

Stratégies de construction de la fertilité des terres par les agriculteurs dans les systèmes maraîchers périurbains d'Antananarivo (Madagascar)

Moussa N'Dienor^{1,2}
Christine Aubry¹
Lilia Rabeharisoa³

¹ Unité mixte de recherche (UMR) Science de l'action et pour le développement, activités - produits - territoire (SADAPT)
16, rue Claude Bernard
75231 Paris cedex 05
France
<ndienor1@yahoo.fr>
<christine.aubry@agroparistech.fr>

² Laboratoire d'écologie microbienne des sols et agrosystèmes tropicaux (LEMSAT) : IRD, ISRA, UCAD)
Centre de Bel-Air
BP 1386
CP 18 524
Dakar
Sénégal

³ Laboratoire des Radio-Isotopes (LRI)
BP 3383
101 Antananarivo
Madagascar
<Lilia.rabeharisoa@ird.fr>

Résumé

L'approvisionnement des villes en légumes frais constitue un défi majeur dans les pays en développement : l'agriculture périurbaine y joue un rôle important. Dans le cas de la périphérie d'Antananarivo (Madagascar), une analyse de la dynamique territoriale du maraîchage périurbain a été réalisée. Les enquêtes en exploitations agricoles montrent une saturation des bourrelets alluviaux en bordure des bas-fonds rizicoles appelés *baibobo* et traditionnellement consacrés au maraîchage. Depuis une dizaine d'années, le développement du maraîchage passe par le changement d'usage des terres peu fertiles de collines (*tanety*), anciennement terres de parcours pour les bovins de trait et secondairement lieux de production de cultures vivrières (manioc). Le changement d'usage des *tanety* en maraîchage s'accompagne de l'introduction, dans le système de production, d'un cheptel réduit de vaches à double fonction : production laitière (vendue en ville) et production de fumier pour le maraîchage. La construction de la fertilité des *tanety* au cours du temps passe par des pratiques communes aux agriculteurs : combinaison de cultures à cycle plus ou moins long et de différentes matières fertilisantes, parmi lesquelles le fumier occupe une place prépondérante. Pour rendre compte de l'évolution de cette composante de la fertilité, un indicateur a été construit sur un ensemble de parcelles d'âges variés de mise en culture, qui s'avère fortement lié au rendement de la culture phare locale, la tomate. La fertilité chimique des *tanety* est du même ordre, à l'issue du processus de construction de la fertilité, que celle des *baibobo*. Cependant, cette dynamique territoriale est freinée aujourd'hui par les contraintes liées au développement de l'élevage bovin : concurrence entre affouragement et cultures maraîchères pour l'espace, limitation du fumier dont la gestion est très coûteuse en temps. Il s'agit donc de trouver des solutions alternatives. Le recours au criblé de décharge issu des déchets urbains ménagers d'Antananarivo comme fertilisant a été testé avec succès et pourrait constituer à l'avenir une source fertilisante se substituant au moins partiellement au fumier bovin.

Mots clés : agriculture périurbaine ; fertilité du sol ; fumier ; légume ; Madagascar.

Thèmes : productions végétales ; sols ; systèmes agraires ; traitement des sous-produits et déchets.

Abstract

Farmers' dynamics for building soil fertility in peri-urban market-gardening farming systems in the Antananarivo district (Madagascar)

The supply of fresh vegetables to growing cities is a major challenge in developing countries : agriculture near the cities plays an important role. The territorial dynamics of suburban market-gardening has been analysed in the case of the district of Antananarivo (Madagascar). On-farm surveys show the saturation of the alluvial ridges along lowland rice fields called *baibobo* and traditionally devoted to market-gardening. Over the past decade, market-gardening areas have increased through colonization of the poorly fertile

Pour citer cet article : N'Dienor M, Aubry C, Rabeharisoa L, 2011. Stratégies de construction de la fertilité des terres par les agriculteurs dans les systèmes maraîchers périurbains d'Antananarivo (Madagascar). *Cah Agric* 20 : 280-93. doi : 10.1684/agr.2011.0497

Tirés à part : C. Aubry

hills (*tanety*) formerly devoted to cattle pasture and secondarily to some food crops (cassava). The conquest of *tanety* for vegetable crops is correlative to the introduction in the farming system of a small herd of cows with dual purpose : milk production (sold in the town) and production of manure for market-gardening. The construction of *tanety* fertility over time by farmers shows common phenomena: a mix of crops with different cultural cycle lengths and of various fertilizers applied on them, always including manure. To account for the evolution of this fertility, an indicator of chemical fertility was built on a set of plots of different ages of cultivation and strongly linked to the performance of the leading local crop, tomatoes. The chemical fertility of *tanety* at the end of the fertility construction process is found to be similar to that of *baïboho*. However, this dynamics is now hampered by the constraints on increasing the number of cattle: competition for land use between cattle feeding and vegetable crops on *tanety* is limiting the quantity of manure because its management is very time consuming. Therefore, the use as fertilizer of an urban compost made by riddling urban wastes in the Antananarivo dump has been successfully tested as an alternative and could be a future fertilizer source at least partially replacing cattle manure.

Key words: farmyard manure; Madagascar; periurban agriculture; soil fertility; vegetables.

Subjects: farming systems; processing of by-products and waste; soils; vegetal productions.

L'accroissement des populations urbaines à travers le monde touche tout particulièrement les pays en développement (Padilla, 2004 ; Mougeot, 2005) : cette croissance urbaine entraîne une demande accrue de produits alimentaires (Griffon, 2003). L'agriculture périurbaine joue un rôle majeur pour l'approvisionnement des villes en produits frais, dont les légumes (Moustier et Danso, 2006), mais elle est aussi fortement sujette à la compétition pour la terre liée à l'extension urbaine (Mougeot, 2005). En zones périurbaines, cette double pression est susceptible d'entraîner une extension de l'agriculture sur des terres initialement non cultivées car peu fertiles, comme cela a été constaté dans d'autres contextes (Piéri, 1989).

Antananarivo est un bon exemple du problème évoqué (Mawois, 2009 ; N'Diènor et Aubry, 2004). Dans cette étude, nous cherchons à comprendre les effets de cet accroissement de la demande sur les systèmes de culture dans les vallées périurbaines pourvoyeuses essentielles de produits maraîchers pour la capitale malgache (Dabat et al., 2006 ; N'Diènor et al., 2006).

L'objectif de cet article est d'analyser par quelles pratiques et quelles modifications des systèmes, les maraîchers

périurbains d'Antananarivo s'adaptent à la demande croissante des urbains.

Matériel et méthode

Pour analyser et comprendre les modifications des systèmes de culture maraîchers périurbains d'Antananarivo, un village a été choisi parmi les villages étudiés dans le cadre du Projet de recherche franco-malgache ADURAA (Analyse de la durabilité de l'agriculture dans l'agglomération d'Antananarivo) pour réaliser des enquêtes auprès des agriculteurs. Ces enquêtes ont eu pour objectif de comprendre comment se sont faites, par relevé des trajectoires, les évolutions des systèmes de production et des systèmes de culture, et notamment la construction de la fertilité des terres de *tanety*, sols latéritiques pauvres progressivement conquis pour le maraîchage dans les dernières années. Une caractérisation des types de sol et de leur fertilité chimique a été ainsi réalisée sur un échantillon raisonné de parcelles maraîchères d'histoires culturelles différentes et situées dans plusieurs zones écologiques. La relative homogénéité de la fertilisation apportée aux cultures par les maraîchers, révélée par les

enquêtes, nous a permis de mettre en place chez les paysans un « traitement homogénéisé » afin de comparer les types de sols du point de vue de leur productivité. Nous donnerons tout d'abord des indications quant au contexte climatique et de culture dans ces situations avant de préciser nos méthodes d'enquête et d'analyses

Climat et cycles de cultures maraîchères

L'agglomération d'Antananarivo connaît un climat tropical d'altitude à une saison des pluies, chaude, qui se situe de novembre à avril et une saison sèche, froide, de mai à août. Une saison de transition (intersaison) en septembre et octobre sépare la saison sèche froide et la saison des pluies. La moyenne annuelle des précipitations et des températures est respectivement de 800 mm et de 20 °C (*figure 1*).

