

CHAPITRE 7

**Des processus biophysiques aux indicateurs
de services écosystémiques****L'apport des approches paysagères**

Johan OSZWALD, Michel GRIMALDI,
Solen LE CLEC'H et Simon DUFOUR

Comme nous l'avons montré dans les parties précédentes, la notion de service écosystémique recouvre des dimensions diverses. La crédibilité de l'usage pédagogique et l'efficacité de l'usage opérationnel de cette notion reposent en partie sur la capacité, notamment des scientifiques, à produire des connaissances et des méthodes sur les services écosystémiques, sur les conditions et les processus écologiques et/ou physiques à l'origine des services écosystémiques (Nassauer et Opdam, 2008 ; Lovell et Johnstone, 2009b, a) et sur la réponse des services écosystémiques, ou des processus les induisant, aux changements d'usage des terres et plus généralement aux changements régionaux ou globaux (Foley *et al.*, 2006 ; Carpenter *et al.*, 2009).

En effet, cette compréhension très partielle des déterminants socio-économiques, paysagers et écologiques impliqués dans la fourniture, le maintien ou la dégradation des services écosystémiques de manière générale comme dans des contextes géographiques particuliers (Kremen et Ostfeld, 2005 ; Steffan-Dewenter *et al.*, 2007 ; Naidoo *et al.*, 2008 ; Nelson *et al.*, 2009) représente un frein significatif à la quantification des services écosystémiques à diverses échelles spatiales (Naidoo et Ricketts, 2006 ; Troy et Wilson, 2006, 2007 ; Turner *et al.*, 2007 ; Ingraham et Foster, 2008 ; Naidoo *et al.*, 2008 ; Anderson *et al.*, 2009 ; Egoh *et al.*, 2009 ; Eigenbrod *et al.*, 2009 ; Luck *et al.*, 2009 ; Raymond *et al.*, 2009 ; Barral et Oscar, 2012).

L'idée de ce chapitre est de prendre au sérieux ces déterminants afin d'identifier les conditions dans lesquelles il est possible de fournir une quantification des services écosystémiques. Pour ce faire, une meilleure compréhension des facteurs sous-jacents à la fourniture de chacun des services écosystémiques est nécessaire pour prévoir leur répartition spatiale et assurer leur gestion, mais aussi pour identifier les compromis

indésirables entre services et favoriser, au contraire, des synergies positives par des modes de gestion adaptés aux réalités des territoires d'application des politiques publiques (Bennett *et al.*, 2009). En effet, favoriser la résilience des écosystèmes anthropisés et maintenir les bénéfices que les communautés retirent des milieux aux échelles locales, régionales et/ou globales passe probablement par la fourniture d'une large gamme de services, en particulier les services écosystémiques de régulation du climat et du cycle de l'eau et les services écosystémiques d'auto-entretien des écosystèmes, tels que la production primaire et la formation et le maintien des sols (Bennett *et al.*, 2009 ; Faber et Van Wensem, 2012).

Pratiquement, l'estimation des services écosystémiques se fait essentiellement par le biais d'indicateurs des processus biophysiques qui régissent le fonctionnement des écosystèmes. Sur le plan scientifique, l'enjeu principal est de proposer un indicateur aussi pertinent que possible pour chaque service tout en intégrant la contrainte de notre capacité limitée à mesurer tous les processus sous-jacents. Sur le plan opérationnel, une double contrainte se rajoute : il s'agit en effet de disposer d'indicateurs relativement faciles à mesurer et caractérisant si possible plusieurs services.

L'objectif de ce chapitre est d'approfondir ces deux enjeux afin de montrer, d'une part, la complexité des processus biophysiques sous-jacents à la fourniture de services et, d'autre part, l'intérêt d'une approche paysagère pour la caractérisation des services écosystémiques. Le premier point s'appuiera sur l'exemple des services du sol afin de souligner que la complexité des processus naturels qui les produisent est une limitation majeure pour notre capacité à quantifier précisément les services rendus. Le second point, fondé sur une analyse de cas au Brésil et en Colombie, analysera les relations entre six services écosystémiques et les dynamiques de l'occupation et de l'usage des sols. Cette analyse nous permettra de souligner que la caractérisation de la structure et de la dynamique des paysages est potentiellement une approche pertinente dans la mise en évidence des compromis et des synergies entre services écosystémiques, mais que celle-ci nécessite une connaissance approfondie des processus biophysiques et des interactions hommes/milieux sous-tendant ces processus.

