

# Notes Académiques de l'Académie d'agriculture de France

## Academic Notes of the French Academy of agriculture

### Authors

Denis Couvent

### Title of the work

Vers un état de référence en écologie, l'intégrité des écosystèmes / Towards a reference state in ecology, ecosystem integrity

Year 2022, Volume 17, Number 7, pp. 1-9.

### Published online:

8 November 2023,

<https://www.academie-agriculture.fr/publications/notes-academiques/n3af-point-de-vue-vers-un-etat-de-reference-en-ecologie-lintegrite>

[Vers un état de référence en écologie, l'intégrité des écosystèmes / Towards a reference state in ecology, ecosystem integrity](#) © 2022 by Denis Couvet is licensed under [Attribution 4.0 International](#)





# **Vers un état de référence en écologie, l'intégrité des écosystèmes**

## **Towards a reference state in ecology, ecosystem integrity**

**Denis Couvet<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Professeur au Muséum national d'histoire naturelle

*Correspondance :*

Campus Buffon, 3 allée des crapauds, bat 135. 43 rue Buffon, 75005 Paris

email : [couvet@mnhn.fr](mailto:couvet@mnhn.fr)

### **Résumé**

Nous examinons comment l'écologie scientifique a complété l'idée d'équilibre de la nature par les notions d'équilibre dynamique, de basculement et de transformation des écosystèmes. Dans ce cadre, il est possible de proposer une notion d'intégrité d'un écosystème, qui comprend diversité de ses compositions, structures et fonctions, constituant un état de référence. Ces trois diversités doivent permettre aux écosystèmes de faire face aux perturbations, s'adapter aux changements environnementaux et, en conséquence, permettre le maintien des activités humaines qui dépendent du fonctionnement des écosystèmes, de leur prédictibilité. Nous explorons ensuite la pertinence de cet état de référence selon différents degrés d'anthropisation des écosystèmes, « naturels », agricoles et urbains et dans le contexte de « une seule santé ».

### **Abstract**

We examine how ecological sciences have completed the idea of ecosystem balance with notions of steady-state regime, tipping-points and ecosystem transformation. In this context, it is possible to propose a notion of ecosystem integrity that includes diversity of the compositions, structures and functions of the ecosystem, and as such could be considered as a reference state. These three diversities must allow ecosystems to cope with disturbances, adapt to environmental changes, and consequently allow the maintenance of human activities that depend on the functioning of ecosystems, on their predictability. Finally, we explore how such reference state diversities is relevant depending on the degree of anthropization, in 'natural', agricultural and urban ecosystems, or in the context of 'One-Health'.

### Mots clés

écosystème, intégrité, résilience, état de référence, diversité

### Keywords

ecosystem, integrity, resilience, reference state, diversity

Face au déclin de la biodiversité et aux transformations des écosystèmes, peut-on fixer des états de référence écologiques qu'il conviendrait de respecter, en d'autres termes informant les parties prenantes de ce que serait un état satisfaisant de la biodiversité et des écosystèmes ? Ou bien doit-on faire preuve d'un fatalisme optimiste, considérant que tous les états se valent, que les humains parviendront toujours à s'adapter ?

Les crises environnementales passées, les analyses scientifiques, amènent à douter de cet optimisme (Steffen *et al.*, 2015). Elles suggèrent que la dynamique de la biodiversité et des écosystèmes sont des enjeux cruciaux pour les sociétés, conditionnant leur sécurité alimentaire, sanitaire, géopolitique, et, en conséquence, l'existence d'états à éviter. À l'échelle planétaire sont ainsi proposées neuf limites environnementales définissant un état de référence, sous forme de limites à ne pas dépasser, dont deux concernent la biodiversité, l'une portant sur le taux d'extinction des espèces et sur la diversité fonctionnelle, l'autre sur le changement d'usage des terres (Steffen *et al.*, 2015).

Nous discuterons ici de l'existence d'états de référence à échelle locale, écosystémique, susceptibles de guider, orienter, l'action collective, afin d'éviter des états non souhaitables. Nous verrons comment ils peuvent être définis en termes d'intégrité, dans un contexte général de systèmes dynamiques. Les critères d'intégrité varient selon le degré d'anthropisation des écosystèmes, les enjeux sociaux, et peuvent intervenir dans l'approche « une seule santé ».