La culture du riz, de novembre à juin, est centrée sur la saison des pluies. Deux cycles de cultures maraîchères sont possibles : le premier d'octobre à mars, le deuxième d'avril à septembre. Le riz, autoconsommé, constitue la base alimentaire des Malgaches alors que les cultures maraîchères représentent la principale source de revenu monétaire des agriculteurs

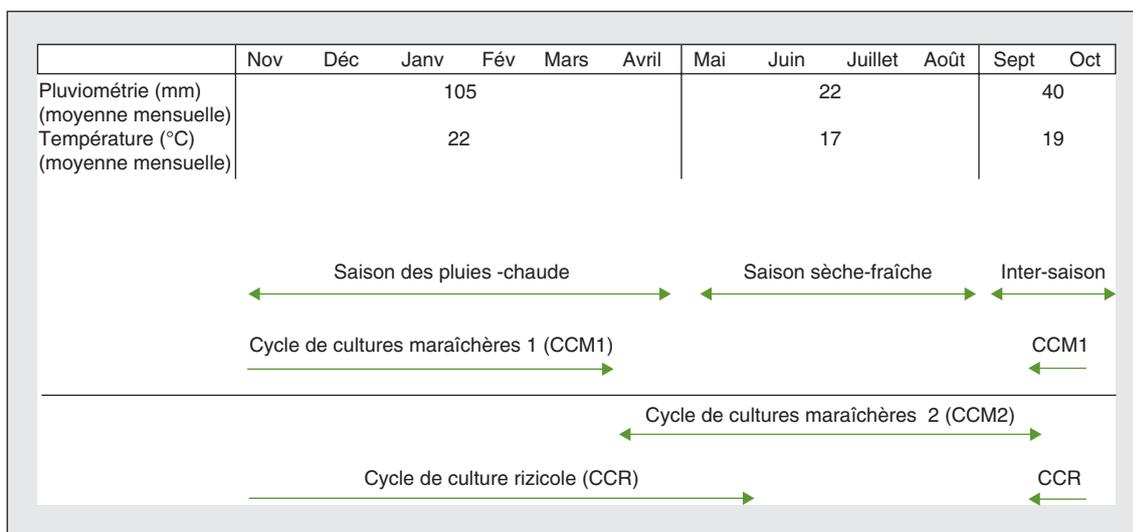


Figure 1. Les saisons maraîchère et rizicole à Ambohidrazana.

Figure 1. The seasonal vegetable and rice of Ambohidrazana.

périurbains. La tomate (*Lycopersicon esculentum*) est le principal légume consommé par les urbains (Dabat et al., 2006) et constitue la culture la plus rémunératrice en moyenne pour ces agriculteurs (N'Diéonor et al., 2006).

Les deux cycles de cultures maraîchères se différencient par : i) le climat ; et ii) le prix des légumes sur le marché. Le premier cycle de cultures maraîchères (CCM1) se situe en majorité en saison pluvieuse chaude et est dominé par la culture de la tomate. Le poireau (*Allium porrum*), le haricot vert (*Phaseolus vulgaris*) et les légumes-feuilles comme les brèdes morelles (*Solanum nodiflorum* Jacq. S.) sont peu présents en CCM1 en raison des risques de maladies sur ces cultures en période pluvieuse. Au début du CCM1 (octobre, voire novembre), l'irrigation (entièrement manuelle) est nécessaire, car la saison des pluies n'est pas encore installée.

Le second cycle de culture maraîchère (CCM2) se déroule en saison sèche froide. La culture de la tomate y est très peu présente en raison de la fraîcheur du climat (selon Rey et Costes [1965], la tomate rencontre des difficultés de pollinisation quand la température nocturne est inférieure à 13 °C) et de son prix plus bas sur le marché. En effet, à cette période elle est concurrencée par les productions d'autres localités du pays (*Analavory* et *Mabitsy* notamment). Ce second cycle de cultures maraîchères est

occupé principalement par des cultures comme le chou-fleur (*Brassica oleracea* L. var. *botrytis* L), le chou pommé (*Brassica oleracea* var. *capitata*) le poireau, l'aubergine (*Solanum melangena* L.), le concombre (*Cucurbita pepo*), le haricot vert, les légumes-feuilles : ils sont alors irrigués tout au long de leur cycle.

Site d'étude

Le site d'étude est un village (Ambohidrazana) des zones collinaires à 25 km à l'est d'Antananarivo (18° 55' S 47° 31' E., altitude 1 100 à 1 300 m). Il a été retenu à partir d'une typologie réalisée antérieurement (N'Diéonor et Aubry, 2004), compte tenu de la diversité de ses systèmes de production, de la variété de ses sols et de ses cultures maraîchères et du fait qu'il est considéré localement comme représentatif du développement récent du maraîchage autour de la capitale malgache (N'Diéonor et al., 2006). Sa population est composée de 130 ménages agricoles dont 75 % ont moins de 0,5 hectare de surface agricole utile (SAU). Son territoire comprend principalement quatre zones écologiques :

1. Les bas-fonds, lits majeurs d'un ruisseau, appelés *horaka* ;
2. D'étroits bourrelets de sols alluviaux en bordure des *horaka*, appelés *baïbobo* (Ba) ;

3. Des terres de colline aux sols ferrallitiques appelées *tanety* (Ta) ;

4. Une catégorie intermédiaire à l'interface entre *baïbobo* et *tanety* appelée *tanety-baïbobo* (TaBa), constituée d'une terrasse ancienne sur laquelle s'est formé un sol ferrallitique. Les termes *baïbobo* et *tanety* désignent des zones de bourrelets et des collines : dans la suite du texte, par simplification, ces termes désigneront également les sols de ces formations. En termes d'occupation agricole du sol, les bas-fonds sont destinés à la riziculture, selon le calendrier culturel suivant : labour des parcelles dès fin septembre, repiquage du riz en début de saison des pluies entre novembre-décembre et récolte de mai à juin (*vary vakambiaty* selon l'appellation locale). Traditionnellement, les Ta sont des terres de parcours pour les bovins de trait, ou sont plantées en manioc et patate douce, cultures essentiellement d'autoconsommation. Les cultures maraîchères se pratiquent traditionnellement sur Ba, plus récemment sur Ta et sur TaBa. Ces cultures maraîchères sont classées en trois catégories par les agriculteurs selon la longueur de leur cycle : la tomate, le poireau, le chou pommé, le chou-fleur et la carotte sont des cultures à cycle long (CL) d'au moins 3 à 4 mois ; le haricot vert et les légumes-feuilles sont à cycle court (CC), de 1,5 à 2 mois ; la courgette et le concombre sont des cultures à cycle intermédiaire (CI) : 2,5

à 3 mois. Ainsi, dans ce site, le nombre de cycles de cultures en maraîchage portés par une parcelle par an varie de 3 à 4.

Collecte des données sur les exploitations agricoles

Des enquêtes d'exploitations ont été réalisées pendant deux années consécutives auprès de 17 agriculteurs, choisis pour représenter la diversité des systèmes de production locaux (N'Diénor, 2006). Pour comprendre la dynamique des systèmes maraîchers, les thèmes suivants ont été abordés :

- la localisation par les agriculteurs des cultures maraîchères dans le territoire de leurs exploitations et celui du village ;
- l'évolution des systèmes de culture et des systèmes de production au cours des dix dernières années et notamment la façon dont ont été colonisées les *tanety* ;
- les pratiques actuelles de fertilisation mises en œuvre sur les cultures et les performances associées ;
- les limites ressenties aujourd'hui pour la poursuite de l'augmentation de la production maraîchère dans la zone.

Pour des raisons liées à la quantité de travail et à l'engagement volontaire des agriculteurs à participer aux enquêtes et à accepter nos mesures sur leurs parcelles, 10 exploitations agricoles parmi les 17 ont été retenues pour la suite de l'étude. Dans chacune de ces 10 exploitations, une parcelle par exploitation a été choisie, soit au total 10 parcelles pour chaque cycle de tomate (il y a deux cycles en saison pluvieuse chaude et un cycle en saison sèche froide, comme précisé plus haut) pour analyser la productivité de ces sols en termes de rendement maraîcher, en lien avec leur histoire culturale. Ces parcelles ont été choisies sur la base de la diversité des sols maraîchers dans la zone et de leur durée de mise en culture. La culture retenue pour la caractérisation des rendements est la tomate, culture semée en poquets dans un trou de semis préalablement fumé, puis démarriée. Sur chaque parcelle, avant la plantation de la tomate (après labour et avant confection du trou de semis), un échantillon composite de sol, issu

de 6 échantillons élémentaires sur la couche 0-30 cm de profondeur, a été prélevé sur la parcelle et ses composantes chimiques analysées (teneur en matière organique par détermination du carbone total, azote total, pH eau, phosphore assimilable et calcium échangeable). Le carbone total est dosé par la méthode Walkley-Black, le phosphore assimilable par la méthode Olsen-Dabin et le calcium échangeable par une solution de cobaltohexamine et lecture au spectromètre d'absorption atomique. En se fondant sur la connaissance de ces sols (Rabeharisoa, 2004 ; Riquier, 1993 ; Chabalié et Legier, 1992), un indice de fertilité chimique (IFC) des parcelles a été construit (*encadré 1*).

À chaque récolte de la tomate, les principales composantes du rendement ont été mesurées sur 6 poquets par parcelle (nombre de fruits commercialisables et leur poids correspondant par poquet, rendement en fruits). L'analyse détaillée de l'élaboration du rendement dans les parcelles est donnée dans N'Diénor (2006) et ne sera pas reprise ici. L'analyse statistique des données a été effectuée par le logiciel *STATGRAPHICS* (Centurion Versions XV.II). La comparaison des moyennes entre parcelles a été faite par analyse de variance (Anova) complétée par le test de Newmann-Keuls au seuil de probabilité de 5 %.

