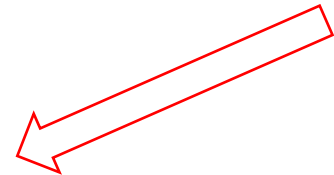
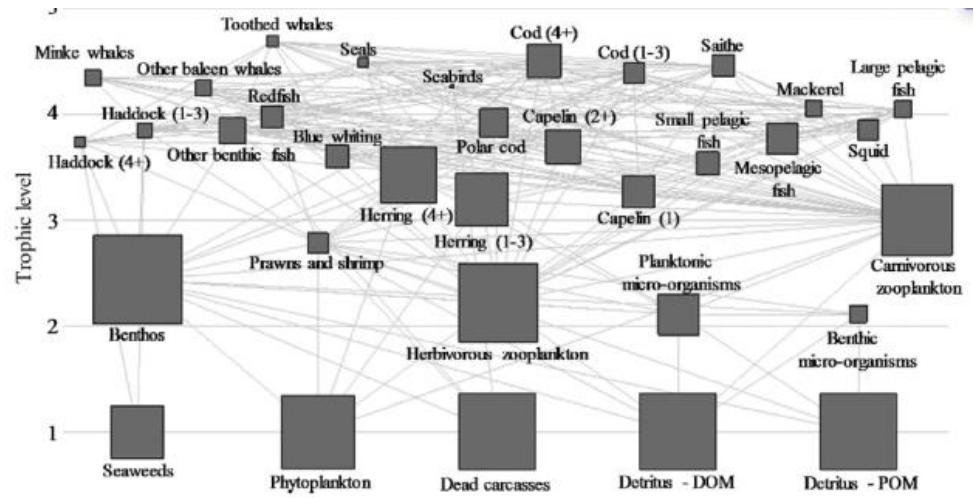


➤ **RCaNmodel : la modélisation trophique dynamique par
approche « chances et nécessités »**

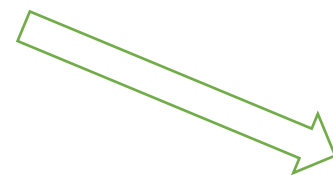
Hilaire Drouineau, Benjamin Planque (merci pour les slides!), Christian Mullon



➤ La modélisation tropho dynamique en halieutique



Comprendre les évolutions passées



Projeter les effets de perturbation

➤ La modélisation tropho dynamique en halieutique



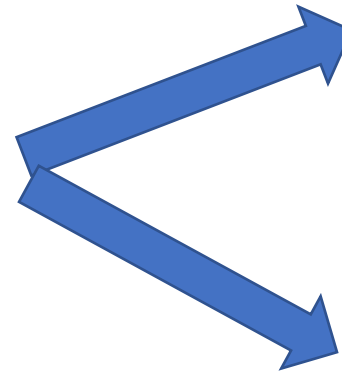
On manque de données de biomasse
On manque (encore plus) d'observations de flux
Et les flux sont hautement indéterministes!



➤ La modélisation tropho dynamique en halieutique



On manque de données de biomasse
 On manque (encore plus) d'observations de flux
 Et les flux sont hautement indéterministes!



Ajouter des hypothèses et calibrer: EwE

Modélisation inverse: explorer l'univers des possibles

➤ Chance and Necessity, qu'est c'est?

FISH and FISHERIES



FISH and FISHERIES, 2009, **10**, 115–131

A minimal model of the variability of marine ecosystems

Christian Mullon¹, Pierre Fréon¹, Philippe Cury¹, Lynne Shannon² & Claude Roy³

¹IRD, UR097, Centre de Recherche Halieutique Méditerranéenne et Tropicale, Avenue Jean Monnet, Sète, 34200, France;

²Marine and Coastal Management, Private Bag X2, Rogge Bay, 8012, Cape Town, South Africa; ³Laboratoire de Physique des Océans, UMR 6523 CNRS-IFREMER-IRD-UBO, BP 70, 29280 Plouzané, France

ICES Journal of Marine Science





ICES Journal of Marine Science (2019), doi:10.1093/icesjms/fsz173

Contribution to the Themed Section: *'Science in support of a nonlinear non-equilibrium world'*

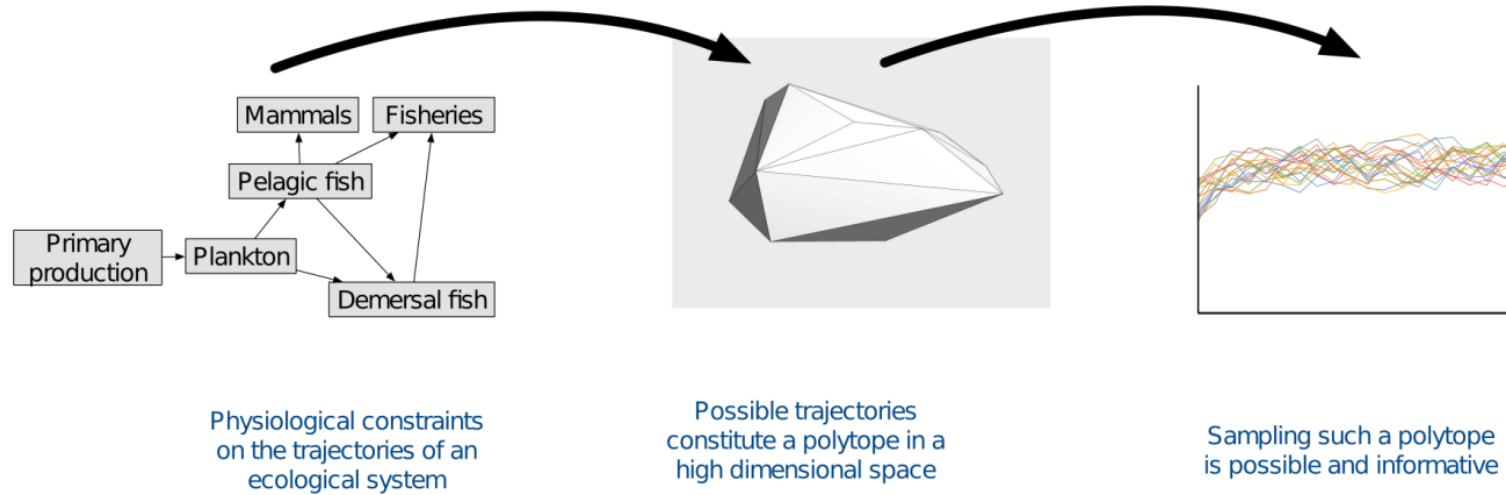
Food for Thought

Modelling chance and necessity in natural systems

Benjamin Planque ^{1*} and Christian Mullon ²

➤ Chance and Necessity, qu'est c'est?

« chance refers to the indeterminacy of ecological processes while necessity reflects the constraints that delineate what is possible from what isn't. » (Drouineau et al. 2021)



“Nature may not be predictable, but it's not completely unpredictable either” (Cury et al., 2005)

➤ Chance and Necessity, qu'est c'est?

« chance refers to the indeterminacy of ecological processes while necessity reflects the constraints that delineate what is possible from what isn't. » (Drouineau et al. 2021)

- EwE

- Le football est un jeu simple. 22 hommes courent après un ballon pendant 90 minutes, et à la fin, les Allemands gagnent toujours. (Lineker 1990)



➤ Chance and Necessity, qu'est c'est?

« chance refers to the indeterminacy of ecological processes while necessity reflects the constraints that delineate what is possible from what isn't. » (Drouineau et al. 2021)

- EwE

- Le football est un jeu simple. 22 hommes courent après un ballon pendant 90 minutes, et à la fin, les Allemands gagnent toujours. (Lineker 1990)