Contexte de l'étude

Les espaces tropicaux et équatoriaux, notamment les écosystèmes forestiers comme le biome amazonien, sont un cadre exemplaire pour aborder ces questions (Foley *et al.*, 2007). En effet, l'Amazonie est le plus vaste massif forestier tropical avec quelque huit millions de kilomètres carrés de forêts denses humides, abritant une diversité biologique parmi les plus élevées de la planète (Myers *et al.*, 2000 ; Hoorn *et al.*, 2010). Ce biome est aussi une réserve de terres cultivables pouvant satisfaire les besoins croissants

en aliments et autres produits agroforestiers d'une population mondiale croissante (Foley *et al.*, 2007). La colonisation agricole de l'Amazonie a été et demeure une alternative aux réformes agraires dans les régions voisines aux structures agraires inégalitaires (Taravella et Arnauld De Sartre, 2006). Cependant, les activités de déforestation, même partielles, par le brûlis et/ou la coupe sélective d'arbres d'intérêt économique, représentent une menace immédiate pour la biodiversité, l'évolution du climat ou les différents services écosystémiques rendus par les écosystèmes forestiers tropicaux (Malhi *et al.*, 2008 ; Gibson *et al.*, 2011). En effet, la dégradation des sols dans les espaces déboisés pour l'installation de pâturages n'est pas sans conséquence sur le cycle de l'eau et des nutriments, l'érosion des sols ou la production primaire (Farella *et al.*, 2001 ; Rossi *et al.*, 2010). Confrontés à une diminution de la productivité des pâturages, les premiers colons, souvent de petits agriculteurs disposant de peu de capitaux, tendent à céder les terres qu'ils ont défrichées à de grandes exploitations et poursuivent éventuellement leur migration, contribuant ainsi à l'avancée de la frontière agricole. Ce phénomène, longtemps accompagné par des instruments de politiques publiques, a déjà été largement étudié et le concept de géophagie est né de l'identification de ces processus (Droulers, 2001 ; Arnauld De Sartre, 2006). D'autres acteurs recherchent des innovations techniques, ou s'approprient de nouveaux outils de politiques publiques, tels que les mécanismes de compensation, comme les « crédits carbone » par exemple (Karsenty et Pirard, 2007 ; Hall, 2008a). D'ailleurs, ces innovations sont de plus en plus préconisées dans les négociations internationales dans le cadre de la promotion de l'action par les services écosystémiques sur les REDD et REDD+ (Munang *et al.*, 2013).

Derrière les services écosystémiques, des processus biophysiques complexes

Les services écosystémiques sont assurés par un grand nombre de fonctions physiques et écologiques. D'ailleurs, la plupart des recherches sur la quantification des services écosystémiques se sont focalisées sur le fait que leur approvisionnement dépend de conditions biophysiques locales, celles-ci évoluant, dans l'espace et le temps, sous l'influence des impacts anthropiques par le biais des dynamiques d'usage et d'occupation des sols, et du changement climatique (Burkhard *et al.*, 2012). Dans un souci de bien faire le lien entre les processus biophysiques, les services écosystémiques et les activités humaines, certains auteurs soulignent l'importance de différencier les propriétés inhérentes aux écosystèmes qui créent des services écosystémiques (cas 1), des propriétés modifiées par les activités humaines qui créent ou dégradent des services écosystémiques (cas 2). La différence entre ces deux types de propriétés tient au fait que, dans le premier cas, la démarche d'identification des indicateurs de services

écosystémiques passe par la caractérisation des écosystèmes, alors que dans le second cas, la démarche d'identification des services écosystémiques passe par la caractérisation du milieu dans toutes ses composantes. En effet, les services écosystémiques ne dépendent pas seulement des interactions entre le sol et l'atmosphère, le sol et le couvert végétal, la biodiversité et ses interactions avec les autres composantes du milieu, la géomorphologie..., mais aussi des conditions d'usage et d'occupation des sols ou des dynamiques climatiques. Ces deux approches se traduisent par des façons sensiblement différentes de passer des processus biophysiques aux services écosystémiques associés. Dans le premier cas, les auteurs dressent des relations entre les services écosystémiques et les facteurs du milieu les induisant, souvent de façon assez simple, c'est-à-dire sans tenir compte des nombreuses rétroactions possibles (Burkhard *et al.*, 2009 ; Müller et Burkhard, 2009). Dans le second cas, qui considère le milieu avec toutes ses interactions, les auteurs se fondent sur des modèles conceptuels cherchant à relever la complexité, et les inconnus, des interactions de l'objet étudié avec le milieu. L'adoption de cette deuxième approche rend évidemment beaucoup plus complexe la question de l'identification et de la quantification des services écosystémiques.

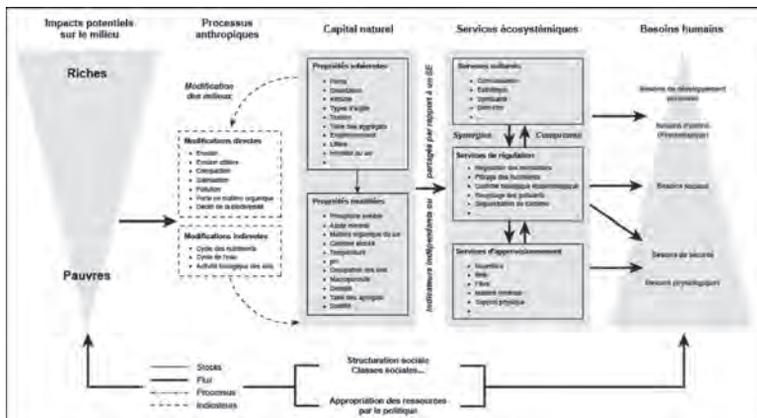
Les services écosystémiques associés au sol fournissent un bel exemple de cette complexité. En effet, ils sont associés à de nombreux processus :

- La production primaire est assurée par une multitude de processus : l'absorption d'eau et de nutriments, les symbioses, la résistance aux maladies,
- Les cycles de nutriments : la décomposition des matières organiques, la mobilisation et l'assimilation ou la perte des nutriments,
- La formation et l'évolution des sols : la pédogenèse,
- La régulation des climats : la production/consommation de GES, le stockage de carbone dans le sol et dans la biomasse,
- La régulation du cycle de l'eau : l'infiltration, le stockage de l'eau dans les sols, son drainage ou absorption par les plantes et autres organismes du sol. Le sol est un milieu poreux, fragmenté, qui est constitué de particules individualisées et réagrégées, notamment par les activités biotiques,
- La régulation de l'érosion : agrégation et désagrégation du sol, infiltration versus ruissellement de l'eau.

