

Biodiversité marine et biodiversité terrestre : points de convergence et défis communs

par Jacques BLONDEL

Pour de nombreuses raisons, les recherches en milieu marin et terrestre sont presque totalement isolées l'une de l'autre. La similitude des pressions d'origine anthropique qui s'y exercent, justifie pourtant la mise en commun des efforts pour en mesurer les effets et développer des stratégies, afin d'en diminuer les conséquences négatives. Les changements globaux constituent une gigantesque "expérience naturelle" où les réponses des organismes peuvent être valorisées pour analyser et lutter contre leurs conséquences négatives. Plusieurs propositions de recherches communes sont énoncées sur des sujets qui transcendent les barrières conceptuelles entre les deux domaines.

1 - Par convention, les études dites « à long terme » portent sur au moins vingt ans.

Introduction

Le cloisonnement des disciplines scientifiques est une réalité bien connue, en particulier celui qui concerne les recherches en milieu marin et terrestre qui s'ignorent presque complètement. Une exception notoire est le livre de Mireille Harmelin-Vivien et de François Bourlière (1989) qui démontre de manière saisissante les ressemblances de structure et d'organisation entre les peuplements de poissons des récifs coralliens et les peuplements de vertébrés des forêts tropicales. Il faut dire que pour bien des raisons liées aux difficultés d'approche et de financement des recherches en milieu marin, la biologie de ce dernier est bien moins connue que celle du domaine terrestre. Il n'est que de constater la sous-représentation des séries temporelles de suivi des populations dans le milieu marin. Alors que plus de 500 études à long terme¹ de populations ont été menées en milieu terrestre en Angleterre sur les plantes, invertébrés et vertébrés au cours des trente dernières années, moins d'une dizaine l'ont été sur les organismes marins (CLUTTON-BROCK & SHELDON, 2010). Certains freins à la connaissance de ces derniers sont d'ordre conceptuel et relèvent de la méthode scientifique elle-même, d'autres sont d'ordre technique et logistique. Alors que la théorie écologique s'est largement construite en milieu terrestre autour des concepts d'écosystème, de communauté et de population, de telles entités sont difficiles à définir et isoler en milieu marin du fait de l'absence apparente de discontinuités entre habitats et de barrière à la dispersion des organismes. Si l'on peut

appréhender un paysage terrestre, faire une typologie des habitats qui le constituent, mesurer les quantités de matière, d'énergie et de propagules qu'ils échangent entre eux, l'opération devient très difficile en milieu marin, même si un compartimentage de l'espace marin existe bien, y compris en milieu pélagique. En outre, la plupart des pans de recherche qui nécessitent un suivi des individus, des populations et des communautés dans le temps et dans l'espace sont pratiquement impraticables en milieu marin. C'est le cas de l'analyse des traits d'histoire de vie des individus qui est à l'origine du développement de l'écologie évolutive. On n'a pratiquement aucun accès, en milieu marin, à ce qui fait l'essence même des mécanismes évolutifs, à savoir les interactions entre les génotypes et leur environnement, ce qui rend très difficile la connaissance des mécanismes de réponse des organismes à l'hétérogénéité et aux variations de l'environnement. On n'a aucun accès non plus à la génétique quantitative dont on sait qu'elle est un outil puissant pour mesurer la réponse des organismes aux régimes de sélection qui sont variables dans le temps et dans l'espace, notamment en cette période de changement climatique.

A ces difficultés d'ordre théorique s'ajoute bien entendu toute une série de contraintes d'ordre technique et financier. Les recherches *in situ* sont plus complexes et exigent une logistique lourde et par conséquent bien plus coûteuse qu'en milieu terrestre.

Et pourtant, il y a bien des raisons d'établir des ponts et points de rencontre entre les deux domaines dans le champ de l'écologie et des sciences de la conservation, surtout en ces temps d'incertitude sur le devenir des espèces et des écosystèmes.

