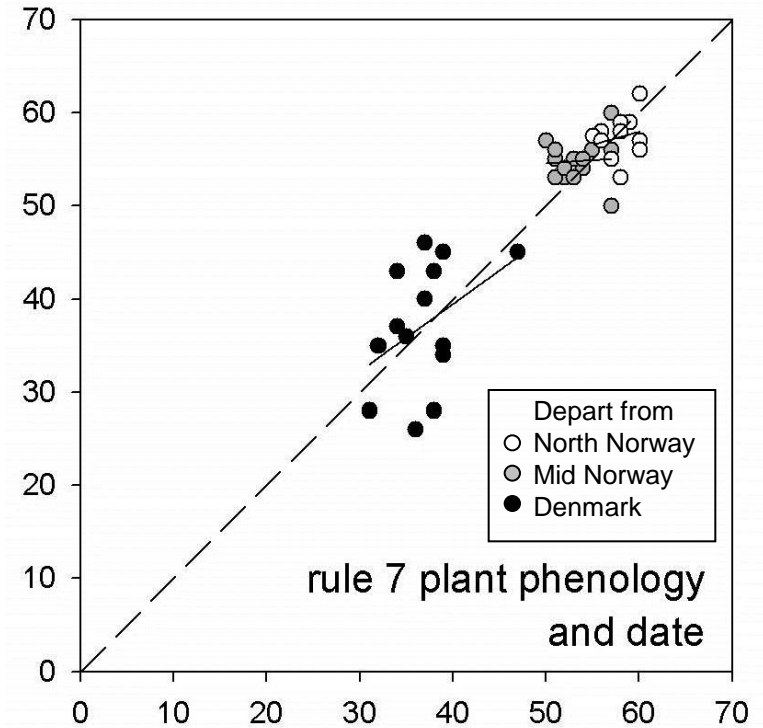
*Mixture of cues*



Survival:  $1 \pm 0.00$



Observed median departure date

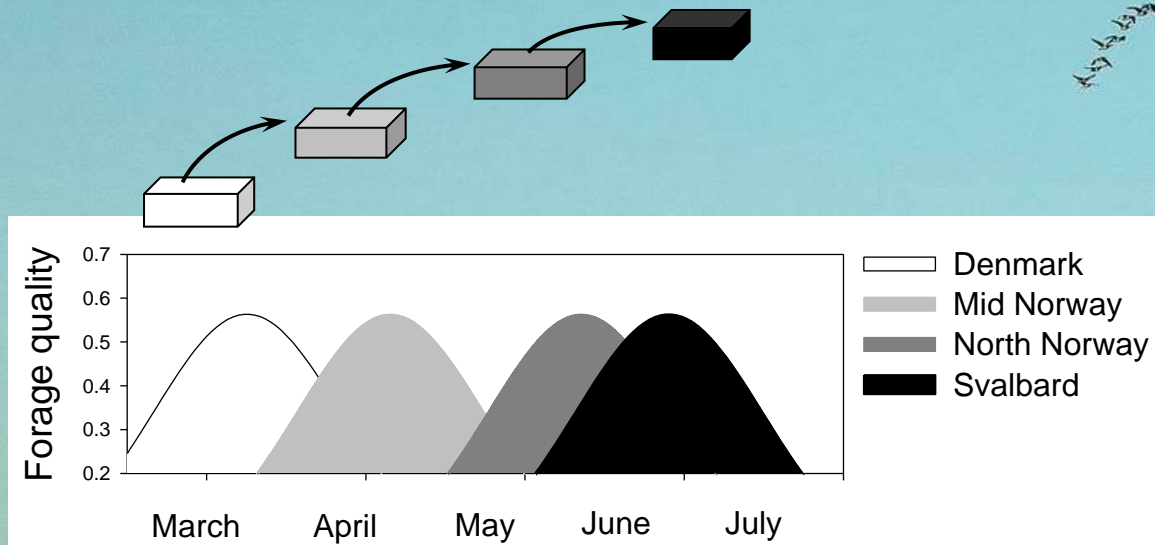


Predicted median departure date

➔ Best fit

# Conclusions

- Migrating geese might primarily use external cues related to food resources to depart from the first staging sites → *Green wave hypothesis*.





# Conclusions

- Migrating geese might primarily use external cues related to food resources to depart from the first staging sites → *Green wave hypothesis*.

- As the season advanced, they might switch to more time-related cues to depart from the last staging site
- Adaptation to climate change is possible, as long as local cues correctly inform about conditions ahead (autocorrelated conditions)
- Information use crucial for individual fitness and population dynamics
- Model still simple: other factors: predation, disturbance...



# Decision-making by a soaring bird: time, energy and risk considerations at different spatio-temporal scales

Roi Harel<sup>1</sup>, Olivier Duriez<sup>2</sup>, Orr Spiegel<sup>1,3</sup>, Julie Fluhr<sup>2</sup>, Nir Horvitz<sup>1</sup>, Wayne M. Getz<sup>4,5</sup>, Willem Bouten<sup>6</sup>, François Sarrazin<sup>7</sup>, Ohad Hatzofe<sup>8</sup> and Ran Nathan<sup>1</sup>

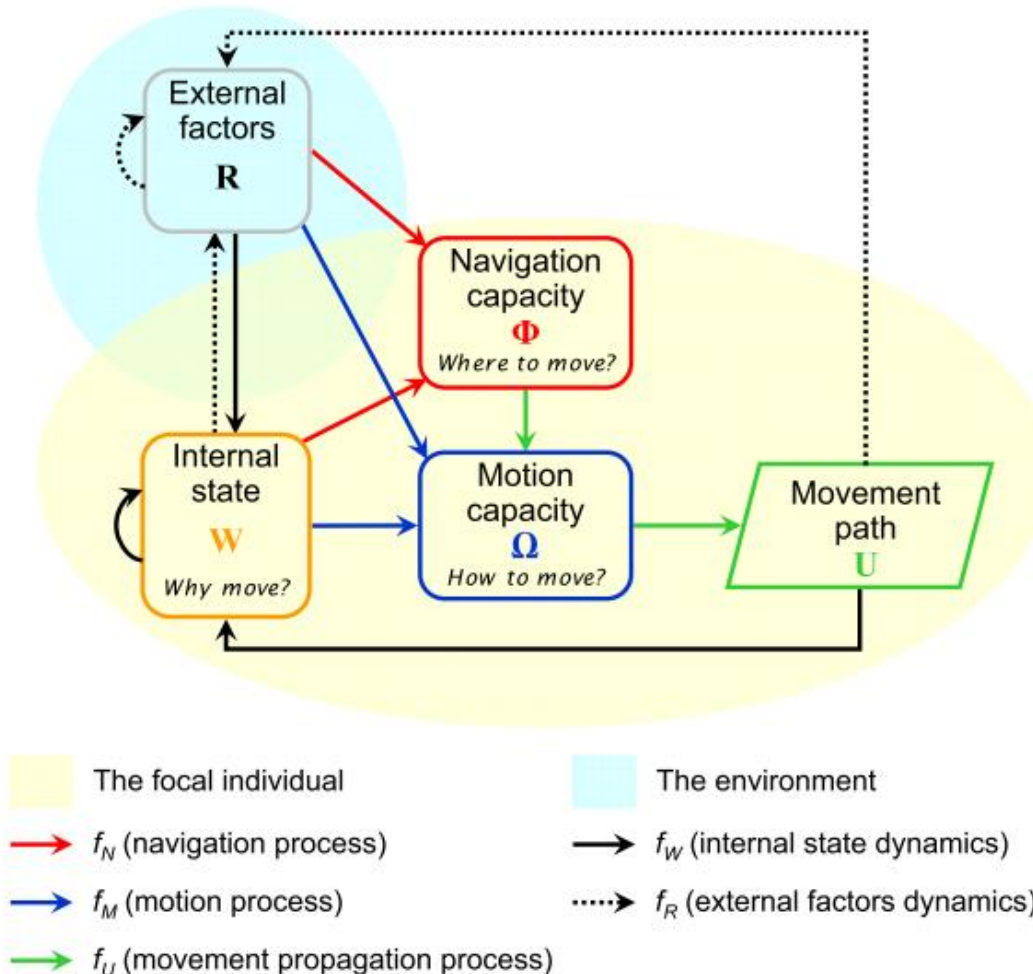
**Theme issue ‘Moving in a moving medium: new perspectives on flight’ compiled and edited by Steven J. Portugal and Emily L. C. Shepard**



