
Modélisation d'accompagnement en gestion conservatoire

Expérimentation au sein du réseau Natura 2000 français

**Hélène Dupont¹, Françoise Gourmelon², Mathias Rouan²,
Isabelle Le Viol¹, Christian Kerbiriou¹**

1. CESCO (UMR 7204 UPMC CNRS MNHN),
Muséum national d'histoire naturelle, 55 rue Buffon, 75005 Paris, France
dupont.helene.pro@gmail.com

2. LETG-Brest (UMR 6554 CNRS), Institut universitaire européen de la Mer,
Université de Brest, UEB, place Copernic, 29280 Plouzané, France
francoise.gourmelon@univ-brest.fr

RÉSUMÉ. Dans le contexte dynamique des changements d'usages des sols sur la zone côtière, l'étude expérimente la modélisation d'accompagnement en vue de contribuer à la gestion conservatoire des habitats et des espèces sur un site (presqu'île de Crozon, Bretagne, France). Les objectifs sont d'identifier et de partager les attentes, les contraintes et les pratiques des acteurs locaux impliqués dans la mise en œuvre de Natura 2000, de les sensibiliser aux dynamiques écologiques et sociales susceptibles de se dérouler dans un futur proche par la co-construction de scénarios. Le processus itératif mis en œuvre permet de combiner les savoirs experts et locaux à toutes les étapes du processus et conduit à divers résultats dont des indicateurs d'état de la biodiversité en fonction de plusieurs scénarios de gestion. L'expérimentation démontre non seulement l'intérêt opérationnel de la modélisation d'accompagnement dans une scène de gestion adaptée qui confère une légitimité à la démarche, mais aussi la pertinence de son emprise locale.

ABSTRACT. In the dynamic context of land use changes in coastal zone, this study tested the companion modeling in conservation management of habitats and species of a local site (Crozon, Brittany, France). The objectives are to identify and share expectations, constraints and practices of local stakeholders involved in the implementation of Natura 2000, to raise awareness of ecological and social dynamics which may take place in the near future by the elaboration of scenarios. The iterative process allows to combine scientific expertise and local knowledge at all stages of the process and leads to various outcomes including biodiversity indicators based on several management scenarios. The experiment demonstrates the operational interest of the companion modeling in a suitable program (legitimacy of the process, the availability of a social network, models and data). It shows too the relevance of local experimentation in conservation planning.

MOTS-CLÉS : gestion conservatoire, modélisation d'accompagnement, prospective, scénario, simulation.

KEYWORDS: companion modelling, conservation management, prospective study, scenario, simulation.

DOI:10.3166/RIG.25.495-514 © 2015 Lavoisier

1. Introduction

De nombreux auteurs constatent que les recherches en sciences de la conservation fournissent rarement une aide concrète à la gestion (Hulme, 2011 ; Braunisch *et al.*, 2012) du fait que les publications ont peu d'impact sur le terrain (Milner-Gulland *et al.*, 2012), que les résultats scientifiques sont peu opérationnels (Knight *et al.*, 2008) ou encore que les propositions ne tiennent pas compte des réalités socio-économiques (Pressey *et al.*, 2007). Les principales pistes pour remédier à cette situation, face à une demande croissante des politiques publiques relatives à l'environnement, seraient que les biologistes de la conservation s'impliquent davantage dans des actions concrètes de conservation (Arlettaz *et al.*, 2010), de communiquer de manière plus directe dans l'arène publique (Laurance *et al.*, 2012), de réunir les compétences et les savoirs scientifiques, gestionnaires et profanes dans la résolution d'un problème donné (Irwin, 1995) au bénéfice de tous (Opdam, 2010).

A cette nécessité d'intégration, s'ajoute celle d'anticipation des évolutions socio-écosystémiques (Young *et al.*, 2006). C'est ce double enjeu qui justifie la construction de modèles et de simulations, supports de connaissances et de décisions éclairées (Costanza, 2014). En France, la modélisation d'accompagnement (ComMod, 2005) s'est imposée dans le domaine de la gestion des ressources renouvelables en proposant une méthodologie participative (ComMod) et une boîte à outils (protocole ARDI de modélisation conceptuelle, logiciel de simulation à base d'agents, jeu de rôle) permettant aux acteurs impliqués dans la problématique d'émettre des hypothèses, de proposer des scénarios et d'en mesurer collectivement les conséquences. Plusieurs cas d'application sont décrits dans la littérature témoignant du potentiel de la démarche en termes d'interdisciplinarité (Chlous-Ducharme et Gourmelon, 2011), de participation et d'appropriation (Gurung *et al.*, 2006 ; Simon et Etienne, 2010 ; Etienne, 2011). Néanmoins, d'autres font état de difficultés liées à la légitimité sociale des initiateurs et des problématiques traitées ou encore à la technicité des outils mobilisés (Becu *et al.*, 2008 ; Gourmelon *et al.*, 2013) auxquelles s'ajoute la lourdeur de la mise en œuvre au regard de la difficulté d'en évaluer les résultats concrets (Barreteau et Le Page, 2011 ; D'Aquino et Papazian, 2012) et la non-reproductibilité des modèles élaborés localement.

Notre étude entend contribuer au débat en se basant sur une expérimentation menée sur un site Natura 2000¹. Créé par l'Union européenne, ce réseau a pour vocation d'assurer la conservation d'espèces et d'habitats menacés tout en maintenant les activités humaines dans une perspective de développement durable et en sensibilisant la population au respect de son environnement. En France, la gestion des sites Natura 2000 est fondée sur une démarche concertée (Milian, 2001) ouverte aux acteurs locaux et repose sur l'élaboration collective de Documents d'Objectifs (Evans, 2012) qui décrivent les actions d'aménagement et de gestion planifiées sur une période de cinq ans.

Notre hypothèse est que la modélisation d'accompagnement est adaptée aux objectifs du réseau Natura 2000 dans ses différentes dimensions (concertation, élaboration de prospectives environnementales, sensibilisation, évaluation adaptative), et que sur des problématiques territoriales ciblées la réutilisation de modèles peut permettre d'optimiser la démarche. L'étude fait suite aux travaux menés sur l'île d'Ouessant, qui ont mobilisé la modélisation d'accompagnement sur la problématique des changements d'usage (déprise agricole, fréquentation touristique) et leurs conséquences sur les milieux et la biodiversité (Gourmelon *et al.*, 2008, 2013 ; Levrel *et al.*, 2009 ; Rouan *et al.*, 2010 ; Chlous-Ducharme et Gourmelon, 2011). Or ces deux facteurs sont considérés comme négatifs pour la biodiversité, notamment en zone côtière (Kerbiriou *et al.*, 2009). Ils constituent à ce titre un des principaux enjeux des concertations mises en œuvre dans le cadre de Natura 2000 en France (Vanpeene Bruhier, 2010). La démarche et les résultats acquis sur l'île d'Ouessant constituent donc la base méthodologique pour cette étude, qui concerne un site Natura 2000 aux caractéristiques et aux enjeux relativement similaires (figure 1).

