

# AGROFORESTERIE ET SERVICES ÉCOSYSTÉMIQUES EN ZONE TROPICALE

Josiane Seghieri et Jean-Michel Harmand, coordinateurs



## Chapitre 4

---

# Simulation participative pour explorer le rôle des politiques sur la production de services environnementaux au Costa Rica et au Nicaragua

LE COQ J.-F., BONIFAZI M., AUCANTE M., FERRAND N.,  
FRÉGUIN-GRESH S., RAPIDEL B. ET SIBELET N.

**Résumé.** Alors que les systèmes agroforestiers sont reconnus pour la diversité des services environnementaux qu'ils fournissent, la nature et l'ampleur de ces services dépendent des choix des producteurs. Différents instruments de politiques ont été proposés pour influencer les choix des pratiques des producteurs et promouvoir la production de services environnementaux. Toutefois, il n'est pas aisé d'anticiper les réponses des producteurs à ces instruments. Dans ce chapitre, nous présentons les résultats de l'application d'une méthodologie originale fondée sur une approche à la fois participative et prospective conçue et mise en œuvre avec les acteurs locaux et des producteurs afin de tester l'intérêt de certains instruments encourageant la production de services environnementaux dans leur contexte. Cette méthode consiste à co-construire, sur la base de savoirs locaux et de connaissances des chercheurs, des jeux de rôles spécifiques permettant aux producteurs de simuler leur choix en termes de pratiques et d'en observer les effets en termes de production agricole, de revenu et de fourniture de services environnementaux. L'application de ces jeux de rôle dans deux zones de production de café au Costa Rica et au Nicaragua montre la diversité des réponses des producteurs face à des scénarios de mise en œuvre d'instruments de type coercitif (contrôle effectif de la législation environnementale) ou incitatif (crédit vert, certification et paiement pour services environnementaux). Bien que comportant certaines limites (méthode non prédictive), nous soulignons les intérêts de cette méthode pour concevoir des innovations en termes de gestion d'exploitation et d'instruments adaptés aux conditions des producteurs et à la diversité des systèmes agroforestiers.

**Abstract.** While the diversity of the environmental services provided by agroforestry systems are widely acknowledged, the nature and magnitude of the services they produce depends on producers' choices. Many policy instruments have been proposed to influence

farmers' choice toward a higher provision of environmental services. However, anticipating the potential responses of producers to such instruments is a complex issue. In this chapter, we present the results of the application of an original methodology based on participatory and prospective approach conceived and implemented with local stakeholders and producers to test the interest of some instrument to promote environmental services provision. This method consists in co-designing thanks to local and scientific knowledge specific role-playing games that enable the producers to simulate their practices' choices and to observe their effects on their agricultural production, incomes and environmental services. The application of these role-playing games in two coffee producing areas in Costa Rica and Nicaragua, show the diversity of producers' responses according to scenarios of implementation of coercive (application of environmental legislation) and incentive measures (green credit, certification, payment for environmental services). Although this method has some limitation (no predictive results), we argue that it is of great interest to design innovations in terms of management and instruments adapted to farmers and SAF conditions.

## ►► Introduction

Le concept de services écosystémiques a été proposé pour caractériser les effets des écosystèmes sur la société (Millenium ecosystem assessment, 2005). Pour les agroécosystèmes, on distingue généralement les services d'approvisionnement (production agricole), de régulation (hydrique, séquestration de carbone, etc.), de support (conservation de la biodiversité et des sols) et les services culturels. À ces services, s'ajoutent les effets négatifs sur l'environnement (disservices — ayant un impact défavorable) tels que les pollutions ou l'érosion des sols qu'ils peuvent engendrer (Power, 2010; Swinton *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2007).

Les systèmes agroforestiers sont reconnus pour l'importance et la multiplicité des services qu'ils fournissent (Davidson, 2005; Rapidel *et al.*, 2011). Cependant, il est difficile de maximiser l'ensemble des services dans un même système agroforestier. Il est donc nécessaire de faire des compromis. Ces compromis entre différents services dépendent principalement des choix et des pratiques des agriculteurs. Souvent, ces derniers priorisent la production (les services d'approvisionnement) dont ils tirent un intérêt individuel ou familial au détriment d'autres services environnementaux d'intérêt général comme la protection de la qualité de l'eau ou la conservation de la biodiversité et des sols.

Afin d'encourager la production de services environnementaux, une large gamme d'instruments a déjà été proposée (Schroth et McNeely, 2011). Au-delà des instru-

### **Encadré 4.1 – Services environnementaux et services écosystémiques**

Alors que les termes de services environnementaux et services écosystémiques sont parfois utilisés de manière synonyme dans la littérature, nous faisons ici la distinction entre ces deux concepts. À la différence des services écosystémiques, les services environnementaux n'incluent pas les services d'approvisionnement (production agricole). Ils représentent plus spécifiquement les services ayant un caractère de bien public (services de régulation ou de support) tels que la capture et le stockage du carbone affectant le changement climatique, les services hydrauliques (qualité et quantité d'eau), l'érosion des sols ou la biodiversité.

ments de régulation publique fondés sur l'autorité (*command and control*) comme l'interdiction de certaines pratiques ou la mise en défens, les instruments économiques incitatifs font l'objet d'un intérêt croissant. Ces incitations économiques peuvent prendre différentes formes comme des paiements pour services environnementaux (Pirard et Lapeyre, 2014), des certifications socio-environnementales (Le Coq *et al.*, 2016) ou des outils financiers de type microfinance verte (Huybrechs *et al.*, 2016). Ces outils font souvent l'objet de débats (Le Coq *et al.*, 2011), tant leur efficacité est variable en fonction des contextes dans lesquels ils sont élaborés et mis œuvre (Rodríguez-Robayo et Merino-Perez, 2017). Cette variabilité s'explique notamment par le manque de prise en compte des représentations et des stratégies des agriculteurs dans la conception de ces instruments. En effet, les approches dominantes pour la conception d'incitations économiques consistent à identifier les services fournis, évaluer leur valeur économique et en déduire le montant des incitations (Rapidel *et al.*, 2011).

