

Cours 7

# **Modélisation mathématique de la gestion des ressources naturelles**

## **Vers une gestion durable des pêcheries**

**Nadia RAISSI**  
**Laboratoire d'Analyse Mathématique et Applications**



Ecole CIMPA : Vert numérique  
Biologie mathématique et Ecologie théorique 02 octobre 2022

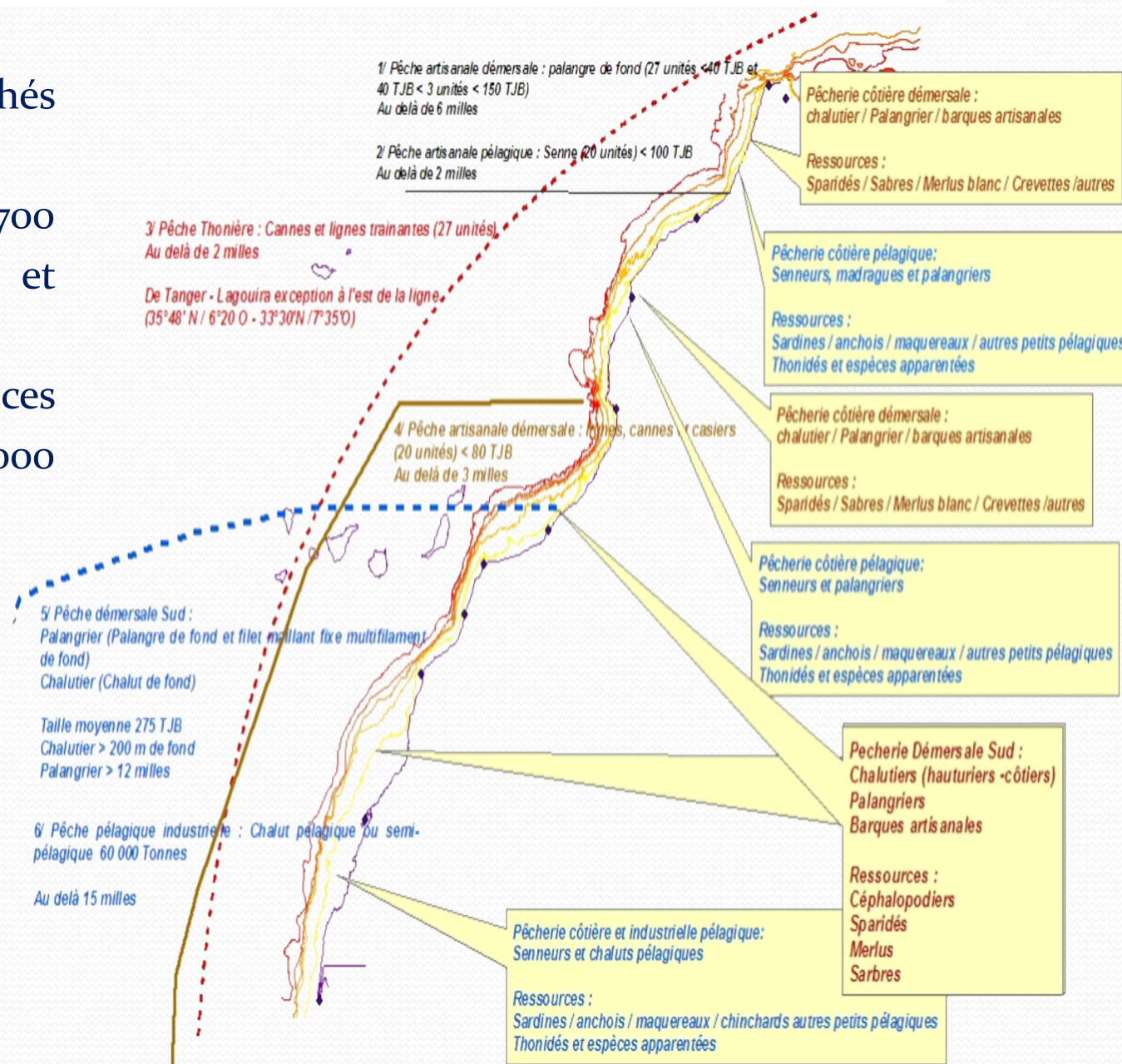


# Enjeux socio-économiques –Maroc

\*source INRH

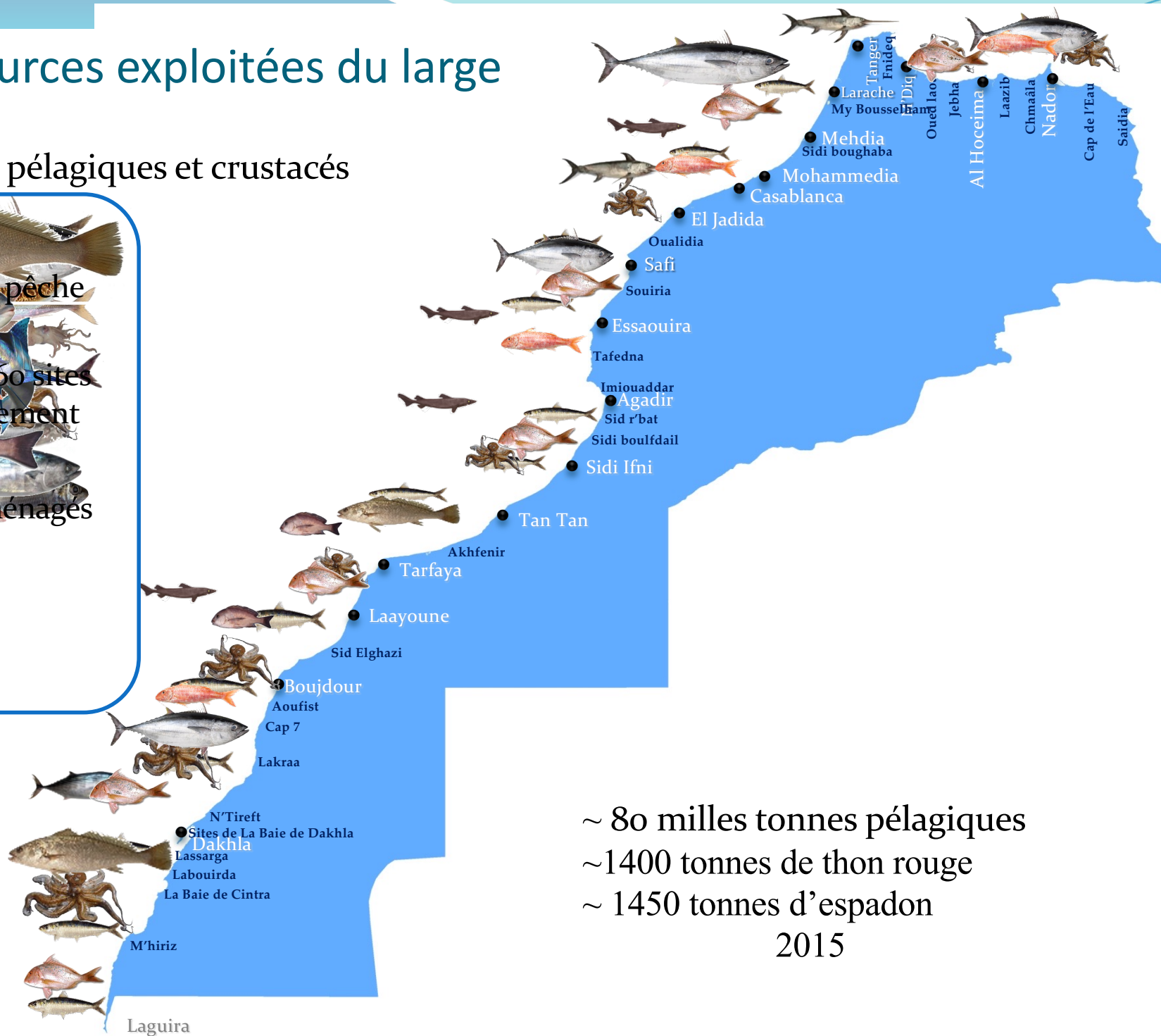
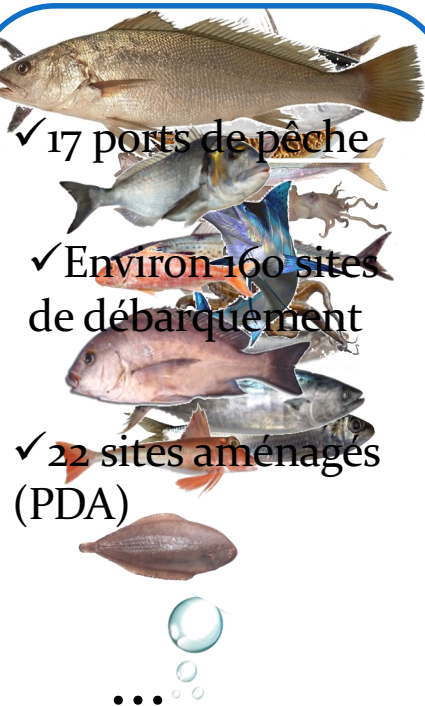
- ✓ ~ 1,2 mT de produits pêchés (2013)
- ✓ ~ 110 milles pêcheurs (700 milles emplois directs et indirects)
- ✓ Plus que 60 espèces exploitées sur environ 8000 recensées