La presqu'île de Crozon est située à l'extrême ouest de la péninsule armoricaine (48°15'39''N, 4°30'00''O). Le site Natura 2000 (FR5300019), d'une superficie de 4382 ha dont 3672 ha terrestre, s'étend sur quatre communes littorales. Le milieu est constitué d'une mosaïque de végétation de falaises, dunes, landes, tourbières et zones humides littorales. Habitat typique des climats tempérés-(sub)océaniques, il abrite plusieurs populations d'oiseaux nicheurs d'intérêt patrimonial dont le crabe à bec rouge².

1. http://ec.europa.eu/environment/nature/natura2000/index_en.htm

2. L'espèce, inscrite dans l'Annexe 1 de la directive de la Communauté européenne 79/409 est considérée comme un indicateur de biodiversité. L'article 4 de cette Directive prévoit la désignation de Zones Spéciales de Conservation contenant des biotopes utilisés par les espèces de l'Annexe 1. Le crabe est une espèce emblématique des falaises côtières du fait de sa rareté, de son originalité biogéographique, et de l'intérêt patrimonial des milieux qu'il occupe : végétations rupestres littorales, pelouses et landes littorales. Les falaises de la presqu'île de Crozon abritent actuellement une population de 12 couples reproducteurs.

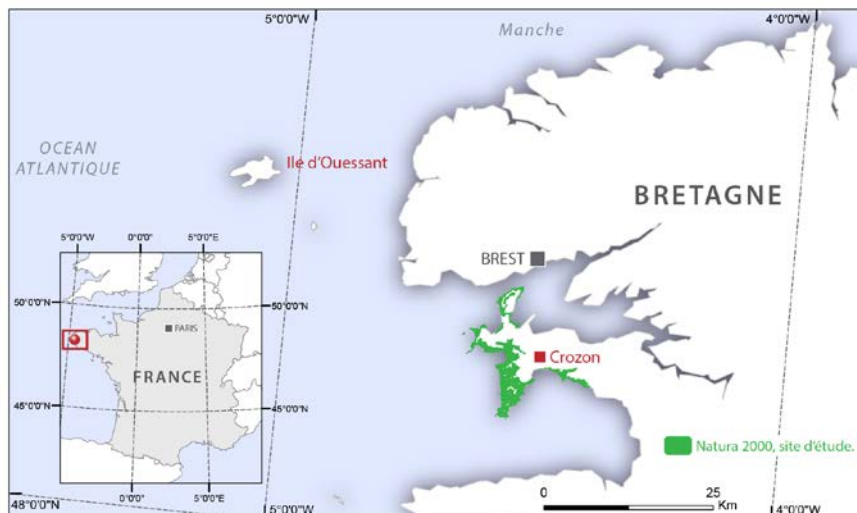


Figure 1. Localisation du site d'étude

2. Méthodologie

Le projet s'est déroulé en plusieurs étapes consacrées respectivement à la modélisation conceptuelle, l'élaboration et la validation d'un modèle spatialement explicite, la scénarisation et la simulation prospectives. Il a procédé par itérations successives entre les phases de développement au laboratoire et les présentations/discussions/décisions opérées lors de trois ateliers participatifs animés par les scientifiques.

2.1. Constitution du groupe d'acteurs locaux

Le DOCOB³ a été élaboré en 2006 par la Communauté de Communes de la Presqu'île de Crozon, désignée comme opérateur local par le préfet du Finistère. Il décrit notamment l'état initial de conservation et la localisation des habitats naturels et des espèces qui ont justifié la désignation du site, les mesures réglementaires de protection, et les activités humaines dont il fait l'objet. Sur cette base, les institutions et associations actives sur le terrain vis-à-vis des objectifs ont été identifiées : le chargé de mission de Natura 2000, des institutions en charge de la gestion des espaces (Direction départementale des territoires et de la mer du Finistère, Conservatoire du littoral, parc naturel régional d'Armorique, service des Espaces naturels de la commune de Crozon), de l'agriculture (Chambre d'agriculture), et des associations (Société de chasse de Crozon, Bretagne Vivante-SEPNB). Ces acteurs

3. <http://presquile-de-crozon.n2000.fr/>

locaux, impliqués dans l'étude, ont fait l'objet d'entretiens semi-directifs et ont participé aux trois ateliers organisés par les scientifiques (figure 2). Une géographe, deux écologues, et deux modélisateurs (dont un possédant des compétences en sociologie) constituaient le groupe de scientifiques. Trois d'entre eux avaient participé aux travaux en modélisation d'accompagnement sur l'île d'Ouessant (Gourmelon *et al.*, 2008, 2013 ; Levrel *et al.*, 2009 ; Rouan *et al.*, 2010 ; Chlous-Ducharme et Gourmelon, 2011).

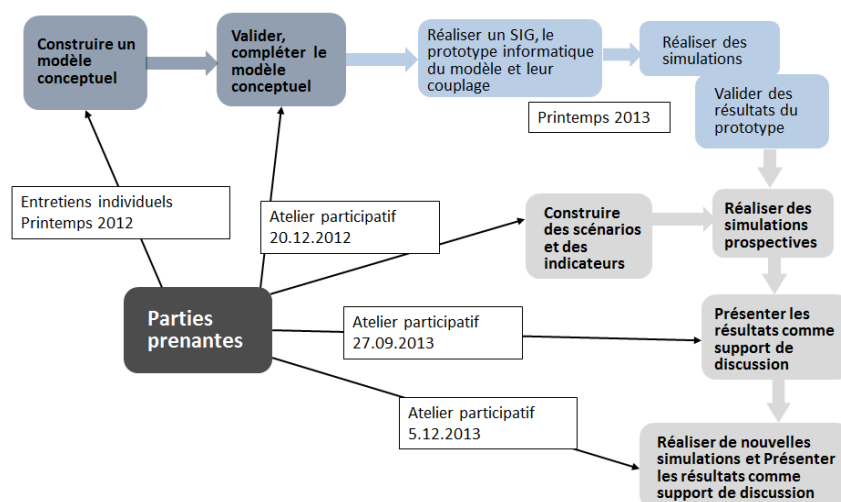


Figure 2. Déroulement du projet

2.2. Co-construction d'un modèle conceptuel

La méthode acteurs, ressources, dynamiques et interactions (ARDI)⁴ (Etienne *et al.*, 2011) est utilisée en modélisation d'accompagnement pour co-construire un modèle conceptuel selon un protocole participatif précis. L'intégration des acteurs locaux dans la conceptualisation du modèle faciliterait *a priori* leur appropriation des résultats (Becu *et al.*, 2008) à condition qu'ils s'y investissent pleinement (Daré *et al.*, 2008). Pour faciliter le processus de co-construction, trois variantes ont été appliquées au protocole ComMod : 1) le modèle conceptuel (MC) développé sur l'île d'Ouessant (Rouan *et al.*, 2010) sur une problématique similaire a servi de base conceptuelle (figure 3) ; 2) l'opérateur Natura 2000 a été sollicité d'emblée afin d'adapter le modèle ouessantain au site de Crozon ; 3) les acteurs locaux identifiés ont été rencontrés individuellement pour discuter cette proposition. Un premier

4. <http://cormas.cirad.fr/pdf/guideARDI.pdf>

modèle conceptuel a donc été réalisé par les scientifiques à partir des réactions des acteurs locaux par rapport au modèle conceptuel développé sur l'île d'Ouessant.

