



Points de références de
rendements maximums durables
dans des pêcheries mixtes

Antoine Ricouard, Sigrid Lehuta et Stéphanie Mahévas

22 avril 2021

Parcours

**2016 : Licence SVT
parcours Mer**



2 stages à l'UMR Entropie à
Nouméa

**2016-2018 :
1/2 tour du monde**



à la voile

**2020 : Master Sciences de la Mer –
Océanographie Biologique & Écologie Marine**



Sommaire

1 Points de références de gestion :

- Qu'est-ce qu'un point de référence?
- Le MSY : concept, origine & application

2 Le MSY : objections et difficultés

- Le problème de la stabilité
- Le problème des pêcheries multi-spécifiques

3 Objectifs de ma thèse :

- Questions
- Une démarche en deux temps

4 Stabilité d'un modèle saisonnier

"I believe, then, that [...] probably all the great sea fisheries, are inexhaustible; that is to say, that nothing we do seriously affects the number of the fish. And any attempt to regulate these fisheries seems [...] to be useless."

Huxley (1883)



Figure 1 – T.H.
Huxley (1825-1895)

→ Prise de conscience progressive au cours du XX^e siècle du caractère épuisable des pêcheries.

Émergence d'une théorie de la gestion des pêches au XX^e siècle.

Gérer une pêcherie :

Définir des **niveaux d'exploitation acceptables/souhaitables**, sur la base de **connaissances** et d'**hypothèses** sur la dynamique des stocks.

- Des travaux pionniers (Graham, 1935 ; Schaefer, 1954 ; Gordon, 1954)
- Émergence de l'idée qu'il existe des niveaux d'exploitation optimaux.

Modern Theory of Exploiting a Fishery, and Application to North Sea Trawling.

By

Michael Graham,
Fisheries Laboratory, Lowestoft.

SOME ASPECTS OF THE DYNAMICS OF POPULATIONS
IMPORTANT TO THE MANAGEMENT OF THE
COMMERCIAL MARINE FISHERIES

by

MILNER B. SCHAEFER

Point de référence : définition

- Une valeur particulière d'une **variable de contrôle** (e.g. : effort, mortalité par pêche)
- OU d'une **variable d'état** (e.g. : biomasse, profits)
- Définit des niveaux d'**exploitations souhaitables** et de **surexploitation** d'une ou plusieurs ressources
- Peut constituer **une cible ou une borne**
- Peut correspondre à **différents objectifs** (biologiques, économiques, sociaux, etc.)
- Toujours **relatif à un modèle particulier.**

Qu'est-ce qu'un point de référence ?

Il en existe de nombreux. . .

Table 1. Commonly used biological reference points.

Reference point	Theoretical basis	Data needs	Target or limit?
Reference points based on production models			
F_{MSY}	Fishing mortality (F) for maximum sustainable yield	Surplus-production model or dynamic-pool model	Limit
F_{crash}	Fishing mortality for stock extinction	Surplus-production model or dynamic-pool model	Limit
Z_{MBP}	Total mortality rate for maximum biological production	Catch per unit effort and total mortality	Target
Reference points based on yield per recruit			
F_{max}	Maximum yield per recruit (YPR)	Natural mortality and growth data	Limit
$F_{0.1}$	Slope of YPR curve is 0.1 slope of YPR curve at the origin	Natural mortality and growth data	Target
Reference points based on spawning stock biomass per recruit			
$F_{40\%}$	F for 40% of spawning biomass per recruit (SPR) when $F = 0$	Natural mortality and growth data	Limit
F_{low}	Fishing mortality giving 90% of years with stock replacement	Stock-recruitment data and SPR	Target
F_{med}	Fishing mortality giving 50% of years with stock replacement	Stock-recruitment data and SPR	Limit
F_{high}	Fishing mortality giving 10% of years with stock replacement	Stock-recruitment data and SPR	Limit
F_{low}	Fishing mortality for replacement of lowest observed stock size	Stock-recruitment model and SPR	Limit
Biomass-based biological reference points			
B_{lim}	Lowest observed stock size	Spawning stock biomass	Limit
B_{pa}	Biomass below which probability of reduced recruitment is increased	Stock-recruitment data	Limit
$B_{90\%R, 90\%R/S}$	B corresponding to intersection of 90% of R/S and 90% of R	Stock-recruitment data	Limit
B_{MSY}	Biomass for maximum sustainable yield	Surplus-production model or dynamic-pool model	Limit
$B_{50\%R}$	Biomass at which R is one half of its maximum level	Stock-recruitment model	Limit
$B_{20\%}$	Biomass corresponding to 20% of biomass when $F = 0$	Surplus-production model or dynamic-pool model	Limit

