

Grille d'analyse et un exemple d'exploration de modèle complexe

Ecole Chercheur Mexico

Stéphanie Mahévas

Ifremer-EMH, Nantes, France

Giens, le 8 juin 2010



Plan

- 1 Introduction
- 2 Grille d'Analyse
- 3 ISIS-Fish : un exemple de modèle complexe
- 4 Exploration numérique de la pêche Langoustine du golfe de Gascogne
- 5 Discussion

Plan

- 1 Introduction
- 2 Grille d'Analyse
- 3 ISIS-Fish : un exemple de modèle complexe
- 4 Exploration numérique de la pêche Langoustine du golfe de Gascogne
- 5 Discussion

Le diagramme illustre le processus de validation et de calibration d'un modèle de simulation. Au centre se trouve un ovale violet intitulé "Système", qui contient les termes "Objectif de modélisation", "Théorie" et "hypothèses". À l'extrémité supérieure droite, un cercle gris pose la "Question ?". Une large flèche grise courbe descend de la question vers le bas droit, où se trouve un rectangle gris "Modèle conceptuel { équations }", précédée du terme "spécification". À l'extrémité inférieure, un rectangle gris "Modèle conceptuel de simulation" est relié au précédent par une flèche noire courbe vers le haut, étiquetée "vérification". À l'extrémité inférieure gauche, un rectangle gris "Modèle informatique de simulation" est relié au précédent par une flèche noire courbe vers le haut, également étiquetée "vérification". Une large flèche grise courbe monte de ce modèle vers le haut gauche, précédée du terme "simulation". À l'extrémité supérieure gauche, un rectangle gris "Sorties" est relié au modèle informatique par une flèche noire courbe vers le haut, étiquetée "vérification". Une large flèche grise courbe monte des sorties vers le haut, précédée des termes "Validation" et "Calibration". Cette flèche se termine par une flèche noire courbe vers le haut, étiquetée "observations", qui pointe vers le "Système". Une petite flèche noire courbe au-dessus de cette dernière est étiquetée "vérification".

Analyse de sensibilité (AS)

Définition d'une AS

L'analyse de sensibilité d'un modèle est l'identification des éléments influents qui sont la cause des variations les plus importantes des sorties du modèle

Démarche d'une AS

Faire varier en entrée l'ensemble des éléments du modèle et analyser les variations des sorties du modèle

AS pour l'exploration et l'utilisation du modèle

Exploration du modèle : phase de calibration, validation

Questions

- Le modèle reproduit-il correctement la réalité ?
- Quelle valeur du paramètre pour reproduire cette réalité ?
- Quels sont les facteurs influents sur une variable de sortie ?

Cette phase peut entraîner des modifications du modèle

Utilisation du modèle : production de diagnostic, décision, ...

Questions

- Comment varient les sorties si l'on intègre l'incertitude des paramètres sensibles ?
- Quel est le niveau de fiabilité du diagnostic ?

Cette phase peut entraîner la création d'un méta-modèle

Notations

- Le modèle $= \mathcal{G}(\mathbf{X}, \theta, g(.)) = \mathcal{G}(z) = \mathbf{Y}$
 - \mathbf{X} = variables (par ex., l'abondance d'une population)
 - θ = paramètres (par ex., un taux de fécondité)
 - $g(.)$ = sous-fonctions de variables et de paramètres (par ex., une courbe de croissance).
- Le modèle \mathcal{G} est considéré analytique si \mathcal{G} est une fonction mathématique explicite.
- Dans une analyse statistique du modèle \mathcal{G} , les variables et paramètres sont indifféremment appelés facteurs.

Exploration numérique

L'explorateur du modèle



- n'a pas les compétences ou les outils mathématiques pour faire une exploration mathématique (analytique)
- considère le modèle comme une boîte noire
- a une approche raisonnée de l'exploration
 - approche non exhaustive
 - approche statistique, théorie des plans d'expériences
 - méthode indépendante du modèle

Modèle simple - Modèle complexe

Caractéristiques modèle complexe/modèle simple pour aiguiller le choix de la méthode d'exploration

- **Modèle simple**

- solution analytique (stochastique par exemple la somme de deux variables suivant des distributions normales : $Y = X1 + X2$, avec $X1 \propto N(\mu_1, \sigma_1)$ et $X2 \propto N(\mu_2, \sigma_2)$)
- pas de solution analytique mais un nombre de paramètres et de variables et/ou un temps de calcul qui permet d'explorer le comportement du modèle de manière exhaustive

- **Modèle complexe**

- pas de solution analytique
- exploration du modèle difficile
 - nombreux paramètres, variables, processus et interactions
 - temps de calcul long ou coûteux

Plan

- 1 Introduction
- 2 Grille d'Analyse**
- 3 ISIS-Fish : un exemple de modèle complexe
- 4 Exploration numérique de la pêche Langoustine du golfe de Gascogne
- 5 Discussion

Stratégie d'exploration d'un modèle

Définition de la stratégie d'exploration

Choix conjoint d'une **méthode d'exploration** de l'espace des facteurs du modèle pour sélectionner les combinaisons de valeurs des facteurs à simuler et d'une **méthode statistique** d'analyse des sorties du modèle obtenues par simulation des combinaisons de facteurs.

Stratégie d'exploration d'un modèle

Définition de la stratégie d'exploration

Choix conjoint d'une **méthode d'exploration** de l'espace des facteurs du modèle pour sélectionner les combinaisons de valeurs des facteurs à simuler et d'une **méthode statistique** d'analyse des sorties du modèle obtenues par simulation des combinaisons de facteurs.

Définition d'une expérience

La simulation par le modèle \mathcal{G} d'une θ réalisation du jeu de facteurs θ . Réalisation $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_n)$ et sorties du modèle $\mathbf{Y} = \mathcal{G}(\theta)$.

Stratégie d'exploration d'un modèle

Définition de la stratégie d'exploration

Choix conjoint d'une **méthode d'exploration** de l'espace des facteurs du modèle pour sélectionner les combinaisons de valeurs des facteurs à simuler et d'une **méthode statistique** d'analyse des sorties du modèle obtenues par simulation des combinaisons de facteurs.

Définition d'une expérience

La simulation par le modèle \mathcal{G} d'une θ réalisation du jeu de facteurs θ . Réalisation $\theta = (\theta_1, \dots, \theta_n)$ et sorties du modèle $\mathbf{Y} = \mathcal{G}(\theta)$.

Remarque

Pour simplifier la présentation mais sans perdre en généralité, nous nous plaçons dans le cas d'un modèle \mathcal{G} déterministe. Si \mathcal{G} était stochastique, une expérience serait alors réalisée un nombre suffisant de fois pour assurer les propriétés de convergence de la variable Y étudiée.

Une exploration numérique d'un modèle par analyse de sensibilité repose donc sur

- un plan d'expériences

- jeu de réalisations de θ

$$\begin{matrix} \theta_1^1, & \dots & , \theta_n^1 \\ \vdots & & \vdots \\ \theta_1^N, & \dots & , \theta_n^N \end{matrix}$$
- les simulations $\mathcal{G}(\theta^1), \dots, \mathcal{G}(\theta^N)$

- le modèle statistique

- $Y_i = S(\theta) + \epsilon$
- S : aov, lm, pls, ...
- le choix de S repose sur des hypothèses du comportement du modèle exploré (linéarité, corrélations,...) - **ne pas oublier de les vérifier**

Les 4 étapes de l'analyse de sensibilité

- Etape 1** Identification des facteurs à considérer dans l'analyse et les variables de sortie à analyser.
- Etape 2** Détermination du domaine de variation et la distribution de chacun des facteurs.
- Etape 3** Choix de la stratégie d'exploration.
- Etape 4** Calculer les indices de sensibilité des facteurs pour chaque variable de sortie ou pour l'ensemble des variables de sortie.

Formalisation de la question

- Le constat**
- Exécuter 1 fois la FC associée à \mathcal{G} prend d unités de temps ou coûte c unités de coût.
 - J'ai D unités de temps ou un budget égal à C à ma disposition.

Je peux donc réaliser D/d exécutions.