De plus, les services associés aux sols illustrent bien l'enchevêtrement des facteurs inhérents au milieu et des facteurs importés (figure 20). Par exemple, le modèle systémique proposé par Estelle Dominati et son équipe (2011) illustre le lien entre le « capital naturel », influencé ou non par les activités humaines, et les services écosystémiques rendus par le sol, pour le bien-être humain, qui peuvent avoir, en retour, des impacts

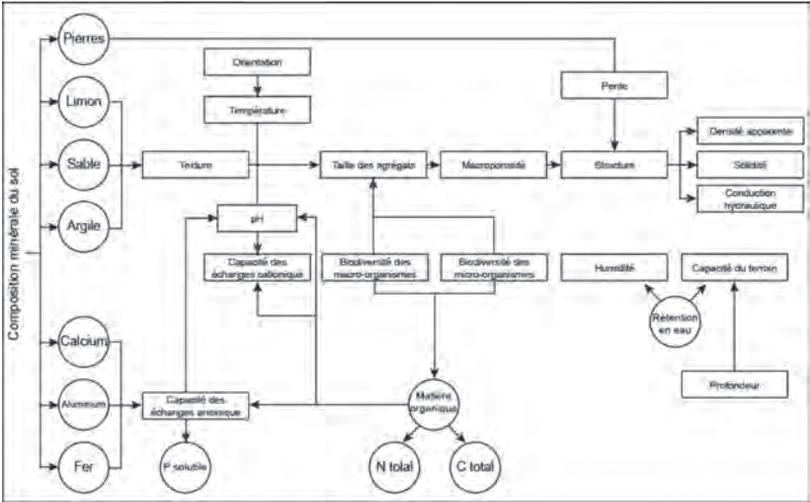
sur le milieu. Le capital naturel peut être abordé en fonction de ses propriétés inhérentes et modifiées. Les propriétés inhérentes représentent les propriétés du milieu qui ne sont pas, ou en de très rares exemples, modifiables par l'action de l'homme sur le milieu, à la différence des propriétés modifiées, qui vont quantitativement varier avec l'intensité de l'activité anthropique. Ainsi, le capital naturel du milieu évolue sous l'action d'actions anthropiques, ce qui modifie ses caractéristiques, que ce soit de manière directe ou indirecte. Par ce capital naturel, le milieu est susceptible de fournir un ensemble de services écosystémiques. Ces différents services connaissent des dynamiques spécifiques sous forêt, ce qui se traduit par des synergies et des compromis. Les différents services écosystémiques fournis par le milieu sont susceptibles de répondre à différents besoins sociaux. Ainsi, ces services écosystémiques interagissent avec la sphère sociale au travers des politiques publiques, notamment de l'appropriation des ressources naturelles. De plus, la structuration sociale va influencer l'appropriation des services écosystémiques et donc l'impact de la société sur ceux-ci, notamment en fonction de la production d'une richesse. En effet, une rétroaction se produit entre les sociétés et le milieu par le mécanisme de fourniture de services écosystémiques. Si, aujourd'hui, les sociétés ou les classes sociales les plus pauvres ont un impact direct et parfois conséquent sur la fourniture de services écosystémiques à l'échelle globale, celui-ci est toujours bien moins important que celui des sociétés ou les classes sociales les plus riches. Cela modifie les compromis et les synergies entre les services écosystémiques susceptibles d'être fournis.

Figure 20. Approche systémique de l’approvisionnement ou du maintien de services écosystémiques liés au capital naturel du sol (adapté de Dominati *et al.*, 2010)



La mise en relation des processus et des services écosystémiques associés au sol par E. Dominati *et al.* (2010) souligne également que la complexité des liens réside à plusieurs niveaux d'organisation : global (figure 20), mais aussi local (figure 21). En effet, la formation du sol correspond à un ensemble de processus qui vont différencier dans l'espace la nature de ces sols. De ce fait, les sols se différencient en fonction de multiples facteurs : le substrat géologique, la pente, l'orientation, etc. (figure 21). De ce fait, une partie de la difficulté à évaluer les services écosystémiques est fortement conditionnée par l'hétérogénéité du sol dans l'espace. Par exemple, en termes de stock de carbone, la nature des sols influence fortement le stockage : dans les sols minces, moins de carbone est stocké que dans les sols profonds. Dans les sols hydromorphes, la minéralisation de la matière organique est ralentie, ce qui se traduit par une forte concentration de carbone. Par ailleurs, dans les agrosystèmes, il y a plus de carbone dans le sol que dans la végétation, tandis que dans les espaces forestiers, c'est souvent l'inverse.

