

Modélisation statistique pour la gestion du saumon atlantique

Etienne Prévost

(UMR INRA-UPPA ECOBIOP, St Pée s/ Nivelle)

J.-L. Baglinière (UMR INRA-Agrocampus ESE, Rennes)

E. Rivot (UMR INRA-Agrocampus ESE, Rennes)

E. Parent (UMR INRA-AgroParistech MIA, Paris)



UMR Ecobiop - St Pée s/ Nivelle - France



Pourquoi modéliser?

- **Synthétiser des connaissances**
 - Résumer les éléments essentiels
 - Mettre en cohérence les éléments
- **Rendre compte des incertitudes**
 - Stochasticité des processus (incertitude par essence)
 - Erreurs de mesures (incertitude par ignorance)
- **Faire des inférences à partir de données observées**
 - *Sur la nature des processus (choix de modèle)*
 - *Sur certaines grandeurs clés (estimation)*
- **Faire des simulations prédictives**
 - *Comportement du système*
 - *Explorer des hypothèses et faire expériences virtuelles*



Aide à la décision pour la gestion d'une ressource naturelle renouvelable

Objectifs : Comparer les performances d' options de gestion alternatives

Dans une approche de precaution → crucial de prendre en compte :

- i) Les connaissances sur la dynamique de la ressource et sa gestion
- ii) Les incertitudes = limites de ces connaissances



Le cycle biologique du saumon atlantique (d'après Mills 1971)

Les juvéniles (smolts)
migrent vers la mer en avril

Les
juvéniles
(tacons)
passent 1
ou 2 ans
en eau
douce



La phase
de vie en
mer dure
de 14 à
24 mois
(voire 36)

Les alevins
émergent au début
du printemps

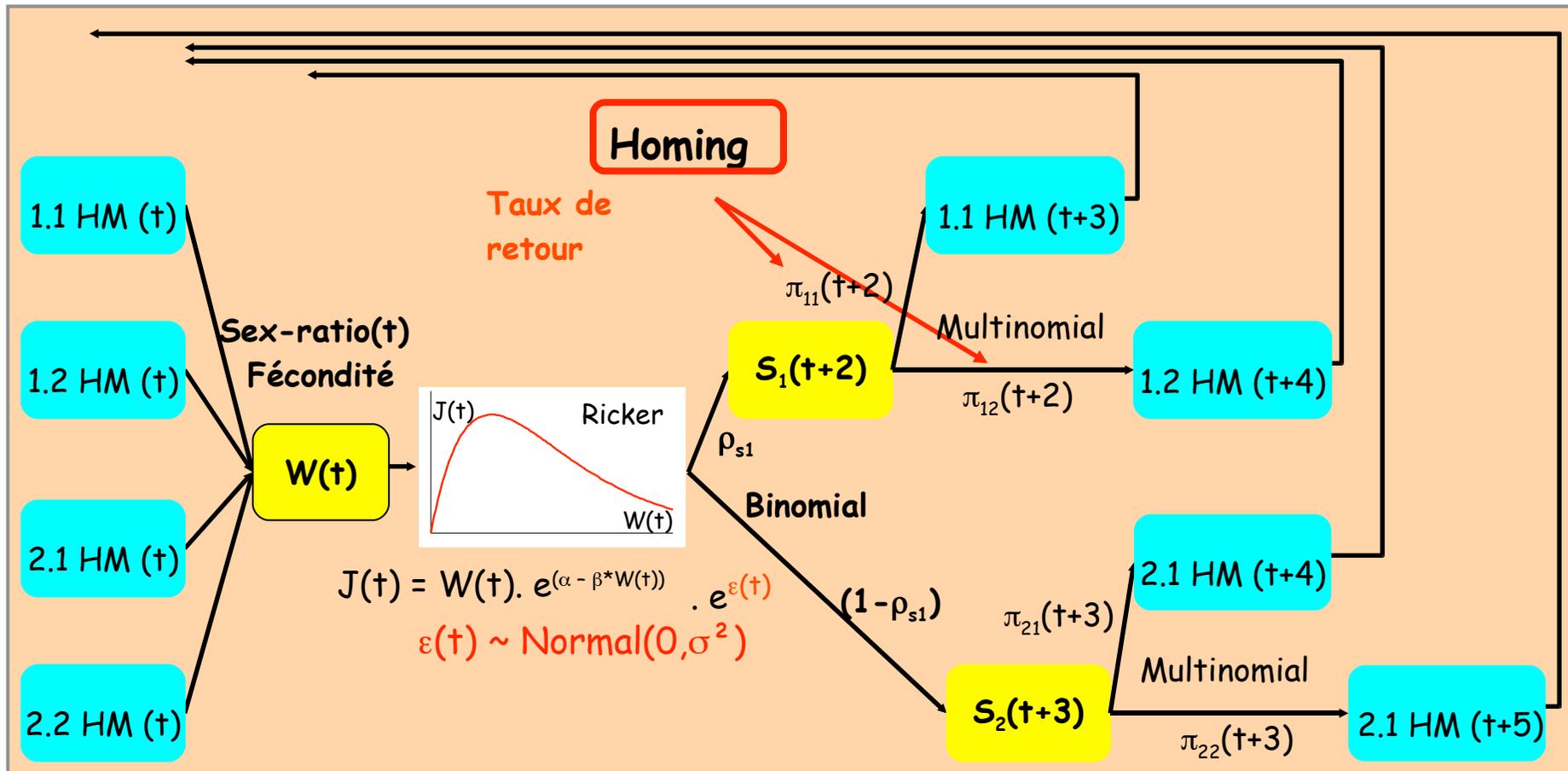
L'essentiel des
adultes meurent
après leur
première
reproduction

La reproduction
a lieu au mois
de décembre et
les œufs sont
enfouis dans
des graviers

Les adultes
reviennent dans
leur rivière
d'origine et
cessent de
s'alimenter quand
ils arrivent en eau
douce