- ✓ 14,2 milliards dh (2011-2015)
- ✓ ~ 7% des exportations
- ✓ ~2.3 % du PIB (moyenne 2004-2014)



# Ressources exploitées du large

## Les petits pélagiques et crustacés

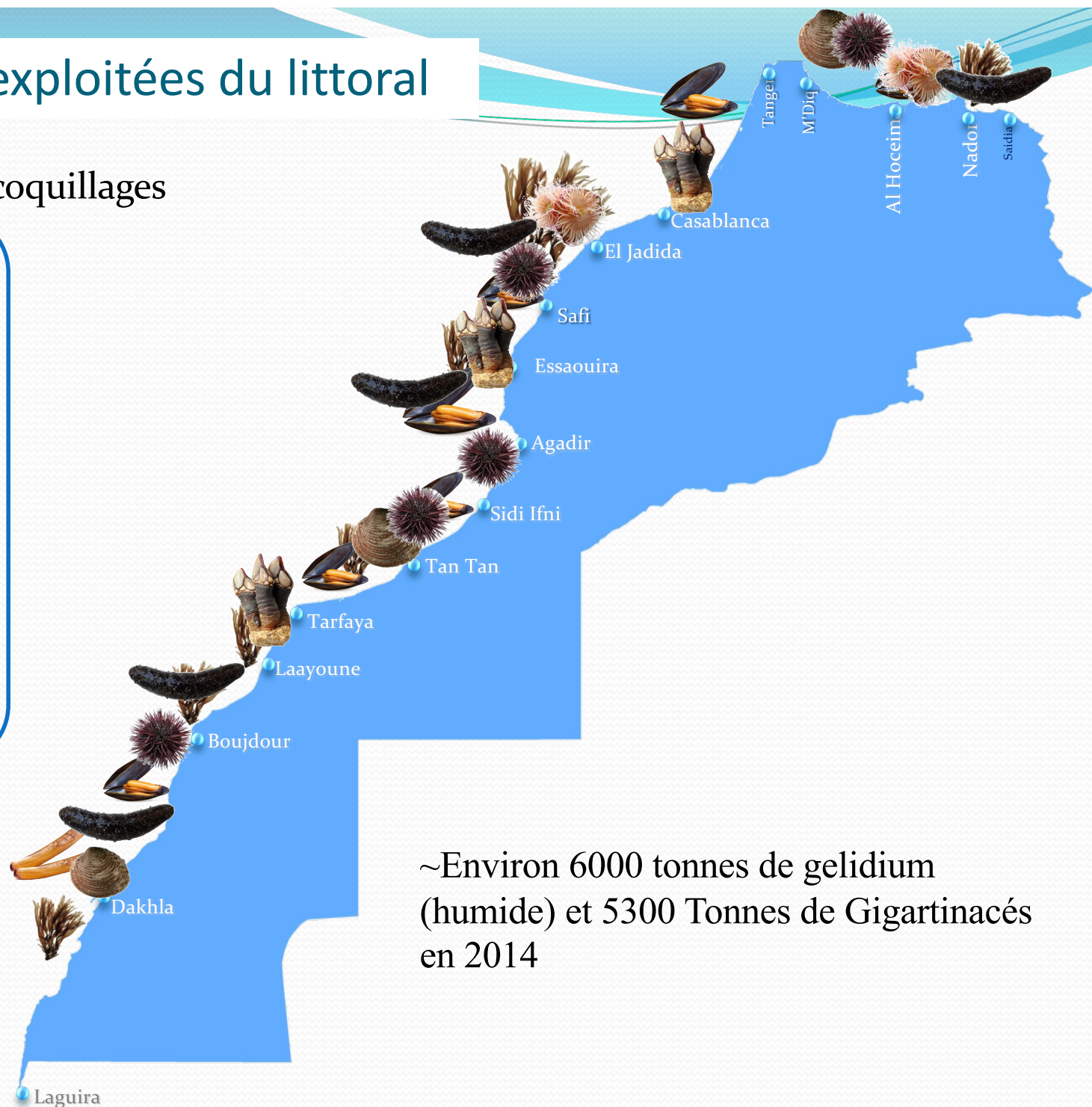


~ 80 milles tonnes pélagiques  
~ 1400 tonnes de thon rouge  
~ 1450 tonnes d'espadon  
2015



# Ressources exploitées du littoral

## Algues marines/ coquillages



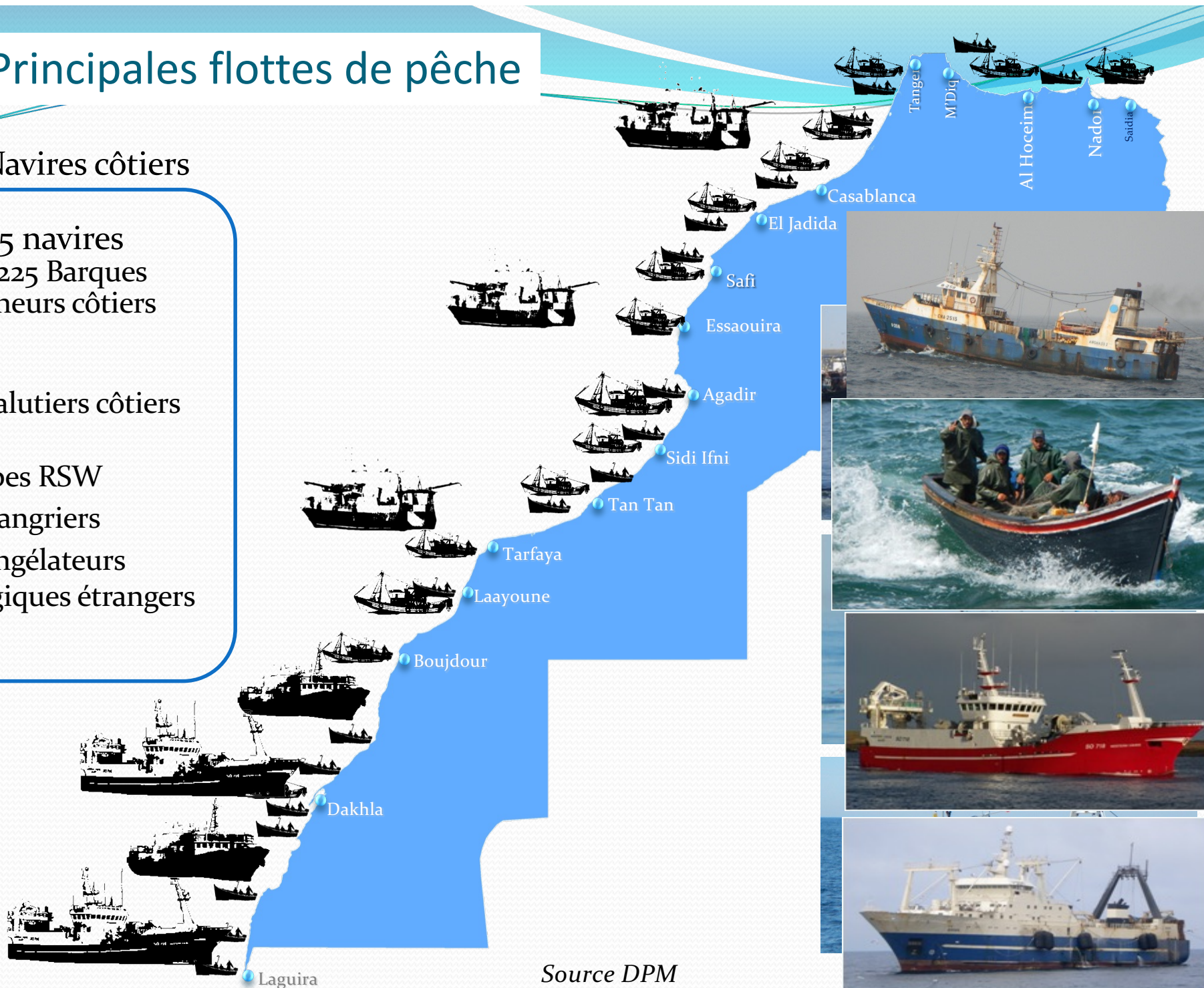
~Environ 6000 tonnes de gelidium (humide) et 5300 Tonnes de Gigartinacés en 2014



