

« Travaux et Documents » du programme de recherche

**Dynamique démographique et développement durable
dans les Hautes Terres malgaches**

N°10



*Diffusion d'une innovation avec
révision des croyances individuelles*

Frédéric Gannon et Frédéric Sandron



Gannon F., Sandron F., 2006, « Diffusion d'une innovation avec révision des croyances », *Travaux et Documents*, n°10, Programme 4D, Institut Catholique de Madagascar et Institut de Recherche pour le Développement, 25p., Antananarivo.

Déjà parus :

Binet P., Briet P., Gastineau B., Gastineau P., Omrane M., 2005, « Conditions de vie des ménages à Ampitatafika en période de soudure : conséquences de la hausse du prix du riz sur les pratiques agricoles et la formation du revenu (décembre 2004-février 2005) », *Travaux et Documents*, n°1, Programme 4D, Institut Catholique de Madagascar et Institut de Recherche pour le Développement, 18p., Antananarivo.

Sandron F., 2005, « Population et environnement : le paradigme de la complexité », *Travaux et Documents*, n°2, Programme 4D, Institut Catholique de Madagascar et Institut de Recherche pour le Développement, 18p., Antananarivo.

Rakotoson S., 2005, « Evolution et utilisation des ressources forestières dans la commune rurale d'Ampitatafika », *Travaux et Documents*, n°3, Programme 4D, Institut Catholique de Madagascar et Institut de Recherche pour le Développement, 19p., Antananarivo.

Briet P., 2005, « Activités des ménages en période de crise : des solutions diverses face un problème commun », *Travaux et Documents*, n°4, Programme 4D, Institut Catholique de Madagascar et Institut de Recherche pour le Développement, 14p., Antananarivo.

Gastineau B., Rakotoson L., 2005, « Evolution de la population à Madagascar », *Travaux et Documents*, n°5, Programme 4D, Institut Catholique de Madagascar et Institut de Recherche pour le Développement, 14p., Antananarivo.

Gannon F., Sandron F., 2005, « Entraide et réseaux sociaux à Ampitatafika. Analyse d'entretiens », *Travaux et Documents*, n°6, Programme 4D, Institut Catholique de Madagascar et Institut de Recherche pour le Développement, 24p., Antananarivo.

Binet C., 2005, « Fréquentations adolescentes et entrée en union dans une commune rurale des Hautes Terres malgaches » *Travaux et Documents*, n°7, Programme 4D, Institut Catholique de Madagascar et Institut de Recherche pour le Développement, 16p., Antananarivo.

Rakotonarivo A., 2006, « Migration et développement à Sandrandahy », *Travaux et Documents*, n°8, Programme 4D, Institut Catholique de Madagascar et Institut de Recherche pour le Développement, 16p., Antananarivo.

Ramasinjatovo N., 2006, « Diffusion spatiale de l'innovation », *Travaux et Documents*, n°9, Programme 4D, Institut Catholique de Madagascar et Institut de Recherche pour le Développement, 20p., Antananarivo.

Diffusion d'une innovation avec révision des croyances individuelles

Frédéric Gannon* Frédéric Sandron†

Juin 2006

1 Introduction

Dans une communauté rurale soumise à une forte contrainte de survie, comme Ampitatafika¹, la prise de risque individuelle induite par l'adoption d'une innovation implique une prise de risque collective, du fait du lien entre l'adopteur et son réseau social, essentiellement composé des membres de sa famille, au sens plus ou moins large. On peut supposer que la décision individuelle d'abandonner la technique traditionnelle intègre le coût "social" anticipé de l'échec et de la réussite de cette stratégie. Concrètement, cela se traduit par un calcul s'appuyant à la fois sur des probabilités objectives et subjectives liées aux expériences des adopteurs précédents et au réseau de l'agent. L'idée qui motive ce papier est celle de la formalisation du lien entre l'information, le réseau social de l'agent et la diffusion de l'innovation. En effet, on peut supposer de manière standard que le calcul de risque repose sur un processus bayésien de révision des croyances, influencé par la structure de l'environnement social de l'agent. Dans une optique d'assurance, si les agents sont averses au risque, ce dernier devrait favoriser la prise de risque, du fait de la mutualisation des pertes économiques éventuelles qu'elle suppose. Mais si l'aversion *a priori* au risque est trop forte, l'agent n'envisagera pas d'adopter l'innovation, malgré sa rentabilité espérée supérieure à celle de la technique traditionnelle. En d'autres termes, la dissuasion d'innover

*Maître de conférences, Université du Havre, 25 rue Philippe Lebon, 76067 Le Havre, France. Email: frederic.gannon@wanadoo.fr

†Chargé de recherche, IRD, UMR 151 LPED. Adresse : IRD, BP 434, 101 Antananarivo, Madagascar. Email : frederic.sandron@ird.fr

¹zone d'étude du programme 4D située à une centaine de kilomètres au sud de la capitale malgache Antananarivo

induite par la pression sociale implicite renforce la croyance en la supériorité de l'ancienne technique sur la nouvelle en terme de risque, alors même qu'elle est dominée en terme de rentabilité espérée. En l'absence de prise de risque par des pionniers, le processus de révision des croyances sur la distribution du risque lié à l'innovation n'a pas lieu, ce qui justifie le paradoxe du maintien de la technique traditionnelle en dépit de sa moindre profitabilité escomptée.

Ici, nous appréhendons l'influence des performances observées des parcelles voisines comme une externalité informationnelle. Nous adoptons ainsi, de manière très simplifiée, la logique d'apprentissage social dont les articles pionniers furent ceux de Banerjee (1992) et Bikhchandani, Hirshleifer and Welch (1992), étendus par Smith et Sørensen (2000). Dans ces modèles, l'apprentissage social est séquentiel (Gale et Kariv, 2003). Smith et Sørensen (2000) montrent que dans ce type d'approche, le comportement moutonnier survient à une date finie de façon certaine. Une fois que la proportion d'agents choisissant une action particulière - ici l'innovation - est suffisamment grande, l'information *publique* soutenant cette action dépasse l'information privée de l'agent, conduisant les agents à ignorer leur information même contradictoire pour adopter un comportement suiviste.

Nous suivrons Gale et Kariv (2003) d'une part en abandonnant l'hypothèse que les actions individuelles sont une information publique pour l'ensemble de la communauté et d'autre part en supposant que les agents prennent leurs décisions en même temps et non séquentiellement, et révisent leurs choix, contrairement aux modèles pionniers cités plus haut dans lesquels les agents prennent une seule décision, de manière irréversible. Gale et Kariv (2003) qualifient cette approche de "modèle de réseau social".

La première section est consacrée au modèle de base (Feder et O'Mara, 1982), dans lequel les agents disposent à chaque date de l'information sur l'ensemble des parcelles de la communauté considérée. La seconde section adopte l'hypothèse d'une révision des croyances individuelles concernant la performance de l'innovation sur la base de l'environnement social des agents, que nous réduirons explicitement à leurs voisins de parcelles. Nous envisagerons alors successivement deux configurations : la restriction du voisinage aux parcelles attenantes, c'est-à-dire un voisinage de Moore et une influence des rendements des parcelles observées décroissant avec leur éloignement. La troisième et dernière section présente les résultats principaux des simulations de la diffusion de l'innovation dans ces différentes configurations évoquées précédemment pour différentes valeurs numériques des paramètres. Le calibrage des paramètres s'appuiera sur les données empiriques obtenues à Ampitatafika.

2 Le modèle

On considère une communauté constituée de n agents possédant chacun une unique parcelle, de même superficie. La localisation de cette parcelle est invariante et connue de tous.

A l'apparition de l'innovation culturelle, explicitement ici la culture en ligne, les agents forment des croyances sur ses performances, plus ou moins optimistes. Ces croyances idiosyncrasiques porteront explicitement sur le rendement de l'innovation et la variance de celui-ci. L'évaluation initiale du risque induit par l'abandon de la culture "en foule" au profit de l'adoption de la culture en ligne s'établira sur ces croyances.

Avec le temps, l'apprentissage et l'expérience conduisent à réviser celles-ci, en fonction des performances individuelles réalisées par les autres membres de la communauté. On supposera que la pondération par un agent donné de la performance d'un autre agent dépend de leur proximité δ . Le processus de diffusion est tel que, à une date quelconque t , l'incertitude décroît avec le nombre d'agriculteurs adoptant la culture en ligne. Ce nombre est assimilable à l'expérience collective de la communauté considérée.

Soit R_i le rendement unitaire aléatoire de la technique $i = T, I$, où l'indice T (resp. I) représente la technique traditionnelle "en foule" (resp. innovante ou "en ligne"). Par souci de simplification, nous ferons l'hypothèse que R_i suit une loi normale (\bar{R}_i, σ_i) où \bar{R}_i et σ_i sont respectivement l'espérance et l'écart-type de la V.A. R_i avec $\bar{R}_I > \bar{R}_T$ et $\sigma_I^2 \geq \sigma_T^2$.

