

THESE

présentée

devant l'UNIVERSITE CLAUDE BERNARD - LYON I -

pour l'obtention

du DIPLOME DE DOCTORAT

(arrêté du 30 mars 1992)

**UN MODELE MULTI-AGENTS POUR SIMULER LES
ACCORDS DE RECIPROCITE DANS LES ANDES
BOLIVIENNES**

par

Bernardo PAZ BETANCOURT

soutenue le 18 décembre 1997

JURY:	A. PAVE	Prof. UCBL	Directeur Thèse
	J. DEGAND	Prof. UCL Belgique	Rapporteur
	JM.ATTONATY	Dir. Rech. INRA	Rapporteur
	Ch.GAUTIER	Prof. UCBL	
	JP. TREUIL	Dir. LIA-ORSTOM	
	D. HERVE	Chercheur ORSTOM	
	F. BOUSQUET	Chercheur CIRAD	

Table des matières

1	Introduction	1
2	Modèles et simulateurs	5
2.1	Diversité et caractérisation des modèles	5
2.2	Les modèles et leur validation	7
2.3	Systèmes multi-agents et modélisation	8
2.3.1	Rappel sur les systèmes multi-agents	8
2.3.2	Les systèmes multi-agents et la modélisation	9
2.3.3	Place de notre travail	11
3	La communication	13
3.1	La communication dans les groupes humains	14
3.1.1	Fonctions et complexité de la communication	14
3.1.2	Réseaux de relations	17
3.2	La communication dans les systèmes multi-agents	18
3.2.1	Organisation des systèmes multi-agents	20
3.2.2	Protocoles de communication	21
3.2.3	Structure des messages	23
3.2.4	Réseaux de communication	24
4	Les accords de réciprocité dans les Andes	27
4.1	Diversité des accords de réciprocité	29
4.2	Une classification préliminaire	30
4.3	Rôle des accords de réciprocité	31
5	Les accords “<i>al partir</i>” à Pumani	35
5.1	La communauté de Pumani	35
5.1.1	Données générales	35
5.1.2	Activités économiques	37
5.1.3	Paysage	37
5.2	Occupation du territoire	38
5.2.1	Terres de <i>sayaña</i>	38
5.2.2	Terres d’ <i>aynuqa</i>	38

5.2.3	Système de rotation d' <i>aynuqa</i>	39
5.2.4	mode de gestion des terres d' <i>aynuqa</i>	42
5.3	Les accords " <i>al partir</i> " à Pumani	43
6	Objectifs et méthodologie	45
6.1	Objectifs	45
6.2	Hypothèse et démarche méthodologique	45
6.3	Le travail sur le terrain	46
7	Construction du modèle	49
7.1	Agents et objets du modèle	49
7.1.1	Agents du modèle	49
7.1.2	Objets du modèle	51
7.2	Les structures du monde artificiel	52
7.2.1	La structure démographique	52
7.2.2	La structure de l'élevage	56
7.2.3	La structure foncière	56
7.2.4	La structure des relations sociales et sa dynamique	58
7.3	Modélisation des conversations	60
7.3.1	Observations de terrain	60
7.3.2	Formalisation	63
8	Le simulateur Simandes	71
8.1	Introduction	71
8.2	Les interfaces du Simulateur	72
8.2.1	Les interfaces de visualisation	72
8.2.2	L'interface de paramétrisation	80
8.2.3	Sorties de résultats sur fichiers	82
8.3	Boucle principale du simulateur	84
8.3.1	Agents et objets du modèle	86
8.3.2	Agents du modèle	86
8.3.3	Objets du modèle	89
8.3.4	L'acheminement des messages	91
9	Présentation des résultats	95
9.1	La situation de référence	96
9.2	Scénarios systématiques	105
9.2.1	Impact de la migration	105
9.2.2	Impact des changements dans la difficulté des labours	109
9.2.3	Impact de changements dans la répartition des terres par famille	110
9.2.4	Impact des modifications du "niveau d'exigence" quant au choix des partenaires potentiels	111

9.2.5	Réponse des offreurs de terres : Critères et ordre utilisés par les offreurs de terre pour classer les propositions des offreurs de main d'oeuvre	113
9.2.6	Réponse des offreurs de terre : Respect par les offreurs de terre d'une proportion minimale de l'offre de main d'oeuvre	117
9.2.7	Concrétisation des accords : modifications des critères et ordre utilisés par les offreurs de main d'oeuvre pour classer les réponses des offreurs de terres	120
9.2.8	Concrétisation des accords : Critères et ordre utilisés par les offreurs de main d'oeuvre pour choisir les offreurs de terre avec qui passer un accord	121
9.2.9	Mémoire sans oubli ni acquisition: Impact d'un réseau non évolutif	123
9.3	Synthèse des résultats systématiques	124
9.4	Scénarios hypothétiques	128
9.4.1	Indicateur : nombre d'accords réalisés	129
9.4.2	Indicateur : proportion de terre labourée grâce aux accords	131
9.4.3	Indicateur : main d'oeuvre occupée grâce aux accords . . .	133
9.4.4	Indicateur : offreurs de terre satisfaits	135
9.4.5	Indicateur : proportion d'offeurs de main d'oeuvre satisfaits	136
9.4.6	Indicateur : familles avec réseau	138
10	Enseignements des simulations	141
10.1	Nouveau regard sur Pumani après les simulations	141
10.1.1	Les structures démographiques et foncières et l'évaluation des déséquilibres terre / MO	142
10.1.2	La passation des accords et ses résultats	143
10.1.3	Rôle général des accords dans les ajustements dynamiques au cours du cycle de rotation	145
10.2	Nouvelles questions	147
11	Conclusion générale	151
12	Annexes	157
12.1	Les entretiens à pumani	157
12.2	Enquête de 1992 - 1993	157
12.3	Déclaration des classes du simulateur	157
12.4	Initialisation du simulateur	157
12.4.1	Structure des fichiers de résultats	157
12.5	Ecrans et tableaux de la situation de référence	157
13	Références Bibliographiques	159

Chapitre 1

Introduction

La modélisation des phénomènes naturels est souvent un point de rencontre de différentes disciplines [31]. Elle peut permettre de mieux comprendre le phénomène modélisé, de se familiariser avec les connaissances disponibles, de pouvoir communiquer plus facilement et parfois, d'anticiper le fonctionnement du phénomène étudié [11].

Ce sont ces caractéristiques qui nous ont poussé à construire un modèle qui puisse contribuer aux réflexions qui ont été réalisées au sein d'une équipe de chercheurs ayant travaillé à Pumani, une communauté des andes boliviennes. L'équipe de chercheurs constituée par un anthropologue, une sociologue, un agronome et un agropastoraliste a travaillé sur la question des jachères longues pâturées. Les études, visant à connaître les fonctions et les conséquences de ces pratiques de jachères dans le contexte social, agricole et d'élevage andin, ont suivi trois approches. Nous présentons brièvement ces approches décrites par ailleurs par Hervé et al (1997) [51] :

- L'approche agronomique a permis d'établir certaines fonctions de la jachère dans les conditions de l'*altiplano* et de connaître les limites de certains rôles attribués aux jachères sans trop de fondement agronomique. Par exemple la Jachère à Pumani ne permet pas une accumulation d'eau dans le sol, elle n'est pas indispensable au contrôle de mauvaises herbes et l'augmentation d'azote n'est pas importante. Mais par contre une réduction du temps de la jachère pourrait occasionner un problème de disponibilité de combustible ligneux.
- L'approche anthropologique et sociale a cherché à reconstruire la logique du système social. Ces études se sont concentrées sur la question de la durée et du rôle des jachères dans les représentations que s'en font les membres de la communauté. Elle a pu retracer le point de vue des agriculteurs sur ces pratiques. Par exemple la tradition orale affirme que le cycle a toujours été fixe (13 ans); il y a eu une expansion des 13 *aynuqa* au cours du temps, à présent elles occupent toutes les terres labourables; la dispersion des

aynuqa permet de défendre et borner le territoire communal; d'après les agriculteurs la terre doit "se reposer", raison pour laquelle le cycle reste inchangé depuis plusieurs générations en plus d'autres raisons religieuses, symboliques et idéologiques. Par ailleurs diminuer le temps de jachère en réunissant 2 *aynuqa* (comme cela a été fait en 1990), peut conduire à un abandon de terres, abandon qui est critiqué socialement et qui en plus peut provoquer la colère des dieux.

- L'approche de modélisation part du principe que la réunion de deux *aynuqa* faite en 90 cherchait à résoudre un déséquilibre entre terre et main d'œuvre pour une année donnée plutôt qu'à diminuer le temps de jachère en soi. Pour étudier ce déséquilibre des ressources et sa dynamique à l'échelle de l'exploitation un modèle descriptif et qualitatif a été réalisé ("PUMANI" Migueis et al 1995 [64]). Ce modèle a permis de bien comprendre le fonctionnement annuel d'une exploitation agricole, en permettant notamment d'étudier l'impact d'un supplément de terres à labourer, grâce à différentes simulations. Mais il est clair cependant que ce niveau de gestion familial n'est pas indépendant du fonctionnement de la communauté dans son ensemble; la juxtaposition de plusieurs agents définis dans le modèle "PUMANI" ne rend pas compte des interactions entre familles.

C'est dans le cadre de cette approche par modélisation, et à partir de cette dernière constatation, qu'est née l'idée de construire un modèle multi-agents prenant en compte les 200 familles de Pumani et leurs interactions, toujours dans d'optique principale de l'étude des déséquilibres terre/main d'oeuvre. Notre attention s'est alors tout naturellement portée vers une composante particulière de ces interactions, à savoir celle des différents types d'accords de réciprocité qui ont lieu dans toute la zone andine et que les agriculteurs de Pumani pratiquent en permanence.

Notre travail s'appuie sur l'hypothèse que la construction d'un modèle multi-agents sur une partie de la communauté peut faire avancer la réflexion, explorer les mécanismes et faire émerger des questions à investir sur le terrain. Nous avons naturellement conscience que d'autres techniques de modélisation peuvent être utilisées dans cette optique exploratoire, mais la nécessité de prendre en compte la multiplicité d'acteurs, les structures sociales qui sous-tendent leurs interactions et les règles qualitatives qui régissent celles-ci, est une contrainte à laquelle les modèles multi-agents peuvent faire face de manière adéquate.

Plan de la thèse

Dans une première partie nous présentons une revue bibliographique concernant la modélisation, en faisant référence aux différents types de modèles ayant une relation avec notre problématique (chapitre "Modèles et simulateurs"). Puis

nous abordons une brève comparaison de la communication dans les sociétés humaines et dans les systèmes multi-agents (chapitre “La communication”).

La seconde partie est consacrée à une discussion sur les accords de réciprocités dans les Andes (chapitre “Les accords de réciprocité dans les Andes”) puis à une description précise du fonctionnement de la communauté de Pumani et de la place de certains types d’accords dans ce fonctionnement (chapitre “Les accords *“al partir”* à Pumani”). Elle se termine par l’exposé des objectifs poursuivis dans ce travail (chapitre “Objectifs et méthodologie générale”).

La troisième partie expose comment précisément nous avons traduit notre connaissance de la communauté de Pumani dans une formalisation informatique multi-agents. C’est à dire, selon la méthode exposée au chapitre “Modèles et simulateurs”, comment nous avons “modélisé” la communauté (chapitre “Construction du modèle”) puis comment nous avons concrétisé cette modélisation dans un simulateur (chapitre “Le simulateur SIMANDES”). Le chapitre “Construction du modèle” part des informations dont nous disposons (sur les structures démographiques, foncières, sociales de la communauté) ou que nous sommes allés chercher sur le terrain (règles d’établissement des accords). Il montre ce que nous en avons retenu dans notre modélisation et sous quelle forme. Le chapitre “Le simulateur SIMANDES” est une présentation informatique du simulateur, à travers ses interfaces utilisateur, son architecture et son fonctionnement.

Dans la quatrième partie nous présentons d’abord (chapitre “Présentation de résultats”) d’une façon systématique un certain nombre de scénarios de simulation, avec les hypothèses de départ et leur justification, les résultats obtenus et leurs commentaires. Cette exploration systématique basée sur la modification de certains paramètres caractéristiques de la communauté pris un par un sert de point de départ à quelques scénarios plus élaborés combinant la modification de plusieurs paramètres. Nous essayons ensuite (chapitre “Enseignements des simulations”) de tirer les enseignements de ces résultats, sur le plan de notre connaissance de la communauté et des questions que l’on peut se poser à son propos et celui du fonctionnement et du rôle des accords, pour déboucher sur une sorte de plan de recherche complémentaire sur ces questions. Nous terminons par une conclusion générale (Chapitre “Conclusion général”) qui récapitule les défis méthodologiques rencontrés, résume les questions qui ont émergé et les discussions aux quelles elles ont donné lieu. ¹

1. L’ensemble du texte a été dactylographié et façonné sur LaTeX [87], [4], [33] (Logiciel du domaine public) en prenant en compte la typographie française (*style french*) recommandée par l’association GUTemberg pour l’usage français [87]. Un fichier en format *postscript* et une version affichable (format *.pdf) sont disponibles sur Internet (<http://www.bondy.orstom.fr/~pazbetan> miroir à <http://www.bondy.orstom.fr/~treuil>).

Chapitre 2

Modèles et simulateurs

“Un modèle, en science, est une image stylisée et abstraite d’une portion de la réalité” [27] Pour Jacques Ferber en effet, qui développe longuement cette idée, l’activité scientifique consiste principalement à faire des modèles des phénomènes ou des objets étudiés.

Parfois les modèles aboutissent à des formalisations mathématiques sophistiquées. C’est le cas des modèles utilisés en physique pour prédire le comportement des corps soumis à différentes forces. D’autres fois les modèles peuvent être des représentations simples et pratiques, par exemple le cas de la clef et la serrure, utilisé en biologie pour comprendre le processus d’évolution et reproduction de la cellule.

Dans tous les cas la nature d’un modèle est de simplifier la partie de la réalité qu’on représente, de la rendre plus explicite et maniable. Atteindre cet objectif a un coût : le modélisateur doit éliminer tous les éléments considérés par lui comme inutiles, il construit donc une image avec les seuls éléments que lui-même considère pertinents.

Dans une première section de ce chapitre nous exposons brièvement notre vision de la diversité des modèles et des activités de modélisation, en donnant une grille d’analyse de cette diversité. La seconde section est consacrée à la place de notre propre travail dans cette grille d’analyse. La dernière section présente rapidement la technique de représentation de la réalité utilisée, celle des simulations multi-agents.

2.1 Diversité et caractérisation des modèles

La diversité des modèles est grande, de même que celle de l’usage et de la compréhension du terme de modélisation. Beaucoup de classifications ont été proposées [60], [53], [79] illustrant divers points de vue. Nous retiendrons ici seulement quelques points de vue, qui nous permettent de situer notre propre travail.

Bousquet (1994) [11] rappelle ainsi les principes d’analyse proposés par Ro-

themberg (1989) [90] et Grant (1996) [34], distinguant quatre axes d'opposition :

- modèles statiques vs modèles dynamiques
- modèles prédictifs ou empiriques vs modèles explicatifs et descriptifs
- modèles déterministes vs stochastiques
- modèles qui peuvent être résolus analytiquement vs modèles qui nécessitent des simulations.

Par ailleurs, dans l'ouvrage collectif "Virtualité et réalité", Guyon [35] distingue les activités de modélisation selon la distance qu'elles prennent avec la réalité. Il appelle ainsi "Simulation" une activité qui aboutit à des produits n'ayant qu'un "faible degré d'autonomie" avec le réel et dont l'objectif est de "coller le plus possible" avec les phénomènes observés. Il réserve le terme de "Modélisation" pour désigner une activité prenant au contraire "une large autonomie par rapport au réel qui l'inspire", activité largement exploratoire voire ludique, visant à cerner le champ des possibles. Même si nous ne reprenons pas à notre compte la terminologie de Guyon, la distinction nous semble pertinente pour les domaines qui nous concernent et inspire notre propre distinction entre modélisation opérationnelle et modélisation d'accompagnement. Nous noterons aussi un peu dans le même esprit la proposition de Marsily (de) [60] de classer les modèles écologiques en prenant en compte le caractère observable ou non des phénomènes modélisés.

De fait pour rendre compte de la diversité des modèles, il nous semble bien qu'on n'échappe pas à la nécessité d'adopter plusieurs points de vues. En s'inspirant des principes précédents, nous analyserons pour notre part les modèles selon différentes dimensions qui sont toutes des continuums et qui s'entrecroisent de différentes façons :

- selon le domaine d'application, le domaine de la réalité auquel on s'intéresse [90];
- selon qu'ils appréhendent un état instantané de la réalité ou au contraire une dynamique;
- corrélativement avec ces deux premières dimensions, selon les échelles d'espace et de temps considérées.
- selon qu'ils appréhendent un seul niveau d'analyse ou au contraire plusieurs niveaux en essayant de les mettre en relation : par exemple en partant d'un niveau "micro" ou "individuel" pour arriver à un niveau "macro" [99].
- selon qu'ils portent sur la description de la réalité ou bien sur l'analyse de structures ou de déterminismes. On pourrait parler d'accent descriptif

d'un côté, d'accent explicatif de l'autre, mais toute description est un début d'explication et toute explication est la description d'un niveau d'analyse sous-jacent. Autour du premier on trouve par exemple les modèles utilisant les techniques de statistiques descriptives ; de même dans le second trouve-t-on les modèles utilisant des équations différentielles.

- selon qu'ils constituent le produit final de la recherche ou au contraire un moyen. Dans le premier cas ils visent souvent un but opérationnel (prédiction, reconstruction du passé, aide à la décision) ou didactique ("mise au propre", enseignement et transmission des connaissances). Dans le second cas ils ont plutôt un but d'exploration et d'expérimentation.

2.2 Les modèles et leur validation

Pour parler de la validation des modèles, Marsily (1996) [60] part de sa distinction déjà relevée entre phénomènes observables et non observables.

- a) Les modèles réalisés sur des phénomènes observables ont comme archétype le modèle "boîte noire". Leur mise au point exige la disposition d'une série de couples "entrée sortie" servant de base d'apprentissage et de calage de la boîte noire.

Dans ce type de modèles la validation est simple et directe. Elle a lieu au delà de la phase d'apprentissage, lorsqu'on présente à la boîte noire un jeu de nouvelles entrées. La validation est considérée comme réalisée lorsque la boîte noire reproduit correctement le jeu des sorties attendues.

- b) La mise au point de modèles sur les phénomènes non observables ne peut par définition pas résulter d'un calage ou d'un apprentissage. Le choix des paramètres est affaire de bonne connaissance théorique des processus en oeuvre. La validation consiste à utiliser le peu d'indices disponibles sur la réalité pour les comparer avec les résultats du modèle pour voir si ces indices et ces résultats sont compatibles. S'ils le sont, le modèle aura quelque vraisemblance et on peut estimer qu'il représente bien la réalité. S'ils ne le sont pas, des questions se poseront quant à la validité des indices et/ou de la construction théorique ayant présidé au modèle. Une telle démarche exige une grande rigueur critique.

D'autres auteurs tel Leviandier (1996) [53] considèrent que trop d'insistance sur la notion de validation peut être dangereux. Il faut s'interroger sur la signification de cette pratique. Une exigence trop forte interdirait la modélisation des phénomènes mal connus et ferait perdre l'apport que certains modèles peuvent donner à la compréhension de ces phénomènes.

Pour ce même auteur, le terme validation n'est pas très adéquat. Il partage l'idée de Oreskes et al (1994) [73] de lui associer le terme de "accréditation";

il considère que cette accréditation doit porter d'abord sur les objectifs qui ont poussé à construire le modèle. Ce qui ne signifie pas que si l'objectif du modèle n'a pas bien été accrédité on ne puisse pas s'en servir partiellement.

Bommel (1997a) [6] à propos de la validation, en particulier sur celle de modèles multi-agents, considère que juger un modèle sous ce seul angle conduit à une appréciation trop abrupte. On ne devrait ni accepter ni rejeter un modèle sur cette seule base.

Contrairement à la séquence classique des étapes de la modélisation [52] qui fait de la validation l'étape ultime Bommel suggère une autre démarche itérative (voir figure 2.1). Cette démarche met en œuvre un cycle d'évaluation et d'affinement successifs, faisant passer d'un simple outil de exploration d'hypothèses puis de compréhension à un outil de prédiction de plus en plus exact.

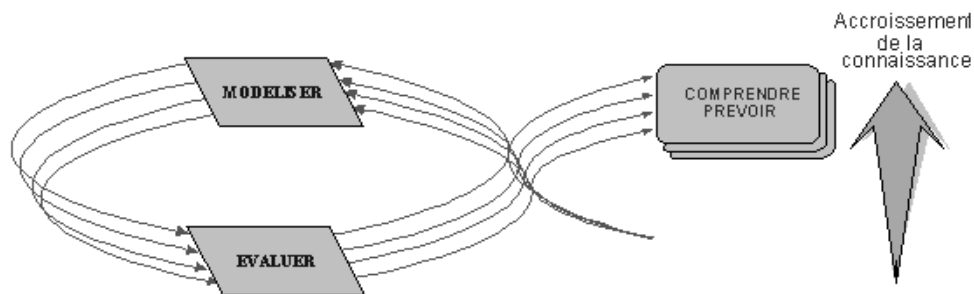


FIG. 2.1 - *Dynamique de la modélisation*

Finalement Bommel (1997b) [5] propose d'évaluer un modèle multi-agents et non pas de le valider, par l'intermédiaire d'une étude de sensibilité pour tester les capacités des agents à faire face aux variations de l'environnement. Mais cette évaluation ne doit jamais être considérée comme définitive.

2.3 Systèmes multi-agents et modélisation

2.3.1 Rappel sur les systèmes multi-agents

Les systèmes multi-agents (SMA), branche de l'informatique, sont issus de plusieurs courants de la recherche menée dans cette discipline. Ils sont en particulier au carrefour de l'intelligence artificielle, des Systèmes distribués, des langages objets et acteurs. Certains les rattachent au domaine général de l'Intelligence Artificielle Distribuée, domaine qui se divise en deux parties [68] :

La première partie, "résolution distribuée de problèmes", traite de la possibilité de diviser un problème particulier en plusieurs modules plus simples dont

l'assemblage des résultats constituera la solution.

La seconde partie, systèmes multi-agents proprement dit traite du comportement d'un ensemble d'agents autonomes, dont le but est de coopérer pour résoudre les problèmes qu'on leur présente. En poussant le trait, dans les SMA, les agents préexistent aux problèmes, comme tout un chacun d'entre nous !

Un agent est donc une entité informatique - un bout de programme - pour lequel on peut parler d'autonomie. Un système multi-agents est un ensemble d'agents fonctionnant simultanément et interagissant par envoi de messages.

Plus précisément, selon Ferber (1996) [27] un système multi-agents se compose de plusieurs entités : un environnement, un ensemble d'objets (agents "passifs"), un ensemble d'agents, un ensemble de relations entre ces entités et un ensemble d'opérateurs de transformation. Une caractéristique importante de ces systèmes est que les interactions entre ses composants prennent la forme de communications intentionnelles et que leur structure générale est similaire à celle existant dans les organisations sociales.

Un élément important des SMA, qui concerne particulièrement notre réflexion, est donc la coopération entre les agents dans la recherche de la solution d'un problème. Il est difficile de définir d'une façon générale un système coopératif. Mok (1994) [65] qui a essayé de le faire dans le cadre de systèmes basés sur des règles (coopérative rule based system) distingue deux cas : celui des systèmes homogènes, où tous les agents ont les mêmes règles d'action, et celui des systèmes hétérogènes où ils ont des règles différentes. Dans le premier cas, pour que la coopération ait lieu, chaque agent doit avoir une vision incomplète et particulière de l'environnement. Dans le second cas, la coopération peut avoir lieu même si les agents ont une vue complète et identique de l'environnement.

Les systèmes multi-agents ont plusieurs champs d'application, et pas seulement dans la résolution automatique de problèmes. Un des champs qui nous intéresse ici est leur application à la modélisation des phénomènes naturels et sociaux et leur simulation.

2.3.2 Les systèmes multi-agents et la modélisation

Les références les plus courantes lorsque l'on pense à des modèles concernent ceux basés sur des formalisations mathématiques -équations différentielles, matrices de transition et autres- qui partent d'un principe de cause à effet entre les données d'entrée et les données de sortie [60], [27].

Ces types de modèles très utilisés par exemple en physique et en chimie et qui ont montré leur utilité prédictive, présentent certains problèmes lors de leur construction et leur exploitation. Ces problèmes peuvent être résumés en quatre aspects : impénétrabilité du niveau d'analyse, complexité et réalisme des paramètres, difficulté à modéliser l'action et la carence qualitative [27].

Les SMA apportent des nouveaux moyens pour faire face à ces problèmes. Ils donnent la possibilité de représenter informatiquement les entités d'analyse

distinguées dans la partie du monde réel qu'on cherche à modéliser, leurs comportements, leurs interactions, ainsi que l'environnement dans lequel elles évoluent. Cette modélisation informatique associe à chaque entité d'analyse du monde réel un agent informatique (pour un acteur humain) ou un objet informatique pour d'autres entités, à chaque comportement un programme attaché à cet agent, à chaque interaction, l'émission d'un message par un agent et sa réception par un autre agent. Par exemple, si nous cherchons à représenter l'échange d'information entre plusieurs individus d'une société, on représentera chacun de ces individus par un agent informatique qui sera capable d'envoyer, recevoir et décoder des messages informatiques envoyés par les autres agents.

Un grand intérêt de ce type de modélisation est la possibilité qu'elle donne de pouvoir prendre en compte des aspects quantitatifs, comme dans la plupart des autres types modèles, mais aussi des comportements exprimés dans des termes qualitatifs comme par exemple des règles de tactique ou de stratégies appliquées par des individus faisant face à des événements répertoriés.

La modification d'un modèle SMA est plus naturelle que celle d'un modèle classique, à cause principalement de l'autonomie des agents et des objets : on peut facilement supprimer ou ajouter un agent, modifier ses règles de comportement.

Finalement c'est grâce à toutes ces caractéristiques que les SMA permettent d'étudier des systèmes complexes pour lesquels des structures globales émergent des interactions entre entités de plus bas niveaux [27]. C'est une façon de faire face au changement d'échelle, problème majeur dans les modèles comme le signale Bourgeat 96 [9].

Pour poursuivre nous présentons brièvement quelques exemples de modèles multi-agents pour illustrer leurs champs d'application :

- a) Un modèle multi-agent qui cherche à représenter la dynamique d'un milieu isolé et qui a comme objectif principal de comprendre son fonctionnement est le modèle de dynamique de peuplement forestier réalisé par Moravie (1995) [67]. Il s'agit d'une représentation simplifiée d'une forêt de l'Inde, qui permet de retrouver les caractéristiques d'accroissement moyen des arbres, les distributions de classes de diamètre et la surface. Le modèle fait évoluer la forêt en prenant en compte les interactions entre des arbres d'espèces différents, interactions qui comme on peut l'imaginer, font intervenir plusieurs facteurs.
- b) Le modèle SIMDELTA [11], représente une partie de l'activité de pêche dans le fleuve du delta de Niger au Mali. Il fait intervenir principalement trois types d'agents : des agents pêcheurs, des agents poissons, des biotopes qui représentent ici des portions de l'environnement. Le modèle étudie les interactions existantes entre ces groupes d'agents. Il s'agit de modéliser des aspects quantitatifs comme l'évolution des crues par exemple, mais aussi des aspects qualitatifs, comme les techniques de pêche [27].

- c) La représentation du comportement humain ou social n'est pas la forme de modélisation la plus répandue; cela est probablement dû à l'écart existant entre les sciences sociales, les mathématiques et l'informatique; les modèles multi-agents, dans ce domaine, essaient de représenter une partie du comportement humain : par exemple des conversations ou échanges d'information faits dans des contextes précis, échange de biens, coordination autour d'une ressource.

Un exemple de ce type de modèle, qui s'inspire de la situation de la communauté de Pumani, est NEGOT [29]. Ce modèle multi-agent modélise les négociations entre familles d'agriculteurs visant à déterminer les terres à remettre en culture chaque année [81].

2.3.3 Place de notre travail

Nous avons choisi la simulation multi-agent pour modéliser les conversations entre familles de la communauté de Pumani visant l'établissement d'accords d'échange accès à la terre / main d'œuvre [82], [81].

Pour placer notre travail nous reprenons les différents axes décrits dans la section "Diversité et caractérisation des modèles" :

- Le domaine d'application de notre modèle se situe dans le champ de la socio-économie agricole. Il touche également le domaine de la communication.
- Il appréhende une dynamique celle du cycle de rotation des jachères collectives.
- L'espace couvert est le territoire de la communauté (environs 6700 hectares) la résolution spatiale est la partie du territoire remise en culture une année donnée; l'intervalle de temps étudié, les 13 ans du cycle de rotation; les résultats sont présentés chaque année.
- Deux niveaux d'analyse sont pris en compte : celui des familles et de leur comportement, celui du résultat des comportements à l'échelle du territoire.
- Le modèle est à la fois descriptif et explicatif. Descriptif parce que ses éléments constitutifs décrivent la réalité telle qu'on l'a vu sur le terrain ; par exemple chaque étape du protocole reflète les règles de conversation qui ont été relevés lors des entretiens. Explicatif parce qu'il cherche en effet à mettre certaines caractéristiques concrètes - utilisation des terres, importance quantitative des accords, etc, en rapport avec d'autres caractéristiques - structures démographiques, foncières et sociales, paramètres de comportements des familles d'agriculteurs -.

- Enfin il constitue un instrument d'exploration et d'expérimentation. L'idéal aurait été de réaliser ce travail au cours ou même au début du programme de recherche. Mais malheureusement il a été réalisé vers la fin d'un programme de recherche; un retour sur le terrain avec les questions que le modèle a permis de poser permettrait de valoriser encore plus le travail effectué.

Chapitre 3

La communication



1

Il n'est pas inutile, avant d'entreprendre une modélisation cherchant à représenter des discussions dans une communauté, de faire un rappel sur la notion de communication. La communication entre humains est un thème largement étudié. Selon Dortier [24], trois champs se sont dégagés depuis la fin du XIX siècle : la

1. Photographie de Claudine Doury/Vu présenté par Marc [59] dans le magazine de Sciences Humaines N° 16 du Mars/Avril 1997

communication de masse, la communication interpersonnelle et la linguistique. Dernièrement, on s'est intéressé à la transposition de ces théories de la communication au domaine de l'informatique et plus particulièrement à ce qu'on appelle l'intelligence artificielle distribuée.

Ce chapitre comporte deux volets. Dans le premier, nous exposerons quelques aspects de la communication dans les groupes humains. Dans le deuxième nous parlerons de la communication dans les systèmes multi-agents.

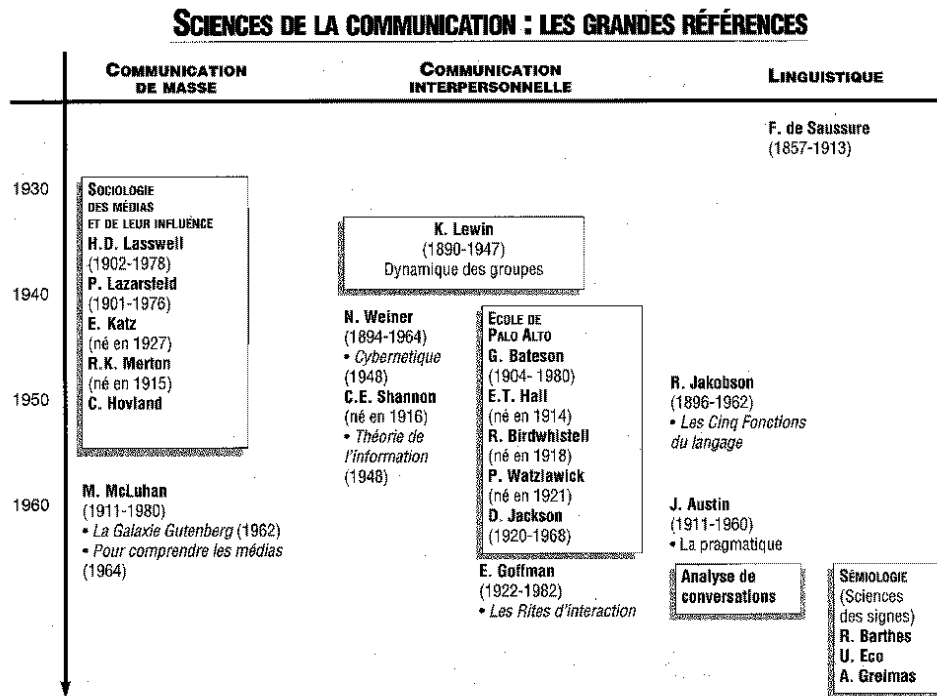
3.1 La communication dans les groupes humains

La communication chez l'homme est un vaste champ d'étude qui a intéressé une grande diversité de disciplines : sociologues, anthropologues, philosophes, linguistes, sémiologistes. La figure 3.1 proposée par Dortier (1997) [24] présente quelques références importantes dans l'histoire des sciences de la communication. Bougnoux (1997) [8] rappelle que la communication est omniprésente ; on la trouve par cercles concentriques tout autour de nous, dans nos demeures, avec le téléphone, la télévision, le livre entre autres. Elle est aussi présente à l'école, à l'entreprise, dans le monde politique. Elle existe dans le monde animal depuis ses origines. L'auteur décrit chacun de ces types de communication et termine par des considérations sur leur mondialisation et l'avenir d'une culture communicationnelle. Selon Rosnay (1995) [89] la révolution des technologies et outils de communication et d'information pourrait occasionner des mutations sociales dans le troisième millénaire et constituer "l'homme symbiotique".

3.1.1 Fonctions et complexité de la communication

Le terme de communication, comme le rappelle Pagès (1990) [78], a deux sens : le premier implique une connection entre deux points et le second, auquel nous nous intéressons, la définit comme la transmission réciproque des messages et de leurs significations. Le psychologue Rimé (1980) [84] propose un schéma du système de communication qu'avaient énoncé en 1949 Shannon et Weaver (figure 3.2). Ce schéma reprend tous les éléments énoncés dans la définition de Pagès.

Cette formalisation inspirée par la communication téléphonique, naît du besoin des psychologues de disposer d'un modèle théorique leur permettant de fonder leurs études scientifiques sur le langage et la communication humaine. Un message est produit dans une source et dirigé vers un destinataire. Mais il ne s'agit pas d'un transfert direct, comme dans l'utopie d'une communication de cerveau à cerveau : l'acheminement des messages passe par un support susceptible d'être bruité, le canal. Ces trois éléments, la source, le destinataire et le canal, constituent le contexte structural. Dans ce passage existent aussi des processus dynamiques : la préparation du message ou la mise en paroles d'une idée, dénommée codage dans le schéma ; le processus inverse à l'autre bout du canal,

FIG. 3.1 - *Références sur la communication*

ou décodage, par lequel le destinataire recouvre le message qui lui a été adressé.

Certaines disciplines acceptent cette définition simple et considèrent effectivement la communication comme un échange d'information entre individus par l'intermédiaire de messages [21], [27]. Ferber [27] mentionne que malgré la grande simplification faite dans le schéma de la figure 3.2 et le grand nombre de critiques qui lui ont été adressées, certains linguistes l'adoptent en signalant trois éléments importants : 1) la liaison émetteur - destinataire, 2) la nature du médium et 3) l'intention de communiquer.

D'autres disciplines reconnaissent davantage la complexité de la communication humaine. Elles pensent qu'en réalité l'échange d'information lors des conversations n'est qu'une partie minimale : car on communique aussi pour nouer des relations sociales, pour partager des émotions, pour confronter notre identité avec celle des autres [59]. La communication vise bien à faire passer un contenu (une information, un ordre, une requête, une opinion, des sentiments) mais elle vise aussi à établir une relation entre l'émetteur et le récepteur. Par exemple une opinion émise à propos du temps qu'il fait dehors, donné à un voisin inconnu dans un train, avance une proposition sur l'état du monde, mais il est clair qu'elle

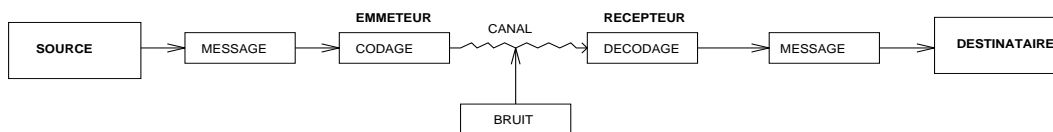


FIG. 3.2 - Schéma de communication selon Shannon

cherche aussi à établir une conversation.

Marc (1997) [59] traite de la place des intervenants dans une conversation. Ces intervenants ont une place déterminée. Cette place peut être donnée avant le dialogue : par exemple dans la relation maître/élève, client/vendeur, parent/enfant, patron/employé ou encore, pour prendre un exemple lié à notre contexte, propriétaire foncier/travailleur. Mais parfois la place des protagonistes est établie dans les premiers pas du dialogue en tenant compte de plusieurs données : la symétrie ou l'asymétrie des situations (exemple relation homme/femme), le degré de parenté et le degré de convergence ou divergence entre les protagonistes, etc.

Toujours à propos de la place des intervenants dans une conversation, certains auteurs considèrent que les conversations sont encadrées par des règles préétablies mais variables selon l'interlocuteur et la situation. Chaque conversation implique en fait une série de négociations à propos de la prise de parole, du choix des thèmes et de la relation interpersonnelle, entre autres [45].

Considérant toute la complexité de la communication humaine, l'anthropologue Winkin (1997) [105] fait remarquer que la richesse de la communication ne réside pas seulement dans les paroles : il existe aussi une série de gestes, de postures, de façons d'occuper l'espace qui, loin de nuire aux messages, nous permettent de mettre l'accent sur leur contenu.

Pour le philosophe Austin la communication a un aspect "pragmatique" : il postule que la parole est un instrument d'action sur autrui [24], postulat qui est développé dans son ouvrage posthume *How to do things with words* (Quand dire, c'est faire). Ces idées ont eu un impact très important chez les linguistes des années soixante. Austin part de la différenciation des énonciations constatives et performatives. Les premières sont considérées simplement informatives : elles capturent un état du monde; les deuxièmes, par contre, ont une dimension active et elles changent l'état du monde [7] [92]. Cette différenciation qui résume une classification beaucoup plus détaillée est effectivement intéressante mais elle laisse des zones d'ombre : il y a des aspects difficilement pris en compte comme la sincérité de l'émetteur. Un autre problème est la détermination des limites précises des différentes catégories permettant de classer les énoncés.

Parmi les apports aux sciences de la communication on ne peut pas laisser de côté les études et analyses qui sortent de l'école de *Palo Alto*². Retenons en ici

deux idées :

- a) L'idée du double lien qui, selon Gregory Bateson, caractérise la communication paradoxale, c'est-à-dire l'émission de messages contradictoires (par exemple lorsqu'un individu dit à un autre : "soit spontané!").
- b) L'idée de Paul Watsiawick de l'impossibilité de ne pas communiquer, le refus de communiquer étant en soi un message.