# Principales flottes de pêche

## Navires côtiers

- 1835 navires
- ✓ 14225 Barques
- ✓ Senneurs côtiers
- ✓ Chalutiers côtiers
- ✓ Types RSW
- ✓ Palangriers
- ✓ Congélateurs pélagiques étrangers



Source DPM



# GESTION DES PÊCHES

## Objectifs de durabilité

reconstitution des  
stocks surexploités

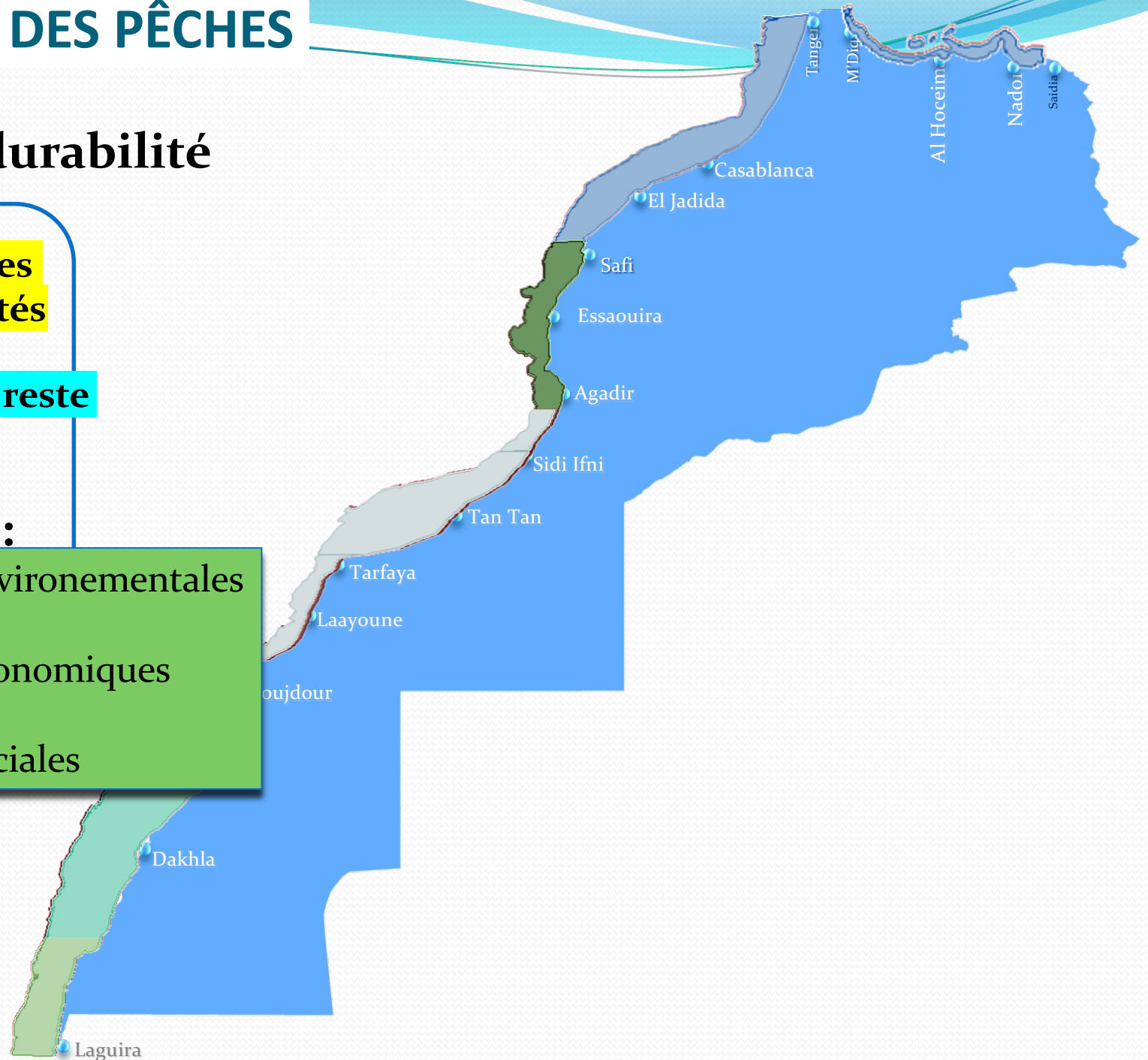
conservation du reste  
des stocks

### Contraintes:

Environnementales

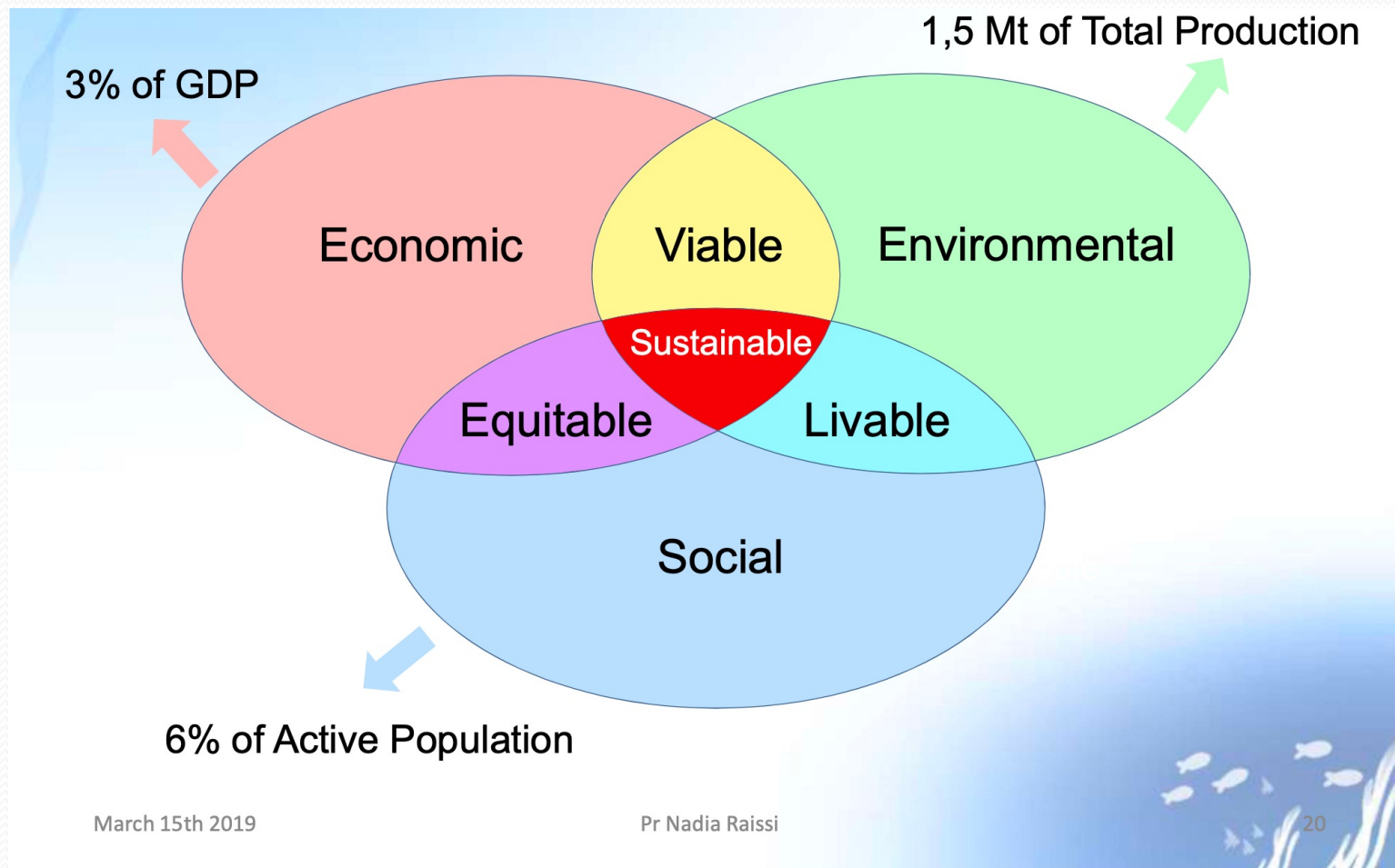
Economiques

Sociales





# DURABILITE



## **Rationnaliser et améliorer les décisions économiques**

3 concepts de durabilité :

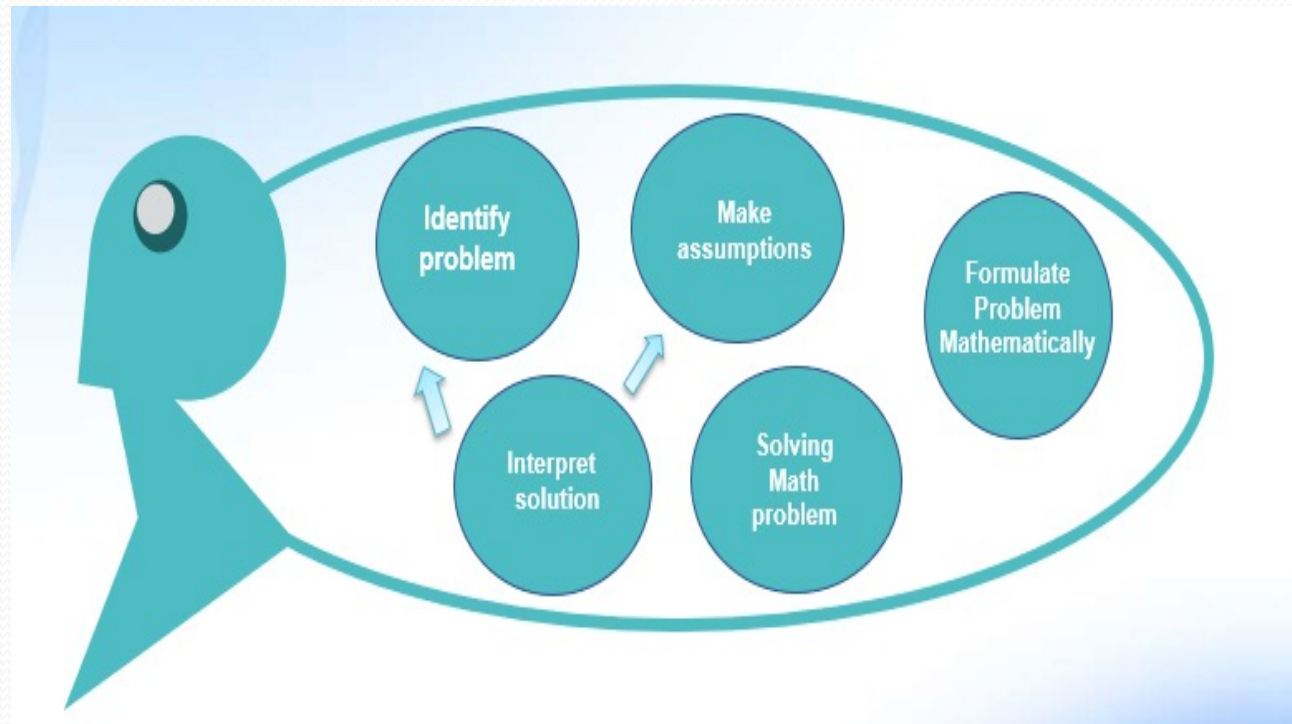
**MSY/ MEY**

**EQUILIBRE OPTIMAL**

**VIABILITE**



# MODELISATION

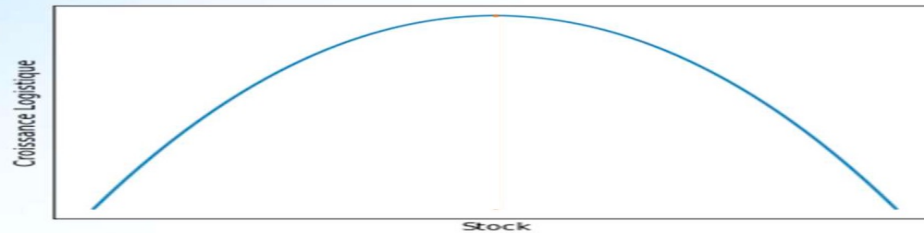


# MSY- Schaefer 1954

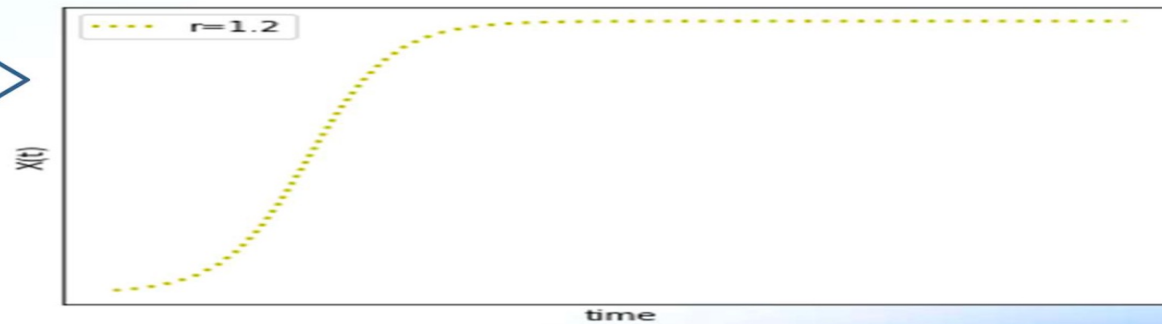
Partant d'un stock de croissance naturelle logistique , (Verhulst)

**Logistic growth**

$$X' = F(X) = rX\left(1 - \frac{X}{K}\right)$$



**Pierre-  
François  
Verhulst  
(1804-1849)**



**Sardine from the South Atlantic of Morocco**



# MSY-Schaefer

- MSY correspond à capturer au niveau maximal de croissance du stock, et garder le stock à un niveau d'équilibre.

$$X' = F(X) - h$$

$$h_{MSY} = \text{Max } F(X)$$

- MSY est un équilibre instable
- MSY ignore **les aspects économiques**
- MSY ne s'applique pas à l'exploitation des espèces interdépendantes

# Exercice 1

1. Trouver la solution de l'équation logistique
2. Trouver la valeur de  $x_{MSY}$  et de  $h_{MSY}$
3. Pourquoi l'équilibre  $MSY$  est il instable?
4. Etudier les 3 cas  $h > h_{MSY}$ ;  $h = h_{MSY}$ ;  $h < h_{MSY}$
5.  $h = qEx$   $E$ = effort de pêche ,  $q$  coefficient de capturabilité ; calculer  $h(E)$  à l'équilibre.