La *croyance* de l'agent j sur la distribution moyenne de R_I est dénotée (ρ^j, ψ^j) . Il est raisonnable alors de poser: $(\rho_T^j, \psi_T^j) = (\bar{R}_T, \sigma_T)$, c'est-à-dire que les agents connaissent la vraie distribution des rendements de la technique traditionnelle dans la communauté.

Les agents, averses au risque, modifient à chaque début de période t leur croyance (ρ_t^j, ψ_t^j) en fonction de leur information. On fait l'hypothèse que celle-ci dépend de leur réseau. Soit I_j l'information de l'agent j . On pose : $I_j = I_j(n_j)$, où n_j est un "voisinage" de l'agent j .

2.1 Modèle de base : les agents possèdent tous la même information

Les agents connaissent la variance de la nouvelle technologie (par exemple par une information donnée par un technicien agricole), notée dorénavant σ^2 , et ils observent tous les adopteurs, soit $I_j = I_k, \forall j \neq k$. Ils pensent que la *moyenne* des rentabilités obtenues avec l'innovation suit une loi normale de moyenne ρ et de variance ψ^2 .

Les agents vont modifier leur croyance en observant les résultats des récoltes sur les parcelles des adopteurs situés dans un voisinage plus ou moins restreint et, le cas échéant, sur la leur selon un processus bayésien. En omettant l'exposant j , la croyance initiale de l'agent sur la variance de la moyenne des rentabilités obtenues avec l'innovation, \bar{R}_I est donnée par $\psi_0^2 = \frac{\sigma^2}{n_0}$, où n_0 désigne un "échantillon équivalent de parcelles" associé à l'information *a priori* sur la variance de la rentabilité de l'innovation.

On en déduit (Raiffa et Schlaifer, 1961) les équations de récurrence suivantes :

$$\begin{cases} \rho_t = \frac{\sigma^2 \rho_{t-1} + \psi_{t-1}^2 n \gamma_{t-1} \phi_{t-1}}{\sigma^2 + \psi_{t-1}^2 n \gamma_{t-1}} \\ \psi_t^2 = \frac{\sigma^2 \psi_{t-1}^2}{\sigma^2 + \psi_{t-1}^2 n \gamma_{t-1}} \end{cases} \quad (1)$$

où γ_t désigne la proportion de nouveaux adopteurs de l'innovation à la date t parmi les n agents, ϕ_t est la moyenne des rendements sur les parcelles adoptant l'innovation - y compris l'agent lui-même -, observés par les agents à la date t , ψ_t^2 est la croyance de l'agent à la date t sur la variance de \bar{R}_I

On note que la pente des courbes ρ_t (ρ_{t-1}) et ψ_t^2 (ψ_{t-1}^2) sont égales et d'autant plus fortes que σ^2 est faible.

2.1.1 propriétés du processus de révision

- $\frac{\rho_t}{\psi_t^2} = \frac{\sigma^2 \rho_{t-1} + \psi_{t-1}^2 n \gamma_{t-1} \phi_{t-1}}{\sigma^2 \psi_{t-1}^2} = \frac{\rho_{t-1}}{\psi_{t-1}^2} + \frac{n}{\sigma^2} \gamma_{t-1} \phi_{t-1}$
- $\frac{\partial \rho_t}{\partial \psi_{t-1}^2} = \frac{\sigma^2 n \gamma_{t-1}}{(\sigma^2 + \psi_{t-1}^2 n \gamma_{t-1})^2} (\phi_{t-1} - \rho_{t-1})$
On en déduit que : $\frac{\partial \rho_t}{\partial \psi_{t-1}^2} \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} 0 \Leftrightarrow \phi_{t-1} \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \rho_{t-1}$
- $\frac{\partial \rho_t}{\partial \gamma_{t-1}} = \frac{\psi_{t-1}^2 n \sigma^2}{(\sigma^2 + \psi_{t-1}^2 n \gamma_{t-1})^2} (\phi_{t-1} - \rho_{t-1}) \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} 0 \Leftrightarrow \phi_{t-1} \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} \rho_{t-1}$
- $\frac{\partial \rho_t}{\partial \sigma^2} = \frac{\psi_{t-1}^2 n \gamma_{t-1}}{(\sigma^2 + \psi_{t-1}^2 n \gamma_{t-1})^2} (\rho_{t-1} - \phi_{t-1}) \begin{matrix} \leq \\ \geq \end{matrix} 0 \Leftrightarrow \phi_{t-1} \begin{matrix} \geq \\ \leq \end{matrix} \rho_{t-1}$
- $\frac{\partial \psi_t^2}{\partial \psi_{t-1}^2} = \left[\frac{\sigma^2}{\sigma^2 + \psi_{t-1}^2 n \gamma_{t-1}} \right]^2 = \left(\frac{\psi_t}{\sigma} \right)^4 > 0$
- $\frac{\partial \psi_t^2}{\partial \gamma_{t-1}} < 0$
- $\frac{\partial \psi_t^2}{\partial \sigma^2} = \frac{\psi_{t-1}^4 n \gamma_{t-1}}{\sigma^2 + \psi_{t-1}^2 n \gamma_{t-1}} > 0$ avec $\frac{\partial^2 \psi_t^2}{\partial (\sigma^2)^2} < 0$

2.1.2 détermination de la valeur estimée ρ_t

A partir de la seconde égalité de définition précédente, on peut écrire :

$$\psi_1^2 = \frac{\sigma^2 \psi_0^2}{\sigma^2 + \psi_0^2 n \gamma_0} \text{ et } \psi_2^2 = \frac{\sigma^2 \psi_1^2}{\sigma^2 + \psi_1^2 n \gamma_1} = \frac{\sigma^2 \psi_0^2}{\sigma^2 + \psi_0^2 n (\gamma_0 + \gamma_1)}$$

D'où : $\frac{1}{\psi_2^2} = \frac{1}{\psi_0^2} + \frac{n(\gamma_0 + \gamma_1)}{\sigma^2}$. Et, par récurrence : $\frac{1}{\psi_t^2} = \frac{1}{\psi_0^2} + \frac{n}{\sigma^2} \sum_{\tau=0, t-1} \gamma_\tau$

En utilisant l'égalité $\psi_0^2 = \frac{\sigma^2}{n_0}$, on obtient :

$$\frac{1}{\psi_t^2} = \frac{n_0 + n \sum_{\tau=0, t-1} \gamma_\tau}{\sigma^2} \quad (2)$$

De même,

$$\begin{cases} \frac{\rho_t}{\psi_t^2} = \frac{\rho_{t-1}}{\psi_{t-1}^2} + \frac{n}{\sigma^2} \gamma_{t-1} \phi_{t-1} \\ \psi_0^2 = \frac{\sigma^2}{n_0} \end{cases} \Rightarrow \frac{\rho_t}{\psi_t^2} = \frac{n_0 \rho_0 + n \sum_{\tau=0, t-1} \gamma_\tau \phi_\tau}{\sigma^2}$$

En remplaçant $\frac{1}{\psi_t^2}$ par sa valeur déterminée précédemment, il vient :

$$\rho_t = \frac{n_0 \rho_0 + n \sum_{\tau=0, t-1} \gamma_\tau \phi_\tau}{n_0 + n \sum_{\tau=0, t-1} \gamma_\tau} \quad (3)$$

2.1.3 Evaluation du risque lié à l'innovation selon le critère "espérance - variance"

Nous supposons que les agents adoptent le critère de Markowitz - ou "espérance-variance" - pour définir leur règle de décision quant à l'adoption de l'innovation. Définissons alors pour le type de technique de culture $i = T, I$, la grandeur suivante, fonction de l'espérance et de la variance des rendements associés :

$$A(R_{it}) = E[R_{it}] - k \sigma_{it}^2$$

avec k = constante spécifique à l'individu et $i = T, I$ la technique de culture envisagée.

On note que $dA(R_i) = dE[R_i] - k d\sigma_i^2$. A l'équilibre, on a donc : $dA(R_i) = 0$, d'où : $k = \frac{dE[R_i]}{d\sigma_i^2}$

La constante k est un paramètre de sensibilité idiosyncrasique au risque et indique de combien l'espérance $E[R_i]$ doit varier pour compenser un changement de la variance σ_i^2 évaluation constante de $A(R_i)$ (en terme d'espérance de rentabilité). Les individus les plus averses au risque (riscophobes) vont donc être caractérisés par une valeur forte de k , et inversement pour ceux qui sont intrinsèquement preneurs de risque (riscophiles). Une valeur nulle

de k indique une neutralité au risque. Selon ce critère, la technique innovante sera ainsi préférée à la technique "traditionnelle" à la date t si $A(\rho_t, \psi_t) > A(\bar{R}_T, \sigma_T)$. Les agents vont alors adopter l'innovation à la date t si et seulement si :

$$\rho_t - k\sigma^2 > \bar{R}_T - k\sigma_T^2 \quad (4)$$

Soit :

$$\frac{n_0\rho_0 + n \sum_{\tau=0,t-1} \gamma_\tau \phi_\tau}{n_0 + n \sum_{\tau=0,t-1} \gamma_\tau} > \bar{R}_T + k(\sigma^2 - \sigma_T^2)$$

On en déduit la date \hat{t} à laquelle laquelle l'agent considéré va adopter l'innovation.