3.1.2 Réseaux de relations

La communication interpersonnelle se coule dans des limites établies à l'intérieur de réseaux de relations dont nous allons maintenant parler.

Les réseaux des relations entre individus ont beaucoup retenu l'attention des sociologues et des psycho-sociologues : les premières tentatives remontent aux réflexions de J.L. Moreno, cité par Maisonneuve (1990) [58], qui a fondé la sociométrie. Celle-ci tente d'analyser les relations interpersonnelles quant à leur qualité, leur topologie et leur densité.

La sociométrie cherche à mesurer l'être social, à étudier les liens psychologiques qui se forment à l'intérieur des collectivités, à l'aide d'outils de type mathématique ; le sociologue et psychiatre Moreno considère que les unités sociales sont des systèmes d'attraction et de répulsion mutuelles. Sa formation de psychiatre le conduit à donner aux phénomènes affectifs un rôle principal dans les relations humaines. Un des outils de la sociométrie est le sociogramme qui permet de représenter visuellement les attractions et les répulsions concernant un individu donné. Un exemple est dans la figure 3.3 (sociogramme de la roue [58]).

Ce sociogramme représente l'individu "A" qui est peu populaire car il ne fait l'objet que d'un seul choix, celui de l'individu "B" ; il est par contre très demandeur car il porte son choix vers quatre individus "B, D, G et H". Le sociogramme nous montre un réseau très restreint pour "A", constitué uniquement par lui-même et l'individu "B".

Il existe aussi des sociogrammes collectifs comme celui que nous présentons dans la figure 3.4.

Ce sociogramme a été réalisé par la méthode de Northway; il est aussi connu comme "sociogramme de la cible". Il représente un groupe d'individus repartis en deux catégories. Les petits cercles noirs sont des individus de l'une des catégories et les carrés noirs sont des individus de l'autre catégorie. Les relations réciproques sont représentées par des lignes reliant les individus. Les cercles concentriques correspondent à des zones regroupant des individus de moins en moins connectés du centre vers la périphérie, la zone IV accueillant les isolés. Ce type de graphe

2. Nom d'une petite ville californienne où ont été menées plusieurs études sur la communication interpersonnelle.

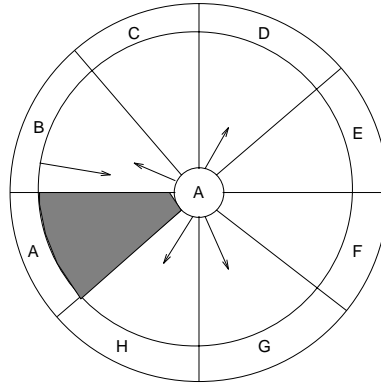


FIG. 3.3 - *Exemple de sociogramme individuel*

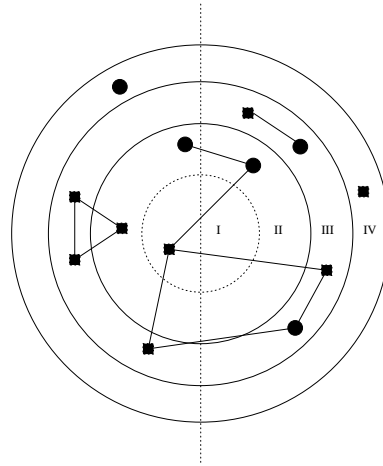
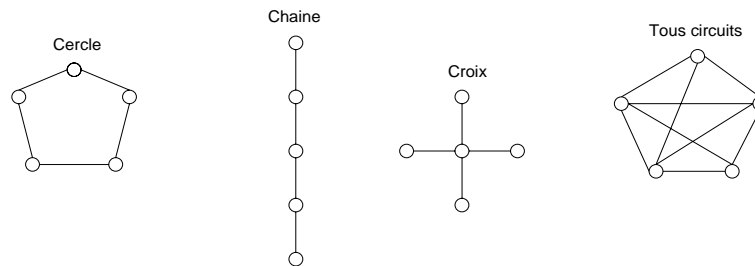
est construit à partir des réponses à une question sur les relations entretenues par chaque individu ; par exemple, dans notre contexte, on pourrait demander à chaque agriculteur "avec quelles personnes avez-vous établi un accord?".

D'après les psycho-sociologues [57], tout réseau de communication est la composition de cinq types élémentaires : le cercle, la chaîne, l'étoile et le graphe complet (voir figure 3.5). Ces types sont des modèles constituant les structures des réseaux les plus courants. Il est possible d'étudier, entre autres, leurs effets sur le développement des organisations. Des expériences réalisées à ce sujet révèlent que le réseau en étoile conduit rapidement à la constitution d'organisations stables alors que le réseau en cercle y parvient beaucoup plus lentement [57].

3.2 La communication dans les systèmes multi-agents

La communication entre les agents d'un système multi-agents est essentielle à son fonctionnement. Tout agent est censé communiquer pour faire partie active du système. Un agent sans communication est un individu isolé, sourd et muet [27]. La communication entre agents s'effectue en général à travers des messages qu'on peut voir, en première approximation, comme des requêtes, similaires à des appels de procédures [26]. Les agents répondent à ces requêtes en fonction de règles définies, soit positivement en exécutant la requête soit en l'ignorant. La réalisation de l'action demandée dans le message dépend donc de son receveur.

Ce schéma est déjà en oeuvre dans la programmation orientée objet (POO)³. La notion d'agent introduit l'asynchronisation des messages (traitements différés), l'examen de leur priorité (il ne sont pas nécessairement traités dans leur ordre d'arrivée) et, d'une façon plus large, une complexification des échanges (variétés des types de messages, existence de protocoles de communication élaborés...).

FIG. 3.4 - *Exemple de sociogramme collectif*FIG. 3.5 - *Réseaux types*

Des métaphores sociales (notion de messages intentionnels, procédures d'appel d'offre, etc.) rendent bien compte de cette sophistication de la communication chez les agents.

Chez les agents informatiques la fonction de la communication est clairement définie. Ils communiquent pour coopérer, de façon plus ou moins conflictuelle, dans la recherche de la solution à des problèmes individuels ou collectifs. En particulier ils communiquent pour se répartir les tâches nécessaires. D'autres fonctions pourraient être recherchées, reliées moins directement à la solution de problèmes : par exemple nouer des relations, partager des émotions, partager des sentiments. De telles fonctions sont loin d'être formalisées en Intelligence Artificielle Distribuée.

A propos de l'analogie entre la communication humaine et celle existante dans les SMA, il est utile de rappeler que les agents sont des entités informatiques, des codes de programmes et qu'il convient de garder une distance prudente avec les

acteurs réels qu'ils représentent dans les simulateurs. Cependant les communications dans un SMA peuvent servir de modèles formalisés des communications dans une communauté humaine lorsqu'on délimite bien les hypothèses que l'on veut tester.

Les communications entre agents informatiques respectent une organisation ou structure de communication qui fixe qui peut communiquer avec qui et avec quel type de message. Cette structure peut être plus ou moins hiérarchique depuis une arborescence stricte jusqu'aux structures de type forum de discussions proposées par Maruichi (1990) [61] avec son concept d'environnement de communication. La notion de communication est très importante puisqu'elle détermine, à chaque instant, la possibilité de communication dans la dynamique du système.

3.2.1 Organisation des systèmes multi-agents

D'après Moulin (1996) [68] l'organisation dans les SMA ne doit pas être conçue comme une structure qui règle, de l'extérieur, les relations à l'intérieur d'un groupe d'agents et les limitations qui en découlent. Il est important de voir le concept d'organisation comme quelque chose qui est immergé dans les croyances, les intentions et les engagements des agents eux mêmes. L'organisation dans les SMA comprend l'ensemble des engagements mutuels, des engagements globaux, des croyances des intentions des agents qui collaborent pour arriver à un objectif final. L'intervention du programmeur consiste à définir les règles qui président à l'évolution de cet ensemble.

L'organisation en IAD modélise donc le contrôle des interactions entre les entités individuelles (Gasser (1992) cité par Jennings (1996) [44]). Un tel modèle doit être capable de prendre en compte la dynamique des systèmes réels que les SMA représentent [46]. Ce modèle intervient dans toutes sortes d'interactions entre entités, par exemple synchronisation, transmission de l'information, délégation de tâches, prises d'engagements et autres. Il ne s'arrête pas à la structure du réseau des interactions (Ferber [27] parle de structure organisationnelle); il donne aussi des normes pour leur déroulement (Ferber [27] parle d'organisation concrète). Enfin l'organisation se voit souvent attribuer une fonction qui est d'assurer une solidité, une durabilité du système face aux perturbations venant de l'extérieur.

Les organisations hiérarchiques sont souvent utilisées pour représenter différents niveaux d'échelle ou "niveaux d'organisation", chaque niveau hiérarchique correspondant alors à un niveau "d'organisation" (voir figure 3.6). On parle alors de changement d'échelle mais en réalité il ne s'agit pas d'un vrai changement puisque tous les niveaux d'organisation sont déclarés au départ. La capacité pour des agents de se rassembler dynamiquement pour former des agents de niveau

3. Le POO est un type de langage de programmation qui permet la déclaration et la manipulation des agents dans un système multi-agents [55], [97], [26], [20], [3].

supérieur fait actuellement l'objet de recherches [93].

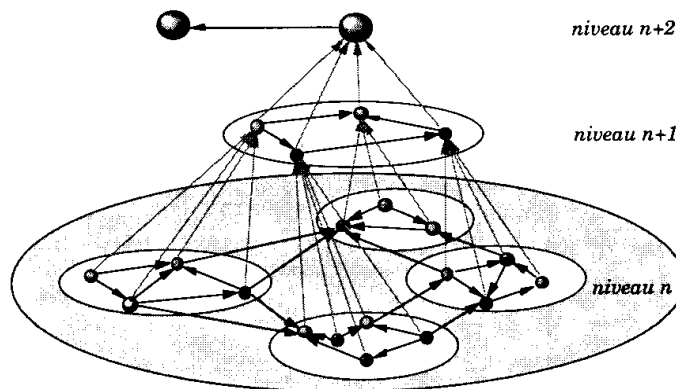


FIG. 3.6 - Niveaux hiérarchiques, niveaux d'échelle et niveaux d'organisation [27]

3.2.2 Protocoles de communication

Les actes de langage en IAD

La communication et les protocoles de communication dans les SMA s'inspirent largement de la théorie des actes de langage [15], [83], [48], [12]. Face à la complexité de la communication humaine, décrite dans la section précédente, cette théorie, comme le dit Brassac (1996) [12], est réductrice et parfois erronée mais, dans un environnement SMA, elle permet une formalisation correcte des conversations entre agents.

De la même manière qu'un individu use de la parole, un agent informatique, lorsqu'il envoie un message, effectue une action qui s'exerce sur le destinataire. Un tel message a donc deux composantes :

- Une force d'élocution, qui exprime le contenu intentionnel du message, le type d'action que le locuteur veut voir réalisée chez le destinataire (prendre en compte un fait, répondre à une question, etc.).
- Le contenu propositionnel.

On peut retenir avec Populaire [83] la schématisation suivante :

acte de langage = force d'élocution + contenu propositionnel

Que l'action effectivement réalisée sur le destinataire (composante perlocutoire du message) corresponde à l'action voulue par le locuteur est un autre problème. Tout dépend de la capacité des destinataires à savoir comprendre, interpréter, déchiffrer la signification et l'intention des messages. C'est précisément le problème réglé en partie par la notion de protocole.

Protocoles

Les protocoles dans les systèmes multi-agents servent à encadrer la communication entre les agents. Ils donnent une structure et contrôlent les échanges d'information en minimisant le temps de communication et le nombre de messages. Ce sont des normes de comportement réglant les conversations, intériorisées dans chaque agent [83]. Le protocole régit toutes les étapes d'émission et de réception de messages depuis le début d'une conversation jusqu'à sa fin.

Un protocole reflète le problème auquel doit faire face une collectivité d'agents car il organise globalement la collaboration entre ces agents. A chaque problématique correspond donc un protocole spécifique. Ainsi Smith (1980) [95] propose son protocole d'établissement de contrats (*the Contract Net Protocole*), Sian (1991) [94] propose un protocole d'interactions pour la discussion et l'adoption d'hypothèses (figure 3.7), Chang (1992) [15] propose un protocole pour les négociations et Populaire (1993) [83] mentionne des protocoles pour la gestion de tâches, pour l'apprentissage coopératif et pour l'incorporation de nouveaux agents dans un système.

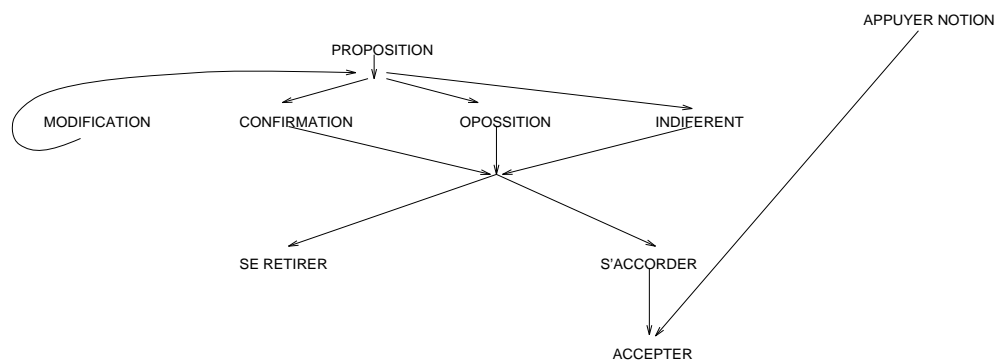


FIG. 3.7 - *Protocole d'interaction de Sian*

A titre d'exemple le protocole de Sian décrit dans la figure 3.7 se déroule en trois phases : la génération d'une hypothèse, la coopération entre agents afin de se mettre d'accord sur cette hypothèse et l'intégration de l'accord final [83].

Le risque d'une grande prolifération de protocoles et le risque de redondance ont attiré l'attention de certains auteurs. Ces derniers ont cherché à établir des protocoles génériques permettant aux agents d'échanger des messages dans différentes problématiques. Certains ont pensé intégrer dans un SMA une bibliothèque de protocoles. Cette bibliothèque serait consultée par les agents qui pourraient alors choisir le protocole le plus adéquat en fonction du type de problème à traiter. La constitution d'une telle bibliothèque et sa consultation se feraient par l'intermédiaire d'un système de gestion des protocoles [83].

Dans la même voie, Vreeswijk (1995) [102] et White (1996) [103] sont arrivés, séparément, à établir des bases solides pour la construction d'un protocole ouvert ("*Open Protocol*"). Ils considèrent qu'un protocole ouvert peut être vu comme un ensemble de règles permettant aux agents de définir ou d'ajuster le protocole effectif qui va être utilisé. Autrement dit de discuter préalablement de ce protocole avant d'entamer la conversation proprement dite.

3.2.3 Structure des messages

L'échange de messages entre agents informatiques se base principalement sur le schéma de Shannon [88], [24], [105] déjà décrit. Un émetteur A envoie un message X à un récepteur B, grâce au support Y. Le support Y correspond à un mécanisme d'acheminement des messages défini par le programmeur. Ce peut être un système de boîtes à lettres personnelles [61], [29], un système de tableau noir [47] ou d'autres systèmes hybrides.

Un message dans un système multi-agents ne se réduit pas dans la plupart des cas à un appel de fonction. Il exige une interprétation de la part de l'agent destinataire. Maruichi (1990) [61] fait de cette capacité d'interprétation un des critères de différenciation entre objet et agent.

Nous parlons ici des messages ayant besoin d'être interprétés et donc échangés entre agents uniquement. La structure de ces messages peut être très variée selon le type d'interaction traitée. Des formes générales ont cependant été proposées comme celle indiquée ci-dessous décrite par Franchesquin [29] en s'inspirant de Y.Demazeau (voir tableau 3.1:

Dans ce schéma, tout message possède une identification, indique son acheminement, spécifie l'intention de l'émetteur, énonce un contenu et indique le protocole et l'étape qui va contrôler la réponse du destinataire. La structure détaillée du contenu, elle, dépend de l'application. Elle peut être plus ou moins complexe. D'autres auteurs ont été plus loin dans la description de la structure des messages, en spécifiant le langage relatif au contenu. Ce langage dépend bien sur des problèmes à résoudre. Par exemple, dans le protocole d'établissement de contrats ou d'appel d'offre déjà cité (*The Contract Net Protocol*), ce langage permettra d'indiquer la tâche à réaliser, mais aussi les conditions d'éligibilité, les délais de réponse, les conditions particulières de réalisation.

numero de conversation	.....l	
numero de message	.....l	identification du message
émetteur	.....l	
destinataire	.....l	routage
autres interlocuteurs	.....l	
force	.....l	
type	.....l	intentions, attentes de l'émetteur
contenu	.....	spécifique à l'application
identification et état du protocole	.....	pour le destinataire

TAB. 3.1 - *Structure général d'un message*

La recherche sur les protocoles de communication aboutit à charger les messages de méta-informations englobant le contenu propositionnel. Par exemple, comme ci-dessus, les messages incluent le type de protocole qui doit être utilisé [12]. Kuwabara (1995) [49] propose un langage comportant une entête de message sophistiquée. Cette entête sert de base à un filtrage par les "patterns" de message du destinataire, filtrage qui détermine le rejet ou l'acceptation du message, et, dans ce dernier cas, son traitement.

3.2.4 Réseaux de communication

Lors de la conception d'un système multi-agents on peut penser à une communication sans limites ou, comme la nomme Lewin (1997) [54] une communication "tous circuits". C'est-à-dire que tous peuvent s'adresser à tous sans aucune restriction. Mais, en particulier lorsqu'il s'agit de simuler une forme de communication dans un groupe humain, il est souvent nécessaire de pouvoir représenter des structures plus complexes.

Comme exemple on peut citer Maruichi (1990) [61]. Cet auteur imagine qu'à l'intérieur d'un SMA il existe plusieurs thèmes autour desquels se forment différents groupes d'intérêts. C'est dans ces groupes que les agents s'intègrent et peuvent communiquer librement.

Sichman et al. (1994) proposent un mécanisme qui donne aux agents la possibilité de se représenter les autres avec leur buts, plans, actions et ressources. Chaque agent conserve cette information dans une structure appelée "description externe". C'est sur la base de cette représentation que l'agent sélectionne

ses interlocuteurs. Autrement dit chaque agent n'a pas besoin d'échanger avec tout le monde pour prendre ses décisions et une part de la communication peut être implicite. Cette approche permet l'arrivée de nouveaux agents et le départ d'autres au cours de l'évolution du système. Le réseau de communication effectif rendant compte de la coordination entre agents varie au cours du temps.

Comme nous le verrons plus loin, dans notre système, chaque agent a effectivement une représentation des autres mais le contenu de cette représentation est réduit et, par conséquent, les informations essentielles à l'établissement des accords sont transmises dans les messages.

Chapitre 4

Les accords de réciprocité dans les Andes

Sous le terme d'accords de réciprocité, nous nous intéressons ici à l'ensemble des relations entre habitants ruraux conduisant à des échanges faisant intervenir ressources, biens ou services, sans que l'aspect monétaire soit prépondérant. Dans ces accords, la réciprocité est un engagement moral qui oblige les contractants à rétribuer ultérieurement les bénéfices dont ils ont profité dans une période de besoin [1], [91], [98].

Le choix d'une telle expression appelle quelques développements. Les arrangements dont il est question ici sont connus sous diverses désignations, Escamilo [25] les nomme par exemple échanges, Albó [2] les appelle indifféremment aides ou réciprocités.

Selon la définition de Meillassoux (Encyclopédia Universalis) [63], le terme d' "échange" s'applique à tout mouvement d'intention réciproque entre deux parties. En économie, selon la même sources, on appelle "échanges" les différents modes de transferts de biens et de services exécutés en contrepartie et en équivalence les uns des autres. Le thème des échanges fait partie en réalité du thème plus général de la circulation des biens et des services dans les sociétés humaines. Parmi toutes les formes que prend cette circulation, l'échange est parfois réduit à l'échange économique sous sa forme moderne, i.e. l'échange "généralisé" ou marchand. Dans ce type d'échange, les rapports interpersonnels ou sociaux préexistants chez les acteurs ne jouent plus qu'un rôle secondaire, ces derniers cherchant à se poser dans l'acte d'échange comme "étrangers les uns aux autres" [63]. Il semble que dans l'histoire de l'humanité cette forme d'échange est loin d'avoir toujours été la norme, et qu'au contraire la circulation des biens et des services s'est souvent structurée sur le statut social des acteurs, dans un système complexe de prestations et de redistributions interpersonnelles. Un aspect qui, précisément, a attiré notre attention est que de tels systèmes de prestations/redistributions aient pu accompagner le développement d'organisations politiques puissantes et centralisées, telles celles de l'Égypte pharaonique et celles de l'Empire Inca, ce

qui nous rapproche de notre sujet d'étude.

De fait, les échanges dans les sociétés humaines ont fait objet d'une abondante littérature anthropologique et sociale, illustrant plusieurs approches dont nous ne citerons ici que deux exemples :

- Certains se sont penchés sur les aspects cognitifs. Ainsi Cosmides *et al.* [17], dans leur recherche sur l'adaptation de nos capacités cognitives à l'échange, indiquent que nos ancêtres sont membres de groupes sociaux et qu'ils se sont engagés dans des interactions sociales depuis des millions d'années. Les auteurs mentionnent qu'en conséquence Les échanges sociaux sont à la fois très anciens et universels, présents dans toutes les cultures humaines - y compris celles qui vivent de la chasse et de la cueillette- (Cashan, 1989; Lee et De Vore, 1968; Sharp, 1952; Wiessner, 1982).

Pour Cosmides *et al.* donc, la coopération, les accords de solidarité et la réciprocité entrent dans le cadre d'une théorie évolutionniste des échanges sociaux. Ils affirment que les échanges sociaux sont tellement ancrés dans l'esprit humain et depuis si longtemps que par nature nous sommes devenus très performants pour juger de l'équité ou de la non équité d'un échange, plus performants que pour analyser d'autres situations. Ceci provient probablement du fait qu'un échange social en soi est plus intéressant ou vital pour les personnes concernées que peut l'être la résolution d'autres types de problèmes.

- D'autres auteurs ont tenté d'établir une classification des types d'échanges, du point de vue de la structure de la vie sociale qu'ils entraînent ou sous tendent. Ainsi selon [77] l'ensemble des relations humaines se ramène à quatre grands modèles relationnels : le modèle de partage communautaire (Communal Sharing), le modèle hiérarchique (Authority Ranking), le modèle paritaire (Equality Matching) et le modèle du marché (Market Pricing). Ces quatre modèles se développent sur plusieurs axes dont nous citons ici ceux qui sont les plus en rapport avec notre sujet : l'axe des échanges proprement dit (Reciprocal exchange), l'axe de la répartition des ressources et des biens (Distribution), l'axe de la contribution -ce qu'apporte chacun à la communauté - (Contribution), l'axe des rapports aux choses (objets) et à la terre (Meanings of things and Orientations to land). D'après cette classification, notre travail traite plutôt des échanges dans un système qui n'est plus celui du partage communautaire sans être encore celui du marché, et qui serait assez proche du modèle paritaire. Bien entendu il ne s'agit là que de grands points de repère, la réalité étant toujours composite et en évolution.

Pour résumer, nous pensons que d'une manière générale les groupes humains sont passés par une période dans laquelle la façon la plus courante de se procurer leurs aliments ou de diversifier leur nourriture était le troc, sans que ce type

d'accord soit sans doute le seul. Après cette période, le troc cède partiellement sa place à des arrangements complexes dans lesquels le statut des personnes joue encore un rôle important. Viennent enfin les arrangements impersonnels conclus avec l'intervention de l'argent comme paramètre d'échange, comme l'indiquent Temple (1989) et Rostoworowsky (1988), cités par D. Torrico [98]. Nous pensons aussi que toutes ces formes peuvent coexister au même moment dans une même communauté.

De fait, les accords de réciprocité sont pratiqués encore de nos jours avec une certaine intensité dans les familles des communautés rurales des Andes. Ils recouvrent un champ beaucoup plus large que les seuls contrats de métayage [98] et sont en fait très diversifiés. Par ailleurs il semble qu'ils soient loin d'être en voie de disparition. Certains pensent, au contraire, qu'ils gagnent en vigueur alors que la société moderne est en conflit permanent dans la recherche de nouveaux modèles relationnels. Ainsi Torrico [98] affirme-t-il que pour établir des modèles (à propos des modèles économiques), nous devrions apprendre plus à fond la réciprocité et la redistribution andine" [98].

Nous allons dans ce chapitre décrire la diversité de ces formes d'arrangements, tenter une première classification et finalement évoquer le rôle que ces accords de réciprocité peuvent avoir dans une communauté andine.

4.1 Diversité des accords de réciprocité

Les accords de réciprocité dans les communautés andines relèvent d'une pratique très ancienne, antérieure à l'Empire inca : on le retrouve déjà dans les cultures Aymara et Quechua. Ces arrangements ont des dénominations dans ces deux langues. Afin de donner une idée de la diversité de ces pratiques, on en énumère ici quelques unes ([1], [23], [76]). Il faut signaler que le sens de ces termes en Aymara est beaucoup plus large et riche que leur seule traduction littérale et qu'il est d'ailleurs parfois difficile de distinguer les nuances séparant ces termes : *al partir* (échange de terre contre du travail), *ayni* (échange qui exige une rémunération du même genre), *phayna* ("faena", travail collectif journalier), *jayma* (aller travailler les terrains des autorités), *umaraca* (boire, travail agricole collectif et rotatif), *achucalla* (cérémonie de pose de la toiture d'une maison), *wayka* (accord entre plusieurs agriculteurs pour travailler les terres d'un autre agriculteur), *uñaaqa* (avertir, surveillance des terres ou animaux en absence du propriétaire), *uñasi* (travail pour aider les autorités), *mit'a* (temps, service de la communauté au groupe, transformé par les non ay-maras en service mal rémunéré), *yanapa* (s'aider, aide entre familles très proches),

chari (échange de travail contre aliments pour cuisiner),
mink'a (aide rémunérée immédiatement sous forme de différents produits),
sataqa (échanges inégaux afin de permettre un accès à la terre aux plus pauvres),
waki (échange de la terre contre travail en conditions d'inégalité),
kala (au plus juste, troc singulier des terres gérées de manière collective-*aynuqa*).

4.2 Une classification préliminaire

Vue la grande diversité de ces pratiques, une classification préliminaire est nécessaire. Nous proposons qu'elle prenne en compte les participants, la finalité, la forme de rétribution et la durée de ces arrangements.

1. Travaux communautaires (*phayna, jayma, umaraca, uñasi, mit'a*). Dans ce type d'arrangement participent plusieurs familles et parfois toute la communauté. La finalité est la construction ou l'entretien de bâtiments ou d'infrastructures utiles à tous. La rétribution est dans ce cas l'usufruit collectif des biens communs. Ce sont des chantiers de courte durée mais établis fréquemment, qui aboutissent à un accord de réciprocité généralisé à l'échelle de la communauté.
2. Prestations de services (*mink'a, wayka, engagement de journaliers*). Nous avons inclus dans ce groupe les arrangements établis entre individus ou familles dont le but principal est de compléter les déficits occasionnels de main d'oeuvre. Ces arrangements se terminent après la rétribution du ou des travailleurs, elle même effectuée après le service rendu. Il n'existe aucune autre relation d'obligation postérieure. Ces accords sont de très courte durée, généralement journalière.
3. Engagements entre deux familles (*ayni, uñaq, yanapa, chari, sataqa, waki, kala, al partir*), prise en charge d'animaux, prêt d'outils. Dans ce groupe nous avons inclus tous les arrangements établis entre deux individus, deux familles ou une combinaison des deux qui engagent une réciprocité. La finalité peut être de combler les manques de ressources pour la production agricole ou pour la survie de la famille. La rétribution consiste alors en un compromis moral de rendre le bien ou service prêté, soit immédiatement, soit en différé, soit sous la même forme soit sous des formes très diverses. La durée de ces accords est très variée, de l'ordre du jour jusqu'à des périodes de 3 ans.

Comme on peut le voir, les ressources qui interviennent dans ce type de réciprocité sont de nature très diverse, depuis la terre (principal patrimoine du paysan), jusqu'au prêt de quelques kilogrammes de laine nécessaires pour la confection de vêtements personnels.

Nous nous limiterons, dans cette recherche, à un type d'engagement entre deux familles : les accords *"al partir"* qui sont des échanges d'un accès de terre contre du travail. Nous y reviendrons plus en détail dans le prochain chapitre.

4.3 Rôle des accords de réciprocité

Il n'est pas simple de définir avec précision et clarté quelle est la fonction des accords de réciprocité, d'une part à cause de leur grande diversité, mais surtout parce qu'ils n'ont pas une fonction unique; le rôle principal peut cacher d'autres fonctions non moins importantes.

En faisant une revue de la bibliographie sur ce type d'accords dans les Andes, nous voyons qu'elle suggère d'analyser les accords sous trois angles principaux : un angle d'utilisation des ressources [28] qui se prolonge sur une analyse économique [32], un angle de redistribution des ressources [1] et un angle d'intégration sociale [98]. Nous allons décrire brièvement ces aspects :

1. Pour Fernandez [28] la principale fonction des accords de réciprocité, entre autres, est de permettre aux agriculteurs andins de combler les déficits de ressources impliquées dans les activités de production agricole et d'élevage.

Gonzales [32] ajoute, que dans un contexte andin, on peut considérer que les décisions de production recherchent une maximisation du produit moyen plutôt que du produit marginal, par unité de ressource. La figure 4.1 illustre ce cas.

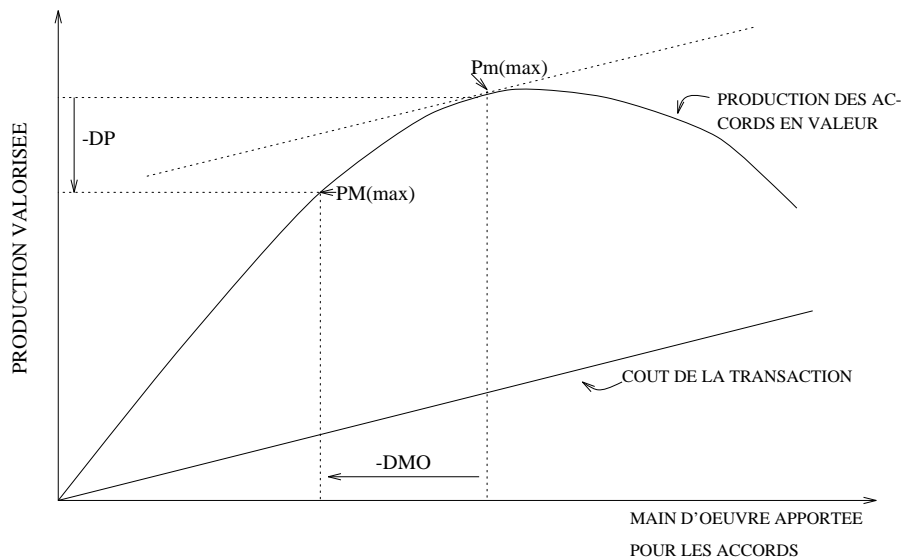


FIG. 4.1 - Schéma de l'analyse économique

Dans cette figure, la courbe de type Cobb-Douglas ([13], [96], [43]) représente l'évolution de la production apportée par les accords, elle est exprimée en valeur. Il est sûr que s'on pouvait imaginer l'existence d'un patron qui surveillerait l'ensemble des accords il chercherait à atteindre le point de la courbe où le produit marginal est le maximum $P_m(\max)$. Mais du point de vue des familles elles ont intérêt d'arrêter la production là où le produit moyen est maximum $[PM(\max)]$ à ce point de la courbe la production diminue (-DP) mais la pénibilité du travail aussi (-DMO) sans compromettre la survie des accords car on est toujours à la recherche d'un maximum.

L'approche proposée par Gonzales est claire, mais cela n'est pas suffisant pour étudier ces échanges car leur particularité ne réside pas là. Il faudrait en effet, pour que cette considération soit valable, que le terme de production valorisée exprime la transformation en valeur de l'ensemble des objectifs recherchés par les accords de réciprocité et que PM soit la courbe enveloppe qui globalise le produit moyen de tous les agriculteurs.

Il semble difficile de définir un bénéfice de ce genre, du fait de l'hétérogénéité des accords de réciprocité et de la valeur non monétaire qu'ils incluent. Comment mesurer et valoriser en termes monétaires le bénéfice qui représente pour les familles d'une communauté l'enrichissement des relations sociales inter-familiales? . D'autre part pour estimer un produit moyen global il faudrait faire l'inventaire de tous les biens échangés dans les accords de réciprocité, puis identifier les équivalences des quantités échangées et enfin attribuer à l'ensemble une valeur.

2. Suite à la réflexion sur l'analyse économique des accords, l'idée d'une redistribution de ressource semble pouvoir compléter l'explication sur le rôle des accords.

Albó [1] souligne ainsi l'importance de différencier les accords de réciprocité des contrats, car le contexte dans lequel se réalisent les premiers est celui d'une "mise en commun ou communisme". Dans les communautés aymaras il existerait selon cet auteur un principe de redistribution des ressources disponibles qui ne serait pas nécessairement d'optimiser l'usage du point de vue de la rentabilité, mais plutôt dans certains cas, d'aider les plus pauvres et ceux qui sont dans le besoin. Albó affirme que "dans les communautés aymaras il n'y a pas de mendiants".

3. Enfin un rôle spécifiquement social des échanges- un rôle d'intégration sociale -est mis en évidence par Torrico [98]. Il en donne pour exemple les longs voyages que les éleveurs de lamas entreprennent pour troquer leurs produits d'élevage contre des aliments des zones basses. Ces voyages sont une initiation pour les adolescents qui les accompagnent car ils apprennent ainsi à vaincre les énormes difficultés du voyage. Ils sont alors considérés comme des hommes dans la communauté.

Entre ces critères économiques et sociaux, il existe un vaste champ d'opinions tout aussi argumentées qui, d'après Albó (1985) [1], exige l'abandon de toute approche mono-disciplinaire.

Chapitre 5

Les accords “*al partir*” à Pumani

5.1 La communauté de Pumani

Toutes nos observations, analyses, récoltes de données et travail de terrain se réfèrent à la communauté de Pumani, qui se trouve dans une région des Andes où un groupe multi-disciplinaire de chercheurs de l'ORSTOM et de l'IBTA¹ ont travaillé pendant 7 ans.

5.1.1 Données générales

Pumani se trouve à une centaine de kilomètres de la ville de La Paz, elle appartient à la province Aroma du département de La Paz à 17°12' latitude sud, 67°5' latitude nord, à 3900 m d'altitude. La carte de la figure 5.1 montre la localisation de Pumani dans le territoire bolivien [30].

La température journalière annuelle est de 7°C, avec de forts risques de gel pratiquement toute l'année. Dans une étude agro-climatologique de la zone andine, les données relevées pendant 9 ans dans la Station Expérimentale de Patacamaya, région voisine de Pumani, montrent qu'il n'existe pas un seul mois de l'année sans risque de gel et Genin (1994) [30] affirme que les mois les plus froids sont Juin et Juillet mais que pendant 165 jours de l'année, le gel est présente. L'amplitude des températures, en moyenne par an, se trouve entre 0.76 et 19° C [66].

La précipitation annuelle est de l'ordre de 450mm réparties entre octobre et mars [30].

Un noyau d'environ 200 familles réside en permanence à Pumani [37]. La famille comme entité sociale joue un rôle très important dans l'activité agricole et l'élevage; les travaux qu'exigent ces deux activités sont assumés par l'ensemble familial, par exemple les enfants et les plus anciens gardent les ovins au pâturage, les épouses, à coté des travaux ménagers, s'occupent aussi de l'alimentation des

1. L'Institut Bolivien de Technologie Agropastorale (*Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria*) est l'Institut de recherche agronomique bolivien.



FIG. 5.1 - Localisation de Pumani

animaux de basse-cour, de la gestion de l'économie de la famille et d'autres tâches, elles participent à tous les travaux agricoles à l'exception de la conduite de l'araire.

C'est pourquoi, au cours de cette étude, nous prendrons la famille comme une entité d'analyse pour la passation des accords. Même si parfois nous parlons d'agriculteur, en fait il s'agit bien de la famille car les ressources sont un bien commun du noyau familial et les décisions concernant les membres sont prises en son sein.

On compte en moyenne 5 personnes par famille ce qui représente environ un nombre total de 1000 personnes dans la communauté. Ces familles ne sont pas nécessairement complètes : nous avons pu constater que dans plusieurs d'entre elles, certains membres sont absents, le plus souvent ils se trouvent en ville, soit pour travailler, soit pour faire des études.

Cet ensemble de familles a une relation avec son territoire très particulière parce que Pumani n'a été concernée ni par les distributions de terre au bénéfice de la "noblesse" espagnole, car les terres ont été acquises directement à la couronne espagnole en échange d'or, comme l'affirment fièrement nos interviewés, ni par la réforme agraire de 1952 [23]. Pumani n'est donc pas une *ex-hacienda* (ex ferme

rurale appartenant aux féodaux), elle est une communauté “originaire”.

Ce n'est pas nécessairement à cause de l'attachement des habitants pour sa terre que la communauté s'est maintenue écartée de ces événements quasiment généralisés en Bolivie pendant les époques coloniales et féodales. Une raison plus probable est que la région ne présente pas d'intérêt minier ni agricole en raison, entre autres, des conditions climatiques défavorables décrites ci-dessus.

5.1.2 Activités économiques

Les activités économiques les plus importantes sont l'agriculture, l'élevage et le travail en ville.

- **L'agriculture.**- Les cultures identifiées sur place sont annuelles : la pomme de terre, le quinoa, l'orge, le blé et la luzerne cultivé sur des surfaces réduites.
- **L'élevage.**- Parmi les animaux on trouve principalement des moutons élevés pour la viande, pour la laine et déjections servent d'engrais. Les ânes sont élevés pour être des animaux de charge, les bovins pour le travail, la production de lait et la viande.
- **Le travail en ville.**- Ce sont plutôt des activités “informelles” effectués en ville dans le domaine de la construction et du commerce.

5.1.3 Paysage

Pumani, comme la plupart des régions andines, est caractérisée par une flore réduite. D'après l'ancienne classification des zones de vie proposée par Holdridge [41] et en fonction d'une interprétation pour la Bolivie faite par Uzueta [100] qui d'ailleurs sont parmi les rares références qui prennent en compte notre zone du point de vue écologique, Pumani appartient à la zone de vie C-3 -Étage Sub-alpin-catégorie c-3-3 -terrain inculte et broussailleux désertique - (*matorral desértico* = md-SATE). md-SATE est une zone de vie avec les caractéristiques climatiques que nous avons indiquées plus haut et où il n'existe pratiquement pas de végétation naturelle primaire à l'exception de quelques secteurs de terrain couverts principalement par des Poaceas comme l'*ichu* (*Stipa ichu*) et *Paja brava* (*Festuca orthophylla*).