Le fumier, principale source de matière organique utilisée par les producteurs (voir ci-après), est constitué à partir : i) d'herbacées collectées sur les collines (dont *Aristida rufescens*, appelée localement *bozaka*, représente l'espèce dominante), utilisées comme litière ; et ii) des matières fécales et urines de la ou des vache(s) élevée(s) en étable. Cet ensemble est piétiné par les animaux pendant au moins une semaine dans l'étable. Il est sorti et stocké de 1 à 4 semaines à l'extérieur et retourné de 1 à 2 fois : il contient du fumier proprement dit (litière et fèces) et à sa base, de la « poudrette » (partie fine du fumier, sans terre, obtenue suite à l'écrasement de la litière par la vache en stabulation sur du béton et aux retournements du tas de fumier hors étable) : la poudrette est de granulométrie fine, produite en faible quantité par rapport au fumier et sa composition chimique propre n'a pas été déterminée.

Le fumier produit est pailleux ; sa composition est très hétérogène selon les agriculteurs mais aussi au cours d'une même saison chez un agriculteur. Des analyses faites sur trois tas de fumier ont montré une teneur en matière organique variant de 55 à 63 %, des teneurs en azote et en phosphore (P_2O_5) variant respectivement de 1,36 à 1,68 % et de 0,62 à 0,80 % de la matière sèche.

Comparaison des productions de parcelles conduites avec les mêmes techniques culturales

Afin de comparer les indices IFC par parcelle avec les rendements de la tomate obtenus sur ces mêmes parcelles avec les mêmes techniques culturales, nous avons construit un traitement homogène calquant le mode de conduite le plus fréquemment rencontré chez les paysans, et mesuré les rendements à l'issue d'un cycle cultural. Les parcelles ont une dimension de 120 m² environ. Un trou de semis de 30 cm de diamètre et 25 cm de profondeur est creusé pour recevoir 2 « pleines mains », soit environ 1 kg de fumier (10 tonnes de fumier brut par hectare, soit 9 tonnes de matière sèche par hectare (MS/ha), c'est-à-dire l'équivalent d'environ 27 kg N/ha et 70 kg P_2O_5 /ha), mélangé et couvert avec le sol (*figure 2*) et les graines sont épandues à la volée. La distance entre les trous est de 70 cm et leur densité est de 1 trou par m². Ce poquet constitue l'unité de gestion pour l'ensemble des opérations culturales (après levée des plantules, démarriage au stade 7-8 feuilles avec 4 plantes laissées par poquet, binage, apport de fumier en surface, d'engrais et d'eau). En cours de cycle, 3 apports de NPK (11-22-16) sont généralement réalisés aux stades 7-8 feuilles (démariage), floraison-nouaison et première récolte, à raison d'une pincée (environ 20 g) aux deux premiers stades et de deux pincées (environ 40 g) à la première récolte, soit au total environ 816 kg NPK/ha (90 kg N/ha). Notons que certains agriculteurs effectuent un quatrième apport à la troisième récolte (une pincée) mais cela est de plus en plus rare compte tenu du coût croissant des engrais et aucun apport

Encadré 1

Construction de l'indice de fertilité chimique (IFC) des parcelles

Pour objectiver la relation entre le rendement de la tomate des 10 parcelles et l'âge de leur mise en culture, un indicateur intégratif – indice de fertilité chimique (IFC) – a été construit sur la base des résultats d'analyse des éléments essentiels de la fertilité chimique des sols, à partir de connaissances acquises sur les sols des Hautes Terres malgaches : leur acidité, leur teneur en phosphore et en matière organique (Rabeharisoa, 2004). D'après les travaux de Riquier (1993) sur les sols ferrallitiques malgaches, un pH inférieur à 4,5 est considéré comme extrêmement acide et un pH de 5,6 à 6 comme moyennement acide. Or, dans nos parcelles, le pH eau varie de 4,4 à 5,9. Par ailleurs, dans les sols ferrallitiques de l'île voisine, La Réunion, une teneur de 80 à 200 ppm de phosphore (Olsen-Dabin) est considérée comme moyenne (Chabaliier et Legier, 1992). Or, dans nos sols, la teneur en phosphore (Olsen-Dabin) varie de 49 à 463 ppm. On a donc, *a priori*, une forte différenciation des parcelles sur ce critère. Cette connaissance des sols étant acquise, la construction de l'IFC nous a amené à privilégier, pour toutes les parcelles, la matière organique (MO), le phosphore assimilable (P ass), le pH eau et la teneur en calcium (Ca), soit quatre indicateurs.

L'IFC a été calculé de la manière suivante : i) classification de ces indicateurs dans une grille de référentiel ; ii) élaboration d'une grille de notation ; iii) sommation des notes ; et enfin iv) moyenne des notes de chaque parcelle, correspondant à la valeur de l'IFC = $f(MO, P\ ass, pH\ eau, Ca\ échangeable)$.

Un exemple de la procédure de calcul de l'IFC est explicité pour deux parcelles (Ta₆ et Ta₉) en six étapes :

1- Résultats des analyses chimiques de parcelles à l'état zéro (avant plantation de la tomate)

Parcelles	pHeau	MO (%)	Pass (ppm)	Ca (méq/100 g) échangeable
Ta ₆	5,6	1,29	49	1,35
Ta ₉	5,8	2,8	151	3,06

2- Normes d'interprétation (Riquier, 1993 ; Chabaliier et Legier, 1992)

	Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très fort
pH	4,5-5	5-5,5	5,5-6		
MO (%)	< 1,5	1,5-2	2-2,7	2,7-3	> 3
Pass (ppm)	< 50	50-80	80-200	200-300	> 300
Ca (méq/100 g)	0,30-0,60	0,65-1	1-2	2-3	> 3

3- Classement des parcelles selon les normes d'interprétation

	Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très fort
pH			Ta ₆ , Ta ₉		
MO (%)	Ta ₆			Ta ₉	
Pass (ppm)	Ta ₆		Ta ₉		
Ca (méq/100 g)			Ta ₆		Ta ₉

4- Grille de notation numérique à partir des normes d'interprétation

	Très faible	Faible	Moyen	Fort	Très fort
Gamme	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25

Encadré 1. (Suite)

5- Sommation des notes selon la position des parcelles dans la grille de notation (prendre la borne supérieure)

$$T_{a_6} : 5 + 15 + 5 + 15 = 40$$

$$T_{a_9} : 15 + 20 + 15 + 20 = 70$$

6 - Moyenne de la note obtenue = IFC

$$\text{Moyenne } T_{a_6} : 40 / 4 (\text{indicateurs}) = 10 = \text{IFC de } T_{a_6}$$

$$\text{Moyenne } T_{a_9} : 70 / 4 = 17,5 = \text{IFC de } T_{a_9}$$

supplémentaire n'a été fait sur les 10 parcelles suivies.

Résultats

Une extension du maraîchage par la colonisation des *tanety* et le développement d'un élevage bovin laitier

Dans ce village comme chez ses voisins, les enquêtes montrent que l'extension du maraîchage s'est faite sur les *tanety* au cours des quinze dernières années, après occupation totale des *baïbobo* (figure 3). La mise en culture des *tanety* a commencé dans les années 1990, menée principalement par les jeunes agriculteurs qui s'installent et veulent faire plus de maraîchage (tableau 1). Sur le plan foncier, ces *tanety* sont considérées comme « *tsy manantompo* » (sans maître) et d'accès relativement libre. Cette évolution territoriale du maraîchage s'est généralisée en 1994-1995 chez les jeunes du village (figure 4).

En revanche, les agriculteurs plus âgés, qui possèdent le plus de terres en *baïbobo*, n'ont commencé à mettre les *tanety* en valeur qu'à partir des années 2000.

Le développement du maraîchage dans les collines va de pair avec celui de l'élevage bovin laitier. Si les bovins de trait ont toujours été présents dans ce village pour les travaux du sol (riziculture) et le charroi, l'introduction de vaches laitières est récente (milieu des années 1990). La vache (rarement plusieurs, vu la taille des exploitations) remplit une double fonction :

- de production de lait vendu essentiellement en ville *via* un réseau de collecteurs spécialisés ;
- de pourvoyeuse de fumier indispensable pour les cultures maraîchères.

Le nombre de vaches laitières ou de génisses par exploitation varie aujourd'hui de 0 à 5 dans notre site d'étude. L'acquisition des vaches par les producteurs s'est faite soit par achat (après quelques années de maraîchage pour accumuler un peu de capital) soit par contrat passé sur des génisses (tableau 1). Le contrat s'établit entre un agriculteur A, déten-

teur de plus de deux vaches et un agriculteur B sans vache qui désire faire du maraîchage. A met en pension une de ses vaches chez B. Tout le fumier appartient à B qui, en contrepartie, s'occupe entièrement de l'entretien de l'animal (alimentation, abreuvement, soins éventuels). Après mise bas, les petits sont partagés entre A et B : celui qui est issu de la première mise bas appartient à A, celui de la seconde mise bas à B, et ainsi de suite. Les deux contractants sont liés le plus souvent par un lien de parenté ou d'amitié. C'est le cas (tableau 2) entre l'agriculteur Rj (père) et l'agriculteur Syl (fils). L'acquisition de bovins par contrat est fréquente chez les jeunes. Certains agriculteurs sans bovins (cas de Fl dans notre échantillon) pratiquent l'échange paille de riz contre fumier de bovin d'un voisin.