Cette égalité nous permet de déterminer les caractéristiques des pionniers.

- $\hat{t} = 0$

Les pionniers à la date $t = 0$ sont les agents j dont le coefficient d'aversion k_j est inférieur ou égal au coefficient critique $k_{\hat{t}=0} = \frac{\rho_0 - \bar{R}_T}{\sigma^2 - \sigma_T^2} = \min_j k_j$. On note que $\lim_{\sigma^2 - \sigma_T^2 \rightarrow 0} k_{\hat{t}=0} = \infty$: tous les agents adoptent immédiatement l'innovation si celle-ci ne présente pas de risque. Inversement, personne n'adopte l'innovation à la date de son apparition si $\rho_0 < \bar{R}_T$, du fait que $\sigma_0^2 < \sigma_T^2$ et que les agents sont averses au risque.

- $\hat{t} = 1$

$$k_{\hat{t}=1} = \frac{n_0\rho_0 + n\gamma_0\phi_0}{(n_0 + n\gamma_0)(\sigma^2 - \sigma_T^2)} - \frac{\bar{R}_T}{\sigma^2 - \sigma_T^2} = k_{\hat{t}=0} + \frac{n}{\sigma^2 - \sigma_T^2} \frac{\gamma_0(\phi_0 - \rho_0)}{n_0 + n\gamma_0}$$

- $\hat{t} = 2$

$$k_{\hat{t}=2} = \frac{1}{\sigma^2 - \sigma_T^2} \left(\frac{n_0\rho_0 + n(\gamma_0\phi_0 + \gamma_1\phi_1)}{n_0 + n(\gamma_0 + \gamma_1)} \right) - \frac{\bar{R}_T}{\sigma^2 - \sigma_T^2}$$

$$\text{Soit : } k_{\hat{t}=2} = k_{\hat{t}=0} + \frac{n}{\sigma^2 - \sigma_T^2} \left(\frac{\gamma_0\phi_0 + \gamma_1\phi_1 - \rho_0(\gamma_0 + \gamma_1)}{n_0 + n(\gamma_0 + \gamma_1)} \right)$$

- Généralisation : $\hat{t} = t$

$$k_{\hat{t}=t} = k_{\hat{t}=0} + \frac{n}{\sigma^2 - \sigma_T^2} \left(\frac{\sum_{\tau=0,\hat{t}-1} \gamma_\tau \phi_\tau - \rho_0 \sum_{\tau=0,\hat{t}-1} \gamma_\tau}{n_0 + n \sum_{\tau=0,\hat{t}-1} \gamma_\tau} \right) \quad (5)$$

Remarque : l'inégalité critique à la date t peut se réécrire :

$$\rho_0 > [\bar{R}_T + k(\sigma^2 - \sigma_T^2)] \left(1 + \frac{n}{n_0} \sum_{\tau=0, t-1} \gamma_\tau \right) - \frac{n}{n_0} \sum_{\tau=0, t-1} \gamma_\tau \phi_\tau = \hat{\rho}_0(t)$$

ou, en posant $n \sum_{\tau=0, t-1} \gamma_\tau = N_{t-1}^I$ le nombre d'agents ayant déjà adopté l'innovation à la fin de la période $t-1$ et n_τ^I le nombre de nouveaux agents ayant adopté l'innovation durant la période $t-1$ ²:

$$\rho_0 > \frac{1}{n_0} [\bar{R}_T + k(\sigma^2 - \sigma_T^2)] (n_0 + N_{t-1}^I) - \frac{1}{n_0} \sum_{\tau=0, t-1} n_\tau^I \phi_\tau = \hat{\rho}_0(t) \quad (6)$$

Autrement dit, les agents adoptant l'innovation à la date t se caractérisent par une croyance initiale idiosyncrasique supérieure à la croyance seuil $\hat{\rho}_0(t)$ à cette date, fonction croissante du rendement de la méthode traditionnelle \bar{R}_T et de l'écart $\sigma^2 - \sigma_T^2$ ainsi que du coefficient d'aversion k et fonction décroissante de la moyenne des rendements de l'innovation observée à n'importe quelle date avant t . Le rythme d'adoption de l'innovation dans cette économie va alors dépendre de la répartition des croyances initiales. Soit $F(\rho_{0j})$ la fonction de densité cumulée de ces croyances idiosyncrasiques. Alors :

$$E[\gamma_t] = 1 - F(\hat{\rho}_0(t))$$

Remarque:

Si les agents sont tous neutres au risque ($k = 0$) alors l'inégalité critique se réécrit :

$$\frac{n_0 \rho_0 + \sum_{\tau=0, t-1} n_\tau^I \phi_\tau}{n_0 + N_{t-1}^I} > \bar{R}_T$$

On en déduit la date \hat{t} à laquelle chaque agent va adopter l'innovation :

$$\hat{t} = \min_t \left\{ n \sum_{\tau=0, t-1} \gamma_\tau (\phi_\tau - \bar{R}_T) > n_0 (\bar{R}_T - \rho_0) \right\} \quad (7)$$

²soit : $N_{t-1}^I = N_{t-2}^I + n_{t-1}^I$

Remarque :

Lorsque la population est grande, l'approximation suivante peut s'appliquer. Par hypothèse, le rendement de l'innovation suit une loi normale $\mathcal{N}(\bar{R}_i, \sigma_i)$. On peut donc écrire la condition nécessaire d'adoption de l'innovation comme:

$$\frac{n_0\rho_0 + n\bar{R}_I \sum_{\tau=0,t-1} \gamma_\tau}{n_0 + n \sum_{\tau=0,t-1} \gamma_\tau} > \bar{R}_T + k(\sigma^2 - \sigma_T^2)$$

ou, avec les notations définies précédemment :

$$\frac{n_0\rho_0 + N_{t-1}^I \bar{R}_I}{n_0 + N_{t-1}^I} > \bar{R}_T + k(\sigma^2 - \sigma_T^2)$$

2.2 L'information des agents dépend de leur environnement social

L'inconvénient du modèle précédent tient au fait que si les agents ont tous la même croyance initiale ρ_0 et le même degré d'aversion au risque k , ils adoptent l'innovation à la même date. Or, dans la communauté théorique analysée ici, il est supposé à la fois une homogénéité des attitudes face au risque et une proximité validant l'idée de croyances initiales identiques concernant l'efficacité de l'innovation. Cela interdit alors la possibilité d'une diffusion graduelle de l'innovation, contredisant les observations empiriques faites à Ampitatafika en général et dans le *fokontany* de Mananetivohitra en particulier. Dans ce dernier, il a fallu en effet plus de trente ans pour que le repiquage en ligne se substitue à celui "en foule", pour un peu moins de 90% des agriculteurs qui y possèdent leurs parcelles (Enquête Référence 4D (2003)).

Afin de remédier à ce problème théorique, supposons maintenant que le processus de révision de croyance concernant l'innovation soit influencé par l'"environnement social" des agriculteurs, ici assimilé pour des raisons explicitées ultérieurement à leurs voisins de parcelle. Nous considérons dans un premier temps que cet environnement est constitué des propriétaires des parcelles immédiatement voisines, *i.e.* celles attenantes à la leur. Nous faisons ensuite l'hypothèse que la pondération par un agent donné de la performance d'un autre agent dépende positivement de sa proximité géographique.

2.2.1 Observation des parcelles attenantes

Formalisation des voisinages Pour simplifier l'analyse, nous considérons un voisinage de Moore. Soit :

$$N_j(\delta) = \{i \neq j, |x_i - x_j| \leq \delta, |y_i - y_j| \leq \delta\}$$

où (x_k, y_k) désigne les coordonnées cartésiennes de la parcelle de $k = i, j$ dans l'espace formé de l'ensemble des parcelles considérées comme des cellules de même forme et superficie (cf. schéma ci-dessous) et δ est un nombre entier. Le nombre maximal de parcelles distinctes de celle de j éloignées d'elle d'une "distance" quelconque δ est alors donné par $n_j(\delta) = (2\delta + 1)^2 - 1$.