La question Comment choisir les expériences sachant que j'ai N facteurs ?

- facteur dicret : modalités fixées
- facteur continu : valeurs à choisir dans le domaine de variation

Critères de choix d'une méthode d'AS

Contraintes Le coût et, ou le temps limitent le nombre d'expériences réalisables.

Nombre de simulations = fonction du nombre de facteurs, du domaine de variation des facteurs et de l'intensité d'exploration de ces domaines.

- Pour 2 facteurs discrets à 2 modalités,
 $(\theta_1, \theta_2) \in \{0, 1\}^2$, le nombre d'expériences peut varier de 1 à 4.
- Pour 2 facteurs continus définis sur $[0; 1]$,
 $(\theta_1, \theta_2) \in [0, 1]^2$, le nombre d'expériences peut varier de 1 à ∞ .

Type de facteurs Continu, discret. Tous les facteurs continus peuvent être discrétisés. L'inverse n'est pas vrai.

Critères de choix d'une méthode d'AS

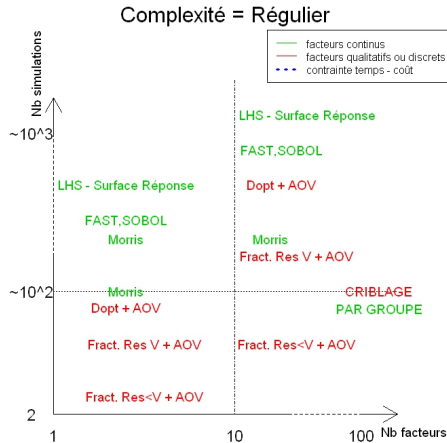
Régularité Propriétés de linéarité, continuité, ... du modèle pour s'assurer de la validité de la méthode statistique.

Précision Niveau de précision attendu des résultats de l'analyse de sensibilité (ordre des interactions, précision des indices de sensibilité...).

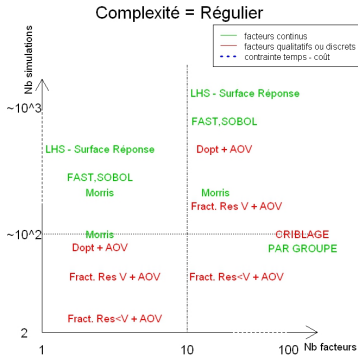
Le choix du **plan d'expériences * modèle statistique est le résultat d'une fonction (nombre de simulations, temps de simulation|Type de facteurs, régularité du modèle, moyens disponibles).**

Choix de la méthode d'AS - *configuration régulière*

Voici une grille de lecture exploitable pour des facteurs continus et discrets



Choix de la méthode d'AS- *configuration régulière*

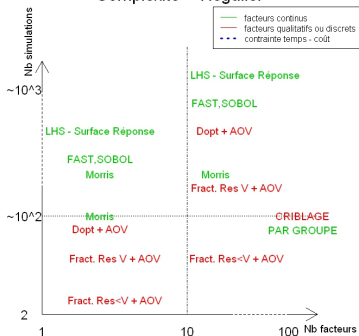


- Peu de facteur et un temps de simulation court : exploration fine des domaines (**Monte-Carlo, LHS,...**), méthode basée sur décomposition de la variance type **FAST, SOBOLE, ...**ou méthode surface de réponse
- Nombreux facteurs et/ou un temps de simulation plus long : exploration plus grossière - méthode de **Morris**
- Grand nombre de facteurs et un temps de simulation long : exploration réduite des domaines - **plan factoriel fractionnaire,...**

Choix de la méthode d'AS- *configuration régulière*

Si les facteurs sont discrets

Complexité = Régulier



Contraintes Une journée de calcul

Temps de simulation 10 minutes soit \approx 140 simulations possibles

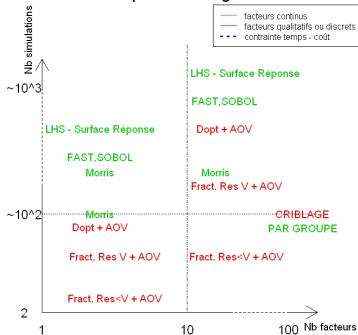
Facteurs-modalités 11 - 2

- Plan factoriel fractionnaire de résolution V : 128 simulations
- Temps de calcul \approx 21 heures.
- Modèle AOV = estimation des indices de sensibilité principaux et ceux des interaction d'ordre 1.

Choix de la méthode d'AS- *configuration régulière*

Si les facteurs sont discrets

Complexité = Régulier



Contraintes Une journée de calcul

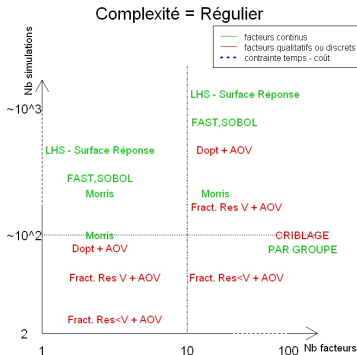
Temps de simulation 10 minutes soit \approx 140 simulations possibles

Facteurs-modalités 20 - 2

- Plan factoriel fractionnaire de résolution III : 128 simulations
- Temps de calcul \approx 21 heures.
- Modèle AOV = estimation des indices de sensibilité principaux et détection d'interactions.

Choix de la méthode d'AS- *configuration régulière*

Si les facteurs sont continus



- Approche exploratoire pour identifier les facteurs influents (principaux et interactions) : méthode de Morris.
- 20 facteurs (échantillonnage régulier l'espace de variation, 7 modalités et 7 trajectoires) : 147 simulations
- Dans un deuxième temps, des méthodes plus gourmandes en simulations telles que Sobol ou Fast voir un hyper-cube latin couplé à un modèle d'ajustement type surface de réponse. Ces techniques sont recommandées pour peu de facteurs et avec des moyens de simulations importants.

Choix de la méthode d'AS- *configuration régulière*

Lorsqu'il y a une inflation du nombre de paramètres, la stratégie du "criblage par groupe" consiste à regrouper les paramètres qui agissent de façon similaire sur les sorties.

- groupe = un unique facteur.
- l'analyse de sensibilité est réalisée sur ces facteurs auxquels on attribue des modalités virtuelles : une augmentation d'un facteur (passage d'une valeur faible à une valeur forte) correspond à une augmentation de tous les paramètres du groupe.

On passe ainsi d'une analyse de sensibilité à N paramètres à une analyse de sensibilité à n facteurs, $n \ll N$.

Hypothèse forte : tous les paramètres d'un même groupe n'interagissent pas entre eux.

Choix de la méthode d'analyse de sensibilité- *configuration* *IRrégulière*

- Plus le modèle est irrégulier et plus il faudra explorer finement l'espace des facteurs pour capturer ces irrégularités.
- Il est recommandé d'utiliser des méthodes plus robustes et indépendantes du modèle (par exemple les méthodes de Morris, FAST et SOBOL).
- Faiblesses de ces méthodes : elles ne permettent pas d'estimer précisément les interactions.
- On peut aussi utiliser un hyper-cube latin avec une surface de réponse.
- Si l'irrégularité est trop importante, alors une analyse de sensibilité globale perd tout son sens (tellement les différences locales sont importantes) et il serait plus pertinent de faire des analyses de sensibilité en différents points.

Plan

- 1 Introduction
- 2 Grille d'Analyse
- 3 ISIS-Fish : un exemple de modèle complexe**
- 4 Exploration numérique de la pêche Langoustine du golfe de Gascogne
- 5 Discussion



ISIS-Fish : Integration of Spatial Information for Simulation of Fisheries dynamics

Objectifs

- Evaluer l'impact de réglementation de la pêche
- Pêcherie mixte
- Dynamique spatiale et saisonnière
- L'adaptation des pêcheurs

ISIS-Fish : Integration of Spatial Information for Simulation of Fisheries dynamics

Objectifs

- Evaluer l'impact de réglementation de la pêche
- Pêcherie mixte
- Dynamique spatiale et saisonnière
- L'adaptation des pêcheurs

Approche : une plateforme de modélisation

- Générique : application à de nombreuses pêcheries
- Flexible : évolution de la connaissance
- Discret, spatialement explicite, bio-économique
- modèles de populations, d'activité de pêche et de réglementation
- Intégration de la connaissance
- Facilités pour faire tourner de nombreuses simulations

ISIS-Fish

ISIS-Fish

<http://www.ifremer.fr/isis-fish/>

- ISIS JAVA / ISIS FLR
- Open source and Free download of the software
- Available libraries to explore the outputs with R

Complexe ?