### 1. Variables décrivant l'équilibre dynamique d'un écosystème

L'écologie, étude des relations des individus avec leur environnement, de l'organisation de ces interactions, sous forme de populations, communautés, écosystèmes, paysages, biomes, biosphère, observe des régularités et stationnarités à l'échelle des écosystèmes. C'est le cas des forêts – qu'elles soient asiatiques, européennes africaines ou américaines –, des prairies et des steppes en milieu terrestre, des récifs coralliens ou des zones pélagiques dans les milieux aquatiques, ce qui suggère l'existence d'équilibres *in situ* (Holling, 1973). Leur importance sociale est cruciale : régularité et stationnarité permettent la généralisation et l'amélioration de pratiques humaines développées localement, notamment en agriculture (Holling et Gunderson, 2002).

De manière analytique, trois ensembles de variables sont proposés dans la littérature scientifique afin de caractériser ces régularités et stationnarités, ces équilibres dynamiques (Noss, 1990 ; Barros *et al.*, 2015 ; Hansen *et al.*, 2021) (tableau 1).

- La composition décrit les caractéristiques de la biocénose (ou ensemble des organismes vivants qui composent un écosystème). Cela en termes de diversité et d'abondance des groupes fonctionnels (ou ensemble d'espèces proches d'un point de vue écologique et évolutif, exerçant des fonctions similaires dans un écosystème : insectes pollinisateurs, petits carnivores, etc.).

- La structure désigne la diversité de l'habitat et du biotope (ou composante physico-chimique de l'écosystème) : nombre et diversité des fragments d'habitats, connectivité entre ces fragments.

- Les fonctions des écosystèmes sont représentées par la production primaire, la fertilité des sols, le recyclage de l'eau, la régulation biologique, etc. Ces fonctions sont assez bien répertoriées à travers la notion de service écosystémique, et, plus précisément, la catégorie « régulation environnementale ». Le régime de perturbations affectant la diversité de ces fonctions.

<b>Mode de description d'un écosystème</b>	<b>Variables définissant ce mode de description</b>
Composition	Diversité, abondance et composition des différents groupes fonctionnels composant un écosystème : faune et flore du sol, végétation, herbivores, carnivores, mutualistes et pathogènes (diversité spécifique, des traits, taux de spécialisation...)
Structure	Diversité de l'habitat et du biotope, de leurs fragments (diversité des strates végétales, forestières...) Connectivité de ces fragments
Fonctions	Productivité, contrôle biologique, pollinisation... Régime de perturbation (fréquence et intensité)

La notion d'équilibre dynamique souligne la possibilité de fluctuations de ces variables, de variations de la composition en espèces par exemple (Pimm, 1984), autour de valeurs de référence – longévité moyenne des espèces, etc. –, ou à l'intérieur d'un domaine de référence défini par des valeurs seuils.

## **2. Dynamique des écosystèmes : notion de résilience écologique**

Les écosystèmes varient aussi de manière directionnelle, perceptible au cours des années, comme dans le cas de la succession écologique (Clements, 1916), ou sous l'influence des changements globaux. De surcroît, ils sont susceptibles de basculement, ou passage rapide d'un équilibre dynamique à un autre équilibre, en

raison de l'accumulation de ces variations ou de perturbations. Divers basculements sont ainsi documentés : entre oligotrophie et eutrophie en milieu aquatique, entre coraux et algues en milieu marin, entre forêts et steppes en milieu terrestre, entre prolifération et rareté des ravageurs des cultures en milieu agricole (Scheffer, 2020).

L'écologie scientifique a formalisé les conditions de stabilité de tels équilibres dynamiques, des modalités de basculement avec la notion de résilience écologique. Holling (1973), dans un article phare cité 15 000 fois, propose ainsi de concevoir les écosystèmes comme des systèmes dynamiques susceptibles d'osciller entre plusieurs attracteurs – ou équilibres dynamiques –, oscillations qui peuvent leur permettre de s'adapter aux variations de leur environnement. En accord avec l'observation d'équilibres dynamiques, chaque attracteur a une stabilité locale, variant selon l'amplitude de son bassin d'attraction, les variables caractérisant les compositions, structures, fonctions de l'écosystème (tableau 1) oscillant autour d'un équilibre local, temporaire. Les proliférations épisodiques de criquets en sont un exemple. Plus généralement, les relations entre proies et prédateurs présentent souvent au moins deux attracteurs : prolifération du ravageur et rareté des prédateurs et inversement, avec la possibilité d'oscillations entretenues entre ces deux attracteurs (Holling, 1973).

