

Synthèse de l'article

Do we have to choose between feeding the human population and conserving nature? Modelling the global dependence of people on ecosystem services

Novembre 2018

Référence V. Cazalis, M. Loreau, K. Henderson (2018) *Do we have to choose between feeding the human population and conserving nature? Modelling the global dependence of people on ecosystem services. Science of The Total Environment* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.360>

 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718311203?via%3Dihub>

Devons-nous choisir entre nourrir l'humanité et protéger la nature ? Modélisation des liens entre l'environnement et la démographie humaine

La capacité de la population humaine à continuer de croître dépend fortement des services écosystémiques fournis par la nature (voir p.2). Or ceux-ci se dégradent de plus en plus à mesure que le nombre d'individus augmente, ce qui pourrait menacer le bien-être futur de la population humaine, **comme cela a déjà été constaté par le passé** avec la disparition de plusieurs civilisations humaines.

En construisant un modèle dynamique pour conceptualiser les liens entre la proportion mondiale des habitats naturels et la démographie humaine à travers quatre catégories de services écosystémiques (approvisionnement, réglementation, loisirs culturels et informationnels) **les chercheurs ont essayé de déterminer si la trajectoire actuelle du développement humain pouvait conduire à un effondrement similaire.**

Ils ont montré en premier lieu qu'il existe généralement un **compromis entre la qualité de vie et la taille de la population humaine** qui suit quatre scénarios :

- **Deux scénarios de déclin de la population :**
 - Dans le cas d'une **production alimentaire forte au détriment des services de régulation** tels que la qualité de l'air et de l'eau, pollinisation ou la régulation des maladies, entraînant une **augmentation du taux de mortalité** et une **dégradation de la nature**
 - En cas de **surexploitation des terres** entraînant une **diminution de la production alimentaire** ou de **baisse de l'efficacité de la production alimentaire** qui ne couvre plus les besoins de la population
- **Un état de famine stable** où la population continue de croître avec une faible alimentation
- **Un futur souhaitable** en cas de **compromis entre la conversion des terres pour nourrir toute la population et la conservation de la biodiversité et des services écosystémiques**

Les deux scénarios de déclin sont dictés par des **processus antagonistes** entre conversion des terres pour l'agriculture et conservation des milieux naturels. **Cependant, les deux sont incontestablement négatifs pour le bien-être humain et la nature :** la conversion d'un trop grand nombre de terres naturelles en terres exploitées a des conséquences négatives sur les services de régulation et donc sur la population. Au contraire, la conservation de la nature préserve les services de

régulation, mais est responsable de famine, si elle ne laisse pas de place à la production agricole.

La seule solution pour un futur souhaitable est de préserver à la fois les services écosystémiques d'approvisionnement et de régulation par un compromis équilibré entre la conservation de la nature et la conversion des terres pour l'agriculture. Ce scénario intermédiaire n'est possible qu'en évitant un emballement de la démographie et en conservant une population relativement « petite » autour de 10 milliards d'individus.

Les données : le nombre toujours plus important d'hommes induit une pression croissante sur les ressources naturelles, notamment les terres.

- **La croissance de la population humaine s'est accélérée après plusieurs millénaires de stagnation** : il y a deux mille ans, environ 300 millions de personnes vivaient sur Terre, au début du XIX^e siècle nous étions un milliard et, entre 1800 et 2000, la population a augmenté de plus de 700 % (ONU, 1999). En 1960, le taux de croissance mondial a diminué (ONU, 1999), néanmoins, si cette trajectoire devait se poursuivre, il y aurait 256 milliards de personnes en 2150 (ONU, 2001).
- **La superficie urbanisée** (habitations et infrastructures) **est ainsi passée de 1,1 à 2,8 % de la superficie totale des terres** entre 1960 et 2007 (Hooke *et al.*, 2012).
- **La superficie agricole** (cultures, terres arables et pâturages permanents) **est passée de 35 % à 38,6 %** entre 1960 et 2007 (Hooke *et al.*, 2012 ; Alexandratos et Bruinsma, 2012).
- **Une augmentation spectaculaire de la consommation alimentaire par personne se confirme** (Tilman *et al.*, 2011)
- **La production agricole par unité de surface a presque quadruplé** (FAOSTAT, 2017 ; Green, 2005) en raison de la transition d'une agriculture extensive vers une agriculture aux pratiques intensives, notamment grâce à la mécanisation et l'utilisation d'engrais et de pesticides. Ce processus, **qui aurait pu être entièrement vertueux**, car il économise des terres, **a actuellement un impact fortement négatif sur l'environnement.**
- **La dégradation de la nature a un coût plus ou moins évalué**, car elle diminue les services écosystémiques c'est-à-dire « les contributions directes et indirectes des écosystèmes au bien-être humain » (Braat et de Groot, 2012), (voir ci-dessous).