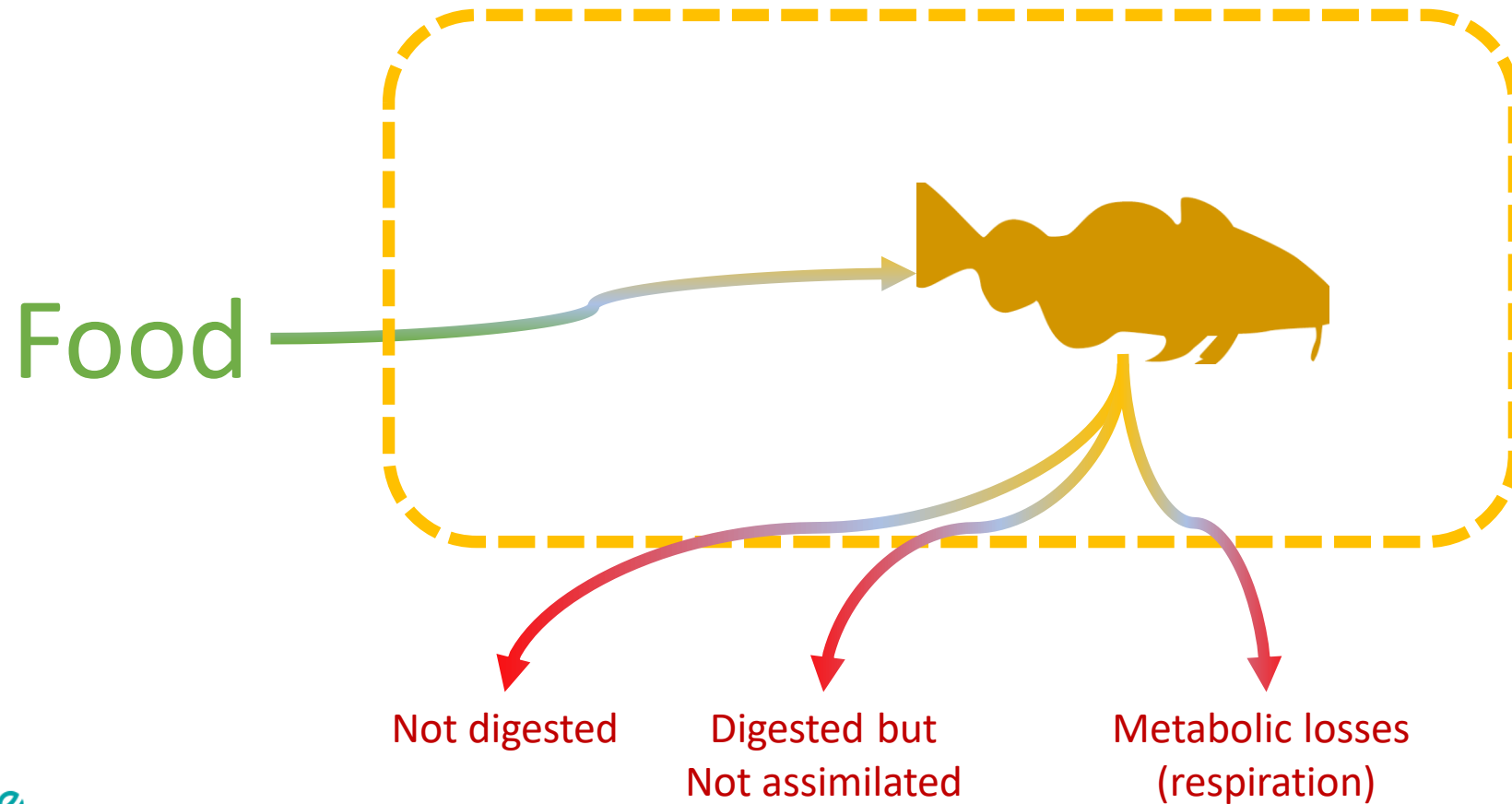
- RCaN:

- Le football est un jeu simple. 22 hommes courent après un ballon pendant 90 minutes, et à la fin ...
- en football : tout est possible (Thuram 1998)



➤ RCaNmodel ~ quand Ecopath rencontre chance et nécessités

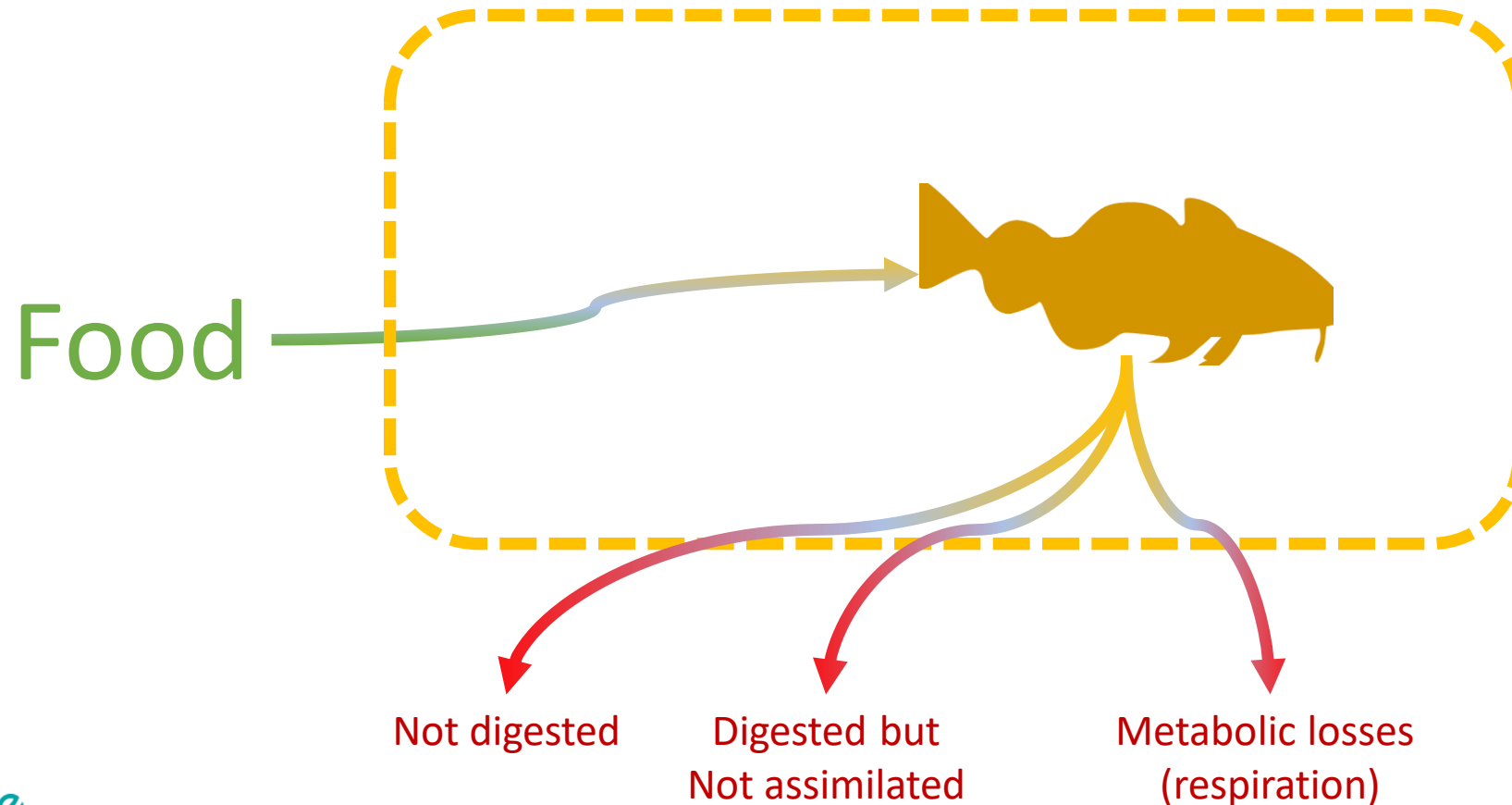
Conservation de la masse, une nécessité



➤ RCaNmodel ~ quand Ecopath rencontre chance et nécessités

Conservation de la masse, une nécessité

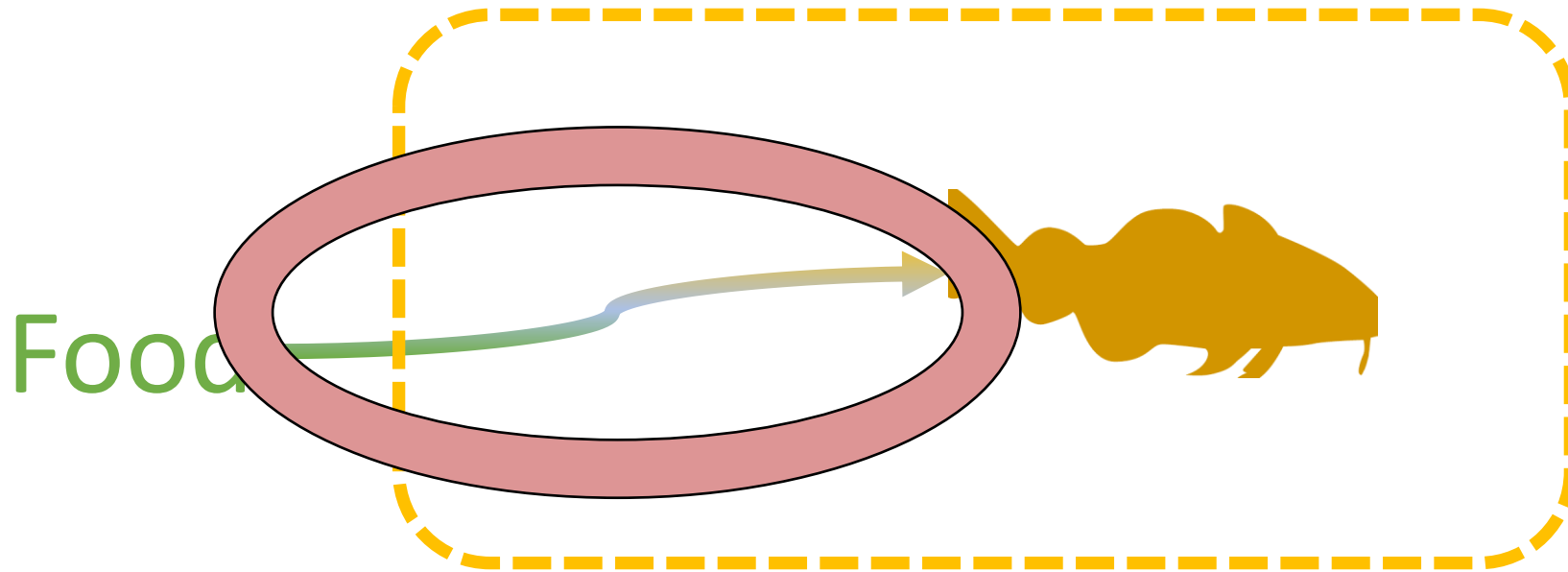
$$B_{i,t+1} - B_{i,t} = \frac{1-e^{-\mu_i}}{\mu_i} \cdot \left(Y_i \sum_{f/e(f)=i} \kappa_{o(f)} \cdot F_{f,t} - \sum_{f/o(f)=i} F_{f,t} - \mu_i \cdot B_{i,t} \right)$$