# Contexte

## A movement ecology paradigm for unifying organismal movement research

Ran Nathan<sup>a,1</sup>, Wayne M. Getz<sup>b</sup>, Eloy Revilla<sup>c</sup>, Marcel Holyoak<sup>d</sup>, Ronen Kadmon<sup>a</sup>, David Saltz<sup>e</sup>, and Peter E. Smouse<sup>f</sup>  
<sup>a</sup>Movement Ecology Laboratory, Department of Evolution, Systematics and Ecology, Alexander Silberman Institute of Life Sciences, The Hebrew University of Jerusalem, Jerusalem 91904, Israel; <sup>b</sup>Department of Environmental Science, Policy and Management, University of California, Berkeley, CA 94720; <sup>c</sup>Department of Conservation Biology, Estación Biológica de Doñana, Spanish Council for Scientific Research CSIC, E-41013 Seville, Spain; <sup>d</sup>Department of Environmental Science and Policy, University of California, Davis, CA 95616; <sup>e</sup>Mitrani Department of Desert Ecology, Jacob Blaustein Institutes for Desert Research, Ben Gurion University of the Negev, Sede Boqer Campus, 84990 Israel; and <sup>f</sup>Department of Ecology, Evolution and Natural Resources, Rutgers University, New Brunswick, NJ 08901



- Le trajet d'un animal est la résultante de
  - facteurs internes (physiologie, motivation, capacités locomotrices et sensorielles)
  - et de facteurs externes (environnement)
- Théories de migration: équilibre entre maximiser les bénéfices et minimiser les coûts associés au temps et énergie

# Notion de risque

- Classiquement: risque de prédation et inanition (starvation)
- Risque additionnel pour les oiseaux planeurs

## ECOLOGY LETTERS

*Ecology Letters*, (2014) 17: 670–679

doi: 10.1111/ele.12268

LETTER

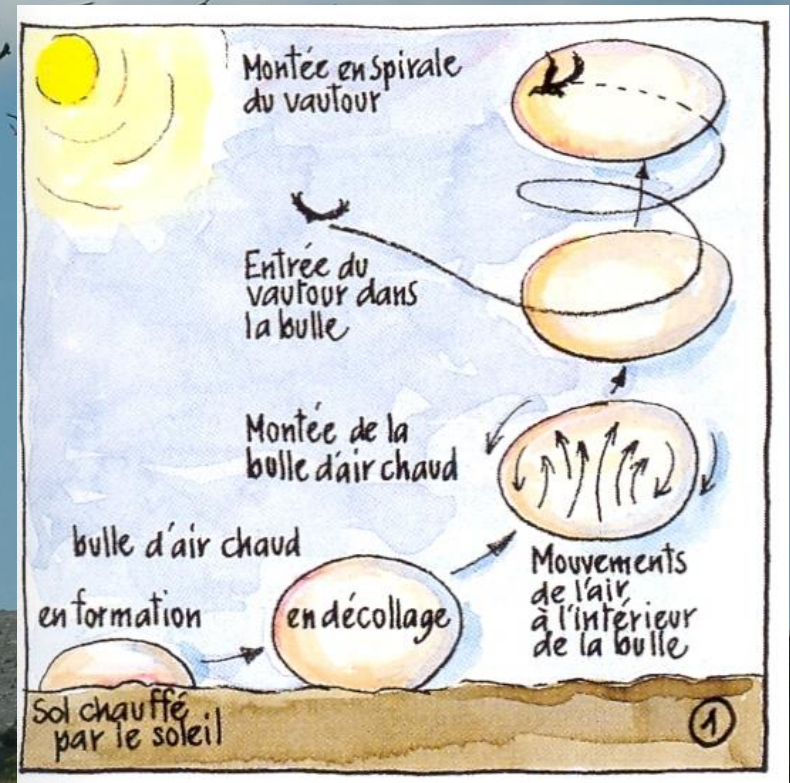
### The gliding speed of migrating birds: slow and safe or fast and risky?

Nir Horvitz,<sup>1\*</sup> Nir Sapir,<sup>1†</sup>  
Felix Liechti,<sup>2</sup> Roni Avissar,<sup>3</sup>  
Isaac Mahrer<sup>4</sup> and Ran Nathan<sup>1</sup>

#### Abstract

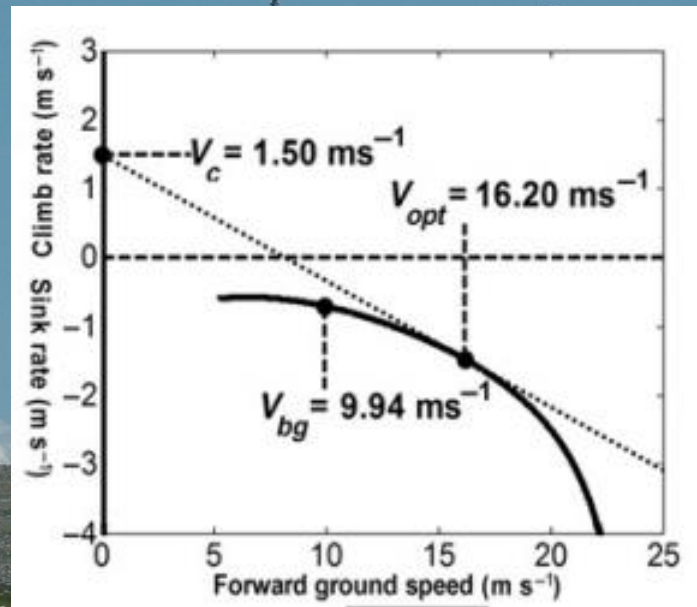
Aerodynamic theory postulates that gliding airspeed, a major flight performance component for soaring avian migrants, scales with bird size and wing morphology. We tested this prediction, and the role of gliding altitude and soaring conditions, using atmospheric simulations and radar tracks of 1346 birds from 12 species. Gliding airspeed did not scale with bird size and wing morphology.

# Risque pour les oiseaux planeurs



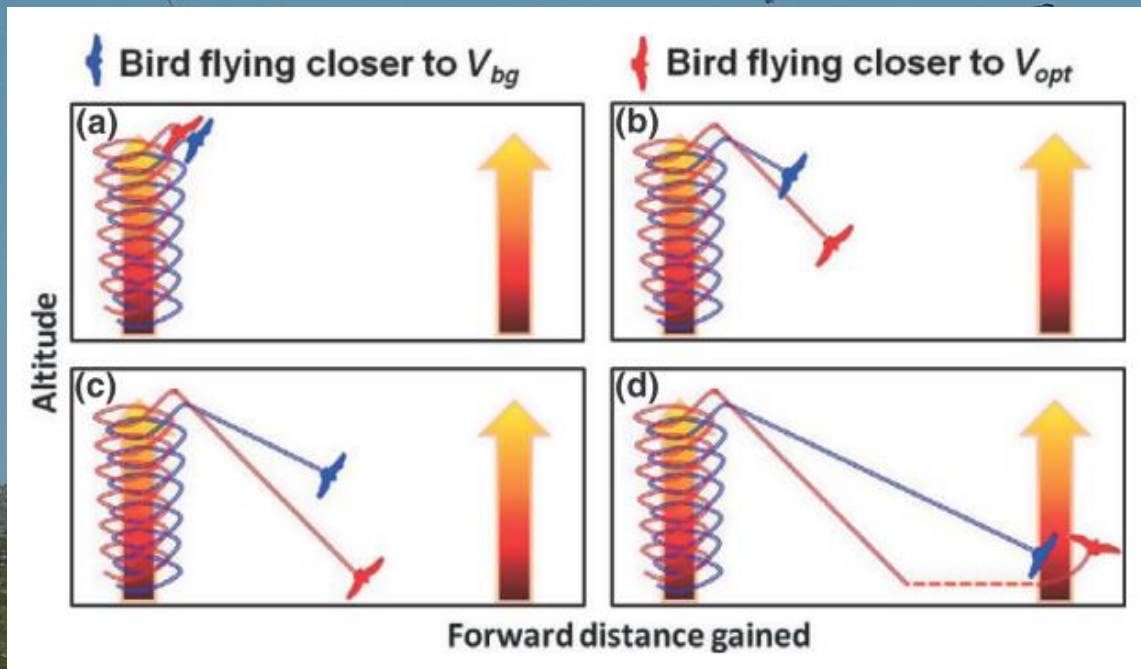
# Risque pour les oiseaux planeurs

- Courbe polaire de plané: 2 vitesses idéales pour le vol plané
- $V_{bg}$  = « best glide » → vitesse pour taux de chute minimal
- $V_{opt}$  = « optimal » → tangente avec le taux moyen de montée dans les ascendances → optimise le temps de déplacement