Note: Detailed definitions and references for each reference point are given in Caddy and Mahon (1995).

Niveaux de mortalité

Niveaux de biomasse

Figure 2 – Exemples de points de références biologiques communément utilisés. (D'après Collie et Gislason, 2001).

Le MSY (Schaeffer, 1954)

Hypothèses

- Soit une population B gouvernée par l'équation :

$$\frac{dB}{dt} = g(B) \quad (1)$$

- Population limitée par le milieu :
son taux d'accroissement ↘
quand B ↗.

→ Dans ce cas :

- 1 La population tend vers un état d'équilibre notée B^*
- 2 Il existe une valeur de B notée B_{MSY} qui maximise $g(B)$

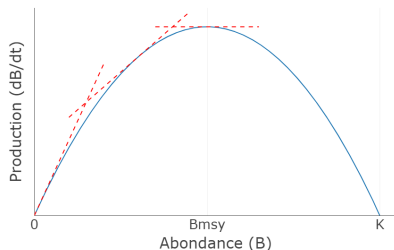


Figure 3 – Production biologique en fonction de la taille du stock. K est la capacité de charge du milieu.

Le MSY (Schaeffer, 1954)

Maintenant, la population est exploitée avec une intensité $h(B)$:

$$\frac{dB}{dt} = g(B) - h(B) \quad (2)$$

$h(B)$ est aussi fonction de l'effort E , elle peut s'écrire $h(B,E)$

→ On peut trouver $h(B)$ telle que la valeur d'équilibre :

$$B^* = B_{MSY}$$

Les captures à long terme sont alors maximisées.

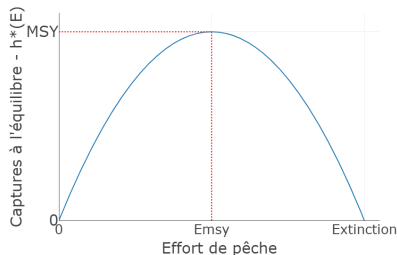


Figure 4 – Captures en fonction de l'effort de pêche. Illustration du concept de MSY.

Un grand succès auprès des gestionnaires

- Adoptés par de nombreuses administrations depuis les années 1950
- Comme **objectif** à atteindre ou comme **seuil** (voir *e.g.* Mesnil, 2012)
- Parfois pour des raisons éloignées de la simple biologie (Finley, 2009)
- *B_{MSY}* adoptée comme objectif par l'UE en 2013



REGULATION (EU) No 1380/2013 OF THE
EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL

of 11 December 2013

on the Common Fisheries Policy, amending Council Regulations (EC) No 1954/2003 and (EC) No 1224/2009 and repealing Council Regulations (EC) No 2371/2002 and (EC) No 639/2004 and Council Decision 2004/585/EC

Un rendement *durable* ?

Remarque importante

Ce qui permet de dire que le *MSY* est un rendement "durable" est l'existence d'un équilibre populationnel stable → la population, "*toute chose égale par ailleurs*" tend asymptotiquement vers son état d'équilibre.

- Dans le modèle de Schaeffer, cette hypothèse est toujours vérifiée
- Ce n'est pas nécessairement le cas pour tous les modèles. . .