➤ RCaNmodel ~ quand Ecopath rencontre chance et nécessités

Des contraintes implicites: satiété

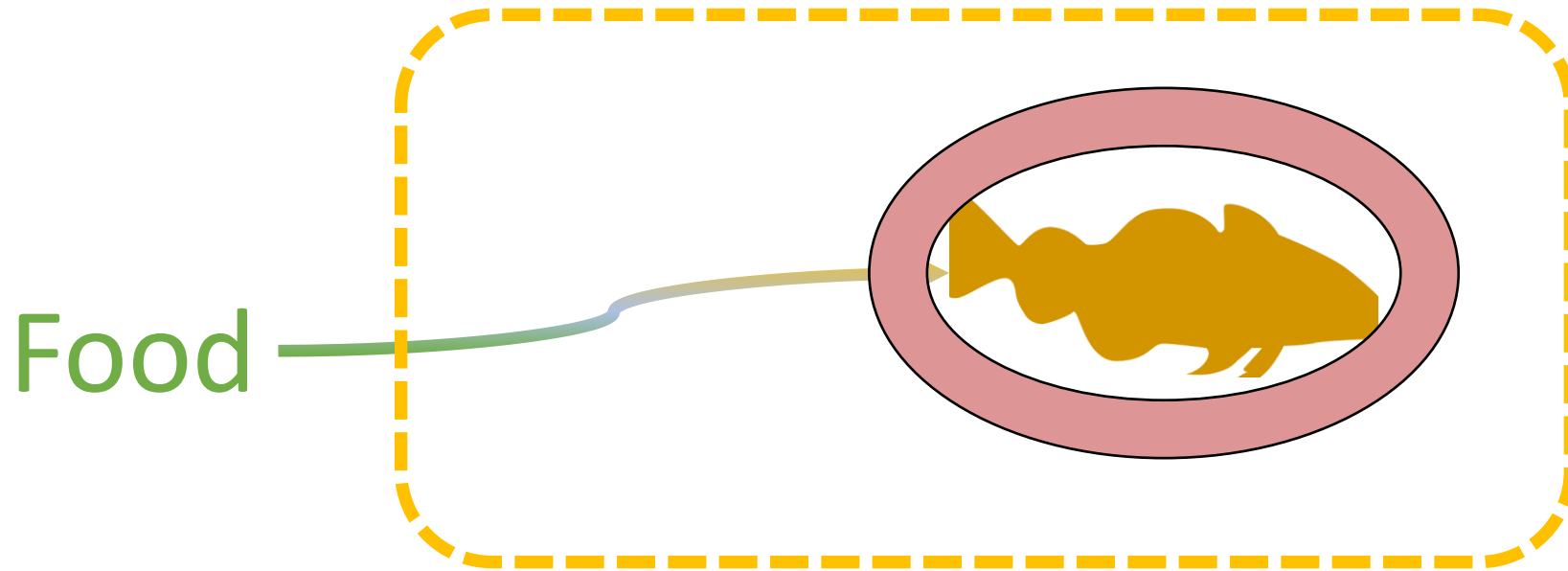
$$\sum_{f/e(f)=i} F_{f,t} \leq \sigma_i \cdot B_{i,t}$$



➤ RCaNmodel ~ quand Ecopath rencontre chance et nécessités

Des contraintes implicites: inertie

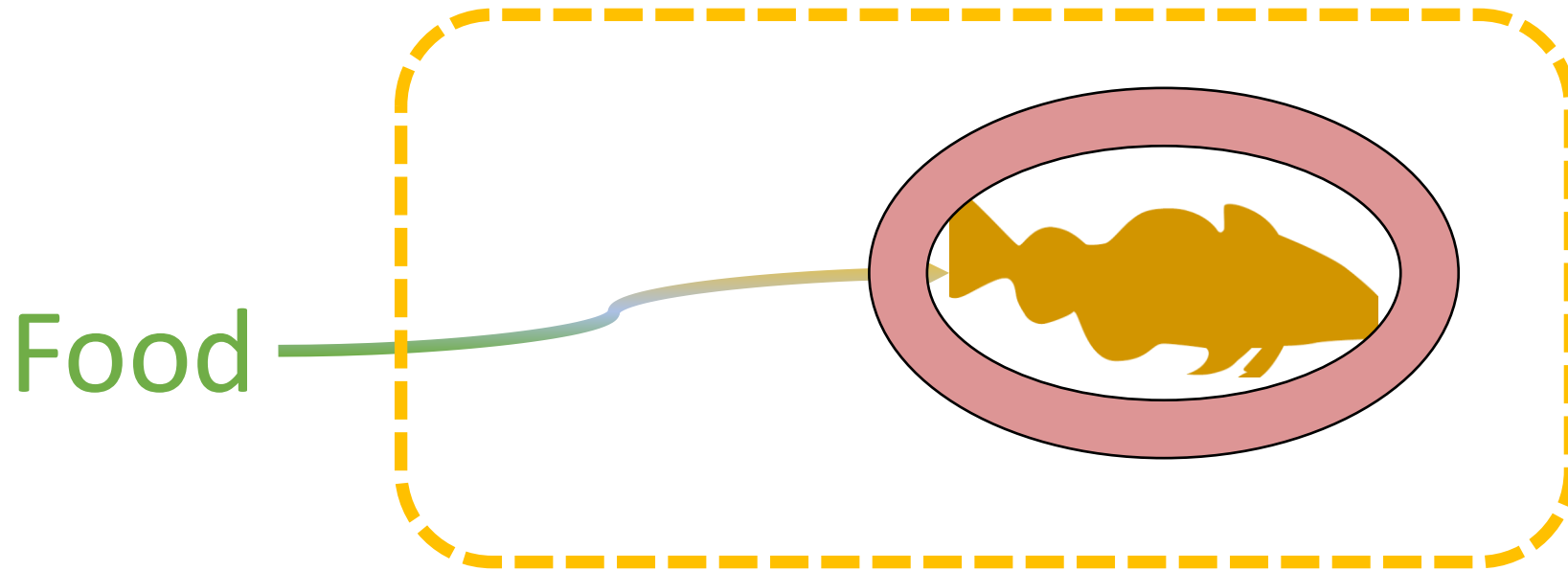
$$B_{i,t} \cdot e^{-\alpha} \leq B_{i,t+1} \leq B_{i,t} \cdot e^{\alpha}$$