De ces échanges a résulté un modèle conceptuel explicitant les acteurs, les ressources (les habitats naturels et semi-naturels), leurs dynamiques, les règles régissant les actions des agents. En parallèle, la typologie et la dynamique de la végétation proposées par les acteurs locaux ont été soumises à deux experts botanistes qui les ont modifiées. Dans une ultime étape, le MC, co-construit par les acteurs locaux et les experts, a été présenté lors d'un atelier participatif (20 décembre 2012) afin d'être discuté et validé par le groupe.

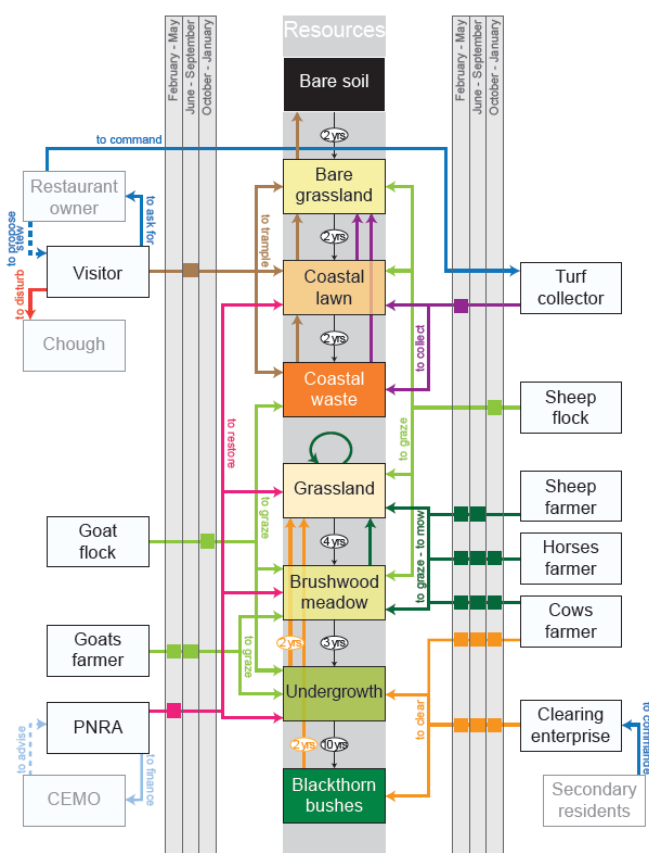


Figure 3. Le Modèle conceptuel d'Ouessant (Rouan et al., 2010)

2.3. Implémentation du modèle multi-agent spatialement explicite

Le prototype informatique a été conçu avec la plateforme de simulation multi-agents Cormas⁵ développée par le CIRAD selon une méthodologie décrite par Gourmelon *et al.* (2008) et Rouan *et al.* (2010). Elle permet de mettre en œuvre des modèles multi-agents spatialisés dont l'espace, dit réaliste, est représenté par un automate cellulaire généré à partir d'un système d'information géographique (SIG). Pour la presqu'île de Crozon, le SIG fournit l'ensemble des couches d'informations vectorielles nécessaires à la constitution de l'espace du modèle (tableau 1). Une procédure de rasterisation permet d'obtenir une grille de cellules multi-variables comportant les valeurs pour chaque couche d'information. Les données vectorielles ayant été rasterisées à une résolution de 14,14m, la grille spatiale obtenue comporte 1 046 430 cellules représentant une superficie de 200 m². Ce choix résulte d'un compromis entre le temps de calcul de la simulation, la modélisation de certaines dynamiques (altération du couvert de la végétation par le piétinement, colonisations par les ptéridaies et les pinèdes) et une représentation acceptable des objets géographiques (morcellement des habitats, parcellaire).

Tableau 1. Informations géographiques utilisées pour la création de la grille spatiale

Source	Information géographique
SIG du Conservatoire botanique de Brest	– Zone Natura 2000 – Habitats naturels et semi-naturels (1999)
BD Carto IGN	– Communes – Chemins
MNT IGN	– Pentes
SIG Opérateur Natura 2000	– Intensités de piétinement – Secteurs Natura 2000 – Localisation des actions conservatoires (06-12)
Plans du Service des Espaces Naturels de la commune de Crozon	– Zones de coupe de résineux réalisée avant 2013
SIG DREAL	– Parcelles agricoles en activité (2004, 2010, 2012)
SIG CERLR	– Propriétés du Conservatoire du littoral – Parcelle en convention avec l'association de chasse et les agriculteurs
GéoBretagne http://cms.geobretagne.fr/	– Propriétés communales, propriétés du conseil général

5. <http://cormas.cirad.fr/fr/outil/outil.htm>

La couche initiale des habitats naturels et semi-naturels mobilisée dans l'étude, correspond à la cartographie des habitats réalisée en 1999 dans le cadre de Natura 2000 selon une méthode standardisée (Hardegen *et al.*, 2001). Elle a été mise à jour par simulation à un horizon temporel de quatorze ans pour valider les hypothèses du modèle (figure 4). Les actions anthropiques simulées représentent : 1) une fréquentation stable, 2) les actions annuelles d'ouverture et de maintien de milieux ouverts par les chasseurs, 3) les actions conservatoires répertoriées durant cette période, 4) l'abandon ou le maintien des prairies agricoles selon l'historique des exploitations. La qualité de l'information simulée (habitats de végétation en 2013) a été évaluée par comparaison avec les types d'habitats observés sur le terrain, à partir de 1 509 points de contrôle.

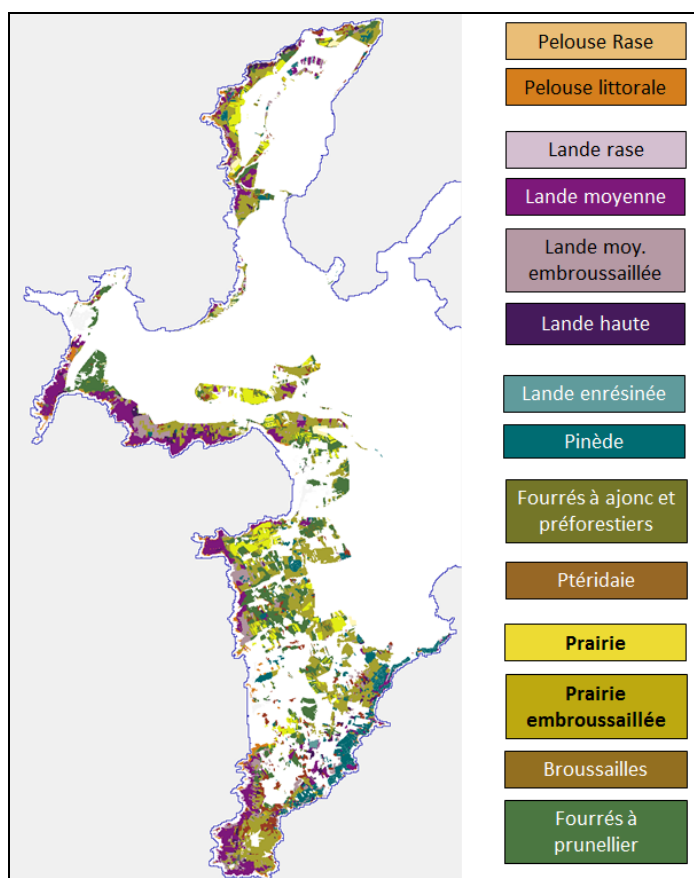


Figure 4. Carte des habitats naturels et semi-naturels de la presqu'île de Crozon en 2014, obtenue par simulation

