

# Questionnement

- On assiste à un développement important et parallèle des sciences de la complexité et des technologies de représentation distribuées (SMA, IBM)
- Malgré le raffinement des méthodes, il n'existe pas de méthodologie récente et vraiment éprouvée pour valider les résultats obtenus par ces approches *(les méthodes standardisées de la modélisation classique ne s'appliquent que rarement aux résultats obtenus)*.
- La validation constitue pourtant une des préoccupations de ce domaine de recherche *(l'absence prolongée de consensus sur ce sujet pourrait même conduire à penser que ce type de formalisme ne soit finalement pas à la hauteur de tous les espoirs fondés sur son utilisation)*.
- On assiste en tout cas à une multiplication significative de discours à ce sujet indiquant bien un problème clé de ce type de modélisation.
- Peut-on dégager quelques pistes de réflexion ?

# Approches de la validation des modèles de systèmes complexes

Exemples issus de simulations  
multi-agents de secteurs  
halieutiques



---

# sommaire

- Cadrage: la méthode des modèles
- Présentation du cas d'étude
- Les niveaux de vérification du modèle  
(*dont:*
  - *plaidoyer pour la surparamétrisation*
  - *Approche par comparaison*)
- Nouvelles approches de la validation  
(perception, confiance, utilité)
- Conclusions

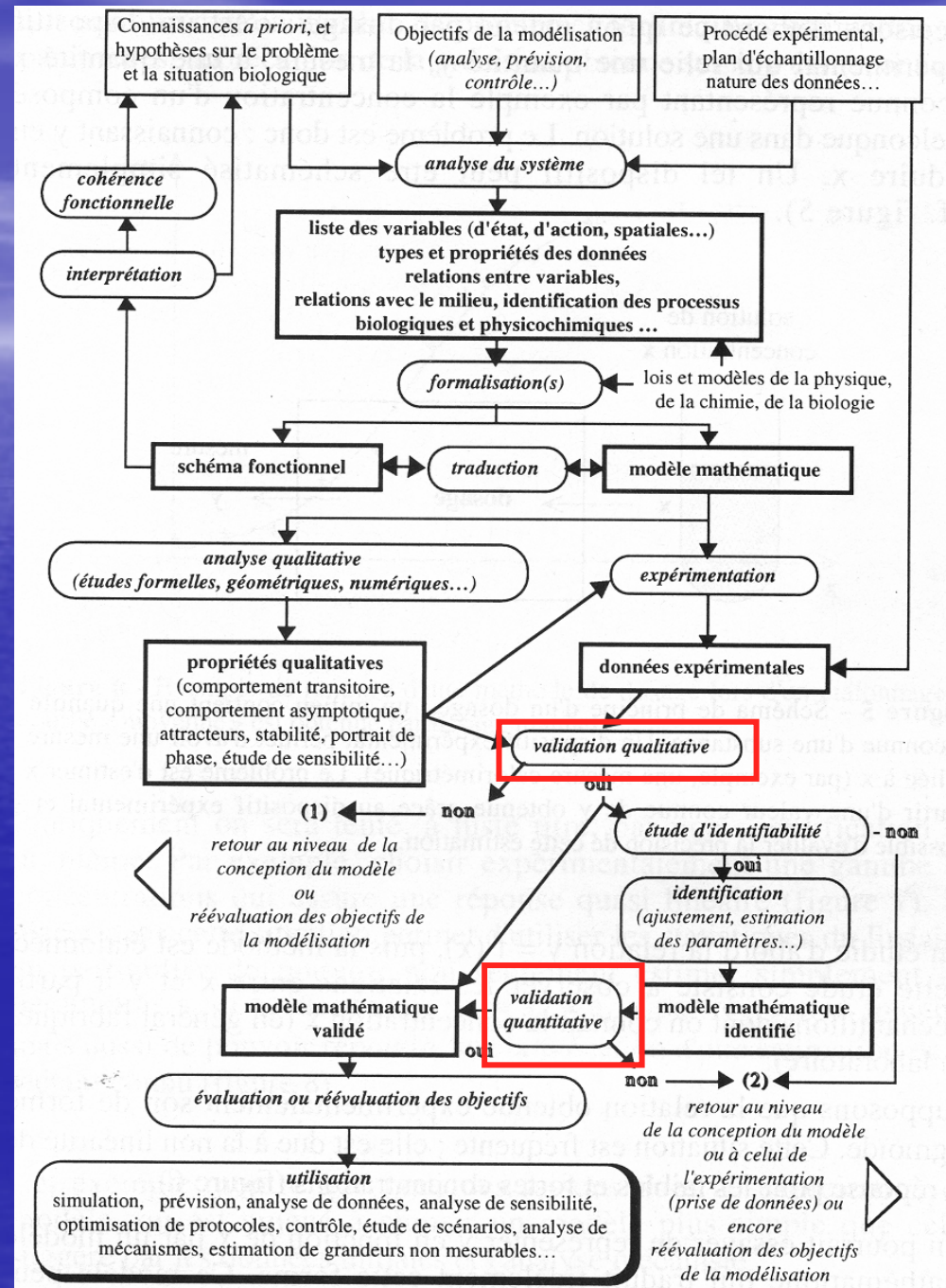
# CADRAGE: La méthode des modèles (Pavé, 1994)

Aspects formels  
de la validation

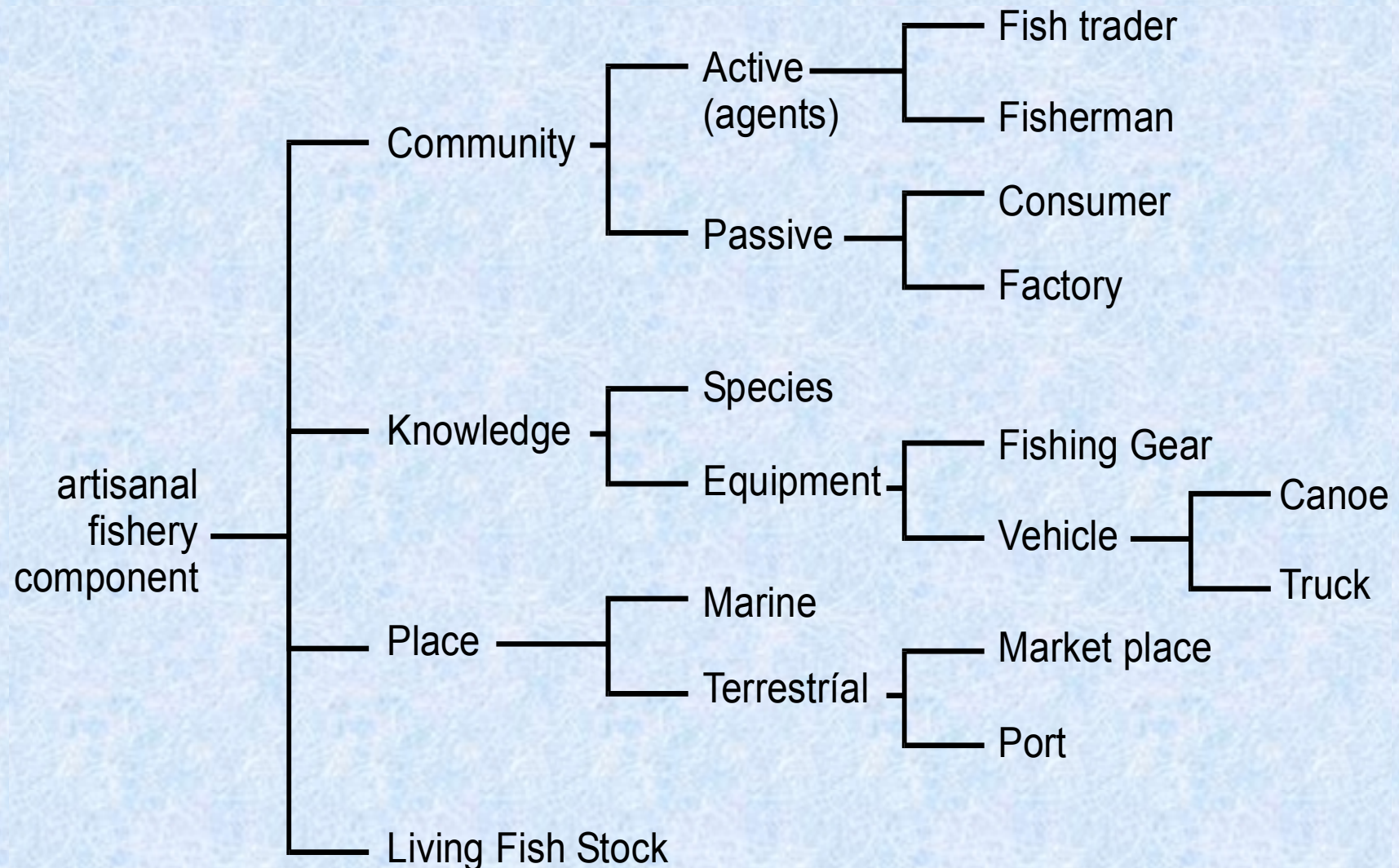
mais aussi

sources d'erreur

À valider



# Présentation du cas d'étude (1/4): **Mopa** modélisation de la pêche artisanale au Sénégal



# Mopa (2/4) : Les capacités d'un agent

**Exemple : à un temps donné, un agent mareyeur :**

**Dispose de (ressources):**

- un type de véhicule (équipement),
- des poissons (dans son camion),
- de l'argent,

**Connaît (environnements):**

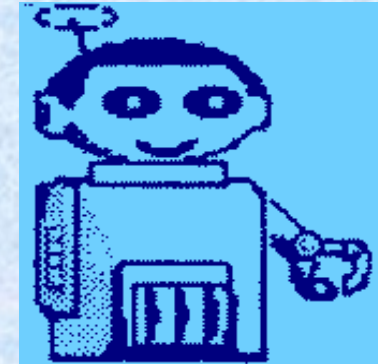
- des espèces de poisson,
- des marchés,
- des ports,
- d'autres agents.

**Sait (ensemble d'opérations):**

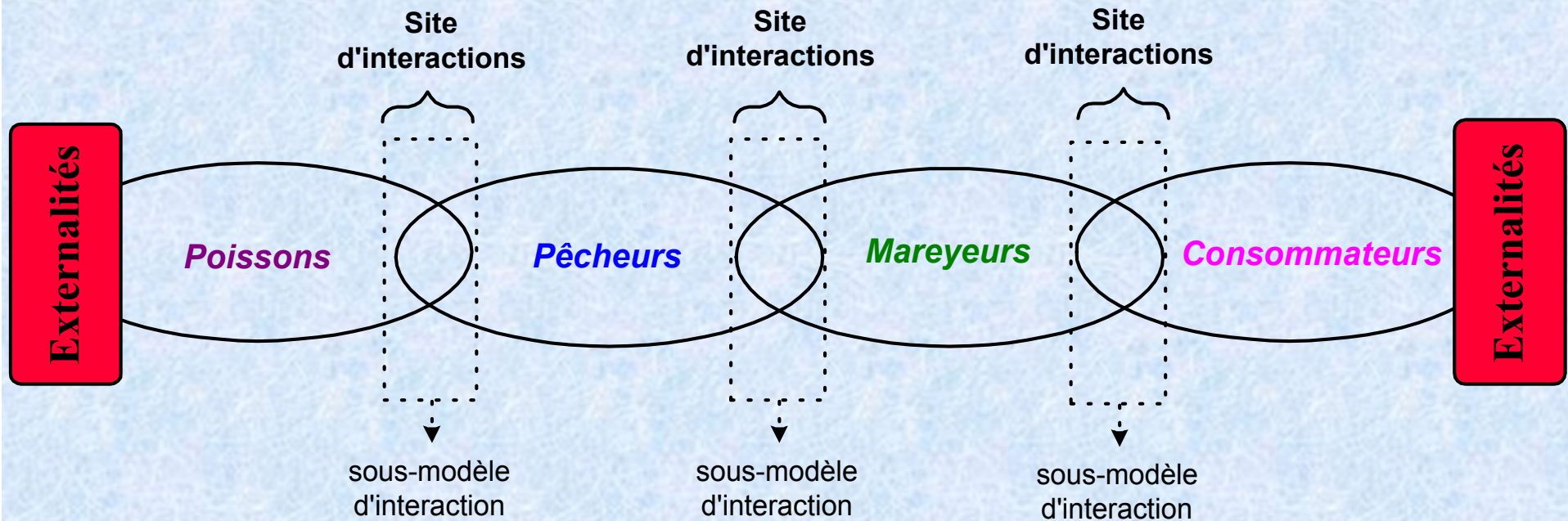
- offrir un prix, répondre à une offre,
- acheter, vendre,
- apprécier ses achats, ses ventes,
- évaluer ses besoins, ses coûts, gains, pertes, l'offre, la demande,
- choisir un marché, un port,
- se déplacer.

