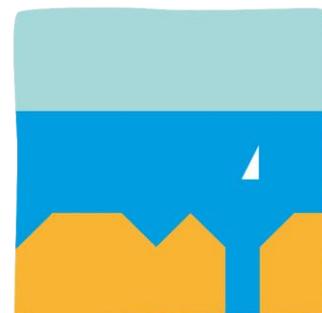


Capacité de charge

Significations, démarches d'évaluation
et types d'utilisation dans une perspective
d'aide à la décision



HomMer

Revue de littérature

Note de synthèse



© Samuel Carpentier

Pour citer ce document :

Le Gentil E. (2020). *Capacité de charge : significations, démarches d'évaluation et types d'utilisation dans une perspective d'aide à la décision*. *Revue de littérature*. Note de synthèse - GIS HomMer, octobre 2020 : 31 pages.

Résumé

Le Groupement d'intérêt scientifique (GIS) HomMer a initié courant 2015 une réflexion collective sur la capacité de charge (CC) et son utilité dans une perspective d'aide à la décision dans les aires marines protégées. Ce document synthétise les résultats de deux revues de littérature qui avaient pour principaux objectifs :

- (i) de décrire l'évolution historique des significations de la CC depuis son apparition ;
- (ii) de préciser les principales dimensions et caractéristiques de ce cadre analytique ;
- (iii) d'identifier les approches fréquemment utilisées pour son évaluation à des fins d'aide à la décision dans le champ de la gestion de l'environnement.

Les principaux résultats de ce travail documentaire sont les suivants.

Quatre principales significations ont été attribuées à la CC au cours des deux derniers siècles : son sens premier a trait au dimensionnement d'un produit manufacturé pour une charge déterminée ; la deuxième désigne un attribut des organismes vivants ou des systèmes naturels (quantité de X que Y peut transmettre ou supporter) ; la troisième est la limite intrinsèque de croissance des populations (paramètre K de la fonction logistique) ; et la quatrième détermine une relation fonctionnelle entre population et environnement à petite échelle (approche néo-malthusienne). Si toutes sont encore employées, l'usage commun a aujourd'hui plutôt consacré la dernière signification évoquée.

Lorsque la CC est mobilisée dans des travaux scientifiques s'inscrivant dans une démarche d'aide à la décision pour la gestion de l'environnement, il est souvent fait référence à cinq dimensions distinctes : physique, biologique, écologique (ou environnementale), sociale (ou psychologique, ou culturelle) et économique. Des définitions plus synthétiques existent également en combinant au moins deux des dimensions citées ci-dessus. Plus généralement, il ressort de la majeure partie des définitions consultées que la CC fait référence à un seuil (l'inflexion sommitale de la courbe logistique) utilisé comme référentiel pour désigner, soit un objectif à atteindre, soit une limite à ne pas dépasser. Généralement exprimée sous forme quantitative, son utilisation dans une perspective d'aide à la décision est souvent normative.

Quatre grands types de démarches d'évaluation de la CC, répondant à des finalités distinctes, ont été identifiés : (i) maximiser un état de conservation (espèce, habitat, ...) ou d'exploitation (ressource), (ii) réduire les dégradations environnementales, (iii) améliorer le bien-être des usagers, (iv) renforcer la durabilité d'un territoire. Toutes font appel à des méthodologies différentes et leur mise en œuvre crée des difficultés spécifiques (identification de seuil, caractérisation d'une « norme sociale », définition d'équivalences entre grandeurs de nature différentes, ...), mais aussi communes, notamment le manque de connaissances nécessaires à leur réalisation. Les recommandations d'actions de gestion réalisées à l'issue des évaluations considérées sont souvent de nature coercitive, ce qui confirme la dimension fortement normative de la CC encore aujourd'hui.

Enfin, partant du constat que la mesure « scientifique » de la CC ne suffit pas pour la définition d'actions de régulation effectives, nous concluons en soulignant que les efforts de recherche devraient porter davantage sur la mise en débat des questions qui y sont associées (croissance, impacts, choix politiques, projet de territoire). Mais la CC ne nous semble pas être le cadre analytique le plus approprié pour les explorer.

Mots-clés : capacité de charge, protection de la nature, évaluation, aide à la décision

Table des matières

Résumé	2
Table des matières	2
1) Introduction	3
2) Evolution des sens dévolus à la capacité de charge	3
3) Capacité de charge et gestion de l'environnement	5
4) Evaluations de la capacité de charge	9
5) Conclusion	13
6) Bibliographie	15
7) Annexes	20

1) Introduction

L'objectif de ce document est de présenter les différentes interprétations, démarches d'évaluation et types d'utilisation de la capacité de charge (CC) pour la gestion de l'environnement. Ce travail s'inscrit dans l'axe 1 du GIS HomMer dont l'objet est de mener une réflexion collective autour de la CC (Le Gentil *et al.*, 2015).

Cette note repose sur l'analyse de résultats obtenus au moyen de deux revues de littérature réalisées en octobre 2015 et novembre 2017. La première, de type narratif, a été réalisée en préparation de l'atelier du GIS HomMer sur la CC (Le Gentil *et al.*, 2016), et enrichie ensuite au gré d'autres lectures. La deuxième est une revue intégrative réalisée en novembre 2017 pour poursuivre la réflexion initiée à l'occasion de cet événement.

Ces revues de littérature poursuivaient deux objectifs distincts :

- pour la revue narrative, faire un inventaire (non exhaustif) des différentes définitions de la CC mentionnées dans la littérature scientifique pour identifier ses fondements théoriques, son évolution sémantique au cours du temps, les différentes dimensions et caractéristiques auxquelles il est fait référence dans ces travaux, plus particulièrement lorsqu'il y est question de gestion de l'environnement ;
- pour la revue intégrative, identifier les différentes pratiques scientifiques d'évaluation de la CC dans une perspective d'aide à la décision, et les recommandations associées en matière d'actions de gestion.

Les points abordés dans cette note de synthèse sont par conséquent les suivants :

- l'évolution historique des sens attribués à la capacité de charge depuis son apparition ;
- les dimensions et caractéristiques de la CC, d'après quelques-unes des définitions existantes ;
- les approches mobilisées pour son évaluation dans une perspective d'aide à la décision.

2) Evolution des sens dévolus à la capacité de charge

« 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 » (Le Fur, 1998). Ainsi formulée, la capacité de charge (CC) est un sujet de portée universelle (Sayre, 2008), et de nombreux phénomènes sont envisagés à travers ce prisme du fait de sa large diffusion dans diverses disciplines scientifiques (Le Fur, 1998 ; Sayre, 2008).

Si son contenu a été maintes fois précisé voire redéfini en fonction des problématiques abordées – développement de l'agro-pastoralisme (Hervé, 1998), développement aquacole (Guyonnet, 2015), *cycle de vie des destinations touristiques* (Butler, 1980), ou gestion des pêcheries (MSY¹ : Picouet *et al.*, 2000) – son origine historique demeure incertaine. Quatre grands domaines d'utilisation de la CC ont toutefois été identifiés par Sayre (2008) pour une période allant du 19^{ème} siècle à nos jours (figure n° 1).

La signification originelle du terme relèverait selon cet auteur de l'ingénierie (figure n° 1 : sens 1). La CC traduit alors la quantité de contenant (X) qu'un contenu (Y) peut transporter (Sayre, 2008). La première référence faite en ce sens concerne le transport maritime du

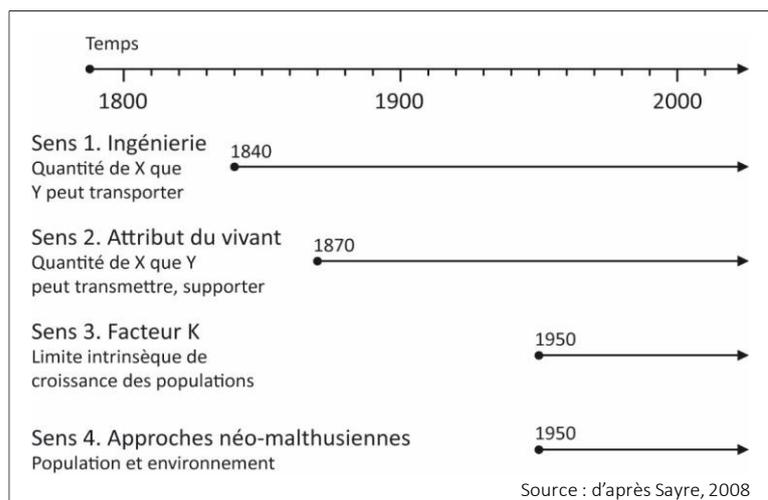


Figure n° 1. Evolution historique des sens dévolus à la capacité de charge
 temps de l'apparition de la propulsion à vapeur (19^{ème} siècle). Il est alors question du volume de marchandises qu'un navire peut transporter. Ces informations étaient utiles pour calculer le montant des taxes portuaires,

¹ MSY : Maximum Sustainable Yield ou rendement maximal soutenable.

mesurer la compétitivité des différents modes de propulsion maritime (Sayre, 2008) ou pour réduire les risques de chavirement des navires en leur imposant une charge maximale fonction de la nature des marchandises transportées, des saisons et des routes maritimes empruntées². L'usage de la capacité de charge – au sens du dimensionnement d'un produit manufacturé pour une charge déterminée – perdure encore aujourd'hui dans le domaine de la construction des gros ouvrages (ponts, ...).

Le deuxième sens de la CC, apparu plus tardivement, est entendu ici comme attribut des organismes vivants et des systèmes naturels. Il a trait à la quantité de X que Y peut transmettre ou supporter (figure n° 1 : sens 2). La signification de la CC demeure donc quasiment inchangée mais son champ d'application est élargi (Sayre, 2008). La CC pouvait désigner la capacité d'un cours d'eau à transporter des sédiments de l'amont vers l'aval (Sayre, 2008 ; Yang *et al.*, 2013) ou le « nombre maximum d'herbivores qui pouvaient pâturer une surface donnée, sans détérioration de la végétation » (Hervé, 1998). Dès les années 1920-1930, les gestionnaires de la faune sauvage aux Etats-Unis mobilisèrent ce référentiel dans l'optique de maximiser la taille de certaines populations animales, au moyen si nécessaire de mesures spécifiques (contrôle des prédateurs, relocalisation d'animaux sauvages, ...) (Dhont, 1988). Cette façon de gérer les dynamiques de population est encore assez répandue, confortée en cela par les évolutions théoriques de l'écologie scientifique des années 1950 (Sayre, 2008).

La troisième signification attribuée à la CC, comme limite intrinsèque de croissance des populations (faune, flore) (figure n° 1 : sens 3), prend ses sources dans les études portant sur les dynamiques de population en écologie au tournant du 19^{ème} et du 20^{ème} siècle (Lange, 2011), elles-mêmes inspirées du modèle malthusien (Picouet *et al.*, 2000³ : voir paragraphe suivant). Envisagée jusqu'au milieu du 20^{ème} siècle de manière inductive et appliquée, la CC est analysée dès le début des années 1950 de façon déductive et théorique au moyen de la loi logistique (Dhont, 1988 ; Sayre, 2008). Celle-ci est utilisée en 1953 par Eugene Odum dans son livre *Fundamentals of Ecology* où il assimile le concept de CC au paramètre K de l'équation de la loi logistique (Dhont, 1988 ; Price, 1999 ; Picouet *et al.*, 2000). D'après ce modèle, « la taille d'une population dans un milieu donné croîtrait selon une loi logistique et se stabiliserait à un niveau appelé capacité de charge, population limite, capacité biotique, ou encore limite de saturation. Les trois phases d'une croissance logistique dans le temps (croissance rapide, transition et enfin évolution asymptotique vers un équilibre stable) sont représentées par une courbe en S, dont l'asymptote supérieure correspond au paramètre K de l'équation de la loi logistique. Après une croissance exponentielle et passé un point d'inflexion, le taux de croissance de la population diminue pour tendre vers zéro » (Picouet *et al.*, 2000). Le modèle logistique de la CC formalise ainsi deux idées très débattues au sein de la communauté scientifique : (i) l'environnement, notamment les capacités nutritionnelles liées aux ressources disponibles, établit une limite constante à la croissance des populations et (ii) les populations croissent jusqu'à cette limite (Dhont, 1988 ; Price, 1999).

Si le facteur K retint la faune et la flore comme objet d'étude, la CC va aussi être envisagée, toujours dans les années 1950, sous l'angle des relations entre population et environnement aux échelles continentale et mondiale (figure n° 1 : sens 4). Cette représentation fut très tôt qualifiée de néo-malthusienne car la filiation de l'idée de surpopulation remonte aux travaux du révérend Thomas Robert Malthus⁴, un économiste britannique, selon lesquels « la population tend constamment à s'accroître au-delà des moyens de subsistance et qu'elle est arrêtée par cet obstacle » (Malthus, 1798 *in* Meillassoux, 1991). Cette théorie, et ses multiples développements, vont donner le coup d'envoi à de très nombreuses controverses, notamment parce que « les idées de Malthus (...), son absence de rigueur et ses formulations se prêtent facilement aux pires interprétations » (Meillassoux, 1991). Une certaine forme de « catastrophisme écologique »⁵, particulièrement

² Cette charge maximale est matérialisée sur les coques des navires par des lignes de charge ou marques de franc-bord.

³ D'après Picouet *et al.* (2000), « (...) le modèle malthusien offrait une version cohérente des processus régulant les effectifs des espèces vivantes et donnait aux évolutionnistes un cadre théorique pertinent. Darwin s'y référerait longuement dans ses travaux, donnant naissance à la notion d'effectif maximum de la population en fonction des ressources ». En 1838, le mathématicien Pierre-François Verhulst va formaliser le schéma malthusien au moyen de la loi logistique. En 1925, cette dernière est sortie de l'oubli grâce aux travaux du zoologiste Raymond Pearl qui, sur la base d'expériences en laboratoire, établit la validité de la « courbe en S » comme loi de la croissance des populations dans un espace limité (Romagny, 1998).

⁴ « C'est en 1798, dans la première édition de son *Essai sur le principe de population*, que le Révérend Thomas Robert Malthus a formulé son « principe de population » : « Si elle n'est pas freinée, la population s'accroît en progression géométrique. Les subsistances ne s'accroissent qu'en progression arithmétique. » (Malthus, 1966 [1798] *in* Rutherford, 2007).

⁵ Trois parutions traduisent bien « cette vision d'un monde fini, aux ressources limitées, menacé par une population de plus en plus nombreuse » (Picouet *et al.*, 2000) : *Road to Survival* (1948) de William Vogt, *Our Plundered Planet* (1948) de Fairfield Osborn (Mahrane *et al.*, 2012) et *The Population Bomb* (1968) de Paul R. Ehrlich (Picouet *et al.* 2000). Toutes prophétisent une catastrophe environnementale mondiale à venir : « trop d'hommes, pas assez de nourriture et de matières premières, la planète se meurt (...) » (Picouet *et al.* 2000).

en vogue dans la deuxième partie du 20^{ème} siècle et qui trouvera une large audience dans la communauté internationale (Mahrane *et al.*, 2012), va très largement s'en inspirer et « faire de la croissance mondiale de la population et de l'usage de la nature par la société moderne les causes majeures de l'épuisement des ressources naturelles de la planète » (Mahrane *et al.*, 2012)⁶. Durant les années 1980-1990, la relation déterministe population-développement-environnement (ou plutôt surpopulation-pauvreté-dégradation de l'environnement⁷) diffusée par le courant néo-malthusien va être contestée au regard d'autres conceptions de la forme fonctionnelle de cette relation (Ouharon, 1997 ; Picouet *et al.*, 2000 ; Rees, 2002). La virulence de ce débat, « non dénué de préjugés idéologiques et moraux » (Picouet *et al.*, 2000), s'amenuise (un peu) depuis quelques années avec l'émergence d'un discours alternatif porteur d'une vision plus dynamique des interactions entre sociétés et environnement, où incertitude et imprévisibilité sont reconnues (Picouet *et al.*, 2000)⁸. Bien d'autres approches de la CC s'inscrivant dans ce paradigme ont depuis été développées, notamment aux échelles régionale et locale. C'est d'ailleurs majoritairement en ce sens qu'actuellement la CC est d'ordinaire entendue (Sayre, 2008).

Les sens dévolus à la CC au cours des deux derniers siècles sont donc disparates et tous sont encore utilisés même si l'usage commun a aujourd'hui plutôt consacré la dimension néo-malthusienne. Il est dès lors intéressant de cerner plus précisément ce que ce cadre analytique recouvre lorsqu'il est employé dans des travaux scientifiques s'inscrivant dans une démarche d'aide à la décision pour la gestion de l'environnement.