➤ RCaNmodel ~ quand Ecopath rencontre chance et nécessités

Des contraintes implicites: biomasse refuge

$$B_{i,t} \geq \text{Refuge}_i$$

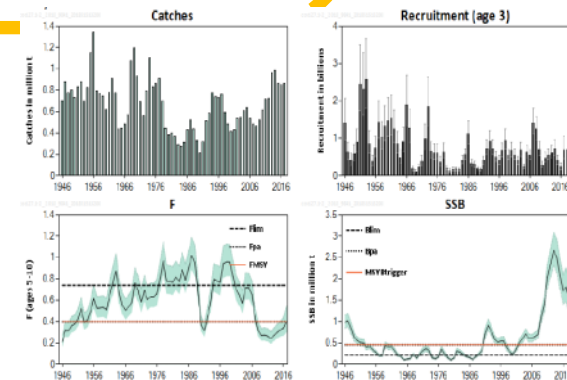
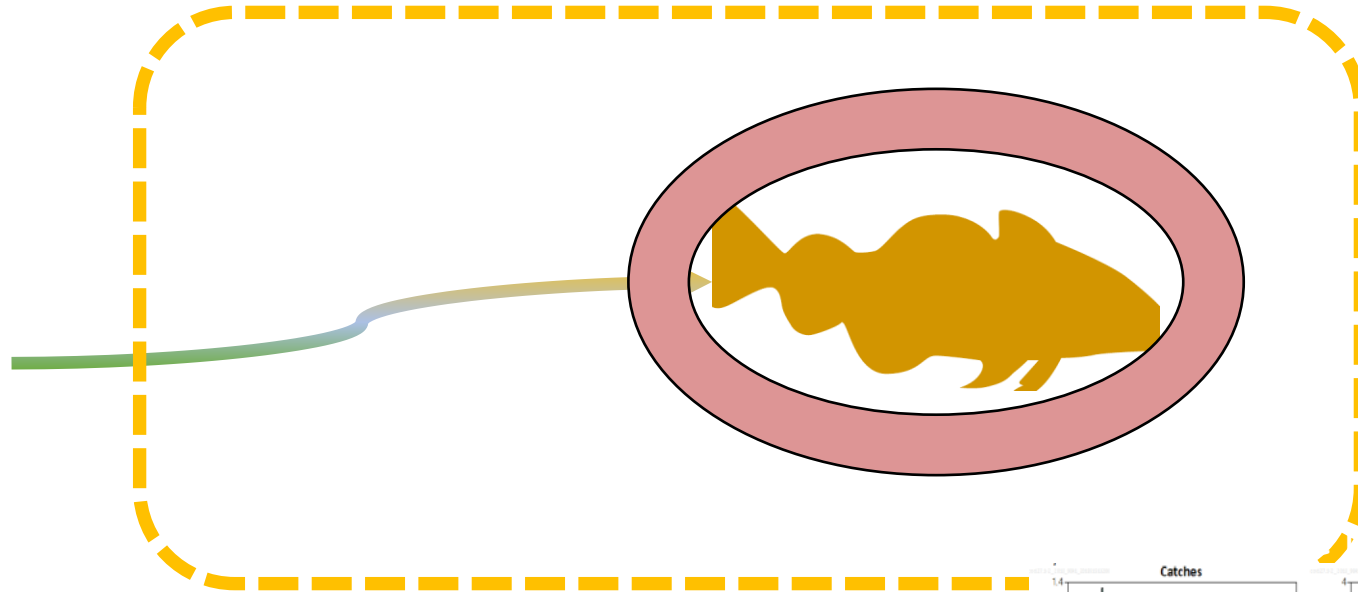


➤ RCaNmodel ~ quand Ecopath rencontre chance et nécessités

Des contraintes explicites: les données

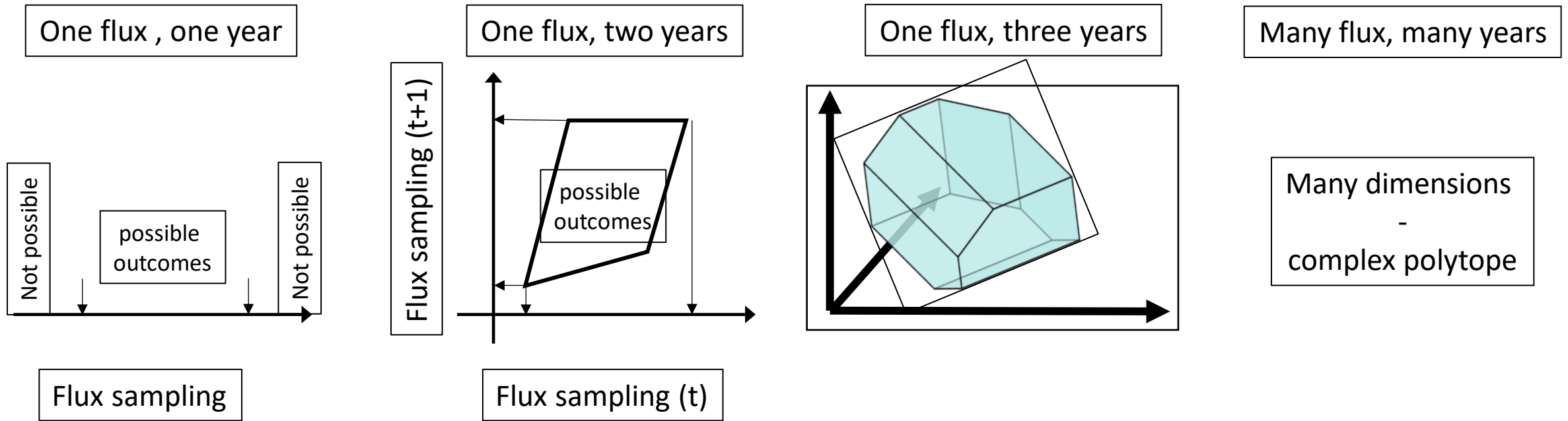
$$1,5 \cdot Bobs_{i,t} \geq B_{i,t} \geq 0,5 \cdot Bobs_{i,t}$$

Food



➤ RCaNmodel ~ quand Ecopath rencontre chance et nécessités

Toutes les contraintes, toutes les années: un polytope des trajectoires possibles



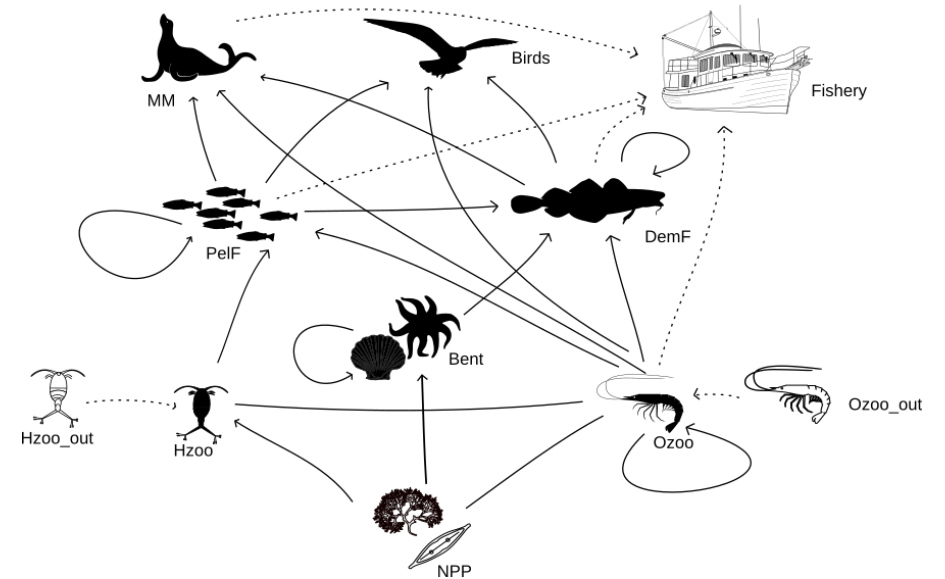
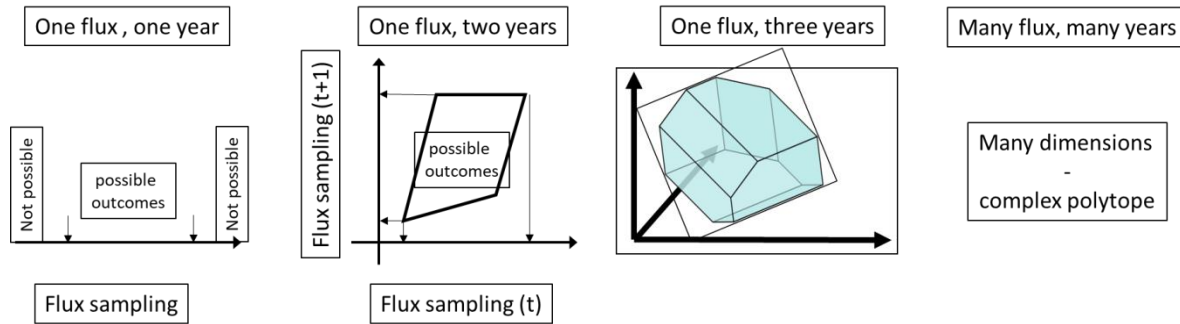
$$\text{Biomasse} = L \text{ Flux} + H$$

$$A \text{ Flux} \leq b$$

$$C \text{ Flux} = v$$

➤ RCaNmodel ~ quand Ecopath rencontre chance et nécessités

Toutes les contraintes, toutes les années: un polytope des trajectoires possibles



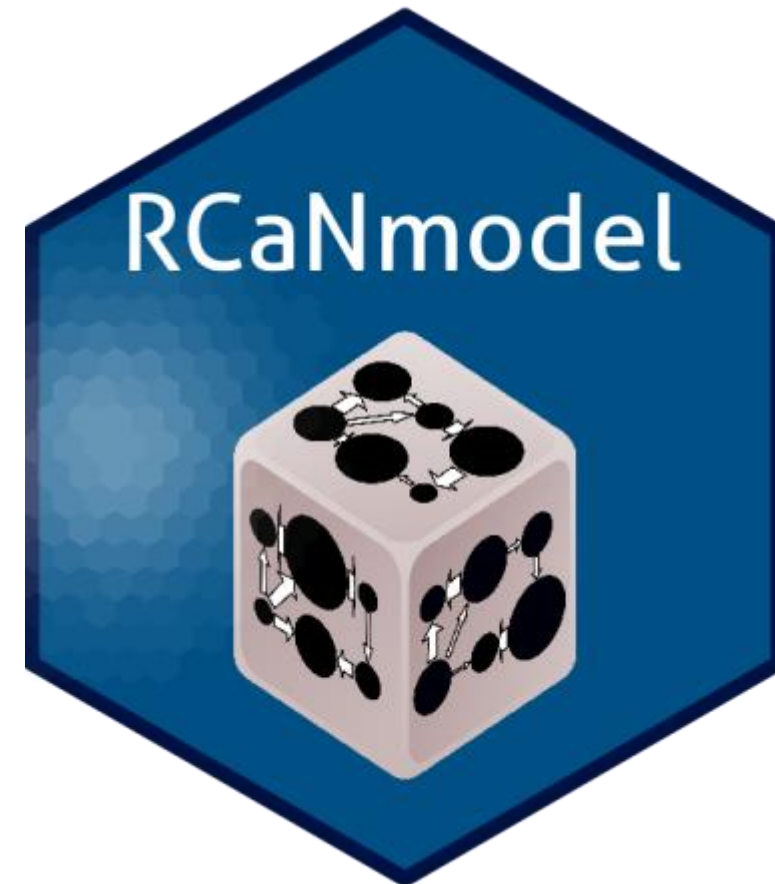
Exemple mer de Barents 1988-2019

A Flux \leq b A 2593 x 775

C Flux = v C 54 x 775

➤ RCaNmodel ~ quels challenges?