**Veut (objectifs):**

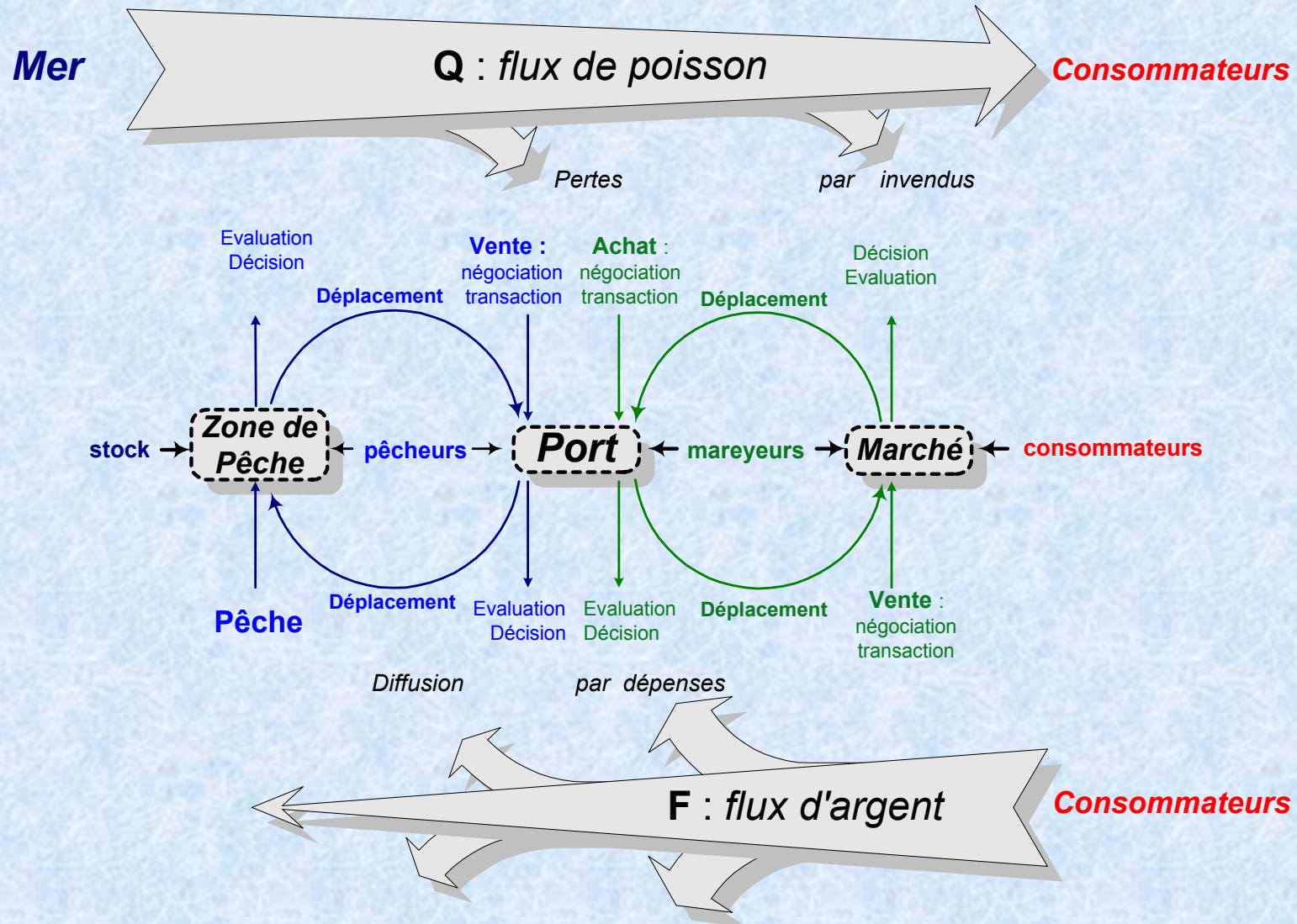
- acheter,
- vendre.



# Mopa (3/4): structure du modèle



# Mopa (4/4): étude de flux émergents







# Les différents niveaux de la vérification *(euh!, expérimental)*

1. Justesse et parcimonie des mécanismes (analyse et formalisation)
2. Cohérence informatique (dépistage des bugs)
3. Cohérence formelle (analyse sensibilité)
4. Cohérence fonctionnelle (logique des dynamiques)
5. Calibration – identification (quantification)
6. Validation formelle (robustesse)
7. Validation conceptuelle (théorie)



# 1. Justesse et parcimonie des mécanismes

- Les SMA sont surtout fondés sur la formalisation de **comportements** (transformés en variables)
- Exemple: processus de décision du pêcheur
  - Le pêcheur préfère ...  
"je préfère de bons prix et ne pas aller loin", "je vais où j'ai confiance mais je ne veux pas perdre", "je cherche de bons rendements pour différentes espèces", "je vais dans les ports les mieux fournis en mareyeurs", etc. ?
  - ou/et le pêcheur préfère ...  
" je cherche à protéger ma famille" , "je dois honorer mon marabout", "je resquille pour aller jouer au foot", etc. ?

# Justesse et parcimonie des mécanismes:

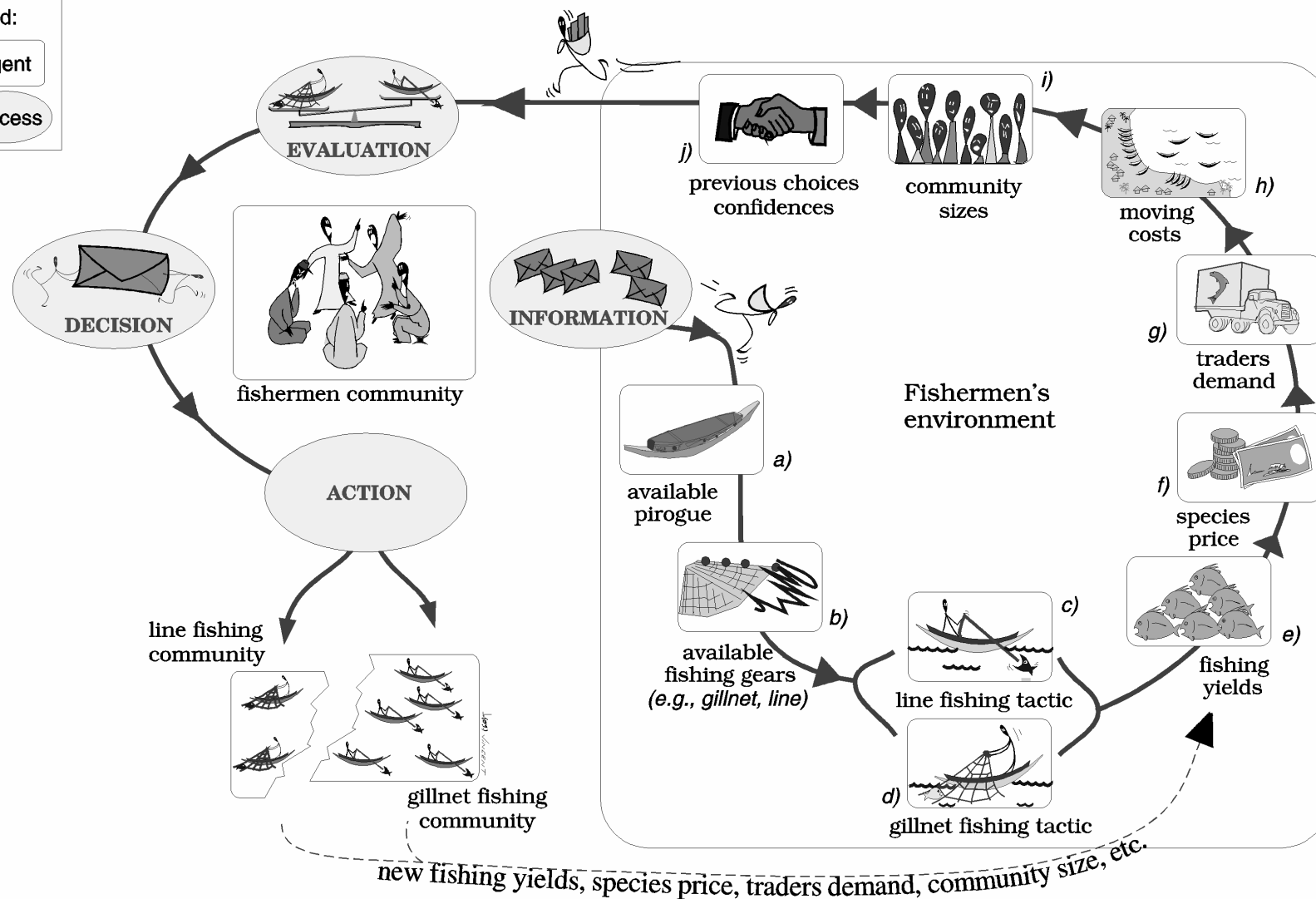
Exemple de représentation des délibérations: choix d'une technique de pêche



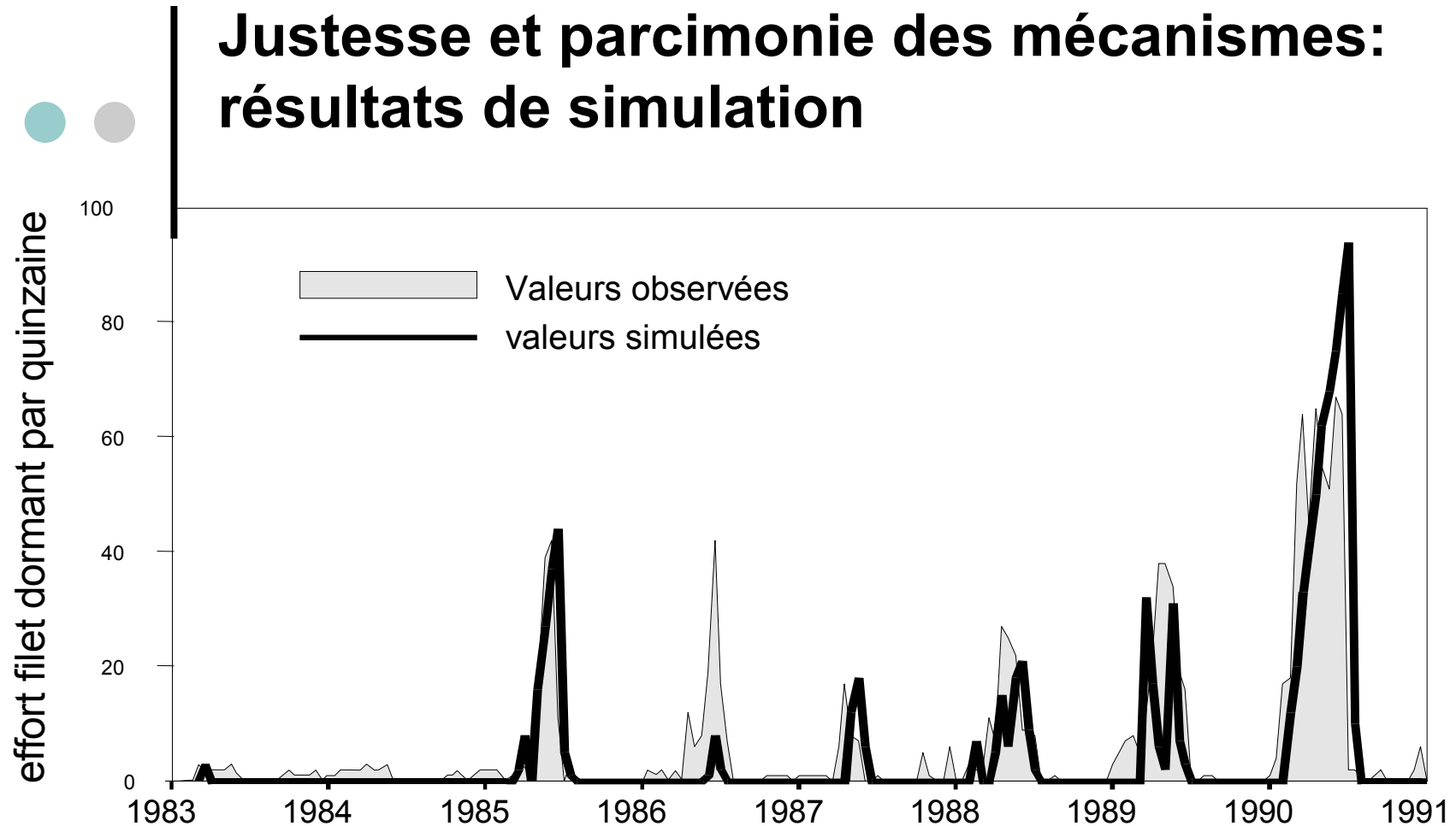
legend:

agent

process



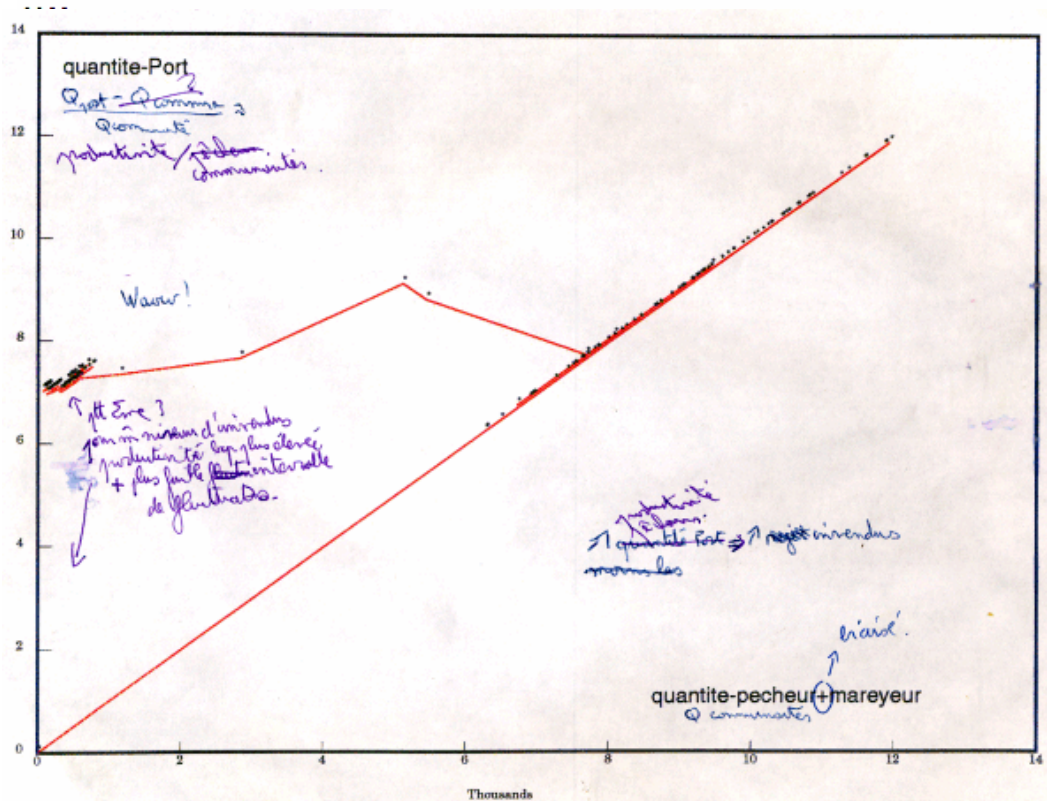
# Justesse et parcimonie des mécanismes: résultats de simulation



- **Plusieurs autres formalismes ont été testés avec des résultats équivalents**
- **-> Pertinence ?**

-> Les processus de décision sont trop complexes pour pouvoir être formalisés dans une optique explicative; on peut cependant parvenir dans la plupart des cas à une représentation (descriptive)

## 2. Cohérence informatique: Validité du programme (170 méthodes, n\*100 lignes)



```

(Communaute):nfois ---> acteur=arret-sl-3
(Communaute):nfois <--- 465
(Communaute):quantite <--- 0.
{Geos}:cout_transport <--- 1255500.
(SPA):if-modified ---> spa=arret-sl-3 champ=argents old=(
1.42442e+07 1.42442e+07 -9.99999e+20 1.42442e+07 1.42442e+07
1.42442e+07) valeur=(1.403495e+07 1.403495e+07 -9.99999e+20
1.403495e+07 1.403495e+07 1.403495e+07)
(SPA):if-modified <--- ()
(SPA):if-modified ---> spa=arret-sl-3 champ=couts old=(1255500.
1255500. 1255500. 1255500. 1255500.) valeur=(1464750.
1464750. 1464750. 1464750. 1464750.)
(SPA):if-modified <--- ()
(Communaute):argent ---> acteur=arret-sl-3
(Communaute):nfois ---> acteur=arret-sl-3
(Communaute):nfois <--- 465
>>>>>> A T T E N T I O N,
31 arret-sl-3: quantites d'ARGENT negatives ((1.403495e+07
1.403495e+07 -9.99999e+20 1.403495e+07 1.403495e+07
1.403495e+07) / (requins capitaines soles courbine raies
machoirons))
(Communaute):argent <--- 0
(Communaute):nfois ---> acteur=arret-sl-3
(Communaute):nfois <--- 465
[transport:OKFCFA][Active]:site-before-write <---
saint-louis_mer
{Pecheur}:site-before-write <--- saint-louis_mer
(SPA):if-modified ---> spa=arret-sl-3 champ=site old=
saint-louis valeur=saint-louis_mer
(Com):if-modified <--- ()
  
```

Et tous ceux que l'on n'a peut-être pas trouvé ... 😞 😊

rants=arret-sl-3 new=

```

{Geos}:Communautes-before-write ---> geos=saint-louis_mer new=(
arret-sl-3 fd-sl-1)
  
```

### 3. Vérification de la cohérence formelle: l'analyse de sensibilité:

1. Etude d'une source de fluctuation sur les dynamiques simulées
2. sélection d'indicateurs (Q, F, Consommation)
3. types de fluctuations

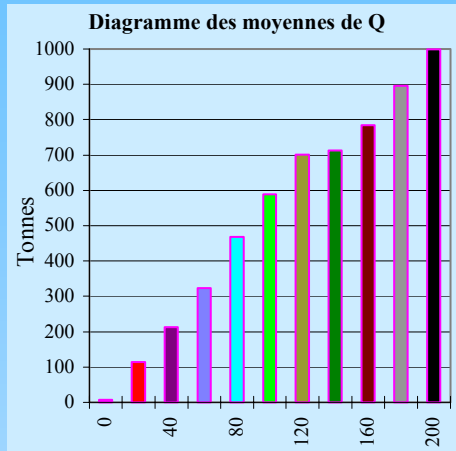
*Travaux DEA Pierre Bommel, 1998*

## Analyse de sensibilité: classification des paramètres en fonction de leur position dans le modèle

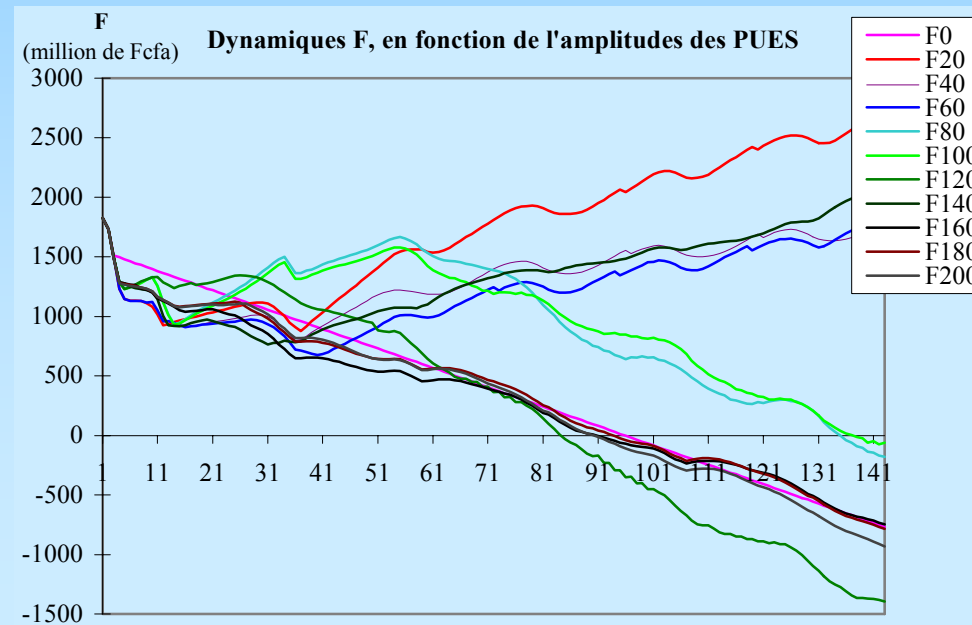
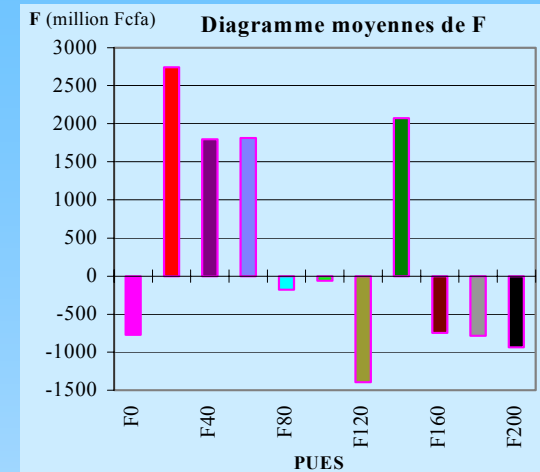
- externalités
- conditions initiales
- paramètres d'actions indépendantes
- paramètres d'interaction (variables informatiques)