2.4. Scénarios et indicateurs

Dans l'objectif d'évaluer les conséquences d'évènements plausibles, les scénarios ont été élaborés lors du premier atelier participatif. L'horizon temporel des simulations a été fixé à 15 ans afin d'observer les réponses de la dynamique aux actions conservatoires modélisées. Le scientifique, dans un rôle d'animateur, a introduit la séance par une discussion sur les évolutions potentielles de la fréquentation touristique, de l'agriculture et des actions conservatoires, desquelles ont émergé plusieurs pistes de scénarios. Cependant, à la fin de cet atelier, aucune priorité n'a pu être établie collectivement. Les scientifiques ont donc opéré un choix, basé sur un compromis entre leur appréhension de l'intérêt du scénario pour les acteurs locaux (basée sur le temps passé à discuter du scénario et l'adhésion du groupe) et la faisabilité liée à la disponibilité des données. Quatre scénarios ont été retenus.

– « Tendance actuelle ». Ce scénario tendanciel est conçu à partir des évolutions les plus plausibles selon les acteurs locaux, à savoir une fréquentation touristique stable, un maintien des activités agricoles sur les parcelles en activité et des actions conservatoires telles que celles réalisées depuis l'officialisation du site Natura 2000 (2006).

– « Gestion soutenue ». Ce scénario exploratoire est fondé sur les actions conservatoires planifiées dans le temps et l'espace dans le DOCOB : mise en **défense** pour éviter le piétinement occasionné par la fréquentation touristique, coupes de résineux. D'autres actions (fauche de lande et de fourré) sont réalisées à effort constant (60 ha) chaque année.

– « Arrêt des activités agricoles ». Bien que ce scénario exploratoire soit peu réaliste à court terme, la question du maintien de l'agriculture préoccupe les acteurs locaux car la reprise des exploitations existantes n'est pas assurée, tout comme la reconduction d'aides telles que les MAE.

– « Sans agriculture et sans action conservatoire ». Ce scénario permet de distinguer les effets des activités agricoles de ceux des actions conservatoires sur les indicateurs.

Les indicateurs du modèle en résultante des simulations ont également été choisis lors de cet atelier participatif, sur proposition des scientifiques. Les acteurs locaux les ont validés du fait de leur pertinence en vue de maximiser la diversité des habitats et des espèces. Ont été retenus d'une part, les surfaces des habitats pour caractériser l'état de fermeture du milieu, et d'autre part, plusieurs indices de biodiversité caractérisant l'état des communautés de plantes et d'oiseaux (diversité, degré de rareté, degré de spécialisation à l'habitat). Ces indices ont été calculés⁶ pour chaque habitat. Le troisième

6. La richesse spécifique de la flore par habitat a été calculée à partir des relevés botaniques (n=433) standardisés. L'indice de rareté de la communauté a été obtenu en pondérant le degré de rareté de chaque espèce (établi à partir de l'atlas de répartition de la flore du Finistère) par sa fréquence mesurée sur les quadras. De la même manière, les indices de rareté et de

indice choisi concerne la taille de la population d'une espèce à forte valeur patrimoniale, le crabe à bec rouge (*Pyrrhocorax pyrrhocorax*) qui fait l'objet d'actions conservatoires locales. La dynamique de population dépend de la qualité des habitats exploités (pelouses rases et prairies), eux-mêmes soumis à la fréquentation et à l'agriculture. La population de crabe a été modélisée sous la forme d'un modèle de dynamique de population spatialisé et individu-centré en modifiant le modèle précédemment établi sur Ouessant (Rouan *et al.*, 2010).

2.5. Simulations

Les surfaces des habitats évoluent selon les dynamiques spontanées de la végétation et les activités anthropiques définies dans le modèle conceptuel. Dépendent des scénarios le type d'activités anthropiques simulé et pour les actions conservatoires, les modalités de leur réalisation (type d'action, sites, surfaces). Afin de comparer les résultats pour un même indice de biodiversité entre les différents scénarios, les valeurs calculées par habitat ont été pondérées par leurs surfaces respectives (variable évoluant au cours des simulations et selon les scénarios), puis sommées pour obtenir une valeur totale sur l'ensemble des habitats. Etant donnée la faible variance obtenue pour les résultats entre les simulations d'un même scénario, les simulations ont été répétées dix fois pour chacun des quatre scénarios.

3. Résultats

3.1. Un Modèle conceptuel consensuel

Le MC validé par les acteurs locaux et les experts fournit un schéma détaillé des habitats naturels et semi-naturels du site Natura 2000, de leurs dynamiques et des actions humaines notamment conservatoires dont ils font l'objet (la mise en défens de zones littorales et l'aménagement des chemins, la coupe de résineux et le dérésinement de lande, l'entretien de lande et la création de mosaïques de milieux) (figure 5).

spécialisation des communautés d'oiseaux par habitat ont été calculés respectivement à partir du degré de rareté des espèces d'oiseaux nicheurs dans le Finistère, et du degré de spécialisation à l'habitat des espèces, pondérés par l'abondance de chaque espèce dans chaque habitat (Julliard *et al.*, 2006). L'abondance par habitat a été obtenue à partir des données du suivi national des tendances des oiseaux communs du MNHN (Jiguet *et al.*, 2012).

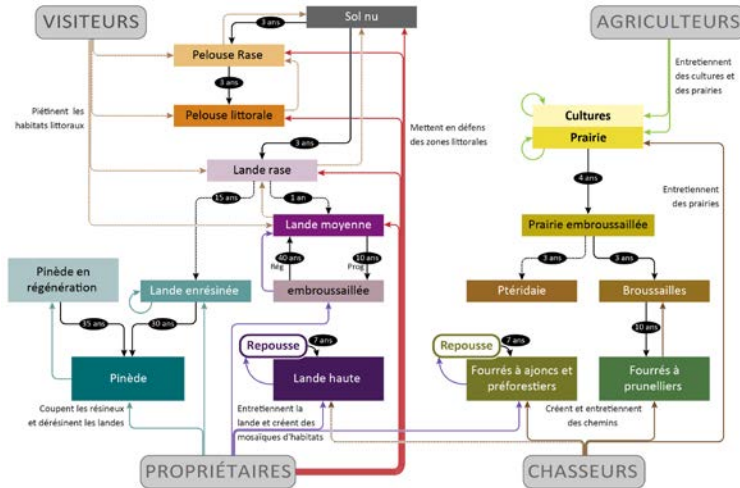


Figure 5. Modèle conceptuel de la presqu'île de Crozon : dynamique des habitats naturels et semi-naturels et actions anthropiques modélisées