L'objectif de ce chapitre est de présenter les résultats de l'application d'une méthodologie originale fondée sur une approche à la fois participative et prospective conçue et mise en œuvre avec les acteurs locaux et les producteurs, afin de tester l'intérêt de certains instruments encourageant la fourniture de services environnementaux.

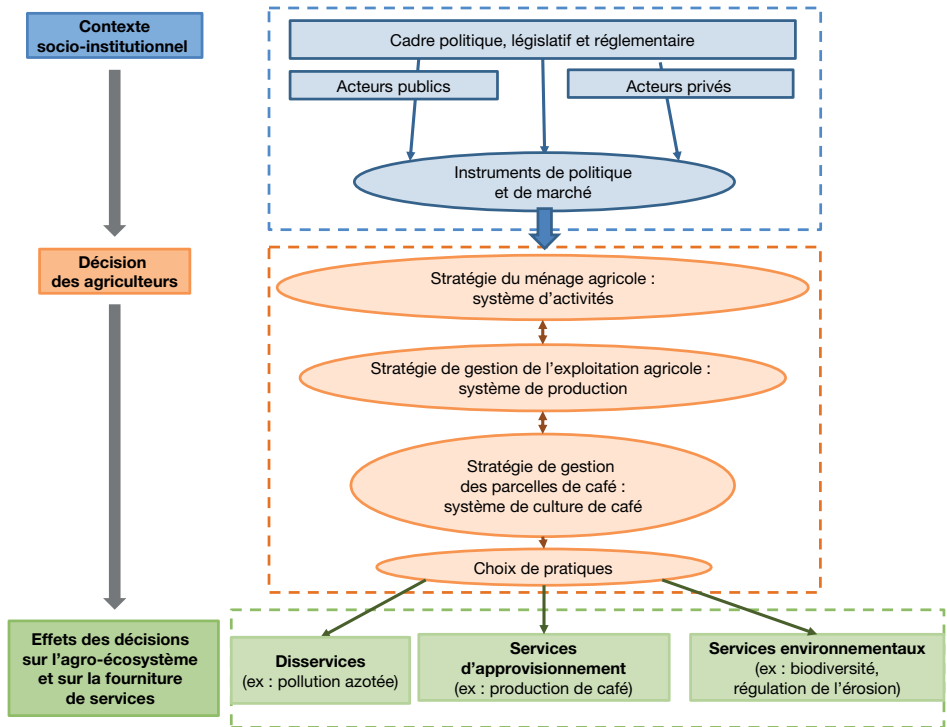
Après avoir explicité notre méthodologie, nous présenterons les résultats de son application dans deux régions d'étude au Costa Rica et au Nicaragua, dans le cadre du projet Safse (Compromis entre production et autres services écosystémiques fournis par les systèmes agroforestiers, Cirad/IRD) (Aucante, 2015 ; Bonifazi, 2015). Enfin, nous discuterons de l'intérêt et des limites de cette méthode et les perspectives qu'elle ouvre pour améliorer la définition d'instruments adaptés aux contextes agro-écologiques et socio-économiques des services agroforestiers.

## ► Méthode de conception d'instruments par simulation participative

La méthode mise en œuvre est inspirée des approches de modélisation d'accompagnement (ComMod) (Étienne, 2010) et mobilise le kit méthodologique *Wat a game* (Ferrand *et al.*, 2009 ; De Fooij, 2011).

### Processus méthodologique des jeux de rôles

Le processus méthodologique s'est déroulé en quatre étapes successives qui ont permis de co-construire des jeux de rôle et de réaliser des simulations participatives. Ces jeux de rôle ont été élaborés à partir d'un modèle générique original représentant les interactions possibles entre instruments, la décision des agriculteurs en termes d'activités, de choix de production agricole et de pratiques, ainsi que leurs effets en termes de fourniture de services environnementaux et de disservices au niveau de l'agroécosystème. Ce modèle générique a été conçu à partir de la littérature relative à l'analyse des systèmes de production (Cochet et Devienne, 2006) et des services écosystémiques dans les agroécosystèmes (Swinton *et al.*, 2007 ; Zhang *et al.*, 2007) (fig. 4.1).



**Figure 4.1.** Cadre conceptuel pour appréhender les effets des instruments sur les pratiques des agriculteurs et la provision de services.

La première étape consiste en une analyse de l'agroécosystème, inspirée des approches de l'agriculture comparée (Cochet, 2011). Il s'agit d'abord d'identifier et de comprendre, grâce à des enquêtes auprès des agriculteurs, leurs pratiques agricoles et leur stratégie de gestion des systèmes agroforestiers en prenant en compte les contraintes et les opportunités liées à l'accès à des facteurs de production. En outre, en matière de contexte socio-institutionnel, les principaux instruments de politique et de marché existants (régulations, incitations, etc.), leur usage et leur représentation par les agriculteurs sont identifiés. En parallèle, une revue bibliographique et des entretiens d'experts locaux (conseillers de coopérative, gestionnaires de bassin versant, fonctionnaires, etc.) permettent d'analyser les relations entre la conduite des systèmes agroforestiers et leur fourniture de services écosystémiques.