La théorie des cycles adaptatifs, synthétisée dans un ouvrage cité plus de 8 000 fois (Holling et Gunderson, 2002), complète cette notion de résilience en formalisant les conditions générales de basculement entre attracteurs, sous la forme de passage de l'écosystème par quatre phases successives : croissance puis conservation, ensuite crise et réorganisation (Figure 1). Cette proposition complète la théorie de la succession écologique (Clements, 1916), qui considère essentiellement les deux premières phases, croissance (ou colonisation du milieu, nommée aussi « phase pionnière ») et conservation (parfois nommée « climax »), négligeant les phénomènes qui interviennent entre conservation et recolonisation, et qui permettent le

## Potentiel du (socio)-écosystème (capital naturel/capital anthropogénique)

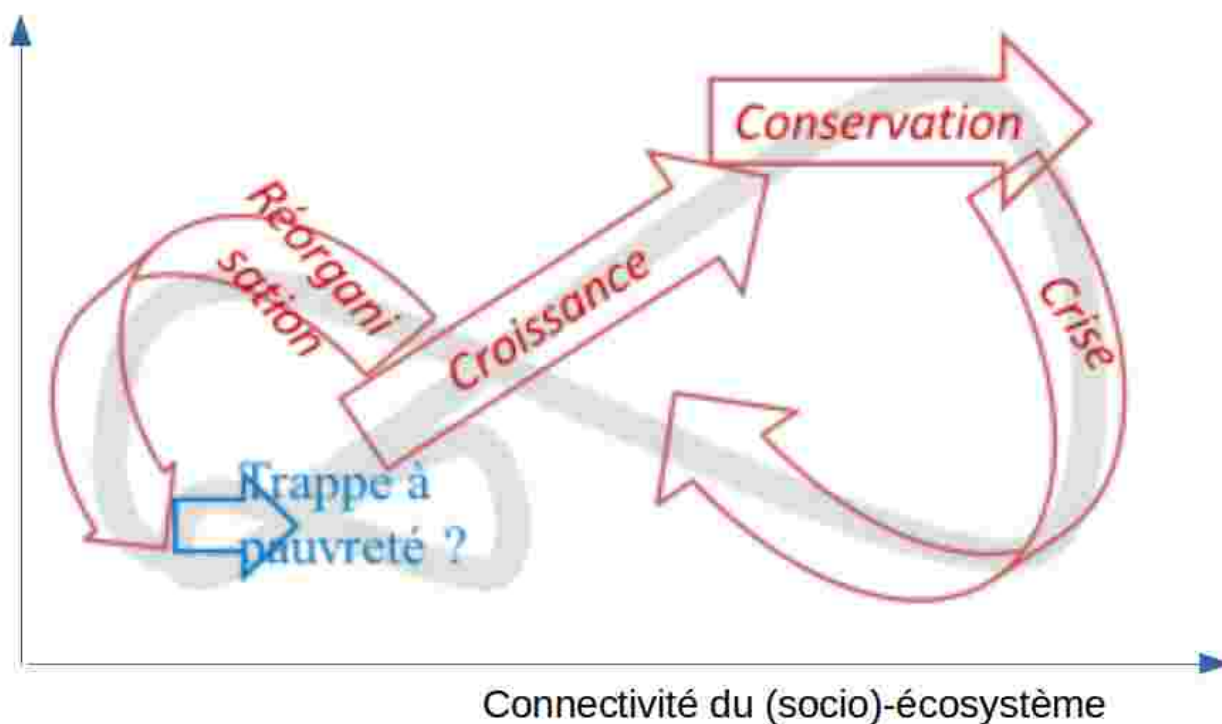


Figure 1. Cycle adaptatif d'un (socio)-écosystème, passant par quatre stades successifs, qui se répètent : croissance, conservation, crise et réorganisation. En cas de crise grave, un (socio)-écosystème peut basculer dans une « trappe à pauvreté ».

déroulement d'une nouvelle succession. Cette vision dynamique, avec basculement possible, s'accorde au « principe de population » de Malthus (1798), selon lequel les populations humaines passent par deux stades successifs, d'excédent et de déficit des ressources, conduisant à quatre phases lorsque l'on intègre les phénomènes d'adaptation des sociétés humaines à l'abondance et à la rareté des ressources (Turchin et Nedvedov, 2009). Cette théorie consonne aussi avec la notion de « destruction créatrice », proposée par Schumpeter (Holling et Gunderson, 2002) envisageant les crises économiques comme des opportunités de renouvellement du tissu techno-économique, d'adaptation à un contexte qui a changé, comme en écologie (Holling et

Gunderson, 2002).

