HAL open science

Services écosystémiques et changement climatique

Bruno Locatelli

To cite this version:

Bruno Locatelli. Services écosystémiques et changement climatique. Environnement et Société. Université de Grenoble, 2013. tel-00931871

HAL Id: tel-00931871

https://theses.hal.science/tel-00931871

Submitted on 16 Jan 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Université Joseph Fourier à Grenoble

Mémoire présenté en vue d'obtenir L'HABILITATION A DIRIGER DES RECHERCHES

par **Bruno LOCATELLI**

Chercheur au CIRAD (La Recherche Agronomique pour le Développement), Montpellier, France.

Unité de Recherche BSEF (Biens et services des écosystèmes forestiers tropicaux).

Associé au CIFOR (Centre for International Forestry Research), Bogor, Indonésie

SERVICES ECOSYSTEMIQUES ET CHANGEMENT CLIMATIQUE

Soutenance prévue le 24 juin 2013 devant le jury suivant :

Bernard HUBERT	Directeur de recherche émérite à l'INRA, directeur d'études à l'EHESS, président d'Agropolis International	Rapporteur
Eric LAMBIN	Professeur au « Earth & Life Institute » de l'Université catholique de Louvain (Belgique), George and Setsuko Ishiyama Provostial Professor at the School of Earth Sciences and Senior fellow at the Woods Institute for the Environment, Stanford University (USA).	Rapporteur
Philippe MERAL	Directeur de recherches à l'IRD (UMR GRED), chercheur associé à l'UMR LAMETA	Rapporteur
Denis GAUTIER	Chercheur au CIRAD, associé au CIFOR	Examinateur
Sandra LAVOREL	Directrice de recherche au Laboratoire d'Ecologie Alpine, UMR 5553, CNRS - Université de Grenoble	Examinateur
Jean-Michel SALLES	Directeur de recherche CNRS, directeur de l'UMR5474 LAMETA	Examinateur

Sommaire

1. Introduction 6
2. Contexte et cadre conceptuel 7
   2.1. Changement climatique : adaptation et atténuation 7
   2.2. Services écosystémiques et bien-être humain 8
   2.3. Services écosystémiques et changement climatique 10
   2.4. Cadre conceptuel 13
   2.5. Agenda de recherche 14
3. Evolution des questions et activités de recherche 16
   3.1. Introduction 16
   3.2. Recherche passée sur l'atténuation 18
   3.3. Recherche passée sur les impacts écologiques du changement climatique 18
      Impacts du changement climatique sur les écosystèmes 18
      Quelles mesures d'adaptation ? 20
4. Services écosystémiques et adaptation aux variations climatiques : Recherche et résultats 22
   4.1. Services écosystémiques et adaptation : analyse de la littérature scientifique 22
      Aperçu : Six cas 22
      Cas 1 : Produits et communautés locales 23
      Cas 2 : Arbres et agriculture 25
      Cas 3 : Bassins versants forestiers 27
      Cas 4 : Zones côtières 29
      Cas 5 : Villes 30
      Cas 6 : Climat régional 31
      Discussion 31
   4.2. Services écosystémiques et adaptation de communautés locales : analyses de terrain 34
      Exemple du Mali 34
      Exemple de la Papouasie 35
      Discussion 35
   4.3. Identifier et cartographier les services écosystémiques dans des paysages 36
      Comment cartographier les flux de services 36
      Services hydrologiques en Amérique Centrale 37
   4.4. Les services écosystémiques dans les politiques et instruments pour l'adaptation 38
      Programmes nationaux d'adaptations 38
      Paiements pour services et adaptation 38
      Impacts de paiements pour services environnementaux au Costa Rica 39

4.5. Synergies entre politiques et entre services 40
Synergies entre adaptation et atténuation 40
Synergies entre services 41
5. Recherches futures 46
5.1. Transitions de services écosystémiques 46
Origine : les transitions forestières 46
Cadre conceptuel proposé 47
5.2. Articulation des questions de recherche 49
5.3. Projets de recherches, partenaires et sites 50
6. Parcours du candidat 53
6.1. Déroulement de carrière 53
6.2. Formation 54
6.3. Domaines d'intérêt 54
6.4. Publications 54
Articles dans des revues à facteur d'impact 54
Articles dans des revues sans facteur d'impact 56
Ouvrages 57
Chapitres d'ouvrages 58
Citations 59
6.5. Encadrements 59
Co-direction de thèses 59
Comités de thèses 60
Encadrement de mastères 60
6.6. Diversité dans les collaborations 61
6.7. Enseignements 61
6.8. Projets de recherche and financements 62
Terminés 62
En cours 62
6.9. Interactions science-société 63
6.10. Responsabilités administratives 64
6.11. Autres activités 64
7. Références 66

Liste des figures

Figure 1. La différence entre adaptation et atténuation du changement climatique 7

Figure 2 : Exemples de services écosystémiques et leurs liens avec le bien-être humain, d'après MEA (2005). 9

Figure 3. Les composantes de la vulnérabilité (définition du GIEC) 10

Figure 4. Les services écosystémiques et leurs liens avec la vulnérabilité au changement climatique (Locatelli *et al.*, 2008a) 12

Figure 5. Cadre conceptuel sur le changement climatique et les services écosystémiques 13

Figure 7. Proportion de scénarios climatiques à l'intérieur du groupe de scénarios A2 montrant (a) au moins 20% de changement dans les quantités d'eau ruisselées (b) 20% dans l'évapotranspiration, (c) 20% dans l'indice foliaire, ou (d) un changement de type dominant de végétation. Les échelles de couleur en deux dimensions renseignement sur les proportions de scénarios : par exemple le rouge foncé dans (a) montre qu'il y a 100% de scénarios montrant une réduction d'au moins 20% du ruissellement (Imbach *et al.*, 2012) 19

Figure 8. Six cas d'adaptation basée sur les écosystèmes : Produits, agriculture, bassins versants, côtes, villes et climat régional 23

Figure 9. Trois représentations de la production et la demande dans les évaluations de services écosystémiques (1: La production de services est spatialement explicite mais la demande n'est pas considérée; 2: La production et la demande sont spatialement explicites mais les services sont produits et utilisés aux mêmes endroits; 3: La production et la demande sont spatialement explicites, de même que les flux de services d'où ils sont produits vers où ils sont utilisés). 37

Figure 10. Représentation de flux de services écosystémiques : écosystèmes, filtres et usagers (Locatelli *et al.*, 2011b). 37

Figure 11. Quatre approches pour l'étude des relations entre services (1 : Corrélation entre services; 2: Synergies et trade-offs entre services dans le temps; 3: Congruence ou divergence spatiale entre service; 4: Synergies et trade-offs entre services dans le temps et l'espace 42

Figure 12. Trois perspectives sur les relations spatiales entre services (1 : synergies entre politiques en raison de la congruence spatiale de leur zones prioritaires, 2 : congruence spatiale entre services, 3 : synergie entre une politique pour un service et la conservation d'autres services) 43

Figure 13. Cadre d'évaluation de services écosystémiques au Costa Rica. Les indicateurs de provision et de demande des services sont normalisés et ajoutés. Les critères de provision et de demande sont ensuite agrégés par l'opérateur logique « ET » avec une approche de logique floue (Locatelli *et al.*, forthcoming) 44

Figure 14. Cartes de services écosystémiques au Costa Rica. Dans chaque quadrant, la carte la plus grande représente la valeur d'un des quatre services considérés dans l'étude. Les cartes les plus petites montrent les critères ou indicateurs utilisés pour ces services, comme indiqué dans la figure 13 (Locatelli *et al.*, forthcoming) 45

Figure 15. De la transition forestière aux transitions de services écosystémiques 48

Figure 16. Les niveaux multiples d'influence sur la gestion des écosystèmes et de provision de services 50

Figure 18. Terrains principaux (Amérique du Sud) et secondaires (Burkina Faso, Cameroun, Indonésie) 52

Figure 17. Origine (à gauche) et genre (à droite) des étudiants encadrés 61

Figure 18 : Origine (à gauche) et genre (à droite) des co-auteurs de publications 61

Liste des tableaux

Tableau 1. Principales différences entre l'atténuation et l'adaptation 8

Tableau 2. Questions de recherche proposées dans la littérature 15

Tableau 3. Aperçu des questions générales, des périodes de travail sur ces questions et des approches 16

1. Introduction

Ce mémoire d'HDR présente une recherche sur le changement climatique et les services écosystémiques, en particulier ceux des forêts tropicales. Les écosystèmes jouent un rôle important dans l'atténuation du changement climatique (limitation de l'accroissement des gaz à effet de serre dans l'atmosphère) par le biais de la séquestration du carbone. Ils contribuent aussi à l'adaptation de la société (réduction des effets néfastes du changement climatique), mais cette contribution est peu explorée. L'agriculture et les forêts sont fortement liées à l'atténuation et à l'adaptation, en raison de leurs émissions de gaz à effet de serre, leur vulnérabilité et leur place dans les moyens d'existence des populations rurales. Dans ces secteurs, des recherches sont nécessaires pour analyser comment atténuation et adaptation peuvent être mises en œuvre en synergie, mais les arbitrages entre ces deux approches sont aussi à étudier.

Le mémoire introduit le cadre conceptuel utilisé pour étudier les liens entre services écosystémiques et changement climatique (chapitre 2). Il présente l'évolution des questions de recherche sur l'évaluation des services et des instruments associés, comme le Mécanisme de Développement Propre (MDP), les Paiements pour Services Environnementaux (PSE) et les plans d'action nationaux pour l'adaptation (PANA) (chapitre 3). Des recherches conduites ces dernières années sont détaillées dans le chapitre 4, comme des études locales sur l'adaptation ou le développement d'approches pour cartographier les services écosystémiques et leurs relations et évaluer des instruments politiques. Les résultats incluent une analyse de la contribution des écosystèmes à l'adaptation de la société à travers six cas de figure (produits et communautés, arbres et agriculture, bassins versants forestiers, zones côtières, villes, climat régional). Le mémoire présente un projet de recherche sur les transitions de services écosystémiques, leurs moteurs et leurs effets sur la société dans un contexte de changement global (chapitre 5). Finalement le parcours du candidat à l'HDR est détaillé dans le chapitre 6.

2. Contexte et cadre conceptuel

2.1. Changement climatique : adaptation et atténuation

Les différents rapports d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC ou IPCC) ont montré que le climat mondial se modifie en raison des activités humaines. Depuis le premier rapport du GIEC publié en 1990, les connaissances scientifiques se sont accrues et des politiques ont été mises en œuvre aux échelles internationale, nationale et sous-nationale. Sur le plan international, les mesures les plus notables prises pour faire face au changement climatique – la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC ou UNFCCC, établie en 1992) et le Protocole de Kyoto (1997) – sont axées sur l'atténuation plutôt que sur l'adaptation.

L'atténuation et l'adaptation sont deux stratégies pour faire face au problème du changement climatique (Figure 1). L'atténuation est une intervention visant à réduire les sources ou augmenter les puits de gaz à effet de serre. L'adaptation est « un ajustement des systèmes naturels ou humains en réponse à des stimuli climatiques présents ou futurs ou à leurs effets, afin d'en atténuer les effets néfastes ou d'exploiter des opportunités bénéfiques »(McCarthy, 2001).

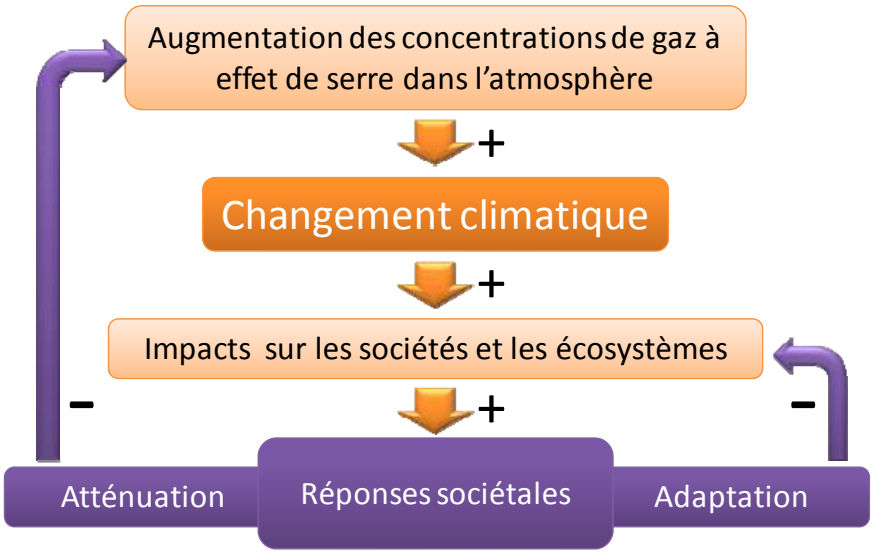


Figure 1. La différence entre adaptation et atténuation du changement climatique

Malgré son retard sur l'atténuation, l'adaptation gagne de l'importance dans l'arène des politiques sur le changement climatique, car les acteurs réalisent que le changement climatique est inévitable et qu'il faudra un certain temps avant que les politiques d'atténuation donnent des résultats, en raison de la lenteur de la prise de décision pour l'atténuation et l'inertie des systèmes économique et climatique (Burton, 2005). Le tabou sur l'adaptation (en effet considérée d'abord comme une échappatoire à des mesures ambitieuses d'atténuation) a progressivement disparu (Pielke *et al.*, 2007). En décembre 2007, en conclusion de la Conférence des Nations Unies sur le changement

climatique à Bali, l'adaptation est devenue l'un des quatre éléments constitutifs du Plan d'action de Bali au même titre que l'atténuation, les transferts de technologie et le financement des mesures. D'autres avancées ont depuis eu lieu sur l'adaptation, par exemple avec une décision sur le « Cancún Adaptation Framework » en 2010 ou le démarrage de fonds internationaux pour l'adaptation (Pramova et Locatelli, 2011).

L'atténuation et l'adaptation présentent des différences notables, en plus de celles de leurs objectifs (Tableau 1) (Klein *et al.*, 2005; Kok et de Coninck, 2007; Tol, 2005). Ces deux approches concernent des échelles spatiales différentes : même si le changement climatique est une préoccupation internationale, les bénéfices de l'adaptation sont locaux et ceux de l'atténuation sont globaux L'atténuation et l'adaptation se différencient aussi par leurs échelles temporelles et les secteurs économiques concernés (Tol, 2005).

Tableau 1. Principales différences entre l'atténuation et l'adaptation

	Atténuation	**Adaptation**
Echelle spatiale	D'abord un problème international, car l'atténuation fournit des bénéfices globaux	D'abord un problème local, car l'adaptation fournit surtout des bénéfices locaux
Echelle temporelle	A un effet à long terme en raison de l'inertie du système climatique	Peut avoir un effet à court terme sur la réduction de la vulnérabilité
Secteurs	Une priorité pour les secteurs de l'énergie, des transports, de l'industrie et des déchets	Une priorité pour les secteurs de l'eau ou de la santé et les zones côtières
	Atténuation et adaptation sont toutes les deux pertinentes pour les secteurs de l'agriculture et la forêt	

2.2. Services écosystémiques et bien-être humain

Il existe de nombreuses conceptualisations des services écosystémiques (Boyd et Banzhaf, 2007; de Groot *et al.*, 2002; Fisher *et al.*, 2009; Johnston et Russell, 2011; Lamarque *et al.*, 2011; Méral, 2012; Turner et Daily, 2008). L'Evaluation des écosystèmes pour le Millénaire (MEA, 2005) définit les services écosystémiques comme étant les bénéfices que les humains tirent des écosystèmes. D'après le MEA, trois types de services écosystémiques contribuent directement au bien-être humain (Figure 2): les services de prélèvement (aussi appelés produits écosystémiques), comme les aliments et le bois de chauffage ; les services de régulation, comme la régulation de l'eau, du climat ou de l'érosion des sols ; et les services culturels, comme les services récréatifs, spirituels ou religieux. Outre ces trois types, les services d'auto-entretien représentent un quatrième type et comprennent les services qui sont nécessaires à la production d'autres services, comme la production primaire, le cycle des nutriments et la formation des sols.

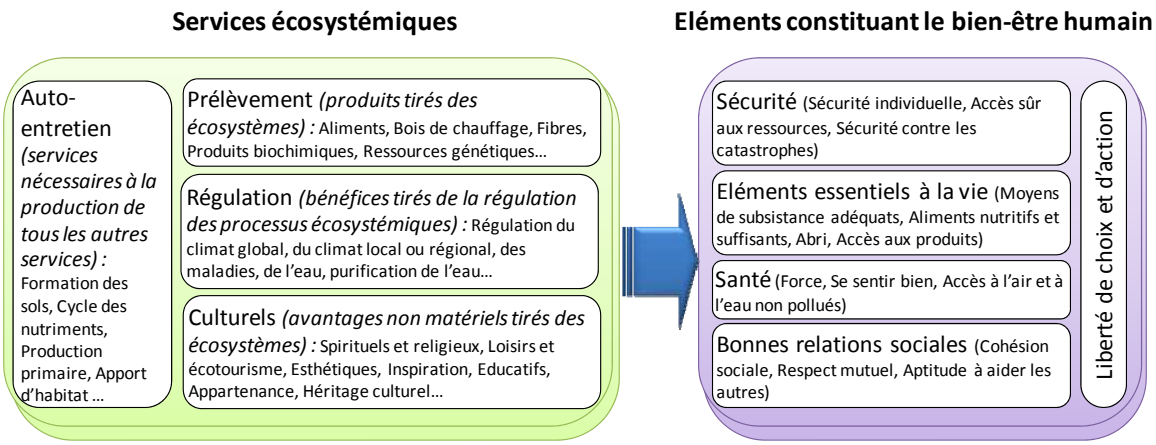


Figure 2 : Exemples de services écosystémiques et leurs liens avec le bien-être humain, d'après MEA (2005).

Les forêts tropicales recouvrent moins de 10 % de la superficie terrestre du globe, mais elles procurent d'importants services écosystémiques à diverses échelles, allant des services locaux (comme le bois, les produits forestiers non ligneux, la pollinisation et la beauté du paysage) aux services mondiaux (comme la séquestration de carbone), en passant par les services régionaux (comme les services hydrologiques). La richesse biologique des forêts tropicales contribue à la fourniture de nombreux services écosystémiques.

De nombreux services de régulation sont assurés par les forêts tropicales. Celles-ci jouent un rôle important dans la régulation du climat mondial, car elles séquestrent une large quantité de carbone, environ 200 milliards de tonnes dans la végétation (soit 45 % du carbone séquestré dans la végétation du monde) et autant dans les sols jusqu'à une profondeur d'un mètre (soit 11 % du carbone dans les sols du monde) (Watson *et al.*, 2000).

D'autres services de régulation sont locaux ou régionaux, comme la purification de l'eau, la modération des inondations et de la sècheresse, la détoxification et la décomposition des déchets, la production et le renouvèlement des sols, la pollinisation des cultures et de la végétation naturelle, le contrôle des parasites, la dispersion de graines et la modération des températures extrêmes et de la force des vents et des vagues (Daily *et al.*, 1997). Un exemple important dans un contexte de changement climatique est le rôle des forêts pour réguler l'eau en quantité et qualité. Même si les forêts ne sont pas une panacée pour toutes les difficultés associées à l'eau (comme la sècheresse dans les régions sèches ou les inondations à grande échelle), leur contribution à la protection du débit de base, à la réduction des débits lors d'averses, à la préservation de la qualité de l'eau, et à la réduction de la charge sédimentaire, a été démontrée en de nombreux lieux (Bruijnzeel, 2004).

Les services écosystémiques influent sur tous les aspects du bien-être humain présentés dans la Figure 2. Les services écosystémiques accroissent la sécurité des populations qui vivent à proximité – par exemple, grâce au rôle protecteur que jouent les services régulateurs contre les catastrophes naturelles. Les services écosystémiques sont directement liés aux revenus, à la sécurité alimentaire

et à la disponibilité de l'eau, qui sont des éléments essentiels à la vie. La santé humaine est aussi liée aux forêts, comme l'ont montré bon nombre d'études et de synthèses (Colfer *et al.*, 2006). Les relations sociales dépendent également des écosystèmes, grâce à leur support à des activités de loisirs et à des valeurs culturelles associées à certains habitats ou espèces. Les services écosystémiques sont aussi liés à la liberté – la capacité de décider quel mode de vie mener. Citons comme exemple la dégradation des services hydrologiques ou des ressources en bois de chauffage, qui peuvent accroître le temps que les populations locales passent à ramasser du bois et aller chercher de l'eau ; elles ont donc moins de temps à consacrer à l'éducation, à l'emploi ou aux loisirs (Levy *et al.*, 2005).

2.3. Services écosystémiques et changement climatique

Les services écosystémiques peuvent contribuer de diverses façons à réduire la vulnérabilité des systèmes socio-écologiques. D'après le GIEC (McCarthy, 2001), la vulnérabilité - concept central à l'adaptation – est « le degré selon lequel un système est susceptible d'être affecté négativement par les effets du changement climatique (y compris la variabilité climatique et les extrêmes) ou est incapable d'y faire face ». La vulnérabilité dépend de l'exposition, de la sensibilité et de la capacité adaptative. Une forte exposition ou sensibilité et une faible capacité adaptative entrainent une forte vulnérabilité (Figure 3).

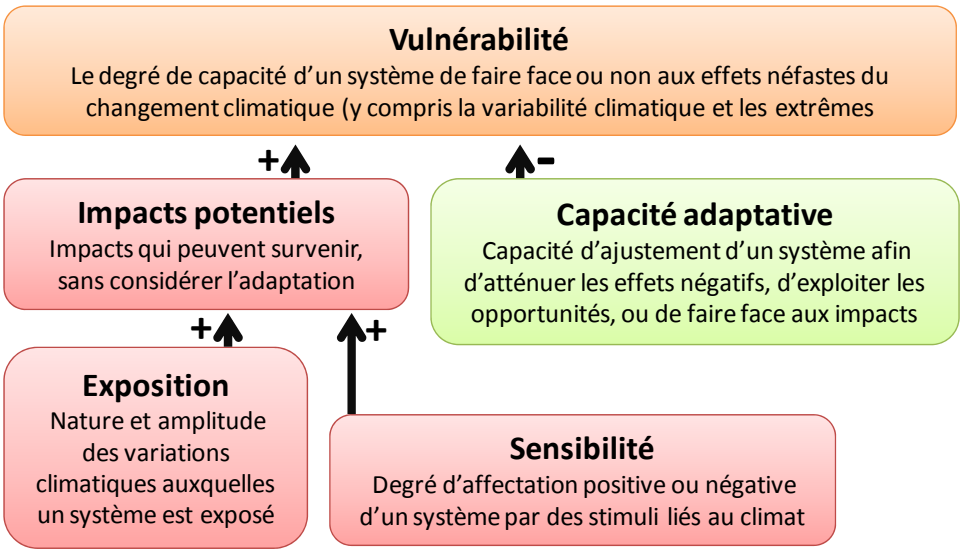


Figure 3. Les composantes de la vulnérabilité (définition du GIEC)

Un système vulnérable peut être un écosystème, un groupe social, ou un système socio-écologique (SES pour « social-ecological system »). On peut donc parler de vulnérabilité (ou de résilience) écologique, sociale ou socio-écologique (Adger, 2000). Le terme de SES met l'accent sur l'intégration humain-nature et désigne un système où des écosystèmes et des sociétés humaines sont en interaction (Berkes et Folke, 1998). Des nombreuses études ont porté sur la résilience des SES (Adger

et al., 2005b; Berkes et Jolly, 2002; Folke, 2006; Forbes *et al.*, 2009; Lebel *et al.*, 2006; Walker *et al.*, 2006). La résilience et la vulnérabilité sont deux notions différentes mais avec des liens forts qui conduisent quelquefois à leur utilisation de façon interchangeable (la résilience étant assimilée au symétrique de la vulnérabilité ou à la capacité adaptive) (Gallopín, 2006).

Cependant les deux notions diffèrent, d'abord par leurs origines: la résilience est issue du champ de l'écologie alors que la vulnérabilité vient plutôt des sciences sociales (en lien avec les études sur le développement, la pauvreté ou les risques naturels). La résilience met plus l'accent sur une approche systémique en analysant les interactions entre éléments d'un système, les rétro-alimentations, les seuils ou les surprises. Du fait de l'intérêt pour les interactions, la résilience laisse une place plus grande aux services écosystémiques que la vulnérabilité (Turner, 2010). Par contre la vulnérabilité s'intéresse plus aux aspects institutionnels ou de pouvoir au sein des systèmes sociaux. Les études sur la résilience sont également considérées plus académiques que les études sur la vulnérabilité, qui ont des applications en termes de politiques et pratiques (Miller *et al.*, 2010). Cependant les deux approches peuvent s'enrichir mutuellement et les deux communautés épistémiques, même si elles sont différenciées, se rencontrent (Nelson *et al.*, 2007; Vogel *et al.*, 2007). Ceci est illustré par une étude de co-auteurs de publications dans les trois communautés épistémologiques de la résilience, la vulnérabilité et l'adaptation (Janssen *et al.*, 2006). Dans cette étude, un graphe de réseau montre que les communautés se distinguent (par exemple un auteur cite plus les papiers de sa communauté) mais que des ponts existent. De plus, on note une augmentation dans le temps des citations inter-communautés, en particulier entre la communauté de la résilience et celle de la vulnérabilité (Janssen *et al.*, 2006).

La vulnérabilité de systèmes socio-écologiques est influencée par les services écosystémiques (Figure 4). D'abord, l'exposition d'un système au changement climatique peut être réduite à l'aide de mesures d'atténuation, dans lesquelles le service écosystémique de séquestration de carbone a un rôle à jouer. Il s'agit par exemple de la reforestation ou la déforestation évitée. Toutefois, les pratiques locales de séquestration du carbone dans un système socio-écologique donné n'auront pas un effet significatif sur l'exposition et la vulnérabilité de ce même système, car les activités de séquestration du carbone doivent être menées à l'échelle mondiale pour avoir des incidences sur l'atténuation et donc sur la vulnérabilité d'un système.

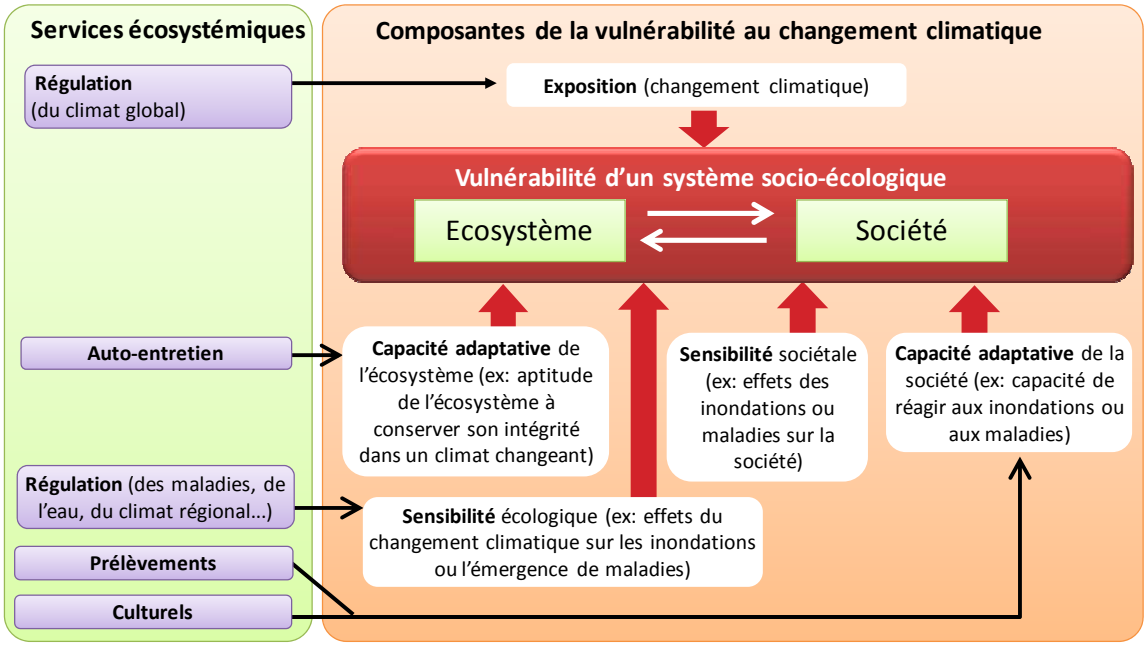


Figure 4. Les services écosystémiques et leurs liens avec la vulnérabilité au changement climatique (Locatelli *et al.*, 2008a)

Les services écosystémiques locaux ou régionaux présentent un intérêt pour l'adaptation car ils contribuent à réduire la sensibilité et ou augmenter la capacité adaptative d'un système socio-écologique. Ici, il s'agit de services produits par un système qui contribuent à réduire la vulnérabilité du même système ou de systèmes proches, à la différence de l'atténuation.

Les services d'auto-entretien contribuent à la capacité adaptative d'un écosystème, car le cycle des nutriments et la production primaire sont d'importants éléments du fonctionnement et de la résilience de l'écosystème. Les services de régulation peuvent réduire la sensibilité d'un système socio-écologique. Les services de régulation de l'eau fournis par une forêt, par exemple, déterminent la réaction d'un bassin hydrographique aux précipitations et peuvent réduire les crues et leurs impacts sur la société. La vulnérabilité du système social est également liée aux services de prélèvement ainsi qu'aux services culturels, car la nutrition, l'accès aux produits, la santé et la cohésion sociale contribuent à réduire la sensibilité et à augmenter la capacité adaptative.

Tous les secteurs décrits par le GIEC comme étant vulnérables au changement climatique retirent un avantage des services écosystémiques. La vulnérabilité de ces secteurs est influencée par la vulnérabilité des écosystèmes dont ils dépendent. Toutefois, la majorité des évaluations de la vulnérabilité utilisent une approche sectorielle, qui ne tient pas compte des liens entre secteurs et avec les écosystèmes.

2.4. Cadre conceptuel

Mes recherches s'inscrivent dans un cadre conceptuel qui intègre les mesures de réponses au changement climatique (Figure 1) et les liens entre services écosystémiques et société (Figure 2). Le changement climatique, en association avec d'autres changements globaux (par exemple la globalisation économique), influence la vulnérabilité de systèmes socio-écologiques (Figure 5). Les sociétés, ou les individus qui les composent, peuvent mettre en œuvre des mesures individuelles ou collectives (des pratiques ou des politiques) pour faire face à cette vulnérabilité. Ces mesures sont, en partie, basées sur les écosystèmes. La reconnaissance de la contribution des écosystèmes à la lutte contre le changement climatique a conduit à une réflexion sur l'atténuation et l'adaptation basées sur les écosystèmes (« ecosystem-based mitigation » et « ecosystem-based adaptation »).