Notre zone d'étude est un vaste plateau d'environ 68 Km², situé sur des terrains fluvioglaciaires légèrement ondulés au pied de versants plus marqués. Ce versant, dont les pentes n'excèdent pas 25% sont protégés des vents dominants forisd. Cette protection naturel diminue le risque de gel et attirent l'intérêt des agriculteurs.

L'élément du paysage le plus important est un rocher formant un relief important qui se trouve au plein centre de la communauté, connue comme *el cerro de Santa Rosa de Lima*. Ce rocher, pour les paysans de la région, est le gardien

galeux de la communauté, il est très respecté et considéré comme une divinité, la photo au début du chapitre montre une partie du paysage décrit.

5.2 Occupation du territoire

Pour expliquer l'utilisation de la terre, nous devons introduire deux concepts qui dénotent la forme de gestion de la terre, celles de *sayaña* et d'*aynuqa*, pour ce fait nous reprenons les définitions proposées par Rivière en 1994 [40], [85], [86] dans ses travaux sur la communauté de Pumani.

5.2.1 Terres de *sayaña*

La *sayaña* est l'ensemble de parcelles appartenant à une famille, généralement adjacentes à son lieu de résidence. Les terres de *sayaña* sont gérées et exploitées directement par la famille et les inter-cultures sont toujours “privés”. L'ensemble de ces terres représente au 30% du territoire de la communauté.

Les *sayañas* sont destinées à la culture de tubercules, céréales et *quinoua*² ainsi qu'au pâturage des animaux domestiques.

5.2.2 Terres d' *aynuqa*

Les terres d' *aynuqa* sont gérées selon des règles collectives particulières. Elles participent à un système de rotation de jachère longue qui obéissent à une rotation fixe de jachère longue. Gilles Rivière propose une définition plus complète qui souligne le caractère fondamental de ce système pour la communauté de Pumani :

“Plutôt que de parler de l'*aynuqa*, je préfère utiliser l'expression -système d'*aynuqa*-. On peut certes, pour les besoins d'une étude particulière, isoler une *aynuqa* ou considérer seulement celles qui sont mises en valeur à un moment donné. Mais si l'on se place du point de vue de l'acteur, le paysan d'une communauté déterminée, ce découpage a quelque chose d'artificiel car les *aynuqa* ne sont pas isolables les unes des autres. La gestion et l'usage de ce système s'inscrivent dans un cycle fait d'étapes, de moments plus ou moins intenses socialement. Ce système est structuré sur un modèle circulaire où se juxtaposent, en partie tout au moins, plusieurs cycles. Tout d'abord, comme dans une société paysanne (Demonio, 1979 [22]). celui des variations saisonnières et celui du développement des espèces cultivées. Ensuite, dans la société qui nous intéresse, le cycle complet d'exploitation des *aynuqa* (13 ans à Pumani) et celui des charges (*cargos*), politico-rituelles et religieuses, obligatoires et rotatives, dont la fonction est d'intégrer et de socialiser l'individu et de célébrer des divinités diverses (tutélaires,

2. *Chenopodium quinoa* chenopodacea originaire des Andes, réputée par son contenu élevé en protéines.

ancêtres, etc) et simultanément un temps et un espace mythique. Le cycle d'exploitation des *aynuqa* fonctionne aussi comme un ensemble de repères permettant de situer certains événements qui furent significatifs pour la collectivité (gelées, sécheresse, bonnes ou mauvaises récoltes, etc), la famille (naissance, union, mariage, décès). Il paraît bien que le système d'*aynuqa* doit être analysé sur un axe où temps et espace ne peuvent être séparés.”

Ces terres d'*aynuqa* représentent 70% du territoire total de la communauté elles sont divisés en 13 parties - nous dirons communément 13 *aynuqa*- dont certaines sont encore subdivisées en deux, pour aboutir à un total de 17 secteurs. Le détail est présenté dans le tableau 5.1.

Nro	Nom du lot ou secteur	<i>Aynuca</i>	Surface en hectares	Classe
1	<i>Parqoma</i>	<i>Parqoma</i>	294.7	III
2	<i>Tuntachawi</i>	<i>Tuntachawi</i>	260.4	I
3	<i>Irupata</i>	<i>Irupata</i>	379.6	I
4	<i>Wachulla</i>	<i>Q'asilla</i>	145.7	I
5	<i>Qañawiri</i>	<i>Qañawiri</i>	357.5	I
6	<i>Warisunt'isiña</i>	<i>Pajawira</i>	274.4	I
7	<i>Q'asilla</i>	<i>Q'asilla</i>	312.3	I
8	<i>Wallani</i>	<i>Wallani</i>	295.6	II
9	<i>Q'otaña</i>	<i>Q'otaña</i>	365.3	I
10	<i>Umajaqsu</i>	<i>Q'otaña</i>	257.7	II
11	<i>Siwartira</i>	<i>Siwartira</i>	361.6	I
12	<i>Kantiriya</i>	<i>Kantiriya</i>	299.1	I
13	<i>Titiri</i>	<i>Titiri</i>	174.9	II
14	<i>Siwiqani</i>	<i>Siwiqani</i>	272.5	II
15	<i>Ananta</i>	<i>Siwiqani</i>	354.5	II
16	<i>Llallawa</i>	<i>Llallawa</i>	187.6	III
17	<i>Ch'illumá</i>	<i>Llallawa</i>	170.1	I
TOTAL	-	-	4763.7	-

TAB. 5.1 - *Classification des terres d'aynuqa*

L'utilisation de ces terres communales s'effectue selon un cycle de rotation que nous allons maintenant décrire.

5.2.3 Système de rotation d'*aynuqa*

D'une manière générale le système de rotation consiste à faire succéder sur une même *aynuqa* c'est-à-dire sur l'ensemble des secteurs qui y sont rattachés, trois ans de culture et dix ans de jachère. Les trois ans de culture suivent également

un ordre fixé, la première année la terre sera occupée par la pomme de terre, la deuxième année par la quinoa ou l’orge et la troisième année généralement par l’orge. Chaque année une nouvelle *aynuqa* revient donc en culture pendant qu’une autre retourne en jachère.

Cette rotation est illustrée dans la figure 5.2 [38]. Cette carte représente le territoire de la communauté avec ses *sayaña*, qui portent des noms en minuscule, et ses secteurs d’*aynuqa* identifiés par des noms en majuscule suivis d’une lettre et un chiffre; C pour la culture, D pour jachère, et d’un chiffre qui indique la position du secteur dans le cycle de rotation.

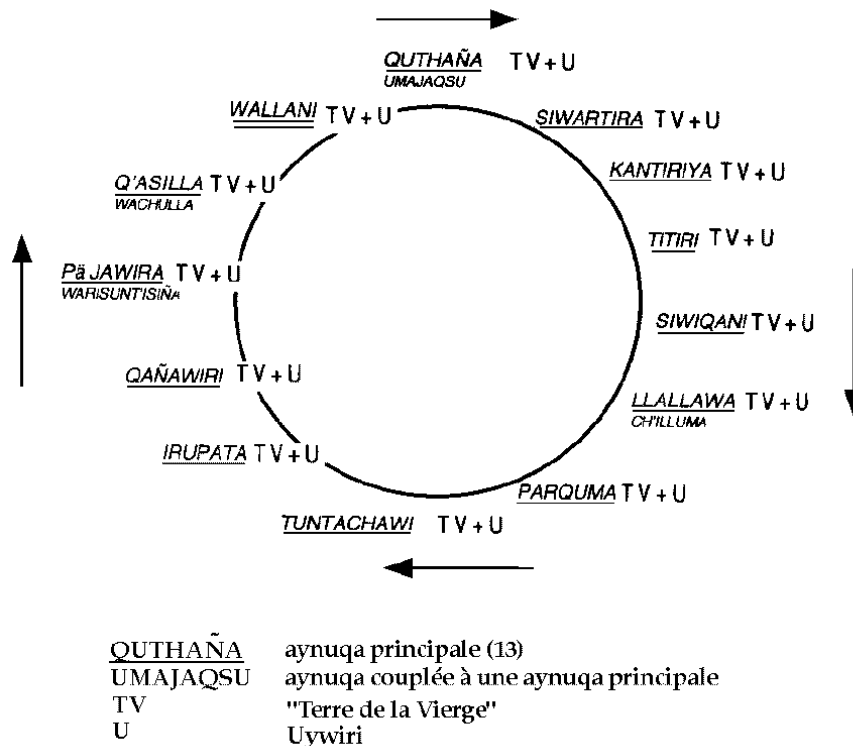


FIG. 5.2 - Rotation des terres communales

La carte montre l’utilisation des terres pour la campagne agricole 92-93. On peut voir, par exemple, que l’*aynuqa* qui avait été remise en culture lors de cette campagne est *Wallani* identifiée par C1, et que les secteurs d’*aynuqa Qasilla et Wachulla* identifiés par un C2, sont dans leur deuxième année de culture. Quant aux terres en jachère, on peut voir qu’*Irupata* vient de rentrer dans sa première

année de jachère (D1), et que *Umajaqsu* (D9) se trouve dans sa dernière année³, elle sera à nouveau labourée l'année suivante pour être plantée en pomme de terre.

Pour leur part Rivière et Pacheco [75] proposent de représenter le cycle par le diagramme de la figure 5.3. Ce diagramme confirme la position des *aynuqa* dans le cycle de rotation. Il prend en compte un cycle de 13 ans en indiquant des *aynuqa* principales, les secteurs qui se sont ajoutés à ces derniers et le site ayant une divinité.



Dessin : Gilles RIVIERE y Luz PACHECO

FIG. 5.3 - Rotation des aynuqa

Lors d'une assemblée générale de la communauté, qui a lieu le Mercredi des Cendres de chaque année, -entre autres aspects- l'*aynuqa* devant être cultivée

3. Le temps maximum de jachère dans cette carte est de 9,ans au lieu de 10, en raison du regroupement de deux *aynuqa* l'année précédente. L'auteur s'attendait que, suite à cette modification, le temps de jachère serait réduit définitivement mais apparemment il n'en est rien, mais après il a été constaté que ce regroupement n'a introduit qu'un décalage ponctuel.

l'année en cours est désignée ([16], [62], [14], cités par Hervé [38]). Il s'agit plutôt d'une “formalité” puisque l'ordre de rotation des terres est fixe, et ce depuis très longtemps comme nos interviews l'ont exprimé à plusieurs reprises. Pacheco [75] le confirme en signalant qu'“Il est admis que le cycle d'exploitation de 13 ans est fixe dans le temps (au moins depuis plusieurs générations)”. Peut-être peut-on avancer que ce cycle n'a pas changé depuis au moins 187 ans⁴.

Après cette longue période de jachère, les terres ont besoin d'être labourées avant le semis de pomme de terre [39]. Ce labour est réalisé seulement la première année de remise en culture et consiste à ouvrir la terre à l'aide d'un araire tiré par deux boeufs [10]. En général deux passages croisés d'araire sont nécessaires pour qu'il soit possible d'extraire les arbustes utilisés comme combustible et que la terre soit prête au semis ; Le labour de la terre est la tâche agricole la plus difficile à réaliser à cause des contraintes climatiques et de la main d'œuvre importante nécessaire pour effectuer cette tâche. Il constitue un élément très important de notre réflexion, comme nous le verrons par la suite.

Les terres d'*aynuqa* à Pumani ne sont pas homogènes concernant de la difficulté du labour. A partir d'entretiens avec les paysans, nous avons pu effectuer un classement en trois niveaux de difficulté de labour de l'ensemble de 17 secteurs. Habarurema [36] nous parle d'une classification semblable pour l'Afrique. Chacun des 17 lots peut être relié à une des trois classes I = faciles à travailler, II = moyennement faciles et III = difficiles à travailler. Cette classification est rapportée dans le tableau 5.1, constitué par Hervé [38] à partir d'une photo aérienne de 1955.

5.2.4 mode de gestion des terres d'*aynuqa*

L'accès aux *aynuqa* n'est réellement communal (patère, collecte de combustible, etc) que pendant les dix ans de jachère, et lors des trois ans d'interculture. Dès qu'elle est cultivée, elle est pour ainsi dire sous gestion privée, chaque famille ayant ses parcelles en propre. Ces parcelles sont attribuées aux familles de façon permanente, chaque famille retrouve ainsi ses parcelles lorsque l'*aynuqa* est remise en culture après les années de jachère.

Dans une *aynuqa* les familles d'agriculteurs “possèdent” ainsi de la terre dans des proportions pouvant être différentes. Il est possible par exemple que certaines familles n'aient pas du tout de terre dans certains secteurs. La rotation des terres communales fait que chaque année de nouvelles terres sont mise en culture alors que d'autres rentrent en jachère. La quantité de terre à cultiver varie donc chaque année alors que la capacité de travail de chaque famille reste elle plus ou moins constante avec une tendance à la diminution due en partie à l'attirance vers la ville. Les familles de la communauté se trouvent face à un déséquilibre dynamique

4. A titre exceptionnel, on nous a laissé regarder les archives des rapports présentés par 187 *Hilacatas* (autorités annuelle de la communauté), où était indiqué, entre autres, la *willancha* (rituel de vénération) de l'*aynuqa* que chaque *Hilacata* à été amené à réaliser.

en rapport avec leurs deux ressources principales -terres et main d’oeuvre-, (qui varient chaque année).

La figure 5.4 résume cette dynamique des déséquilibres familiaux entre terre et main d’oeuvre.

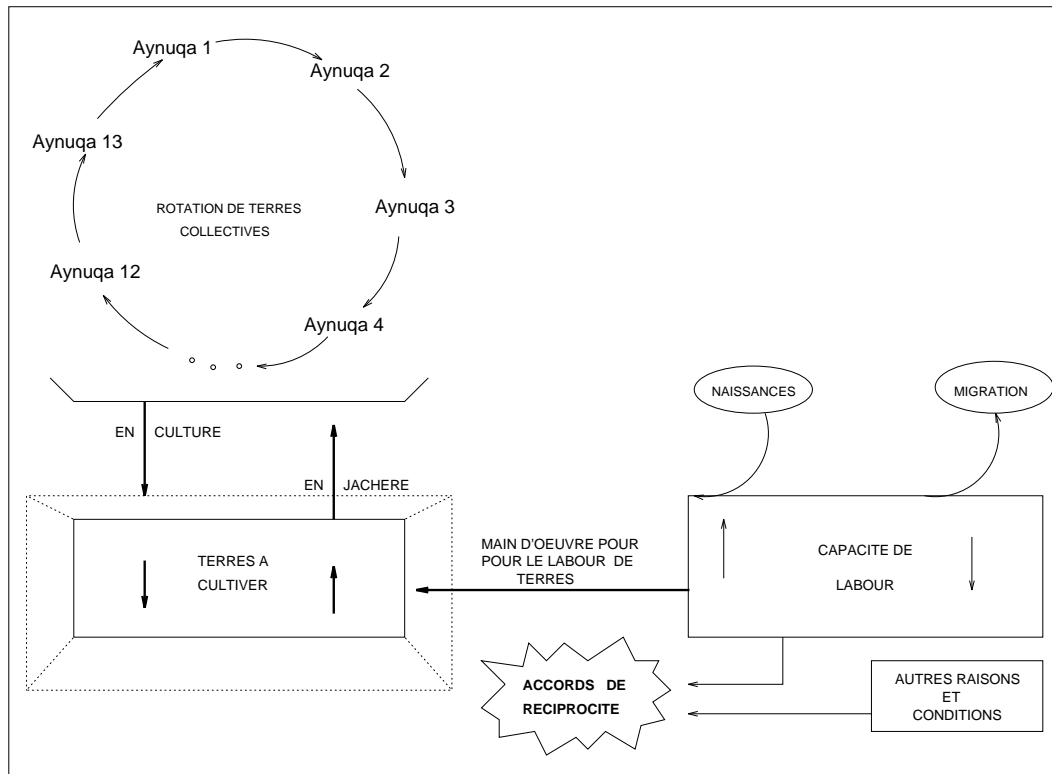


FIG. 5.4 - Conséquences de la rotation de terres

C’est en partie pour faire face à ce déséquilibre particulier et d’autres conditions défavorables, que les agriculteurs font appel aux accords de réciprocité, et on peut se demander dans quelle mesure ils y parviennent, aspect que nous allons analyser.

5.3 Les accords “al partir” à Pumani

Ces accords ont lieu lorsque au sein d’une famille, il existe un déficit ou un surplus de terre par rapport à la capacité de labour. On peut dire que, mis à part les aspects d’intégration sociale, la fonction de ces accords est de faire face à ces déficits et/ou surplus.

Comme nous l’avons expliqué dans la section précédente, la rotation et l’occupation des terres communales font que les surfaces à cultiver varient d’une année

à l'autre. Par exemple, l'*aynuqa Titiri* a une surface de 145 ha, elle est 3.6 fois plus petite que l'*aynuqa Siwiqani* qui s'étend sur 627 ha, Ces deux *aynuqa* étant mises en culture successivement, les stratégies familiales employées pour combler le déficit ou surplus de l'année correspondant à l'*aynuqa Titiri* ne pourront pas être identiques l'année suivante.

Les conversations en vue de l'établissement des accords ont donc lieu chaque année sur des nouvelles bases, les familles concernées viennent avec des propositions différentes chaque fois, c'est-à-dire que l'offreur de terre d'une année peut devenir demandeur l'année suivante.

Du point de vue des accords *al partir*, le Mercredi des cendres est une date importante, car c'est à partir de ce moment que les agriculteurs sont en mesure de discuter pour établir des accords. C'est à ce moment là seulement en effet que l'on sait officiellement quelles sont les secteurs qui seront remis en culture et donc quels familles seront en surplus de terre et quelles autres seront en surplus de main d'œuvre.

Une fois que cette stratification implicite (notement “informelle”) entre “offreurs de terre” et “offreurs de main d'œuvre” est connue par tous, une phase de discussion peut débiter, où interviennent plusieurs critères de sélection, certaines préférences, réseau de connaissances, qualité des ressources, exigences minimales et autres aspects et conditions dont nous parlerons plus en détail par la suite, lors de la description de la modélisation de l'établissement des accords.

Pour résumer ce processus d'établissement d'accords d'une manière très succincte, il faut partir du principe que la situation des offreurs de terre est connue par tous dans la communauté. Les conversations débouchent sur l'établissement d'accords entre couples de familles.

Une fois les accords conclus, tout un mécanisme d'équivalences est mis en place afin que les deux parties soient finalement satisfaites. Un des arrangements le plus souvent adopté peut être résumé de la manière suivante :

L'offreur de terre met en jeu son de terres en *aynuqa* ;

L'offreur de main d'œuvre apporte sa force de travail, il conduit sa paire de boeufs pour les opérations de semis et buttage ;

Chaque famille apporte ses semences et son guano *guano*⁵si elle le veut.

Le semis lui même est réalisé par l'offreur de main d'oeuvre, a cette stade la parcelle est divisé en sillons et chaque agriculteur prend un sillon de manière intercalé. Chacune des familles effectue la récolte et conserve la production.

Un accord *al partir* dure trois ans, mais le labour a lieu seulement la première année, comme nous l'avons déjà dit, les deux autres années, après un passage d'araire superficiel et sans labour préalable les semis sont réalisés.

5. Déjections des ovins utilisé comme engrais naturel lors du de la semis de la pomme de terre (voir aussi Tintin au temple du soleil)

Chapitre 6

Objectifs et méthodologie

6.1 Objectifs

L'objectif de la thèse est la construction d'un modèle qui nous permette la compréhension et l'exploration d'un phénomène bien défini.

Comme nous l'avons avancé dans les chapitres précédents, notre réflexion porte sur la communauté de Pumani et dans cette recherche, nous nous intéressons particulièrement aux accords "*al partir*" qui semblent être le moyen le plus utilisé par les agriculteurs pour régler les déséquilibres terre / main d'œuvre (voir figure 5.4).

A l'aide d'un modèle multi-agent nous cherchons donc à bien cerner, décrire et expliquer les mécanismes de fonctionnement ainsi que les conséquences de ces accords, au cours du cycle de rotation collective de jachères, en explorant différents scénarios systématiques et hypothétiques.

Sur la base de cette analyse, nous voulons aussi cerner qualitativement les limites structurelles et d'attitudes comportementales au-delà desquelles les accords ne jouent plus un rôle important.

6.2 Hypothèse et démarche méthodologique

Comme nous le verrons, les données et les règles de fonctionnement d'un système social sont incertaines et connues surtout qualitativement, et de plus réparties entre un grand nombre d'acteurs interagissant; les facteurs de variations sont très nombreux. Pour ne pas rester paralysé devant cette complexité, il nous faut un outil. Nous faisons **l'hypothèse que les techniques multi-agents fournissent cet outil, permettant la construction d'un modèle exploratoire du fonctionnement du système.** Le but n'est pas alors d'apporter des réponses définitives aux questions que nous posons plus haut. Il est plutôt de cerner des situations possibles, conformément à la démarche de la modélisation d'accompagnement. Il est aussi, sur un plan méthodologique, de montrer aux disciplines

concernées la validité de l'hypothèse sur l'utilité des techniques multi-agents, et d'une manière plus générale, l'intérêt de la modélisation d'exploration.

Plus précisément, dans l'esprit de cet objectif, hypothèse et démarche, il s'agit pour nous :

- de nous former, à travers la construction d'une "communauté artificielle" multi-agents élaborée à partir des données disponibles sur Pumani, de notre propre connaissance du terrain et enfin d'hypothèses minimales, une image de la communauté et de son fonctionnement sur les treize ans.
- d'étudier des variantes de cette image, obtenues en modifiant certaines données de structures et certaines attitudes.
- de faire une synthèse de cette première image, que nous appellerons "de référence", et de ses variantes.
- de présenter en fin de compte une série de questions à retourner au terrain, c'est-à-dire aux personnes qui ont elles même leur propre image de Pumani - y compris les paysans eux mêmes - pour situer la réalité de la communauté dans cet ensemble de variantes, et par là pouvoir valider, modifier ou infirmer notre construction.

Ce cycle "reconstruction d'une réalité artificielle artificielle, retour sur le terrain" n'est pas nouveau en matière de modélisation. Notre démarche nous semble avoir une certaine correspondance avec celle qui a été suggérée par Pavé (1994) [79], dont nous reprenons le schéma (cf figure 6.1) avec quelques modifications.

Le point de départ de la procédure est l'**analyse du système**. Les éléments entrant dans cette analyse (représentés par les trois blocs supérieurs) sont au nombre de trois ; le premier élément est constitué par les connaissances disponibles a priori sur Pumani et qui ont été rassemblées par l'équipe de chercheurs ; le second élément est constitué par l'objectif de notre travail et l'hypothèse méthodologique choisie ; le troisième élément est constitué des connaissances acquises lors de nos propres visites à Pumani et nos entretiens avec les paysans, dont nous allons décrire plus loin le déroulement. Cette analyse du système nous amène à décrire les structures de la communauté, les attitudes et les procédures de discussion lors de l'établissement des accords dans un premier temps, et ensuite à les formaliser.

6.3 Le travail sur le terrain

Une enquête exhaustive sur Pumani était, pour ce qui nous concerne, impossible. Elle aurait impliqué d'enquêter auprès de chacune des 200 familles sur des questions trop sensibles dans la culture aymara pour être abordées ainsi directement. Par exemple, les surfaces détenues dans chaque *aynuqa*, donc tout au long

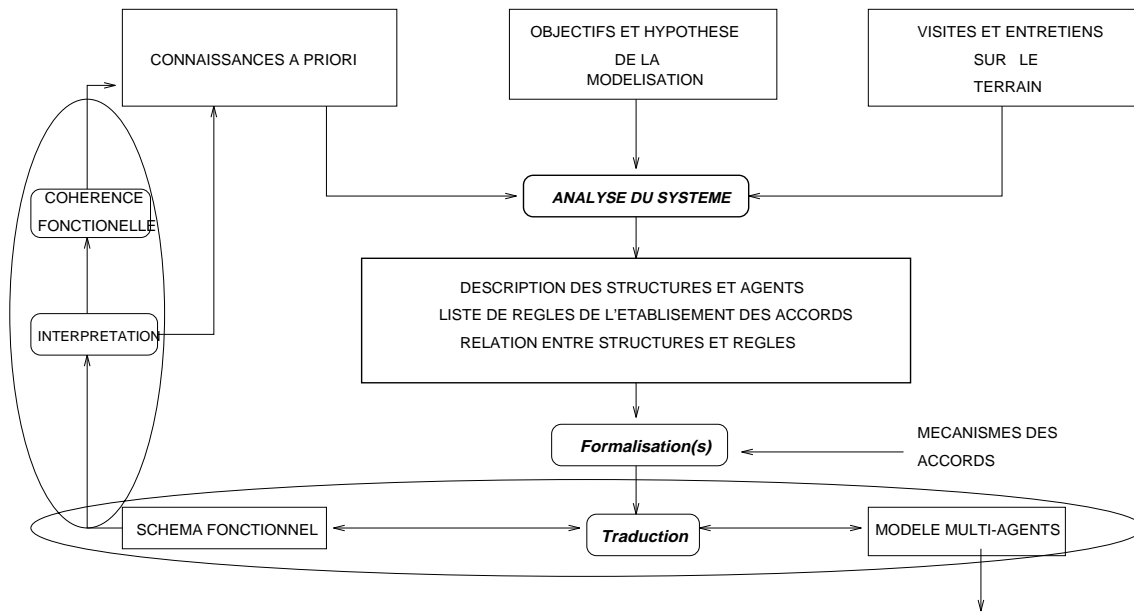


FIG. 6.1 - Schéma de la méthodologie général de modélisation [79]

du cycle, les familles avec les quelles il est possible de passer des accords, et bien d'autres informations encore.

Nous avons donc choisi de réaliser des entretiens informels mais approfondis avec un certain nombre d'agriculteurs de différentes catégories : un agriculteur disposant d'une surface relativement importante (60 hectares en *sayaña* et mécanisé, des agriculteurs moyens, des paysans sans terre, et des migrants à la Paz. Les notes prises au cours de ces entretiens ont servi de base pour une première formalisation grossière, présentée ensuite à certains de nos interlocuteurs, ainsi qu'aux membres de l'équipe, pour discussions et confrontations. Une première implémentation informatique des règles de passations des accords a alors été formalisée, et ses résultats ont conduit à une seconde confrontation. Nous avons alors considéré que ces règles, après ces nouvelles corrections, étaient provisoirement validées ; ce sont ces règles que nous exposerons dans le prochain chapitre sur lesquelles se base l'actuelle version du simulateur.

Chapitre 7

Construction du modèle

Dans le chapitre “Les accords *“al partir”* à Pumani”, a été définie la partie du monde réel à laquelle nous nous intéressons. Le chapitre “Objectif de la thèse” a porté sur le but du modèle. Le présent chapitre traite de la formalisation de ce modèle. Il établit donc la transposition du monde réel au monde artificiel.

Ce monde artificiel se compose de deux types d’entités : les agents qui sont les représentations informatiques des acteurs humains du monde réel, et les objets qui sont les représentations informatiques des autres entités du monde réel. La première partie de ce chapitre est la description de ces agents et objets. La seconde partie concerne les structures - démographiques, foncières, sociales de ce monde artificiel que nous construisons en ordinateur, et ce que nous avons retenu à ce propos des informations rassemblées sur la communauté de Pumani. La troisième partie concerne la modélisation du comportement des familles dans le processus d’établissement des accords, et comment nous avons transposé les informations recueillies sur le terrain à ce propos dans un protocole de conversation entre agents.

7.1 Agents et objets du modèle

Nous utiliserons ici deux définitions qui seront reprises également dans le chapitre “Le Simulateur”.

Nous appelons agent tout programme informatique qui représente un acteur humain.

Nous appelons objet tout programme informatique qui représente une entité du monde réel autre que l’acteur humain.

7.1.1 Agents du modèle

Dans notre modèle, un seul type d’agent a été défini : l’agent “famille”. 200 agents “famille” ont été instanciés pour représenter les 200 familles d’agriculteurs

résidents à Pumani.

L'agent "famille" représente une famille d'agriculteurs ayant pour but d'utiliser le mieux possible deux ressources : la terre *aynuqa* dont elle dispose en propre et la main d'oeuvre que ses membres lui fournissent. Pour cela, cet agent est capable d'établir son bilan, terre vs main d'oeuvre, et de rechercher auprès des autres agents, à travers l'établissement d'accords de réciprocité, la ressource déficitaire. Nous faisons ici évidemment une simplification considérable en ne prenant en compte que les capacités de raisonnement et de décision d'une famille en rapport avec l'échange de ressources. Un agent "famille" sera caractérisé par :

- son Nom. Nous avons repris les noms réellement rencontrés à Pumani : QUISPE, ect.
- la liste de ses Membres Nous préons en compte dans chaque famille le nombre de membres dans chacune des cinq catégories - s'apparentant à des classes d'âge - répertoriées tableau 7.2
- la surface de ses Terres dans chaque secteur de l'*aynuqa* qui a été remis en culture pendant l'année courante
- le nombre d'Animaux de chaque type (bovins, ovins) que la famille possède.-
- sa Mémoire c'est-à-dire. la liste des familles qui font partie de son réseau de connaissances, et avec lesquelles elle cherchera à passer en priorité les accords. Dans cette liste chaque famille est qualifiée d'une façon qui sera détaillée plus loin.
- BpPersonnelle .- C'est une structure où sont introduits les numéros de messages qui ont été adressés à la famille, le numéro de message correspond au même numéro avec lequel ce dernier est identifié dans la boîte postale générale, ce concept sera développé dans le chapitre concernant "Le simulateur SIMANDES".
- la liste de ses Coopérants¹ c'est-à-dire des familles considérées à un instant du processus d'établissement des accords comme des partenaires possibles ou définitivement acceptés.
- sa Volonté ou non d'entamer une conversation en vue de l'établissement des accords.

1. Le terme de coopérant est employé dans ce chapitre dans le même sens que Ferber [27] lui donne en citant que "la coopération est une attitude des agents qui se décident à travailler en commun". Dans le modèle SIMANDES, un coopérant est un agent famille qui est en déficit d'une ressource, considérée comme coopérant avec une autre famille qui dispose de cette ressource et avec qui elle peut, éventuellement, communiquer.

7.1.2 Objets du modèle

Dans notre modèle, en excluant ici tout ce qui n'a qu'un intérêt purement informatique, c'est-à-dire qui ne correspond pas à des entités d'analyse du monde réel, nous avons retenu les objets suivants :

- l'objet communauté .- Cet objet joue un rôle central car il détient une grande part de l'information prise en compte dans le modèle: s'y trouve rattachés en effet l'ensemble des agents "famille", ainsi que tous les objets du type lieu, *aynuqa*, *sayaña*, hameau et accord de réciprocité. Dès qu'un de ces agents ou un de ces objets est créé, l'objet "communauté" en a connaissance et peut y accéder.
- l'objet hameau . Il est caractérisé par le secteur (de *sayaña*) sur lequel il se trouve et la liste des agents familles qui y résident
- l'objet secteur .- Représente la plus petite partie du territoire ayant été répertoriée. Chaque secteur possède un nom, est caractérisé par la qualité de son sol et est rattaché soit à une *aynuqa*, soit à une *sayaña*. Chaque secteur est également caractérisé par sa surface totale et les coordonnées du polygone qui le délimite.
- l'objet aynuqa .- Représente une *aynuqa*. Il est caractérisé par la liste de ses secteurs, ainsi que celui où est situé sa divinité. Sa description comprend également sa position actuelle dans le cycle de rotation, la culture actuellement exploitée - pomme de terre , quinoa ou orge - s'il n'est pas en jachère. On y trouve enfin les surfaces détenues dans chaque secteur de l'*aynuqa* par les différentes familles de la communauté.
- l'objet sayaña .- Représente une *sayaña* Il est caractérisé le secteur qui y est rattaché (chaque *sayaña* s'identifie en fait territorialement a un secteur) et pourrait comporter d'autres attributs dans une éventualité d'enrichissement du modèle.
- l'objet message .- Cet objet représente un élément d'information ou de proposition échangé entre les agents lors de l'établissement des accords. Nous y reviendrons en détail dans la section "Modélisation de la conversation" dans ce même chapitre.
- l'objet réciprocité . - représente un accord de réciprocité conclus. Il est caractérisé par les deux familles contractantes, le rôle respectif de chacune - offreur de terre, offreur de main d'oeuvre -, la quantité de ressource (surface de terre, capacité de labour) mise en jeu dans l'accord.

Le tableau 7.1 résume ces objets, en donnant en outre le nombre d'instances c'est-à-dire le nombre d'exemplaires qui sont en oeuvre dans notre modèle, lorsque ce nombre est défini *a priori*.

Objet	Instansiations
“communauté”	1
“hameau”	5
“secteur”	22
“aynuqa”	13
“sayaña”	5
“message”	indéfinies
“réciprocité”	indéfinies

TAB. 7.1 - *objets du modèle et nombre d'instances*

7.2 Les structures du monde artificiel

7.2.1 La structure démographique

Les 200 familles sont réparties en 5 hameaux situés dans les secteurs de terre gérées individuellement, dénommés *sayaña*. Les hameaux sont identifiés par les noms suivants : *Qhapaqhamaya*, *Jisk'ajoqho*, *Ch'usicani*, *Q'allukayu* et *Mink'aya*.

La distribution des familles dans ces 5 hameaux n'est pas uniforme. Nous connaissons partiellement cette distribution et nous l'avons utilisée pour la confection des cartes présentées dans l'interface de notre simulateur.

Pour calculer la main d'œuvre dont dispose chaque famille, nous avons utilisé un classement des membres de la famille par intervalles de classes d'âge provenant d'une étude antérieure dans la même région [64].

Dans une famille andine il est tout à fait courant que tous les membres qui habitent dans le foyer familial aient une responsabilité au niveau des travaux agricoles et d'élevage. Cette responsabilité varie en fonction de l'âge et du sexe des membres. L'apport de chaque membre, dans les activités agropastorales, est calculé par rapport au travail qu'un homme adulte, se trouvant entre 17 et 60 ans, peut réaliser [64]. L'évaluation de cet apport selon le sexe et l'âge de l'individu est présenté dans le tableau 7.2.

Classe	Rang d'âge	Apport journalier de MO
1	personnes entre 6 et 13 ans	0.3
2	personnes entre 14 et 16 ans	0.6
3	hommes entre 17 et 60 ans	1.0
4	femmes entre 17 et 60 ans	0.5
5	personnes de plus de 60 ans	0.3

TAB. 7.2 - *Apport de MO (main d'œuvre), en fonction du sexe et de l'âge*

C'est sur cette base que les calculs de main d'œuvre familiale ont été réalisés. Afin d'établir le détail de la composition familiale de chacune des 200 familles nous nous sommes servis de la pyramide d'âges du pays [66], du nombre total de familles, du nombre total de personnes recensées à Pumani lors du recensement national de 1992 et enfin des résultats d'une enquête réalisée par l'équipe de chercheurs à Pumani, à la fin de 1992 et début de 1993, auprès de 71 familles.

Les éléments considérés dans cette enquête sont : la *sayaña* de résidence de la famille, le prénom et le nom du chef de la famille, le nombre d'hommes et de femmes, le nombre de bovins détaillés par âge, le nombre d'ovins ayant moins d'un an, le nombre d'ovins de plus d'un an et finalement la date du recensement. A partir de l'ensemble de ces éléments, nous avons pu reconstituer pour les 200 familles une structure démographique vraisemblable, respectant les données de l'enquête quant à la répartition par hameau et la répartition entre les sexes et compatibles avec les données nationales concernant la pyramide des âges. Nous avons ainsi obtenu un fichier pour 200 familles réparties par hameau, avec un détail de la composition familiale nous permettant de calculer pour chaque famille sa capacité de travail.

Impact de la migration

La structure démographique ainsi reconstituée est pour ainsi dire une structure brute, qui ne tient pas compte de l'impact de la migration vers les villes de certains membres des familles et donc des absences et du déficit de main d'oeuvre que ces absences entraînent.

a) Observation.- La migration à Pumani est une pratique très courante; elle est acceptée, et parfois elle est même encouragée par les paysans de la région. Lors des interviews nous avons pu repérer trois points de vue quant à la migration.

- Les jeunes voient la migration comme une façon de mieux valoriser leur main d'œuvre, car le travail en ville, pensent-ils, est plus rémunéré qu' à la campagne.
- Les anciens craignent que l'augmentation de population mette le système de rotation d'*aynuqa* en danger. Une des raisons du regroupement des *aynuqa*, comme ce fut le cas l'année agricole 1991-1992, était de satisfaire des jeunes dépourvus de terre à Pumani afin d'éviter leur exode en ville ou qu'ils aillent travailler dans l'*ex-hacienda* voisine [38].
- Une minorité des paysans refusent la migration, en utilisant un argument ainsi justifié: dans les villes boliviennes, le travail devient de plus en plus rare et mal rémunéré, aspect qu'on peut constater indirectement lorsqu'on compare le taux annuel de croissance de la population de 2.9% et le taux de croissance du PIB par tête qui vient à peine d'atteindre un chiffre positif depuis 1987 [66].

Il est évident que les migrations constituent un phénomène complexe tant par les raisons que par les conséquences de la décision de migrer. Ce phénomène est assez mal connu, tant quantitativement que qualitativement. Aussi ne pouvons nous formaliser que des hypothèses, quant au nombre total de personnes qui abandonnent la communauté, quant au nombre de membres qu'une famille peut autoriser à quitter le noyau familial et enfin quant au lien entre migration et "richesse" c'est-à-dire niveau de vie ou patrimoine de la famille. Nous aborderons ici le concept de la richesse familiale d'une manière fort simple. En réalité il s'agit d'un élément très complexe à définir et difficile à quantifier [42], [50], dans le cas de Pumani, car même la famille la plus "riche" de la communauté ne l'est pas vraiment, elle a plutôt un niveau de survie plus élevé que le reste de ses voisins, mais il fallait bien adopter un terme. Nous avons pris ici comme indicateur de richesse l'importance du cheptel ovin et bovin possédé par chaque famille, exprimé en unités animales (UA). dont le calcul sera décrit lorsque nous parlerons de la structure foncière).

Quant au lien entre migration et richesse, nous avons pu observer un fait, qui à première vue, peut paraître surprenant : ce sont les familles les plus riches qui semblent migrer le plus souvent et avec une plus grande intensité. L'explication donnée par des agriculteurs à cette tendance se base sur le fait que pour aller en ville il faut avoir les moyens de s'y rendre ; par ailleurs le coût de la vie en ville est nettement supérieur à celui de Pumani : trouver un travail en ville est de moins en moins évident, il faut donc avoir les moyens de survivre en ville durant la période de recherche d'un travail. La migration en ville correspond aussi souvent à un projet d'investissement dans l'éducation secondaire ou supérieure des enfants, à l'acquisition d'un terrain pour construire ou d'un véhicule de transport commun.