# Sensibilité aux variations des « externalités »

ex: Prises par unité d'effort



Le choix des indicateurs est déterminant

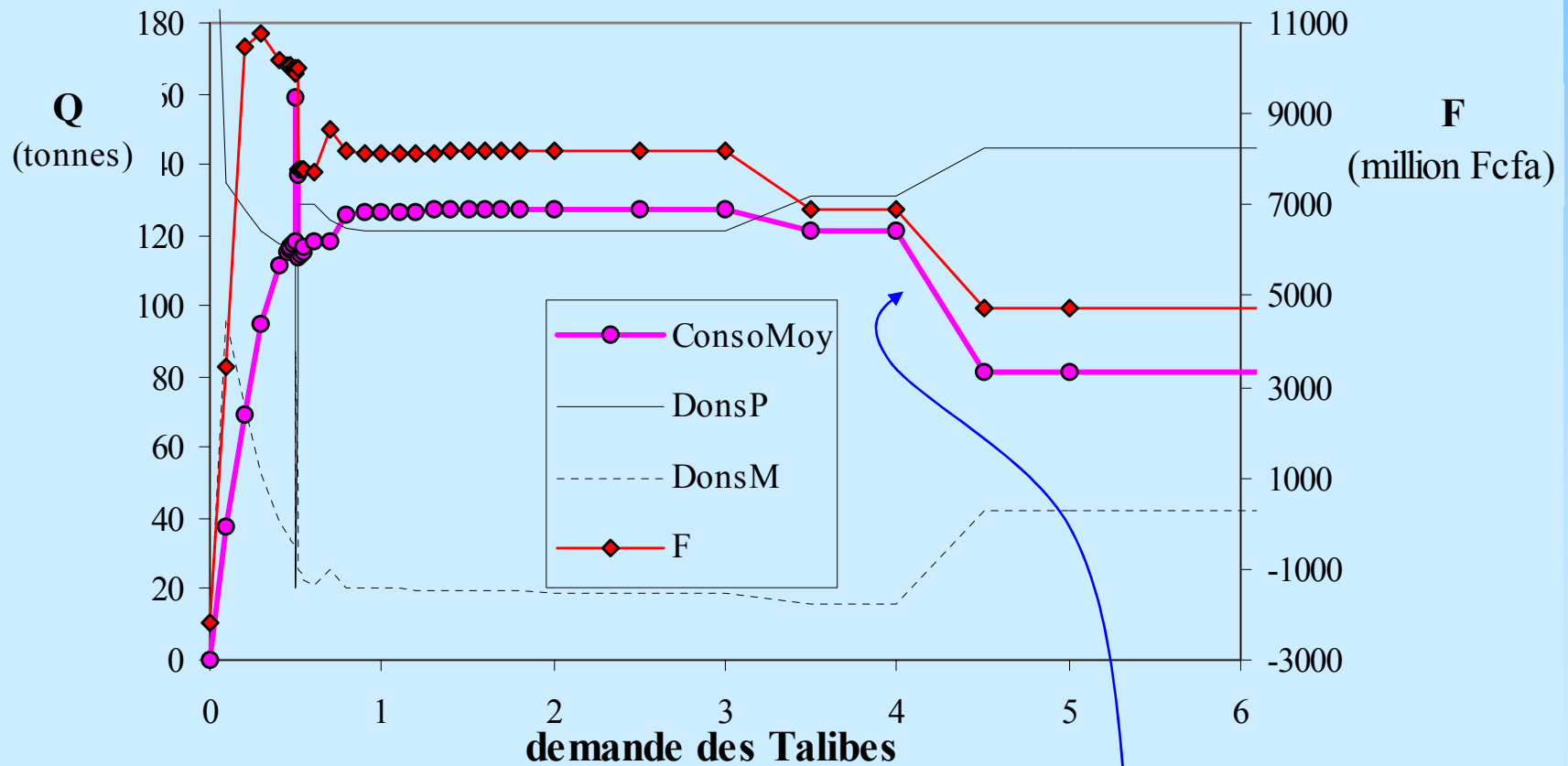




# Sensibilités aux variations des externalités :

## Demande des consommateurs

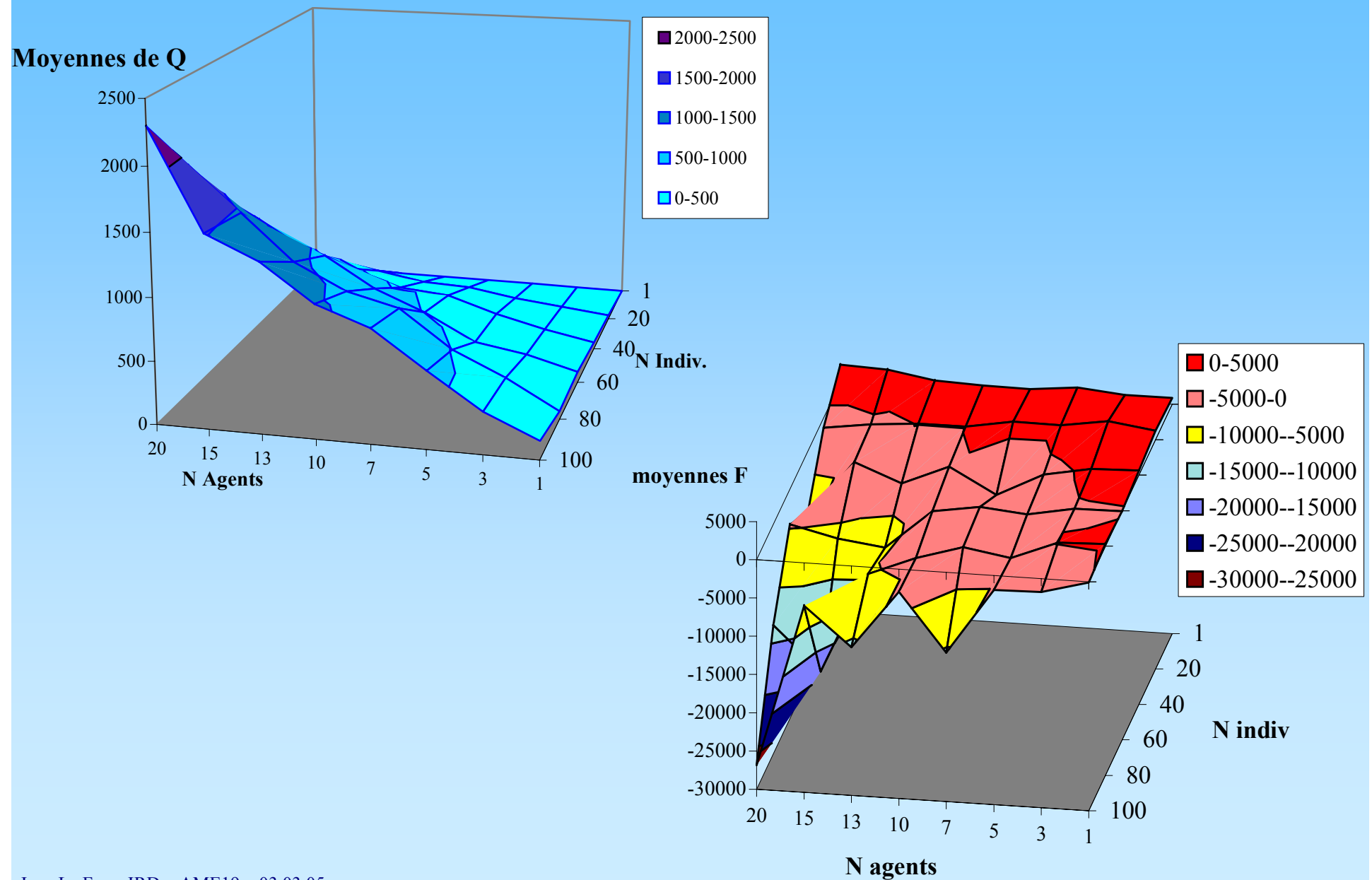
Moyennes des quantités consommées en fonction de la demande



Il est crucial de pouvoir capter (par hasard ???) ce type de comportement

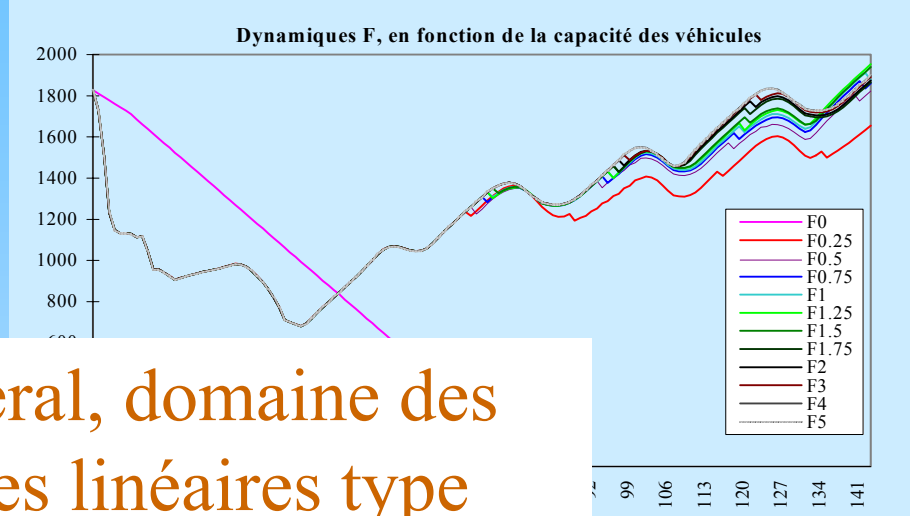
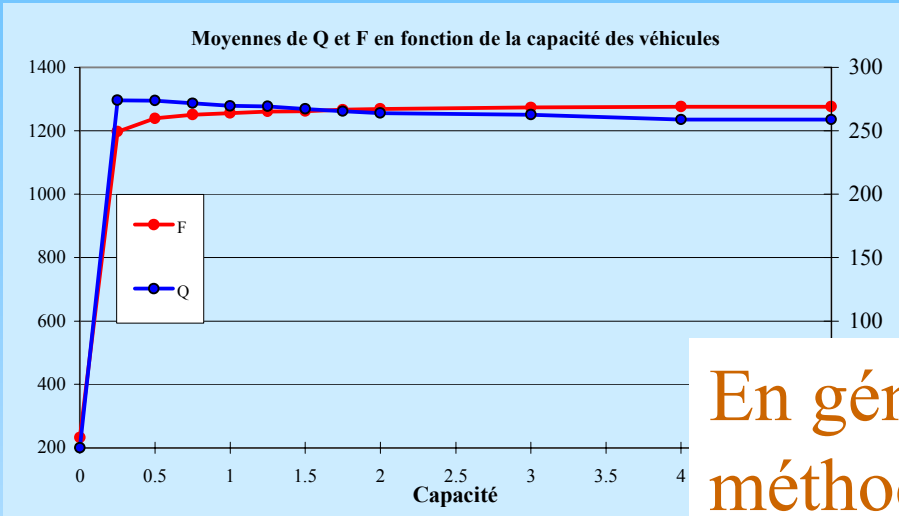
(kg/jour/personne)

# Sensibilité aux conditions initiales



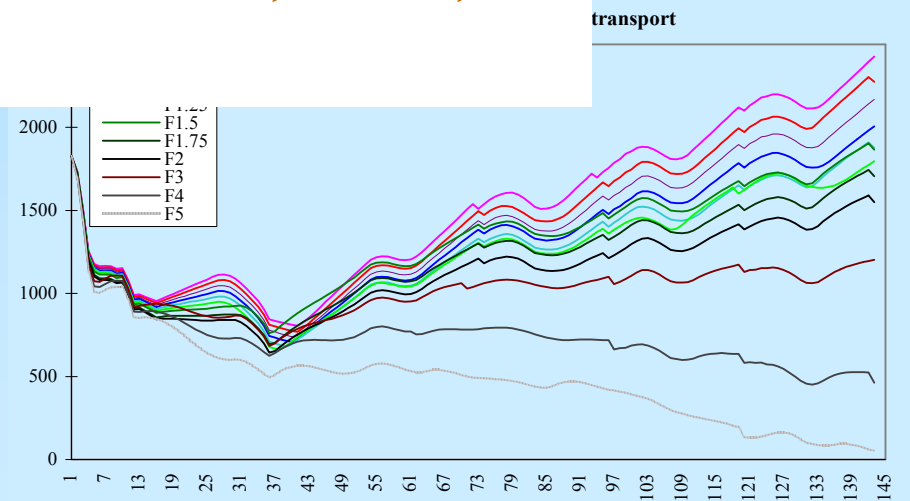
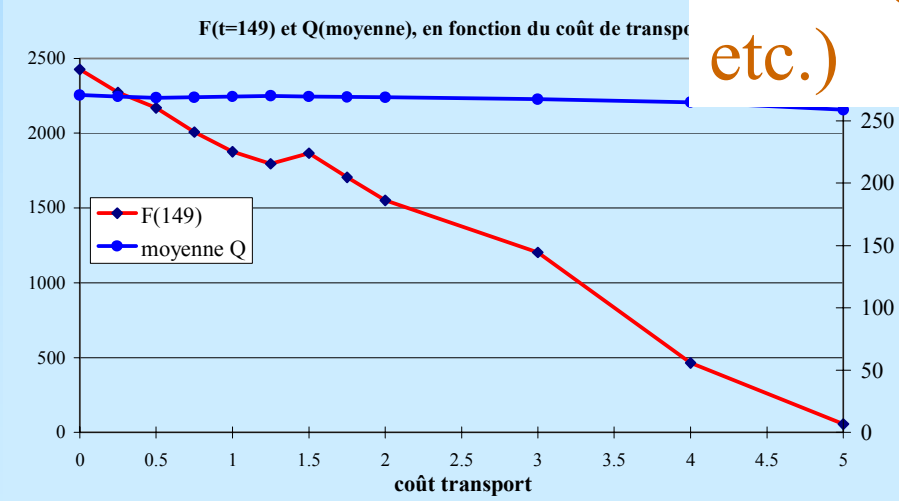
# Sensibilité aux paramètres d'actions indépendantes

Ex: coûts de transport, capacité des véhicules



En général, domaine des méthodes linéaires type EDO (biomasses, effort, etc.)

## Coût de transport



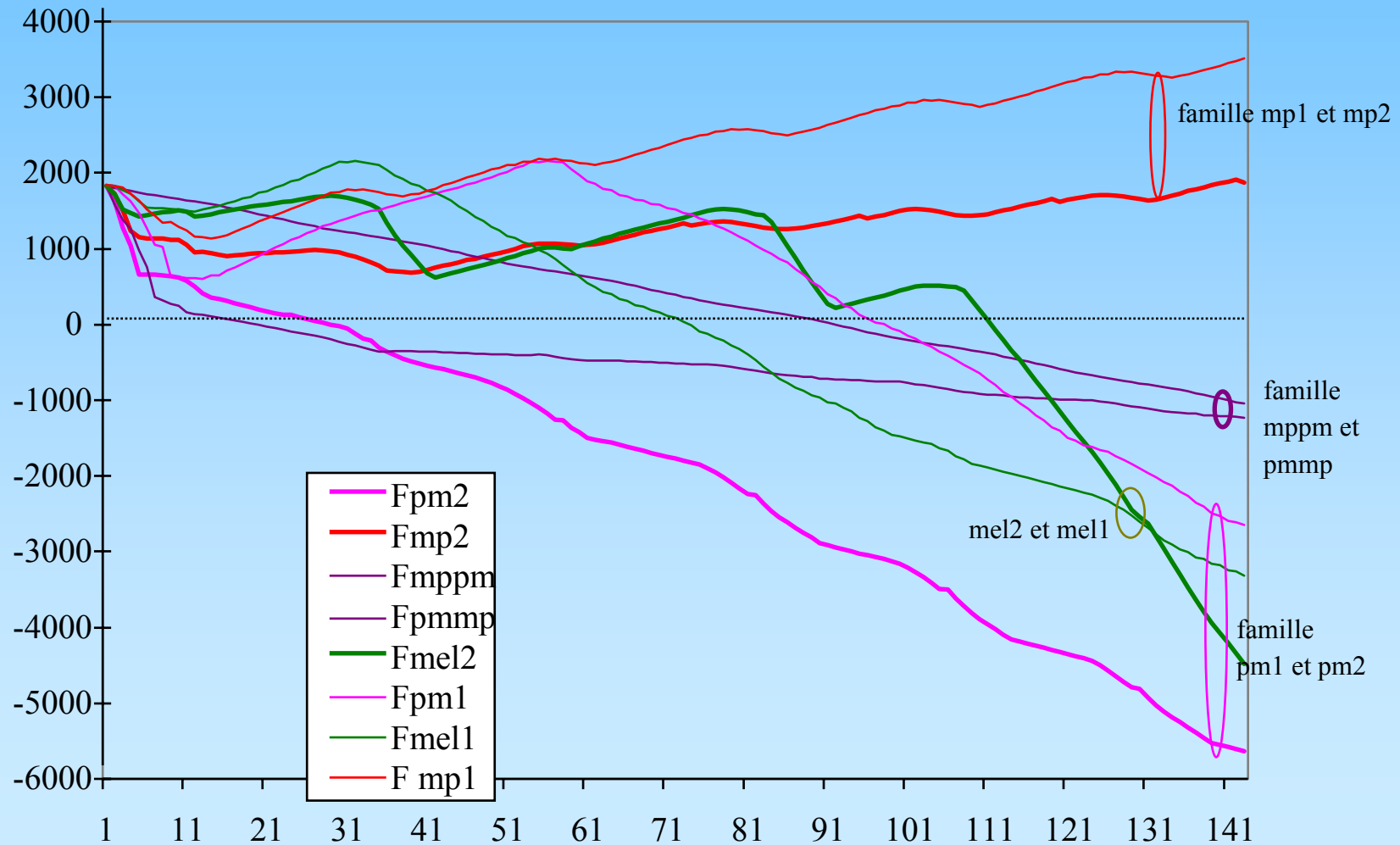
# L'analyse de sensibilité - bilan

- L'analyse de sensibilité constitue l'approche la plus pertinente pour aborder ce type de modèle
- C'est elle qui renseigne sur **l'espace d'état où le modèle est valide** (i.e., intéressant – utile).
  