Du fait de leur fonction productrice de fumier, les vaches ou les génisses sont entièrement élevées en étable, nourritures et litière leur étant apportées. L'alimentation est composée de chaumes et de son de riz, associés souvent à des herbes fraîches collectées sur les diguettes des rizières et à des résidus de cultures maraîchères. Cependant, depuis peu (2002), sont apparues des cultures fourragères (ray-grass et avoine) dans le village. Ces fourrages sont principalement localisés sur *baïbobo* et sur *tanety*, c'est-à-dire dans le territoire maraîcher, et sont plantés en période de cycle de cultures maraîchères, les parcelles de riz étant très peu utilisées en contre-saison pour ne pas risquer d'empiéter sur la saison rizicole.

Diversité des sols maraîchers aujourd'hui

Les résultats des analyses chimiques des 10 parcelles suivies (tableau 3) montrent de très fortes différences

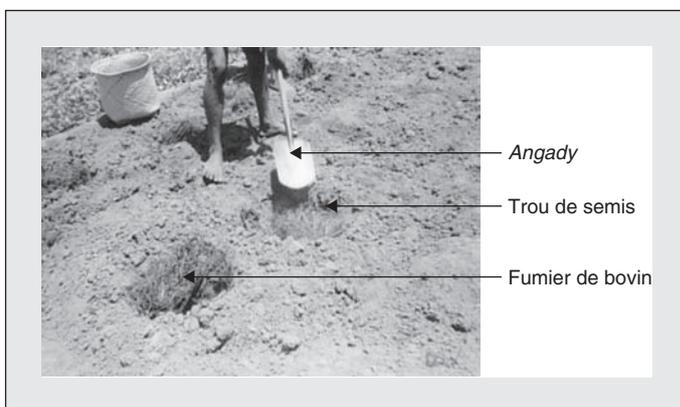


Figure 2. Apport de fumier bovin au trou de semis à l'aide de l'*angady*.

Figure 2. Supply of cattle manure in the planting hole with the *angady*.

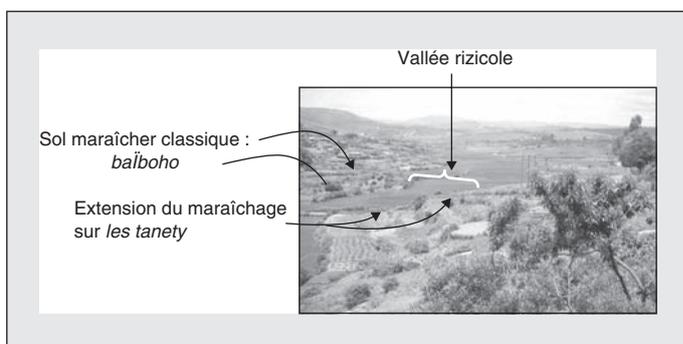


Figure 3. Dynamique territoriale du maraîchage.

Figure 3. Territorial dynamics of market-gardening.

entre ces parcelles maraîchères. Les *tanety*, exceptés Ta_9 et les *tanety-baïboho*, ont un pH acide, des teneurs relativement faibles en matière organique, en Ca^{2+} et les teneurs en phosphore assimilable sont, pour la

grande majorité, faibles. Les *baïboho*, voire certaines *tanety* (Ta_9), ont des teneurs plus élevées en matière organique, en calcium échangeable, voire en phosphore assimilable. Les *baïboho* sont cultivés en maraîchage

depuis au moins 25 ans, alors que les *tanety* ont des durées de culture très variables – entre 3 et 13 ans dans notre échantillon. Les agriculteurs effectuent un classement entre leurs parcelles maraîchères en fonction de la durée de culture : ainsi, les « jeunes » parcelles ont entre 1 et 5 ans, les « moyennes » entre 5 et 10 ans et les « âgées » plus de 10 ans (10-15ans). Les parcelles *baïboho* sont ainsi considérées comme étant toutes « âgées ».

Conséquences de la diversité actuelle des sols sur la production de tomate

Quelles sont les conséquences de cette diversité de sols sur la production de tomate ?

Tableau 1. Âge des agriculteurs, dates de mise en culture de *tanety* et modes d'acquisition des bovins.

Table 1. Age of farmers, dates of first cultivation of *tanety* and means of acquiring cattle.

Nom codé de l'agriculteur	Âge de l'agriculteur (ans)	Surface totale en maraîchage (ha)	Surface en <i>tanety</i> (ha) en 2005	Dates de 1 ^{re} mise en culture de <i>tanety</i>	Mode d'acquisition des vaches	
					Achat	Contrat
Rj	69	0,19	0,07	2004	x	
Ja	60	0,07	0,02	2003	x	
Rd	57	0,15	0,06	2004	x	
Fl	54	0,04	0,02	2000		
Rs	53	0,08	0,00	Pas de <i>tanety</i>	x	
Ig	52	0,22	0,09	2000	x	
Fx	50	0,17	0,00	Pas de <i>tanety</i>	x	
Ev	50	0,10	0,02	2004	x	
Jj	45	0,19	0,13	2000	x	
Syl	38	0,27	0,16	1994		x
Ch	37	0,07	0,07	1990	x	
Fd	35	0,18	0,18	1994	x	x
Pb	35	0,03	0,01	1995		x
Dd	33	0,06	0,05	1996		x
Fy	32	0,11	0,03	1994	x	x
Jm	32	0,15	0,11	1998	x	
Jl	31	0,09	0,00	Pas de <i>tanety</i>	x	

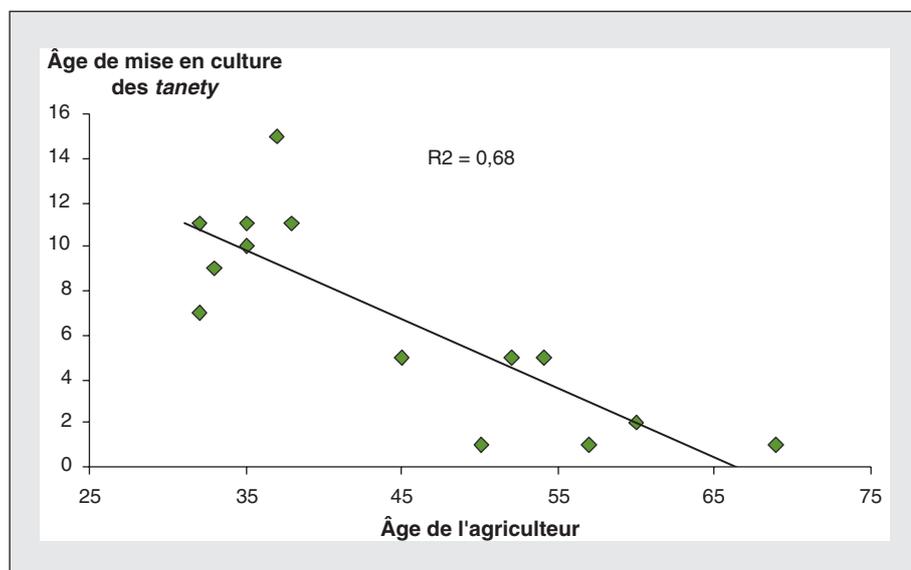


Figure 4. Relation entre âge de l'agriculteur et âge de mise en culture des *tanety*.

Figure 4. Relationship between farmer's age and age of cultivation of *tanety*.

Dans les 10 parcelles en tomate conduites avec les mêmes techniques culturales, les rendements obtenus lors d'une saison culturale par ce traitement homogénéisé, sont présentés à la figure 5.

On remarque de très fortes différences de rendement entre les parcelles selon la durée de mise en culture et le milieu, ici caractérisé par le nom vernaculaire du sol. Le rendement est bas dans les *tanety* « jeunes », mais celui de la *tanety* « âgée » Ta₉, atteint un niveau élevé, non différent des rendements des *baïboho*. La corrélation entre le critère IFC et le rendement de la tomate est significative ($r^2 = 0,73$) (figure 6).

Les *tanety* « âgées » (Ta₉) ont des IFC proches des *baïboho*, alors que les *tanety* « jeunes » ont des IFC bas. L'IFC tel que nous l'avons construit semble ainsi un indicateur pertinent de la fertilité et des potentialités de rendement d'une parcelle dans notre contexte.

Ce constat, effectué à un moment donné, montre que la diversité de fertilité des parcelles est élevée, qu'elle est en relation avec le rendement de la tomate, et qu'elle est non seulement fonction de leur type de sol mais aussi de leur fertilité « acquise » au cours de leur durée de culture (exemple de Ta₉). Pour comprendre comment les agriculteurs ont construit la fertilité des *tanety*,

initialement destinées aux parcours ou aux cultures vivrières peu exigeantes comme le manioc, nous mobilisons ci-dessous des données diachroniques obtenues à partir des enquêtes sur l'histoire culturale de ces parcelles.