2 - On appelle changements globaux l'ensemble des modifications de grande ampleur qui affectent la totalité de la planète et qui sont d'origine anthropique. Ils sont au nombre de cinq :
a) la dégradation et la fragmentation des habitats,
b) les intrants chimiques, c) les espèces envahissantes,
d) les dérèglements climatiques, et e) la surexploitation des ressources (VITOUSEK, 1994).

nos connaissances sur les conséquences biologiques de ces changements et prendre nos dispositions pour affronter leurs effets. Les dégâts causés par des pressions anthropiques excessives étant généralisés, tant en milieu marin qu'en milieu terrestre, il serait souhaitable de construire un agenda commun de recherche sur des thèmes qui transcendent les frontières entre domaines biologiques et dont quelques exemples de recherche fondamentale et finalisée, parmi bien d'autres, sont évoqués ci-après.

1. Valorisation de la théorie métabolique de l'écologie. Parmi les principes généraux qui transcendent les différences entre milieu marin et milieu terrestre, la théorie métabolique de l'écologie (BROWN *et al.*, 2004) offre un cadre normatif puissant pour comprendre les fonctions que les espèces exercent dans les écosystèmes et, par conséquent, comprendre et comparer le fonctionnement de ces derniers. Cette théorie dispose que le métabolisme de tous les organismes vivants, végétaux et animaux, terrestres et aquatiques, des diatomées aux grandes baleines en passant par les souris et les éléphants, gère l'énergie dont ils disposent d'une même manière, qui est fonction de leur taille et de la température ambiante. Le taux métabolique, à savoir le taux auquel les organismes capturent, transforment et dépensent l'énergie, est une constante biologique fondamentale qui contrôle les processus écologiques à tous ses niveaux d'organisation, des individus à la biosphère. Cette loi fondamentale pourrait être valorisée pour simuler les réponses probables des organismes aux changements climatiques en cours. Un seul exemple : on observe chez des organismes aussi différents que des Chenilles défoliaires d'arbres et des organismes planctoniques marins une accélération de leur croissance en réponse au réchauffement climatique, conformément aux prédictions de la théorie métabolique de l'écologie (BLONDEL *et al.*, 2006 ; DUARTE, 2007).

2. Les cascades trophiques. L'organisation et le fonctionnement des communautés sont gouvernés par des réseaux trophiques complexes. Les processus impliqués dans ce fonctionnement peuvent être de type *top-down* ou *bottom-up*. Les premiers consistent en une régulation par la prédation et les seconds en une régulation par la productivité primaire. Dans les deux domaines, terrestre et marin, les cascades trophiques, qui relèvent de processus *top-down*, sont une

Quels points de rencontre entre les deux domaines ?

Cette gigantesque « expérience naturelle » que constituent les changements globaux², offre d'uniques opportunités pour tester des hypothèses sur la réponse des organismes aux variations de leur environnement. Certes cette « expérience » est tout sauf désirable mais qu'au moins on en fasse le meilleur usage pour appliquer la méthode scientifique dans toute sa rigueur afin d'améliorer

force structurante majeure des communautés. La prédateur devient alors un principe fondamental, parfois considéré comme une « *loi de la nature aussi essentielle et fondamentale à l'écologie que la sélection naturelle l'est pour l'évolution* » (TERBORGH & ESTES, 2010). Or la disparition des grands prédateurs, tant en mer que sur terre, est l'un des aspects les plus spectaculaires de l'érosion de la diversité biologique. Elle entraîne une sérieuse modification des interactions entre espèces et dérègle en profondeur les réseaux trophiques au sein des communautés. Car la fonction de prédateur a des effets qui se propagent de proche en proche, d'un niveau trophique à celui qui lui succède le long de la chaîne, entraînant une série d'effets positifs sur certaines espèces, négatifs sur d'autres, contribuant ainsi à structurer l'ensemble de la communauté bien au-delà des seuls rapports de mangeur à mangé. En milieu marin, la disparition des grands prédateurs est sans doute l'effet le plus désastreux de la surpêche car elle a des conséquences inattendues sur les réseaux trophiques et la structure des communautés (JACKSON, 2001). L'une de ces conséquences apparemment inattendue est la « gélification des océans » par la prolifération explosive des méduses qui remplacent les grands prédateurs disparus (RICHARDSON *et al.*, 2009). C'est au point que dans certaines régions comme dans les grands bancs de Benguela, au large des côtes de Namibie, les tonnages de méduses capturées sont actuellement plus élevés que ceux des poissons. On assiste, depuis le début des années 1970, à une diminution régulière du niveau trophique moyen de la faune marine, signe des effets sur les gros poissons prédateurs à croissance lente de leur surpêche industrielle (PAULY *et al.*, 1998). En milieu terrestre, la dislocation des cascades trophiques, qui se traduit notamment par la disparition des grands prédateurs, mais aussi des grands herbivores, peut aussi avoir des effets inattendus. Pourquoi les plantes ne s'expriment-elles pas au mieux des possibilités que leur offre la combinaison des conditions locales de climat et de sol, bref pourquoi la nature n'est pas plus verte se demandent William Bond et John Keeley (2005). Si le monde végétal n'était régulé que par la nature des sols, les éléments nutritifs qu'ils contiennent, les précipitations et les températures, le manteau végétal qui recouvre les terres serait parfaitement prévisible. Il serait de la forêt, de la savane, de la prairie