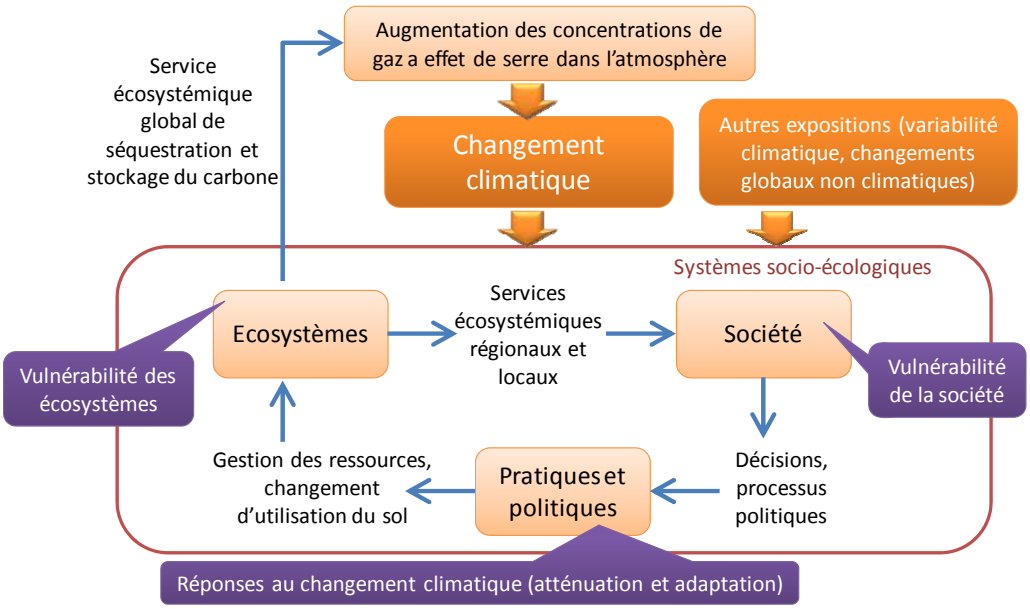


Figure 5. Cadre conceptuel sur le changement climatique et les services écosystémiques

Pour l'atténuation à l'échelle globale, les mesures basées sur les écosystèmes cherchent principalement à réduire la déforestation tropicale, source d'environ 15% des émissions de gaz à effet de serre. Le mécanisme REDD (Réduire les Emissions de la Déforestation et la Dégradation forestière), actuellement en cours de définition, a ce but (Harvey *et al.*, 2009). Le boisement et le reboisement sont aussi des options pour l'atténuation. Le Mécanisme de Développement Propre, un des mécanismes de flexibilité du Protocole de Kyoto, inclut des projets forestiers de boisement et reboisement dans les pays du Sud mais a un succès mitigé en raison de la lourdeur des procédures et du manque d'intérêt des marchés carbone pour ces projets forestiers.

Pour l'adaptation au changement climatique ou à la variabilité climatique, des mesures basées sur les écosystèmes peuvent être à spontanées ou réactives. Il s'agit par exemple d'individus ou de communautés accroissant leurs prélèvements de ressources forestières lorsque l'agriculture est affectée par le climat. Un exemple de mesures planifiées et anticipatives est la mise en œuvre de

politiques de conservation de forêts pour protéger des bassins versants contre les glissements de terrain ou les crues. Il est à noter que les Plans d'Action Nationaux pour l'adaptation (PANA ou NAPA en anglais), définis par les pays les moins avancés, incluent de nombreuses mesures d'adaptation basées sur les écosystèmes (Pramova *et al.*, 2012a).

Cependant les pratiques ou politiques de réponses au changement climatique n'ont pas forcément des effets positifs sur les systèmes socio-écologiques : une politique d'atténuation du changement climatique qui favorise les biocombustibles ou les plantations monospécifiques pour le carbone peut nuire à la biodiversité et réduire la résilience des écosystèmes, en même temps qu'elle affecte les communautés locales ce qui peut les rendre plus vulnérables. Une politique d'adaptation peut aussi avoir des effets négatifs sur l'atténuation : l'exemple le plus classique (même s'il est simpliste et hors du domaine des écosystèmes) est la climatisation qui peut réduire la vulnérabilité aux vagues de chaleur mais qui augmente les émissions de gaz à effet de serre. Les synergies et compensations entre adaptation et atténuation constituent un thème important de recherche.

Les approches d'atténuation et d'adaptation basée sur les écosystèmes ne pourront pas à elles seules résoudre les problèmes du changement climatique. En effet, l'atténuation doit passer avant tout par des mesures de réduction des émissions de l'énergie, les transports ou l'industrie. De même l'adaptation doit aussi considérer des mesures non basées sur les écosystèmes comme des mesures sociales (information, systèmes d'alerte, processus locaux d'apprentissage et de changement) et des infrastructures.

Cependant une meilleure gestion des écosystèmes et de leurs services peut représenter une partie de la solution, comme le disent Turner *et al*. dans un article publié dans *Nature* : « Les écosystèmes et la biodiversité doivent être un rempart contre le changement climatique et non une victime de ce changement » (Turner *et al.*, 2009). Il est important de s'interroger sur les conditions dans lesquelles la gestion des services écosystémiques peut apporter des solutions, sur les politiques internationales et nationales ou les projets à mettre en œuvre pour une telle gestion et sur les effets synergétiques ou compensatoires (synergies et trade-offs) avec d'autres objectifs environnementaux ou de développement. La crise climatique peut donc être vue comme un moyen pour progresser dans la gestion durable des écosystèmes (Mooney *et al.*, 2009).

2.5. Agenda de recherche

Dans un article présentant les 100 questions importantes pour la recherche sur la biodiversité (sélectionnées par un groupe d'expert à partir de 2291 questions proposées par 761 individus), Sutherland *et al.* (2009) proposent un agenda de recherche qui inclut la thématique des services écosystémiques et du changement climatique. A partir de cet article et de celui de Braat et de Groot (2012) proposant un agenda de recherche sur les services écosystémiques, des questions prioritaires sur les services écosystémiques et le changement climatique peuvent être identifiées (Tableau 2). Elles sont liées à mes questions de recherches, présentées dans le chapitre suivant.

Tableau 2. Questions de recherche proposées dans la littérature

Thématique	Questions proposées par Sutherland *et al.* (2009) (S) ou Braat et de Groot (2012) (B)
Rôle des écosystèmes dans l'adaptation	How can ecosystems be managed to increase protection of humans and biodiversity from extreme events? (S) How does biodiversity shape social resilience to the effects of climate change? (S) How, where, and to what extent can natural and seminatural ecosystems contribute to climate change adaptation? (S)
Rôle des écosystèmes dans l'atténuation	How much carbon is sequestered by different ecosystems, including their soils, and how can these ecosystems be managed to contribute most effectively to the mitigation of climate change? (S) How, where, and to what extent can natural and seminatural ecosystems contribute to climate change mitigation? (S)
Synergies et trade-offs entre adaptation et atténuation	How can protected area networks be designed to increase carbon storage benefits and mitigate climate impacts, with these benefits as incentives to support conservation actions? (S) How will human responses to climate change (e.g., changes in agriculture, resource conflicts, and migration) affect biodiversity? (S) How might emerging carbon markets affect biodiversity through their impacts on the protection, management, and creation of habitats? (S)
Impacts du changement climatique sur les écosystèmes et mesures d'adaptation	Which elements of biodiversity in which locations are most vulnerable to climate change, including extreme events? (S) How is the resilience of ecosystems to climate change affected by human activities and interventions? (S) How will climate change affect the distribution and impacts of climate-dependent disturbance regimes, such as fire? (S)
Mesures d'adaptation pour les écosystèmes	How might biodiversity policies and management practices be modified and implemented to accommodate climate change? (S)
Politiques et instruments	What factors affect the extent to which practitioners integrate consideration of human needs and preferences into policy and practice? (S) What are the impacts of different conservation incentive programs on biodiversity and human wellbeing? (S)
Mesure des services écosystémiques	What is the effectiveness of different methods for the assessment of ecosystem services? (S) What tools can contribute to adequate mapping of landscape areas in terms of ecosystem service provision and better assessment of spatial and temporal dynamics of service provision, especially in relation to beneficiaries? (B)
Instruments pour les services écosystémiques	How to integrate natural capital and ecosystem services value in regional planning? (B) What role for market-based (or market-like) schemes of Payments (or compensation) for Ecosystem Services (PES)? (B)

3. Evolution des questions et activités de recherche

3.1. Introduction

Mes thèmes de recherche portent sur la caractérisation des services écosystémiques en lien avec le changement climatique : services pour l'atténuation (thème 1 dans la figure 6), services pour l'adaptation (3) et services multiples (5). Ils concernent aussi les politiques et instruments pour la gestion de ces services d'atténuation (2), d'adaptation (4) ou multiples (6). Les thèmes incluent également les impacts du changement climatique sur ces services (7) et les mesures pour adapter les écosystèmes (8).

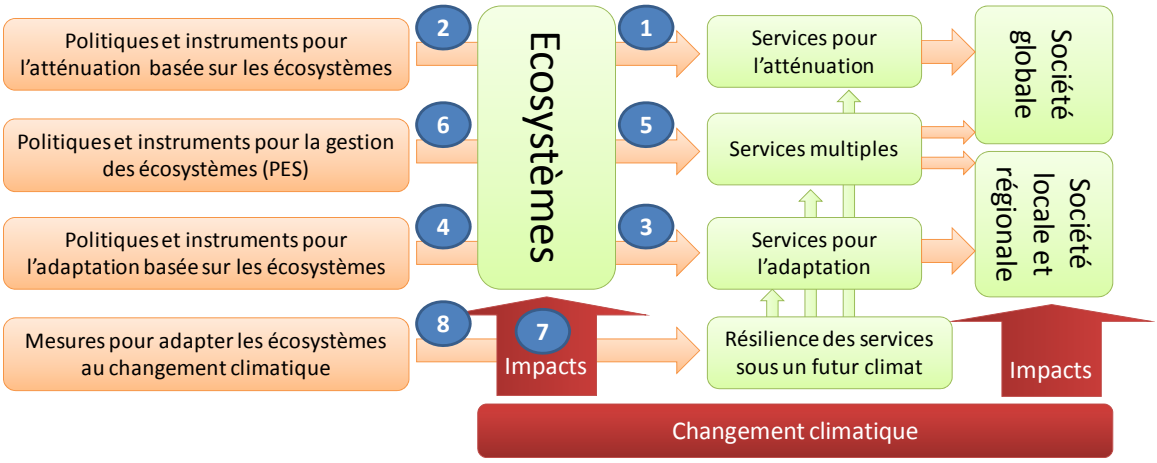


Figure 6. Articulation des différents thèmes de recherche (numérotés de 1 à 8)

Ces thèmes sont présentés succinctement dans le Tableau 3, qui montre quand les recherches ont eu lieu et qui donne un exemple de publications. Dans les deux sous-chapitres suivants sont présentées brièvement quelques activités de recherche sur les thèmes de l'atténuation (1 et 2) et des impacts du changement climatique sur les écosystèmes (7 et 8). Ces activités ne sont pas détaillées car celles sur l'atténuation du changement climatique (thèmes 1 et 2) se sont arrêtées en 2006 et car celles sur les impacts du changement climatique sur les écosystèmes (thèmes 7 et 8) restent minoritaires. Les autres thématiques sont développées dans le chapitre suivant.

Tableau 3. Aperçu des questions générales, des périodes de travail sur ces questions et des approches.

Thème	Question générale de recherche	Période	Approche	Exemple de publications
1. Atténuation : Caractériser les services				
	Quelle contribution de la déforestation ou la reforestation au changement climatique ?	1993-1996	Revue de littérature	Locatelli B., 1996. Forêts tropicales et cycle du carbone. CIRAD, France, ISBN 978-2-87614-255-1.
	Quelles méthodes pour mesurer le carbone en forêt ?	2000-2001	Plutôt expertise que recherche	Locatelli B., Leonard S., 2001. Un método para medir el carbono almacenado en los bosques de Malleco (Chile). Bois et Forêts des Tropiques 267: 69-80.
2. Atténuation : Analyser les instruments				

Quelles controverses sur les forêts comme mesures d'atténuation ?	2000-2002	Analyses des négociations et des points de vue	Locatelli B., Loisel C., 2002. Changement climatique : La vérité est-elle au fond du puits ? Natures, Sciences et Sociétés 10(4): 7-19.
Quel effet du Mécanisme de Développement Propre sur les projets forestiers ?	2003-2006	Etudes de cas, modélisation, analyse des modalités du MDP	Locatelli B., Pedroni L., 2004. Accounting methods for carbon credits: Impacts on the minimum area of CDM forestry projects. Climate Policy 4(2): 193-204.
3. Adaptation : Caractériser les services			
Quelle vulnérabilité des populations dépendantes des ressources naturelles à la variabilité climatique ?	Depuis 2008	Enquêtes de terrain (analyse de vulnérabilité sociale)	Djoudi H., Brockhaus M., Locatelli B., 2012. Once there was a lake: Vulnerability to environmental changes in northern Mali. Regional Environmental Change.
Quel rôle des services écosystémiques dans la réduction de la vulnérabilité de la société ?	Depuis 2008	Enquêtes de terrain, synthèses d'études de cas	Pramova E., Locatelli B., Djoudi H., Somorin O., 2012. Forests and trees for social adaptation to climate variability and change. WIREs Climate Change 3:581-596
Quelles perceptions des variations climatiques et quel rôle des écosystèmes dans l'adaptation par les communautés ?	Depuis 2009	Enquêtes de terrain (analyse de perceptions)	Boissière M., Locatelli B., Sheil D., Padmanaba M., Ermayanti, forthcoming. Local Perceptions of Climate Variability and Change in Tropical Forests of Papua (Indonesia). Ecology and Society.
4. Adaptation : Analyser les instruments			
Quel rôle des institutions et politiques dans l'adaptation des sociétés dépendantes des ressources naturelles ?	Depuis 2009	Enquêtes de terrain (analyse de vulnérabilité sociale)	Brockhaus M., Djoudi H., Locatelli B., 2013. Envisioning the future and learning from the past: Adapting to a changing environment in northern Mali. Environmental Science & Policy 25: 95-106.
Quelle prise en compte des services écosystémiques par les politiques d'adaptation ?	Depuis 2009	Analyse de plans et documents politiques	Pramova E., Locatelli B., Brockhaus M., Fohlmeister S., 2012. Ecosystem services in the National Adaptation Programmes of Action. Climate Policy 12(4): 393-409.
Quelle contribution des paiements pour services écosystémiques (PSE) à l'adaptation ?	2009-2011	Etudes de cas sur des impacts de PSE	Wertz-Kanounnikoff S., Locatelli B., Wunder S., Brockhaus M., 2011. Ecosystem-based adaptation to climate change: What scope for payments for environmental services? Climate and Development 3(2): 143-158.
5. Services multiples : Caractériser les services			
Quels services bénéficient à quels acteurs dans un paysage ?	2007-2011	Modélisation spatiale des flux de services	Locatelli B., Imbach P., Vignola R., Metzger M.J., Leguía Hidalgo E.J., 2011. Ecosystem services and hydroelectricity in Central America: Modelling service flows with fuzzy logic and expert knowledge. Regional Environmental Change 11(2): 393-404.
Quelles relations spatiales entre services multiples dans un paysage ?	2010-2012	Cartographie, analyse spatiale	Locatelli B., Imbach P., Wunder S., forthcoming. Synergies and trade-offs between ecosystem services in Costa Rica. Environmental Conservation
6. Services multiples : Analyser les instruments			
Quels impacts des PSE sur le développement rural ?	2006-2008	Enquêtes de terrain	Locatelli B., Rojas V., Salinas Z., 2008. Impacts of payments for environmental services on local development in northern Costa Rica: A fuzzy multi-criteria analysis. Forest Policy and Economics 10(5): 275-285.
Quelles synergies entre instruments et politiques pour l'adaptation et l'atténuation ?	Depuis 2010	Analyse de projets et politiques	Locatelli B., Evans V., Wardell A., Andrade A., Vignola R., 2011. Forests and Climate Change in Latin America: Linking Adaptation and Mitigation. Forests 2(1): 431-450.
7. Impacts du changement climatique sur les écosystèmes: Caractériser les impacts			
Quels impacts du changement climatique sur écosystèmes, services et perturbations ?	Depuis 2006	Modélisation	Imbach P., Molina L., Locatelli B., Roupsard O., Mahé G., Neilson R., Corrales L., Scholze M., Ciais P., 2012. Modeling potential equilibrium states of vegetation and terrestrial water cycle of Mesoamerica under climate change scenarios. Journal of Hydrometeorology 13(2): 665-680.
8. Impacts du changement climatique sur les écosystèmes: Analyser les mesures			
Quelles mesures pour réduire les impacts du changement climatique sur les écosystèmes ?	Depuis 2006	Modélisation et revue de littérature	Guariguata M., Cornelius J., Locatelli B., Forner C., Sánchez-Azofeifa G.A., 2008. Mitigation needs adaptation: Tropical forestry and climate change. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 13: 793-808.

3.2. Recherche passée sur l'atténuation

***En bref**: des travaux sur le stockage du carbone et sur le Mécanisme de Développement Propre ont eu lieu jusqu'en 2006, en particulier avec des étudiants de Mastère en Amérique Latine.*

Mes activités de recherche ont d'abord porté sur l'atténuation du changement climatique et la caractérisation des services (thème 1), avec un travail de recensement de connaissances sur les évaluations de stocks et flux de carbone dans les forêts tropicales. Ce travail a eu lieu en 1993, à une époque où le changement climatique était assez peu traité, et a abouti à la publication d'un ouvrage (Locatelli, 1996). Des travaux de terrain au Chili et au Brésil ont ensuite porté sur la mesure de carbone en forêt.

Des instruments politiques relatifs à l'atténuation ont été étudiés (thème 2), par exemple par des analyses des négociations internationales et des controverses sur les puits de carbone. Avec des étudiants, des études de cas ont porté sur des projets forestiers ou des pays en Amérique Latine. De plus, de la modélisation et une analyse des modalités du Mécanisme de Développement Propre (MDP) ont permis d'évaluer les effets de ce mécanisme international au niveau du terrain. Il a été montré par exemple que les modalités simplifiées du MDP pour les projets forestiers de petite échelle ne faciliteraient pas l'accès de ces projets au mécanisme, en raison des couts de transaction du MDP et d'un seuil fixé trop bas pour définir des petits projets.

Ces recherches ne sont pas présentées ici en détail du fait de leur relative ancienneté : compte tenu de l'abondance d'études récentes sur ces thèmes et de la progression rapide de la thématique, mes publications ne présentent plus d'intérêt actuellement. A partir de 2005-2006, j'ai décidé de travailler sur les services écosystémiques d'une façon plus générale et au-delà du seul stockage de carbone. C'est pour cette raison que j'ai laissé la thématique « atténuation » de côté pour m'intéresser aux services pertinents pour l'adaptation au changement climatique, ainsi qu'à la gestion de services multiples et les instruments pour cette gestion, comme les paiements pour services environnementaux (PSE). A noter que les multiples services incluent le carbone et que les PSE incluent les paiements pour le carbone, ce qui signifie que l'atténuation du changement climatique reste un de mes thèmes de recherche, mais pour ses liens avec l'adaptation ou pour les synergies entre carbone et autres services écosystémiques.

3.3. Recherche passée sur les impacts écologiques du changement climatique

Impacts du changement climatique sur les écosystèmes

***En bref**: un travail de modélisation avec un de mes étudiants de doctorat a montré que les impacts du changement climatique sur les écosystémiques en Amérique Centrale pouvaient être estimés avec une incertitude assez faible, malgré les incertitudes sur les précipitations futures.*

Une recherche a porté sur l'ampleur et la probabilité des impacts du changement climatique sur la végétation et le cycle de l'eau en Méso-Amérique (Imbach *et al.*, 2010). Le modèle de végétation MAPSS (Mapped Atmosphere-Plant-Soil System) a été utilisé pour simuler les changements dans

l'indice foliaire (LAI), les types de végétation (herbes, arbustes et arbres), l'évapotranspiration et le ruissellement à la fin du 21ème siècle. L'accent a été mis sur l'incertitude des changements (Figure 7) dans trois groupes de scénarios d'émission de gaz à effet de serre (émissions faibles, moyennes et élevées), pour un total de 136 scénarios générés avec 23 modèles de circulation générale (GCM). Les résultats montrent que LAI va probablement diminuer (dans 77 à 89% de la région suivant les groupes de scénarios climatiques) et la végétation potentielle passera probablement de types humides à secs. Les quantités d'eau ruisselée diminueront dans la région, même dans certaines régions où les précipitations augmenteront, ceci à cause de l'augmentation de l'évapotranspiration sous des températures plus élevées. Les scénarios d'émission plus élevés montrent une incertitude plus faible sur les impacts modélisés. Malgré les fortes incertitudes sur les précipitations futures, les résultats de la modélisation montrent que les impacts du changement climatique sur la végétation et le cycle de l'eau sont prévus avec une incertitude relativement faible.

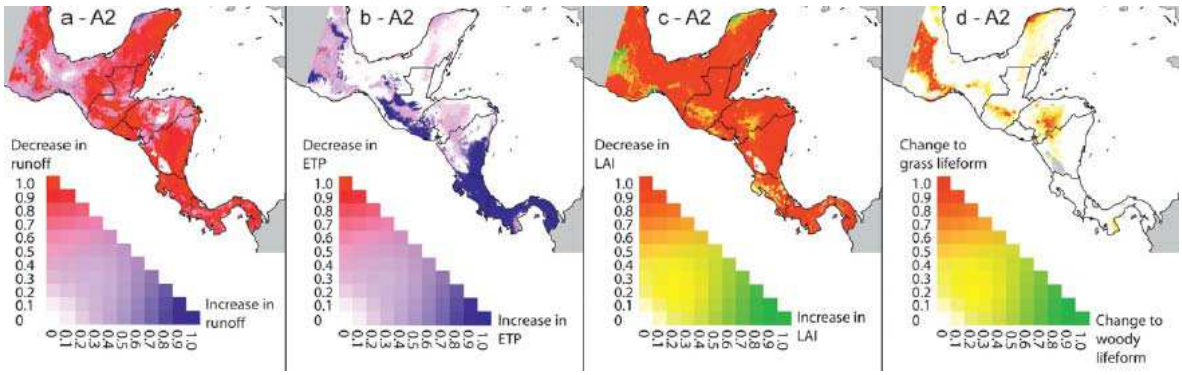


Figure 7. Proportion de scénarios climatiques à l'intérieur du groupe de scénarios A2 montrant (a) au moins 20% de changement dans les quantités d'eau ruisselées (b) 20% dans l'évapotranspiration, (c) 20% dans l'indice foliaire, ou (d) un changement de type dominant de végétation. Les échelles de couleur en deux dimensions renseignement sur les proportions de scénarios : par exemple le rouge foncé dans (a) montre qu'il y a 100% de scénarios montrant une réduction d'au moins 20% du ruissellement (Imbach *et al.*, 2012)

Avec des collègues en Amérique Centrale, nous avons étudié les impacts du changement climatique sur les écosystèmes, leurs services et les perturbations dans la région. A propos des perturbations, outre une étude sur les maladies du pin au Honduras, une de nos études (en cours de finalisation) porte sur les impacts du changement climatique sur les feux de forêts. Les feux représentent une menace pour la sécurité humaine et les biens dans des nombreux endroits. Ils affectent les écosystèmes et leurs services locaux ou globaux, par exemple par l'exposition des sols à l'érosion hydrique et par les émissions de gaz à effet de serre (Chuvieco *et al.*, 2008; Lavorel *et al.*, 2007; Sebastian-Lopez *et al.*, 2008). Le climat est un facteur naturel important des feux, en interaction complexe avec des facteurs humains ou écologiques (Flannigan *et al.*, 2000; Sturtevant et Cleland, 2007). Comme des changements de fréquence ou de sévérité de feux sont prévus en raison du changement climatique (Fischlin *et al.*, 2007; Westerling et Bryant, 2008), la compréhension et la

prédiction des tendances futures sont cruciales pour les gestionnaires de ressources naturelles (Dlamini, 2010; McKenzie *et al.*, 2000).

A l'aide de techniques d'exploration de données (*data mining*), nous avons développé des arbres de classification multiples pour expliquer la distribution spatiale et temporelle de feux dans le passé en Amérique Centrale, en fonction de facteurs climatiques, écologiques, politiques et socio économiques. Nous avons utilisé quatre scénarios spatialisés d'évolution de ces facteurs pour analyser les évolutions possibles du risque de feux dans la région. Les résultats montrent que le risque de feu augmente globalement dans la région sous les quatre scénarios mais qu'il pourrait diminuer dans certaines zones. L'évolution du risque de feu s'explique essentiellement par le changement climatique dans certaines zones et par une combinaison de changements socioéconomiques et climatiques dans d'autres.

Quelles mesures d'adaptation ?

***En bref**: un travail de modélisation, en cours de finalisation, avec un des mes étudiants de doctorat a permis de montrer que les corridors biologiques en Amérique Centrale peuvent faciliter la dispersion d'espèces sous un climat changeant mais que seules les espèces à forte capacité de dispersion en profitent, les autres ayant une capacité de dispersion trop faible pour suivre les changements du climat dans la plupart des scénarios.*

Le changement climatique est une menace pour les écosystèmes ou leurs services et des mesures d'adaptation peuvent être intégrées dans leur gestion (Guariguata *et al.*, 2008). De nombreuses aires protégées devraient être affectées par le changement climatique, par exemple par le déplacement de l'aire de distribution potentielle de leurs espèces (Higgins *et al.*, 2003; Thuiller *et al.*, 2005). L'amélioration de la connectivité entre aires protégées par des corridors biologiques a été proposée comme une mesure d'adaptation, bien que l'évaluation de l'efficacité d'une telle mesure reste un défi (Hole *et al.*, 2009; Phillips *et al.*, 2008; Vos *et al.*, 2008). En Méso-Amérique, les efforts pour préserver la biodiversité ont conduit à la création d'un réseau régional d'aires protégées et, depuis peu, de corridors biologiques (DeClerck *et al.*, 2010).

Un article (soumis) analyse le rôle de ces corridors pour faciliter la dispersion des plantes entre aires protégées sous des scénarios de changement climatique. Un modèle dynamique et spatialement explicite (utilisant des automates cellulaires) a été développé pour simuler la dispersion des espèces sous différents climats et différents scénarios de politiques de conservation. Des types fonctionnels de plantes ont été définis avec différents capacités de dispersion pour chaque type de végétation, pour représenter la diversité des espèces dans la région. Les impacts des changements climatiques sur les aires protégées et le rôle des corridors biologiques pour la dispersion ont été évalués spatialement.

Les résultats montrent que les aires protégées les plus affectées en Mésoamérique sont celles avec une faible variation altitudinale dans les zones chaudes et sèches. Les corridors avec un rôle important pour la dispersion sont ceux avec de forts gradients d'altitude. Seules les espèces avec une forte capacité de dispersion peuvent suivre l'évolution attendue du climat et bénéficier de

couloirs de dispersion. L'évaluation spatiale de la vulnérabilité des aires protégées et le rôle des corridors pour faciliter la dispersion peut aider à la planification de la conservation dans un climat changeant.

Les mesures d'adaptation des forêts sont rares en zones tropicales et une revue de la littérature sur les mesures possibles a été réalisée (Guariguata *et al.*, 2008), en incluant des papiers non spécifiques aux tropiques. L'analyse montre comment les pratiques de gestion des forêts tropicales peuvent contribuer à maintenir ou améliorer la capacité d'adaptation des forêts naturelles et plantées face au changement climatique et examine les défis et les opportunités de l'adaptation pour les forêts tropicales. En plus de l'exploitation à impact réduit pour maintenir l'intégrité des écosystèmes, d'autres approches peuvent être nécessaires, telles que la prévention des incendies et de gestion, ainsi que certaines options sylvicoles visant à faciliter l'adaptation génétique. Dans le cas des forêts plantées, l'intensité normalement plus élevée de la gestion (par rapport à la forêt naturelle) offre des possibilités supplémentaires pour la mise en œuvre des mesures d'adaptation, tant au niveau industriel et des petits exploitants. Bien que l'intégration dans la gestion des forêts de mesures visant à améliorer l'adaptation au changement climatique ne requière pas forcément une déviation importante par rapport aux pratiques actuelles, peu d'action semble avoir eu lieu à ce jour.

Il a peu de connaissances sur la façon dont les forestiers des régions tropicales mettent en œuvre des actions d'adaptation pour anticiper les conséquences du changement climatique. Avec deux collègues, nous avons analysé comment les gestionnaires de forêts tropicales naturelles et plantées destinées à la production perçoivent la menace du changement climatique et quelles mesures ils appliquent ou envisagent (Guariguata *et al.*, 2012). En 2009, un questionnaire a permis de collecter 152 réponses provenant d'Afrique, d'Amérique Latine et d'Asie-Pacifique. Les répondants ont estimé que les forêts naturelles et plantées étaient en danger du fait du changement climatique. Toutefois, leurs positions étaient variées quant à la nécessité d'investir dans des mesures d'adaptation à l'heure actuelle. Les résultats de cette enquête fournissent un premier aperçu de la manière dont les considérations climatiques sont prises en compte dans la gestion et la planification relatives aux forêts tropicales, mais il est nécessaire d'examiner plus en détail, aux niveaux locaux et nationaux, la manière dont les forestiers, notamment dans les régions tropicales, gèrent les incertitudes actuelles pour pouvoir entreprendre des actions. Le fait que le changement climatique soit considéré comme moins important que d'autres menaces pour les forêts, telles que l'agriculture commerciale et l'exploitation illégale, suggère que l'adaptation des forêts dans le long terme n'est pas considérée comme une priorité par les répondants quand la forêt est soumise actuellement des pressions humaines.

4. Services écosystémiques et adaptation aux variations climatiques : Recherche et résultats

4.1. Services écosystémiques et adaptation : analyse de la littérature scientifique

Aperçu : Six cas

En bref *: avec une étudiante de mastère, nous avons analysé les preuves scientifiques à l'échelle globale sur le rôle des services écosystémiques pour l'adaptation de la société. Nous avons mis en évidence la nécessité de revisiter certaines connaissances sur les services écosystémiques sous l'angle de l'adaptation (Pramova et al., 2012b).*

En reconnaissant le rôle des services écosystémiques dans l'adaptation de la société, de nombreuses organisations internationales et non gouvernementales de conservation et de développement ont encouragé des approches d'adaptation basée sur les écosystèmes (ABE) en insistant sur son efficacité pour réduire la vulnérabilité de la société aux variations climatiques, son intérêt économique et ses co-bénéfices pour la conservation de la biodiversité, la réduction de la pauvreté et l'atténuation du changement climatique (Andrade Pérez *et al.*, 2010; CBD, 2009a; CBD, 2009b; Colls *et al.*, 2009; Heath *et al.*, 2009; TEEB, 2009; World Bank, 2009). Toutefois, les preuves de son efficacité doivent être renforcées (Pramova *et al.*, 2012a), notamment car des projets pilotes sont mis en œuvre, par exemple en Colombie, en Tanzanie et au Sri Lanka (Colls *et al.*, 2009). Dans ce contexte, avec une étudiante et deux collègues du CIFOR, nous avons révisé les études de cas publiées dans des journaux à comité de lecture (Pramova *et al.*, 2012b) et avons mis en évidence six cas d'adaptation basée sur les écosystèmes, avec une attention particulière aux arbres et forêts (Figure 8). La littérature scientifique consultée traitait explicitement des trois éléments suivants : la variabilité ou le changement climatique, la vulnérabilité de la société et les services écosystémiques fournis par les arbres ou les forêts.