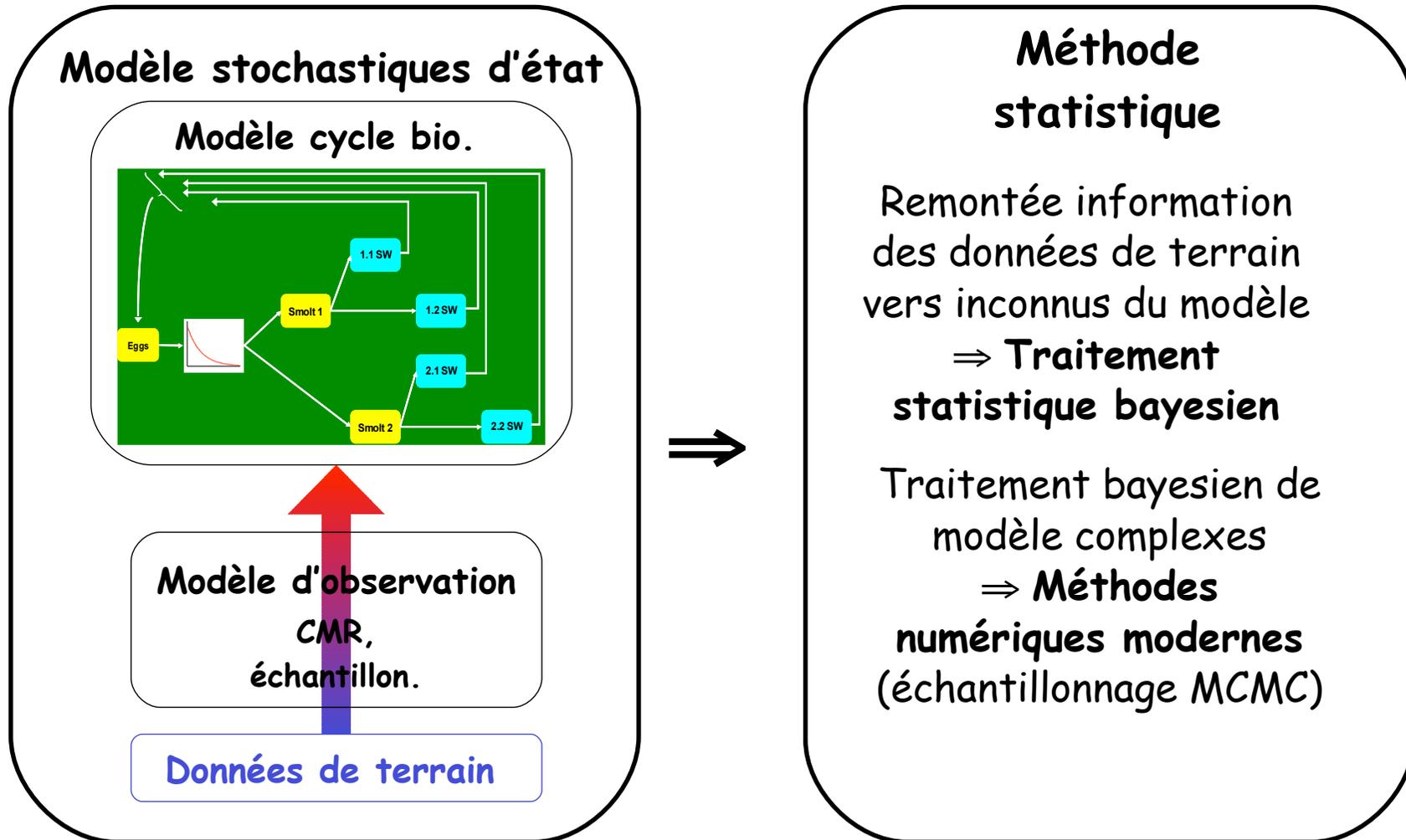


Modèle de cycle biologique du saumon atlantique

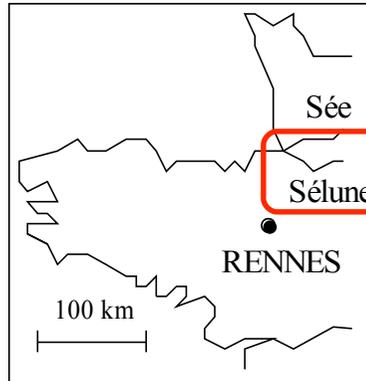


- Effectifs par stade = états du système dynamique et les états à l'instant t dépendent des états antérieures => **Modèle dynamique Markovien**
- Le modèle dynamique intègre **stochasticités démographique et environnementale** et **rétro-contrôle par la densité**

Estimer un modèle de dynamique de population à partir de données d'observation locales



Cas d'application : la population de saumon de l'Oir



Baie Mt St Michel



Sélune

Oir

Adultes

Smolts

t = 1984, ..., 2001

CMR : Nbre de migrants

Échantillonnage :