# MEY-Gordon 1954

Maximum Economical Yield  $E_0$

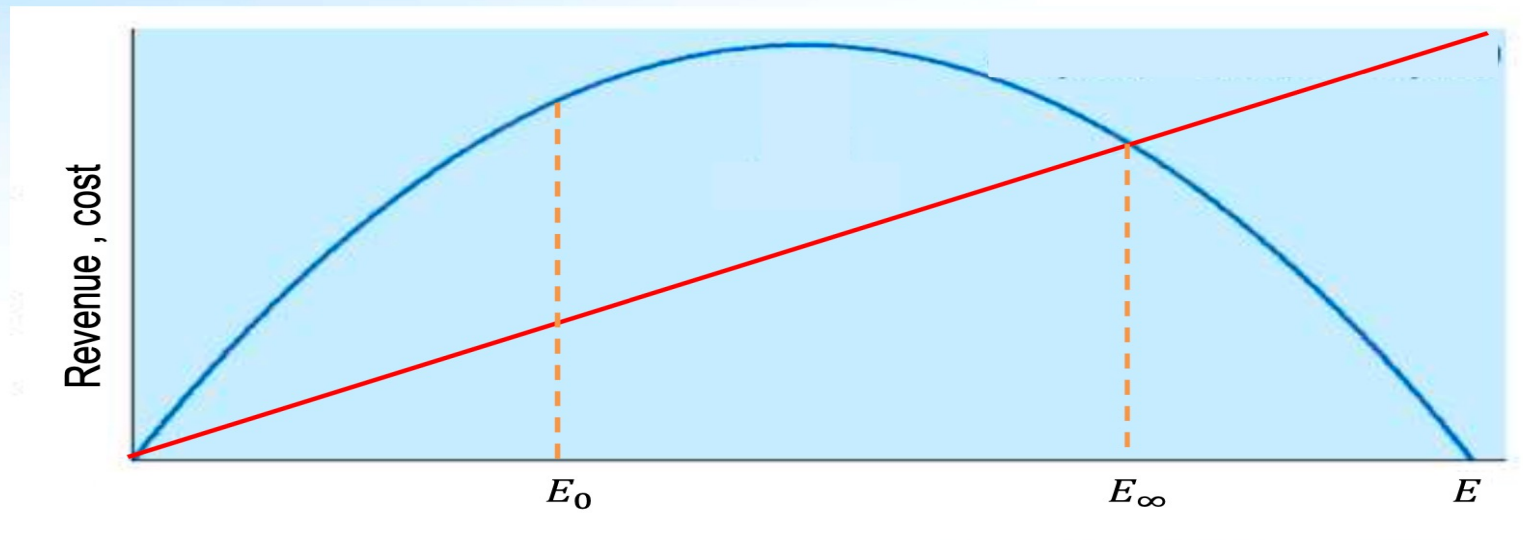
Formulate  
Problem  
Mathematically

## Gordon Model (1954)

$$X' = F(X) - h$$

$$R = p\bar{h}(E) - cE$$

Solving  
Math  
problem



# RISQUE LIBRE ACCES



Photo (2) du chalut avant le filage avec les capteurs SCANMAR accrochés au chalut

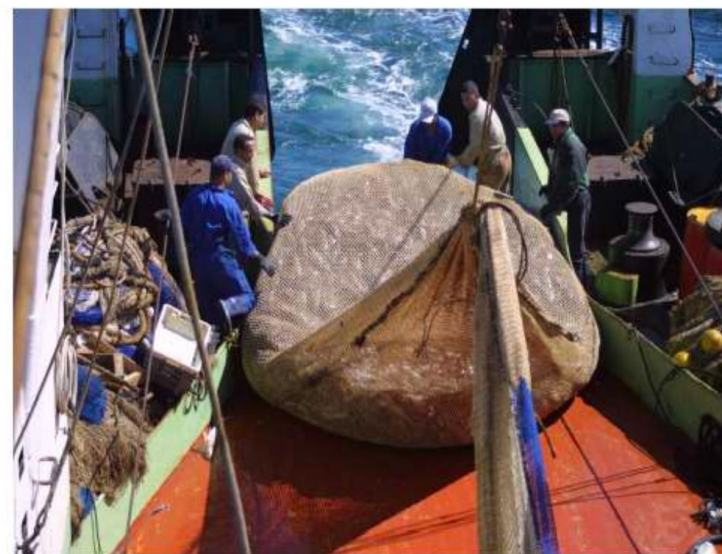


Photo (2) d'un chalut à la fin du virage contenant une capture d'environ 2 tonnes





## Hardy 1968 Tragédie des biens communs

- Absence de regulation,  $E_{\infty}$  **équilibre bionomique**
- Nécessité de tenir compte des “**coûts d’opportunité**”
- Besoin: formulation dynamique



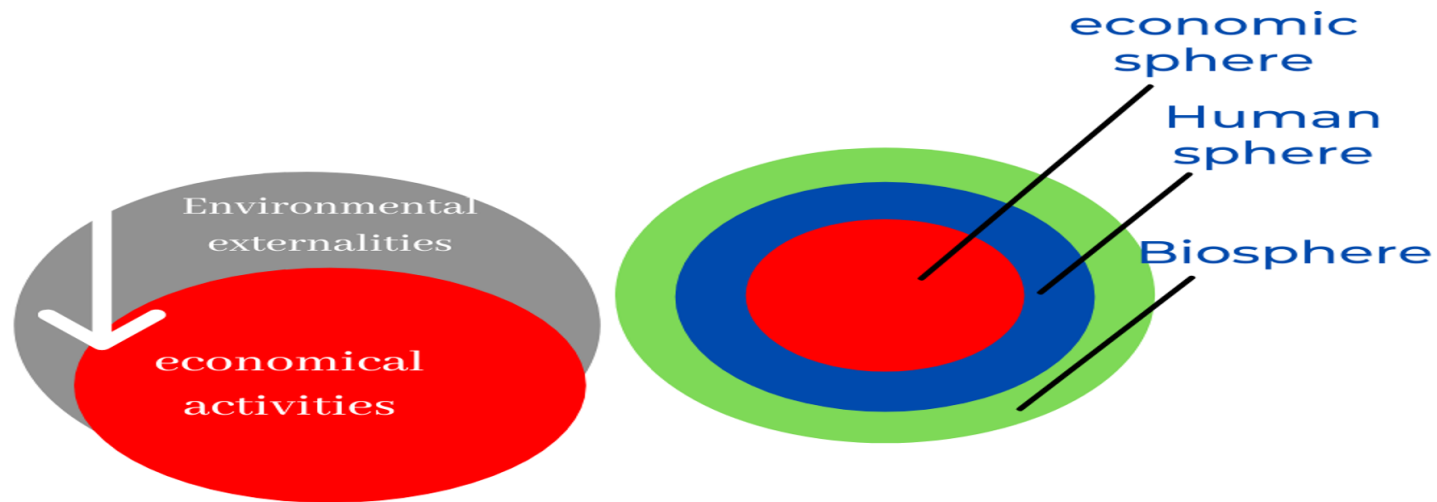
## FORMULATION DYNAMIQUE

- "...The conservation ...requires a dynamic formulation... optimum, which is a catch per unit of time, ... reach this objective through consideration of the interaction between the rate of catch, the dynamics of fish population, and the economic time-preference schedule of the community or the interest rate on invested capital. This is a very complicated problem and I suspect that we will have to look to the **mathematical economists** for assistance in clarifying it..." (Gordon 1956)



# Bioéconomie

**Conceptualization of the bioeconomics (1979).**



# Modèle Fondamental C.Clark

Formulate  
Problem  
Mathematically

**Bioeconomic C.Clark 1975  
Fundamental model**

$$R(t) = ph(t) - cE(t)$$



$$\max_E \int_0^{+\infty} e^{-\delta t} R(t) dt$$



# Formulation CV

- $x' = F(x) - h = F(x) - qEx$
- $x(0) = x_0$ . donné
- $R(t) = (pqx - c)E(t) = (p - c/qx)(F(x) - x')$
- taux d'actualisation  $\delta$
- le CFM peut alors s'écrire sous forme d'un pb de CV