Définition du domaine de complexité au regard des caractéristiques du modèle

- nombre de paramètres (≈ 300) continus ou discrets
- nombreuses incertitudes (poissons peu observables, activité de pêche connue au travers de déclarations)
- temps de simulation (≈ 5 minutes)

Stratégie d'exploration : non exhaustive, Morris, AOV,...

L'exploration du modèle vise à répondre à :

- une meilleure compréhension du système : quels sont les processus, variables, paramètres -cés du processus décrit ?
- produire des diagnostics intégrant l'incertitude : quelle est la robustesse du pronostic d'impact d'une réglementation dans une recherche de prise de décision ?

Plan

- 1 Introduction
- 2 Grille d'Analyse
- 3 ISIS-Fish : un exemple de modèle complexe
- 4 Exploration numérique de la pêche Langoustine du golfe de Gascogne**
- 5 Discussion

Plan

- 1 Introduction
- 2 Grille d'Analyse
- 3 ISIS-Fish : un exemple de modèle complexe
- 4 Exploration numérique de la pêche Langoustine du golfe de Gascogne
- 5 Discussion**

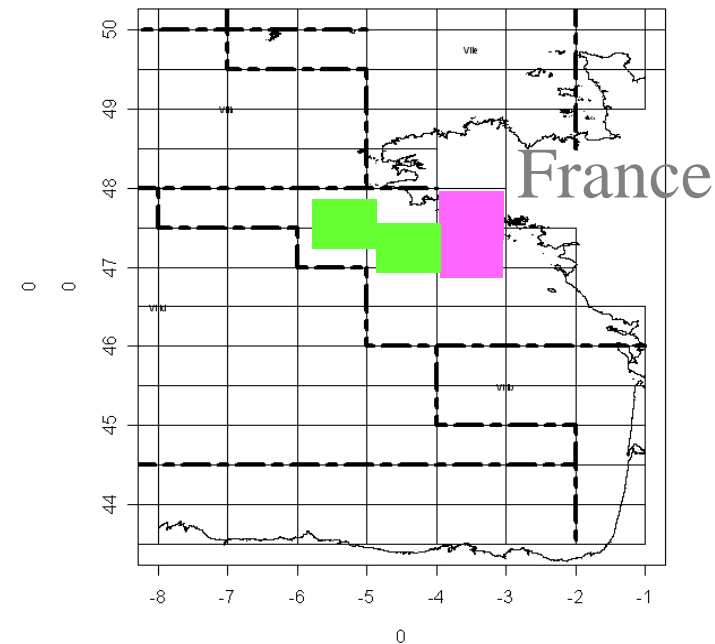
Pêcherie mixte démersale du golfe de Gascogne

- Pêcherie mixte
 - Flottes françaises et espagnole (chalut simple et jumeau, côte/large)
 - Merlu, langoustine, cardine, baudroie



Pêcherie mixte démersale du golfe de Gascogne

- Pêcherie mixte
 - Flottes françaises et espagnole (chalut simple et jumeau, côte/large)
 - Merlu, langoustine, cardine, baudroie