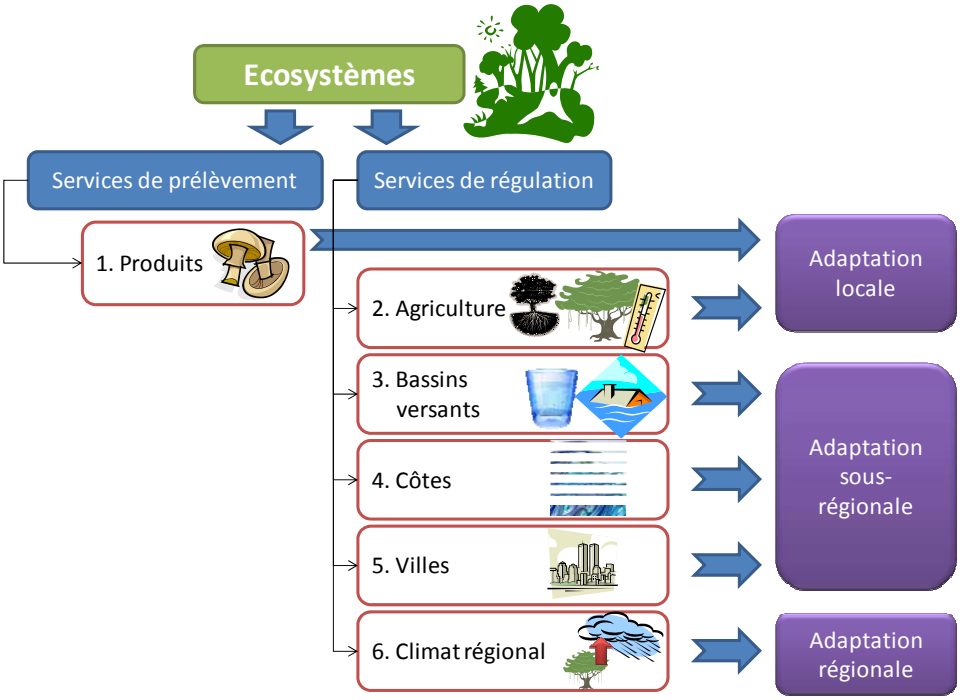


Figure 8. Six cas d'adaptation basée sur les écosystèmes : Produits, agriculture, bassins versants, côtes, villes et climat régional

Nous avons identifié les six cas suivants :

- Les forêts et les arbres fournissent des biens aux communautés locales leur permettant de faire face ou se préparer à des chocs climatiques,
- Les arbres dans les parcelles agricoles régulent l'eau et le microclimat ou protègent les sols, pour une agriculture plus résiliente aux variations climatiques,
- Les forêts régulent les régimes hydrologiques des bassins versants et protègent de l'érosion pour des impacts réduits des variations climatiques sur les populations qui vivent dans ces bassins,
- Les forêts côtières et les mangroves protègent les zones côtières de menaces liées au climat (tempêtes ou vagues dont l'impact peut augmenter avec la montée du niveau des mers),
- Les forêts et arbres urbains régulent les régimes hydrologiques et les températures (par exemple pendant les vagues de chaleur).
- Les forêts ont un effet sur le climat régional : un effet de baisse des températures par l'évapotranspiration et un effet sur le recyclage régional des précipitations.

Cas 1 : Produits et communautés locales

Dans les pays en développement confrontés à la variabilité climatique et des risques climatiques croissants, les produits issus des arbres et des forêts, comme le bois, le charbon, le bois de chauffage et les produits forestiers non ligneux (PFNL, par exemple les fruits sauvages, les champignons, les racines et le fourrage) constituent d'importants filets de sécurité et font partie des stratégies de diversification des revenus pour de nombreuses communautés.

Les communautés rurales utilisent les produits forestiers dans leurs stratégies de réaction à une crise lorsque la sècheresse entraîne de mauvaises récoltes. Durant et après les épisodes de sècheresse de 2005-2006 dans les régions semi-arides de Tanzanie, les ménages ont inclus des produits forestiers dans leur alimentation et généré 42 % de leurs revenus par leur vente (Enfors et Gordon, 2008). Dans les zones rurales du Pérou, la collecte de produits forestiers est une stratégie pour faire face aux conséquences d'inondations (Takasaki *et al.*, 2004). Au Honduras, les produits forestiers jouent également un rôle dans les stratégies post-catastrophe : suite au passage de l'ouragan Mitch, les ménages ruraux ont vendu du bois et d'autres produits pour compenser les pertes (McSweeney, 2005) .

De nombreuses communautés agraires utilisent également les produits des arbres et des forêts pour diversifier leurs revenus, comme stratégie d'adaptation pour anticiper les crises (Innes et Hickey, 2006). La diversification des moyens de subsistance, en particulier grâce aux produits forestiers, est la principale stratégie utilisée en Tanzanie pour anticiper la variabilité climatique (Paavola, 2008), ainsi que dans le bassin du Congo (Bele *et al.*, 2011; Brown *et al.*, 2010; Nkem *et al.*, 2010) , au Niger (Garrity *et al.*, 2010; Tougiani *et al.*, 2009), au Mali (Djoudi *et al.*, 2013), au Burkina Faso (Sawadogo, 2011), en Inde (Rathore, 2004), au Bangladesh (Rahman *et al.*, 2012) ou en Bolivie (Robledo *et al.*, 2004).

Plusieurs études établissent un lien entre l'absence d'accès aux ressources forestières et la vulnérabilité. Au Kenya, l'augmentation des températures et les précipitations irrégulières sur la colline d'Endau ont provoqué une baisse des rendements, de mauvaises récoltes et une pénurie d'eau ayant gravement affecté les agriculteurs et les pastoralistes qui n'avaient pas accès aux produits de la forêt (Owuor *et al.*, 2005). Dans de nombreuses régions côtières de l'Asie du Sud et du Sud-Est, l'accès des communautés aux produits des écosystèmes accroit leur capacité à face aux risques climatiques, comme il a été montré au Vietnam (Adger *et al.*, 1997; Kelly et Adger, 2000; Tri *et al.*, 1998), au Bangladesh (Iftekhar et Takama, 2008) et aux Philippines (Walton *et al.*, 2006).

Une forte dépendance aux produits forestiers pour faire face aux évènements climatiques peut être source de vulnérabilité lorsque l'écosystème est dégradé ou mal géré, lorsque des conflits surgissent entre différents usagers de la forêt ou lorsque l'accès devient restreint. Néanmoins, l'accès libre n'est pas souhaitable non plus, car il peut aboutir à une dégradation des ressources, préjudiciable aux usagers (Berkes, 2007) . Si les pressions climatiques augmentent avec le changement climatique, l'extraction intensive des ressources pouvant avoir lieu suite à des évènements climatiques répétés peut provoquer une pénurie de produits forestiers (Fisher *et al.*, 2010; Paavola, 2008) et rendre leur utilisation insoutenable. Les systèmes de gouvernance doivent donc accepter des compromis entre la fourniture de produits pour faire face aux pressions actuelles et la gestion des écosystèmes en prévision de l'avenir.

Dans plusieurs études de cas, le rôle des produits forestiers n'est pas limité à la consommation locale pour assurer la sécurité alimentaire, mais inclut également des activités commerciales. L'accès accru aux marchés peut fournir des possibilités de diversification pour les biens habituellement produits à

des seules fins de subsistance, avec des résultats positifs pour les moyens de subsistance et la résilience sociale (Tougiani *et al.*, 2009). Toutefois, l'accès au marché peut également entraîner une exploitation intensive et un appauvrissement des ressources, en particulier pour les produits à forte valeur (Belcher et Schreckenberg, 2007). Les variations de prix peuvent créer de nouvelles vulnérabilités, notamment pour les communautés ou les foyers qui se spécialisent sur certains produits (O'Brien *et al.*, 2004).

De nombreuses études indiquent que les ménages les plus pauvres dépendent davantage des produits forestiers dans leurs stratégies de réaction et d'anticipation. Par exemple, durant des inondations au Pérou, les jeunes et les ménages pauvres se sont mis à collecter des PFNL. Au Pérou (Takasaki *et al.*, 2004), au Honduras (McSweeney, 2005). en Afrique du Sud (Paumgarten et Shackleton, 2011), au Malawi (Fisher *et al.*, 2010) et en Indonésie (Liswanti *et al.*, 2011), il a été montré que les ménages pauvres ou marginalisés recourent plus que les autres ménages à l'utilisation ou la vente de produits forestiers pour faire face aux aléas climatiques. Pattanayak et Sills (2001) expliquent que cette dépendance aux forêts résulte d'une absence d'autres stratégies possibles (par exemple, emplois non agricoles ou création d'épargne). Levang et al. (2005) reconnaissent également l'importance des produits forestiers en tant que filets de sécurité lorsqu'aucune autre solution n'existe.

Mais dépendre des ressources naturelles pour se protéger des aléas peut être un cercle vicieux, en particulier lorsque la disponibilité des ressources est faible, lorsque la population ayant besoin de cette protection est importante et lorsqu'il n'existe pas d'autres solutions (Delacote, 2009). Les politiques d'adaptation ou les projets qui ne se concentrent que sur la conservation des ressources forestières pourraient être contre productifs et devraient plutôt prévoir des stratégies de diversification en complément de la gestion durable des forêts. Les forêts et leurs filets de sécurité deviendraient donc des éléments au sein d'un ensemble d'activités d'adaptation.

Cas 2 : Arbres et agriculture

Les arbres situés dans les champs agricoles peuvent contribuer au maintien de la production agricole dans un climat variable et à la protection des cultures contre les évènements climatiques extrêmes. L'agroforesterie (qui associe la plantation d'arbres et d'arbustes et les cultures agricoles et/ou l'élevage) est de plus en plus reconnue comme une approche efficace pour minimiser les risques liés à la variabilité et au changement climatiques qui pèsent sur la production (Verchot *et al.*, 2007). Grâce à leurs systèmes racinaires profonds, les arbres peuvent explorer le sol en profondeur à la recherche d'eau et de nutriments, ce qui est bénéfique aux cultures en période de sècheresse. En contribuant à augmenter la porosité du sol, à réduire le ruissellement et à accroître la couverture du sol, les arbres augmentent l'infiltration et la rétention de l'eau et réduisent le stress hydrique lorsque les précipitations sont faibles (Verchot *et al.*, 2007).

Les recherches menées montrent que les arbres qui fixent l'azote rendent l'agriculture plus résistante à la sècheresse en augmentant les nutriments du sol et l'infiltration de l'eau, notamment

sur les terres dégradées, par exemple en Inde (Rathore, 2004) ou en Afrique orientale et australe (Verchot *et al.*, 2007). Au Malawi, les agriculteurs qui pratiquent l'agroforesterie avec les espèces *Faidherbia* et *Gliricidia* ont obtenu des rendements au minimum modestes durant les saisons sèches, tandis que ceux qui n'ont pas recouru à ces pratiques ont perdu leurs récoltes (Garrity *et al.*, 2010). Au Niger, les agriculteurs participant au Programme de régénération naturelle gérée par les agriculteurs (Farmer Managed Natural Regeneration, FMNR) affirment que les arbres tels que *Faidherbia* améliorent les rendements de sorgho et de millet, en partie parce qu'ils freinent le vent et augmentent l'humidité des sols (Garrity *et al.*, 2010; Tougiani *et al.*, 2009). Les récentes sècheresses ont eu moins de conséquences négatives dans les régions concernées par le FMNR que dans les autres (Sendzimir *et al.*, 2011). L'agroforesterie est aussi largement utilisée pour les cultures commerciales telles que le café et le cacao et renforce leur résistance aux variations climatiques, comme cela a été montré au Chiapas, Mexique (Lin, 2007; Lin, 2010) ou à Sulawesi, Indonésie (Schwendenmann *et al.*, 2010).

Les arbres peuvent aussi créer des inconvénients pour l'agriculture, par exemple une couverture forestière dense protège les sols mais réduit le passage de la lumière. En raison des diverses interactions entre les arbres et les cultures, il est difficile de déterminer le couvert arboré qui maximise les effets positifs (Lin *et al.*, 2008). Il existe également une corrélation négative entre le rendement des cultures et la résilience, car les arbres peuvent protéger les cultures contre les évènements climatiques, mais réduire les rendements moyens en l'absence de perturbations climatiques ou autres (Verchot *et al.*, 2007). Néanmoins, la valeur des arbres pour l'agriculture est grande là où le risque climatique et élevé (dans les zones arides, par exemple) et dans les régions peu fertiles et où les intrants agricoles sont faibles (les engrais chimiques ou l'irrigation ne compensent pas la faible fertilité ou le manque d'eau) (Garrity *et al.*, 2010; Rathore, 2004; Tougiani *et al.*, 2009). Les recherches multidisciplinaires sont rares concernant les compromis écologiques et socioéconomiques de l'agroforesterie (Steffan-Dewenter *et al.*, 2007), et encore plus du point de vue de la variabilité ou du changement climatiques.

Malgré les avantages démontrés des systèmes agroforestiers, leur expansion est limitée. Dans de nombreux pays tropicaux, les gouvernements encouragent l'intensification agricole pour remplacer les systèmes agroforestiers et sur brulis, en supposant que cela va améliorer la sécurité alimentaire, augmenter les revenus des agriculteurs et protéger les forêts (Lin *et al.*, 2008; van Vliet *et al.*, 2012). Or, cette intensification peut exacerber la vulnérabilité au changement climatique (Lin, 2010) et aboutir à la déforestation (Morton *et al.*, 2008). D'autres approches sont proposées, dans lesquelles l'intensification agricole est associée aux arbres dans le but de conserver les services écosystémiques et d'augmenter le revenu des agriculteurs (Steffan-Dewenter *et al.*, 2007) . Cela renvoie au débat qui oppose la séparation des terres (« land sparing », maximisation de la production agricole dans certaines régions d'un paysage et conservation des écosystèmes naturels dans d'autres) au partage des terres (« land sharing », intégration de la conservation et de la production dans des paysages hétérogènes) (Phalan *et al.*, 2011). L'approche de séparation des terres met l'accent sur l'optimisation du paysage, tandis que le partage des terres se concentre sur le couplage des

systèmes humains et écologiques. Décider quelle approche est appropriée dépend du contexte social et biophysique (Fischer *et al.*, 2008).

Cas 3 : Bassins versants forestiers

Les forêts influencent l'interception des précipitations, l'évapotranspiration, l'infiltration de l'eau et la recharge des nappes phréatiques. Elles contribuent à réguler le débit de base durant les saisons sèches et le débit de crue durant les évènements pluvieux, ces deux actions étant de la plus haute importance pour l'adaptation des populations à la variabilité et au changement climatiques. Elles stabilisent également les sols et empêchent l'érosion et les glissements de terrain, et réduisent aussi les incidences négatives de ces phénomènes (partiellement liés au climat) sur les infrastructures, les habitations et les usagers de l'eau.

À Flores, en Indonésie, il s'avère que les bassins versants forestiers augmentent le débit de base (c'est-à-dire la part du débit qui provient des nappes phréatiques en l'absence de précipitations) et réduisent les effets de la sècheresse sur les communautés agraires en aval (Pattanayak et Kramer, 2001). En cas de précipitations irrégulières, les ménages agricoles vivant à proximité des bassins versants forestiers ont des revenus plus élevés que les autres ménages. De nombreuses études de cas montrent comment des projets de régénération forestière ont réduit la vulnérabilité des populations ou comment la déforestation l'a augmenté, comme en Bolivie (Robledo *et al.*, 2004), en Thaïlande (Charoenphong, 1991), aux Philippines (Gaillard *et al.*, 2007) ou au Cameroun (Bele *et al.*, 2011).

Cependant, les données relatives à ce rôle des forêts dans l'adaptation sont rares, même si les liens entre la forêt et l'eau sont abondamment documentés et peuvent éclairer les décisions relatives à l'ABE. Parmi les articles examinés, un seul étudie en détail le rôle hydrologique des forêts par rapport à un risque climatique et recourt à la modélisation hydrologique (Pattanayak et Kramer, 2001). Les études portant sur l'ABE et les propositions de mesures ne devraient pas se baser sur des idées communément admises, comme la croyance selon laquelle les forêts naturelles et plantées augmentent le débit d'eau total, contredite par de nombreuses études réalisées sur de petits bassins versants jumelés qui montrent que l'inverse est vrai (Locatelli et Vignola, 2009). Plusieurs auteurs ont analysé ces idées courantes et les ont mises à l'épreuve des données scientifiques (Andreassian, 2004; Bruijnzeel, 2004; Calder, 2002; Kaimowitz, 2005). Ces idées sont profondément ancrées dans l'opinion publique ; par exemple dans une étude en Amérique centrale, 90 % des personnes interrogées pensent que les forêts augmentent les débits d'eau totaux (Kosoy *et al.*, 2007).

L'influence des forêts sur les crues et les inondations est très débattue. Même si les forêts ont tendance à accroître l'infiltration et l'évapotranspiration et peuvent réduire les débits de crues, les données concernant la réduction des inondations sont discutées (FAO et CIFOR, 2005). Selon Bruijnzeel (2004), les fortes pluies ne sont pas régulées par les forêts lorsque les sols sont humides. Toutefois, les études réalisées sur des bassins versants jumelés peuvent être biaisées car elles ne tiennent pas compte de la fréquence des inondations (Alila *et al.*, 2009) et il a été montré que le

couvert forestier réduit cette fréquence (Bradshaw *et al.*, 2007). Il faut se repencher sur les travaux de recherche hydrologique traitant des liens entre forêts et inondations et mener de nouveaux travaux (DeWalle, 2003), surtout parce que certains plans de gestion des bassins versants reposent sur la gestion des forêts et des arbres. Par exemple, suite au passage de l'ouragan Mitch en Amérique centrale en 1998, il a été proposé de planter des arbres pour protéger les bassins versants durant les évènements climatiques extrêmes, alors qu'il n'existait pas de données justifiant les résultats attendus (Kaimowitz, 2005). Néanmoins, même si le rôle des forêts dans la prévention des inondations à grande échelle est très discuté, leur rôle dans la prévention des crues moyennes et les plus fréquentes ne devrait pas être ignoré (Locatelli et Vignola, 2009) .

L'effet des forêts sur les débits de base ne peut être généralisé, car il résulte de deux processus concurrents : les forêts présentent en général une transpiration plus importante (et donc un débit de base moins important) et une infiltration plus importante (et donc une recharge des nappes phréatiques et un débit de base plus importants) que des usages du sol non forestiers (Bruijnzeel, 2004). Si les forêts accroissent davantage l'infiltration de l'eau dans les sols que la transpiration comparativement à d'autres usages du sol, elles contribuent à maintenir les débits de base. Cela montre l'importance de prendre en compte les propriétés et la gestion des sols lorsque l'on compare des utilisations du sol forestiers et non forestiers (DeWalle, 2003). La question de l'échelle est également cruciale pour déterminer l'incidence des forêts sur l'eau. Par exemple, les effets des forêts sur la réduction des débits d'orage ou des débits annuels totaux sont plus manifestes dans les petits bassins versants que dans les grands (Locatelli et Vignola, 2009).

Concernant l'érosion du sol et les glissements de terrain, la littérature confirme que l'érosion de surface est généralement faible dans les forêts par rapport à d'autres utilisations des terres, en raison d'une meilleure protection des sols et des ruissèlements plus faibles dans les forêts (Sidle *et al.*, 2006). Il est généralement observé que les glissements de terrain sont moins fréquents dans les zones forestières que dans les zones non forestières (Crozier, 2010; Perotto-Baldiviezo *et al.*, 2004), en particulier parce que les forêts augmentent la cohésion du sol, grâce aux racines (Sidle *et al.*, 2006). Toutefois, des incertitudes demeurent quant au rôle des forêts dans la prévention des glissements de terrain. Par exemple, après les glissements de terrain de 1988 en Thaïlande, certaines études ont montré que ils ne dépendaient pas du couvert végétal et que l'intensité des précipitations annulait le rôle des racines dans la stabilisation des sols (Sidle *et al.*, 2006).

Les incertitudes et le manque de données ne facilitent pas la promotion de mesures d'ABE dans les bassins versants, et il existe un autre obstacle majeur lié aux externalités. La plupart des questions de gestion des bassins versants (mettant ou non l'accent sur les pressions climatiques) doivent compter avec des externalités, car les décisions prises par les parties prenantes qui gèrent en amont les terres et l'eau affectent d'autres parties prenantes en aval. L'ABE des bassins versants devrait donc prévoir des mécanismes de coordination entre usagers et gestionnaires de l'eau, ainsi que des mécanismes d'indemnisation pour répartir les coûts de gestion des bassins versants. Par exemple, les coûts d'opportunité liés à la conservation des forêts en amont peuvent être couverts par le paiement de services environnementaux (Wertz-Kanounnikoff *et al.*, 2011).

Cas 4 : Zones côtières

Les forêts côtières comme les mangroves peuvent protéger le littoral contre les tempêtes, l'élévation du niveau de la mer, les inondations et l'érosion, grâce à leur capacité à absorber et dissiper l'énergie des vagues et à stabiliser les terres côtières. Ces capacités de protection des mangroves contre les tempêtes ont été observées au lendemain du cyclone de 1999 à Orissa, en Inde. Les villages qui étaient protégés par des mangroves ont subi moins de pertes de vie humaine et moins de dégâts matériels et agricoles (Badola et Hussain, 2005; Das et Vincent, 2009). Les mangroves peuvent protéger des digues et réduire les coûts d'entretien de ces défenses, comme cela a été étudié au Vietnam (Adger *et al.*, 1997; Kelly et Adger, 2000; Tri *et al.*, 1998). Au Bangladesh ou aux Philippines, des communautés côtières pensent que les mangroves protègent des catastrophes naturelles, en plus de fournir des matières premières et de protéger les sols (Iftekhar et Takama, 2008; Walton *et al.*, 2006). Les forêts côtières peuvent également être efficaces dans la lutte contre l'érosion (Mustelin *et al.*, 2010) : en Martinique (Antilles), où la majorité des plages connaissent un risque d'érosion, la protection et la réhabilitation des forêts de mangroves ont été suggérées comme stratégies d'adaptation pour 15 % du littoral (Schleupner, 2007).

Malgré les données fournies, il est difficile de déterminer le degré de protection offert par les mangroves et les facteurs qui expliquent cette protection (Baird *et al.*, 2009). Certains scientifiques ont critiqué le fait que de nombreuses données relatives au rôle protecteur des mangroves durant les évènements extrêmes restaient anecdotiques et n'intégraient pas correctement les facteurs de confusion possibles, tels que la topographie, la bathymétrie côtière, la distance de la côte et les facteurs humains comme les mesures de prévention et de gestion des catastrophes (Bayas *et al.*, 2011; Ewel *et al.*, 1998; Feagin *et al.*, 2010; Osti *et al.*, 2009). La largeur des mangroves est particulièrement importante pour expliquer le rôle protecteur, de même que leur configuration verticale (Massel *et al.*, 1999). De plus la diversité des espèces peut améliorer la protection, car la diversité des troncs et des racines crée des variations de rugosité (Alongi, 2008). Dans le futur, le rôle des mangroves dépendra aussi de leur résilience face la montée du niveau de la mer et aux changements climatiques (Alongi, 2008; Sherman *et al.*, 2000), qui pourraient dégrader ces écosystèmes et leurs services (Ellison, 2003; Gilman *et al.*, 2008).

Le fait que des efforts d'adaptation puissent être déployés dans les régions côtières sans une bonne compréhension de la dynamique côtière et de la protection par la mangrove est donc préoccupant. Les forêts côtières peuvent fournir une protection contre les tempêtes et les cyclones, mais elles doivent être considérées comme faisant partie d'une stratégie plus globale d'adaptation et de réduction des risques, en particulier parce qu'elles ne peuvent garantir une protection complète contre les évènements extrêmes (Baird *et al.*, 2009; Cochard *et al.*, 2008). En revanche, la capacité des forêts côtières à stabiliser l'érosion due à l'élévation du niveau de la mer et aux inondations par les marées est source de beaucoup moins d'incertitudes.

Cas 5 : Villes

Comme les forêts et les arbres urbains peuvent fournir des services d'ombrage, de refroidissement par évaporation, d'interception, de stockage et d'infiltration des pluies, ils peuvent jouer un rôle important dans l'adaptation urbaine à la variabilité et au changement climatiques. Compte tenu des changements de la couverture du sol dus au remplacement de la végétation par des constructions (Gill *et al.*, 2007), les zones urbaines sont confrontées à des volumes accrus de ruissellement de surface et il a été montré que l'augmentation de la couverture végétale pouvait réduire le ruissellement des pluies, par exemple à Manchester (Gill *et al.*, 2007).

Les zones urbaines sont aussi confrontées aux effets d'îlot de chaleur urbain (ICU), avec des conséquences importantes sur la santé pendant les vagues de chaleur (Fink *et al.*, 2004; Fouillet *et al.*, 2008; Kovats et Kristie, 2006). Dans le New Jersey, aux États-Unis, il a été montré que les arbres des villes réduisent les effets des ICU sur la santé résultant du stress thermique et de la pollution de l'air (Solecki *et al.*, 2005). A Manchester, la température de surface maximale dans les forêts urbaines est de 18,4 °C, contre 31,2 °C dans le centre-ville où le couvert arboré est le moins important. Si l'on augmente de 10 % la couverture végétale dans le centre-ville, les températures de surface maximales pourraient diminuer de 2,2 °C (Gill *et al.*, 2007). Au Niger et au Nigeria, il a été observé que les forêts et les arbres minimisent les effets négatifs du climat dans les zones urbaines en régulant le microclimat et les eaux de pluie (Adinna *et al.*, 2009; Herz, 1988).

Les quelques études menées sur le rôle des forêts et des arbres dans l'adaptation urbaine à la variabilité et au changement climatiques dans les pays développés sont bien étayées, la modélisation étant basée sur des clichés aériens et la télédétection, des données sur l'utilisation des terres et le climat, et des modèles hydrauliques et d'échange d'énergie. En revanche, dans les pays en développement, les recherches sur cette question n'en sont qu'à leurs débuts, d'où des données encore limitées (Pauchard *et al.*, 2006). De même, les études sur les services écosystémiques urbains en général se sont également concentrées pour la majeure partie sur les pays développés (Dobbs *et al.*, 2011). L'essor rapide des villes dans de nombreux pays en développement exige de tenir compte de l'adaptation au changement climatique dans l'aménagement urbain et dans l'évaluation des bénéfices des écosystèmes. Cela doit prendre en compte les défis d'adaptation particuliers liés au manque d'infrastructures « grises » (égouts, par exemple), à la destruction à grande échelle des infrastructures « vertes » (zones humides, par exemple) et aux problèmes de capacité liés à la pauvreté, la faible gouvernance locale et les importantes concentrations démographiques dans les zones à haut risque telles que les bidonvilles (Herz, 1988; Roberts *et al.*, 2012).

L'introduction de mesures d'ABE dans les villes soulève des questions quant aux compromis liés à la gestion des arbres et des forêts. En ville, les espaces verts peuvent détourner les ressources naturelles d'autres usages : par exemple, l'eau peut être nécessaire pour l'entretien des arbres, au détriment d'autres utilisateurs lorsque l'eau est rationnée en période de sècheresse (Gill *et al.*, 2007). D'autres inquiétudes majeures sont liées aux coûts d'opportunité, en raison des bénéfices

perdus par le fait de renoncer à l'expansion urbaine (Ebert *et al.*, 2010). Les coûts et bénéfices des forêts urbaines sont en général négligés par les urbanistes (Escobedo *et al.*, 2011).

L'ABE proposée pour les villes consiste principalement à planter des arbres et créer des parcs mais elle devrait également prendre en compte d'autres échelles et inclure la gestion des forêts en dehors des zones urbaines, à savoir dans les bassins versants (troisième cas de figure) et les zones côtières (quatrième cas de figure). Les services écosystémiques fournis par les zones rurales environnantes peuvent influer considérablement sur le bien-être urbain, d'où la nécessité de réfléchir en fonction de systèmes de paysages ruraux-urbains plus vastes (Gutman, 2007). À Pékin, par exemple, un système écologique est proposé à trois échelons : la région (zones forestières naturelles et semi-naturelles et ceintures de protection), la ville (parcs et coulées vertes) et les quartiers (extensions vertes, voies vertes et verdissement vertical) (Li *et al.*, 2005). L'expérience du Programme municipal de protection climatique de Durban montre qu'une ABE réussie dans les villes suppose d'aller au-delà de la solution unique et uniforme qui consiste à implanter des arbres le long des rues et dans des parcs urbains (Roberts *et al.*, 2012).

Cas 6 : Climat régional

À l'échelle régionale et mondiale, les forêts jouent un rôle dans le recyclage des précipitations et la génération de vapeur atmosphérique, mais ce rôle n'est pas bien quantifié. Bien que l'évapotranspiration des forêts réduise les débits totaux dans un bassin versant, elle renvoie également de l'eau dans l'atmosphère, ce qui peut augmenter les précipitations dans la région (Ellison *et al.*, 2012). Une étude récente montre que, pour plus de 60 per cent des terres sous les tropiques, les masses d'air qui sont passées au dessus de vastes étendues de forêts dans les jours précédents produisent au moins deux fois plus de précipitations que les masses d'air qui sont passées au dessus d'une végétation réduite (Spracklen *et al.*, 2012).

Les forêts peuvent également pomper l'humidité atmosphérique et envoyer l'air humide des océans vers l'intérieur des terres (Aragão, 2012; Makarieva et Gorshkov, 2007; Sheil et Murdiyarso, 2009), mais ce rôle des forêts dans les processus hydrologiques à l'échelle régionale fait débat (Meesters *et al.*, 2009). Car les forêts ont ces influences sur le climat régional ou mondial, certains auteurs plaident pour une reconnaissance accrue de leur utilité écologique globale, au-delà du seul stockage de carbone pour l'atténuation du changement climatique (Trivedi *et al.*, 2009). La déforestation de vastes étendues de forêts pourrait avoir des conséquences inattendues sur le climat de régions même éloignées (Betts *et al.*, 2007; Pielke Sr *et al.*, 2007), cependant ces effets sont encore peu étudiées et reconnus (Pielke Sr, 2002).

Discussion

L'examen montre qu'il existe un nombre limité d'études spécifiquement consacrées aux services écosystémiques et à la vulnérabilité humaine face à la variabilité et au changement climatiques. Néanmoins, une abondante littérature existe sur les services écosystémiques et peut être utilisée

pour combler le manque de connaissances en matière d'ABE. Par exemple, il a été montré dans le troisième cas de figure (bassins versants) que les études hydrologiques fournissent des informations utiles sur le rôle des services forestiers dans les bassins versants, même si elles ne traitent pas de la variabilité ou du changement climatiques. En outre, si la plupart des articles examinés concernaient la variabilité climatique actuelle plutôt que le changement climatique, leurs conclusions sont utiles dans la perspective de l'adaptation au changement climatique.