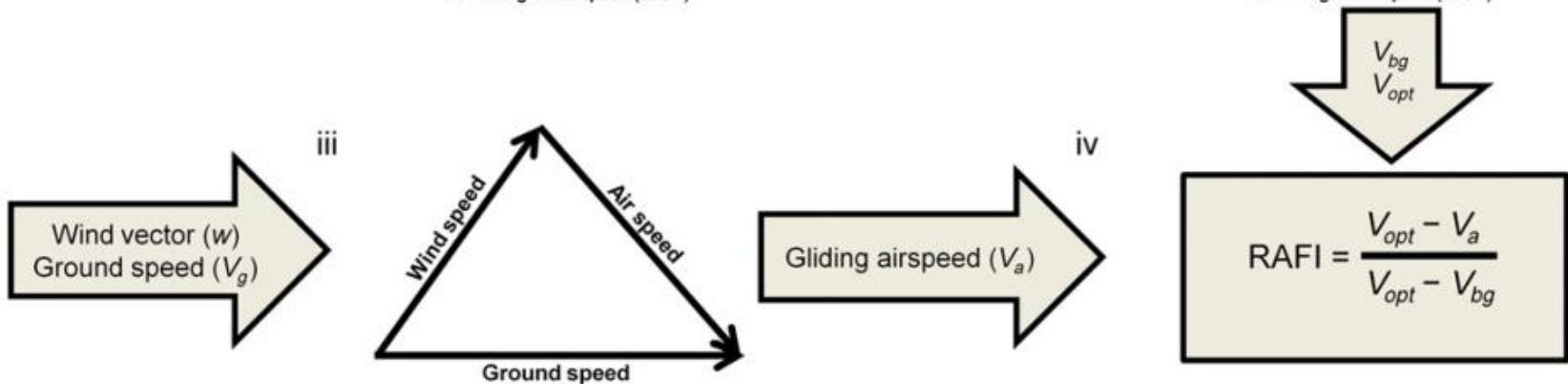
# Risque pour les oiseaux planeurs

- $V_{bg}$  = « best glide » → vitesse pour taux de chute minimal
- $V_{opt}$  = « optimal » → tangente avec le taux moyen de montée dans les ascendances → optimise le temps de déplacement → risque de ne pas trouver la prochaine ascendance... → vol battu (couteux énergétiquement)

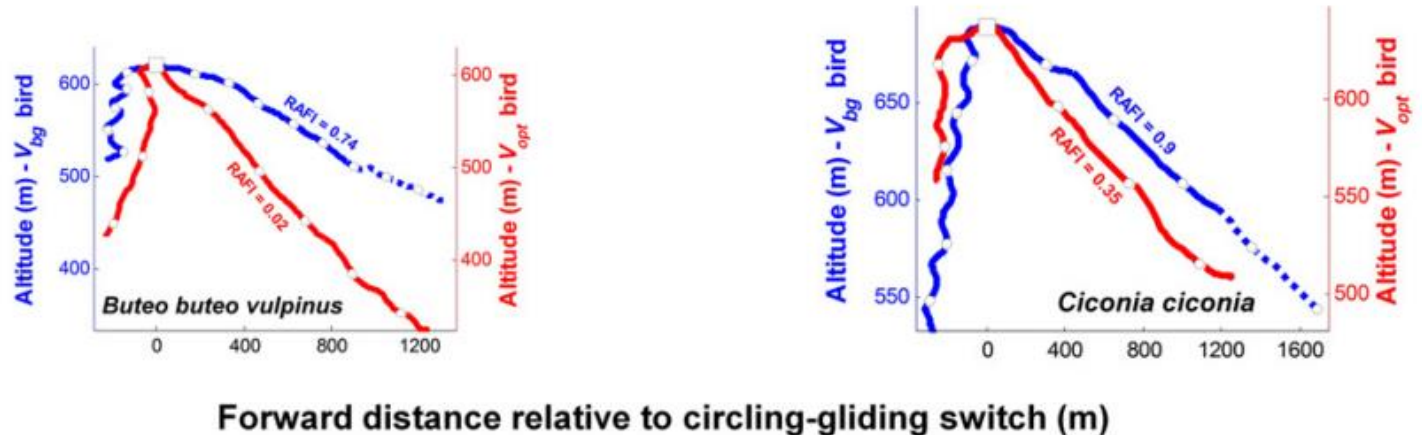


# Risque pour les oiseaux planeurs

- Calcul RAFI: Risk Aversion Flight Index



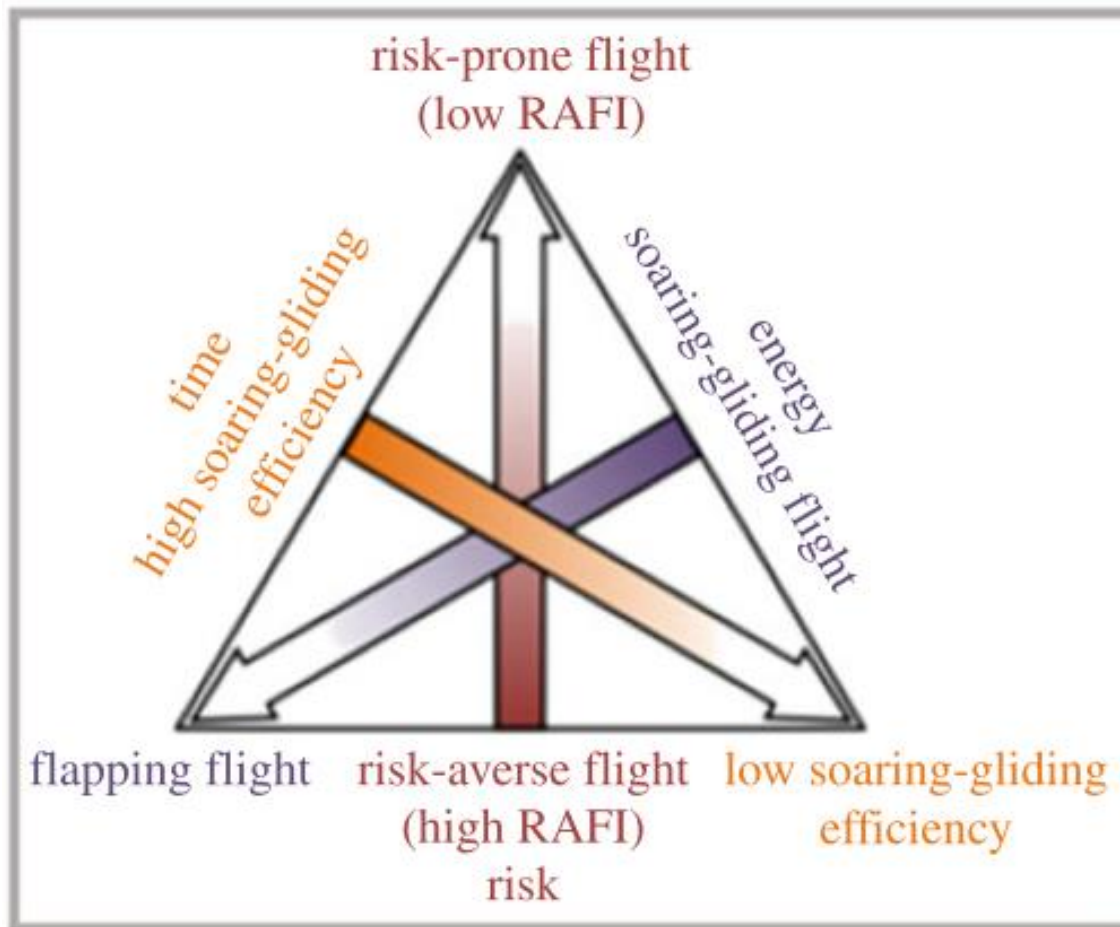
(b)