La seconde étape a pour objectif de co-construire un jeu de rôle avec des experts locaux, des producteurs agricoles et des chercheurs pour tester de nouveaux instruments dans un environnement représentant l'agroécosystème de leur territoire. Pour ce faire, nous avons mobilisé le kit méthodologique *Wat a game*. Cette méthodologie, initialement créée pour la gestion de l'eau, permet la co-construction d'un modèle à dire d'acteurs afin d'aborder des problématiques de gestion de ressources. Impliquant des acteurs locaux (dont les producteurs, futurs joueurs des simulations) et des chercheurs porteurs de savoirs scientifiques, elle permet de construire selon une démarche en jouant (*design by playing*) des itérations de dialogues afin d'élaborer un modèle (symbolisé sous forme de jeu) représen-

tant les socio-écosystèmes locaux. Ainsi, dans notre application de cette méthode, les objectifs des jeux et leurs structures, ainsi que les règles du jeu (scenarios en termes de mise en place d'instruments) ont été déterminés lors d'une série d'ateliers avec les experts locaux et chercheurs du projet Safse. Ces ateliers ont aussi permis un calibrage des pratiques et des activités (cartes « actions »), c'est-à-dire la définition des ressources (moyens de production) nécessaires à la mise en œuvre de chaque pratique et activité (*intrants*), ainsi que leurs résultats respectifs (en termes de fourniture de services et de revenu). Les liens entre pratiques et fourniture de services sont ainsi définis par croisement de savoirs locaux et savoirs des experts, qui s'appuient sur des recherches conduites dans d'autres situations et, évidemment, d'autres dispositifs expérimentaux spécifiques (Villatoro *et al.*, 2015; Meylan *et al.*, 2017; voir également chapitres xx).

Dans une troisième phase, des sessions de jeu d'environ trois heures sont organisées. Les agriculteurs sont invités à « jouer » leur propre rôle, c'est-à-dire à choisir des pratiques agricoles et des activités dans leurs exploitations stylisées sur un plateau de jeu. Après une présentation générale, ils reçoivent des ressources (*intrants*) symbolisés par des perles de couleurs différentes. Ces ressources leur permettent à chaque tour de mettre en œuvre des activités sur leur exploitation. À la fin d'un tour représentant une année, les cartes « actions » produisent des résultats (*outputs*). Chaque joueur évalue alors ses résultats et la fourniture de services écosystémiques de son exploitation. Finalement, une évaluation collective (somme des résultats individuels) est faite à l'échelle du territoire symbolisé par un plateau central. À chaque tour de jeu, un nouveau scénario en termes de mise en place d'instruments est introduit par l'animateur. Une fois les différents scénarios simulés, les joueurs commentent leur choix pendant le jeu et à donner leur avis sur les instruments proposés.

La dernière phase consiste à analyser les résultats des sessions de jeu. Cette analyse porte d'une part sur des comportements des agriculteurs en termes d'adoption de pratiques et d'activités, et d'autre part sur les résultats collectifs en termes de fourniture de services écosystémiques selon les scénarios. Pour ce faire, les résultats des tours, où des instruments ont été testés, sont comparés à ceux de la situation de référence correspondant à un premier tour de jeu sans incitations.

## Application dans deux régions caféières au Costa Rica et au Nicaragua

La méthode décrite précédemment a été mise en œuvre dans le canton de Llano Bonito au Costa Rica et dans la commune d'El Tuma-La Dalia au Nicaragua. Quoique différents en termes agroécologique, socio-économique et de contexte institutionnel (tab. 4.1), ces deux territoires sont des zones de production de café d'altitude, avec une forte présence de systèmes agroforestiers (voir chapitres 1 et 15).

Suivant des principes généraux similaires, deux jeux ont été conçus afin de rendre compte des spécificités des deux régions en termes de moyens de production, de pratiques et de services écosystémiques.

Par ailleurs, les pratiques et activités que les agriculteurs peuvent choisir diffèrent entre les deux sites (tab. 4.2 et tab. 4.3).

**Tableau 4.1.** Caractéristiques agroécologiques et socio-économiques des territoires d'étude au Costa Rica et au Nicaragua.

Caractéristiques	Llano Bonito (Costa Rica)	La Dalia (Nicaragua)
Altitude (m)	1200-1900	700-1200
Précipitation moyenne annuelle (mm)	2 440	1 890
Productivité en café (kg/ha)	1 440 (Warren Raffa, 2013)	720 (Notaro, 2014)
Densité de la population (hab./km <sup>2</sup> )	62 (Inec)	139 (Inifom)
Indice de développement humain <sup>(1)</sup>	0,69 (2016)	0,45 (2012)

(1) L'indice de développement humain est un indice composite calculé par le PNUD, compris entre 0 (très mauvais) et 1 (excellent). Il est calculé à partir de la moyenne de trois indices quantifiants : la santé et la longévité, le savoir et le niveau d'éducation, ainsi que le niveau de vie. Source pour Llano Bonito, Costa Rica : canton de Leon Cortes (<http://desarrollohumano.or.cr/mapa-cantonal/index.php/ranking-idh#ranking-por-idh>, accédé le 29/03/2019). Source pour La Dalia Nicaragua, [http://hdr.undp.org/sites/default/files/nicaragua\\_2002\\_sp.pdf](http://hdr.undp.org/sites/default/files/nicaragua_2002_sp.pdf), accédé le 29/03/2019.