Équilibre populationnel stable/instable

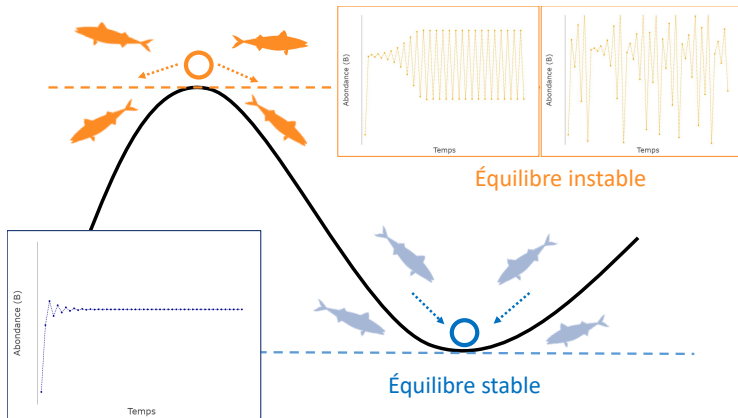


Figure 5 – Illustration schématique de la stabilité dans des systèmes dynamiques. Les simulations sont celle du modèle logistique à temps discret : $X_{t+1} = r X_t(1 - X_t)$ avec le paramètre $r = 2.7, 3.3, 3.7$ respectivement.

(R)appel

- Dans les modèles à temps continu (e.g. Schaefer), il faut au moins 2 dimensions pour obtenir des cycles et 3 pour obtenir du chaos déterministe
- Dans les modèles à temps discret, on peut obtenir des cycles et du chaos en dimension 1

→ La dynamique de population est-elle mieux modélisée en **temps continu** ou en **temps discret** ?

→ Séparer la **reproduction** du **recrutement**, par exemple, introduit une discrétisation de la dynamique...

Exemple de dynamique potentiellement instable : le modèle de Ricker (1954)

- Soit une population annuelle gouvernée par :

$$\begin{aligned} B_{t+1} &= a B_t e^{-b B_t} \\ &= f(B_t) \end{aligned} \quad (3)$$

- B^* est un équilibre. Il est stable ssi :

$$-1 < \frac{df}{dB_t}(B^*) < 1 \quad (4)$$

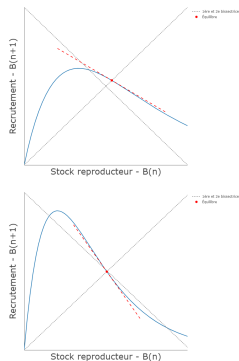


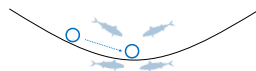
Figure 6 – Modèle de Ricker dans une configuration stable (haut) et instable (bas)

La notion de résilience

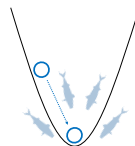
Définition

Au sens de Pimm (1984), un système est d'autant plus résilient qu'il **revient rapidement à son état d'équilibre** après une petite perturbation

- une notion voisine de celle de la stabilité
- s'étudie avec les mêmes outils



(a) Peu résilient



(b) Très résilient

Figure 7 – Illustrations de la notion de résilience.

À retenir sur la stabilité

- L'existence d'équilibres stables n'est pas garantie
- La présence de fluctuations déterministes chez les populations de poissons fait l'objet de débats (Anderson *et al.*, 2008 ; Shelton & Mangel, 2011 ; Sugihara *et al.*, 2011)
- La pression de pêche est susceptible d'avoir un effet important sur la stabilité dynamique et la **résilience** des populations exploitées

Supposons deux espèces en **interactions techniques** qui n'admettent que des **équilibres stables**.