- Problème 1: le choix des indicateurs est subjectif (à valider !!) et limité
- Problème 2: ...

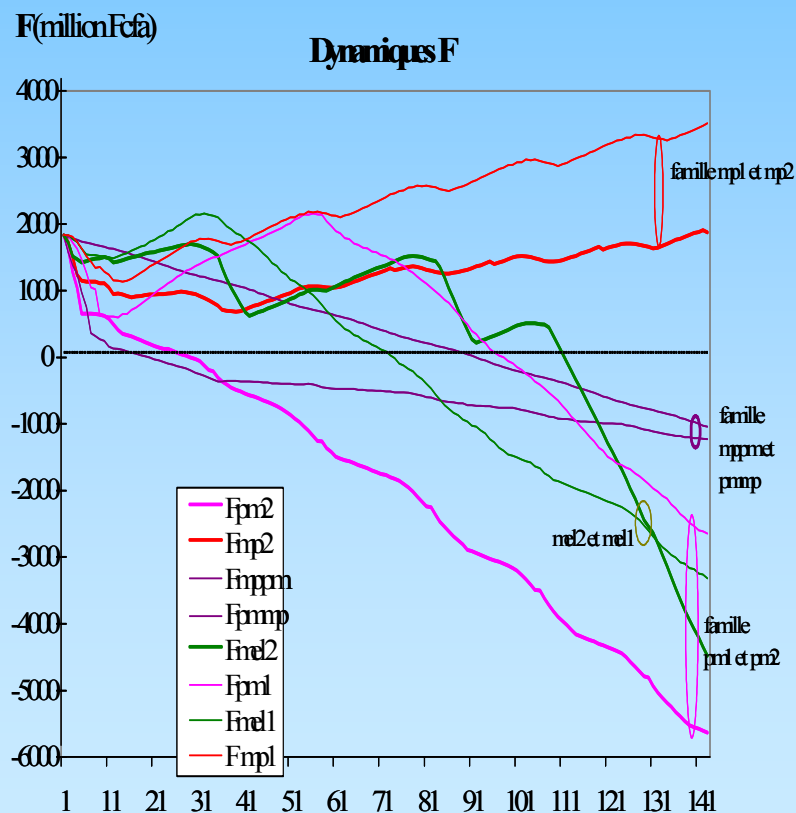
## Problème 2: sensibilité aux variables informatiques (ex: asynchronie)

F (million Fcfa)

Dynamiques F



# Dans ces conditions...



- Q: quelle validité pour les SMA ?
- a) mise en évidence du poids de l'interaction
- b) interaction: déterminant majeur du **monde réel**
- SMA=nouveau rapprochement du « monde réel »
- Coût à payer (rigueur indécidabilité) -> acceptable ?

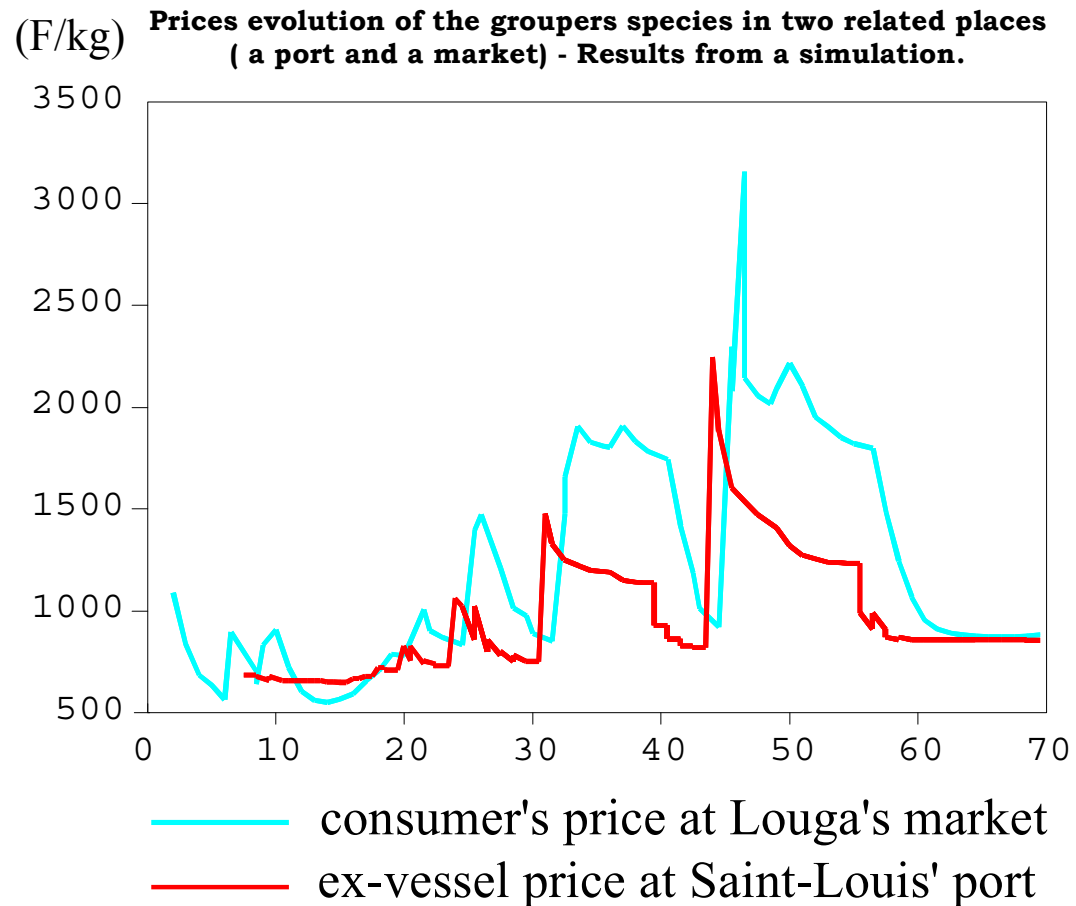
# 4. Validation par cohérence fonctionnelle

---

1. Présentation de l'approche
2. Plaidoyer pour la surparamétrisation

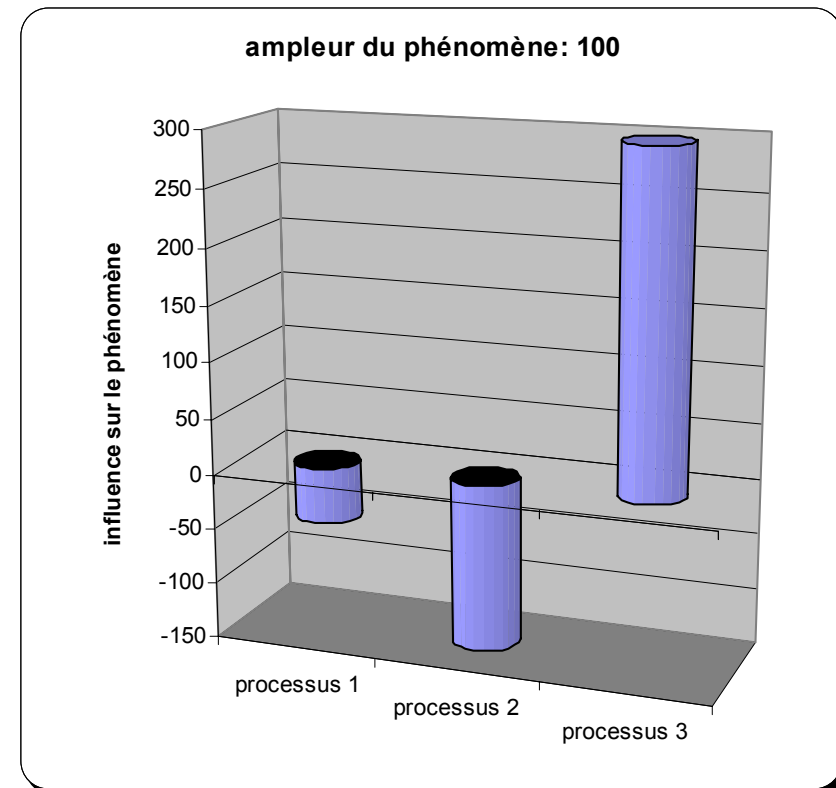
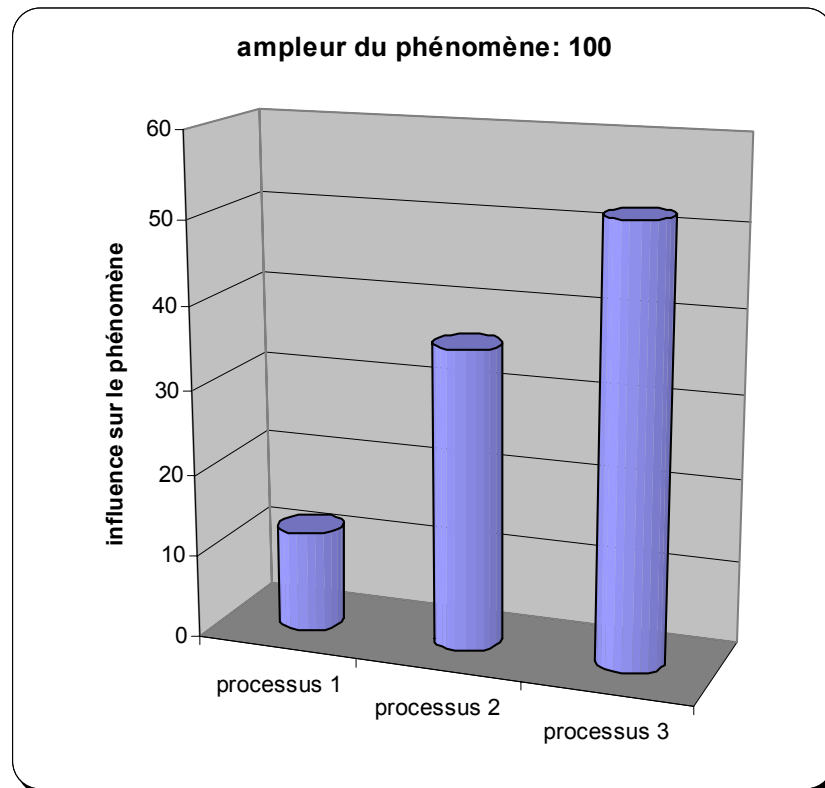
# Cohérence fonctionnelle/logique

- comparaison des dynamiques produites avec un schéma logique de ces activités (les acteurs pêchent, les mareyeurs mareyent, les acteurs choisissent, les sites se vident et se remplissent, des transactions s'effectuent, les prix fluctuent).
- Bien que la cohérence semble respectée le modèle ne reproduit pas les niveaux observés dans la réalité (ex: les prix simulés peuvent différer d'un facteur quatre par rapport aux valeurs réellement observées).
- Le modèle permet cependant d'étudier les performances combinées de l'exploitation en termes monétaires, de production, de travail, ainsi que les effets multi-sectoriels de divers types de perturbation.