Structure âge

Sexe-ratio des adultes

1 km

— Barrage

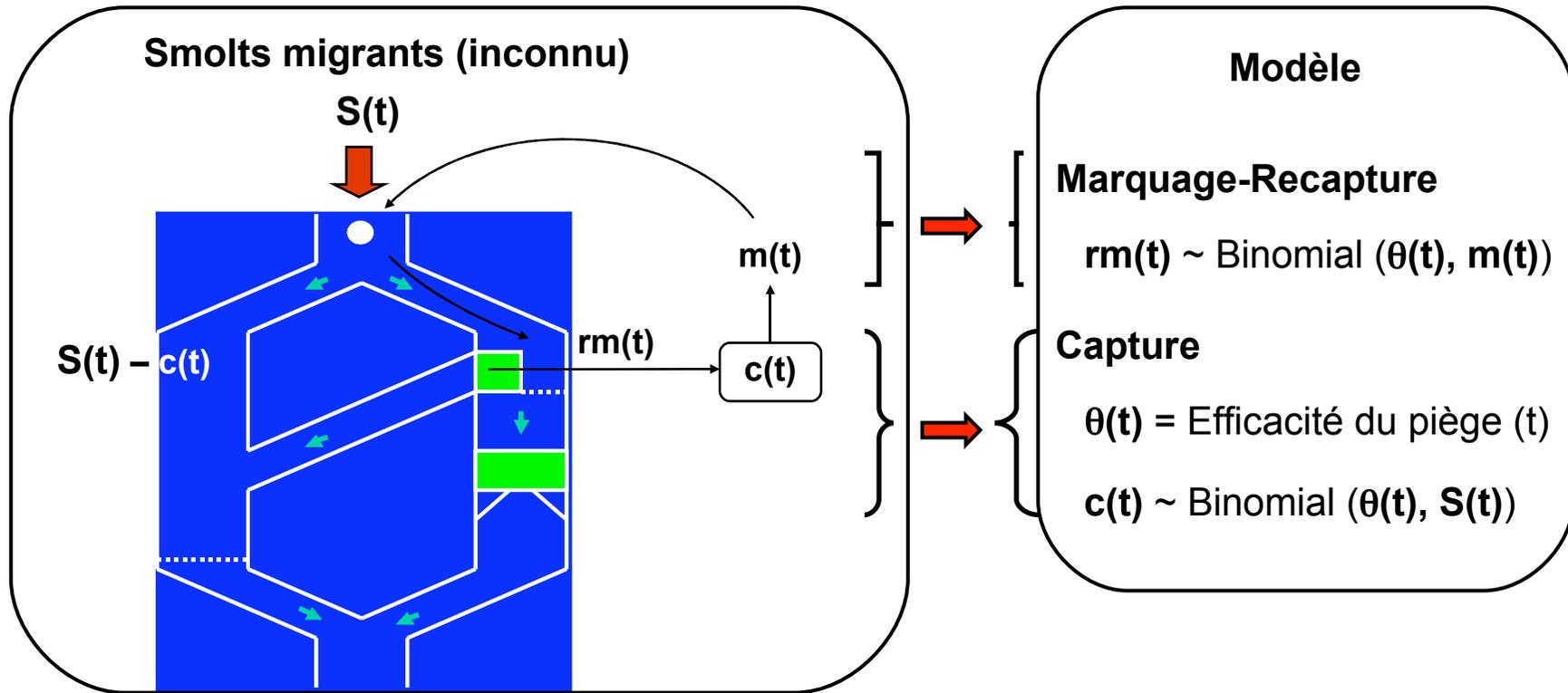
— Installation piégeage



UMR Ecobiop - St Pée s/ Nivelle - France



Modèle d'observation des effectifs de smolts



Données de terrain :
 $c(t), m(t), r(t)$

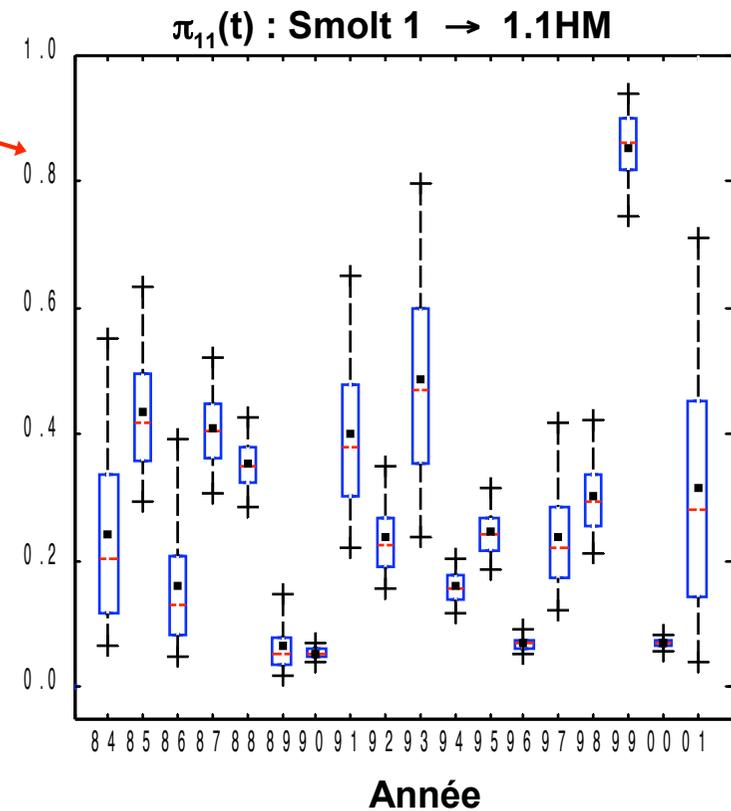
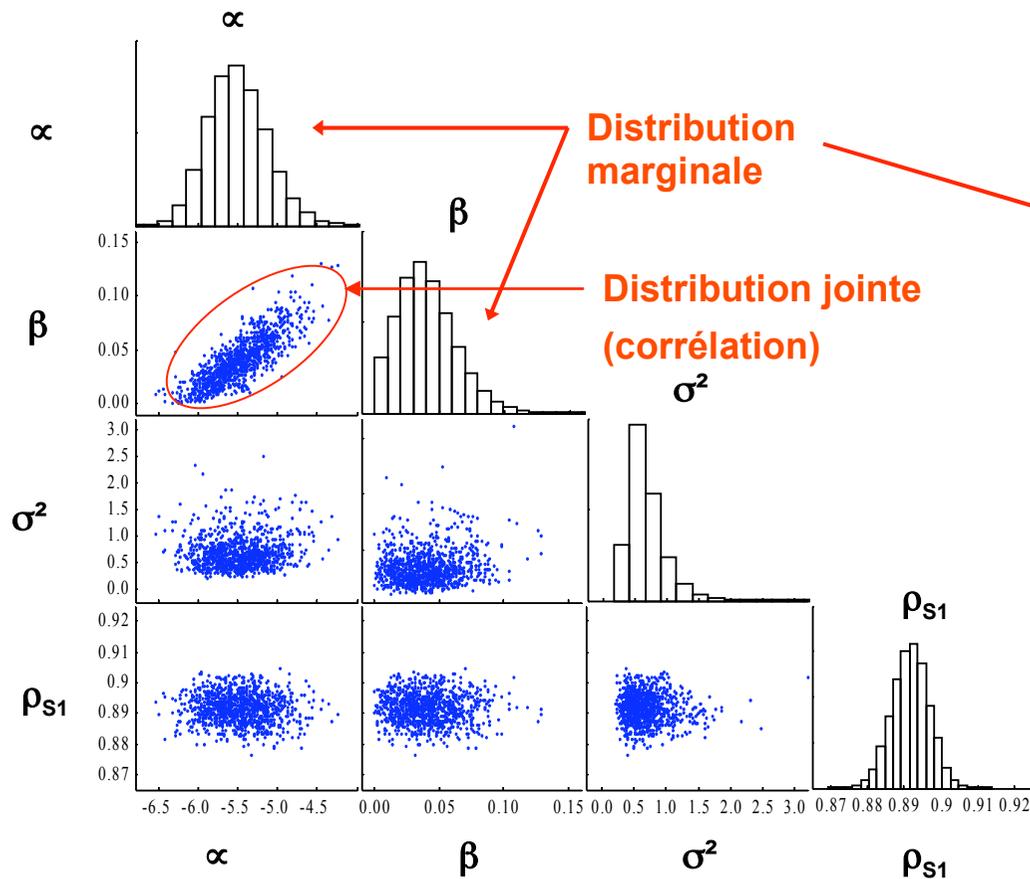
← **Modèle** →
d'observation

Inconnus : état latent $S(t)$,
paramètre $\theta(t)$

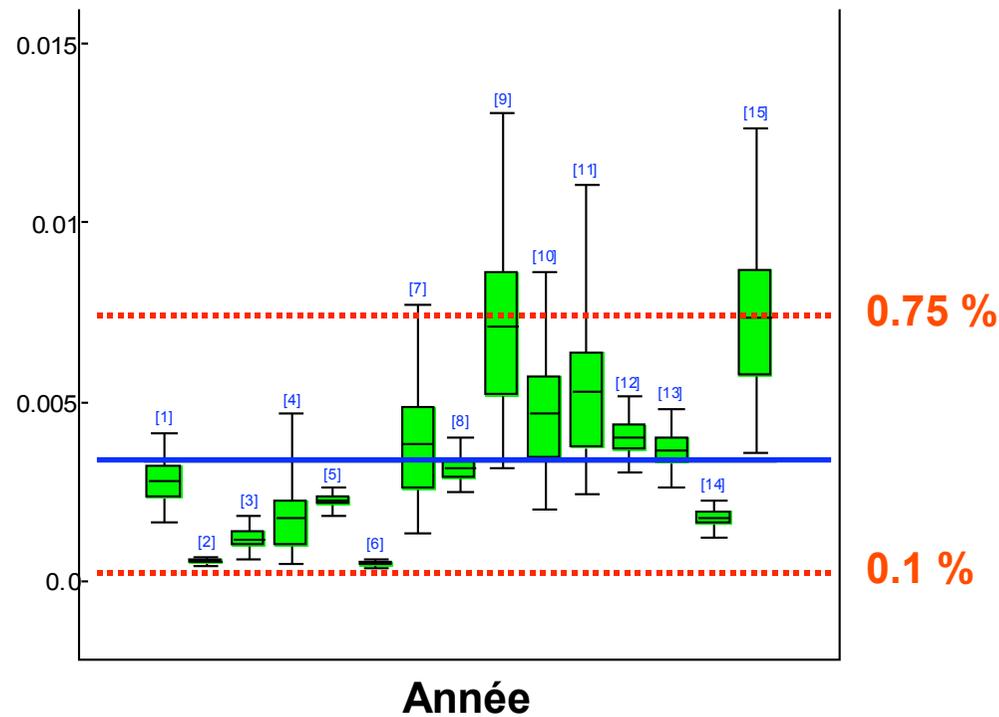
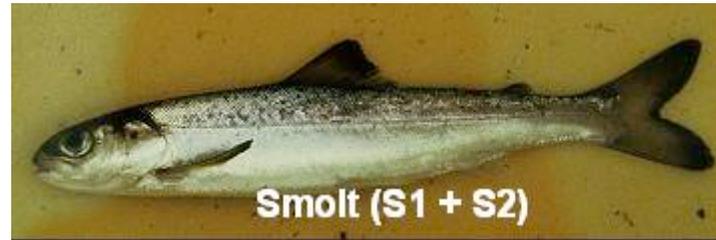
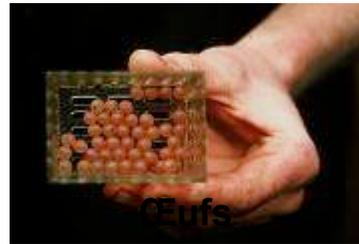
Distribution a posteriori des paramètres du modèle