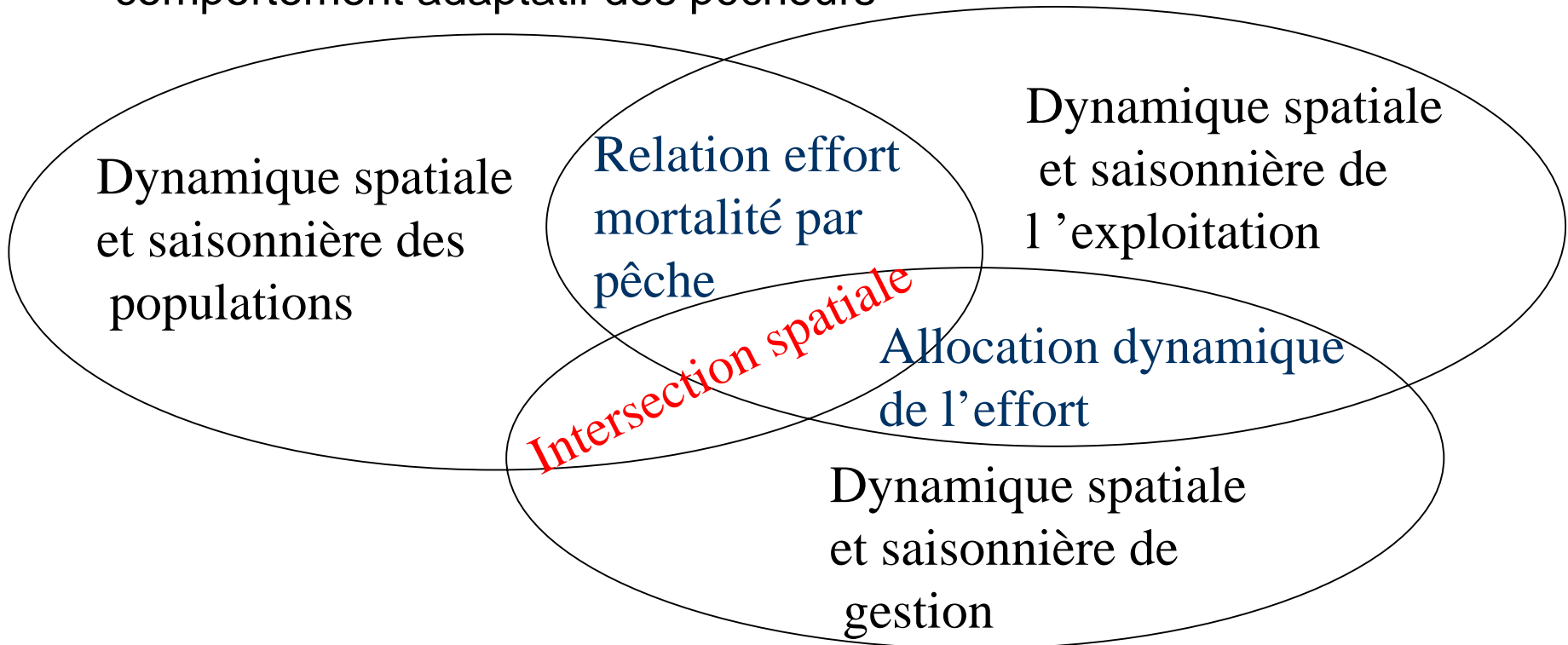


gestion

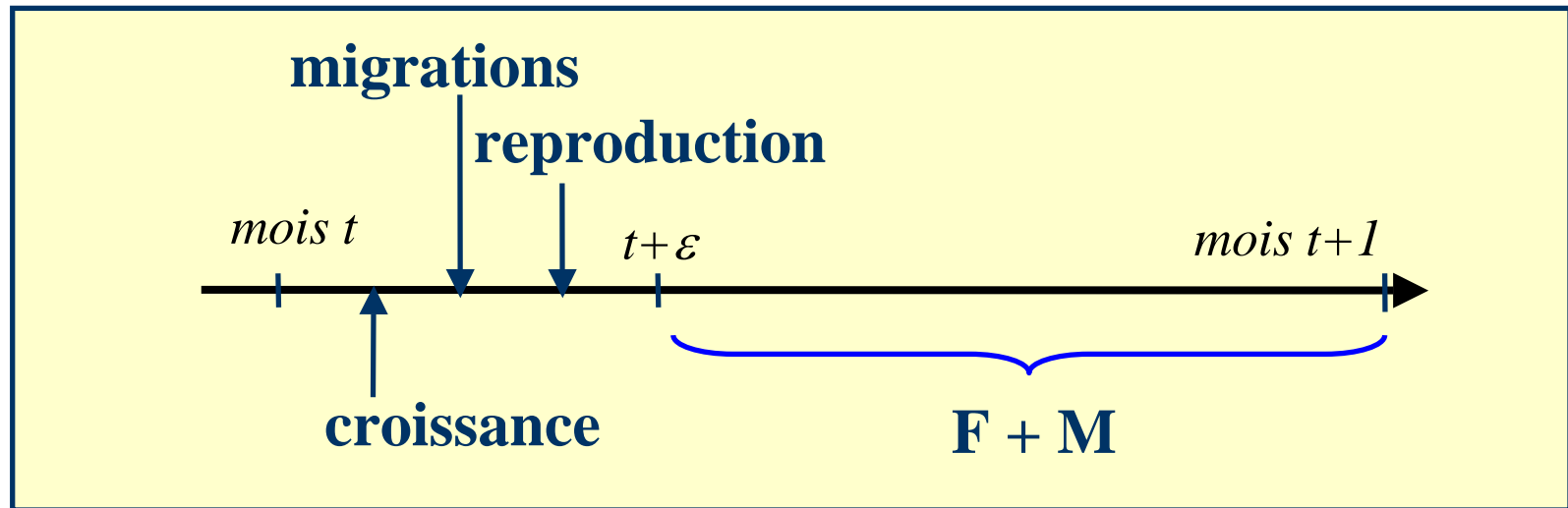
- TAC
- sélectivité
- AMP « reproduction »
- AMP « nourricerie »

Pêcheries mixtes - Gestion

- distribution spatiale des populations structurées en âge ou en longueur
- allocation de l'effort de pêche en fonction de la distribution spatiale des espèces ciblées, du contexte économique
- mesures de gestion alternatives - mesures spatialisées – comportement adaptatif des pêcheurs



Dynamique de Population



$$N(t) = (N(t,1), \dots, N(t,s), \dots, N(t, s_{\max}))$$

$$\text{avec } N(t,s) = (N(t,s,z_1), \dots, N(t,s,z_n))$$

$$N(t+\varepsilon) = R(t) + [\text{Mig}(\text{saison}) - \text{Emig}(\text{saison})] C_g(\text{saison}) N(t) + \text{Nimmig}(\text{saison})$$

$$N(t+1) = S_r(t) N(t+\varepsilon)$$

Dynamique de pêche

Flottille 1



Flottille 2



Flottille 3

Flottille 4

- Type de navire (caractéristiques techniques, coûts)
- Liste de métiers possibles (coûts par métier)

Stratégie



Stratégie



Stratégie 3

Stratégie 4

- Nombre de navires
- Distribution mensuelle du temps de pêche sur les métiers

	1	2	mois				12
Métier1	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{2}$		•	•	•	
Métier2	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$		•	•	•	

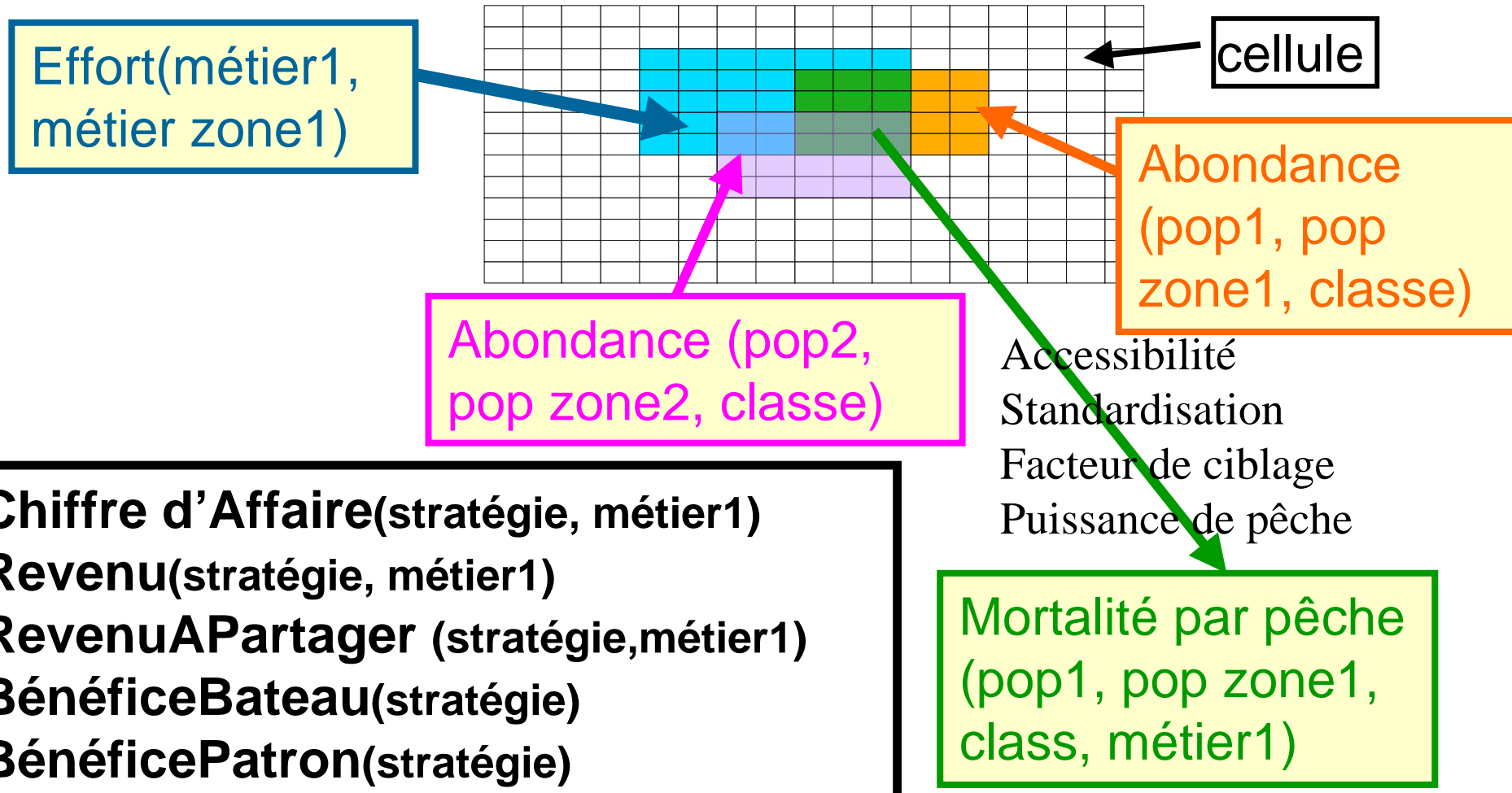
Dynamique du temps de pêche :

- modèle gravité
- adaptation du pêcheur à la réglementation

$$\text{Effort de pêche} = f(\text{nb navires}, \text{temps de pêche}, \text{métier}, \text{économie}, \text{historique})$$

De l'effort de pêche à la mortalité par pêche

Chaque mois:



Mode d'emploi

1. Paramétrer le modèle

- Collecter les paramètres disponibles dans la littérature
- Estimer les paramètres manquants
- Calibrer la capturabilité (méthode du simplexe, vraisemblance, ...)

2. Analyse de Sensibilité

- Pointer les paramètres et processus sensibles incertains
- Beaucoup de paramètres et temps de simulation importants (1 à 15 minutes)
- Plan d'expériences : criblage par groupe, réduction du domaine de définition à min et max

3. Analyse d'incertitude

- Paramètres sensibles
- Définir les mesures de gestion dans la gamme pré-étudiée, réactions du pêcheur
- Plan d'expériences + AOV, PLS

Incertitude et simulation

- Analyse de sensibilité paramètre par paramètre (Min-Max)
 - 2^* (Nb paramètres) simulations
 - $[Y(\min) - Y(\max)]/Y(\text{ref})$ (coefficient d'élasticité pour chaque facteur)
- Analyse de sensibilité globale : plan complet
 - $2^{(\text{Nb paramètres})}$ simulations
 - Une unique variable Y : Analyse de variance
 $\text{Var}(Y/\text{factor})/\text{Var}(Y)$
 (coefficient de sensibilité pour chaque facteur)
 - Plusieurs variables Ys : régression multivariée (PLS)
 $\text{Var}(Ys/\text{factor})/\text{Var}(Ys)$
 (coefficient de sensibilité pour chaque facteur pour l'ensemble des Ys)
- Augmenter le nombre de facteurs ou de modalités des facteurs (factorial fractional design, latin hypercube,...)