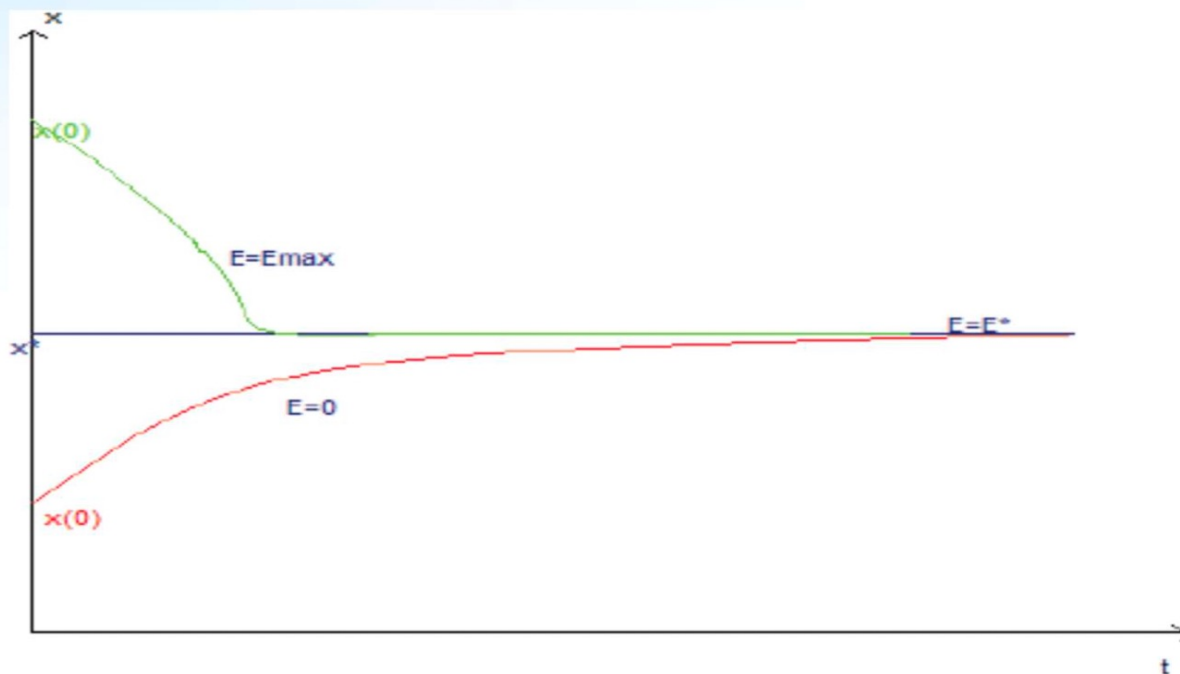
# Exercice 2

1. Ecrire l'équation d'Euler associée
2. identifier la solution de cette équation
3. Supposer l'effort de pêche borné montrer que la solution de CFM est de type bang bang