3.2. Des indicateurs de biodiversité

La modélisation multi-agents permet d'estimer, à chaque pas de temps, les habitats présents dans les cellules de la grille spatiale. Les simulations des quatre scénarios sont synthétisées à l'aide de différents indicateurs relatifs aux dynamiques de fermeture du milieu et du piétinement à l'horizon temporel de 15 ans (tableau 2). En considérant la surface globale occupée par des stades « fermés » de la végétation (pinède, lande enrésinée, lande haute, fourrés à ajoncs et pré-forestiers, fourrés à prunelliers), les résultats du scénario « Tendances actuelles » indiquent une stabilité. 201,83 ha de milieux ouverts supplémentaires sont trouvés en fin de simulation dans le scénario « Gestion soutenue », tandis que 185,25 ha et 183,14 ha se ferment dans respectivement les scénarios « Arrêt des activités agricoles » et « Sans agriculture et sans action conservatoire ». On note que le piétinement, présenté comme une menace pour les milieux dans le DOCOB, ne semble pas modifier de surfaces conséquentes de pelouses et de landes, et ce quel que soit le scénario. Ce résultat est probablement lié au fait que la fréquentation a été considérée par les acteurs locaux comme canalisée du fait des actions conservatoires mises en place (mise en défens de zones littorales et aménagement des chemins). De plus si le piétinement provoqué par la fréquentation a un effet négatif sur la végétation, il s'opère probablement à une résolution spatiale plus fine que celle de la grille mise en œuvre.

Les simulations renseignent aussi les conséquences des quatre scénarios sur plusieurs indicateurs relatifs aux communautés de plantes et d'oiseaux (figure 6).

Tableau 2. Les variations moyennes de surfaces (ha) de la végétation à $t=15$, par rapport à la situation de 2013 en fonction des quatre scénarios.

		Tendance actuelle	Gestion soutenue	Arrêt des activités agricoles	Sans agriculture et sans action conservatoire
Piétinement		pas de différences significatives			
Enrésinement	Pinède	-17,71	-72,83	+16,85	+13,57
	Lande enrésinée	-4,42	+23,93	-3,86	-3,72
Établissement de fourrés	Prunellier	+10,06	-52,66	+180,02	+180,91
	Ajoncs	-8,59	-93,85	-7,94	-7,48
Lande haute		+0,06	-6,42	+0,18	-0,14
Total (stades fermés)		-20,60	-201,83	+185,25	+183,14

Concernant les plantes, la richesse spécifique peut être considérée comme stable pour les scénarios « Tendance actuelle » et « Gestion soutenue » (figure 6a). Dans les scénarios sans agriculture, elle augmente par l'effet de l'embroussaillage des prairies puis diminue au rythme d'une succession végétale plus pauvre en espèces, pour se stabiliser à une valeur moindre que celle de 2013. La probabilité de rencontrer des espèces rares est supérieure dans le scénario « Gestion soutenue », stable dans le scénario « Tendance actuelle » et inférieure dans l'hypothèse de l'arrêt des activités agricoles (figure 6b) car une majorité d'espèces rares sont liées aux milieux ouverts. Concernant les communautés d'oiseaux, lorsqu'il n'y a plus d'activité agricole, il est moins probable de rencontrer des espèces spécialistes (inféodées à leur habitat) (figure 6c). En effet, les habitats hébergeant des espèces les plus spécialisées sont les pelouses littorales, rases et aérohalines (dont les surfaces ne varient pas beaucoup dans les simulations), puis les prairies. Avec la dynamique d'embroussaillage, le cortège d'espèces inféodées aux prairies est remplacé par celui des fourrés à prunellier, moins spécialisé. Cependant, il y a moins d'espèces rares (à l'échelle du Finistère) dans le cortège d'espèces rencontrées dans les prairies que dans les fourrés à prunellier : l'indice de rareté augmente dans les cas où il n'y a plus d'agriculture (figure 6d). L'indice est inférieur pour le scénario « Gestion soutenue » en raison de surfaces moindres de fourrés à prunellier et de pinède. L'antagonisme constaté entre l'indice de rareté et l'indice de spécialisation pour les communautés d'oiseaux réside dans le fait qu'il n'existe pas de corrélation forte entre espèce rares et espèces spécialisées.

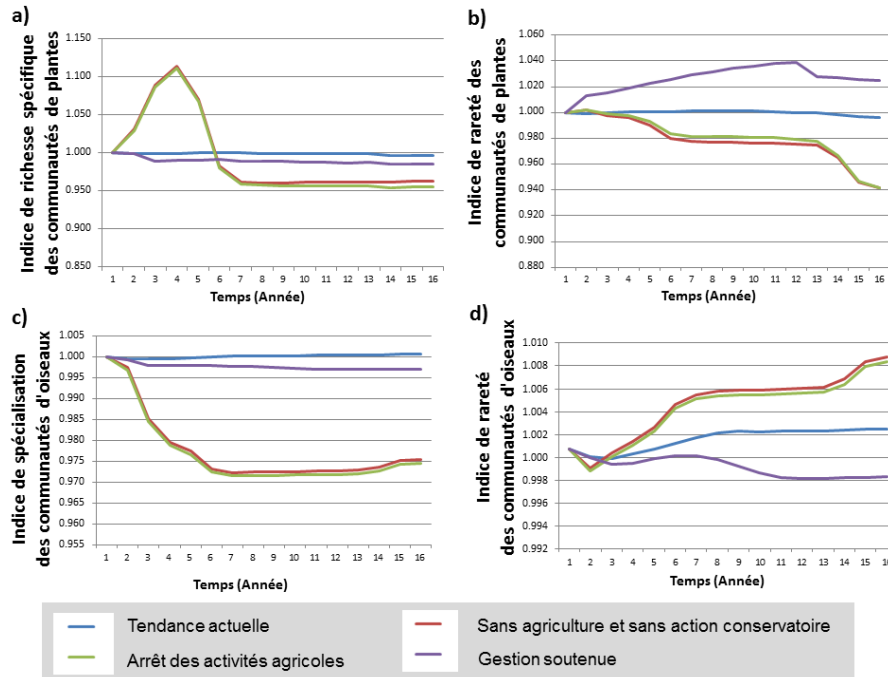


Figure 6. Evolution des indicateurs de biodiversité selon les scénarios. Indices a) de richesse spécifique des communautés de plantes, b) de rareté des communautés de plantes, c) de spécialisation des communautés d'oiseaux, d) de rareté des communautés d'oiseaux. L'échelle des graphiques a été modifiée pour que l'indice à $t=0$ (année 2013) corresponde à une valeur de 1

Concernant le crabe à bec rouge, la taille de la population augmente fortement selon un taux d'accroissement annuel de 5 à 6,7 % (figure 7). Cette tendance, similaire pour tous les scénarios, est due au fait que la population modélisée dispose des ressources nécessaires à son développement (sites de reproduction et zones d'alimentation, dont une partie, les systèmes dunaires, ne subit aucune pression ou évolution sur l'horizon temporel modélisé). Cependant, on constate que les scénarios « Tendence actuelle » et « Gestion soutenue » semblent plus favorables que les deux autres scénarios.