ENCADRÉ - SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES ET IMPORTANCE POUR L'HUMANITÉ

L'évaluation des écosystèmes du millénaire a classé les services écosystémiques en quatre catégories (*Millenium Ecosystem Assessment*, 2003) : **services d'approvisionnement** (aliments, bois de feu, fibres, ressources génétiques), **services de régulation** (régulation du climat, propagation des maladies, qualité de l'eau et de l'air, pollinisation), **services culturels** (par exemple, loisirs, éducation, valeurs spirituelles, esthétiques ou religieuses des écosystèmes) et **services d'appui ou de soutien** (services d'appui tels que la biodiversité, la formation des sols, le cycle des éléments nutritifs).

Tous ces services sont indispensables au bien-être en améliorant la santé et la sécurité des populations humaines (*Millenium Ecosystem Assessment*, 2003), ceci a été bien démontré par plusieurs études, par exemple :

- **les services de régulation**, tels que la purification de l'air et de l'eau ou le contrôle des maladies, **améliorent le bien-être et la santé et la sécurité** (*Millenium Ecosystem Assessment*, 2003), en particulier dans les zones urbaines (Dearborn et Kark, 2010)
- **les services culturels jouent un rôle important pour la santé et le bien-être des individus** (Butler et Oluoch-Kosura, 2006 ; Daniel *et al.*, 2012),

- **l'exposition aux environnements naturels améliore les conditions de santé cardiovasculaires, immunitaires et endocriniennes** (Bowler *et al.*, 2010), **procurent un meilleur bien-être psychologique** (Fuller *et al.*, 2007) et mènent généralement à **une société plus heureuse** (Diener et Chan, 2011).

Certains services sont une fonction de l'intensité de l'utilisation des terres et de leur caractère plus ou moins anthropisé allant de l'agriculture légère, extensive à l'agriculture intensive (Braat et ten Brink, 2008), les hypothèses suivantes ont donc été intégrées au modèle qui a servi à l'étude :

- **Les services de régulation et d'information** (voir définition p. 10) **augmentent avec le taux de terres naturelles et donc de biodiversité**
- **Les services de récréation augmentent également avec le taux de terres naturelles**, cependant, dans le cas de terres vierges, ces services sont moins accessibles et diminuent.
- **Les services d'approvisionnement augmentent avec l'exploitation des terres** et diminuent donc avec la proportion de terres naturelles.

Lorsque la superficie naturelle est diminuée, certains services de soutien tels que la biodiversité ou la fertilité des sols et de régulation comme la pollinisation ou la lutte antiparasitaire diminuent également et l'efficacité de la production diminue finalement (Braat et Ten Brink, 2008).

La production maximale dans un paysage agricole est assurée par 10 à 30 % de terres naturelles selon le type de culture (selon Morandin et Winston, 2006). Le taux de terres naturelles permettant de fournir un maximum de services d'approvisionnement a donc été calibrée à 0,3 sur une échelle de 1 (1 correspondant à 100 % de terres naturelles).

Les effondrements historiques de populations et le risque pour la population mondiale actuelle

Le cas le plus célèbre est celui de l'**île de Pâques**, où, selon le biologiste et géographe Jared Diamond (1994), la population humaine locale a atteint un maximum estimé à plus de 10 000 individus autour de 1 500 après J.-C.. Les analyses polliniques indiquent qu'à cette époque, **le couvert forestier a pratiquement disparu** (de la Croix et Dottori, 2008). Par la suite, **le sol s'est érodé** rendant les cultures impossibles et entraînant la disparition des populations animales (principalement des oiseaux) en raison de la chasse intensive et de la disparition des habitats naturels. **L'effondrement de la population humaine est consécutif à la dégradation des services écosystémiques de production alimentaire** (Diamond, 1994), et pourrait d'autre part, être également dû à la propagation de maladies provoquées par la colonisation européenne (Hunt et Lipo, 2009).