# Compromis pour le vol plané

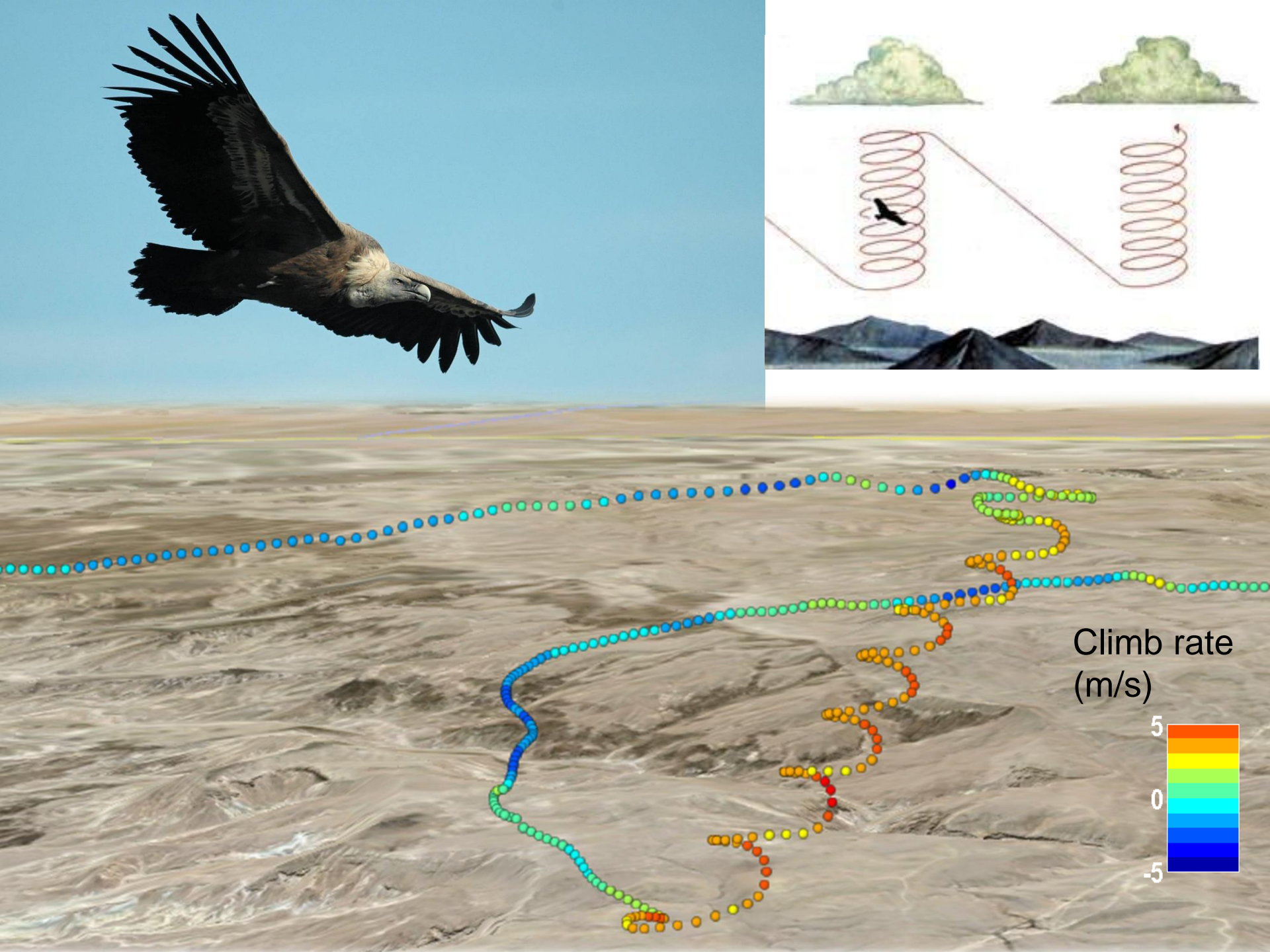
→ Temps / énergie / risque



# Modèle d'étude: le vautour fauve



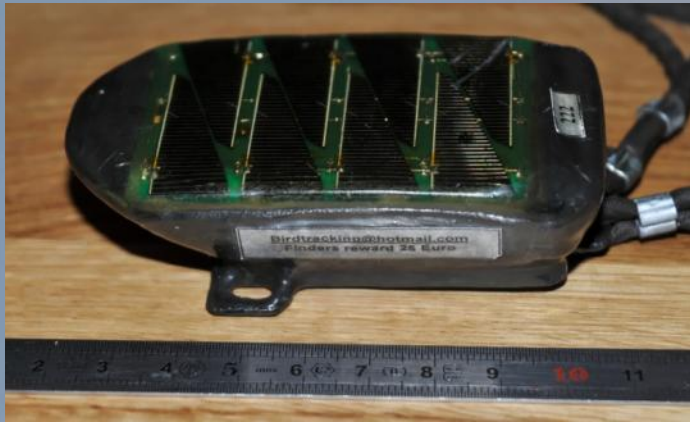
- Rapace de 8-10 kg, envergure 2.7 m
- Spécialiste du vol à voile, vol battu très couteux
- Recherche carcasses sur vaste domaine vital, imprévisible
- Parfois grands déplacements erratiques



# Tracking GPS en France (Causses)

50 g, 4 panneaux solaires

N=8 ind suivis à 1 position / 3 sec



UvA  
Bird Tracking System

[Home](#) [System](#) [Projects](#) [Publications](#) [Virtual Lab](#) [Contact](#)



# Tracking GPS en Israel (Néguev)



Orr Spiegel



Roi Harel  
& Ran Nathan



Wing tag (& leg band)  
presence data  
from observations

RFID tag  
Automated  
presence/absence  
data in selected sites

GPS tag  
Highly accurate  
location, possibly in  
high sampling  
frequency or over  
long periods

ACC tag  
Behavioral mode and  
energy expenditure

Feathers / blood  
Sex, relatedness,  
source(?), (stress)