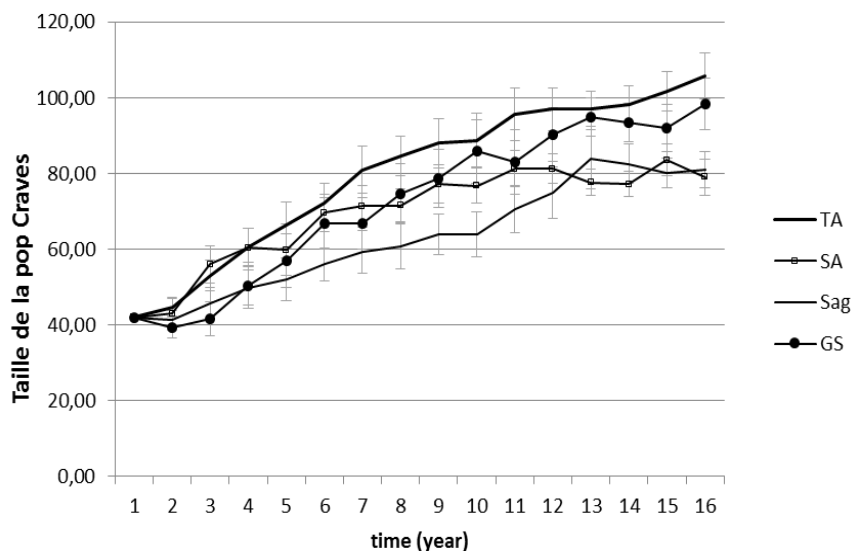


Figure 7. Evolution de la taille de la population de craves à bec rouge selon les scénarios (TA : tendance actuelle ; SA : sans agriculture et sans action conservatoire ; Sag : arrêt des activités agricoles ; GS : gestion soutenue)

4. Discussion et conclusion

4.1. L'apport d'un contexte adapté au processus de modélisation d'accompagnement

La modélisation d'accompagnement, de par sa nature pluridisciplinaire et participative, est une démarche potentiellement riche mais relativement difficile à mettre en œuvre (Daré *et al.*, 2008 ; Charles *et al.*, 2008 ; Chlous-Ducharme et Gourmelon, 2011). Dès la première étape, la co-construction d'un modèle conceptuel implique une somme importante de connaissances socio-écologiques et une capacité de chacun des participants à la généralisation et à l'abstraction du fait du formalisme utilisé. La modélisation d'accompagnement étant mise en œuvre à des échelles locales sur des problématiques territoriales et avec des parties prenantes aux intérêts et objectifs propres, la non-portabilité des modèles développés peut aussi être considérée comme une limite à la démarche. Dans notre étude, l'utilisation d'un modèle conceptuel préexistant (Rouan *et al.*, 2010 ; Gourmelon *et al.*, 2013), élaboré sur un territoire aux caractéristiques et aux enjeux similaires et sur une problématique connexe, a facilité le travail collectif en fournissant une base à déconstruire et à affiner. Evoluant au gré des réunions et des entretiens, le modèle conceptuel a fait fonction d'objet intermédiaire défini par Vinck (2009) comme un support participant à la construction de compromis et de savoirs partagés entre acteurs qui contribue à déplacer leurs points de vue. Les acteurs et experts se sont

saisis du modèle ouessantin et de ses règles sans réticence, l'ont fait évoluer progressivement jusqu'à stabiliser un référentiel commun servant de base à l'étape suivante.

L'implémentation du modèle multi-agents spatialement explicite qui découle du MC nécessite ensuite la disponibilité de multiples données et d'informations géographiques structurées dans un SIG (Gourmelon *et al.*, 2008, 2013). Sans la capacité à mobiliser des informations numériques hétérogènes et à les rendre comparables dans les étapes de calibration et de validation du modèle, la démarche ne peut pas aboutir. Alors que la validation est généralement une question épineuse en modélisation spatiale (Houet, 2015), l'existence d'une couche d'information géographique relative aux habitats naturels et semi-naturels en 1999 élaborée dans le cadre de Natura 2000 a permis d'évaluer l'ordre de grandeur des incertitudes et de valider le modèle.

Si Natura 2000 a fourni un cadre propice à la fourniture des données, des informations spatiales et de certains scénarios de gestion (DOCOB), il a aussi et surtout activé un réseau d'acteurs locaux impliqués. Dans certains cas, la modélisation d'accompagnement se heurte à un problème de légitimité de la scène porteuse de l'expérimentation (Steyaert *et al.*, 2007 ; Becu *et al.*, 2008 ; Gourmelon *et al.*, 2013). Or la concertation mise en place lors de l'élaboration du DOCOB est fondée sur la participation d'acteurs locaux représentatifs qui ont été remobilisés dans le cadre de l'étude et qui ont estimé lors du *debriefing* final⁷ réalisé au cours du dernier atelier, que l'espace de discussion créé par la démarche générale 1) avait permis d'accéder à une vision et/ou une réflexion collective centrée sur le futur de l'ensemble de la zone étudiée (et pas seulement sur leur territoire d'action) ou sur les milieux naturels, 2) et avait facilité l'échange non seulement entre acteurs locaux agissant à différents niveaux mais aussi avec les chercheurs. En particulier, les étapes d'élaboration des scénarios et des simulations ont été considérées comme un support de discussion utile, apportant des éléments pertinents pour la gestion des espaces naturels en presqu'île de Crozon et favorisant une gestion concertée. De cette expérimentation, certains participants ont envisagé des perspectives opérationnelles. Par exemple, alors qu'aucun scénario de relance agricole n'avait été évoqué lors du premier atelier participatif, les indicateurs issus des simulations ont provoqué des discussions, lors du deuxième atelier, sur la possibilité de réinstaller des activités agricoles, alternative préférable à la multiplication des actions conservatoires jugées trop coûteuses au regard de leur impact potentiel sur les habitats et espèces. Les acteurs ont alors formulé une requête concrète à partir de plusieurs règles dans l'hypothèse de l'installation de nouvelles exploitations agricoles. En tenant compte de ces règles et en mobilisant l'information

7. Un questionnaire comportant dix questions concernant le déroulement du projet, l'échelle d'étude, les indicateurs, les difficultés rencontrées pour mettre en place les actions conservatoires, les résultats et les perspectives opérationnelles, a été rempli par les participants, à partir duquel une discussion s'est engagée.

géographique disponible, les possibilités d'installation d'exploitations agricoles sur le territoire ont été simulées et présentées lors du dernier atelier. D'autres scénarios ont été évoqués de même que la possibilité de s'approprier le simulateur de manière à l'utiliser indépendamment des scientifiques. Si l'intérêt d'une partie des participants pour l'expérimentation est indiscutable, son apport aux objectifs de Natura 2000 est à ce stade de l'ordre de la concertation et de la sensibilisation plus que de l'aide à la gestion dans ses dimensions prospectives et adaptatives. Les résultats ont en effet fourni des informations pertinentes pour la gestion mais néanmoins relativement générales (à l'image du scénario « Gestion soutenue » qui intègre toutes les actions de gestion décrites dans le DOCOB). A l'issue de l'expérimentation, il n'a donc pas été possible d'établir quelles options de gestion parmi toutes celles envisagées pouvaient avoir un impact positif, devaient être favorisées et réalisées concrètement. De plus, la comparaison des résultats des différents scénarios ainsi conçus, indique que la reprise d'activités agricoles est préférable à la mise en œuvre d'actions de gestion, solution qui dépasse le cadre de Natura 2000.