MPA	Factor1	Factor2
1	1	1
1	1	0
1	0	1
1	0	0
0	1	1
0	1	0
0	0	1
0	0	0

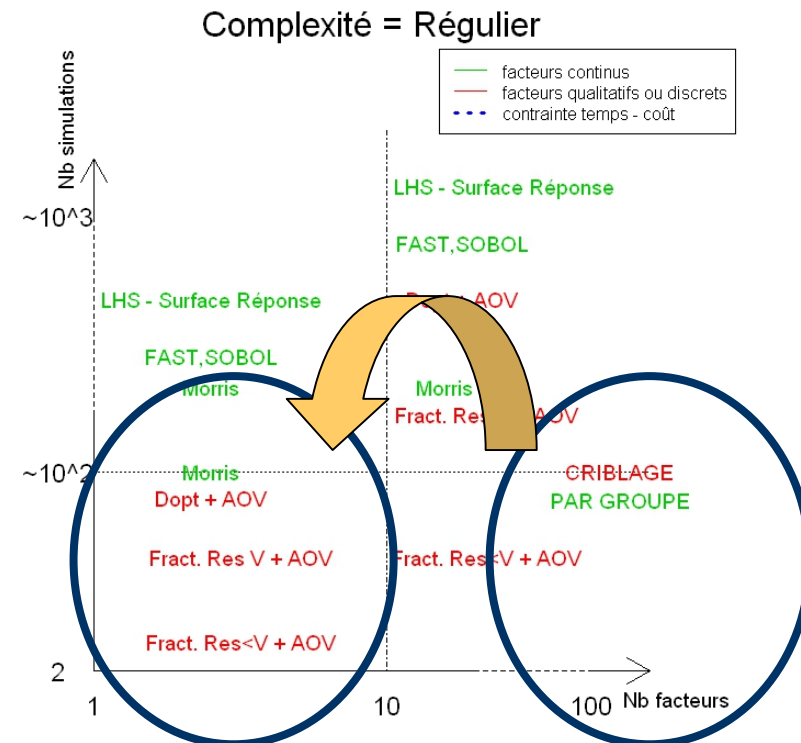
Plan

- ① Introduction
- ② Grille d'analyse
- ③ ISIS-Fish : un exemple de modèle complexe
- ④ Exploration numérique de la pêche du golfe de Gascogne**
- ⑤ Discussion

Analyse de sensibilité du modèle

Approche « Sans gestion (situation de référence) + plan factoriel fractionnaire + AOV, ACP »

- Paramètres (+/-20%) : accessibilité, coefficients de migration, reproduction, croissance, facteurs de standardisation, mortalité naturelle
- Variables de sortie: abondances finales, captures finales, captures cumulées sur 5 ans
- Plan d'expériences :
 - 106 facteurs avec 2 modalités (min,max)
 - Criblage par groupe => Nb groupes : 9



Analyse de sensibilité du modèle

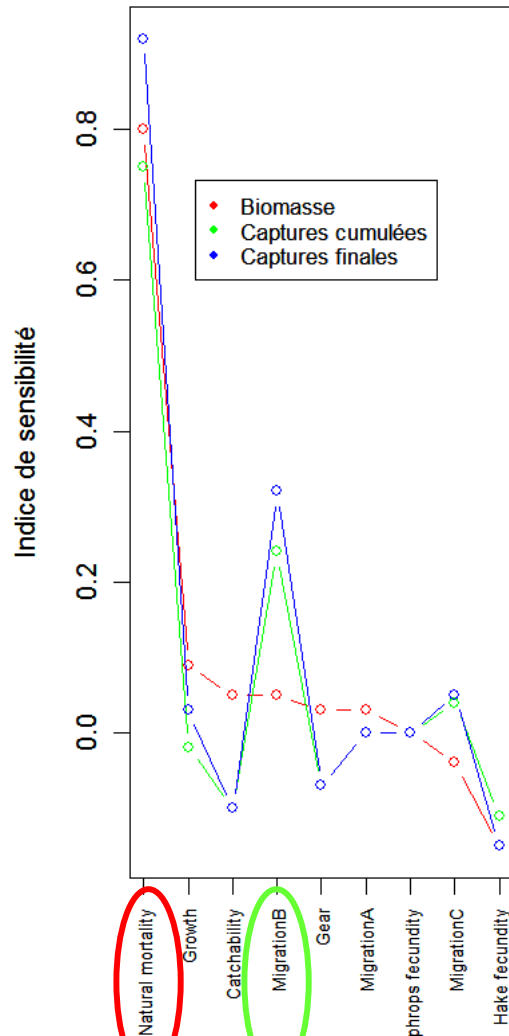
Approche « Sans gestion (situation de référence) + plan factoriel fractionnaire + AOV, ACP »

- Paramètres (+/-20%) : accessibilité, coefficients de migration, reproduction, croissance, facteurs de standardisation, mortalité naturelle
- Variables de sortie: abondances finales, captures finales, captures cumulées sur 5 ans
- Plan d'expériences :
 - 106 facteurs avec 2 modalités (min,max)
 - Criblage par groupe => Nb groupes : 9
 - Estimation des interactions deux à deux : Fract Res V - 128 simulations
- Modèle statistique : **AOV**
 - Capture espèce ~ M+Q+F+Mig+Croissance+Effort+...+ interactions d'ordre 1
 - Biomasse espèce ~ M+Q+F+Mig+Croissance+Effort +...+ interactions d'ordre 1

Indices de sensibilité

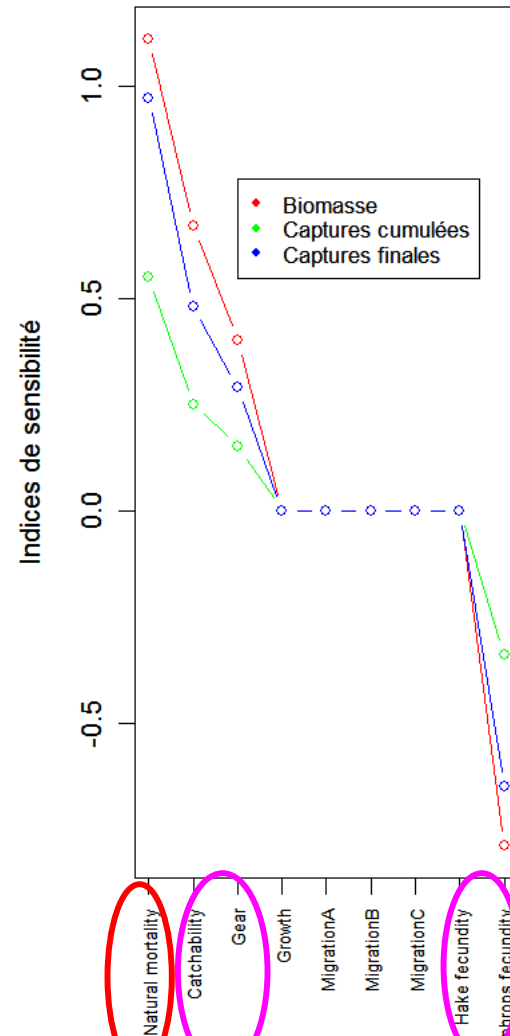
Indices de sensibilité

Merlu



S. Mahévas

Langoustine



Grille et exemple

Aov : pas
d'interaction

- Biomasses et Captures de Merlu et Langoustine

Sensibles à M

- Captures Merlu

Sensibles aux Migrations

- Biomasses et Captures de Langoustine

Sensibles à capturabilité, sélectivité et fécondité

Pêcherie pélagique du golfe de Gascogne



- **Dynamique de l'anchois**
- **Dynamique de l'activité de pêche: français et espagnols plusieurs flottilles, métiers caractérisés par leur propre distribution spatiale saisonnière**



