



Quel futur pour la biodiversité ? Scénarios et projections à moyen terme

Anne Teyssède, Département d'Ecologie et de Gestion de la Biodiversité, MNHN

6.5 milliards d'habitants aujourd'hui, environ 9 milliards attendus en 2050 (COHEN, 2003). Quel pourra être l'impact de l'expansion actuelle de notre espèce, grande consommatrice d'espace et d'énergie, sur la biodiversité - en termes de populations, espèces, et d'écosystèmes ? Si prédire cet impact est impossible, les scientifiques élaborent et présentent depuis quelques années des scénarios écologiques conditionnels, dont la réalisation dépend de scénarios climatiques ou/et socio-économiques envisagés à l'échelle mondiale ou régionale. Ces scénarios sont élaborés pour éclairer les grandes problématiques écologiques actuelles, alerter les citoyens et les décideurs sur les enjeux écologiques, économiques de l'érosion actuelle de la biodiversité, et susciter l'adoption de mesures économiques et environnementales favorables à la biodiversité et au développement des sociétés humaines. En voici quelques uns.

IMPACT ATTENDU DU RÉCHAUFFEMENT CLIMATIQUE SUR LES COMMUNAUTÉS TERRESTRES

En première analyse, le réchauffement climatique en cours doit déplacer l'aire potentielle de distribution des espèces – leur « enveloppe climatique » vers des latitudes (et altitudes) plus élevées. Encore faut-il que la nouvelle aire comporte des habitats favorables à la colonisation, et qu'ils soient accessibles aux espèces concernées.

Modélisant les aires potentielles de distribution de plus de 1100 espèces de plantes, papillons et vertébrés terrestres, réparties dans cinq continents, en fonction de l'ampleur du changement climatique, puis utilisant une loi aire-espèces d'exposant 0.25, THOMAS et al. (2004) ont estimé qu'un réchauffement global de 0,8°C à 2,2°C en 2050 devrait se solder à terme par l'extinction de 15% à 37% des espèces considérées. L'ampleur de l'impact attendu varie largement avec l'intensité du réchauffement, bien sûr, mais aussi avec les possibilités de dispersion des espèces, c'est-à-dire avec la fragmentation des habitats : l'incapacité à migrer vers des sites distants multiplie environ par deux les taux d'extinction prévus. Seules les espèces très mobiles ou disposant de « couloirs de migration » pourront coloniser des habitats distants au climat plus favorable.

L'ampleur de l'impact attendu du réchauffement climatique sur les espèces et les communautés, estimé par la méthode des enveloppes climatiques, varie non seulement avec le scénario climatique mais aussi avec le groupe systématique considéré.

Considérant les plantes d'Europe, THUILLER et al. (2005) évaluent entre 27 et 63%, selon le scénario socio-écologique et le modèle climatique utilisé, l'impact du changement climatique en cours sur le nombre d'espèces disparues ou en voie d'extinction en 2080. Les espèces les plus menacées par le réchauffement climatique sont celles qui peuplent actuellement la région boréale, la région méditerranéenne et l'étage alpin. L'impact attendu est élevé, parce que les espèces de plantes inféodées à ces trois régions représentent la majorité des espèces européennes.

Pour les oiseaux nicheurs d'Europe, la modélisation des aires de distribution en 2080 de 426 espèces en réponse à un réchauffement prévu de 2°C conduit HUNTLEY et al. (2006) au scénario suivant : déplacement d'environ 1000 km vers le nord-est de l'aire de distribution potentielle (enveloppe climatique) de la plupart des espèces, accompagnée d'une réduction moyenne de 19% de cette aire. Cette tendance générale entraîne un appauvrissement de l'avifaune en nombre d'espèces (richesse spécifique) dans les deux tiers Sud de l'Europe, ainsi qu'une augmentation de la richesse spécifique en Scandinavie.

Pour les amphibiens et les reptiles d'Europe, en revanche, l'application de la même méthode prévoit une expansion générale des espèces en réponse au réchauffement du climat... tant que leur dispersion n'est pas entravée par la fragmentation des habitats (ARAUJO et al., 2006). Dans le cas contraire, la plupart des espèces verront leur aire de répartition réduite. Les habitats propices se raréfieront en Espagne et au Portugal, du fait de l'aridité accrue, mais s'étendront en Europe du Sud-Est.

Notons que ces projections ne tiennent pas compte de la réduction et de la dégradation à venir des habitats, dues à l'expansion et/ou à l'intensification de l'agriculture.