Des phénomènes similaires ont également eu lieu dans **des sociétés non isolées qui ont endommagé le sol de manière irréversible**, les zones étant restées désertes depuis (Diamond, 1994). C'est le cas de la **civilisation Anasazi**, qui vit actuellement au sud-ouest des États-Unis et qui a disparu de son lieu de vie d'origine il y a 700 ans **à cause de la déforestation et de l'épuisement des sols**, associés à une sécheresse prolongée. C'est aussi le cas des civilisations anciennes qui ont disparu il y a environ 10 000 ans du Croissant Fertile en Mésopotamie en raison de **l'augmentation de la teneur en sel du sol due à une irrigation trop intensive**.

Dans son livre, Jared Diamond (2005) a comparé la société de l'île de Pâques à la population humaine mondiale actuelle et a soutenu qu'**il était possible que le système terrestre mondial aboutisse à un effondrement similaire en raison de la surexploitation des terres**. Cette idée a été propagée par l'ampleur récente des publications décrivant les « **limites planétaires** », qui **conceptualisent la surexploitation des ressources mondiales par les humains en termes de risque de déstabilisation**. En particulier, **il a été suggéré que la perte de biodiversité et le changement**

d'affectation des terres pourraient avoir des conséquences catastrophiques à l'échelle mondiale (Rockström *et al.*, 2009), même si des preuves de cette hypothèse font encore défaut (Montoya *et al.*, 2018).

Page (2005) a critiqué la théorie de Diamond et a soutenu que **les deux cas ne sont pas comparables** en raison de leurs échelles très différentes et de la diversité des sociétés actuelles dont certaines pourraient réagir différemment à un effondrement mondial imminent **en trouvant des réponses efficaces pour l'enrayer**. Cependant, Page a reconnu que **certains facteurs pouvaient empêcher les humains de réagir à un risque d'effondrement**, par exemple la difficulté à anticiper l'effondrement, la complexité du problème, sa non-reconnaissance à temps et l'incapacité à construire une réponse collective.

Une différence essentielle entre les sociétés actuelles et les sociétés qui se sont effondrées dans le passé, est que **des efforts sont faits pour conserver la nature et les services écosystémiques** et que **les humains sont donc également un moteur important de la dynamique des systèmes naturels**.

Ainsi, selon Alkemade *et al.* (2009), **la protection de 20% de tous les grands écosystèmes permettrait de réduire suffisamment le taux de perte de biodiversité pour garantir le maintien d'un niveau élevé de services écosystémiques**. La restauration des habitats naturels des écosystèmes dégradés permet également d'**améliorer la biodiversité** et de **soutenir les services écosystémiques** (Benayas *et al.*, 2009).

Résultats de la modélisation

Les états d'équilibre à long terme entre la population et le taux de terres naturelles (après 2250)

La taille de la population humaine varie en fonction du ratio entre services d'approvisionnement et services de régulation qui joue à la fois sur la natalité et la mortalité.

Par ailleurs, la proportion de terres naturelles évolue avec de nombreux paramètres qui interviennent dans la tension entre la conservation de la nature et l'approvisionnement alimentaire.

A long terme (après 2250), en dehors d'un **état dit trivial** lorsque la proportion de terres naturelles est maximale (= 1) et que la démographie est nulle (= 0), **le modèle prédit ainsi plusieurs états stationnaires et un état instable** d'équilibre entre la population humaine et les terres naturelles.

Il existe deux états stationnaires potentiels pour la population humaine mondiale, avec des normes de bien-être nettement différentes :

- Dans le premier cas, **la population humaine se stabilise lorsque la quantité de nourriture par personne est faible**, ce qui augmente le taux de mortalité à un point tel qu'il équilibre le taux de natalité. L'auto-régulation est alors assuré par cette augmentation du taux de mortalité. La population humaine maximale à l'équilibre est atteinte lorsque la proportion de terres naturelles est de 0,3, car les services de production sont maximaux à ce stade. **Une forte population humaine exploite lourdement les terres, la proportion de terres naturelles est donc faible à l'équilibre.**
- Alternativement, **une population plus petite peut être maintenue avec une grande quantité de nourriture par personne** si le taux de natalité diminue à un point tel qu'il est égal au taux de mortalité, une tendance actuellement observée dans de nombreux pays à revenu élevé, en particulier en Europe. **Une faible population humaine permet le maintien d'une forte proportion de terres naturelles à l'équilibre.**

Entre ces deux états stables non triviaux, il existe un **état instable**, avec une population humaine intermédiaire (environ 10 milliards de personnes), une proportion

intermédiaire de terres naturelles (environ 0,5) et une grande quantité de nourriture par personne.