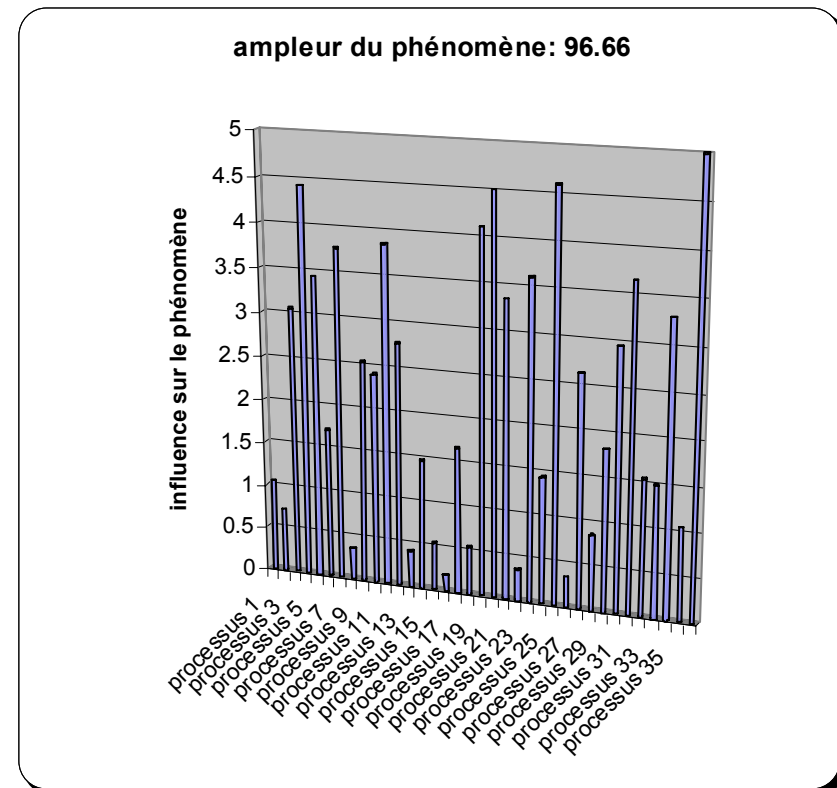
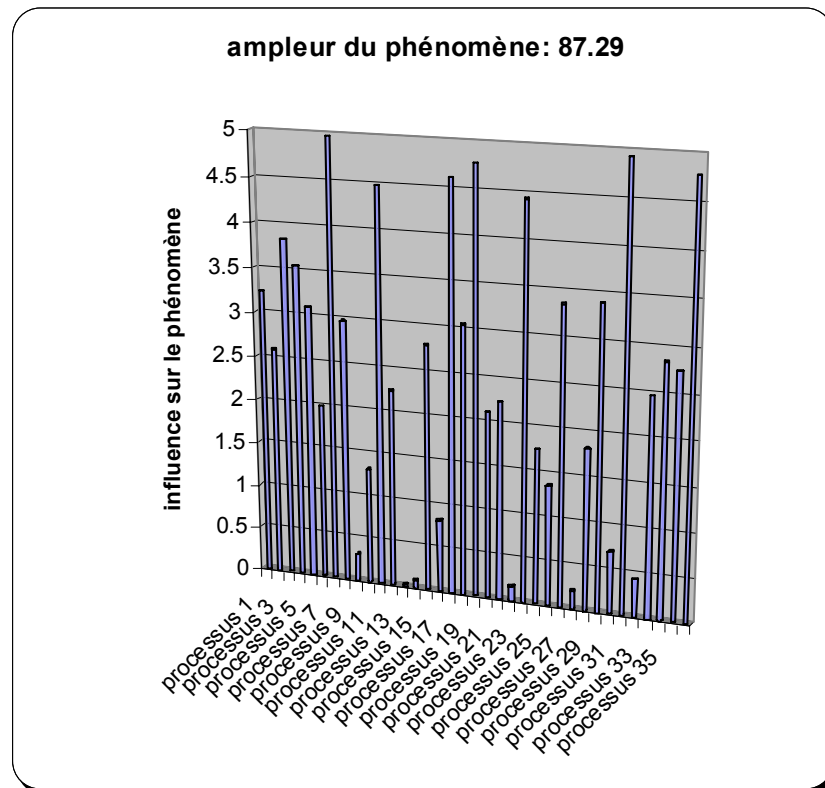


# Validation par cohérence, plaidoyer pour la sur-paramétrisation (2/2)



Sur-paramétrisation: plus d'équations que de données

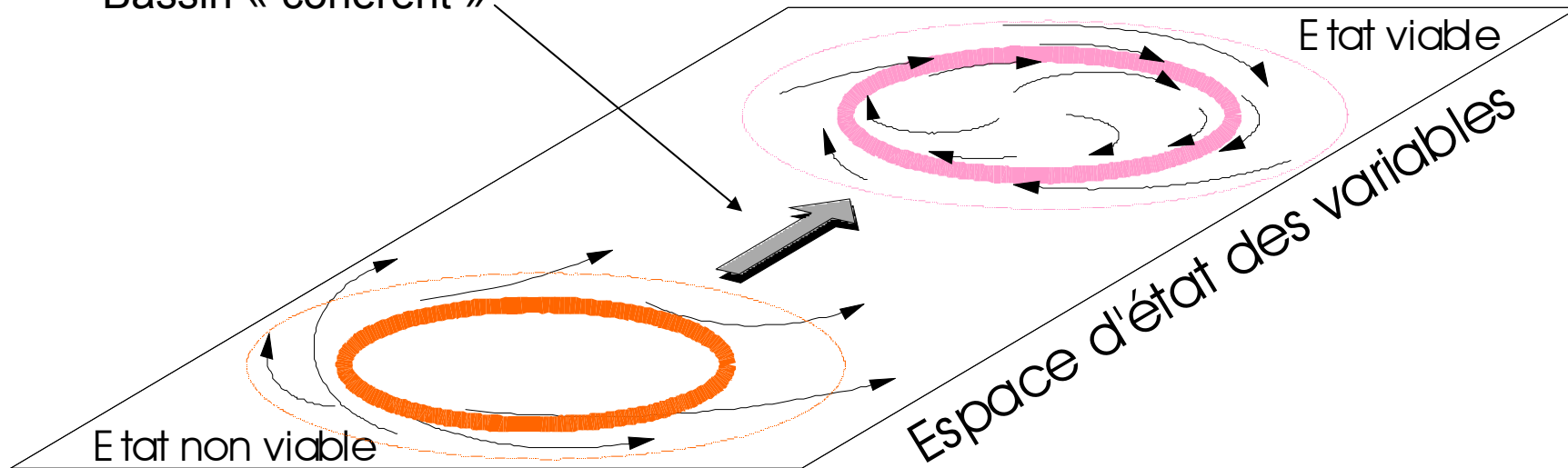
# Validation par cohérence, plaidoyer pour la surparamétrisation (2/2)



Les chances d'obtenir un résultat identique à l'observation sont plus faibles

# Dans les SC, l'interdépendance et la diversité résultent en des dynamiques globales (émergentes)

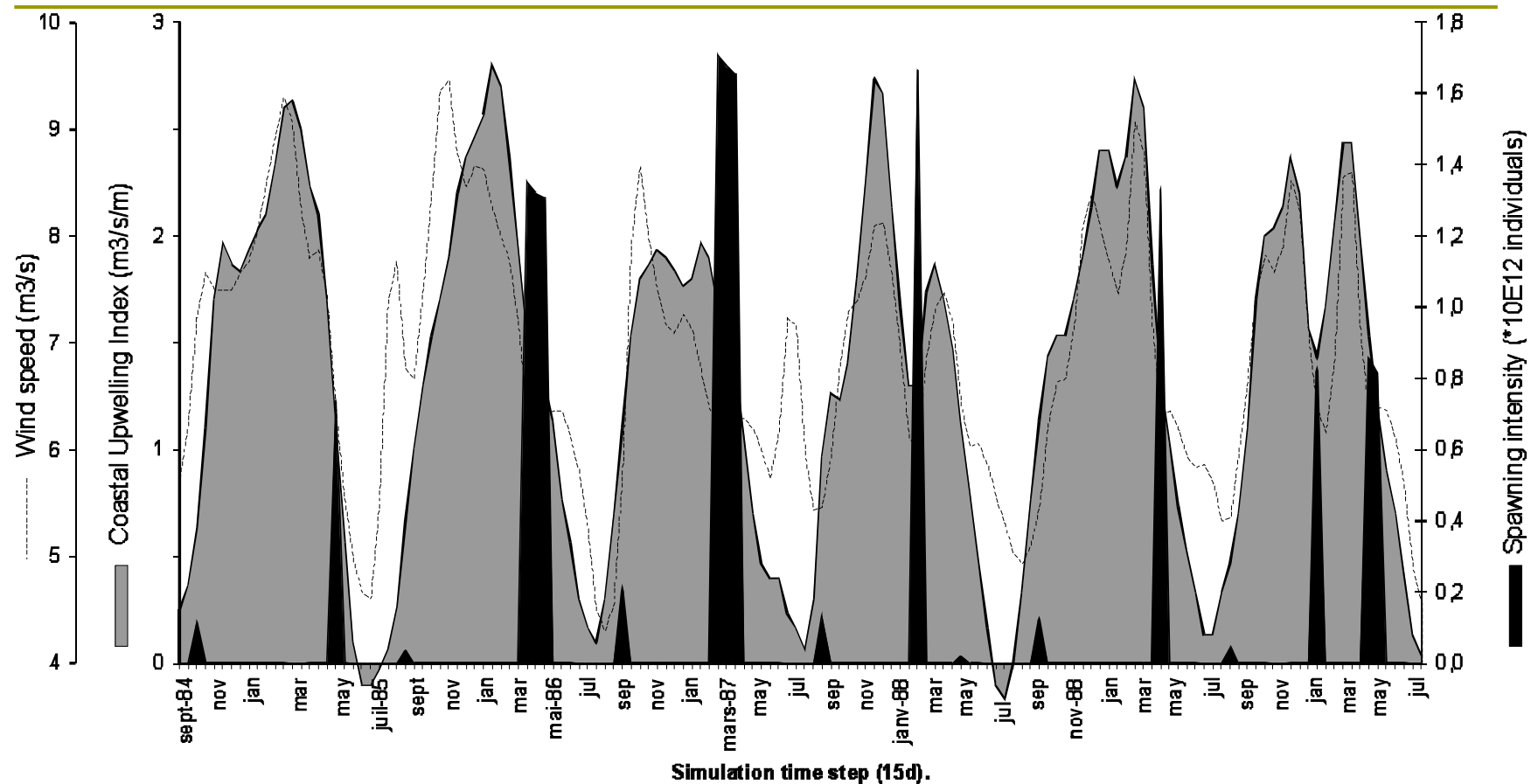
Auto-organisation  
Auto-adaptation  
-> convergence vers un  
Bassin « cohérent »



Nombre de bassins 'cohérents' =  $f(1 / \text{nombre de 'paramètres') ?$

# Validation par cohérence: plaider pour la sur-paramétrisation

exemple de la dynamique des sardinelles (LeFur & Simon)



**Pertinence :**

1. La surparamétrisation -> renforcement de la confiance

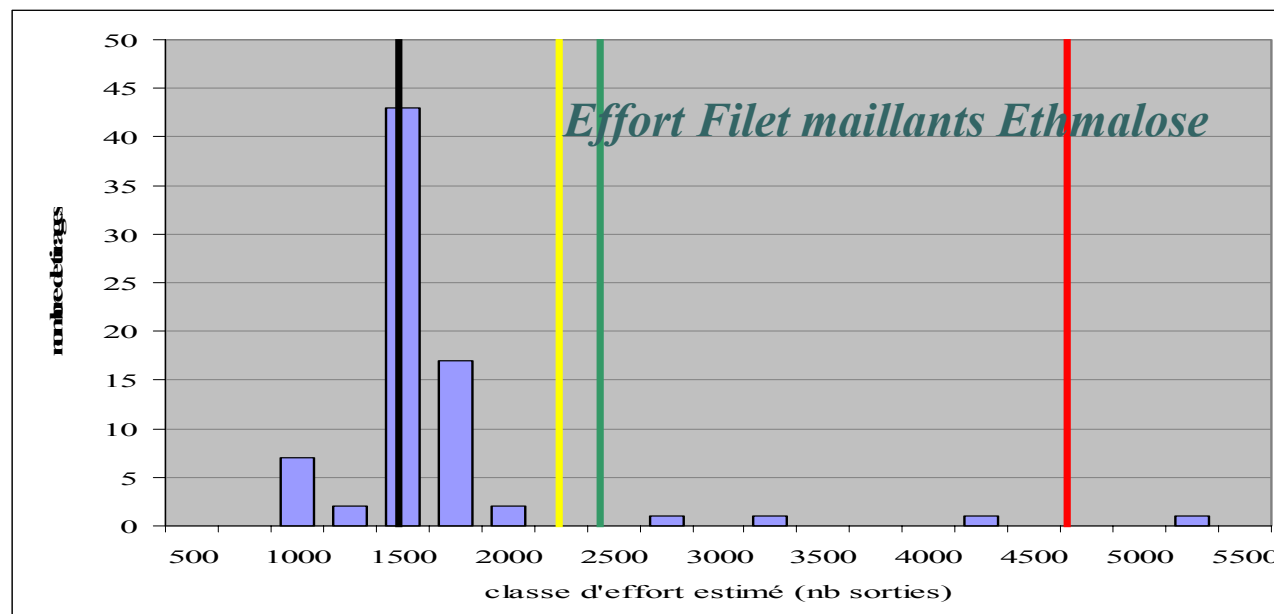
# Calibration/identification

## 1: validité des données d'entrée – pb des SC

- SENEGAL (GSM): the whole system is composed of 3.193 fishing teams, 1.278 traders vehicles, 75.479 customers, 1 factory (standing for the whole exportation fluxes), 14 markets, 9 ports, 13 fishing zones, 5 fishing gears, 6 vehicle types and 21 types of fish species -> *quelle confiance globale dans les données entrées?*