Phase eau douce

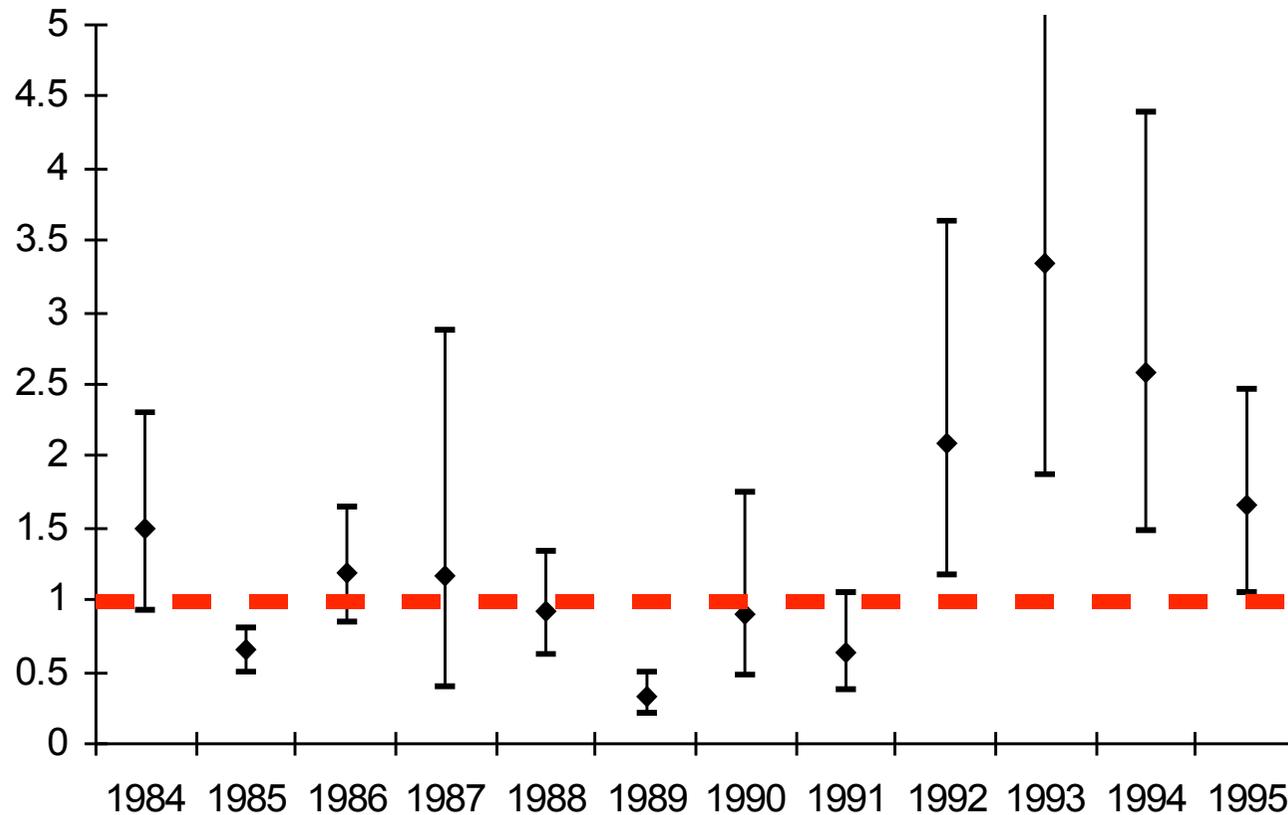
Phase marine



Distribution a posteriori de grandeurs déduites des états latents



Distribution a posteriori du taux de remplacement œufs pondus / œufs recrutés

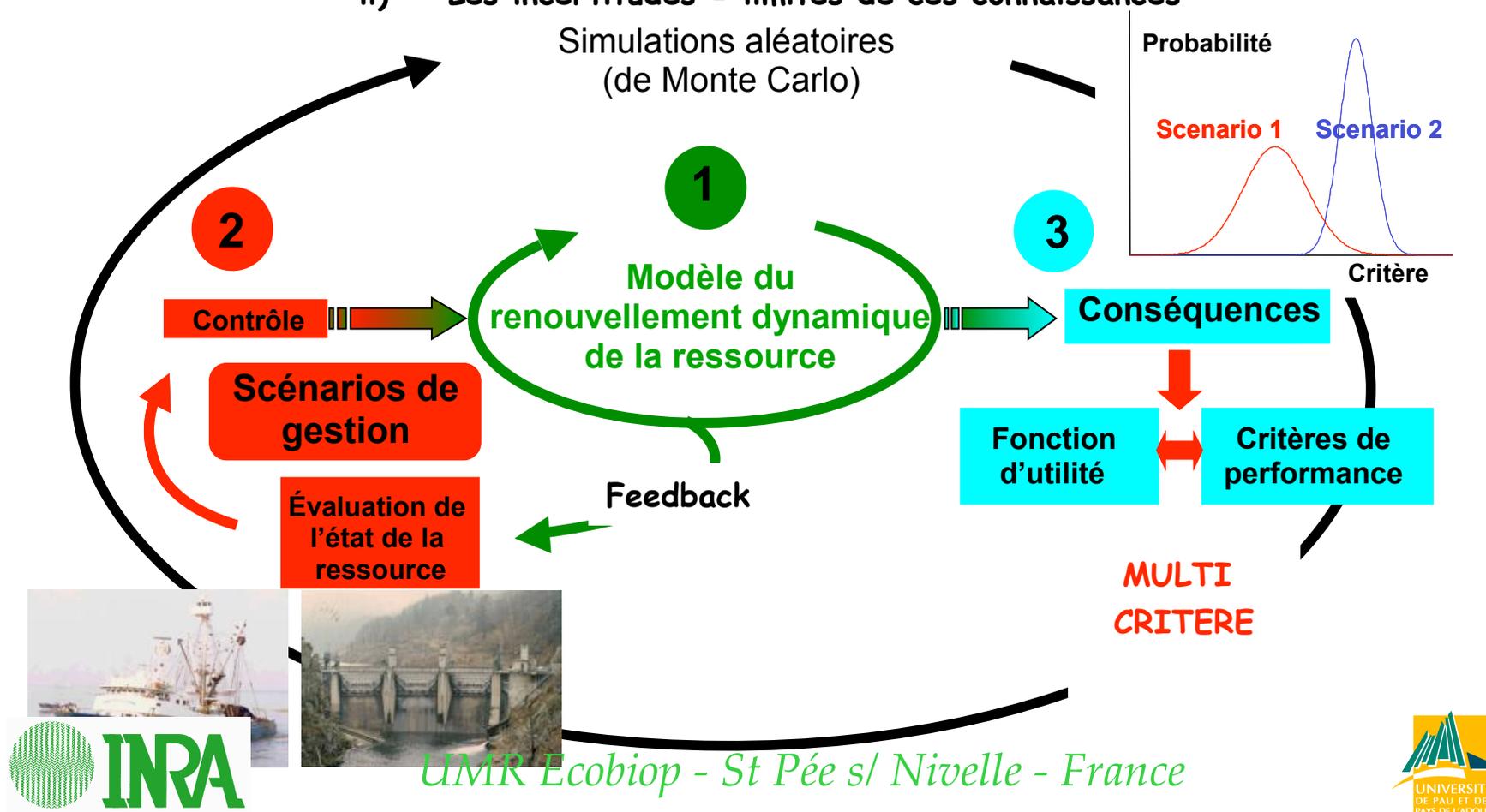


Aide à la décision pour la gestion d'une ressource naturelle renouvelable

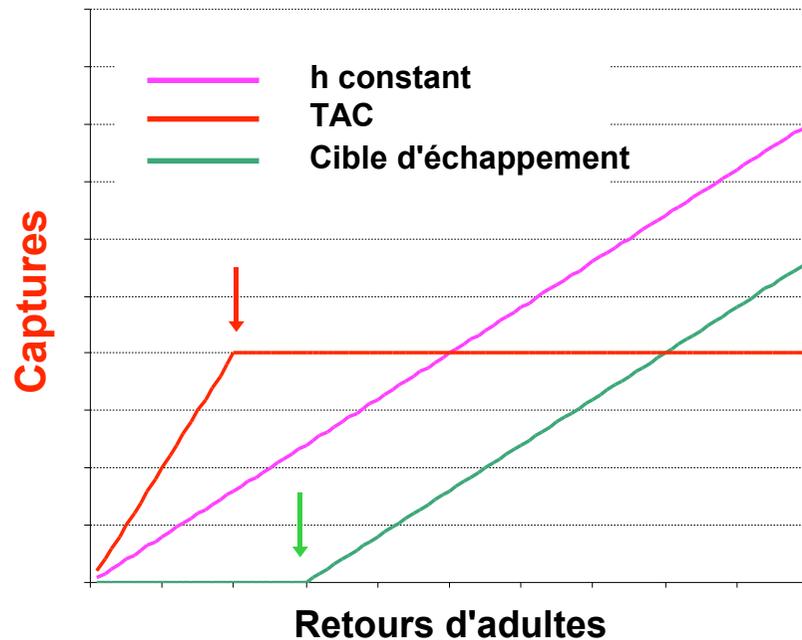
Objectifs : Comparer les performances d' options de gestion alternatives

Dans une approche de précaution → crucial de prendre en compte :

- i) Les connaissances sur la dynamique de la ressource et sa gestion
- ii) Les incertitudes = limites de ces connaissances



Options de gestion alternatives