ou du désert selon les valeurs prises par ces facteurs, mais chacun de ces types de milieu garderait une certaine forme de stabilité, tant que ces facteurs ne varient pas. Or ce n'est pas ce qu'on observe : si la nature n'est pas plus verte, c'est parce que les plantes sont dévorées, soit par des animaux herbivores, soit par le feu³. Ainsi, hors intervention humaine, trois types de mondes sont envisageables : a) le monde régulé par le feu tel qu'on le rencontre dans les savanes sahéliennes, les matorrals ou chaparrals de Californie, certaines régions méditerranéennes, le fynbos de la Province du Cap ou certaines forêts boréales, b) le monde contrôlé par le potentiel climatique de la région, qui est d'autant plus vert que la productivité déterminée par les conditions d'humidité du milieu et de fertilité des sols est plus élevée ; c'est ce qu'on observe dans certaines forêts tropicales pluviales où le potentiel de croissance des végétaux dépasse de loin les capacités de régulation par les animaux herbivores, et c) le monde contrôlé par les grands mammifères herbivores, ceux-là mêmes qui participaient jadis, avant que l'homme contribue à les exterminer, à entretenir cette trame verte réticulée par l'existence de zones de forêt profonde et de zones de clairières, qui s'étendait presqu'à l'infini dans les vastes plaines et montagnes d'Europe. On sait maintenant que les discontinuités au sein de la forêt étaient largement entretenues par les grands herbivores.

3. Effets du réchauffement climatique.

Dans les deux types de milieux, marin et terrestre, on observe des effets semblables des variations de température sur les traits d'histoire de vie des organismes : avancement des époques de reproduction, précocité accrue de la migration printanière et retard de la migration automnale dans l'hémisphère nord, désynchronisation des chaînes trophiques parce que les différents partenaires de ces dernières ne répondent pas de la même manière, et surtout pas selon le même tempo, aux changements de l'environnement. Ce sont évidemment les événements phénologiques, qui se répètent régulièrement selon les saisons, qui sont les mieux documentés. Une étude réalisée en Angleterre sur plusieurs dizaines d'espèces vivant en milieu marin, d'eau douce et terrestre, a montré qu'entre 1976 et 2005, toutes ont effectué avec une avance significative de 0,2 à 0,6 jour par an selon l'espèce considérée l'acte saisonnier observé, par exemple le

3 - Le béton consomme plus de 75 000 ha de bonne terre chaque année en France, et près de la moitié, voire davantage, de la frange côtière en région méditerranéenne.

retour de migration ou le déclenchement de la reproduction (THACHERAY *et al.*, 2010).

4. La traque à l'habitat. Une constante biologique, qui est d'ailleurs une conséquence de la théorie métabolique de l'écologie, est la sensibilité des organismes à la température. Les espèces ont une fenêtre naturelle de tolérance thermique et répondent aux fluctuations des températures par un jeu d'adaptations physiologiques, biochimiques ou comportementales. Bien que la fenêtre de tolérance thermique puisse être large comme le montre l'exemple du mélèze qui se développe entre des altitudes comprises entre 800 m et 2300 m, chaque espèce est adaptée à une enveloppe thermique précise au point que le déplacement de cette enveloppe entraîne nécessairement un déplacement de l'organisme, d'où une « traque à l'habitat » des espèces en réponse au déplacement de cette enveloppe. Tant en milieu marin qu'en milieu terrestre on dispose déjà de très nombreuses données sur la manière dont les organismes remontent en latitude et/ou en altitude en réponse au réchauffement climatique. On sait d'ores et déjà qu'au cours du siècle dernier et à l'échelle mondiale, le déplacement de 1700 espèces animales et végétales pour lesquelles nous disposons de données fiables fut en moyenne 6 km en latitude et de 6 m en altitude par décennie (PARMESAN & YOHE, 2003). Les simulations sur la modification attendue au cours du XXI^e siècle de la distribution d'arbres européens ne manquent pas (CHUINE & THUILLIER, 2005). S'il est difficile de pratiquer de telles simulations pour les espèces marines, de nombreuses données empiriques montrent que la mer Méditerranée est d'ores et déjà colonisée par des dizaines d'espèces nouvelles qui ne quittaient pas jusqu'à naguère les eaux tropicales (BLONDEL *et al.*, 2010).