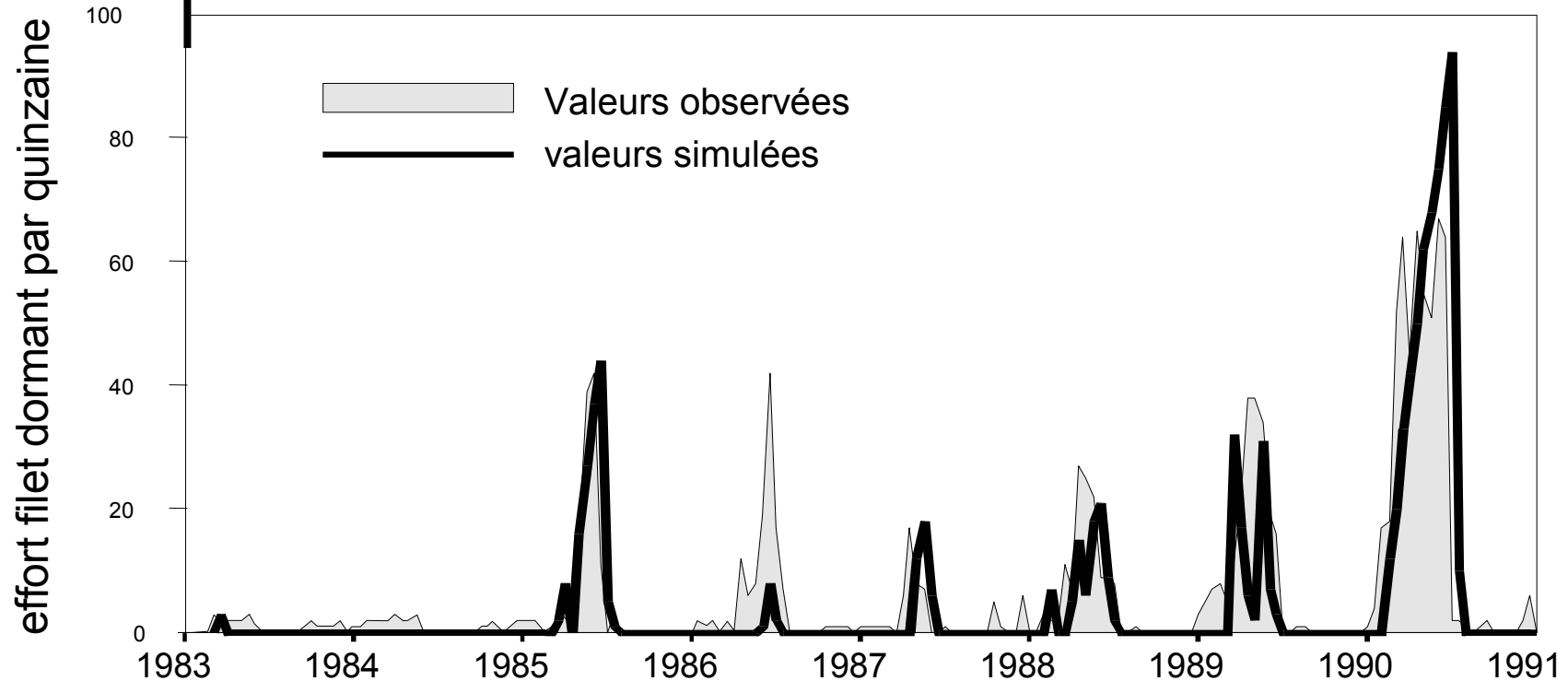
GUINEE: Expérience de suréchantillonnage sur les données (DAA Y.Camara)

- Bleu fréquences obtenues pour 75 tirages-estimations
- Trait rouge: résultats de l'enquête standard
- Trait jaune: calcul à la main
- Trait vert: calcul à partir des données du sur-échantillonnage
- Trait noir: moyenne des résultats des tirages.



# 5. Calibration / identification

2 pertinence vis-à-vis des SC



## Pertinence :

1. Qu'en est-il des autres processus ?
2. Doit être considérée comme un préliminaire de la validation par cohérence fonctionnelle ?
3. ou comme un complément ?



# Problème de l'identification des modèles de système complexe: des conséquences conséquentes

- Calibration/identification: modification des paramètres d'ajustements jusqu'à la restitution des dynamiques observées
- => La validation ultérieure doit se faire sur un jeu de données différent de celui qui a servi à la calibration
- Dans le cas d'une problématique de modélisation d'un système halieutique, il faut appliquer le modèle sur un autre secteur que celui ayant servi à construire le modèle  
-> validation par comparaison

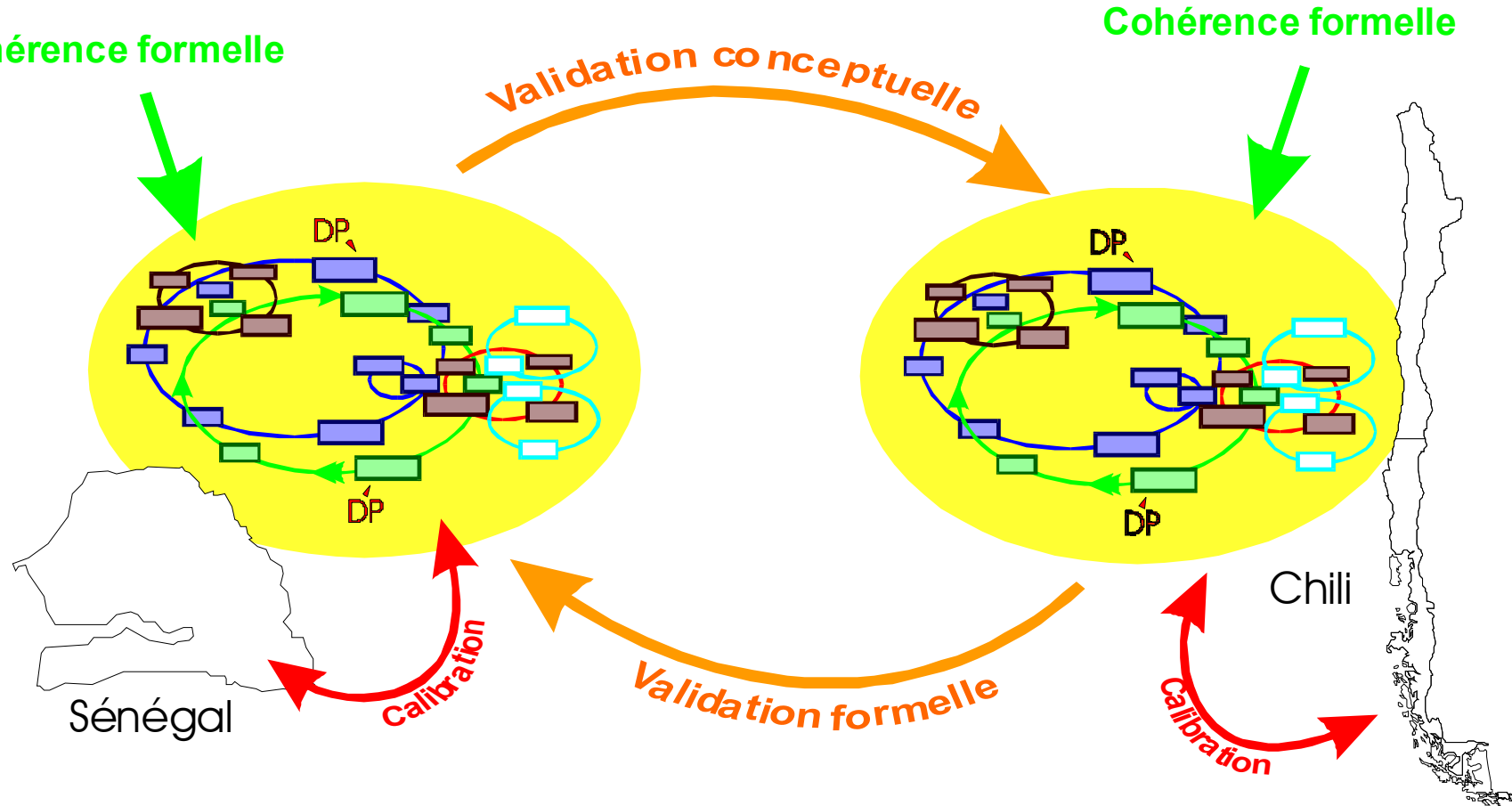


# 6,7- Validation par comparaison

- aperçu

Cohérence formelle

Cohérence formelle







# Validation par comparaison

(validation conceptuelle)

1. **Objectifs:** déterminer si l'approche retenue et le modèle qui en a découlé sont aptes à rendre compte de domaines halieutiques différents de la stricte exploitation artisanale sénégalaise.
2. **Méthode:** distinguer, parmi les structures et les fonctions qui ont été représentées, celles qui sont locales, plus spécifiques au Sénégal, de celles qui sont génériques et transposables à d'autres domaines (ex: décision, transaction, organisation, réponse au changement).
3. **Finalité:** évaluer la robustesse de l'approche proposée (SMA-SC) pour la modélisation des exploitations halieutiques.
4. **Contrainte:** choisir un domaine pour lequel un minimum de points communs puissent être retrouvés (e.g., ceinture intertropicale, domaine halieutique reconnu complexe, connaissance scientifique disponible sur le domaine).



# Validation par comparaison: *illustration*

Sénégal



Chili

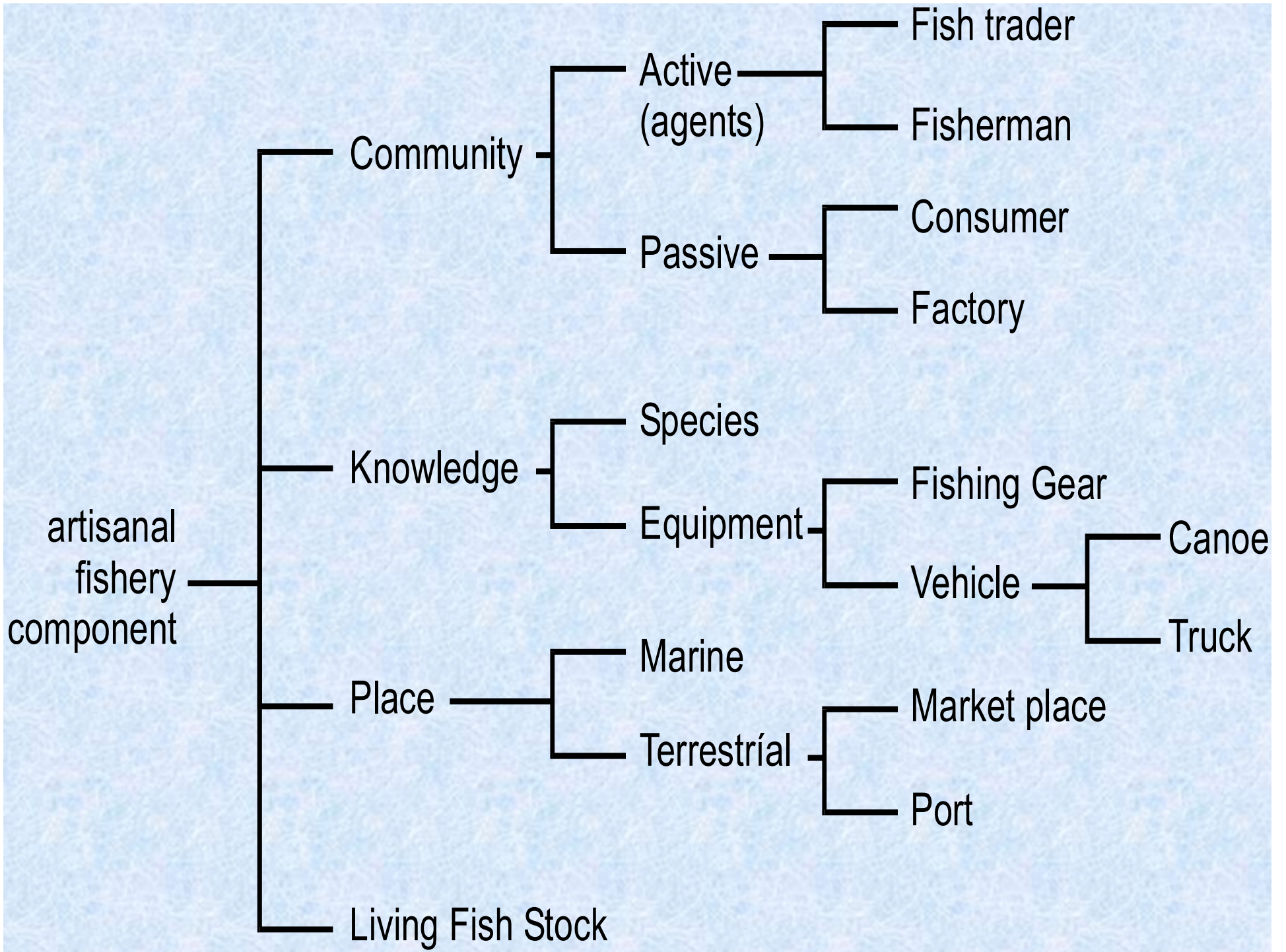


Guinée



Indonésie





# Nouvelles approches de la validation

Confiance, perception,  
utilité,...