Bien que cet état soit instable, les deux dimensions du modèle (population et terres naturelles) **peuvent se stabiliser pendant plusieurs millénaires avant de passer à l'un des états stables alternatifs**. Cette stabilité, avec des niveaux de nourriture par personne et des terres naturelles relativement élevés, **ne fait plus partie des scénarios possibles quand la population humaine excède les 15 milliards d'habitants**.

La dynamique transitoire à court terme du système mondial, entre 1960 et 2250

Un compromis entre la taille de la population humaine et la qualité de la vie
Avec le modèle, **un compromis clair entre la taille de la population en 2250 et la quantité de nourriture par personne apparaît**, cependant, **c'est l'ensemble des services qui en réalité diminuent** :

- Dans toutes les simulations qui atteignent une population élevée, environ 30 milliards de personnes avec un maximum de 42 milliards, **la population souffre de la famine**. Une population plus nombreuse à la fin de la simulation a également **un impact négatif sur l'offre de services de régulation, les services récréatifs culturels et les services d'information culturelle** par la dégradation anthropique des terres naturelles.
- Certaines simulations atteignent une **faible population humaine** et de **faibles niveaux de services écosystémiques, en raison d'une dégradation excessive des terres naturelles et donc des services de régulation**, induisant une augmentation du taux de mortalité humaine.

Quatre scénarios transitoires de dynamique Homme-nature

Sur la base du compromis entre la taille de la population et la qualité de vie, les auteurs ont identifié quatre trajectoires différentes de population humaine entre 1960 et 2250 issues du modèle (voir annexe sur les modèles pour plus de précisions sur la méthode et ses biais) :

- **l'avenir souhaitable** : pas de famine, pas de déclin dans la population humaine. Ce scénario permet indifféremment d'atteindre l'un des deux états stables à long terme.
- **la famine sans déclin** dans la population humaine. Ce scénario conduit au premier état stationnaire avec une faible quantité de nourriture par personne et une grande population.
- **le déclin des services de régulation** : pas de famine, mais évolution vers un déclin de la population. Un taux de conversion des terres très élevé dégrade fortement les services écosystémiques (régulation de la qualité de l'air et de l'eau ou la lutte contre les ravageurs et les maladies), ce qui entraîne une mortalité accrue due à un manque de services de régulation, conduisant finalement à un déclin de la population.
- **le déclin des services d'approvisionnement** : Ce scénario ne se produit que lorsque la production alimentaire diminue en raison d'un déclin de l'approvisionnement ou de la baisse de l'efficacité de la production alimentaire. La population diminue suffisamment rapidement pour maintenir un équilibre à faible niveau alimentaire.

Les scénarios « avenir souhaitable » et « déclin des services de régulation » **ne conduisent jamais à une population importante**, car deux phénomènes se produisent, **soit la baisse du taux de natalité** (sur le modèle de ce qui se produit dans les pays industrialisés avec baisse du nombre d'enfants par femme) **soit l'augmentation du taux de mortalité** dû à la dégradation de l'environnement et la perte des services de régulation influençant la qualité de vie et la santé.

Dans les scénarios « famine » et « déclin des services d'approvisionnement », l'équilibre de la population est atteint quand une **diminution notable de la quantité de nourriture par personne conduit à une augmentation du taux de mortalité**.

Le *déclin des services d'approvisionnement* se produit **uniquement dans l'hypothèse d'une efficacité en baisse**. Dans ce cas, la population affamée voit la quantité de nourriture par personne diminuer, entraînant une augmentation du taux de mortalité et une diminution de la taille de la population humaine (*confer chapitre sur le progrès*).

Les deux causes de la mortalité humaine :

famine et surexploitation des terres naturelles

La famine se produit si l'équilibre alimentaire élevé n'est pas atteint rapidement, car le taux de natalité est élevé lorsque la quantité de nourriture par personne est faible.

Cependant, **cette faible quantité de nourriture n'induit pas nécessairement une diminution de la population**, car il existe une réponse démographique paradoxale au manque de nourriture bien documentée dans les sociétés contemporaines (Ali, 1985 ; ONU, 2015) qui est l'augmentation de la natalité. **Ce phénomène est un problème pour les pays disposant de faibles ressources alimentaires** (Alexandratos et Bruinsma, 2012). Par exemple, la population du Niger devrait passer de 14 millions en 2006 à 58 millions en 2050, alors que des personnes souffrent de sous-alimentation depuis des décennies. Sur la base de cette réponse démographique, le scénario de famine conduisant à une population nombreuse en raison d'un cercle vicieux entre la quantité de nourriture par personne et le taux de croissance ne semble pas déraisonnable, bien que, d'après les auteurs, elle n'ait pas encore été décrite dans la littérature scientifique. En conséquence, **il est indispensable de réduire les inégalités en aidant les pays en développement à satisfaire leurs besoins alimentaires, sanitaires et éducatifs** afin de concourir à la réduction de leur taux de croissance et aider la population mondiale à se stabiliser à un niveau inférieur aux prévisions (ONU, 2001).