Face à de telles crises, la diversité des compositions, structures et fonctions des écosystèmes (figure 2, et partie 3 de cet article) doit permettre aux écosystèmes d'en amortir les effets, facilitant réorganisation, puis croissance, dans une transformation réussie. En effet, il s'agit d'éviter une stagnation après crise, parfois appelée « trappe à pauvreté », par exemple une succession post-forêt bloquée au stade prairial, voire steppique (Holling et Gunderson, 2002). Des perturbations des écosystèmes seraient en conséquence avantageuses lorsqu'elles restaurent de la diversité, évitant un basculement dans une « trappe à pauvreté » (Perino *et al.*, 2019). La dynamique d'un écosystème dépend





Figure 2. L'intégrité d'un écosystème se définit par sa diversité selon trois dimensions, qui interagissent, en synergie (la diversité de la structure contribue à la diversité de la composition, par exemple), ces trois diversités dépendant aussi de facteurs communs tels que la fréquence et l'intensité des perturbations. Cette intégrité conférant à l'écosystème des capacités d'adaptation aux changements globaux.

aussi de ses interactions avec les autres écosystèmes, les autres niveaux d'organisation : individus, populations, communautés, paysages, régions, biomes, biosphère. La notion de système adaptatif complexe formalise ces interactions (Levin, 1998). Elle infère que, dans la mesure où les trois conditions suivantes sont réunies :

- diversité et autonomie des éléments locaux composant la population, l'écosystème,
- interaction locale entre ces éléments,
- sélection entre ces ensembles locaux, qui sont capables d'autoreproduction,

alors les écosystèmes et les autres niveaux d'organisation écologique ont des capacités d'adaptation aux changements environnementaux, avec sans cesse génération de nouveautés. Des dynamiques locales en déséquilibre coexistent avec des stationnarités globales. Elles sont susceptibles d'adaptation, de basculement, sous l'effet de crises, d'innovation majeure, donc de résilience (Levin, 1998). Parmi les conditions

locales signalées ci-dessus, réapparaissent les conditions de diversité des compositions, structures et fonction intégrant ici des considérations d'interaction entre écosystèmes, avec les autres niveaux d'organisation écologique.

### 3. Notion d'intégrité d'un écosystème

La notion d'intégrité d'un écosystème synthétise les conditions d'existence d'un état ou domaine de référence qui serait associé aux notions de résilience écologique discutées précédemment. Elle associe les trois ensembles de variables le décrivant : compositions, structures et fonctions, leurs valeurs moyennes et leurs variations (Roche et Campagne, 2017). Pour chaque ensemble, au-delà de valeurs moyennes caractérisant l'écosystème – forêt, prairie, mare, etc. – susceptibles de variations, la condition de

diversité est essentielle : diversité de la composition – inter et intra groupes fonctionnels –, diversité de la structure et des fonctions (tableau 1). Ces trois diversités sont en synergie : la diversité de la composition concourt à la diversité des fonctions, ou multifonctionnalité, et réciproquement. L'hétérogénéité de la structure – ou diversité – favorise le maintien des deux diversités précédentes, contribuant à la résilience de l'écosystème. Ces considérations conduisent à des propositions d'indicateurs de bon état des écosystèmes, ou d'intégrité associées à la diversité (Hansen *et al.*, 2021) (tableau 1). La notion de liste rouge des écosystèmes, s'intéressant aux conditions de basculement d'un écosystème, converge vers cette conception de l'intégrité (Rowland *et al.*, 2020).