Pêcherie pélagique du golfe de Gascogne

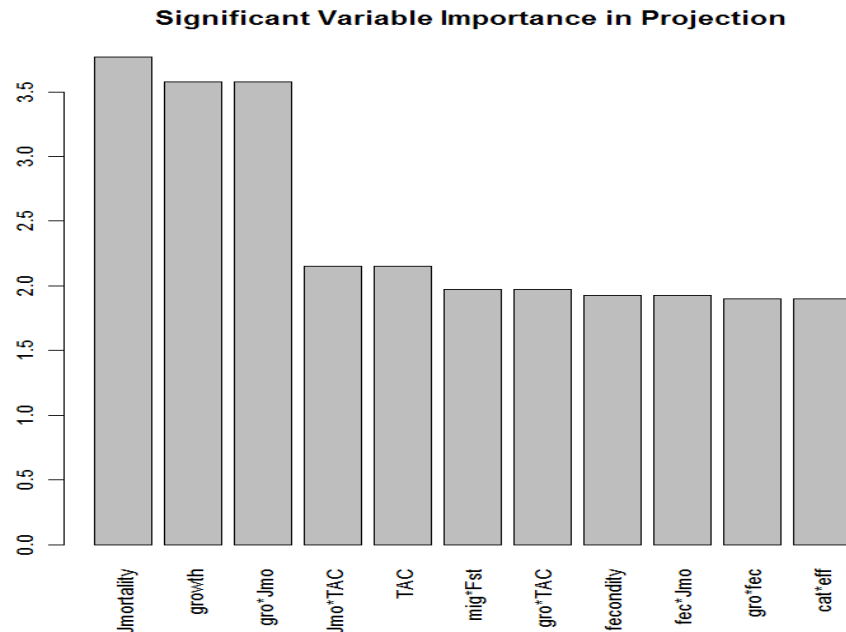


- **Dynamique de l'anchois : spatial and seasonal distribution**
- **Dynamique de l'activité de pêche: français et espagnols plusieurs flottilles, métiers caractérisés par leur propre distribution spatiale saisonnière**
- **Régulée par TAC**
- **Fermée depuis 2005**
- **ISIS-FISH calibré sur la période 2000-2004 avec les données de captures**
- **Evaluer l'impact de mesures de gestion alternatives au TAC sur la période 2000-2007 : 2 aires marines protégées (AMP)**
- **Identifier les processus et paramètres clés du modèle**
- **Evaluer l'impact de la réaction des pêcheurs : 2 schémas de réallocation de l'effort de pêche**

Analyse de sensibilité

Approche « Gamme de réglementations + plan factoriel fractionnaire + PLS »

- Évaluer la sensibilité conjointe du paramétrage de la gestion et du modèle de pêche-population
 - Choix des mesures de gestion envisagées (Variables de contrôle)
 - « group screening » + plans factoriels fractionnaires + PLS

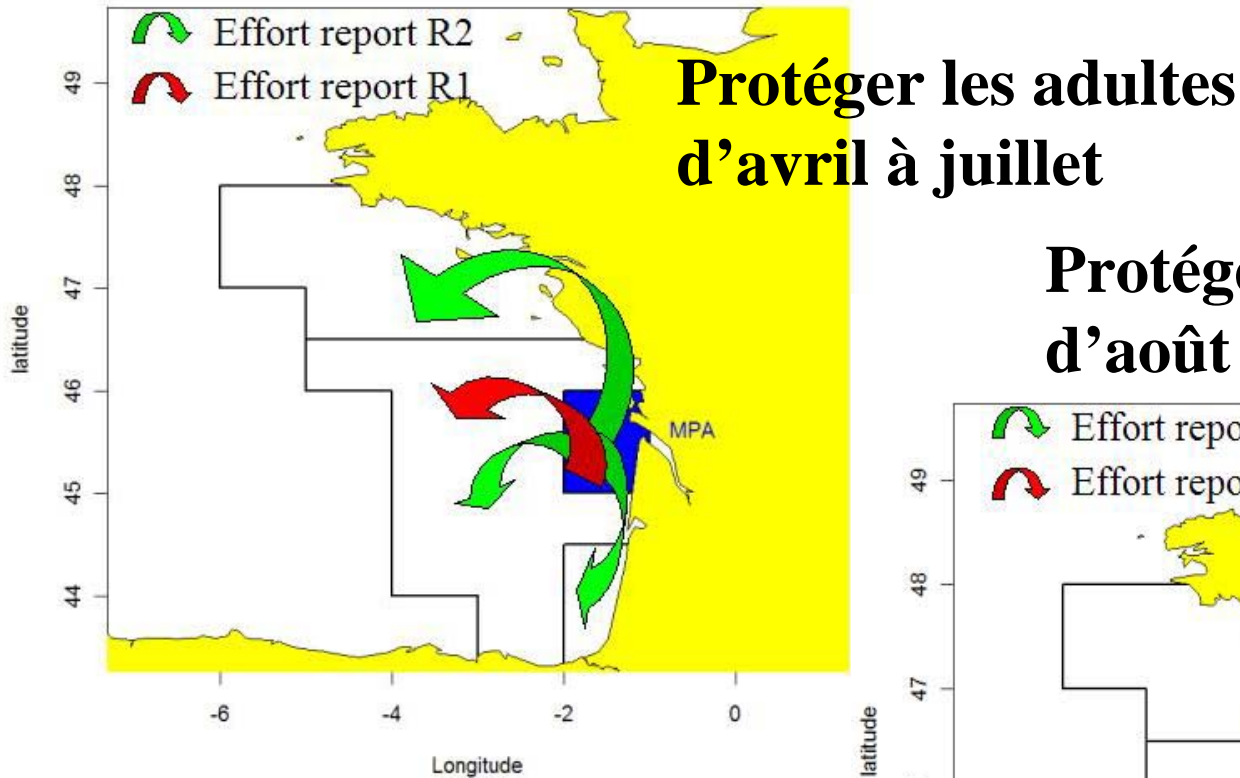


Robustesse à la réaction des pêcheurs

Affiner le diagnostic d'impact des mesures en intégrant l'incertitude des paramètres sensibles :

- Conserver les paramètres sensibles incertains : croissance + mortalité naturelle
- Tester plus de combinaisons de paramétrages de mesures en évaluant la sensibilité à la réaction des pêcheurs
- Evaluer les effets principaux des mesures quotas, AMP conditionnellement à différents choix de paramétrage et à la réaction des pêcheurs,