C^* , S^* , h^* : points de référence déduits de l'analyse d'une version déterministe du modèle de dynamique de population sur des critères d'optimalité (MSY)

→ Taux d'exploitation fixe

Exp : $h=0$, $h=58\%$, $h=h^*$

→ Quotas fixe (TAC)

$C(t) \leq TAC$

Exp : $TAC = C^*$ or $C^*/2$

→ Quotas ajustables

$C(t) \leq TAC(t)$

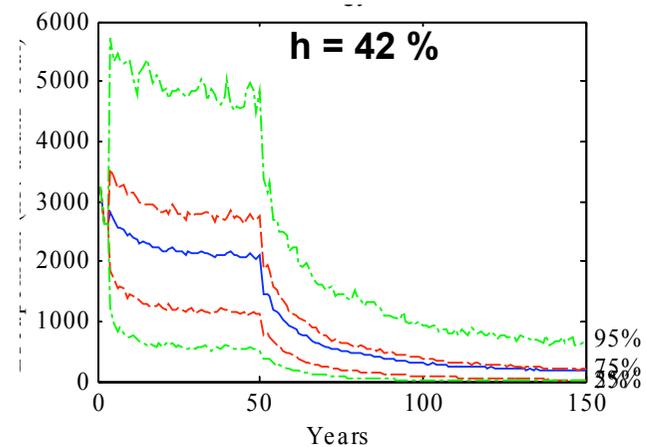
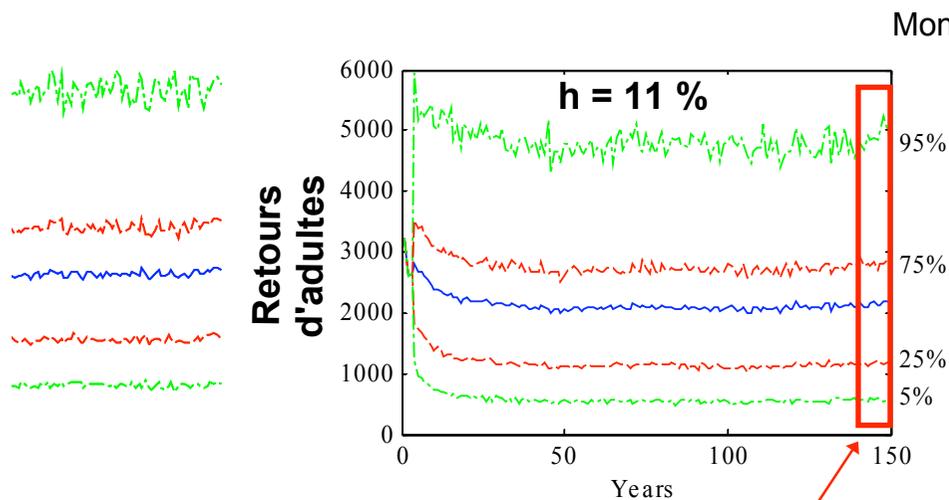
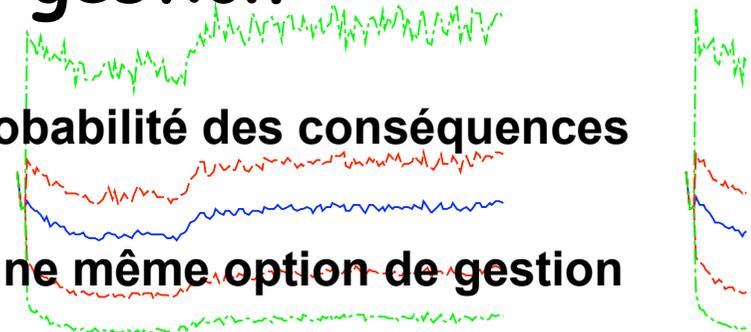
Exp : Fixed escapement S^*

$TAC(t) = R(t) - S^*$ (0 if $R(t) < S^*$)

Evaluation des conséquences de chaque option de gestion

Simulations Monte Carlo → Distribution de probabilité des conséquences
conditionnellement à une option de gestion

Horizon de projection long (> 100 ans) sous une même option de gestion
→ Distributions stationnaire

