

Considérations sur la capacité de charge (K) et sa représentation en halieutique

Jean LE FUR

Introduction

En termes globaux, lorsque l'on étudie la dynamique ou l'évolution de certaines grandeurs, on définit assez généralement une limite que l'on ne peut dépasser. L'histoire des pêches montre ainsi que, depuis que l'on considère que les ressources marines ne sont pas inépuisables, les spécialistes de l'exploitation des ressources marines ont de tout temps considéré que l'on parvenait à la limite des captures possibles, repoussant la valeur de cette limite à chaque fois qu'on la dépassait (Pavé, 1997). Actuellement, selon Gulland (1971), la limite s'établirait aux alentours de 100 millions de tonnes. Cette valeur est cependant discutée (Grainger et Garcia, 1996).

Certaines grandeurs par contre, ne sont pas supposées connaître de limite; c'est le cas du progrès, de la croissance économique qui sont perçues et étudiées sous cet angle. Meadows *et al.* (1992), et le World Resources Institute (1996) étudient par exemple l'évolution constatée et prévisible de certaines grandeurs mondiales¹ (figure 1). On peut noter que cette approche globale ne conduit qu'à un plateau prévu, celui de la population « without collapse », mais aucun déjà constaté².

Cette notion de limite à la croissance ou à l'expansion de diverses variables s'exprime dans de nombreuses disciplines par la notion de capacité de charge ou facteur K.

1. image et commentaires sur: <http://dicoff.org/index.html>

2 Concrètement, nous nous trouvons sur un petit morceau de cette échelle. Les capacités de charge à considérer sont différentes selon l'échelle où l'on se place (voir également les deux échelles présentées sur la figure 3) .

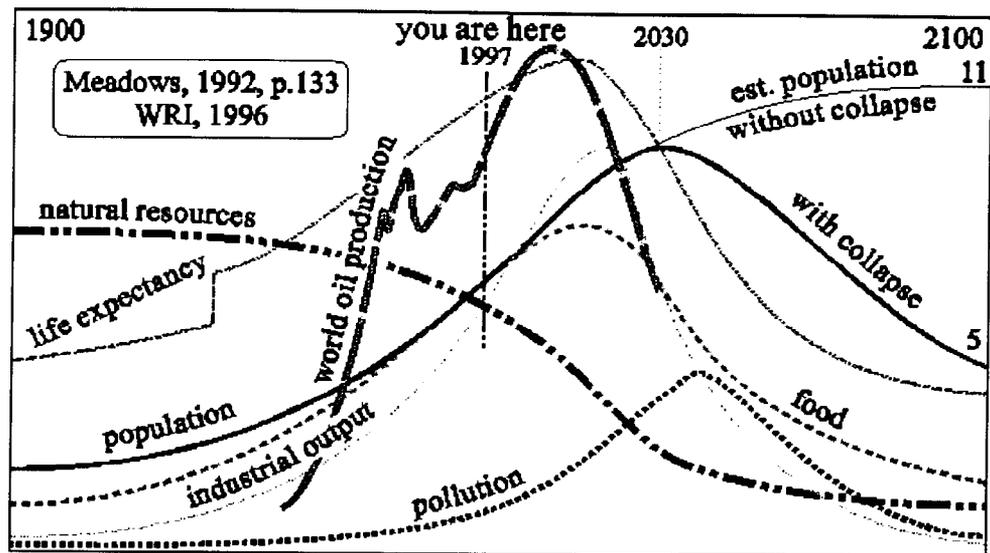


Figure 1 : évolutions mondiales des ressources et des populations

En tant que concept, la capacité de charge fait référence à quelque chose pour autre chose. K peut être ainsi défini comme la capacité de charge d'un milieu pour un organisme, d'un environnement pour une population, d'une production pour un prélèvement, d'un contenant pour un contenu.

Ce concept assez universel trouve un écho en halieutique dans les problématiques liées soit aux capacités des milieux à produire des ressources soit à la pression de pêche que peut supporter une ressource. Dans le domaine de la gestion des pêches par exemple, l'Union Européenne alloue annuellement des TAC (total available catch) aux différentes pêcheries qu'elle gère. Les TAC définissent «la limite supérieure du niveau de capture représentant le meilleur équilibre entre les contraintes biologiques des stocks et les besoins des industries de la pêche» (Anonyme, 1997). Cette approche est étroitement liée à l'existence d'une capacité de charge des ressources exploitées vis à vis de la pression de pêche.