Figure 21. Modèle systémique simplifié des relations entre les différentes composantes du sol (cercles) et des propriétés du sol (rectangles) – d'après Dominati *et al.*, 2010



Le deuxième facteur influant est la biodiversité du sol (microflore, champignons, microprédateurs, transformateurs de litières, organismes « ingénieurs » (vers de terre, termites, fourmis, etc.). Ils interviennent dans

tous les services écosystémiques imputables au sol (Lavelle *et al.*, 2006). Par exemple, la formation de turricules par les vers de terre forme des agrégats dans le sol aux propriétés physiques et chimiques particulières. Cela influe sur le cycle des nutriments, et donc la qualité des sols. Essayons maintenant d'estimer la contribution de ces organismes aux services écosystémiques au travers des processus de formation et de maintien des sols. Pour la production primaire, c'est l'activité microbienne qui va fortement influencer la disponibilité des éléments nutritifs et toxiques dans les domaines fonctionnels, tels que la rhizosphère. Cependant, dans le cycle des nutriments, les ingénieurs du sol sélectionnent et incorporent la matière organique dans les structures biogéniques. Dans le cadre de la pédogénèse, ils bioturbent le sol, c'est-à-dire créent des galeries et agrégats. Dans la régulation du climat, des études portent sur le rôle de certains organismes dans la production de gaz à effet de serre, mais aussi la capacité des organismes à fabriquer des structures suffisamment stables pour assurer la stabilité du carbone stocké dans le sol (Lavelle *et al.*, 2006).

Ainsi les relations entre les composantes et processus du sol, et les services écosystémiques, sont-elles très complexes. Cette complexité limite notre capacité à produire des indicateurs pertinents. De fait, de nombreux indicateurs, du fait des composantes y contribuant, ne sont pas quantifiables par des mesures facilement transposables d'un territoire à l'autre. De plus, il faut garder à l'esprit que la caractérisation des services écosystémiques se fait le plus souvent à un instant t , en aucun cas pour une variable d'état temporalisée renseignant, par exemple sur le stockage au lieu du stock. Ces limitations offrent deux perspectives complémentaires : d'une part, une perspective scientifique, celle de continuer à approfondir notre compréhension des relations entre processus et fonctions pour chacun des services écosystémiques et, d'autre part, une perspective opérationnelle, celle de travailler sur des bouquets de services. En effet, Elena Bennett et ses coauteurs (Bennett *et al.*, 2009) montrent que pour tout milieu, il existe une multitude des services écosystémiques avec des compromis et des synergies. Par exemple, le service de stockage de carbone peut agir sur la régulation du climat, mais aussi sur la qualité du sol. Ainsi est-il indispensable d'interroger le lien entre processus et indicateurs de services écosystémiques du point de vue des synergies et des compromis pour comprendre les impacts de gestion sur des groupes de services, et non sur un type de service. La question n'est alors plus celle d'une description très fine de chaque service écosystémique, mais au contraire d'une raisonnable simplification de chacun des services écosystémiques afin de les combiner dans une démarche systémique.

Le paysage comme média de services écosystémiques

Si la complexité des processus qui sous-tendent les services écosystémiques rend délicate une quantification très précise de chacun des services écosystémiques, la caractérisation des services écosystémiques peut être abordée par un autre biais. En effet, s'il est possible de faire le lien entre les éléments paysagers et leur capacité ou non à fournir une gamme de services écosystémiques, alors il devient envisageable de produire des caractérisations synthétiques de l'état et de l'évolution des services écosystémiques dans un territoire donné (du moins dans les dimensions « offre » et « non-demande » de services écosystémiques). Afin d'illustrer l'intérêt potentiel d'une telle démarche, nous allons nous appuyer sur l'exemple des services écosystémiques liés au sol dans le contexte du front de déforestation amazonien. Pour cela, il convient successivement de caractériser des indicateurs de services écosystémiques, d'établir le lien entre le paysage et chaque indicateur et, enfin, de considérer les synergies entre services écosystémiques au prisme de chaque élément paysager.

Quels indicateurs de services écosystémiques étudiés sur les fronts pionniers de déforestation amazonien ?

Des indicateurs de services écosystémiques ont été évalués à partir de variables mesurées sur le terrain (cf. Grimaldi *et al.*, 2014 pour le détail méthodologique – tableau 7). Ces indicateurs sont liés à plusieurs services écosystémiques : la régulation du climat, à travers le stockage du carbone dans le sol et la biomasse végétale ; la régulation du cycle de l'eau et le contrôle de l'érosion du sol, à travers les capacités du sol d'infiltration et de stockage de l'eau ; le soutien à la production primaire à travers un indicateur de qualité chimique du sol.