Les destinations les plus importantes pour les migrants sont : la ville de La Paz pour le travail et les études, Cochabamba essentiellement pour les études et l'Argentine pour le travail.

Nous n'avons pas pu déterminer le nombre total de personnes qui migrent chaque année, mais par croisement des questions et déductions, nous estimons que le pourcentage de personnes absentes du fait des flux migratoires est de l'ordre du 10% de la population composant les familles résidentes. Il semble par ailleurs qu'une centaine de familles autrefois présentes ont quitté en totalité et définitivement Pumani, mais nous ne considérons ici que les familles actuellement résidentes.

Certaines règles de migration, non formelles, ont émergé dans la société de Pumani. Ces règles sont implicitement respectées par une grande majorité des foyers, lors des départs définitifs et temporaires des membres de la famille. Ainsi au niveau de chaque famille, tous les membres ne sont pas prêts à partir à tout moment ; il faut que soient satisfaites certaines conditions que nous avons formalisées comme suit en considérant le classement des membres de la famille par

tranche d'âge [64] déjà présenté :

- le chef de la famille ainsi que les membres hommes se trouvant entre 17 et 60 ans ont toute la liberté de migrer et à tout moment,
- la mère de famille et les autres femmes entre 17 et 60 ans ne peuvent migrer que si le chef de famille est déjà parti, et que s'il n'y a pas d'enfants de moins de 13 ans à garder dans la famille,
- les enfants (garçons ou filles) de 14 à 16 ans ont la même liberté de partir que le chef de famille.
- les enfants (hommes et femmes) ayant moins de 13 ans et les personnes âgées de plus de 60 ans ne partent jamais.

b) Formalisation Pour représenter le lien entre migration et richesse familiale, nous avons adopté par simplicité une relation linéaire du type $f(x) = a + b * x$. Elle nous permet de représenter la corrélation positive dont nous avons déjà discuté et aussi d'explorer d'autres hypothèses possibles. Nous avons finalement sélectionné 3 hypothèses :

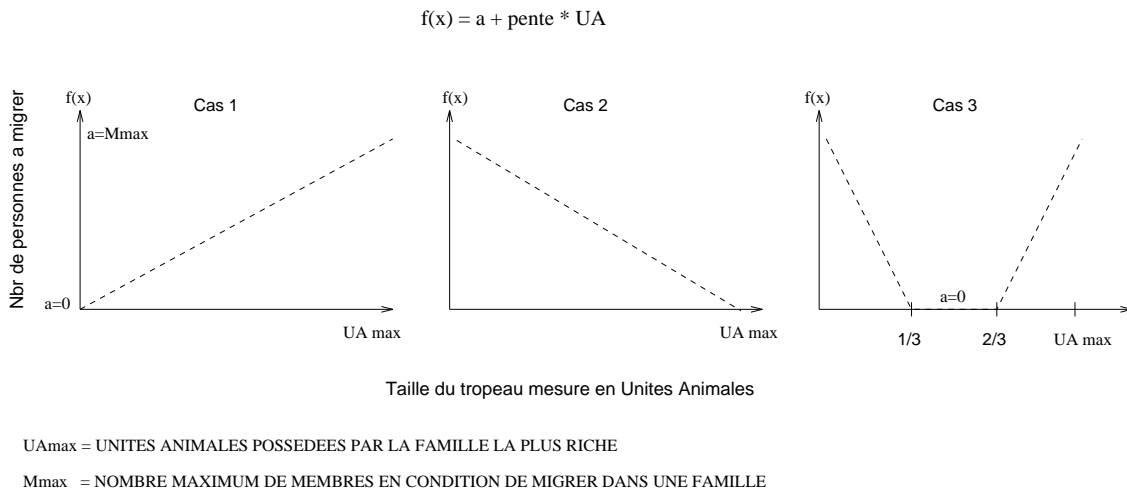


FIG. 7.1 - *Migration vs richesse (Nbr animaux)*

- cas 1 de la figure 7.1 : les riches migrent plus que les autres, et en plus grand nombre.
- cas 2 de la figure 7.1 : cas opposé, les familles les plus pauvres migrent plus que les autres .

- cas 3 de la figure 7.1 : cas mixte où les familles sont divisées en trois groupes, le premier tiers formé par les plus pauvres, ont une tendance décroissante à la migration, le deuxième tiers constitué par les familles “moyennes” ne migre pas du tout, et le dernier tiers constitué par les familles les plus riches montre une corrélation positive entre richesse et migration.

Pour déterminer la pente des droites, nous avons considéré deux valeurs maximales sur l’ensemble des familles : le nombre maximal d’UA dont peut disposer une famille de Pumani et le nombre maximal de membres pouvant quitter une famille donnée. Le nombre total de personnes migrantes est pris comme un paramètre. Le calcul du nombre de personnes devant partir dans un foyer prend pour base le nombre donné par la relation $f(x) = a + b * x$ où x est la richesse, mais est borné par les règles de départ que nous avons mentionnées.

7.2.2 La structure de l’élevage

Pour déterminer cette structure, la procédure suivie a été la suivante :

- Nous sommes partis comme pour la reconstruction de la structure démographique, de l’enquête sur les 71 familles, dont nous avons déduit une distribution de fréquences (en % du total des familles) par hameau pour les deux espèces d’animaux.
- Nous avons ensuite projeté ces distributions sur l’ensemble des 200 familles, pour obtenir en fin de compte un fichier donnant pour chacune de ces familles un nombre de bovins et un nombre d’ovins respectant les proportions observées dans l’échantillon d’enquête.

Nous disposons ainsi d’un fichier indiquant le nombre d’animaux (ovins et bovins) détenus par chacune des 200 familles. Dans le modèle cette donnée est utilisée pour l’estimation de la richesse des familles, et en fin de compte pour reconstituer la structure foncière.

7.2.3 La structure foncière

Pour l’élaboration des fichiers qui représentent les surfaces par famille détenues dans chaque secteur d’aynuqa, nous avons utilisé l’enquête de 71 familles, la charge animale par hectare de la région [18], les unités animales physiques, les tendances d’élevage propres aux hameaux et certaines hypothèses dont certaines découlent des recherches faites à Pumani.

Ces hypothèses sont les suivantes:

- Le nombre d’animaux possédés par chaque famille a une relation directe avec la surface totale de terre détenue, relation basée sur la capacité de

charge animale par ha (hectare). Cette capacité dénote le nombre d'animaux qui peuvent être alimentés avec le fourrage que produit un hectare pâturé dans la région.

- Il existe des tendances dans l'élevage d'animaux qui sont propres à chaque hameau.

La capacité de charge animale par ha, notée CA par les spécialistes zootecniciens pastoralistes, est le rapport entre le nombre d'unités animales (UA .) et la surface qui les nourrit:

$$CA = \frac{UA}{ATRE}$$

où,

$$UA = \left(\frac{N_i * PV_{bovin}}{347} \right)^{\frac{3}{4}} + \left(\frac{N_j * PV_{ovin}}{347} \right)^{\frac{3}{4}}$$

avec

UA = unités animales en équivalent bovins

N = nombre d'animaux pour chaque espèce N_i = bovins N_j = ovins.

PV = poids moyen de chaque espèce (bovins = 245Kg, ovins = 23 Kg)

347 = poids vif par référence à une UA bovine.

La procédure de reconstruction de la structure foncière a été la suivante :

- Nous sommes partis du fichier donnant le nombre de bovins et d'ovins pour chacune des 200 familles, obtenu lors de la reconstruction de la structure de l'élevage.
- Nous avons ensuite calculé pour chacune des familles le nombre d'unités animales (UA.)réunissant les deux espèces. Nous en avons déduit la surface qui devait être détenue par chaque famille, en divisant le nombre d'UA. par une charge animale moyenne prise égale à 0.3924 UA par hectare, valeur évaluée pour la région de San José Llangas voisine de Pumani[18]
- Il ne reste plus alors qu'à répartir cette surface détenue par chaque famille dans les différents secteurs d'*aynuqa*.

7.2.4 La structure des relations sociales et sa dynamique observations de terrain

Les échanges d'information mis en oeuvre dans l'établissement des accords ne se font pas d'une façon complètement ouverte, à la manière d'un marché parfait à l'échelle de la communauté. Ils s'inscrivent dans un réseau social préexistant. Intuitivement, au départ, nous avons pensé que ce réseau se basait sur les relations de parenté ou d'alliance entre familles, mais lors des interviews nous avons pu constater que cela n'était pas évident. On nous a dit souvent qu'au contraire, les agriculteurs envisageaient l'établissement des accords avec des gens qui n'étaient justement pas de la famille, car cela leur donne la possibilité d'exiger l'accomplissement des termes de l'accord d'une manière plus ferme qu'à ceux avec lesquels ils sont liés. La plupart du temps ce réseau semble restreint. Il n'est pas étonnant d'entendre un paysan dire qu'il ne fait des accords qu'avec une seule famille, car il le fait depuis longtemps et qu'il est satisfait du comportement de son partenaire.

Par ailleurs il semble que ce réseau des partenaires possibles puisse s'élargir ou se réduire lors du déroulement du cycle de rotation de treize ans, selon une dynamique de renouvellement et d'oubli. Ces modifications s'effectuent en fonction des accords passés précédemment et de leurs résultats. Par exemple, un agriculteur qui a le choix entre deux personnes pour travailler, aura tendance à choisir celui avec lequel il a déjà établi un accord auparavant et à "oublier" le second, surtout si l'accord avec le premier lui a donné satisfaction.

Lors des interviews, cette intervention de la "mémoire" a été très souvent évoquée par les agriculteurs. La mémoire est un élément important de la dynamique des réseaux structurant l'établissement des accords. Chaque agriculteur se rappelle bien avec qui il a établi ses accords l'année précédente et qui, parmi ces personnes, sont considérés par lui comme de bons ou de mauvais partenaires. Chaque famille analyse ainsi ses connaissances. Au bout d'un certain temps elle commence à oublier les familles avec lesquelles elle n'a pas passé des accords. D'un autre côté elle évalue les familles avec lesquelles elle vient de passer des contrats pour la première fois. Elle actualise ainsi son réseau.

formalisation

Nous avons formalisé la mémoire, c'est-à-dire le réseau social d'une famille donnée, par une table de qualification, donnant pour chaque qualification Q la liste des familles correspondantes. Cette table de qualification prend donc la forme :

$${}^2Q : [F_1, \dots, F_k]$$

2. Simplification de la formule proposée par Ferber.

La qualification Q peut prendre deux valeurs introduisant une différenciation entre familles "bien connues" ou connues favorablement (FB) et familles "simple-ment connues" (FC). : Une troisième valeur (FI, pour "familles inconnues") est implicite, puisque les familles ayant cette qualification sont évidemment absentes du réseau de la famille considérée.

Une famille peut changer de qualification dans la mémoire d'une famille donnée, c'est-à-dire dans le réseau social de cette famille. L'évolution dépend des accords passés. Cette dépendance est formalisée sous la forme du graphe de transition d'états de la figure 7.2 .

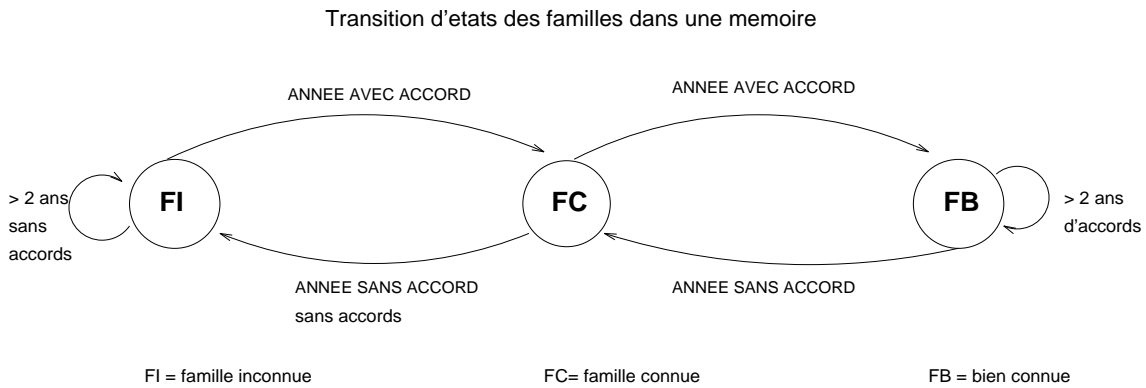


FIG. 7.2 - *Transition d'états*

7.3 Modélisation des conversations

7.3.1 Observations de terrain

Comme nous l'avons déjà dit au chapitre 4, suite à l'assemblée générale du mercredi des cendres ouvrant la remise en culture d'une nouvelle aynuga, deux types de familles d'agriculteurs se font jour, les offreurs de terres et les offreurs de main d'œuvre. Ces deux types de familles sont les acteurs principaux des conversations en vue de la constitution des accords.

aspects importants de l'établissement des accords

Avant de traiter du déroulement des conversations, il nous faut parler de certains aspects relevés lors de notre travail de terrain à Pumani, qui entrent en jeu dans le comportement des paysans lors de la recherche des accords. Il s'agit de la qualité des ressources, de l'existence de seuils minimums d'échange, de la sélection des partenaires potentiels.

1. qualité des ressources : Les paysans classent les sols agricoles en fonction de leur structure physique et aussi de leur aspect visuel. D'une manière générale cette classification repose sur la difficulté de labour et distingue trois classes : "*jajwe*" terre molle et profonde, facile à labourer, "*challa*" moyennement facile à labourer et *ñeque* terre argileuse, dure et, peut profonde, difficile à labourer³. Par ailleurs les paysans qualifient aussi la ressource main d'œuvre, en indiquant peut être un bon travailleur ou un mauvais travailleur. Chaque famille garde en mémoire l'image qu'elles se fait ainsi des autres familles.
2. existence de seuils minimums : Il existe des seuils minimums en deçà desquels les agriculteurs n'ont plus d'intérêt d'échanger leur terre ou leur main d'œuvre. Les valeurs de ces minima sont difficiles à déterminer, car relatif à la richesse de la famille un minimum pour une famille "riche" pouvant représenter une quantité appréciable pour une famille pauvre. Dans un premier temps nous avons pensé à un seuil minimum unique, et nous avons tenté de le déterminer et en fonctions des réponses données par les paysans à son propos. Ce minimum pouvait être de l'ordre d'un huitième d'hectare, surface qui peut être labourée par une seule personne adulte avec une paire de boeufs durant une journée. Mais en fait lors de la présentation d'une première maquette du modèle nous avons compris que les paysans traitent ces minima séparément. La détermination du seuil pour la terre est indépendante de la détermination du seuil de main d'œuvre.

3. Termes provenant de l'aymara "*jajwe*" = moule, "*challa*" = terme qui désigne une consistance moyenne entre moule et dure, *ñeque* = dure.

3. sélection des partenaires : Au début de la conversation, les offreurs de terre et main d'œuvre sont sélectifs. D'une manière très discrète ils commencent à éliminer de leur liste de partenaires potentiels ceux dont les ressources ne sont pas d'une bonne qualité ainsi que à ceux n'appartenant pas à leur réseau de connaissances.

D'autre part, parmi les agriculteurs restés sélectionnés, il existe, évidemment, une préférence pour certains, par exemple, un offreur de terre préfère établir un accord avec une famille d'agriculteurs qui ne s'adresse qu'à lui que avec une autre qui multiplie ses propositions. De son côté un coopérant offreur de main d'œuvre, préférera aller travailler les terres d'une famille qui lui propose une surface importante que chez plusieurs familles qui lui proposent chacune une surface très réduite de terre par rapport à sa disponibilité de main d'œuvre.

le déroulement des conversations

Les conversations se déroulent de façon complexes et entrecroisées en tenant compte des éléments dont nous venons de parler. Nous avons décidé de décrire leur déroulement d'une façon simplifiée en quatre étapes, après avoir vérifié au cours des entretiens menés sur le terrain que cette vision des choses n'était pas rejetée par les agriculteurs.

Premier avis (de la part des offreurs de terre)

Il ne s'agit pas d'une démarche, en soi, car la situation des familles en surplus de terres est connue, ou plutôt observée par tous, car on voit les terres. Les familles se trouvant dans cette catégorie sont visiblement en suprématie par rapport à ceux qui n'ont pas suffisamment de terres à cultiver pour leur survie. Pour cette raison les demandeurs de terre vont se diriger vers ceux qui sont en surplus avec respect et considération.

Les propositions (de la part des offreurs de Main d'œuvre)

Lorsqu'un demandeur de terre a choisi un offreur de terre, qu'il connaît et qui a des bonnes terres (exigence qui peut diminuer au cours du temps), il prépare sa *coca*⁴ et un peu d'alcool pour aller en situation de "supplication" lui proposer d'établir un accord *al partir*, afin de combler mutuellement leurs déficits.

C'est ainsi que la première proposition est établie, en donnant plus d'importance aux aspects relationnels et qualitatifs qu'aux quantités à échanger.

Les offreurs de main d'œuvre auront quand même analysé tous les avantages et les inconvénients des partenaires possibles, car ils ont accès à l'information, qui d'ailleurs est ouverte, les qualités humaines sont connues par tous.

4. *Eritroxylum coca*, feuille employée pour la mastication

Un coopérant offreur de main d'œuvre peut ne pas faire de propositions à certains propriétaires de terre, pour des raisons de réputation. Avant de proposer ils regardent si le partenaire potentiel est dans son réseau, si ce partenaire est connu comme quelqu'un juste dans ses affaires et s'il a des terres faciles à travailler.

Les réponses aux propositions (de la part des offreurs de terre)

Si l'offreur de terre a accepté de partager la coca et la boisson, cela ne l'engage pas directement à accorder son surplus de terre au premier demandeur. Il attend que d'autres propositions lui soient parvenues. Alors il fait une évaluation de ses proposants. Au moins dans un premier temps il élimine ceux avec qu'il n'a jamais réalisé d'accords car cela représenterait un risque inutile à courir.

Parmi les offreurs de main d'oeuvre, l'offreur de terre a ses préférences. Il considère qu'il est préférable de travailler avec certains plus qu'avec d'autres. Dans la communauté il n'y a pas trop de secrets, les familles qui sont en train de multiplier leurs propositions sont connues par tous et considérés comme offreurs de main d'oeuvre peu sérieux.

Ces exigences et préférences diminueront avec le temps si l'offreur de terre risque de rester sans personne pour labourer son surplus de terre.

Dans cette étape, les réponses sont complètement personnalisées, l'offreur de terre ne s'adresse qu'aux personnes à qui il peut octroyer une surface égale ou supérieure à une limite minimale ayant été implicitement exigée par ses partenaires potentiels.

La limite implicite varie complètement d'une famille à une autre, il s'agit d'une quantité minimale en dessous de laquelle la famille proposante n'aura plus envie de se déplacer pour aller travailler les terres des autres. En d'autres termes, un offreur de main d'oeuvre cherche à ne pas éparpiller trop sa force de travail.

Cet aspect est tout à fait respecté par les offreurs de terre qui vont répondre aux proposants en indiquant, cette fois, les surfaces de terre qui peuvent faire l'objet des négociations.

Les concrétisation (de la part des offreurs de main d'oeuvre) Pour un offreur de main d'oeuvre le fait d'avoir reçu plus d'une réponse le met, pour la première fois, en position de force par rapport aux offreurs de terre, car il peut choisir. Il peut décider par exemple de répondre d'abord à ceux qui lui offrent les surfaces de terre les plus importantes, pour éviter de multiplier les déplacements pour aller travailler.

Le moment de la concrétisation, comme l'étape précédente de réponse, sont des étapes où les agriculteurs parlent des quantités, puisqu'il agit de gérer

la distribution de leurs ressources sans dépasser leur disponibilités.

Ainsi, comme les offreurs de terre ont respecté un minimum de leur ressource à octroyer aux offreurs de main d'œuvre, ces derniers tiennent aussi compte d'un minimum de main d'œuvre à mobiliser.

Il est connu par les offreurs de main d'œuvre que leur partenaires potentiels, offreurs de terres, ne veulent pas trop éparpiller leur terre, alors ils font attention pour ne pas mécontenter les propriétaires de terre et ne proposent un accord que si ce minimum peut être respecté.

Cette description de l'élaboration des accords est une reconstruction personnelle, extraite des interviews déjà mentionnées. Il est clair que nous avons laissé de coté certains aspects sociaux ou religieux qui peuvent jouer un rôle important. Les accords, comme nous l'avons déjà dit au chapitre 3, peuvent être observés et analysés de plusieurs points de vue, et celui que nous adoptons ici, un point de vue centré sur les échanges d'information entre familles, conduit à certaines simplifications qui peuvent gêner d'autres disciplines.

7.3.2 Formalisation

Paramètres intervenant dans le déroulement des conversations

Nous avons repéré et décrit une série d'éléments tant structuraux que comportementaux intervenant dans le déroulement des conversations et la passation des accords. Mais la détermination précise de ces éléments est difficile. Aussi avons nous considéré ces éléments comme paramètres du modèle, pour pouvoir les modifier lors de la simulation des différents scénarios.

- Nombre de personnes absentes du fait de mouvements migratoires .- Ce paramètre nous permet de prendre en compte, sur l'établissement des accords, l'effet du taux d'absence due aux migrations. La valeur par défaut est de 100 personnes (environs un 10% de la population totale de Pumani).
- Relation migration-richeesse .- Ce paramètre nous permet de choisir une des trois variantes de la relation entre migration familiale et richeesse de la famille, définies plus haut (cf figure 7.1).
- Charge de travail nécessaire au labour de la terre .- La première année de culture (après la jachère), les terres doivent être labourées dans un délai maximun de 15 jours, en profitant des premières pluies de l'année agricole. C'est dans cette durée que doit être assurée l'adéquation entre surfaces à labourer et main d'oeuvre disponible. Pour faire le bilan, les familles se basent sur une certaine charge de travail exprimée en homme-jour. La valeur prise par défaut est ici 7.88 homme-jour pour un hectare, valeur déterminée

pour un contexte très similaire à celle de Pumani dans le nord de Potosí [80].

- Niveau d'exigence .- Ce paramètre représente le niveau d'exigence que les familles adoptent lors de la sélection des coopérants. Ces niveaux s'échelonnent entre 1 et 6. 1 est un niveau très exigeant où la famille qui propose ou répond, avant d'être acceptée comme coopérant doit répondre à tous les critères de sélection (appartenir au réseau des familles partenaires, être considérée comme un bon travailleur et dans le cas de la terre, que cette dernière soit facile à travailler); à l'opposé, 6 est un niveau sans aucune restriction, toute famille qui propose ou répond devient automatiquement une coopérante. La valeur par défaut de ce paramètre est fixé à 6.
- Critère de classement des offreurs de main d'œuvre.- Pour un offreur de terre, ce paramètre exprime le critère selon lequel il classe les propositions des offreurs de main d'œuvre avant de leur répondre. Deux critères possibles sont considérés dans le modèle : le nombre de propositions que l'offreur de main d'œuvre a émis et la quantité de main d'œuvre qu'il offre. Comme il s'agit d'un classement, les éléments à classer peuvent suivre un ordre ascendant ou descendant. Nous considérons dans notre modèle que le critère adopté est le même pour tous les offreurs de terre. Par défaut, nous prendrons le nombre de propositions, par ordre croissant, favorisant ainsi les offreurs de main d'œuvre qui ne s'adressent qu'à un seul offreur de terre.
- Proportion minimale de main d'œuvre .- Ce paramètre exprime pour un offreur de main d'œuvre, en proportion de sa capacité de labour restant disponible, la quantité minimale de surface à labourer au delà de laquelle il n'accepte plus de passer un accord avec un offreur de terre, afin de ne pas disperser inconsidérément sa force de travail. La valeur par défaut est fixée uniformément, pour tous les offreurs de main d'œuvre, à 50 % de leur capacité de labour restant disponible.
- Critère de classement des offreurs de terre .- Pour un offreur de main d'œuvre, ce paramètre exprime le critère selon lequel il classe les réponses des offreurs de terre, avant de concrétiser ces accords. Deux critères possibles sont considérés dans le modèle : le nombre de réponses envoyées par l'offreur de terre et la surface de terre qu'il a proposé. Du même que dans le cas précédent, puis qu'il s'agit d'un classement, les éléments classés peuvent suivre un ordre ascendant ou descendant. Nous considérons dans notre modèle que le critère adopté est le même pour tous les offreurs de main d'œuvre. Par défaut, nous prendrons la surface de terre offerte dans un ordre descendant, favorisant ainsi les agriculteurs propriétaires de surfaces importantes.
- Proportion minimale de terre .- Ce paramètre exprime pour un offreur de terre, en proportion de la surface de terre restant offerte, la capacité mi-

nimale de labour en delà de laquelle il n'accepte plus de passer un accord avec un offreur de main d'oeuvre, afin de ne pas disperser inconsidérément son surplus de terre entre plusieurs partenaires. La valeur par défaut est fixée uniformément, pour tous les offreurs de terre, à 50 % de la surface de terre restant offerte.

- Évolution de la mémoire .- Nous avons décrit la formalisation de l'évolution de la mémoire comme une transition d'automates à états finis, dans la section "Modification des la structure sociologique" de ce même chapitre. Cet paramètre nous permet de considérer une mémoire de la famille avec cette transition ou sans elle. Initialement c'est la mémoire avec évolution qui est choisie.

Contenu des messages

L'élément des conversations entre les agents est le message. Chaque message transmet

- l'identification de l'agent émetteur et du ou des agents destinataires.
- son type (avis général de situation de surplus de terre, proposition d'offre de main d'oeuvre, réponse à une proposition, concrétisation d'un accord)
- une quantité exprimée en hectare, qui en fonction du type de message, et qui désigne soit une surface de terre, soit une quantité de main d'oeuvre, soit finalement les deux à la fois dans la concrétisation de l'accord.

déroulement des conversations : protocole de communication

La formalisation du déroulement d'une conversation s'appelle dans le langage des systèmes multi-agents ([48], [15], [103], [102], [83]), comme nous l'avons vu dans le chapitre de "Communication", un protocole. Le protocole adopté dans notre modélisation est constitué d'un certain nombre de cycles de conversations. Chaque cycle fait se succéder quatre phases et aboutit à un certain nombre d'accords. Ce protocole est "synchrone", en ce sens que chaque phase d'un cycle est franchie en même temps par tous les agents qui participent encore à la conversation. Les quatre phases, qui formalisent les quatre étapes décrites plus haut, se décomposent eux mêmes, éventuellement, en plusieurs actions effectuées par les agents. En voici la description, par ailleurs résumée dans la figure 7.3.

Références .:

PHASE 1 : PREMIER AVIS
(de la part des offreurs de terre)

Action effectuée par chaque offreur de terre:

- émission d'un "avis" destiné à tous, dans lequel une famille en surplus de terre expose publiquement sa situation

PHASE 2 : PROPOSITION

(de la part des offreurs de main d'œuvre)

Actions effectuées par chaque offreur de main d'œuvre :

- Lecture des "avis" émis dans la phase précédente par les offreurs de terre
- Sélection des offreurs de terre, gouvernée par le paramètre "niveau d'exigence"
- Émission d'une "proposition" aux offreurs de terre sélectionnés

PHASE 3 : RÉPONSE

(de la part des offreurs de terre)

Actions effectuées par chaque offreur de terre :

- Lecture des "propositions" émises par les offreurs de main d'œuvre et adressées à l'offreur de terre
- Sélection des offreurs de main d'œuvre, gouvernée par le niveau d'exigence
- Classement des offreurs de main d'œuvre sélectionnés, en fonction des paramètres "critères de classement"
- Seconde sélection des offreurs de main d'œuvre, en appliquant dans l'ordre du classement les critères de surface de terre restant offerte et proportion minimale de main d'œuvre exigée
- Émission d'une réponse personnalisée (en terme de surface à labourer proposée) aux offreurs de main d'œuvre retenus

PHASE 4 : CONCRÉTISATION

(de la part des offreurs de main d'œuvre)

Actions effectuées par chaque offreur de main d'œuvre:

- Lecture des "réponses" émises par les offreurs de terre et adressées à l'offreur de main d'œuvre
- Classement des offreurs de terre sélectionnés, en fonction des paramètres "critères de classement"
- sélection des offreurs de terre, en appliquant dans l'ordre du classement les critères de capacité de labour restant disponible et proportion minimale de terre exigée
- Concrétisation d'un accord avec les offreurs de terre retenus

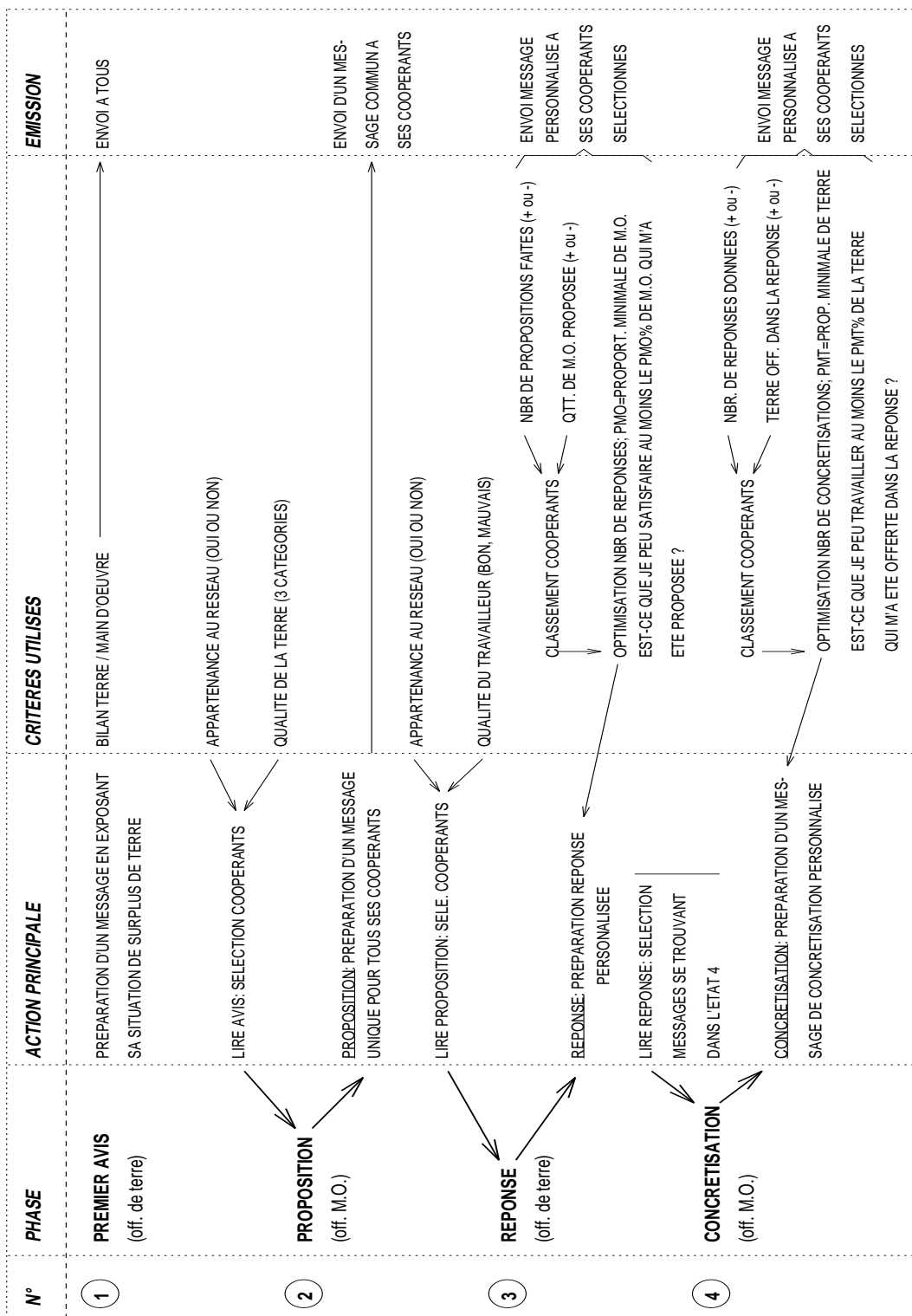


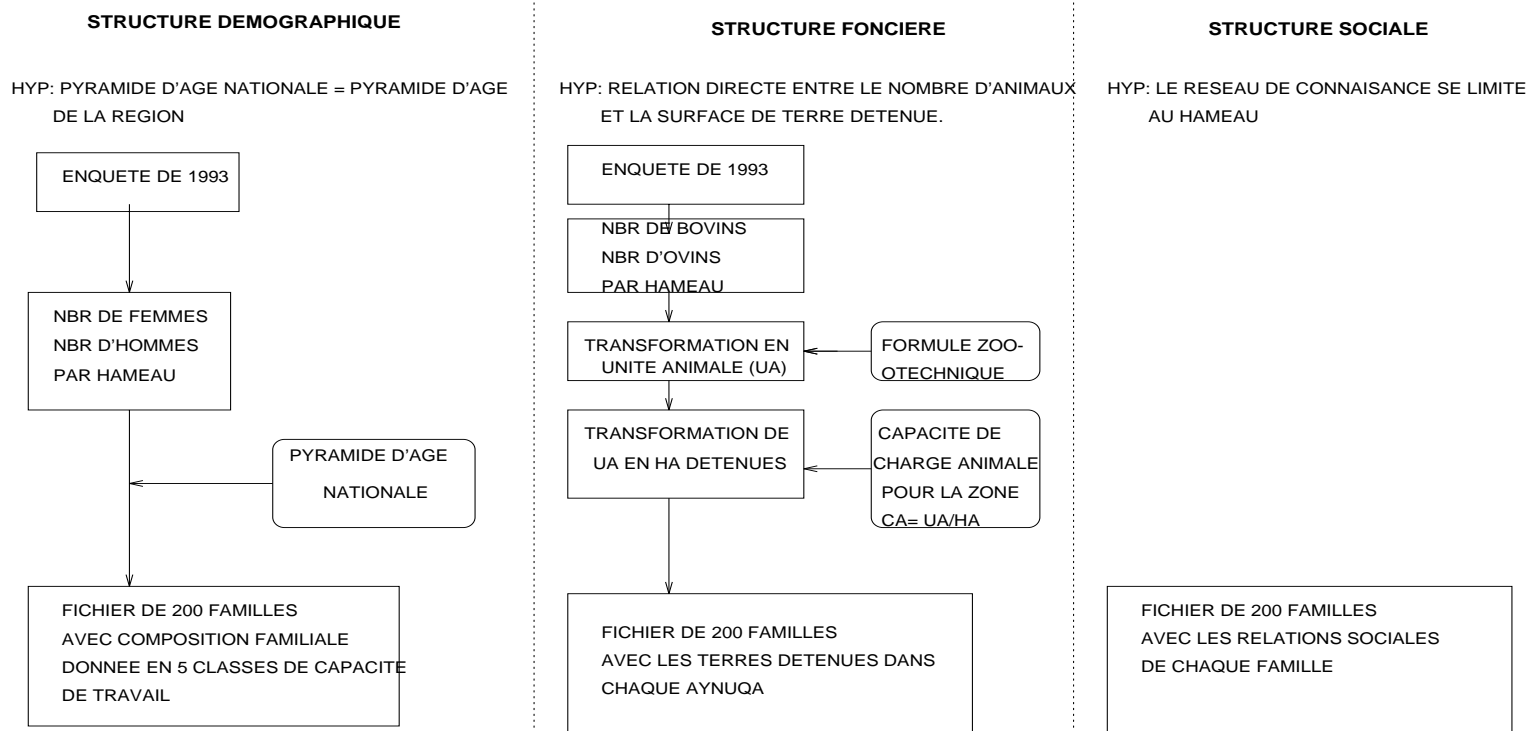
FIG. 7.3 - Schéma du protocole

CONSTRUCTION DU MONDE ARTIFICIEL : DEMARCHE SUIVIE

II. ETABLISSEMENT DES STRUCTURES DEMOGRAPHIQUE, FONCIERE ET SOCIAL DES 200 FAMILLES

- Sources :**
- ENQUETE DE 1993 SUR 71 FAMILLES, DONNANT PAR FAMILLE : HAMEAU DE RESIDENCE, NOMBRE D'HOMMES ET DE FEMMES
NOMBRE DE BOVINS ET OVINS
 - DONNEES DEMOGRAPHIQUES NATIONALES

FIG. 7.4 - *Monde artificiel 2*



Chapitre 8

Le simulateur Simandes

Avant de passer à la présentation des résultats des simulations nous allons, dans ce chapitre, décrire l'outil informatique que nous avons construit pour systématiser nos réflexions sur le fonctionnement des pratiques d'échange *al partir* à Pumani. Nous avons baptisé cet outil SIMANDES pour indiquer que la simulation est appliquée aux accords de réciprocité dans les Andes.

SIMANDES permet non seulement d'exécuter le modèle mais aussi de modifier les valeurs des paramètres, visualiser les résultats et suivre le déroulement des simulations. Ce sont justement ces caractéristiques que nous allons décrire dans la première partie de ce chapitre pour passer ensuite à une description du fonctionnement du modèle.

8.1 Introduction

SIMANDES a été construit au début de la deuxième année de notre recherche. Dans sa première version il ne permettait que l'affichage de deux écrans descriptifs de la région. Il décrivait notamment les terres agricoles communales (les *aynuqa*), les divinités, les hameaux avec leurs familles et le réseau social des familles. Cette première version a été d'une grande utilité pour nos réflexions mais surtout lors de nos discussions avec les membres de l'équipe de chercheurs et certains acteurs du modèle, nous faisons référence ici à certains chefs de famille de la communauté. Nous rappelons que c'est grâce à ces discussions que nous avons pu identifier les règles qui régissent le modèle et les valeurs par défaut des paramètres.

Etant donnée l'approche multi-agents de notre réflexion et compte tenu du fait que les instances des objets peuvent être des agents, la formalisation informatique de nos réflexions exige l'utilisation d'un Langage Orienté Objet (LOO) [26]. C'est la raison pour laquelle nous avons adopté le C++ de Bjarne Stroustrup, développé dans les laboratoires Bell de At et T en 1980 [55], qui est bien un LOO [97]. D'autres produits informatiques sont conformes à cette exigence, mais nous avons choisi le C++ parce qu'il était un des langages les plus stables, avec plus de quinze

ans d'existence sur le marché [55], et qu'il suivait une norme assez standard. Une autre raison de notre choix est que ce langage était majoritairement utilisé dans le laboratoire d'accueil LIA.

La plate-forme informatique sur laquelle nous avons construit le modèle est une machine multi-tâches basée sur un micro processeur RISC, avec un système d'exploitation UNIX [104] sous l'environnement Solaris 2.3. (une Sparc 5 de la marque Sun). Ce choix avait été fait principalement à cause de la puissance de la machine et parce que c'était aussi un standard dans le laboratoire d'accueil. Nous sommes aujourd'hui satisfaits de ce choix parce que nos simulations sont très exigeantes en temps de CPU. Une simulation moyenne qui tourne sur une machine puissante (Ultra 1) prend 15 heures ininterrompues de CPU pour simuler un cycle de 13 ans.