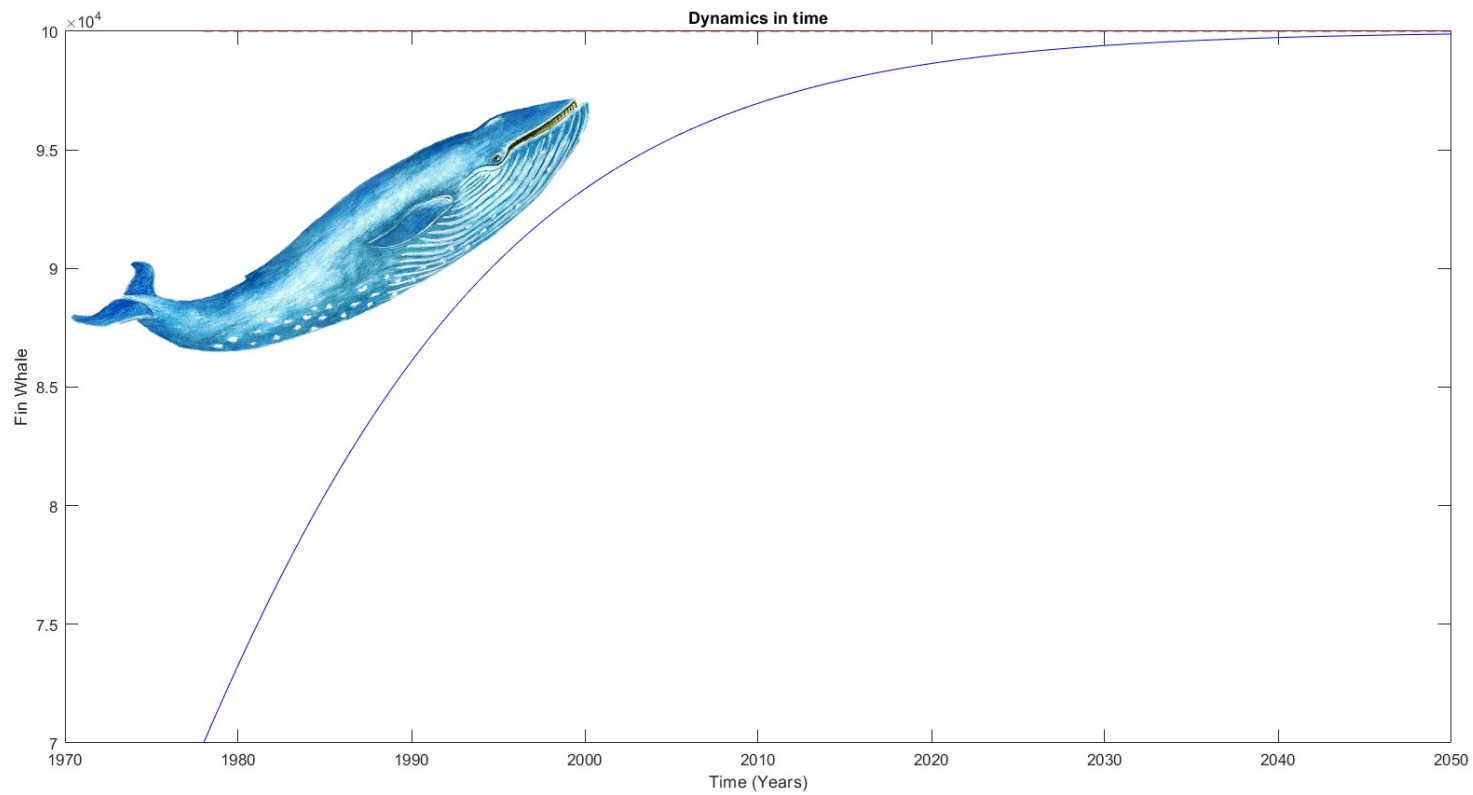


# EQUILIBRE OPTIMAL

MRAP



# APPLICATION: Rorqual commun (fin whale) du Pacifique Nord





# Quid du social ?







## Théorie de la viabilité (1990)

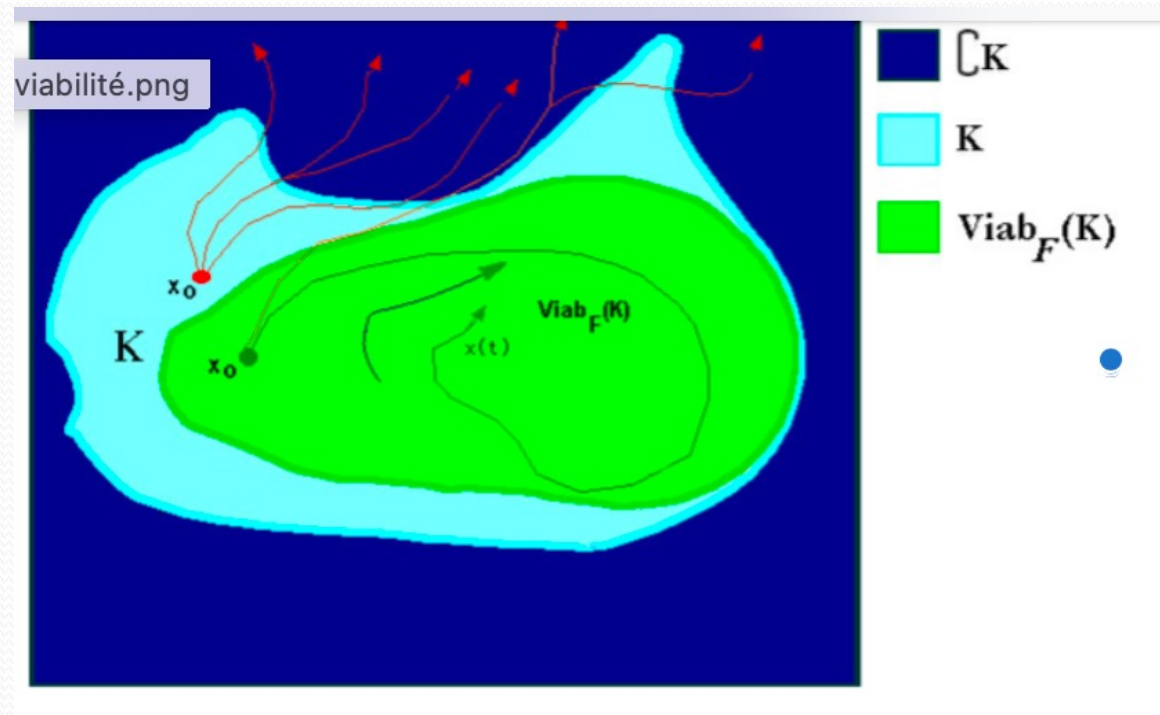
- Applications développement durable

- **Pêcheries;**

Plutôt que de mener le stock à un état d'équilibre; le maintenir à un niveau de contrainte désiré.



# VIABILITE



# Quelques références

- O. CHERKAOUI-DEKKAKI ,N. R. **2020** IEEE 6th International Conference on Optimization and Applications (ICOA) Viability Analysis of a Stock-Capital Fishery Model
- C.SANOGO, N.R., S.BENMILED , C.JERRY A Viability Analysis of Fishery Controlled by Investment Rate **DOI** 10.1007/s10441-013-9200-x Acta Biotheoretica, **2013**
- C.SANOGO,N.R., S.BENMILED viability analysis of multi-fishery DOI **10.1007/s10441-012-9153-5** Acta Biotheoritica **2012**
- C.JERRY, N.R. “Optimal Exploitation for Commercial Fishing Model” DOI: 10.1007/s10441-012-9152-6 Acta Biotheoritica **2012**
- M. JERRY, N. R. and A. **RAPAPORT** A viability analysis for an explicit inshore-offshore model **JP Journal of Applied Mathematics** Volume 1, Issue 1, **2011**, Pages 41-60





# Viabilité

- Doyen & Saint Pierre ont conceptualisé le temps de crise minimal, sans tenir compte de la reconstitution du stock.
- Martinet et al. trouvent un compromis entre la vitesse de reconstitution du stock et les coûts sociaux de dédommagement des pêcheurs.
- pêche à la langoustine dans le Golfe de Gascogne (crise 1994)



## Négociations pour des systèmes bioéconomiques durables

- **V. Martinet, O. Thébaud & A. Rapaport** Hare or Tortoise? Trade-offs in Recovering Sustainable Bioeconomic Systems *Environmental Modeling & Assessment* volume 15, pages 503–517 (2010)



# viabilité pour caractériser la durabilité

- Trajectoire durable
- Trajectoires de recuperation
- Temps de crise
- profit de transition minimum

## COÛT SOCIAL

- Compromis entre :

le temps nécessaire pour obtenir des conditions d'exploitation durables

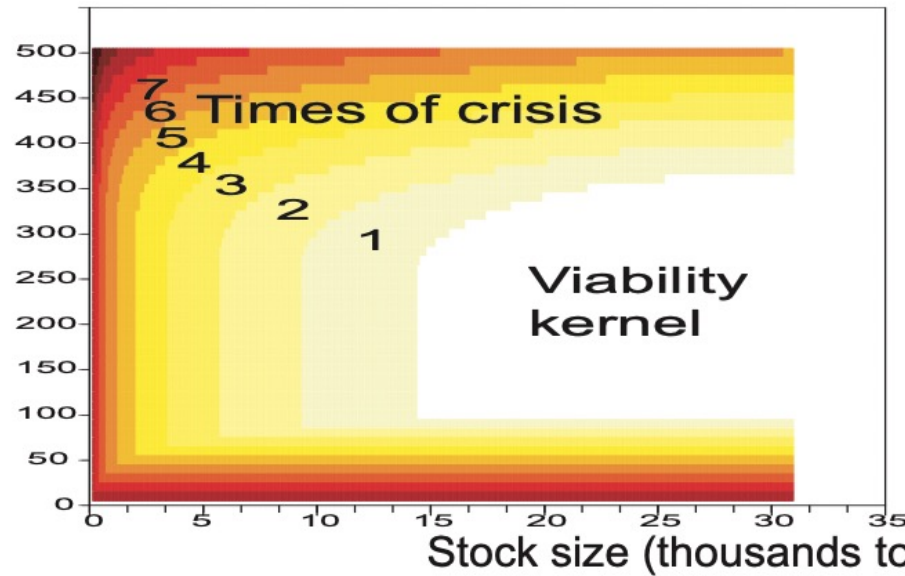
Et

les coûts de dommages acceptables pour les pêcheurs. (profit minimal de transition  $\pi$  (*trans*) )