A	B	C
D	j	E
F	G	H

Sur ce schéma, la parcelle j est entourée au plus de 8 parcelles adjacentes (distantes de 1 de j). Cela revient donc à supposer que l'influence du voisinage est limitée aux parcelles distantes de $\delta = 1$.

Le processus individuel de révision des croyances est alors donné par :

$$\rho_{j,t} = \frac{\sigma_I^2 \rho_{j,t-1} + \psi_{j,t-1}^2 (n_j \gamma_{j,t-1} \phi_{j,t-1} + \lambda_{j,t-1} \beta_{j,t-1})}{\sigma^2 + \psi_{j,t-1}^2 (n_j \gamma_{j,t-1} \phi_{j,t-1} + \lambda_{j,t-1} \beta_{j,t-1})}$$

et

$$\psi_{j,t}^2 = \frac{\sigma^2 \psi_{j,t-1}^2}{\sigma^2 + \psi_{j,t-1}^2 (n_j \gamma_{j,t-1} + \lambda_{j,t-1})}$$

où $n_j \in]1, 8]$ désigne le nombre de parcelles attenantes à celle de l'agent j , $\phi_{j,t-1}$ et $\gamma_{j,t-1}$ sont respectivement la moyenne des rendements et la proportion de ces parcelles observées par j ayant adopté l'innovation durant la période $t - 1$. $\lambda_{j,t-1} = 1$ (resp. 0) si l'agent j a (resp. n'a pas) adopté l'innovation durant la période $t - 1$. $\beta_{j,t-1}$ désigne le rendement observé par l'agent j sur sa propre parcelle à la fin de la période $t - 1$, le cas échéant. Enfin, $\psi_{j,t-1}^2$ est la croyance de l'agent j à la date t sur la variance de la moyenne \bar{R}_I .

Les agents vont alors adopter l'innovation à la date t si et seulement si :

$$\frac{n_0 \rho_0 + \sum_{\tau=0,t-1} (\lambda_{j,\tau} + n_j \gamma_{j,\tau}) \phi_{j,\tau}}{n_0 + \sum_{\tau=0,t-1} (\lambda_{j,\tau} + n_j \gamma_{j,\tau})} > \bar{R}_T + k (\sigma^2 - \sigma_T^2)$$

ou, en posant $\lambda_{j,t-1} + n_j \sum_{\tau=0,t-1} \gamma_{j,\tau} = N_{j,t-1}^I$ le nombre d'agents y compris éventuellement l'individu j ayant déjà adopté l'innovation à la fin de la période $t - 1$ et $\lambda_{j,\tau} + n_j \gamma_{j,\tau} = n_{j,\tau}^I$ le nombre d'agents y compris éventuellement l'individu j ayant adopté l'innovation durant la période $t - 1$:

$$\frac{n_0\rho_0 + \sum_{\tau=0,t-1} n_{j,\tau}^I \phi_{j,\tau}}{n_0 + N_{j,t-1}^I} > \bar{R}_T + k(\sigma^2 - \sigma_T^2)$$

Soit :

$$\rho_0 > \hat{\rho}_0(t)$$

avec $\hat{\rho}_0(t) = \frac{1}{n_0} [\bar{R}_T + k(\sigma^2 - \sigma_T^2)] [n_0 + N_{j,t-1}^I] - \frac{1}{n_0} \sum_{\tau=0,t-1} n_{j,\tau}^I \phi_{j,\tau}$

Du fait que $\hat{\rho}_0(t)$ est une fonction croissante du paramètre idiosyncrasique k de sensibilité à la variance du rendement de l'innovation, la condition ci-dessus sera d'autant plus facilement satisfaite que l'individu valorisera spontanément le rendement l'innovation (valeur de ρ_0 élevée) et qu'il sera peu sensible au risque (valeur de k faible). Or, on peut raisonnablement supposer que ces deux caractéristiques sont corrélées positivement et définissent le degré d'optimisme de cet agent. On peut en inférer que la diffusion de l'innovation sera d'autant plus rapide que les individus "optimistes" sont voisins de parcelles. Dans le cas contraire, l'inertie sera forte.

2.2.2 Influence différenciée des parcelles voisines

Généralisons maintenant le principe d'influence différenciée en faisant l'hypothèse que les agents observent les rentabilités de *toutes* les parcelles situées à une distance quelconque de la leur, et ajustent leurs croyances en tenant compte de manière différenciée de ces observations.

Exemple de voisinage Soit le schéma des parcelles suivant :

T	T	T	I	I
I	T	I	T	I
I	I	k(T)	T	T
I	j(T)	I	T	T
T	I	T	I	T

où chaque cellule est de type T ou I .

Considérons à une date donnée $t - 1$ les deux parcelles particulières j et k n'adoptant pas l'innovation. L'influence de leur voisinage à la date $t - 1$ est décrite par :

- Pour j :

T,3	T,3	T,3	I,3	I,3
I,2	T,2	I,2	T,2	I,3
I,1	I,1	$k(T)$	T,2	T,3
I,1	$j(T)$	I,1	T,2	T,3
T,1	I,1	T,1	I,2	T,3

(entre parenthèses : distance δ_{ji} de la parcelle i relativement à j)

- 8 parcelles attenantes ($\delta = 1$) dont 5 ont adopté l'innovation;
- 7 parcelles situées à $\delta = 2$ dont 3 ont adopté l'innovation;
- 9 parcelles situées à $\delta = 3$ dont 3 ont adopté l'innovation.

- Pour k :

T,2	T,2	T,2	I,2	I,2
I,2	T,1	I,1	T,1	I,2
I,2	I,1	$k(T)$	T	T,1
I,2	$j(T)$	I,1	T,1	T,2
T,2	I,2	T,2	I,2	T,2

(entre parenthèses : distance δ_{ki} de la parcelle i relativement à k)

- 8 parcelles attenantes ($\delta = 1$) dont 3 ont adopté l'innovation;
- 16 parcelles situées à $\delta = 2$ dont la moitié ont adopté l'innovation.

Révision des croyances :

En notant $\bar{\delta}$ la distance maximale entre deux parcelles constatée sur le terrain étudié, il vient:

$$\rho_{j,t} = \frac{\sigma^2 \rho_{j,t-1} + \lambda_{j,t-1} \beta_{j,t-1} \psi_{j,t-1}^2 + \sum_{\delta=1, \bar{\delta}} \frac{n_j(\delta)}{\delta} \psi_{j,t-1}^2 \gamma_{j,t-1}(\delta) \phi_{j,t-1}(\delta)}{\sigma^2 + \lambda_{j,t-1} \psi_{j,t-1}^2 + \sum_{\delta=1, \bar{\delta}} \frac{n_j(\delta)}{\delta} \psi_{j,t-1}^2 \gamma_{j,t-1}(\delta)}$$

et

$$\psi_{j,t}^2 = \frac{\sigma^2 \psi_{j,t-1}^2}{\sigma^2 + \lambda_{j,t-1} \psi_{j,t-1}^2 + \sum_{\delta=1, \bar{\delta}} \frac{n_j(\delta)}{\delta} \psi_{j,t-1}^2 \gamma_{j,t-1}(\delta)}$$

avec :

$\delta \geq 1$ entier naturel désignant la distance entre parcelles,

$n_j(\delta)$ = nombre de parcelles situées à une distance δ de j , supposé invariant.

$\gamma_{j,t}(\delta)$ = fraction des parcelles situées à une distance δ de j adoptant l'innovation à la date t^3 ,

$\phi_{j,t}(\delta)$ = moyenne des rentabilités observées à la même date sur ces parcelles,

$\beta_{j,t}$ = rentabilité observée sur la parcelle j à la date t ,

$\lambda_{j,t-1}$: voir précédemment.

$\rho_{j,t}$ et $\psi_{j,t}^2$ = croyance en début de période t de l'agent j relativement au rendement moyen de l'innovation et à sa variance.

La formulation ci-dessus suppose donc une décroissance du poids de l'observation faite par j sur la parcelle de l'individu i proportionnelle à sa distance.

En suivant le même raisonnement que pour le modèle de base, on a :

$$\psi_{j,1}^2 = \frac{\sigma^2 \psi_{j,0}^2}{\sigma^2 + \lambda_{j,0} \psi_{j,0}^2 + \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \frac{n_j(\delta)}{\delta} \psi_{j,0}^2 \gamma_{j,0}(\delta)} \quad \text{ou} \quad \frac{1}{\psi_{j,1}^2} = \frac{1}{\psi_{j,0}^2} + \frac{\lambda_{j,0} \psi_{j,0}^2 + \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \frac{n_j(\delta)}{\delta} \psi_{j,0}^2 \gamma_{j,0}(\delta)}{\sigma^2 \psi_{j,0}^2}$$

Si l'on adopte l'hypothèse simplificatrice $\psi_{ji,0}^2 = \psi_{j,0}^2 = \psi_0^2 = \frac{\sigma^2}{n_0}$, $\forall i, j$, la dernière égalité se réécrit : $\frac{1}{\psi_{j,1}^2} = \frac{n_0 + \lambda_{j,0} + \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \frac{n_j(\delta) \gamma_{j,0}(\delta)}{\delta}}{\sigma^2}$.