5. Trajectoires écologiques et effets de seuil. Un phénomène encore mal connu, mais que redoutent les chercheurs parce qu'il est difficile à prévoir, est la non linéarité des processus écologiques et démographiques. On observe parfois qu'au-delà d'une certaine valeur d'une variable écologique, cette dernière s'effondre ou s'emballe parce qu'elle a atteint un seuil conduisant à des trajectoires écologiques imprévisibles et le plus souvent indésirables. A partir de certains seuils, par exemple l'abondance d'une espèce envahissante agressive, ou la diminution d'une espèce ressource, le système peut

basculer d'un coup dans une nouvelle trajectoire totalement imprévue au départ. Certaines données empiriques et la modélisation montrent que la réponse des communautés à une variation continue de l'environnement peut prendre trois formes, soit un changement graduel de la variable réponse, soit un basculement du système vers une autre trajectoire, soit un phénomène dit d'hystérisis par lequel la communauté « décroche » pour se transformer en un ou plusieurs autres systèmes (SUDING *et al.*, 2008). Un exemple tristement célèbre d'effet de seuil est celui du crash des stocks de morue des bancs de Terre Neuve qui ne se sont toujours pas reconstitués, malgré le moratoire décrété par le gouvernement Canadien en 1992 (CURY & MISERAY, 2008). Il s'agit typiquement d'un effet de seuil par lequel le réseau trophique au sein duquel se trouve la morue s'est transformé du fait des réponses de ce poisson aux nouveaux régimes de sélection qu'a entraîné sa surpêche, transformant en l'occurrence les prédateurs en proie des espèces dont elles se nourrissaient !

6. La déstabilisation des écosystèmes par les espèces envahissantes. Les invasions biologiques sont souvent considérées comme une cause majeure de déclin de la diversité biologique. On pourrait citer des dizaines d'exemples d'invasions biologiques tant en milieu terrestre qu'en milieu marin. Quand ce ne serait qu'en Méditerranée, pas moins de 90 espèces de poissons (sur 650) et 60 espèces de décapodes (sur 350) sont des espèces dites « lessepiennes », c'est-à-dire qu'elles ont envahi la mer Méditerranée à la faveur du percement (par Ferdinand de Lesseps) du canal de Suez (BLONDEL *et al.*, 2010). Un autre exemple d'invasion biologique dont les effets sont désastreux est celui de l'algue tueuse *Caulerpa taxifolia*, qui fut identifiée pour la première fois en 1984 au large de Monaco. En vingt ans, cette espèce a envahi les régions côtières de la plupart des pays du bassin méditerranéen où elle couvre les fonds de matelas épais qui éliminent les espèces autochtones, y compris les herbiers de posidonies qui sont des sites de reproduction privilégiés pour de nombreux poissons. Un enjeu particulièrement important serait d'identifier les traits et circonstances qui rendent une espèce s'échappant de son enveloppe naturelle de distribution potentiellement envahissante, donc dangereuse pour les communautés autochtones. On estime en

effet que sur une centaine d'espèces accidentellement introduites par les humains en dehors de leur aire naturelle de distribution, moins d'une dizaine risquent de devenir envahissantes. Déetecter ce qui favorise le caractère envahissant serait un moyen d'anticiper le processus avant qu'il ne soit trop tard, car il s'avère à peu près impossible de se débarrasser d'une espèce vraiment agressive quand elle s'est solidement implantée.