Le poids de ce concept apparaît donc important dans la perception que l'on a des dynamiques. A travers l'exemple de la modélisation en halieutique, on s'interrogera sur sa pertinence et sa signification. L'approche classique utilisée pour aborder K sera présentée puis confrontée à un autre modèle. La pertinence du concept sera ensuite discutée.

Modélisation de la capacité de charge

La capacité de charge est un concept générique, elle correspond à un mécanisme fonctionnel. Elle fait enfin référence à une évolution dans le temps dans le sens où on la considère souvent en tant que cible à atteindre ou en tant que limite à ne pas dépasser. De par ces propriétés, la capacité de charge peut faire l'objet d'une formalisation mathématique.

Le modèle logistique

Le modèle générique qui définit le mieux la notion de capacité de charge est le modèle logistique de croissance. Défini initialement par Verhulst (1938), on peut en trouver une analyse dans Lebreton et Millier (1982) ou Pavé (1994). Selon ce modèle, la croissance dépend de caractéristiques intrinsèques de la ressource et de sa densité. Elle est limitée par K , la capacité biotique, limite de saturation ou capacité de charge de l'environnement dans lequel vit cette ressource.

Le modèle logistique s'exprime par l'équation : $dN/dt = rN(1-N/K)$

où :

N est la biomasse ou l'effectif d'une population

r est le taux d'accroissement intrinsèque de la population

K est la capacité de charge du milieu.

La figure 2 représente les courbes de réponse d'une ressource qui obéirait à ce modèle.

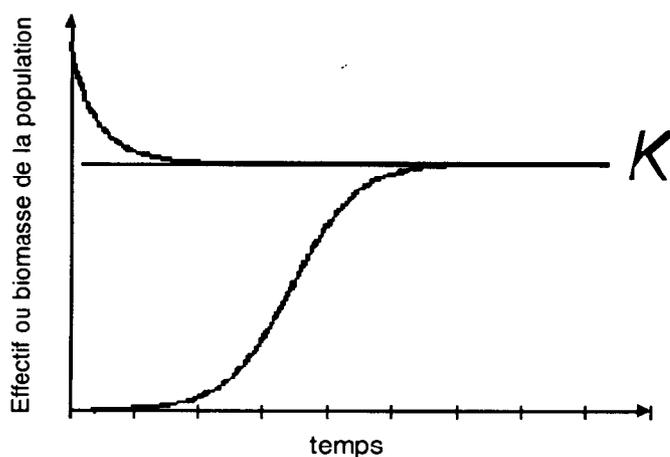


Figure 2 : courbes de réponse du modèle logistique

Si la ressource a une taille ou une masse initiale supérieure à K , elle tend à y revenir de façon exponentielle (courbe du haut). Dans l'autre cas, la dynamique se présente sous la forme d'une sigmoïde présentant une accélération puis une décélération se poursuivant à l'infini à la valeur de K . K se présente donc comme un attracteur stable de la dynamique de la population.

Variation sur le modèle logistique

Selon ce modèle simple, r et K sont des paramètres constants au cours du temps (i.e., toutes choses égales par ailleurs). Cette courbe de réponse a fait l'objet de nombreuses études et adaptations en fonction des problèmes étudiés.

Par exemple, à travers l'utilisation de ce concept, Mc Cullough (1997), donne quatre raisons à l'instabilité des populations:

- la population est intrinsèquement instable dans un milieu avec un K stable,
- la population vise K (est intrinsèquement stable) mais K est instable,
- la population vise K mais elle modifie K,
- une combinaison de points précédents.

Nous nous sommes intéressés à la deuxième situation dans laquelle une population tendrait à croître dans un environnement fluctuant. Les fluctuations de K ont été simulées pour représenter un environnement présentant une forte variabilité et des fluctuations saisonnières³. La figure 3 présente la dynamique d'une ressource qui évoluerait dans cette situation.