Les interfaces ont été réalisées avec Guide Developer (un produit de SUN corporation) qui, lors de la compilation, génère du code C++. Pour le détail des interfaces nous avons utilisé les commandes des bibliothèques de procédures dans l'environnement Xwindows [19] et [101] ainsi que des fonctions et programmes de Xlib ([70] et [71]).

8.2 Les interfaces du Simulateur

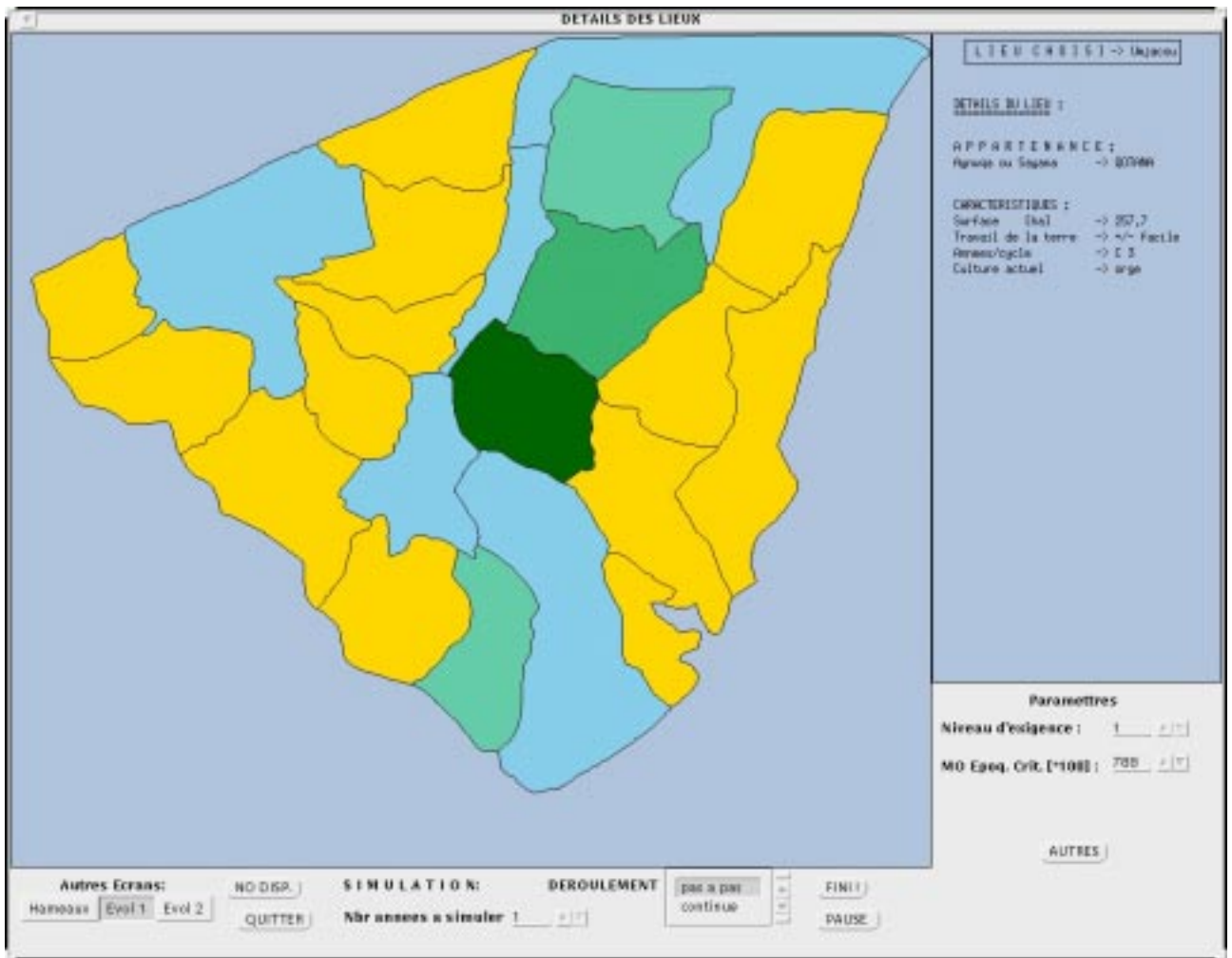
8.2.1 Les interfaces de visualisation

Nous avons divisé les quatre écrans qui constituent l'interface en trois groupes, le premier groupe se réfère aux cartes de la communauté et les deux autres montrent les résultats.

Visualisation des cartes du territoire

Les terres cultivables Le premier écran (figure 8.1) est la carte de la communauté de Pumani, divisée en 22 lots de terre, qui a été élaborée à partir des photos aériennes de 1955 par Hervé et Angulo [40]. Les lots qui sont en couleur jaune et en différentes tonalités de vert ont été choisis pour représenter les terres collectives, les *aynuqa*, le reste (en couleur bleu clair), pour représenter les parties du territoire où sont installées les familles ainsi que leurs terres privées, les *sayaña*.

Parmi les 17 lots ou secteurs d'*aynuqa*, la couleur jaune a été choisie pour représenter les secteurs en jachère. Nous avons choisi trois tonalités de vert pour représenter l'année de culture dans laquelle se trouve chaque secteur, de la façon suivante: la couleur vert foncée a été choisie pour représenter un secteur qui est dans sa première année de culture, un secteur coloré en vert clair est dans sa deuxième année de culture et finalement le vert très clair a été réservé aux secteurs se trouvant dans leur troisième et dernière année de culture, c'est à dire un secteur qui passera au jaune l'année suivante. Grâce à cette carte il est donc

FIG. 8.1 - *Détail des aynupa*

possible de suivre une simulation sur plusieurs années, les couleurs changeront au cours du temps pour montrer l'occupation des sols d'*aynuqa*.

Cette carte peut fournir plus d'information que celle qui est visible à première vue. En sélectionnant avec la souris n'importe quel lot, de l'information supplémentaire s'affiche sur l'écran de droite. Ce complément d'information complémentaire consiste dans le nom du lieu, l'appartenance soit à une *sayaña* ou à une *aynuqa*, la surface totale du lot, un indicateur simple de la qualité de la terre (terre facile à travailler, moyennement facile et terre difficile à travailler), l'année de culture ou de jachère dans laquelle se trouve le lot et la culture s'il s'agit d'une secteur d'*aynuqa* en exploitation.

La partie inférieure de l'écran correspond aux boutons de contrôle de l'inter-

face; elle sera décrite dans la section correspondant à l'interface de paramétrisation.

Divinités, Hameaux et familles Ce deuxième écran qui est divisé en deux (voir figure 8.2) présente de nouveau en plan principal, à gauche, la carte de Pumani mais cette fois ci avec d'autres détails. Le centre d'intérêt de la carte est constitué par les terres privées ou *sayaña*. Nous avons choisi différentes tonalités de marron pour identifier chacun des cinq hameaux. Parmi les secteurs d'*aynuqa* en jachère, de couleur jaune, la couleur jaune pâle est réservée aux secteurs ayant une divinité. Le secteur coloré en vert foncé est le secteur en culture l'année en cours de simulation.

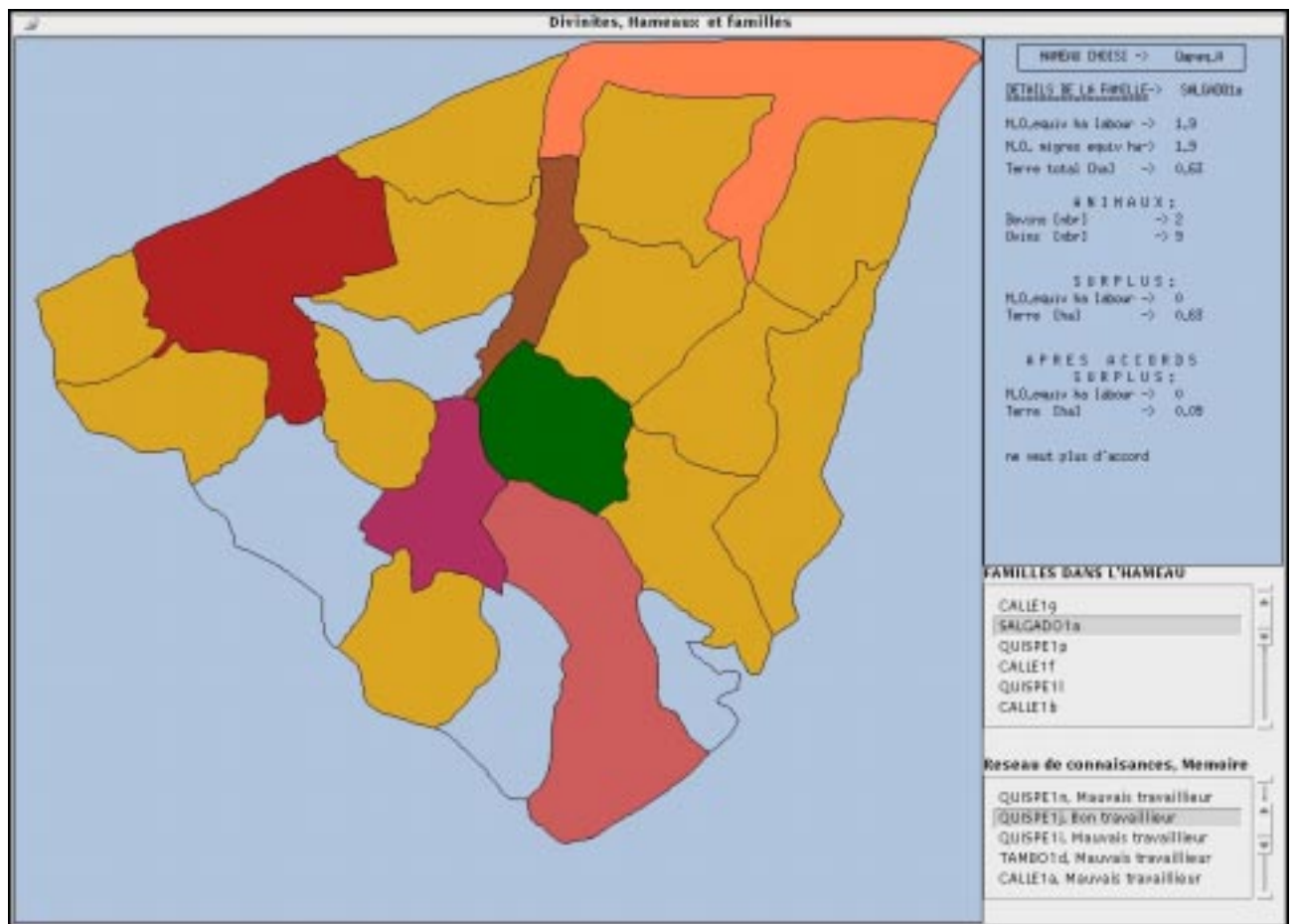


FIG. 8.2 - *Détail des sayaña*

En sélectionnant un secteur de *sayaña* avec la souris, on affiche dans la deuxième partie à droite de cette interface de l'information supplémentaire: le

nom du hameau sur lequel porte la sélection et simultanément, la liste des noms des familles appartenant au hameau apparaît dans la fenêtre qui défile “Familles dans le hameau”. En sélectionnant une famille à partir de cette liste, une nouvelle information s’ajoute avec le nom de la famille, un bilan complet des ressources disponibles avant et après accords, la quantification de la migration, la volonté de la famille de réaliser des accords et le nom des familles dans le réseau de la famille en question.

L’exemple présenté dans la figure 8.2 correspond à la famille SALGADO1a qui appartient au hameau de Qapaqamaya. La situation avant accords de cette famille est la suivante : sa capacité de labour est de 1.9 hectares et la surface de terre qu’elle peut exploiter dans l’*aynuqa* en cours est de 0.63 hectares. Du fait de la migration sa capacité de labour est devenue nulle. Il s’agit d’une famille en surplus de terre avec 0.63 hectares à offrir. La situation après accords montre que son surplus de terre n’est plus que de 0.09 hectares, c’est-à-dire qu’elle a engagé 0.54 hectares dans les accords. Cette famille ne veut plus d’accords du fait de son faible surplus.

Dans la partie inférieure de cette interface, toujours à droite, une fenêtre défilante se remplit au moment de la sélection du hameau : la fenêtre du “Réseau de connaissances, Mémoire”. Il s’agit de la liste de familles qui sont dans le réseau de connaissances de la famille SALGADO1a; elles sont qualifiées de “bons ou de mauvais travailleurs”.

A partir de cette interface il est possible de suivre en détail une simulation sur plusieurs années. Chaque année de simulation non seulement les couleurs changeront, mais aussi toute l’information concernant les familles.

Visualisation de la situation annuelle

La figure (8.3) montre un exemple de cette interface qui correspond à l’*aynuqa Kantiriya*. C’est sur la base de cette prise de vue de l’écran que nous allons décrire les cinq cases.

Information générale. Cette partie présente les données initiales pour l’*aynuqa* en cours de simulation concernant la migration, les caractéristiques générales et le surplus des deux ressources, terre et travail. Ces données sont soit nommes explicitement soit codées afin de faciliter l’explication des cases suivantes.

- “Migration” : montre le nombre de familles concernées par la migration et la diminution de la capacité de labour.
- Caractéristiques de l’*aynuqa*, affiche le nom de l’*aynuqa* en cours de simulation, ici dans l’exemple *Kantiriya*.

FA est le nombre de familles ayant des terres dans l’*aynuqa*; dans l’exemple 194 familles sont dans cette situation. na est la dernière famille ayant des terres dans l’*aynuqa*.

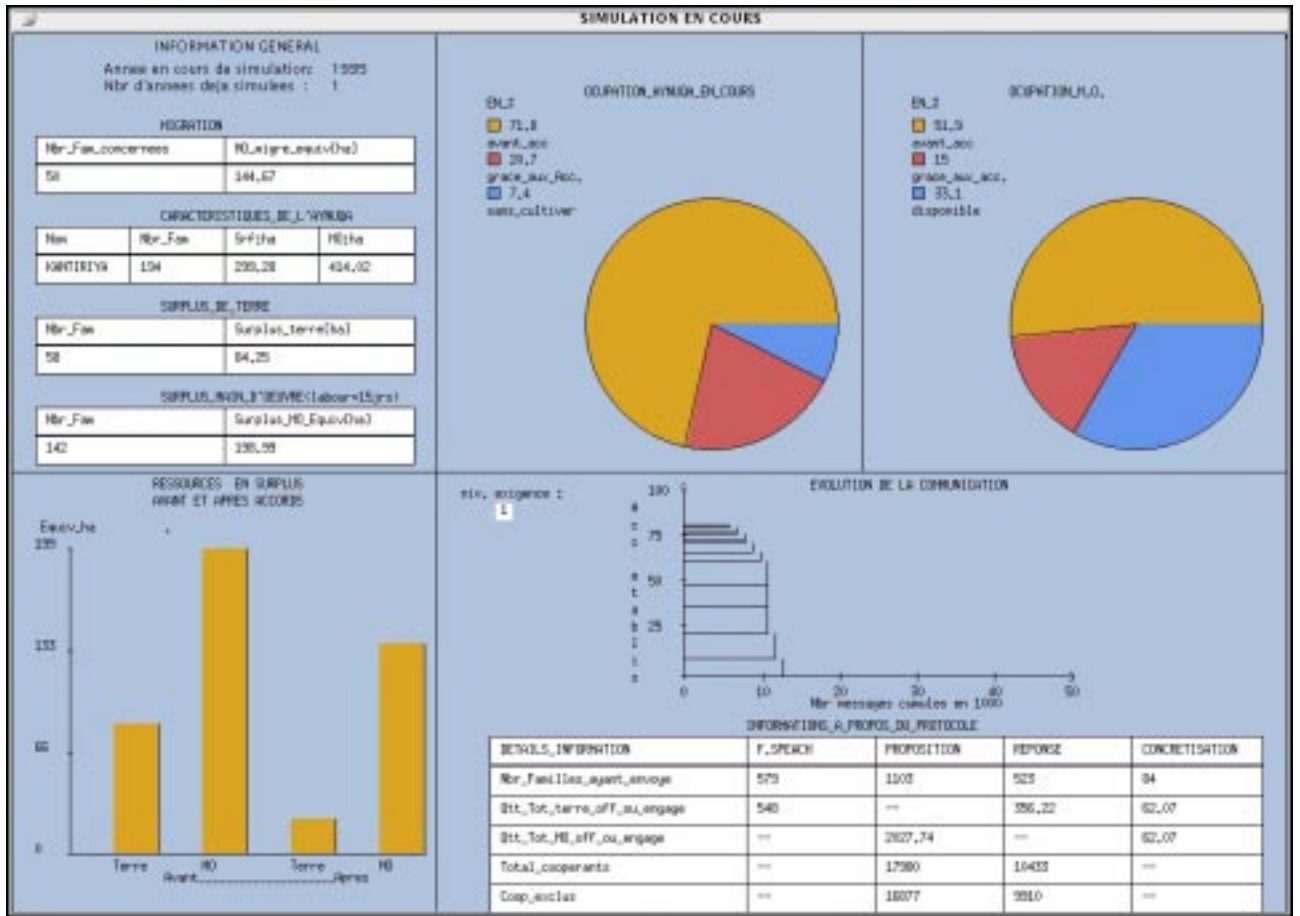


FIG. 8.3 - Résultats sur l'année

TA est la surface totale de l'*aynuqa*.

$$TA = \sum_{i=1}^{na} T_i$$

Où: TA = terre dans l'*aynuqa*; T_i = terre de la famille i ; i = famille dans l'*aynuqa*, pour ($i = 1, 2, 3, \dots, na$).

“Main d’œuvre potentielle” : exprimée en surface, c’est la capacité de labour de la communauté. $M = 414$ ha.

$$M = \sum_{i=1}^n M_i / MOEPCRIT$$

Où: M_i = est la main d’œuvre de la famille i ; n = total familles; MOEPCRIT = taux de conversion du nombre de journaliers en surface (égal dans

l'exemple à 7.88 journaliers/ha).

- Surplus de terre: noté par SM, c'est la quantité de terre qui ne pourrait pas être labourée par leurs propriétaires. Ce tableau présente deux données, le nombre de familles étant en surplus de terre (50 familles dans l'exemple) et le surplus de terre soit, pour l'exemple, 84 ha.
- Surplus de main d'œuvre, est la capacité de labour de toutes les familles de la communauté restante après avoir terminé de labourer ses propres terres. Elle est équivalente à la matrice précédente, c'est-à-dire les familles en surplus de MO noté FASM = 142 et le surplus de MO, SM = 199 ha. (MO = main d'œuvre).

Occupation de l'*aynuqa* en cours, Ce camembert représente le labour de la surface totale de l'*aynuqa* en cours. Le camembert est divisé en trois parties: le pourcentage de terre labourée avant accords, c'est-à-dire la terre labourée par leurs propriétaires, le pourcentage de terre labourée grâce aux accords et le pourcentage de terre qui reste sans labour après accords.

Si nous désignons la terre labourée et le surplus final par :

Tlp = terre labourée par la main d'œuvre propre

Tla = terre labourée grâce aux accords

Tsf = terre restant sans labour à la fin des accords

Les trois portions du graphique peuvent être calculées de la manière suivante :

$$pt1 = \frac{Tlp}{TA}$$

$$pt2 = \frac{Tla}{TA}$$

$$pt3 = \frac{Tsf}{TA}$$

Dans le graphiques ces trois portions sont exprimées en pourcentage.

Occupation de la main d'œuvre, Ce graphique montre comment la capacité de labour est occupée. Il est divisé aussi en trois portions, désignées par des symboles similaires aux précédents :

Mop = MO occupée au labour de la terre propre

$Mo a$ = MO occupée grâce aux accords

Mos = MO en surplus à la fin des accords

C'est sur la base de ce valeurs et de la MO potentielle que nous avons calculé les trois proportions du graphique, proportions qui ont été exprimées en pourcentage.

$$pm1 = \frac{Mop}{M}$$

$$pm2 = \frac{Moa}{M}$$

$$pm3 = \frac{Mof}{M}$$

Ressources en surplus avant et après accords, Les deux premières barres de l'histogramme montrent le surplus des deux ressources avant accords et les deux autres indiquent le surplus de terre et de main d'œuvre après accords.

La proportion de terre qui ne peut pas être labourée par son propriétaire est représentée par la première barre de l'histogramme $Tslp$. Elle correspond à la somme des deux dernières proportions du graphique de l'occupation de la terre.

$$Tslp = pt2 + pt3$$

La deuxième barre de l'histogramme représente la main d'œuvre qui n'est pas occupée dans le labour de ses propres terres $Mnop$. C'est la somme de deux dernières proportions du graphique de l'occupation de la MO.

$$Mnop = pm2 + pm3$$

La terre en surplus après accords, troisième barre de l'histogramme, correspond à la proportion de terre qui reste sans labour après accords, c'est-à-dire la proportion $pt3$ du premier camembert. La MO en surplus après accords, dernière barre de l'histogramme, est la proportion de MO qui n'est pas occupée au labour même après les accords, qui est en fait la proportion $pm3$ du graphique de l'occupation de la MO.

Evolution de la communication, Cette évolution est illustrée à l'aide d'une graphique à deux dimensions. L'axe des abscisses est gradué avec le nombre de messages cumulés et exprimés en milliers de messages. L'axe des coordonnées montre le nombre d'accords ayant été établis. On considère comme un message toute réception de message par un "agent famille" quelconque. Le compteur des accords cumule les accords concrétisés entre deux familles. Les lignes de ce graphique sont tracées au fur et à mesure que la conversation se déroule.

Informations à propos du protocole, Ce tableau présente certains détails du protocole de conversation. Toutes les valeurs présentées sont des données cumulées selon l'étape du protocole, qui s'actualisent chaque fois que le niveau d'exigence change. Par exemple dans la première ligne du tableau on peut lire que 579 premiers avis ont été envoyés pour un premier niveau d'exigence, 1103 propositions se sont accumulées auxquelles 523 réponses ont été données et 84 accords ont été finalement concrétisés.

Visualisation de l'évolution de la simulation

Toutes les années simulées sont résumées par cet écran dont nous présentons un exemple pour une situation de référence (figure 8.4). L'écran est divisé en trois parties, la première partie présente un histogramme montrant le labour de la terre, la deuxième est constituée par deux courbes montrant l'efficacité des accords quant à la terre et la dernière partie est un grand tableau montrant un résumé de la situation des *aynuqa* simulées. Tous les composants de l'écran s'ajustent automatiquement au nombre d'années simulé pour faire varier la présentation.

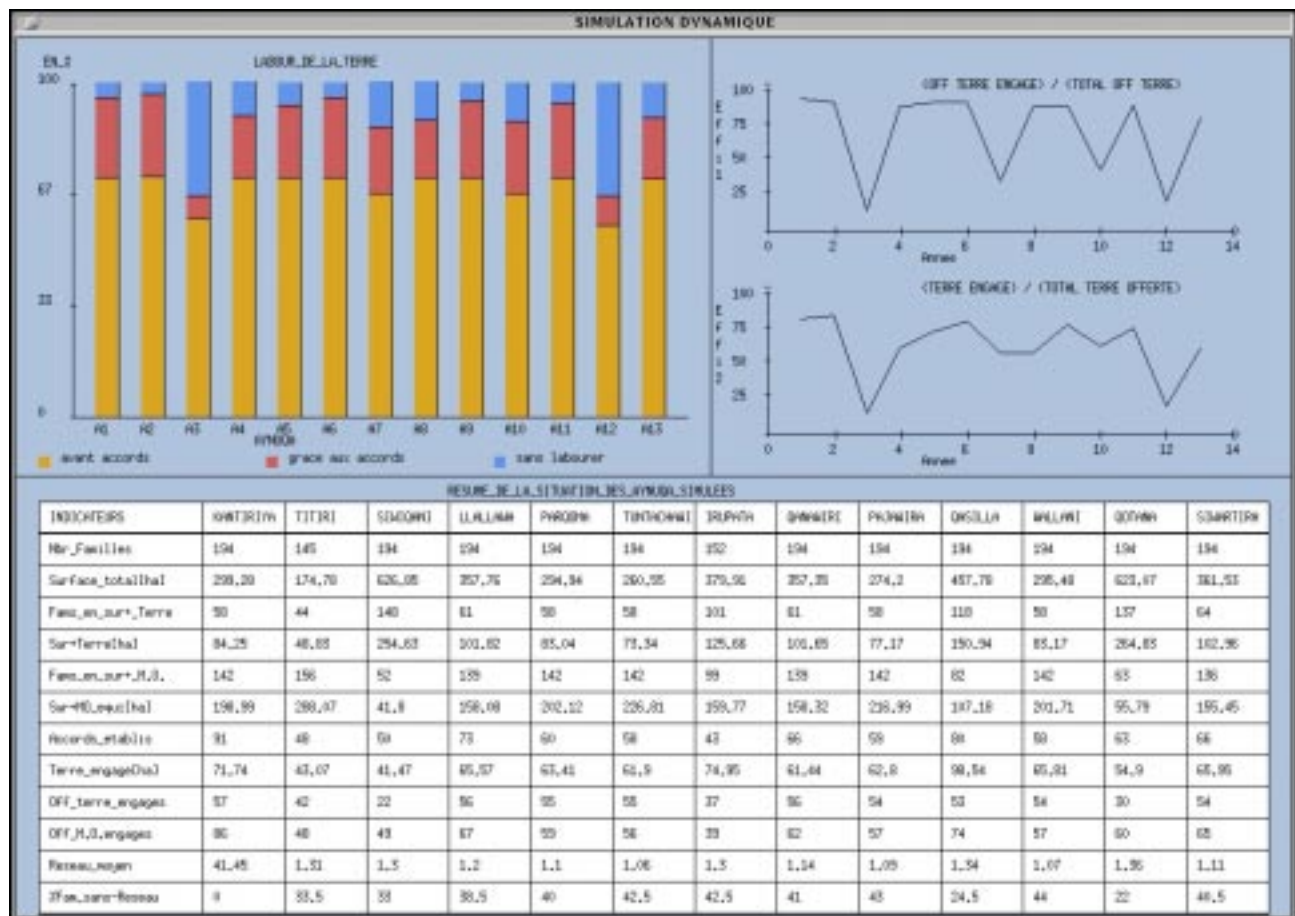


FIG. 8.4 - Résultats sur l'ensemble de la simulation

- L'histogramme de notre exemple présente 12 barres, une pour chaque année simulée. Chaque barre est composée de 3 parties, la partie inférieure, en couleur rose pale, représente la proportion de terre labourée avant accords, la partie centrale, en couleur jaune, est la proportion de terre labourée

grâce aux accords et la partie supérieure, en couleur verte, est la proportion de terre qui reste sans culture après accords. Toutes ces proportions sont exprimées en pourcentage.

Par exemple on peut voir qu'au bout de la première année simulée, près de 72% de la terre totale a été labourée avant accords, 24% de la terre a été labourée grâce aux accords et 4% du total reste abandonné.

- Les courbes d'efficacité montrent l'évolution de deux proportions au long de la simulation, la première reflète la proportion de offreurs de terre engagés par rapport au total de familles en surplus de terre, la deuxième proportion est le rapport entre la quantité de terre engagée et le surplus total de terre.
- Le tableau général présente un détail des 12 indicateurs par *aynuqa* simulé, que sont décrits dans le tableau 8.1 :

Libellée	Description
Nbr Familles	Nombre de familles ayant des terres dans l' <i>aynuqa</i> correspondante
Surface totale[ha]	Surface totale de l' <i>aynuqa</i> exprimée en ha
Fams en sur+ Terre	Familles se trouvant en surplus de terre après avoir réalisé les bilans terre travail
Sur+Terre[ha]	Quantification du surplus de terre en ha
Fams.en sur+ MO	C'est le nombre de familles se trouvant en surplus de MO après avoir réalisé leur bilan terre capacité de labour
Sur+MO.equ[ha]	Quantification du surplus de la capacité de labour exprimé en hectares de labour
hline Accords établis	C'est le nombre d'accords réalisés dans l'année
Terre engage[ha]	C'est la quantité de terre qui a été engagée dans l'ensemble des accords
Off.terre engages	Nombre de familles en surplus de terre ayant trouvé un partenaire pour labourer ses terres
Off.MO. engage	Nombre de familles en surplus de terre ayant trouvé des terres pour labourer
Réseau moyen	Nombre moyen de familles repérées et présentes dans la mémoire de chaque famille
%Fam.sans réseau	% de familles n'ayant pas de partenaires potentiels

TAB. 8.1 - *Signification des indicateurs du tableau général*

8.2.2 L'interface de paramétrisation

La prise de vue de l'écran de la figure (8.1), affiche dans sa partie inférieure une série de boutons qui permettent le changement des valeurs des paramètres,

l'initialisation et le démarrage du modèle. Nous les présentons en deux parties : les boutons de réglage et les paramètres.

Les boutons de réglage

Il y a sept boutons qui permettent régler le logiciel avant son démarrage :

- “Autres écrans” : permet le changement d'écran vers le détail des hameaux, les résultats annuels et l'évolution de la simulation.
- “NO DISP” : signifie non disponible. Au début de l'initialisation, l'intitulé INITIALISATION permet d'initialiser les agents et objets du modèle.
- “QUITTER” : permet l'abandon du logiciel. Cette option ne peut être utilisée que lors qu'au moins une année a été simulée.
- “Nbr d'années à simuler” : permet de choisir entre 1 et 13 ans de simulation.
- “DÉROULEMENT” : deux types de déroulement sont possibles, année par année et en continu jusqu'à la fin de la simulation.
- “FIN” : ce bouton peut présenter trois libellés : a) NO DISP! non disponible avant l'initialisation b) TOURNE lorsque que le logiciel est en cours de simulation c) FIN! lorsque la simulation est terminée.
- “PAUSE” : permet d'arrêter la simulation à la fin de chaque année simulée.

Les paramètres

La figure 8.5 qui est une prise de vue de l'écran, montre l'ensemble des paramètres pouvant être modifiés.

Paramètres	
Niveau d'exigence :	6
MO Epoq. Crit. [*100] :	788
AUTRES	
Autres Paramètres	
REPONSE (off Terre)	
Crit. Classmt Coops :	1
Ordre Classement :	+ -
Prop. Min. MO [%] :	50
CONCRETISATION (off MO)	
Crit. Classmt Coops :	2
Ordre Classement :	+ -
Prop. Min. Terre [%] :	50
MIGRATIONS	
Nbr de migrants :	100
Strategie (1, 2, 3) :	1
MEMOIRE	
Avec evolution ? :	non oui

FIG. 8.5 - Les paramètres

La signification et les limites des paramètres de la figure 8.5 sont donnés dans le tableau 8.2.

8.2.3 Sorties de résultats sur fichiers

Certains résultats sont présentés dans un format de fichier ASCII ¹, enregistrés de manière à ce qu'ils puissent être lus directement par un tableur électronique (exemple Qpro). Nous ne présenterons qu'un résumé dans le corps du texte. Pour plus de détails, l'annexe "Résultats complémentaires" doit être consultée.

Situation initiale

Ce fichier montre, par famille, des modifications de la main d'oeuvre à la suite de la migration, comme par exemple la capacité de labour restant après accords, le nombre de personnes migrées et la capacité de labour perdue du fait de la migration.

1. Format standard d'enregistrement des fichiers informatiques, lu par la plupart d'ordinateurs.

Réseau de connaissances

Dans ce fichier, par année simulée, on trouve l'état de l'élément mémoire de la famille en forme de duplex $\langle \text{code}, \text{qualite} \rangle$

Où code = code de la famille référencée et qualité = bonne ou mauvaise.

Détail du protocole

Le protocole génère de l'information intermédiaire concernant ses étapes, qui est pour l'essentiel résumée dans un fichier. L'information est séparée par année de simulation et par niveau d'exigence.

État de la famille après accords

Le nombre de fichiers de ce type est égal au nombre d'années simulées. On y trouve les quantités de deux ressources principales de notre système: terre et main d'oeuvre pour chaque famille, avant les accords et après les accords.

Résultat général

Ce fichier résume les résultats de toutes les années simulées. L'information est rangée par colonne, où chaque colonne correspond à une *aynuqa*. Le contenu est exactement le même que celui qui est présenté dans le tableau général de l'interface de l'évolution des accords.

Temps écoulé

Fichier auxiliaire qui enregistre avec un détail annuel l'heure au début et à la fin de chaque année simulée, ainsi que le nombre de messages échangés à chaque niveau d'exigence.

8.3 Boucle principale du simulateur

La figure 8.6 est une simplification de la boucle principale du modèle dans laquelle nous ne prenons en compte que trois aspects : les étapes à réaliser dans l'interface avant le démarrage, deux décisions importantes et le protocole de communication.

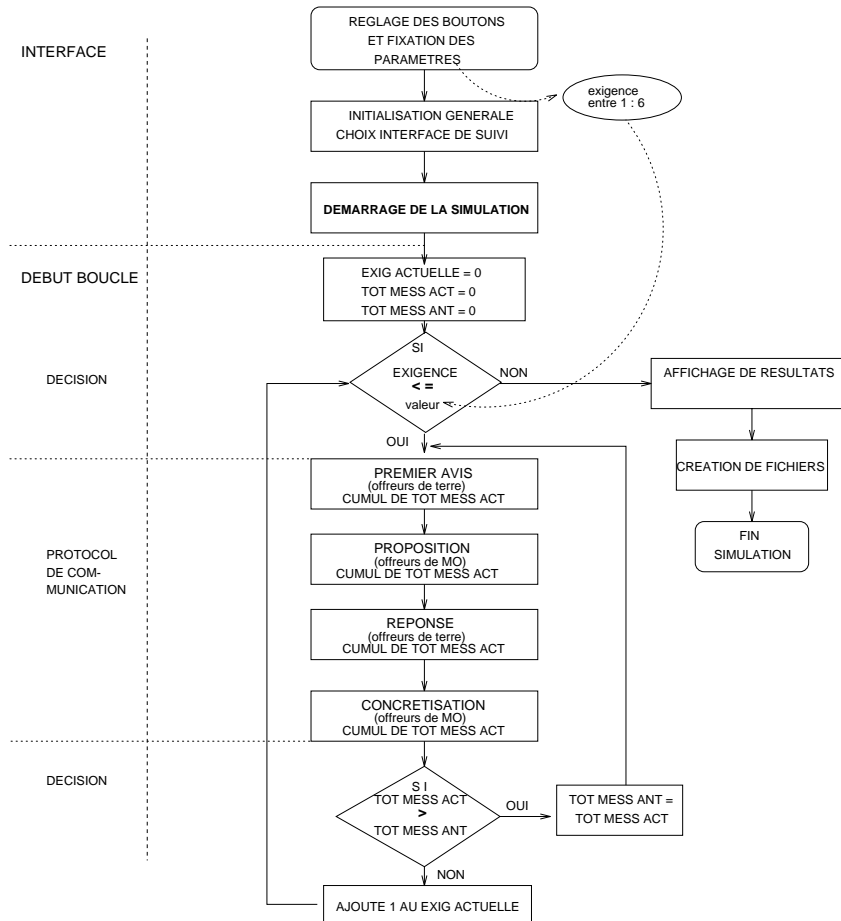


FIG. 8.6 - Diagramme de la boucle principale

Le diagramme que nous présentons est excessivement simplifié, il ne permet pas d'expliquer le détail du fonctionnement du modèle mais il nous permet d'introduire un certain nombre de concepts importants pour la compréhension de la façon dont le logiciel a été conçu. D'autres précisions se trouvent dans le chapitre d'«Annexes» dans la section des détails de la programmation, où nous présentons la déclaration de classes.

La première partie de ce diagramme concerne les manipulations nécessaires pour réaliser l'interface, comme la fixation des paramètres, l'initialisation générale

du modèle, le choix de la fenêtre à partir de laquelle on veut suivre le déroulement de la simulation et finalement le démarrage de la simulation.

Puis vient l'initialisation de trois variables qui contribuent au contrôle du déroulement. EXIG.ACTUELLE représente un compteur de l'exigence actuelle. TOT MESS ACT est aussi un compteur, qui s'ajoute à chaque pas du protocole, il compte le nombre total de messages qui ont été envoyés avant la deuxième décision. TOT MESS ANT compte le nombre total de messages envoyés dans une itération précédente. NIV EXIGENCE ou niveau d'exigence est un paramètre fixé avant le démarrage.

Après cette initialisation de variables, on peut voir que la boucle est contrôlée par deux tests de décision, le niveau d'exigence et le nombre de messages que nous détaillons ci-après.

Le niveau d'exigence comme contrôle de la boucle

Nous voyons que le protocole se répète tant que le niveau d'exigence, fixé au départ, n'est pas atteint. Mais la valeur du niveau d'exigence ne sert pas uniquement à ce contrôle car elle est utilisée dans les deux premières étapes du protocole lors de la lecture des messages. Par exemple les offreurs de MO construisent leur liste de coopérants en se basant sur le niveau d'exigence.

Le nombre de messages comme contrôle des itérations

Avant de parler de ce élément de contrôle, il est important d'indiquer que dans la boucle principale, gérée par le niveau d'exigence, il existe une itération, la même qui sera répétée jusqu'à ce qu'il n'y ait plus de messages, c'est-à-dire jusqu'à ce que la conversation, sous les contraintes imposées par le niveau d'exigence, se soit terminée. Contrairement à l'élément antérieur, le nombre de messages avant et après chaque itération n'est qu'un simple contrôle informatique.

Protocole de communication

Le protocole de communication a déjà été expliqué dans le chapitre "Modélisation". Nous n'allons fournir ici qu'une rapide explication de la mise en place du protocole dans le simulateur.

Le protocole, avant de commencer avec la séquence d'étapes, procède à la récupération de l'ensemble des paramètres à partir de l'interface initial. Il marque ensuite les pas à suivre aux agents du modèle dans l'ordre déjà mentionné. Dans une première instance, lors du premier envoi, le logiciel sépare l'ensemble d'"agents famille" en deux groupes : a) les offreurs de terre et b) les offreurs de main d'œuvre. Une fois que les deux listes ont été constituées, le logiciel donne la possibilité de lire puis d'envoyer des messages à chaque groupe d'"agents familles" lorsque leur tour dans le protocole est arrivé. Il donne la main, pour deux fois consécutives, aux "agents famille" en surplus de main d'œuvre; la première permet à ces agents

de lire les premiers avis envoyés tout en constituant une liste de coopérants et la deuxième leur permet d’envoyer une proposition unique à tous ces coopérants.

Deux aspects nous paraissent essentiels dans ces explications: la notion d’agent et l’idée d’une structure d’échange de messages, sur lesquels nous allons revenir.

8.3.1 Agents et objets du modèle

Ces deux termes désignent des entités informatiques, des parties de programmes ou comme on les appelle dans le langage orienté objet : des **instances de classes** [55], [26], [56], qui nous servent à représenter des entités du monde réel. Nous rappelons les deux concepts qui ont été donnés lors de la “Construction du Modèle”, c’est-à-dire que :

Agent désigne tout programme informatique qui représente un acteur humain.

Objet désigne tout programme informatique qui représente une entité du monde réel autre que l’acteur humain.