On en déduit :

$$\psi_{j,2}^2 = \frac{\sigma^2}{\frac{\sigma^2}{\psi_{j,1}^2} + \lambda_{j,1} + \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \frac{n_j(\delta)}{\delta} \gamma_{j,1}(\delta)} = \frac{\sigma^2}{n_0 + \lambda_{j,1} + \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \frac{n_j(\delta) (\gamma_{j,0}(\delta) + \gamma_{j,1}(\delta))}{\delta}}$$

Soit, à la date t :

$$\psi_{j,t}^2 = \frac{\sigma^2}{n_0 + \sum_{\tau=0,t-1} \lambda_{j,\tau} + \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \frac{n_j(\delta) \sum_{\tau=0,t-1} \gamma_{j,\tau}(\delta)}{\delta}} \quad (8)$$

D'autre part, du rapport : $\frac{\rho_{j,t}}{\psi_{j,t}^2} = \frac{\rho_{j,t-1}}{\psi_{j,t-1}^2} + \frac{\lambda_{j,t-1} \beta_{j,t-1} + \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \frac{n_j(\delta)}{\delta} \gamma_{j,t-1}(\delta) \phi_{j,t-1}(\delta)}{\sigma^2}$

on peut déduire, en utilisant la condition initiale $\psi_0^2 = \frac{\sigma^2}{n_0}$:

$$\frac{\rho_{j,t}}{\psi_{j,t}^2} = \frac{n_0 \rho_{j,0}}{\sigma^2} + \frac{\lambda_{j,\tau} \beta_{j,\tau} + \sum_{\delta} \frac{n_j(\delta)}{\delta} \sum_{\tau=0,t-1} \gamma_{j,\tau}(\delta) \phi_{j,\tau}(\delta)}{\sigma^2}$$

Finalement, il vient, en remplaçant $\psi_{j,t}^2$ par son expression :

$$\rho_{j,t} = \frac{n_0 \rho_{j,0} + \sum_{\tau=0,t-1} \lambda_{j,\tau} \beta_{j,\tau} + \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \frac{n_j(\delta)}{\delta} \sum_{\tau=0,t-1} \gamma_{j,\tau}(\delta) \phi_{j,\tau}(\delta)}{n_0 + \sum_{\tau=0,t-1} \lambda_{j,\tau} + \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \frac{n_j(\delta) \sum_{\tau=0,t-1} \gamma_{j,\tau}(\delta)}{\delta}} \quad (9)$$

³Ces parcelles étaient donc cultivées "en foule" à la date $t-1$.

Illustration Si l'on reprend l'exemple précédent des deux parcelles j et k à la date $t = 1$, on constate que la révision de k sera plus sensible que celle de j à une forte variance des rendements des parcelles innovantes, puisque 16 parcelles lui sont distantes de $\delta = 2$ contre 7 pour j .
Soit :

- Pour j :

$$\rho_{j,1} = \frac{n_0\rho_{j,0} + 5\phi_{j,0}(1) + \frac{3}{2}\phi_{j,0}(2) + \phi_{j,0}(3)}{n_0 + \frac{15}{2}}$$

- Pour k :

$$\rho_{k,1} = \frac{n_0\rho_{k,0} + 3\phi_{k,0}(1) + 4\phi_{k,0}(2)}{n_0 + 7}$$

Supposons pour simplifier que les deux agents j et k aient les mêmes croyances initiales $\rho_{j,0} = \rho_{k,0} = \rho_0$ alors : $\rho_{j,1} = \frac{n_0\rho_0 + 5\phi_{j,0}(1) + \frac{3}{2}\phi_{j,0}(2) + \phi_{j,0}(3)}{n_0 + \frac{15}{2}}$ et $\rho_{k,1} = \frac{n_0\rho_0 + 3\phi_{k,0}(1) + 4\phi_{k,0}(2)}{n_0 + 7}$

$$\text{Donc } \rho_{j,1} < \rho_{k,1} \Leftrightarrow \frac{n_0\rho_0 + 5\phi_{j,0}(1) + \frac{3}{2}\phi_{j,0}(2) + \phi_{j,0}(3)}{n_0\rho_0 + 3\phi_{k,0}(1) + 4\phi_{k,0}(2)} < \frac{2n_0 + 15}{2n_0 + 14}$$

Dans le cas particulier où les rendements observés sont identiques sur toutes les parcelles, soit $\phi_{l,0}(\delta) = \phi_0$ pour $l = j, k$ et $\delta = 1, 2, 3$, l'inégalité précédente devient :

$$\rho_{j,1} < \rho_{k,1} \Leftrightarrow \phi_0 < \rho_0$$

Arbitrage à la date t De façon similaire au modèle de base, la condition d'adoption de l'innovation à la date t s'écrit :

$$\rho_{j,t} - k\sigma^2 > \bar{R}_T - k\sigma_T^2 \quad (10)$$

L'inégalité critique se réécrit alors :

$$\frac{n_0\rho_{j,0} + \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \frac{n_j(\delta) \sum_{\tau=0}^{t-1} \gamma_{j,\tau}(\delta) \phi_{j,\tau}(\delta)}{\delta}}{n_0 + \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \frac{n_j(\delta) \sum_{\tau=0,t-1} \gamma_{j,\tau}(\delta)}{\delta}} > \bar{R}_T + k(\sigma^2 - \sigma_T^2)$$

ou, en posant $\Xi_{j,t}(\delta) = \frac{n_j(\delta)\gamma_{j,\tau}(\delta)}{\delta}$:

$$\frac{n_0\rho_{j,0} + \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \sum_{\tau=0}^{t-1} \Xi_{j,t}(\delta) \phi_{j,\tau}(\delta)}{n_0 + \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \sum_{\tau=0}^{t-1} \Xi_{j,t}(\delta)} > \bar{R}_T + k(\sigma^2 - \sigma_T^2) \quad (11)$$

Comme précédemment, utilisons cette inégalité afin de caractériser les innovateurs pionniers.

- adoption à la date $\hat{t} = 0$
 $n_0\rho_{j,0} > n_0 [\bar{R}_T + k(\sigma^2 - \sigma_T^2)]$
D'où : $k_{j,\hat{t}=0} = \frac{\rho_{j,0} - \bar{R}_T}{\sigma^2 - \sigma_T^2}$

- adoption à la date $\hat{t} = 1$

$$\frac{n_0\rho_{j,0} + \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \Xi_{j,0}(\delta)\phi_{j,0}(\delta)}{n_0 + \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \Xi_{j,0}(\delta)} = \bar{R}_T + k(\sigma^2 - \sigma_T^2)$$

$$\text{Soit : } k_{j,\hat{t}=1} = \frac{n_0(\rho_{j,0} - \bar{R}_T) + \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \Xi_{j,0}(\delta)(\phi_{j,0}(\delta) - \bar{R}_T)}{(\sigma^2 - \sigma_T^2)[n_0 + \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \Xi_{j,0}(\delta)]}$$

Remarque :

En utilisant le même raisonnement que précédemment, du fait que l'agent dispose de l'information sur les rendements de la totalité des parcelles qui l'entourent, la valeur moyenne de ces rendements, $\phi_{j,\tau}(\delta)$ suit la "vraie" loi $\mathcal{N}(\bar{R}_I, \sigma^2)$ des rendements des parcelles cultivées en ligne. On peut donc écrire l'inégalité critique comme :

$$\frac{n_0\rho_{j,0} + \bar{R}_I \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \sum_{\tau=0}^{t-1} \Xi_{j,t}(\delta)}{n_0 + \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \sum_{\tau=0}^{t-1} \Xi_{j,t}(\delta)} > \bar{R}_T + k(\sigma^2 - \sigma_T^2) \quad (12)$$

Dans le cas particulier où les agents ont tous la même croyance initiale ρ_0 et la même aversion au risque k , leur décision d'adoption de l'innovation ne dépend alors que de leur voisinage, soit, en posant $\Omega_{j,t} = \sum_{\delta=1,\bar{\delta}} \sum_{\tau=0}^{t-1} \Xi_{j,t}(\delta)$: $\frac{n_0\rho_0 + \bar{R}_I\Omega_{j,t}}{n_0 + \Omega_{j,t}} > \bar{R}_T + k(\sigma^2 - \sigma_T^2)$

L'inégalité critique se réécrit finalement :

$$\Omega_{j,t} > \left[\frac{\bar{R}_T - \rho_0 + k(\sigma^2 - \sigma_T^2)}{\bar{R}_I - \bar{R}_T - k(\sigma^2 - \sigma_T^2)} \right] n_0 \quad (13)$$

3 Simulations

Nous allons maintenant simuler l'évolution des croyances concernant les caractéristiques de l'innovation et sa diffusion à partir d'une situation initiale donnée. Les valeurs des paramètres sont calibrées de manière à refléter, même de manière très schématique, les données de terrain à Ampitatafika. Si ces simulations ne prétendent pas reproduire *parfaitement* les observations; elles répondent à deux objectifs : comparer les variantes du modèle et mesurer la sensibilité de la diffusion de l'innovation aux paramètres du modèle, selon les variantes.