3) Capacité de charge et gestion de l'environnement

Encadré n° 1. Précisions méthodologiques

Les sections 1 et 2 sont écrites sur la base des résultats de la revue narrative de littérature (octobre 2015, et réactualisation en 2018, 2019 et 2020).

La revue narrative est la forme traditionnelle de la synthèse bibliographique. Il s'agit d'un rappel des connaissances portant sur un sujet précis, recueillies à partir de la littérature jugée pertinente, sans méthode explicite d'acquisition et d'analyse des articles inclus dans la revue (Horvath et Pewsner, 2004).

La littérature jugée pertinente (articles de type review notamment) a d'abord été identifiée par des requêtes spécifiques dans diverses bases de données (SCOPUS, ISIWEB et Google Scholar notamment), puis ce corpus documentaire a été complété par l'examen détaillé de la bibliographie figurant dans les premiers articles identifiés (méthode d'échantillonnage de type *snowball sampling* : Goodman, 1961). Notre seule finalité ici était de diversifier, autant que ce peut, nos sources documentaires. Les informations recherchées dans chaque article répertorié sont les suivantes : fondements théoriques évoqués, définitions, caractéristiques de la CC, avantages et inconvénients liés à son utilisation).

La liste complète des définitions compilées de cette manière figure en annexe n° 1.

La revue narrative (encadré n° 1) menée pour identifier les définitions de la CC a permis d'en distinguer deux types : (i) des définitions synthétiques et (ii) des définitions se rapportant à des dimensions plus spécifiques. L'examen de leur contenu, et plus largement des écrits qui les mentionnent, permet aussi d'identifier les principales caractéristiques qui lui sont souvent associées.

31. Définitions des dimensions spécifiques

Cinq d'entre-elles ont été identifiées d'après les définitions trouvées dans la littérature consultée. La liste complète des définitions recensées (liste non exhaustive) figure en annexe n° 1.

⁶ L'indice d'empreinte écologique, conçu sur l'hypothèse de surconsommation des activités humaines relativement à la production écologique, est une expression scientifique très médiatisée de ce courant de pensée (Lange, 2011).

⁷ « C'est « le fameux « cercle vicieux de dégradation » dans lequel une population de plus en plus nombreuse est contrainte d'exercer une pression toujours plus grande sur les ressources naturelles, entraînant ainsi la population et le milieu dans une spirale infernale où sa paupérisation et la dégradation du milieu se nourrissent l'une de l'autre. Pour éviter ce scénario, le seul moyen est de réduire intentionnellement la pression démographique pour ne pas subir les mécanismes autorégulateurs tels que les famines, les épidémies ou les conflits armés à grande échelle. » (Picouet *et al.*, 2000).

⁸ Les socio-écosystèmes sont des systèmes complexes, ouverts et dynamiques, caractérisés par des interactions multiples qu'il faut considérer au moyen de différents référentiels, notamment spatio-temporels (Picouet *et al.*, 2000). Leur évolution, très sensible à une légère modification des conditions initiales, est très souvent non linéaire (dynamiques de changement aléatoires) et difficile à prédire (Romagny, 1998).

- *Dimension physique*

La dimension physique de la CC correspond généralement à la capacité d'accueil d'un site (Pigram, 1983 in Sowman, 1987), autrement dit sa contenance maximale. Il peut par exemple s'agir du nombre total de véhicules que le dimensionnement d'une aire de stationnement permet d'accueillir ou du nombre maximum d'usagers qu'une plage peut contenir au regard de sa surface (plage sèche). Elle est d'ordinaire mesurée sous la forme d'un effectif rapporté à une surface.

- *Dimension biologique*

La dimension biologique s'intéresse aux dynamiques de population(s) animale(s) et/ou végétale(s) au regard des conditions environnementales. Laidre *et al.* (2002) ont par exemple estimé la population théorique de loutres de mer d'après leur comportement (distance des déplacements, profondeur des pratiques de pêche) et les caractéristiques des habitats (types et surfaces des substrats, quantité de ressources alimentaires disponibles [varech], etc.) qui leur sont familiers sur les littoraux de l'Etat de Washington. Il s'agit dans ce cas précis d'estimer la taille d'une population animale maximale théorique au regard des caractéristiques des conditions environnementales. Ce référentiel peut ensuite être comparé à des comptages *in situ* pour évaluer le niveau de conservation de ladite population. Cet exemple est une application dérivée de l'usage du paramètre K.

- *Dimension écologique (environnementale)*

La dimension écologique (aussi appelée environnementale) de la CC envisage les effets des pressions anthropiques exercées sur les écosystèmes. Cette approche repose généralement sur l'hypothèse qu'au-delà de certains niveaux d'usage(s), la dégradation de l'environnement s'accélère considérablement. C'est par exemple le cas de la pointe du Raz dans les années 1970-1990 où la forte croissance de la fréquentation récréotouristique (piétonnière et automobile) a, passé un certain degré d'intensité, fortement altéré les landes littorales en l'absence d'aménagements spécifiques, depuis l'appauvrissement de la végétation jusqu'à l'érosion des sols en certains endroits. Le site a en conséquence été réaménagé, notamment pour mieux canaliser les flux de visiteurs (opération Grand site, fin des années 1990 : Desdoigts, 2000). La dimension écologique de la CC renvoie ainsi à la charge (ou pressions) que des activités, usages ou pratiques font « peser » sur l'environnement. Cette charge se traduit par des effets (impacts) qui peuvent aller jusqu'à la disparition du système préexistant (Odum, 1997 in Vasconcellos et Gasalla, 2001). Les recherches menées en écologie se sont beaucoup développées ces dernières années autour de l'identification de ces points de basculement (*thresholds* ou *tipping points*) à des fins d'appui à la gestion (Selkoe *et al.*, 2015). Cette conception de la CC hybride en quelque sorte la théorie d'Odum et le sens néo-malthusien évoqué précédemment.

- *Dimension sociale (culturelle, psychologique)*

La dimension sociale (aussi appelée culturelle ou psychologique) de la CC s'intéresse aux pertes de bien-être des usagers du fait des effets occasionnés par la forte attractivité d'un site ou d'un territoire : congestion et dérangement associé ; transformation du cadre de vie par les dégradations environnementales induites ... Cette dimension fait explicitement référence aux représentations, aux perceptions et aux préférences des usagers de l'espace considéré (population de passage [visiteurs, touristes, ...] ou population locale [habitants permanents et résidents secondaires]) (Graefe *et al.*, 1984 ; Saveriades, 2000). Dans ce cas précis, la dimension sociale de la CC correspond au(x) seuil(s) à partir duquel/desquels les désagréments ressentis par les usagers vont dépasser les aménités recherchées. Pour les visiteurs d'un site touristique, ces désagréments peuvent aller jusqu'à se traduire par la décision de ne plus revenir dans l'endroit considéré avec pour corollaire des impacts socio-économiques (baisse du CA, pertes d'emplois, ...). Pour la population résidente, la dégradation du cadre de vie peut notamment créer de la conflictualité. Les dimensions sociales et économiques sont liées.

- *Dimension économique*

La dimension économique renvoie enfin aux effets générés par l'essor d'un(e) ou plusieurs activité(s) au détriment d'un(e) ou plusieurs autres activité(s) (Hunter, 1995). L'équité, c'est-à-dire la question du partage des coûts et des avantages entre les différentes parties prenantes est alors cruciale. La recomposition d'un territoire littoral autour d'une mono-activité va générer de profondes mutations qui peuvent se traduire par des pertes de bien-être – au sens économique – pour la population résidente (disparition partielle ou totale d'activités préalablement établies, inflation, pression foncière, report résidentiel de la population locale vers l'arrière-pays, ...). Dans ce cas précis, la dimension économique de la CC correspond au(x) point(s) jusqu'au(x)quel(s) une activité peut se développer sans pour autant déstructurer le tissu socio-économique préexistant.

32. Définitions synthétiques

Contrairement aux précédentes, ces définitions ont pour principale caractéristique de considérer plusieurs interactions simultanément (tableau n° 1 et annexe n° 1) et sont souvent formulées pour des contextes particuliers (une activité, un territoire, ...). L'une des plus connues d'entre elles fut formulée par J. A. Wagar (1964) au début des années 1960 : "The carrying capacity of a natural area is a quantitative limit beyond which undesirable consequences may occur". Cet auteur faisait référence à deux phénomènes distincts qui interagissent ensemble : les impacts écologiques (dégradation des ressources) et sociaux (dégradation de la qualité de la visite) des activités récréotouristiques dans les espaces naturels (Wagar, 1964). La problématique de la durabilité des systèmes territoriaux est également souvent appréhendée sous l'angle d'enjeux et d'interactions multiples (Chadenas *et al.*, 2008 ; Roussel *et al.*, 2007). Aux questions environnementales s'ajoutent alors des considérations d'ordres sociale voire économique, et parfois la prise en compte des capacités d'action des institutions, des populations, voire de l'ensemble des acteurs du territoire considéré. Ce dernier aspect est toutefois assez peu évoqué dans les définitions consultées alors que son incidence sur la variabilité de la CC est probablement primordiale.

33. Caractéristiques de la capacité de charge

S'il n'y a pas de définition universellement acceptée de la CC (Saveriades, 2000), il s'agit en revanche d'un cadre générique « qui fait référence à quelque chose pour autre chose » (Le Fur, 1998). La CC peut, par exemple, être appréhendée comme celle d'un habitat pour une population animale ou celle d'un écosystème pour un usage déterminé.

La CC se conçoit comme « un paramètre dont la valeur évolue avec les dynamiques caractéristiques du contenant et celles du contenu » (Le Fur, 1998). Elle varie dans l'espace et le temps sous l'effet conjugué de multiples sources de fluctuations dont les échelles diffèrent (variabilité environnementale, cycles économiques, actions de gestion mises en œuvre, ... : Le Fur, 1998 ; Saveriades, 2000 ; Coll *et al.*, 2012 ; Salerno *et al.*, 2013). Elle varie également selon les caractéristiques et les préférences exprimées – collectives et/ou individuelles – des usagers (visiteurs, population locale, parties prenantes, ...) (Seidl et Tisdell, 1999 ; Roussel *et al.*, 2007). La CC peut ainsi être mesurée à différents pas de temps (CC instantanée, horaire, journalière, ... : Vourch, 1999), à différentes échelles spatiales (Hervé, 1998), et pour différentes entités : d'une espèce jusqu'à un écosystème ; d'un espace réduit jusqu'à un vaste territoire ; d'un individu jusqu'à une population dans son ensemble (Navarro-Jurado *et al.*, 2012). En raison de ses fluctuations, sa mesure doit être répétée pour rendre compte de ses dynamiques spatiales et temporelles. Certains auteurs considèrent que lorsque la CC est atteinte ou dépassée, le système considéré n'est plus résilient (Seidl et Tisdell, 1999).

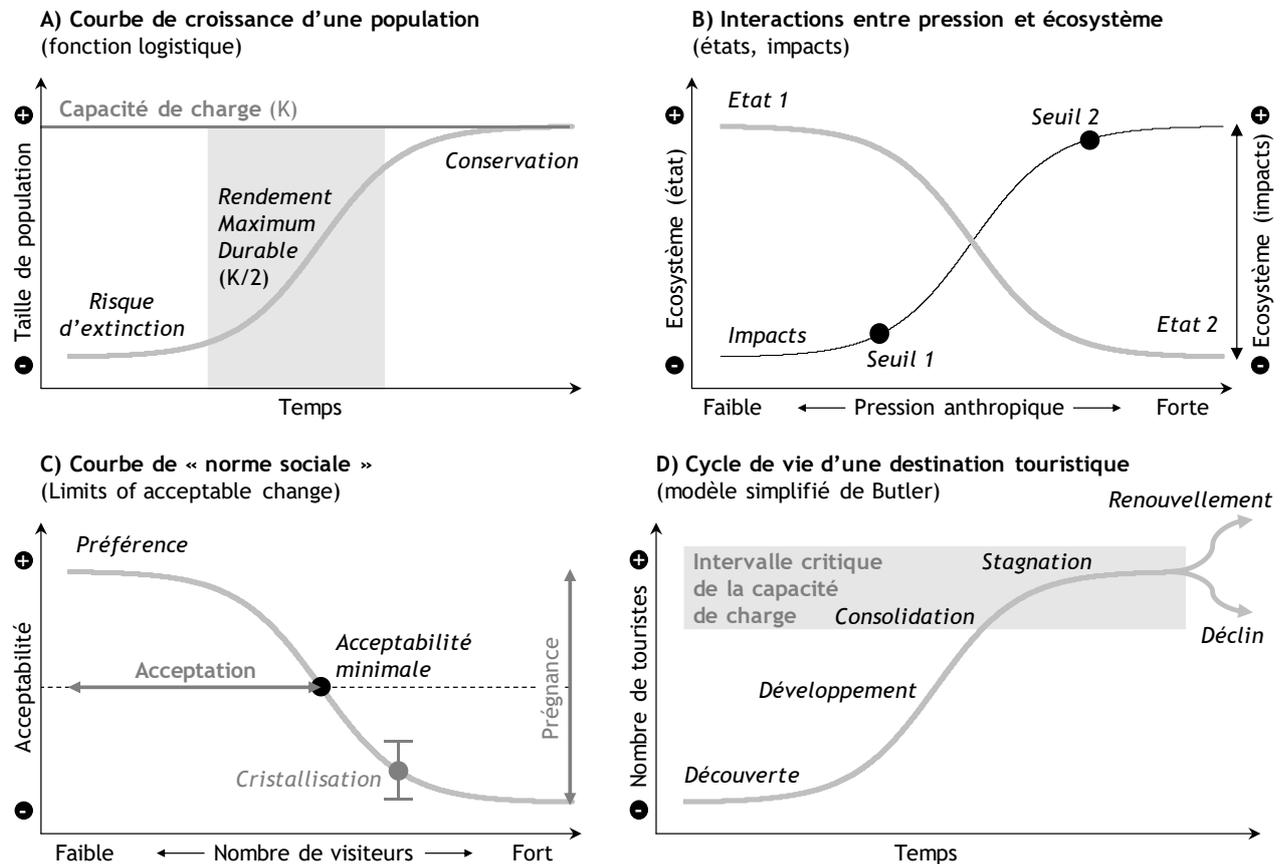
La CC s'inscrit dans une logique d'optimisation (Le Fur, 1998) et est souvent interprétée comme un référentiel théorique (Coll *et al.*, 2012) à atteindre (objectif) ou à ne pas dépasser (limite) (Le Fur, 1998 ; Hervé, 1999). Ce référentiel est assimilé à un seuil⁹ (*threshold, turning point, tipping point, target, ...*) marquant le passage rapide voire brutal d'un état vers un autre (inflexion de la courbe logistique). Celui-ci peut être établi à partir des connaissances scientifiques (« limites écologiques » par exemple : Groffman *et al.* [2006] in Karakassis *et al.*, 2013), des préférences de différentes parties prenantes (niveau de dérangement acceptable, ... : Saveriades, 2000 ; Manning, 2013), voire des normes réglementaires (Liao *et al.*, 2013). Elle est très souvent exprimée en termes d'effectif : niveau d'usage ; taille de population animale ou végétale. A l'échelle d'un territoire, la CC est souvent pluridimensionnelle (Salerno *et al.*, 2013 ; Kurdoglu, 2015), c'est-à-dire qu'il existe potentiellement autant de seuils que de problématiques envisagées. Lorsque qu'elles sont analysées ensemble, c'est généralement par la recherche d'un optimum dans l'espace circonscrit par les différentes dimensions considérées (économique, sociale, écologique, etc. : Navarro Jurado *et al.*, 2012 ; Salerno *et al.*, 2013).

La CC est enfin un cadre normatif (Seidl et Tisdell, 1999 ; David, 1999), conçu par les scientifiques et les gestionnaires de l'environnement dans une perspective opérationnelle (Picouet *et al.*, 2000), et son institutionnalisation¹⁰ n'est donc guère étonnante. La CC fait désormais partie du répertoire langagier caractéristique du courant de pensée dominant dans les instances internationales de protection de la nature

⁹ Seuil : « limite, point, moment au-delà desquels commence un état, se manifeste un phénomène » (Larousse, 2015).

