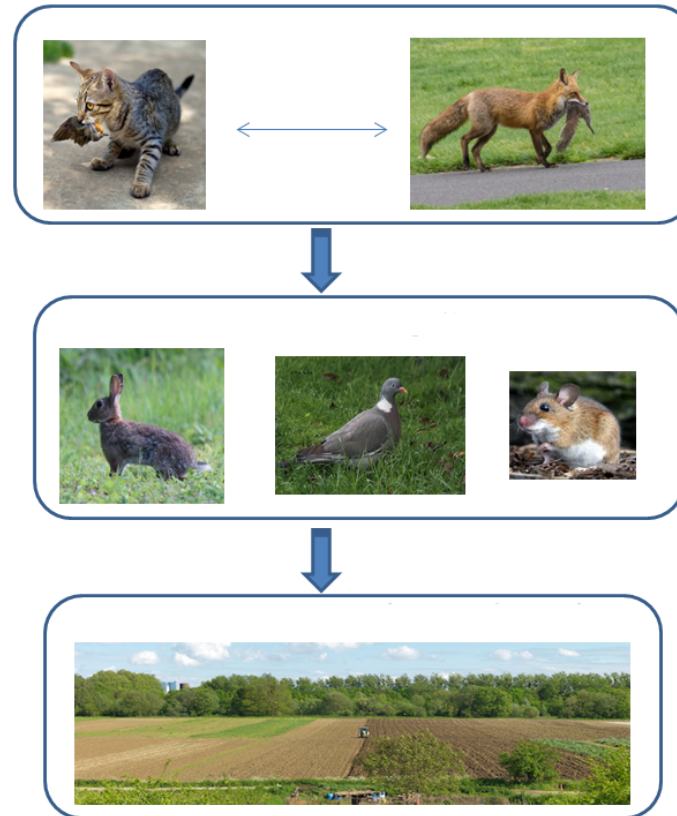


« Étude des relations prédateurs-proies en milieu agricole péri-urbain »

Irene Castañeda, Benoit Pisanu, Christophe Hanot, Jean-Louis Chapuis, Elsa Bonnaud



« Modélisation et prédiction de la dynamique de réseaux trophiques en milieu agricole péri-urbain »

Diane Zarzoso-Lacoste, Sarah Lemler, Pauline Laffite



Pourquoi ces 2 espèces?



- ✓ Relativement abondants dans les écosystèmes péri-urbains
- ✓ Prédateur supérieurs: rôle important de régulation par prédation
- ✓ Interactions entre eux:
 - Consommation des mêmes proies
 - Utilisation du même habitat

1ere phase: étude de leurs régimes alimentaires en fonction de la disponibilité des proies principales





Réserve





Réserve



Ferme d'orsigny





Réserve



Ferme d'orsigny



La Clairière



Indice d'abondances des proies principales:



Indice d'abondances des proies principales:



Indice d'abondances des prédateurs:



Indice d'abondances des proies principales:



Indice d'abondances des prédateurs:



+ Etude du régime alimentaire des prédateurs:

- Analyse des restes trouvés dans les excréments



Résultats du régime alimentaire des prédateurs (biomasse):

Résultats du régime alimentaire des prédateurs (biomasse):

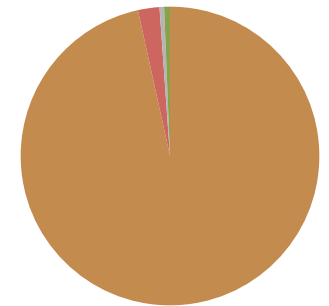
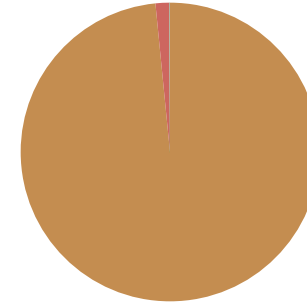
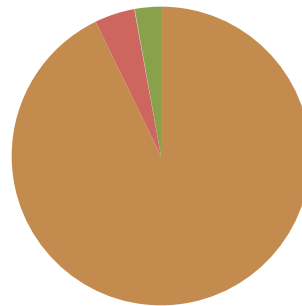
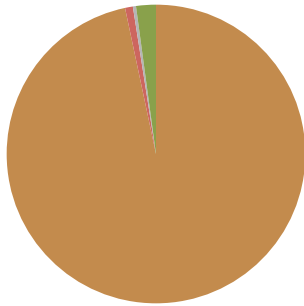
Automne

Hiver

Printemps

Été

Chat



■ Mammifères ■ Oiseaux ■ Invertebrés ■ Fruits

Résultats du régime alimentaire des prédateurs (biomasse):

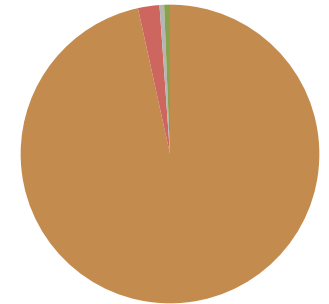
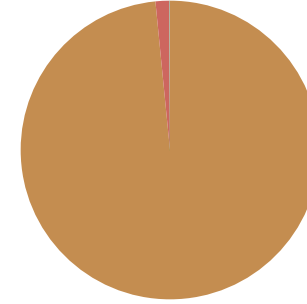
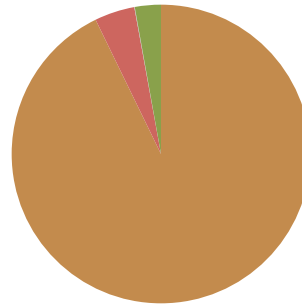
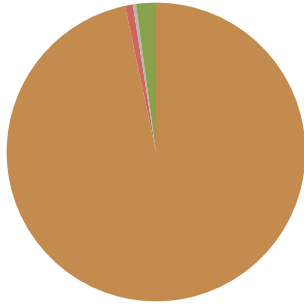
Automne

Hiver

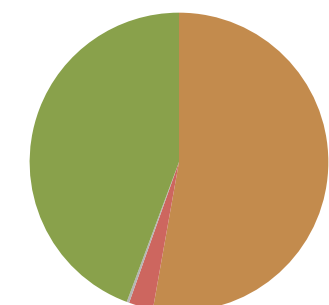
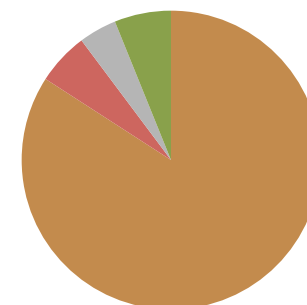
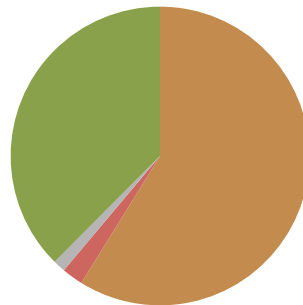
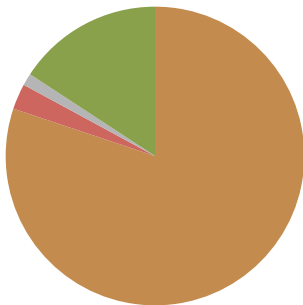
Printemps

Été

Chat



Renard



■ Mammifères ■ Oiseaux ■ Invertebrés ■ Fruits

Modélisation et prédiction de la dynamique de réseaux trophiques en milieu agricole peri-urbain

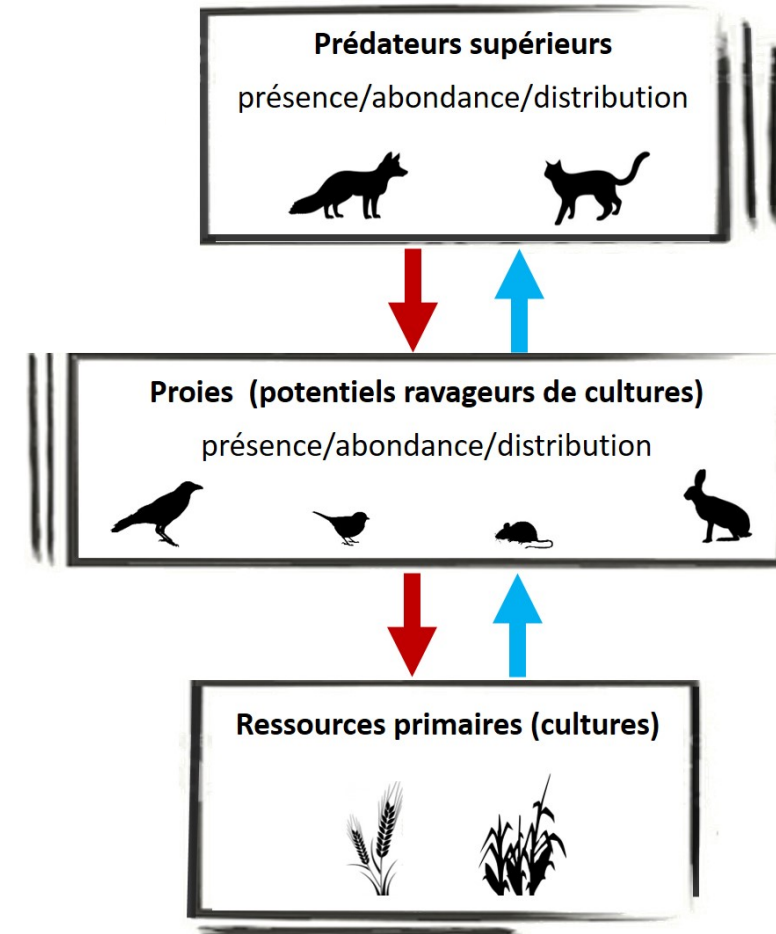
Diane Zarzoso-Lacoste, Elsa Bonnaud, Pauline Lafitte, Sarah Lemler