Conclusion : vers un agenda de recherches communes

Le besoin et l'intérêt de relier entre eux les univers marin et terrestre en écologie et dans les sciences de la conservation se justifient par l'aspect intégrateur de quelques principes fondamentaux d'écologie évolutive et fonctionnelle qui transcendent les barrières conceptuelles entre les deux domaines. Certains points de rencontre comme la réponse des organismes aux changements de température ou les prédictions que l'on peut faire sur les facteurs et traits qui peuvent rendre envahissantes et agressives les espèces introduites par les humains sont autant de ponts entre les deux types de milieux. Le transfert de méthodes de modélisation d'un domaine à l'autre réduirait le gaspillage d'efforts que représente la duplication d'approches scientifiques semblables. Par ailleurs, une approche mieux unifiée et standardisée stimulerait l'engagement d'experts, indépendamment des milieux et des taxons considérés, ce qui réduirait considérablement les inégalités de nos connaissances entre milieux terrestres et marins. On ne peut que souhaiter les recherches comparatives dans les domaines porteurs d'interactions entre les deux domaines. Cet effort partagé permettrait en particulier d'incorporer dans une même approche les interactions terre-mer dans les milieux insulaires et côtiers. L'enjeu de recherches et d'actions conjointes sur les communautés liées à la zone de contact entre milieux marin et terrestre se justifie à la fois par la mobilité du trait de côte liée à l'élévation du niveau de la mer et par l'existence de communautés spécifiques à cette zone. Or le liseré côtier est soumis, notamment en Méditerranée, aux très fortes pressions que représentent la destruction des habitats, le développement de l'in-

dustrie touristique, la pollution, l'eutrophisation, certaines formes d'aquaculture, la surexploitation des ressources halieutiques, la détérioration des herbiers proches des côtes et le caractère particulièrement agressif de certaines espèces envahissantes.

Finalement, comme le souligne Christian Körner, l'incertitude sur l'ampleur et le tempo des changements globaux invite à la prudence et à l'application du principe de précaution. A cet égard, faute d'en savoir plus sur le comportement des espèces face aux changements globaux, les mesures conservatoires sans doute les plus efficaces sur le court terme sont de tout faire pour préserver la diversité génétique des populations et d'encourager la structure en mosaïque des paysages. Ces précautions paraissent d'autant plus justifiées qu'on sait maintenant que des changements climatiques ont parfois été très rapides dans un passé somme toute pas si lointain puisqu'à la fin du Dryas récent (12700-11500 ans avant le présent), époque à laquelle toutes nos espèces existaient déjà, l'augmentation de la température moyenne a été de 7°C en 50 ans (DANSGAARD *et al.*, 1989), ce qui est bien supérieur à ce que le GIEC prévoit pour le siècle en cours. Enfin, n'oublions pas qu'une diversité considérable de microclimats peut se rencontrer sur des espaces très réduits, ce qui renforce l'aspect positif des structures paysagères en mosaïque.

J.B.

Jacques BLONDEL
CEFE-CNRS
34293 Montpellier
cedex 5
Email :
jacques.blondel@
cefe.cnrs.fr

Bibliographie

- Blondel, J., Thomas, D. W., Charmantier, A., Perret, P., Bourgault, P., Lambrechts, M. M. 2006. A thirty-year study of phenotypic and genetic variation of blue tits in Mediterranean habitat mosaics. *BioScience* 56, 661-673.
- Blondel, J., Aronson, J., Bodiou, J.-Y. Boeuf, G. (2010) *The Mediterranean Region: Biodiversity in Space and Time*. Oxford, Oxford University Press.
- Bond, W. J., Keeley, J. E., 2005. Fire as a global “herbivore”: the ecology and evolution of flammable ecosystems. *Trends Ecol. Evol.* 20, 387-394.
- Brown, J. H., Gillooly, J. F., Allen, A. P., Savage, V. M., West, G. B. 2004. Toward a metabolic theory of ecology. *Ecology* 85, 1771-1789.
- Chuine, I., Thuiller, W., 2005. Impact du changement climatique sur la biodiversité. *Le Courrier de la Nature* 223, 20-26.
- Clutton-Brock, T., Sheldon, B. C., 2010. Individuals and populations: the role of long-term, individual-based studies of animals in ecology and evolutionary biology. *Trends Ecol. Evol.* 25, 562-573.