- Construit automatiquement le polytope
 - À partir de contraintes implicites
 - Satiété, inertie, refuge
 - Conservation de la masse
 - À partir de contraintes explicites fournies par le modélisateur
 - Lien avec les données
- Aider à vérifier le polytope
- Echantillonner le polytope
- Explorer les résultats (ah bon?)



➤ RCaNmodel ~ Comment construire le polytope?

symengine: calcul symbolique

Name	Inside system	AssimilationE	Digestibility
H zoo_out	<input type="checkbox"/>	0.0	0.0
O zoo_out:	<input type="checkbox"/>	0.0	0.0
NPP	<input type="checkbox"/>	0.0	0.65
H zoo	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	0.9
O zoo	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	0.9
Bent:	<input checked="" type="checkbox"/>	0.94	0.6
PelF	<input checked="" type="checkbox"/>	0.9	0.9
DemF	<input checked="" type="checkbox"/>	0.93	0.85

Name	Trophic link	From	To
NPP_Hzoo	<input checked="" type="checkbox"/>	NPP	H zoo
NPP_Ozoo	<input checked="" type="checkbox"/>	NPP	O zoo
NPP_Bent	<input checked="" type="checkbox"/>	NPP	Bent:
H zoo_Ozoo	<input checked="" type="checkbox"/>	H zoo	O zoo
H zoo_PelF	<input checked="" type="checkbox"/>	H zoo	PelF
O zoo_Birds	<input checked="" type="checkbox"/>	O zoo	Birds
O zoo_DemF	<input checked="" type="checkbox"/>	O zoo	DemF
O zoo_Fishery	<input type="checkbox"/>	O zoo	Fishery

Name	Formula	Active constraint	Years
C01high	$(NPP_Hzoo + NPP_Ozoo + NPP_Bent) \leq PPmax$	<input checked="" type="checkbox"/>	1988:2015
C01low	$(NPP_Hzoo + NPP_Ozoo + NPP_Bent) \geq PPmin$	<input checked="" type="checkbox"/>	1988:2015
C02	$Ozoo_Fishery = OmniZooplankton_Landings$	<input checked="" type="checkbox"/>	1988:2015
C03	$PelF_Fishery = PelagicFish_Landings$	<input checked="" type="checkbox"/>	1988:2015
C03high	$PelF_Fishery \leq PelagicFish_Landings * 1.1$	<input type="checkbox"/>	1988:2015
C03low	$PelF_Fishery \geq PelagicFish_Landings / 1.1$	<input type="checkbox"/>	1988:2015

Name	HerbZooplank...	OmniZooplank...	Benthos_Biom...	PelagicFish_Bi...	DemersalFish_...
1988	16608,00	16864,00	105000,00	576,00	1472,00
1989	27872,00	13616,00	105000,00	1200,00	1376,00
1990	23504,00	7696,00	105000,00	6304,00	1392,00
1991	21776,00	14640,00	105000,00	8304,00	2112,00
1992	26816,00	7008,00	105000,00	7232,00	2976,00
1993	37440,00	13008,00	105000,00	3776,00	3728,00
1994	71408,00	17552,00	105000,00	2368,00	3648,00
1995	57296,00	16784,00	105000,00	1136,00	3440,00
1996	38752,00	19536,00	105000,00	1184,00	3584,00
1997	45024,00	16192,00	105000,00	1584,00	3360,00

➤ RCaNmodel ~ Comment construire le polytope.

symengine: calcul symbolique

Name	Inside system	AssimilationE	Digestibility
H zoo_out	<input type="checkbox"/>	0.0	0.0
O zoo_out:	<input type="checkbox"/>	0.0	0.0
NPP	<input type="checkbox"/>	0.0	0.65
H zoo	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	0.9
O zoo	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	0.9
Bent:	<input checked="" type="checkbox"/>	0.94	0.6
PelF	<input checked="" type="checkbox"/>	0.9	0.9
DemF	<input checked="" type="checkbox"/>	0.93	0.85

Name	Trophic link	From	To
NPP_Hzoo	<input checked="" type="checkbox"/>	NPP	H zoo
NPP_Ozoo	<input checked="" type="checkbox"/>	NPP	O zoo
NPP_Bent	<input checked="" type="checkbox"/>	NPP	Bent:
H zoo_Ozoo	<input checked="" type="checkbox"/>	H zoo	O zoo
H zoo_PelF	<input checked="" type="checkbox"/>	H zoo	PelF
O zoo_Birds	<input checked="" type="checkbox"/>	O zoo	Birds
O zoo_DemF	<input checked="" type="checkbox"/>	O zoo	DemF
O zoo_Fishery	<input type="checkbox"/>	O zoo	Fishery

Name	Formula	Active constraint	Years
C01high	$(NPP_Hzoo + NPP_Ozoo + NPP_Bent) \leq PPmax$	<input checked="" type="checkbox"/>	1988:2015
C01low	$(NPP_Hzoo + NPP_Ozoo + NPP_Bent) \geq PPmin$	<input checked="" type="checkbox"/>	1988:2015
C02	$Ozoo_Fishery = OmniZooplankton_Landings$	<input checked="" type="checkbox"/>	1988:2015
C03	$PelF_Fishery = PelagicFish_Landings$	<input checked="" type="checkbox"/>	1988:2015
C03high	$PelF_Fishery \leq PelagicFish_Landings * 1.1$	<input type="checkbox"/>	1988:2015
C03low	$PelF_Fishery \geq PelagicFish_Landings / 1.1$	<input type="checkbox"/>	1988:2015

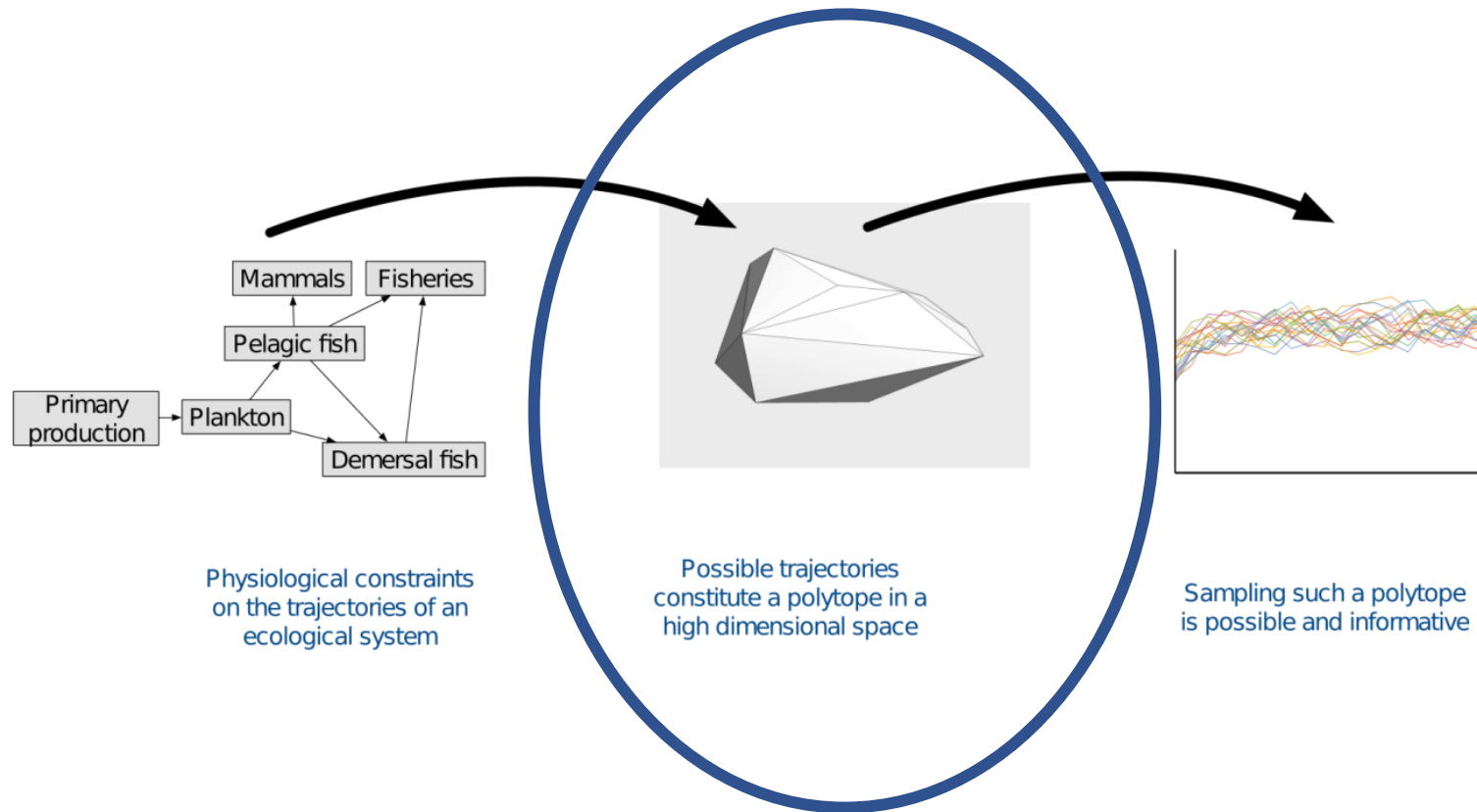
Name	HerbZocplank...	OmniZooplank...	Benthos_Biom...	PelagicFish_Bi...	DemersalFish_...
1988	16608,00	16864,00	105000,00	576,00	1472,00
1989	27872,00	13616,00	105000,00	1200,00	1376,00
1990	23504,00	7696,00	105000,00	6304,00	1392,00
1991	21776,00	14640,00	105000,00	8304,00	2112,00
1992	26816,00	7008,00	105000,00	7232,00	2976,00
1993	37440,00	13008,00	105000,00	3776,00	3728,00
1994	71408,00	17552,00	105000,00	2368,00	3648,00
1995	57296,00	16784,00	105000,00	1136,00	3440,00
1996	38752,00	19536,00	105000,00	1184,00	3584,00
1997	45024,00	16192,00	105000,00	1584,00	3360,00