La recherche documentaire n'était pas limitée géographiquement, mais la plupart des articles trouvés concernaient les pays en développement, sauf dans le cinquième cas de figure (zones urbaines) et le sixième (approche régionale ou globale). Cela peut être lié au fait que l'accent était mis sur la vulnérabilité et l'adaptation aux menaces climatiques, car les pays en développement sont en général considérés comme les plus vulnérables (Brooks *et al.*, 2005; Samson *et al.*, 2011), malgré leur expérience de réponses aux risques climatiques (Adger *et al.*, 2003). Cela peut aussi provenir de notre choix d'analyser les forêts et les arbres seulement : des études ont été trouvées sur, par exemple, la gestion des écosystèmes côtiers et la réduction de la vulnérabilité au Canada, aux États-Unis et au Royaume-Uni (Costanza *et al.*, 2008; Singh *et al.*, 2007; Turner *et al.*, 2007a), mais qui traitaient des prés salés ou des vasières plutôt que des forêts. Compte tenu de la présence de forêts de mangroves dans les régions tropicales, l'accent a de fait été placé sur les pays tropicaux. La troisième raison à citer est que les richesses et les technologies des pays les plus riches leur ont permis de remplacer les services écosystémiques par des services d'ingénierie (Raudsepp-Hearne *et al.*, 2010b). Ainsi, la dégradation des services de régulation hydrologique est compensée par l'amélioration du captage de l'eau, des usines de traitement des eaux usées, le développement de l'irrigation et des infrastructures de régulation des débits. De même, la perte de systèmes écosystémiques bénéficiant à l'agriculture est compensée par un recours accru aux pesticides et aux engrais chimiques (Evenson et Gollin, 2003; Raudsepp-Hearne *et al.*, 2010b). Dans ce contexte, l'adaptation au changement climatique dans les pays développés est moins souvent liée aux services écosystémiques que dans les pays en développement.

Les articles étudiés soulignent que la faisabilité des stratégies d'ABE dépend d'un éventail de facteurs socioéconomiques et de gouvernance qui doivent être pris en compte durant la planification des actions d'adaptation. L'investissement et l'adhésion des communautés sont des aspects cruciaux devant être pris en compte pour assurer le succès de tout programme d'ABE (Robledo *et al.*, 2004; Tougiani *et al.*, 2009; Walton *et al.*, 2006). Les initiatives d'adaptation doivent non seulement être axées sur la performance écologiques des mesures, mais aussi sur les bénéfices économiques pouvant être obtenus dans les conditions qui s'y prêtent le mieux (Fisher *et al.*, 2010; Paavola, 2008). L'éducation, le renforcement des capacités et des services d'encadrement seront également nécessaires, entre autres interventions, pour passer de stratégies de réaction à court terme centrées sur l'extraction des ressources à la gestion et l'adaptation des écosystèmes, en particulier pour le premier cas de figure (produits) et le deuxième cas de figure (agriculture). Garantir des droits de propriété et d'accès bien définis est une autre condition qui peut faire la différence entre les stratégies extractives de réaction à court terme et la gestion durable des

écosystèmes en vue de l'adaptation (Brockhaus *et al.*, 2013; Kelly et Adger, 2000; Tougiani *et al.*, 2009).

De nombreuses études mentionnent les bénéfices multiples des écosystèmes pour l'adaptation des populations et le bien-être humain. Ainsi, les études sur le rôle protecteur des mangroves évoquent également les bénéfices économiques pour les moyens de subsistance basés sur la pêche, la production de miel, de bois et de charbon de bois, entre autres (Adger *et al.*, 1997). Dans la gestion côtière globale, les écosystèmes ne sont pas considérés comme de simples « boucliers écologiques », mais sont valorisés pour le grand nombre de services écosystémiques qu'ils fournissent. Plus généralement, le premier cas de figure (produits) est souvent pertinent lorsqu'il est associé à d'autres cas dans les contextes ruraux, par exemple les deuxième, troisième et quatrième cas de figure (agriculture, bassins versants et littoral). Le cinquième cas de figure (villes) peut également être associé au troisième (bassins versants) et quatrième (côtes) cas, car des villes dépendent de forêts en amont, et certaines d'écosystèmes côtiers.

Les autres aspects à prendre en compte dans les décisions relatives à l'adaptation incluent les bénéfices pour l'atténuation du changement climatique ou d'autres services écosystémiques, tels que les loisirs dans les villes. De plus l'adaptation basée sur les écosystèmes peut être plus souple que celle basée sur les infrastructures. Les décisions en matière d'ABE doivent tenir compte de ces multiples aspects, en dépit des incertitudes. L'ABE ne doit pas être poursuivie seule, mais plutôt au sein d'un ensemble de mesures d'adaptation, comme il y a été montré dans plusieurs cas de figure. L'ABE peut également compléter les solutions d'ingénierie apportées par les digues côtières par exemple (infrastructures grises), soutenues par les mangroves (infrastructures vertes).

Toutefois, il est important de savoir que les services écosystémiques peuvent donner lieu à des compromis. Par exemple, un projet de reboisement visant à réduire les glissements de terrain ou le risque de catastrophe côtière à l'aide de plantations d'espèces exotiques monospécifiques peut ne fournir que peu de produits aux communautés locales (Feagin *et al.*, 2010). En outre, différentes parties prenantes peuvent voir différents avantages dans les mêmes services écosystémiques, qui peuvent être complémentaires mais également concurrents (Turner et Daily, 2008). Les compromis apparaissent également souvent entre différentes échelles spatiales, par exemple lorsque la conservation des forêts pour la protection des bassins versants réduit la vulnérabilité des populations en aval, mais augmente celle en amont si l'accès des populations à la terre et aux forêts est restreint.

La science est nécessaire pour l'ABE (pour combler par exemple les déficits de connaissance liés aux fonctions écosystémiques), mais il est également nécessaire de tester et d'évaluer différentes interventions sur le terrain. Les projets pilotes en cours de mise en œuvre pourraient servir de sites d'apprentissage et les informations existantes pourraient être systématisées et revisitées à travers le prisme de l'adaptation au changement climatique. La conjugaison de différents systèmes de suivi à différents niveaux (local, paysage, régional) fournira un ensemble riche d'informations sur les rétroactions et la dynamique des systèmes socio-écologiques.

4.2. Services écosystémiques et adaptation de communautés locales : analyses de terrain

Avec des collègues du CIFOR, nous avons conduit des études de terrain à l'échelle locale en Afrique de l'Ouest et en Asie pour analyser comment la variabilité climatique affecte les populations dépendantes des services écosystémiques en milieu rural tropical et comment les écosystèmes contribuent aux stratégies pour faire face ou s'adapter. Ici, l'accent est mis sur la variabilité climatique plutôt que le changement climatique et nous nous intéressons à l'expérience de communautés (par exemple face à des périodes moins ou moins sèches ou des évènements extrêmes comme des inondations), car cette expérience est la base du développement d'adaptations futures et car les tendances de changement à long terme sont souvent mal identifiées par les acteurs locaux. Dans ces études, l'accent est aussi mis sur la façon dont différent acteurs perçoivent la vulnérabilité. En raison de la subjectivité de la vulnérabilité, de nombreuses analyses de vulnérabilité impliquent les parties prenantes et évaluent les différentes vues (de Chazal *et al.*, 2008; Djoudi *et al.*, 2013; O'Brien *et al.*, 2007).

Exemple du Mali

Dans le nord du Mali, nous avons utilisé des méthodes participatives à différents niveaux (du local au provincial) pour analyser la vulnérabilité de communautés locales face à des changements écologiques et politiques (Brockhaus *et al.*, 2013; Djoudi *et al.*, 2013). Suite à des sècheresses répétées, un lac a disparu de la zone d'étude et a été colonisé par une forêt. Ces changements ont modifié la distribution de la vulnérabilité au sein des communautés, avec certains villageois saisissant les opportunités de cette nouvelle ressource. L'analyse de vulnérabilité à différents niveaux a montré des divergences nettes. Par exemple, les villageois considèrent que la mobilité (par les migrations saisonnières des éleveurs et de leur bétail) est un facteur de résilience car elle permet de tirer profit de ressources en eau ou en pâturage extrêmement variables temporellement et spatialement, ce qui a été souvent observé dans d'autres études (Gautier *et al.*, 2005; Gray et Mueller, 2012; Turner et Williams, 2002). Au niveau provincial, la mobilité est perçue par des agents de développement ou des décideurs politiques comme un facteur de vulnérabilité car elle prive des services comme l'éducation ou la santé ou elle empêche de moderniser les systèmes de production. Ces divergences montrent le risque de politiques d'adaptation qui seraient basées sur des analyses biaisées des modes de vie locaux et de leur vulnérabilité.

De nombreuses stratégies d'adaptation sont basées sur la nouvelle forêt mais leur durabilité dépendra de la façon dont cette nouvelle ressource est gérée et de l'application des politiques forestières. Des divergences entre niveaux ont également été montrées à propos des stratégies préférées pour l'adaptation. La préférence des acteurs du niveau provincial pour des infrastructures (barrages et canaux pour remplir le lac) n'était pas partagée par le niveau local, sauf par certains hommes dont l'occupation principale était l'agriculture. Cette option d'adaptation présente le risque de détruire le capital naturel de la nouvelle forêt au détriment de ceux qui en dépendent.

Les résultats montrent que les politiques et les institutions locales jouent un rôle important dans l'adaptation à la variabilité climatique. Les règles d'accès et de gestion de la nouvelle forêt déterminent comment les villageois peuvent adapter leurs moyens d'existence en utilisant cette nouvelle ressource. Le gouvernement Malien a développé un plan national d'adaptation au changement climatique qui inclut un projet d'infrastructures pour remplir le lac asséché. Les villageois, qui ont développé des stratégies pour s'adapter à la disparition du lac et utiliser les nouvelles ressources naturelles, vont devoir de nouveau modifier leurs modes de vie si le lac revient. Cependant la durabilité de ce projet n'a pas été étudiée dans un contexte de changement climatique, par exemple l'augmentation de l'évapotranspiration au niveau du lac mais aussi dans le bassin versant du fleuve Niger en amont pourrait mettre en péril le projet. Ceci représenterait un choc supplémentaire pour les populations.

Exemple de la Papouasie

Dans un grand bassin versant de Papouasie (Indonésie), nous avons observé que les communautés perçoivent la saisonnalité et la variabilité climatique de façon différente suivant leur position dans le bassin (zone côtière, marais ou collines) et leurs activités principales (Boissière *et al.*, forthcoming). Dans un même village, les perceptions diffèrent entre hommes et femmes, en fonction également de leurs activités (par exemple chasse ou agriculture). Une comparaison entre les dires d'acteurs locaux et des données climatiques montre de nombreux points d'accord entre les deux sources d'information mais la richesse des perceptions quant à l'hétérogénéité spatiale ou temporelle du climat est difficilement explorable dans les données climatiques.

Une grande diversité de stratégies est mise en œuvre dans le domaine agricole, pour les habitations et sur la base de rituels. Les forêts font partie du quotidien des villageois et sont leur source principale de biens, ce qui explique qu'ils ne mentionnent pas un recours plus important aux ressources forestières en cas d'évènement climatique. Les résultats montrent que les villageois considèrent que les changements économiques ou politiques ont actuellement plus d'impact sur leur vie que le climat. Dans un contexte de faible saisonnalité et faible variabilité interannuelle du climat, le changement climatique peut représenter un défi particulier.

Discussion

Les travaux de terrain mettent en évidence la diversité des stratégies mises en œuvre localement pour faire face à la variabilité climatique ou pour l'anticiper, avec un rôle important des ressources forestières dans ces stratégies. Ils montrent aussi que les opinions des acteurs divergent sur la vulnérabilité ou sur la forme que devrait prendre l'adaptation à la variabilité ou au changement climatique. Ceci représente un écueil pour la mise en œuvre des mesures d'adaptation, comme cela a été montré par ailleurs (Adger *et al.*, 2005a; O'Brien *et al.*, 2007). Ceci n'est pas propre à l'adaptation mais concerne d'autres problèmes de décision collective, où les divergences de vue sont communes. Des plateformes de discussion entre acteurs (y compris les scientifiques) sont nécessaires, même si elles présentent de nombreux défis (Steyaert *et al.*, 2007).

Les scientifiques qui participent à des analyses de vulnérabilité jouent quelquefois le rôle de ponts entre niveaux, par exemple en faisant remonter des informations sur les stratégies locales vers le niveau national ou en présentant des informations scientifiques sur le changement climatique. Cependant ce rôle n'est pas limité aux scientifiques et de nombreux acteurs participent à la circulation de l'information (Rotberg, 2012). La présence de réseaux sociaux permettant les échanges d'information peut d'ailleurs accroitre la résilience, comme cela a été montré au Botswana (Cassidy et Barnes, 2012).

4.3. Identifier et cartographier les services écosystémiques dans des paysages

Comment cartographier les flux de services

***En bref**: nous avons développé, en collaboration avec un de mes étudiants de doctorat, une approche de cartographie des services qui met l'accent sur les flux de services entre écosystèmes et usagers.*

J'ai conduit des analyses spatiales de services écosystémiques en mettant l'accent sur les flux de services entre là où ils sont produits et là des humains en bénéficient. La plupart des méthodes de cartographie des services écosystémiques considèrent seulement des indicateurs de la production de services par les écosystèmes (1 dans la figure 9), avec des données primaires (par exemple, la diversité d'espèces ou des taux de sédiments mesurés sur le terrain), des moyennes de valeurs par type d'usage du sol (par exemple, en utilisant des valeurs moyennes de stock de carbone ou de valeur récréative de différents types d'usage du sol), ou des relations de cause à effet (par exemple, en utilisant des données de sol, de pente, de couverture végétale et de climat pour cartographier l'érosion des sols) (Martínez-Harms et Balvanera, 2012).

Un nombre limité de cartographies de services considèrent à la fois la dimension écologique de la production de services et la dimension socioéconomique de l'utilisation ou de la demande. Pourtant, par définition, les fonctions ou les processus écosystémiques deviennent des services seulement s'ils bénéficient à la société: on ne devrait pas concevoir les services sans bénéficiaires (Fisher *et al.*, 2009). Certaines études considèrent à la fois la production et la demande, mais les flux de services ne sont pas explicites (Eigenbrod *et al.*, 2009; Eigenbrod *et al.*, 2010; Luck *et al.*, 2009; Raudsepp-Hearne *et al.*, 2010a; Schröter *et al.*, 2005; Willemen *et al.*, 2012), soit parce que la demande n'est pas considérée comme variable dans l'espace ou parce que la production et la demande sont considérées comme se produisant au même endroit (2 dans la figure 9). Plusieurs auteurs ont plaidé pour une meilleure considération des échelles spatiales dans l'évaluation des services écosystémiques et de leurs valeurs (Bagstad *et al.*, 2012; Luck *et al.*, 2012; Salles, 2011; Schröter *et al.*, 2012; Wendland *et al.*, 2010), en identifiant l'espace de transfert du service et la localisation des bénéficiaires (3 dans la figure 9). C'est ce que j'ai fait avec des collègues du CATIE, de l'Université d'Edimbourg et du CIFOR dans une analyse spatiale de services en Amérique Centrale.

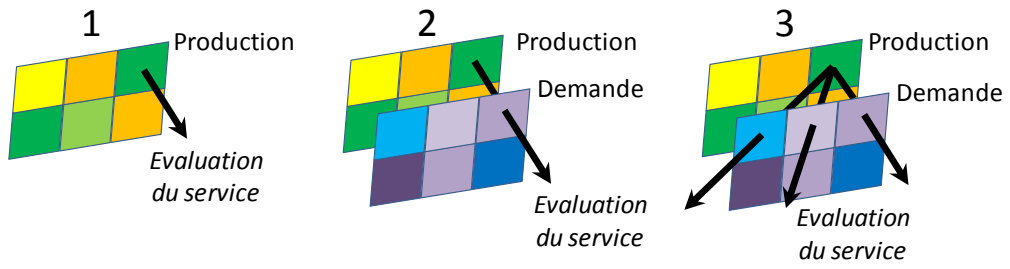


Figure 9. Trois représentations de la production et la demande dans les évaluations de services écosystémiques (1: La production de services est spatialement explicite mais la demande n'est pas considérée; 2: La production et la demande sont spatialement explicites mais les services sont produits et utilisés aux mêmes endroits; 3: La production et la demande sont spatialement explicites, de même que les flux de services d'où ils sont produits vers où ils sont utilisés).

Services hydrologiques en Amérique Centrale

Au Costa Rica et au Nicaragua, nous avons cartographié les services écosystémiques fournis aux secteurs hydroélectriques, qui sont des secteurs cruciaux pour le développement durable national, sont vulnérables au changement climatique et dépendent directement des services écosystémiques hydrologiques (Locatelli *et al.*, 2011b). Nous avons considéré que les flux de services dépendent des caractéristiques et de la répartition spatiale des écosystèmes et des utilisateurs, les relations spatiales entre eux, et la présence de filtres ou des barrières entre les écosystèmes et les utilisateurs. Nous avons développé une approche pour modéliser des flux de services multiples à partir de divers types d'écosystèmes vers divers types d'utilisateurs à travers divers types de filtres dans un paysage (Figure 10). L'approche a utilisé les connaissances d'experts et nombres flous (*fuzzy numbers*) pour prendre en compte les incertitudes.

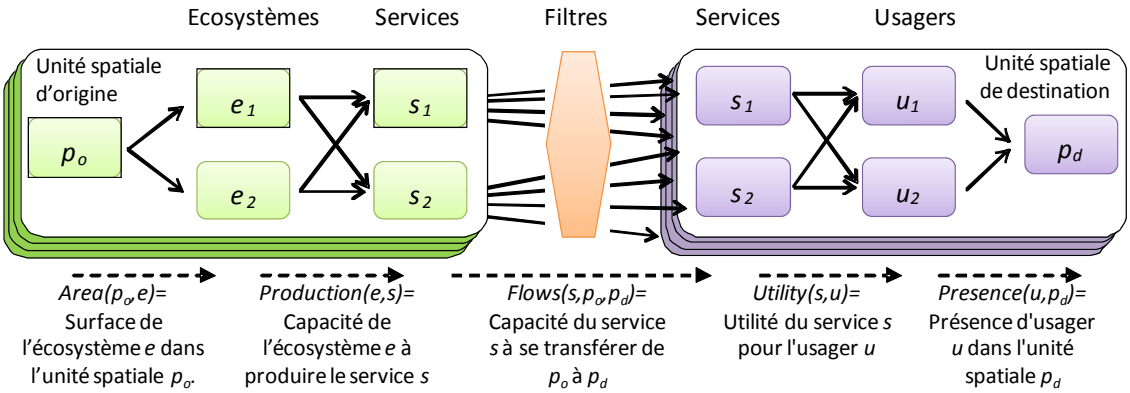


Figure 10. Représentation de flux de services écosystémiques : écosystèmes, filtres et usagers (Locatelli *et al.*, 2011b).

L'étude a considéré cinq types d'écosystèmes : forêts de plaine, forêts de montagne de type « *cloud forests* », écosystèmes à faible couverture arborée (savanes boisées, agroforesterie et systèmes

silvopastoraux), écosystèmes dominés par les herbacées (savanes et pâturages) et les écosystèmes agricoles. Trois services écosystémiques pertinents pour le secteur hydroélectrique ont été sélectionnés par le biais de consultations d'experts : la conservation du volume annuel d'eau, la conservation des régimes d'étiage et la réduction de l'érosion des sols. Deux types de bénéficiaires des services ont été considérés (les barrages et les usines au fil de l'eau) avec des bénéfices différents tirés des différents services. L'approche a permis de cartographier les zones prioritaires pour la conservation et la restauration des forêts pour les services qu'ils fournissent aux secteurs hydroélectriques. Elle est utile pour définir des politiques ciblées spatialement pour la conservation des écosystèmes forestiers et pour faire participer les usagers des services écosystémiques dans la gestion des écosystèmes.

4.4. Les services écosystémiques dans les politiques et instruments pour l'adaptation

Programmes nationaux d'adaptations

***En bref**: à propos de la prise en compte des services écosystémiques dans les politiques d'adaptation, nous avons montré, avec une étudiante de mastère, qu'une part importante de programmes nationaux d'adaptation des pays les moins avancés considèrent les services écosystémiques pour l'adaptation.*

De nombreux plans nationaux d'adaptation ont été développés de part le monde. Nous avons analysé comment les services écosystémiques ont été considérés dans les programmes d'action nationaux d'adaptation (PANA) et les projets d'adaptation proposés dans ces programmes (Pramova *et al.*, 2012a). En août 2010, 44 des pays les moins avancés avaient préparé leurs PANA, qui sont des points de départ pour la planification de l'adaptation à l'échelle nationale et sous-nationale, mais qui doivent être évalués et améliorés en fonction de l'évolution des connaissances. L'importance des services écosystémiques est reconnue dans plus de 50% des PANA. Environ 22% des projets proposés comprennent des activités écosystémiques pour le bien-être humain ou l'adaptation, et la plupart d'entre eux proposent ces activités écosystémiques en association avec d'autres mesures d'adaptation (par exemple des infrastructures). Les activités écosystémiques portent principalement sur les services de régulation (par exemple réhabilitation des sols, lutte contre l'érosion et régulation de l'eau) et les services d'approvisionnement (par exemple alimentation, fibres et bois de chauffage). Ces projets ont le potentiel de promouvoir une adaptation intégrée et transversale, car beaucoup d'entre eux couvrent divers services écosystémiques et des secteurs bénéficiaires multiples.

Paiements pour services et adaptation

***En bref**: la contribution des paiements pour services environnementaux à l'adaptation a été étudiée avec une révision d'exemples de PES.*

En parallèle au développement de la thématique des services écosystémiques ou environnementaux, des mécanismes de paiements pour ces services ont vu le jour et sont l'objet

d'un intérêt scientifique croissant. L'intérêt vient aussi des politiques ou des organisations de conservation qui y voient un moyen de pérenniser le financement de la conservation ou de la gestion durable des écosystèmes (Andriamahefazafy *et al.*, 2012). Les deux notions de services écosystémiques et de PSE sont d'ailleurs de plus en plus associées (Pesche *et al.*, 2013).

Ces dernières années, il y a eu des discussions sur le rôle des PSE pour l'adaptation basée sur les écosystèmes (ABE) (van de Sand, 2012). Avec des collègues du CIFOR, nous avons analysé les opportunités et les contraintes de PSE en tant qu'instrument de l'ABE (Wertz-Kanounnikoff *et al.*, 2011). Plus précisément, nous avons examiné la possibilité des PSE à contribuer à l'adaptation en se concentrant sur trois dimensions : celle des utilisateurs des services, celle des fournisseurs de services et celle du changement institutionnel et sociétal. Nous avons évalue si les PSE satisfont à des critères clés d'évaluation des instruments et politiques d'adaptation, notamment l'efficacité, l'efficience, l'équité et la légitimité.

Nous avons constaté que les PSE ne sont pas une panacée pour tous les contextes, mais ont un potentiel pour des politiques d'adaptation lorsque certaines conditions préalables sont remplies. Nous avons identifié quatre cas de bénéfices des PSE pour l'adaptation : (i) un co-bénéfice écologique des PSE pour l'adaptation (les services écosystémiques ciblés par les PSE réduisent la vulnérabilité au changement climatique, par exemple par la régulation hydrologique), (ii) un effet opportuniste (les services écosystémiques ciblés par les PSE ne pas réduisent la vulnérabilité mais les écosystèmes concernés par les PSE fournissent d'autres services pertinents pour l'adaptation), (iii) les retombées institutionnelles des PSE (les PSE contribuent souvent au renforcement des capacités, de la gouvernance et de la coordination entre acteurs, ce qui facilite les processus d'adaptation), et (iv) les paiements explicitement pour des services d'adaptation (des PES qui appliquent le principe de précaution et conservent des services qui seront utiles pour l'adaptation à un climat changeant).

Impacts de paiements pour services environnementaux au Costa Rica

***En bref**: pour analyser les impacts de paiements pour services environnementaux sur le développement local, un travail avec deux étudiantes de mastère au Costa Rica a utilisé une analyse multicritères et des enquêtes de terrain. Il a permis de montrer des impacts globalement positifs, malgré des impacts économiques négatifs à court terme.*

Une autre de mes études a porté sur les effets de paiements pour services écosystémiques (PSE) sur le développement durable dans le nord-est du Costa Rica (Locatelli *et al.*, 2008b). Les mécanismes du paiement sont de plus en plus utilisés pour promouvoir la conservation des services écosystémiques et leurs effets sur le développement sont d'un intérêt considérable. Avec une étudiante du CATIE, nous avons évalué les effets de reboisement incités par le PSE du Costa Rica sur le développement local. Nous avons appliqué une analyse multicritères, associant des critères et indicateurs sociaux, économiques, institutionnels et culturels. Des enquêtes auprès de propriétaires recevant des PSE ont été réalisées.

Les résultats montrent que les impacts des PSE appliqués au reboisement sont globalement positifs. Les impacts économiques négatifs à court terme (en raison des couts de plantation) sont compensés par les effets positifs institutionnels et culturels. Pour la plupart des critères, les impacts sur les propriétaires les plus pauvres sont positifs et généralement plus élevés que pour les propriétaires plus riches. Toutefois, les revenus à court terme des propriétaires les plus pauvres diminuent à cause du reboisement. Ceci peut engendrer des conséquences négatives et réduire la participation de ces propriétaires dans les PSE. Les impacts positifs ont été plus forts pour les propriétaires qui participaient dans le programme de PSE à travers une organisation non gouvernementale, ce qui montre l'importance des agents facilitateurs.

4.5. Synergies entre politiques et entre services

Synergies entre adaptation et atténuation

***En bref**: une analyse de projets et politiques en Amérique Latine a permis de montrer comment l'adaptation et l'atténuation peuvent être abordées ensemble.*

Les écosystèmes forestiers fournissent des services écosystémiques multiples et jouent un rôle important dans l'adaptation et l'atténuation. Il est nécessaire d'explorer les liens entre ces deux options afin de comprendre leurs arbitrages et les synergies (Laukkonen *et al.*, 2009; Srivastava, 2006; Stehr et Storch, 2005). Avec des collègues du CATIE, du CIFOR et de Conservation International, nous avons analysé comment des politiques ou des projets pour l'atténuation du changement climatique peuvent contribuer à l'adaptation et vice-versa (Dang *et al.*, 2003; Ravindranath, 2007). Cette analyse s'est basée sur des études de cas en Amérique Latine, au niveau de projets locaux ou de politiques nationales (Locatelli *et al.*, 2011a).

Nous avons étudié les approches et les raisons pour intégrer l'adaptation dans les projets d'atténuation ou l'atténuation dans les projets d'adaptation. Nous avons également analysé l'intégration des liens adaptation-atténuation dans les politiques forestières ou de changement climatique, mais l'analyse a montré qu'il y a peu d'initiatives politiques, à l'exception par exemple du Mexique et de sa stratégie « changement climatique et aires protégées » qui a pour objectifs conjoints d'augmenter la capacité adaptive des écosystèmes et des populations et de contribuer à la réduction des gaz à effet de serre dans l'atmosphère.

L'analyse a montré comment un projet d'atténuation peut influencer l'adaptation des populations. Les projets forestiers d'atténuation peuvent avoir des impacts positifs sur les populations locales et leur capacité adaptative, en accroissant la fourniture de services écosystémiques aux communautés locales, en diversifiant leurs revenus et leurs activités économiques, en développant des infrastructures ou des services sociaux, et renforçant les institutions locales. Mais les impacts peuvent aussi être négatifs. Par exemple, des inquiétudes ont surgi quant à la possibilité que des projets REDD réduisent les droits et l'accès des populations locales à la terre et aux ressources forestières ou augmentent la dépendance des populations à des financements externes incertains.

L'analyse a ensuite montré comment un projet d'atténuation peut influencer l'adaptation des écosystèmes. Les projets forestiers d'atténuation (par exemple les projets REDD) peuvent potentiellement faciliter l'adaptation des forêts au changement climatique, en réduisant les pressions anthropiques sur les forêts, en augmentant la connectivité entre forêts et en conservant des sites riches en biodiversité. Cependant, les gestionnaires de projets d'atténuation vont surement devoir incorporer de nouvelles mesures pour l'adaptation des forêts pour réduire les impacts du changement climatique sur ces forêts, car de tels impacts peuvent mettre en danger la permanence du stockage de carbone.

L'analyse a enfin montré comment un projet d'adaptation peut agir sur l'atténuation. Les projets d'adaptation qui conservent les écosystèmes pour leurs « services d'adaptation » (par exemple la protection des bassins versants) contribuent aussi à protéger leurs stocks de carbone, donc agissent sur l'atténuation du changement climatique. Les synergies entre services écosystémiques expliquent les impacts des projets d'adaptation sur l'atténuation. Par exemple, les mangroves contribuent à la fois à protéger les zones côtières et à stocker du carbone.

Cependant, il peut y avoir des arbitrages entre le carbone et les services écosystémiques pertinents pour un projet d'adaptation. Par exemple, les priorités spatiales pour la conservation des services écosystémiques hydrologiques et pour le carbone peuvent différer. En plus des impacts directs des projets d'adaptation, d'autres impacts indirects peuvent être envisagés, par exemple si un projet d'adaptation agricole soutient la productivité agricole et réduit la conversion de forêt par l'expansion agricole comme conséquence des impacts du changement climatique sur l'agriculture.

Synergies entre services

***En bref**: une analyse spatiale de services multiples au Costa Rica montre des corrélations positives entre services. Cependant, une priorité donnée à la conservation de la biodiversité entraine plus de co-bénéfices pour les autres services qu'une priorité donnée au carbone.*

J'ai également abordé la question des relations spatiales entre services écosystémiques multiples dans un paysage, une question importante pour comprendre quels services apparaissent souvent ensemble (« *bundles* ») et quelles sont les possibilités de développer des politiques en synergies (par exemple une politique qui cherche à conserver le carbone dans les forêts et qui contribue aussi à la protection des bassins versants) (Raudsepp-Hearne *et al.*, 2010a). Des études ont montré des corrélations positives (et des synergies possibles entre politiques) entre, par exemple, carbone et biodiversité mais aussi des corrélations négatives (et donc des conflits possibles) (Bai *et al.*, 2011; Busch *et al.*, 2011; Strassburg *et al.*, 2010).

Les études portant sur les relations entre différents services peuvent être distinguées par leur prise en compte de l'espace et du temps (Figure 11). Par exemple Kessler *et al.* (2012) ont adopté une approche statique et non-spatiale (voir 1 dans la Figure 11), en mesurant le carbone et la biodiversité dans des parcelles agroforestières à Sulawesi (Indonésie), et ont trouvé peu de liens entre le carbone et la biodiversité. Des exemples d'approches dynamiques et non-spatiales (voir 2

dans la Figure 11) sont Chisholm (2010) et Bullock *et al.* (2011). Le premier a modélisé les effets temporels de reboisements sur les services dans un bassin versant en Afrique du Sud et a montré que les bénéfices pour la séquestration du carbone et la production de bois sont contrebalancés par les pertes de services hydrologiques. Les seconds ont exploré différentes études de cas dans le monde et ont montré que des interventions pour restaurer des écosystèmes (pour accroitre la fourniture d'un service ou réduire les pertes de biodiversité) ont généralement des conséquences positives sur de multiples services. Mais des trade-offs entre services peuvent aussi être observés, par exemple la plantation d'arbres d'espèces exotiques pour réduire l'érosion en Chine a eu des impacts négatifs sur la biodiversité et l'eau (Bullock *et al.*, 2011).