Cette définition de l'intégrité fondée sur des variables caractérisées par leur valeur moyenne et surtout leur variance, est souple, respectant la notion d'équilibre dynamique. L'écosystème peut varier significativement, en termes de composition, structure et fonctions moyennes, basculer d'un attracteur à un autre, tout en gardant son intégrité. Elle représente une synthèse de deux visions extrêmes de l'écosystème : Gleason, pour qui c'est un assemblage aléatoire d'espèces, et Clements, qui le conçoit comme un super-organisme où chaque espèce aurait une fonction précisément assignée (Holling et Gunderson, 2002).

Cette définition souple répond aux critiques de Rohwer et Marris (2020), qui considère que la notion d'intégrité ne peut être fondée sur une référence historique supposée fixe. Ces auteurs proposent que l'intégrité soit pensée en termes de diversité (comme proposé précédemment), et notamment de complétude de l'écosystème – ou présence de tous les éléments qui devraient le constituer (ensemble de la chaîne trophique, notamment grands carnivores, pollinisateurs, etc.). Un exemple illustrant la pertinence de la recherche de cette intégrité est la réintroduction des loups dans le parc du Yellowstone, afin de restaurer le contrôle biologique des herbivores, qui surpâturaient la végétation, dégradant les habitats de nombreuses espèces, notamment des castors

(Beschta et Ripple, 2016).

Pour devenir une norme, cette conception de l'intégrité d'un écosystème, reposant sur des conditions de diversité des compositions, structures et fonctions, doit tenir compte de la variété des situations possibles. Elle demande ainsi à être confrontée *a minima* à trois conjonctures.

(1) Plusieurs équilibres dynamiques peuvent exister et être équivalents en termes de capacités d'adaptation. Les préférences des parties prenantes en faveur d'un état devraient alors être déterminantes.

(2) Certains écosystèmes sont intrinsèquement instables, transitoires, comme les efflorescences, notamment printanières, de phytoplancton. Des critères d'intégrité ne peuvent être inférés qu'à la lumière de leurs trajectoires sur des pas de temps plus longs, année, décennie... Le critère de diversité de compositions structures et fonctions pourrait néanmoins rester pertinent.

(3) La préservation d'écosystèmes pauvres en diversité peut néanmoins se justifier, notamment parce qu'ils sont originaux, contribuant à la diversité, cette fois globale, des écosystèmes. Soulignons cependant que leur faible diversité pourrait rendre difficile leur maintien face aux changements globaux.

#### 4. Référence historique et adaptation aux changements globaux des écosystèmes « naturels »

La notion d'intégrité concerne évidemment les écosystèmes dits « naturels », caractérisés par une faible présence, présente et passée, des humains. Le maintien des espèces historiquement présentes dans ces écosystèmes, lorsqu'elles sont menacées, rares, car disparues des autres espaces, contribue significativement au maintien de la diversité biologique à l'échelle planétaire. La référence historique, garante de la présence de ces espèces, va ici guider la définition du critère d'intégrité.

Cette référence doit néanmoins intégrer les effets des changements globaux, notamment climatiques, qui vont conduire à des modifications



inéluçtables des écosystèmes. Certaines sont souhaitables, en leur permettant de s'adapter et de se maintenir face à ces variations, soulignant la pertinence de critères de diversité, de possibilité de variations des valeurs moyennes. Le *bioclimatic ecosystem resilience index* (Ferrier *et al.*, 2020), qui évalue l'aptitude des habitats d'un écosystème à accueillir les espèces adaptées aux nouvelles conditions environnementales, devrait ainsi compléter les critères de diversité (tableau 1), évaluant la capacité de l'écosystème à s'adapter aux changements globaux.

### 5. Écosystèmes anthropisés : cas de l'agro-écologie

La définition de l'intégrité des écosystèmes anthropisés est plus exigeante scientifiquement, car elle peut difficilement se référer à des états passés « pré-humains ». Elle doit, de plus, tenir compte du degré d'anthropisation. Dans ces écosystèmes profondément modifiés par les humains, il importe de penser en termes de résilience à la fois des humains et des non-humains, des espèces domestiques et sauvages, en interaction, coexistantes.