Tableau 7. Codes et description des indicateurs de services écosystémiques utilisés, par unités de mesure et variables d'état

	Indicateurs de SE	Unités	Variabes
CSOIL	Stock de carbone dans le sol	(Mg.ha ⁻¹)	Densité apparente (ρ_b) et teneur en carbone total contenu à 0-10 cm, 10-20 cm et 20-30 cm de profondeur.
CBIOM	Stock de carbone dans la végétation	(Mg.ha ⁻¹)	Masse de la matière sèche végétale d'un espace donné
INFIL	Taux d'infiltration de l'eau dans le sol	(mm.h ⁻¹)	Vitesse d'infiltration
AVWAT	Stock d'eau du sol biodisponible pour les plantes	(cm)	Teneurs en argile, sable et limon, ρ_b , résistance verticale (Rv), C, pH, CEC

	Indicateurs de SE	Unités	Variables
MACRO	Macroporosité du sol	(cm)	Teneurs en sable et limon, ρ_b , Rv
CHEMI	Qualité chimique du sol	(0,1 to 1)	Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ et NH ₄ ⁺ échangeables et phosphore extractible (P)

Ces indicateurs de services renseignent quantitativement et qualitativement sur la fourniture de services écosystémiques par les milieux étudiés (tableau 8). D'ailleurs, il arrive souvent qu'un même indicateur de services écosystémiques renvoie à plusieurs services écosystémiques.

Tableau 8. Rapport entre les indicateurs de services écosystémiques et la fourniture de services écosystémiques par les milieux en contexte amazonien

Indicateurs de SE	SE fournis	Catégorie de SE
Stock de carbone dans le sol	Régulation du climat Cycle des nutriments	Régulation Auto-entretien des écosystèmes
Stock de carbone dans la végétation	Régulation du climat	
Taux d'infiltration de l'eau dans le sol	Régulation du cycle de l'eau Régulation de l'érosion	Régulation
Stock d'eau biodisponible pour les plantes	Régulation du cycle de l'eau Production primaire	Régulation
Macroporosité du sol	Régulation du cycle de l'eau	Régulation
Qualité chimique du sol	Production primaire	Production

La fourniture de services écosystémiques en fonction de l'utilisation du sol

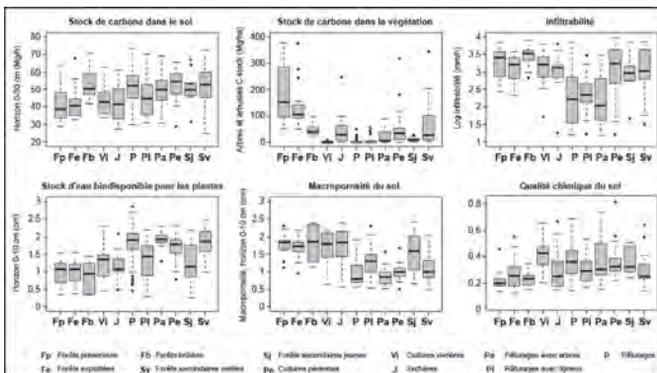
Les données paysagères utilisées à l'échelle du point de mesure pour renseigner la variance des valeurs de services écosystémiques ont été relevées sous forme de typologie détaillée des éléments paysagers lors des collectes de données sur le terrain. Ainsi, nous bénéficions d'une typologie concordante avec les relevés de terrain servant à l'analyse des services écosystémiques, ce qui est indispensable compte tenu de la vitesse des changements d'usage du sol observables sur les fronts pionniers de déforestation. Au final, onze catégories d'utilisation des sols ont été retenues pour que chaque classe puisse contenir au moins dix observations (tableau 9).

Tableau 9. Nombre d'observations par type d'usage des sols relevés sur le terrain en Colombie et au Brésil en 2008 à l'échelle du point

Usages du sol	Nombre de sites	
	Brésil	Colombie
Forêts conservées	14	0
Forêts exploitées	21	0
Forêts brûlées	10	0
Cultures vivrières (riz, maïs)	14	0
Jachères (forêts secondaires dans des champs abandonnés)	17	0
Pâturages propres	17	64
Pâturages avec ligneux	17	8
Pâturages avec arbres (avec des systèmes sylvo-pastoraux)	3	19
Cultures pérennes (cacao, systèmes agroforestiers)	4	22
Forêts secondaires jeunes dans des pâturages abandonnés	6	4
Forêts secondaires vieilles dans des pâturages abandonnés	6	14

Les représentations en boîtes à moustache des différents indicateurs de services mettent en évidence de fortes variabilités intraclasse. Certaines variations interclasses significatives, se manifestant sur les graphiques par des tendances le long de la succession forêts primaires/cultures annuelles/pâturages-plantations/forêts secondaires, s'avèrent être gouvernées par les propriétés inhérentes du sol. C'est le cas du stock de carbone dans le sol, des capacités de rétention d'eau biodisponible et de la macroporosité du sol. Par contre, l'infiltrabilité, qui dépend davantage de l'usage du sol, est significativement plus faible dans les trois classes de pâturages (figure 22).