## Au Costa Rica

**Les paramètres du jeu.** Au Costa Rica, deux ressources (*inputs*) ont été retenus : l'argent et la main-d'œuvre. En effet, au-delà de la contrainte monétaire, les agriculteurs font face à une pénurie de main-d'œuvre les contraignant à employer des salariés lors des pics de travaux. En termes de résultats (*outputs*), en plus de la production de café et de la conservation de la biodiversité, sont pris en compte l'érosion des sols et la qualité des eaux. En effet, le bassin versant fait face à de graves problèmes d'érosion des sols menaçant le fonctionnement d'un barrage en aval et à des pollutions des eaux (eutrophisation des cours d'eau) liées à un usage massif d'engrais azotés. Quant à la biodiversité, elle est au cœur de politiques nationales et est une préoccupation pour les acteurs locaux.

**Les cartes actions** permettent de simuler les choix en termes de gestion de la parcelle de caféier (lutte contre les adventices, fertilisation et type d'ombrage), d'aménagement des parcelles (terrasse, mise en défens d'une bande non cultivée le long des cours d'eau) et d'activités complémentaires (agricoles ou non agricoles).

**Les scénarios.** En termes d'instruments, trois scénarios sont simulés pendant les sessions de jeux.

**Scénario 1. Mise en place d'un contrôle de l'interdiction de produire sur une bande proche des cours d'eau (protection des rivières).** Cela diminue la surface de production, et donc la production de café, et réduit les risques d'érosion et de pollution azotée des cours d'eau. Cette interdiction est inscrite dans la loi du Costa Rica, mais de fait peu contrôlée par les autorités. Or, les limites de ce type de mesure (de type « *command and control* ») sont souvent soulignées pour justifier le recours à des instruments incitatifs du type paiements pour services environnementaux (Wunder, 2005), alors qu'elles peuvent être efficaces si le contrôle est effectif (Börner *et al.*, 2014).

**Scénario 2. Mise en place de « crédits verts »,** c'est-à-dire un financement à taux zéro pour l'adoption de pratiques permettant de réduire les disservices, demandant des investissements financiers non accessibles aux agriculteurs. Ces crédits sont

**Tableau 4.2.** Pratiques proposées dans les simulations et leurs implications en termes d'intrants et de résultats au Costa Rica.

	Ressources				Résultats		
	Main-d'œuvre (Mo)	Argent (\$)	Argent (\$)	Production de café (C),	Biodiversité (B)	Érosion des sols (E)	Pollution azotée (N)
Gestion de l'ombrage							
S1 : 400 bananiers	1	-	1	-	1	-	-
S2 : 200 érythrinae et 200 bananiers	1	-	1	1	1	-1	-
S3 : 200 érythrinae et 20 avocats	1	1	5	-1	-	-1	-
S4 : 180 érythrinae et 40 avocats	2	2	10	-2	-	-1	-
S5 : 100 érythrinae et 100 arbres fruitiers et autochtones	1	-	1	-2	+3	-1	-
Fertilisation N, P, K							
F1 : 173/21/120 unité/ha en 2 ou 3 fois	1	2	-	2	-	-	-
F2 : 173/21/120 unité/ha en 3 fois + chaulage	2	2	-	3	-	-	-
F3 : 289/35/200 unité/ha en 3 fois	2	3	-	3	-	-	3
F4 : 289/35/200 unité/ha en 3 fois + chaulage	2	3	-	4	-	-	3
F5 : 289/35/200 unité/ha en 5 fois	3	3	-	4	-	-	2
Gestion des adventices							
M1 : 2 désherbages manuels et 2 applications d'herbicide	1	-	-	-	-	2	-
M2 : 3 désherbages manuels et 1 application d'herbicide	2	-	-	-	-	1	-
M3 : 4 désherbages manuels non systématiques et traitement localisé d'herbicide	2	-	-	-	-	-1	-
Aménagements des parcelles							
B1 : Drains d'écoulement des eaux de pluies	1	-	-	-	1	-1	-
B2 : Haies vives	2	-	-	-	-	-1	-
T1 : Terrasses renouvelées de 10 % chaque année	4	-	-	1	-	-1	-1
T2 : Terrasses renouvelées de 20 % chaque année	8	-	-	2	-	-2	-2
O1 : Protection de rivière (arrêt de la culture de café sur une bande de 15 mètres sur la parcelle)	-	-	-	-2	2	-3	-3

Les relations entre ressources et résultats ont été définies et obtenus lors d'ateliers réalisés avec des chercheurs (savoires scientifiques) et des techniciens locaux (savoires locaux). Les chiffres correspondent à des unités nécessaires (intrants) ou produites (résultats) pour chaque carte action.



proposés pour diminuer et fractionner les apports de fertilisants (F1 et F2); ce qui peut affecter la production, mais diminue les risques de pollution azotée. Un crédit est aussi possible pour financer le désherbage manuellement (à la place du traitement herbicide) et l'aménagement des terrasses, deux pratiques limitant l'érosion et coûteuses en main-d'œuvre (M3). Ce type d'instrument n'existe pas pour l'instant au Costa Rica, mais il s'apparente au programme de reconnaissance pour bénéfices environnementaux mis en place par le ministère de l'Agriculture depuis 2007 pour faciliter l'adoption de pratiques agricoles socieuses de protéger l'environnement (Bonin *et al.*, 2017). Comme l'idée de la mise en place d'un crédit vert se diffuse dans d'autres pays pour favoriser la provision de services écosystémiques (Huybrechs *et al.*, 2016), il semble intéressant de tester ce type d'instrument.

**Scénario 3. Mise en place de paiements pour services environnementaux** sous forme d'une compensation monétaire pour le manque à gagner du fait du développement d'un ombrage diversifié (S5) ou de la protection des rivières par des bandes enherbées (Q1). Ces deux pratiques réduisent la production de café. Néanmoins, elles augmentent les services de régulation ou de support (biodiversité) et réduisent les disservices (érosion des sols et pollution azotée). Cet instrument a été choisi car, même s'il existe un programme national de paiements pour services environnementaux au Costa Rica, ce programme est peu mobilisé par les agriculteurs dans la zone parce qu'il est peu connu et peu adapté à leur réalité. Il s'agit donc de tester les effets potentiels d'une modalité d'un paiement pour service environnemental nouveau avec des conditionnalités plus adaptées à la situation de ces agriculteurs de systèmes agroforestiers à base de caféiers.