8.3.2 Agents du modèle

Le seul type d’agent de notre modèle est l’agent “famille” qui doit être autonome. Pour ceci, deux considérations sont nécessaires : que l’agent puisse disposer de données mais aussi de méthodes lui permettant de faire face aux situations dans lesquelles pourrait se trouver lors des négociations entre agents. Ces considérations sont parfaitement prises en compte dans des langages de programmation orientés objets comme celui que nous avons utilisé pour notre modèle, le C++.

Nous décrirons les deux volets de l’agent famille, les données et les méthodes.
a) Les données ou attributs caractérisant l’agent “famille” sont décrits ci-dessous.

- Nom .- Une chaîne de caractères qui contient le nom de la famille, suivi du numéro du hameau auquel appartient la famille et une lettre en minuscule pour différencier deux familles ayant le même nom et appartenant au même hameau. Par exemple, QUISPE1a et QUISPE1b sont deux familles appartenant à un même hameau, dans ce cas *Qhapaqhamaya* (voir la section suivante “Les structures du monde artificiel”).
- Code .- Un numéro entier unique pour chaque famille qui sert à identifier chacune des 200 familles.
- Membres .- Une liste de paires du type $\langle code, nombre \rangle$ où : *code* est le numéro d’une classe d’âge parmi les 5 qui sont présentées plus loin dans le tableau 7.2 et *nombre* est le nombre de personnes de la famille appartenant à la classe indiquée par le premier élément de la paire.

- Terre .- Une liste de paires du type $\langle code, surface \rangle$, où : *code* est le code du lieu, dans l'*aynuqa* qui sera labourée l'année en cours de simulation et dans lequel la famille a ses terres et *surface* est la taille en hectares de la partie du lieu attribué à la famille.
- Animal .- Une liste de paires du type $\langle code, quantite \rangle$, où *code* correspond au type d'animal (bovin ou ovin) et *quantité* est le nombre d'animaux de ce type, que la famille possède.
- Mémoire .- Liste de paires qui sert à repérer les autres familles, elle est du type $\langle code, qualification \rangle$, où *code* est le code d'une autre famille, considérée ou qualifiée comme bonne ou mauvaise travailleuse.
- BpPersonnelle .- Une structure où sont introduits les numéros de messages qui ont été adressés à la famille. Le numéro de message correspond au numéro avec lequel ce dernier est identifié dans la boîte postale générale, ce concept sera développé dans le chapitre concernant "Le simulateur SIMANDES".
- Coopérants².- Une liste des codes des familles représentant les possibles partenaires pour l'établissement des accords.
- Volonté .- Variable logique qui signale la volonté ou l'impossibilité d'une famille à entamer une conversation en vue de l'établissement des accords.
- Volonté de migrer .- Du même type que la volonté mais pour indiquer la volonté à la migration.

b) Dans la description des méthodes les plus importantes, nous faisons référence à certains éléments comme la structure de stockage des messages, les proportions minimales de ressources et les critères de classement des coopérants, ceci d'une façon très succincte. Ces aspects seront développés plus loin dans ce même chapitre. Le terme paramètre désigne ici les éléments dont chaque méthode ou fonction a besoin pour réaliser les calculs qui n'ont rien à voir avec les paramètres du modèle.

Nous décrivons ci-dessous les méthodes d'un agent type en indiquant les paramètres de la méthode, l'action que réalise la méthode et les valeurs qu'elle retourne après son exécution.

- Pose .- Ce groupe de méthodes requiert comme paramètre le ou les données et les types de l'attribut qui doit être modifié s'il s'agit d'une valeur ou

2. Le terme de coopérant est employé dans ce chapitre dans le même sens que Ferber [27] lui donne en citant que "la coopération est une attitude des agents qui se décident de travailler en commun". Dans le modèle SIMANDES, un coopérant est une famille ou un agent famille qui est en déficit d'une ressource, qui considère comme coopérant à une autre famille qui dispose de cette ressource et avec qui elle peut, éventuellement, communiquer.

ajouté s'il s'agit d'une liste. La méthode sert à contrôler l'entrée des données dans les attributs de l'agent lors de l'initialisation ou lors des changements au cours de la simulation. Aucune valeur n'est rendue ni modifiée à la fin de l'exécution de la méthode.

- Obtiens .- Groupe de méthodes qui ne requiert aucun paramètre. Ces méthodes ont comme fonction de rendre un attribut de l'agent.
- Migre .- Trois paramètres sont nécessaires pour l'exécution de cette méthode : la stratégie de migration, l'intensité avec laquelle les membres migrent et le nombre maximum de personnes qui restent à migrer. Sa fonction est de déterminer si la famille a des effectifs pour migrer; à la fin de son exécution, elle fournit le nombre de personnes ayant migré.
- Calcul ressources .- Sans aucun paramètre, cette méthode fait le bilan terre/main d'œuvre , et fournit les surplus de chacune de ces deux ressources.
- Trouve mémoire .- A partir du code d'une famille, la méthode cherche cette dernière dans la mémoire de l'agent et si elle la trouve, elle fournit la qualité du travail de la famille référencée.
- Trouve message .- Avec comme paramètre la structure de stockage des messages et le numéro de message, elle permet à l'agent d'accéder en lecture à un message qui lui est adressé.
- Trouve message coopérant .- En lui communiquant directement, comme paramètre, le code d'un de ses coopérants et la structure de stockage des messages, l'agent peut accéder en lecture à un message qui lui est adressé .
- Premier avis .- Première méthode de conversation. Les paramètres nécessaires sont la difficulté de travail et la qualité de la terre. La méthode permet à l'agent de réaliser son bilan au début de la communication et, si ce dernier est excédentaire en terre, elle lui permet d'émettre un message adressé à tous sauf à lui même.
- Lire premier avis .- Les paramètres nécessaires sont la structure de stockage des messages et le niveau d'exigence avec lequel a lieu la conversation. La méthode permet la lecture et le triage des premiers avis qui lui sont adressés. Elle majore un compteur avec le nombre de premiers avis retenus; compteur qui, comme tous les autres qui viennent après, est utilisé dans l'affichage des résultats intermédiaires. Cette méthode ne fournit aucune valeur.
- Proposition .- Sans paramètres, cette méthode permet à l'agent d'envoyer une proposition de son surplus en main d'œuvre à tous ses coopérants.

- Lire proposition .- Pour la lecture des propositions, elle a besoin des deux paramètres, la structure de stockage des messages et le niveau d'exigence. Elle majore un compteur du nombre de propositions retenues, il n'y a plus de triage de coopérants.
- Réponse .- Les paramètres requis sont la structure de stockage des messages, une proportion minimale qui est exigée par les offreurs de main d'oeuvre et le critère de classement des coopérants. Cette méthode permet à l'agent de répondre aux offreurs de main d'oeuvre ayant adressé leur proposition. Comme résultat elle majore trois compteurs utiles pour l'affichage des écrans : le numéro de messages, le nombre de réponses envoyées et la quantité de terre proposée.
- Lire réponse .- Deux paramètres sont nécessaires, la structure de stockage des messages et le niveau d'exigence. C'est une méthode utile pour la lecture des réponses. Il n'y a pas de tri, c'est-à-dire que toute réponse lu est retenue. La méthode ne renvoie pas de valeur.
- Concrétisation .- Les paramètres nécessaires sont la structure de stockage des messages, une proportion minimale de terre exigée par les offreurs de terre et le critère de classement des coopérants. C'est la dernière méthode de conversation que l'agent utilise lorsqu'il se trouve en situation de surplus quant à la main d'oeuvre. Elle lui permet d'envoyer un message personnalisé aux familles ayant envoyé leur réponse et qu'il peut satisfaire. Comme résultat, trois compteurs sont majorés chaque fois que cette méthode est utilisée, le nombre de familles auxquelles une concrétisation a été envoyée, la quantité de terre et de main d'oeuvre qui a été engagée.
- Modifie ressources .- Les paramètres sont le code de la ressource, la quantité de la ressource et la difficulté de labour. L'action de cette méthode est de diminuer la quantité d'une ressource engagée dans un accord à partir de la disponibilité totale de cette ressource. Aucune valeur de sortie n'est produite.

L'agent "famille" dispose d'autres méthodes que nous préférons énoncer dans l'annexe "Détails de la programmation" en raison de leur spécificité informatique.

8.3.3 Objets du modèle

Nous avons identifié 17 objets tels que nous les avons définis. En ne citant que les plus importants, il est possible de les résumer dans un tableau (tableau 7.1). La déclaration de la totalité des classes est présentée dans l'annexe "Détails de la programmation".

Les objets que nous allons décrire possèdent en commun deux attributs et deux méthodes; les attributs sont le nom et le code; les méthodes sont celles de

“pose” et “obtient” similaires à celles décrites dans l’agent famille. Ces attributs et ces méthodes ne seront plus mentionnés lors de la description de chaque objet.

- communauté .- Lors de la conception de notre modèle, nous avons décidé d’encapsuler dans cet objet l’ensemble des agents “famille”, tous les objets du type lieu, *aynuqa*, *sayaña*, hameau et réciprocité. Dès qu’un de ces agents ou objets est initialisé, cet objet “communauté” a pour rôle de les stocker. Pour toute requête à un des agents ou objets du monde artificiel il faut passer toujours par l’objet “communauté” qui possède toutes les méthodes nécessaires pour accéder à et pour inclure un agent ou un objet.
- hameau .- Un objet simple par rapport au précédent, il contient deux renseignements particuliers, une liste des codes des familles qui sont dans le hameau et le “lieu” que le hameau a occupé.
- mémoire .- Cet objet a deux attributs spécifiques : le code d’une famille et sa qualité comme travailleur.
- lieu .- Représente la plus petite surface de terre ayant été répertoriée parmi les objets, et où est inscrite la qualité de la terre. Chaque lieu est rattaché soit à une *aynuqa*, soit à une *sayaña*. Le lieu est également caractérisé par la surface et les coordonnées du polygone qui le délimite.
- aynuqa .- Représente les terres communales. C’est un ensemble de lieux qui contient aussi le lieu où est située sa divinité, l’année du cycle de rotation dans laquelle elle se trouve à un moment donné, la culture qui occupe le lieu considéré et le détail de la répartition de l’*aynuqa* entre les familles de la communauté.
- sayaña .- C’est le lieu où se trouvent les terres privés de *sayaña* et la culture en cours.
- simandes .- C’est un agent qui ne contient pas d’attributs mais la plupart des méthodes pour la simulation et pour l’affichage des écrans. Il contient la boucle principale du programme et travaille en relation constante avec l’objet communauté.
- message .- Cet objet est une partie fondamentale de la communication. Pour cette raison, il est exposé dans la section “Modélisation de la conversation” dans ce même chapitre.
- graphique .- C’est un objet qui permet la visualisation des données sous forme de graphiques, matrices, histogrammes, camemberts et courbes en axes de coordonnées.

8.3.4 L'acheminement des messages

Jusqu'à maintenant nous avons parlé du fait que l'information est échangée entre les agents via messages, mais nous n'avons pas encore mentionné la façon dont on accède à cette information. Les agents devront pouvoir recevoir des messages mais devront aussi avoir la capacité de les envoyer. Ce transfert de messages peut être réalisé de deux façons : - soit directement par l'échange de messages entre agents, - soit de manière partagée, lorsque les agents jouissent d'un accès partagé à ces données à travers une structure appelée tableau noir qui constitue une des structures les plus utilisées dans les systèmes multi-agents (SMA)[72] [69], contrairement à la tendance de les abandonner qui avait cours une année avant sans trop d'arguments [27].

Pour le modèle, nous avons adopté l'accès partagé au tableau noir en filtrant l'entrée des agents (ce qui sera expliqué en détail plus loin). Cette structure de support pour l'échange de messages nous a semblé plus adaptée à notre cas, principalement parce que la conversation entre 200 agents familles risquait de générer un grand nombre de messages. Franchesquin [29], lors qu'elle a modélisé un type de négociation entre 13 familles a été confrontée au même type de problème. L'échange de messages direct entre agents se faisait par l'intermédiaire d'un dispositif appelé boîte à lettres. Elle a trouvé que le nombre de messages en se multipliant pouvait devenir ingérable si le nombre d'agents participant à la négociation augmentait.

Dans notre cas, nous avons pu constater que, lors des simulations, le volume de messages échangés, sur le premier niveau d'exigence dans l'*aynuqa* la plus petite (*Titiri*), atteint les 8756 (44×199) messages. En réalité, la boîte postale générale ne gère que 44 messages émis par les familles se trouvant en surplus de terre³.

Tout message passe nécessairement par la boîte postale générale, en homologuant la fonction du bureau de la poste bolivienne, qui s'occupe de recevoir tous les messages et de les mettre à la disposition des concernés. Une schématisation de cette boîte est présentée dans la figure 8.7.

Cette figure montre la situation de la boîte postale à un moment donné, où deux groupes de familles communiquent. Les agents expéditeurs peuvent écrire leurs messages sans aucune restriction, ces messages sont stockés dans une partie de la structure, en forme de triplet : $\langle n, message, controle \rangle$, où : n correspond au numéro séquentiel des messages; *message* est le message composé (tableau 8.3) et *contrôle* est un drapeau ayant deux positions possibles. Il peut être déplié pour indiquer que le message n'a pas encore été distribué et plié pour indiquer que le message a déjà été distribué. Ce stockage des messages sous forme de triplet assure une bonne gestion des messages qui passent par la boîte postale. Le fait que l'écriture est directe et simple n'est pas gênant car il existe un filtre qui

3. Pour plus de détails, se référer à la première étape du protocole, expliqué dans le chapitre précédent et aux résultats de la simulation de référence, dans le chapitre de "Résultats et Discussions".

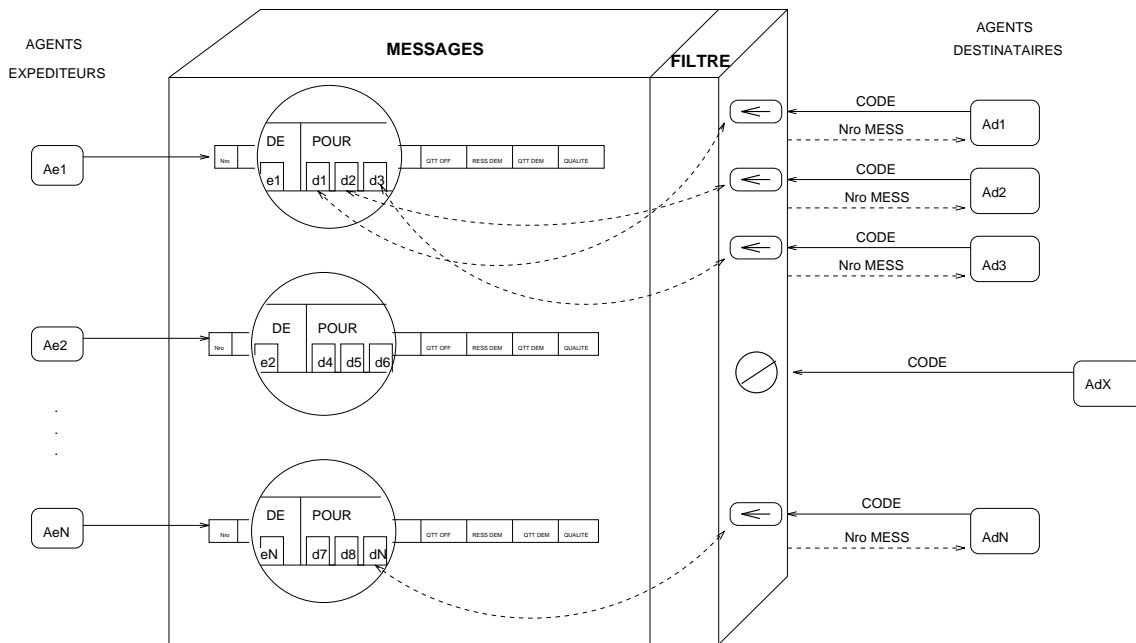


FIG. 8.7 - Structure du tableau noir pour l'acheminement des messages

bloque ou donne l'autorisation de lecture des messages aux agents destinataires.

Si nous suivons par exemple le message envoyé par Ae1 (agent expéditeur 1), ce dernier écrit son message dans la partie correspondant au stockage. Ce message contient, entre autres, deux éléments importants pour sa gestion : le code de l'expéditeur (e1) et la liste des destinataires (d1, d2, d3). Lorsque le tour des agents destinataires (Ad1, Ad2, Ad3) arrive, ils passent leur code personnel à la boîte postale, qui vérifie s'ils sont parmi les destinataires. Dans l'exemple ils sont bien destinataires donc le numéro du message correspondant leur est transmis. Un agent n'ayant pas de messages (AdX) ne recevrait aucune réponse lors de sa requête, le manque de correspondance étant alors implicite.

La boîte postale est consultée à chaque pas du protocole et elle est ensuite effacée en ne gardant que les valeurs globales du nombre de messages et du nombre de destinataires totaux, données nécessaires pour l'affichage des résultats intermédiaires.

Paramètre	Description
Niveau d'exigence	La valeur de ce paramètre peut varier entre 1 et 6, 1 est le niveau d'exigence le plus élevé et 6 le plus tolérant
MO époque critique	Permet l'introduction du taux de conversion de la MO des journaliers en hectares de labour multiplié par 100, la valeur limite est de 9999 c'est-à-dire. 99.99 journaliers/ha.
Réponse de la part des offreurs de terre	
Crit de class. Coops	Permet aux offreurs de terre de classer leurs coopérants sur deux critères : 1= nombre de messages envoyés par le coopérant potentiel et 2 = quantité de main d'œuvre offerte par le coopérant potentiel, ceci en ordre croissant ou décroissant.
Prop. Min. MO [%]	Permet l'introduction de la proportion minimale de la MO que les offreurs de cette ressource sont prêts à offrir à un offreur de terres. Cette proportion varie de 1 à 100%.
Concrétisation de la part des offreurs de MO	
Crit classmt Coops	Le critère de classement des coopérants permet aux offreurs de MO de classer leurs coopérants de deux façons : a) en fonction du nombre de messages envoyés par les deuxièmes et b) en fonction de la surface de terre offerte, l'ordre pouvant être croissant ou décroissant.
Prop.Min.Terre[%]	C'est la proportion minimale de terre (exprimée en pourcentage) que les offreurs de terre demandent de respecter avant de concrétiser un accord. Cette proportion varie entre 1 et 100%.
Migrations	
Nbr de migrants	Sert à régler le nombre de personnes dont on veut simuler le départ lors de la migration. Ce nombre peut varier entre 1 et 1000 personnes.
Stratégie	Permet de choisir une des trois stratégies de migration.
Mémoire des familles	
Avec évolution?	La réponse à cette question par oui ou non définira si la mémoire des familles évolue ou pas.

TAB. 8.2 - *Signification et utilisation de paramètres*

De	Pour	état	Ressource offerte	Quantité offerte	Ressource demandé	Quantité demandé	Qualité
code famille	code familles	proposi. réponse concrét.	code ressource	ha ou jours travail	code ressource	ha ou jours travail	Ressource offerte

TAB. 8.3 - *Eléments d'un message composé*

Chapitre 9

Présentation des résultats

La méthode que nous avons suivie pour exploiter le simulateur a été décrite dans le chapitre “Introduction”. Elle consiste à conduire d’abord une simulation sur une situation de référence. On fait ensuite varier séparément chacun des paramètres caractérisant cette situation de référence pour simuler autant de situations alternatives ou “scénarios systématiques”. On combine enfin quelques unes des variantes les plus significatives du point de vue de leurs conséquences pour construire quelques situations possibles “scénarios hypothétiques” pouvant encadrer la réalité. La construction de la situation de référence et des situations alternatives et hypothétiques, l’observation du fonctionnement du monde artificiel dans les différents cas, l’appréciation du réalisme de ce fonctionnement (viabilité, compatibilité avec ce qu’on connaît de la réalité) aident à formuler des questions à poser au “terrain”.

Toutes les simulations présentées ici sont conduites sur treize ans, soit un cycle de rotation. Il fallait faire le choix de l’*aynuqa* initiale. Nous avons pris l’*aynuqa* “*Kantiriya*” qui a été remise en culture en 1995. Les simulations sont donc censées se dérouler entre 1995 et 2007, année de remise en culture de l’*aynuqa* “*Siwartira*”. Naturellement le fait de débiter par une *aynuqa* particulière un cycle continu introduit certains biais pour cette *aynuqa*, dont nous tiendrons compte dans les commentaires. Nous avons convenu que, dans toutes les simulations, un certain nombre de données restaient sans changement pendant les treize années. C’est le cas de la situation démographique (population totale et population présente), et donc de la capacité annuelle de labour mobilisable par la communauté, et des surfaces respectives des *aynuqa* et des *sayaña*. Au bout de treize ans, ces données peuvent être réévaluées avant de commencer un nouveau cycle.

Deux notations abrégées sont utilisées dans ce chapitre. SR, pour situation de référence et MO, pour la main d’oeuvre - plus exactement la capacité de labour.

9.1 La situation de référence

Nous désignons par situation de référence (SR) une représentation de la communauté qui correspond à l'hypothèse que nous avons formulée sur la réalité de la communauté (voir chap. "Modélisation"). Rappelons qu'elle est issue de nos observations sur le terrain, des connaissances disponibles et de certains choix concernant les éléments sur lesquels nous n'avons pas une information complète. Elle concerne des structures démographiques et foncières et des paramètres de comportement décrits dans le chapitre "Modélisation". Les valeurs des paramètres de la SR sont présentées sur la figure 9.1 qui est une prise de vue de l'écran du simulateur.

Paramètres	
Niveau d'exigence :	6
MO Epoq. Crit. [*100] :	788
AUTRES	
Autres Paramètres	
REPONSE (off Terre)	
Crit. Classmt Coops :	1
Ordre Classement :	+ -
Prop. Min. MO [%] :	50
CONCRETISATION (off MO)	
Crit. Classmt Coops :	2
Ordre Classement :	+ -
Prop. Min. Terre [%] :	50
MIGRATIONS	
Nbr de migrants :	100
Strategie (1, 2, 3) :	1
MEMOIRE	
Avec evolution ? :	non oui

FIG. 9.1 - Valeurs des paramètres par défaut

Rappelons tout d'abord quelques caractéristiques majeures de cette situation :

- 100 personnes sont censées être absentes chaque année du fait des migrations, soit 10% de la population environ. Un quart des familles sont touchées par ces absences.
- les familles ont en général des terres dans toutes les *aynuqa*, dans des proportions équivalentes d'une *aynuqa* à l'autre. Il y a deux exceptions, les *aynuqa Titiri et Irupata*, qui sont périphériques, dans lesquelles les familles des hameaux les plus éloignés n'ont plus de terre car elles ont été échangées contre des parcelles de *sayaña* ou d'*aynuqa* plus proches.

Le commentaire est développé en trois parties. Nous allons d'abord analyser la situation d'un point de vue structurel, indépendamment des accords (La situation de départ). Nous présenterons ensuite les données quantitatives concernant les accords établis (Les accords simulés), et nous terminerons par l'examen d'un certain nombre d'indicateurs relatifs à ces accords, annuellement et sur l'ensemble du cycle de rotation (L'efficacité des accords).

La situation de départ

Le tableau 9.1 présente les données de base de l'établissement des accords, les moyennes sur l'ensemble du cycle et d'une façon détaillée les données pour chacune des treize *aynuqa* - des treize années donc - de ce cycle.

Année	<i>Aynuqa</i>	Familles ayant des terres	Surface totale en ha	Familles en surplus de terre	Surplus de terre en ha	Familles en surplus de M.O.	Surplus de M.O. equiv. ha
1995	<i>Kantiriya</i>	194	299.28	58	84.25	142	198.99
1996	<i>Titiri</i>	145	174.78	44	48.83	156	288.07
1997	<i>Siwiqani</i>	194	626.85	148	254.63	52	41.80
1998	<i>Llallawa</i>	194	357.76	61	101.82	139	158.08
1999	<i>Parqoma</i>	194	294.94	58	83.04	142	202.12
2000	<i>Tuntachawi</i>	194	260.55	58	73.34	142	226.81
2001	<i>Irupata</i>	152	379.91	101	125.66	99	159.77
2002	<i>Qañawiri</i>	194	357.35	61	101.65	139	158.32
2003	<i>Pajawira</i>	194	274.20	58	77.17	142	216.99
2004	<i>Qasilla</i>	194	457.78	118	150.94	82	107.18
2005	<i>Wallani</i>	194	295.48	58	83.17	142	201.71
2006	<i>Qotaña</i>	194	623.07	137	264.83	63	55.79
2007	<i>Siwartira</i>	194	361.53	64	102.96	136	155.45
	Moyenne	187	366.42	79	119.41	121	167.01
	Totaux	–	4763.70	–	1552.29	–	2171.08

TAB. 9.1 - *La situation de départ de 13 aynuqa*

Un certain nombre de constatations méritent d'être notées.

Un excédent global de MO.: la surface moyenne d'une *aynuqa* est de 366 ha. On mesure l'importance - dans notre situation de référence - de la population absente, ce qui entraîne un déficit de capacité de labour de 145 ha. L'ensemble des personnes restant sur place représente une capacité de labour de 414 ha chaque année. Il existe donc un surplus en main d'oeuvre (MO.) de 12 % en moyenne sur les treize ans.

La différenciation des *aynuqa* par leur taille : cette capacité excédentaire en main d'oeuvre se constate pour la plupart des *aynuqa*. Il existe toutefois trois exceptions correspondant à des *aynuqa* dont la taille est nettement supérieure aux autres et pour lesquelles c'est le phénomène inverse qui se produit : la capacité de labour de la communauté (dans la situation de référence) est inférieure à la surface à cultiver. Ces *aynuqa* sont celles de Siwiqani (627 ha), Qasilla (457 ha) et Qotaña (623 ha). Elles correspondent toutes trois à des *aynuqa* constituées de la réunion de deux secteurs. A ces trois *aynuqa* nous avons convenu d'en rajouter une quatrième, Irupata, dont la surface (379 ha) est elle aussi supérieure à la moyenne, pour former un groupe de "grandes *aynuqa*" dont le comportement sera assez différent des 9 autres. Un cas particulier est celui de *Titiri* dont la surface est nettement inférieure à la moyenne.

Un bilan de ressources diversifié : 79 familles, soit 40% du total, sont en surplus de terre - elles n'ont pas parmi leurs membres suffisamment de main d'oeuvre pour labourer ce qu'elles ont annuellement à mettre en culture. Le surplus de terre cumulé sur l'ensemble de ces familles est de 119 ha, soit 33% de la surface moyenne d'une *aynuqa*. 121 familles sont dans la situation inverse de surplus de MO : elle ont une capacité de labour qui excède les terres qu'elles ont à labourer. Les surplus cumulés de main d'oeuvre représentent une capacité de labour disponible de 167 ha en moyenne, soit 40% de la capacité totale. Ces chiffres représentent l'importance des réajustements pour que l'ensemble des terres disponibles soient labourées.

En moyenne donc, dans la situation de référence, la capacité de labour disponible chez les familles en surplus de main d'oeuvre excède le surplus de terre cumulé sur l'ensemble des familles en surplus de terre. C'est une autre manière de constater l'excédent global de capacité de labour mentionné plus haut. Si les accords sont bien conduits, les terres non labourées, pour les *aynuqa* courantes, doivent pouvoir être réduites à zéro. Il n'en est pas de même, et c'est normal, pour les "grandes *aynuqa*". Pour ces dernières, le nombre de familles en surplus de terre excède systématiquement le nombre de familles en surplus de main d'oeuvre, et le surplus cumulé de terre est supérieur au surplus cumulé de main d'oeuvre dans trois d'entre elles. Pour ces grandes *aynuqa* donc, il sera impossible ou difficile, à l'échelle de la communauté, de parvenir à un labour total des terres disponibles, même si les accords seraient "parfaits".

La différenciation qui apparaît nettement entre les "grandes *aynuqa*" et les autres nous incite à présenter les données moyennes séparément pour chacun de ces deux groupes (tableau 9.2).

Taille <i>aynuqa</i>	Surface moyenne en ha	Familles en sur- plus de terre	Surplus de terre en ha	Familles en sur- plus de M.O.	Surplus de M.O. equi ha labour
grande	522	126	199	74	91
moyenne	297	58	84	142	201
ensemble	366	79	119	121	167

TAB. 9.2 - Moyennes de la situation de départ par groupes

Les accords simulés

Le tableau 9.3 présente les données brutes sur les accords simulés, tels qu'ils s'établissent sur les treize ans du cycle de rotation dans la situation de référence.

<i>Aynuqa</i>	Accords établis	Terre engagée en ha	Offreurs de terre engagés	Offreurs de MO. engagés
<i>Kantiriya</i>	91	71.74	57	86
<i>Titiri</i>	48	43.07	42	48
<i>Siwiqani</i>	50	41.47	22	49
<i>Llallawa</i>	73	65.57	56	67
<i>Parqoma</i>	60	63.41	55	59
<i>Tuntachawi</i>	58	61.90	55	56
<i>Irupata</i>	43	74.95	37	39
<i>Qañawiri</i>	66	61.44	56	62
<i>Pajawira</i>	59	62.80	54	57
<i>Qasilla</i>	80	98.54	53	74
<i>Wallani</i>	58	65.81	54	57
<i>Qotaña</i>	63	54.90	30	60
<i>Siwartira</i>	66	65.95	54	65
Moyenne	63	63.97	48	60
Grandes <i>aynuqa</i>	59	67.47	36	56
Autres <i>aynuqa</i>	64	62.42	54	62

TAB. 9.3 - Les accords simulés sur 13 ans

Les faits suivants méritent d'être notés :

- Le nombre d'accords établis pour chacune des *aynuqa* du cycle de rotation est en moyenne de 63 accords, couvrant, en moyenne également, une surface totale de 64 ha, ce qui fait environ un hectare par accord. Un peu plus de la

moitié des familles (108) sont concernées par ces accords dans la situation de référence. Les offreurs de MO. engagés sont un peu plus nombreux que les offreurs de terre engagés, le rapport est de 5:4.

- L'examen des variations d'une année à l'autre ne permet pas à priori de déceler des phénomènes significatifs. Comme le montre le tableau 9.3 dans ses deux dernières colonnes, on observe que le nombre de familles engagées dans les accords est plus faible dans les grandes *aynuqa*.

Efficacité des accords simulés

Nous voulons analyser ici l'efficacité des accords par rapport à des objectifs supposés, familiaux ou communautaires. Ce terme d'efficacité ne peut être défini dans notre cas de manière unique. Il faut par exemple parler d'efficacité des accords du point de vue des offreurs de terres, qui peuvent chercher à remplir leurs objectifs familiaux sans se préoccuper des offreurs de MO. On peut aussi parler de l'objectif communautaire d'assurer le plein emploi de la terre, ou encore d'intégrer le maximum de familles dans un réseau de liens contractuels.

Par ailleurs, lorsque nous parlons d'un objectif familial, il est évident qu'il s'agit d'un objectif concret, recherché par la famille, c'est-à-dire, par le chef de famille. Mais lorsqu'on parle l'objectif communautaire, on s'aperçoit que sa satisfaction n'est recherchée par personne en particulier. On peut supposer que le secrétaire général¹s'occupe de cette tâche. Mais possède-t-il les moyens de le faire c'est à dire d'influer sur la façon dont les familles passent les accords?. On peut en douter. Tout-au-plus doit-il intervenir en cas de conflit.

Les accords simulés peuvent donc être analysés de différents point de vue, à travers de multiples indicateurs.

a) Satisfaction individuelle

Les familles qui sont en surplus de terre et en surplus de main d'œuvre cherchent à résorber ces surplus en passant des accords. Elles satisfont plus ou moins cet objectif. Cela nous conduit à une première catégorie d'indicateurs visant à déterminer dans quelle mesure les familles qui cherchent à établir des accords y sont parvenues, dans quelles mesure elles ont pu exploiter leur surplus de ressources. Nous avons retenu les indicateurs suivants :

- Pourcentage d'offeurs de terre satisfaits, c'est-à-dire rapport entre

1. Autorité principale et élue par la commune, elle dirige l'assemblée générale du Mercredi de cendres cf chapitre "Les accords *"al partir"* à Pumani"

le nombre d'offreurs de terres engagés et le nombre de familles en surplus de terre.

- Pourcentage du surplus de terres engagé, c'est-à-dire rapport entre les terres engagées dans les accords et le cumul des surplus familiaux de terre.
- Nombre d'accords par offreur de terre engagé.
- Pourcentage d'offreurs de main d'oeuvre satisfaits, c'est-à-dire rapport entre le nombre d'offreurs de MO engagés et le nombre de familles en surplus de main d'oeuvre.
- Pourcentage du surplus de main d'oeuvre engagé, c'est-à-dire le rapport entre la main d'oeuvre engagée dans les accords et le cumul des surplus familiaux de main d'oeuvre.
- Nombre d'accords par offreur de MO engagé.

Ces indicateurs concernent la satisfaction individuelle, à la suite des accords, des offreurs d'une ressource en surplus (terre ou MO). Mais on peut dire qu'ils dépendent aussi de l'efficacité de la négociation qui a conduit aux accords.

Le tableau 9.4 donne les valeurs de ces indicateurs pour la SR.

<i>Aynuqa</i>	%Offreurs de terre satisfaits	%Surplus de terre engagé	Nbr acc / off terre satisfait	%Offreurs de MO. satisfaits	%Surplus de MO engagé	Nbr acc / off MO. satisfait
<i>Kantiriya</i>	98	85	1.6	61	36	1.1
<i>Titiri</i>	95	88	1.1	31	15	1.0
<i>Siwiqani</i>	15	16	2.3	94	99	1.0
<i>Llallawa</i>	92	64	1.3	48	41	1.1
<i>Parqoma</i>	95	76	1.1	42	31	1.0
<i>Tuntachawi</i>	95	84	1.1	39	27	1.0
<i>Irupata</i>	37	60	1.2	39	47	1.1
<i>Qašawiri</i>	92	60	1.2	45	39	1.1
<i>Pajawira</i>	93	81	1.1	40	29	1.0
<i>Qasilla</i>	45	65	1.5	90	92	1.1
<i>Wallani</i>	93	79	1.1	40	33	1.0
<i>Qotaša</i>	22	21	2.1	95	98	1.1
<i>Siwartira</i>	84	64	1.2	48	42	1.0
Moyenne	74	65	1.4	55	49	1.0
Grandes <i>aynuqa</i>	30	41	1.8	80	84	1.1
Autres <i>aynuqa</i>	93	76	1.2	44	33	1.0

TAB. 9.4 - *Les accords simulés sur 13 ans*

Par exemple nous pouvons lire sur le tableau 9.4 qu'en moyenne sur les 13 ans, 74% des offreurs de terre sont satisfaits grâce aux accords et que 65% du surplus de terre a été engagé dans ces accords.

Les aspects les plus importants sont :

- Les moyennes sur les 13 *aynuqa* nous montrent que le pourcentage d'offeurs de terre satisfaits est plus important que le pourcentage des offreurs de MO satisfaits.
- Le pourcentage du surplus de terre engagé dans les accords est supérieur au pourcentage de MO engagé.
- Parmi les offreurs de terre certaines familles établissent plus d'un accord par an, alors que du côté des offreurs de MO, un seul accord par an et par famille est enregistré.
- Les offreurs de terre trouvent plus de satisfaction dans les *aynuqa* moyennes que dans les grandes ; le cas inverse est observé avec les offreurs de MO.
- Dans les grandes *aynuqa*, les offreurs de terre ont fait presque deux accords en moyenne par an.

b) Efficacité collective quant à la terre

Il s'agit ici, indépendamment de toute autre considération, de juger du plein emploi de la ressource terre par la communauté. Nous avons retenu les indicateurs suivants :

- Proportion de terre labourée sans accords, c'est à dire grâce aux seules ressources des familles.
- Proportion de terre cultivée grâce aux accords.
- Proportion de terre restant sans labour après accords. Cet indicateur a la particularité de pouvoir être partiellement repéré dans le paysage, lorsque tous les labours sont achevés.

Le tableau 9.5 donne les valeurs de ces indicateurs pour la situation de référence.

Dans ce tableau nous pouvons lire qu'en moyenne 69% de la terre de l'*aynuqa* remis en culture est labouré sans accord, 19% est labouré grâce aux accords et que 12% restent non labourées après accords. On constate également que l'efficacité collective des accords est mise en défaut dans les grandes *aynuqa*. Après les accords, il reste encore un tiers de surface non labourée à Siwiqani et Qotaña.

c) Efficacité collective quant à la MO

- Proportion de MO. employée au labour sans les accords

<i>Aynuqa</i>	%Terre labourée avant acc	%Terre lab. grâce aux accords	%Terre sans labour
<i>Kantiriya</i>	72	24	4
<i>Titiri</i>	72	25	3
<i>Siwiqani</i>	59	7	34
<i>Llallawa</i>	72	18	10
<i>Parqoma</i>	72	22	7
<i>Tuntachawi</i>	72	24	4
<i>Irupata</i>	67	20	13
<i>Qañawiri</i>	72	17	11
<i>Pajawira</i>	72	23	5
<i>Qasilla</i>	67	21	11
<i>Wallani</i>	72	22	6
<i>Qotaña</i>	58	9	34
<i>Siwartira</i>	72	18	10
Moyenne	69	19	12
Grandes <i>aynuqa</i>	63	14	23
Autres <i>aynuqa</i>	72	21	7

TAB. 9.5 - *Efficacité globale des accords sur la terre*

- Proportion de MO. employée au labour grâce aux accords
- Proportion de MO. non employée au labour après accords

Le tableau 9.6 présente ces indicateurs pour les treize *aynuqa* ainsi qu'une moyenne général et une moyenne par taille d'*aynuqa*.

Le tableau 9.6 nous montre par exemple que 60% de la main d'œuvre est déjà occupée dans le labour des terres avant accords, 16% de la MO a été engagée grâce aux accords et 25% n'est pas occupée par le labour.

Les deux dernières lignes de ce tableau montrent que dans les grandes *aynuqa* le pourcentage d'offreurs de MO, qui ne sont pas concernés par le labour, est quatre fois moins importante que la moyenne de l'ensemble d'*aynuqa*.

d) Enrichissement du réseau social

Les accords sont des relations contractuelles entre familles. Ils constituent donc des liens entre celles-ci, liens qui forment progressivement un réseau. Il s'agit ici de donner quelques caractéristiques quantitatives de ce réseau.

- Proportion de familles incluses dans un réseau, c'est-à-dire proportion

<i>Aynuqa</i>	% MO. occupée av. accords	% MO. occupée s/ accords	% MO. inoccupée
<i>Kantiriya</i>	52	17	31
<i>Titiri</i>	30	10	59
<i>Siwiganí</i>	90	10	0
<i>Llallawa</i>	62	16	22
<i>Parqoma</i>	51	15	33
<i>Tuntachawi</i>	45	15	40
<i>Irupata</i>	61	18	21
<i>Qañawiri</i>	62	15	23
<i>Pajawira</i>	58	15	37
<i>Qasilla</i>	74	24	2
<i>Wallani</i>	51	16	33
<i>Qotaña</i>	86	13	0
<i>Siwartira</i>	62	16	22
Moyenne	60	16	25
Grandes <i>aynuqa</i>	78	16	6
Autres <i>aynuqa</i>	52	15	33

TAB. 9.6 - *Efficacité global des accords sur la MO.*

de familles ayant établi des accords et gardant en mémoire les liens établis.