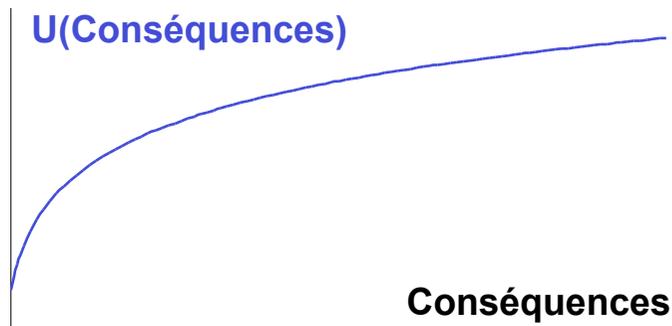


Distributions stationnaire indépendante de l'état initial

Comparer les performances d'options de gestion

Utilité des conséquences

Fonction d'utilité → quantifie les préférences vis à vis des conséquences



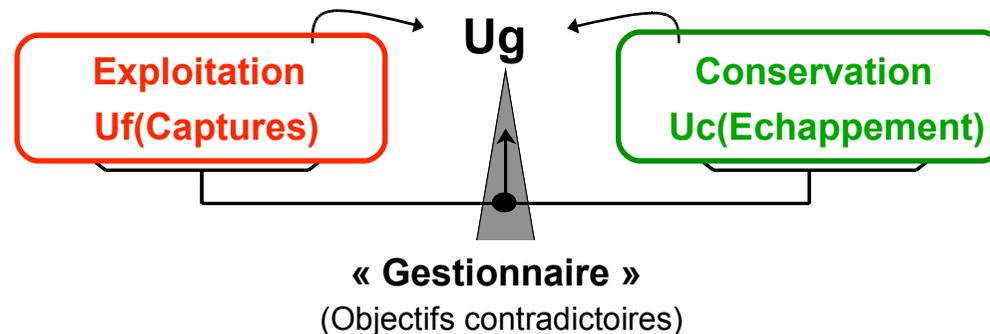
Une option de gestion $O1$ est meilleure que $O2$ si l'utilité moyenne des conséquences conditionnellement à $O1$ est supérieure à l'utilité moyenne des conséquences conditionnellement à $O2$

$$O1 \text{ préférée à } O2 \Leftrightarrow E_{O1}(U(X)) > E_{O2}(U(X))$$

$$E_{O_i}(X) = \int U(X) p(X|O_i) dX$$

$$X = \text{conséquences}$$

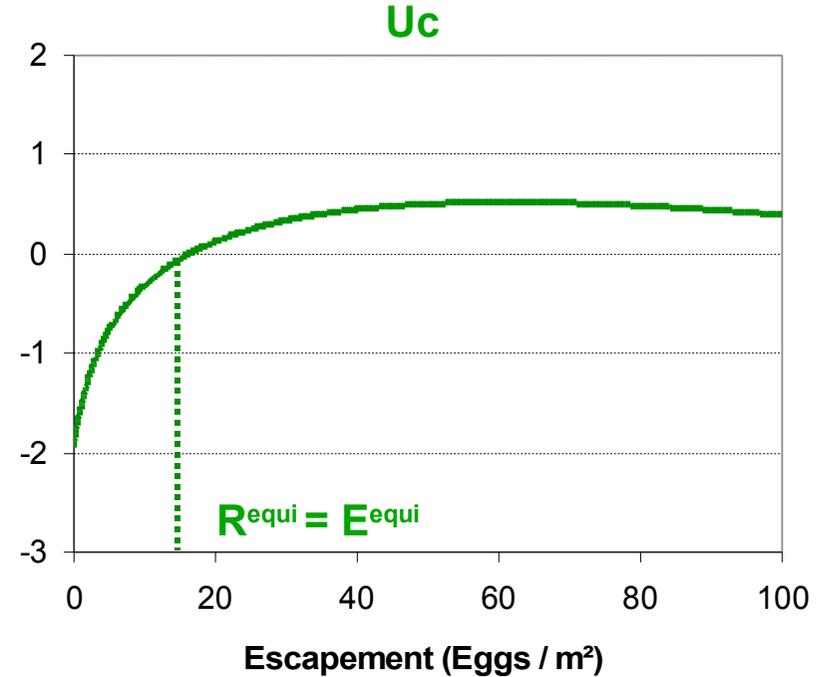
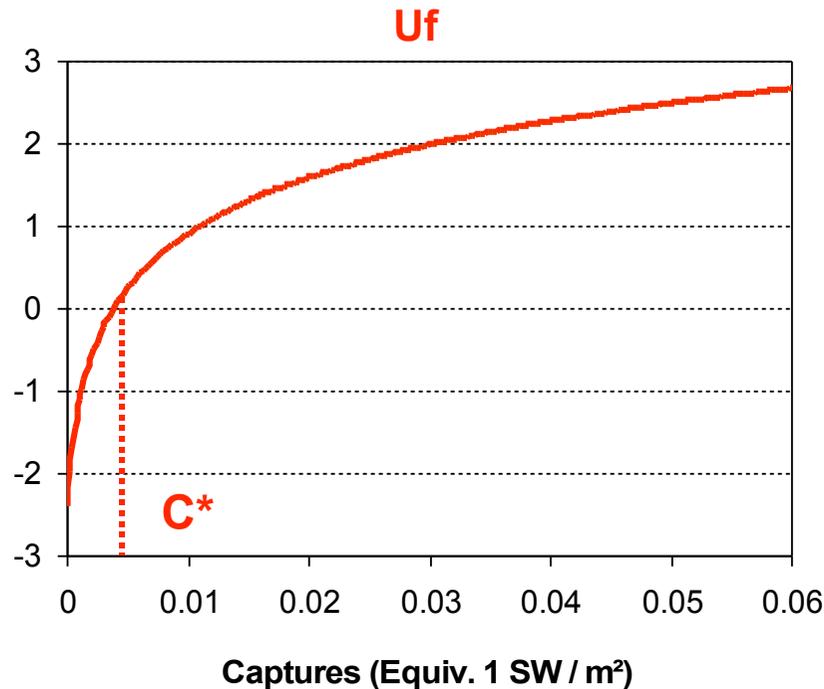
Pour évaluer des compromis entre objectifs
bâtir des fonctions d'utilité multi-critères ?