Afin de permettre la comparaison, le nombre et la localisation des innovateurs de la première période (on supposera 9 innovateurs spontanés) sont identiques pour l'ensemble des simulations (se reporter à la figure 1). On fera également l'hypothèse d'une même croyance initiale ρ_0 pour l'ensemble des agents. Enfin, le coefficient k_j , $j = 1, \dots, n$ est supposé suivre une loi normale de moyenne $E[k]$ et d'écart-type $\sigma(k)$.

Pour finir, rajoutons que, pour simplifier, nous imposons au processus d'adoption d'être irréversible - une fois que l'agent bascule vers l'innovation, il s'y tient - et nous ne retenons que les plus fortes valeurs relatives au nombre de nouveaux adopteurs pour chaque période. Cette dernière contrainte biaise vers le haut les résultats, mais, comme elle s'applique au modèle de base et aux deux variantes, elle facilite la comparaison.

[Insérer ici *graphique 1*]

3.1 Information parfaite sur les rendements de toutes les parcelles de la communauté

3.1.1 Jeu de paramètres #1

Soit : $R_T = 100$, $\sigma_T = 5$, $R_I = 150$, $\sigma = 29$, $\rho_0 = 110$, $n_0 = 10$, $E[k] = 0,1$, $\sigma(k) = 0,05$, $N = 100$.

On suppose ici que le rendement de l'innovation s'accroît de moitié, avec une variance 6 fois supérieure à celle du rendement de la méthode traditionnelle. D'autre part, la croyance initiale sur les rendements, ρ_0 , est plutôt favorable à l'innovation. La diffusion est d'abord relativement lente pour s'accélérer ensuite avant de plafonner à moins de 90%.

[Insérer ici *graphique 2*]

3.1.2 Jeu de paramètres #2

Soit : $R_T = 100$, $\sigma_T = 5$, $R_I = 150$, $\sigma = 28$, $\rho_0 = 100$, $n_0 = 10$, $E[k] = 0,1$, $\sigma(k) = 0,05$, $N = 100$.

Pour ce second jeu de paramètres, nous abaissons d'une unité le coefficient de Markowitz et nous abaissons de 10 unités la croyance initiale ρ_0 , ce qui revient à supposer que les agents, initialement, pensent que l'innovation est risquée, sans que ce risque soit compensé par des rendements supérieurs. En d'autres termes, nous supposons que l'innovation n'est pas attractive. La simulation révèle la très forte sensibilité du modèle à la variance des rendements, σ ; la diffusion est extrêmement rapide : en cinq périodes, la quasi-totalité des agents ont adopté l'innovation (voir *graphique 3*).

[Insérer ici *graphique 3*]

3.2 Le choix de l'agent est influencé seulement par les parcelles attenantes

3.2.1 Jeu de paramètres #1

Soit : $R_T = 100$, $\sigma_T = 5$, $R_I = 150$, $\sigma = 22$, $\rho_0 = 110$, $n_0 = 10$, $E[k] = 0,1$, $\sigma(k) = 0,05$.

Les valeurs des paramètres sont identiques à celles du premier jeu de la simulation du modèle de base précédent, sauf σ , passant de 29 à 22. Cette diminution est nécessaire pour initier le processus de diffusion. Cela indique une plus grande sensibilité de cette variante au risque (σ) que le modèle de base. On peut constater sur le graphique de simulation que le processus est plus lent (20 périodes pour atteindre une proportion stable identique d'adopteurs contre 12 pour le modèle de base), mais aussi plus régulier.

[Insérer ici *graphique 4*]

3.2.2 Jeu de paramètres #2

Soit : $R_T = 100$, $\sigma_T = 5$, $R_I = 150$, $\sigma = 18$, $\rho_0 = 110$, $n_0 = 10$, $E[k] = 0,1$, $\sigma(k) = 0,05$.

Nous mesurons ici la sensibilité de cette variante du modèle à la variance des rendements, σ . Sa diminution accélère drastiquement la diffusion de l'innovation, comme dans le modèle de base.

[Insérer ici *graphique 5*]

3.3 L'influence des parcelles voisines décroît avec leur éloignement

3.3.1 Jeu de paramètres #1

Soit : $R_T = 100$, $\sigma_T = 5$, $R_I = 150$, $\sigma = 26$, $\rho_0 = 110$, $n_0 = 10$, $E[k] = 0,1$, $\sigma(k) = 0,05$, $N = 100$. Une nouvelle fois, les valeurs des paramètres sont similaires à celles choisies pour le modèle de référence, sauf celle de σ , légèrement inférieure (26 au lieu de 28), car pour des valeurs supérieures, aucun agent autre que les innovateurs initiaux n'adopte l'innovation et le processus de diffusion ne s'enclenche pas.

On retrouve (se reporter au *graphique 6*) un profil de diffusion comparable à celle du modèle de base, mais plus rapide.

[Insérer ici *graphique 6*]

3.3.2 Jeu de paramètres #2

Soit : $R_T = 100$, $\sigma_T = 5$, $R_I = 150$, $\sigma = 26$, $\rho_0 = 120$, $n_0 = 10$, $E[k] = 0,1$, $\sigma(k) = 0,05$, $N = 100$.

Ce second jeu de paramètres permet de mesurer l'influence de ρ_0 , c'est-à-dire la croyance initiale relative aux rendements de l'innovation lorsque l'influence des parcelles voisines décroît avec leur éloignement. Le profil de diffusion en est sensiblement modifié; l'innovation se propage plus rapidement.

[Insérer ici *graphique 7*]

4 Conclusion

Nous proposons d'analyser la diffusion d'une innovation culturelle basée sur l'apprentissage des caractéristiques de cette innovation en termes de rendement moyen et de son écart-type selon un processus de révision bayésienne des croyances. Les agriculteurs sont supposés n'avoir qu'une seule parcelle de taille identique. Au début du processus d'apprentissage, ils disposent d'une information commune sur l'écart-type du rendement de l'innovation, mais ils ignorent sa vraie moyenne. A chaque période, ils estiment celle-ci en se basant sur les observations faites sur les rendements des autres parcelles de

leur échantillon de référence, plus ou moins proches de la leur. Ils calculent la moyenne et l'écart-type de ces rendements et en déduisent, par comparaison avec la valeur de référence donnée initialement, une approximation de la vraie distribution du rendement de la nouvelle technique. Cette information leur permet d'envisager d'adopter l'innovation lorsqu'ils estiment que le risque induit par celle-ci est compatible avec leur appréhension idiosyncrasique du risque. En d'autres termes, ils se convertissent à la nouvelle technique lorsque l'information fournie par leur environnement social - leurs voisins de parcelle - les conduit à une révision de leurs croyances initiales suffisante pour courir le risque. Cette externalité informationnelle se traduit par une trajectoire d'adoption propre à la communauté considéré et aux caractéristiques de l'innovation relativement à celles de la méthode culturelle prévalant au début du processus.

Nous considérons ainsi trois types distincts d'environnement social. Le premier est constitué de l'ensemble des agriculteurs de la communauté, le deuxième regroupe uniquement les voisins de parcelle immédiats, c'est-à-dire ceux dont les parcelles sont attenantes à la leur. Le troisième, enfin, est différencié selon l'éloignement des parcelles relativement à celle du propriétaire considéré, de sorte que l'influence des performances observées sur les autres parcelles diminue avec leur distance à la parcelle de l'observateur.

Les simulations numériques de ce processus d'apprentissage des vraies caractéristiques de l'innovation reposent sur une calibration des paramètres s'appuyant sur les données empiriques fournies par nos propres observations de terrain menées à Ampitatafika (Enquête Référence 4D (2003)). Ces données révèlent que la culture du riz utilisant le repiquage en ligne a mis plus de trente ans avant de détrôner le repiquage en foule et de s'imposer comme le système culturel adopté par environ 90% des agriculteurs, malgré ses performances supérieures, tant en termes de rendement que de dispersion autour de la moyenne de ce rendement. Les simulations retracent assez fidèlement la courbe de diffusion mesurée empiriquement (cf. *graphique 8*) et mettent en évidence l'importance de la variance des rendements de l'innovation dans la vitesse de diffusion de celle-ci. Elles révèlent également des différences significatives dans les résultats produits par les trois variantes de notre modèle, qu'il est néanmoins difficile d'interpréter sans analyse complémentaire, impliquant notamment la mesure de la sensibilité aux paramètres de chacune des trois variantes. Ajoutons que la diffusion de l'innovation dépend cruciallement du nombre et de la localisation des premiers innovateurs. Là aussi, des analyses plus fines devraient permettre de mesurer cette dépendance aux conditions initiales.