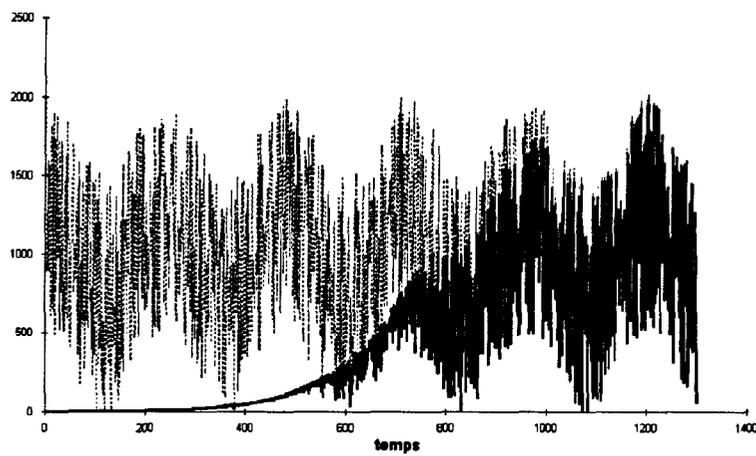
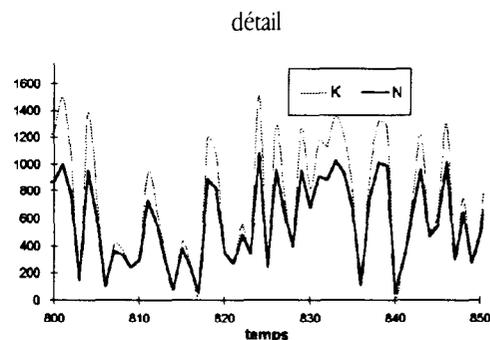


Figure 3: croissance d'une population (en noir) soumise à un environnement dont K fluctue (tirets gris)



La ressource, représentée en noir, tend à atteindre K. Elle épouse progressivement les fluctuations de K tant au niveau global que local (Cf. détail). On note que dans ce cas, l'instabilité de la population est uniquement liée aux fluctuations de l'environnement.

Il est difficile de comparer cette situation avec la réalité. La raison principale en est qu'il est difficile de déterminer la capacité de charge d'un environnement pour une population donnée compte tenu des multiples sources de fluctuations qui peuvent intervenir sur des conditions de milieu donnée, de la compétition fréquente de plusieurs populations pour un même environnement, etc. Une solution est de reproduire, par simulation informatique, de tels environnements fluctuants et d'étudier le comportement de populations dans ces milieux virtuels.

³ L'équation décrivant la capacité de charge est: $K = 250(1 + \cos(2\pi \cdot t/240)) + \text{ALEA}(0-1500)$

Simulation d'une réalité virtuelle

Les simulations multi-agents (Ferber, 1995) permettent de simuler des environnements virtuels et les populations qui y vivent. Bien que pâles mimes de la réalité, ils apportent des informations sur le fonctionnement des ressources et leurs relations avec leur environnement.

Un récent travail de modélisation (Simon, 1997) a été effectué sur la dynamique des sardinelles le long des côtes du Sénégal. Il s'agit d'une population de poissons qui migrent de façon saisonnière entre la Mauritanie et le Sénégal au gré des upwellings qui sont des phénomènes d'enrichissement du milieu (Roy, 1991).

Le modèle (présenté dans l'encart) simule un environnement et des cohortes (classes d'âge) de sardinelles vivant dans cet environnement.

Représentation multi-agents de la dynamique spatio-temporelle du stock de *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847), le long de la côte sénégalo-mauritanienne (Simon 1997).

L'approche multi-agents vise à la modélisation de populations à partir du comportement des individus qui les composent (Ferber, 1995). Ce formalisme a été utilisé pour représenter la dynamique spatio-temporelle de stocks de sardinelles, espèce de poisson pélagique vivant le long des côtes sénégalo-mauritaniennes.

Le modèle est construit à partir d'hypothèses qui supposent des relations entre le cycle biologique de cette espèce et trois paramètres d'environnement (la température de surface de l'eau, la vitesse du vent et l'enrichissement de l'environnement). Le système multi-agents est défini par un espace et un ensemble d'objets et d'agents. L'espace représente la côte Sénégalo-Mauritanienne, divisée en zones marines. Les objets contiennent la connaissance sur la biologie des espèces ainsi que les conditions d'environnement des zones marines. Les agents, des cohortes de sardinelles vivant dans cet espace, formalisent la connaissance disponible à travers des hypothèses qui sont présentées et discutées. Les agents sont dirigés par des objectifs qui dépendent des niveaux de croissance dans le cycle biologique.

Le modèle confirme l'explicativité des hypothèses sur le comportement. La modélisation de comportements individuels (niveau « local ») conduit à l'émergence du comportement du stock simulé (niveau « global ») proche de ce qui a été observé in situ : la distribution de la ressource, les périodes et zones de reproduction. La recherche d'un intervalle de température peut expliquer le comportement de migration des adultes. La recherche de conditions environnementales optimales pour la survie des larves peut expliquer la plasticité du calendrier de reproduction.