→ **chacune possède son MSY propre**

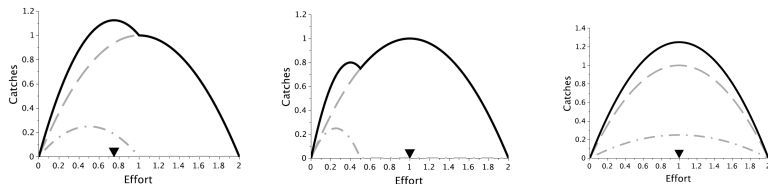


Figure 8 – MSY individuels de deux espèces et maximisation des captures de la communauté (MMSY), dans une situation d'interaction technique. La situation où les MSY des deux espèces coïncident n'est en général pas atteinte (d'après Tromeur & Doyen, 2019).

La réglementation européenne impose :

- 1 Que l'intégralité des prises d'espèces soumises à quotas soit débarquée
- 2 Que chaque stock soit à B_{MSY}

- Si 1 est respectée, seul **le stock le plus limitant** fournira son MSY, ce qui occasionnera des pertes importantes
- On l'a vu, la généralisation du MSY à une communauté en interaction technique pose problème

→ **En l'état, le concept de MSY répond mal aux problèmes des pêcheries mixtes**

Projet de thèse

La pêche, un socio-écosystème complexe...

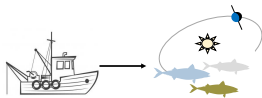


Figure 9 – Dimension multi-spécifique et multi-flotilles des pêcheries

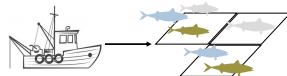
Question

Quels points de références pour **maximiser durablement les captures** dans des pêcheries avec interactions techniques ?

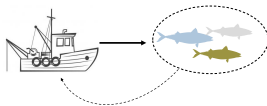
Quels sont les effets de différents processus ?



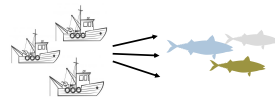
(a) Saisonnalité



(b) Spatialisation



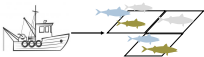
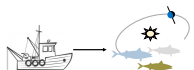
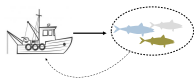
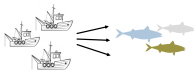
(c) Pêche adaptative



(d) Multi-flotilles

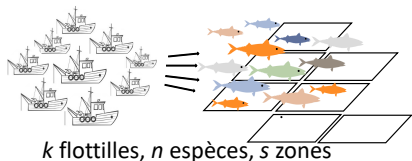
Figure 10 – Exemples d'aspects de la dynamique de pêcheries dont on souhaite étudier les effets sur le volume et la durabilité des captures.

I. Approche théorique – analyse de modèles



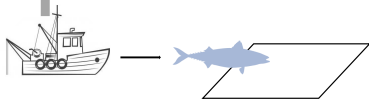
- Construction d'une série de **petits modèles** pour chacun des processus qui nous intéresse
- Pourvu qu'ils soient assez simple pour en dégager des **propriétés mathématiques**
- Évaluer en théorie l'effet de ces processus sur le **volume et la durabilité des captures**
- Définir si possible des **stratégies optimales**

I. Approche théorique – Quelle complexité ?



Complexité

⋮

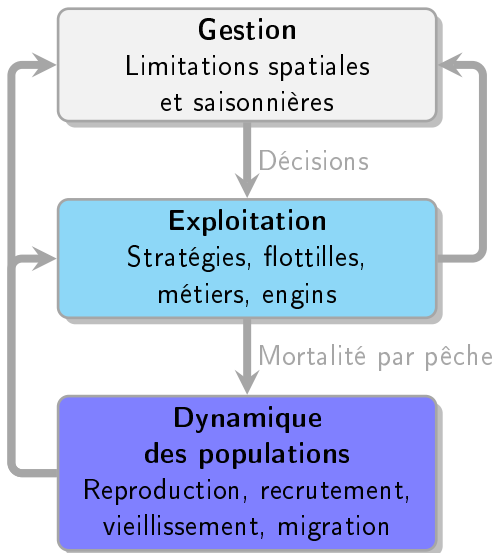


1 flottille, 1 espèce, 1 zone

- Partir d'une bonne compréhension d'un modèle très simple
- Augmenter petit à petit la complexité des processus modélisés

Quelles sont les limites de l'approche analytique pour l'étude des modèles de pêches ?