¹⁰ Entre autres exemples, l'obligation d'évaluer la CC figure dans les textes suivants : Etats-Unis d'Amérique (The National Parks and Recreation Act : Manning, 2002) ; France (charte du Parc national de Port-Cros) ; Turquie (National Park Regulations : Sayan et Atik, 2011) ; Slovaquie (Act No. 127/1994 of the Slovak National Council on environmental impact assessment : Kubiček et Hrnčiarová, 1999) ; Grèce (regulatory framework for fish farming : Karakassis *et al.*, 2013) ; Protocole GIZC de la convention de Barcelone (Prieur, 2011).

(IUCN¹¹ par exemple), le « conservationnisme »¹², une expertise écologique combinant conservation et optimisation de la « productivité biologique » (Mahrane et al., 2012). Outre ses apparentés avec la notion de « développement durable » (Picouet *et al.*, 2000 ; Sayre, 2008), la CC séduit car sa normativité – au sens où elle a vocation à procurer un contenu scientifique mobilisable pour la définition de règles¹³ – s’accommode bien avec la gestion politique qui prend encore souvent « la forme de décisions correspondant à l’énoncé d’interdictions ou d’obligations (...) » (Picouet *et al.*, 2000)¹⁴. Si le concept de CC apparaît quelque peu ancien sur le plan scientifique, son emploi à des fins de pilotage ou d’évaluation de programmes d’action publique est en revanche dans l’air du temps¹⁵ (Sidan et Galletti, 2018).



Sources : d’après del Monte-Luna *et al.*, 2004 (A) ; Elliott *et al.*, 2007 ; Venohr *et al.*, 2018 (B) ; Manning, 2013 (C) ; Butler, 1980 (D)

Figure n° 2. Quelques exemples de cadres analytiques inspirés par le paramètre K de la fonction logistique

En conclusion, d’après les définitions consultées, il ressort que la CC s’appuie sur un cadre théorique mobilisant une courbe de croissance (la fonction logistique) pour représenter différentes relations (espèce-habitat, population-environnement, usage-écosystème, ...) qui se caractérisent par le passage rapide d’un état vers un autre (figure n° 2). La CC à strictement parler (ou seuil) est l’inflexion sommitale de cette courbe. Elle est utilisée comme référentiel pour désigner une limite à ne pas dépasser ou un objectif à atteindre. C’est l’idée de limite qui est commune à la plupart des définitions consultées, sans nécessairement de référence explicite à la fonction logistique. La CC s’inscrit ainsi dans une logique d’optimisation, et son utilisation dans une perspective d’aide à la décision est généralement normative. Souvent exprimée sous forme numérique, elle est envisagée comme un guide pour l’action, et la question de son évaluation est donc centrale dans la littérature scientifique.

¹¹ IUCN : International Union for Conservation of Nature.

¹² En opposition au *préservationnisme*, le courant *conservationniste* développe une perspective utilitariste de la conservation des ressources naturelles. L’actuel paradigme du développement durable est une filiation directe du modèle de développement proposé par le courant *conservationniste* (Bergandi et Galangau-Quérat, 2008).

¹³ Un *numerus clausus* par exemple.

¹⁴ Même si les formes de *protection contractuelle de l’environnement se développent rapidement*.

¹⁵ L’activité d’évaluation des politiques publiques en France s’est beaucoup développée à partir des années 1990 (Barbier, 2010).

4) Evaluations de la capacité de charge

Ce sont ici les démarches d'évaluation de la CC les plus fréquemment utilisées dans les espaces protégés, sur le littoral ou en mer, que nous avons voulu identifier. La méthode de revue intégrative (encadré n° 2) a permis de constituer un corpus documentaire comprenant 67 évaluations de la CC (61 articles). Bien que composé d'articles très divers, la petite taille du corpus documentaire constitué d'après nos critères de sélection (figure n° 3) ne rend certainement pas compte de toutes les démarches d'évaluation existantes.

Après une brève description de la composition de cette base documentaire, nous présentons les principales approches identifiées dans le cas présent, et les principales actions de gestion recommandées par leurs auteurs à leur issue.

Encadré n° 2. Précisions méthodologiques

Cette section repose sur les résultats obtenus au moyen d'une revue intégrative de littérature réalisée en novembre 2016. A la différence de la revue narrative, la revue intégrative consiste à mettre en œuvre un protocole de recherche et de sélection des études scientifiques puis une analyse de contenu (Bardin, 2013) pour synthétiser les connaissances relatives à une question ou à un champ particulier (Khoo, 2011). L'objectif était ici d'identifier les différentes pratiques scientifiques d'évaluation de la CC et les recommandations réalisées à leur issue en termes d'actions de gestion.

La revue de littérature dont les résultats sont présentés ici n'est pas exhaustive tant la littérature sur la CC est abondante¹⁶. Le but n'était pas de constituer un échantillon représentatif de la littérature sur ce sujet mais un échantillon dit de variation maximale pour apprécier la diversité des approches mobilisées durant la période récente (2000-2015).

Pour ce faire, nous avons appliqué nos requêtes à deux bases de données bibliographiques distinctes, SCOPUS et ISIWEB, dont les couvertures géographiques et disciplinaires sont partielles mais complémentaires (Falagas *et al.*, 2008). Les requêtes ont été faites uniquement sur les titres des articles pour ne pas constituer un corpus de textes trop volumineux avant l'application des critères de sélection. C'est une limite importante de ce travail. Les requêtes réalisées, les critères de sélection et les informations produites sont résumés dans la figure n° 3.

La typologie des pratiques d'évaluation de la CC a été réalisée par classification ascendante hiérarchique (CAH) (sur les variables « interactions » et « cadres analytiques »). Les variables produites d'après la lecture des documents ont été transformées en données binaires au moyen d'un codage disjonctif complet et la matrice des distances a été calculée avec l'indice de Jaccard (classification des individus [67 évaluations] par lien moyen) (Roux, 2006). Les autres variables figurant dans la typologie finale sont employées à titre illustratif pour décrire plus précisément chaque catégorie. La liste complète des articles retenus figure dans l'annexe n° 4.

4.1. Description générale du corpus documentaire

Les études composant notre corpus documentaire ont été surtout publiées entre 2008 et 2015 et portent sur des zones d'études (ZE) localisées en Amérique, en Asie, et dans une moindre mesure en Europe. Celles-ci sont de tailles diverses, majoritairement situées en mer et/ou dans l'espace littoral, et pour moitié d'entre elles dans des espaces naturels protégés. Lorsqu'il y est fait mention d'un usage (comme source de pressions, comme usage à réguler, ...), ce sont les activités touristiques et/ou récréatives qui prédominent, suivie de l'aquaculture.

Les évaluations menées dans ces espaces s'appuient toutes sur des données quantitatives – démarche la plus répandue lors de nos recherches documentaires – mais ne sont pas toutes pour autant exprimées sous forme de seuil(s) à atteindre ou à ne pas dépasser. Toutes ces évaluations s'appliquent à des aires strictement délimitées (zones, et plus rarement des itinéraires) et sont très souvent réalisées pour caractériser un état initial (diagnostic), de manière descriptive ou explicative (modèle). Dans près de ¾ des évaluations, c'est d'un référentiel à ne pas dépasser dont il s'agit, notamment parce que les interactions les plus souvent étudiées sont de nature « usages-écosystèmes » ou « usages-écosystèmes-gestion » pour réduire les dégradations environnementales associées. La variabilité spatiale de la CC est la plus considérée (annexe n° 2).

¹⁶ Pour exemple, une requête combinant les termes « carrying capacity » et « environment » dans les champs « abstract », « title » et « keyword » de la base de données SCOPUS produit environ 2 600 références (novembre 2016), ce qui témoigne de la popularité de ce cadre analytique mais aussi de la difficulté, dans le temps imparti, d'effectuer une synthèse complète, pour autant que cela existe.

Questionnement principal		
Comment la capacité de charge est-elle évaluée, pour la protection de l'environnement, en mer et/ou sur le littoral et/ou dans les espaces protégés ?		
	↓	↓
Requêtes effectuées (sur les titres uniquement)	ISIWEB (n)	SCOPUS (n)
• TITLE ("carrying capacit*" AND ("tourism*" OR "tourist*"))	86	99
• TITLE ("carrying capacit*" AND ("coast*" OR "sea*" OR "ocean*"))	66	87
• TITLE ("carrying capacit*" AND "urban*")	60	82
• TITLE ("carrying capacit*" AND "management")	73	63
• TITLE ("carrying capacit*" AND ("reserve*" OR "protected area*" OR "park*" OR "sanctuar*"))	58	63
• TITLE ("carrying capacit*" AND ("island*" OR "isle*"))	22	35
• TITLE ("carrying capacit*" AND "marine*")	24	23
• TITLE ("carrying capacit*" AND "beach*")	29	22
• TITLE ("carrying capacit*" AND "fish*")	17	19
• TITLE ("carrying capacit*" AND "wetland*")	15	18
• TITLE ("carrying capacit*" AND "artificial*")	9	18
• TITLE ("carrying capacit*" AND "aquaculture*")	19	17
• TITLE ("carrying capacit*" AND "estuar*")	9	10
• TITLE ("carrying capacit*" AND "offshore*")	5	8
• TITLE ("carrying capacit*" AND "lagoon*")	2	5
• TITLE ("carrying capacit*" AND "coral reef*")	1	2
	428 articles distincts	
	↓	
Critères considérés pour la sélection des articles		
Critères d'inclusion	Critères d'exclusion	61 articles retenus (67 éval. de la CC)
<ul style="list-style-type: none"> Articles revus par les pairs Articles publiés en langue anglaise Articles évaluant la CC Evaluations empiriques (avec étude[s] de cas) Etudes de cas situées en mer et/ou sur le littoral et/ou dans des espaces protégés Etudes réalisées à des fins d'aide à la gestion Articles publiés entre 2000 et 2015 	<ul style="list-style-type: none"> Actes de colloque, ouvrages, littérature grise Articles rédigés dans d'autres langues Articles sans donnée quantitative pour l'évaluation Articles théoriques et/ou méthodo. et/ou revues de litt. Autres types d'espaces (zones urbanisées, etc.) Etudes ne se référant pas à la protection de l'environnement Doublons (études similaires publiées dans plusieurs revues) Articles non disponibles en texte intégral 	
		↓
Informations recueillies dans les articles sélectionnés (variables qualitatives)		
Quels types d'évaluations sont menées ? Quels types de recommandations à leur issue (gestion) ?	n. modalités	
• Quelles interactions sont considérées ?	7	
• Quels cadres analytiques sont mobilisés ?	6	
• Pour quel(s) objectif(s) ? A quel stade du cycle de gestion ?	3	
• Quel type de référentiel est utilisé ?	2	
• Comment est prise en compte la variabilité de la CC ?	6	
• Quelles démarches de traitement de données sont employées ?	2	
• Comment les résultats sont-ils exprimés ?	3	
• Comment les résultats sont-ils interprétés ?	2	
• Quelles sont les difficultés rencontrées pour la réalisation de l'évaluation ?	4	
• Quelles sont les actions de gestion recommandées suite à l'évaluation réalisée ?	7	
Dans quel contexte ?	n. modalités	
• Dans quelle région du monde de situe l'étude ?	5	
• Durant quelle période a-t-elle été publiée ?	2	
• Dans quel type d'espace se situe la/les zone(s) d'étude ?	2	
• Quelle est la superficie de la/les zone(s) d'étude ?	4	
• Quelle est la morphologie de la/les zone(s) d'étude ?	2	
• Quel est le statut de protection de la/les zone(s) d'étude ?	2	
• Quels sont le(s) usage(s) considéré(s) comme problématique(s) ?	6	

Figure n° 3. Démarche méthodologique : requêtes, critères de sélection et informations recueillies à son issue

42. Caractéristiques des principaux types d'évaluation identifiés

Quatre grandes catégories de démarche d'évaluation sont identifiables en fonction des interactions considérées et des cadres analytiques associés (tableau n° 1). D'autres variables ont été ajoutées à chaque type de démarches pour préciser leur nature et leur contexte d'utilisation (tableau n° 1)¹⁷.

Tableau n° 1. Les démarches d'évaluation de la CC identifiées dans le corpus documentaire (N = 67)

		Finalités poursuivies par grand type d'évaluation			
		Maximiser un état de conservation ou d'exploitation (C_1) (n = 22)	Réduire les dégradations environnementales (C_2) (n = 30)	Améliorer le bien-être des usagers (C_3) (n = 10)	Renforcer la durabilité d'un territoire (C_4) (n = 5)
Evaluation de la CC	Interactions considérées	Espèce(s) et écosystème(s)	Usage(s) et écosystèmes	Usage(s) et bien-être	Usage(s), bien-être, écosystème(s), gestion
	Cadres analytiques	Paramètre K et assimilés	Limit Reference Points, Physical, real, effect. CC	LAC et cadres assimilés	PSR, EFI et assimilés
	Référentiel	A atteindre	A ne pas dépasser	A ne pas dépasser	A ne pas dépasser
	Expression (résultats)	Taille(s) de population(s) animale(s) ou végétale(s)	Niveau(x) d'usage(s)	Niveau(x) d'usage(s)	Ratio (production/consommation)
	Interprétation (résultats)	La CC comme référentiel théorique comparé à des métriques similaires	La CC comme référentiel théorique comparé à des métriques similaires	Absence de comparaison	Non applicable
Contexte	Période	2008-2015	2008-2015	2008-2015	2008-2015
	Superficie (ZE)	Pas de prédominance	Pas de prédominance	0-9,9 km ²	≥ 1 000 km ²
	Statut (ZE)	Espace protégé	Pas de prédominance	Espace protégé	Espace non protégé
	Usage(s) ciblé(s)	Aucun (conservation), ou aquaculture (exploita.)	Tourisme, activités récréatives	Tourisme, activités récréatives	Artificialisation

Remarque : seules les modalités majoritaires par catégorie figurent dans ce tableau. Des résultats détaillés figurent en annexe n° 2.

Le premier type d'évaluation (tableau n° 1 : C_1) cible principalement les espèces ou les habitats naturels, soit pour maximiser un état de conservation, soit pour augmenter un potentiel d'exploitation (dans une perspective de gestion intégrée), en fonction des conditions environnementales (ressources nutritionnelles disponibles, ...). Ces évaluations s'appuient très souvent sur le paramètre K de l'équation de la loi logistique décrit précédemment. La CC (*nutritional CC, habitat CC, production CC* : nombre d'individus, volume de biomasse, ...), est alors un référentiel théorique à atteindre qui, confronté à des données empiriques, permet d'estimer le degré de réalisation d'un objectif. Ces évaluations sont principalement menées dans des espaces protégés situés en mer ou sur le littoral. Lorsqu'elles sont accompagnées de propositions pour la gestion, les plus citées sont des actions de restauration écologique ou l'extension voire la création de nouvelles aires protégées (tableau n° 2).

La deuxième grande catégorie de démarches d'évaluation (tableau n° 1 : C_2) fait référence à la CC écologique (ou environnementale) précédemment évoquée. Les deux cadres les plus souvent mobilisés sont dans ce cas précis le *Limit Reference Points* et le *Physical Real and Effective Carrying Capacity* (Cifuentes, 1992). Si la finalité poursuivie est la même pour ces deux approches – limiter le(s) usage(s) de manière à ce que l'écosystème considéré ne perdent pas ses principales propriétés – elles adoptent des optiques différentes. La première, d'après l'étude des réponses des écosystèmes à des gradients de pressions anthropiques, met l'accent sur la recherche de seuil(s) (*thresholds, tipping points, ...*) avant lesquels il est « urgent » d'intervenir. La deuxième s'intéresse plus aux effets des moyens et des actions de gestion à mobiliser pour « autoriser » un niveau d'usage déterminé, sur la base d'une CC (physique voire écologique plus rarement) préétablie pour l'espace considéré. Inventée par le WWF pour réguler les activités touristiques, cette dernière est très employée dans les espaces protégés (Galapagos par exemple : Grenier, 2015). Les actions recommandées dans ces études

¹⁷ Les résultats détaillés figurent en annexe n° 2 et des exemples de méthodes d'évaluation, pour chaque catégorie de cette typologie, figurent en annexe n° 3.

sont la restriction voire l'interdiction d'usages (hors espace protégé)¹⁸, et dans une moindre mesure, celles visant à modifier les comportements des usagers (sensibilisation et promotion d'usages alternatifs, renforcement de l'observance des normes existantes) (tableau n° 2).