Outre la faible qualité de vie induite par le manque de nourriture, la famine a également un effet négatif sur l'environnement. En effet, une population souffrant de malnutrition avec un taux de natalité élevé convertit davantage de terres naturelles en terres agricoles pour augmenter l'offre alimentaire. En raison de ce compromis entre la taille de la population humaine, la disponibilité de nourriture par personne et la conservation de la nature, **aider les pays à faible revenu à atteindre un équilibre alimentaire élevé est un moyen d'améliorer l'avenir des humains et de l'environnement.** Ce compromis est cohérent avec l'opinion de Cohen (1995) selon lequel il n'y a pas de valeur unique de la taille maximale de population humaine, mais qu'**elle dépend de la qualité de la vie, en termes de nourriture et d'environnements naturels.**

Dans cette étude, la famine est principalement induite par **une faible conversion des terres naturelles en terres agricoles empêchant la population de satisfaire ses besoins alimentaires en raison d'une conservation trop élevée.**

Les situations de pénurie alimentaire extrême pourraient **conduire au braconnage ou à des pressions politiques en faveur du déclassement des zones protégées** (Adams, 2004).

Le modèle montre que **la famine n'est pas la seule menace pour les humains.** Si la nature est surexploitée, l'humanité pourrait connaître un déclin de sa population en raison de **l'absence de services de régulation**, tels que la régulation de la qualité de l'air et de la qualité de l'eau, la régulation des maladies et contrôle biologique (*Millenium Ecosystem Assessment*, 2003).

Dans ce scénario, la population humaine tend à atteindre un **équilibre alimentaire élevé par une conversion agricole intense et un faible niveau de conservation de la nature**, mais à mesure que la nature se dégrade, **son taux de mortalité augmente par manque de services de régulation.** Tonn (2009) a suggéré que la dégradation de la nature, la perte de biodiversité ou le changement climatique pourraient entraîner ou contribuer à **un effondrement ou à un déclin significatif de la population humaine susceptible de modifier considérablement nos structures sociales.**

Le modèle ne prédit pas un effondrement complet de la population humaine, toutefois, le scénario de *déclin des services écosystémiques* pourrait entraîner un **déclin important de la population si la nature était fortement dégradée**. Cela est principalement dû au fait que la terre naturelle nécessite de nombreuses années pour se régénérer. Le déclin de la population peut également se produire dans le scénario de *déclin du service d'approvisionnement*, si l'efficacité de la production, de la distribution et de l'extraction des biens chute de manière dramatique ; comme ce fut le cas sur l'île de Pâques (Türkgölü, 2008). Ce scénario pourrait presque conduire à l'effondrement de l'ensemble de la population humaine mondiale.

Le modèle démontre que dans ce cas, la conservation peut enrayer ce scénario de déclin.

Le progrès peut-il sauver l'humanité ?

La technologie a joué un rôle important dans la production alimentaire et la croissance de la population au cours de l'histoire et n'a jamais été aussi cruciale qu'au cours des 60 dernières années. Notre population croissante dépend de rendements agricoles élevés. Si l'efficacité de la production agricole chute au-dessous des niveaux actuels, la population diminuera en raison de la famine.

Le modèle montre que si les progrès technologiques étaient incapables de lutter contre la dégradation des terres naturelles, cela conduirait à la **diminution des services de régulation** (fertilité des sols, pollinisation, lutte contre les parasites) puis la **diminution des services d'approvisionnement** (Braat et ten Brink, 2008) et enfin, la **diminution de la population**. Dans un tel cas, **la conservation des services de régulation a aussi une influence positive sur la trajectoire**.

Dans un autre scénario hypothétique, **l'efficacité agricole pourrait diminuer à l'avenir en raison de processus** tels que le changement climatique et la disparition des ressources nécessaires à l'agriculture mécanisée. Dans ce scénario, **la population humaine souffrira inexorablement de famine et de déclin**.