Laboratoire ESE,
Université Paris Sud

1) Modéliser les relations prédateurs-proies



Comprendre le fonctionnement et la dynamique cet écosystème

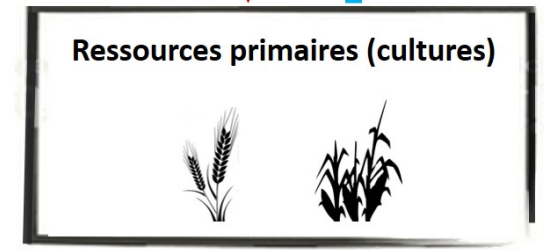
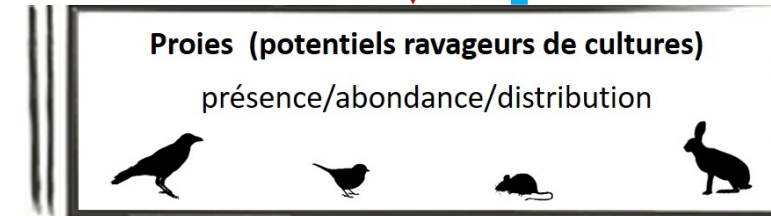
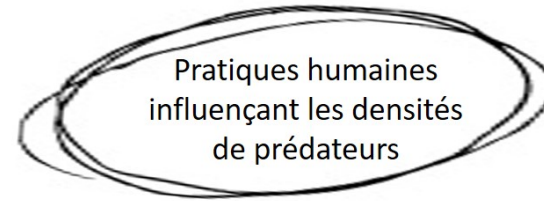


Légende: → Effet top-down → Effet bottom-up

1) Modéliser les relations prédateurs-proies

Comprendre le fonctionnement et la dynamique cet écosystème

Perturbations anthropiques:



2) Prédire les trajectoires possibles de cet écosystème en réponse à des scénarios de pressions humaines

Outil d'aide à la décision pour les gestionnaires de la biodiversité

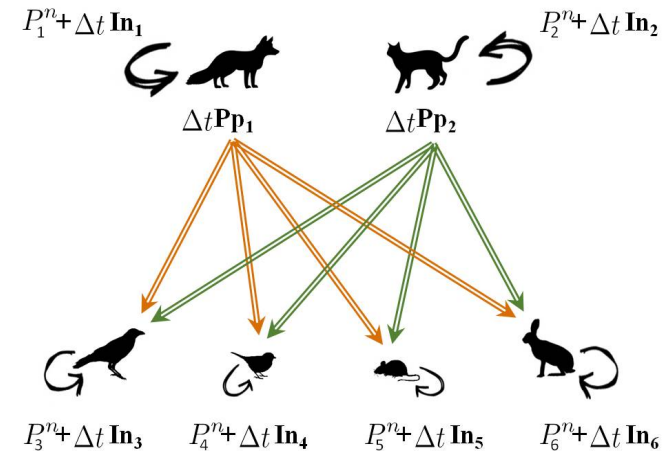


Modélisation

1) Modèles déterministes

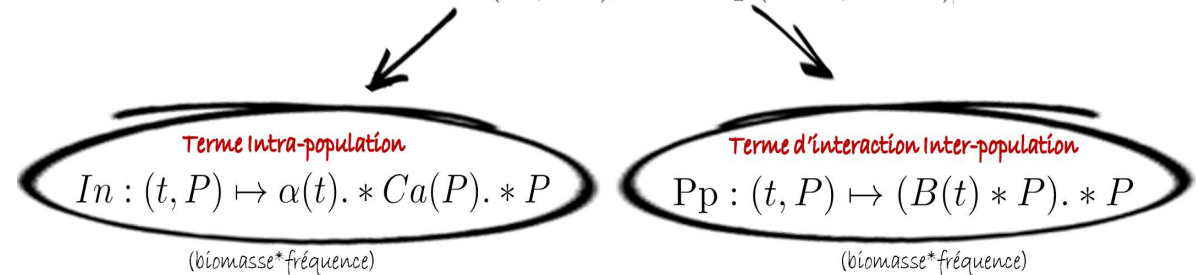
- Lotka-Volterra
- Temps discret (3mois)

Schéma:



Formulation:

$$P^{n+1} = P^n + \Delta t \text{In}(t^n, P^n) + \Delta t \text{Pp}(t^{n+1}, P^{n+1})$$



(Variations d'abondances)

(Régimes alimentaires)

Modélisation

1) Modèles déterministes

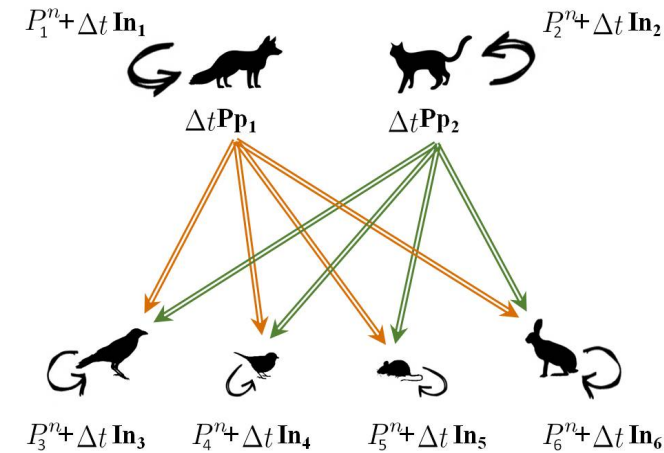


Complexification

2) Modèles stochastiques

- *Hasards démographiques*
- *Hasards environnementaux*

Schéma:



Formulation:

$$P^{n+1} = P^n + \Delta t \text{In}(t^n, P^n) + \Delta t \text{Pp}(t^{n+1}, P^{n+1})$$



**Variabilité
activités
humaines**

Terme intra-population

$$\text{In} : (t, P) \mapsto \alpha(t) \cdot Ca(P) \cdot P$$

(biomasse*fréquence)

Terme d'interaction inter-population

$$\text{Pp} : (t, P) \mapsto (B(t) \cdot P) \cdot P$$

(biomasse*fréquence)

**Variabilité survie et
reproduction**



**Variabilité interactions
prédateurs-proies**



Modélisation

1) Modèles déterministes



Complexification

2) Modèles stochastiques

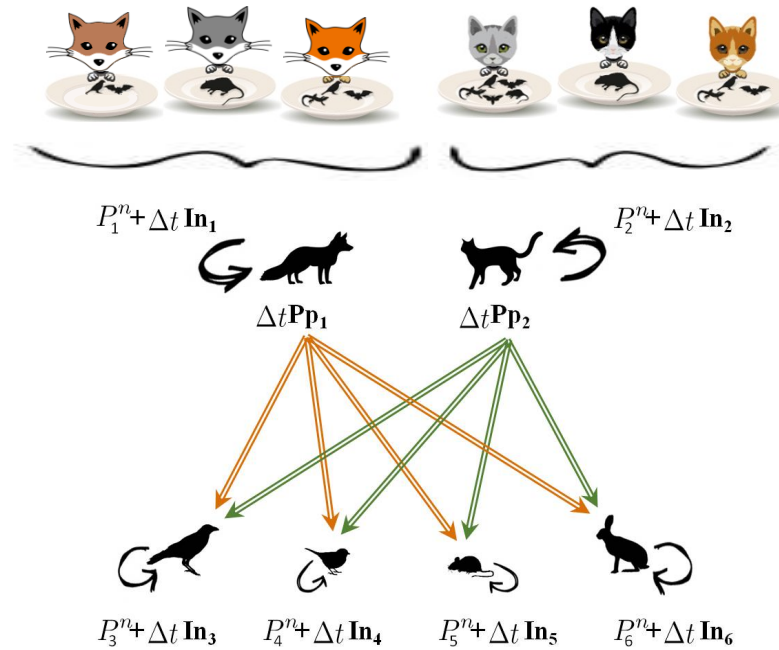


Complexification

3) Modèles « personnalités »

- Utilisation de l'espace
- Spécialisation alimentaire

Schéma:



Formulation:

$$P^{n+1} = P^n + \Delta t \text{In}(t^n, P^n) + \Delta t \text{Pp}(t^{n+1}, P^{n+1}) \quad *$$

Terme Intra-population *

$$\text{In} : (t, P) \mapsto \alpha(t) \cdot Ca(P) \cdot P$$

(biomasse*fréquence)

Terme d'interaction inter-population *

$$\text{Pp} : (t, P) \mapsto (B(t) * P) \cdot P$$

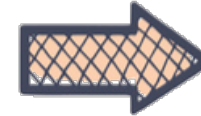
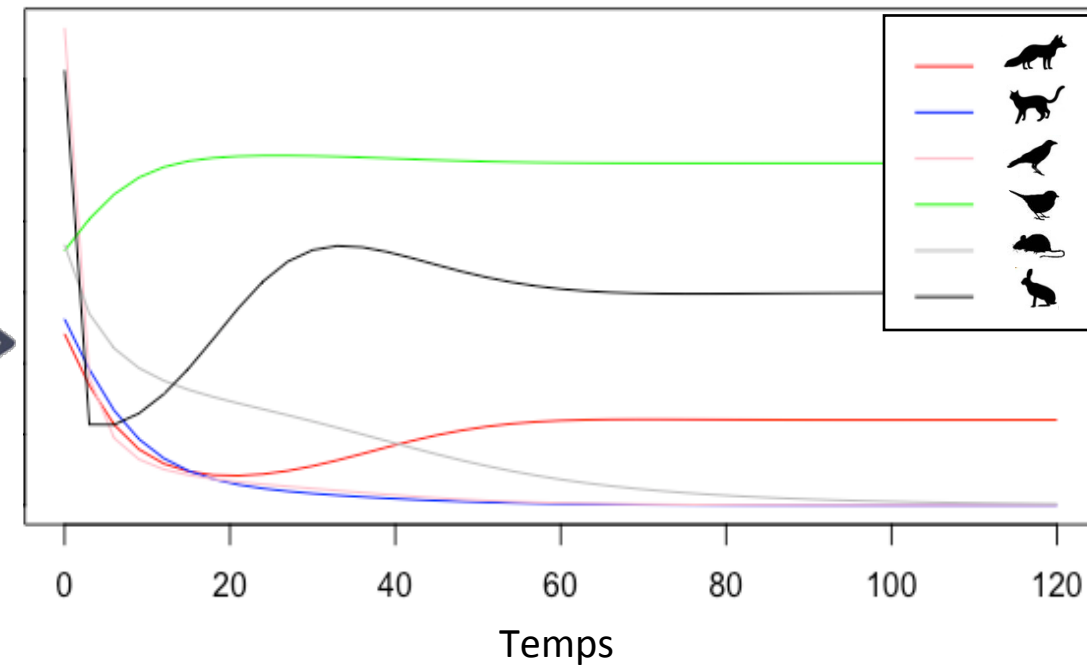
(biomasse*fréquence)

Modélisation**Validation****Prédiction****1) Modèles déterministes**

Complexification

2) Modèles stochastiques

Complexification

3) Modèles « personnalités »**Meilleur
modèle****Evolution des effectifs dans le temps**

Compréhension du fonctionnement des agroécosystèmes périurbains:

Quelles sont les dynamiques Prédateurs/Ravageurs?