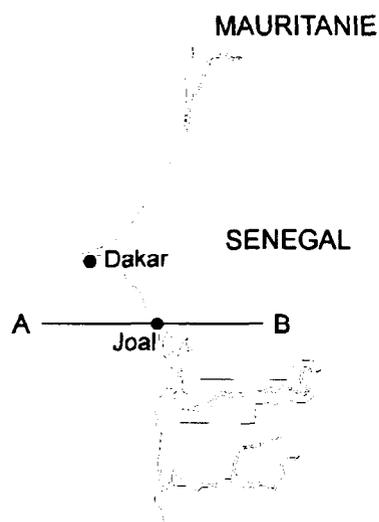


Figure 4: zone d'étude du modèle et latitude de coupe représentée sur la figure 5

Les résultats de la figure 5 présentent l'évolution simulée de la capacité de charge du milieu et de la population de sardinelles circulant dans cet environnement. Les dynamiques représentées ont été obtenues à partir de valeurs échantillonnées sur la latitude A-B tracée sur la figure 4.

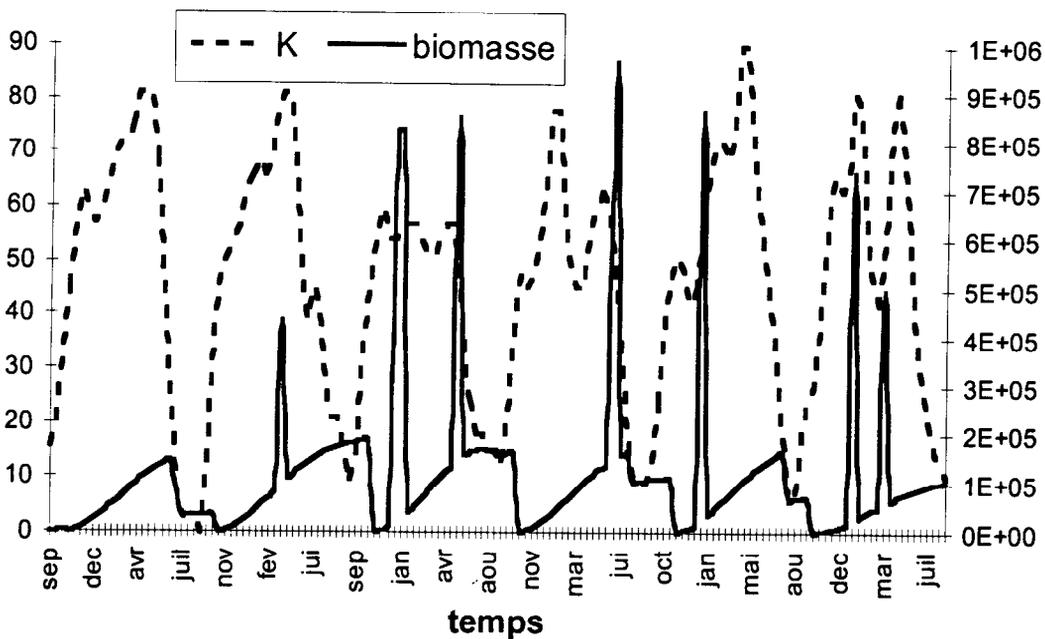


Figure 5 : Simulation multi-agents de la dynamique d'une population de sardinelles
Légende : Biomasses à gauche (trait plein) / capacité de charge à droite (en tirets)

La capacité de charge simulée fluctue de façon saisonnière. La dynamique des sardinelles a deux composantes: les pics correspondent à l'arrivée des bancs migrants de sardinelles adultes sur la latitude représentée. Le reste (bas de courbe) correspond aux jeunes cohortes qui sont présentes et croissent sur cette latitude⁴.

Dans cet exemple, il apparaît clairement que la capacité de charge de l'environnement, bien qu'explicitement formalisée dans la dynamique de la ressource, ne fournit qu'une faible part explicative à la dynamique observée de la population de sardinelle. Bien que les pics se retrouvent lors des périodes où l'enrichissement est maximum, on ne perçoit pas la tendance de la population à épouser les fluctuations de la capacité de charge, ce qui avait été présenté dans le schéma théorique de la figure 3.

Dans l'environnement marin concret, beaucoup plus complexe, on conçoit que la relation entre la dynamique d'une population et la capacité de charge de son milieu est non linéaire et dans tous les cas très indirecte.

⁴ Les juvéniles restent sur place jusqu'à leur première ponte après laquelle ils entament leur migration.

Discussion

En halieutique, le concept apparaît relatif. Il peut d'abord s'agir de la capacité de charge d'un milieu pour une ressource. Dans ce cas, on imagine sans peine que la capacité de charge d'un milieu sera différente s'il s'agit d'une ressource migrante, comme on l'a vu, ou sédentaire.