Avec une faible efficacité, il devient plus difficile d'augmenter la quantité de nourriture par personne. Les changements futurs dans l'efficacité de l'agriculture sont très incertains : l'efficacité de production par hectare ralentit pour plusieurs cultures majeures telles que le maïs, le riz, le soja et le blé (Alston *et al.*, 2009), de plus, les données de la FAO suggèrent un plateau dans l'efficacité de la production totale dans les pays à revenu élevé tels que la France, le Japon, le Royaume-Uni, l'Irlande, la Suède et la Finlande (FAOSTAT, 2017). Par conséquent, il semble déraisonnable de penser que l'efficacité agricole continuera à croître indéfiniment dans les années futures, un plateau d'efficacité sera atteint. Le modèle suggère que la famine constitue la plus grande menace pour la population humaine dans le cas où l'efficacité serait insuffisante. **Si la population n'est pas encore stabilisée lorsque le plateau de l'efficacité est atteint, le risque de faire face à une famine mondiale sera élevé**. Seul le doublement de l'efficacité de la production alimentaire permet à la population humaine d'atteindre facilement l'équilibre des taux de natalité et de mortalité, suggérant que l'efficacité accrue de la production alimentaire réduit le risque de famine. Une augmentation d'efficacité qui n'atteindrait que 40 % est insuffisante et rend plus probable le scénario de famine.

Par ailleurs, plus l'efficacité future de la production alimentaire sera grande, plus la menace de déclin des services de régulation sera grande.

Même s'il peut sembler impossible, avec les progrès technologiques envisagés, que l'agriculture perde son efficacité, plusieurs hypothèses pourraient mener à cette éventualité chaotique, d'une part **le changement climatique peut avoir un effet négatif sur la production agricole**, parce que les cultures ne seront pas adaptées aux nouvelles conditions de température ou de précipitation (Wheeler et von Braun, 2013, Ainsworth et Ort, 2010) et d'autre part, **l'agriculture pourrait avoir à faire face à la pénurie de carburant**, indispensable aux systèmes mécanisés (Pimentel et Pimentel, 2008), **ou à la pénurie de phosphore**, dont les stocks miniers se raréfient et pourraient être épuisés dans 50 ou 100 ans (Cordell *et al.*, 2009).



Et si la solution pour créer un avenir souhaitable était de trouver un équilibre entre la production alimentaire et les services de régulation ?

Avec une conservation élevée, le scénario de « déclin des services de régulation » est moins probable qu'avec une faible conservation. Ainsi, la conservation empêche la nature de se dégrader de manière excessive, ce qui augmente l'offre de services écosystémiques non liés à l'alimentation.

Le scénario futur désirable n'est possible qu'avec une population humaine ne dépassant pas les 10 milliards de personnes. Cette taille de population correspond aux prévisions des Nations Unies pour 2050 (comprises entre 9 et 13 milliards de personnes, ONU, 2015). Cela se produit lorsque la conversion d'approvisionnement est suffisamment efficace pour éviter la famine, mais lorsque la nature est suffisamment préservée pour fournir des services de régulation et éviter un déclin de la population. **L'atteinte de cet équilibre entre les services écosystémiques et l'alimentation a été identifiée comme une cible importante pour parvenir à un développement durable au niveau international.** En effet, les objectifs de développement durable des Nations Unies englobent à la fois des objectifs naturels (vie terrestre, vie marine et aquatique, action climatique) et des objectifs de bien-être (faim zéro, bonne santé et bien-être, réduction des inégalités).

Ce scénario souhaitable est toutefois instable à long terme, ce qui suggère qu'éviter à la fois la famine et la perte de services de régulation nécessite une attention constante pour rester proche de l'état d'avenir souhaitable.

Les politiques de conservation doivent être soigneusement étudiées, en effet, une plus grande conservation peut également conduire le système à la famine, car il ralentit la conversion des terres à un point tel que les besoins nutritionnels ne sont plus satisfaits. Dans ce cas, l'équilibre alimentaire élevé ne peut être atteint. **Les politiques de conservation pourraient notamment avoir des effets inattendus et indésirables dans des pays fragiles et politiquement instables, si elle entrave les besoins humains fondamentaux.**

Néanmoins, avec des mesures de conservation permettant d'augmenter le taux de terres naturelles du taux de 0,3 (sur une échelle de 1) au taux de 0,4, **un effet positif paradoxal** peut être constaté sur la quantité de nourriture par personne, car elle empêche la surexploitation des terres et la décroissance de la production alimentaire.