ESTIMATION DE L'IMPACT DE L'EXPANSION DE L'AGRICULTURE SUR L'AVIFAUNE MONDIALE, EN NOMBRE D'INDIVIDUS

Selon TILMAN et al. (2001), l'expansion à venir de la population humaine mondiale pourrait s'accompagner d'une augmentation de 20% des terres agricoles entre 2000 et 2050, soit environ 9.106 km², principalement en région tropicale et au détriment des forêts. Les auteurs prévoient en outre la multiplication par 2.5 des tonnages mondiaux de pesticides et d'engrais utilisés à l'échelle mondiale, en l'absence d'un changement significatif des politiques et pratiques agricoles. Plus récemment, des chercheurs du MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005) ont développé quatre scénarios socio-économiques, différant par leur mode de gestion des écosystèmes (gestion réactive vs proactive, orchestrée à l'échelle régionale vs mondiale), conduisant à l'expansion de 10 à 20% des terres agricoles. Peut-on estimer l'impact de ces conversions attendues d'habitats sur la biodiversité mondiale ?

Reprenant la méthode et les données de densités d'oiseaux par habitat de GASTON et al. (2003), TEYSSEDRE & COUVET (2007) estiment que ces conversions d'habitat pourraient réduire l'avifaune mondiale de 8 à 26% (soit 7 à 21 milliards d'individus), selon le scénario socioéconomique et l'aménagement des terres agricoles. Les estimations les plus optimistes correspondent aux deux scénarios proactifs (« Adapting Mosaic » et « Techno Garden »),

qui impliquent une analyse suivie de l'interaction entre sociétés humaines et biodiversité permettant l'élaboration de mesures préventives adaptées, à l'échelle régionale ou mondiale. Ces deux scénarios sont aussi les meilleurs au plan socioéconomique. Le scénario réactif et régional (« Order from Strength ») quant à lui, dans lequel les processus écologiques ne sont pris en compte qu'en réaction aux graves problèmes socio-écologico-économiques observés, et à la seule échelle du bassin versant, conduit sans surprise aux pires résultats aux plans tout à la fois socioéconomique et écologique.

Au total, du Néolithique à 2050, l'expansion de l'agriculture pourrait réduire l'avifaune mondiale de 27 à 44% en nombre d'individus, selon le scénario socioéconomique et les politiques agro-environnementales à venir.

ESTIMATION DE L'IMPACT DE L'EXPANSION DE L'AGRICULTURE DU NÉOLITHIQUE À 2050 SUR L'AVIFAUNE MONDIALE, EN NOMBRE D'ESPÈCES

Utilisant une relation abondance-espèces d'exposant 1, conforme aux prédictions théoriques de HUBBELL (2001) pour les larges communautés fermées, et confirmée par les mesures de ROSENZWEIG (2001a) sur la relation aire-espèces à l'échelle mondiale, TEYSSEDRE & COUVET (2007) estiment l'impact de l'expansion de l'agriculture du Néolithique à 2050 sur l'avifaune mondiale, en nombre d'espèces, par l'équation :

$$S_2/S_1 = N_2/N_1 = \frac{\sum_i A_{i2}d_{i2}}{\sum_i A_{i1}d_{i1}} \quad (5)$$

Avec : N_1 et N_2 : nombres d'individus présents avant (indice 1) et après (indice 2) l'expansion mondiale de l'agriculture; S_1 et S_2 : nombres d'espèces correspondants, attendus à l'équilibre ; A_{i1} et A_{i2} : surfaces des habitats i , avant et après l'expansion; d_{i1} et d_{i2} : densités d'oiseaux par habitat i , avant et après l'expansion.

Selon cette équation et les résultats cités plus haut, l'impact de l'expansion de l'agriculture de 8000 BC à 2050 AD devrait atteindre 27 à 44% du nombre d'espèces initial, selon le scénario socioéconomique et l'aménagement des terres agricoles. Ce pourcentage élevé comporte :

- une fraction d'espèces déjà disparues (peut-être 5 à 10%),
- une fraction d'espèces en voie d'extinction (10 à 15%) comprenant notamment les espèces déjà enregistrées comme menacées du fait de l'expansion agricole (cf. BALMFORD & BOND, 2005). Cette seconde fraction est la « dette d'extinction » mondiale actuelle en oiseaux (cf. TILMAN et al., 1994),
- une fraction variable d'espèces menacées par l'expansion à venir de l'agriculture de 2000 à 2050 (8 à 26%, selon le scénario socio-économique réalisé).

SCÉNARIOS DE L'ÉTAT DES ÉCOSYSTÈMES À MOYEN TERME

La réduction et la dégradation des habitats, amplifiées par le changement climatique en cours, sont les principaux facteurs de l'érosion actuelle de la biodiversité (*voir références plus haut*). La surexploitation des chaînes trophiques - principalement la surpêche, en mer et en eau douce - est un autre facteur d'impact important, que l'on peut modéliser (PAULY *et al.*, 1998, 2003). L'augmentation des flux d'espèces exotiques, qui doit nécessairement réduire la diversité spécifique à l'échelle mondiale, a un impact plus complexe et difficile à modéliser aux échelles locale et régionale (ROSENZWEIG, 2001b ; KENNEDY *et al.*, 2002 ; SAX *et al.*, 2002 ; DIDHAM, 2005). Par leur action synergique, ces facteurs font peser une lourde menace sur la biodiversité.