Y a-t-il un dysfonctionnement du réseau trophique?

Y a-t-il une perte de la fonction régulatrice des prédateurs sur les ravageurs de culture?



Proposition de mesures de gestion des prédateurs et de certains ravageurs

Compréhension du fonctionnement des agroécosystèmes périurbains:

Quelles sont les dynamiques Prédateurs/Ravageurs?

Y a-t-il un dysfonctionnement du réseau trophique?

Y a-t-il une perte de la fonction régulatrice des prédateurs sur les ravageurs de culture?



Proposition de mesures de gestion des prédateurs et de certains ravageurs

Prédiction des possibles effets de la modification des pratiques humaines:



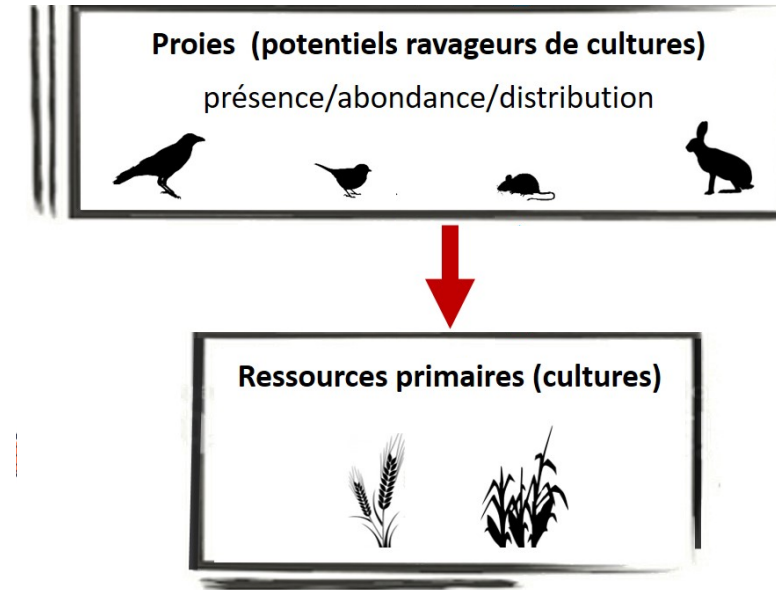
Gestion des populations de prédateurs (contrôle, stérilisation...)



Changement d'utilisation des terres (urbanisation, pratiques agricoles ...)

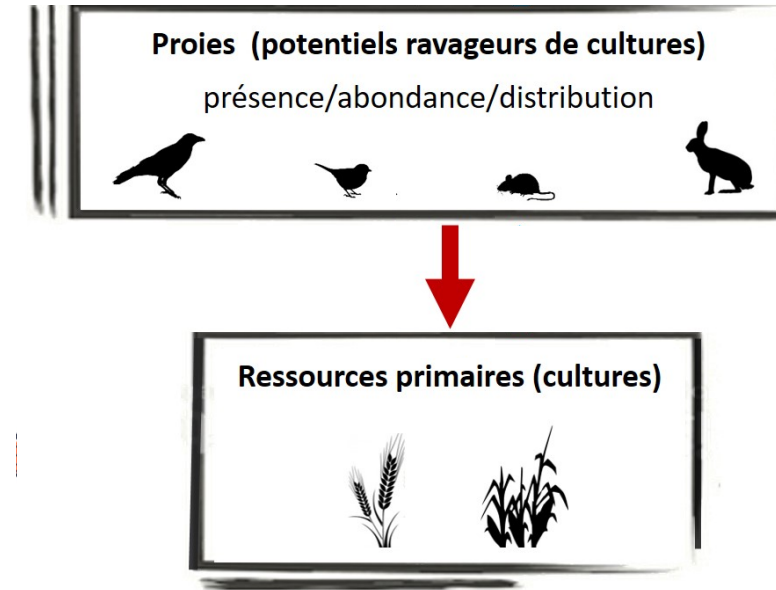
Quantification des pertes agricoles:

- **Recensement** auprès des **agriculteurs** des variétés et quantités de cultures impactées par les ravageurs



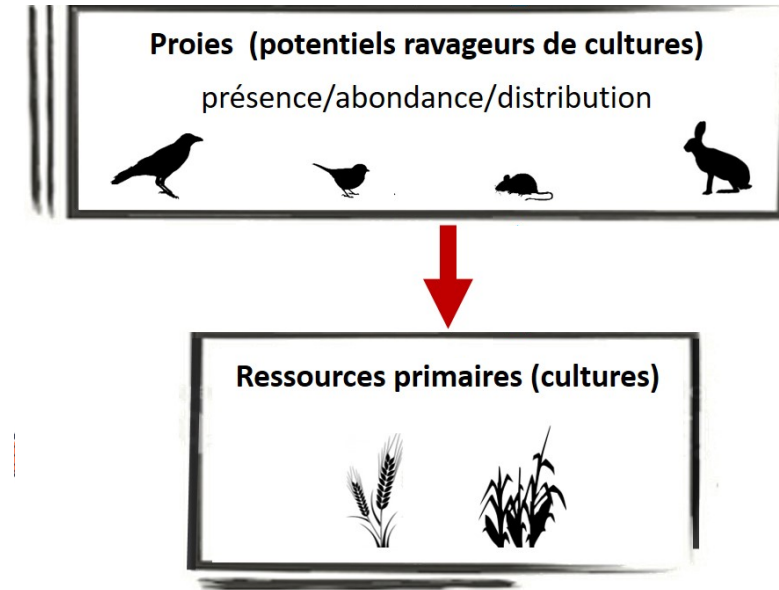
Quantification des pertes agricoles:

- **Recensement** auprès des **agriculteurs** des variétés et quantités de cultures impactées par les ravageurs
- **Études chiffrées sur la présence des ravageurs les plus préoccupants: Pigeons + Corvidés + Lagomorphes**
 - Comptage des effectifs dans les champs
 - Etude du déplacement des pigeons Paris-champs (balises GPS)



Quantification des pertes agricoles:

- **Recensement** auprès des **agriculteurs** des variétés et quantités de cultures impactées par les ravageurs
- **Études chiffrées sur la présence des ravageurs les plus préoccupants: Pigeons + Corvidés + Lagomorphes**
 - Comptage des effectifs dans les champs
 - Etude du déplacement des pigeons Paris-champs (balises GPS)
- **Études plus approfondies sur leur consommation des cultures:**
 - Données/observations récoltées par certains agriculteurs
 - **Possibilité d'expérimentation?** (recherche de collaboration)
 - Valider et/ou améliorer les mesures d'effarouchement actuelles
 - Recenser les meilleures méthodes pour limiter la présence de ces « ravageurs »



Merci de votre attention



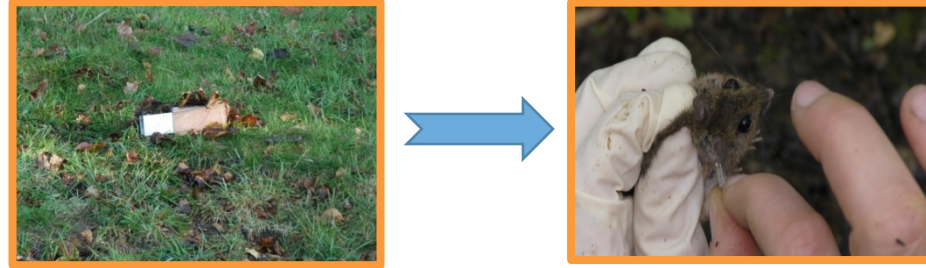
© Paul Foreman <http://www.mindmapinspiration.com>

Irene Castañeda, Benoit Pisanu, Christophe Hanot, Jean-Louis Chapuis, Elsa Bonnaud

Diane Zarzoso-Lacoste, Sarah Lemler, Pauline Laffite

Indice d'abondances des proies principales:

- Captures de micro-mammifères
(méthode standardisée par grille de pièges)



- Ecoute et comptage des oiseaux
(méthode standardisée sur transects de 1km)



- Comptage de nuit pour lapins et lièvres
(méthode standardisée sur parcours de 15km)



Indice d'abondances des prédateurs:

- Comptage de nuit pour chats et renards
(méthode standardisée sur parcours de 15km)



Indice d'abondances des proies principales:

Rongeurs

Campagnol,mulot et deux especes de musaraignes en très faible densités
Aucun rat capture pendant 2 années