4.2. La pertinence de la dimension locale de la modélisation d'accompagnement

A l'échelle globale, les activités agricoles sont souvent considérées comme un facteur de réduction de la biodiversité (Stoate *et al.*, 2009). Or dans notre étude, comme dans celles menées par Daily (2001) et Rosenzweig (2003), elles jouent un rôle important dans le maintien d'espèces rares et spécialistes. Le fait que les composantes de la biodiversité prises en compte seraient favorisées par le panel des actions conservatoires mises en œuvre actuellement n'est pas démontré dans notre étude. Il est probable que les savoirs et documents techniques (Bensettiti *et al.*, 2004) sur lesquels s'appuient les mesures de gestion inscrites au DOCOB ne puissent s'appliquer partout de manière uniforme, d'où l'intérêt de disposer de données et d'expertises locales pour affiner ces préconisations.

Les résultats indiquent aussi que les différents indices de biodiversité peuvent répondre de manière contraire à un même scénario. La multiplication d'actions conservatoires aurait ainsi des effets variables sur les espèces rares selon les communautés. Par exemple, l'arrêt des activités agricoles serait défavorable aux communautés de plantes, aux espèces d'oiseaux spécialistes tandis qu'il favoriserait certaines espèces d'oiseaux plus rares à l'échelle du département. Ces résultats témoignent de la difficulté à répondre à un objectif « d'optimisation de la biodiversité » et pose la question de la priorisation des espèces/des biotopes à conserver en fonction de différents critères écologiques, sociaux et économiques (Wilson *et al.*, 2006 ; Freudenberg *et al.*, 2013). Ces approches sont souvent menées à l'échelle globale afin de définir des zones prioritaires de conservation et/ou d'optimiser le financement de la conservation entre plusieurs régions. Dans la pratique, et en particulier à des échelles locales, ces choix sont soumis à des réalités complexes.

L'hypothèse selon laquelle le potentiel des outils scientifiques prospectifs devrait permettre d'affiner les stratégies de gestion de la biodiversité énoncées dans les documents d'objectifs n'a été vérifiée qu'en partie dans notre étude. La raison principale provient des difficultés rencontrées par les acteurs locaux pour anticiper et prévoir des actions conservatoires. En effet, en presqu'île de Crozon, le foncier est très morcelé et les réglementations (site classé, loi littoral) très contraignantes⁸. De la difficulté d'obtenir les autorisations sur des surfaces suffisamment conséquentes pour justifier une action conservatoire, résulte une forme de sanctuarisation de certains milieux qui s'oppose à leur préservation (nécessitant des actions conservatoires). Selon les acteurs locaux impliqués dans la démarche, si la mise en place d'actions conservatoires était moins contrainte juridiquement, les outils mobilisés (scénarisations et simulations) auraient été utiles pour tester des stratégies de gestion permettant d'atteindre un ou plusieurs objectifs du DOCOB. Ce paradoxe révèle un décalage entre les réalités territoriales et les dynamiques écologiques qui, d'après Cumming *et al.* (2006), réduit la capacité de résilience du système. L'inertie entraînée par les contraintes s'exerçant sur la mise en place d'action de gestion peut aboutir à des états écologiques dégradés, très coûteux à restaurer, si ce n'est irréversibles (dynamiques menant à des disparitions de communautés d'espèces). Selon ces auteurs, il est donc nécessaire de concevoir des outils pour diagnostiquer ces décalages et comprendre les mécanismes qui maintiennent des dispositifs institutionnels inappropriés par rapport aux dynamiques écologiques. La modélisation d'accompagnement peut les mettre en évidence et fournir une étape préliminaire à l'analyse de leurs causes. Sans ambitionner leur résolution, leurs conséquences peuvent être communiquées à l'aide de simulations et d'indicateurs pertinents à des fins de sensibilisation et de décision.

Remerciements

L'étude a été réalisée grâce au soutien du CNRS et de la Fondation de France dans le cadre de son programme « Quels littoraux pour demain ». Les auteurs remercient ces organismes ainsi que l'ensemble des participants à l'expérimentation, le Conservatoire botanique national de Brest pour la fourniture d'information géographique, B. Clément pour son expertise botanique et L. David pour la cartographie.

Bibliographie

Arletta R., Schaub M., Fournier J., Reichlin T.S., Sierro A., Watson J.E.M. Braunisch V. (2010). From Publications to Public Actions: When Conservation Biologists Bridge the Gap between Research and Implementation. *BioScience*, vol. 60, n° 10, p. 835-842.

8. Il faut compter plusieurs années pour qu'un dossier soit complet après l'identification du besoin de réaliser une opération de gestion.

- Barreteau O., Le Page C. (2011). Using social simulation to explore the dynamics at Stake in participatory research. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*, vol. 14, n° 4, 12. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/14/4/12.html>
- Becu N., Neef A., Schreinemachers P., Sangkapitux C. (2008). Participatory Computer Simulation to Support Collective Decision-making: Potential and Limits of Stakeholder Involvement. *Land Use Policy*, vol. 5, n° 4, p. 498-509.
- Bensettiti F., Bioret F., Roland J., Lacoste J.P. (2004). *Cahiers d'habitats Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 2 - Habitats côtiers*. MEDD/MAAPAR/MNHN, La Documentation française, Paris.
- Braunisch V., Home R., Pellet J., Arlettaz R. (2012). Conservation Science Relevant to Action: A Research Agenda Identified and Prioritized by Practitioners. *Biological Conservation*, 153, p. 201-210.
- Charles M., Chlous-Ducharme F., Faugère E., Wintz M. (2008). Science et démocratie dans la gestion de la nature: des ethno-sociologues pris dans la modélisation d'accompagnement. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 8, n° 2, <http://vertigo.revues.org/4999>
- Chlous-Ducharme F., Gourmelon F. (2011). Modélisation d'accompagnement : appropriation de la démarche par différents partenaires et conséquences. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, 11, 3, <http://vertigo.revues.org/12163>
- ComMod (2005). La Modélisation Comme Outil D'accompagnement. *Natures Sciences Sociétés*, vol. 13, n° 2, p. 165-68.
- Costanza R. (2014). A Theory of Socio-ecological System Change. *Journal of Bioeconomics*, vol. 16, n° 1, p. 39-44.
- Cumming G.S., Cumming D.H.M., Redman C.L. (2006). Scale Mismatches in Social-ecological Systems: Causes, Consequences, and Solutions. *Ecology and Society*, vol. 11, n° 1, 14. <http://www.ecologyandsociety.org/vol11/iss1/art14/>
- Daily G.C. (2001). Ecological Forecasts. *Nature*, vol. 411, n° 6835, p. 245-245.
- D'Aquino P., Papazian H. (2012). A Ten-years-after Impact Analysis of a Companion Modelling Approach. Final Evaluation Report. <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00875354/>.
- Daré W., Aubert S., Bah A., Botta A., Diop-Gaye I., Fourage C., Lajoie G., Leclerc G. (2008). Difficultés de la participation en recherche-action: retour d'expériences de modélisation d'accompagnement en appui à l'aménagement du territoire au Sénégal et à la Réunion. *VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement*, vol. 8, n° 2. <http://vertigo.revues.org/5012>.
- Etienne M. (2011). *La modélisation d'accompagnement, une démarche participative en appui au développement durable*, Quae, Paris.
- Etienne M., Du Toit D.R., Pollard S. (2011). ARDI: a Co-construction Method for Participatory Modeling in Natural Resources Management. *Ecology and Society*, vol. 16, n° 1, p. 1-14.