- Réseau moyen par famille, c'est-à-dire le nombre moyen de familles qui sont présentes dans la mémoire d'une famille donnée (du point de vue des accords de réciprocité).

Ces deux indicateurs sont présentés dans le tableau 9.7

Nous avons fait une hypothèse sur l'initialisation du réseau de connaissances : "la première année le réseau de chaque famille est constitué par toutes les familles de son hameau". C'est ce qui explique les valeurs élevées des indicateurs pour l'*aynuqa* initiale. Nous avons exclu du calcul des moyennes ces valeurs d'initialisation.

Les constatations les plus importantes sont :

- Le réseau de chaque famille contient en moyenne une seule famille.
- 66% des familles ont un réseau constitué d'au moins une famille.

Pour terminer avec la présentation de la situation de référence, nous présentons un histogramme et un tableau, éléments qui serviront pour la comparaison de

<i>Aynuqa</i>	Réseau moyen	% de familles avec réseau
<i>Kantiriya</i>	41	100
<i>Titiri</i>	1.3	67
<i>Siwiqani</i>	1.3	67
<i>Llallawa</i>	1.2	62
<i>Parqoma</i>	1.1	60
<i>Tuntachawi</i>	1.1	56
<i>Irupata</i>	1.3	58
<i>Qañawiri</i>	1.1	59
<i>Pajawira</i>	1.1	57
<i>Qasilla</i>	1.3	76
<i>Wallani</i>	1.1	56
<i>Qotaña</i>	1.4	95
<i>Siwartira</i>	1.1	48
Moyenne	1.2	66
Grandes <i>aynuqa</i>	1.3	70
Autres <i>aynuqa</i>	1.0	64

TAB. 9.7 - *Enrichissement du réseau social*

la situation de référence avec les résultats des simulations des nouvelles scénarios qui sont abordés dans la section suivante.

- a) Le diagramme de la figure 9.2 montre l'occupation de la terre avant et après accords sur les treize ans du cycle de rotation pour la SR.

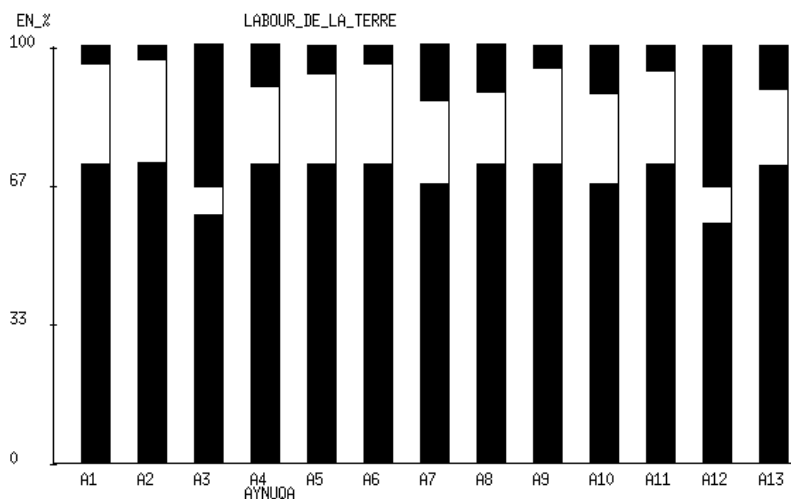
Pour chacune des treize barres, la partie inférieure en noir foncé représente la proportion de terre qui a été labourée par ses propriétaires, c'est-à-dire sans accord. La partie centrale, en blanc, correspond à la portion de terre labourée grâce aux accords. La partie supérieure, en noir foncé, correspond au surplus de terre non absorbé dans les accords, et donc aux terres restant non labourées.

- b) Le tableau 9.8 regroupe les six indicateurs que nous avons considéré comme étant les plus représentatifs.

9.2 Scénarios systématiques

9.2.1 Impact de la migration

La situation de référence, nous l'avons vu, suppose l'absence permanente d'une centaine de personne, soit 10% de la population totale de la communauté.

FIG. 9.2 - *Situation de référence*

Taille <i>Aynuqa</i>	%Terre lab. grâce aux accords	%Terre sans labour	%MO occupée s/ accords	% MO inoccupées	%Surplus de terre engagé	% Surplus de MO engagé
grande	14	23	16	6	41	84
moyenne	21	7	15	33	76	33
ensemble	19	12	16	25	65	49

TAB. 9.8 - *Résumé d'indicateurs pour la comparaison*

Dans un premier scénario, nous avons imaginé que ce nombre de personnes était porté à 400, avec la même clé de répartition des absences, que les familles soient riches migrent plus que les familles pauvres. Le taux d'absence (40%) est alors évidemment très important. Dans ces conditions la capacité de labour de la communauté n'est plus que de 15 ha, très en dessous de la surface moyenne des *aynuqa*. Le diagramme de l'utilisation des terres 9.3 sur l'ensemble du cycle montre qu'une très grande part des terres reste dans ces conditions sans labour. Ce scénario est caractérisé par une impossibilité quasi totale d'utiliser les terres d'*aynuqa*, du fait d'un manque de main d'oeuvre que les accords réalisés ne sont pas en mesure de combler.

Dans un second scénario inverse, nous avons imaginé qu'aucune personne n'est absente et que la communauté dispose pour les labours de la totalité de ses membres. Sa capacité de labour est alors de 559 ha. Le diagramme de l'utilisation des terres (figure 9.4) montre que pour la quasi totalité des années du cycle, les

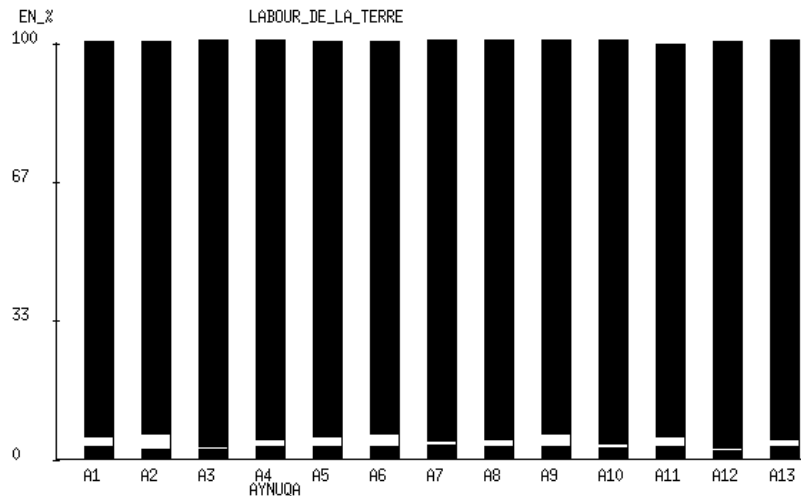


FIG. 9.3 - Migration de 400 personnes

terres sont labourées presque entièrement, et ce sur les ressources propres des familles. Les accords réalisés ne couvrent en moyenne que 3% de la terre totale et ne dépassent ce faible niveau que pour les deux plus grandes *aynuqa*.

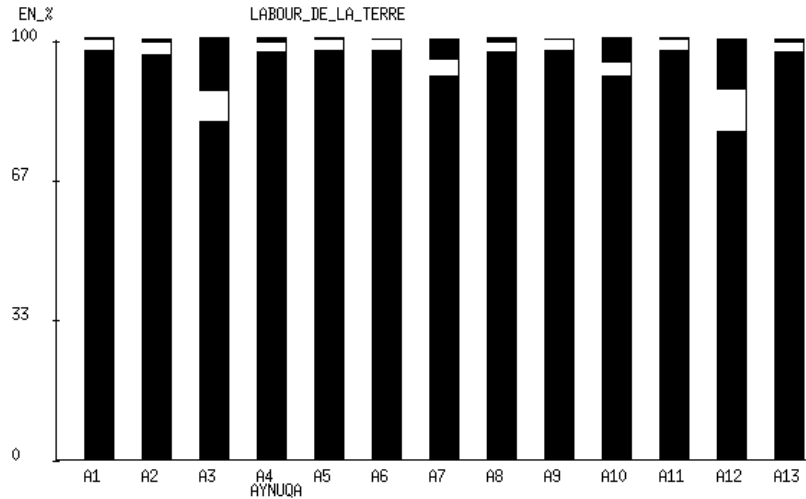
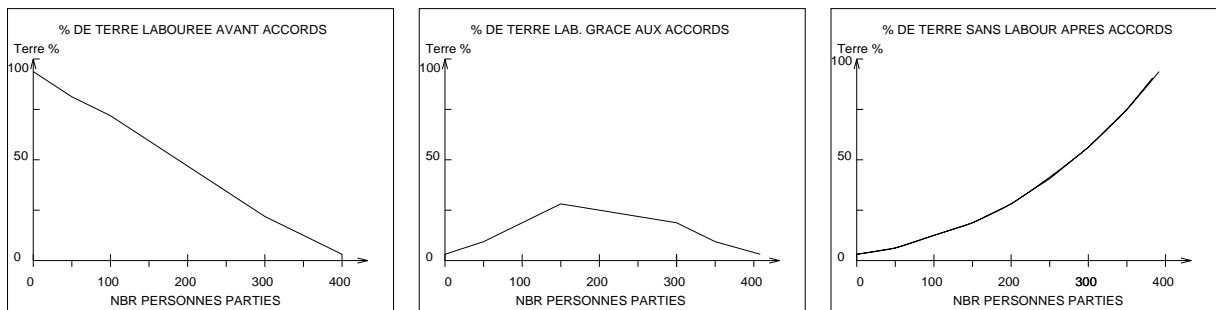
Les données de ces deux scénarios extrêmes suggèrent de faire une étude fine de l'impact de la migration - en fait du nombre de personnes absentes- sur les six indicateurs que nous avons sélectionnés précédemment. Les résultats en sont visualisés sur les figures 9.5 et 9.6.

- Quant au labour de la terre (figure 9.5), nous pouvons dire que la proportion de terre labourée par ses propriétaires diminue au fur et à mesure que le nombre de personnes parties augmente. Le départ de 400 personnes marque un abandon presque total des terres.

La terre labourée grâce aux accords varie de façon moins linéaire, elle croît avec l'augmentation du nombre de personnes parties et atteint un maximum pour un départ de 150 personnes, puis commence à descendre jusqu'à une valeur quasi nulle lors du départ de 400 personnes.

La terre qui n'a pas pu être labourée ni par la main d'œuvre propre ni grâce aux accords, augmente graduellement avec le départ des gens en âge de labourer et lorsque 400 personnes sont parties, la presque totalité des terres reste sans labour.

- Les courbes de la figure 9.6 montrent l'impact de l'augmentation du nombre de personnes parties sur l'occupation de la MO. Le pourcentage de main

FIG. 9.4 - *Situation sans migration*FIG. 9.5 - *Labour de la terre avant et après accords*

d'œuvre qui est occupée à labourer ses propres terres est quasiment constant et de l'ordre de 60%.

La deuxième courbe augmente en réponse directe à l'augmentation du nombre de personnes parties. Ceci signifie que plus les personnes partent, plus les accords absorbent de la MO mais ceci a certainement une limite car, déjà lors du départ de 300 personnes, la courbe commence à décroître.

Finalement le pourcentage de MO inoccupée au labour diminue à fur et à mesure que le nombre de personnes parties augmente. Il est évident que cette allure reflète une diminution d'inoccupés, mais elle reflète aussi que le départ des personnes rend de plus en plus rare la ressource MO pour l'opération cruciale du labour.

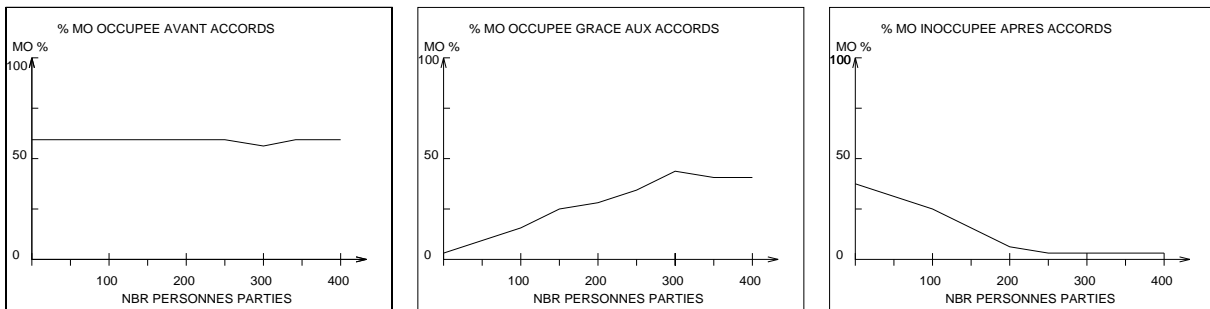


FIG. 9.6 - Occupation de la MO avant et après accords

9.2.2 Impact des changements dans la difficulté des labours

La situation de référence suppose une charge de travail moyenne égale à 7.88 journaliers pour labourer un hectare. Il est clair que la nécessité des accords et la capacité de la communauté à utiliser pleinement ses terres ne peut qu'être sensible à un tel paramètre.

Nous considérons une possible variation de la difficulté du labour en pensant à deux changements, par exemple si le labour pouvait être réalisé à l'aide d'un tracteur, la difficulté diminuerait. A l'inverse la perte d'une partie de la couche arable due aux érosions éolique et hydrique pourrait augmenter la difficulté de cette pratique agricole, comme l'affirme un paysan andin "Le travail nécessaire pour le labour augmente parallèlement avec la perte des sols" cité par Orlove (1996) [74] dans un travail réalisé dans l'*altiplano* Nord entre Pérou et Bolivie. A titre exploratoire nous avons imaginé deux scénarios symétriques, correspondant respectivement à la moitié et au double de la situation de référence.

charge des travail au labour réduite à 3,94 j/ha

Dans ces conditions la capacité de labour de la communauté est de 828 ha. Avec cette capacité elle pourrait labourer complètement toutes les *aynuqa*. Les différences pouvant exister entre grandes *aynuqa* et petites *aynuqa* disparaissent comme le montre le diagramme (figure 9.7) de l'utilisation des terres sur l'ensemble du cycle de rotation. Ce diagramme montre également que la proportion de terres labourées sur les ressources propres des familles, avant accords, est sensiblement la même d'une année sur l'autre, autour de 72% de la surface de chaque *aynuqa*. En fait, dans ces conditions, une analyse détaillée montre que seules les familles ne disposant, par leur composition, d'aucune capacité de labour doivent recourir aux accords. Les autres disposent en leur sein de la main d'oeuvre suffisante, quelque soit l'année considérée.

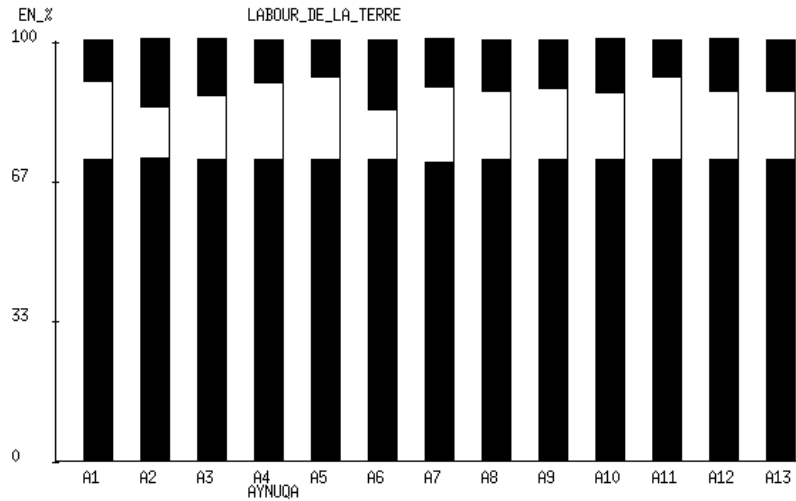


FIG. 9.7 - *Diminution de la difficulté du labour*

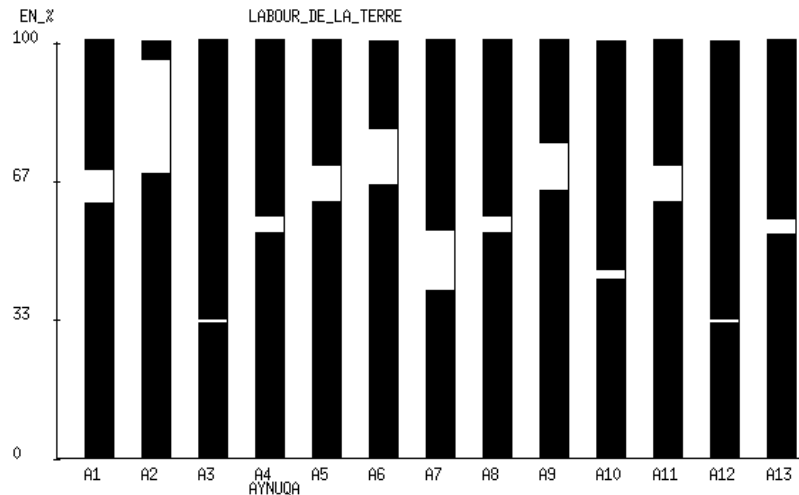
charge de travail au labour portée à 15,76j/ha

Dans ces conditions la capacité de labour de la communauté est réduite à 207 ha, ce qui lui interdit de labourer complètement la plupart des *aynuqa*. Seule la plus petite, Titiri fait exception. Le diagramme de la figure 9.8 décrit pour ce scénario le labour de la terre avant et après accords.

9.2.3 Impact de changements dans la répartition des terres par famille

Dans la situation de référence, la proportion de terres “détenues” par chaque famille dans chaque aynuqa est sensiblement la même d’une aynuqa à l’autre. La dynamique des déséquilibres familiaux au cours du cycle de rotation est essentiellement due aux différences de surface entre aynuqa. Nous avons imaginé un scénario où la proportion de terres attribuées à chaque famille dans chaque aynuqa est donnée au hasard, le total respectant cependant la surface initiale calculée (cf chapitre “Modélisation”) pour chaque hameau.

Dans ce scénario, la situation de départ, qui définit l’importance des surplus familiaux de terre et de main d’oeuvre, se trouve notablement modifiée, comme le montre le tableau (9.9) lorsqu’on le compare avec son homologue de la SR. La capacité totale de labour de la communauté est restée la même (414 ha) mais le nombre de familles en surplus de terre est nettement plus important que dans la SR. (92 contre 79). Corrélativement, le nombre de familles en surplus de main d’oeuvre diminue. Les cumuls des surplus familiaux de terre comme de

FIG. 9.8 - *Augmentation de la difficulté du labour*

main d'oeuvre sont plus élevés que dans la situation de référence, les surfaces labourables sur les seules ressources propres des familles se trouvant réduites. L'ajustement que les accords doivent réaliser est donc sensiblement plus important. L'augmentation de ce déséquilibre est à mettre en rapport avec la perte de la correspondance grossière existant dans la situation de référence entre la "richesse" en animaux et en terre des familles et leur quantité de main d'oeuvre disponible.

Cette augmentation du déséquilibre se traduit naturellement, à procédure de passation des accords égale, par une perte d'efficacité individuelle et collective, particulièrement dans les *aynuqa* ordinaires, comme le montre le diagramme d'utilisation des terres de la figure 9.9 ainsi que le tableau 9.10.

Ainsi la proportion de terres sans labour double t-elle dans les *aynuqa* ordinaires (de 7% à 14%) tandis que le surplus de terre engagé chute de 76% à 60%.

9.2.4 Impact des modifications du "niveau d'exigence" quant au choix des partenaires potentiels

Le niveau d'exigence délimitant les partenaires potentiels fait intervenir trois aspects : l'appartenance ou non du partenaire potentiel au réseau des connaissances de l'offreur de terre ou de main d'oeuvre, croisée à la qualité de la terre offerte pour les offreurs de main d'oeuvre, à la qualité présumée du travailleur partenaire pour les offreurs de terre. Rappelons (cf chapitre "Modélisation") que, dans sa recherche d'un partenaire, l'offreur de ressources commence par être très

Année	<i>Aynuqa</i>	Familles ayant de terres	Surface totale en ha	Familles en surplus de terre	Surplus de terre en ha	Familles en surplus de M.O.	Surplus de M.O. equiv. ha
1995	<i>Kantiriya</i>	194	299.28	73	108.48	127	223.41
1996	<i>Titiri</i>	194	174.78	58	57.43	142	295.46
1997	<i>Siwiqani</i>	200	626.85	140	299.84	60	88.21
1998	<i>Llallawa</i>	200	357.76	88	126.34	112	182.51
1999	<i>Parqoma</i>	194	294.94	74	99.95	126	219.23
2000	<i>Tuntachawi</i>	194	260.55	68	87.15	132	240.69
2001	<i>Irupata</i>	194	379.91	105	143.90	95	178.30
2002	<i>Qañawiri</i>	194	357.35	85	125.05	115	181.50
2003	<i>Pajawira</i>	194	274.20	76	91.58	124	231.23
2004	<i>Qasilla</i>	200	457.78	123	177.66	77	133.48
2005	<i>Wallani</i>	194	295.48	71	99.98	129	218.31
2006	<i>Qotaña</i>	199	623.07	144	306.44	56	97.48
2007	<i>Siwartira</i>	194	361.53	91	132.44	109	184.84
	Moyenne	196	366.42	92	142.79	108	190.36
	Totaux	–	4763.70	–	1856.24	–	2474.65

TAB. 9.9 - Répartition aléatoire des terres

exigeant (il se limite à son réseau et exige la qualité), puis son exigence diminue en cas d'échec jusqu'au minimum paramétré).

Dans la situation de référence, ce minimum correspond en fait à l'abandon de toute restriction en cas d'échec : toute famille qui répond devient un partenaire potentiel.

Nous avons d'abord considéré un scénario maximaliste, en couplant la limitation au réseau avec l'exigence de ne travailler que sur les terres de la qualité maximale, dans un contexte de mémoire évolutive, avec oubli rapide des partenaires potentiels avec lesquels on n'a pas passé d'accords. Ce type de scénario aboutissait au blocage rapide de toute possibilité d'accord. Aussi avons nous ensuite simulé un scénario plus réaliste, toujours dans le contexte d'une mémoire évolutive. Dans ce scénario, les familles limitent chaque année leur recherche de partenaires potentiels à leur réseau, tel qu'il se trouve constitué cette année-là. Les accords se focalisent alors rapidement sur un noyau stable et réduit de partenaires, qui ne peut pas augmenter avec le temps. Les résultats montrent que, dans ces conditions, des accords s'établissent malgré tout en nombre non négligeable : 51 accords sont ainsi passés chaque année en moyenne, engageant 95 familles. La proportion d'offres de terre engagés dans au moins un accord n'est plus que de 58%. La même proportion pour les offres de main d'oeuvre chute également

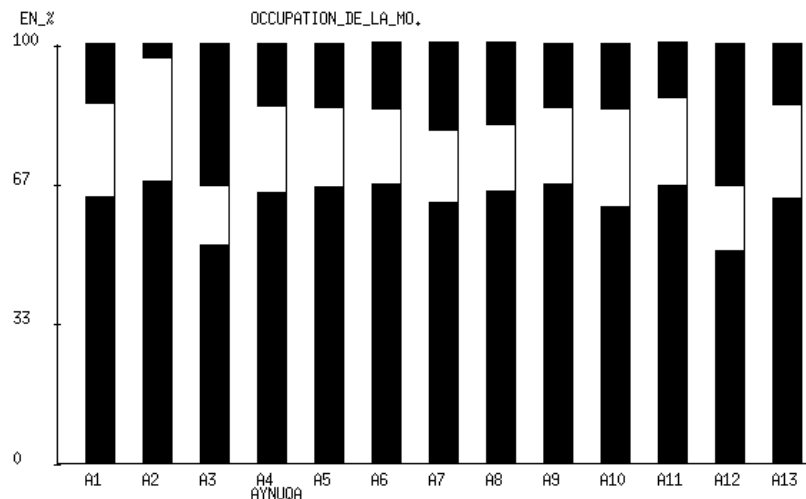


FIG. 9.9 - Répartition aléatoire de terres

Taille <i>Aynuqa</i>	%Terre lab. grâce aux accords	%Terre sans labour	%MO oc- cupée s/ accords	% MO inoc- cupées	%Surplus de terre engagé	% Surplus de MO engagé
grande	18	26	22	9	42	79
moyenne	21	14	15	39	60	29
ensemble	20	18	17	29	54	44

TAB. 9.10 - Résumé d'indicateurs pour une distribution aléatoire de terres

sensiblement à 32%. Le diagramme d'utilisation des terres (figure 9.10) ainsi que le tableau (9.11) montrent une efficacité collective et individuelle plus faible que ce que l'on pourrait attendre a priori: 11 % des terres labourées grâce aux accords au lieu de 19% dans la SR., le pourcentage des terres restant sans labour évoluant en sens inverse de 12% à 20% . Ces résultats signifient que le fait, pour une famille, de "sortir" de son réseau pour conclure un accord est dans la SR. fréquent mais pas systématique.

9.2.5 Réponse des offreurs de terres: Critères et ordre utilisés par les offreurs de terre pour classer les propositions des offreurs de main d'oeuvre

Dans la situation de référence, le critère de classement est le nombre de propositions que l'offreur de main d'oeuvre envoie, l'ordre étant un ordre croissant.

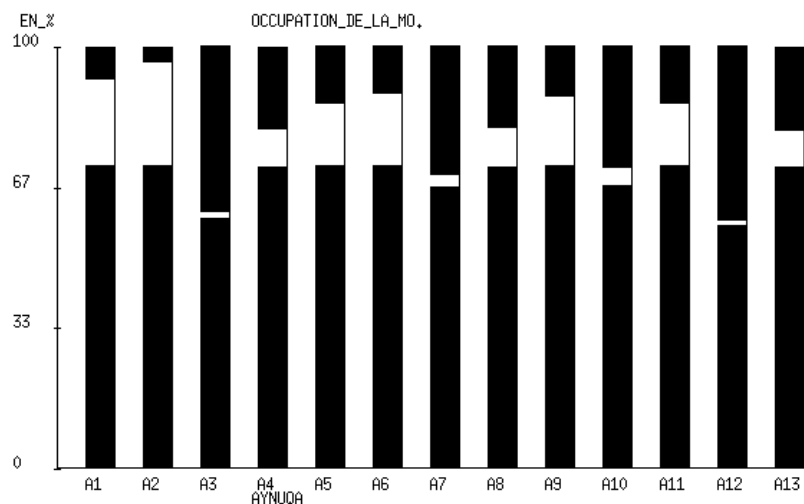


FIG. 9.10 - Recherche des partenaires dans le réseau

Taille <i>Aynuqa</i>	%Terre lab. grâce aux accords	%Terre sans labour	%MO oc- cupée s/ accords	% MO inoc- cupées	%Surplus de terre engagé	% Surplus de MO engagé
grande	2	35	3	19	7	15
moyenne	15	13	10	38	53	21
ensemble	11	20	8	32	39	19

TAB. 9.11 - Résumé d'indicateurs, recherche des partenaires dans le réseau

Les offreurs de terre favorisent les partenaires potentiels s'adressant à un nombre réduit de personnes (et défavorisant ceux qui s'adressent à tous les offreurs de terre).

critère = nombre de propositions envoyées, ordre = décroissant

Le passage à un ordre décroissant, qui favoriserait les bavards, modifie très peu les résultats : c'est qu'en réalité le nombre de propositions émises est contrôlé étroitement par la taille du réseau de chaque proposant de main d'oeuvre, et on a vu que, dans la situation de référence, cette taille était sensiblement identique pour tous les proposants. L'inversion de l'ordre ne joue donc pratiquement pas.

critère = quantité de main d'oeuvre proposée, ordre = croissant

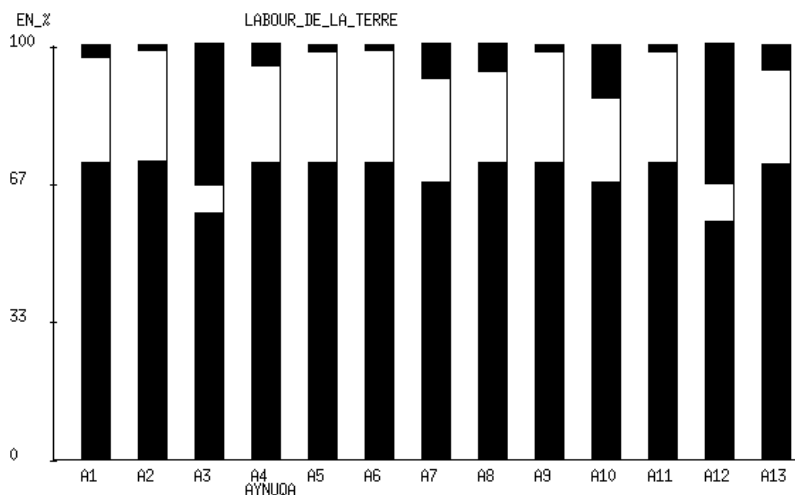
Cette fois-ci le critère de classement change: Les offreurs de terre avant d'émettre leur réponse, classent les offreurs de main d'oeuvre qui se sont adressés à eux en fonction de la quantité de main d'oeuvre offerte, dans un ordre croissant et examinent en priorité les premiers de la liste. Ce classement serait celui d'offreurs de terre cherchant à satisfaire le plus grand nombre possible d'offreurs de MO en commençant par ceux qui ont très peu de travail à proposer.

Les résultats de cette simulation sont assez différents de ceux de la SR; le nombre d'accords est sensiblement plus élevé, passant de 63 accords par an en moyenne à 88 accords. De même le nombre de familles engagées dans les accords passe-t-il de 108 à 132. 76% des offreurs de terres et 71% des offreurs de main d'oeuvre réalisent au moins un accord. C'est donc ces derniers qui bénéficient le plus de la modification du classement, par rapport à la SR., ce qui est conforme à la nature de cette modification. Le diagramme d'utilisation des terres (figure 9.11) et le tableau 9.12 manifestent aussi des changements notables. Nous retiendrons ici :

1. une amélioration nette de l'efficacité des accords tant collective qu'individuelle, du point de vue de la terre. La proportion de terre labourée grâce aux accords augmente, passant de 19% à 22%, ce qui réduit du même coup la proportion de terre restant sans labour. Cette amélioration d'ensemble de l'efficacité collective quant à l'utilisation de la terre se marque surtout pour les *aynuqa* moyennes, où la terre restant sans labour est divisée par deux (on passe de 7% à 3%), ce qui correspond à une surface non labourée très faible. Seules les deux plus grandes *aynuqa*, Siwiqani et Qotaña, gardent un profil nettement différent des autres. La satisfaction individuelle des offreurs de terres est nettement améliorée puisque la proportion de surplus de terre engagée dans des accords (résorption des surplus familiaux de terre) passe de 65% à 75%. Dans les *aynuqa* moyennes presque 90% de ce surplus cumulé de terre se trouve ainsi résorbé par les accords.
2. des modifications constatées également pour la main d'oeuvre. Le nombre d'offreurs de main d'oeuvre engagés est nettement plus important - 82 contre 60. Mais par construction, du fait du critère de classement, ce sont de "petits" offreurs de main d'oeuvre, ne proposant que de faibles quantités de cette ressource. La proportion de main d'oeuvre utilisée grâce aux accords passe de 16% à 18% et la résorption par les accords des surplus familiaux de main d'oeuvre augmente de 49% à 53%, de manière donc moins marquée que celle des surplus de terre.

2

2. Nous utilisons cette "qtt" pour quantité

FIG. 9.11 - Classement propositions: qtt ¹ MO ordre ascendant

Taille <i>Aynuqa</i>	%Terre lab. grâce aux accords	%Terre sans labour	%MO oc- cupée s/ accords	% MO inoc- cupées	%Surplus de terre engagé	% Surplus de MO engagé
grande	15	22	17	5	43	86
moyenne	25	3	18	31	89	39
ensemble	22	9	18	23	75	53

TAB. 9.12 - Efficacité, qtt de MO ordre croissant

critère = quantité de main d’œuvre proposée, ordre = décroissant

Dans ce cas les offreurs de main d’œuvre sont toujours classés par les offreurs de terre en fonction de la quantité de main d’œuvre proposée, mais en ordre décroissant. Ainsi sont favorisés les “gros” offreurs de main d’œuvre. Tout se passe comme si les offreurs de terre cherchaient à réduire leur “clientèle” et à conserver le moins de partenaires possibles pour cultiver leur surplus de terres.

Le nombre annuel d’accords est presque la moitié de celui de la situation de référence. Le nombre de familles engagées dans les accords n’est plus que de 66 en moyenne. Le diagramme d’utilisation des terres (figure 9.12) ainsi que le tableau (9.13) montrent une claire diminution de l’efficacité tant collective qu’individuelle des accords, aussi bien quant à l’utilisation de la terre que de la main d’œuvre. Ainsi la proportion de terres restant sans labour passe t-elle de 12% dans la SR. à 17 %, la résorption du surplus de terre n’étant plus que de 47%. Par ailleurs les différences entre grandes et moyennes *aynuqa* s’estompe.

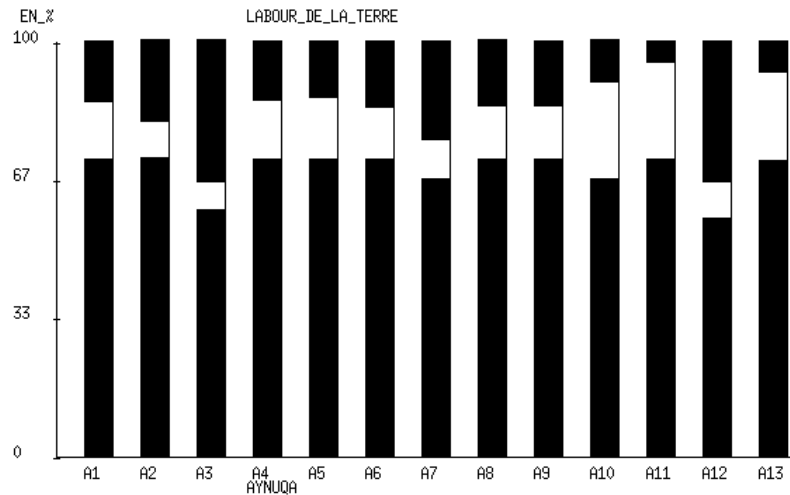


FIG. 9.12 - Classement propositions : qtt MO décroissant

Taille <i>Aynuqa</i>	%Terre lab. grâce aux accords	%Terre sans labour	%MO oc- cupée s/ accords	% MO inoc- cupées	%Surplus de terre engagé	% Surplus de MO engagé
grande	12	25	14	8	34	80
moyenne	15	13	11	38	53	25
ensemble	14	17	12	28	47	42

TAB. 9.13 - Efficacité, qtt de MO décroissante

9.2.6 Réponse des offreurs de terre : Respect par les offreurs de terre d'une proportion minimale de l'offre de main d'oeuvre

Dans la situation de référence, cette proportion est de 50%. Cela signifie, rappelons le, qu'un offreur de terre ne répondra pas à un offreur de main d'oeuvre s'il n'est pas capable de lui proposer un accord équivalent à au moins 50% de la capacité de labour offerte (ou restant offerte). Il ne lui répondra pas car il sait que les offreurs de main d'oeuvre n'accepteront pas de propositions en deçà de ce seuil.

Les modifications introduites ici correspondent à des exigences moindres, ou plus importantes de la part des offreurs de main d'oeuvre.

Proportion minimale de main d'oeuvre = 1 %

Dans ce scénario les offreurs de main d'oeuvre n'ont pratiquement plus aucune exigence sur ce critère. Cela signifie qu'ils sont prêts à priori à "morceler" leur force de travail et à la disperser entre plusieurs offreurs de terres.

Les différences avec la situation de référence sont très importantes. Le nombre annuel d'accords est en moyenne de 106, ce qui est la valeur la plus élevée parmi les différentes situations alternatives étudiées. 132 familles sont engagées dans des accords. La proportion d'offreurs de terre engagés dans au moins un accord atteint 84% et celle concernant la main d'oeuvre 66%. Chaque offreur de terre engagé l'est en moyenne sur plus de deux accords. Du point de vue des efficacités collectives et individuelles d'utilisation de la terre, ce scénario manifeste des "performances" remarquables, comme on le voit sur le diagramme d'utilisation des terres (figure 9.13) et le tableau 9.14.

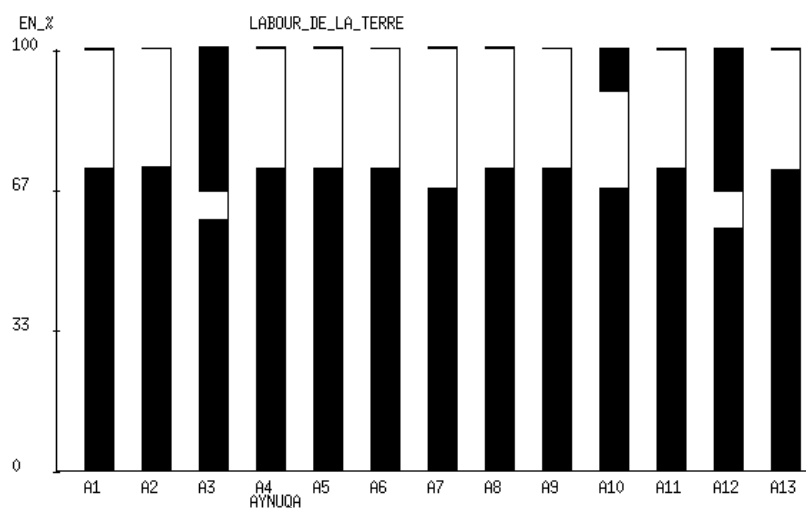


FIG. 9.13 - Classement réponses : surf. terre = 1%

En moyenne 6% des terres restent encore sans labour mais cette proportion tombe à moins de 1% dans la quasi totalité des *aynuqa*, dans lesquelles la terre est donc complètement utilisée. Seules les trois *aynuqa* dont la surface excède la capacité globale de labour de la communauté se trouvent encore dans une situation d'utilisation incomplète, et on conçoit que pour ces *aynuqa* la communauté ne puisse faire autrement, quelque soit la façon dont les accords sont passés. La résorption des surplus familiaux de terre passe de 65 % dans la SR. à 85% , et elle est totale (100%) dans les *aynuqa* ordinaires. Les différences vont dans le même sens pour la main d'oeuvre (plus grande proportion de la ressource utilisée aux labours) mais sont évidemment moins importantes en valeur relative, puisque la

main d'oeuvre est généralement excédentaire. Ainsi la main d'oeuvre inoccupée au labour passe t-elle en moyenne de 25% dans la SR. à 20 %, le “plein emploi labour” étant assuré dans les grandes *aynuqa* (2%).