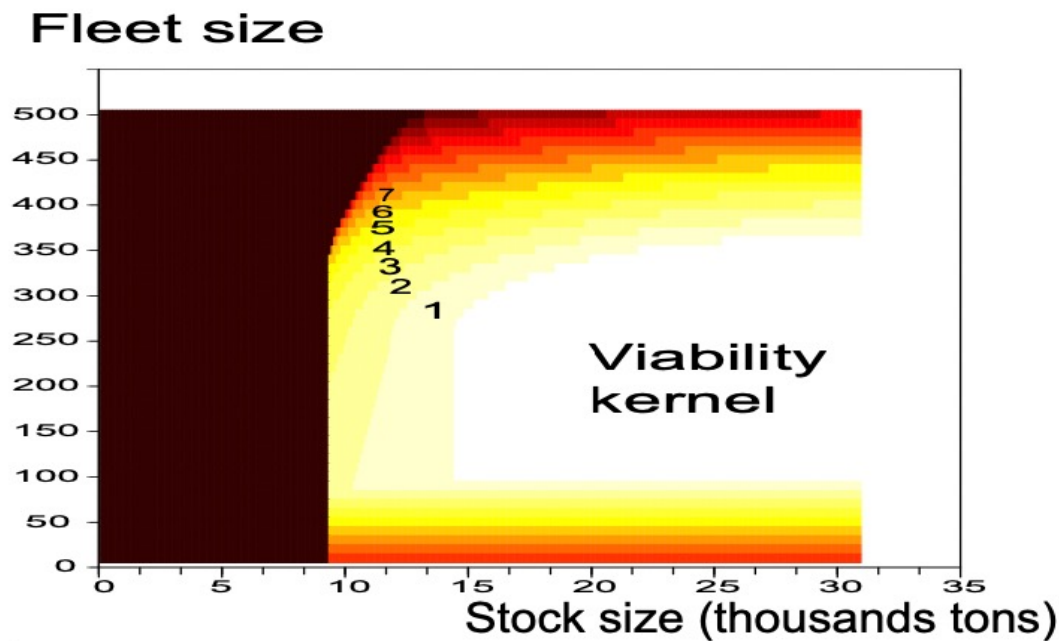
# Optimiser temps de crise

Fleet size



(a) minimum time of crisis without transition profit constraint

# Optimiser temps de crise

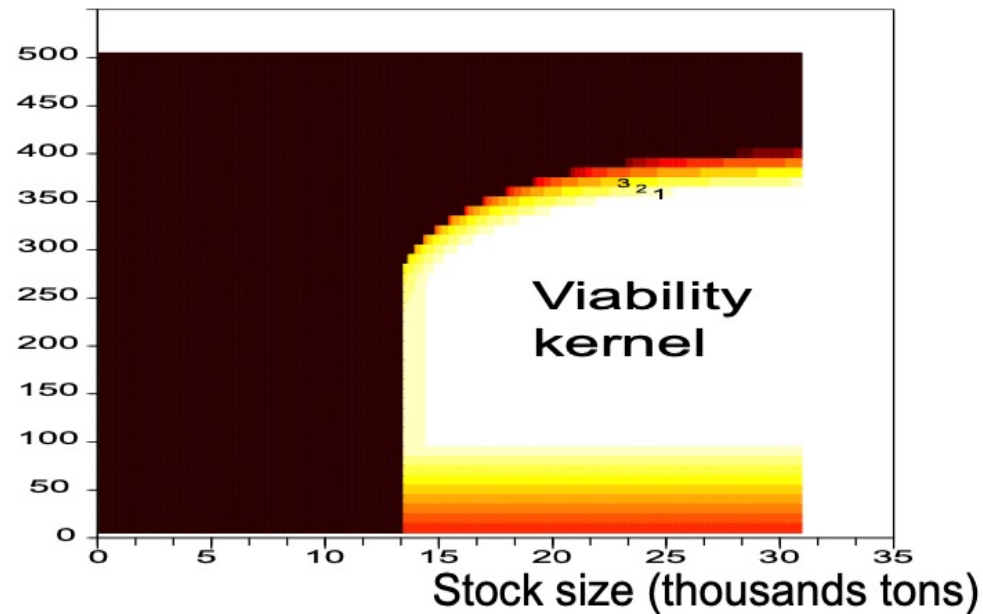


(b) minimum time of crisis with  $\pi_{\text{trans}} = 30,000$  Euro



# Minimiser temps de crise

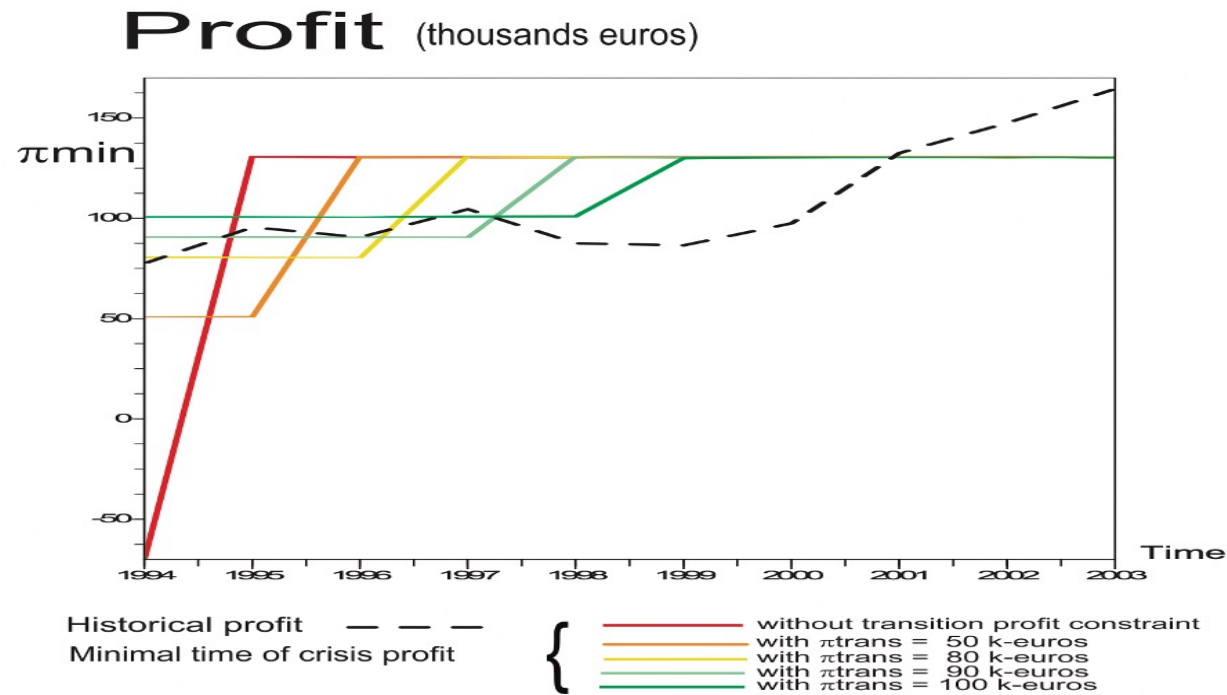
Fleet size



(c) minimum time of crisis with  $\pi_{\text{trans}} = 110,000$  Euro

## Comparaison des Scénarii (Profit net)

- approche (VK) **VS** approche OE

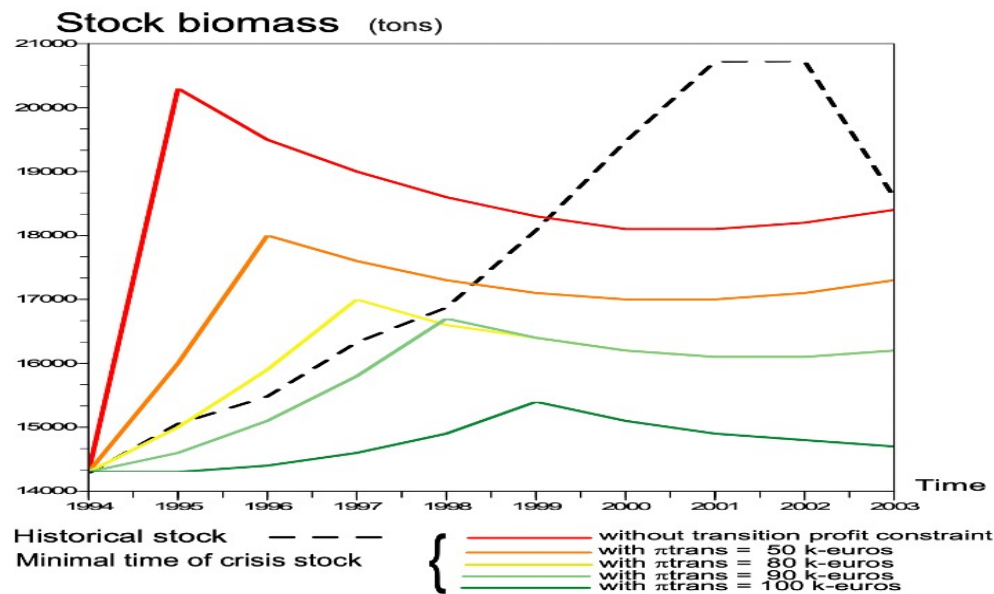


(a) Profit  $\pi_t$



## Comparaison des Scénarii ( Ressource )

- approche (VK) **VS** approche tendancielle



(b) Resource stock biomass  $B_t$

## Lièvre ou Tortue ?



- planifier la reconstitution du stock le plus rapide possible  
(risque : les pêcheurs accepteront ils ?)

Ou bien



limiter coût de transition et  
*diminuer* la vitesse de reconstitution.  
risque reconstitution possible en un temps limité ?



*Rien ne sert de courir il faut partir à point*

## Fable de La Fontaine

Lorsqu'il se rend compte que la **tortue** va franchir la ligne d'arrivée, le **lièvre** se met à bondir. Mais trop tard. La **tortue** a remporté la victoire.



“

*Le monde ne vaut que par les  
extrêmes et ne dure que par  
les moyens. Il ne vaut que par  
les ultras et ne dure que par  
les modérés.*

*Paul Valéry.*

”



DICOCITATIONS

LE DICTIONNAIRE DES CITATIONS