Des stratégies de construction de la fertilité des *tanety*

Les enquêtes montrent que, pour pratiquer le maraîchage sur les *tanety*, les agriculteurs doivent mettre en place une stratégie pluriannuelle pour améliorer la fertilité de ces sols pauvres. Malgré quelques variations entre agriculteurs, cette stratégie comprend systématiquement deux volets :

1. L'introduction des cultures maraîchères dans la succession, d'abord par des cultures à cycle court, puis progressivement par des cultures à cycle de plus en plus long ;
2. L'évolution conjointe de l'utilisation de matières fertilisantes sur ces différentes cultures.

C'est ce que l'on constate dans trois cas types présentés à la figure 7. Les agriculteurs commencent, à partir de *tanety* cultivées en manioc sans fertilisants, par introduire des cultures à cycle court, du type haricot vert ou brède, qui ont de très faibles exigences

nutritionnelles. Les matières fertilisantes alors utilisées sont la paille de *bozaka*, les résidus de culture et les cendres de cuisine, voire un peu d'engrais chimique. Dans une seconde phase, consécutive à l'introduction de fumier dans l'exploitation (achat d'une vache, contrat ou échange paille-fumier), des cultures à cycle plus long sont introduites dans la succession et reçoivent systématiquement du fumier, au trou de semis comme pour la tomate ou en surface comme pour le poireau.

Limites de l'extension du maraîchage dans la zone

Le développement récent du maraîchage périurbain a donc été très lié à celui de l'élevage laitier *via* la disponibilité de fumier bovin. Or, les enquêtes ont montré que la gestion de ce fumier dans l'exploitation est particulièrement coûteuse en temps de travail : en s'inspirant du modèle de gestion des effluents d'élevage proposé à la Réunion (Aubry et al., 2006), cette gestion a été découpée en plusieurs phases et les temps requis par les différentes opérations estimés avec les agriculteurs. Le modèle global de gestion de ce fumier est donné à la figure 8. D'une manière schématique (les détails en sont donnés par N'Diéonor [2006]), on constate que :

- la coupe de *bozaka* sur les *tanety*, utilisée comme litière dans l'étable, varie entre 1 heure et 1 heure 30 de travail par bête et par jour selon les exploitations ;
- la fréquence de raclage du fumier est déterminée essentiellement par la quantité de fumier produite et sa durée de maintien possible dans l'étable, variable en fonction des saisons, l'objectif étant de garder l'animal sur une litière peu humide pour limiter les risques de mammite. Le raclage s'effectue ainsi une fois par semaine en saison des pluies (45 minutes à 1 heure par animal), une fois tous les 15 jours en saison sèche ;
- la durée du stockage du fumier hors étable, avant épandage sur les cultures, est surtout fonction de la surface cultivée susceptible de recevoir ce fumier au moment du raclage : le stockage en tas varie ainsi d'une semaine à un mois, d'où une forte

Tableau 2. Quantité de fumier produite par exploitant et mode d'acquisition pour combler le déficit en fumier.

Table 2. Amount of manure produced by farmers and means of acquiring manure for shortfall cases.

Exploitation agricole	Nombre de bovins	Superficie culturale (m ²)	Superficie (m ²) en maraîchage	*Besoin théorique de fumier (t/an)	Production observée de fumier (t/an)	Achat, vente ou non de fumier
Rj	1	4 400	1 900	3,8	1,83	achat
Ja	0	1 600	700	1,4	0,0	achat
Rd	2	3 500	1 500	3,0	3,65	vente
Fl	0	900	400	0,8	0	échange paille/fumier
Rs	3	1 900	800	1,6	5,48	vente
Ig	2	5 200	2 200	4,4	3,65	achat
Fx	3	3 900	1 700	3,4	5,48	vente
Ev	2	2 300	1 000	2,0	3,65	achat
JJ	1	4 500	1 900	3,8	1,83	achat
Syl	1	6 200	2 700	5,4	1,83	achat
Ch	1	1 600	700	1,4	1,83	ni achat ni vente
Fd	2	4 100	1 800	3,6	3,65	ni achat ni vente
Pb	1	700	300	0,6	0,91	ni achat ni vente
Dd	1	1 500	600	1,2	1,83	ni achat ni vente
Fy	1	2 600	1 100	2,2	1,83	achat
Jm	2	3 400	1 500	3,0	3,65	ni achat ni vente
Jl	2	2 100	900	1,8	3,65	achat

* Besoin théorique : pour un agriculteur pratiquant 2 cycles de tomate par an, le besoin théorique en fumier serait égal à la dose utilisée multipliée par 2, soit : 10 t/ha * 2. Ainsi, pour Rj, le besoin théorique = 2*10 t/ha*0,19 hectare = 3,8 t/an.

Rappelons que le nombre de cycles de cultures en maraîchage portés par une parcelle par an dans ce site varie de 3 à 4. Cela peut traduire par l'achat du fumier chez l'agriculteur Jl.

hétérogénéité de qualité de ce fumier (rapport paille/bouses), une forte différence de teneur en eau et de quantités totales produites selon les exploitations et les moments de l'année ;

– par manque crucial de charrettes et de bœufs de trait dans la zone, l'épandage du fumier nécessite le transport manuel des sacs de fumier du lieu de stockage aux parcelles : cela prend au moins une matinée par parcelle de 150 à 200 m², pour les apports faits au trou de plantation. La tradition d'utilisation des bovins pour le transport a pratiquement disparu dans cette zone et seul le bovin lait est considéré désormais comme rentable.

Aussi, réaliser les semis avant l'installation de la saison des pluies (dont l'impact des gouttelettes pourrait endommager les jeunes plants) et bénéficier d'un meilleur prix au marché entraînent la limitation de l'étalement des dates de plantation. La gestion du fumier est donc coûteuse en temps, et le produit de qualité variable au sein même d'une exploitation. Les agriculteurs sont conscients de ces coûts et de ces problèmes.

De plus, les quantités totales produites dans les exploitations au regard du besoin des cultures sont variables, mais souvent limitantes (*tableau 2*). En effet, le fumier est utilisé à raison d'au moins

10 t/ha et par cycle sur les cultures à cycle long (tomate, choux, poireau), et les exploitations ont en majorité de la tomate en saison des pluies et du chou ou du poireau en saison sèche. On constate que 3 exploitants seulement sur les 17 interrogés sont vendeurs de fumier alors que 9 autres en achètent pour combler leur déficit : certains d'entre eux parviennent ainsi à faire la sole maximale de tomate que leur permettent leurs règles de successions de cultures, mais plusieurs limitent leur surface à cette culture pour s'adapter à la quantité de fumier disponible. Enfin, à l'échelle du territoire, la production de fumier a peu de chance

Tableau 3. Résultats physico-chimiques de 10 parcelles

Table 3. Physical and chemical data for the 10 parcels.

Codes des noms agriculteurs	Parcelles	Âge de mise en culture de la parcelle	Résultats des analyses			
			MO (%)	P ass (ppm)	pH eau	Ca ²⁺ méq/100 g sol
Jm	Ta ₅	5	1,81	128	4,7	0,75
Fd	Ta ₆	8	1,29	49	5,6	1,35
Ch	Ta ₉	13	2,8	151	5,8	3,06
Jl	TaBa ₁	12	2,7	324	4,4	0,61
Rj	TaBa ₂	13	1,74	102	5,5	1,94
Jj	TaBa ₃	8	1,81	107	5,3	1,27
Fx	TaBa ₈	3	2,01	463	5	1,82
Rd	Ba ₄	23	2,73	98	5,9	3,51
Rs	Ba ₇	28	3,08	248	5,7	3,67

Ta₅ = parcelle *tanety* n° 5 ; TaBa₁ = parcelle *tanety-baïboho* n° 1 ; Ba₄ = parcelle *baïboho* n° 4 ; MO : matière organique ; P ass : phosphore assimilable.

de fortement augmenter dans l'avenir : tous les paysans signalent que l'extension du nombre de bêtes va rapidement poser des problèmes d'affouragement. Trois agriculteurs (Rj, Rs, Syl) ont déjà introduit des fourrages cultivés (ray-grass et avoine) sur une partie de leur surface habituellement en maraîchage.

Discussion

L'évolution du maraîchage périurbain d'Antananarivo se traduit par un changement d'usage des terres peu fertiles, que l'on peut observer nettement dans d'autres situations collinaires autour d'Antananarivo, sans que la quantification précise du phénomène puisse être faite, en l'absence de toute donnée statistique.

La différence de potentialités agricoles entre les sols de la Grande Ile a déjà été décrite par Müntz et Grandier (1897-1900) cités par Soudart (1996) et Müntz et Rousseau (1900) : ces auteurs soulignent l'importance spatiale des terres rouges « *ferrugineuses* » caractérisées par le manque de calcaire et surtout une pénurie d'acide phosphorique alors que les bas-fonds et les vallées sont « *plus riches et susceptibles d'être exploités* ». Cepen-

dant, ils notent que, en certains endroits, ces terres rouges sont modifiées par la « *formation de l'humus, l'intervention de l'eau ou une longue suite de cultures par les indigènes* ».