Tableau n° 2. Actions recommandées par les auteurs de ces évaluations (en % du nombre total d'actions, N = 87)

Nature des actions recommandées	Finalités poursuivies par grand type d'évaluation				Total
	Maximiser un état de conservation ou d'exploitation (C_1) (n = 24)	Réduire les dégradations environnementales (C_2) (n = 47)	Améliorer le bien-être des usagers (C_3) (n = 11)	Renforcer la durabilité d'un territoire (C_4) (n = 5)	
	% (IC 95 %)	% (IC 95 %)	% (IC 95 %)	% (IC 95 %)	
● Restauration écologique et/ou création-extension d'espace protégé	10 (5-19)	3 (1-10)	0 (0-3)	0 (0-3)	14 (7-23)
● Restriction ou interdiction d'usage(s) (temps et/ou espace)	7 (3-14)	22 (14-32)	7 (3-14)	1 (0-6)	37 (27-48)
● Renforcement de l'observance des normes existantes	0 (0-3)	7 (3-14)	0 (0-3)	0 (0-3)	7 (3-14)
● Sensibilisation des usagers et/ou promotion d'usage(s) alternatif(s)	1 (0-6)	11 (6-20)	2 (0-8)	1 (0-6)	16 (9-26)
● Aucune action particulière	9 (4-17)	10 (5-19)	3 (1-10)	3 (1-10)	26 (18-37)
Total : % (IC 95 %)	28 (19-38)	54 (43-65)	13 (6-21)	6 (2-13)	100

Le troisième type de démarches identifiées (tableau n° 1 : C_3) regroupe les cadres se référant au *Limits of Acceptable Change* (LAC) et à tous ceux qui en sont dérivés (VERP¹⁹, ...). Il s'agit là aussi de limiter un usage, de nature récréative ou touristique essentiellement, mais pour réduire cette fois-ci les désagréments causés à la majeure partie des usagers. Appliquées à des espaces réduits, généralement dans des espaces protégés situés en mer ou sur le littoral dans notre corpus, ces méthodes reposent sur l'identification d'une « norme sociale » d'acceptation (Dubois, 2002) qui est fonction du niveau de fréquentation simultanément comptabilisé (Manning *et al.*, 2002). Les effets (dérangement, ...) produits par les phénomènes de congestion sont ici centraux et les actions de gestion recommandées concernent aussi la réduction du nombre d'usagers, mais plus dans une perspective de déconcentration de la fréquentation dans l'espace et/ou dans le temps (étalement de la saison touristique par exemple) (tableau n° 2).

Enfin, la dernière grande catégorie (tableau n° 1 : C_4) correspond aux démarches d'évaluation s'intéressant à la durabilité de plus vastes territoires (système insulaire, région, état, ...). Ce n'est plus un seuil qui est mesuré ici mais un ratio entre grandeurs qui se veulent de nature équivalente. L'indice le plus connu est l'empreinte écologique qui « est la mesure de la charge qu'impose à la nature une population donnée » (Wackernagel et Rees, 1999), en mettant en regard la demande de biens et services (l'empreinte à strictement parler) avec l'offre disponible (la biocapacité). Ce système comptable permet ainsi, d'après ses promoteurs, de disposer d'un indicateur synthétique qui dit d'un territoire si son développement est soutenable, d'où son utilisation fréquente autour des problématiques liées à l'artificialisation des sols. Outre des données biophysiques, ce sont parfois des indicateurs de flux énergétiques qui sont mobilisées (*emergy valuation* : Nam *et al.*, 2010). Ces approches sont souvent couplées, pour leur réalisation, avec des cadres analytiques de type PSR ou DPSIR (Carr *et al.*, 2007). Enfin, contrairement aux autres, les auteurs de ces évaluations font peu de recommandations, notamment en termes de planification territoriale.

Finalement, la nature des démarches d'évaluation de la CC varie logiquement selon les interactions considérées. Leur mise en œuvre crée des difficultés spécifiques (identification de seuil, caractérisation d'une « norme sociale », définition d'équivalences entre grandeurs de nature différente, ...), et la plus commune est,

¹⁸ Soit *via* un zonage spécifique, soit pour une durée déterminée, ou bien par l'association de ces deux types de mesure.

¹⁹ VERP : Visitor Experience and Resource Protection

d'après leurs auteurs, tout simplement le manque de connaissances nécessaires à leur réalisation (annexe n° 2). Les recommandations qui en sont issues dans une perspective d'aide à la décision sont presque pour moitié de nature coercitive (tableau n° 2), une confirmation de plus, s'il en fallait, de la dimension fortement normative de la CC encore aujourd'hui.

5) Conclusion

La CC est un cadre analytique qui a fait l'objet de nombreuses définitions et d'autant d'interprétations du fait de son application dans de nombreux champs scientifiques. Sa large diffusion tient à la simplicité de l'idée originelle : un cadre théorique mobilisant une courbe de croissance, le modèle logistique, pour rendre compte de différentes relations fonctionnelles (espèce-écosystème, population-environnement, ...). Fort appréciée des décideurs par sa capacité potentielle à déterminer une limite à ne pas dépasser ou un objectif à atteindre, séduisant certaines franges de la communauté scientifique par les défis conceptuels et méthodologiques à relever, elle a été toutefois vivement critiquée durant ces dernières décennies (tableau n° 3).

Tableau n° 3. Dimensions « séduisantes » et « problématiques » de la capacité de charge, et recommandations afférentes (revue narrative)

	Littérature (revue nar.)	Enquête, atelier GIS
Dimensions « séduisantes »		
1) Un cadre analytique potentiellement intégrateur (gestionnaires, chercheurs) (SVT, SHS)		✓
2) Simple et intuitive pour les décideurs → qualités pédagogiques, dimension normative	✓ (1, 2)	✓
3) Son utilisation sectorielle (tourisme, ...)	✓ (1)	✓
4) Un cadre qui questionne la notion de croissance et son corollaire	✓ (3)	✓
5) Un cadre informatif sur la nature des politiques de conservation		✓
Dimensions « problématiques »		
1) L'absence de validation empirique de la CC au niveau global (pop.-environnement, K)	✓ (3, 4, 5, 6, 7)	
2) L'application en SHS d'un cadre (déterministe) provenant des SVT	✓ (8, 9)	
3) Ses nombreuses définitions, souvent imprécises → « jugements de valeurs »	✓ (3, 10, 13)	
4) L'absence de méthode d'évaluation dite « standardisée »	✓ (7, 10, 11, 12)	✓
5) La difficulté d'identification de seuil(s) significatif(s) (pressions-environnement, ...)	✓ (11, 14, 29)	✓
6) La CC comme une mesure statique et quantitative → dynamiques, fluctuations ?	✓ (15)	✓
7) Les multiples dimensions de la CC, ≠ seuils → prévalence éventuelle ?	✓ (3, 16, 17, 18)	✓
8) Compréhension limitée des interactions usages-environnement → évaluation difficile	✓ (20)	✓
9) CC globale ou synthétique difficilement voire non mesurable (territoire)	✓ (1, 19)	
10) La CC exprimée en termes d'intensité (usages, ...) sans considération de la ≠ des pratiques	✓ (2, 10)	✓
11) Des actions dérivées de son évaluation (<i>numerus clausus</i>) souvent inappliquées/cables	✓ (26)	✓
Recommandations fréquemment évoquées pour l'utilisation de ce cadre analytique		
1) Ne pas considérer la CC comme une valeur absolue, objective et scientifique	✓ (3, 21, 25)	✓
2) "how many is too many?" → "what are the appropriate or acceptable condition?"	✓ (10)	
3) Evaluer la CC au regard d'objectifs de gestion aux implications clairement exprimées	✓ (3, 10, 21, 22, 23)	✓
4) Mener l'évaluation dans un cadre collaboratif et prospectif → appropriation	✓ (3, 10, 22, 27)	✓
5) Privilégier l'échelle locale pour la mesure de la CC	✓ (11, 24)	✓
6) Privilégier des approches centrées sur peu de dimensions simultanément		✓
7) Approche multi-enjeux → évaluation de la CC au moyen d'analyse multicritères (viabilité)		✓
8) « La science informe, la gestion (...) repose sur des jugements, des normes, qu'il convient d'explicitier »	✓ (28)	

Source : modifié d'après Le Gentil *et al.*, 2016

Références : (1) David, 1999 ; (2) Gondran et Boutaud, 2009 ; (3) Seidl et Tisdell, 1999 ; (4) Domenach, 2006 ; (5) Ouahon, 2006 ; (6) Le Fur, 1998 ; (7) Price, 1999 ; (8) Picouet *et al.*, 2000 ; (9) Romagny, 1998 ; (10) Lindberg *et al.*, 1997 ; (11) Hervé, 1998 ; (12) Saveriades, 2000 ; (13) Guyonnet *et al.*, 2010 ; (14) Lange, 2011 ; (15) Sayre, 2008 ; (16) Roussel, 2007 ; (17) Navarro Jurado *et al.*, 2012 ; (18) Salerno *et al.*, 2013 ; (19) O'Reilly, 1986 ; (20) Bergère et Le Berre, 2011 ; (21) Wagar, 1964 ; (22) Vourc'h, 1999 ; (23) Cole, 2001 ; (24) Rédaction de NSS in Ouahon, 2006 ; (25) Duvat, 2008 ; (26) Grenier, 2015 ; (27) Deldrève et Michel, 2019 ; (28) Manning, 2013 in Deldrève et Michel, 2019 ; (29) Hilldebrand *et al.*, 2020.

Parmi les reproches les plus fréquemment évoqués (tableau n° 3), l'absence de validation empirique – c'est-à-dire hors conditions contrôlées – du modèle logistique et la représentation déterministe des rapports population-environnement qu'elle véhicule, notamment à petite échelle. Très longtemps considérée sous l'angle de l'optimisation, de la recherche d'une valeur statique et quantitative, la CC a ainsi fait la promotion

d'un modèle très réducteur des interactions entre société et environnement, où les hommes sont souvent réduits à l'état d'agents passifs alors que leurs capacités à l'influencer sont multiples, en réaction ou par anticipation, *via* l'établissement d'actions spécifiques, la transformation des institutions qui régulent leurs rapports à l'environnement, ... La transposition brute d'un cadre issu des sciences de la nature pour l'étude des dynamiques de systèmes socio-écologiques, où les phénomènes sociaux, culturels, politiques, institutionnels, économiques, ... sont médiateurs des relations entre les populations et leur environnement (Picouet *et al.*, 2000), est ainsi problématique.

Les travaux récents sur la CC dans le champ de la gestion de l'environnement donnent à voir toutefois une représentation moins manichéenne et plus dynamique de ces interactions, où priment désormais la considération d'enjeux multiples et la recherche d'optimum en contextes d'incertitude et d'imprévisibilité. Et si la mesure de la CC demeure difficile, voire illusoire en dehors d'espaces et d'enjeux très circonscrits et pour un moment précis (Le Gentil *et al.*, 2016), ce n'est pas pour autant qu'elle est totalement vide de sens. Questionner la notion de croissance et son corollaire, explorer l'idée de(s) limite(s) à un phénomène de croissance, sous certaines conditions et pour des contextes particuliers, demeurent pertinent. En ce sens, et partant du constat que la mesure « scientifique » de la CC ne suffit généralement pas pour définir des actions de régulation effectives, les efforts de recherche devraient porter davantage sur la mise en débat des questions qui s'en font l'écho (croissance, impacts, choix politiques de gestion, projet de territoire, ... : Deldrève et Michel, 2019). Mais du fait de la forte charge idéologique qui lui est associée et des nombreuses difficultés que son évaluation soulève, il ne nous semble pas en revanche évident que l'emploi de ce cadre analytique *stricto sensu* soit aujourd'hui le plus approprié pour les explorer.

6) Bibliographie

- Abernethy V. D. (2001). Carrying capacity: the tradition and policy implications of limits. *Ethics in Science and Environmental Politics*, 9-18.
- Acou A., Rivot E., Van Gils J.A., Legault A., Ysnel F., Feunteun E. (2011). Habitat carrying capacity is reached for the European eel in a small coastal catchment: evidence and implications for managing eel stocks. *Freshwater Biology*, 56, 952-968.
- Ayllón D., Almodóvar A., Nicola G.G., Parraa I., Elviraa B. (2012). Modelling carrying capacity dynamics for the conservation and management of territorial salmonids. *Fisheries Research*, 134-136 : 95-103.
- Barbier J.-C. (2010). Éléments pour une sociologie de l'évaluation des politiques publiques en France. *Revue française des affaires sociales*, 1 : 25-49.
- Bardin L. (2013). *L'analyse de contenu*. Presses Universitaires de France, Collection Quadridge, 296 pages.
- Bergère H., Le Berre S. (2011). Définition et étalonnage d'un système d'évaluation de la capacité de charge de l'île de Port-Cros (Hyères, France). *Scientific reports of the Port-Cros national park*, 25 : 81-104.
- Bergandi D., Galangau-Quérat F. (2008). Le développement durable. Les racines environnementalistes d'un paradigme. *ASTER*, 6 : 31-44.
- Butler R. (1980). The Concept of a Tourist Area of Life Cycle of Evolution: Implications for Management of Resources. *Canadian Geographer*, 19(1) : 5-12.
- Byron C., Bengtson D., Costa-Pierce B., Calanni J. (2011). Integrating science into management: Ecological carrying capacity of bivalve shellfish aquaculture. *Marine Policy*, 35(3) : 363-370.
- Castellani V., Sala S. (2012). Carrying Capacity of Tourism System: Assessment of Environmental and Management Constraints Towards Sustainability. In *Visions for Global Tourism Industry - Creating and Sustaining Competitive Strategies*, Edited by Kasimoglu M., InTech, April 2012 : 490 pages.
- Carr E.R., Wingard P.M., Yorty S.C., Thompson M.C., Jensen N.K., Roberson J. (2007). Applying DPSIR to sustainable Development. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 14 : 543-555.
- Chadenas C., Pouillaude A., Pottier P. (2008). Assessing carrying capacities of coastal areas in France. *Journal of Coastal Conservation*, 12(1) : 27-34.
- Chaudhry A.A., Haider M.S., Ahsan J., Fazal S. (2010). Determining carrying capacity of untreated and treated areas of mari reserve forest (Pothwar tract) after reseeding with *Cenchrus ciliaris*. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 20(2) : 103-106.
- Chen C.-L., Teng N. (2016). Management priorities and carrying capacity at a high-use beach from tourists' perspectives: A way towards sustainable beach tourism. *Marine Policy*, 74 : 213-219.
- Cifuentes M. (1992). *Determinación de capacidad de carga turística en áreas protegidas*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Costa Rica : 23 pages.
- Cisneros M.A.H., Sarmiento N.V.R., Delrieux C.A., Piccolo M.C., Perillo G.M.E. (2016). Beach carrying capacity assessment through image processing tools for coastal management. *Ocean & Coastal Management*, 130 : 138-147.
- Coll, J., Garcia-Rubies, A., Morey, G., Grau, A.M. (2012). The carrying capacity and the effects of protection level in three marine protected areas in the Balearic Islands (NW Mediterranean). *Scientia Marina*, 76(4) : 809-826.
- David G. (1999). Application de la notion de capacité de charge au contexte insulaire. Mythe ou réalité ? *Insula : International Journal of Island Affairs*, (No spécial) : 7-12.
- Deldrève V., Michel C. (2019). La démarche de capacité de charge sur Porquerolles (Provence, Parc national de Port-Cros, France) : de la prospective au plan d'actions. *Scientific reports of the Port-Cros national park*, 33 : 63-100.
- De Ruyck M.C., Soares A.G., McLachlan A. (1997). Social Carrying Capacity as a Management Tool for Sandy Beaches. *Journal of Coastal Research*, 13(3) : 822-830.
- de Sousa R.C., Pereira L.C.C., da Costa R.M., Jimenez J.A. (2017). Management of estuarine beaches on the Amazon coast though the application of recreational carrying capacity indices. *Tourism Management*, 59 : 216-225.
- del Monte-Luna P., Brook B.W., Zetina-Rejón M.J., Cruz-Escalona V.H. (2004). The carrying capacity of