II. Approche par simulation – le modèle ISIS-Fish



- Pas de temps **mensuel**
- Modèle **spatialisé**
- **Interactions techniques**
- **Multi-flottilles**

(Mahévas & Pelletier, 2004)

II. Approche par simulation - cas d'étude

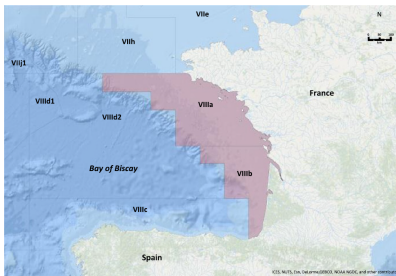
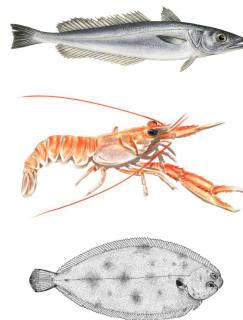
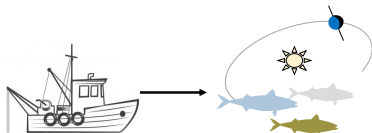


Figure 11 – Zone d'étude (Provot *et al.*, 2018)



- Application à la pêche multi-spécifique démersale du **Golfe de Gascogne**
- Exploration de **scénarios de gestion**

Pêche constante dans modèle saisonnier



Peut-on :

- 1 dégager des équilibres **inter-annuels** dans un modèle saisonnier ?
- 2 mettre en relation leur **stabilité** et leur **résilience** avec la pression de pêche ?

→ Le tout dans une démarche **analytique** *i.e.* où chaque résultat est **démonstrable**.

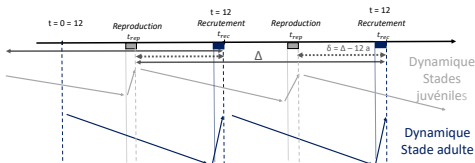


Figure 12 – Représentation schématique de la dynamique temporelle.

Hypothèses principales

- Pas de temps t mensuel
- Structuration en classes
- Reproduction tous les 12 mois
- Décalage Δ fixe entre reproduction et recrutement
- La pêche des adultes est constante
- Mortalité des juvéniles dépendante de la quantité d'adultes à chaque pas de temps (Ricker, 1954)

- Notons $A(t_{rec}, y)$ et $J_a(t_{rec}, y)$ le nombre d'adultes de juvéniles d'âge a à la **fin de l'épisode de recrutement** de l'année y
- Quel que soit le décalage Δ (et donc l'âge a) du recrutement, le modèle peut s'écrire :

$$\left\{ \begin{array}{l} J_0(t_{rec}, y + 1) = f_0(A(t_{rec}, y)) \\ J_1(t_{rec}, y + 1) = f_1(A(t_{rec}, y), J_0(t_{rec}, y)) \\ \vdots \\ J_{a-1}(t_{rec}, y + 1) = f_{a-1}(A(t_{rec}, y), J_{a-2}(t_{rec}, y)) \\ A(t_{rec}, y + 1) = f_a(A(t_{rec}, y), J_{a-1}(t_{rec}, y)) \end{array} \right. \quad (5)$$

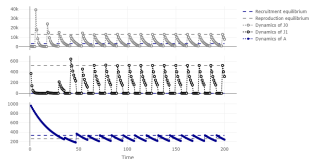
- Il est possible d'obtenir analytiquement une valeurs d'équilibre A^* telle que :

$$\begin{aligned} A(t_{rec}, y + 1) &= A(t_{rec}, y) \\ &= A^* \end{aligned}$$

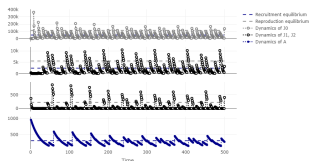
Et en déduire les valeurs de

$$J_0^*, J_1^*, \dots, J_{a-1}^*$$

- On peut déterminer la **stabilité** et la **résilience** en étudiant les propriétés de la **matrice Jacobienne** du système (5)



(a) Stable



(b) Instable

Figure 13 – Exemples de dynamiques simulées avec le modèle. Les équilibres sont indiqués en pointillés (paramètres arbitrairement choisis).