N=19 ind suivis à 1 position / 3 sec + 38 ind à 1 position/min

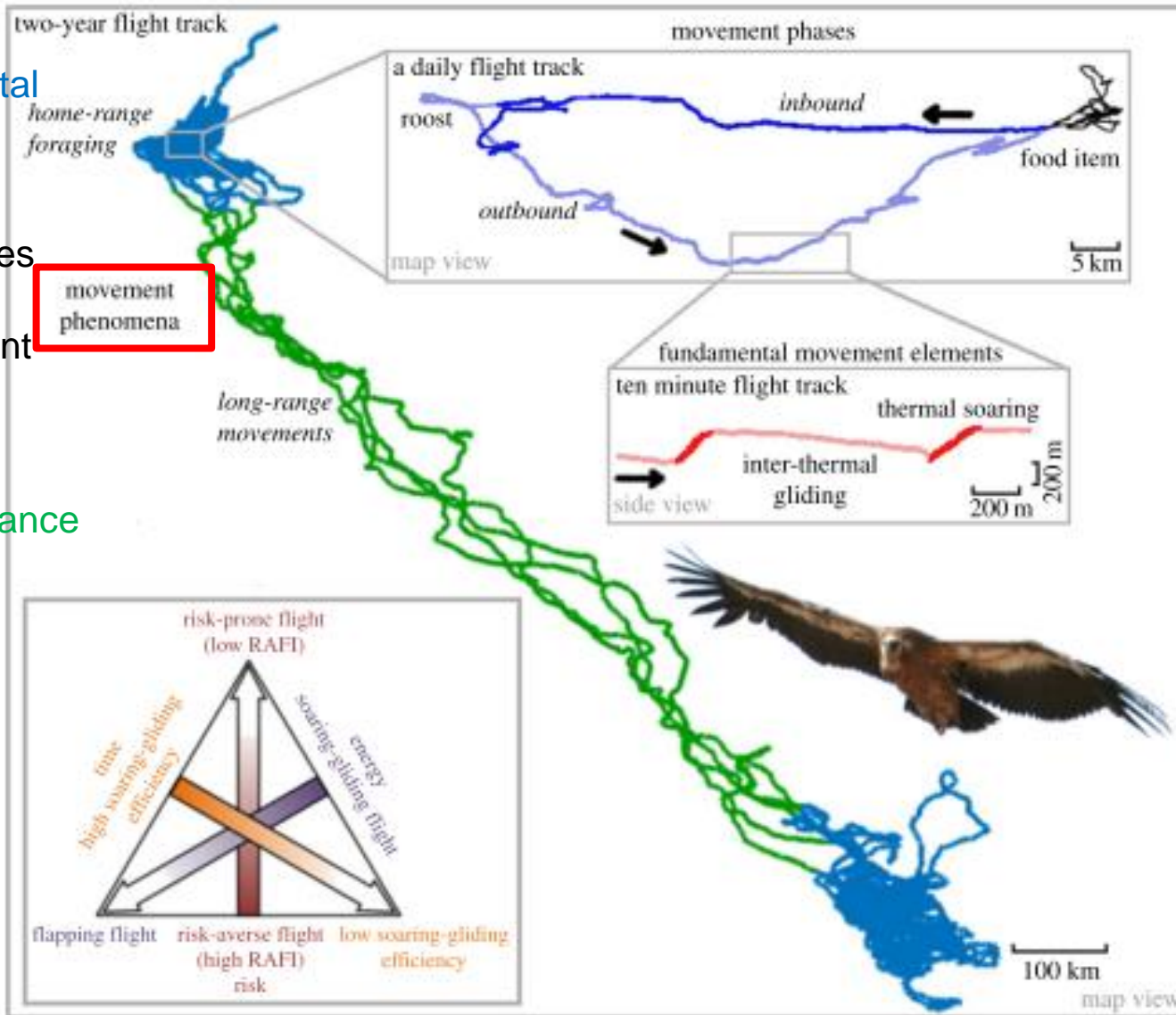
# Catégorisation des trajets

Domaine vital

Phénomènes de déplacement

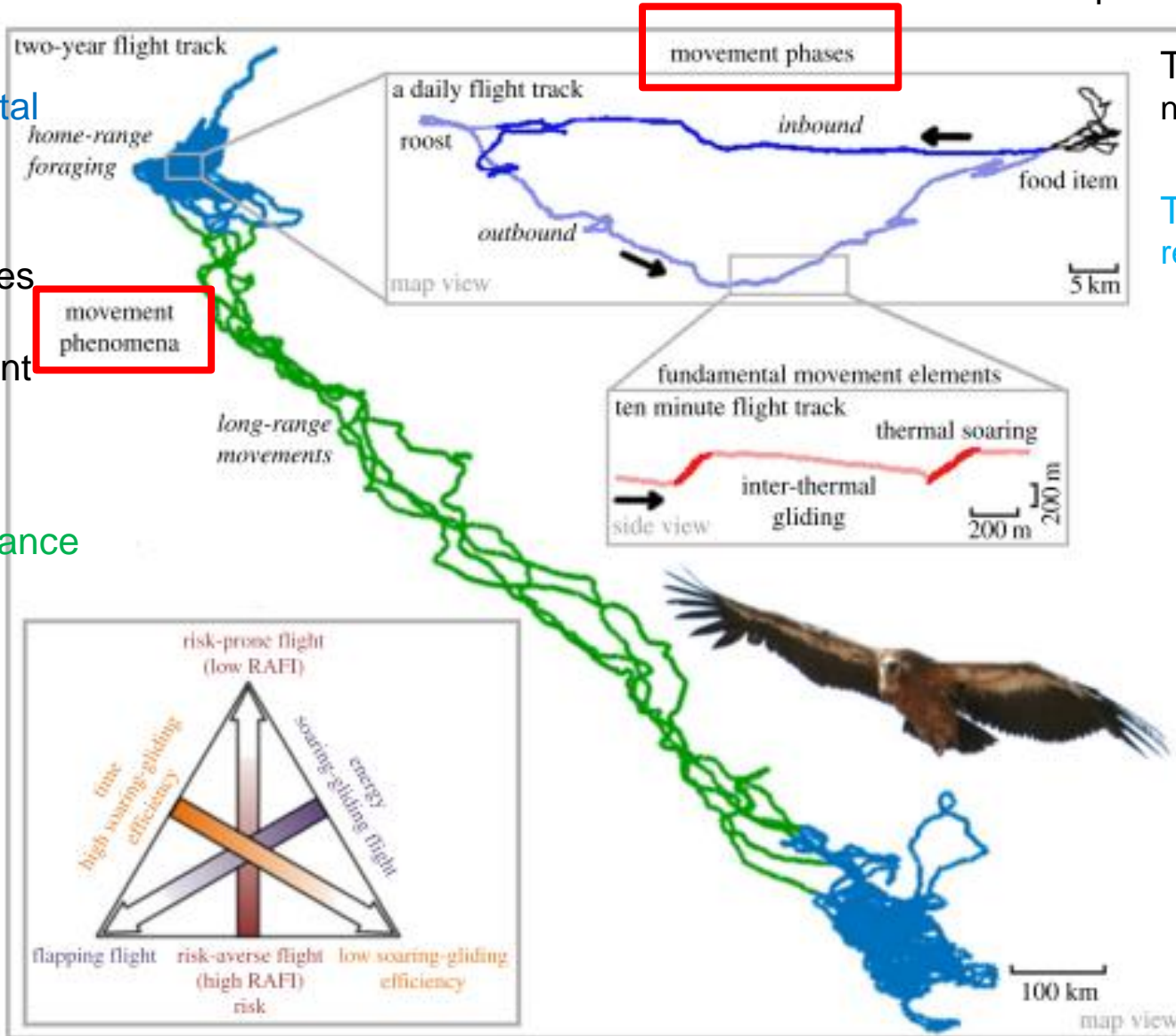
movement phenomena

Erratisme / longue distance



# Catégorisation des trajets

Phases de déplacement



Trajet retour (vers nid connu)

Trajet aller (vers ressource inconnue)

Domaine vital (connu)

Phénomènes de déplacement

Erratisme / longue distance (inconnu)

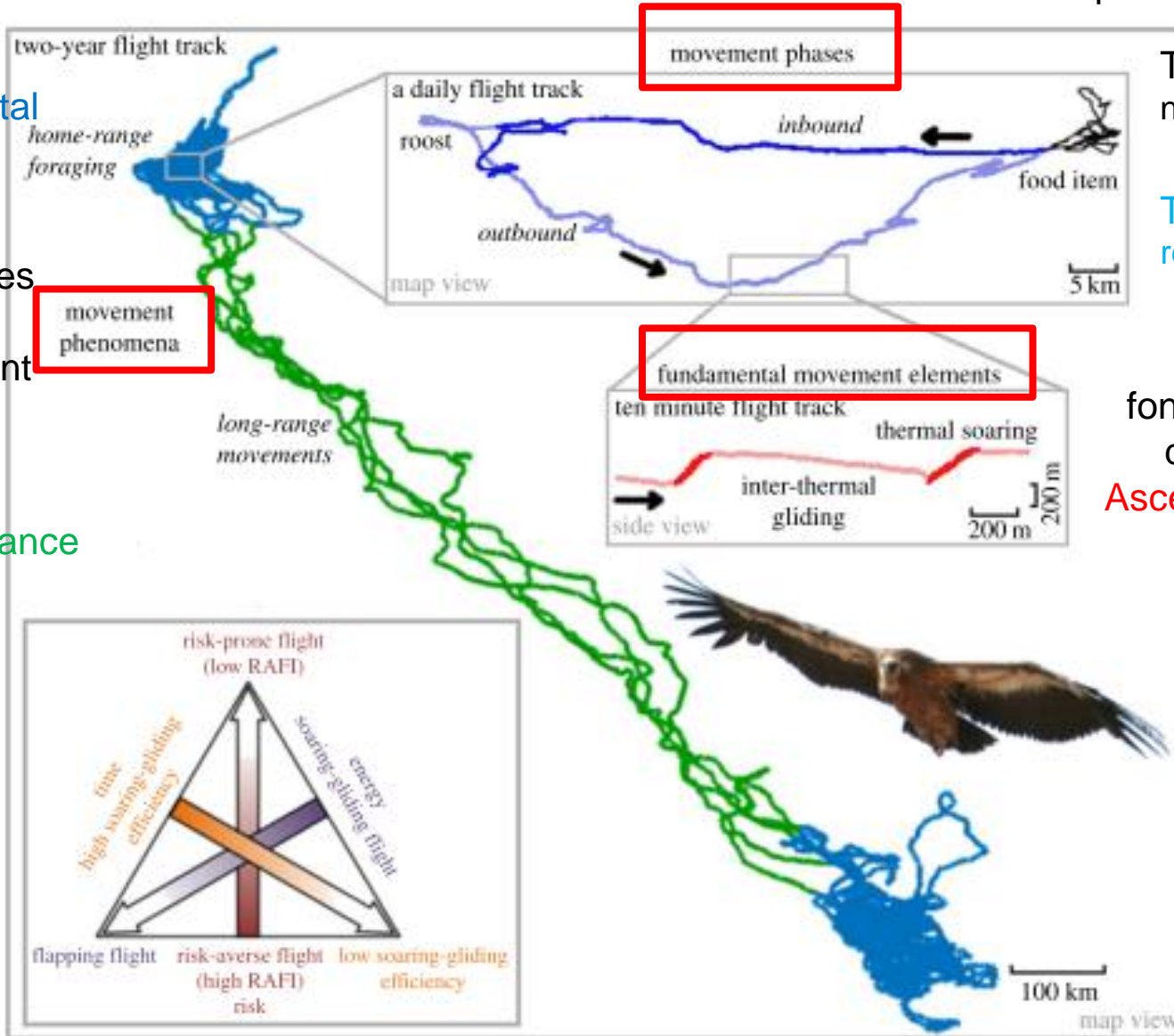
# Catégorisation des trajets en 3 échelles

Phases de déplacement

Domaine vital  
(connu)

Phénomènes  
de déplacement

Erratisme /  
longue distance  
(inconnu)