- ecosystems, *Global Ecology and Biogeography*, 13 : 485-495.
- Desdoigts J.-Y. (2000). L'extrémité du Cap Sizun : restauration de la nature et tourisme. L'opération grand site de la pointe du Raz, de la pointe du Van et de la baie des Trépassés. *Norois*, 186 : 283-293.
- Di Q., Han Z., Liu G., Chang H. (2007). Carrying capacity of marine region in Liaoning Province. *Chinese Geographical Science*, 17(3) : 229-235.
- Dhont A.A. (1988). Carrying capacity : a confusing concept. *Acta Oecologica*, 9(4) : 337-346.
- Domenach H. (2006). Entre science et doctrines : la relation population-environnement. *Natures Sciences Sociétés*, 2(14) : 174-178.
- Dubois, N. (2002). Autour de la norme sociale. *Les Cahiers de Psychologie Politique*. 2, URL : <http://lodel.irevues.inist.fr/cahierspsychologiepolitique/index.php?id=1640>
- Ducrotoy J.P. (2010). *La restauration écologique des estuaires*. Lavoisier, Paris, 229 pages.
- Duvat V. (2008). L'intérêt d'une approche en termes de capacité de charge pour la gestion des littoraux : l'exemple de l'île de la Réunion (océan Indien). In *Actes du colloque international pluridisciplinaire "Le littoral : subir, dire, agir"*, Lille, France, 16-18 janvier 2008 : 11 pages.
- Elliott M., Burdona D., Hemingway K.L., Apitz S.E. (2007). Estuarine, coastal and marine ecosystem restoration: Confusing management and science. A revision of concepts. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 74 : 349-366.
- Falagas M. E., Pitsouni E. I., Malietzis G. A., Pappas G. (2008). Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: strengths and weaknesses. *The FASEB Journal*, 22(2) : 338-342.
- Ge Z., Zhou X., Shi W., Wang T. (2008). Carrying capacity for shorebirds during migratory seasons at the Jiuduansha Wetland, Yangtze River Estuary, China. *Frontiers of Biology in China*, 3(4) : 536-542.
- Gondran N., Boutaud A. (2009). Empreinte écologique : comparer la demande et l'offre de ressources régénératives de la biosphère. In *L'encyclopédie du développement durable*, Les éditions des Récollets, 105 : 7 pages.
- Goodman L.A. (1961). Snowball Sampling. *The Annals of Mathematical Statistics*, 32(1) : 148-170.
- Graefe A.R., Vaske J.J., Kuss F.R. (1984). Social carrying capacity: An integration and synthesis of twenty years of research. *Leisure Sciences*, 6(4) : 395-431.
- Grenier C. (2015). Une approche géographique globale des espaces protégés. Le cas de l'archipel des Galapagos. *Dynamiques environnementales*, 35 : 11-29.
- Guyondet, T., Comeau, L.A., Bacher C., (...), Sonier R., Filgueira R. (2015). Climate Change Influences Carrying Capacity in a Coastal Embayment Dedicated to Shellfish Aquaculture. *Estuaries and Coasts*, 38(5) : 1593-1618.
- Hervé D. (1998). Capacité de charge animale ou indicateur de pression sur des ressources fourragères. In *Pression sur les ressources et raretés*. Dominique H. (ed.), Langlois M. (ed.), Montpellier : ORSTOM, (98-6) : 37-49.
- Hillebrand H., Donohue I., Harpole W.S., Hodapp D., Kucera M., Lewandowska A.M., Merder J., Montoya J.M., Freund J.A. (2020). Thresholds for ecological responses to global change do not emerge from empirical data. *Nature Ecology & Evolution*, 4 : 1502-1509.
- Horvath A.R., Pewsner D. (2004). Systematic reviews in laboratory medicine: principles, processes and practical considerations. *Clinica Chimica Acta*, 342 : 23-39.
- Huang S.-L., Huang M.-C. (1986). Applied carrying capacity concept for integrating stormwater management and land use planning, a case study: The Kuantu plain of Taipei, Taiwan. *Ecological Modelling*, 33(1) : 35-58.
- Hunter C., 1995. Key concepts for tourism and the environment. In *Tourism and the Environment. A sustainable relationship?* Hunter, C. & Green H. (eds.). Routledge, London-New York : 52-92.
- Im H.H., Kang D.S., Nam J.H. (2003). Utilization of marine environment capacity models as a tool for Integrated Coastal Management. *KCI* : 33-68.
- Jaafar M., Abdullah S., Ismail M.M. (2016). Establishing the Economic Carrying Capacity (Ecc) of Tourism Development for Perhentian Islands, Malaysia. *Research Journal of Fisheries and Hydrobiology*, 11(3) : 193-200.
- Karakassis I., Papageorgiou N., Kalantzi I., Sevastou K., Koutsikopoulos C. (2013). Adaptation of fish farming production to the environmental characteristics of the receiving marine ecosystems: A proxy to carrying capacity. *Aquaculture*, 408-409 : 184-190.
- Khanna P., Babu P.R., George M.S. (1999). Carrying-capacity as a basis for sustainable development A case study of National Capital Region in India. *Progress in Planning*, 52 : 101-166.

- Khoo C.S.G., Na J.-C., Jaidka K. (2011). Analysis of the macro-level discourse structure of literature reviews. *Online Information Review*, 35(2) : 255-271.
- Kluger L.C., Taylor M.H., Mendo J., Tam J., Wolff M. (2016). Carrying capacity simulations as a tool for ecosystem-based management of a scallop aquaculture system. *Ecological Modelling*, 331 : 44-55.
- Kocasoy G. (1989). A method for prediction of extent of microbial pollution of seawater and carrying capacity of beaches. *Environmental Management*, 13(4) : 469-475.
- Kubíček F., Hrnčiarová T. (1999). Ecological carrying capacity of landscape on the selected territory of the Tatra National Park and its protective belt. *Ekologia Bratislava*, 18(2) : 189-199.
- Kurdoglu O. (2015). Effect of traditional highland settlement texture on visual carrying capacity: Kackar mountains national park case. *Journal of Environmental Protection and Ecology*, 16(2) : 771-782.
- Laidre K. L., Jameson R. J., Jeffries S. J., Hobbs R. C., Bowlby C. E., VanBlaricom G. R. (2002). Estimates of carrying capacity for sea otters in Washington State. *Wildlife Society Bulletin*, 30(4) : 1172-1181.
- Laidre K. L., Jameson R. J., Demaster D. P. (2001). An estimation of carrying capacity for sea otters along the California coast. *Marine Mammal Science*, 17(2) : 294-309.
- Lange J.-M. (2011). Penser l'éducation scientifique en termes de contribution à l'éducation au développement durable : l'exemple des sciences de la vie et de la Terre. *Formation et pratiques d'enseignement en questions*, 13 : 137-156.
- Lawson S.R., Manning R.E., Valliere W.A., Wang B. (2003). Proactive monitoring and adaptive management of social carrying capacity in Arches National Park: An application of computer simulation modeling. *Journal of Environmental Management*, 68(3) : 305-313.
- Lee L.H., Chang Z.Y. (2015). A model for predicting tourist carrying capacity and implications for fish conservation. *Environmental Biology of Fishes*, 98(3) : 871-884.
- Liao E., Jiang Y., Yan X.-H., (...), Wang J., Zhang L. (2013). Allocation of marine environmental carrying capacity in the Xiamen Bay. *Marine Pollution Bulletin*, 75(1-2) : 21-27.
- Lin L., Liu Y., Chen J., Zhang T., Zeng S. (2011). Comparative analysis of environmental carrying capacity of the Bohai Sea Rim area in China. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(11) : 3178-3184.
- Lindberg K., McCool S., Stankey G. (1997). Rethinking Carrying Capacity. *Annals of Tourism Research*, 24(2) : 461-465.
- Le Fur J. (1998). Considérations sur la capacité de charge (K) et sa représentation en halieutique. In *Pression sur les ressources et raretés*, Hervé D. (ed.), Langlois M. (ed.). Montpellier : ORSTOM, (98-6) : 23-35.
- Le Gentil E., Brigand L., Alban F., Chlous F., David G., Levrel H., Ponsero A. et Vaschalde D. (2015). *Contribuer à la gestion des aires marines protégées. Pratiques en sciences humaines et sociales*. Rapport de synthèse du séminaire de lancement des activités du GIS HomMer, 27, 28 et 29 janvier 2015, Institut Universitaire Européen de la Mer, Plouzané, juin 2015 : 72 pages.
- Le Gentil E., Alban F., Vaschalde D., Ponsero A., Levrel H. (2016). *Capacité de charge des aires marines protégées. Comprendre – Agir – Evaluer – Innover. Echanges entre chercheurs et gestionnaires*. Rapport de synthèse de l'atelier Capacité de charge du GIS HomMer. 24 et 25 novembre 2015, Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris. Avril 2016 : 21 pages.
- Mahrane Y., Fenzi M., Pessis C., Bonneuil C. (2012). De la nature à la biosphère. L'invention politique de l'environnement global, 1945-1972. *Vingtième Siècle. Revue d'histoire*, 1(113) : 127-141.
- Manning R. (2013). Social norms and reference points: integrating sociology and ecology. *Environmental Conservation*, 40(4) : 310-317.
- Manning R., Wang B., Valliere W., Lawson S., Newman P. (2002). Research to estimate and manage carrying capacity of a tourist attraction: A study of Alcatraz Island. *Journal of Sustainable Tourism*, 10(5) : 388-404.
- Marsiglio S. (2017). On the Carrying Capacity and the Optimal Number of Visitors in Tourism Destinations. *Tourism Economics*, 23(3) : 632-646.
- McCool S.F., Lime D.W. (2001). Tourism Carrying Capacity: Tempting Fantasy or Useful Reality? *Journal of Sustainable Tourism*, 9(5) : 372-388.
- McLeod M., Cooper J.A.G. (2005). Carrying capacity in coastal areas. In *Encyclopedia of Coastal Sciences*, (Ed.) M. Schwartz : 226.
- Meillassoux C. (1991). La leçon de Malthus : le contrôle démographique par la faim. In *Les*

- spectres de Malthus : déséquilibres alimentaires, déséquilibres démographiques*, Gendreau F. (ed.), Meillassoux C. (ed.), Schlemmer B. (ed.), Verlet M. (ed.), Paris, EDI, ORSTOM, CEPED, 15-3.
- Nakajima E.S., Ortega E. (2016). Carrying capacity using emergy and a new calculation of the ecological footprint. *Ecological Indicators*, 60 : 1200–1207.
- Nam J., Chang W., Kang D. (2010). Carrying capacity of an uninhabited island off the southwestern coast of Korea. *Ecological Modelling*, 221(17) : 2102-2107.
- Navarro Jurado E., Tejada Tejada M., Almeida García F., (...), Ruiz Sinoga J., Solís Becerra F. (2012). Carrying capacity assessment for tourist destinations. Methodology for the creation of synthetic indicators applied in a coastal area. *Tourism Management*, 33(6) : 1337-1346.
- Oh K., Jeonga Y., Leeb D., Leea W., Choi J. (2005). Determining development density using the Urban Carrying Capacity Assessment System. *Landscape and Urban Planning*, 73 : 1-15.
- Ouharon A. (1997). Population et environnement : une controverse toujours d'actualité. *La chronique du CEPED*, 24 : 6 pages.
- Ouharon A. (2006). Population et environnement : des liaisons incertaines, *Natures Sciences Sociétés*, 2(14) : 168-173.
- O'Reilly A.M. (1986). Tourism carrying capacity. Concept and issues. *Tourism management*, 254-258.
- Parrish F.A., Howell E.A., Antonelis G.A., (...), Parrish J.D., Polovina J.J. (2012). Estimating the carrying capacity of French Frigate Shoals for the endangered Hawaiian monk seal using Ecosim. *Marine Mammal Science*, 28(3) : 522-541.
- Perry R.I., Schweigert J.F. (2008). Primary productivity and the carrying capacity for herring in NE Pacific marine ecosystems. *Progress in Oceanography*, 77 : 241-251.
- Price D. (1999). Carrying Capacity Reconsidered. *Population and Environment: A Journal of Interdisciplinary Studies*, 21(1) : 5-26.
- Picouet M., Boissau S., Brun B., Romagny B., Rossi G., Sghaier M., Weber J. (2000). Le renouvellement des théories population-environnement. In *Environnement et sociétés rurales en mutation. Approches alternatives*, Picout M. (ed), IRD Edition : 17-43.
- Prieur M. (2011). Le Protocole de Madrid à la Convention de Barcelone relatif à la gestion intégrée des zones côtières de la Méditerranée. *Vertigo* [En ligne] (9), URL : <http://vertigo.revues.org/10933>
- Rees W. E. (2002). Carrying Capacity and Sustainability: Waking Malthus' Ghost. In (Theme) 'Introduction to Sustainable Development,' edited by Bell, D.V.J. and Cheung, Y.A., in *Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS)*, Eolss Publishers, Oxford, UK, 8 pages, URL : [<http://www.eolss.net>]
- Rodella I., Corbau C., Simeoni U., Utizi K. (2016). Assessment of the relationship between geomorphological evolution, carrying capacity and users' perception: Case studies in Emilia-Romagna (Italy). *Tourism Management*, 59 : 7-22.
- Romagny B. (1998). Les économistes alarmistes ? In *Pression sur les ressources et rareté*, Hervé D., Langlois M. (éd.), IRD, Centre de Montpellier : 13-23.
- Roussel S., Crinquant N., Bourdat E. (2007). In search of coastal zone sustainability by means of social carrying capacity indicators construction: Lessons learned from the Thau lagoon case study (Région Languedoc-Roussillon, France). *International Journal of Sustainable Development*, 10(1-2) : 175-194.
- Roux (2006). *Algorithmes de classification*. Marseille, Juin 2006 : 86 pages.
- Rutherford D. (2007). Les trois approches de Malthus pour résoudre le problème démographique. *Population*, 2(62) : 253-280.
- Salerno F., Viviano G., Manfredi E.C., (...), Thakuri S., Tartari G. (2013). Multiple Carrying Capacities from a management-oriented perspective to operationalize sustainable tourism in protected areas. *Journal of Environmental Management*, 128 : 116-125.
- Saveriades A. (2000). Establishing the social tourism carrying capacity for the tourist resorts of the east coast of the Republic of Cyprus. *Tourism Management*, 21(2) : 147-156.
- Sayan M.S., Atik M.(2011). Recreation carrying capacity estimates for protected areas: A study of termessos National Park. *Ekoloji*, (78) : 66-74.
- Sayre N.F. (2008). The Genesis, History, and Limits of Carrying Capacity. *Annals of the Association of American Geographers*, 98(1) : 120 -134.
- Seidl I., Tisdell C.A. (1999). Carrying capacity reconsidered: from Malthus' population theory to

- cultural carrying capacity. *Ecological Economics*, 31 : 395-408.
- Selkoe K.A., Blenckner T., Caldwell M.R., Crowder L.B., Erickson A.L., Essington T.E., Estes J.A., Fujita R.M., Halpern B.S., Hunsicker M.E., Kappel C.V., Kelly R.P., Kittinger J.N., Levin P.S., Lynham J.M., Mach M.E., Martone R.G., Mease L.A., Salomon A.K., Samhouri J.F., Scarborough C., Stier A.C., White C., Zedler J. (2015). Principles for managing marine ecosystems prone to tipping points, *Ecosystem Health and Sustainability*, 1 : 5, 1-18.
- Sharma R. (2016). Evaluating total carrying capacity of tourism using impact indicators. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 2(2) : 187-196.
- Sidan L., Galletti F. (2018). La "capacité de charge", ou comment faciliter la mise en œuvre par le juge administratif du principe de conciliation entre intérêts économiques de projet et intérêts environnementaux ? *Revue Sui Generis*, 2 : 454-479.
- Silvestri F., Ghinoi S., Barone V. (2013). Nautical tourism, carrying capacity and environmental externality in a protected lagoon of northern Adriatic sea. *Economics and Policy of Energy and the Environment*, (3) : 145-180.
- Sowman M.R. (1987). A procedure for assessing recreational carrying capacity of coastal resort areas. *Landscape and Urban Planning*. 14 (C) : 331-344.
- Steenweg R., Hebblewhite M., Gummer D., Low B., Hunt B. (2016). Assessing Potential Habitat and Carrying Capacity for Reintroduction of Plains Bison (Bison bison bison) in Banff National Park. *PLoS ONE*, 11(2): e0150065. doi :10.1371/journal.pone.0150065
- Su P.P., Ye S.F., Guo Z.Y., Song T.(2014). Assessing synthetic carrying capacity based on AD-AS model: A case study in coastal zone, Zhoushan. *Acta Ecologica Sinica*, 34(3) : 718-726.
- Tiwari, M., Balazs, G.H., Hargrove, S. (2010). Estimating carrying capacity at the green turtle nesting beach of East Island, French frigate shoals. *Marine Ecology Progress Series*, 419 : 289-294.
- Vasconcellos M., Gasalla M.A. (2001). Fisheries catches and the carrying capacity of marine ecosystems in southern Brazil. *Fisheries Research*, 50(3) : 279-295.
- Venohr M., Langhans S.D., Peters O., Hölker F., Arlinghaus R., Mitchell L., Wolter C. (2018). The underestimated dynamics and impacts of water-based recreational activities on freshwater ecosystems. *Environmental Reviews*, 26(2): <https://doi.org/10.1139/er-2017-0024>
- Viñals M.J., Planelles M., Alonso-Monasterio P., Morant M. (2016). Recreational carrying capacity on small Mediterranean islands. *Cuadernos de Turismo*, 37 : 437-463.
- Vishal S., Vardhan B.H., Amruta A., Swapnil R., Rao P.S. (2016). A case study of Taj Mahal's visitor satisfaction and carrying capacity. *Journal of Hospitality Management and Tourism*, 7(4) : 43-49.
- Vourch A. (1999). La capacité d'accueil, une notion essentielle dans les espaces naturels. *Espaces*, 166 : 18-22.
- Wackernagel M., Rees W. (1999). *Notre empreinte écologique*, Éditions Écosociété, 207 pages.
- Wagar J. A. (1964). *The Carrying Capacity of Wildlands for Recreation*. Forest Service Monograph 7. Society of American Foresters, Washington : 31 pages.
- Wei C., Guo Z., Wu J., Ye S. (2014). Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones - A case in Nantong. *Ocean and Coastal Management*, 93 : 51-59.
- Yang T.-H., Huang I.-C., Huang E.-L., Huang L.-P. (2014). A comparison of visitors' characteristics, traveling motivations, recreational experiences, and attitudes toward recreational carrying-capacity controls between peak and off-peak seasons. *Taiwan Journal of Forest Science*, 29(1) : 17-31.
- Zacarias D.A., Williams A.T., Newton A. (2011). Recreation carrying capacity estimations to support beach management at Praia de Faro, Portugal. *Applied Geography*, 31(3) : 1075-1081.
- Zhang L.Y., Qiu J.W., Chung S.-S. (2015). Assessing perceived crowding of diving sites in Hong Kong. *Ocean & Coastal Management*, 116 : 177-184.