Oiseaux



Alouette des champs



Geai des chênes



Roitelet huppé



Grive draine

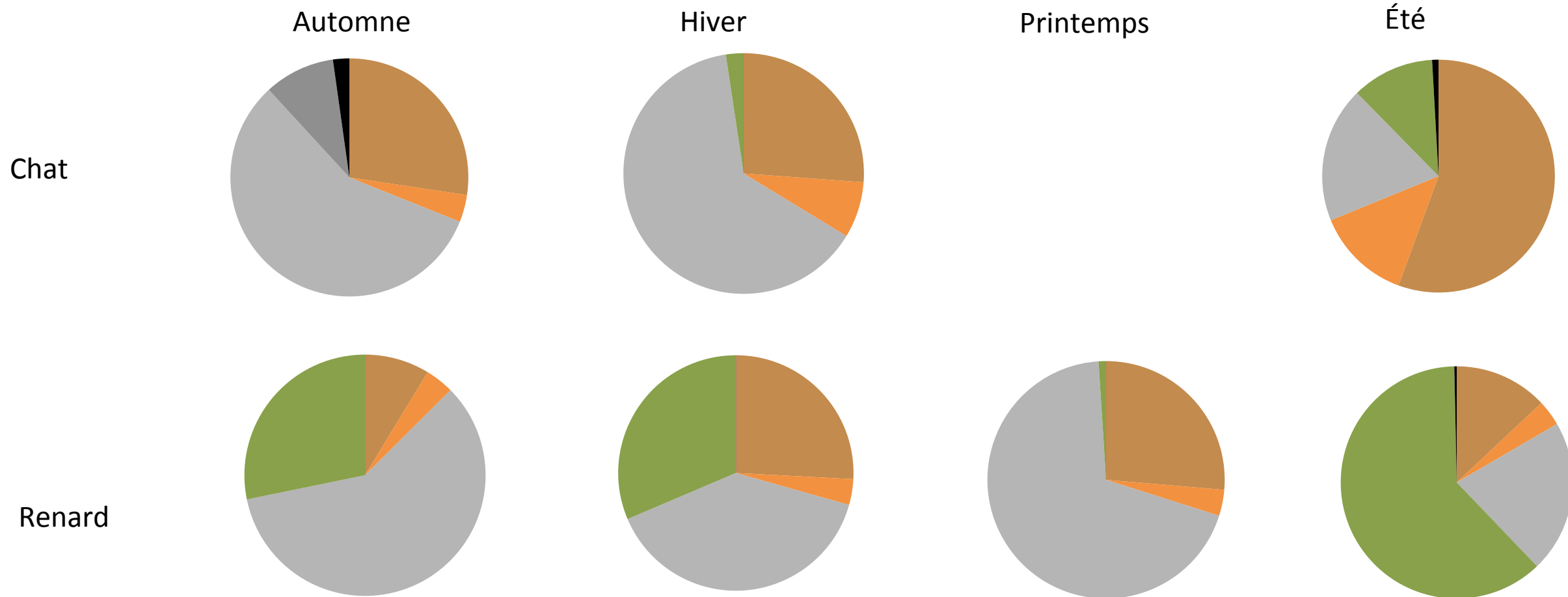
Lagomorphs

Variation selon les saisons: hiver et printemps > été et automne

Prédateurs

Été et automne: densité des renards et chats pareil
Hiver et printemps: renards > chats

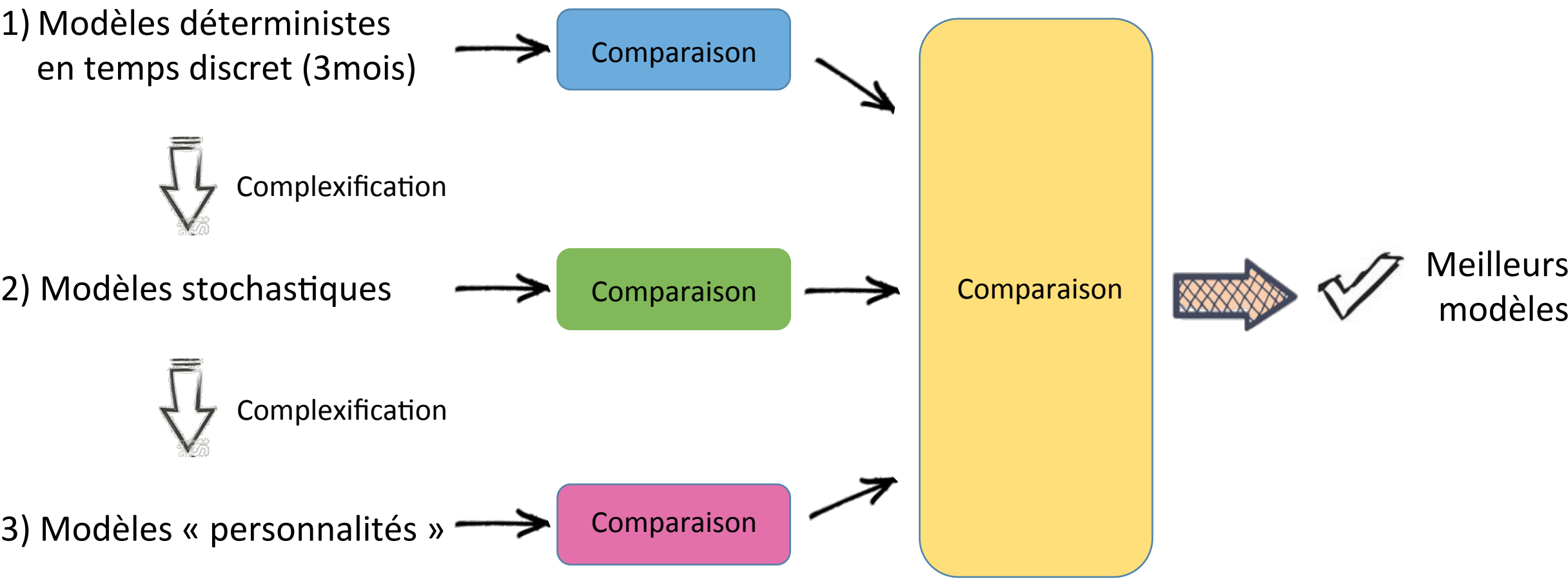
Résultats du régime alimentaire des prédateurs: (%RFO)



Modélisation

Validation

Robustesse (cohérence, stabilité, convergence), Vraisemblance (AIC, BIC), Parcimonie



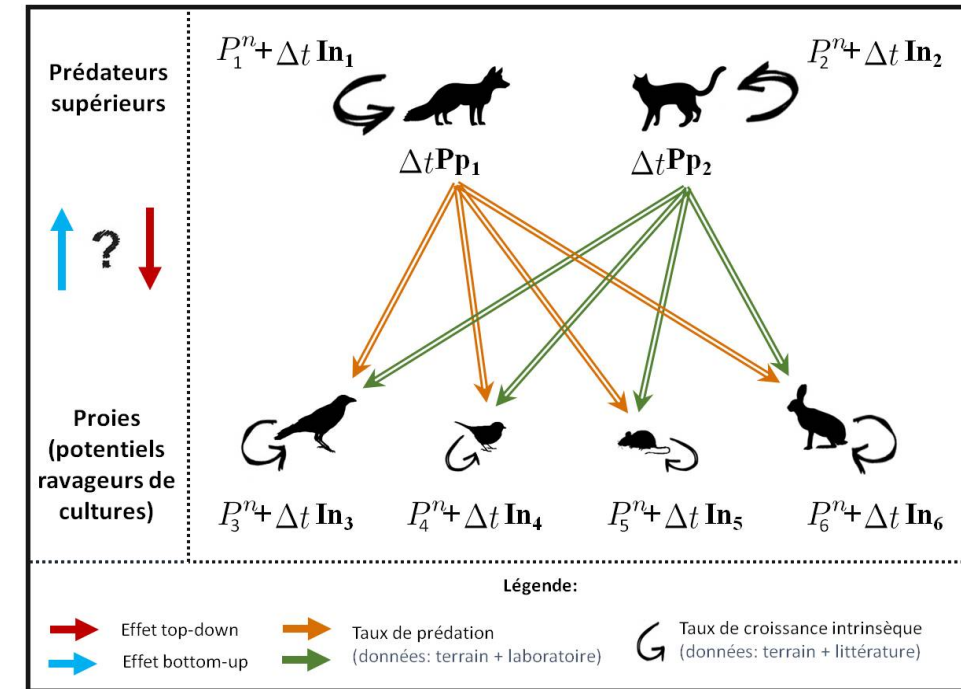
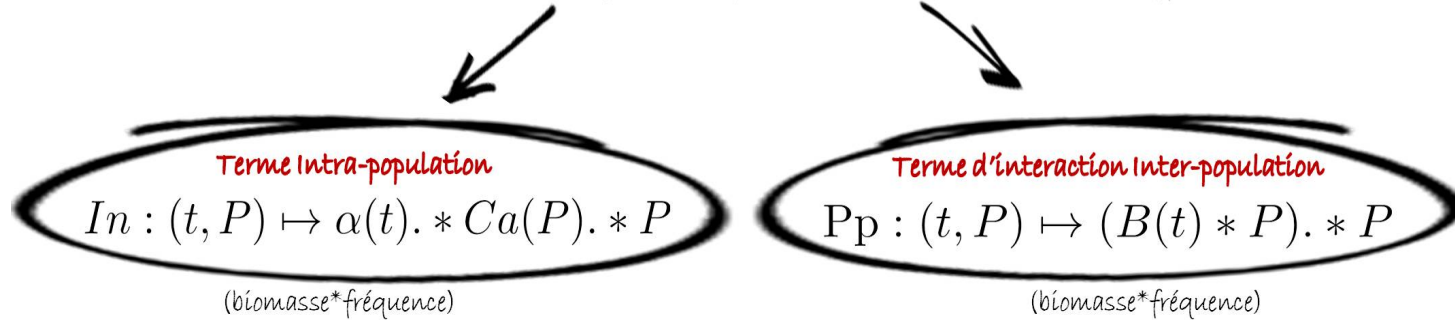
1) Modèle de base (déterministe)

Formulation générale du modèle

→ Modèle de type compétition - prédation de Lotka-Volterra

→ Temps discret ($\Delta t = 3\text{mois}$)

$$P^{n+1} = P^n + \Delta t \text{In}(t^n, P^n) + \Delta t \text{Pp}(t^{n+1}, P^{n+1})$$



P (vecteur) = densité (biomasse) des 6 taxons en interaction → $(P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6)$.