- Evans D. (2012). Building the European Union's Natura 2000 Network. *Nature Conservation*, 1, p. 11-26.
- Freudenberger L., Hobson P., Schluck M., Kreft S., Vohland K., Sommer H., Reichle S., Nowicki C., Barthlott W., Ibsch P.L. (2013). Nature Conservation: Priority-setting Needs a Global Change. *Biodiversity and Conservation*, vol. 22, n° 5, p. 1255-1281.
- Gourmelon F., Etienne M., Rouan M., Kerbiriou C., Charles M., Bioret F., Chlous-Ducharme F., Guermeur Y., Levrel H. (2008). Eléments de prospective environnementale dans une réserve de biosphère. *Cybergéo*, article 429. http://www.cybergegeo.eu/index_20343.html
- Gourmelon F., Chlous-Ducharme F., Kerbiriou C., Rouan M., Bioret F. (2013). Role-playing Game Developed from a Modelling Process: A Relevant Participatory Tool for Sustainable Development? A Co-construction Experiment in an Insular Biosphere Reserve. *Land Use Policy*, 32 (May), p. 96-107.
- Gurung T.R., Bousquet F., Trébuil G. (2006). Companion Modeling, Conflict Resolution, and Institution Building: Sharing Irrigation Water in the Lingmutyechu Watershed, Bhutan. *Ecology & Society*, vol. 11, n° 2, p. 782-830.
- Hardegen M., Magnanon S., Bioret F., Gourmelon F. (2001). La cartographie des habitats terrestres du réseau Natura 2000 En Bretagne. *Mappemonde*, vol. 64, n° 2001.4, p. 19-23.
- Houet T. (2015). Usages des modèles spatiaux pour la prospective. *Revue internationale de géomatique*, numéro spécial « Traitement de l'information et prospective », F. Gourmelon et R. Thibaud (dir.), vol. 25, n° 1/2015, p. 123-143
- Hulme P.E. (2011). Practitioner's Perspectives: Introducing a Different Voice in Applied Ecology. *J. Appl. Ecol.* vol. 48, n° 1, p. 1-2.
- Irwin A. (1995). *Citizen Science: A Study of People, Expertise, and Sustainable Development*. Psychology Press.
- Julliard R., Clavel J., Devictor V., Jiguet F., Couvet D. (2006). Spatial segregation of specialists and generalists in bird communities. *Ecology Letters*, 9, p. 1237-44.
- Jiguet F., Devictor V., Julliard R., Couvet D. (2012). French citizens monitoring ordinary birds provide tools for conservation and ecological sciences. *Acta Oecologica* 44, p. 58-66.
- Kerbiriou C., Leviol I., Robert A., Porcher E., Gourmelon F., Julliard R. (2009). Tourism in protected areas can threaten wild populations: from individual response to population viability of the chough *pyrrhocorax pyrrhocorax*. *Journal Applied Ecology*, 46, p. 657-665.
- Knight A.T., Cowling R.M., Rouget M., Balmford A., Lombard A.T., Campbell B.M. (2008). Knowing but Not Doing: Selecting Priority Conservation Areas and the Research-implementation Gap. *Conservation Biology*, vol. 22, n° 3, p. 610-617.
- Laurance W.F., Koster H., Grooten M., Anderson A.B., Zuidema P.A., Zwick S., Zagt R.J., Lynam A.J., Linkie M., Anten N.P.R. (2012). Making Conservation Research More Relevant for Conservation Practitioners. *Biological Conservation*, 153, p. 164-168.
- Levrel H., Etienne M., Kerbiriou C., Le Page C., Rouan M. (2009). Co-modeling Process, Negotiations, and Power Relationships: Some Outputs from a MAB Project on the Island of Ouessant. *Society and Natural Resources*, vol. 22, n° 2, p. 172-188.

- McLaughlin, D. W. (2011). Land, Food, and Biodiversity. *Conservation Biology*, vol. 25, n° 6, p. 1117-1120.
- Milian J. (2001). Le Projet Natura 2000 et La Protection Du Patrimoine Naturel. *Etudes Rurales*, vol. 1, n° 157-158, p. 173-194.
- Milner-Gulland, E. J., Barlow J., Cadotte M.W., Hulme P.E., Kerby G., Whittingham M.J. (2012). Ensuring Applied Ecology Has Impact. *Journal of Applied Ecology*, vol. 49, n° 1, p. 1-5.
- Opdam P. (2010). Learning Science from Practice. *Landscape Ecology*, vol. 25, n° 6, p. 821-823.
- Pressey R.L., Cabeza M., Watts E.E., Cowling R.M., Wilson K.A. (2007). Conservation planning in a changing world. *Trend in Ecology and Evolution*, 22, p. 583-592.
- Rosenzweig M.L. (2003). *Win-win Ecology: How the Earth's Species Can Survive in the Midst of Human Enterprise*. Oxford University Press.
- Rouan M., Kerbiriou C., Levrel L., Etienne M. (2010). A Co-modelling Process of Social and Natural Dynamics on the Isle of Ouessant: Sheep, Turf and Bikes. *Environmental Modelling & Software*, vol. 25, n° 11, p. 1399-1412.
- Simon C., Etienne M. (2010). A Companion Modelling Approach Applied to Forest Management Planning. *Environmental Modelling & Software*, vol. 25, n° 11, p. 1371-1384.
- Steyaert P., Barzman M., Billaud J.P., Brives H., Hubert B., Ollivie G., Roche B. (2007). The role of knowledge and research in facilitating social learning among stakeholders in natural resources management in the French Atlantic coastal wetlands. *Environmental Science & Policy*, 10, p. 537-550.
- Stoate C., Báldi A., Beja P., Boatman N.D., Herzon I., Van Doorn A., De Snoo G.R., Rakosy L., Ramwell C. (2009). Ecological Impacts of Early 21st Century Agricultural Change in Europe. A Review. *Journal of Environmental Management*, vol. 91, n° 1, p. 22-46.
- Vanpeene Bruhier S. (2010). État Des Lieux de La Procédure Natura 2000 En France et Analyse de L'importance de La Gestion Par L'agriculture et La Sylviculture. <http://www.set-revue.fr/etat-des-lieux-de-la-procedure-natura-2000-en-france-et-analyse-de-limportance-de-la-gestion-par-lag>
- Vinck D. (2009). De l'objet intermédiaire à l'objet frontière. *Revue d'Anthropologie des connaissances*, vol. 3, n° 1, p. 51-72.
- Wilson K.A., McBride M.F., Bode M., Possingham H.P. (2006). Prioritizing Global Conservation Efforts. *Nature*, vol. 440, n° 7082, p. 337-340.
- Young O.R., Berkhout F., Gallopin G.C., Janssen M.A., Ostrom E., van der Leeuw S. (2006). The Globalization of Socio-ecological Systems: An Agenda for Scientific Research. *Global Environmental Change*, vol. 16, n° 3, p. 304-16.