## Au Nicaragua

**Les paramètres du jeu.** Au Nicaragua, la principale ressource limitante est la disponibilité monétaire liée à la pauvreté rurale. Par conséquent, c'est le seul intrant représenté dans le jeu. Pour les résultats attendus, les services d'approvisionnement considérés sont la production de café et la production de cultures vivrières (maïs) pour l'alimentation familiale. En effet, la sécurité alimentaire est un enjeu fondamental pour les ménages ruraux de cette région isolée et pauvre. En outre, deux disservices sont représentés à cause de leur importance sur la qualité de l'eau de consommation en aval de la zone : la pollution organique liée au dépulpage du café dont les effluents sont rejetés dans les rivières, et la pollution chimique liée à l'usage de produits phytosanitaires.

**Les cartes actions** ont permis de simuler des choix en termes de systèmes de culture des caféiers (quatre modes de gestion allant de systèmes agroforestiers avec fort ombrage à des systèmes de culture de caféiers de plein soleil), et des pratiques culturelles spécifiques liées à l'application d'intrants agrochimiques (fertilisation et produits phytosanitaires), la diversification des cultures, le traitement des effluents de transformation du café, la lutte contre les bioagresseurs et les aménagements de la parcelle.

Au Nicaragua, les trois scénarios étaient les suivants.

**Scénario 1 : application de sanctions** (renforcement de la mise en place du cadre législatif existant) **et de crédit de campagne** (pour lever la contrainte financière des

**Tableau 4.3.** Pratiques proposées dans les simulations et leurs implications en termes d'intrants et de résultats au Nicaragua.

		Ressources		Résultats		
		Argent (\$)	Production de café (C)	Production alimentaire (A)	Pollution chimique (PC)	Pollution organique (PO)
Mode de gestion de la parcelle de café : 4 niveaux d'intensification	Café « naturel »	9	10	6	5	9
	Café « simple »	28	15	2	10	28
	Café « semi-technifié »	45	30	0	25	45
	Café « technifié »	77	80	0	50	77
Intensification : application d'intrants chimiques, fertilisants et phytosanitaires	P1 : 1 application NPK / 1 application de phytosanitaires	6	+10 %	+10 %	+2	
	P2 : 2 applications NPK / 2 applications de phytosanitaires	12	+20 %	+20 %	+5	
	P3 : 2 applications NPK / 4 applications de phytosanitaires	15	+30 %	+30 %	+10	
	P4 : 3 applications NPK / 6 applications de phytosanitaires	22	+40 %	+40 %	+15	
Diversification culturelle	Association avec du cacaoyer	12	50		5	
	Association avec des bananiers	2	-3	10		
	Association avec des fruitiers	3	-3	15		
Aménagement parcellaire	Barrière morte	2			-2	
	Barrière vive	3			-4	
	Couverture du sol	2			-3	
	Parcelle forestière	5			-2	
	Éloignement des cultures du cours d'eau	1			-1	
Lutte contre les bioagresseurs	Pièges à scolyte	0,5			-2	
	Tri des grains touchés par le scolyte	1			-2	
Pratiques alternatives à l'utilisation d'intrants chimiques	Rotation des fongicides (molécules)	0,5			-1	
	Usage « raisonné » des herbicides	3			-2	
	Fertilisation « raisonnée »	0			-2	
	Amendements organiques	3			-4	
Gestion des effluents et sous-produits du café	Dépulpeuse en circuit fermé	28				-10 %
	Trou avec des pierres	2				-20 %
	Fosse ou réservoir d'oxydation	2				-50 %
	Lagune avec système de filtres	14				-80 %
	Démucilageuse	30				-100 %

Les relations entre les ressources et les résultats ont été définies lors d'ateliers réalisés avec des chercheurs (savoirs scientifiques) et des techniciens locaux (savoirs locaux). Les chiffres correspondent à des unités nécessaires (*inputs*) ou produites (*outputs*) pour chaque carte « actions ».

exploitations). En effet, dans ce territoire où la contrainte d'accès au crédit est forte, il s'agit de voir si en levant cette contrainte financière, qui limite la production du café, et en faisant appliquer effectivement les régulations actuelles, les producteurs se tournent vers des pratiques plus respectueuses de l'environnement.

**Scénario 2 : mise en place de « crédits verts »** basés sur les remises d'intérêts conditionnés par l'adoption de certaines pratiques plus respectueuses de l'environnement, parallèlement à la fourniture d'assistance technique permettant de faciliter l'adoption de ces pratiques.

**Scénario 3 : mise en place d'une certification du café** de type commerce équitable, mais avec des conditionnalités sur l'adoption de pratiques respectueuses de l'environnement. Cette certification offre une garantie sur les prix du café tout en obligeant à adopter certaines pratiques. Ce type d'instruments existe au Nicaragua, mais il est encore peu développé dans cette zone et surtout, ne correspond pas aux contraintes des petits producteurs qui sont majoritaires.

## Résultats des simulations participatives

Quatre sessions de jeux avec treize agriculteurs au total sont réalisées au Costa Rica et trois sessions avec quinze joueurs au total au Nicaragua. Ces simulations participatives mettent en lumière des réponses différentes selon les scénarios en termes d'adoption de pratiques et de provision de services écosystémiques.