Symboles: * = calcul matriciel classique

. * = multiplication terme à terme de 2 vecteurs

1) Modèle de base (déterministe)

Description du terme intra-population

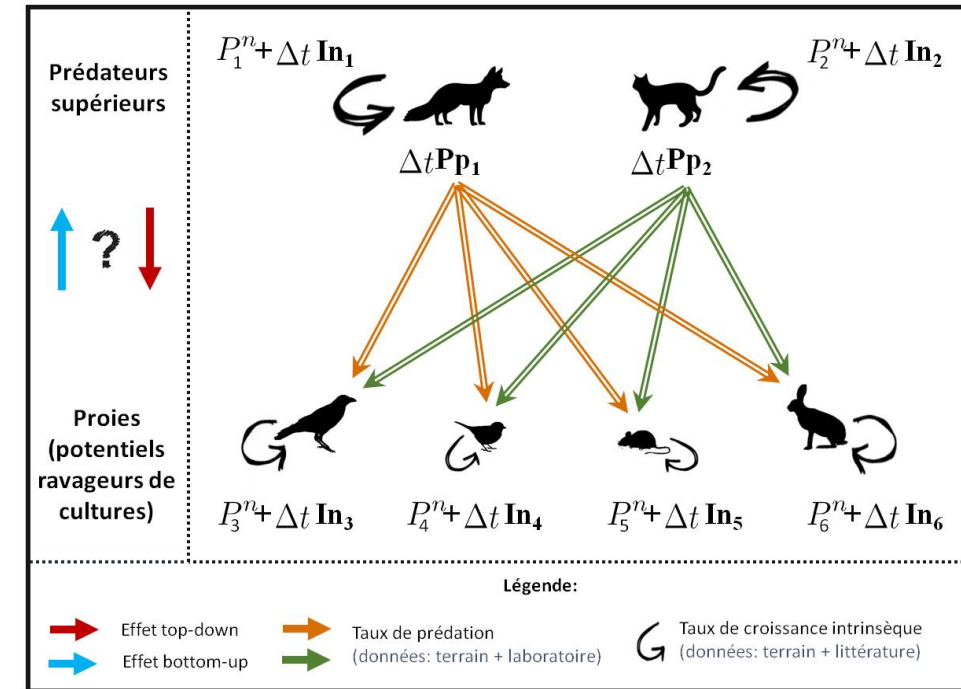
$$In : (t, P) \mapsto \alpha(t) \cdot * Ca(P) \cdot * P$$

Exemple d'équation pour une proie P_j (avec $j= 3$ à 6):

$$P_j^{n+1} = P_j^n + \underbrace{\Delta t [\alpha(t^n)_j * (1 - P_j/K_j) * P_j^n]}_{\text{Terme Intra-population}} + \underbrace{\Delta t [B(t^n) * P^n]_j P_j^n}_{\text{Terme d'interaction Inter-population}}$$

Terme Intra-population

Terme d'interaction Inter-population



α (fréquence) = taux de croissance intrinsèque exponentiel.

Ca (vecteur) intègre une croissance logistique de la forme $(1 - P_j/K_j)$ avec

K_j = capacité de charge du milieu en biomasse de P_j (littérature).

1) Modèle de base (déterministe)

Description du terme intra-population

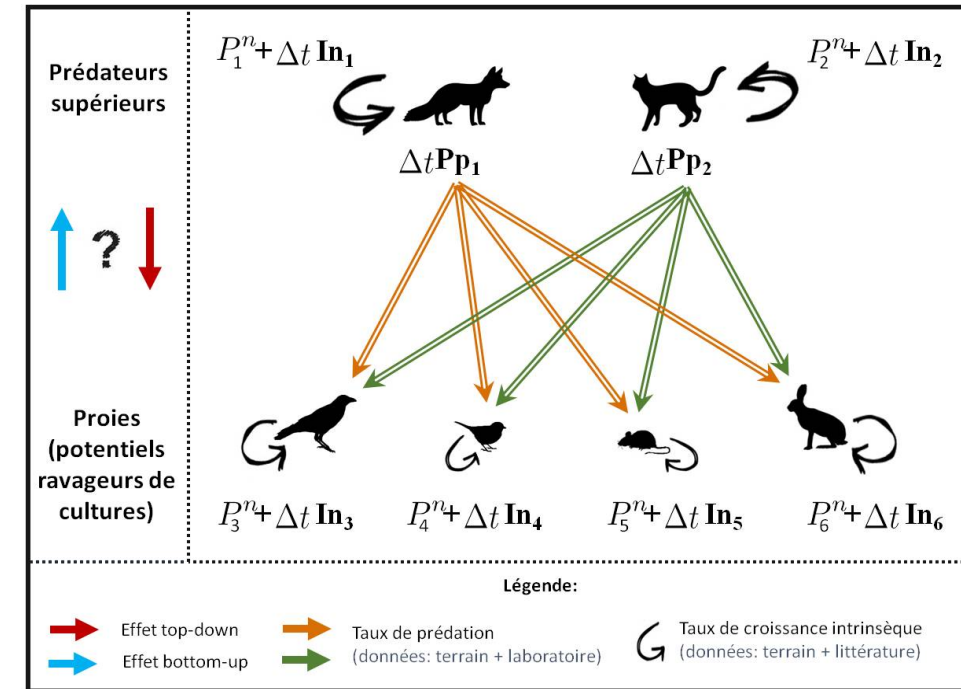
$$In : (t, P) \mapsto \alpha(t) \cdot Ca(P) \cdot P$$

Exemple d'équation pour un prédateur P_i (avec $i= 1$ à 2):

$$P_i^{n+1} = P_i^n + \underbrace{\Delta t [(-\alpha(t^n))_i \cdot P_i^n]}_{\text{Terme Intra-population}} + \underbrace{\Delta t [B(t^n) \cdot P^n]_i P_i^n}_{\text{Terme d'interaction Inter-population}}$$

Terme Intra-population

Terme d'interaction Inter-population



$-\alpha$ = taux intrinsèque de décroissance exponentiel en l'absence des proies P_j (estimé indirectement du régime alimentaire ou valeur théorique).

Pas de capacité de charge $\rightarrow$ densité dépend uniquement de celles des proies ($Ca = -1$).

NB: α et $-\alpha \rightarrow$ de forme périodique (sinusoïdale) pour tenir compte de la saisonnalité de la fécondité.

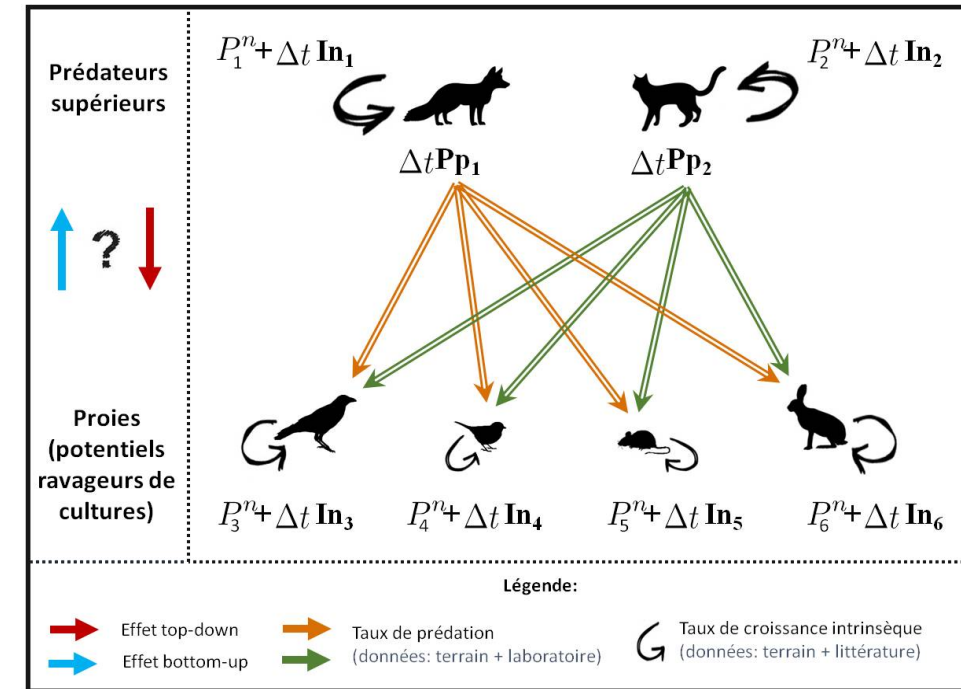
1) Modèle de base (déterministe)

Description du terme inter-population

$$P_p : (t, P) \mapsto (B(t) * P). * P$$

B(t) = matrice d'interactions proies-prédateurs (1 matrice /saison).

$$B(t) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & X_{1,3} & X_{1,4} & X_{1,5} & X_{1,6} \\ 0 & 0 & X_{2,3} & X_{2,4} & X_{2,5} & X_{2,6} \\ -Y_{3,1} & -Y_{3,2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -Y_{4,1} & -Y_{4,2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -Y_{5,1} & -Y_{5,2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -Y_{6,1} & -Y_{6,2} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$



1) Modèle de base (déterministe)

Description du terme inter-population

$$P_p : (t, P) \mapsto (B(t) * P). * P$$

B(t) = matrice d'interactions proies-prédateurs (1 matrice /saison).

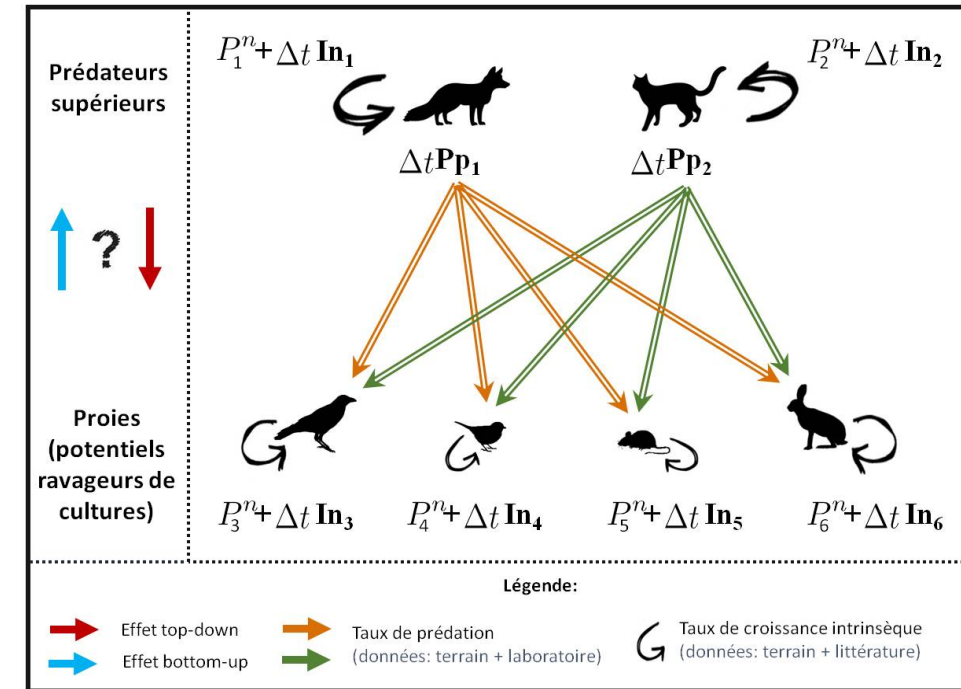
$$B(t) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & X_{1,3} & X_{1,4} & X_{1,5} & X_{1,6} \\ 0 & 0 & X_{2,3} & X_{2,4} & X_{2,5} & X_{2,6} \\ -Y_{3,1} & -Y_{3,2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -Y_{4,1} & -Y_{4,2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -Y_{5,1} & -Y_{5,2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -Y_{6,1} & -Y_{6,2} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Avec, pour les prédateurs i:

$$X_{i,j} = x_{i,j} / S_i \quad \mathbf{x}_{i,j} \text{ et } \mathbf{S}_i \rightarrow \text{données de terrain + littérature.}$$

$$x_{i,j} = (\text{coefficient de préférence alimentaire de } P_j \text{ par } P_i) * (\text{taux de prédation de } P_i \text{ sur } P_j) * [65/100 (\text{biomasse fraîche de } P_j \text{ consommée})] / (\text{taux de conversion de } P_j \text{ en énergie métabolisable par } P_i).$$

$$S_i = \text{Quantité d'énergie nécessaire à la survie } in \text{ natura (taux métabolique basé sur l'allométrie) de chaque type de prédateur (carnivore vs omnivore) et pour chaque statut reproducteur moyenné sur la population.}$$



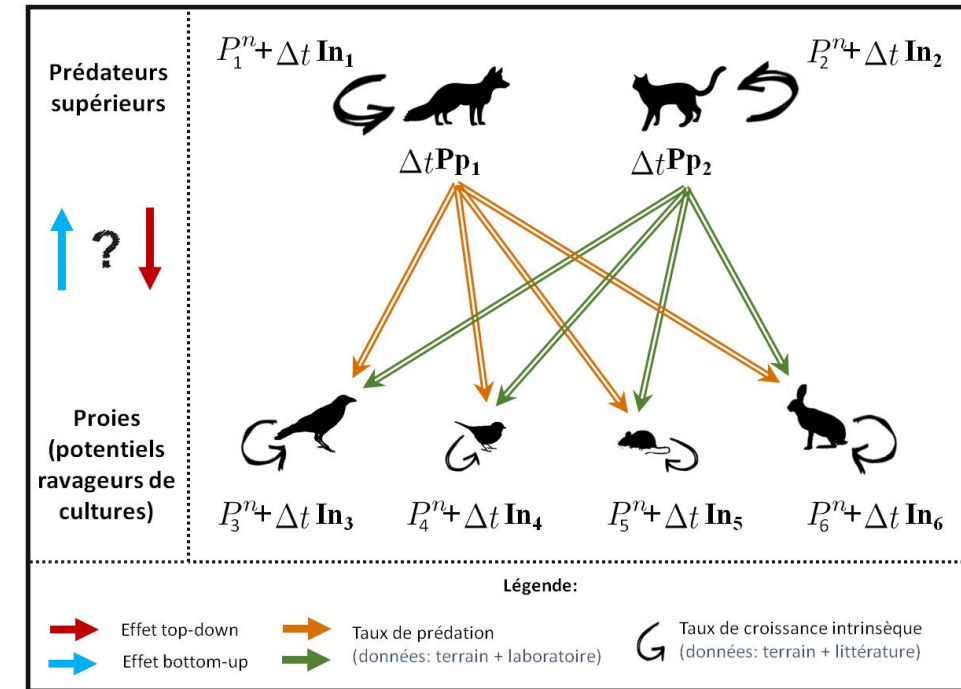
1) Modèle de base (déterministe)

Description du terme inter-population

$$P_p : (t, P) \mapsto (B(t) * P) . * P$$

B(t) = matrice d'interactions proies-prédateurs (1 matrice /saison).

$$B(t) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & X_{1,3} & X_{1,4} & X_{1,5} & X_{1,6} \\ 0 & 0 & X_{2,3} & X_{2,4} & X_{2,5} & X_{2,6} \\ -Y_{3,1} & -Y_{3,2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -Y_{4,1} & -Y_{4,2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -Y_{5,1} & -Y_{5,2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -Y_{6,1} & -Y_{6,2} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$



Conversion en perte et gain de biomasse, pour les prédateurs i:

$$(B(t) * P)_i = X_{i,3}P_3 + X_{i,4}P_4 + X_{i,5}P_5 + X_{i,6}P_6, \quad i = 1, 2$$

= Quantité d'énergie métabolisable gagnée par P_i , permettant la survie des individus jusqu'à la prochaine saison et leur reproduction le moment venu (= gain en biomasse) si $(B(t) * P)_i > \Delta t \alpha_i S_i$.

Avec $\Delta t \alpha_i S_i$ = Quantité d'énergie requise par P_i durant 3 mois.

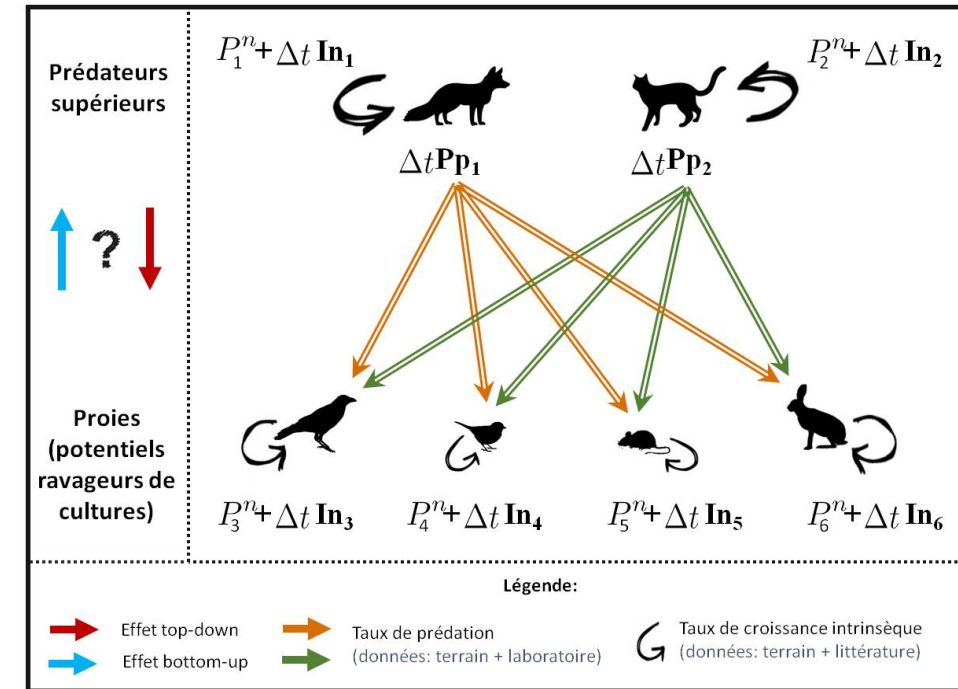
1) Modèle de base (déterministe)

Description du terme inter-population

$$P_p : (t, P) \mapsto (B(t) * P) . * P$$

B(t) = matrice d'interactions proies-prédateurs (1 matrice /saison).

$$B(t) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & X_{1,3} & X_{1,4} & X_{1,5} & X_{1,6} \\ 0 & 0 & X_{2,3} & X_{2,4} & X_{2,5} & X_{2,6} \\ -Y_{3,1} & -Y_{3,2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -Y_{4,1} & -Y_{4,2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -Y_{5,1} & -Y_{5,2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -Y_{6,1} & -Y_{6,2} & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$



Conversion en perte et gain de biomasse, pour les proies j:

$$(B(t) * P)_j = -Y_{j,1}P_1 - Y_{j,2}P_2, \quad j = 3, \dots, 6$$

= Biomasse perdue par P_j du fait de la mortalité due à la prédation par les P_i .

2) Modèles stochastiques

→ Ajout de **termes stochastiques intrinsèques** et/ou **extrinsèques** au système.

Stochasticité intrinsèque → chaînes de Markov sur les populations en interaction.

$$P^{n+1} = P^n + \Delta t \text{In}(t^n, P^n) + \Delta t \text{Pp}(t^{n+1}, P^{n+1})$$

Terme Intra-population

$$\text{In} : (t, P) \mapsto \alpha(t) \cdot Ca(P) \cdot P$$

(biomasse*fréquence)

Terme d'interaction Inter-population

$$\text{Pp} : (t, P) \mapsto (B(t) \cdot P) \cdot P$$

(biomasse*fréquence)

Terme de bruit

(aléas démographiques)



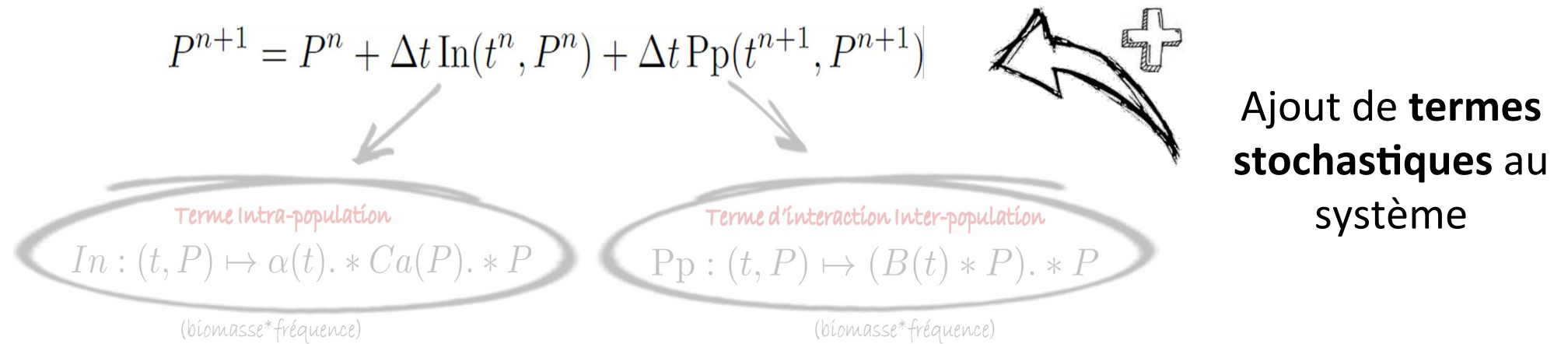
Paramètres aléatoires
(variabilité des interactions
prédateurs-proies)

NB: Le terme $-\alpha$ des P_i pourra être estimé par des méthodes d'inférence statistique.