Construction du modèle: 1minute et 10sec

Permet de construire des modèles avec des dynamiques différentes

➤ RCaNmodel ~ Comment vérifier le polytope?

Lpsolve: programmation linéaire



Comment trouver ce qui pose problème avec des matrices de milliers de lignes...

➤ RCaNmodel ~ Comment vérifier le polytope?

Lpsolve: programmation linéaire

Example:

```
min: x + y;  
c1: x >= 6;  
c2: y >= 6;  
c3: x + y <= 11;
```

This model is clearly infeasible. Now introduce extra variables to locate the infeasibility:

```
min: x + y + 1000 e1 + 1000 e2 + 1000 e3;  
c1: x + e1 >= 6;  
c2: y + e2 >= 6;  
c3: x + y - e3 <= 11;
```

- Première passe: détecte le jeu minimal de contraintes X qu'il faut retirer
- Deuxième passe: pour chaque contrainte de X, on retire l'extravariante correspondante pour voir les contraintes incompatibles

➤ RCaNmodel ~ Comment échantillonner le polytope?

Échantillonnage uniforme de polytope convexe

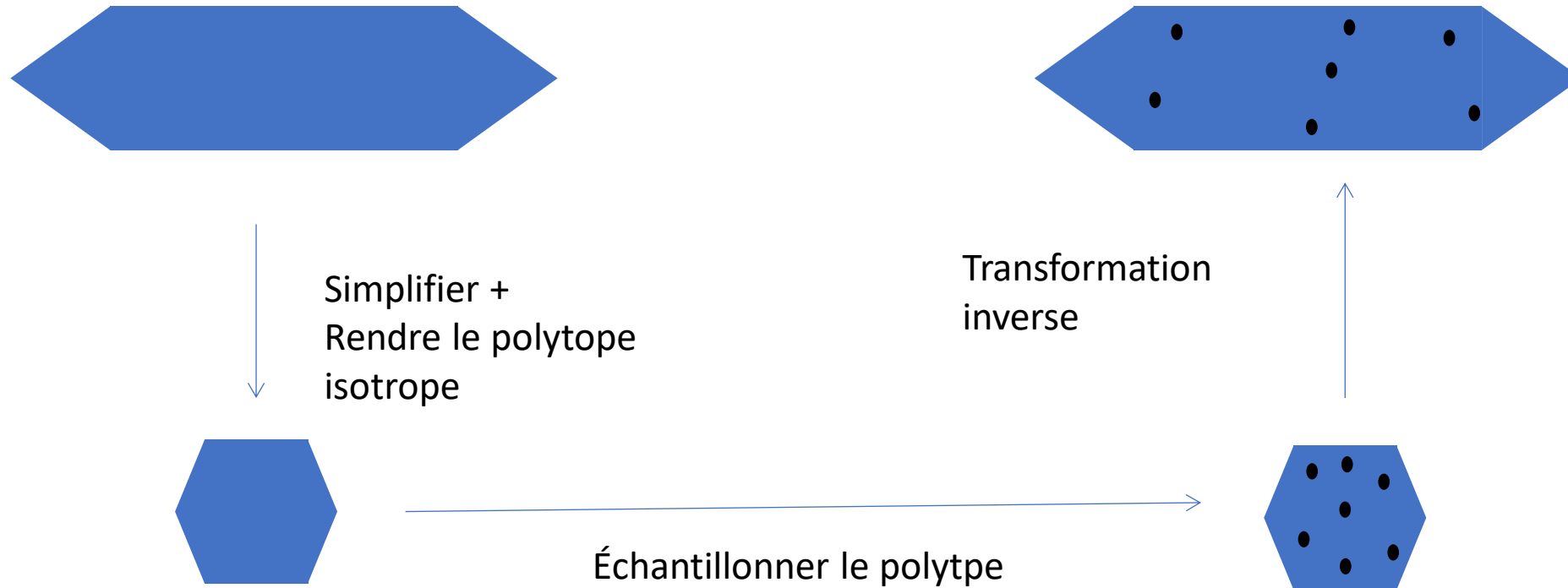


Échantillonner le polytope



➤ RCaNmodel ~ Comment échantillonner le polytope?

Échantillonnage uniforme de polytope convexe



➤ RCaN ~ Comment échantillonner le polytope?

Échantillonnage uniforme de polytope convexe

- **Algorithme du miroir:**

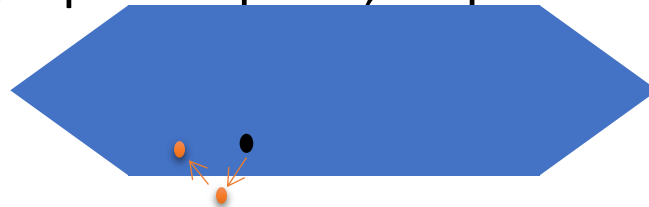
- **Principe:**

- On prend un point
- On tire un nouveau point centré autour du point dans une normale
- Si le point est dans le polytope: proposé à Metropolis
- Sinon, on fait une réflexion sur la face qu'on a franchi

- **Algo de base de la fonction x_{sample} (limSolve – Van den Meersche et al. 2009)**

- **Avantage: Construire une nouvelle proposition va vite**

- **Inconvénient: si polytope complexe, on passe son temps à faire des réflexions**



➤ RCaNmodel ~ Comment échantillonner le polytope?

Échantillonnage uniforme de polytope convexe

- **Dikin Walk, Vaidya walk, John walk** (Chen et al. 2018)
 - Principe:
 - On prend un point
 - On définit autour une ellipse L'ellipse à partir de l'hessienne de « log-barrier function »
 - On tire un nouveau point centré autour du point dans une ellipse
 - Déjà implémenté en R
 - Avantage:
 - Les points sont toujours quasi acceptés
 - La forme s'adapte à la « topologie » locale
 - Inconvénient:
 - Calculer une hessienne... en grande dimension
 - Résoudre une problème de programmation linéaire à chaque itération



➤ RCaNmodel ~ Comment échantillonner le polytope?

Échantillonnage uniforme de polytope convexe

- Hit-and-run

- Principe:

- On prend un point
 - On tire une direction au hasard
 - On tire une valeur uniforme entre les bornes dans cette direction

- Le plus fréquemment utilisé

- Avantage: Les itérations vont vite

- Inconvénient: Dur de sortir quand on est dans un angle



➤ RCaNmodel ~ Comment échantillonner le polytope?