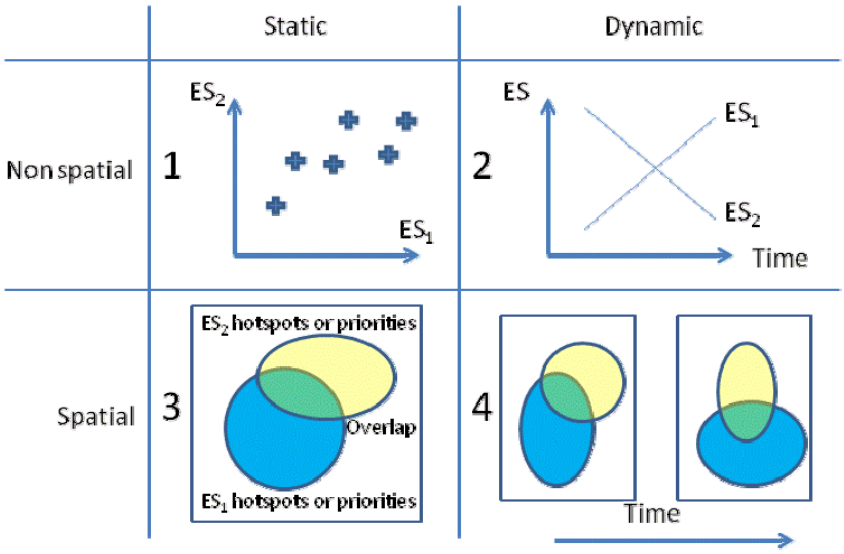


Figure 11. Quatre approches pour l'étude des relations entre services (1 : Corrélation entre services; 2: Synergies et trade-offs entre services dans le temps; 3: Congruence ou divergence spatiale entre service; 4: Synergies et trade-offs entre services dans le temps et l'espace

La plupart des études spatiales analysent les relations entre différents services à un moment donné (voir 3 dans la Figure 11) (Bai *et al.*, 2011; Chan *et al.*, 2006; Egoh *et al.*, 2009; Egoh *et al.*, 2011; Egoh *et al.*, 2008; Eigenbrod *et al.*, 2009; Eigenbrod *et al.*, 2010; Larsen *et al.*, 2011; Luck *et al.*, 2009; Naidoo *et al.*, 2008; Pagiola *et al.*, 2010; Raudsepp-Hearne *et al.*, 2010a; Turner *et al.*, 2007b; Wendland *et al.*, 2010; Zhang et Pagiola, 2011). Par exemple, Bai *et al.* (2011) ont trouvé des corrélations positives et une forte superposition spatiale entre les hotspots de biodiversité et de trois services (relatifs à l'eau, les sols et le carbone) dans un bassin versant en Chine. Un nombre limité d'études prennent en compte les variations temporelles et spatiales de services (voir 4 dans la Figure 11) (Haines-Young *et al.*, 2012; Nelson *et al.*, 2009; Nelson *et al.*, 2008; Swallow *et al.*, 2009; Willemen *et al.*, 2012). Par exemple, Swallow *et al.* (2009) utilisent des données sur les changements passés d'utilisation de terres pour cartographier l'évolution de deux services dans le temps (contrôle de l'érosion et production agricole) dans un bassin versant en Afrique de l'Est et ne trouvent pas de

relations significatives entre ces services, ce qui montre qu'il faut éviter les généralisations sur les compromis entre services de régulation et services de prélèvement (comme la nourriture).

Les analyses spatiales peuvent comparer soit la provision de services, soit les zones prioritaires pour des politiques de conservation de services (Figure 12). Par exemple, selon Zhang et Pagiola (2011), les zones priorisées par les politiques de conservation de la biodiversité et celles des bassins versants se superposent de façon significative au Costa Rica (cas 1 dans la figure 12). Les auteurs discutent la possibilité spatiale et financière de mettre en œuvre des paiements en synergie pour la biodiversité et l'eau mais ne considèrent pas de facteurs écologiques (par exemple le fait qu'un écosystème doit fournir les deux services). Plusieurs études évaluent la congruence spatiale entre des hotspots de services ou la corrélation spatiale entre la provision de différents services (cas 2 dans la Figure 12). Par exemple, Strassburg *et al.* (2010) analysent la congruence entre carbone et biodiversité à l'échelle globale en utilisant des indicateurs d'espèces et de biomasses et trouvent une forte corrélation positive.

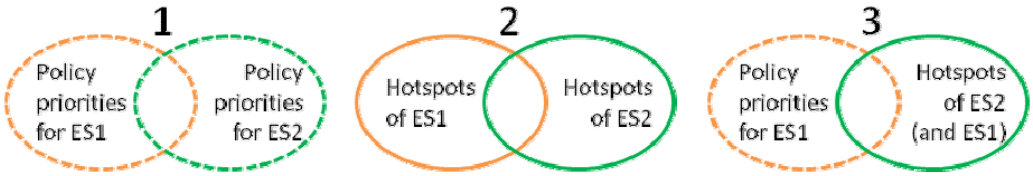


Figure 12. Trois perspectives sur les relations spatiales entre services (1 : synergies entre politiques en raison de la congruence spatiale de leur zones prioritaires, 2 : congruence spatiale entre services, 3 : synergie entre une politique pour un service et la conservation d'autres services)

D'autres études comparent les zones priorisées pour un service et la provision de ce service ou d'un autre (cas 3 dans la Figure 12). Par exemple, Maes *et al.* (2012) montrent que les habitats conservés (comme dans les aires protégées) fournissent plus de services de régulation et culturels que d'autres habitats en Europe et Eigenbrod *et al.* (2009) trouvent que les aires protégées conservent plus de biodiversité et de carbone que d'autres zones en Angleterre. La plupart des études se concentrent sur les effets de politiques pour la biodiversité sur d'autres services (Chan *et al.*, 2006; Egoh *et al.*, 2009; Egoh *et al.*, 2011; Eigenbrod *et al.*, 2009; Luck *et al.*, 2009; Maes *et al.*, 2012). Dans la perspective de larges investissements dans la Réduction des Emissions de la Déforestation et Dégradation forestière (REDD), des études ont analysé comment des politiques de conservation du carbone pouvait bénéficier ou non la biodiversité (Busch *et al.*, 2011; Strassburg *et al.*, 2010)

Au Costa Rica, un système national de PSE indemnise les propriétaires terriens pour la conservation des forêts, supposée produire conjointement quatre types de services écosystémiques liés à la biodiversité, le carbone, l'eau, et la beauté du paysage. Avec des collègues du CATIE et du CIFOR, nous avons évalué, à l'échelle nationale et avec une résolution spatiale d'un kilomètre, la congruence spatiale entre ces services, en tenant compte du potentiel biophysique de production de services et de la demande socioéconomique pour les services (Figure 13).

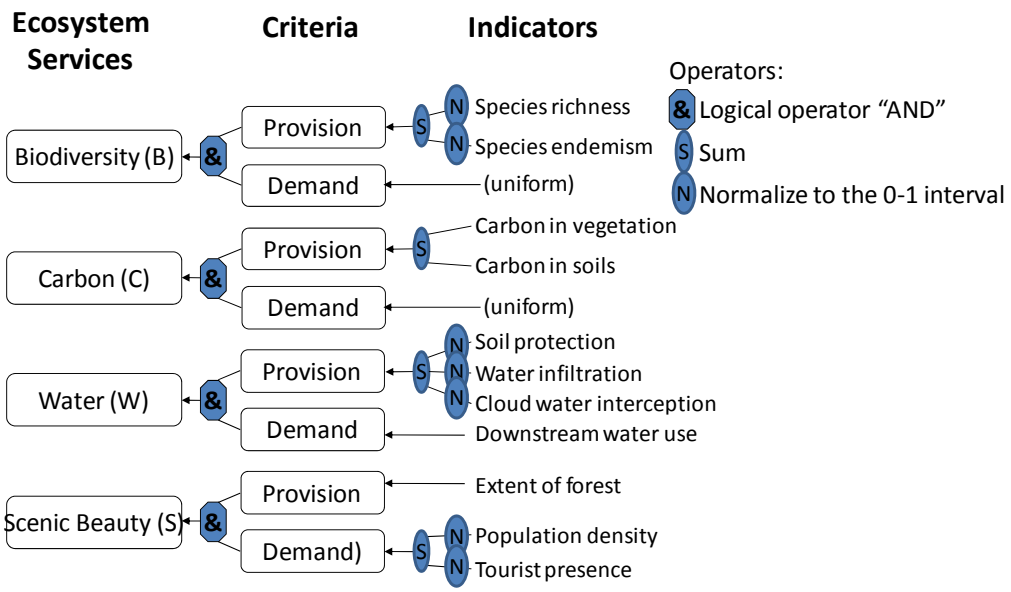


Figure 13. Cadre d'évaluation de services écosystémiques au Costa Rica. Les indicateurs de provision et de demande des services sont normalisés et ajoutés. Les critères de provision et de demande sont ensuite agrégés par l'opérateur logique « ET » avec une approche de logique floue (Locatelli *et al.*, forthcoming)

Nous avons également évalué les synergies spatiales entre les politiques actuelles (parcs nationaux et PSE) et la conservation des services écosystémiques. L'évaluation a montré que les quatre services ont différentes distributions spatiales, mais sont positivement corrélés (Figure 14). Les parcs nationaux et les zones recevant des paiements offrent plus de services que les autres zones. Sélectionner les zones avec la plus forte biodiversité permet de maximiser les co-bénéfices pour d'autres services, tandis la sélection de zones avec le carbone le plus élevé conduit aux co-bénéfices les plus faibles. Ce résultat montre que les initiatives d'atténuation du changement climatique basées sur les forêts (par exemple la REDD, Réduction des Emissions dues à la Déforestation et à la Dégradation des forêts) ne vont pas automatiquement optimiser la provision de co-bénéfices pour les services écosystémiques locaux et la biodiversité, des co-bénéfices qui sont souvent présupposés.

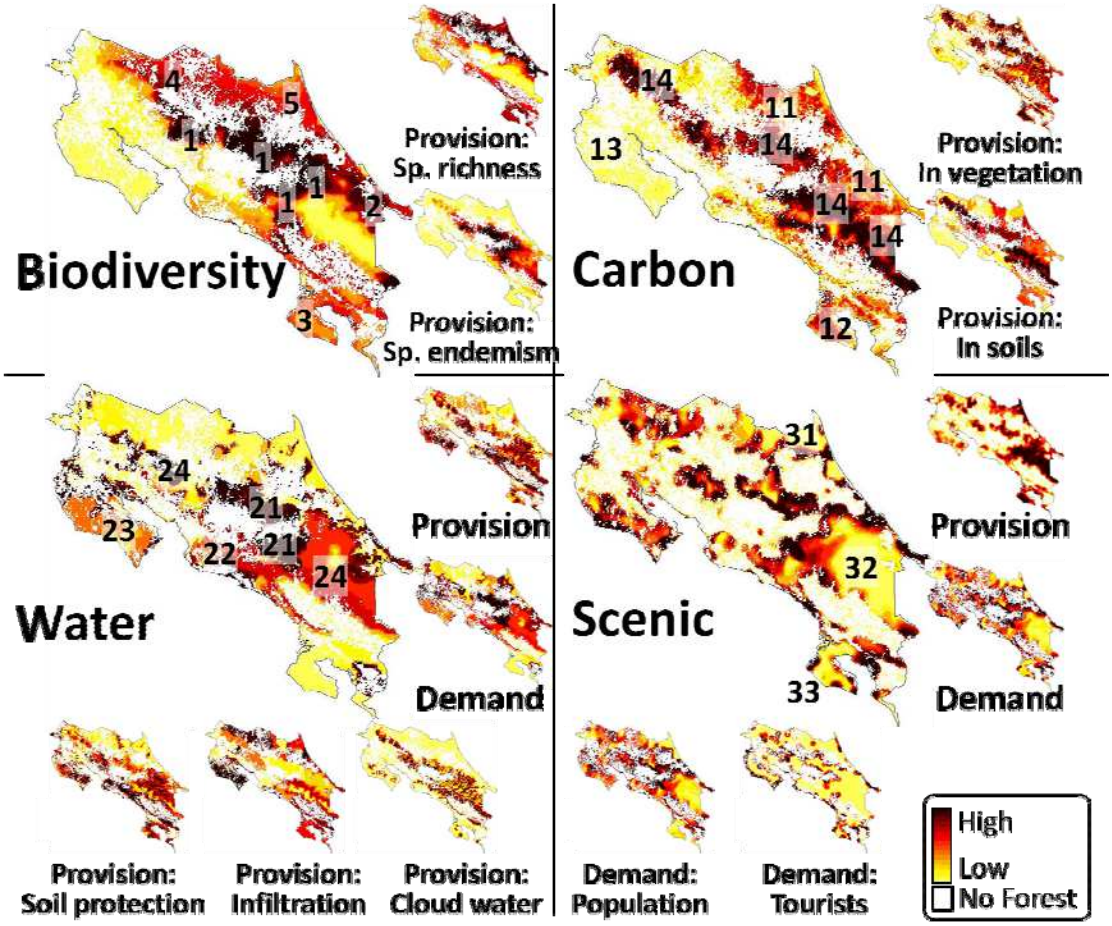


Figure 14. Cartes de services écosystémiques au Costa Rica. Dans chaque quadrant, la carte la plus grande représente la valeur d'un des quatre services considérés dans l'étude. Les cartes les plus petites montrent les critères ou indicateurs utilisés pour ces services, comme indiqué dans la figure 13 (Locatelli *et al.*, forthcoming)

5. Recherches futures

Les activités futures vont se concentrer sur les thèmes des services écosystémiques pour l'adaptation et des synergies entre adaptation et atténuation. L'accent sera mis sur des analyses comparées d'études de cas conduites dans de nombreux pays tropicaux pour produire des connaissances pertinentes à l'échelle globale.

Dans mes activités de recherche futures, un aspect important sera de renforcer les liens entre les différentes thématiques de travail. En effet, même s'il y a une articulation logique entre mes différentes thématiques (comme montré dans la figure 6), la cohérence d'ensemble du travail pourrait être renforcée en intégrant les différentes activités de recherche.

Il s'agit par exemple des activités de recherche sur les impacts du changement climatique sur les écosystèmes (thématique 8 de la figure 6) et celles sur le rôle des services écosystémiques dans l'adaptation de la société (thématique 6 de la figure 6). Les approches sont différentes et leur combinaison représente un défi. Pour la première thématique, le travail se réalise à l'échelle régionale ou continentale, avec des modèles biophysiques et sur le long terme (par exemple avec des scénarios climatiques en 2050). Pour la seconde thématique, l'échelle pertinente est locale, avec des méthodes de sciences sociales et à court terme (car l'accent est mis sur les problèmes de variabilité climatique auxquels les communautés locales font face actuellement). Combiner ces approches nécessite de développer des méthodes innovantes.

Un cadre conceptuel fédérateur est proposé ici, celui des transitions de services écosystémiques et leur moteurs. Il permettra d'étudier les services écosystémiques et l'adaptation au changement climatique, ou les liens entre adaptation et atténuation du changement climatique.

5.1. Transitions de services écosystémiques

Origine : les transitions forestières

Les changements d'utilisation des terres ont des conséquences majeures sur l'environnement et le bien-être humain du local au global (Foley *et al.*, 2005; Lambin et Geist, 2006). Compte tenu de l'importance des forêts pour la protection de la biodiversité, la régulation hydrologique, la production de bois ou la régulation du climat global, de nombreuses études ont porté sur les dynamiques du couvert forestier (Grainger, 2010; Lambin et Geist, 2003; Meyfroidt et Lambin, 2010; Meyfroidt et Lambin, 2011; Rudel *et al.*, 2005). Le cadre conceptuel de la « transition forestière » (TF), qui a nourri de nombreuses analyses et débats, présente deux grandes étapes au cours de trajectoires nationales de développement (Kull *et al.*, 2007; Mather et Needle, 1998; Redo *et al.*, 2012) : d'abord, la croissance de la population et de la demande alimentaire conduisent à la déforestation au profit de l'agriculture ; ensuite l'intensification agricole, l'urbanisation, l'industrialisation et la raréfaction des produits forestiers entrainent la régénération forestière (Mather, 1992; Rudel *et al.*, 2005).

Même si la courbe en U de la TF (figure 15) a été observée dans de nombreux pays (surtout développés), ce cadre a été critiqué pour son manque de différentiation des types de couvert forestiers (par exemple forêts primaires ou plantations) et leurs différents services écosystémiques et son focus sur les produits (bois et alimentation) (Farley, 2007; Perz, 2007). De plus, la validation de cette théorie s'est souvent faite sur des exemples du passé dans un contexte qui est différent de celui d'aujourd'hui, avec une globalisation actuelle des marchés et des changements ou des enjeux environnementaux qui modifient les moteurs de la TF. Une des limitations de la TF est d'utiliser un indicateur de surfaces et d'associer la « non-forêt » à la production alimentaire et la forêt à la production des autres services, alors que des études ont montré que des services écosystémiques pouvaient s'accroitre sans changement de surface boisée (par exemple par l'agriculture écologique) ou qu'une augmentation de surface boisée pouvait se faire au détriment de services liés à l'eau, aux sols ou à la biodiversité (Bremer et Farley, 2010; Lambin et Meyfroidt, 2010; Locatelli et Vignola, 2009; Putz et Redford, 2010).

Cadre conceptuel proposé

A partir des théories de la TF et des transitions d'usage du sol (Lambin et Meyfroidt, 2010), un cadre conceptuel peut être développé pour étudier les « transitions de services écosystémiques » (TSE) dans un contexte de changement global. La réflexion sur ce cadre a été menée avec Sandra Lavorel (CNRS-Université de Grenoble), Ulrike Tappeiner (Université d'Innsbruck, Autriche) et Davide Geneletti (Université de Trento, Italie) lors d'un atelier sur les services écosystémiques en zones de montagne (organisé en Suisse en septembre 2012 par le Mountain Research Initiative).

Ce cadre prend en compte différentes mosaïques paysagères et éléments de paysages (agricoles, forestiers ou autres) produisant différents services écosystémiques : approvisionnement (aliments, bois,…), régulation (eau, climat, sols,…) ou culturels (beauté du paysage, espèces emblématiques, etc.). Ce cadre se justifie par le fait que le meilleur paramètre pour comprendre la relation de l'humain à la forêt n'est pas le couvert forestier mais les compromis que les sociétés construisent entre les services écosystémiques aux différentes échelles (Lambin *et al.*, 2001).

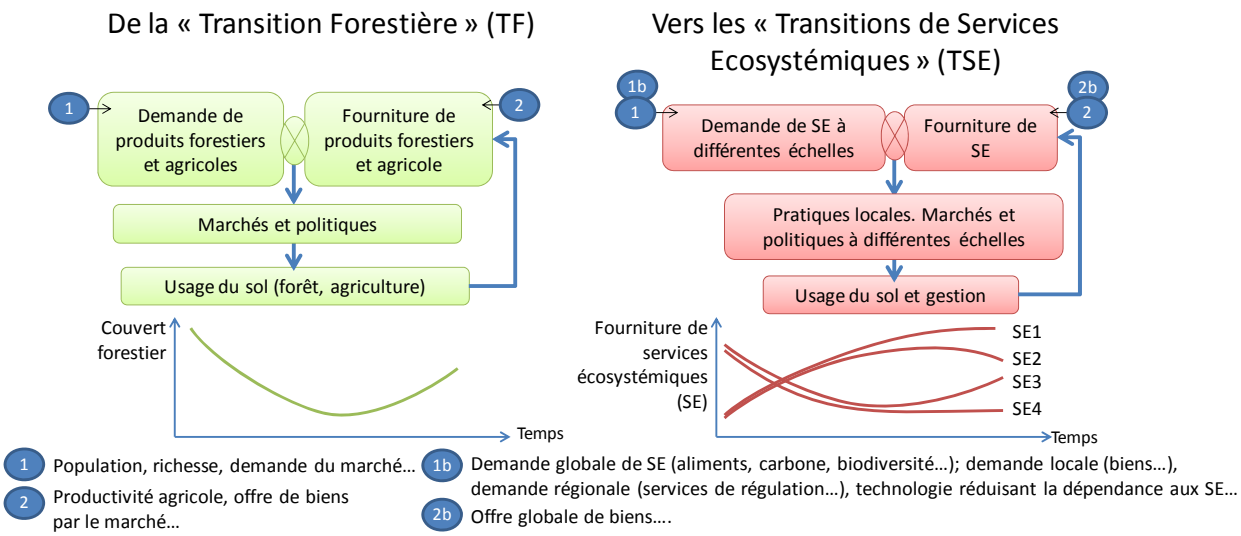


Figure 15. De la transition forestière aux transitions de services écosystémiques

Les demandes changeantes de services écosystémiques (y compris les biens) à différentes échelles influencent les TSE (« Demand-driven dynamics ») (Harrington *et al.*, 2010). Une hypothèse est que la globalisation économique et les changements globaux jouent un rôle croissant comme moteurs des TSE (Lambin *et al.*, 2001). Pour le cas du changement climatique, des instruments comme la REDD créent une demande pour le service global de séquestration du carbone. Des projets ou plans d'adaptation au changement climatique créent une demande pour des services locaux ou méso (échelle nationale et régionale) qui contribuent à réduire la vulnérabilité des populations, comme les services de régulation hydrologique dans un contexte de crues ou sècheresses (Pramova *et al.*, 2012a).

Ces transitions génèrent des compromis entre services (par exemple la séquestration du carbone peut s'accroitre au détriment de la production agricole ou de la régulation hydrologique) et entre leurs bénéficiaires du local au global, actuellement et dans le futur. Les TSE représentent donc des enjeux de redistribution et de pouvoir, au sein des populations rurales, entre les populations rurales et urbaines, entre le local, le national et le global où se prennent des décisions qui remodèlent les droits d'accès et d'usage des ressources naturelles et donc les mosaïques paysagères et les services écosystémiques qu'elles délivrent.

Des compromis entre les priorités données aux différents services sont possibles, par exemple entre les services globaux pour l'atténuation du changement climatique (carbone) et les services locaux ou régionaux pour l'adaptation (eau, produits, etc.) car les politiques et instruments pour l'atténuation, comme la REDD, peuvent créer un intérêt pour un service global au détriment de services locaux ou régionaux. Cependant des synergies peuvent aussi être trouvées.

Les compromis ou synergies entre adaptation et atténuation ne doivent cependant pas seulement s'étudier en termes de services écosystémiques. En effet, les aspects sociaux et institutionnels sont

importants, car l'adaptation n'est pas seulement une affaire de services écosystémiques qui réduisent la vulnérabilité des populations. Il s'agit aussi du renforcement des institutions locales, du renforcement de capacités ou de la diversification de modes de vie (entre autres). Tous ces éléments devant être pris en compte dans des politiques ou instruments à multiples objectifs.

5.2. Articulation des questions de recherche

L'objectif général de la recherche proposée est d'analyser les dynamiques de services écosystémiques dans des mosaïques paysagères présentant différents niveau de couvert arboré dans un contexte de changement global, leurs moteurs et leurs conséquences pour les bénéficiaires des services à différentes échelles, du local au global. Le cadre conceptuel proposé sur les transitions de services écosystémiques sera développé sur la base d'une revue systématique de littérature sur les dynamiques de paysages et de services écosystémiques et d'études de cas existantes, dans le but de mettre en évidence des archétypes de transitions de services écosystémiques, qui diffèrent en fonction des moteurs de la dynamique et des compromis entre services.

L'approche générale de la recherche combinera des apports de la théorie de la hiérarchie (pour les échelles multiples et les chaines causales), la panarchie (pour les dynamiques lentes ou rapides et pour les non linéarités) et l'hétérarchie (pour les changements de facteurs explicatifs et de chaines causales au cours du temps) (Perz et Almeyda, 2010). Des études de terrain permettront d'analyser la dynamique de services écosystémiques dans des paysages sélectionnés, les compromis entre services, et leurs conséquences sur les conditions d'existence des usagers des services. Une hypothèse est que la dynamique des paysages entraine des recompositions entre services écosystémiques, qui se traduisent par des effets différentiés sur les acteurs et leur vulnérabilité, les plus négativement affectés par ces dynamiques étant ceux avec le moins de pouvoir ou d'influence sur des décisions collectives.

Dans les études de terrain, l'analyse portera d'abord sur la situation actuelle (cartographie de l'usage du sol, identification des services clés actuellement et dans le passé, utilisation d'outils innovants d'analyse des services[1], enquêtes auprès des bénéficiaires des services, développement d'indicateurs de services). Les données d'une approche historique viendront de la littérature, d'archives (cartes, images et photographies), de statistiques économiques, de documents d'histoire politique et sociale, d'enquêtes et d'entretiens, et d'ateliers avec des outils de la recherche participative comme les profils historiques. Ceci permettra de reconstruire la dynamique des mosaïques paysagères, des services et des compromis entre services et bénéficiaires.

Les moteurs de la dynamique de services écosystémiques dans les paysages sélectionnés seront analysés, ainsi que leurs liens avec la demande de services à différentes échelles. Une hypothèse est que les changements globaux ont une influence croissante sur la dynamique des services

[1] Par exemple InVEST (Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs) et ARIES (Artificial Intelligence for Ecosystem Services).

écosystémiques, en particulier par le biais d'une demande croissante pour des services de régulation à l'échelle globale (par ex. carbone pour l'atténuation du changement climatique) et méso ou locale (par ex. services de régulation hydrologique et de protection pour l'adaptation au changement climatique) (Figure 16). Les données viendront d'entretiens, d'archives et de la littérature sur l'histoire politique, les marchés, les initiatives locales (par exemple payements pour services hydrologiques, projets carbone, projets d'adaptation au changement climatique), et les évènements marquants (désastres naturels, crises économiques). Un travail de modélisation permettre d'analyser les liens entre les changements observés et la demande de services aux échelles locales, nationales ou internationales, associée à une offre (actuelle ou future, avérée ou présumée) (Rounsevell *et al.*, 2012).

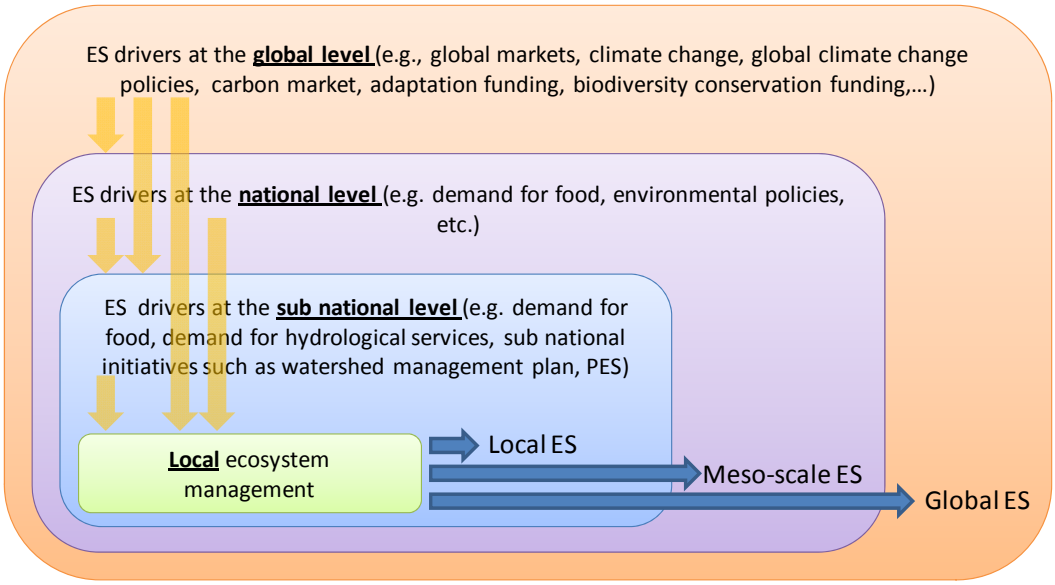


Figure 16. Les niveaux multiples d'influence sur la gestion des écosystèmes et de provision de services

Des scénarios seront développés pour représenter des futurs possibles des paysages et des usagers de services écosystémiques, en utilisant une approche top-down (partant de scénarios globaux comme les scénarios climatiques de l'IPCC ou les scénarios socioéconomiques de IMAGE) et une approche bottom-up (partant de scénarios développés avec des acteurs locaux et nationaux) (Carpenter *et al.*, 2006; Dessai *et al.*, 2005; O'Neill *et al.*, 2008; Schneider *et al.*, 2007; Swetnam *et al.*, 2011; van Vuuren *et al.*, 2011; Webb et Stokes, 2012; Ziervogel et Zermoglio, 2009). Les scénarios permettront de réfléchir aux conséquences pour différents groupes sociaux et aux mesures à prendre pour éviter les scénarios les moins désirables et se rapprocher des plus désirables (Carlsson-Kanyama *et al.*, 2008; Robinson, 2003).

5.3. Projets de recherches, partenaires et sites

Deux projets de recherche qui commencent actuellement et auxquels je participe sont détaillés ici. Ils permettront de tester le cadre conceptuel sur les transitions de services écosystémiques. Ces

deux projets ont en commun de porter sur les services écosystémiques, en lien avec l'adaptation et l'atténuation du changement climatique. La façon dont ces deux projets ont été formulés me laisse la possibilité d'y intégrer ce cadre.

Le projet GCS (« Global Comparative Study on REDD ») est mis en œuvre par le CIFOR dans de nombreux pays d'Asie, Amérique Latine et Afrique. L'objectif global de ce partenariat de recherche est de s'assurer que les décideurs et les communautés de praticiens possèdent les connaissances, l'information et les outils pour mettre en œuvre la REDD d'une façon efficace et avec des effets positifs sur la réduction de la pauvreté, l'amélioration des services écosystémiques autres que le carbone et la protection des moyens de subsistance locaux. L'un des objectifs spécifiques est de générer des connaissances pour le développement de politiques et de mesures qui favorisent les synergies entre la REDD et l'adaptation au changement climatique. Je suis en charge du module sur les synergies entre REDD et adaptation, qui inclut : (i) des analyses de politiques nationales et internationales sur l'adaptation au changement climatique et les forêts, ainsi que des rôles et intérêts des différentes parties prenantes au niveau national, (ii) des évaluations de la vulnérabilité actuelle et future des communautés dans les sites sélectionnés, en mettant l'accent sur les liens entre les forêts et la réduction de la vulnérabilité de la société, (iii) des évaluations d'approches de l'adaptation basée sur les écosystèmes à l'échelle sous-nationale, y compris de leur contribution à l'atténuation du changement climatique.

Le projet européen OPERAs (« Operational potential of ecosystems research applications ») est mis en œuvre par 27 organismes de recherche, principalement européens, et est coordonné par l'Université d'Edimbourg. Il vise à améliorer la compréhension de la façon dont les services écosystémiques et le capital naturel contribuent au bien-être dans différents systèmes socio-écologiques. La recherche permettra de déterminer si, comment, et dans quelles conditions les concepts de services écosystémiques et de capital naturel peuvent sortir du domaine académique et être mis en œuvre concrètement pour la gestion durable des écosystèmes dans un contexte de changement global. Mon implication sera en particulier sur les services écosystémiques à l'interface de l'adaptation et de l'atténuation du changement climatique. La recherche va utiliser une méta-analyse des pratiques existantes pour identifier les lacunes dans les connaissances et les exigences pour de nouvelles politiques et instruments. De nouvelles idées et des outils améliorés ou de nouveaux instruments seront testés en pratique dans des études de cas couvrant une gamme de systèmes socio-écologiques.