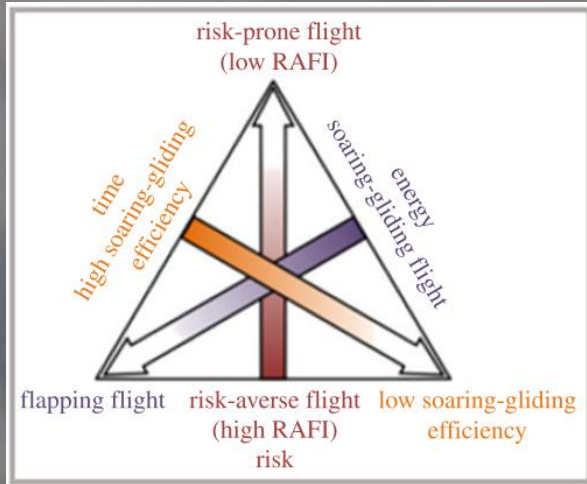
Trajet retour (vers  
nid connu)

Trajet aller (vers  
ressource inconnue)

Éléments  
fondamentaux de  
déplacement  
Ascensions / planés



# hypothèses



Lors d'un vol vers une destination connue (vol retour vers le nid)

- Stratégie de vol rapide (min temps), efficace (peu énergie) avec prise de risque (RAFI → 0)

Lors d'un vol vers une destination inconnue (vol aller de recherche de nourriture, depl longue distance)

- Stratégie de vol plus lent (max temps), efficace (peu énergie) avec évitement de risque (RAFI → 1)

Test effet âge (expérience individuelle),  
statut reproducteur,  
conditions environnementales (vent)

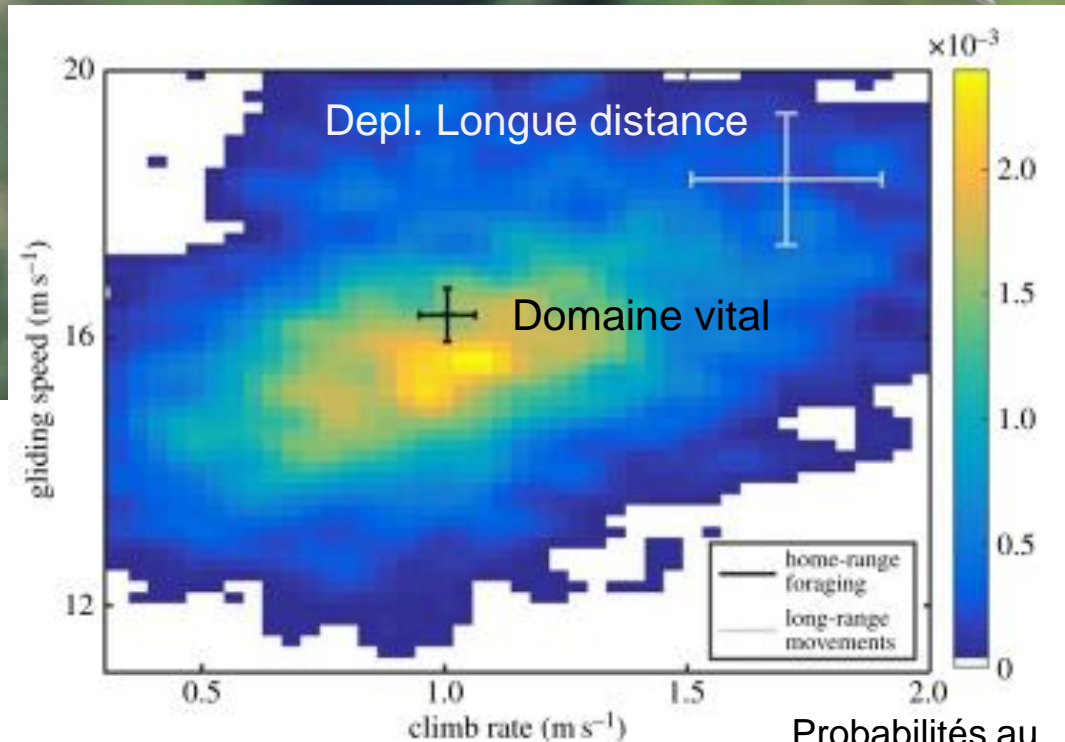
# Resultats : phénomènes de déplacement

Lors déplacements longue distance:

vol plus rapide

- Ascensions

- Planés

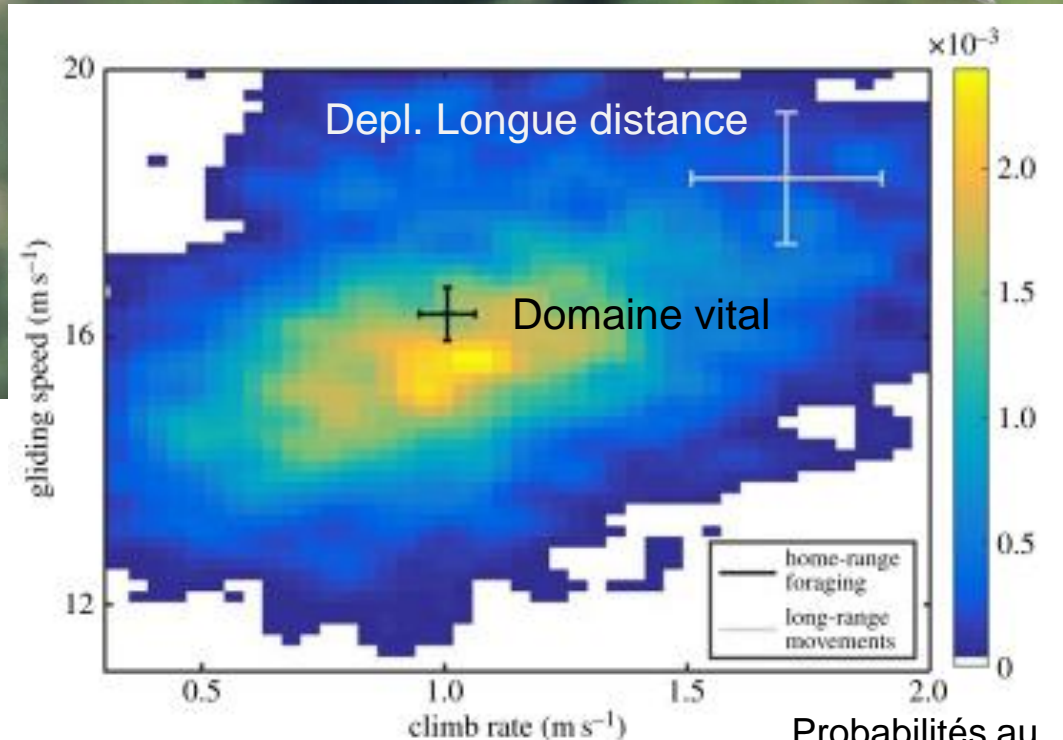
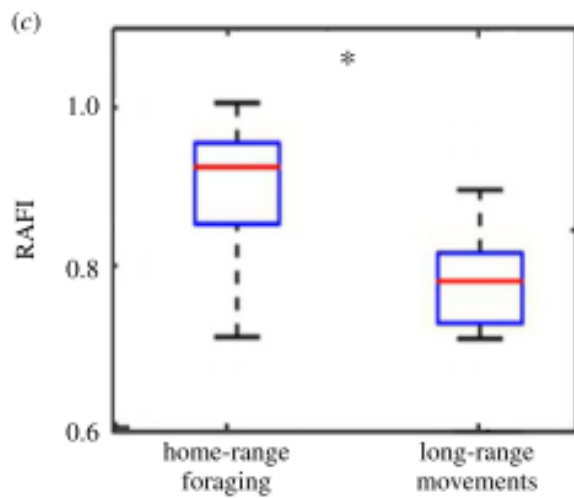
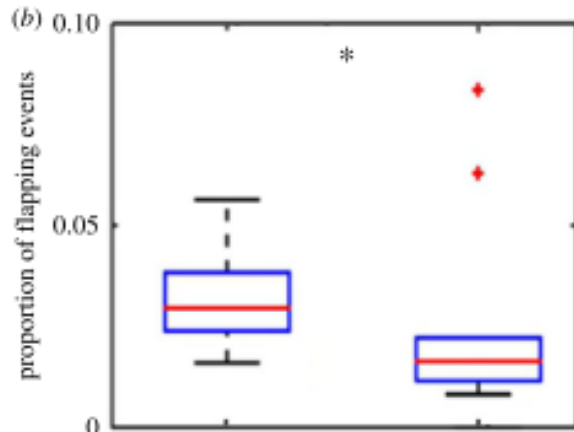
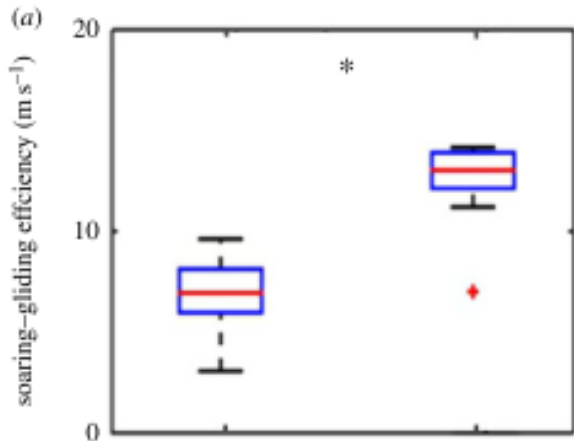