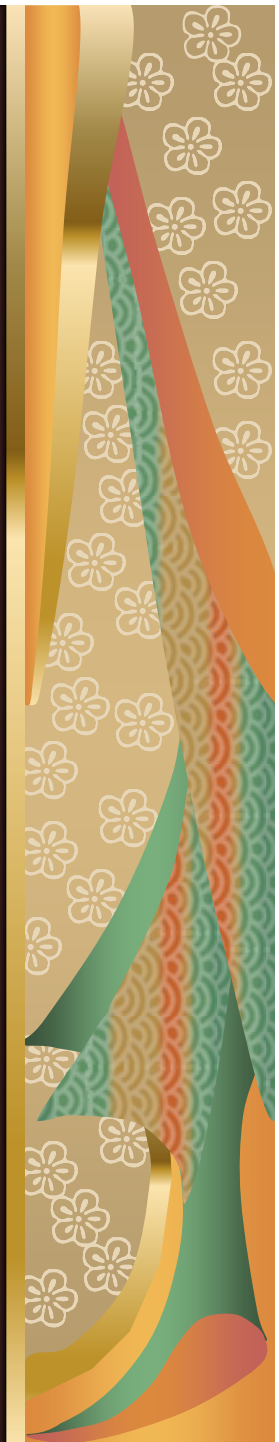
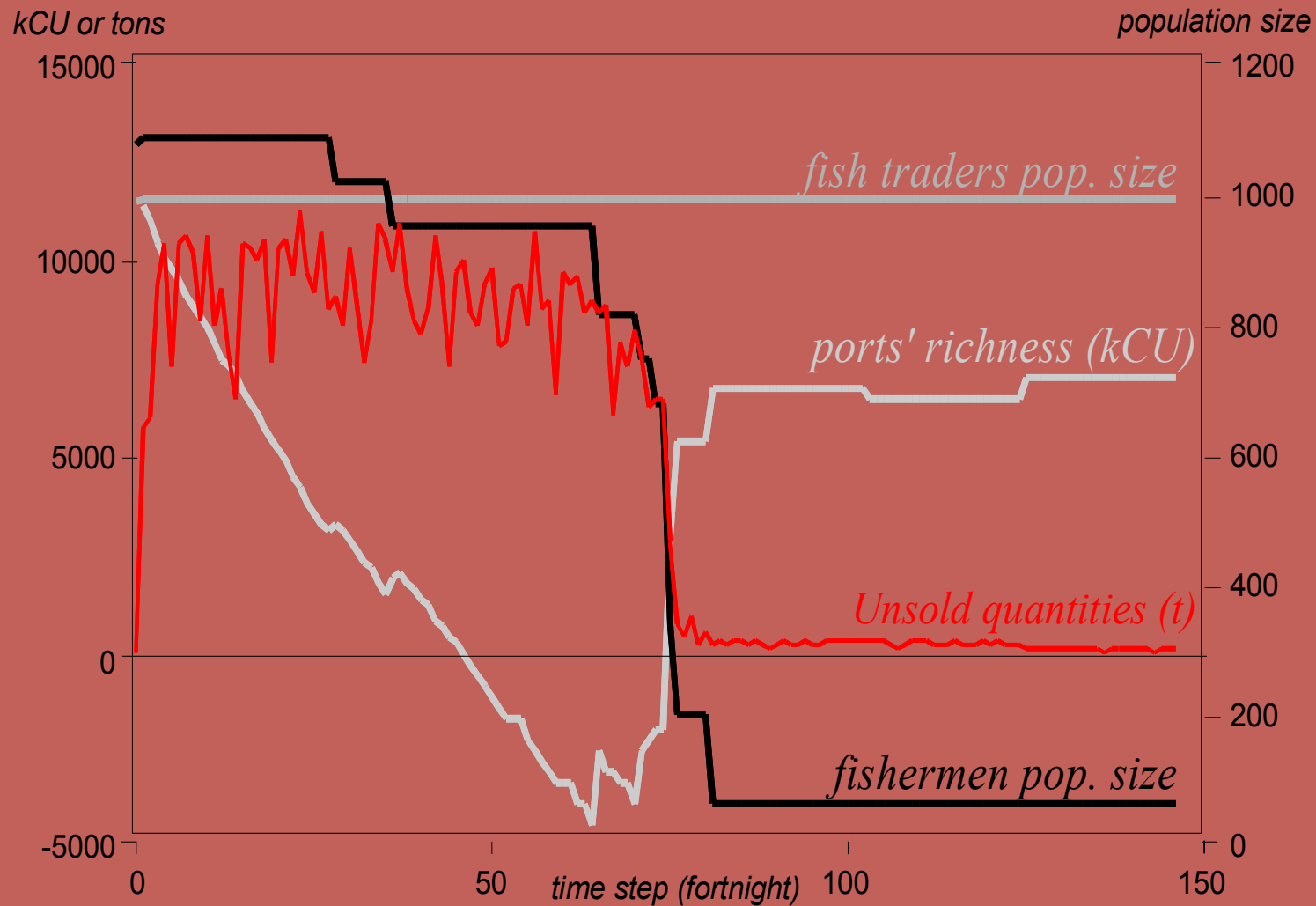
# La validation « floue » (la plus convaincante ?) : le degré de confiance

*Casti 1994*: Quelle **confiance** plaçons nous dans les modèles =

- (i) à quelle question voulons nous que le modèle réponde ?
- (ii) jusqu'où la réponse doit-elle être bonne (accurate) ?



# Validation par la confiance : émergence, auto-organisation, auto-adaptation, et autres délices



## La validation par la confiance, l'utilité, la perception

Casti (1994) "Suppose we want to inform ourselves about the looks of Gertrude Stein. Will we learn more from Picasso's famous portrait of her or from a photograph?"



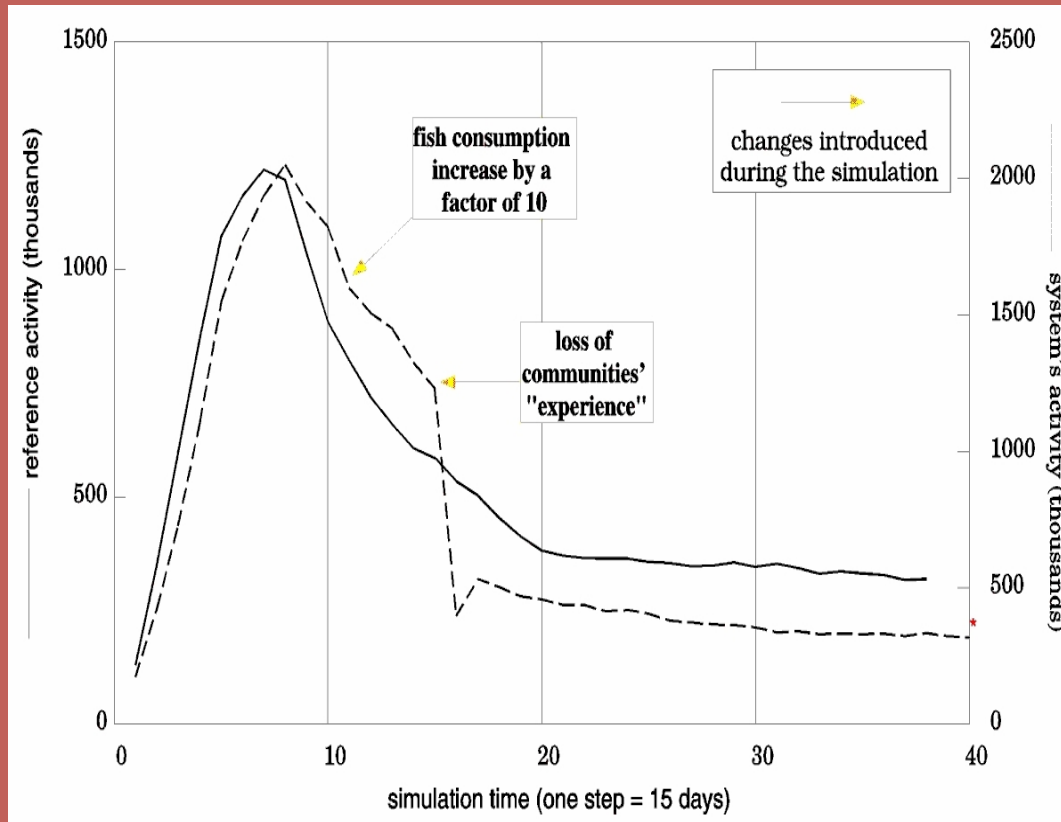
# L'illusion des mondes *in silico* ?

Problèmes liés à la nature  
des résultats





# Problèmes liés à la nature des résultats



Variable activité du système (nombre de messages envoyés)

Est-ce un artéfact ?

- Si oui, cela a-t-il malgré tout un intérêt ?
- Si non, quelle validation = ?

des règles à suivre SVP ???

# Des règles à suivre ...

(Critères d'évaluation de la validité des modèles selon Casti (1994))

- Opérationnel: le modèle peut-il fournir des réponses aux questions pour lesquelles il a été conçu ?
- Empirical: le modèle est-il conforme aux données observées liées au problème considéré ?
- Theoretical: Le modèle contredit-il une théorie établie ?
- Consistency: Le modèle recèle-t-il des inconsistances ?
- Faith: Est ce que des spécialistes du domaine modélisé pensent que le modèle produit des résultats crédibles ?
- Testing: le modèle peut-il être testé dans le monde réel ?



# Discussion

Avec tout ça,  
finalement,  
ce modèle est-il valide ?

A-t-on accru notre confiance ?

# Des perspectives ?

## UN échange de message entre DEUX agents

```
loop
  do read(p);
  if  $p \wedge \neg B_{rcv}p$  then
    do putmsg(inform(snd, rcv, p));
  if  $\neg p \wedge \neg B_{rcv}\neg p$  then
    do putmsg(inform(snd, rcv,  $\neg p$ ));
  do getmsg(m);
  if (m = inform(rcv, snd,  $B_{rcv}p$ )) then
     $B_{rcv}p := true \wedge B_{rcv}\neg p := false$ ;
  if (m = inform(rcv, snd,  $B_{rcv}\neg p$ )) then
     $B_{rcv}\neg p := true \wedge B_{rcv}p := false$ ;
endloop
```

```
loop
  do getmsg(m);
  if (m = inform(snd, rcv, p)) then
     $p := true \wedge$ 
    do putmsg(inform(rcv, snd,  $B_{rcv}p$ ));
  if (m = inform(snd, rcv,  $\neg p$ )) then
     $p := false \wedge$ 
    do putmsg(inform(rcv, snd,  $B_{rcv}\neg p$ ));
endloop
```

agent protocol is

```
init  $\forall p \in AP : p := false$ 
loop
   $\forall p \in AP : p := false$ ;
  {
     $B_{snd} \forall F \text{ do(putmsg(inform(snd, rcv, p)))} := true \wedge$ 
     $B_{rcv} \forall F \text{ do(getmsg(inform(snd, rcv, p)))} := true$ 
  } | {
     $B_{snd} \forall F \text{ do(putmsg(inform(snd, rcv, } \neg p))} := true \wedge$ 
     $B_{rcv} \forall F \text{ do(getmsg(inform(snd, rcv, } \neg p))} := true$ 
  };
   $\forall p \in AP : p := false$ ;
  {
     $B_{rcv} \forall F \text{ do(putmsg(inform(rcv, snd, } B_{rcv}p))} := true \wedge$ 
     $B_{snd} \forall F \text{ do(getmsg(inform(rcv, snd, } B_{rcv}p))} := true$ 
  } | {
     $B_{rcv} \forall F \text{ do(putmsg(inform(rcv, snd, } B_{rcv}\neg p))} := true \wedge$ 
     $B_{snd} \forall F \text{ do(getmsg(inform(rcv, snd, } B_{rcv}\neg p))} := true$ 
  }
endloop
```

# Conclusion

- À système complexe, recherche complexe: la diversité est la règle: chaque problématique et implémentation est un cas particulier
- Valider un modèle c'est bien définir son vrai domaine d'application, cela se fait progressivement et a posteriori
- C'est l'habileté et la rigueur du modélisateur qui fait le fiable et bon modèle; vive le travail artisanal !