Cette coexistence dépend du bon état des fonctions écologiques : fertilité des sols, régulation locale et globale du climat, régulation biologique, pollinisation, etc., et des conditions de composition et de structure permettant le maintien durable de ces fonctions. Le critère d'intégrité devrait donc mettre en avant la diversité des espèces domestiques présentes et des habitats, la multifonctionnalité, ou diversité des fonctions écologiques, ainsi que la connexion aux espaces « naturels », sources de diversité. Cela correspond aux principes de l'agro-écologie, qui propose notamment de diversifier les milieux, avec la présence d'habitats « semi-naturels » -susceptible d'héberger des espèces et des communautés sauvages. Ces habitats devraient représenter *a minima* 20 % des paysages agricoles, en termes de superficie, d'après nombre de résultats empiriques (Garibaldi *et al.*, 2021), cette valeur moyenne étant susceptible de varier selon le type

d'agriculture pratiquée. De manière plus générale, il importe de considérer différents degrés d'anthropisation, allant au-delà de la simple distinction entre écosystèmes « naturels » et « anthropisés ». Enfin il serait intéressant d'examiner dans quelle mesure les critères proposés pour les écosystèmes, diversité des compositions structures et fonctions (voir la partie 3), ont des correspondances et pertinences pour les sociétés humaines, en termes de diversité des compositions, structures et fonctions, sociales, associée à la variété des institutions et organisations, voire des conceptions du monde.

### 6. Santé des écosystèmes

La notion de santé des écosystèmes peut être associée au thème « une seule santé », suggérant que le bon état des humains, des espèces domestiques et sauvages, des écosystèmes, sont liés. Elle devrait être proche de la notion d'intégrité, si l'on suppose que ce bon état dépend de la résilience des écosystèmes, donc de la diversité des compositions, structures et fonction. Quelques mécanismes bien établis étayent cette proposition, et suggèrent des mesures de prévention. La diversité génétique et spécifique au sein des écosystèmes limite la dissémination des pathogènes ; l'augmentation de fréquence des bactéries pathogènes où les habitats semi-naturels sont plus rares, observée de manière répétée dans les exploitations agricoles californiennes (Olimpi *et al.*, 2022), appuie cette inférence. Réduire la fréquence des perturbations, maintenant la diversité de la structure et des fonctions de l'écosystème, réduit la dissémination des individus porteurs de maladie, des renards aux blaireaux (Donnelly et Woodroffe, 2015), voire des bouquetins. Néanmoins les relations entre biodiversité et prévalence des maladies demandent à être explorées plus avant pour mieux éclairer les politiques publiques (Keesing et Ostfeld, 2021). Par exemple, réintroduire de la diversité spécifique pourrait être une source de risque, en

facilitant l'arrivée de nouveaux pathogènes, de leurs vecteurs associés. Une conséquence qui semble devoir être minorée, car pathogènes et vecteurs sont souvent des espèces opportunistes, dont la présence est plutôt favorisée dans les écosystèmes incomplets, perturbés (Keesing et Ostfeld, 2021).

## 7. Perspectives

Préciser cette notion d'intégrité des écosystèmes constitue ce que savent bien faire les sciences, monter en généralité, proposer des critères qui puissent concerner tous les écosystèmes, de manière à éviter que chaque territoire ait à réinventer de mêmes réflexions. Disposer d'états de référence, généraux, permet ensuite d'ajuster les objectifs, selon le contexte du territoire. C'est tout l'enjeu de la relation entre théorie et pratique, du cadre scientifique de toute gestion territoriale. En d'autres termes, confortées scientifiquement et acceptées socialement, ces notions d'intégrité et de santé des écosystèmes peuvent soutenir et organiser l'action collective locale, du public, du monde économique et agricole, de la société civile, aidant à construire des compromis à même d'affronter les aléas, les crises à venir.

## Références

Barros C, Thuiller W, Georges D, Boulangeat I, Münkemüller T. 2016. N-dimensional hypervolumes to study stability of complex ecosystems, *Ecology Letters*, 19(7), 729-742.

Beschta RL, Ripple WJ. 2016. Riparian vegetation recovery in Yellowstone: the first two decades after wolf reintroduction. *Biological Conservation*, 198, 93-103.

Clements FE. 1916. Plant succession: an analysis of the development of vegetation, No. 242, Carnegie Institution of Washington.

Donnelly CA, Woodroffe R. 2015. Badger-cull targets unlikely to reduce TB. *Nature*, 526(7575), 640-640.

Ferrier S, Harwood TD, Ware C, Hoskins AJ. 2020. A globally applicable indicator of the capacity of terrestrial ecosystems to retain biological diversity under climate change: The bioclimatic ecosystem resilience index, *Ecological Indicators*, 117, 1065-1074.