### Au Costa Rica

Les résultats sont présentés dans le tableau 4.4. La mise en place d'un paiement pour services environnementaux ciblé sur le multimultiombrage (S5) incluant des arbres d'espèces autochtones incite bien l'adoption de cette pratique actuellement peu mise en œuvre. La gestion des adventices basée sur un faible usage d'intrants chimiques et des désherbages manuels (M3) est également davantage adoptée avec la mise en place d'incitation positive de type « crédit vert » ou de paiements pour services environnementaux. La fertilisation réduite, raisonnée et fractionnée (F1) est peu adoptée quels que soient les scénarios. Seule la fertilisation réduite (F2) est adoptée de manière accrue avec les scénarios de « crédit vert » ou de paiements pour services environnementaux. Enfin, la mise en place d'une zone de protection proche du cours d'eau (Q1) semble être favorisée par la mise en place d'un contrôle de l'interdiction de produire sur une bande proche des cours d'eau (protection des rivières) et par la mise en place d'un paiement pour services environnementaux spécifique. L'effet de ce paiement semble légèrement supérieur à celui d'un contrôle accru.

En vertu des relations entre pratiques et provision de services écosystémiques définis pour chacune des pratiques (tab. 4.2), les choix de pratiques réalisés dans le jeu selon les scénarios entraînent une fourniture plus ou moins importante des différents services écosystémiques (tab. 4.5). Le renforcement du contrôle des régulations existantes semble ainsi réduire les disservices, mais il conduit aussi à une réduction de la production de café. La mise en place de crédits verts permet d'encourager la diversification des pratiques (la fertilisation raisonnée F1 et F2 et le désherbage manuel M3) favorables à la réduction des disservices (érosion du sol et pollution

azotée), tout en conduisant à une réduction plus limitée de la production de café. Enfin, la mise en place de paiements pour services environnementaux en promouvant la gestion multiombrage (S5) et la mise en place d'une zone de protection des rivières (Q1) conduisent à une augmentation des services écosystémiques de support (biodiversité) et une réduction des disservices (érosion et pollution). Cependant, cela se fait au détriment de la production de café qui est fortement réduite.

## Au Nicaragua

Les simulations montrent aussi dans le contexte du Nicaragua des résultats différents selon les scénarios en termes d'adoption de pratiques selon les scénarios

**Tableau 4.4.** Effets simulés des scénarios selon les types d'instruments sur l'adoption de pratiques de systèmes agroforestiers et les aménagements des parcelles dans la zone d'étude au Costa Rica.

Scénarios	Gestion de l'ombrage					Fertilisation des caféiers					Gestion des adventices			Aménagement des parcelles				
	S1 <sup>(1)</sup>	S2	S3	S4	S5	F1	F2	F3	F4	F5	M1	M2	M3	B1	B2	T1	T2	Q1
Situation de référence <sup>(2)</sup>	1	5	2	4	1	0	1	6	5	1	0	12	1	9	1	6	5	6
Contrôle effectif de la protection des rivières	0	3	0	5	5	0	1	4	6	2	1	8	4	6	3	6	5	10
Crédit vert	1	4	3	1	4	1	6	2	4	0	0	5	8	6	1	5	8	8

Note. Les nombres correspondent au nombre de pratiques adoptées par les agriculteurs dans les sessions de jeux pour chaque type de pratiques, sur un total de 13 joueurs ayant participé aux simulations. Pour les pratiques de gestion d'ombrage, de fertilisation et de gestion des adventices, un seul choix était possible. Pour l'aménagement des parcelles, les agriculteurs pouvaient en choisir plusieurs.

(1) Les codes correspondent aux pratiques présentées dans le tableau 4.2.

(2) La situation de référence correspond au premier tour du jeu pour laquelle les pratiques sont les plus courantes dans la réalité.

**Tableau 4.5.** Résultats des simulations de scénario de type d'instrument en termes de production de services et disservices produits à l'échelle du bassin versant.

Scénarios	Évolution des services en comparaison de la situation de référence			
	Café	Érosion	Biodiversité	Pollution
Contrôle effectif de la protection des rivières	--	-	++	-
Crédit vert	-	--	+	--
Paiement pour services environnementaux	---	--	++	---

L'intensité des changements est indiquée de manière qualitative par le nombre de signes :

+ signifie une légère augmentation du nombre d'unité de service fourni dans le scénario en question vis-à-vis de la situation de référence, ++ une augmentation modérée, et +++ une forte augmentation; - signifie une légère diminution du nombre d'unité de service fourni dans le cas du scénario en question vis-à-vis de la situation de référence, -- une réduction modérée, et --- une forte réduction

(tab. 4.6). Le renforcement des contrôles, couplé à un meilleur accès au crédit, est le scénario qui conduit à davantage d'adoption de pratiques limitant la pollution chimique et, dans une moindre mesure, à des pratiques raisonnées d'application d'intrants chimiques. Ceci confirme l'efficacité de la mise en place effective d'un contrôle accru dans le contexte du jeu. En revanche, ce sont les mesures incitatives qui conduisent à traiter davantage les effluents de transformation du café qui entraînent une pollution organique. Si ce résultat confirme l'importance du manque de moyens financiers pour l'adoption de pratiques plus respectueuses pour l'environnement, on constate que les incitations fondées sur la stabilité des prix (certification du café) semblent légèrement plus efficaces que des crédits ciblés (crédit vert). Enfin, c'est avec le scénario des « crédits verts » que les pratiques alternatives de lutte contre les bioagresseurs réduisant les pollutions chimiques sont le plus adoptées.

**Tableau 4.6.** Effets simulés des scénarios de changement d'environnement institutionnel sur l'adoption de pratiques dans la zone d'étude au Nicaragua.