Figure 22. Relations entre les classes d'usage du sol et les indicateurs de services écosystémiques : stock de carbone dans le sol et la végétation, l'infiltrabilité, l'eau biodisponible pour les plantes, la macroporosité et la qualité chimique du sol

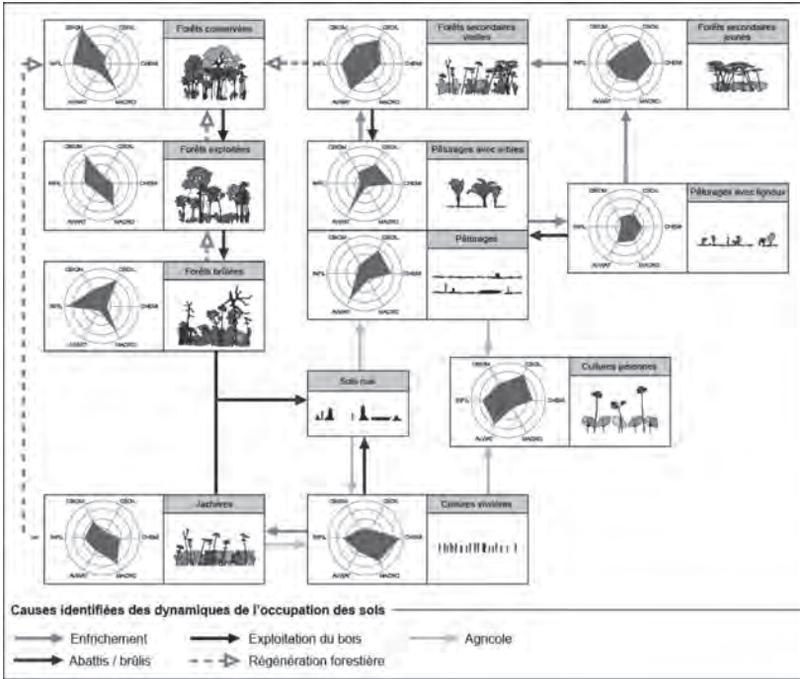


Les services écosystémiques sur les fronts de déforestation amazoniens : une histoire de compromis et de synergies

L'analyse multiscalaire entre le paysage et les indicateurs de services permettent de participer au maintien des agriculteurs sur les terres qu'ils ont défrichées, l'alternative étant l'avancée du front pionnier de déforestation amazonien (Arnauld De Sartre, 2006). Les sols amazoniens étant chimiquement pauvres et physiquement fragiles, à l'exception des grandes plaines inondables et des « terres noires des Indiens », leur fertilité ne doit pas être dégradée par des pratiques inadaptées aux conditions climatiques et pédologiques. Ces pratiques doivent également maintenir les services de régulation du cycle de l'eau pour conserver les ressources en sol et en eau : les précipitations doivent s'infiltrer dans le sol, reconstituer la réserve en eau utilisable par les plantes et la nappe phréatique, au lieu de ruisseler à la surface du sol et d'accroître en amont les risques d'érosion et de perte de nutriments par lixiviation, et en aval le risque d'inondations. Enfin, les mécanismes de compensation, tels que les « crédits carbone », préconisés dans les négociations internationales sur le climat, supposent de bien connaître les stocks de carbone dans les compartiments sol et végétation des agroécosystèmes et leurs variations dans le paysage ; mais surtout de connaître l'impact des politiques de restauration ou de protection sur les autres services de ces écosystèmes. Il est donc indispensable de représenter ces synergies et compromis entre indicateurs de services écosystémiques en rapport avec un modèle systémique de l'occupation des sols sur les fronts pionniers de déforestation amazoniens étudiés (figure 23).

Les facteurs de la dynamique temporelle des services écosystémiques étudiés sont d'abord socio-économiques, à travers les modes d'exploitation des exploitants agricoles considérés dans cette étude, caractérisés par des pratiques sylvicoles, culturelles et pastorales spécifiques, déterminées par l'accessibilité aux marchés, aux crédits et à l'assistance technique. Ensuite, ces pratiques touchent les processus écologiques, en modifiant les habitats et/ou les relations entre organismes vivants (Mathieu *et al.*, 2009). Ainsi, le brûlis améliore la qualité chimique du sol, très faible sous forêt et maximale dans les cultures annuelles (compromis entre stocks de carbone dans la biomasse arborée et arbustive et la qualité chimique du sol). Ensuite, l'intense activité des organismes du sol sous forêt primaire, en particulier des ingénieurs du sol, maintient une macroporosité favorable aux transferts d'eau et à l'aération (synergie entre le stock de carbone dans la biomasse arborée et arbustive, l'infiltrabilité et la macroporosité – Barros *et al.*, 2001). Sous pâturage, les sols deviennent compacts en quelques années par le piétinement du bétail, l'exposition aux agents atmosphériques et la diminution de la biodiversité de la faune

Figure 23. Modèle systémique des dynamiques de l'occupation des sols dans les régions étudiées en rapport avec les variations des indicateurs de services écosystémiques