En termes de positionnement géographique, même si je continuerai à interagir avec des collègues en Asie et en Afrique et à participer à leurs projets, je prévois un recentrement sur l'Amérique du Sud, avec une affectation au Pérou mi 2013 (Figure 18). Le CIFOR est actuellement en train de mettre en place des zones d'études sur le long terme (« Sentinel Landscapes ») dans lesquels des études de suivi de changements globaux pourront être développées. Au sein de ces zones, des sites seront choisis selon des gradients de conditions environnementales et socioéconomiques.

Figure 18. Terrains principaux (Amérique du Sud) et secondaires (Burkina Faso, Cameroun, Indonésie)

Des partenaires européens, latino-américains, nord-américains et australiens sont déjà inclus dans mes recherches et d'autres partenariats sont en cours de formalisation. En termes d'intégration dans des réseaux scientifiques, je souhaite renforcer mes interactions avec le monde académique européen, en particulier français. Le projet européen OPERAs contribuera à cet objectif. La perspective d'une HDR me permettra également d'encadrer des doctorants français en collaboration avec des universités françaises. Ceci justifie en partie ce dossier de candidature.

6. Parcours du candidat

Bruno Locatelli Né le 15/01/1971

Chercheur au CIRAD,

en poste au CIFOR (Indonésie)

Contact	Adresse postale: PO Box 0113 BOCBD Bogor 1600 Indonesia	Email: bruno.locatelli@cirad.fr Tel: +62 251 622 622 ext. 312

6.1. Déroulement de carrière

Depuis 2001	Chercheur dans l'unité de recherche « Biens et services écosystémiques des forêts » du département « Environnement et Société » du CIRAD (La Recherche Agronomique pour le Développement), Montpellier, France.
A partir de mi 2013	Chercheur CIRAD en poste au CIFOR (Centre International de Recherche Forestière) à Lima au **Pérou**.
Début 2008 à mi 2013	Chercheur CIRAD en poste au CIFOR (Centre International de Recherche Forestière) à Bogor en **Indonésie**. Chercheur dans le département « Environnement ». Responsable d'un des six domaines de recherche du CIFOR, celle sur l'adaptation au changement climatique.
Début 2002 à fin 2007	Chercheur CIRAD en poste au CATIE (Centre Agronomique Tropical de Recherche et d'Enseignement) à Turrialba au **Costa Rica**. Enseignant-chercheur dans le groupe « Changements Globaux ».
De 2000 à 2001	Consultant indépendant (France, Chili et Brésil).
De 1996 à 1999	Doctorant, CIRAD (France et Madagascar).

6.2. Formation

2000	Doctorat en Sciences de l'Environnement. ENGREF (Ecole Nationale du Génie Rural et des Eaux et Forêts), désormais appelée AgroParisTech (Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement). Ecole doctorale ABIES (Agriculture, Biologie, Environnement, Santé) ED 435.
1995	DEA en Hydrologie. Université de Montpellier 2 et ENGREF, Montpellier.
1995	Diplôme d'ingénieur du GREF. ENGREF, Paris. Disciplines principales : Foresterie, Hydrologie, Economie.
1993	Diplôme de l'Ecole Polytechnique. Ecole Polytechnique, Palaiseau, France. Disciplines principales : Mathématiques, Physique, Biologie.

6.3. Domaines d'intérêt

Services écosystémiques et changement climatique. Rôle des services écosystémiques dans l'adaptation de la société à la variabilité et au changement climatique. Vulnérabilité des forêts tropicales et de leurs services au changement climatique. Politiques et pratiques d'adaptation. Synergies entre adaptation et atténuation du changement climatique. Payements pour services écosystémiques.

6.4. Publications

Articles dans des revues à facteur d'impact

N°	Année	Référence	Facteur d'impact
23	A venir	Boissière M., Locatelli B., Sheil D., Padmanaba M., Ermayanti, forthcoming. Local Perceptions of Climate Variability and Change in Tropical Forests of Papua (Indonesia). *Ecology and Society* (accepted with revisions).	2.516
22	A venir	Locatelli B., Imbach P., Wunder S., forthcoming. Synergies and trade-offs between ecosystem services in Costa Rica. *Environmental Conservation* (accepted with revisions).	1.927
21	2013	Brockhaus M., Djoudi H., Locatelli B., 2013. Envisioning the future and learning from the past: Adapting to a changing environment in northern Mali. *Environmental Science* & Policy 25: 95-106. doi:10.1016/j.envsci.2012.08.008	3.024
20	2012	Imbach P., Molina L., Locatelli B., Roupsard O., Mahé G., Neilson R., Corrales L., Scholze M., Ciais P., 2012. Modeling potential equilibrium states of vegetation and terrestrial water cycle of Mesoamerica under climate change scenarios. *Journal of Hydrometeorology* 13(2): 665-680. doi:10.1175/JHM-D-11-023.1	3.052
19	2012	Djoudi H., Brockhaus M., Locatelli B., 2012. Once there was a lake: Vulnerability to environmental changes in northern Mali. *Regional Environmental Change*. doi: 10.1007/s10113-011-0262-5	3.000
18	2012	Pramova E., Locatelli B., Djoudi H., Somorin O., 2012. Forests and trees for social adaptation to climate variability and change. *WIREs Climate Change* 3:581–596. doi: 10.1002/wcc.195	2.913

17	2012	Guariguata M.R., Locatelli B., Haupt F., 2012. Adapting tropical production forests to global climate change: risk perceptions and actions. *International Forestry Review* 14(1), 27-38. doi:10.1505/146554812799973226	1.288
16	2012	Pramova E., Locatelli B., Brockhaus M., Fohlmeister S., 2012. Ecosystem services in the National Adaptation Programmes of Action. *Climate Policy* 12(4): 393-409. doi: 10.1080/14693062.2011.647848	1.112
15	2011	Locatelli B., Imbach P., Vignola R., Metzger M.J., Leguía Hidalgo E.J., 2011. Ecosystem services and hydroelectricity in Central America: Modelling service flows with fuzzy logic and expert knowledge. *Regional Environmental Change* 11(2): 393-404. doi:10.1007/s10113-010-0149-x	3.000
14	2011	Bele M.Y., Somorin O. Sonwa D.J., Nkem J.N., Locatelli B., 2011. Forests and climate change adaptation policies in Cameroon. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 16: 369-385. doi:10.1007/s11027-010-9264-8	1.234
13	2011	Wertz-Kanounnikoff S., Locatelli B., Wunder S., Brockhaus M., 2011. Ecosystem-based adaptation to climate change: What scope for payments for environmental services? *Climate and Development* 3(2): 143-158. doi:10.1080/17565529.2011.582277	1.206
12	2011	Pramova E., Locatelli B., 2011. Cancún Agreements: Historic Step Forward or Rushed Deal? *Bois et Forêts des Tropiques* 307(1): 3-6.	0.439
11	2010	Imbach P., Molina L., Locatelli B., Roupsard O., Ciais P., Corrales L., and Mahé G., 2010. Climatology-based regional modelling of potential vegetation and average annual long-term runoff for Mesoamerica. *Hydrology and Earth System Sciences* 14, 1801-1817, doi:10.5194/hess-14-1801-2010.	2.463
10	2010	Rivera Rojas M., Locatelli B., Billings R., 2010. Climate change and outbreaks of Southern Pine Beetle Dendroctonus frontalis in Honduras. *Forest Systems* 19(1): 70-76	0.561
9	2010	Locatelli B., Thompson I., Brockhaus M., Buck A., 2010. Forests and adaptation to climate change: Challenges and opportunities [Abstract]. *International forestry review* 12(5): 436	
8	2010	Locatelli B., Murdiyarso D., 2010. Linking climate change mitigation and adaptation in tropical forests: What is at stake? [Abstract]. *International forestry review* 12(5): 74.	
7	2009	Locatelli B., Vignola R., 2009. Managing watershed services of tropical forests and plantations: Can meta-analyses help? *Forest Ecology and Management* 258(9):1864-1870. doi:10.1016/j.foreco.2009.01.015	1.992
6	2009	Vignola R., Locatelli B., Martinez C., Imbach P., 2009. Ecosystem-based adaptation to climate change: What role for policy-makers, society and scientists? *Mitigation and Adaptation of Strategies for Global Change* 14: 691-696. doi:10.1007/s11027-009-9193-6	1.077
5	2009	Benegas L., Jiménez F., Locatelli B., Faustino J., Campos M., 2009. A methodological proposal for the evaluation of farmer's adaptation to climate variability, mainly due to drought in watersheds in Central America. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 14(2): 169-183. doi:10.1007/s11027-008-9158-1	1.077
4	2008	Locatelli B., Rojas V., Salinas Z., 2008. Impacts of payments for environmental services on local development in northern Costa Rica: A fuzzy multi-criteria analysis. *Forest Policy and Economics* 10(5): 275-285. doi:10.1016/j.forpol.2007.11.007	1.155
3	2004	Locatelli B., Pedroni L., 2004. Accounting methods for carbon credits: Impacts on the minimum area of CDM forestry projects. *Climate Policy* 4(2): 193-204.	0.776
2	2003	Locatelli B., Loisel C., 2003. Controverses sur les puits de carbone. *Biofutur* 235: 33-38.	
1	2002	Thébaud O., Locatelli B., 2002. Modelling the emergence of resource-sharing conventions: An agent-based approach. *Journal of Artificial Societies and Simulation*, 4(2).	0.046

Articles dans des revues à comité de lecture sans facteur d'impact

N°	Année	Référence
21	2011	Locatelli B., Evans V., Wardell A., Andrade A., Vignola R., 2011. Forests and Climate Change in Latin America: Linking Adaptation and Mitigation. *Forests* 2(1): 431-450. doi:10.3390/f2010431
20	2011	Rojas V., Locatelli B., 2011. El pago por servicios ambientales y su impacto socioeconómico: el caso del programa de PSA en plantaciones forestales de la zona norte de Costa Rica. *Spanish Journal of Rural Development* 2: 1-14.
19	2010	Locatelli B., Babin D., Torquebiau E., 2010. Biodiversity and society: understanding connections, adapting to change. *Natures Sciences Sociétés* 18(4): 462-465
18	2010	Díaz Briones A.A., Locatelli B., Vignola R., Pérez C., Prins C., 2010. Evolución de instituciones adaptativas frente a problemas hidrológicos en dos cuencas de Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente* 59-60: 10-16.
17	2010	Jiménez M., Chain A., Locatelli B., 2010. Efectos del cambio climático en la distribución de zonas de vida en Centroamérica. *Recursos Naturales y Ambiente* 59-60: 32-40.
16	2009	Leguía E.J., Locatelli B., Imbach P., 2009. Impacto del cambio climático en plantaciones forestales en Centroamérica. *Recursos Naturales y Ambiente* 56-57: 150-159.
15	2008	Guariguata M., Cornelius J., Locatelli B., Forner C., Sánchez-Azofeifa G.A., 2008. Mitigation needs adaptation: Tropical forestry and climate change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 13: 793–808. doi:10.1007/s11027-007-9141-2
14	2007	Pérez C., Locatelli B., Vignola R., Imbach P., 2007. Importancia de los bosques tropicales en las políticas de adaptación al cambio climático. *Recursos Naturales y Ambiente* 51-52: 6-13.
13	2007	Benegas L., Jimenez F., Locatelli B., Faustino J., Campos M., 2007. Evaluacion de la adaptacion de los productores a la variabilidad climatica, principalmente a la sequia en cuencas hidrograficas en América Central. *Recursos Naturales y Ambiente* 51-52: 107-123.
12	2007	Leguía E., Locatelli B., Imbach P., Alpizar F., Vignola R., Perez C., 2007. Bosques proveedores de servicios ecosistémicos para la generación de hidroelectricidad en Nicaragua. *Recursos Naturales y Ambiente* 51-52: 40-47.
11	2007	Gonzalez C., Locatelli B., Imbach P., Vignola R., Pérez C.J., Vaast P., 2007. Sistemas forestales y agroforestales proveedores de servicios ecosistémicos para el sector agua potable en Nicaragua. *Recursos Naturales y Ambiente* 51-52: 33-39.
10	2007	Martínez C., Imbach P., Locatelli B., 2007. ¿Cómo seleccionar una definición de bosque en un país para el Mecanismo de Desarrollo Limpio? *Recursos Naturales y Ambiente* 51-52: 184-190.
9	2006	Locatelli B., Pedroni L., 2006. Will simplified modalities and procedures make more small-scale forestry projects viable under the Clean Development Mechanism? *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* 11(3): 621-643. doi:10.1007/s11027-006-5274-y
8	2006	Garay M., Locatelli B., Louman B., 2006. Impacto socioeconómico del pago por servicios ambientales y la certificación forestal voluntaria en la sostenibilidad del manejo forestal en Costa Rica. *Recursos Naturales y Ambiente* 46-47: 99-108.
7	2005	Locatelli B., Merckx V., 2005. Changement climatique: Les négociations de Buenos Aires. *Bois et Forêts des Tropiques* 286: 73-80.
6	2004	Ruiz A., Ibrahim M., Locatelli B., Andrade H.J., Beer J., 2004. Fijación y almacenamiento de carbono en sistemas silvopastoriles y competitividad económica de fincas ganaderas en Matiguás, Nicaragua. *Agroforestería en las Américas* 41-42: 16-21.
5	2002	Locatelli B., Loisel C., 2002. Changement climatique : La vérité est-elle au fond du puits ? *Natures, Sciences et Sociétés* 10(4): 7-19.
4	2002	Locatelli B., Graffin A., Boisseaux T., 2002. La biodiversité est tombée dans le puits. *Bois et Forêts des Tropiques* 271(1): 51-60.
3	2001	Locatelli B., 2001. Après Bonn, quel avenir pour les puits de carbone ? *Bois et Forêts des Tropiques* 271: 110-111.
2	2001	Locatelli B., Leonard S., 2001. Un método para medir el carbono almacenado en los bosques de Malleco (Chile). *Bois et Forêts des Tropiques* 267: 69-80.

1	1999	Lescuyer G., Locatelli B., 1999. Rôle et valeur des forêts tropicales dans le changement climatique. *Bois et Forêts des Tropiques*, 260: 5-18.

Articles dans des revues à comité de lecture sans facteur d'impact

N°	Année	Référence
13	2010	Locatelli B., 2010. Agriculture et forêts au secours du climat. *La Jaune et la Rouge* 657: 26-29.
12	2009	Locatelli B., Sonwa D., 2009. Forêts et adaptation au changement climatique : Défis et opportunités. *Liaison Energie-Francophonie* 85: 122-126.
11	2008	Leguía E.J., Locatelli B., Imbach P., Pérez C.J., Vignola R. 2008. Servicios ecosistémicos e hidroenergía en Costa Rica. *Ecosistemas* 17 (1): 16-23.
10	2008	Locatelli B., Imbach P., Molina L.G., Palacios E., Corrales L. 2008. Futuro de los incendios forestales bajo escenarios socioeconómicos y de cambio climático en Centroamérica. *Mesoamericana* 12 (3): 132-133.
9	2008	Gardette Y.M., Locatelli B. 2008. Les marchés du carbone forestier. *Rendez-vous techniques* (20) : 52-57.
8	2007	Pérez C., Locatelli B., Vignola R., Imbach P., 2007. Integrar los bosques tropicales en las políticas de adaptación al cambio climático. *Ambientico* 165: 19-21.
7	2007	Argüello R., Locatelli B., Navarro G., Piedra M., Salinas Z., 2007. Potencial del Mecanismo de Desarrollo Limpio en las plantaciones forestales de Panamá. *Tierra Tropical* 3(1): 27-36.
6	2007	Leguia E., Locatelli B., Imbach P., Alpizar F., Vignola R., Pérez C.J. 2007. Identificación de bosques proveedores de servicios ecosistémicos para hidroelectricidad en Nicaragua. *Ambientico* (165) : 25-27.
5	2004	Pedroni L., Locatelli B., 2004. Mecanismo para un Desarrollo Limpio: ¿Incentivo para pequeños emprendimientos forestales? *Patagonia Forestal* 10(2): 18-19 & 10(2): 14-17.
4	2003	Locatelli B., Black J., Pedroni L., 2003. Linking small forest stakeholders with global environmental conventions: The role of umbrella projects. *European Tropical Forest Research Network* 39.
3	2003	Pedroni L., Locatelli B. 2003. Contabilidad de creditos de carbono para proyectos forestales MDL. *Ambientico* (112) : 15-17.
2	2002	Locatelli B., 2002. Forêts tropicales et changement climatique : les puits de carbone ne font pas l'unanimité. *Informations et commentaires: le développement en question* 119: 39-48.
1	2002	Locatelli B., Lescuyer G. 2002. Carbon sequestration by tropical forest : Materialising an intangible benefit ?. *European Tropical Forest Research Network* (35) : 35-37

Ouvrages

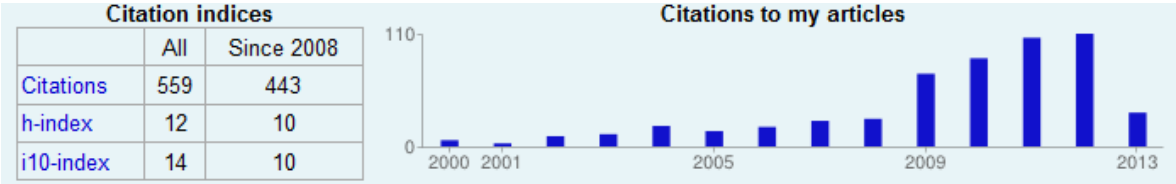
N°	Année	Référence
7	2010	Martínez-Alonso, C., Locatelli, B., Vignola, R., Imbach, P. (Editors), 2010. Adaptation to Climate Change and Ecosystem Services in Latin America [In Spanish]. CATIE, Turrialba, Costa Rica, 145 p. ISBN 978-997-7575-278.
6	2009	Locatelli, B., Kanninen, M., Brockhaus, M., Colfer, C.J.P., Murdiyarso, D. and Santoso, H. 2008. *Face à un avenir incertain : comment les forêts et les populations peuvent s'adapter au changement climatique*. Forest Perspectives, CIFOR, Bogor, Indonesia, 97 p. ISBN 978-979-1412-75 [Traduction]
5	2009	Locatelli, B., Kanninen, M., Brockhaus, M., Colfer, C.J.P., Murdiyarso, D. and Santoso, H. 2008. *Ante un futuro incierto: Cómo se pueden adaptar los bosques y las comunidades al cambio climático*. Forest Perspectives, CIFOR, Bogor, Indonesia, 97 p. ISBN 978-979-1412-91-9 [Traduction]
4	2009	Locatelli, B., Kanninen, M., Brockhaus, M., Colfer, C.J.P., Murdiyarso, D. and Santoso, H. 2008. *Menghadapi masa depan yang tak pasti. Bagaimana hutan dan manusia beradaptasi terhadap perubahan iklim*. Forest Perspectives, CIFOR, Bogor, Indonesia, 97 p. ISBN 978-979-1412-75-9 [Traduction]
3	2008	Locatelli, B., Kanninen, M., Brockhaus, M., Colfer, C.J.P., Murdiyarso, D. and Santoso, H. 2008. *Facing an uncertain future: How forests and people can adapt to climate change*. Forest Perspectives, CIFOR, Bogor, Indonesia, 97 p. ISBN 978-979-1412-75-9

2	2005	Louman B., Garay M., Yalle S., Campos J.J., Locatelli B., et al., 2005. *Environmental and Socioeconomic Effects of Payments for Ecosystem Services and Certification of Forest Management in Costa Rica* (in Spanish). CATIE, Costa Rica, ISBN 978-9-9775-7402-8.
1	1996	Locatelli B., 1996. F*orêts tropicales et cycle du carbone*. CIRAD, France, ISBN 978-2-87614-255-1.

Chapitres d'ouvrages

N°	Année	Référence
12	2011	Locatelli, B., Evans, V., Wardell, A., Andrade, A., Vignola, R., 2011. *Bosques y cambio climático en América Latina*, In: Gobernanza forestal y REDD+: Desafíos para las políticas y mercados en América Latina. Petkova E., Larson A., Pacheco P. (eds.). CIFOR, Bogor, pp. 79-95.
11	2010	Locatelli B., Kanninen M., 2010. *Servicios ecosistémicos y adaptación al cambio climático*. In: Martínez-Alonso, C., Locatelli, B., Vignola, R., Imbach, P. (Editors), 2010. Adaptation to Climate Change and Ecosystem Services in Latin America. CATIE, Turrialba, Costa Rica, pp. 11-20.
10	2010	Imbach P., Molina L., Locatelli B., Corrales L., 2010. *Vulnerabilidad de los servicios ecosistémicos hidrológicos al cambio climático en Mesoamérica*. In: Martínez-Alonso, C., Locatelli, B., Vignola, R., Imbach, P. (Editors), 2010. Adaptation to Climate Change and Ecosystem Services in Latin America. CATIE, Turrialba, Costa Rica, pp. 32-43.
9	2010	Locatelli B., Imbach P.., 2010. *Migración de ecosistemas bajo escenarios de cambio climático: el rol de los corredores biológicos en Costa Rica*. In: Martínez-Alonso, C., Locatelli, B., Vignola, R., Imbach, P. (Editors), 2010. Adaptation to Climate Change and Ecosystem Services in Latin America. CATIE, Turrialba, Costa Rica, pp. 44-53.
8	2010	Locatelli B., Brockhaus M., Buck A., Thompson I., 2010. *Forests and Adaptation to Climate Change: Challenges and Opportunities*. In: Forest and Society: Responding to Global Drivers of Change. Mery G., Katila P., Galloway G., Alfaro R.I., Kanninen M., Lobovikov M., Varjo J. (eds.). IUFRO World Series vol. 25, Vienna, pp. 21-42.
7	2008	Locatelli B., Pedroni L., Salinas Z., 2008. *Design Issues in Clean Development Mechanism Forestry Projects*. In: Climate Change and Forests: Emerging Policy and Market Opportunities. Streck C., O'Sullivan R., Janson-Smith T., Tarasofsky R.G. (eds.), Brookings Institution Press, ISBN 978-0-8157-8192-9, pp.107-120.
6	2008	Locatelli B., Schroeder M., 2008. *Preguntas frecuentes sobre adicionalidad en proyectos forestales MDL*. In: Salinas Z., Hernandez P. (eds.). Guia para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergia . Turrialba, Costa Rica, Catie, ISBN 978-9977-57-461-5, pp.11-15.
5	2008	Locatelli B., Salinas Z., 2008. *Preguntas frecuentes sobre impactos socioeconómicos y ambientales en proyectos forestales MDL*. In: Salinas Z., Hernandez P. (eds.). Guia para el diseño de proyectos MDL forestales y de bioenergia . Turrialba, Costa Rica, Catie, ISBN 978-9977-57-461-5, pp.83-105
4	2005	Biringer J., Guariguata M., Locatelli B., Pfund J.L., Spanger-Siegfried E., Suarez A.G., Yeaman S., Jarvis A., 2005. *Biodiversity in a changing climate: a framework for assessing vulnerability and evaluating practical responses.* In: Tropical Forests and Adaptation to Climate Change. Robledo C., Kanninen M., Pedroni L. (eds.). CIFOR, Indonesia, ISBN 978-9-7924-4604-3, pp.154-183.
3	2004	Locatelli B., Karsenty A., 2004. *Tropical forest dynamics and climate change*. In: Beyond Tropical Deforestation: From tropical deforestation to forest cover dynamics and forest development. Babin D. (ed.). Paris, France, Cirad-Unesco. ISBN 978-2-8761-4577-1, pp. 97-120.
2	2004	Locatelli B., Boissau S., Weber J., 2004. *Does population growth affect wooded cover dynamics?* In: Beyond Tropical Deforestation: From tropical deforestation to forest cover dynamics and forest development. Babin D. (ed.). Paris, France, Cirad-Unesco. ISBN 978-2-8761-4577-1, pp. 135-150.
1	2002	Locatelli B., Loisel C., 2002. *The controversy surrounding carbon sinks*. In: Johannesburg World Summit on Sustainable Development 2002: What is at stake? Barbault R. et al. (eds). Paris, Ministère des Affaires étrangères, Adpf, ISBN 978-2-9111-2797-7, pp. 161-171

Citations



Citation indices

	All	Since 2008
Citations	559	443
h-index	12	10
i10-index	14	10

Données de Google Scholar, 19 avril 2013, http://scholar.google.com/citations?user=V7D1F9gAAAAJ (« h-index is the largest number h such that h publications have at least h citations. i10-index is the number of publications with at least 10 citations »).

6.5. Encadrements

Co-direction de thèses

	Dates	Doctorant	Ecole Doctorale	Sujet	Co-directeur HDR
4	Depuis 2012	David Denis	ABIES (Agriculture, Biologie, Environnement, Santé, ED 435), Paris	Dynamique de vulnérabilité de socio-écosystèmes face aux changements globaux au Burkina-Faso.	Denis Gautier
3	Depuis 2012	Nicolas Labrière	ABIES (Agriculture, Biologie, Environnement, Santé, ED 435), Paris	Synergies entre services écosystémiques dans les paysages forestiers de l'Ouest de Bornéo.	Yves Laumonier
2	Depuis 2011	Fiona Paumgarten	University of Witwatersrand, South Africa	Ecosystem- and community -based adaptation to climate change in the dry forests and woodlands of southern and eastern Africa.	Edward Witkowski
1	2007-2011	Pablo Imbach (*)	Ecole Doctorale des Sciences de l'Environnement d'Ile de France (ED129), Université Paris 6	Impacts of climate change on ecosystem functions in Mesoamerica.	Philippe Ciais

(*) Pour Pablo Imbach : Doctorat terminé et défendu en Septembre 2011. Quatre publications co-écrites par le doctorant et Bruno Locatelli (Journal of Hydrometeorology 2012, Regional Environmental Change 2011, Hydrology and Earth System Sciences 2011, Mitigation and Adaptation of Strategies for Global Change 2009) et une cinquième soumise.

Comités de thèses

Dates	Doctorant	Ecole Doctorale	Sujet	Directeurs
2012-2015	Christophe Koffi	ABIES (Agriculture, Biologie, Environnement, Santé, ED 435), Paris	Interactions between provisioning services and social vulnerability in Burkina Faso	Denis Gautier
2008-2011	Matieu Henry	Université de Tuscia (Italie) et ED Sibaghe (Sytèmes Intégrés en Biologie, Agronomie, Géosciences, Hydrosciences, Environnement, ED 477).	Carbon stocks and dynamics in Sub Saharan Africa	Riccardo Valentini, Martial Bernoux

Encadrement de mastères

	Dates	Etudiant (pays)	Sujet
18	2011	Charlotte Pavageau (France)	Vulnerability of local communities to climate variability in the Congo Basin.
17	2010	Emilia Pramova (Bulgarie)	Ecosystem services in national adaptation policies
16	2008	Milton Rivera (Colombie)	Climate change and outbreaks of Southern Pine Beetle Dendroctonus frontalis in Honduras.
15	2007	Angela Diaz (Pérou)	Collaborative landscape management as an adaptive response to hydrological changes in Costa Rica.
14	2007	Elena Palacios (Espagne)	Impacts of climate change on forest fires in Central America
13	2006	Efraín J. Leguía (Pérou)	Ecosystem services and vulnerability of hydroelectricity sectors in Central America.
12	2006	Cliserio Gonzalez H. (Mexique)	Ecosystem services and vulnerability of drinking water sectors in Central America.
11	2006	Marta R. Argüello (Paraguay)	Potential of the Clean Development Mechanism for the forestry sector in Panama.
10	2005	Pierre Collière (France)	Standards for evaluating the impacts of carbon projects on climate, community, and biodiversity.
9	2004	Byron Maza (Equateur)	Modeling farmers' decision in silvopastoril systems and the supply of environmental service in Costa Rica.
8	2004	Stella Amarilla R. (Paraguay)	Current situation and future scenarios of access and use of forest resources in San Rafael, Paraguay
7	2004	Varinia Rojas (Nicaragua)	Impacts of incentives for forest plantations on local development in Costa Rica.
6	2004	Miluzka Garay (Pérou)	Impacts of incentives for sustainable forest management on local development in Costa Rica.
5	2004	Isabel Venegas G. (Costa Rica)	Land use baseline in Costa Rica: application to the Clean Development Mechanism.
4	2003	Jaime Black (Equateur)	Financial and institutional framework for forest carbon projects involving smallholders in Central America.
3	2003	Julie Meudec (France)	Factors explaining the biodiversity of forest plantations in a fragmented landscape in Costa Rica.
2	2003	Rémi Jacquot (France)	Uncertainty and costs of measuring carbon stocks in forests: application to Malleco Forest Reserve in Chile.
1	2003	Nathalie Vanvliet (Pays Bas)	Impact of forest plantations on biodiversity in northeastern Costa Rica.

6.6. Diversité dans les collaborations

Les figures suivantes présentent des indicateurs de diversité de genre et d'origine en recherche et encadrement. Elles reflètent ma préoccupation pour les questions de diversité et de genre dans la mise en œuvre de mes recherches. Dans la mesure où mes travaux à l'échelle locale sont attentifs au rôle différencié des hommes et des femmes dans les stratégies d'adaptation et dans l'utilisation des ressources écosystémiques, il est important d'y porter aussi attention dans la conduite de la recherche. Dans le milieu académique européen, seulement 18% des "full professors" et 36% des "mid-ranking professors" sont des femmes, bien que la proportion d'hommes et de femmes soit similaire dans les premières années d'études universitaires (Vernos, 2013). Il a aussi été noté qu'il y avait un biais en faveur des hommes lors de recrutements de chercheurs (Moss-Racusin *et al.*, 2012). Sans chercher à mettre en œuvre des quotas, dont l'effet est controversé (Vernos, 2013), j'essaie de conserver un équilibre de genre parmi les étudiants encadrés. Pour ce qui concerne les collaborations et les publications, il s'agit plutôt d'un concours de circonstances mais je pense que la diversité de ces collaborations (qu'elle soit de genre, de discipline, ou de culture) enrichit mon expérience de recherche.