2) Modèles stochastiques

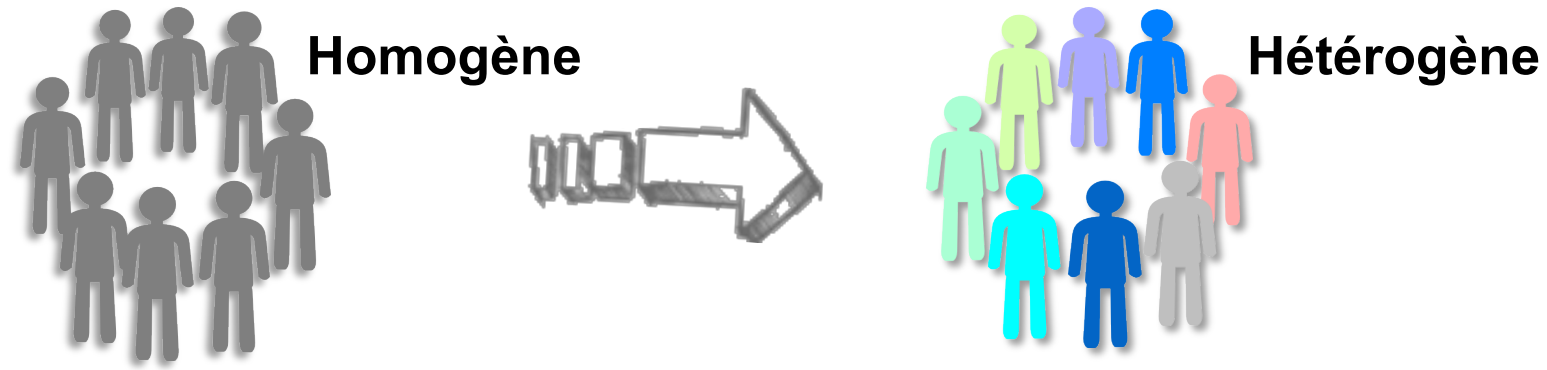
→ Ajout de **termes stochastiques intrinsèques** et/ou **extrinsèques** au système.

Stochasticité extrinsèque d'origine anthropique (ex: changement d'utilisation des terres).



Comparaison des différents modèles stochastiques → Estimation des impacts relatifs de ces différentes sources de stochasticité sur la dynamique des populations et sur la structure du réseau.

3) Modèles « personnalités »



- Au sein des populations, les individus peuvent présenter des « personnalités » différentes en se spécialisant sur des ressources alimentaires ou spatiales particulières.
- Particulièrement probables en écosystème périurbain= milieu à fortes contraintes (fragmentation de l'habitat, disponibilité des ressources, cortège de proies commensales).

Exemple: Prise en compte des comportements trophiques individuels...

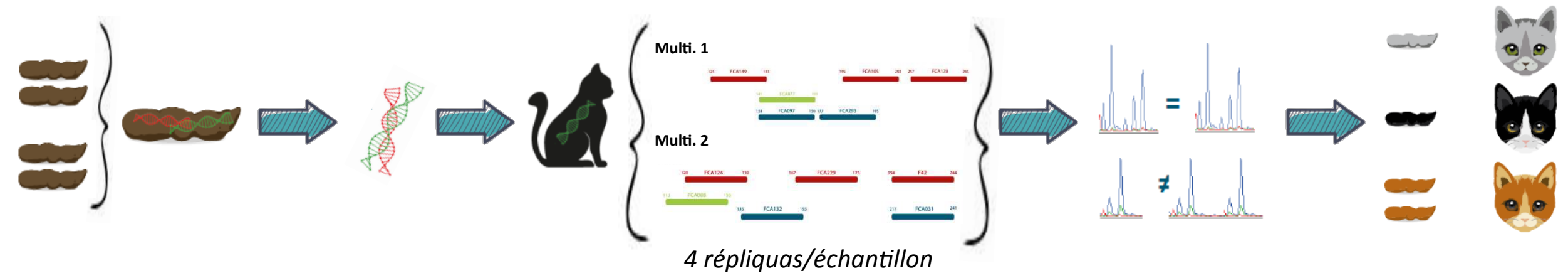
3) Modèles « personnalités »

Fèces récoltées

Extraction
ADN total

Amplification ADN chat
(12 *marqueurs microsatellites*)

Comparaison génotypes
→ **individualisation fèces**



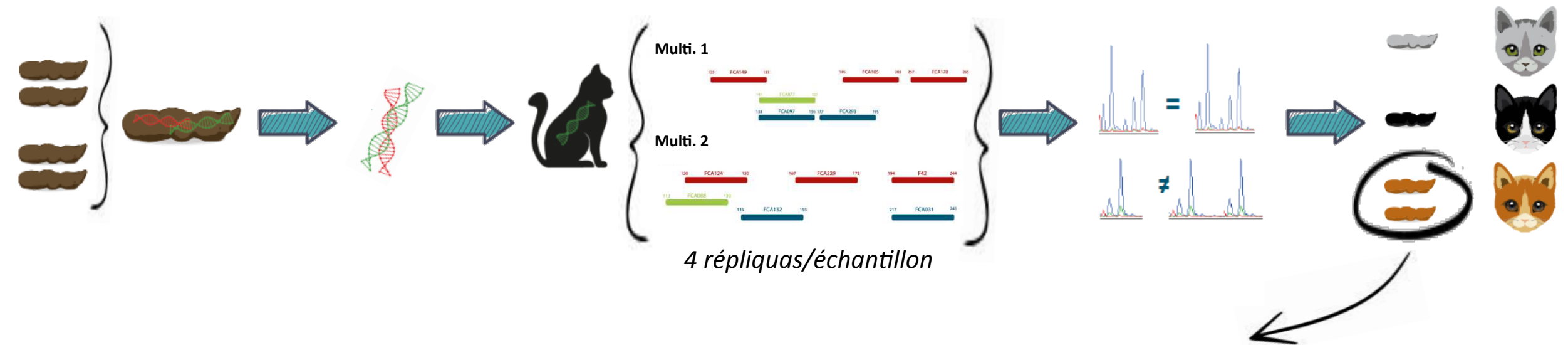
3) Modèles « personnalités »

Fèces récoltées

Extraction
ADN total

Amplification ADN chat
(12 *marqueurs microsatellites*)

Comparaison génotypes
→ **individualisation fèces**



Recapture

(dans l'espace et dans le temps):

- Modèles de CMR : taille de population, survie...
- Géolocalisation fèces: utilisation de l'espace, domaines vitaux...

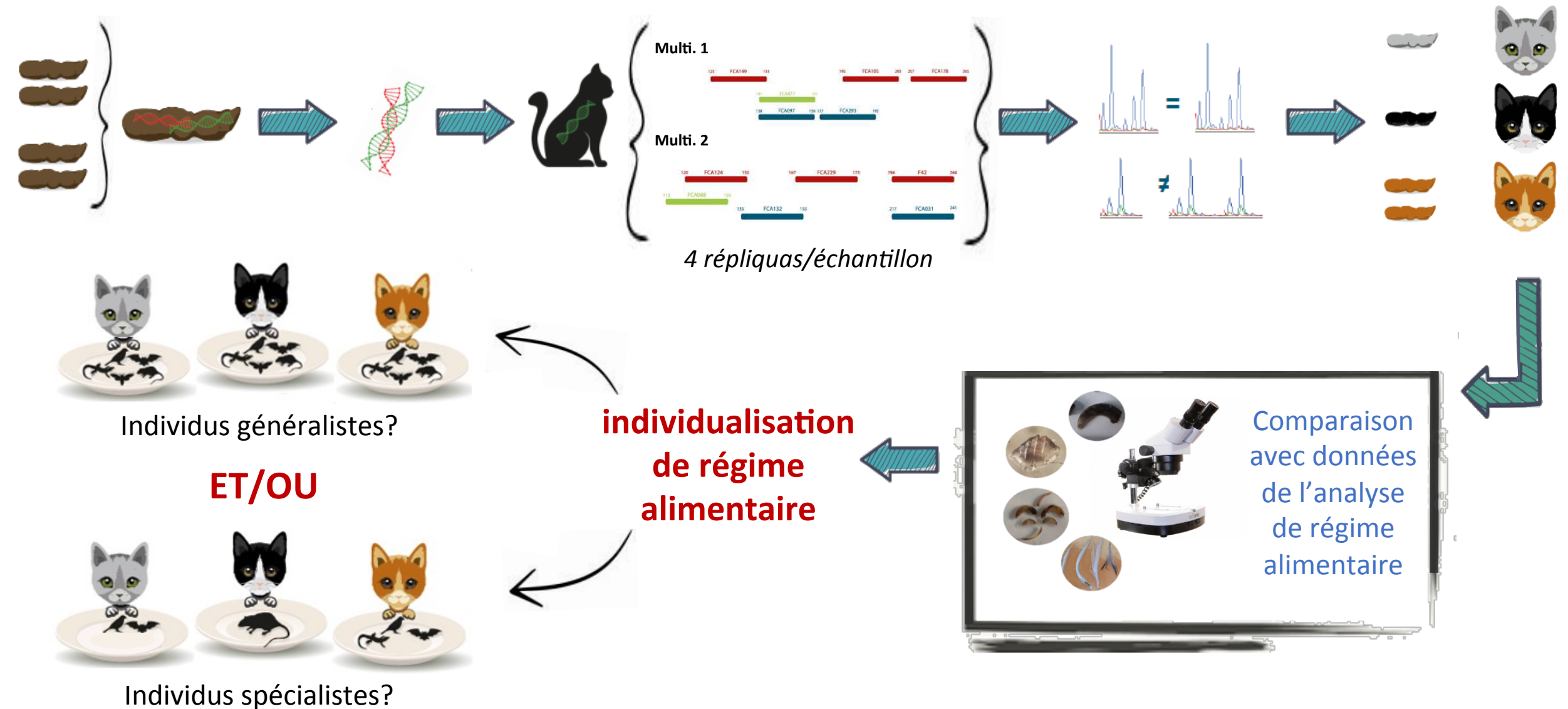
3) Modèles « personnalités »

Fèces récoltées

Extraction
ADN total

Amplification ADN chat
(12 marqueurs microsatellites)

Comparaison génotypes
→ **individualisation fèces**



3) Modèles « personnalités »

Fèces récoltées

Extraction
ADN total

Amplification ADN chat
(12 marqueurs microsatellites)

Comparaison génotypes
→ **individualisation fèces**

A appliquer au renard

Individualisation des fèces



**individualisation de
régime alimentaire**

ET/OU



Individus généralistes?