Fonctions d'utilité

Utilité exploitation : **Uf(C)**

Utilité conservation : **Uc(E)**



$$U_f(C) = \text{Log} \left(\frac{C + \xi}{C^* + \xi} \right)$$

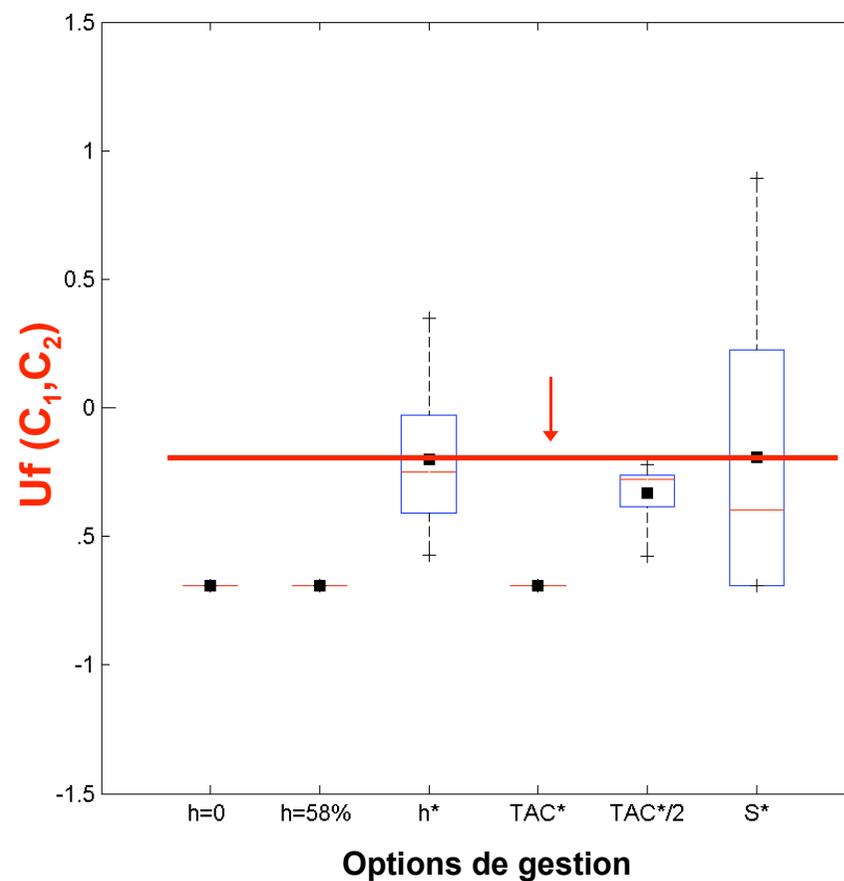
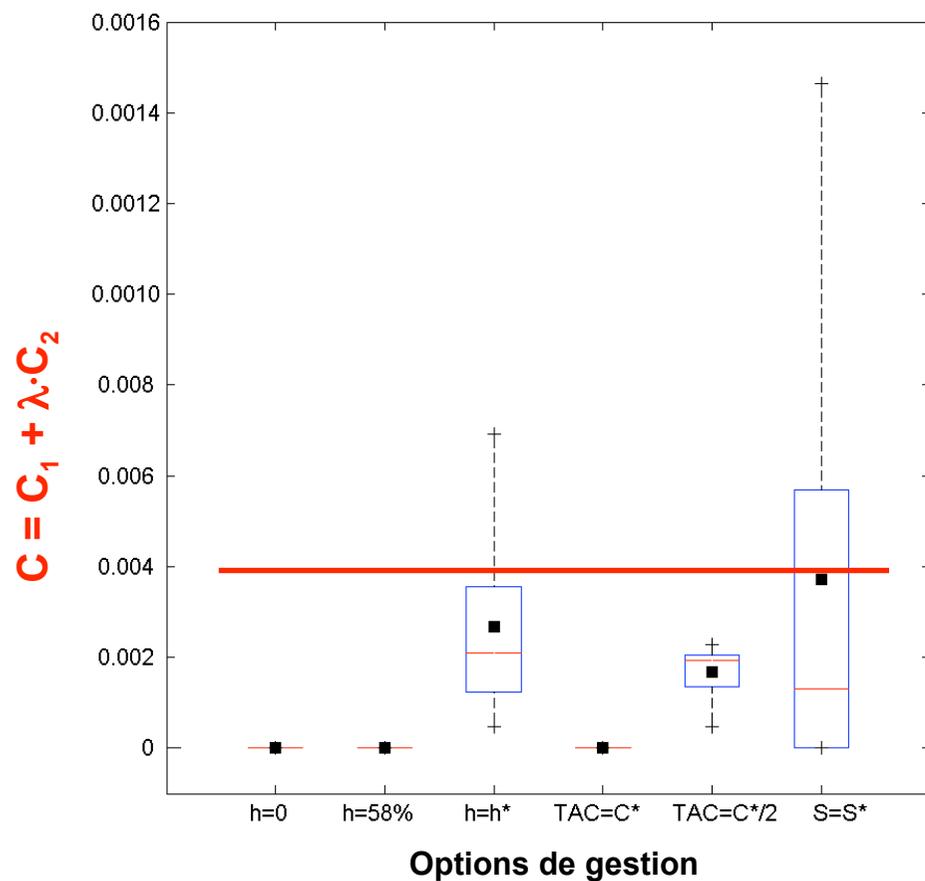
$$U_c(E) = \text{Log} \left(\frac{\mathfrak{R}(E) + \xi}{\mathfrak{R}(E^{\text{equi}}) + \xi} \right)$$

Fonction Log \Leftrightarrow aversion au risque

UMR Ecobiop - St Pée s/ Nivelle - France



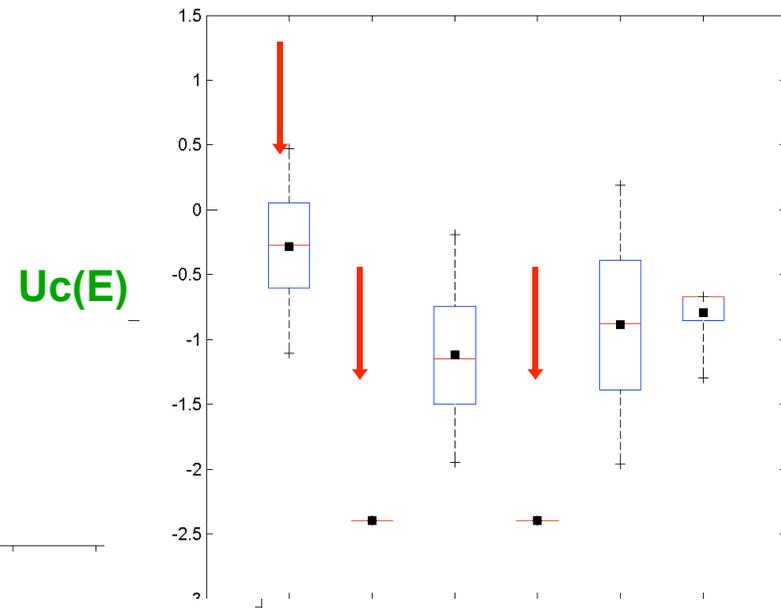
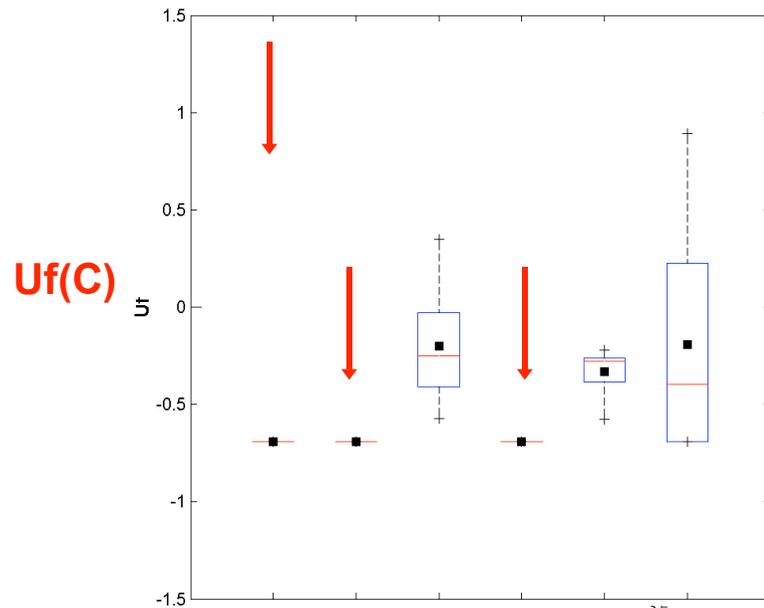
Captures et utilité des captures