Garibaldi LA, Oddi FJ, Miguez FE, Bartomeus I, Orr MC, Jobbágy EG, Zhu CD. 2021. Working landscapes need at least 20% native habitat, *Conservation Letters*, 14(2), e12773.

Hansen AJ, Noble BP, Veneros J, East A, Goetz SJ, Supples C, Watson JE, Jantz PA, Pillay R, Jetz W, Ferrier S. 2021. Toward monitoring forest ecosystem integrity within the post-2020 Global Biodiversity Framework, *Conservation Letters*, 14(4), 12822.

Holling CS. 1973. Resilience and stability of ecological systems, *Annual review of ecology and systematics*, 4(1), 1-23.

Holling, CS, Gunderson LH. 2002. *Panarchy: Understanding Transformations in Human and Natural Systems*. Island Press, Washington, USA.

Keesing F, Ostfeld RS. 2021. Impacts of biodiversity and biodiversity loss on zoonotic diseases, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(17), e2023540118.

Levin SA. 1998. Ecosystems and the biosphere as complex adaptive systems, *Ecosystems*, 1(5), 431-436.

Malthus TR. 1798. *An Essay on the Principle of Population As It Affects the Future Improvement of Society, with Remarks on the Speculations of Mr. Goodwin, M. Condorcet and Other Writers* (1 ed.), J. Johnson in St Paul's Church-yard, London.

*Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France*  
*Academic Notes from the French Academy of Agriculture*  
*(N3AF)*  
*Point de vue*

Noss RF. 1990. Indicators for monitoring biodiversity: a hierarchical approach, *Conservation biology*, 4(4), 355-364.

Olimpi EM, Garcia K, Gonthier DJ, Kremen C, Snyder WE, Wilson-Rankin EE, Karp DS. 2022. Semi-natural habitat surrounding farms promotes multifunctionality in avian ecosystem services, *Journal of Applied Ecology*, 59(4), 898-908.

Perino A, Pereira HM, Navarro LM, Fernández N, Bullock JM, Ceaușu S, Cortés-Avizanda, A, van Klink R, Kuemmerle T, Lomba A, Pe'er G. 2019. Rewilding complex ecosystems, *Science*, 364(6438), 5570-5574.

Pimm SL. 1984. The complexity and stability of ecosystems. *Nature*, 307(5949), 321-326.

Rohwer Y, Marris E. 2021. Ecosystem integrity is neither real nor valuable, *Conservation Science and Practice*, 3(4), 411-421.

Roche PK, Campagne CS. 2017. From ecosystem integrity to ecosystem condition: a continuity of concepts supporting different aspects of ecosystem sustainability, *Current opinion in environmental sustainability*, 29, 63-68.

Rowland JA, Bland LM, Keith DA, Juffe-Bignoli D, Burgman MA, Etter A, Ferrer-Paris JR, Miller RM, Skowno AL, Nicholson E. 2020. Ecosystem indices to support global biodiversity conservation, *Conservation Letters*, 13(1), 12680-12684.

Scheffer M. 2020. *Critical transitions in nature and society*. Vol 16. Princeton University Press.

Steffen W, Richardson K, Rockström J, Cornell SE, Fetzer I, Bennett EM, Biggs R, Carpenter SR, De Vries W, De Wit CA, Folke C. 2015. *Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet*, *Science*, 347(6223), 1259-1265.

Turchin P, Nefedov SA. 2009. *Secular cycles*, Princeton University Press, Princeton, NJ.

### Rubrique

Cet article a été publié dans la rubrique « Points de vue » des *Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France*.

### Reçu

13 avril 2022

### Accepté

20 septembre 2022

### Publié

7 novembre 2022

### Édité par

Anonyme

### Rapporteurs

1. anonyme
2. anonyme

### Citation

Couvet D. 2022. Vers un état de référence en écologie, l'intégrité des écosystèmes/Towards a reference state in ecology, ecosystem integrity, *Notes académiques de l'Académie d'agriculture de France / Academic Notes from the French Academy of Agriculture (N3AF)*, 14(7), 1-9. <https://doi.org/10.58630/pubac.not.a44109>.



Denis Couvet est professeur au Muséum national d'histoire naturelle, président de la Fondation pour la recherche sur la biodiversité (FRB). Il est membre de l'Académie d'agriculture de France.