7) Annexes

Annexe n° 1. Exemples de définitions recensées dans la littérature scientifique (revue narrative)

Remarque : la classification présentée repose généralement sur la terminologie utilisée par les auteurs pour leur qualification, et non sur le contenu des définitions elles-mêmes.

Capacité de charge : dimension physique

Définitions de portée générale

- “Physical carrying capacity is concerned with the maximum number of use units (people, vehicles, boats, etc.) which can be physically accommodated in an area. In many ways it is a design concept, as when referring to the capacity of a car-park, a spectator stand, or a theatre” (Pigram, 1983 *in* Sowman, 1987).
- “Physical carrying capacity – the limit of a site beyond which wear and tear will start taking place or environmental problems will arise (...)” (Hunter, 1995).

Activités récréatives et touristiques

- “Physical carrying capacity (the maximum number of visitors that can physically fit into a defined area over a particular time (...))” (Cifuentes *et al.*, 1999 *in* Zacarias, 2011).
- “Physical beach carrying capacity (...) can be defined as the number of units that a beach can physically carry at the same time” (Silva, Alves *et al.*, 2007; Williams et Micallef, 2009 : *in* Rodella *et al.*, 2017).
- “BCC (beach carrying capacity) is defined as the relation between the available surface and the beach occupation level” (Cisneros *et al.*, 2016).
- “The term carrying capacity is generally interpreted as the largest number of tourists an economy can fit based on maximum use of the land and space available” (Marsiglio, 2016).
- “Physical carrying capacity called “facility carrying capacity” by the World Tourism Organization mostly has to do with available space the number of beds available to overnight guests, how many vehicles would fill a parking lot, how many campers in a campground, seats in a theatre, and so on” (Vishal *et al.*, 2016).
- “Tourism Carrying Capacity (...) refers to the accommodation and restauration offerings of a destination” (van der Borg, 2001 *in* Viñals *et al.*, 2016).

Aquaculture

- “(...) physical carrying capacity — the total area of marine farms that can be accommodated in the available physical space. The concept of physical carrying capacity describes the area which is geographically available and physically adequate for a certain type of aquaculture. It depends on the overlap between the physical requirements of the target species and the physical properties of the area of interest (e.g., type of substrate, depth, hydrodynamics, temperature)” (Inglis *et al.*, 2002 *in* Byron *et al.*, 2011).

Capacité de charge : dimension économique

Activités récréatives et touristiques

- “Economic carrying capacity relates to situations where a resource is simultaneously utilized for outdoor recreation and economic activity, such as a domestic water-supply reservoir. Here, the concern is to establish acceptable recreation-use levels that do not unduly interfere with the non-recreational activity so as to reduce the economic viability of the resource” (Pigram, 1983 *in* Sowman, 1987).
- “Economic carrying capacity – the ability to absorb tourism activities without displacing or disrupting desirable local activities” (Hunter, 1995).
- “ECC (economic carrying capacity) is considered as acceptable level of tourism activities that could generate without bad effect to main local economic activities” (Dinh *et al.*, 2007 *in* Jaafar *et al.*, 2016).
- “ La capacité de charge économique se rapporte au point jusqu’auquel un secteur peut subsister avant que les biens économiques et les services économiques soient compromis, par exemple le développement du tourisme devenant si intensif que les charmes du site en sont affectés ” (Ducrotoy, 2010).
- “ This seeks to define the extent to which an area can be altered before the economic activities that occur in the area are affected adversely. It therefore attempts to measure changes in economic terms (Rees, 1992). Examples from the coastal zone might include examining the effect of increased numbers of trailer parks on agricultural activity in dune systems “ (McLeod et Cooper, 2005).

Capacité de charge : dimensions sociale (ou culturelle ou psychologique)

Activités récréatives et touristiques

- “The maximum level of recreational use, in terms of numbers and activities, above which there is a decline in the quality of the recreation experience from the point of view of the recreation participant” (Sowman, 1987).
- “Carrying capacity represents the maximum number of visitors that a destination can fit without the quality of the tourist experience deteriorating” (Canestrelli et Costa, 1991; Hovinen, 2002 : *in* Marsiglio, 2016).
- “(...) Social carrying capacity – the level of tolerance of the host population for the presence and behaviour of tourists in the destination area, and/or the degree of crowding users (tourists) are prepared to accept by others (other tourists) (Hunter, 1995 *in* Rajan *et al.* 2013).

- “(...) Psychological (or perceptual) carrying capacity – the lowest degree of enjoyment tourists are prepared to accept before they start seeking alternative destinations (...)” (Hunter, 1995 *in* Rajan *et al.* 2013).
- “Social carrying capacity (is) defined as the maximum visitor density at which beach-goers still feel comfortable and uncrowded” (De Ruyc *et al.*, 1997; Silva, 2006 : *in* Rodella *et al.*, 2017).
- “For some destination, the identification of (Tourism carrying) capacity is related to crowding, meaning the number of people present in the site at a given time” (Silvestri *et al.*, 2013).
- “BCC (beach carrying capacity) provides information about the ratio between the recreational use of the beach against satisfaction level of the users. As expected, when an inadequate use of the beach increases, the satisfaction degree decreases” (Cisneros *et al.*, 2016).

Aquaculture

- “(...) social carrying capacity — the level of farm development that causes unacceptable social impacts” (Inglis *et al.*, 2002 *in* : McKindsey *et al.* 2006).

Dimension paysagère

- “Visual threshold carrying capacity (...) can be generally defined as the visual standard by which the value and significance of landscapes can be maintained” (Oh, 2005).
- “(...) the VCC (visual carrying capacity) was defined as the threshold level where visual quality starts to deteriorate or acceptable visual quality threshold” (Kurdoglu, 2015).

Capacité de charge : dimension écologique

Définitions de portée générale

- “It is (...) defined as the level of human activity an area can accommodate without significant change to the ecosystem” (O’Reilly, 1986 ; Saveriades, 2000 ; Abernethy, 2001 ; McCool *et* Lime, 2001 ; Lee *et* Chang, 2015).
- “Carrying capacity has been defined as the maximum size of a population or activity that could be indefinitely sustained without degrading the ecosystem's future productivity or suitability for that use” (Odum, 1997 *in* Vasconcellos *et* Gasalla, 2001).
- “(...) the number of humans the earth can support, employed by neo-Malthusians (...)” (Sayre, 2008).
- “The population carrying capacity (...) can be defined as the number of people that could be supported by an environment at a given standard of living (...)” (Nam *et al.* 2010).
- “Ecologists define carrying capacity as the maximum size of a species population that a given area can support without reducing its ability to maintain a given species for an undefined time period (Daily and Ehrlich, 1992). The support area is defined by Brown and Ulgiati (2001) as the minimum carrying capacity needed for a human-made system. Thus, the support area is an indicator of the load on the environment, as is the ecological foot-print indicator” (Nakajima *et* Ortega, 2016).
- “Carrying capacity, as stated in the literatures can be vaguely defined as the sum-total of the productive and assimilative capacities of that particular ecosystem, in relation to its use. The natural environment has the capability of producing a given output flow of products and assimilating a given input flow of wastes. This balance defines the stress limits within which the system can compensate and still return to its original condition” (Sharma, 2016).

Aquaculture

- “(...) the ecological component is defined as the stock causing ecological impacts, such as decreased phytoplankton abundance, organic enrichment of the sediment or changes in nutrient cycling, of an unacceptable intensity (Inglis *et al.*, 2000; McKindsey *et al.*, 2006 : *in* Guyondet *et al.*, 2015).”
- “(...) ecological carrying capacity — the stocking or farm density which causes unacceptable ecological impacts” (Inglis *et al.*, 2002 *in* McKindsey *et al.* 2006 ; Byron *et al.*, 2011).
- “The carrying capacity for bivalve culture is subjective by definition as it refers to the maximum level of stock not affecting the ecosystem” (Guyondet, 2010).
- “The ecological carrying capacity (ECC) is defined as the maximum amount of scallop biomass that would not yet cause any other group’s biomass to fall below 10% of its original biomass” (Kluger *et al.*, 2015).

Activités récréatives et touristiques

- “Ecological carrying capacity (sometimes confusedly referred to also as physical, bio-physical or environmental capacity) is concerned with the maximum level of recreational use, in terms of numbers and activities, that can be accommodated by an area or an ecosystem before an unacceptable or irreversible decline in ecological values occurs” (Pigram, 1983 *in* Sowman, 1987).
- “Ecological carrying capacity (is) defined as the ability of a resource to withstand recreational use without unacceptable damage to its ecological components” (Shelby and Heberlein, 1987 *in* Zhang *et al.*, 2015).
- “the amount of tourism that can be accommodated with minimal damage to the environment” (Wilkinson, 1989 *in* Marsiglio, 2016).
- “(...) physical carrying capacity – the limit of a site beyond which wear and tear will start taking place or environmental problems will arise (...)” (Hunter, 1995 *in* Rajan *et al.*, 2013).

Qualité des eaux

- “The environmental carrying capacity of an offshore area can be defined as the maximum of offshore water’s ability to host land-source pollutant inputs without violating environmental functional requirements” (GESAMP, 1986 *in* Lin *et al.*, 2011).
- “The environmental carrying capacity of surface water bodies can be described simply as an amount of permitted pollution load that will cause the non-compliance of water quality with functional requirements or a degradation of current water quality” (Wang, 2002 *in* Lin *et al.*, 2011).

- Marine environmental carrying capacity: “(...) the carrying capacity means the maximum allowable pollutants input under a given management goal that does not impair the productivity and integrity of the marine ecosystem” (Im *et al.*, 2003).
- “Marine Environmental Carrying Capacity (MECC) is defined as the greatest pollutant load that marine environment can receive without violating water quality goal” (Liao *et al.*, 2013).

Qualité des eaux et conservation d'espèces protégées

- “(...) maximum number of tourists that may visit an area without inducing a deterioration of water quality to levels that jeopardize the survival of fishes” (Lee et Chang, 2015).

Disponibilité des ressources en eau

- “The available water resources stands for the largest exploitable water resources without negative effects on the environment” (Tengrui *et al.*, 2004 in Lin *et al.*, 2011).

Qualité de l'air

- “The environmental carrying capacity of air can be defined (...) as the maximum quantity of air pollution load without a degradation of air quality” (Reymund and Peter, 2000 in Lin *et al.*, 2011).

Développement durable

- “(...) the integrated carrying capacity (ICC), which is a comprehensive capacity measure, is calculated in given space and time frames to support the evaluation of long-term sustainable regional economic development. Combined with the conceptual mode of “driving force - pressure - state - response - control” (D-PSR-C), the ICC reveals the loading capacity between human activity and the ecosystem” (Wei *et al.*, 2014).
- “During a certain period and within the geographical scope, taking the sustainable development of coastal resources and environment as a rule, synthetic carrying capacity refers to the ability how much population size and industry scale that coastal zone can bear. The carrying capacity could warn the state of environment and resource and make ecosystem staying healthy” (Su *et al.* 2014).

Capacité de charge : dimension biologique

Définitions de portée générale

- “(...) the maximum number of individuals of a given species that a given habitat can support without being permanently damaged” (Odum, 1989).
- « (...) the CC is the limit of growth or development of each and all hierarchical levels of biological integration, beginning with the population, and shaped by processes and interdependent relationships between finite resources and the consumers of those resources » (del Monte *et al.*, 2004).
- “(...) carrying capacity is the asymptotic population biomass supported by an ecosystem under the limitations of food, shelter, etc., and the effects of predation and exploitation” (Kashiwai, 1995 in Perry et Schweigert, 2008).
- “In the oceans, carrying capacity is usually referred to as the upper limit of biomass of organisms that can be supported by a set of primary production and food web structure” (Christensen et Pauly, 1998 in Vasconcellos et Gasalla, 2001).
- “(...) carrying capacity is generally defined as the maximum population or biomass that can be supported sustainably, given resource constraints and other physical and biological factors (Van Gils *et al.*, 2004 in Acou *et al.* 2011).
- “(...) the maximal population (and/or community) that can be supported by the area's resources, principally space, food and reproductive partners” (Elliot *et al.*, 2007).
- “(...) K, the intrinsic limit of population increase in organisms (...)” (Sayre, 2008).
- “Inherent in the carrying capacity notion is the basic idea of a maximum population a particular level of resources can support over a period of time. (...) Carrying capacity is estimated as the amount of habitat available divided by the expected individual territory area for a given life stage” (Ayllón *et al.* 2012).
- “The carrying capacity of a habitat for a species is a dynamic property with the point of equilibrium shifting in relation to the changing environment and structure of the biological community” (Parrish *et al.* 2012).
- “(...) K, defined as the nutritional-based number of animals that can be sustained with zero population growth, i.e. when birth and death rates are equivalent” (Steenweg *et al.*, 2016).

Gestion ou conservation de la faune sauvage

- “Carrying capacity has also been used in wildlife management to refer to the number of individuals that a habitat can sustain” (Dasmann, 1964 in Lee et Chang, 2015).
- “Carrying capacity (K) for the California sea otter (...) was estimated as a product of the density of sea otters at equilibrium within a portion of their existing range and the total area of available habitat. (...) K is interpreted here to be the maximum number of sea otters that can be supported by the offshore California environment” (Laidre, 2001).
- “The carrying capacity refers to the potential maximum number of wildlife stocks a specific habitat can accommodate. Here, “capacity” implies providing population resources such as food, space and other conditions for survival. This term has recently been widely applied in the evaluation of habitats for migratory birds, and is defined as the maximum number of birds the habitat can support during an entire season or throughout the year (Goss-Custard *et al.*, 2002 in Ge, 2008).
- “(...) carrying capacity is defined as the maximum number of hatchlings that can be produced in a season” (Tiwari *et al.* 2006 in Tiwari *et al.*, 2010).

Gestion des pâturages

- “Carrying capacity describes the number of grazing animals a management unit is able to support without depleting rangeland vegetation or soil resources” (Quraishi *et al.*, 1993 in Chaudhry *et al.*, 2010).
- “La capacité de charge est un ratio, défini par le nombre maximum d'herbivores qui peuvent pâturer une surface donnée, sans détérioration de la végétation” (Hervé, 1998).

Aquaculture

• (...) production carrying capacity — the stocking density of bivalves at which harvests are maximized. (...) The production carrying capacity is the optimized level of production of the target species. (Inglis *et al.*, 2002 in : McKindsey *et al.*, 2006 ; Byron *et al.*, 2011).