Bien que réductrice, cette approche par la révision des croyances sur la loi suivie par les rendements de la technique innovante permet, selon nous,

d'enrichir l'analyse du problème complexe de la dynamique de l'adoption d'une innovation en milieu rural en contexte de pauvreté, en accordant un rôle central à l'observation *in situ* des performances de l'innovation.

5 Références

Banerjee, A., 1992, "A Simple Model of Herd Behavior", *Quarterly Journal of Economics*, 107, 797-817.

Bikhchandani, S.; Hirshleifer, D. ; Welch, I., 1992, "A Theory of Fads, Fashion, Custom, and Cultural Change as Informational Cascade", *Journal of Political Economy*, 100, 992-1026.

Enquête Référence 4D, 2003, www.ird.mg/4d

Feder, G., O'Mara, G., 1982, "On information and innovation diffusion: a bayesian approach", *American Journal of Agriculture Economics*, 145-147.

Gale, D.; Shachar Kariv, 2003, "Bayesian Learning in Social Networks", Working Paper, 22 p.

Raiffa et Schlaifer, 1961, *Applied Statistical Decision Theory*, Boston: Graduate School of Business Administration, Harvard University, 1961.

Smith, L.; Sørensen, P., 2000, "Pathological Outcomes of Observational Learning", *Econometrica*, 68, 371-398.

ANNEXE : Graphiques des simulations

T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	I	T
T	T	T	I	T	I	T	T	I	I
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
I	T	T	T	T	T	T	T	T	T
I	I	T	T	T	T	T	I	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T
T	T	T	T	T	T	T	T	T	T

Figure 1: Localisation initiale des innovateurs

Remarque Sur les graphiques suivants, figurent en abscisse le temps et en ordonnée le pourcentage cumulé de parcelles adoptant l'innovation.