# phénomènes de déplacement

Lors déplacements longue distance:

- vol plus rapide
- Ascensions
- Planés

Vol plus efficace / temps  
Moins de battements d'ailes  
Plus de risque



# phénomènes de déplacement

Lors déplacements longue distance:

vol plus rapide

- Ascensions

- Planés

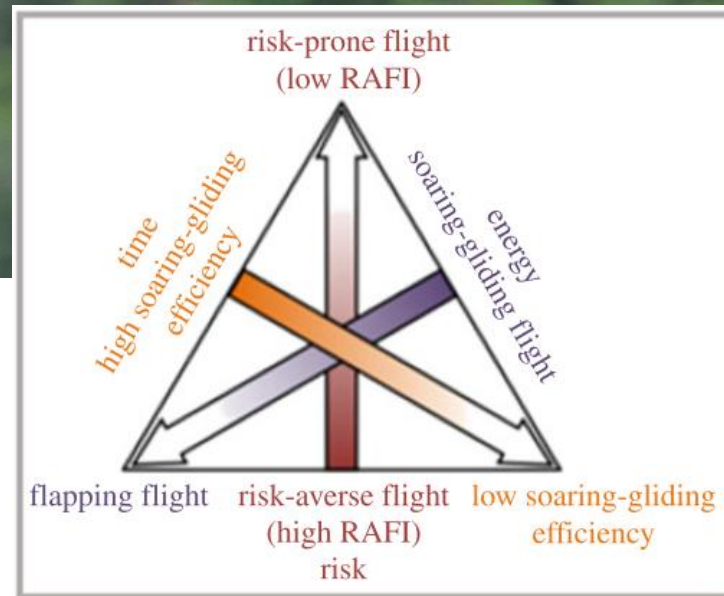
Vol plus efficace / temps

Moins de battements d'ailes

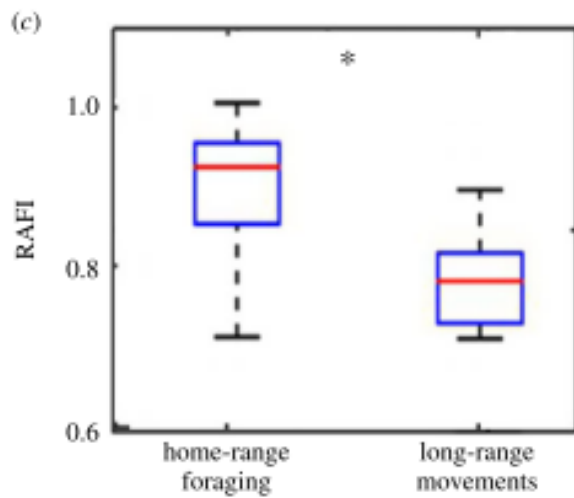
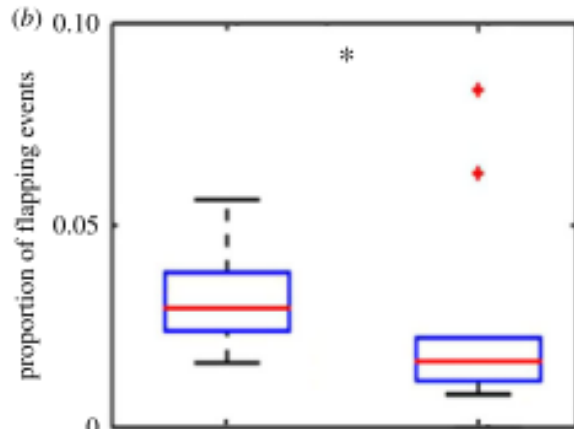
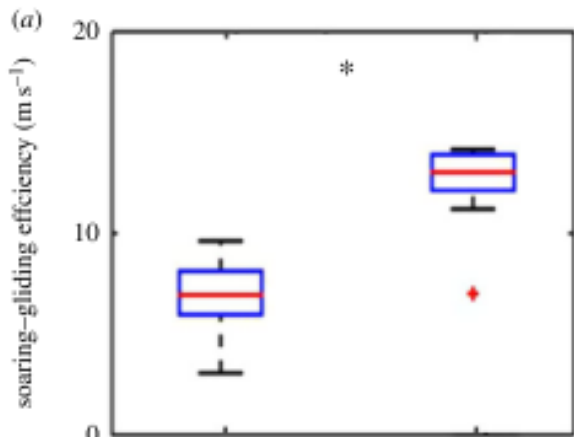
Plus de risque



Depl. Longue distance



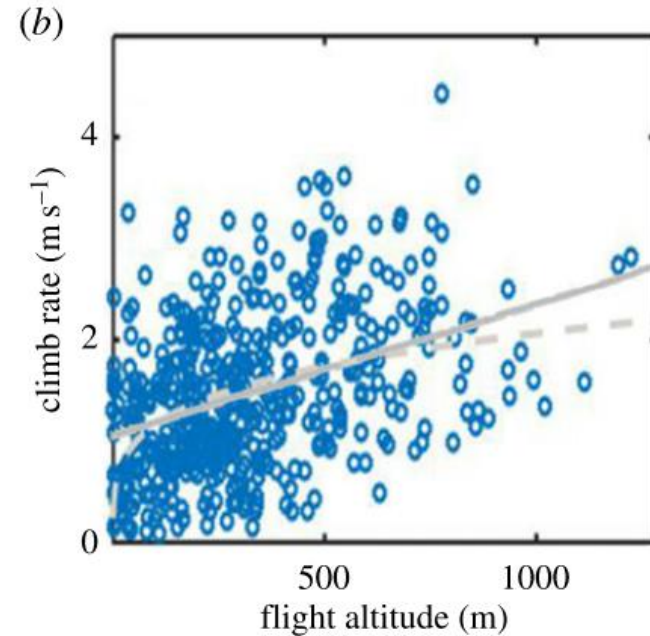
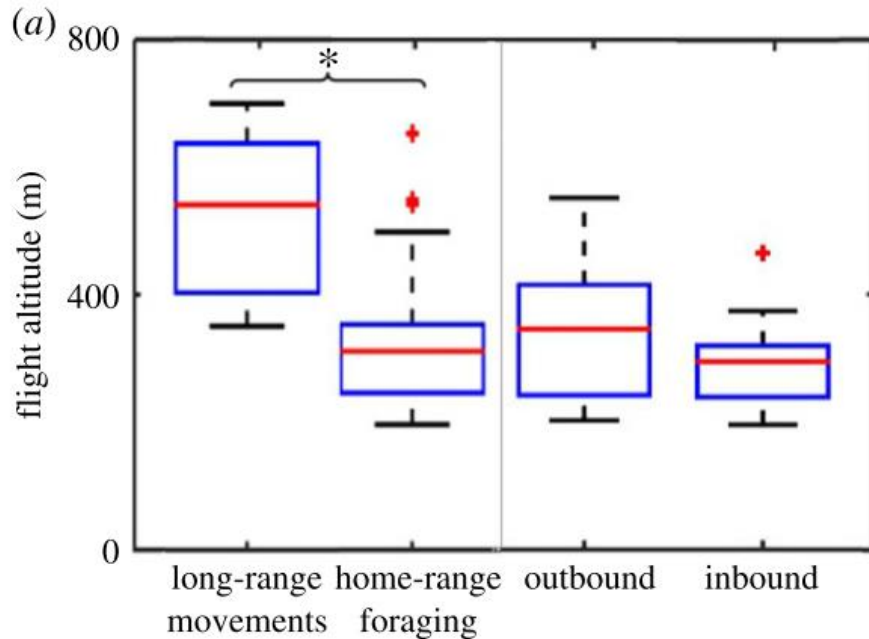
Domaine vital