Échantillonnage uniforme de polytope convexe

- Coordinate Hit and Run – Gibbs sampling

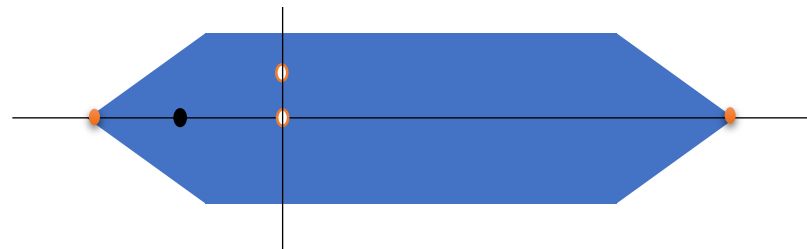
- Principe:

- On prend un point
 - Pour chaque axe, on tire une valeur entre les bornes sur cet axe
 - On a ainsi un nouveau point

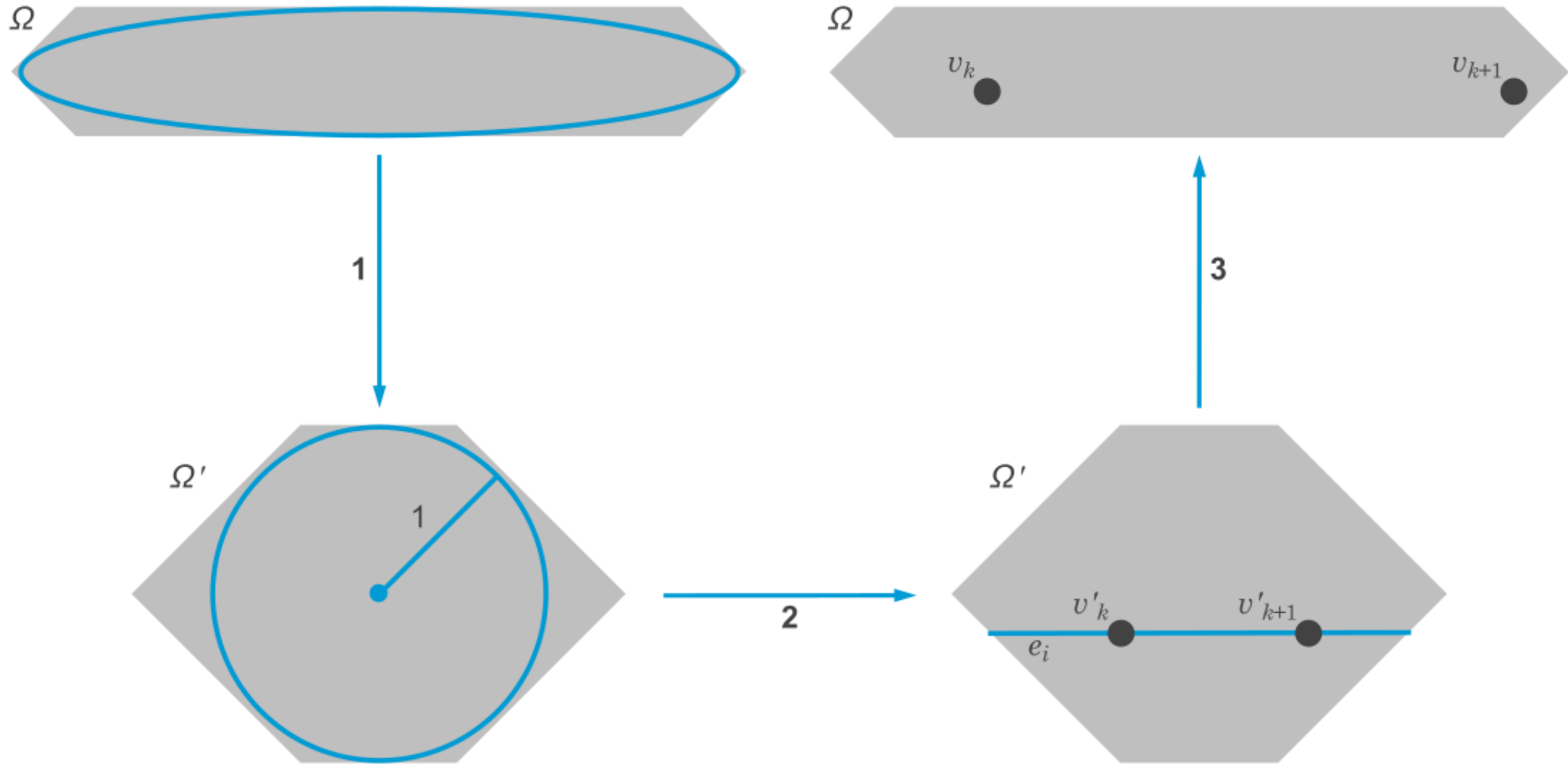
- Algorithme plus récent

- Avantage: A chaque itération, on bouge dans plusieurs directions orthogonales, donc on reste moins piégé

- Inconvénient: Chaque itération prend plus de temps



➤ RCaModel ~ Comment échantillonner le polytope?



➤ RCaNmodel ~ Comment échantillonner le polytope?

Simplifier, rendre isotrope

- Simplifier

- Scaling
- Redondance des contraintes etc...

- Rendre isotrope

- CHRR (Harldsodottir et al. 2017) Approximer le polytope par une ellipse (la plus grosse ou la plus petite)
 - Il existe une transformation bijective qui transforme une ellipsoïde en une hyperboule de volume 1
 - On applique cette transformation au polytope
 - Jamais réussi à le faire converger... le calcul des ellipses devient trop long et instable en très grandes dimensions

➤ RCaNmodel ~ Comment échantillonner le polytope?

Simplifier, rendre isotrope

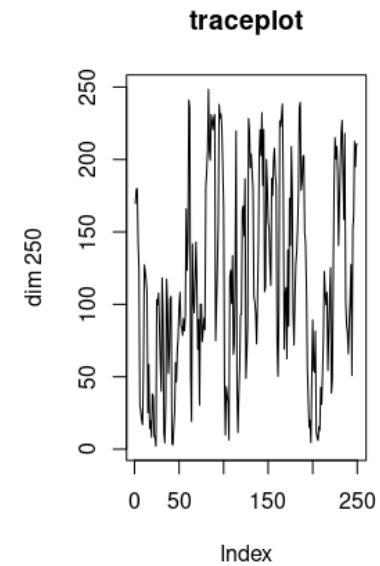
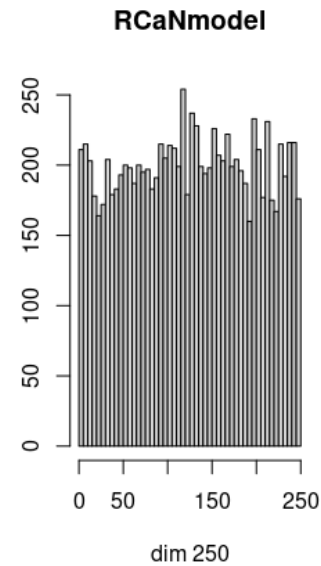
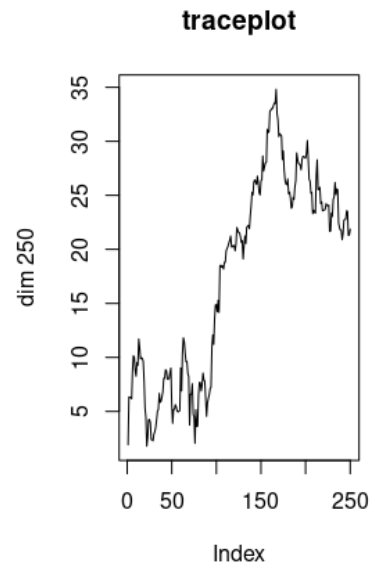
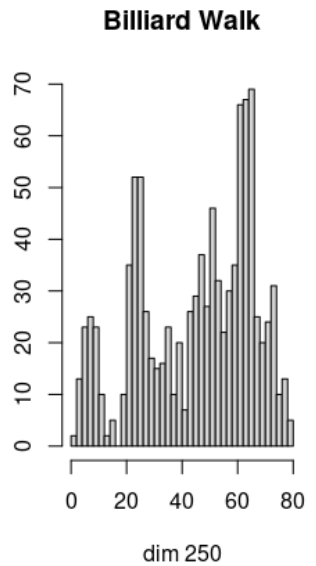
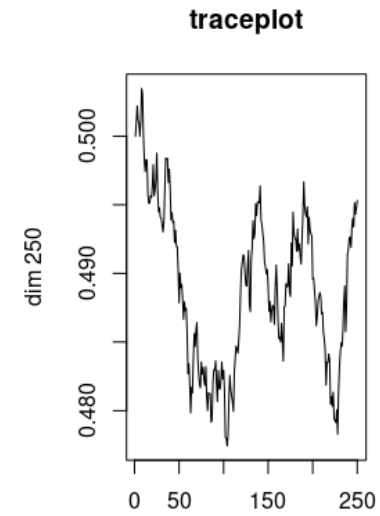
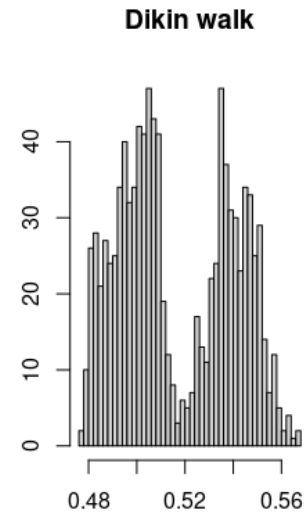
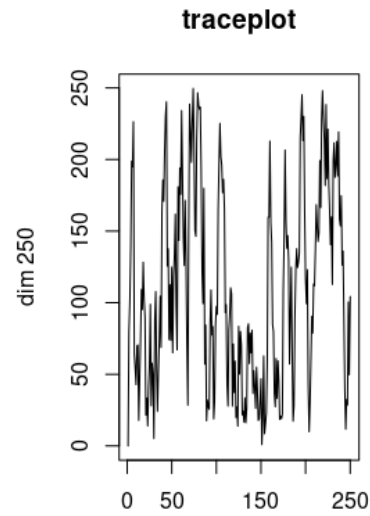
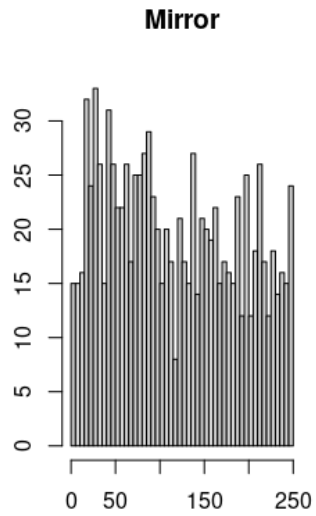
- Simplifier

- Scaling
- Redondance des contraintes etc...