À plus d'un siècle d'écart, nous constatons qu'une dynamique tirée par le développement urbain conduit à nouveau à modifier ces « terres rouges » avec, aussi, « une longue suite de cultures » à laquelle s'ajoute toutefois une modification importante du système de production avec l'introduction des vaches laitières. *Via* l'utilisation forte de fumier et d'engrais chimiques, les agriculteurs ont franchi, en à peine une décennie sur ces *tanety*, plusieurs des barreaux de l'« *intensification ladder* » proposée par Aune et Bationo (2008) au Sahel. Le développement du maraîchage périurbain d'Antananarivo est ainsi passé par un triptyque « vaches laitières-fumier-conquête des *tanety* » et la mise en place du système social de contrats ou d'échange de fumier : il s'est agi de faire face, du fait de la rareté des terres fertiles traditionnelles, au problème majeur de la mise en culture intensive des *tanety*, latosols ferrallitiques, très pauvres en éléments minéraux, notamment en phosphore (Rabeharisoa, 2004), ce que confirment certaines des analyses de sols que nous avons faites.

Nous avons proposé un indicateur de fertilité des sols, qui s'est avéré bien relié au rendement de la tomate. D'autres auteurs, dans d'autres contextes, ont proposé aussi des indicateurs du même type. Ainsi, Feller (1995), dans le contexte des zones sahéliennes et soudaniennes, utilise la matière organique totale du sol comme un des indicateurs de la fertilité, ce qui est aussi notre cas. Dans le bassin cotonnier du Tchad, Guibert et *al.* (1999) construisent des indicateurs de fertilité en retenant à partir de courbes enveloppes les variables les plus pertinentes localement (notamment le rapport carbone sur argile plus limon fin). Dans notre cas, nous n'avons pas les moyens d'établir de telles relations statistiques, mais les caractéristiques spécifiques des sols des hautes terres malgaches, notamment l'acidité et la faiblesse en phosphore, ont permis de rendre pertinent un indicateur construit de façon plus artisanale.

Cette double fonction de la vache (production de lait et de fumier) accompagnant le développement du maraîchage périurbain est semblable à celle qui peut être observée dans les Hauts de l'ouest de l'Île de la Réunion avec le système dit des « boeufs-fumier » (Aubry et *al.*, 2006).

Mais le fumier se fait aujourd'hui rare au-delà même du périurbain

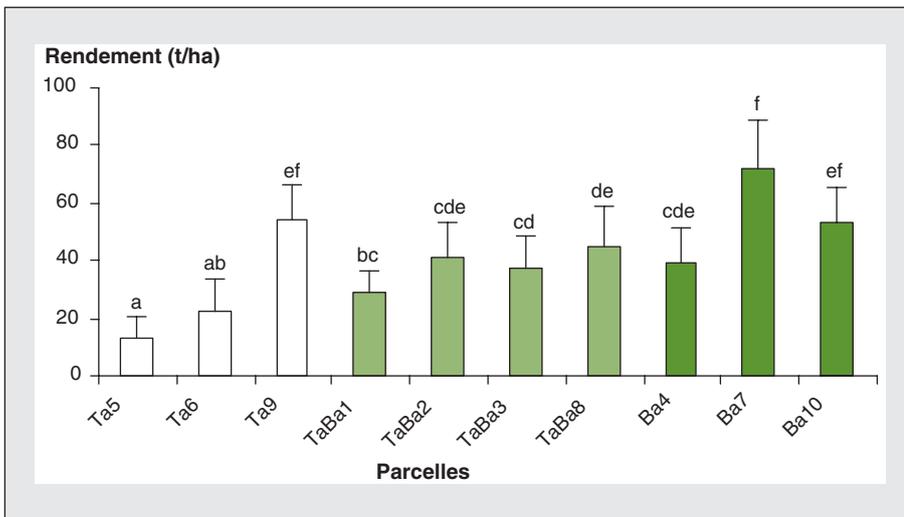


Figure 5. Rendement en tomates des parcelles du traitement homogénéisé, en fonction des types de sols.

Figure 5. Yield of tomato plots of homogenized treatment, depending on soil types.

Une même lettre au-dessus des barres d'histogramme indique l'absence de différence significative selon le test de Neuwman-Keuls ($p < 5\%$).

tananarivien. Dans des processus d'intensification culturale, la rareté du fumier se rencontre aussi dans d'autres situations (Hoffmann *et al.*, 2001 ; Ali *et al.*, 2006). Certes, les élevages périurbains sont en dévelop-

pement mais le fumier produit est encore limitant pour l'agriculture (Konovou *et al.*, 1999 ; Parrot *et al.*, 2009). Des travaux en cours à Mahajanga montrent le même phénomène (Ramahefarison *et al.*, 2010). Des

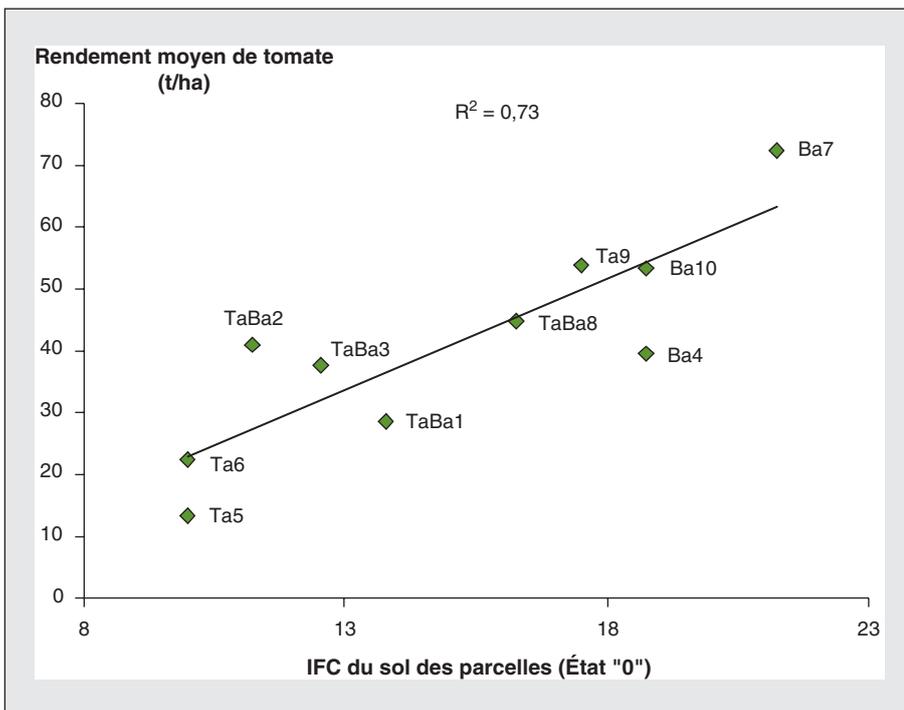


Figure 6. Indice de fertilité chimique (IFC) et rendement de chaque parcelle.

Figure 6. Chemical Fertility Index (CFI) and tomato yield on each plot.

solutions de rechange sont donc à rechercher pour concilier nécessaire développement du maraîchage péri-urbain, corrélatif de la croissance urbaine, et relative rareté des matières fertilisantes d'origine animale dans ces mêmes zones périurbaines dans un grand nombre de situations. Le recours à des matières organiques d'origine urbaine (déchets ménagers, effluents d'industries agroalimentaires, etc.) est ainsi potentiellement pertinent, pourvu que celles-ci soient de qualité agronomique suffisante, non préjudiciables pour l'environnement ou les cultures, et accessibles aux exploitants. Cette thématique est de plus en plus l'objet de recherches : on peut cependant regretter que les tests scientifiques faits sur ces produits soient rarement menés en conditions paysannes et utilisent rarement une matière aussi largement disponible et peu coûteuse que le sont dans les pays en développement les criblés de décharge.