Au niveau mondial, quels seront les écosystèmes les plus touchés, et par quel(s) facteur(s) d'impact ? Sur les continents, la biodiversité est surtout menacée dans les forêts tropicales, les terres agricoles, les zones humides et autres écosystèmes d'eau douce, du fait de l'expansion et de l'intensification attendue de l'agriculture, mais aussi dans les écosystèmes boréaux, montagnards et subdésertiques, du fait du réchauffement climatique (SALA *et al.*, 2000). Les écosystèmes marins, quant à eux, sont continuellement dégradés par la surpêche, la destruction des habitats benthiques (fonds) et la pollution du littoral par les engrais (PAULY *et al.*, 2003 ; TILMAN *et al.*, 2001 ; WORM, 2006). Les écosystèmes naguère isolés enfin, tels que lacs et îles, ainsi que la région méditerranéenne (zone refuge lors des glaciations du Quaternaire), sont quant à eux surtout menacés par les introductions d'espèces exotiques, jointes à la dégradation des habitats (SALA *et al.*, 2000).

Au plan fonctionnel, le déclin rapide de la diversité et de l'abondance des populations de vertébrés et d'invertébrés marins réduit la capacité des écosystèmes marins à fournir de la nourriture, à maintenir la qualité de l'eau, et à supporter les perturbations (WORM, 2006).

En 2005, les chercheurs du MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT ont développé quatre scénarios pour explorer l'état des écosystèmes mondiaux à moyen terme (2050) en relation avec les sociétés humaines, brièvement présentés plus haut. L'état des écosystèmes et des services écologiques attendu en 2050 varie amplement selon le scénario considéré. Le pire scénario au plan socio-économique, « Order from Strength », qui implique une gestion réactive et régionale des écosystèmes, conduit tout à la fois à une extension majeure des terres agricoles et à la dégradation de la plupart des quinze services écologiques considérés. Par contraste, les deux scénarios impliquant une gestion analytique et proactive des écosystèmes, menée soit à l'échelle régionale (« Adapting Mosaic ») soit à l'échelle mondiale (« Techno Garden »), conduisent à la stabilisation ou à l'amélioration d'une grande partie de ces services.

CONCLUSION

Les données actuelles sur le déclin de populations, d'espèces et de communautés sont concentrées sur les vertébrés et les plantes, et plus particulièrement sur les oiseaux. L'abondance des données sur ce dernier groupe souligne l'importance des collaborateurs bénévoles (et de la science participative) dans la réalisation des observatoires de biodiversité.

L'expansion et l'intensification de l'agriculture, associées au réchauffement climatique à venir, font peser une lourde menace sur l'avifaune mondiale en nombre d'individus comme en nombre d'espèces : leur impact conjoint, du Néolithique à 2050, pourrait dépasser 50% selon les politiques socio-économiques et environnementales mises en œuvre au cours des prochaines décennies.

Parce que les oiseaux sont situés au sommet des chaînes trophiques, il est possible que leurs communautés soient particulièrement sensibles à la conversion et à la dégradation des habitats. Pour le savoir, des analyses semblables pourraient être entreprises dans d'autres taxons. Mais d'ores et déjà, les premières analyses de suivis de biodiversité à l'aide d'indicateurs (voir plus haut), et surtout les résultats du MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (2005) confirment la dégradation et la surexploitation de nombreux écosystèmes aux échelles locales et régionales, et indiquent que le seuil de résilience de certains d'entre eux est atteint ou dépassé.

Les sociétés humaines dépendent des écosystèmes qu'elles exploitent. Pour freiner l'érosion de la biodiversité, il faut apprendre à la ménager, c'est-à-dire en particulier à exploiter les écosystèmes en deçà de leurs limites de fonctionnement. Le déclin de la biodiversité a aujourd'hui des enjeux non seulement éthiques et écologiques, mais aussi économiques et sociaux majeurs, qui doivent être pris en compte dans toute stratégie de conservation (DAILY et al., 2000 ; TILMAN et al., 2001 ; DAILY & ELLISON, 2002 ; BARBAULT & CHEVASSUS, 2004 ; TEYSSEDE et al., 2004 ; BARBAULT, 2005 ; BALMFORD & BOND, 2005 ; MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005 ; NORTON, 2005).

Extrait et adapté du texte « Quelle est l'ampleur de la crise actuelle de biodiversité ? », à paraître dans Biosystema en 2007.