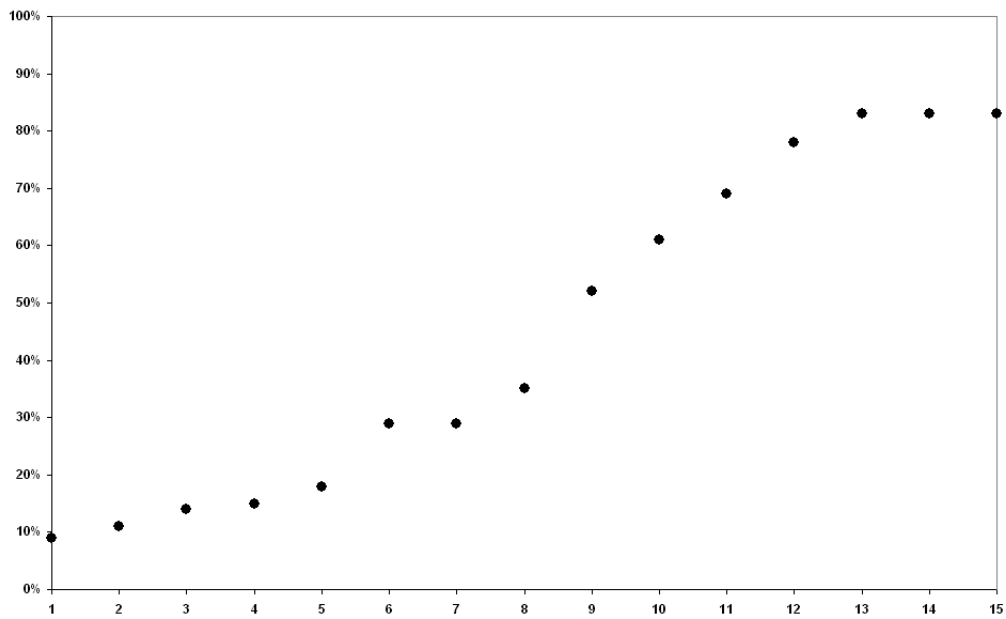


Figure 2: diffusion de l'innovation selon le modèle de base - paramètres 1

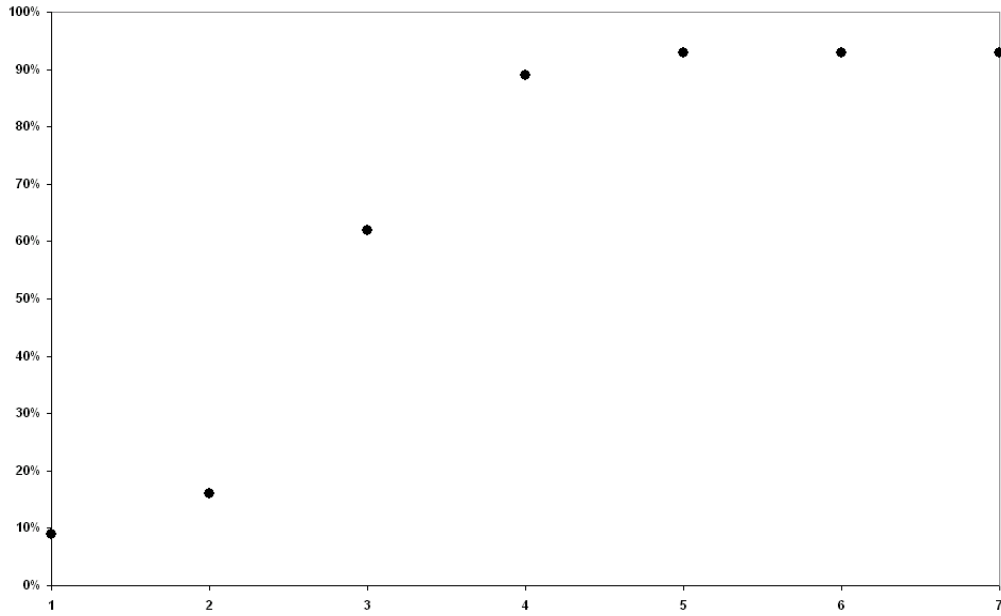


Figure 3: diffusion de l'innovation selon le modèle de base - paramètres 2

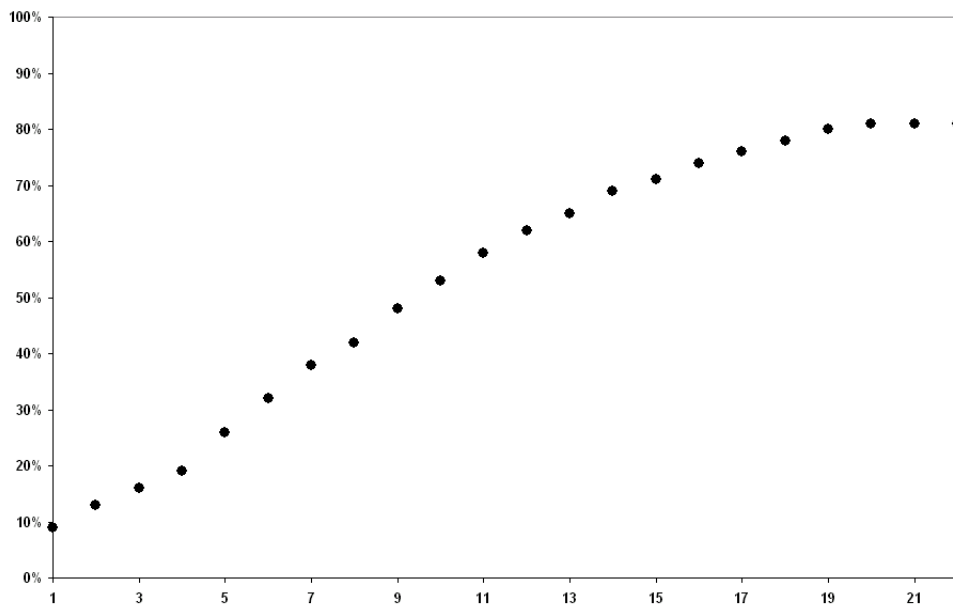


Figure 4: diffusion de l'innovation selon la variante 1 - paramètres 1

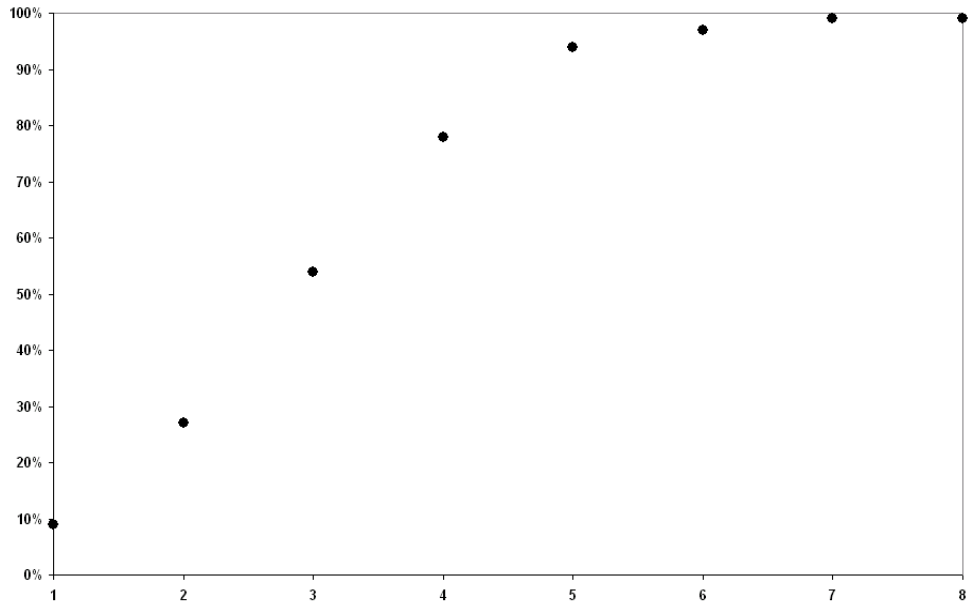


Figure 5: diffusion de l'innovation selon la variante 1 - paramètres 2 : σ plus faible

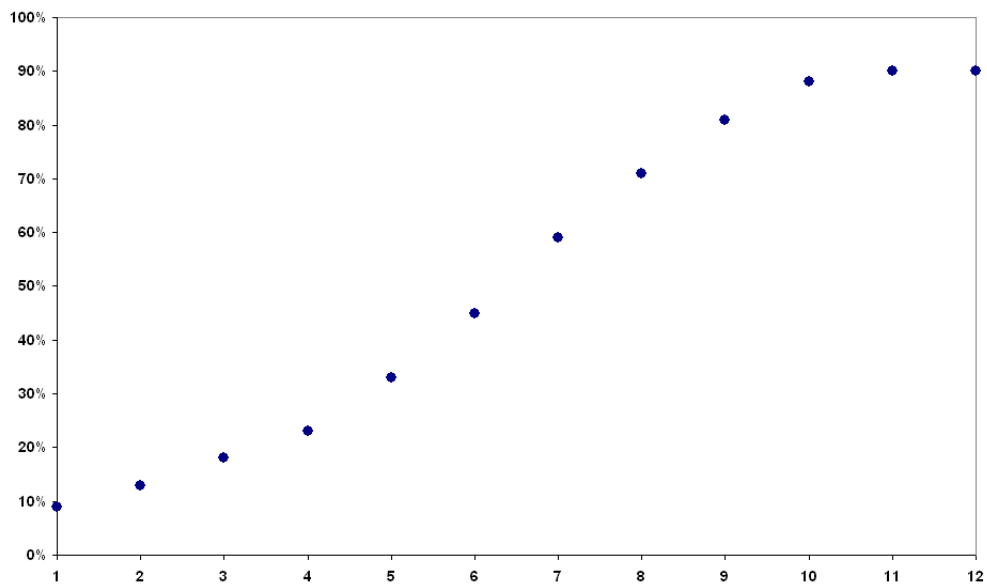


Figure 6: diffusion de l'innovation selon la variante 2 - paramètres 1

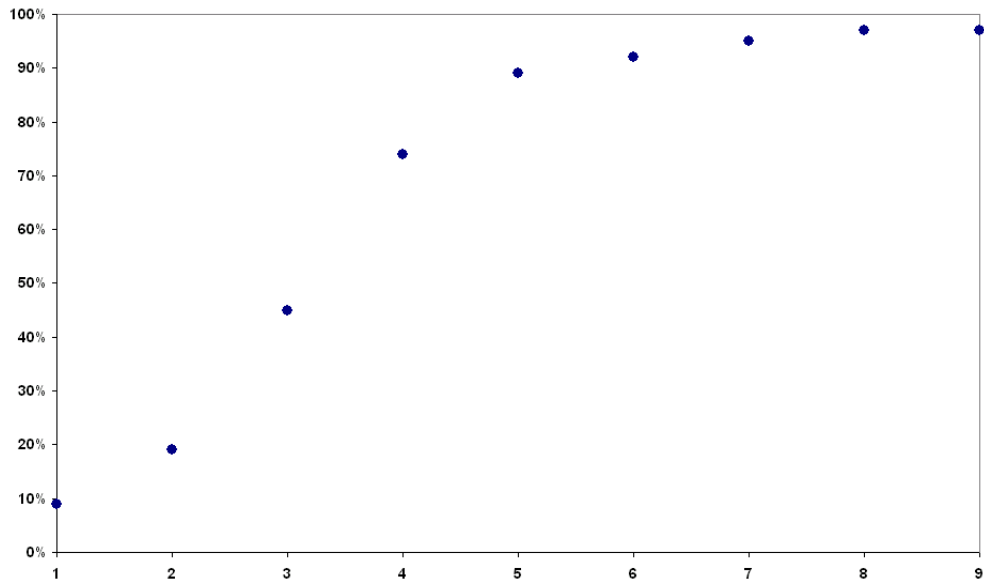


Figure 7: diffusion de l'innovation selon la variante 2 - paramètres 2 : croyance initiale ρ_0 augmentée

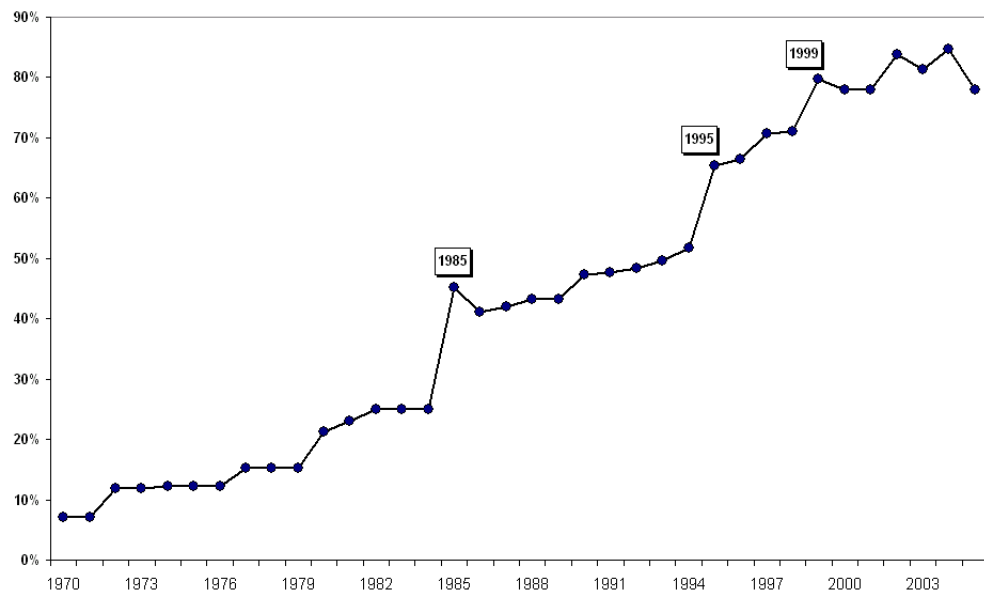


Figure 8: Adoption de la culture en ligne (% des parcelles adoptantes entre 1970 et 2005) - Mananetivohitra, Ampitatafika - Source : Entretiens 4D

La collection Travaux et Documents a pour objet de faire connaître et de diffuser les travaux et résultats des chercheurs, étudiants et stagiaires du collectif de recherche 4D. Le programme 4D étudie les interactions entre population, environnement et développement dans les Hautes Terres malgaches.

Pour plus de renseignements

Téléphone : (261 20) 22 272 80

Email : 4d@ird.mg

Site web : www.ird.mg/4d

Résumé

L'objectif de ce document de travail est de simuler le processus de diffusion d'une innovation observée sur le terrain, dans la commune rurale d'Ampitatafika. Explicitement, cette innovation est le repiquage du riz « en ligne » alors que prévalait initialement le repiquage « en foule ». L'hypothèse de travail est que les individus, tous propriétaires d'une parcelle agricole, apprennent progressivement les caractéristiques de l'innovation, c'est-à-dire la moyenne et la variance de son rendement unitaire. Ils révisent leurs croyances avec le temps, en observant les rendements des parcelles des innovateurs. Trois variantes du modèle sont proposées afin de tenir compte des effets de proximité. Des simulations permettent de mesurer la sensibilité du modèle aux paramètres et à trois modes d'influence distincts.