Ce modèle de développement « vaches laitières-fumier-conquête des *tanety* » semble cependant aujourd'hui atteindre ses limites du fait d'obstacles importants au développement de l'élevage et donc de la production de fumier. La production de fourrages cultivés, tentée par certains agriculteurs, pourrait être une façon d'augmenter la productivité de l'élevage, notamment en fumier, mais elle a aujourd'hui peu de chance de se développer fortement :

- elle entre en effet en compétition directe pour l'usage des sols de *tanety* avec les productions maraîchères qui sont les principales pourvoyeuses de revenu monétaire des agriculteurs ;
 - la culture même de ces fourrages graminées pourrait à son tour demander du fumier et/ou des engrais chimiques et donc entrer en compétition avec le maraîchage, mais cette fois pour les intrants ;
 - la main-d'œuvre, notamment pour l'implantation et l'arrosage des cultures maraîchères, est déjà limitante dans la plupart des exploitations et pourrait probablement difficilement supporter de nouvelles productions.
- De plus, la préférence actuelle pour l'introduction de graminées comme cultures fourragères, plutôt que de légumineuses, s'explique, selon les maraîchers qui les cultivent aujourd'hui, par le fait que les semences de légumineuses sont trop chères et peu

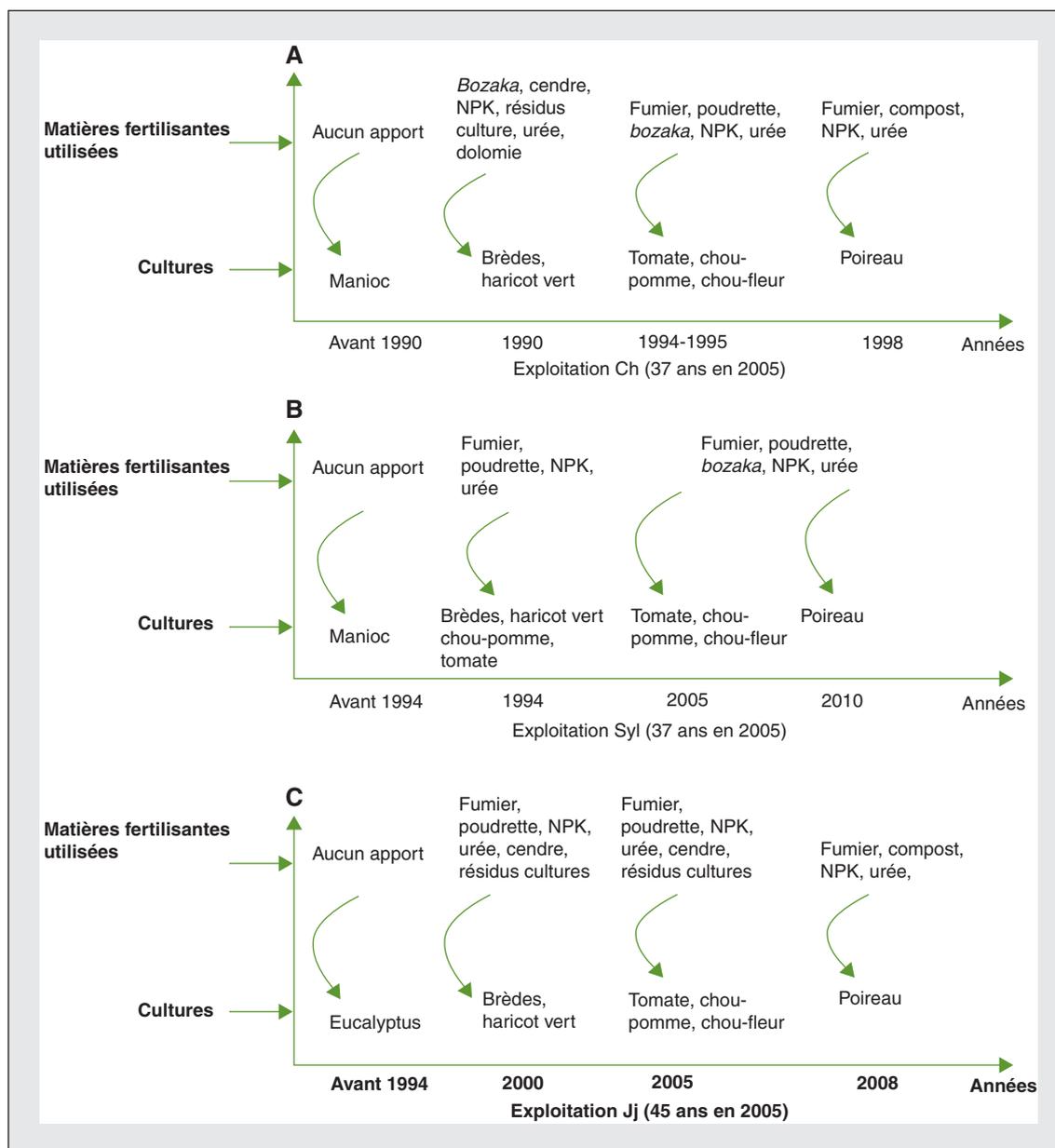


Figure 7. Construction de la fertilité des *tanety* pour trois types d'exploitations.

Figure 7. Building *tanety* fertility among three types of farms.

disponibles sur le marché : il serait cependant judicieux, à l'avenir, que les paysans s'interrogent sur l'auto-production de ces légumineuses et sur les avantages agronomiques qu'elles pourraient leur procurer en termes de fertilisation azotée.

Enfin, les zones de *tanety* d'où est exportée la *bozaka* pour l'alimentation et la litière des vaches, font l'objet d'un transfert de fertilité vers les zones de *tanety* mises en culture. Peu évoquée par les agriculteurs, la question de la pérennité de ce transfert et

de la perte de fertilité des *tanety* « à *bozaka* » mériterait d'être étudiée par des suivis. La concurrence pour l'espace entre cultures maraîchères et besoins des troupeaux ne fait que commencer.

C'est pourquoi les agriculteurs sont à la recherche de nouvelles sources fertilisantes : les engrais minéraux importés (NPK : 11-22-16) existent mais leur prix a doublé à Antananarivo de 2003 à 2005, passant d'environ 0,25 à 0,50 euro le kg. Quelques-uns ont commencé à utiliser en 2001 le

criblé de la décharge d'Antananarivo fabriqué artisanalement. Le projet de recherche ADURAA a participé à cette réflexion en mettant en place chez ces agriculteurs des essais au champ substituant fumier et/ou engrais chimiques par ce criblé, avec des résultats positifs en termes de rendements de la tomate (N'Diéonor, 2006). Les agriculteurs ont toujours recyclé les déchets (liquides ou solides) des zones habitées. Mais l'augmentation des prix des engrais chimiques et la limitation du fumier des élevages

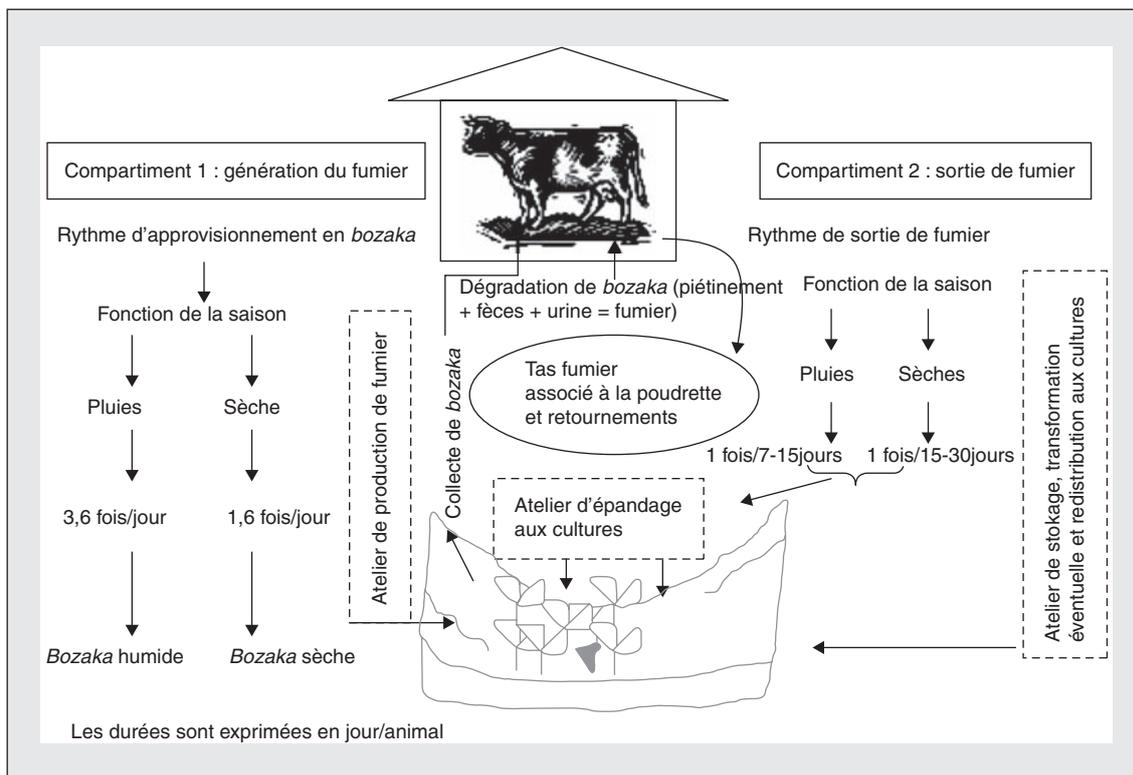


Figure 8. Modèle global de gestion du fumier bovin.

Figure 8. Global model of cattle manure management.

urbains et périurbains motivent encore plus les agriculteurs à recourir aux déchets d'origine urbaine comme sources de fertilisants (Ouedraogo et al., 2001) avec des résultats là aussi souvent positifs (Bastida et al., 2007 ; Hargeaves et al., 2008). Il reste que l'utilisation à large échelle de ces nouvelles matières dépend fortement, d'une part de l'organisation de la production de ce criblé de décharge, et, d'autre part, de l'organisation logistique de son transport jusqu'aux agriculteurs, ce que nous avons pu noter comme un obstacle majeur dans notre situation d'étude (Pierrat, 2006 ; N'Diènor et al., 2006).