Par ailleurs, des indicateurs de superficie de terres naturelles ou de biodiversité sont donc insuffisants pour mettre en place une stratégie de conservation : **il est impératif de tenir compte de la croissance démographique qui devrait constituer un élément essentiel de toute stratégie de gestion des terres à long terme**, aux niveaux régional, national et, en fin de compte, mondial.

synthèse Hélène Soubelet,
docteur vétérinaire et directrice de la FRB

Jean-François Silvain,
président de la FRB

relecture Michel Loreau
directeur de recherche CNRS

Victor Cazalis
chercheur CNRS

ANNEXE

Les modèles d'effondrement et la construction du modèle de l'étude

Plusieurs études ont utilisé des modèles pour mieux comprendre les effondrements de populations, en particulier sur l'île de Pâques (voir paragraphe correspondant). Le modèle le plus ancien, développé par Brander et Taylor (1998), était similaire au modèle prédateur-proie de Lotka-Volterra, les humains pouvant être assimilés aux prédateurs et les ressources aux proies. Les modèles ultérieurs ont ajouté de la complexité en incluant des processus sociaux et économiques, tels que l'amélioration technologique, les réponses individuelles au manque de nourriture et le prix des biens et du bois nécessaire à la construction (Türkgülü, 2008 ; Taylor, 2009 ; Reuveny, 2012). **Tous ces modèles ont souligné l'importance de la nature, en particulier du couvert forestier et de la fertilité du sol, dans la fourniture de nourriture et d'autres produits vitaux aux sociétés humaines.** Tous ces modèles ont pu reproduire, dans une certaine mesure, l'effondrement de la société de l'île de Pâques.

Au-delà de la compréhension des effondrements, **des études théoriques commencent à émerger** (Motesharrei *et al.*, 2016) **pour explorer les relations entre l'humanité et la nature et les stratégies potentielles pour la gestion durable des systèmes naturels.** Nitzbon *et al.* (2017) ont récemment développé un modèle associant les variables écologiques (séquestration du carbone, température), économiques (utilisation du combustible et de la biomasse, production économique et capital) et démographiques (taille de la population et bien-être). Lafuite et Loreau (2017) et Lafuite *et al.* (2017) ont construit un modèle dynamique permettant d'étudier les effets retard de la réponse de la biodiversité et des services écosystémiques aux pressions humaines et la durabilité du système socio-écologique couplé. Dans ces deux travaux, cependant, un seul service écosystémique a été envisagé (séquestration du carbone ou production alimentaire).

La démographie humaine est ancrée dans la dynamique de la nature et doit être considérée au même titre que les autres pressions habituellement prises en compte pour modéliser les scénarios de la biodiversité.

Enfin, les modèles, pour être réalistes, devraient également intégrer les politiques et actions de conservation et la dynamique couplée de la nature et des sociétés humaines en considérant la réponse des sociétés à la dégradation des écosystèmes.

L'apport de la présente étude a été de construire un modèle dynamique d'interactions homme-nature intégrant quatre type de services écosystémiques (selon Braat et Ten Brink, 2008) : les services d'approvisionnement, les services de régulation et les services culturels, divisés en services récréatifs et services d'information. Le modèle développé est un modèle dynamique à deux dimensions : la population humaine (en milliards de personnes) et la proportion de terres naturelles sur la surface terrestre totale, à l'exclusion de la glace. Des simulations exploratoires réalistes et irréalistes de scénarios futurs potentiels ont été réalisées jusqu'en 2250, sur la base de l'évolution de la couverture terrestre et des populations humaines entre 1960 et 2014.

Les simulations ont été jugées réalistes si, en 2014, la population humaine se situait entre 6 et 8 milliards (en 2014, la population était estimée à 7,261) et la proportion de la terre naturelle se situait entre 0,55 et 0,63 (la superficie naturelle calculée est de 0,614).

Définitions utilisées dans le modèle

La terre naturelle est définie comme une zone inutilisée (ou d'utilisation légère) à forte biodiversité (Hooke *et al.*, 2012).

Les terres exploitées sont les terres non naturelles se définissant comme une zone utilisée par des êtres humains et ayant une faible biodiversité, par exemple une agriculture intensive, des pâturages permanents et des zones urbaines. Elles comprennent également des zones dégradées naturellement par des événements tels que les incendies de forêt, les inondations ou la sécheresse.

Les services récréatifs sont définis comme un plaisir physique fourni par la structure de l'écosystème ou des éléments tels que les paysages, les espèces animales ou végétales et les cours d'eau.