D'autre part, la capacité de charge peut s'appliquer des milieux vers les exploitants. Par exemple, la densité de pêcheurs acceptable sur une zone de pêche donnée est différente pour des artisans posant des filets ou pour des thoniers senneurs en haute mer posant les leurs.

Enfin, la capacité de charge peut aussi caractériser une ressource exploitée par un nombre variable d'exploitants. Cette capacité de charge apparaît aussi difficile à appréhender dans la mesure où les exploitants peuvent avoir une pression différente sur la ressource en utilisant par exemple des engins différents ou en exerçant plusieurs autres activités (autre espèce cible, agriculture).

K doit en outre se concevoir dans le plus grand nombre de cas comme un paramètre dont la valeur évolue avec les dynamiques caractéristiques du contenant et celles du contenu. C'est notamment le cas lorsque la ressource modifie l'environnement dans lequel elle vit.

La capacité de charge apparaît donc comme un concept relatif au point de vue où l'on se place, à une échelle de temps particulière et enfin à une dynamique dans laquelle toutes les données peuvent se modifier l'une l'autre.

Malgré ces nombreuses contraintes, la capacité de charge, considérée comme une limite, reste une notion quasi-triviale dont peu de dynamiques peuvent faire l'économie (voir introduction).

Conclusion

Les exemples présentés indiquent que la capacité de charge, en tant que concept statique établi de façon univoque entre un environnement et une population ne peut être un concept valide lorsque l'on étudie des systèmes complexes tels que les exploitations halieutiques.

On peut proposer de considérer la capacité de charge comme un seuil à partir duquel le contenant (l'exploitation, le milieu, etc.) ne peut plus maintenir un statu quo. A l'issue de ce changement il peut y avoir un changement d'organisation, de structure et soit passage à un nouveau mode homéostatique⁵ dans lequel de nouveaux seuils sont définis, soit à l'extinction ou la disparition.

La substitution de la notion de seuil à celle de capacité de charge introduit une idée d'évolution, de passage (progressif ou non) d'un système à un autre. Il n'implique pas forcément que le nouveau système soit moins satisfaisant que le précédent.

5. Homéostasie: maintien des structures et des fonctions d'un système dans un milieu changeant.

Références

- Anonyme, 1997 - La politique commune de la pêche. Pesca Info, Communauté Européenne, n°5, 1997 (p.2)
- FERBER J., 1995 - Les systèmes multi-agents : vers une intelligence collective. InterEditions, ISBN 2 7296 0572 X, 1995, 522 p.
- GRAINGER R.J.R., GARCIA S.M., 1996 - Chronicles of marine fishery landings (1950-1994): trend analysis and fisheries potential. F.A.O. tech. paper 359, 51p.
- GULLAND J.A., 1971 - The fish resources of the ocean. West Byfleet, Surrey, England, FishingNews (book) Ltd. , 255p.
- LEBRETON J.D., Millier C., Eds., 1982 - Modèles dynamiques déterministes en biologie. Masson, Ed., 1982, 208p.
- Mc CULLOUGH, D., 1997 - Do Ungulate Populations Track K Carrying Capacity. 07/1997 (<http://www.thewild.com/>)
- MEADOWS D.H., MEADOWS D.L., & RANDERS J., 1992 - Beyond the limits. Toronto: McClelland and Stewart.
- PAVÉ A., 1994 - Modélisation en biologie et en écologie. Aléas, Ed., 1994, 559p.
- PAVÉ M., 1997 - Histoire des pêches maritimes françaises. In: « la Surexploitation », troisième forum de l'association française d'halieumétrie, Montpellier, 1-3 juillet 1997.
- ROY C., 1991 - Les upwellings : le cadre physique des pêcheries côtières ouest africaines. In: Pêcheries ouest-africaines, variabilité, instabilité et changement. Cury, P. et C.Roy (Eds.) Orstom Editions, 1991: 38-66
- SIMON P., 1997 - Représentation multi-agents de la dynamique spatio-temporelle du stock de *Sardinella aurita* (Valenciennes, 1847), le long de la côte sénégal-mauritanienne. Rapp. DEA Biomathématiques, Univ. P.&M. Curie, Univ. Diderot - Paris 7, juin 1997, 28p.
- VERHULST P.F., 1938 - Notice sur la loi que suit la population dans son accroissement. corr. Math. et Phys., 10, 113-121, 1838.
- WRI (World Resources Institute), 1996 - World Ressources 1996. New York, Basic Books, Inc.