Analyse de sensibilité des mesures

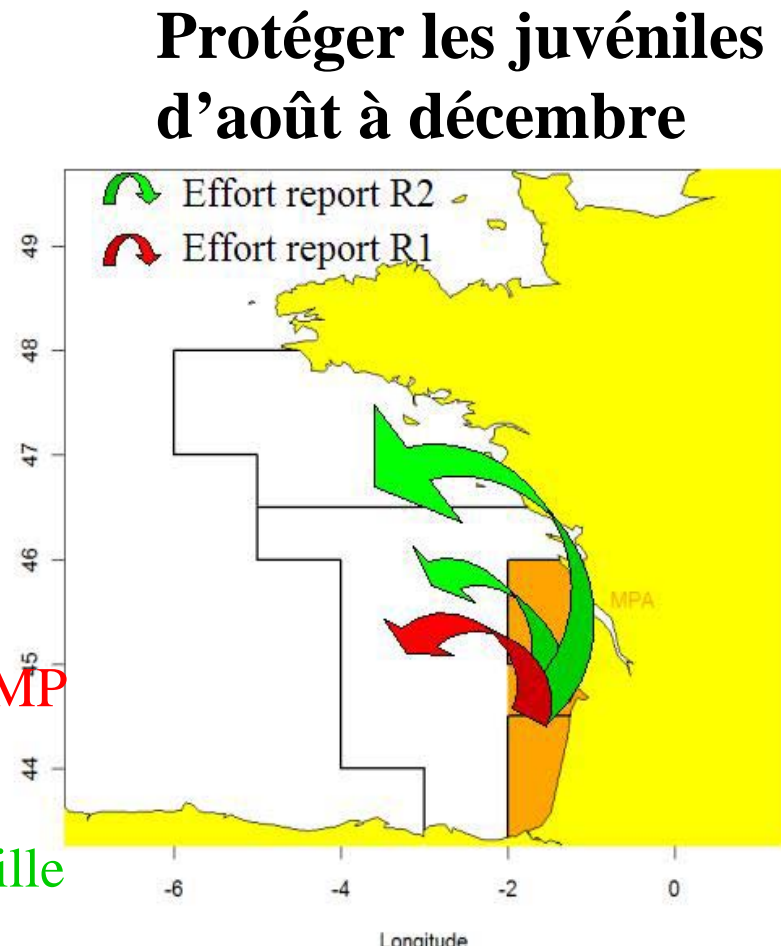


R1 = effort de pêche réallooué sur
les métiers pratiqués autour de l'AMP

R2 = effort de pêche réallooué sur
tous les métiers possibles de la flottille

S. Mahévas

Grille e



Plans de simulations

$$\left[\begin{array}{ll} \text{AMP} = \text{adultes} & \text{Réaction 1} \\ \text{AMP} = \text{juvéniles} & \text{X} \\ \text{pasAMP} & \text{Réaction 2} \end{array} \right] \times \left[\begin{array}{ll} \text{Fecondité} + & \text{Mortalité} + \\ \text{Fecondité } 0 & \text{Mortalité } 0 \\ \text{Fecondité} - & \text{Mortalité} - \end{array} \right] + \text{TAC}$$

Plan complet : 45 simulations

SimNum	MPA	Reaction	Fecundity	Mnat
1	Adultes	2	0	-1
2	Adultes	1	0	1
3	Adultes	1	0	0
4	Adultes	1	0	-1
5	pasAMP	0	0	1
6	pasAMP	0	0	0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

un extrait du plan

Sensibilité à la réaction des pêcheurs

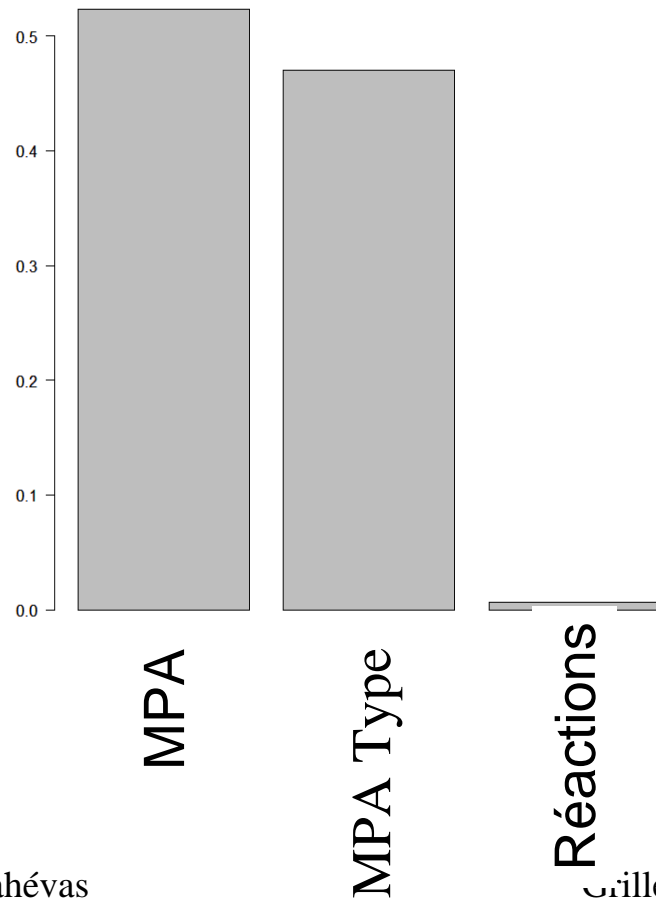
Ajustement d'un modèle d'analyse de variance hiérarchique pour évaluer :

- Effet AMP (AMP - pasAMP)
- Effet type d'AMP : protection des juvéniles ou des adultes
- Effet réaction des pêcheurs quelque soit le type d'AMP (réallocation de l'effort autour de la zone ou sur toute la pêcherie)

$\text{aov}(\text{biomasse7} \sim \text{pasAMP} + \text{AMP} / (\text{JuvMat} + \text{Réaction}))$

Coefficients de sensibilité

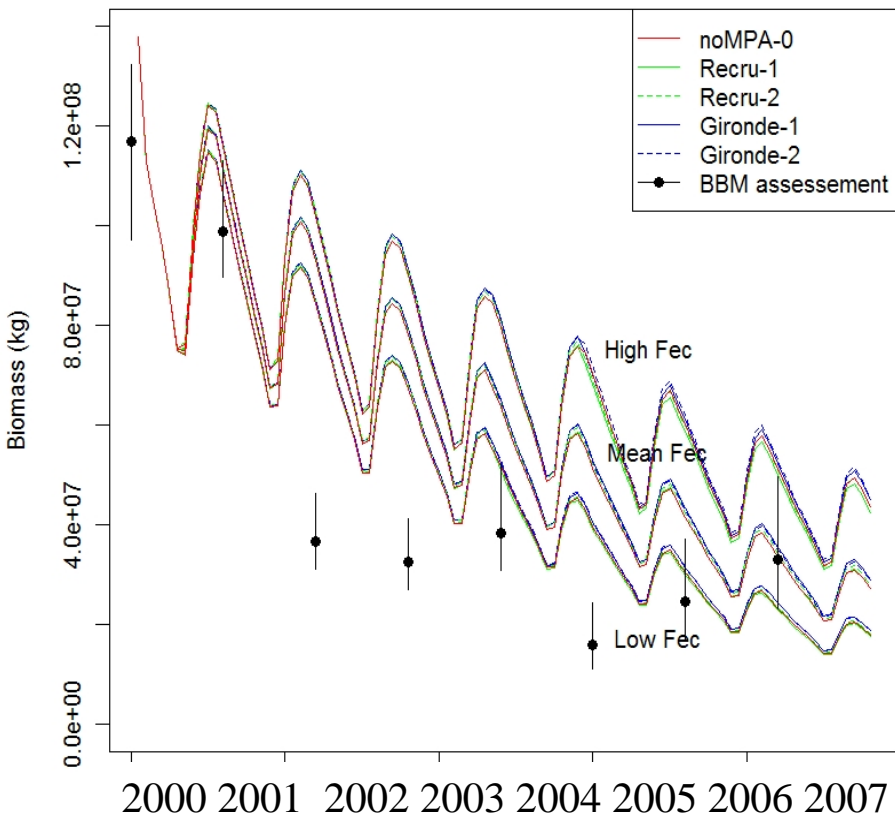
	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)	
MPANoMPA	1	9.31E+11	9.31E+11	23.7071	0.008226	**
MPANoMPA:JuvMat	1	8.35E+11	8.35E+11	21.2788	0.009934	**
MPANoMPA:Reaction	1	1.19E+10	1.19E+10	0.3044	0.610497	