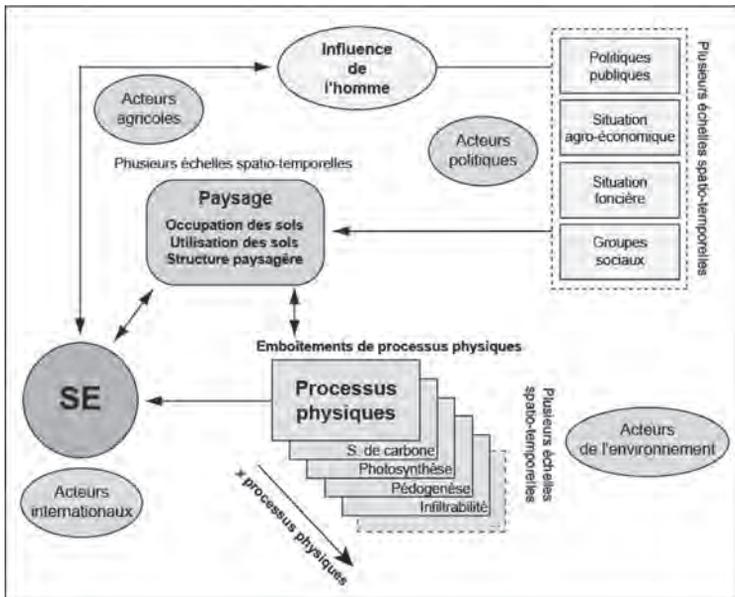
du sol (Mathieu *et al.*, 2009). Il en résulte une moindre infiltration de l'eau et donc une part plus importante des écoulements superficiels, cause d'érosion et de perte de nutriments par lessivage.

Cette évolution du sol s'ajoute à la difficulté de la gestion des adventices et des recrûs ligneux, pour expliquer la diminution de productivité des pâturages, et en définitive leur abandon. La position intermédiaire des forêts secondaires, entre les pâturages et les forêts conservées, témoigne d'une restauration partielle des propriétés physiques et hydrodynamiques du sol (Zimmermann *et al.*, 2006 ; Hassler *et al.*, 2011). Cette restauration dépend de différents facteurs (durée du pâturage, pratiques pastorales, composition et structure du paysage environnant) qui influencent la composition floristique des successions végétales et leur capacité de restauration des sols par réactivation des processus existants sous forêts.

Conclusion

L'étude des services écosystémiques est complexe à mettre en œuvre, notamment du fait des nombreuses interactions disciplinaires et scalaires qu'implique la notion. L'évaluation des services écosystémiques présente de réelles difficultés. D'abord, l'analyse des services écosystémiques se fonde souvent sur l'expertise, car très peu de recherches à ce jour font le lien entre les processus biophysiques et les indicateurs de services écosystémiques. De plus, la notion, appropriée par divers courants disciplinaires, tend à devenir polysémique avec une forte connotation disciplinaire et politique. Cette situation tend à troubler grandement les débats scientifiques et politiques en cours, notamment sur le volet économique des services écosystémiques. Enfin, la plupart des indicateurs de services écosystémiques interagissent à quatre niveaux : ils sont pilotés par des emboîtements d'échelles spatiale, temporelle, de processus biophysiques et d'acteurs (figure 24).

Figure 24. Les différentes composantes identifiées autour de la notion de services écosystémiques sur les fronts de déforestation



Outre ces premières difficultés, la notion de services écosystémiques peut s'inscrire également sous la forme de deux composantes dépendantes, et pourtant fonctionnant de manières distinctes. En effet, les

processus biophysiques induisant les services écosystémiques fonctionnent naturellement et produisent des services écosystémiques sans interventions anthropiques. Cependant, pour qu'un service puisse exister, il est impératif qu'il y ait un bénéficiaire. Enfin, la littérature scientifique met en avant le fait que les services écosystémiques peuvent interagir entre eux positivement et négativement, dans un fonctionnement « normal » ou à cause de processus induits par des « crises » d'origines naturelles ou anthropiques. Cette nouvelle dimension tend à donner de l'importance à l'identification de seuils, ou points de basculement systémiques, notamment dans un contexte de géophagie.

Notre rôle en tant que membres de la communauté scientifique est donc d'objectiver les processus et leur quantification ; d'identifier les indicateurs pertinents de services écosystémiques à plusieurs échelles spatio-temporelles ; de prévenir les effets pervers induits par l'appropriation de cette notion par les politiques publiques, notamment dans le cas de politiques internationales, pas ou peu souvent adaptées aux réalités locales. Mais aussi d'insister sur les limites inhérentes à la mesure de services et à la généralisation de ces mesures – en particulier quand il s'agit de les spatialiser.

La notion de services écosystémiques s'est récemment imposée comme un mot d'ordre de la gouvernance environnementale. Rejetée en bloc ou adoptée de manière acritique, cette notion fait le buzz dans la science globale. Suivant une démarche de *political ecology* qui combine des approches de sociologie des sciences, de géographie politique et de cartographie critique, cet ouvrage propose une analyse critique de la notion de services écosystémiques et cherche à en délimiter le périmètre de validité. Après en avoir analysé l'histoire et l'évolution récente, les auteurs analysent son appropriation dans les arènes de la gouvernance environnementale globale et par les ONG critiques de cette gouvernance, ainsi que dans les politiques publiques de pays forestiers tropicaux (Brésil et Gabon). Ces analyses posent les bases d'une analyse critique de la modélisation et de la cartographie de services écosystémiques fondée à la fois sur une revue de la littérature existante et sur l'analyse de données recueillies dans le cadre de fronts pionniers tropicaux (au Brésil et en Colombie).

En plus des quatre coordinateurs, l'ouvrage est fondé sur les contributions de : Catherine Aubertin, Denis Chartier, Lise Desvallées, Michel Grimaldi, Bernard Hubert, Olivier Huet, Nicolas Jéjou, Christian Kull, Solen Le Clec'h, Noël Ovono, Leticia Sello et Iran Veiga.