Conclusion

Cette étude a permis de comprendre le développement du maraîchage périurbain d'Antananarivo. Ce développement est passé par la conquête de terres pauvres dont la fertilité a été construite au cours des quinze dernières années par le recours massif

au fumier bovin, lui-même issu d'une modification forte des systèmes de production. Ce développement s'est appuyé sur le modèle : « vaches laitières-fumier-conquête des *tanety* » et sur la mise en place du système social de contrats ou d'échange de fumier.

Les résultats obtenus montrent que la fertilité des sols est un facteur important de différenciation des rendements en tomate : l'indicateur IFC construit dans cette étude pour rendre compte de la fertilité des sols (arbitraire, mais reprenant les éléments essentiels dans la bibliographie dans notre contexte) est un bon indicateur des rendements obtenus en tomate. Cette fertilité des sols, qui peut mener à de très bons rendements, même à partir de sols initialement peu fertiles, a été construite au cours du temps par les agriculteurs : les résultats montrent que ce modèle d'intensification suivi a été très efficace. Cependant, il semble aujourd'hui atteindre ses limites du fait d'obstacles importants au développement de l'élevage et donc à la production de fumier supplémentaire.

La poursuite du développement maraîcher en zones périurbaines doit ainsi entraîner de la part du développement agricole, des planificateurs urbains et de la recherche agronomique une réflexion approfondie sur les zones possibles d'extension des cultures, sur de nouvelles modalités d'intensification sur des terres de qualités diverses, sur les atouts et obstacles au développement d'élevages urbains et périurbains et sur la question de la fertilisation à partir de déchets urbains. Cette alternative paraît prometteuse mais est encore largement à étudier. ■

Remerciements

Cette recherche a été réalisée dans le cadre du projet intitulé ADURAA (Analyse de la durabilité de l'agriculture dans l'agglomération d'Antananarivo), un projet Corus (Coopération pour la recherche universitaire et scientifique) financé par le ministère français des Affaires étrangères, le Centre de recherche pour le développement international (CRDI), au Canada, et l'Institut national de la recherche agronomique (Inra),

Références

- Ali M, de Bon H, Moustier P, 2006. Pour la promotion d'une agriculture urbaine et périurbaine multifonctionnelle à Hanoï. *Magazine Agriculture Urbaine* 15 : 9-11.
- Aubry C, Paillat JM, Guerrin F, 2006. A conceptual representation of animal waste management at the farm scale : The case of the Reunion Island. *Agricultural Systems* 88 : 294-315.
- Aune JB, Bationo A, 2008. Agricultural intensification in the Sahel. The ladder approach. *Agricultural Systems* 98 : 119-25.
- Bastida F, Moreno JL, Garcia C, Hernández T, 2007. Addition of urban waste to semiarid degraded soil : long-term effect. *Pedosphere* 17 : 557-67.
- Chabalier P, Legier P, 1992. Synthèse cartographique de la fertilité des sols de la Réunion. *Agronomie Tropicale* 46 : 65-71.
- Dabat MH, Aubry C, Ramamonjisoa J, 2006. Agriculture urbaine et gestion durable de l'espace à Antananarivo. *Economie Rurale* (294-295) : 57-72.
- Feller C, 1995. La matière organique du sol : un indicateur de la fertilité. Application aux zones sahéliennes et soudanienne. *Agriculture et Développement* (8) : 35-41.
- Griffon M, 2003. Quand l'agriculture africaine va-t-elle commencer à répondre aux enjeux du futur ? *Cahiers Agricultures* 12 : 141-3.
- Guibert H, Ngamine J, Brouwers M, Atolna M, 1999. Indicateurs de fertilité des sols dans le bassin cotonnier du Tchad. *Bulletin Réseau Érosion* (19) : 190-205. Colloque international "L'homme et l'érosion", 1999-12-09/1999-12-19, Yaoundé, Cameroun. <http://www.beep.ird.fr/collect/bre/index/assoc/HASH0161.dir/19-190-205.pdf>.
- Hargeaves JC, Adl MS, Warman PR, 2008. A review of the use composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (123) : 1-14.
- Hoffmann I, Gerling D, Kyiogwom UB, Mané-Bielfeldt A, 2001. Farmers' management strategies to maintain soil fertility in a remote area in northwest Nigeria. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 86 : 263-75.
- Konovou FM, Honfoggia BG, Debrah SK, 1999. Sécurité alimentaire et gestion intégrée de la fertilité des sols : la contribution du maraîchage périurbain à Lomé. In : Smith OB, ed. *Agriculture urbaine en Afrique de l'Ouest. Une contribution à la sécurité alimentaire et à l'assainissement des villes*. Ottawa (Canada) : CRDI/CTA.
- Mawois M, 2009. *Constitution des systèmes de culture maraîchers à proximité d'une ville : quelles marges de manœuvre des agriculteurs pour répondre à une augmentation de la demande? Cas des systèmes de culture à base de légumes feuilles dans l'espace périurbain de Mahajanga (Madagascar)*. Thèse de doctorat en agronomie, Agroparistech, Paris. <http://umr-innovation.cirad.fr/en/theses/soutenues>.
- Mougeot JAL, 2005. *The social, political and environment dimensions of urban agriculture*. Ottawa : IDRC.
- Moustier P, Danso G, 2006. Local economic development and marketing of urban produced food [published online]. In : van Veenhuizen R, ed. *Cities farming for the future : urban agriculture for green and productive cities*. Ottawa : IDRC.
- Müntz A, Rousseau E, 1900. Étude sur la valeur agricole des terres de Madagascar. *Bulletin Ministère Agriculture* 5 : 910-1123.
- N'Diènor M, Aubry C, 2004. Diversité et flexibilité des systèmes de production maraîchers dans l'agglomération d'Antananarivo (Madagascar) : atouts et contraintes de la proximité urbaine. *Cahiers Agricultures* 13 : 50-7.
- N'Diènor M, Dabat MH, Randiamiharisoa F, Randiamiharisoa J, Rajoelison C and Aubry C, 2006. A trend towards urban integration and organisation of the tomato subsector in Antananarivo. Madagascar. *Acta Horticulturae* 1 : 317-26.
- N'Diènor M, 2006. *Fertilité et gestion de la fertilisation dans les systèmes maraîchers périurbains des pays en développement : intérêts et limites de la valorisation agricole des déchets urbains dans ces systèmes. cas de l'agglomération d'Antananarivo (Madagascar)*. Thèse de Doctorat en agronomie, Ina-PG, Paris. http://bib.rilk.com/3104/01/Thèse_Tome_1.pdf.
- Ouédraogo E, Mando A, Zombré NP, 2001. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 84 : 259-66.
- Padilla M, 2004. Approvisionnement alimentaire des villes méditerranéennes et agriculture urbaine. In : Nasr J, Padilla M, eds. *Interfaces : agricultures et villes à l'Est et au Sud de la Méditerranée*. Beyrouth (Liban) : Delta/lfpo.
- Parrot L, Sotamenou J, Dia Kamgnia G, Nantchouang A, 2009. Determinants of domestic waste input use urban agriculture lowland systems in Africa : the case of Yaoundé in Cameroun. *Habitat International* 33 : 357-64.
- Piéri C, 1989. *Fertilité des terres de savanes. Bilan de trente ans de recherche et de développement agricoles au Sud du Sahara*. Paris : ministère de la Coopération et du Développement ; Cirad.
- Pierrat A, 2006. *La gestion des déchets à Tananarive : étude de la valorisation de déchets urbains en produits fertilisants. Approche géographique*. Paris : Université 1 Panthéon-Sorbonne.
- Rabeharisoa L, 2004. *Gestion de la fertilité et de la fertilisation phosphatée des sols ferrallitiques des Hautes Terres de Madagascar*. Thèse de doctorat d'État es sciences naturelles, université d'Antananarivo. (<http://www.google.fr>). Taper Thèse Lilia Rabeharisoa).
- Ramahefarison H, Aubry C, Masse D, 2010. *Market garden production systems in periurban area of Mahajanga. Determinants of agricultural practices of organic fertilizer for technical innovation*. XIth Congress of the European Society of Agronomy, Montpellier, France, 29th August to 1st September 2010.
- Rey Y, Costes C, 1965. Physiologie de la tomate. In : Inra, ed. *Etudes Bibliographiques* (21).
- Riquier J, 1993. Normes d'interprétation de richesse d'un sol d'après les analyses chimiques. Collection et Techniques Rurales en Afrique. In : ministère de la Coopération, ed. *Mémento de l'agronome*. Paris : Cired éditions ; Gret.
- Soudart M, 1996. Une évaluation agronomique des terres de Madagascar -1897-1900 : l'étude d'A Müntz et sa correspondance avec A. Grandier. Notes historiques. *Etude et Gestion des Sols* 3 : 207-14.