➔ La fonction d'utilité U_f pénalise la variabilité des captures

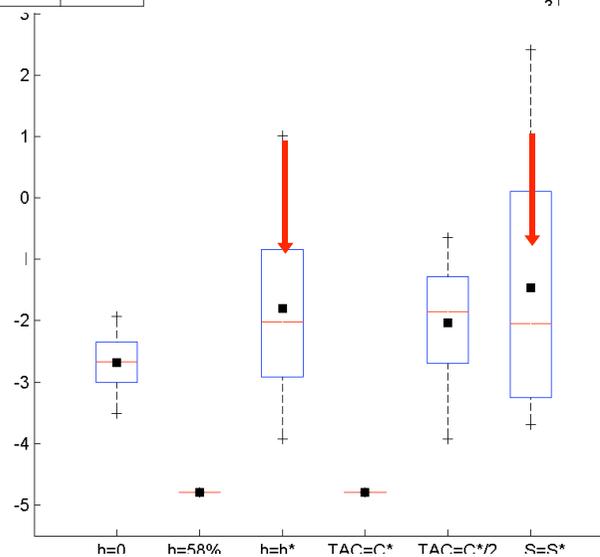
(➔ La fonction d'utilité U_c pénalise la variabilité de l'échappement reproducteur)

Combinaison exploitation & conservation



$$U_g(C,E) = U_f(C) + \mu \cdot U_c(E)$$

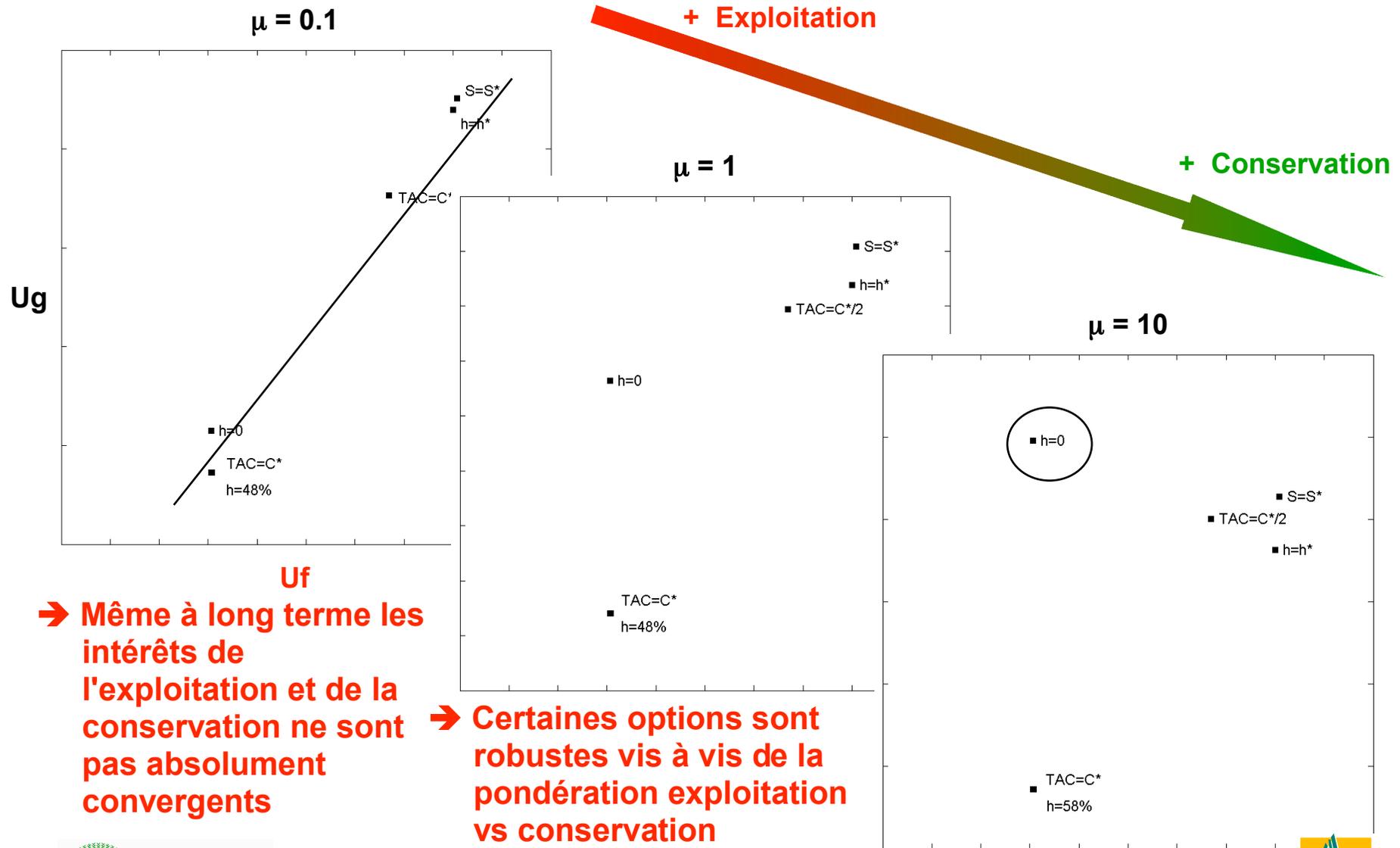
$\mu = 1$



→ La stratégie à échappement fixe est la meilleure option

→ La stratégie à taux d'exploitation fixe est une alternative intéressante

Quel compromis exploitation vs. conservation ?



→ Même à long terme les intérêts de l'exploitation et de la conservation ne sont pas absolument convergents

→ Certaines options sont robustes vis à vis de la pondération exploitation vs conservation

Conclusions & perspectives (1/4)

- Aide à la décision pour la gestion des ressources renouvelables : un thème de recherche actif au plan international (Eco.Mod. 201, 2007)
- Pour l'étude de cas réels, le principe de précaution est devenu central
 - ⇒ modélisation statistique bayésienne
 - représentations jointe des connaissances et des incertitudes ⇒ modèles probabilistes
 - assimiler l'information provenant des observations ⇒ inférence statistique

Conclusions & perspectives (2/4)

- Dans le domaine des populations de poissons exploitées :
 - les raisonnements asymptotiques et/ou à l'équilibre sont peu pertinents pour l'étude de cas réels
 - > horizons de gestion < 10 ans
 - > équilibre des systèmes écologiques ?
 - la recherche d'un contrôle optimal pour des systèmes écologiques très bruités et partiellement observés est-elle une utopie utile ?

Conclusions & perspectives (3/4)

- Dans le domaine des populations de poissons exploitées :
 - le raisonnement au niveau de la seule stratégie est insuffisant
 - > prise en compte explicite de leurs modalités tactiques de mises en oeuvre et les erreurs aléatoires associées
 - le recours à des fonctions d'utilité (et à l'arsenal méthodologique qui lui est associé) est souvent critiqué
 - > définition délicate et arbitraire

Conclusions & perspectives (4/4)

- Des travaux de recherche sont nécessaires en amont des applications pour progresser sur tous les points soulevés précédemment et répondre à 2 questions :
 - Comment faire de l'aide à la décision à l'échelle de 1 ou 2 plans de gestion quinquénaux ?
 - Comment évaluer les conséquences à moyen/long terme de modes de gestion à court terme ?
- La communauté scientifique française (INRA, CNRS, INRIA...) a des compétences pour contribuer à répondre à ces questions