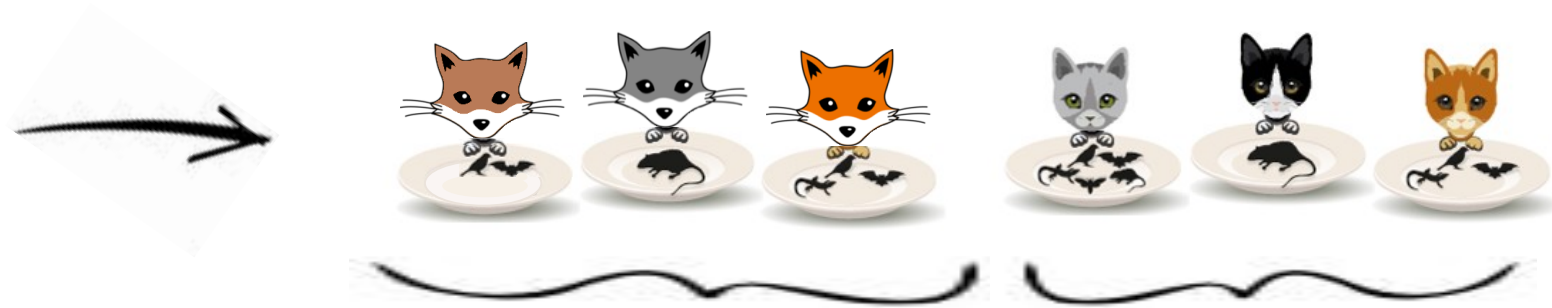


Individus spécialistes?

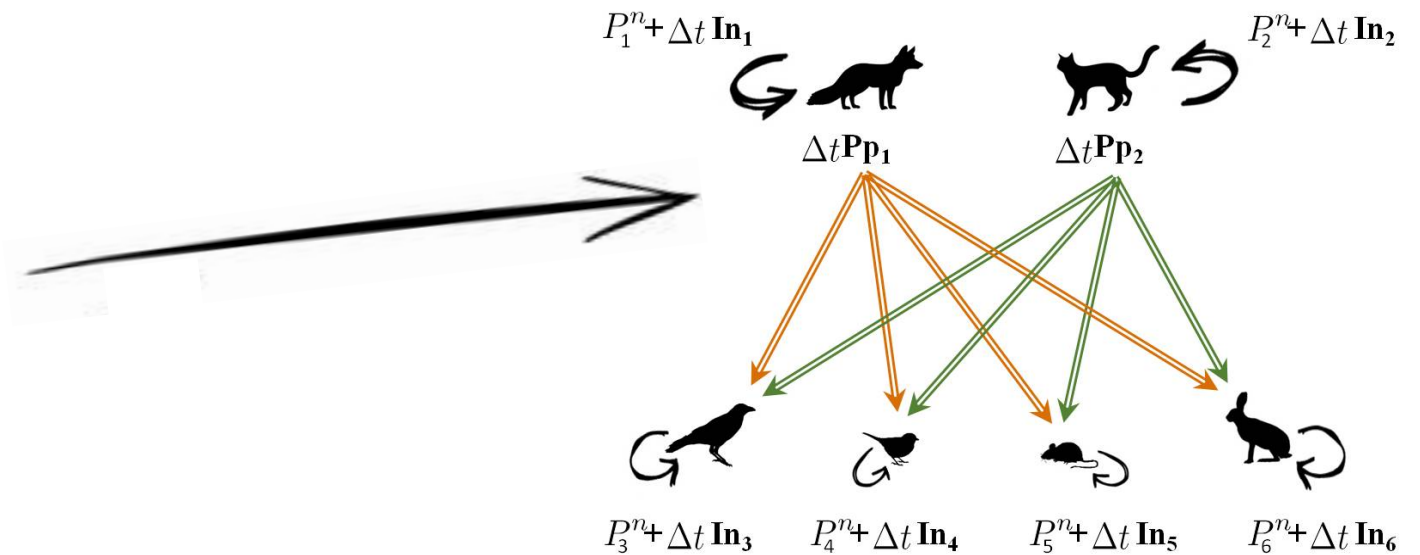


3) Modèles « personnalités »

Subdivision en sous-populations d'individus ayant un comportement généraliste et/ou spécialiste.

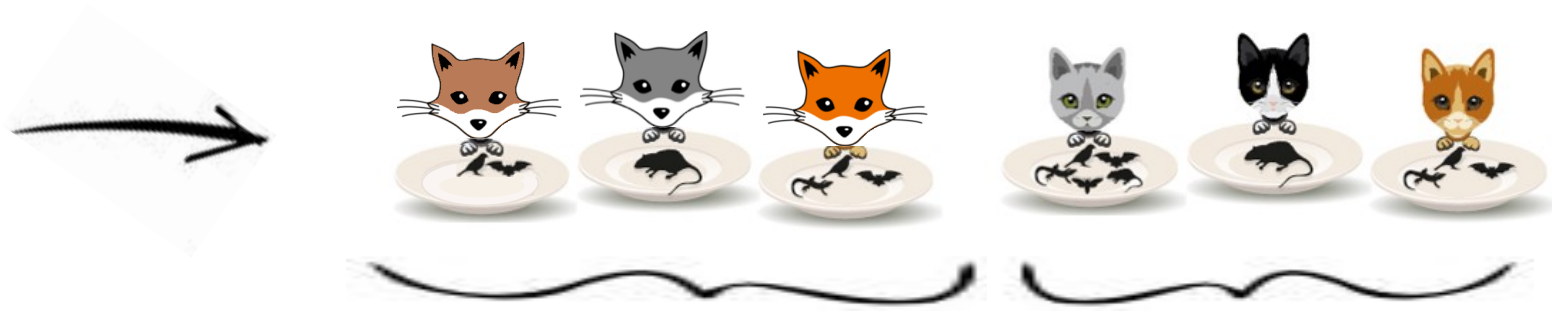


Préciser les coefficients de préférence alimentaire et les taux de prédation de la matrice $\mathbf{B(t)}$.

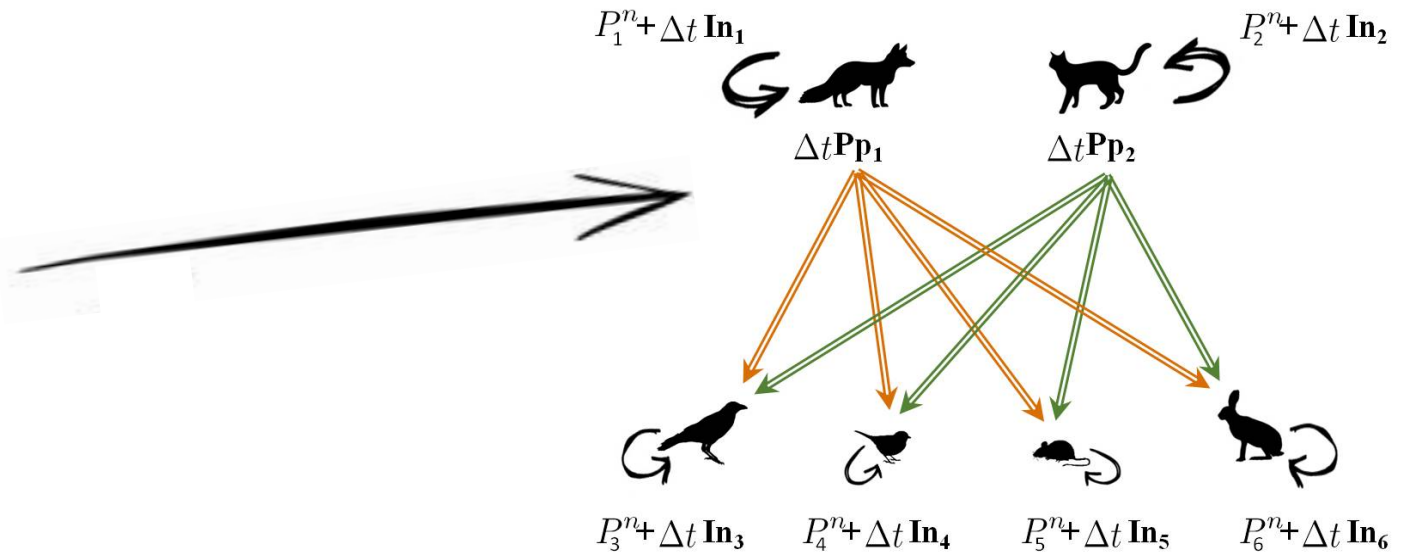


3) Modèles « personnalités »

Subdivision en sous-populations d'individus ayant un comportement généraliste et/ou spécialiste.



Préciser les coefficients de préférence alimentaire et les taux de prédation de la matrice $\mathbf{B}(\mathbf{t})$.



Même approche pour les « personnalités spatiales »

(fréquence de position spatiale des fèces dans chaque habitat = proxy d'exploitation préférentielle)