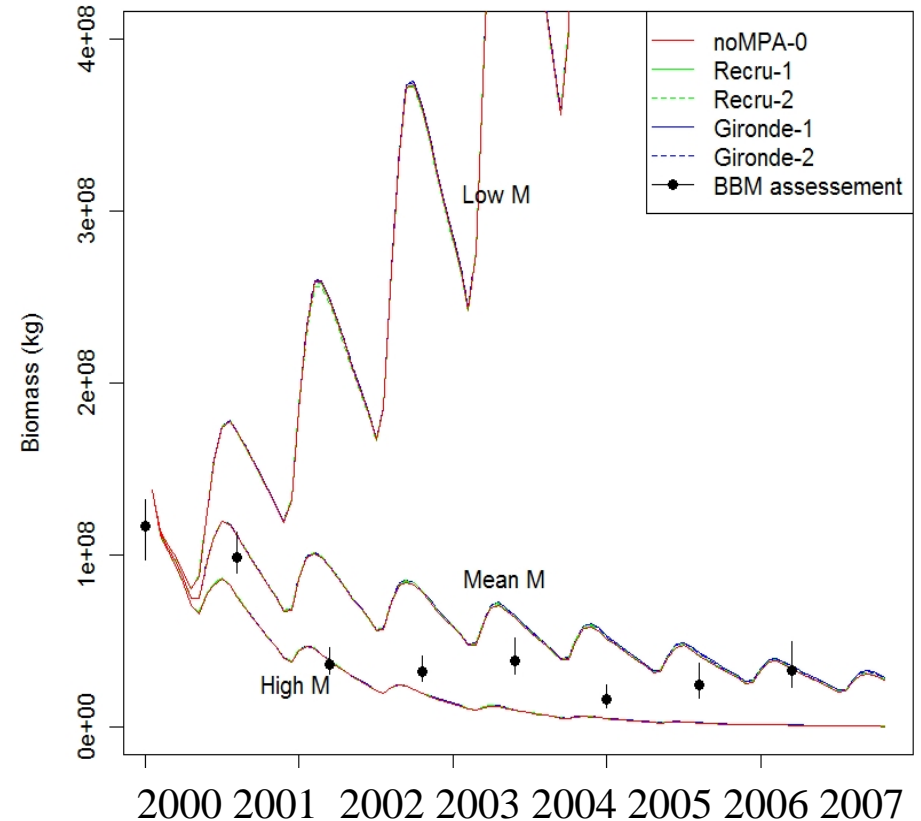
- L'effet le plus important est l'AMP suivi du type d'AMP
- l'effet réaction n'est pas sensible

Pronostic et incertitude

Biomasse ~ fécondité



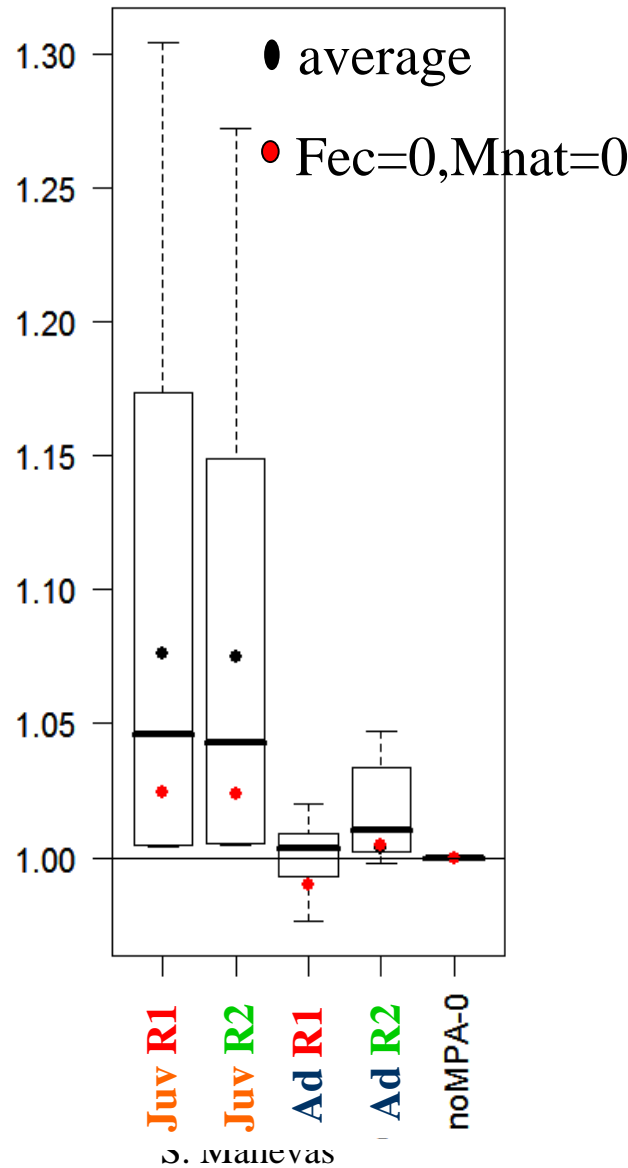
Biomasse ~ mortalité naturelle



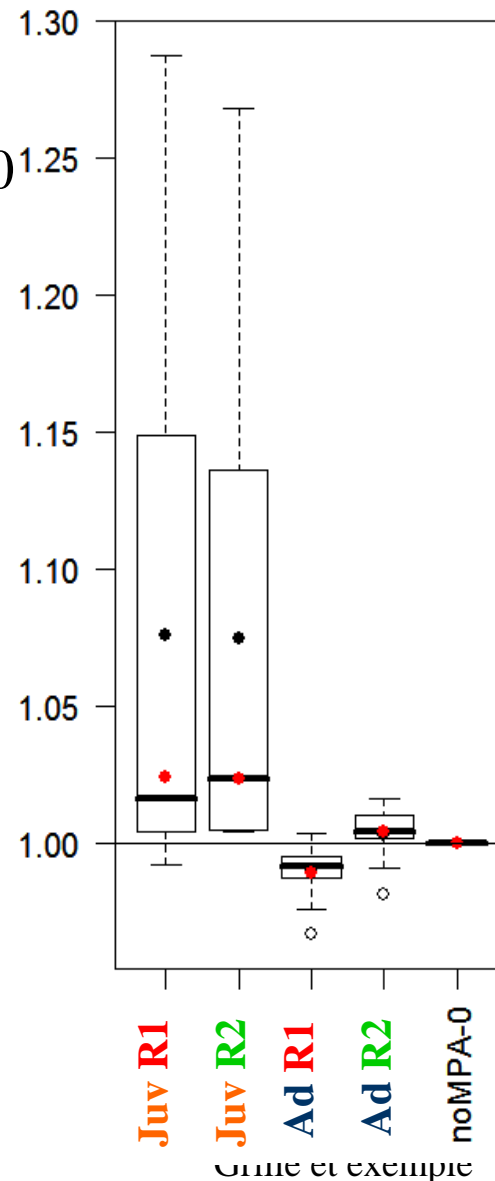
- En moyenne, la biomasse d'anchois décroît quelque soit le scénario et la réaction des pêcheurs
- L'incertitude autour de la fécondité n'altère pas la décroissance de la biomasse
- Une faible mortalité naturelle entraîne une croissance de la biomasse

Robustesse à la réaction des pêcheurs - décision

Biomass MPA/NoMPA



Catch MPA/NoMPA



Protéger les juvéniles permet d'augmenter la biomasse et les captures

Protéger les adultes fait décroître la biomasse et les captures lorsque les pêcheurs réallouent leur effort de pêche autour l'AMP mais les fait augmenter lorsque qu'ils le réallouent sur toute la pêcherie

Protéger les matures est plus risqué que protéger les juvéniles
Au regard des incertitudes sur la mortalité naturelle et la fécondité

Plan

- ① Introduction
- ② Grille d'analyse
- ③ ISIS-Fish : un exemple de modèle complexe
- ④ Exploration numérique de la pêche du golfe de Gascogne
- ⑤ Discussion**

Discussion

- Grille : « aiguillage » pour le choix de la méthode d'AS

Toutes ces méthodes seront ensuite présentées par



Grille et ex

Discussion

- Grille : « aiguillage » pour le choix de la méthode d'AS
- Étape sensible : la définition des domaines de variation
- Étape indispensable : valider les hypothèses d'application de la méthode (non linéarité, absence de corrélation,...)
- Analyser la qualité d'exploration du domaine de variation des facteurs
- Il est possible de réaliser des AS sur plusieurs variables de sortie (ex via la PLS)
- Modèle complexe : exploration séquentielle, adaptative pour affiner l'exploration du domaine de variation des facteurs influents
- AS – support indispensable pour l'aide à la décision reposant sur des modèles

Copyrights MEXICO 2010 ©

Permission is granted to copy, distribute and/or modify this document under the terms of the GNU Free Documentation License, Version 1.3 or any later version published by the Free Software Foundation ; with no Invariant Sections, no Front-Cover Texts, and no Back-Cover Texts. A copy of the license is included in the section entitled "GNU Free Documentation License".

see [http ://www.gnu.org/licenses/fdl.html](http://www.gnu.org/licenses/fdl.html)