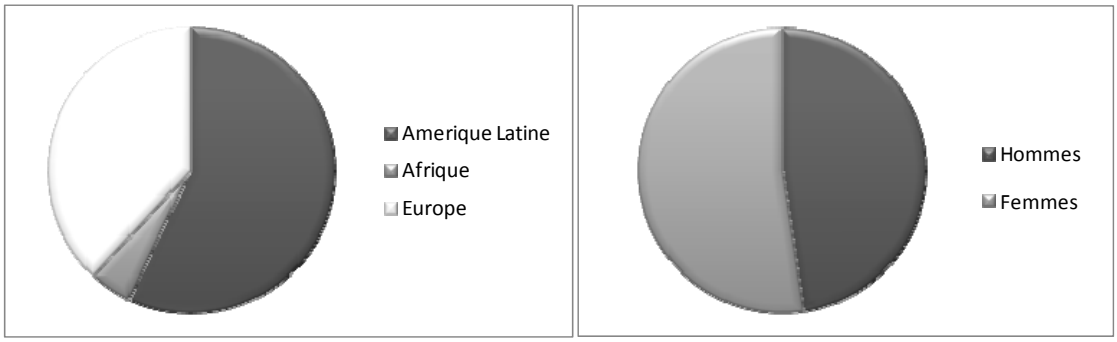


Figure 17. Origine (à gauche) et genre (à droite) des étudiants encadrés

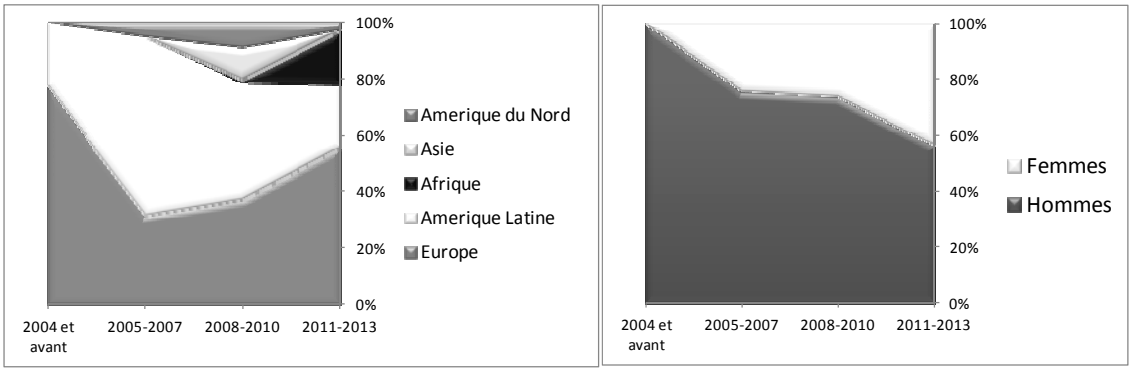


Figure 18 : Origine (à gauche) et genre (à droite) des co-auteurs de publications

6.7. Enseignements

Pendant 6 ans (de 2002 à 2007), j'ai donné 60 heures de cours magistraux dans deux mastères (socio économie environnementale, forêt et biodiversité) au CATIE, Costa Rica, et dans des formations

professionnelles au Costa Rica, Paraguay et Gabon. Les intitulés des cours étaient les suivants : Economie de l'environnement et des ressources naturelles, Changements globaux et gestion des ressources naturelles, Forêts, carbone et atténuation du changement climatique.

6.8. Projets de recherche and financements

Terminés

Dates	Projet	Couverture géographique	Bailleur de fond et montant	Implication dans la recherche de financement	Implication dans le projet
2002-2003	PABID (Financial Mechanisms for Forest Plantations: Impacts on Rural Development and Biodiversity)	Costa Rica, Guatemala	Finnida (Finlande), 30k$	Leader de la proposition	Coordinateur
2005-2007	FORMA (Fortalecimiento del MDL en los Sectores Forestal y Bioenergía en Iberoamérica)	Amérique Latine	INIA (Espagne), 1M$	Leader d'une proposition antérieure, recyclée pour ce projet.	Participant
2005-2009	TroFCCA (Tropical Forests and Climate Change Adaptation)	Costa Rica, Nicaragua, Honduras, Burkina Faso, Mali, Ghana, Indonésie	Commission Européenne, 3M€	Aucun	Participant
2008-2011	CoFCCA (Congo Basin Forests and Climate Change Adaptation)	Bassin du Congo	IDRC (Canada), 2M$	Aucun	Participant

En cours

Dates	Projet	Couverture géographique	Bailleur de fond et montant	Implication dans la recherche de financement	Implication dans le projet
2010-2015	COBAM (Congo Basin Forest and Climate Change : Synergies between Adaptation and Mitigation)	Bassin du Congo	ADB (Multilatéral), 5,5M$	Leader de la proposition	Participant
2011-2012	ForCC (Using Forests to Enhance Resilience to Climate Change)	Honduras, Burkina Faso, Laos	PROFOR-Banque Mondiale, 550k$	Co leader de la proposition	Participant
2011-2012	CRiSTAL-Forest (Community Based Risk Screening Tool-Adaptation in Forests)	Kenya, Burkina Faso	C3D-UNITAR, 100k$	Co leader de la proposition	Participant
2011-2012	SOBRA (Social Return on Investment of Integrating Adaptation into REDD+)	Indonésie, Philippines	GIZ, 50 k€	Co leader de la proposition	Participant
2011-2015	ACFAO (Adaptation to Climate Change and Forests in West Africa)	Burkina Faso, Mali	FFEM, 1.9M€	Leader de la proposition	Participant
2012-2013	ICCA (Impacts of Climate Change in Coastal Areas in Asia)	Indonésie, Philippines	GIZ, 50 k€	Co leader de la proposition	Participant

2012-2014	AdaptEA (Adaptation of people to climate change in East Africa: Forest and tree-based ecosystem services, risk reduction and human well-being)	Ouganda, Kenya	The Rockefeller Foundation, 600k$	Co leader de la proposition	Participant
2012-2015	GCS (Global Comparative Study on REDD)	Global	Australie, 10M$	Work Package Leader	Work Package Leader
2012-2017	OPERAs (Operational Potential of Ecosystem Research Applications)	Europe + études de cas tropicales	Commission Européenne (FP7), 10M€	Participant	Participant

6.9. Interactions science-société

Dans la mesure où ma recherche est appliquée et où je travaille dans des centres de recherches qui ont pour vocation de développer des connaissances scientifiques pour le développement rural et la conservation de l'environnement dans les pays du Sud, j' investis du temps dans les interactions avec les décideurs politiques et les praticiens du développement ou de la conservation, de même que le grand public.

Un des groupes ciblés se compose des représentants des pays du Sud dans les négociations de la Convention des Nations Unies sur le Changement Climatique (UNFCCC) et de la Convention sur la Diversité Biologique (CBD). J'ai participé à de nombreuses réunions de négociateurs latino-américains de 2005 à 2007 pour développer un agenda de recherche sur les décisions internationales à venir. Les résultats de nos recherches étaient communiqués à ces négociateurs qui les ont cités lors des négociations internationales. J'ai organisé des évènements parallèles lors de négociations, comme celle de la CBD à Nagoya (Japon) en 2010. Depuis 208, je contribue à l'organisation une journée sur les forêts (Forest Day), organisée chaque année par le CIFOR lors de la conférence des parties de la convention climat et accueillant plus de 1000 personnes.

Des interactions ont lieu avec des organismes internationaux impliqués dans la gestion des ressources naturelles ou le développement. Par exemple l'un de mes travaux de recherche montrait une incohérence dans une décision sur un mécanisme de flexibilité du Protocole de Kyoto et a été communiqué à la Banque Mondiale. Celle-ci a utilisé mon article dans une lettre demandant à l'UNFCCC de modifier cette décision, ce qui a été fait. Un autre groupe cible pour la communication est composé de décideurs politiques dans les pays du Sud. Par exemple j'ai organisé ou participé à des ateliers régionaux d'information ou de discussion avec des décideurs à Hanoi (Vietnam) en 2008, Turrialba (Costa Rica) en 2008, Douala (Cameroun) en 2010, ou Bangkok (Thaïlande) en 2011.

Les résultats de recherche peuvent bénéficier des gestionnaires des ressources naturelles et de projets de conservation ou de développement. Par exemple, un appui à des institutions au Honduras a conduit nos recherches à être citées dans le premier projet accepté par le fonds de l'UNFCCC pour l'adaptation. Un appui à des projets carbone en Amérique Latine a permis à certains d'entre eux de bénéficier de financements du Mécanisme de Développement Propre. J'ai participé à de nombreux

ateliers ou conférences avec des praticiens du développement ou la conservation en Amérique Latine entre 2002 et 2007, par exemple au Nicaragua, Venezuela ou Costa Rica.

Enfin des interactions ont lieu avec les médias et le grand public. Par exemple j'ai donné une formation sur le changement climatique à des journalistes à Bangui (République Centrafricaine) en 2009 ou des interviews et conférences de presse lors des négociations de l'UNFCCC à Durban (Afrique du Sud) en 2011, Cancun (Mexique) en 2010, Copenhague (Danemark) en 2009 et Poznań (Pologne) en 2008. J'ai participé à des conférences pour le grand public à Jakarta (Indonésie) en 2009 et 2010 et à Paris en 2010. Un kit de formation grand public sur les forêts et le changement climatique a été développé et mis en ligne.

6.10. Responsabilités administratives

Depuis mi-2008, je suis responsable d'une des 6 unités de recherche du CIFOR, celle sur l'adaptation au changement climatique (budget annuel : 1 million de dollars). Cette unité mène des recherches pluridisciplinaires en Afrique principalement, mais aussi en Asie et Amérique Latine. Mes activités sont l'animation scientifique, la planification et le compte-rendu, le développement de propositions de projets et la recherche de financements, le développement de partenariat, la supervision de scientifiques junior, la contribution à l'élaboration du budget et la participation à la réunion mensuelle du groupe de direction.

Dans ce contexte, j'ai contribué en 2011 au développement du programme de recherche CRP6 (Consortium Research Program on « Forests, Trees and Agroforestry: Livelihoods, Landscapes and Governance). Ce programme fédère des organismes de recherches internationaux du CGIAR (Consultative Group on International Agricultural Research, un groupement de quinze centres de recherches sur l'agriculture et les ressources naturelles) et des partenaires externes au CGIAR. Il s'agit d'un programme à long terme avec un budget, pour les trois premières années, de 230 millions de dollars US. J'ai coordonné le développement de deux sous-composantes de ce programme (adaptation au changement climatique, synergies entre adaptation et atténuation).

6.11. Autres activités

Mes activités dans la communauté scientifique sont les suivantes :

- Reviewer pour les revues suivantes : Forest Policy and Economics ; Climate Policy ; Global Environmental Change ; Regional Environmental Change ; Journal of Environmental Management ; Natures Sciences Sociétés.
- Evaluateur de propositions de recherches pour : ANR (Agence Nationale de la Recherche), FRB (Fondation pour la Recherche sur la Biodiversité), GICC (programme de recherche Gestion et Impacts des Changements Climatiques).
- Reviewer de rapports ou mémoires : Troisième rapport d'évaluation du GIEC, Rapport du « Programme of Research on Climate Change Vulnerability, Impacts and Adaptation (PROVIA) »,

Rapport d'évaluation des services écosystémiques au Mexique (UNAM), Mémoire de mastère de l'Université de Cape Town (Afrique du Sud), entre autres.

- Membre des comités scientifiques ou de pilotage des projets suivants : IUFRO-WFSE de 2008 à 2011 (International Union of Forestry Research Organization, World Forests, Society and Environment), FORENET de 2008 à 2012 (projet financé par la Commission Européenne pour renforcer la recherche forestière dans les pays ACP), EcoAdapt depuis 2011 (projet financé par la Commission Européenne sur l'adaptation au changement climatique en Amérique Latine).
- Point focal du CIRAD auprès de l'UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) depuis 2005. Création d'une liste de diffusion sur le changement climatique au CIRAD et contribution à la diffusion d'informations.

7. Références

Adger W. N. (2000) Social and ecological resilience: Are they related? *Progress in Human Geography*, **24**, 347–364.

Adger W. N., Arnell N. W., Tompkins E. L. (2005a) Successful Adaptation to Climate Change Across Scales. *Global Environmental Change*, **15**, 77–86.

Adger W. N., Hughes T. P., Folke C., Carpenter S. R., Rockström J. (2005b) Social-ecological resilience to coastal disasters. *Science*, **309**, 1036–1039.

Adger W. N., Huq S., Brown K., Conway D., Hulme M. (2003) Adaptation to Climate Change in the Developing World. *Progress in Development Studies*, **3**, 179–195.

Adger W. N., Kelly P. M., Tri N. H. (1997) Valuing the products and services of mangrove restoration. *Commonwealth Forestry Review*, **76**, 198–202.

Adinna E., Christian E. I., Okolie A. T. (2009) Assessment of urban heat island and possible adaptations in Enugu urban using landsat-ETM. *Journal of Geography and Regional Planning*, **2**, 030-036.

Alila Y., Kuras P. K., Schnorbus M., Hudson R. (2009) Forests and floods: A new paradigm sheds light on age-old controversies. *Water Resources Research*, **45**, W08416.

Alongi D. M. (2008) Mangrove forests: Resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **76**, 1-13.

Andrade Pérez Á., Herrera Fernández B., Cazzolla Gatti R. (2010) Building Resilience to Climate Change: Ecosystem-based adaptation and lessons from the field. IUCN, Gland, Switzerland.

Andreassian V. (2004) Water and forests: from an historical controversy to scientific debate. *Journal of Hydrology*, **291**, 1–27.

Andriamahefazafy F., Bidaud C., Méral P., Serpantié G., Toillier A. (2012) L'introduction de la notion de service environmental et écosystémique à Madagascar. *VertigO*, **12**.

Aragão L. E. (2012) Environmental science: The rainforest's water pump. *Nature*, doi:10.1038/nature11485.

Badola R., Hussain S. A. (2005) Valuing ecosystem functions: An empirical study on the storm protection function of Bhitarkanika mangrove ecosystem, India. *Environmental Conservation*, **32**, 85-92.

Bagstad K. J., Johnson G. W., Voigt B., Villa F. (2012) Spatial dynamics of ecosystem service flows: A comprehensive approach to quantify actual services. *Ecosystem Services*, **http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2012.07.012**.

Bai Y., Zhuang C., Ouyang Z., Zheng H., Jiang B. (2011) Spatial characteristics between biodiversity and ecosystem services in a human-dominated watershed. *Ecological Complexity*, **8**, 177–183.

Baird A. H., Bhalla R. S., Kerr A. M., Pelkey N. W., Srinivas V. (2009) Do mangroves provide an effective barrier to storm surges? *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **106**, E111.

Bayas J. C. L., Marohn C., Dercon G., Dewi S., Piepho H. P., Joshi L., van Noordwijk M., Cadisch G. (2011) Influence of coastal vegetation on the 2004 tsunami wave impact in west Aceh. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **108**, 18612-18617.

Belcher B., Schreckenberg K. (2007) Commercialisation of Non-Timber Forest Products: A Reality Check. *Development Policy Review*, **25**, 355-377.

Bele M., Somorin O., Sonwa D., Nkem J., Locatelli B. (2011) Forests and climate change adaptation policies in Cameroon. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **16**, 369-385.

Berkes F. (2007) Community-based Conservation in a Globalized World. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **104**, 15188–15193.

Berkes F., Folke C. (1998) *Linking social and ecological systems: management practices and social mechanisms for building resilience*. Cambridge University Press Cambridge.

Berkes F., Jolly D. (2002) Adapting to climate change: social-ecological resilience in a Canadian western Arctic community. *Conservation Ecology*, **5**, 18.

Betts R. A., Falloon P. D., Goldewijk K. K., Ramankutty N. (2007) Biogeophysical effects of land use on climate: Model simulations of radiative forcing and large-scale temperature change. *Agricultural and Forest Meteorology*, **142**, 216-233.

Boissière M., Locatelli B., Sheil D., Padmanaba M., Ermayanti (forthcoming) Local Perceptions of Climate Variability and Change in Tropical Forests of Papua (Indonesia). *Ecology and Society*, **(accepted with revisions).**

Boyd J., Banzhaf S. (2007) What Are Ecosystem Services? The Need for Standardized Environmental Accounting Units. *Ecological Economics*, **63**, 616–626.

Braat L. C., de Groot R. (2012) The ecosystem services agenda: bridging the worlds of natural science and economics, conservation and development, and public and private policy. *Ecosystem Services*, **1**, 4-15.

Bradshaw C. J. A., Sodhi N. S., Peh K. S. H., Brook B. W. (2007) Global evidence that deforestation amplifies flood risk and severity in the developing world. *Global Change Biology*, **13**, 2379–2395.

Bremer L. L., Farley K. A. (2010) Does plantation forestry restore biodiversity or create green deserts? A synthesis of the effects of land-use transitions on plant species richness. *Biodiversity and Conservation*, **19**, 3893-3915.

Brockhaus M., Djoudi H., Locatelli B. (2013) Envisioning the future and learning from the past: Adapting to a changing environment in northern Mali. *Environmental Science & Policy*, **25**, 94-106.

Brooks N., Adger W. N., Kelly P. M. (2005) The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*, **15**, 151–163.

Brown H. C. P., Nkem J. N., Sonwa D. J., Bele Y. (2010) Institutional adaptive capacity and climate change response in the Congo Basin forests of Cameroon. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **15**, 263–282.

Bruijnzeel L. A. (2004) Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **104**, 185-228.

Bullock J. M., Aronson J., Newton A. C., Pywell R. F., Rey-Benayas J. M. (2011) Restoration of ecosystem services and biodiversity: Conflicts and opportunities. *Trends in Ecology and Evolution*, **26**, 541-549.

Burton I. (2005) Adapt and Thrive: Option For Reducing the Climate Change Adaptation Deficit. *Policy Option*, **27**, 33–38.

Busch J., Godoy F., Turner W. R., Harvey C. A. (2011) Biodiversity co benefits of reducing emissions from deforestation under alternative reference levels and levels of finance. *Conservation Letters*, **4**, 101–115.

Calder I. (2002) Forests and hydrological services: reconciling public and science perceptions. *Land Use Water Resour Res*, **2**, 1–12.

Carlsson-Kanyama A., Dreborg K. H., Moll H. C., Padovan D. (2008) Participative backcasting: a tool for involving stakeholders in local sustainability planning. *Futures*, **40**, 34–46.

Carpenter S. R., Bennett E. M., Peterson G. D. (2006) Scenarios for Ecosystem Services: An Overview. *Ecology and Society*, **11**, 29.

Cassidy L., Barnes G. D. (2012) Understanding household connectivity and resilience in marginal rural communities through social network analysis in the village of Habu, Botswana. *Ecology and Society*, **17**.

CBD (2009a) Connecting Biodiversity and Climate Change Mitigation and Adaptation: Report of the Second Ad Hoc Technical Expert Group on Biodiversity and Climate Change. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Montreal.

CBD (2009b) Value and Benefits from Integrating Biodiversity within Climate Change Adaptation. Convention on Biological Diversity, United Nations Environment Programme Helsinki.

Chan K. M. A., Shaw M. R., Cameron D. R., Underwood E. C., Daily G. C. (2006) Conservation planning for ecosystem services. *PLoS Biology*, **4**, 2138–2152.

Charoenphong S. (1991) Environmental calamity in southern Thailand's headwaters: Causes and remedies. *Land Use Policy*, **8**, 185-188.

Chisholm R. A. (2010) Trade-offs between ecosystem services: Water and carbon in a biodiversity hotspot. *Ecological Economics*, **69**, 1973-1987.

Chuvieco E., Giglio L., Justice C. (2008) Global characterization of fire activity: toward defining fire regimes from Earth observation data. *Global Change Biology*, **14**, 1488-1502.

Cochard R., Ranamukhaarachchi S. L., Shivakoti G. P., Shipin O. V., Edwards P. J., Seeland K. T. (2008) The 2004 tsunami in Aceh and Southern Thailand: A review on coastal ecosystems, wave hazards and vulnerability. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, **10**, 3–40.

Colfer C. J. P., Sheil D., Kaimowitz D., Kishi M. (2006) Forests and human health in the tropics: some important connections. *Unasylva*, **57**, 3-10.

Colls A., Ash N., Ikkala N. (2009) Ecosystem-based Adaptation: A natural response to climate change. IUCN, Gland, Switzerland.

Costanza R., Pérez-Maqueo O., Martinez M. L., Sutton P., Anderson S. J., Mulder K. (2008) The Value of Coastal Wetlands for Hurricane Protection. *Ambio*, **37**, 241–248

Crozier M. (2010) Deciphering the effect of climate change on landslide activity: A review. *Geomorphology*, **124**, 260-267.

Daily G. C., Alexander S., Ehrlich P. R., Goulder L., Lubchenco J., Matson P. A., Mooney H. A., Postel S., Schneider S. H., Tilman D., Woodwell G. M. (1997) Ecosystem Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems. Ecological Society Washington, D.C.

Dang H. H., Michaelowa A., Tuan D. D. (2003) Synergy of adaptation and mitigation strategies in the context of sustainable development: the case of Vietnam. *Climate Policy*, **3**, S81–S96.

Das S., Vincent J. R. (2009) Mangroves protected villages and reduced death toll during Indian super cyclone. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **106**, 7357-7360.

de Chazal J., Quétier F., Lavorel S., Van Doorn A. (2008) Including multiple differing stakeholder values into vulnerability assessments of socio-ecological systems. *Global Environmental Change*, **18**, 508–520.

de Groot R. S., Wilson M. A., Boumans R. M. J. (2002) A Typology for The Classification, Description and Valuation of Ecosystem Functions, Goods and Services. *Ecological Economics*, **41**, 393–408.

DeClerck F. A. J., Chazdon R., Holl K. D., Milder J. C., Finegan B., Martinez-Salinas A., Imbach P., Canet L., Ramos Z. (2010) Biodiversity conservation in human-modified landscapes of Mesoamerica: Past, present and future. *Biological conservation*, **143**, 2301–2313.

Delacote P. (2009) Commons as insurance: safety nets or poverty traps? *Environment and Development Economics*, **14**, 305–322.

Dessai S., Lu X., Risbey J. S. (2005) On the role of climate scenarios for adaptation planning. *Global Environmental Change*, **15**, 87-97.

DeWalle D. R. (2003) Forest hydrology revisited. *Hydrological Processes*, **17**, 1255-1256.

Djoudi H., Brockhaus M., Locatelli B. (2013) Once there was a lake: vulnerability to environmental changes in northern Mali. *Regional Environmental Change*, doi: 10.1007/s10113-011-0262-5.

Dlamini W. M. (2010) A Bayesian belief network analysis of factors influencing wildfire occurrence in Swaziland. *Environmental Modelling & Software*, **25**, 199-208.

Dobbs C., Escobedo F. J., Zipperer W. C. (2011) A framework for developing urban forest ecosystem services and goods indicators. *Landscape and Urban Planning*, **99**, 196-206.

Ebert A., Welz J., Heinrichs D., Krellenberg K., Hansjürgens B. (2010) Socio-environmental change and flood risks: The case of Santiago de Chile. *Erdkunde*, **64**, 303–313.

Egoh B., Reyers B., Rouget M., Bode M., Richardson D. M. (2009) Spatial congruence between biodiversity and ecosystem services in South Africa. *Biological conservation*, **142**, 553–562.

Egoh B., Reyers B., Rouget M., Richardson D. M. (2011) Identifying priority areas for ecosystem service management in South African grasslands. *Journal of Environmental Management*, **92**, 1642–1650.

Egoh B., Reyers B., Rouget M., Richardson D. M., Le Maitre D. C., van Jaarsveld A. S. (2008) Mapping ecosystem services for planning and management. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **127**, 135–140.

Eigenbrod F., Anderson B. J., Armsworth P. R., Heinemeyer A., Jackson S. F., Parnell M., Thomas C. D., Gaston K. J. (2009) Ecosystem service benefits of contrasting conservation strategies in a human-dominated region. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **276**, 2903-2911.

Eigenbrod F., Armsworth P. R., Anderson B. J., Heinemeyer A., Gillings S., Roy D. B., Thomas C. D., Gaston K. J. (2010) The impact of proxy-based methods on mapping the distribution of ecosystem services. *Journal of Applied Ecology*, **47**, 377-385.

Ellison D., Futter M. N., Bishop K. (2012) On the forest cover–water yield debate: from demand- to supply-side thinking. *Global Change Biology*, **18**, 806-820.

Ellison J. (2003) How South Pacific mangroves may respond to predicted climate change and sea-level rise. *Climate Change in the South Pacific: Impacts and Responses in Australia, New Zealand, and Small Island States*, 289-300.

Enfors E. I., Gordon L. J. (2008) Dealing with drought: The challenge of using water system technologies to break dryland poverty traps. *Global Environmental Change*, **18**, 607-616.

Escobedo F. J., Kroeger T., Wagner J. E. (2011) Urban forests and pollution mitigation: Analyzing ecosystem services and disservices. *Environmental Pollution*, **159**, 2078–2087.

Evenson R. E., Gollin D. (2003) Assessing the impact of the Green Revolution, 1960 to 2000. *Science*, **300**, 758-762.

Ewel K. C., Twilley R. R., Ong J. E. (1998) Different kinds of mangrove forests provide different goods and services. *Global Ecology and Biogeography Letters*, 83-94.

FAO, CIFOR (2005) Forests and floods: Drowning in fiction or thriving on facts? *Forest Perspectives Series 2*. Centre for International Forestry Research, Bogor, Indonesia.

Farley K. A. (2007) Grasslands to tree plantations: Forest transition in the andes of Ecuador. *Annals of the Association of American Geographers*, **97**, 755-771.

Feagin R. A., Mukherjee N., Shanker K., Baird A. H., Cinner J., Kerr A. M., Koedam N., Sridhar A., Arthur R., Jayatissa L. P., Seen D. L., Menon M., Rodriguez S., Shamsuddoha M., Dahdouh-Guebas F. (2010) Shelter from the storm? Use and misuse of coastal vegetation bioshields for managing natural disasters. *Conservation Letters*, **3**, 1–11.

Fink A. H., Brücher T., Krüger A., Leckebusch G. C., Pinto J. G., Ulbrich U. (2004) The 2003 European summer heatwaves and drought–synoptic diagnosis and impacts. *Weather*, **59**, 209-216.

Fischer J., Brosi B., Daily G. C., Ehrlich P. R., Goldman R., Goldstein J., Lindenmayer D. B., Manning A. D., Mooney H. A., Pejchar L. (2008) Should agricultural policies encourage land sparing or wildlife-friendly farming? *Frontiers in Ecology and the Environment*, **6**, 380-385.

Fischlin A., Midgley G. F., Price J., Leemans R., Gopal B., Turley C., Rounsevell M., Dube O., Tarazona J., Velichko A. (2007) Ecosystems, their properties, goods, and services. In: *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. M.L. Parry & O.F. Canziani & J.P. Palutikof & P.J. Van Der Linden & C.E. Hanson (ed). Cambridge University Press, Cambridge,, pp. 211-272

Fisher B., Turner R. K., Morling P. (2009) Defining and Classifying Ecosystem Services for Decision Making. *Ecological Economics*, **68**, 643–653.

Fisher M., Chaudhury M., McCusker B. (2010) Do Forests Help Rural Households Adapt to Climate Variability? Evidence from Southern Malawi *World Development*, **38**, 1241–1250.

Flannigan M. D., Stocks B. J., Wotton B. M. (2000) Climate Change and Forest Fires. *The Science of The Total Environment*, **262**, 221–229.

Foley J. A., DeFries R., Asner G. P., Barford C., Bonan G., Carpenter S. R., Chapin F. S., Coe M. T., Daily G. C., Gibbs H. K., Helkowski J. H., Holloway T., Howard E. A., Kucharik C. J., Monfreda C., Patz J. A., Prentice I. C., Ramankutty N., Snyder P. K. (2005) Global consequences of land use. *Science*, **309**, 570-574.

Folke C. (2006) Resilience: The Emergence of a Perspective for Social-Ecological Systems Analyses. *Global Environmental Change*, **16**, 253–267.

Forbes B. C., Stammler F., Kumpula T., Meschtyb N., Pajunen A., Kaarlejärvi E. (2009) High resilience in the Yamal-Nenets social-ecological system, West Siberian Arctic, Russia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **106**, 22041–22048.

Fouillet A., Rey G., Wagner V., Laaidi K., Empereur-Bissonnet P., Le Tertre A., Frayssinet P., Bessemoulin P., Laurent F., De Crouy-Chanel P. (2008) Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003? A study of the 2006 heat wave. *International Journal of Epidemiology*, **37**, 309-317.

Gaillard J. C., Liamzon C. C., Maceda E. A. (2007) Retour sur les causes d'une catastrophe: Pourquoi plus de 1600 morts aux Philippines fin 2004? *Mondes en Développement*, **35**, 35–50.

Gallopín G. C. (2006) Linkages Between Vulnerability, Resilience, and Adaptive Capacity. *Global Environmental Change*, **16**, 293–303.

Garrity D. P., Akinnifesi F. K., Ajayi O. C., Weldesemayat S. G., Mowo J. G., Kalinganire A., Larwanou M., Bayala J. (2010) Evergreen Agriculture: A robust approach to sustainable food security in Africa. *Food Security*, **2**, 197–214.

Gautier D., Bonnerat A., Njoya A. (2005) The relationship between herders and trees in space and time in northern Cameroon. *The Geographical Journal*, **171**, 324-339.

Gill S. E., Handley J. F., Ennos A. R., Pauleit S. (2007) Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Built Environment*, **33**, 115–133.

Gilman E. L., Ellison J., Duke N. C., Field C. (2008) Threats to mangroves from climate change and adaptation options: A review. *Aquatic Botany*, **89**, 237-250.

Grainger A. (2010) The bigger picture–tropical forest change in context, concept and practice. In: *Reforesting Landscapes*. H. Nagendra & J. Southworth (ed). Springer, Dordrecht, pp. 15-43

Gray C., Mueller V. (2012) Drought and Population Mobility in Rural Ethiopia. *World Development*, **40**, 134-145.

Guariguata M., Cornelius J. P., Locatelli B., Forner C., Sánchez-Azofeifa G. A. (2008) Mitigation needs adaptation: tropical forestry and climate change. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*.

Guariguata M., Locatelli B., Haupt F. (2012) Adapting tropical production forests to global climate change: risk perceptions and actions. *International Forestry Review*, **14**, 27-38.

Gutman P. (2007) Ecosystem services: Foundations for a new rural-urban compact. *Ecological Economics*, **62**, 383-387.

Haines-Young R., Potschin M., Kienast F. (2012) Indicators of ecosystem service potential at European scales: Mapping marginal changes and trade-offs. *Ecological Indicators*, **21**, 39-53.

Harrington R., Anton C., Dawson T. P., de Bello F., Feld C. K., Haslett J. R., Kluvánkova-Oravská T., Kontogianni A., Lavorel S., Luck G. W., Rounsevell M. D. A., Samways M. J., Settele J., Skourtos M., Spangenberg J. H., Vandewalle M., Zobel M., Harrison P. A. (2010) Ecosystem services and biodiversity conservation: Concepts and a glossary. *Biodiversity and Conservation*, **19**, 2773-2790.

Harvey C. A., Dickson B., Kormos C. (2009) Opportunities for achieving biodiversity conservation through REDD. *Conservation Letters*, **3**.

Heath M., Phillips J., Munroe R., Langley N. (2009) Partners with nature: how healthy ecosystems are helping the world's most vulnerable adapt to climate change. Birdlife International, Cambridge, UK.

Herz R. (1988) Considering climatic factors for urban land use planning in the Sahelian zone. *Energy and Buildings*, **11**, 91-101.

Higgins S. I., Clark J. S., Nathan R., Hovestadt T., Schurr F., Fragoso J. M. V., Aguiar M. R., Ribbens E., Lavorel S. (2003) Forecasting plant migration rates: managing uncertainty for risk assessment. *Journal of Ecology*, **91**, 341–347.

Hole D. G., Willis S. G., Pain D. J., Fishpool L. D., Butchart S. H. M., Collingham Y. C., Rahbek C., Huntley B. (2009) Projected impacts of climate change on a continent-wide protected area network. *Ecology Letters*, **12**, 420–431.

Iftekhar M. S., Takama T. (2008) Perceptions of biodiversity, environmental services, and conservation of planted mangroves: A case study on Nijhum Dwip Island, Bangladesh. *Wetlands Ecology and Management*, **16**, 119–137.