Bibliographie

ARAUJO M.B., THUILLER W & PEARSON R.G., 2006. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. *J. Biogeogr.* 33 : 1712-1728.

BALMFORD A. & BOND W., 2005. Trends in the state of nature and their implications for Human well being. *Ecology letters*, 8 : 1218-1234.

BALMFORD A., CRANE P., DOBSON A., GREEN R.E. & MACE G.M., 2005. The 2010 challenge : data availability, information needs and extraterrestrial insights. *Phil. Trans. R. Soc. B.*, 360 : 221-228.

BARBAULT R., ed., 2005. *Biodiversité, Science et Gouvernance*. Actes de la Conférence Internationale sur la Biodiversité, Paris, 24-28 janvier 2005, MNHN.

BARBAULT R. & CHEVASSUS B., eds, 2004. *Biodiversité et changements globaux : Enjeux de société et défis pour la recherche*. ADPF, Paris. 244p.

COHEN J.E., 2003. Human population : the next half century. *Science*, 302 : 1172-1175.

- COUVET D, TEYSSEDE A., JIGUET F., JULLIARD R. et LEVREL H., 2007. Indicateurs et observatoires de biodiversité. A paraître dans *Biosystema*.
- DAILY G.C., 2000. The value of nature and the nature of value. *Science*, 289 : 395-396.
- DAILY G.C. & ELLISON K., 2002. *The new economy of nature*. Island Press, Washington D.C., 260p.
- DIDHAM R.K. et al. 2005. Are invasive species the drivers of ecological change ? *TREE*, 9 : 470-474.
- GASTON K. J., BLACKBURN T. M. & KLEIN GOLDEWIJK K., 2003. Habitat conversion and global avian biodiversity loss. *Proc. R. Soc. Lond. B*, 270 : 1293-1300.
- HUBBELL S.P. 2001. *The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography*. Princeton Univ. Press, Princeton, 375p.
- HUNTLEY B., COLLINGHAM Y.C., GREEN R.E. HILTON G.M., RAHBEK C. & WILLIS S.G., 2006. Potential impacts of climatic change upon geographical distributions of birds. *Ibis*, 148 : 8-28.
- KENNEDY T.A., NAEEM S., HOWE K.M. et al., 2002. Biodiversity as a barrier to ecological invasion. *Nature*, 417 : 636-638.
- MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT, 2005. *Ecosystems and human well-being : Synthesis*. Island Press, Washington D.C. 137p.
- NORTON B.G., 2005. *Sustainability. A philosophy of adaptive ecosystem management*. University of Chicago Press, Chicago. 607p.
- PAULY D., CHRISTENSEN V., DALSGAARD J., FROESE R. & TORRES F., 1998. Fishing down marine food webs. *Science*, 279 : 860-862
- PAULY D., CHRISTENSEN V., GUENETTE G. et al., 2003. Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, 418 : 689-694.
- ROSENZWEIG M.L., 2001a. Loss of speciation rate impoverish future diversity. *Proc. Nat. Acad. Science USA*, 98 : 5404-5410.
- ROSENZWEIG M.L., 2001b. The four questions : What does the introduction of exotic species do to diversity ? *Evolutionary Ecology Research*, 3 : 361-367.
- SALA O.E., CHAPIN F. S, ARMESTO J.J., BERLOW E. et al., 2000. Global diversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287 : 1770-1774.
- SAX D.F., GAINES S.D. & BROWN J.H., 2002. Species invasions exceed extinctions on islands worldwide : a comparative study of plants and birds. *Am. Nat.*, 160 : 766-783.
- TEYSSEDE A., COUVET D. & WEBER J., 2004. Le pari de la réconciliation. Pp 180-187 in : R. Barbault & B. Chevassus (eds.), *Biodiversité et changements globaux : Enjeux de société et défis pour la recherche*. ADPF, Paris.

TEYSSEDE A. & COUVET D., 2007. Expected impact of agriculture expansion on the world avifauna, in abundance and species number. *C.R. Biologies* 330 : 247-254.

TILMAN D., MAY R.M., LEHMAN C.L. & NOWAK M.A., 1994. Habitat destruction and the extinction debt. *Nature*, 371 : 65-66.

TILMAN D., FARGIONE J., WOLFF B., D'ANTONIO C. et al., 2001. Forecasting agriculturally driven global environmental change. *Science*, 292 : 281-284.

THUILLER W. et al., 2005. Climate change threats to plant diversity in Europe. *PNAS*, 102 : 8245-8250.

THOMAS C.D., CAMERON A., GREEN R.E., BAKKENES M. et al., 2004. Extinction risk from climate change. *Nature*, 427 : 145-148.

WORM B., BARBIER E.B., BEAUMONT N., DUFFY J.E., FOLKE C. et al., 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, 314 : 787-790.