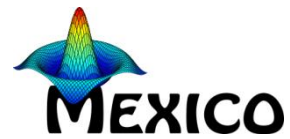
- Rendre isotrope

- Matrice de variance-covariance
 - On génère des échantillons (BEAUCOUP) dans le polytope initial
 - On calcule la matrice de variance-covariance Σ des échantillons
 - On fait une décomposition de Choleski de $\Sigma \Rightarrow$ matrice T
 - On échantillonne dans $W = A \cdot T$ (équivalent d'une transfo centrée réduite en multidimensionnel)...
 - On retransforme les points échantillonnés par transformation inverse
- Avantage: marche toujours, couplable avec n'importe quel algo d'échantillonnage
- Dans RCaNmodel: codé en C++ avec eigen

➤ RCaNmodel ~ Comment échantillonner le polytope?

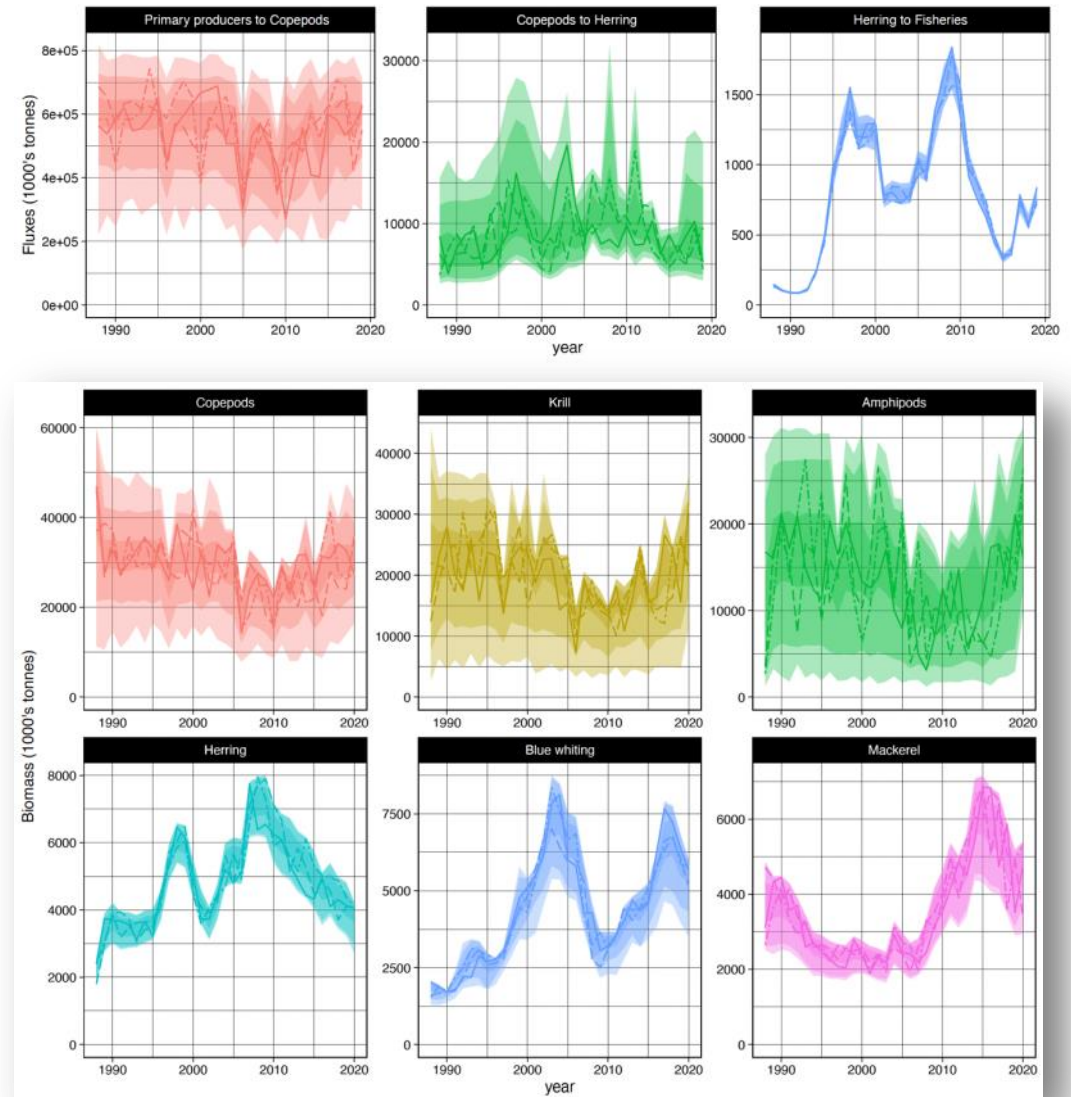


➤ RCaNmodel ~ En continuelle amélioration: explorer les sorties



Sorties en grandes dimensions

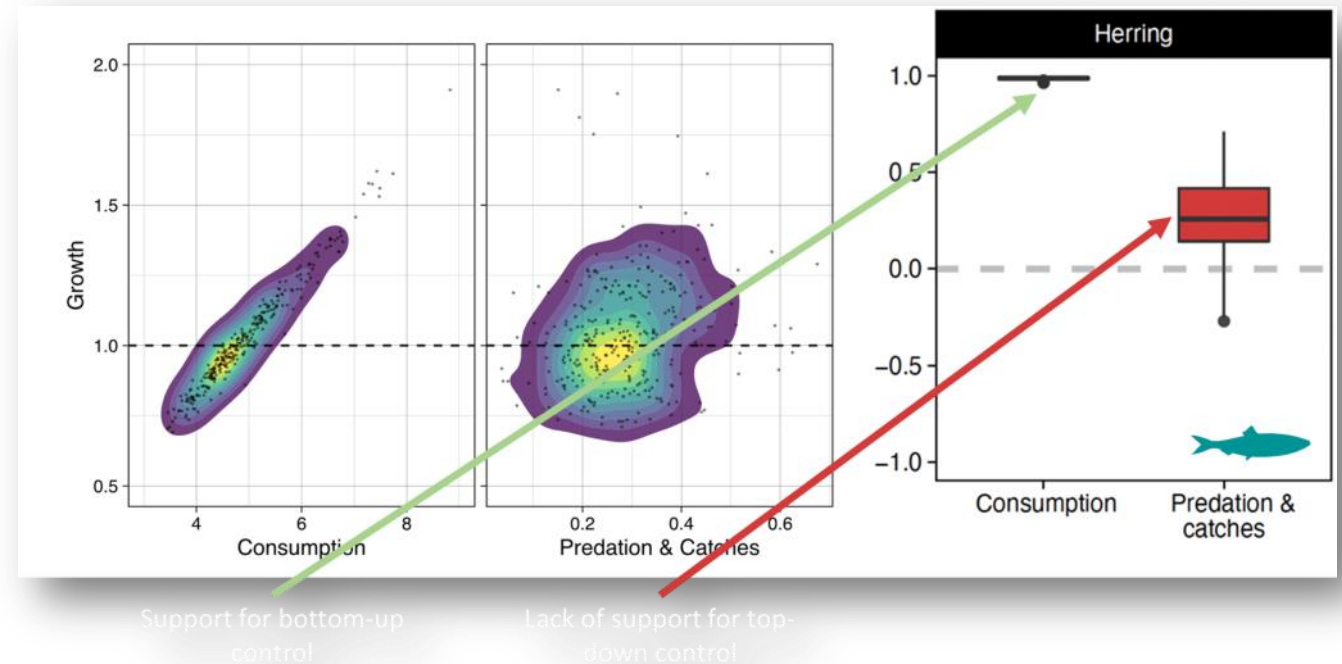
- Trajectoires



➤ RCaNmodel ~ En continuelle amélioration: explorer les sorties

Sorties en grandes dimensions

- Trajectoires
- Corrélations entre variables



➤ RCaNmodel ~ En continuelle amélioration: explorer les sorties

Sorties en grandes dimensions

- Trajectoires
- Corrélations entre variables
- Indices de Shapley?