• “(...) production carrying capacity represents the stock that maximizes harvest (...)” (Guyondet *et al.*, 2015).

Capacité de charge : définitions plus synthétiques

Définitions de portée générale

• “The carrying capacity of a natural area is a quantitative limit beyond which undesirable consequences may occur” (Wagar, 1964).

• “Carrying capacity, by definition, is the maximum number of certain kind of living beings that can survive under given circumstances” (Chen, 1987 in Di *et al.*, 2007).

• “the maximum population that a certain area can carry without having any detrimental effect” (Kocasooy, 1989).

• “capacité de charge, (...) seuil à ne pas dépasser sous peine de compromettre la capacité des systèmes fondés sur l'exploitation des ressources renouvelables d'assurer les multiples services qu'ils peuvent rendre à l'homme, et éventuellement de les voir disparaître” (Picouet *et al.*, 2000).

Activités récréatives et touristiques

• “The (...) carrying capacity can be defined as the maximum number of people that can visit a tourist destination at the same time, without causing destruction of the physical, economic, and socio-cultural environment and an unacceptable decrease in the quality of visitors' satisfaction” (World Trade Organization, 1981 : in McCool and Lime, 2001 ; Lawson *et al.* 2003 ; Castellani et Sala, 2012 ; Yang *et al.*, 2014 ; Chen et Teng, 2016 ; de Sousa *et al.*, 2017).

• “The concept of carrying capacity addresses the question of how many people can be permitted into Taj Mahal without risk of degrading the site and the visitor's experience” (Graefe *et al.*, 1984 in Vishal *et al.*, 2016).

• “carrying capacity, there is likely to be a level whereby “crowding and environmental deterioration is such that the tourist experience in an area is no longer worthwhile ... [and this level] ... is already beyond the socially optimal tourist load” (Tisdell, 1987 in Marsiglio, 2016).

• Tourism carrying capacity: “The maximum number of people that use tourism site without unacceptable effect on environmental resources while meeting the demand of tourists” (Luc, 1998 in Sharma, 2016).

• (...) “the maximum number of visits that an area can have based on the physical, biological and management conditions of the area, considering three main levels: the physical carrying capacity (PCC: the maximum number of visitors that can physically fit into a defined area over a particular time), the real carrying capacity (RCC: the maximum permissible number of visits to a specific site, once correction factors derived from the particular characteristics of the site have been applied to the PCC) and the effective or permissible carrying capacity (the maximum number of visits that a site can sustain considering the RCC and the management capacity)” (Cifuentes *et al.*, 1999 in Zacarias, 2011).

• “When applied to a larger geographical area, (such as a country or a tourist district), the concept (Tourism carrying capacity) acquires a broader significance to express a maximum acceptable tourism development, on the basis of the capacity of the resources to support tourism activity” (Coccosis et Mexa, 2004 in Silvestri *et al.*, 2013).

• “the limit of the ...resources (human and physical) to absorb the effects of tourism so that tourism and other activities and attributes would be able to be maintained over the long term” (Butler, 1999 in Marsiglio, 2016).

• “(...) carrying capacity as the ability of natural and man-made systems to support the demands of various uses without degrading the natural, cultural and social environment (Abernethy, 2001; Godschalk et Parker, 1975; Oh *et al.*, 2002 in : Castellani et Sala, 2012).

• “The Recreational Carrying Capacity (...) is a useful management tool for establishing the limits of the recreational use of these ecosystems and their resources and providing a quality experience for visitors” (Viñals *et al.*, 2016).

Planification territoriale

• “From a land planner's point of view, carrying capacity may be defined as the capability of a natural or man-made system to withstand population growth or physical development beyond which public health, safety, or welfare will be threatened by serious environmental problems (Schneider *et al.*, 1978). The purpose of analyzing the carrying capacity of the natural environment in the process of land use planning is to understand and minimize the impacts (e.g. runoff, erosion, pollution) of various land use activities on the natural environment” (Huang et Huang, 1986).

Approche paysagère

• “Ecological landscape carrying capacity is a special landscape feature expressing the degree of acceptable (suitable) landscape use by anthropic activities in such a way that its natural features, processes and relations among landscape elements (abiotic, biotic and socioeconomic) and environment quality are undamaged and/or undestroyed. Limits are the means of determination of degrees of landscape carrying capacity” (Hrnčiarová *et al.*, 1997 in Kubiček et Hrnčiarová, 1999).

Développement durable

• “Carrying-capacity of a region, comprising its supportive and assimilative capacities, is defined as the ability to produce desired outputs from a constrained resource base to achieve a higher and more equitable quality of life, while maintaining desired environmental quality, and ecological health” (Khanna *et al.*, 1999).

Annexe n° 2. Typologie des démarches d'évaluation de la CC

Tableaux A21. Caractéristiques des évaluations considérées par catégorie (CAH)

Interactions considérées (n = 67)	C_1	C_2	C_3	C_4	Total
Espèces et écosystèmes	19	1	0	0	21
Ecosystèmes et gestion	6	0	0	0	6
Usage(s) et écosystèmes	4	25	0	0	30
Usage(s), écosystèmes et gestion	3	18	0	1	22
Usage(s) et bien-être des usagers	0	0	9	0	9
Usage(s), bien-être des usagers et gestion	0	0	6	0	6
Usage(s), bien-être des usagers, écosystèmes et gestion	0	0	0	6	6
Total	33	45	15	7	100

Cadres analytiques (regroupements) (n = 67)	C_1	C_2	C_3	C_4	Total
K, nutritional CC, habitat CC, production CC	33	0	0	0	33
Limit Reference Points	0	25	0	0	25
Physical, real and effective CC	0	15	0	0	15
Ecological footprint, Emery valuation	0	4	0	0	4
Limits of acceptable change (LAC, VERP, WTSM, VCC, etc.)	0	0	15	0	15
Pressure-State-Response (PSR, DPSIR, etc.)	0	0	0	7	7
Total	33	45	15	7	100

Objectifs (cycle de gestion) (n = 67)	C_1	C_2	C_3	C_4	Total
Diagnostic	22	39	9	6	75
Evaluation <i>ex ante</i> (action de gestion)	3	6	6	1	18
Evaluation <i>ex post</i> (action de gestion)	7	0	0	0	7
Total	33	45	15	7	100

Référentiels (n = 67)	C_1	C_2	C_3	C_4	Total
Référentiel à atteindre	28	1	0	0	30
Référentiel à ne pas dépasser	4	43	15	7	70
Total	33	45	15	7	100

Variabilité(s) considérée(s) (n = 92)	C_1	C_2	C_3	C_4	Total
≠ usagers, ≠ pratiques	0	1	4	0	5
Spatiale	11	18	7	3	39
Intra-annuelle (saisons, mois, jours, ...)	5	5	0	0	11
Inter-annuelle (tendance historique)	7	2	0	2	11
Scénarios exploratoires (gestion, changements environnementaux)	7	7	4	1	18
Non considérée	4	10	0	1	15
Total	34	43	15	8	100

Méthodes de traitement de données employées (n = 67)	C_1	C_2	C_3	C_4	Total
Démarche descriptive ou explicative	25	36	9	6	76
Démarche prospective ou prédictive	7	9	6	1	24
Total	33	45	15	7	100

Expression des résultats (n = 67)	C_1	C_2	C_3	C_4	Total
Niveau(x) d'usage(s) ou taille(s) de population(s) animale(s) ou végétale(s) ¹	28	30	13	0	72
Ratio (production/consommation)	0	4	0	6	10
Avis, sans mention de seuil(s) particulier(s)	4	10	1	1	18
Total	33	45	15	7	100

Interprétation des résultats (CC comme référentiel théorique) (n = 48) ¹	C_1	C_2	C_3	C_4	Total
Comparaison de la CC évaluée avec des métriques similaires	31	35	6	NA	67
Absence de comparaison	15	6	13	NA	33
Total	46	42	19	—	100

Difficultés exprimées concernant l'évaluation (n = 73)	C_1	C_2	C_3	C_4	Total
Connaissances insuffisantes	14	22	5	3	44
Variabilité de la CC (temps, espace, ...)	1	8	1	0	11
Autres difficultés	1	1	3	4	10
Aucune	14	14	5	3	36
Total	30	45	15	10	100

Actions de gestion recommandées suite aux évaluations réalisées (n = 87)	C_1	C_2	C_3	C_4	Total
Restauration d'espace(s) naturel(s) et/ou création d'espace(s) protégé(s)	10	3	0	0	14
Restriction ou interdiction d'usage(s), relocalisation éventuelle	7	22	7	1	37
Renforcement du contrôle du respect des normes	0	7	0	0	7
Sensibilisation des usagers, promotion éventuelle d'usage(s) alternatif(s)	1	11	2	1	16
Aucunes	9	10	3	3	26
Total	28	54	13	6	100

¹Ne s'applique qu'aux résultats exprimés en taille(s) de population(s) animale(s), végétale(s) ou en niveau(x) d'usage(s).

Légende :

- Valeur la plus élevée (pour chaque tableau et pour chaque colonne)
- 2^{ème} valeur la plus élevée (pour chaque tableau et pour chaque colonne)

Tableaux A22. Contexte des évaluations considérées par catégorie (CAH)

Période de publication (n = 67)	C_1	C_2	C_3	C_4	Total
2000-2007	9	9	6	3	27
2008-2015	24	36	9	4	73
Total	33	45	15	7	100

Région de la zone d'étude (n = 69)	C_1	C_2	C_3	C_4	Total
Amérique	17	17	7	0	42
Asie	6	20	6	4	36
Europe	4	7	1	3	16
Océanie	3	1	0	0	4
Afrique	1	0	0	0	1
Total	32	46	14	7	100

Situation de la zone d'étude (n = 67)	C_1	C_2	C_3	C_4	Total
Mer et/ou littoral	28	34	9	7	79
Terre	4	10	6	0	21
Total	33	45	15	7	100

Superficie de la zone d'étude (n = 67)	C_1	C_2	C_3	C_4	Total
0-9,9 km ²	7	16	12	0	36
10-99 km ²	7	12	1	1	22
100-999 km ²	10	12	1	1	25
≥ 1 000 km ²	7	4	0	4	16
Total	33	45	15	7	100

Morphologie de la zone d'étude (n = 67)	C_1	C_2	C_3	C_4	Total
Zone(s)	33	36	9	7	85
Itinéraire(s)	0	9	6	0	15
Total	33	45	15	7	100

Statut de la zone d'étude (n = 67)	C_1	C_2	C_3	C_4	Total
Espace protégé	19	22	10	1	54
Espace non protégé	13	22	4	6	46
Total	33	45	15	7	100

Usage(s) problématique(s) dans la zone d'étude (n = 67)	C_1	C_2	C_3	C_4	Total
Artificialisation	0	4	1	7	13
Tourisme, activités récréatives	0	22	13	0	36
Pêche	3	1	0	0	4
Aquaculture	9	15	0	0	24
Chasse	1	0	0	0	1
Aucun	19	1	0	0	21
Total	33	45	15	7	100

Légende :

- Valeur la plus élevée (pour chaque tableau et pour chaque colonne)
- 2^{ème} valeur la plus élevée (pour chaque tableau et pour chaque colonne)

Annexe n° 3. Exemples de méthodes d'évaluation de la CC (revue intégrative)

Exemple 1 : Paramètre K (courbe logistique)

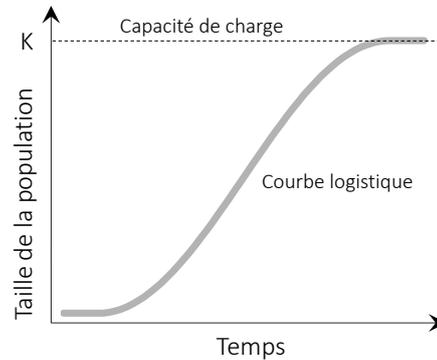
Catégorie CAH : C_1

Maximiser un état de conservation ou d'exploitation

Ex. de résultat :

Carrying capacity (K) for the California sea otter (Enhydra htrzs nwezs) was estimated as a product of the density of sea otters at equilibrium within a portion of their existing range and the total area of available habitat. (...) The amount of habitat available to sea otters in California was estimated using a Geographic Information Systems (GIS) program. The estimated mean number of sea otters that could be supported by the marine environment to a depth of 40 m in California was 15,941 (95% C1 13,538-18,577).

Laidre et al., (2001)



Exemple 2 : Reference points limits

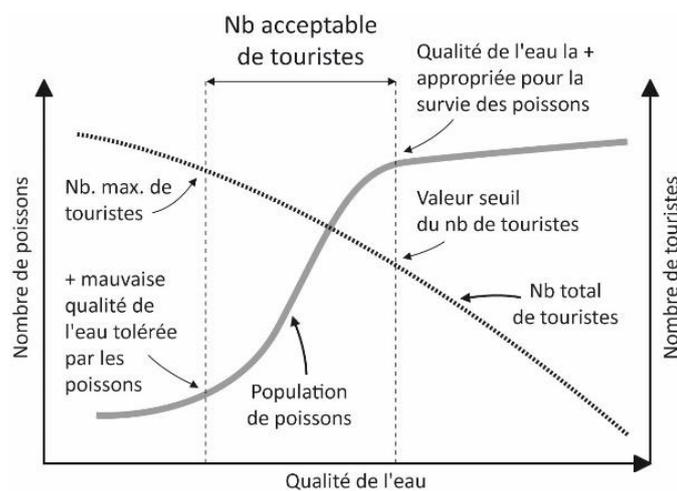
Catégorie CAH : C_2

Réduire les dégradations environnementales

Ex. de résultat :

"In order to maintain suitable water quality for the survival of Varicorhinus barbatulus, Candidia barbatus, and Acrossocheilus paradoxus, the threshold number of tourists at the study site is 3,000–3,600 people per week"

(Lee et Chang, 2015).



Reference points : seuil et nombre max. (Lee et Chang, 2015)

Exemple 3 : *Physical, real and effective CC*

Catégorie CAH : C_2

Réduire les dégradations environnementales

3 évaluations ≠ de la CC : $PCC \geq RCC \geq ECC$ Capacité de charge physique (PCC)

La capacité de charge physique correspond au nombre maximum de plongées qui peuvent être effectuées sur un site d'une superficie donnée pendant un temps déterminé.

$$PCC = \left(\frac{S}{SP} \right) \times NV$$

ou S est la surface totale de l'itinéraire considéré et SP la surface utilisée par chaque usager. NV est le nombre de fois que la visite peut être répétée par jour (fréquence de rotation).

NV est évalué au moyen de la formule suivante :

$$NV = \left(\frac{Vt}{Tv} \right)$$

ou Vt est le temps de plongée disponible dans une journée (en fonction des horaires de lever et de coucher du soleil par ex.) et Tv est la durée moyenne d'une plongée.

Capacité de charge effective (ECC)

Enfin la capacité de charge effective (ou autorisée) dépend de la capacité de gestion (MC) de l'espace considéré. La MC est appréciée dans le cas présent par inventaire, en considérant trois critères (qualité des infrastructures, niveau d'équipement, disponibilité et compétences professionnelles du personnel), et ce, au regard d'une situation dite optimale.

$$ECC = RCC \times MC$$

Capacité de charge réelle (RCC)

La RCC fait intervenir des facteurs de corrections spécifiques à la zone d'étude pour pondérer la capacité de charge physique du site. Pour estimer la RCC, les facteurs de correction employés dans cette étude sont les suivants : sécurité-dérangement (CFsoc : taille maximale des groupes de plongeurs, distance minimale entre chaque groupe, etc.), fragilité (CFfg : proportion de coraux fragilisés à l'échelle du site), dommages (CFdt : fréquence de touchers de coraux par type de plongeur) et force du vent (CFwind : nombre de jours de vent fort limitant la pratique de la plongée).

Ces facteurs sont individuellement calculés à l'aide de la formule suivante :

$$CFx = 1 - \frac{Lmx}{Tmx}$$

ou CFx est le facteur de correction pour la variable x, Lmx est la valeur de la variable x estimée pour le site considéré, et Tmx est l'amplitude totale de la variable x.

La RCC est au ensuite évaluée au moyen de la formule suivante :

$$RCC = PCC \times CFSoc \times CFFg \times CFdt \times CFwind$$

Ex. de résultat :

"The TCC values ranged between 1,252 and 1,642 dives/year/trail, with a total of 8,597 dives/year for all six trails. Although these numbers are higher than the actual number of recreational visitors to the island ($\approx 1,000$ dives per year), there is a need for adequate preventive management if the diving sites are to maintain their esthetic appeal and biological characteristics." (Rios-Jara et al., 2013).