Imbach I., Molina L., Locatelli B., Roupsard O., Mahé G., Neilson R., Corrales L., Scholze M., Ciais P. (2012) Modeling potential equilibrium states of vegetation and terrestrial water cycle of Mesoamerica under climate change scenarios. *Journal of Hydrometeorology*, **13**, 665-680.

Imbach P., Molina L., Locatelli B., Roupsard O., Ciais P., Corrales L., Mahé G. (2010) Climatology-based regional modelling of potential vegetation and average annual long-term runoff for Mesoamerica. *Hydrology and Earth System Sciences*, **14**, 1801–1817.

Innes J. L., Hickey G. M. (2006) The importance of climate change when considering the role of forests in the alleviation of poverty. *International Forestry Review*, **8**, 406-416.

Janssen M. A., Schoon M. L., Kee W., Borner K. (2006) Scholarly networks on resilience, vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change. *Global Environmental Change*, **16**, 240–252.

Johnston R. J., Russell M. (2011) An operational structure for clarity in ecosystem service values. *Ecological Economics*, **70**, 2243-2249.

Kaimowitz D. (2005) Useful myths and intractable truths: the politics of the link between forests and water in Central America. In: *Forests, water, and people in the humid Tropics: past, present, and future hydrological research for integrated land and water management*. M. Bonell & L.A. Bruijnzeel (ed). Cambridge Univ Press, pp. 86-98

Kelly P. M., Adger W. N. (2000) Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitating adaptation. *Climatic Change*, **47**, 325-352.

Kessler M., Hertel D., Jungkunst H. F., Kluge J., Abrahamczyk S., Bos M., Buchori D., Gerold G., Gradstein S. R., Köhler S. (2012) Can Joint Carbon and Biodiversity Management in Tropical Agroforestry Landscapes Be Optimized? *PLoS ONE*, **7**, e47192.

Klein R. J. T., Schipper E. L. F., Dessai S. (2005) Integrating mitigation and adaptation into climate and development policy: three research questions. *Environmental Science & Policy*, **8**, 579–588.

Kok M. T. J., de Coninck H. C. (2007) Widening the scope of policies to address climate change: directions for mainstreaming. *Environmental Science & Policy*, **10**, 587–599.

Kosoy N., Martinez-Tuna M., Muradian R., Martinez-Alier J. (2007) Payments for environmental services in watersheds: Insights from a comparative study of three cases in Central America. *Ecological Economics*, **61**, 446-455.

Kovats R. S., Kristie L. E. (2006) Heatwaves and public health in Europe. *The European Journal of Public Health*, **16**, 592-599.

Kull C. A., Ibrahim C. K., Meredith T. C. (2007) Tropical forest transitions and globalization: neo-liberalism, migration, tourism, and international conservation agendas. *Society and Natural Resources*, **20**, 723-737.

Lamarque P., Quétier F., Lavorel S. (2011) The diversity of the ecosystem services concept and its implications for their assessment and management. *Comptes Rendus - Biologies*, **334**, 441-449.

Lambin E. F., Geist H. (2006) *Land-use and land-cover change: local processes and global impacts*. Springer.

Lambin E. F., Geist H. J. (2003) Regional differences in tropical deforestation. *Environment*.

Lambin E. F., Meyfroidt P. (2010) Land use transitions: Socio-ecological feedback versus socio-economic change. *Land Use Policy*, **27**, 108-118.

Lambin E. F., Turner B. L., Geist H. J., Agbola S. B., Angelsen A., Bruce J. W., Coomes O. T., Dirzo R., Fischer G., Folke C., George P. S., Homewood K., Imbernon J., Leemans R., Li X., Moran E. F., Mortimore M., Ramakrishnan P. S., Richards J. F., Skanes H., Steffen W., Stone G. D., Svedin U., Veldkamp T. A., Vogel C., Xu J. (2001) The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global Environmental Change*, **11**, 261-269.

Larsen F. W., Londoño-Murcia M. C., Turner W. R. (2011) Global priorities for conservation of threatened species, carbon storage, and freshwater services: scope for synergy? *Conservation Letters*, **4**, 355-363.

Laukkonen J., Blanco P. K., Lenhart J., Keiner M., Cavric B., Kinuthia-Njenga C. (2009) Combining climate change adaptation and mitigation measures at the local level. *Habitat International*, **33**, 287–292.

Lavorel S., Flannigan M. D., Lambin E. F., Scholes M. C. (2007) Vulnerability of land systems to fire: Interactions among humans, climate, the atmosphere, and ecosystems. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **12**, 33–53.

Lebel L., Anderies J. M., Campbell B., Folke C., Hatfield-Dodds S., Hughes T. P., Wilson J. (2006) Governance and the Capacity to Manage Resilience in Regional Social-Ecological Systems. *Ecology and Society*, **11**, Article 19.

Levang P., Dounias E., Sitorus S. (2005) Out of the forests, out of poverty? *Forests, Trees and Livelihoods*, **15**, 211-235.

Levy M., Babu S., Hamilton K. (2005) Ecosystem conditions and human well-being. In: *Ecosystems and human well-being. Volume 1: Current state and trends*. (ed). Island Press, Washington DC, pp. 123–164

Li F., Wang R., Paulussen J., Liu X. (2005) Comprehensive concept planning of urban greening based on ecological principles: a case study in Beijing, China. *Landscape and Urban Planning*, **72**, 325-336.

Lin B. B. (2007) Agroforestry management as an adaptive strategy against potential microclimate extremes in coffee agriculture. *Agricultural and Forest Meteorology*, **144**, 85-94.

Lin B. B. (2010) The role of agroforestry in reducing water loss through soil evaporation and crop transpiration in coffee agroecosystems. *Agricultural and Forest Meteorology*, **150**, 510-518.

Lin B. B., Perfecto I., Vandermeer J. (2008) Synergies between agricultural intensification and climate change could create surprising vulnerabilities for crops. *Bioscience*, **58**, 847-854.

Liswanti N., Sheil D., Basuki I., Padmanaba M., Mulcahy G. (2011) Falling back on forests: how forest-dwelling people cope with catastrophe in a changing landscape. *International Forestry Review*, **13**, 442-455.

Locatelli B. (1996) *Forêts tropicales et cycle du carbone*. CIRAD, Montpellier, France.

Locatelli B., Evans V., Wardell A., Andrade A., Vignola R. (2011a) Forests and Climate Change in Latin America: Linking Adaptation and Mitigation. *Forests*, **2**, 431–450.

Locatelli B., Imbach P., Vignola R., Metzger M. J., Hidalgo E. J. L. (2011b) Ecosystem services and hydroelectricity in Central America: Modelling service flows with fuzzy logic and expert knowledge. *Regional Environmental Change*, **11**, 393-404.

Locatelli B., Imbach P., Wunder S. (forthcoming) Synergies and trade-offs between ecosystem services in Costa Rica. *Environmental Conservation*, (Accepted).

Locatelli B., Kanninen M., Brockhaus M., Colfer C. J. P., Murdiyarso D., Santoso H. (2008a) *Facing an uncertain future: how forest and people can adapt to climate change*. CIFOR, Bogor.

Locatelli B., Rojas V., Salinas Z. (2008b) Impacts of payments for environmental services on local development in northern Costa Rica: A fuzzy multi-criteria analysis. *Forest Policy and Economics*, **10**, 275-285.

Locatelli B., Vignola R. (2009) Managing watershed services of tropical forests and plantations: Can meta-analyses help? *Forest Ecology and Management*, **258**, 1864-1870.

Luck G. W., Chan K., Fay J. P. (2009) Protecting ecosystem services and biodiversity in the world's watersheds. *Conservation Letters*, **2**, 179-188.

Luck G. W., Chan K. M. A., Klien C. J. (2012) Identifying spatial priorities for protecting ecosystem services. *F1000 Research*, **1**, 1-15.

Maes J., Paracchini M., Zulian G., Dunbar M., Alkemade R. (2012) Synergies and trade-offs between ecosystem service supply, biodiversity, and habitat conservation status in Europe. *Biological conservation*, **155**, 1-12.

Makarieva A., Gorshkov V. (2007) Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land. *Hydrology and Earth System Sciences*, **11**, 1013-1033.

Martínez-Harms M. J., Balvanera P. (2012) Methods for mapping ecosystem service supply: a review. *International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management*, **8**, 17-25.

Massel S., Furukawa K., Brinkman R. (1999) Surface wave propagation in mangrove forests. *Fluid Dynamics Research*, **24**, 219-249.

Mather A. S. (1992) The forest transition. *Area*, 367-379.

Mather A. S., Needle C. (1998) The forest transition: a theoretical basis. *Area*, **30**, 117-124.

McCarthy J. J. (2001) *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.

McKenzie D., Peterson D. L., Agee J. K. (2000) Fire Frequency in the Interior Columbia River Basin: Building Regional Models from Fire History Data. *Ecological Applications*, **10**, 1497–1516.

McSweeney K. (2005) Natural insurance, forest access, and compounded misfortune: forest resources in smallholder coping strategies before and after Hurricane Mitch, eastern Honduras. *World Development*, **33**, 1453–1471.

MEA (2005) *Ecosystems and human well-being: synthesis report, Millennium Ecosystem Assessment*. Island Press, Washington DC.

Meesters A., Dolman A., Bruijnzeel L. (2009) Comment on "Biotic pump of atmospheric moisture as driver of the hydrological cycle on land" by AM Makarieva and VG Gorshkov, Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, 1013–1033, 2007. *Hydrology and Earth System Sciences*, **13**.

Méral P. (2012) Le concept de service écosystémique en économie: origine et tendances récentes. *Natures Sciences Sociétés*, **20**, 3-15.

Meyfroidt P., Lambin E. F. (2010) Forest Transition in Vietnam and Bhutan: Causes and Environmental Impacts. In: *Reforesting Landscapes*. H. Nagendra & J. Southworth (ed). Springer, Dordrecht, pp. 315-339

Meyfroidt P., Lambin E. F. (2011) Global forest transition: Prospects for an end to deforestation. *Annual Review of Environment and Resources*, **36**, 343-371.

Miller F., Osbahr H., Boyd E., Thomalla F., Bharwani S., Ziervogel G., Walker B., Birkmann J., Leeuw S. V. d., Rockström J., Hinkel J., Downing T., Folke C., Nelson D. (2010) Resilience and vulnerability: complementary or conflicting concepts? *Ecology and Society*, **15(3) [online]** **http://www.ecologyandsociety.org/vol15/iss3/art11/**.

Mooney H., Larigauderie A., Cesario M., Elmquist T., Hoegh-Guldberg O., Lavorel S., Mace G. M., Palmer M., Scholes R., Yahara T. (2009) Biodiversity, climate change, and ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, **1**, 46-54.

Morton D., Defries R., Randerson J., Giglio L., Schroeder W., Van Der Werf G. (2008) Agricultural intensification increases deforestation fire activity in Amazonia. *Global Change Biology*, **14**, 2262-2275.

Moss-Racusin C. A., Dovidio J. F., Brescoll V. L., Graham M. J., Handelsman J. (2012) Science faculty's subtle gender biases favor male students. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **109**, 16474-16479.

Mustelin J., Klein R. G., Assaid B., Sitari T., Khamis M., Mzee A., Haji T. (2010) Understanding current and future vulnerability in coastal settings: Community perceptions and preferences for adaptation in Zanzibar, Tanzania. *Population and Environment*, **31**, 371–398.

Naidoo R., Balmford A., Costanza R., Fisher B., Green R. E., Lehner B., Malcolm T. R., Ricketts T. H. (2008) Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **105**, 9495–9500.

Nelson D. R., Adger W. N., Brown K. (2007) Adaptation to environmental change: contributions of a resilience framework. *Annual Review of Environment and Resources*, **32**, 395–419.

Nelson E., Mendoza G., Regetz J., Polasky S., Tallis H., Cameron D. R., Chan K. M. A., Daily G. C., Goldstein J., Kareiva P. M. (2009) Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **7**, 4–11.

Nelson E., Polasky S., Lewis D. J., Plantinga A. J., Lonsdorf E., White D., Bael D., Lawler J. J. (2008) Efficiency of incentives to jointly increase carbon sequestration and species conservation on a landscape. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **105**, 9471–9476.

Nkem J., Kalame F. B., Idinoba M., Somorin O. A., Ndoye O., Awono A. (2010) Shaping forest safety nets with markets: Adaptation to climate change under changing roles of tropical forests in Congo Basin. *Environmental Science & Policy*, **13**, 498–508.

O'Brien K., Eriksen S., Nygaard L. P., Schjolden A. (2007) Why different interpretations of vulnerability matter in climate change discourses. *Climate Policy*, **7**, 73-88.

O'Brien K., Leichenko R., Kelkar U., Venema H., Aandahl G., Tompkins H., Javed A., Bhadwal S., Barg S., Nygaard L., West J. (2004) Mapping Vulnerability to Multiple Stressors: Climate Change and Globalization in India. *Global Environmental Change Part A*, **14**, 303–313.

O'Neill B., Pulver S., Vandeveer S., Garb Y. (2008) Where next with global environmental scenarios? *Environmental Research Letters*, **3**.

Osti R., Tanaka S., Tokioka T. (2009) The importance of mangrove forest in tsunami disaster mitigation. *Disasters*, **33**, 203-213.

Owuor B., Mauta W., Eriksen S. (2005) Adapting to climate change in a dryland mountain environment in Kenya. *Mountain Research and Development*, **25**, 310–315.

Paavola J. (2008) Livelihoods, vulnerability and adaptation to climate change in Morogoro, Tanzania. *Environmental Science & Policy*, **11**, 642-654.

Pagiola S., Zhang W., Colom A. (2010) Can payments for watershed services help finance biodiversity conservation? A spatial analysis of highland Guatemala. *Journal of Natural Resources Policy Research*, **2**, 7-24.

Pattanayak S. K., Kramer R. (2001) Worth of watersheds: a producer surplus approach for valuing drought mitigation in Eastern Indonesia. *Environment and Development Economics*, **6**, 123–146

Pattanayak S. K., Sills E. O. (2001) Do tropical forests provide natural insurance? The microeconomics of non-timber forest product collection in the Brazilian Amazon. *Land economics*, **77**, 595-612.

Pauchard A., Aguayo M., Peña E., Urrutia R. (2006) Multiple effects of urbanization on the biodiversity of developing countries: the case of a fast-growing metropolitan area (Concepción, Chile). *Biological conservation*, **127**, 272-281.

Paumgarten F., Shackleton C. M. (2011) The role of non-timber forest products in household coping strategies in South Africa: the influence of household wealth and gender. *Population & Environment*, **33**, 108–131.

Perotto-Baldiviezo H., Thurow T., Smith C., Fisher R., Wu X. (2004) GIS-based spatial analysis and modeling for landslide hazard assessment in steeplands, southern Honduras. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, **103**, 165-176.

Perz S. G. (2007) Grand theory and context-specificity in the study of forest dynamics: forest transition theory and other directions. *The Professional Geographer*, **59**, 105-114.

Perz S. G., Almeyda A. M. (2010) A tri-partite framework of forest dynamics: hierarchy, panarchy, and heterarchy in the study of secondary growth. In: *Reforesting Landscapes*. H. Nagendra & J. Southworth (ed). Springer, Dordrecht, pp. 59-84

Pesche D., Méral P., Hrabanski M., Bonnin M. (2013) Ecosystem services and payments for environmental services: two sides of the same coin? In: *Governing the provision of Ecosystem Services*. R. Muradian & L. Rival (ed). Springer, Dordrecht, pp. 67-86

Phalan B., Onial M., Balmford A., Green R. E. (2011) Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. *Science*, **333**, 1289-1291.

Phillips S. J., Williams P., Midgley G., Archer A. (2008) Optimizing dispersal corridors for the Cape Proteaceae using network flow. *Ecological Applications*, **18**, 1200-1211.

Pielke R. J., Prins G., Rayner S., Sarewitz D. (2007) Lifting the taboo on adaptation. *Nature*, **445**, 597-598

Pielke Sr R. (2002) Overlooked issues in the US national climate and IPCC assessments. *Climatic Change*, **52**, 1-11.

Pielke Sr R., Adegoke J., Beltran-Przekurat A., Hiemstra C., Lin J., Nair U., Niyogi D., Nobis T. (2007) An overview of regional land-use and land-cover impacts on rainfall. *Tellus B*, **59**, 587-601.

Pramova E., Locatelli B. (2011) Cancún Agreements: Historic Step Forward or Rushed Deal? *Bois et forets des tropiques*, **307**, 3–6.

Pramova E., Locatelli B., Brockhaus M., Fohlmeister S. (2012a) Ecosystem services in the National Adaptation Programmes of Action. *Climate Policy*, **12**, 393-409.

Pramova E., Locatelli B., Djoudi H., Somorin O. A. (2012b) Forests and trees for social adaptation to climate variability and change. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, **3**, 581-596.

Putz F. E., Redford K. H. (2010) The Importance of Defining 'Forest': Tropical Forest Degradation, Deforestation, Long-term Phase Shifts, and Further Transitions. *Biotropica*, **42**, 10-20.

Rahman S. A., Imam M. H., Snelder D. J., Sunderland T. (2012) Agroforestry for livelihood security in agrarian landscapes of the Padma floodplain in Bangladesh. *Small-Scale Forestry*, **11**, 529-538.

Rathore J. S. (2004) Drought and household coping strategies: a case of Rajasthan. *Indian Journal of Agricultural Economics*, **59**, 689-708.

Raudsepp-Hearne C., Peterson G., Bennett E. (2010a) Ecosystem service bundles for analyzing tradeoffs in diverse landscapes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **107**, 5242–5247.

Raudsepp-Hearne C., Peterson G. D., Tengö M., Bennett E. M., Holland T., Benessaiah K., MacDonald G. K., Pfeifer L. (2010b) Untangling the environmentalist's paradox: Why is human well-being increasing as ecosystem services degrade? *Bioscience*, **60**, 576–589.

Ravindranath N. H. (2007) Mitigation and adaptation synergy in forest sector. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **12**, 843–853.

Redo D. J., Grau H. R., Aide T. M., Clark M. L. (2012) Asymmetric forest transition driven by the interaction of socioeconomic development and environmental heterogeneity in Central America. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **109**, 8839-8844.

Roberts D., Boon R., Diederichs N., Douwes E., Govender N., McInnes A., McLean C., O'Donoghue S., Spires M. (2012) Exploring ecosystem-based adaptation in Durban, South Africa:"learning-by-doing" at the local government coal face. *Environment and Urbanization*, **24**, 167-195.

Robinson J. (2003) Future subjunctive: backcasting as social learning. *Futures*, **35**, 839–856.

Robledo C., Fischler M., Patino A. (2004) Increasing the resilience of hillside communities in Bolivia: Has vulnerability to climate change been reduced as a result of previous sustainable development cooperation? *Mountain Research and Development*, **24**, 14–18.

Rotberg F. J. Y. (2012) Social networks, brokers, and climate change adaptation: a Bangladeshi case. *Journal of International Development*, n/a-n/a.

Rounsevell M. D. A., Pedroli B., Erb K. H., Gramberger M., Busck A. G., Haberl H., Kristensen S., Kuemmerle T., Lavorel S., Lindner M. (2012) Challenges for land system science. *Land Use Policy*, **29**, 899-910.

Rudel T. K., Coomes O. T., Moran E., Achard F., Angelsen A., Xu J., Lambin E. (2005) Forest transitions: towards a global understanding of land use change. *Global Environmental Change*, **15**, 23-31.

Salles J. M. (2011) Valuing biodiversity and ecosystem services: Why put economic values on nature? *Comptes Rendus - Biologies*, **334**, 469-482.

Samson J., Berteaux D., McGill B. J., Humphries M. M. (2011) Geographic disparities and moral hazards in the predicted impacts of climate change on human populations. *Global Ecology and Biogeography*.

Sawadogo H. (2011) Using soil and water conservation techniques to rehabilitate degraded lands in northwestern Burkina Faso. *International Journal of Agricultural Sustainability*, **9**, 120-128.

Schleupner C. (2007) Spatial assessment of sea level rise on Martinique's coastal zone and analysis of planning frameworks for adaptation. *Journal of Coastal Conservation*, **11**, 91–103.

Schneider R. R., Boutin S., Stelfox J. B., Wasel S. (2007) Scenarios are Plausible Stories about the Future, not Forecasts. *Ecology and Society*, **12**, r4.

Schröter D., Cramer W., Leemans R., Prentice I. C., Araújo M. B., Arnell N. W., Bondeau A., Bugmann H., Carter T. R., Gracia C. A., Vega-Leinert A. C. d. l., Erhard M., Ewert F., Glendining M., House J. I., Kankaanpää S., Klein R. J. T., Lavorel S., Lindner M., Metzger M. J., Meyer J., Mitchell T. D., Reginster I., Rounsevell M., Sabaté S., Sitch S., Smith B., Smith J., Smith P., Sykes M. T., Thonicke K., Thuiller W., Tuck G., Zaehle S., Zierl B. (2005) Ecosystem Service Supply and Vulnerability to Global Change in Europe. *Science*, **310**, 1333 – 1337.

Schröter M., Remme R. P., Hein L. (2012) How and where to map supply and demand of ecosystem services for policy-relevant outcomes? *Ecological Indicators*, **23**, 220-221.

Schwendenmann l., Veldkamp E., Moser G., Hölscher D., Köhler M., Clough Y., Anas I., Djajakirana G., Erasmi S., Hertel D. (2010) Effects of an experimental drought on the functioning of a cacao agroforestry system, Sulawesi, Indonesia. *Global Change Biology*, **16**, 1515-1530.

Sebastian-Lopez A., Salvador-Civil R., Gonzalo-Jimenez J., SanMiguel-Ayanz J. (2008) Integration of socio-economic and environmental variables for modelling long-term fire danger in Southern Europe. *European Journal of Forest Research*, **127**, 149–163.

Sendzimir J., Reij C. P., Magnuszewski P. (2011) Rebuilding resilience in the Sahel: regreening in the Maradi and Zinder regions of Niger. *Ecology and Society*, **16**, 1: http://dx.doi.org/10.5751/ES-04198-160301.

Sheil D., Murdiyarso D. (2009) How forests attract rain: an examination of a new hypothesis. *Bioscience*, **59**, 341–347.

Sherman R. E., Fahey T. J., Battles J. J. (2000) Small-scale disturbance and regeneration dynamics in a neotropical mangrove forest. *Journal of Ecology*, **88**, 165-178.

Sidle R. C., Ziegler A. D., Negishi J. N., Nik A. R., Siew R., Turkelboom F. (2006) Erosion processes in steep terrain--Truths, myths, and uncertainties related to forest management in Southeast Asia. *Forest Ecology and Management*, **224**, 199-225.

Singh K., Walters B. B., Ollerhead J. (2007) Climate change, sea-level rise and the case for salt marsh restoration in the Bay of Fundy, Canada. *Environments*, **35**, 71-84.

Solecki W. D., Rosenzweig C., Parshall L., Pope G., Clark M., Cox J., Wiencke M. (2005) Mitigation of the heat island effect in urban New Jersey. *Global Environmental Change Part B: Environmental Hazards*, **6**, 39-49.

Spracklen D., Arnold S., Taylor C. (2012) Observations of increased tropical rainfall preceded by air passage over forests. *Nature*.

Srivastava L. (2006) Climate protection for sustainable development or sustainable development for climate protection? A case study from India. *Global Environmental Change*, **16**, 120–122.

Steffan-Dewenter I., Kessler M., Barkmann J., Bos M. M., Buchori D., Erasmi S., Faust H., Gerold G., Glenk K., Gradstein S. R. (2007) Tradeoffs between income, biodiversity, and ecosystem functioning during tropical rainforest conversion and agroforestry intensification. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **104**, 4973.

Stehr N., Storch H. v. (2005) Introduction to papers on mitigation and adaptation strategies for climate change: protecting nature from society or protecting society from nature? *Environmental Science & Policy*, **8**, 537–540.

Steyaert P., Barzman M., Billaud J.-P., Brives H., Hubert B., Ollivier 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**, 537-550.

Strassburg B. B. N., Kelly A., Balmford A., Davies R. G., Gibbs H. K., Lovett A., Miles L., Orme C. D. L., Price J., Turner R. K. (2010) Global congruence of carbon storage and biodiversity in terrestrial ecosystems. *Conservation Letters*, **3**, 98–105.

Sturtevant B. R., Cleland D. T. (2007) Human and biophysical factors influencing modern fire disturbance in northern Wisconsin. *International Journal of Wildland Fire*, **16**, 398-413.

Sutherland W. J., et al. (2009) One Hundred Questions of Importance to the Conservation of Global Biological Diversity. *Conservation Biology*, **23**, 557–567.

Swallow B. M., Sang J. K., Nyabenge M., Bundotich D. K., Duraiappah A. K., Yatich T. B. (2009) Tradeoffs, synergies and traps among ecosystem services in the Lake Victoria basin of East Africa. *Environmental Science & Policy*, **12**, 504–519.

Swetnam R. D., Fisher B., Mbilinyi B. P., Munishi P. K. T., Willcock S., Ricketts T., Mwakalila S., Balmford A., Burgess N. D., Marshall A. R. (2011) Mapping socio-economic scenarios of land cover change: A GIS method to enable ecosystem service modelling. *Journal of Environmental Management*, **92**, 563–574

Takasaki Y., Barham B. L., Coomes O. T. (2004) Risk coping strategies in tropical forests: floods, illnesses, and resource extraction. *Environment and Development Economics*, **9**, 203-224.

TEEB (2009) Ecosystem investment for climate adaptation. In: *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Climate issues update, September 2009*. (ed), www.teebweb.org, pp. 18–21

Thuiller W., Lavorel S., Araujo M. B., Sykes M. T., Prentice I. C. (2005) Climate change threats to plant diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **102**, 8245–8250

Tol R. S. J. (2005) Adaptation and mitigation: trade-offs in substance and methods. *Environmental Science & Policy*, **8**, 572–578.

Tougiani A., Guero C., Rinaudo T. (2009) Community mobilisation for improved livelihoods through tree crop management in Niger. *GeoJournal*, **74**, 377-389.

Tri N. H., Adger W. N., Kelly P. M. (1998) Natural resource management in mitigating climate impacts: The example of mangrove restoration in Vietnam. *Global Environmental Change*, **8**, 49–61.

Trivedi M. R., Mitchell A. W., Mardas N., Parker C., Watson J. E., Nobre A. D. (2009) REDD and PINC: A new policy framework to fund tropical forests as global 'eco-utilities'. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, **8**, 1-11.

Turner B. (2010) Vulnerability and resilience: coalescing or paralleling approaches for sustainability science? *Global Environmental Change*, **20**, 570-576.

Turner M. D., Williams T. O. (2002) Livestock market dynamics and local vulnerabilities in the Sahel. *World Development*, **30**, 683–705.

Turner R. K., Burgess D., Hadley D., Coombes E., Jackson N. (2007a) A cost-benefit appraisal of coastal managed realignment policy. *Global Environmental Change*, **17**, 397-407.

Turner R. K., Daily G. C. (2008) The Ecosystem Services Framework and Natural Capital Conservation. *Environmental and Resource Economics*, **39**, 25–35.

Turner W. R., Brandon K., Brooks T. M., Costanza R., Fonseca G. A. B. d., Portela R. (2007b) Global Conservation of Biodiversity and Ecosystem Services. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, **57**, 868–873.

Turner W. R., Oppenheimer M., Wilcove D. S. (2009) A force to fight global warming. *Nature*, **428**, 278–279.

van de Sand I. (2012) Payments for ecosystem services in the context of adaptation to climate change. *Ecology and Society*, **17**, 11.

van Vliet N., Mertz O., Heinimann A., Langanke T., Pascual U., Schmook B., Adams C., Schmidt-Vogt D., Messerli P., Leisz S. (2012) Trends, drivers and impacts of changes in swidden cultivation in tropical forest-agriculture frontiers: A global assessment. *Global Environmental Change*, **22**, 418–429.

van Vuuren D. P., Isaac M., Kundzewicz Z. W., Arnell N., Barker T., Criqui P., Berkhout F., Hilderink H., Hinkel J., Hof A. (2011) The use of scenarios as the basis for combined assessment of climate change mitigation and adaptation. *Global Environmental Change*, **21**, 575-591.

Verchot L. V., Van Noordwijk M., Kandji S., Tomich T., Ong C., Albrecht A., Mackensen J., Bantilan C., Anupama K., Palm C. (2007) Climate change: linking adaptation and mitigation through agroforestry. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **12**, 901-918.

Vernos I. (2013) Research management: Quotas are questionable. *Nature*, **495**, 39-39.

Vogel C., Moser S. C., Kasperson R. E., Dabelko G. D. (2007) Linking vulnerability, adaptation, and resilience science to practice: Pathways, players, and partnerships. *Global Environmental Change*, **17**, 349–364.

Vos C. C., Berry P., Opdam P., Baveco H., Nijhof B., O'Hanley J., Bell C., Kuipers H. (2008) Adapting landscapes to climate change: examples of climate-proof ecosystem networks and priority adaptation zones. *Journal of Applied Ecology*, **45**, 1722-1731.

Walker B. H., Anderies J. M., Kinzig A. P., Ryan P. (2006) Exploring Resilience in Social-Ecological Systems Through Comparative Studies and Theory Development: Introduction to the Special Issue. *Ecology and Society*, **11**, 12.

Walton M. E. M., Samonte-Tan G. P. B., Primavera J. H., Edwards-Jones G., Le Vay L. (2006) Are mangroves worth replanting? The direct economic benefits of a community-based reforestation project. *Environmental Conservation*, **33**, 335–343.

Watson R. T., Noble I. R., Bolin B., Ravindranath N. H., Verardo D. J., Dokken D. J. (2000) *IPCC special report on land-use, land-use change and forestry*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Webb N. P., Stokes C. J. (2012) Climate change scenarios to facilitate stakeholder engagement in agricultural adaptation. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, **17**, 957-973.

Wendland K. J., Honzák M., Portela R., Vitale B., Rubinoff S., Randrianarisoa J. (2010) Targeting and implementing payments for ecosystem services: Opportunities for bundling biodiversity conservation with carbon and water services in Madagascar. *Ecological Economics*, **69**, 2093–107.

Wertz-Kanounnikoff S., Locatelli B., Wunder S., Brockhaus M. (2011) Ecosystem-based adaptation to climate change: What scope for payments for environmental services? *Climate and Development*, **3**, 143-158.

Westerling A., Bryant B. (2008) Climate change and wildfire in California. *Climatic Change*, **87**, 231-249.

Willemen L., Veldkamp A., Verburg P., Hein L., Leemans R. (2012) A multi-scale modelling approach for analysing landscape service dynamics. *Journal of Environmental Management*, **100**, 86-95.

World Bank (2009) Convenient Solutions to an Inconvenient Truth: Ecosystem-based Approaches to Climate Change. The World Bank, Washington DC.

Zhang W., Pagiola S. (2011) Assessing the potential for synergies in the implementation of payments for environmental services programmes: an empirical analysis of Costa Rica. *Environmental Conservation*, **38**, 406-416.

Ziervogel G., Zermoglio F. (2009) Climate change scenarios and the development of adaptation strategies in Africa: challenges and opportunities. *Climate Research*, **40**, 133-146.