Scénarios	Aménagement parcellaires	Pratiques de diversification culturelle	Gestion des effluents et sous-produits du café	Intensification (pratiques en matière d'application d'intrants chimiques)	Pratiques culturelles alternatives et de lutte contre les bioagresseurs réduisant la pollution chimique
Corps de règles en vigueur et sanctions + crédit classique	18	7	8	4	n.d.
«Crédit vert» et formation technique	15	3	13	1	44
Certification commerce équitable	14	7	15	0	25

Les chiffres indiquent le nombre total de pratiques adoptées par les agriculteurs (15 au total) lors des sessions de simulation participatives par types de pratiques. Un producteur peut adopter plusieurs pratiques.

n.d. Données non disponibles, les pratiques alternatives réduisant la pollution chimique n'ayant été introduite que pour les scénarios de crédit vert et de certification.

En termes de services et disservices, les simulations montrent que les trois scénarios proposés conduisent *in fine* à des situations assez similaires en termes de réduction des pollutions chimiques et organiques et d'augmentation de la production alimentaire (tab. 4.7). Toutefois, ces améliorations en termes de réduction des impacts environnementaux s'accompagnent d'une réduction de la production de café dans le cas des incitations positives (crédit vert + assistance technique et certification). Dans le cas d'un renforcement des contrôles des règles existantes (couplé à un accès au crédit de campagne), ces changements s'accompagnent d'une très légère augmentation de la production de café. Cette augmentation peut s'expliquer par le caractère aléatoire des contrôles simulés dans le jeu. En effet, les joueurs contrôlés

ont subi une certaine pression les incitant à utiliser leur crédit de campagne pour implémenter des pratiques ayant des effets positifs sur les services environnementaux. Certains joueurs non soumis au contrôle et bénéficiant du crédit de campagne ont saisi cette opportunité pour appliquer davantage d'intrants chimiques et ainsi augmenter leur production de café.

**Tableau 4.7.** Résultats des simulations de scénario de changement institutionnel en termes de services et disservices dans la zone d'étude du Nicaragua.

Scénarios	Évolution en comparaison du scénario de référence			
	Production de café	Production d'aliments	Pollution chimique	Pollution organique
Corps de règles en vigueur et sanctions + crédit classique	+	+++	--	--
«Crédit vert» et formation technique	-	++	---	---
Certification commerce équitable	-	++	---	---

L'intensité des changements est indiquée de manière qualitative par le nombre de signes :

+, ++, +++ : intensité de l'augmentation des unités de services considérée par rapport au tour de référence ;

-, --, --- : intensité de la diminution des unités de la ressource, considérée par rapport au tour de référence.

## ► Limites et perspectives la méthode

La mise en œuvre de ces jeux, en simplifiant la réalité et en élargissant le domaine des possibles, permet de générer une réflexion au-delà d'une simple vision tendancielle en introduisant l'idée de rupture (les scénarios). Les différentes sessions peuvent ainsi faire émerger de nouvelles idées d'actions. Par exemple au Nicaragua, dans le jeu, les acteurs recherchent des solutions collectives pour faire face aux pollutions. Cette démarche était relativement nouvelle dans ce site sur ce thème. Les participants soulignent aussi l'intérêt de cet outil pour prendre conscience des enjeux environnementaux, du lien entre choix individuels et résultats collectifs. L'outil permet aussi de réfléchir à la mise en œuvre de pratiques innovantes, auxquelles les joueurs n'avaient pas forcément pensé. Plus généralement, les joueurs s'accordent à dire que le jeu leur a semblé être une méthode attractive et compréhensible pour échanger.

La méthode comporte néanmoins des limites. En effet, le jeu n'est pas prédictif, comme peuvent le prétendre des modèles et simulations calibrés sur la base de faits qui se répètent et pour lesquels des données quantitatives sont disponibles. Au contraire, il s'agit d'une approche prospective pour envisager des futurs possibles et en explorer les conséquences possibles par rapport à un futur désiré. Des améliorations peuvent être apportées à la méthode présentée afin de gagner en robustesse. La première amélioration concerne l'intégration d'une connaissance plus fine des fonctionnements des agroécosystèmes, et des coûts et bénéfices des pratiques en termes monétaire et de provision de services. Le calibrage du jeu serait ainsi plus robuste. La seconde amélioration concerne le nombre de répétitions des sessions de jeu. Dans nos applications, nous avons pu mettre en place un nombre limité de répé-

titions de sessions de jeu (7 sessions de jeu, 28 producteurs au total). Un nombre plus important doit permettre d'avoir une meilleure robustesse statistique sur les réponses des agriculteurs face aux scénarios proposés.

Malgré ces limites, la méthode proposée offre des perspectives pour concevoir des innovations en termes de gestion d'exploitation agricole et d'instruments dans le cadre de projets de recherche ou de développement. Elle pourrait notamment être adaptée pour tester une plus grande diversité d'instruments politiques et législatifs concernant les services environnementaux, une gamme réduite d'instruments en raffinant les conditionnalités et les modalités (montant d'un paiement pour services environnementaux, conditionnalité spécifique) ou encore une combinaison d'instruments (assistance technique, financement, etc.) Cette méthode pourrait aussi être mobilisée pour identifier des objectifs communs à l'échelle du territoire et renforcer l'émergence d'actions collectives. Pour ce faire, plusieurs évolutions du jeu sont envisageables, comme demander aux agriculteurs de proposer eux-mêmes des options de scénarios et/ou inclure des rôles supplémentaires correspondant aux acteurs institutionnels existants (agence de gestion du bassin et coopérative). Enfin, ce type de simulation pourrait être inséré dans des processus de renforcement de capacités en gestion des exploitations, dans la mesure où il permet de tester virtuellement des combinaisons d'activités économiques et des pratiques agricoles.