- Cury, P., Miserey, Y., 2008. *Une mer sans poissons*, Calmann-Lévy.
- Dansgaard, W., White, J.W.C., Johnsen, S.J., 1989. The abrupt termination of the Younger Dryas climate event. *Nature* 339, 532-534.
- Duarte, C. M., 2007. Marine ecology warms up to theory. *Trends Ecol. Evol.* 22, 331-333.
- Harmelin-Vivien, M., Bourlière, F. 1989. *Vertebrates in complex tropical systems*. New York, Springer-Verlag.
- Jackson, J. B. C., 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science* 293, 629-638.
- Parmesan, C., Yohe, G. 2003. A globally coherent finger-print of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421, 37-42.
- Pauly, D. et al., 1998. Fishing down marine food webs. *Science* 279, 860-863.
- Richardson, A. J., Bakun, A., Hays, G. C., Gibbons, M. J. 2009. The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. *Trends Ecol. Evol.* 24, 312-322.
- Suding, K. N., Lavorel, S., Chapin, F. S., Cornelissen, J.H.C., Diaz, S., Garnier, E., Goldberg, D., Hooper, D.U., Jackson, S.T., Navas, M.-L., 2008. Scaling environmental change through the community-level: a trait-based response-and-effect framework for plants. *Global Change Biology* 14, 1125-1140.
- Terborgh, J. W., Estes, J. A., 2010. *Landscapes of hope, oceans of promise: trophic cascades*. Island Press.
- Thackeray, S. J. et al., 2010. Trophic level asynchrony in rates of phenological change for marine, freshwater and terrestrial environments. *Glob. Change Biol.*
- Vitousek, P. M., 1994. Beyond global warming: ecology and global change. *Ecology* 75, 1861-1876.

Résumé

Pour de nombreuses raisons d'ordre historique, mais aussi conceptuel et technique, les recherches en milieu marin et terrestre sont presque totalement isolées l'une de l'autre. La difficulté de définir des habitats et communautés en milieu marin, de même que le manque d'accès au suivi des individus compliquent la mise en œuvre des méthodes de démographie et d'écologie évolutive qui ont fait leurs preuves en milieu terrestre et ont permis de maîtriser le fonctionnement et l'évolution des populations et communautés en milieu terrestre. La similitude des pressions d'origine anthropique qui s'exercent sur les populations et communautés dans les deux types de milieux justifie pourtant la mise en commun des efforts pour en mesurer les effets et développer des stratégies de réponse à ces pressions afin d'en diminuer les conséquences négatives. A cet égard, les changements globaux constituent une gigantesque « expérience naturelle » qu'on peut valoriser pour analyser les réponses des organismes aux changements de leur environnement et lutter contre leurs conséquences négatives. Plusieurs propositions de recherches communes sont énoncées sur des sujets qui transcendent les barrières conceptuelles entre les deux domaines : prédictions de la théorie métabolique de l'écologie sur les réponses des organismes aux dérèglements climatiques, conséquences sur les écosystèmes de la dislocation des cascades trophiques, construction de protocoles de monitoring des populations, recherches sur les espèces envahissantes, analyse des changements d'aires de distribution et de la traque aux habitats.

Summary

Many historical, conceptual as well as technical reasons explain why there is almost no connection in scientific research between the terrestrial and marine realms. Because it is hardly possible to define habitats and communities in marine environments, and because it is almost impossible to follow individuals, it is extremely difficult to apply the methodologies that have been successfully devised in demography and evolutionary ecology in terrestrial biotas. Therefore the knowledge of population and community ecology and evolution in marine environments is in its infancy compared to that in terrestrial ecosystems. Yet the similarity of anthropogenic pressures on populations and communities in the two kinds of habitats fully justifies common efforts to assess the consequences of environmental changes and develop strategies for mitigating or alleviating their harmful consequences. In this respect, global change is a huge so-called « natural experiment » which can be used for analysing the proximate and evolutionary responses of organisms to environmental changes and trying to reduce their negative effects. Several research areas that are common to both terrestrial and marine environments are proposed on themes which transcend the conceptual barriers between the two domains. Examples include predictions from the metabolic theory of ecology on the responses of organisms to climate change, the consequences of the disruption of trophic cascades on ecosystems functions, the development of protocols for monitoring populations, research on biological invasions, and analysis of distributional shifts of populations and habitat tracking.