Prochaines étapes

- Paramétrisation du modèle pour les espèces d'intérêts de la pêche du Golfe de Gascogne
- Recherche des optimums de captures : MSY mono et multi-spécifiques
- Évaluation des conséquences sur la stabilité et la résilience
- Construire un nouveau modèle !

À retenir

Présentes depuis les origines, les questions des **points de références** et des **rendements durables** se posent plus que jamais dans les pêcheries actuelles

- La théorie des pêches aujourd'hui doit **prendre en compte** et **maîtriser la complexité** des systèmes étudiés
- Une thèse à la croisée des chemins, structurée en deux parties :
 - 1 **Approche théorique** à l'aide de modèles simples pour comprendre les processus à l'œuvre
 - 2 **Approche par simulation** pour intégrer au mieux la complexité et fournir des résultats utilisables pour la gestion

Merci de votre attention



Autour du poisson, Paul Klee, huile sur toile (1926)

Bibliographie

- Anderson, Christian N. K., Chih-hao Hsieh, Stuart A. Sandin, Roger Hewitt, Anne Hollowed, John Beddington, Robert M. May, et George Sugihara. « Why Fishing Magnifies Fluctuations in Fish Abundance ». *Nature* 452, no 7189 (avril 2008) : 835-39. <https://doi.org/10.1038/nature06851>.
- Collie, Jeremy S, et Henrik Gislason. « Biological Reference Points for Fish Stocks in a Multispecies Context ». *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58, no 11 (2001) : 10.
- Gordon, H. Scott. « The Economic Theory of a Common-Property Resource : The Fishery ». *The Journal of Political Economy* 62, no 2 (1954) : 124-42.
- Graham, M. « Modern Theory of Exploiting a Fishery, and Application to North Sea Trawling ». *ICES Journal of Marine Science* 10, no 3 (1 décembre 1935) : 264-74.
<https://doi.org/10.1093/icesjms/10.3.264>.
- Mahévas, Stéphanie, et Dominique Pelletier. « ISIS-Fish, a Generic and Spatially Explicit Simulation Tool for Evaluating the Impact of Management Measures on Fisheries Dynamics ». *Ecological Modelling* 171, no 1-2 (janvier 2004) : 65-84. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.04.001>.
- Mesnil, Benoit. « The Hesitant Emergence of Maximum Sustainable Yield (MSY) in Fisheries Policies in Europe ». *Marine Policy* 36, no 2 (mars 2012) : 473-80. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2011.08.006>.
- Pimm, S. L. « The Complexity and Stability of Ecosystems ». *Nature* 307, no 26 (1984) : 321-26.
- Ricker, W. E. « Stock and recruitment ». *Journal of Fisheries Board Canada* 11, no 5 (1954) : 559-622.
- Shelton, Andrew O, et Marc Mangel. « Fluctuations of fish populations and the magnifying effects of fishing ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108, no 17 (2011) : 7075-80.
- Sugihara, G., J. Beddington, C.-h. Hsieh, E. Deyle, M. Fogarty, S. M. Glaser, R. Hewitt, et al. « Are Exploited Fish Populations Stable ? ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 108, no 48 (29 novembre 2011) : E1224-25. <https://doi.org/10.1073/pnas.1112033108>.
- Tromeur, Eric, et Luc Doyen. « Optimal Harvesting Policies Threaten Biodiversity in Mixed Fisheries ». *Environmental Modeling Assessment* 24, no 4 (août 2019) : 387-403.
<https://doi.org/10.1007/s10666-018-9618-2>.