Les services d'information incluent tous les autres services culturels tels que la connaissance et les résultats spirituels ou artistiques de la nature.

Le déclin de la population humaine est la diminution de plus de 200 millions de personnes entre la population maximale atteinte par la simulation et la taille de la population en 2250.

La famine est l'état dans lequel l'alimentation par personne tombe en dessous de ce qui était disponible en 1960 (0,0584, FAOSTAT, 2017).

Biais de l'étude

Une des premières difficultés de ce type d'étude est le **manque de données**. Les diminutions des services de régulation et des services culturels liés à la dégradation de la nature et à la perte de biodiversité sont bien documentées (Ehrlich et Ehrlich, 1981 ; Balmford et Bond, 2005; Díaz *et al.*, 2006). **La plus grande incertitude concerne les services d'approvisionnement**, qui sont supposés augmenter presque linéairement jusqu'à ce que le pourcentage de terres naturelles soit trop faible pour assurer un minimum de services de régulation tels que la pollinisation, la lutte antiparasitaire et la fertilité des sols.

Plusieurs hypothèses simplificatrices ont été faites pour la construction du modèle, telles que :

- **Les surfaces océaniques n'ont pas été prises en compte**, alors même qu'elles fournissent à la fois des services alimentaires et des services écosystémiques et participent au compromis entre la conversion de surfaces en terres nourricières et la conservation de la nature.
- **Le modèle choisi n'est pas un modèle spatial et la qualité des terres a été classées en deux catégories simplificatrices : les terres naturelles et les terres exploitées**. La conservation a été définie comme une transformation des terres exploitées en terres naturelles avec une réduction induite de l'approvisionnement alimentaire. Le modèle ne permet pas de distinguer les propriétés qualitatives des terres, par exemple la différence entre les centres urbains et les terres agricoles dégradées, ou l'agriculture biologique et l'élevage extensif, qui peuvent surestimer ou sous-estimer la production alimentaire et les besoins de conservation. En outre, cette hypothèse ignore que la capacité de production terrestre n'est pas homogène dans l'espace et que les zones protégées sont souvent situées dans des zones à faible production (Joppa et Pfaff, 2009). **La dégradation des terres est en réalité un continuum qui autorise des réponses plus complexes en terme de services écosystémiques que celles qui ont été intégrées au modèle**, par exemple en terme de production alimentaire ou de services de régulation de la qualité de l'air ou de l'eau (Nelson *et al.*, 2009).
- **La population humaine a été considérée comme homogène ainsi, les inégalités d'accès sociales d'accès à la nourriture ou aux services écosystémiques n'ont pas été pris en compte** (Alexandratos et Bruinsma, 2012). Le modèle ne prend pas en compte un certain nombre de facteurs sociaux susceptibles d'affecter les taux démographiques humains, tels que la religion, les soins de santé, l'éducation et la guerre (Ali, 1985 ; Tonn, 2009). Or, actuellement, certaines régions, telles que l'Europe et l'Amérique du Nord, ont une disponibilité alimentaire élevée associée à des taux de natalité et de mortalité faibles tandis que d'autres pays d'Afrique ou d'Asie souffrent

de famine et de mauvais soins de santé. **C'était un choix délibéré** afin de pouvoir explorer la dépendance de la démographie humaine par rapport à la nature et aux services écosystémiques considérant les facteurs sociaux comme implicitement inclus dans l'efficacité de la production alimentaire ou dans les taux de natalité et de mortalité, ce qui est inexact quantitativement, mais qualitativement cohérent.

- **Le facteur le plus incertain du modèle est la manière dont le taux de natalité pourrait changer lorsque les services de régulation deviennent si rares que le taux de mortalité augmente**. Dans ce cas, le taux de natalité pourrait augmenter temporairement pour éviter une diminution de la taille de la population. Le taux de mortalité resterait toutefois plus élevé que d'habitude et affecterait la tendance de la population tout en confirmant la faible qualité de vie dans ce scénario.

Ainsi, **le modèle n'a pas été conçu pour avoir un fort pouvoir prédictif**, car l'objectif ici était de conceptualiser et de modéliser les liens entre la démographie humaine et la nature à travers les services écosystémiques et de **mettre en évidence l'interdépendance entre ces deux variables**. L'amélioration du pouvoir prédictif de tels modèles constituera un point essentiel pour la poursuite des recherches afin de pouvoir orienter les décisions politiques.