# Resultats : phases de déplacement

Lors déplacements longue distance:  
vol à plus grande hauteur

Pas de différence entre  
vols aller / retour nid



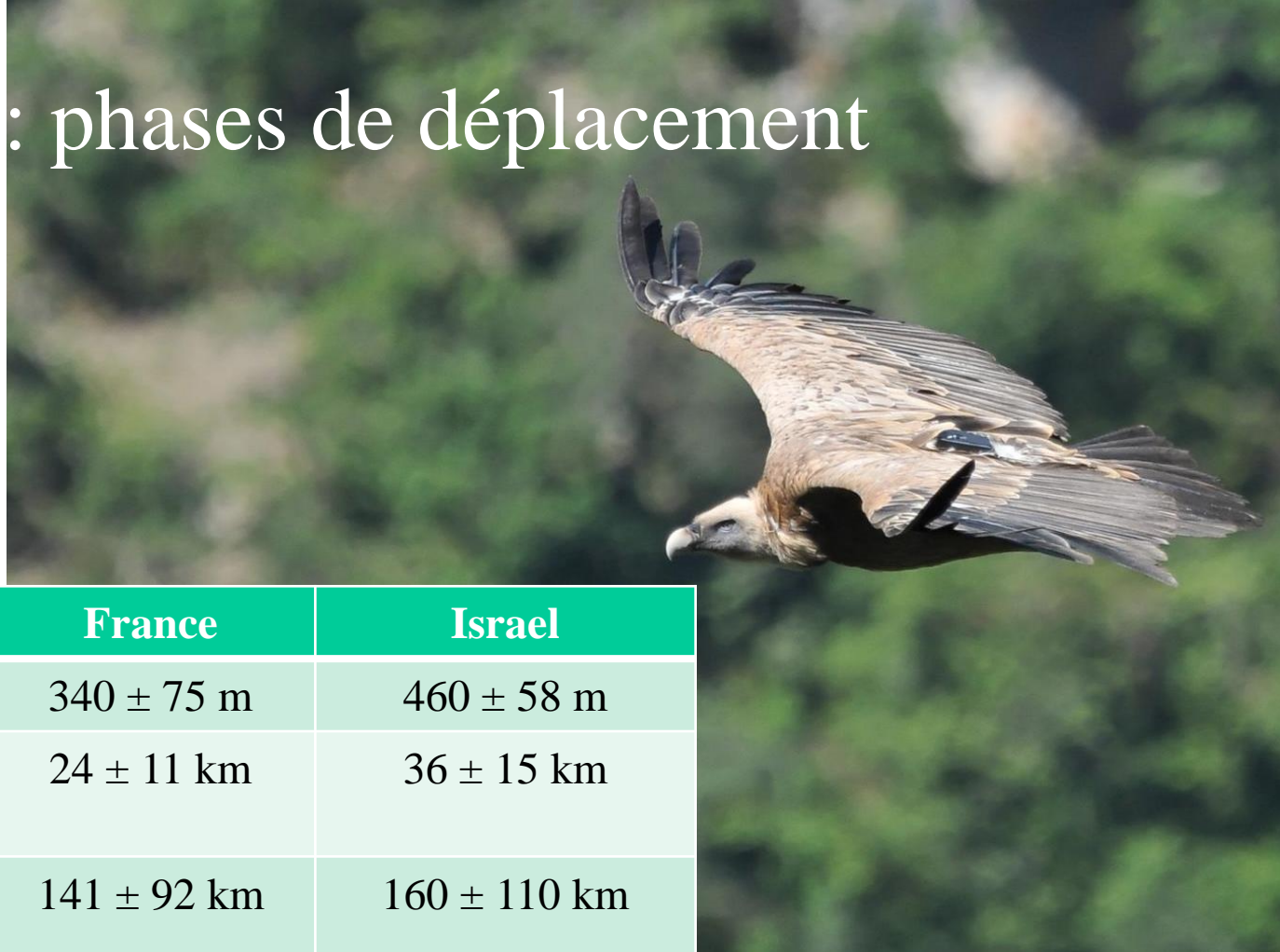
# Resultats : phases de déplacement



	Vol aller (recherche nourriture)	Vol retour au nid
temps	Plus lent	Plus rapide
énergie	+ battements	- battements
risque	- risque	+ risque
Distance	87 ± 62 km	51 ± 30 km

fixed effects	soaring – gliding efficiency		flapping activity		RAFI	
	estimate	t-Wald	estimate	z-Wald	estimate	t-Wald
movement phase	0.20	12.2***	0.26	-3.5**	-0.13	3.6***
breeding					-0.01	-0.2 n.s.
age	-0.04	-1.8 n.s.	-0.2	-0.2 n.s.	0.07	3.9***
sex	-0.01	-0.5 n.s.			-0.04	-0.2 n.s.
flight altitude	0.11	7.3***	-0.13	0.2 n.s.	-0.05	-2.9**
tailwind					-0.38	-26.2***
side wind					-0.07	-5.3***
wind variance	-0.02	1.6 n.s.			0.04	2.8**
marginal/conditional $R^2$	0.07/0.11		0.44/0.50		0.47/0.57	

# Resultats : phases de déplacement

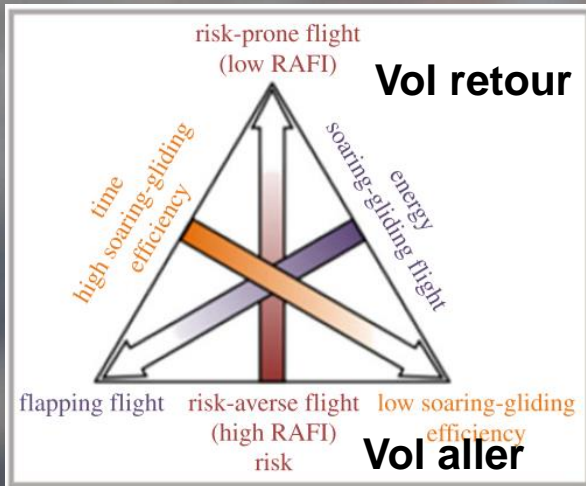


	France	Israel
Altitude vol / sol	$340 \pm 75$ m	$460 \pm 58$ m
Déplacement maximum quotidien	$24 \pm 11$ km	$36 \pm 15$ km
Distance parcourue par jour	$141 \pm 92$ km	$160 \pm 110$ km

- Adultes prennent moins de risque que les juvéniles
- Reproducteurs prennent plus de risques que les non reproducteurs
- Pas d'effet sexe
- Peu d'effet des conditions environnementales (vent)

# discussion

## Depl. Longue distance



## Domaine vital

Lors d'un vol vers une destination connue (vol retour vers le nid)

- Stratégie de vol rapide (min temps), efficace (peu énergie) avec prise de risque (RAFI → 0)

Lors d'un vol vers une destination inconnue (vol aller de recherche de nourriture, **déplacements longue distance**)

- Stratégie de vol plus lent (max temps), efficace (peu énergie) avec évitement de risque (RAFI → 1)

Test effet âge (expérience individuelle), → risque \*\*  
statut reproducteur, → risque \*\*  
conditions environnementales (vent) → risque \*



# Discussion

Lors des déplacements à longue distance:

Vol plus haut, plus efficace, plus risqué... pourquoi?



- Paysage inconnu mais destination connue?  
→ Risque compensé par un vol plus haut (assurance)
- Motivation pour arriver le plus vite possible
- Peu d'alimentation → moins de décollages/atterrissages → moins de battements d'ailes

# Discussion



Lors des vols dans le domaine vital, vols au départ du nid = recherche alimentaire:

- Vol moins haut → facilite détection carcasses
- Plus de battements d'ailes → atterrissages et décollages, mais énergie compensée par prise nourriture

# Discussion



Lors des vols dans le domaine vital, vols au retour vers le nid = alimentation du poussin:

- Trajet plus direct = gain de temps
- Moins de risque → destination connue
- Hypothèse de vol plus haut non vérifiée → handicap par le poids additionnel du repas?

# Conclusion



- Remarquable similitudes de prises de décision entre 2 populations, dans des habitats différents, et dans des contextes différents
- Travailler à plusieurs échelles permet de mieux comprendre les mécanismes de prises de décision pour mieux prédire les réponses aux changements futurs

# Lectures suggérées

## Optimal foraging et conservation

- Krebs, J.R. & Davies, N.B.** 1993. *An introduction to Behavioural Ecology* . Oxford, UK: Blackwell Science.
- Krebs, J.R. & Davies, N.B.** 1997. *Behavioural Ecology - An Evolutionary Approach*. Oxford, UK: Blackwell Science.
- Sutherland, W.J.** 1996. *From individual behaviour to population ecology*. Oxford: Oxford University Press.
- Gosling, L.M. & Sutherland, W.J., eds.** 2000. *Behaviour and conservation*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Stephens, D.W. & Krebs, J.R.** 1986. *Foraging theory*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Danchin, E., Giraldeau, L.-A. & Cezilly, F.** 2005. *Ecologie comportementale*, Dunod, Paris.
- Stephens, D. W., Brown, J. S. & Ydenberg, R. C.** 2007. *Foraging: behavior and ecology*, The University of Chicago Press, Chicago.
- Caro, T., eds.** 1998. *Behavioral ecology and conservation biology*. New York: Oxford University Press.