Xavier Arnauld de Sartre, géographe, chercheur au CNRS, travaille depuis 1997 sur les liens entre politiques de gestion de l'environnement et populations rurales dans des contextes à forts enjeux soit de conservation (Amazonie, Afrique centrale) soit de production agricole (Pampa argentine).

Sur une base interdisciplinaire, Monica Castro (Univ. Lausanne) développe une approche de political ecology appliquée aux politiques internationales de gestion de la diversité biologique et des services écosystémiques.

Formé en écologie et en géographie, Simon Dufour (Univ. Rennes 2) s'intéresse aux structures et dynamiques des corridors fluviaux (évolution du paysage, structure spatiale et régionalisation, impacts anthropiques) et aux interactions nature/ Société (gestion intégrée, indicateurs de suivi et de restauration des environnements complexes). Il applique les outils de la géomatique à l'analyse et à la gestion des cours d'eau.

Johan Oszwald, géographe (Univ. Rennes 2), s'intéresse depuis 2001 à l'apport de la télédétection et du suivi de l'occupation des sols aux interactions hommes/milieus en Afrique et en Amérique du Sud, notamment sur les fronts pionniers de déforestation.



21

X. Arnauld de Sartre, M. Castro,
S. Dufour et J. Oszwald (dir.)



Political ecology des services écosystémiques



Xavier Arnauld de Sartre, Monica Castro,
Simon Dufour et Johan Oszwald (dir.)

*Political ecology des services
écosystémiques*

Ce livre est tiré d'un projet financé par l'agence nationale de la recherche scientifique (France) intitulé Approche géographique des services écosystémiques (ANR JCJC SHS 2010). Il a en outre bénéficié du soutien financier de l'Institut de géographie et durabilité de l'université de Lausanne.

Cette publication a fait l'objet d'une évaluation par les pairs.

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite par quelque procédé que ce soit, sans le consentement de l'éditeur ou de ses ayants droit, est illicite. Tous droits réservés.

© P.I.E. PETER LANG S.A.
Éditions scientifiques internationales
Bruxelles, 2014
1 avenue Maurice, B-1050 Bruxelles, Belgique
www.peterlang.com ; info@peterlang.com

Imprimé en Allemagne

ISSN 1377-7238
ISBN 978-2-87574-197-4
eISBN 978-3-0352-6473-9
D/2014/5678/73

« Die Deutsche Bibliothek » répertorie cette publication dans la « Deutsche Nationalbibliografie » ; les données bibliographiques détaillées sont disponibles sur le site <<http://dnb.ddb.de>>.

Table des matières

Préface	9
Introduction	13
PREMIÈRE PARTIE. À LA RECHERCHE DU PÉRIMÈTRE DE VALIDITÉ DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES	
CHAPITRE 1. Modernité écologique et services écosystémiques	31
<i>Xavier Arnauld de Sartre, Monica Castro, Bernard Hubert et Christian Kull</i>	
CHAPITRE 2. De la biodiversité aux services écosystémiques. Approche quantitative de la généalogie d'un dispositif	49
<i>Monica Castro et Xavier Arnauld de Sartre</i>	
CHAPITRE 3. Du MEA à Rio+20 : déploiement et usages de la notion de services écosystémiques	85
<i>Xavier Arnauld de Sartre, Monica Castro et Denis Chartier</i>	
DEUXIÈME PARTIE. QUAND LES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES DEVIENNENT DES POLITIQUES	
CHAPITRE 4. Quand les réseaux de pro- et d'anti-REDD construisent un outil de gouvernementalité environnementale	117
<i>Lise Desvallées</i>	
CHAPITRE 5. Les services écosystémiques au Gabon. Le rendez-vous manqué du renouveau des politiques conservation	143
<i>Xavier Arnauld de Sartre, Simon Dufour, Olivier Huet, Johan Oszwald, Noel Ovono Edzang, Léticia Sello Madougou</i>	
CHAPITRE 6. Une interprétation brésilienne des Paiements pour services environnementaux. Souveraineté et développement inclusif	163
<i>Catherine Aubertin, Denis Chartier et Iran Veiga</i>	

**TROISIÈME PARTIE. ENJEUX DE LA QUANTIFICATION ET
DE LA SPATIALISATION DES SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES**

CHAPITRE 7. Des processus biophysiques aux indicateurs de services écosystémiques. L'apport des approches paysagères	191
<i>Johan Oszwald, Michel Grimaldi, Solen Le Clec'h et Simon Dufour</i>	
CHAPITRE 8. Spatialiser des services écosystémiques, un enjeu méthodologique et plus encore	205
<i>Solen Le Clec'h, Simon Dufour, Johan Oszwald, Michel Grimaldi, Nicolas Jégou</i>	
CHAPITRE 9. Cartographie, services écosystémiques et gestion environnementale. Entre neutralité technicienne et outil d'empowerment	225
<i>Simon Dufour, Xavier Arnauld de Sartre, Monica Castro, Solen Le Clec'h, Johan Oszwald</i>	
Conclusion	247
Tables des illustrations	251
Bibliographie	255
Les auteurs	283