## ► Bibliographie

- Abrami G., Ferrand N., Morardet S., Murgue C., Popova A., De Fooij H., Farolfi S., Dutoit D., Aquae-Gaudi W. 2012. Wat-A-Game, a toolkit for building role-playing games about integrated water management. In: *Managing resources of a limited planet: pathways and visions under uncertainty, sixth biennial meeting*. Seppelt R., Voinov A.A., Lange S., Bankamp D. (eds). International congress on environmental modelling and software (IEMSS), 6, Leipzig, Allemagne, 01/06/2012-05/07/2012. Leipzig: IEMSS, 1912-1919. ISBN 978-88-9035-742-8.
- Aucante M., 2015. Arrangements institutionnels et fourniture de services écosystémiques dans un territoire agroforestier. Construction et application d'un outil de jeu de rôles. Master, Istom.
- Bonifazi M., 2015. Services écosystémiques et production agroforestière : instruments d'incitation pour le bassin de Llano Bonito, Costa Rica. Master, IRC-SupAgro Montpellier.
- Bonin M., Le Coq J.F., Aznar O., Saenz F., 2017. Efficacité et justice des instruments de politiques agricoles visant à favoriser la provision de services environnementaux : une analyse comparée entre Costa Rica et France (Guadeloupe). *VertigO*, 17(2): 19 p.
- Börner J., Wunder S., Wertz-Kanounnikoff S., Hyman G., Nascimento N., 2014. Forest law enforcement in the brazilian amazon: Costs and income effects. *Global environmental change*, 29 : 294-305.
- Étienne M. (ed.), 2010. *La modélisation d'accompagnement. Une démarche participative en appui au développement durable*. Versailles, France : Éditions Quæ, 384 p.
- Cochet H., Devienne S., 2006. Fonctionnement et performances économiques des systèmes de production agricole : une démarche à l'échelle régionale. *Cahiers agricultures*, 15(6) : 578-583.
- Davidson S., 2005. Shade coffee agro-ecosystems in Mexico: a synopsis of the environmental services and socio-economic considerations. *Journal of sustainable forestry*, 21(1): 81-95.
- De Fooij H., 2011. Wat-a-game: modelling a participatory role-playing game. Mémoire de fin d'études, Université de Twente, Pays Bas.
- Ferrand N., Farolfi S., Abrami G., Dutoit D., 2009. Wat-a-game: sharing water and policies in your own basin, In: *40<sup>th</sup> Annual Conference. International simulation and gaming association, Singapore*, 17 p. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01355501/document> (consulté le 07/04/2019).

- Huybrechs F., Bastiaensen J., Forcella D., Van Hecken G., 2016. La microfinance pour les services environnementaux. *Revue tiers monde*, 1 : 125-154.
- Le Coq J.F., Serpantié G., Andriamahefazafy F., Saenz-Segura F., 2016. Les écocertifications, des dispositifs en faveur des services écosystémiques? In : Méral P. et Pesche D., (eds). *Les services écosystémiques : repenser les relations nature et société.* . Versailles, France : Éditions Quae, 213-228.
- Le Coq J.F., Soto G., González Hernández C., 2011. PES and eco-label. A comparative analysis of their limits and opportunities to foster environmental services provision. In: Rapidel B., De Clerck F., Le Coq J.F., Beer J., (eds). *Ecosystem services from agriculture and agroforestry: measurement and payment.* Londres, Royaume-Uni: Earthscan publications, 237-264.
- Millennium ecosystem assessment, 2005. *Ecosystems and human well-being.* Washington DC : Island Press.
- Méral P., Pesche D., 2016. *Les services écosystémiques : repenser les relations nature et société.* Versailles, France : Éditions Quae, 300 p.
- Meylan L., Gary C., Allinne C., Ortiz J., Jackson L., Rapidel B., 2017. Evaluating the effect of shade trees on provision of ecosystem services in intensively managed coffee plantations. *Agriculture, ecosystems and environment*, 245: 32-42.
- Pirard R., Lapeyre R., 2014. Classifying market-based instruments for ecosystem services: a guide to the literature jungle. *Ecosystem services*, 9: 106-114.
- Power A.G., 2010. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Philosophical transactions of the royal society B: biological sciences*, 365(1554): 2959-2971.
- Rapidel B., De Clerck F., Le Coq J.F., Beer J., (eds), 2011. *Ecosystem services from agriculture and agroforestry: measurement and payment.* Londres, Royaume-Uni : Earthscan publications.
- Rodríguez-Robayo K.J., Merino-Perez L., 2017. Contextualizing context in the analysis of payment for ecosystem services. *Ecosystem services*, 23: 259-267.
- Schroth G., McNeely J.A., 2011. Biodiversity conservation, ecosystem services and livelihoods in tropical landscapes: towards a common agenda. *Environmental management*, 48(2): 229-236.
- Swinton S.M., Lupi F., Robertson G.P., Hamilton S.K., 2007. Ecosystem services and agriculture: cultivating agricultural ecosystems for diverse benefits. *Ecological economics*, 64(2): 245-252.
- Villatoro Sanchez M., Wang Y., Stokes A., 2017. Vegetation as a driver of temporal variations in slope stability: the impact of hydrological processes. *Geophysical research letters*, 44: 4897-4907.
- Wunder S., 2005. Payment for environmental services: some nuts and bolts. Bogor: Cifor, (Occasional paper), 42, 24 p.
- Zhang W., Ricketts T.H., Kremen C., Carney K., Swinton S.M., 2007. Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecological economics*, 64(2): 253-260.