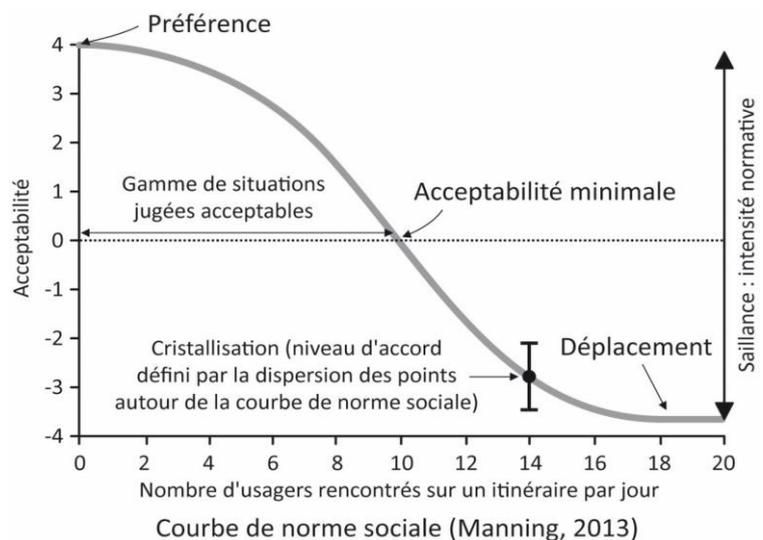
Exemple 4 : *Limits of Acceptable Change (LAC)*

Catégorie CAH : C_3

Améliorer le bien-être des usagers

Ex. de résultat :

"Results of this study suggest that the number of boats present at one time at Molokini should not exceed (...) 15 or 16 at one time. Minimum acceptable conditions would fall to just 12 boats if only large vessels are present at the site at one time, or rise to 17 boats if only small vessels are present." (Needham et al., 2011).



Exemple 5 : Ecological footprint index (EFI)

Catégorie CAH : C_4

Renforcer la durabilité d'un territoire

Ex. de résultat :

“ Evaluation of the ecological footprint intensity index reveals that the park has maintained a level 1 status, the highest ecological security level; (2) Linear estimation undertaken in the study predicts that when the ecological footprint intensity index reaches 0.5—when the ecological security level falls from level 1 (good) to level 2 (fair)—the critical tourist-carrying capacity would be 3,380,351 visitors per year, or 1.18 times the number of tourists in 2011”.

(Chen et al., 2014)

Indice d'empreinte écologique (EFI)

L'offre de biens et de services issus de la biosphère est appelé la biocapacité (BC). La demande de biens et services par les sociétés est appelé l'empreinte écologique (EF).

C'est le rapport entre ces deux mesures exprimées dans une unité commune, l'hectare global, qui indique la soutenabilité ou la non-soutenabilité du développement du point de vue de l'environnement.

L'EFI est évaluée au moyen de la formule suivante :

$$EFI = \frac{EF}{BC}$$

Ou BC représente la biocapacité et EF l'empreinte écologique.

Description de l'indice d'intensité
d'empreinte écologique

Rang	Statut	Indice : étendue
1	Bon	EFI < 0,5
2	Acceptable	EFI = 0,5 - 0,8
3	Insuffisant	EFI = 0,8 - 1,0
4	Mauvais	EFI > 1,0

Chen et al.. 2014

Annexe n° 4. Corpus documentaire constitué pour l'identification des méthodes d'évaluation de la CC (revue intégrative)

Liste des publications ordonnée par année et par ordre alphabétique

Auteurs	Année	Titre	Revue	Vol.
Arisci <i>et al.</i>	2000	Natural and scientific valence of the Gulf of Orosei coast (central-east Sardinia) and its carrying capacity with particular regard to the pocket-beaches	<i>Periodicum Biologorum</i>	102 (1), pp. 595-603
Saveriades	2000	Establishing the social tourism carrying capacity for the tourist resorts of the east coast of the Republic of Cyprus	<i>Tourism Management</i>	21 (2), pp. 147-156
Laidre <i>et al.</i>	2001	An estimation of carrying capacity for sea otters along the California coast	<i>Marine Mammal Science</i>	17 (2), pp. 294-309
Vasconcellos et Gasalla	2001	Fisheries catches and the carrying capacity of marine ecosystems in southern Brazil	<i>Fisheries Research</i>	50 (3), pp. 279-295
Laidre <i>et al.</i>	2002	Estimates of carrying capacity for sea otters in Washington State	<i>Wildlife Society Bulletin</i>	30 (4), pp. 1172-1181
Manning <i>et al.</i>	2002	Research to estimate and manage carrying capacity of a tourist attraction: A study of Alcatraz Island	<i>Journal of Sustainable Tourism</i>	10 (5), pp. 388-404
Baber et Craig	2003	Home range size and carrying capacity of the South Island takahe (<i>Porphyrio hochstetteri</i>) on Tiritiri Matangi Island	<i>Notornis</i>	50 (2), pp. 67-74
Duarte <i>et al.</i>	2003	Mathematical modelling to assess the carrying capacity for multi-species culture within coastal waters	<i>Ecological Modelling</i>	168 (1-2), pp. 109-143
Lawson <i>et al.</i>	2003	Proactive monitoring and adaptive management of social carrying capacity in Arches National Park: An application of computer simulation modeling	<i>Journal of Environmental Management</i>	68 (3), pp. 305-313
Maldonado et Montagnini	2004	Carrying capacity of La Tigra National Park, Honduras: Can the park be self-sustainable?	<i>Journal of Sustainable Forestry</i>	19 (4), pp. 29-48
Manning <i>et al.</i>	2005	Research to support management of visitor carrying capacity of Boston Harbor Islands	<i>Northeastern Naturalist</i>	12 (3), pp. 201-220
Gregg <i>et al.</i>	2006	Estimating carrying capacity for sea otters in British Columbia	<i>Journal of Wildlife Management</i>	72 (2), pp. 382-388
Stephenson <i>et al.</i>	2006	Spatio-temporal constraints on moose habitat and carrying capacity in Coastal Alaska: Vegetation succession and climate	<i>Rangeland Ecology and Management</i>	59 (4), pp. 359-372
Brasher <i>et al.</i>	2007	Energetic carrying capacity of actively and passively managed wetlands for migrating ducks in Ohio	<i>Journal of Wildlife Management</i>	71 (8), pp. 2532-2541
Cai et Sun	2007	Management of marine cage aquaculture: Environmental carrying capacity method based on dry feed conversion rate	<i>Environmental Science and Pollution Research</i>	14 (7), pp. 463-469
Di <i>et al.</i>	2007	Carrying capacity of marine region in Liaoning Province	<i>Chinese Geographical Science</i>	17 (3), pp. 229-235
Grant <i>et al.</i>	2007	A box model of carrying capacity for suspended mussel aquaculture in Lagune de la Grande-Entrée, Iles-de-la-Madeleine, Québec	<i>Ecological Modelling</i>	200 (1-2), pp. 193-206
Roussel <i>et al.</i>	2007	In search of coastal zone sustainability by means of social carrying capacity indicators construction: Lessons learned from the Thau lagoon case study (Région Languedoc-Roussillon, France)	<i>International Journal of Sustainable Development</i>	10 (1-2), pp. 175-194
Ge <i>et al.</i>	2008	Carrying capacity for shorebirds during migratory seasons at the Jiuduansha Wetland, Yangtze River Estuary, China	<i>Frontiers of Biology in China</i>	3 (4), pp. 536-542
Brochet <i>et al.</i>	2009	Marsh management, reserve creation, hunting periods and carrying capacity for wintering ducks and coots	<i>Biodiversity and Conservation</i>	18 (7), pp. 1879-1894
Filgueira et Grant	2009	A box model for ecosystem-level management of mussel culture carrying capacity in a Coastal Bay	<i>Ecosystems</i>	12 (7), pp. 1222-1233
Ge <i>et al.</i>	2009	Effects of vegetative cover changes on the carrying capacity of migratory shorebirds in a newly formed wetland, yangtze river estuary, China	<i>Zoological Studies</i>	48 (6), pp. 769-779
Jeong	2009	An International Comparative Research on Environmental Carrying Capacity among Islands	<i>Korean Social Science Journal</i>	36 (2), pp. 195-230
Jeong <i>et al.</i>	2009	Studies for the sustainable management of oyster farms in Pukman bay, Korea: Estimation of carrying capacity from food availability	<i>Fisheries and Aquatic Science</i>	12 (2), pp. 118-129
Quicoy et Briones	2009	Beach Carrying Capacity Assessment of Coastal Ecotourism in Calatagan, Batangas, Philippines	<i>Journal of Environmental Science and Management</i>	12 (2), pp. 11-26
Chaudhry <i>et al.</i>	2010	Determining carrying capacity of untreated and treated areas of mari reserve forest (Pothwar tract) after reseeded with <i>Cenchrus ciliaris</i>	<i>Journal of Animal and Plant Sciences</i>	20 (2), pp. 103-106
Guyonnet <i>et al.</i>	2010	Integrating multiple spatial scales in the carrying capacity assessment of a coastal ecosystem for bivalve aquaculture	<i>Journal of Sea Research</i>	64 (3), pp. 341-359
Hallo et Manning	2010	Analysis of the social carrying capacity of a national park scenic road	<i>International Journal of Sustainable Transportation</i>	4 (2), pp. 75-94
Nam <i>et al.</i>	2010	Carrying capacity of an uninhabited island off the southwestern coast of Korea	<i>Ecological Modelling</i>	221 (17), pp. 2102-2107

Tiwari <i>et al.</i>	2010	Estimating carrying capacity at the green turtle nesting beach of East Island, French frigate shoals	<i>Marine Ecology Progress Series</i>	419, pp. 289-294
Byron <i>et al.</i>	2011	Calculating ecological carrying capacity of shellfish aquaculture using mass-balance modeling: Narragansett Bay, Rhode Island	<i>Ecological Modelling</i>	222 (10), pp. 1743-1755
Byron <i>et al.</i>	2011	Modeling ecological carrying capacity of shellfish aquaculture in highly flushed temperate lagoons	<i>Aquaculture</i>	314 (1-4), pp. 87-99
Figueras <i>et al.</i>	2011	The carrying capacity of cycling paths as a management instrument. The case of Ebro delta (Spain)	<i>Ekologia Bratislava</i>	30 (4), pp. 438-452
Lin <i>et al.</i>	2011	Comparative analysis of environmental carrying capacity of the Bohai Sea Rim area in China	<i>Journal of Environmental Monitoring</i>	13 (11), pp. 3178-3184
Needham <i>et al.</i>	2011	Encounter norms, social carrying capacity indicators, and standards of quality at a marine protected area	<i>Ocean and Coastal Management</i>	54 (8), pp. 633-641
Sayan et Atik	2011	Recreation carrying capacity estimates for protected areas: A study of termessos National Park	<i>Ekoloji</i>	(78), pp. 66-74
Zacarias <i>et al.</i>	2011	Recreation carrying capacity estimations to support beach management at Praia de Faro, Portugal	<i>Applied Geography</i>	31 (3), pp. 1075-1081
Coll <i>et al.</i>	2012	The carrying capacity and the effects of protection level in three marine protected areas in the Balearic Islands (NW Mediterranean)	<i>Scientia Marina</i>	76 (4), pp. 809-826
Grueber <i>et al.</i>	2012	Are introduced takahe populations on offshore islands at carrying capacity? Implications for genetic management	<i>New Zealand Journal of Ecology</i>	36 (2), pp. 223-227
Huang et Isobe	2012	Carrying capacity of wetlands for massive migratory waterfowl	<i>Hydrobiologia</i>	697 (1), pp. 5-14
Navarro Jurado <i>et al.</i>	2012	Carrying capacity assessment for tourist destinations. Methodology for the creation of synthetic indicators applied in a coastal area	<i>Tourism Management</i>	33 (6), pp. 1337-1346
Parrish <i>et al.</i>	2012	Estimating the carrying capacity of French Frigate Shoals for the endangered Hawaiian monk seal using Ecopath with Ecosim	<i>Marine Mammal Science</i>	28 (3), pp. 522-541
Théophile <i>et al.</i>	2012	Feeding habits of Hippopotamus amphibius and carrying capacity in the Biosphere Reserve of "Mare aux Hippopotames" in the South-Sudanian Zone of Burkina Faso	<i>Pakistan Journal of Zoology</i>	44 (2), pp. 433-442
Liao <i>et al.</i>	2013	Allocation of marine environmental carrying capacity in the Xiamen Bay	<i>Marine Pollution Bulletin</i>	75 (1-2), pp. 21-27
Masum <i>et al.</i>	2013	Ecotourism Carrying Capacity and the Potentiality of the Safari Park of Bangladesh	<i>Journal of Forest and Environmental Science</i>	29 (4), pp. 292-299
Rajan <i>et al.</i>	2013	Beach Carrying Capacity Analysis for Sustainable Tourism Development in the South West Coast of India	<i>Environmental Research, Engineering and Management</i>	1 (63), pp. 67-73
Ríos-Jara <i>et al.</i>	2013	The tourism carrying capacity of underwater trails in Isabel Island national park, Mexico	<i>Environmental Management</i>	52 (2), pp. 335-347
Salerno <i>et al.</i>	2013	Multiple Carrying Capacities from a management-oriented perspective to operationalize sustainable tourism in protected areas	<i>Journal of Environmental Management</i>	128, pp. 116-125
Silvestri <i>et al.</i>	2013	Nautical tourism, carrying capacity and environmental externality in a protected lagoon of northern Adriatic sea	<i>Economics and Policy of Energy and the Environment</i>	(3), pp. 145-180
Smaal <i>et al.</i>	2013	Decrease of the carrying capacity of the Oosterschelde estuary (SW Delta, NL) for bivalve filter feeders due to overgrazing?	<i>Aquaculture</i>	404-405, pp. 28-34
Brand <i>et al.</i>	2014	Effects of wetland management on carrying capacity of diving ducks and shorebirds in a coastal estuary	<i>Waterbirds</i>	37 (1), pp. 52-67
Chen <i>et al.</i>	2014	The construction and application of a carrying capacity evaluation model in a national park	<i>Stochastic Environmental Research and Risk Assessment</i>	28 (6), pp. 1333-1341
Filgueira <i>et al.</i>	2014	A fully-spatial ecosystem-DEB model of oyster (<i>Crassostrea virginica</i>) carrying capacity in the Richibucto Estuary, Eastern Canada	<i>Journal of Marine Systems</i>	136 (1), pp. 42-54
Ibarra <i>et al.</i>	2014	Coupling 3-D Eulerian bio-physics (ROMS) with individual-based shellfish ecophysiology (SHELL-E): A hybrid model for carrying capacity and environmental impacts of bivalve aquaculture	<i>Ecological Modelling</i>	273, pp. 63-78
Mashayekhan <i>et al.</i>	2014	Recreation carrying capacity estimations to support forest park management (case study: Telar forest park, Ghaemshahr, Iran)	<i>World Applied Sciences Journal</i>	29 (3), pp. 421-425
Queiroz <i>et al.</i>	2014	Carrying capacity of hiking trails in Natura 2000 sites: a case study from North Atlantic Islands (Azores, Portugal)	<i>Revista de Gestão Costeira Integrada</i>	14 (2), pp. 233-242
Wei <i>et al.</i>	2014	Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones - A case in Nantong	<i>Ocean and Coastal Management</i>	93, pp. 51-59
Guyondet <i>et al.</i>	2015	Climate Change Influences Carrying Capacity in a Coastal Embayment Dedicated to Shellfish Aquaculture	<i>Estuaries and Coasts</i>	38 (5), pp. 1593-1618
Kluger <i>et al.</i>	2015	Carrying capacity simulations as a tool for ecosystem-based management of a scallop aquaculture system	<i>Ecological Modelling</i>	Article in Press
Kurdoglu	2015	Effect of traditional highland settlement texture on visual carrying capacity: Kackar mountains national park case	<i>Journal of Environmental Protection and Ecology</i>	16 (2), pp. 771-782
Lee et Chang	2015	A model for predicting tourist carrying capacity and implications for fish conservation	<i>Environmental Biology of Fishes</i>	98 (3), pp. 871-884



Site Internet

www.gis-hommer.org

Infographie : ELG, © GIS HomMer – Octobre 2020