Taille <i>Aynuqa</i>	%Terre lab. grâce aux accords	%Terre sans labour	%MO oc- cupée s/ accords	% MO inoc- cupées	%Surplus de terre engagé	% Surplus de MO engagé
grande	18	20	20	2	52	93
moyenne	28	0	20	28	100	45
ensemble	25	6	20	20	85	60

TAB. 9.14 - *Efficacité sous proportion de MO de 1%*

Proportion de main d'oeuvre de 100 %

Dans ce scénario inverse du précédent les offreurs de main d'oeuvre manifestent au contraire une très grande exigence: Ils acceptent d'aller travailler uniquement chez quelqu'un qui a suffisamment de terre pour absorber la totalité de l'offre de travail proposée.

Le nombre d'accords annuel se réduit à 43, le nombre de familles engagées dans des accords n'est plus que de 78. Seulement 52% des offreurs de terres sont engagés et 40% des offreurs de main d'oeuvre. Le diagramme d'utilisation des terres (figure 9.14) et le tableau 9.15 montrent les conséquences de ces fortes exigences des offreurs de main d'oeuvre sur l'utilisation des ressources et la résorption des surplus.

Taille <i>Aynuqa</i>	%Terre lab. grâce aux accords	%Terre sans labour	%MO oc- cupée s/ accords	% MO inoc- cupées	%Surplus de terre engagé	% Surplus de MO engagé
grande	8	29	10	12	22	59
moyenne	13	15	9	39	47	20
ensemble	12	19	10	31	39	32

TAB. 9.15 - *Efficacité sous proportion de MO de 100%*

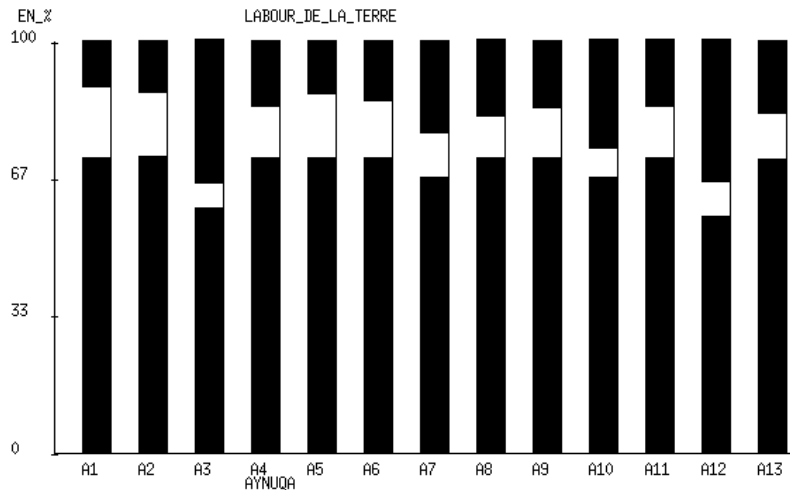


FIG. 9.14 - *Proportion minimale de MO = 100%*

9.2.7 Concrétisation des accords : modifications des critères et ordre utilisés par les offreurs de main d'oeuvre pour classer les réponses des offreurs de terres

Les offreurs de main d'oeuvre recevant plusieurs réponses les classent avant de concrétiser les accords, en favorisant ainsi un certain type d'offeurs de terre. Nous avons exploré ces classements d'une manière systématique avec les paramètres disponibles.

Dans la situation de référence, le critère de classement est la surface de terre offerte, l'ordre étant un ordre décroissant : priorité est ainsi donnée aux plus gros offreurs de terre.

critère = surface de terre offerte, ordre = croissant

Ce scénario met en oeuvre le même critère que celui de la situation de référence, mais utilisé en sens inverse. Il représente la position d'offeurs de main d'oeuvre qui préféreraient aller travailler chez les offreurs de terre proposant les plus petites surfaces, afin d'avoir accès à une grande diversité de qualité des sols, même s'ils éparpillent ainsi leur capacité de travail. Les résultats de ce scénario ne montrent pas de variations significatives par rapport à la SR.

critère = Nbr de réponses envoyées, ordre = décroissant

Dans ce scénario, c'est le critère de classement lui même qui change. Ici les offreurs de main d'œuvre favorisent les offreurs de terre dont le nombre de réponses est le plus important. Les résultats de ce scénario manifestent des variations non significatives par rapport à la situation de référence, ce qui ne nous étonne pas trop, car on peut estimer que le classement des réponses effectué par les offreurs de terre ressemble à celui de la situation de référence : les offreurs de terre qui ont beaucoup répondu sont ceux qui ont le plus de surplus à absorber dans des accords.

critère = Nbr de réponses envoyées, ordre = croissant

Le critère de classement est le même que dans le cas précédent, mais l'ordre est inverse : ce sont les offreurs de terre qui ont peu répondu qui sont favorisé, c'est-à-dire vraisemblablement ceux offrant un surplus familial peu important. Il n'est donc pas étonnant de retrouver des résultats similaires à ceux du classement favorisant les offreurs de petites surfaces, c'est-à-dire de résultats ne manifestant pas non plus de grandes différences par rapport à la SR.

9.2.8 Concrétisation des accords : Critères et ordre utilisés par les offreurs de main d'œuvre pour choisir les offreurs de terre avec qui passer un accord

Dans la situation de référence, cette proportion est de 50%. Cela signifie, rappelons le, qu'un offereur de main d'oeuvre ne concrétisera pas d'accord avec un offereur de terre s'il n'est pas capable de travailler au moins 50% du surplus de terre offert.

Les modifications introduites ici correspondent à des exigences moindres (acceptation de disperser leur terre entre plusieurs partenaires) ou plus importantes (refus de disperser leur terre) de la part des offreurs de terre.

proportion minimale de terre = 1 %

Ceci représente un scénario où se manifeste une grande prédisposition de la part des offreurs de terre pour satisfaire leurs partenaires potentiels; Un offereur de terre propose une partie de sa ressource mais elle est prête à accepter un travailleur même si ce dernier ne peut labourer que le 1% de la terre proposée. Ce scénario montre des différences par rapport à la SR. allant dans le sens d'une légère augmentation du nombre d'accord et de leur efficacité collective et individuelle, mais ces différences sont peu significatives : la baisse d'exigence des offreurs de terre ne joue qu'à la marge, peu de concrétisation sont récupérées par ce biais.

proportion minimale de terre = 100 %

Ce scénario s'oppose au précédent. Il représente une position très forte des offreurs de terre qui exigent de la part des offreurs de main d'oeuvre voulant concrétiser un accord qu'ils prennent en charge la totalité du surplus de terre proposé.

Le diagramme d'utilisation des terres figure 9.15 ne montre que peu de différences avec la situation de référence.

Les résultats de cette simulation montrent une diminution de l'efficacité des accords quant au labour de la terre, diminution qui est un peu plus claire que dans le cas précédent, comme le montre l'histogramme présenté dans la figure 9.15. Le tableau 9.16 apporte cependant un correctif important à cette appréciation globale. La situation est quasiment identique à la situation de référence dans les *aynuqa* ordinaires. Dans les grandes *aynuqa* par contre, une différence non négligeable apparaît, montrant une perte d'efficacité des accords. Ainsi la terre labourée grâce aux accords passe-t-elle de 14% dans la SR. à 10%. La proportion du surplus de terre total, engagée dans les accords, chute de 41% à 29%, et la proportion du surplus de main d'oeuvre total chute de 84% à 55%. Il est clair que peu d'offeurs de main d'oeuvre sont en mesure de prendre en charge les grandes surfaces de terre proposées dans les grandes *aynuqa*.

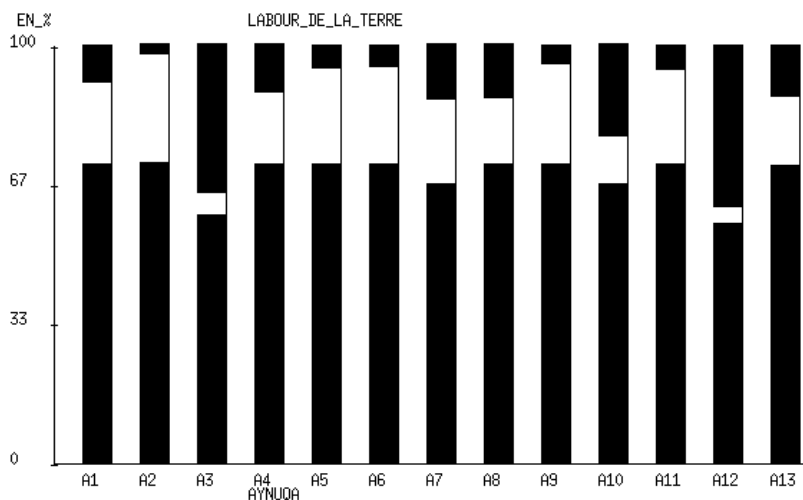


FIG. 9.15 - *Proportion minimale de terre = 100%*

Taille <i>Aynuga</i>	%Terre lab. grâce aux accords	%Terre sans labour	%MO oc- cupée s/ accords	% MO inoc- cupées	%Surplus de terre engagé	% Surplus de MO engagé
grande	10	27	11	11	29	55
moyenne	21	7	15	34	74	31
ensemble	18	14	14	27	60	39

TAB. 9.16 - *Efficacité sous proportion de terre de 100%*

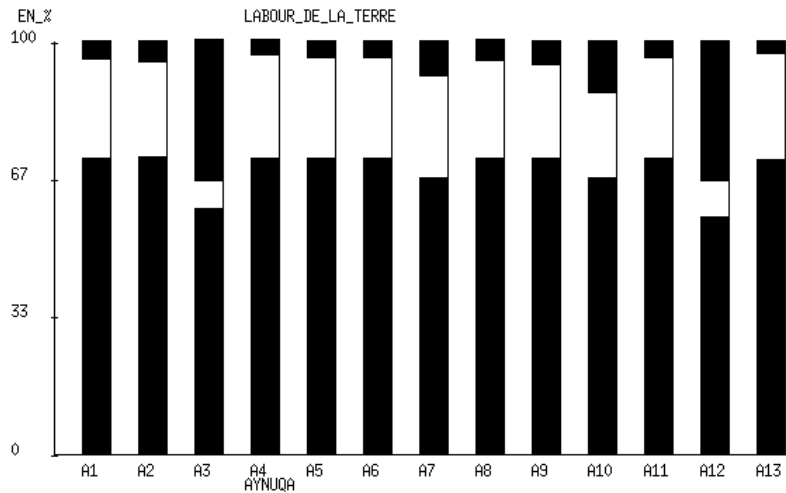
9.2.9 Mémoire sans oubli ni acquisition: Impact d'un réseau non évolutif

Dans la situation de référence le réseau évolue au gré des accords conclus, si bien qu'un accord passé a tendance à être reconduit. Nous avons imaginé un scénario dans lequel ce réseau n'évolue pas et reste dans sa situation initiale, basé sur l'appartenance au hameau : nous partons de l'hypothèse que dans chaque hameau tout le monde se connaît ; le réseau de chaque famille est assez important, chaque famille connaît en moyenne 41 autres familles.

86 accords sont réalisés et 128 familles sont engagées dans les accords. C'est essentiellement le nombre d'offres de main d'oeuvre engagés qui augmente, passant de 60 à 79. Le diagramme d'utilisation de la terre figure 9.16 montre une efficacité accrue, surtout à partir de la quatrième année, lorsqu'on compare avec le diagramme de la situation de référence. Cette efficacité accrue se confirme dans le tableau 9.17 et comme d'habitude, elle est surtout visible dans les *aynuqa* ordinaires. Ainsi, pour ces dernières, la proportion de terres sans labour chute-t-elle de 7% à 4% et le surplus de terre engagé augmente-t-il de 76% à 85%. Incontestablement la disposition d'un réseau plus important facilite la passation des accords et la résorption des surplus familiaux.

Taille <i>Aynuga</i>	%Terre lab. grâce aux accords	%Terre sans labour	%MO oc- cupée s/ accords	% MO inoc- cupées	%Surplus de terre engagé	% Surplus de MO engagé
grande	15	22	17	5	43	86
moyenne	24	4	17	31	85	39
ensemble	21	10	17	23	72	53

TAB. 9.17 - *Efficacité sans évolution de la mémoire*

FIG. 9.16 - *Mémoire sans évolution*

9.3 Synthèse des résultats systématiques

Les résultats qui viennent d'être présentés sont rassemblés dans deux tableaux 9.15 et 9.16 qui comparent la sensibilité des indicateurs aux modifications étudiées. Le premier tableau se concentre sur les accords, le nombre d'offreurs de terre et de main d'oeuvre engagés, le nombre de familles ayant un réseau; bref sur les indicateurs orientés vers l'importance sociale des accords.

Le second tableau présente la sensibilité comparée des six indicateurs d'efficacité individuelle et collective que nous avons retenu pour la comparaison avec la situation de référence :

- Proportion de terre cultivée grâce aux accords
- Proportion de terre restant sans labour après accords
- Proportion de MO employée au labour grâce aux accords
- Proportion de MO non employée au labour après accords
- Pourcentage du surplus de terres engagé
- Pourcentage du surplus de main d'oeuvre engagé.

Dans ces deux tableaux, les valeurs des indicateurs sont suivies d'une mesure qualitative de la sensibilité par rapport à la modification concernée. Cette sensibilité mesurée par rapport à la situation de référence est codée de la manière suivante :

= : aucune variation par rapport à la situation de référence,

= - : faible diminution de l'efficacité,

- : diminution de l'efficacité,

-- : forte diminution de l'efficacité,

= + : faible augmentation de l'efficacité,

+ : augmentation de l'efficacité,

++ : forte augmentation de l'efficacité.

Valeurs des paramètres	Indicateurs de l'efficacité; moyennes sur les 13 ans simulés							
	Nombre d'accords	sens	%offreurs de terre satisf.	sens	%offreurs de M.O. satisf.	sens	%Familles avec réseau	sens
Situation de référence	63	=	74	=	55	=	66	=
Migration								
200 personnes	79	+	64	=-	82	++	85	+
400 personnes	4	--	2	--	39	=-	12	--
Difficulté du labour								
3.94 journaliers/ha	31	--	51	=-	18	--	36	-
15.76 journaliers/ha	44	-	20	--	86	++	48	--
Distrib. aléatoire de terres	63	=	54	=-	57	++	65	++
Niveau d'exigence								
Niveau = 3	41	-	58	=-	32	-	52	=-
Protocole Réponse Class. coop.								
Nbr prop. envoyées (-)	63	=	72	=-	54	=-	64	=-
Qtt M.O. proposée (+)	88	+	76	++	71	+	81	+
Qtt M.O. proposée (-)	37	-	41	-	37	-	44	-
Proportion min. M.O.								
1 %	106	++	84	++	66	+	76	++
100 %	43	-	52	=-	40	=-	50	=-
Concrétisation Class. coopérants								
Réponses envoyées (+)	71	++	74	=	56	++	67	++
Réponses envoyées (-)	71	++	74	=	56	++	67	++
Surface terre offerte (+)	72	++	72	=-	55	=	66	=
Proportion min terre								
1 %	67	++	72	=-	55	=		=-
100 %	57	=-	72	=-	49	=-	64	=-
Mémoire non évolutive	86	+	75	++	69	+	100	++

TAB. 9.18 - Synthèse des résultats systématiques I

Valeurs des paramètres	Indicateurs de l'efficacité; moyennes sur les 13 ans simulés											
	%Terre lab. grâce aux accords	sens	%Terre sans labour	sens	MO occupé s/accd	sens	% MO inoccupée	sens	%SurP. terre engagée	sens	%Surplus de MO engagée	sens
<u>Situation de référence</u>	20	=	12	=	16	=	25	=	65	=	49	=
<u>Migration</u>												
200 personnes	26	++	26	=-	29	+	11	+	52	=+	81	+
400 personnes	1	--	96	--	36	++	3	++	2	--	96	++
<u>Difficulté du labour</u>												
3.94 journaliers/ha	16	=-	12	=	7	-	61	--	58	=-	12	--
15.76 journaliers/ha	8	--	39	=-	11	--	2	++	21	--	96	++
<u>Distrib. aléatoire de terres</u>	20	=	18	=-	17	=+	29	=-	54	=+	44	=-
<u>Niveau d'exigence</u>												
Niveau = 3	11	--	20	=-	8	-	32	=-	39	-	19	--
<u>Protocole</u>												
Réponse Class. coop.												
Nbr prop. envoyées (-)	20	=	11	=+	16	=+	25	=	67	=+	49	=
Qtt M.O. proposée (+)	22	=+	9	+	18	=+	23	=+	75	+	53	=+
Qtt M.O. proposée (-)	14	-	17	=-	12	=-	28	=-	47	=-	42	=-
Proportion min. M.O. 1 %	25	++	6	++	20	=+	20	=+	85	++	60	=+
100 %	12	-	19	=-	10	=+	31	=-	39	-	32	-
<u>Concrétisation Class. coop.</u>												
Réponses envoyées (+)	20	=	11	=+	16	=+	24	=-	67	=+	49	=
Réponses envoyées (-)	20	=	11	=+	16	=+	24	=-	67	=+	49	=
Surface terre offerte (+)	20	=	11	=+	16	=+	25	=	66	=+	50	=+
Proportion min terre 1 %	19	=-	12	=	15	=	25	=	64	=+	48	=-
100 %	18	=-	14	=-	14	=-	27	=-	60	=-	39	=-
<u>Mémoire non évolutive</u>	21	=+	10	=+	17	=+	23	=+	72	=+	53	=+

TAB. 9.19 - Synthèse des résultats systématiques II

Ces deux tableaux montrent l'influence de deux grandes catégories de paramètres.

La première catégorie concerne les paramètres structurels déterminant le bilan global et familial terre/capacité de labour et, en fin de compte, le nombre d'offreurs de terres et de main d'oeuvre ainsi que les surplus ou déficit de terre et de main d'oeuvre à résorber. De ce point de vue le niveau des absences dues à la migration vers les villes, la quantité de main d'oeuvre réellement exigée par les travaux de labour, la plus ou moins forte corrélation entre la main d'oeuvre d'une famille et la surface qu'elle détient dans chaque aynuqa, ont une influence très marquée dont les deux tableaux rendent parfaitement compte. Il est clair que c'est dans les situations moyennes pour lesquelles le bilan global terre/main d'oeuvre de la communauté n'est pas trop déséquilibré que les déséquilibres familiaux ont le plus de chance de se compenser et que les accords vont jouer un rôle important.

La seconde catégorie concerne les paramètres affectant le comportement des familles dans l'élaboration des accords. De ce point de vue c'est la manière dont sont sélectionnés les partenaires, ainsi que la manière dont répondent les offreurs de terre aux propositions qui leur sont faites par les offreurs de main d'oeuvre, qui sont déterminantes. Les tableaux montrent qu'au moment de passer à la concrétisation des accords (dernière étape de la discussion) les jeux sont pratiquement faits et les variantes comportementales (classement, valeurs minimales etc.) n'ont pas beaucoup d'influence.

Concernant la sélection des partenaires, le fait de se limiter aux réseaux familiaux ou d'étendre en cas d'échec la recherche à l'ensemble de la communauté est important. De même, le fait que ce réseau évolue ou non au gré des accords passés. Concernant les réponses des offreurs de terre, deux procédures paraissent déterminantes : - la manière dont ces offreurs de terre classent, avant de répondre, les propositions qui leur sont faites, - la proportion de chaque proposition qu'ils doivent satisfaire pour respecter les exigences des offreurs de main d'oeuvre.

C'est la combinaison de modifications touchant des paramètres structuraux et comportementaux que nous allons maintenant explorer dans quelques scénarios hypothétiques, en utilisant les sensibilités définies ci-dessus pour déterminer les croisements à effectuer.

9.4 Scénarios hypothétiques

Comme nous l'avons exposé au début de ce chapitre, les scénarios systématiques ont été établis en faisant varier un seul paramètre à la fois donc sans croiser les paramètres entre eux. Ceci nous a permis de connaître l'influence particulière de chaque modification. On peut se demander ce qui se passerait si on croisait ces modifications. Mais il ne peut être question d'effectuer tous les croisements envisageables, et il est donc nécessaire de disposer d'hypothèses pour guider nos

choix. Notre démarche a été de construire, pour certains indicateurs, des scénarios extrêmes cumulant des modifications vraisemblables allant dans le même sens. Le but était de voir dans quelles fourchettes ces indicateurs pouvaient varier dans des situations restant réalistes, et de caractériser les situations où ces indicateurs atteignaient leurs valeurs extrêmes. Nous exposons ici les résultats de ces “scénarios hypothétiques” pour les indicateurs d’importance et d’efficacité des accords.

- nombre d’accords réalisés,
- proportion de terre labourée grâce aux accords,
- proportion de main d’œuvre occupée grâce aux accords,
- proportion des offreurs de terre ayant réalisé des accords,
- proportion des offreurs de main d’œuvre ayant réalisé des accords,
- proportion de familles disposant d’un réseau.

Pour chacun de ces indicateurs, nous avons pris en compte et croisé les modifications pour lesquelles la valeur de sensibilité allait de “sensible” à “très sensible” (symboles “+, ++, -et -” du tableau).

9.4.1 Indicateur : nombre d’accords réalisés

Vers un grand nombre d’accords

Pour obtenir une situation où le nombre d’accords est très important, nous avons croisé les quatre modifications suivantes :

- L’absence due à la migration est plus forte que dans la SR mais reste modérée. Le nombre de personnes absentes est fixé à 150.
- La proportion minimale de main d’œuvre est fixée à 25%, au lieu de 50% dans la SR, manifestant une moindre exigence de la part des offreurs de main d’œuvre.
- Les offreurs de terre priorisent, parmi les offreurs de main d’œuvre, ceux dont les surplus de main d’œuvre sont réduits, favorisant ainsi une multiplication de partenaires plus dépendants.
- Un réseau de connaissance non évolutif, lié à l’appartenance au hameau.

En bref une situation qui, tant du point de vue structurel (distribution de la terre, etc.) que comportemental (niveaux d'exigence des partenaires réduits de la part des offreurs de main d'oeuvre, critères de sélection plus sociaux qu'économiques), favorise effectivement une multiplication des accords.

Dans ces conditions, le nombre d'accords annuel moyen est de 117, alors que le nombre le plus élevé atteint dans les scénarios systématiques est de 106. 153 familles sont engagées dans ces accords, soit les trois quarts de la population. 11% des terres restent malgré tout sans labour. Le détail de l'évolution au cours du cycle de rotation est montré dans le figure 9.17.

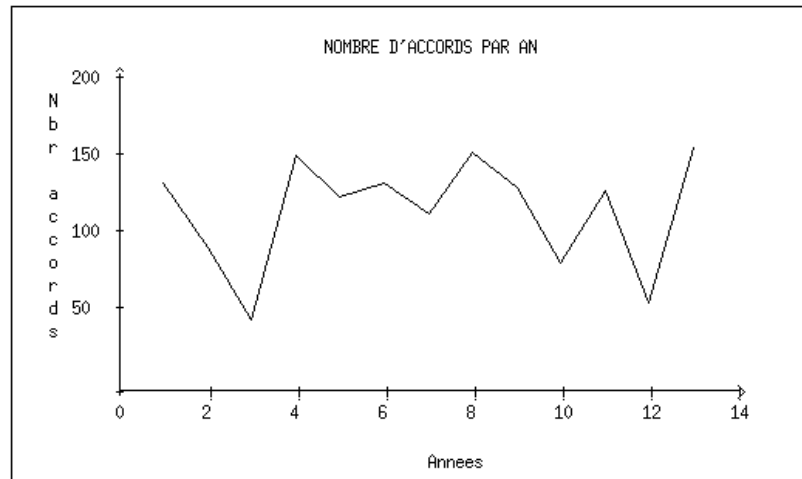


FIG. 9.17 - Maximisation du nombre d'accords

Le nombre maximum d'accords par an (158) a été constaté pour l'*Siwartira*. Le nombre minimum (46) a été enregistré pour *Siwiqani*, l'*aynuqa* la plus grande. On retrouve la difficulté qu'ont les offreurs de terre à trouver des partenaires dans les grandes *aynuqa*, compte tenu en particulier de la réduction de l'offre de main d'oeuvre disponible. En moyenne on observe 75 accords dans les grandes *aynuqa* et 135 dans les autres. Dans le cas de l'*aynuqa* la plus petite, *Titiri*, il n'y a eu que 93 accords; les surplus de terre sont en fait trop faibles pour engendrer de nombreux accords.

Vers un petit nombre d'accords

Pour construire ce scénario inverse, nous avons croisé les quatre modifications suivantes :

- La recherche des partenaires potentiels est limitée au réseau social de la famille.

- La terre est plus facile à labourer (outils plus performants) : La charge de travail pour le labour est fixée à 3.94 journaliers/ha.
- Un départ vers la ville élevé, tout en restant réaliste, a été fixé à 250 personnes.
- La proportion minimale de main d'œuvre est fixée à 75%, manifestant une plus grande exigence de ce point de vue de la part des offreurs de main d'oeuvre.

En bref, une situation hybride, où les besoins de main d'oeuvre sont moins importants, mais dans laquelle la population disponible est moins nombreuse, la recherche de partenaires est moins active et des partenaires plus exigeants. Le nombre d'accord obtenu est le plus réduit de tous, seulement 15 accords/an en moyenne, la moitié des terres d'*aynuqa* restant sans labour. L'évolution au cours du cycle de rotation (figure 9.18) montre que les différences entre *aynuqa* sont minimes.

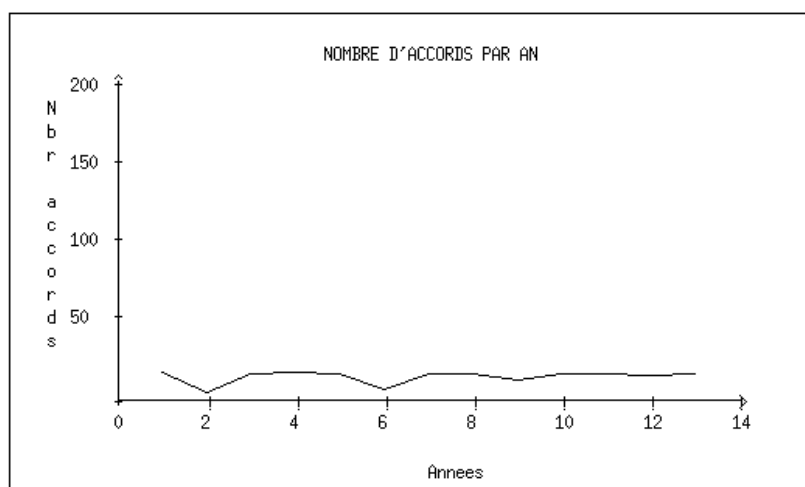


FIG. 9.18 - Minimisation du nombre d'accords

9.4.2 Indicateur : proportion de terre labourée grâce aux accords

Dans une situation démographique et foncière donnée, labourer le maximum de terre est une des préoccupations les plus partagées. L'abandon de la terre se voit et dérange.

Vers une importante surface couverte par les accords

Nous avons construit ce scénario à partir d'un croisement de modifications quasiment identiques à celui qui visait un très grand nombre d'accords. Mais, cette fois-ci, les réseaux familiaux évoluent au gré des accords passés : l' "oubli" est possible.

Dans ce scénario la surface moyenne de terre labourée grâce aux accords est de 100 hectares par an, largement supérieure à tous les autres scénarios simulés (figure 9.19). Cela porte à 31% la proportion de terres labourées grâce aux accords. Ces 31% viennent s'ajouter aux 58% de terres labourables sur les ressources propres, pour laisser seulement 11% des terres sans labour, malgré un absentéisme migratoire modéré mais plus important que dans la situation de référence.

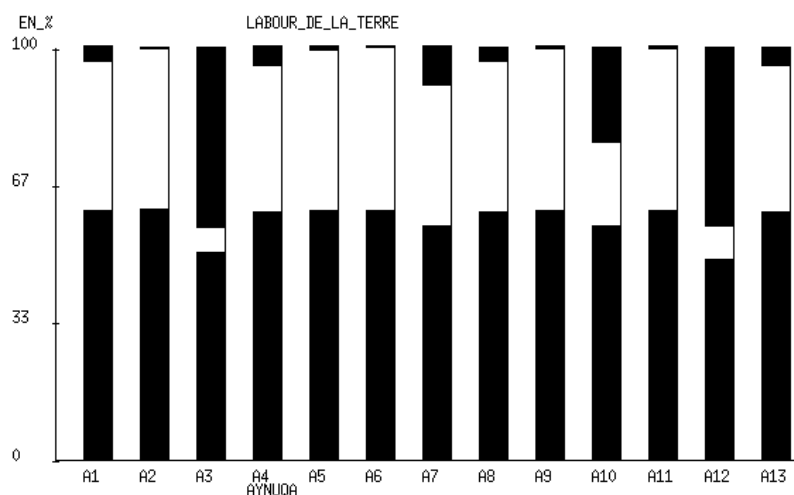


FIG. 9.19 - Maximisation terre labourée avec accords

Le tableau 9.20 montre clairement la différenciation entre les grandes *aynuqa* et les autres.

Taille <i>aynuqa</i>	terre labourée	terre abandonnée
Ensemble	31	11
Grande	17	30
Autre	38	2

TAB. 9.20 - Labour de la terre sous accords par type d'*aynuqa* en %

Vers une réduction des surfaces cultivées grâce aux accords

La construction de ce scénario croise les mêmes modifications que celles visant à minimiser le nombre d'accords. Dans ces conditions une moyenne annuelle de 9% de terre est labourée grâce aux accords. Ces 9% s'ajoutent aux 38% labourables sur les ressources propres des familles, pour laisser 53% des terres sans labour. Le détail de l'évolution au cours du cycle de rotation est montré dans la figure 9.20.

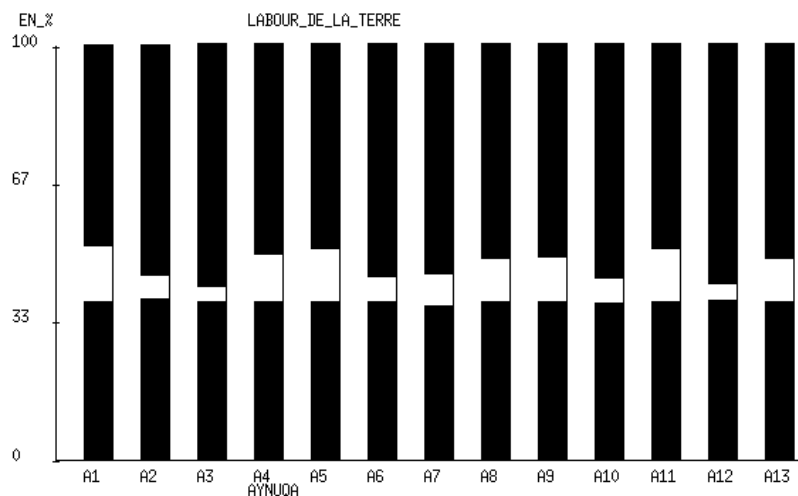


FIG. 9.20 - *Minimisation terre labourée avec accords*

9.4.3 Indicateur : main d'œuvre occupée grâce aux accords

Vers une forte proportion de main d'œuvre occupée grâce aux accords

Pour construire un tel scénario, nous avons effectué une seule modification par rapport à la situation de référence : une absence due à la migration de 250 personnes, forte mais possible, créant un déficit permanent de main d'œuvre dans la communauté.

Dans ces conditions la capacité de moyenne de labour par an est de 215 hectares, face à une surface annuelle moyenne à labourer de 366 ha. Les familles en surplus de main d'œuvre sont en moyenne au nombre de 71, nettement inférieur au nombre de familles en surplus de terre.

Dans ces conditions de pénurie de main d'œuvre, 34% de la capacité de labour de la communauté est employée grâce aux accords. Ces 34% viennent s'ajouter aux 61% déjà mobilisés avant les accords pour ne laisser que 5% de la capacité de

labour inutilisée. L'évolution au cours du cycle de rotation (figure 9.21) montre des différences entre les grandes

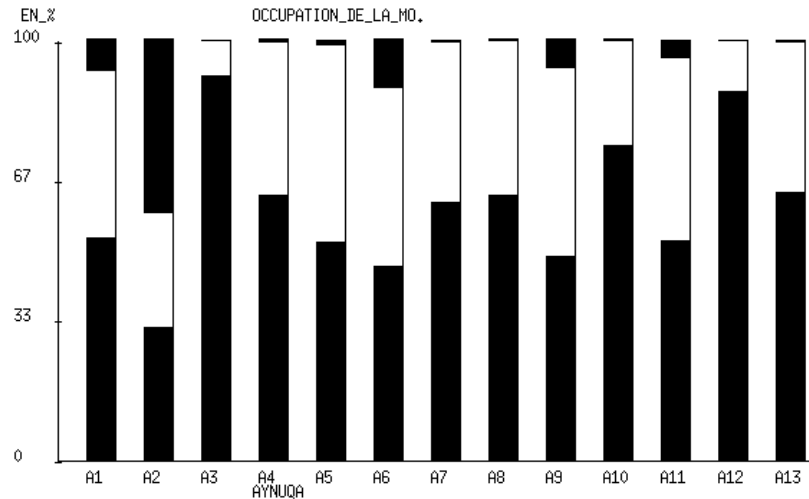


FIG. 9.21 - *Maximisation de la MO occupée par les accords*

aynuqa et les autres, mais surtout un taux élevé de sous emploi de la capacité de labour à Titiri: 41%.

Vers une faible proportion de main d'oeuvre occupée par les accords

Nous avons construit un tel scénario avec le croisement des modifications suivantes :

- Contrairement à la situation de référence, la recherche des partenaires potentiels se limite au réseau de chaque famille.
- La terre est plus difficile à labourer : la charge de travail au labour est fixée à 15,76 journaliers/ha.

En bref une situation où la main d'oeuvre en surplus est rare, les capacités de labour étant mobilisées par les terres appartenant en propre aux familles, et où, de plus, la recherche de partenaires est peu active.

Dans de telles conditions, les familles en surplus de terre sont nettement plus nombreuses que les familles en surplus de main d'oeuvre. La part de la main d'oeuvre mobilisée dans les accords n'est que 7%. Ces 7% s'ajoutent aux 87% mobilisées avant accord, pour ne laisser que 6% de la main d'oeuvre inoccupée au labour pendant la période critique. L'évolution au cours du cycle de rotation est montrée dans figure 9.22 dans la quelle on voit qu'il n'y a pas de différences

nettes entre *aynuqa*. Seules deux *aynuqa* aux caractéristiques différentes, *Titiri* et *Irupata*, présentent une proportion de main d'oeuvre inoccupée aux labours supérieurs à la moyenne.

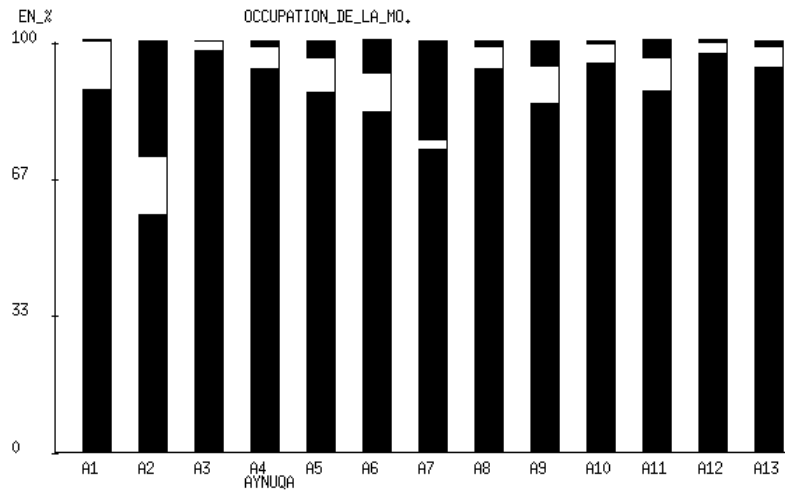


FIG. 9.22 - Minimisation de la MO occupée par les accords

9.4.4 Indicateur : offreurs de terre satisfaits

Un grand nombre d'offeurs de terres trouvent au moins un partenaire

Nous avons construit ce scénario en effectuant une seule modification : la proportion minimale de main d'oeuvre est fixée à la valeur faible mais encore réaliste de 25%. Les offreurs de main d'oeuvre acceptent de disperser leur capacité de labour entre plusieurs offreurs de terre, mais de façon raisonnable.

Dans ces conditions 77% des offreurs de terre réalisent au moins un accord. L'évolution au cours du cycle de rotation (figure 9.23) nous montre une nette différenciation entre les grandes *aynuqa* et les autres. Dans ces dernières, la presque totalité des offreurs de terre réalisent au moins un accord.

Relativement peu d'offeurs de terres parviennent à réaliser des accords

Nous avons construit ce scénario en retenant les modifications suivantes :

- une absence due à la migration de 250 personnes, forte mais possible, créant un déficit permanent de main d'oeuvre dans la communauté.

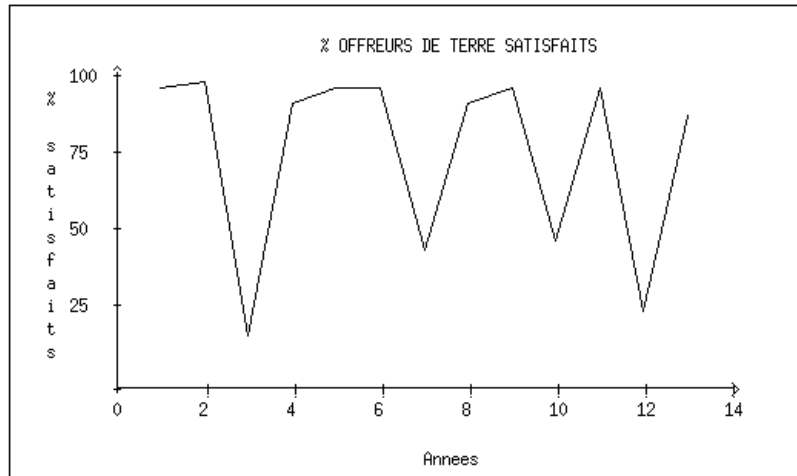


FIG. 9.23 - *Maximisation du nombre d'offreurs de terre satisfaits*

- une difficulté plus grande à labourer la terre, renforçant le déficit de main d'œuvre. La main d'œuvre en période critique est fixée à 15.76 journaliers / hectare.
- Les offreurs de terre priorisent les partenaires potentiels leur proposant la plus grande quantité de main d'œuvre.

Dans ces conditions le nombre de familles en surplus de terre est évidemment important (167) et, en conséquence très peu de ces familles (11%) parviennent à réaliser des accords. L'évolution est donnée dans le graphique de la figure 9.24, où l'on voit que *Titiri*, la plus petite aynuqa, est la seule à marquer une différence: ayant une surface à labourer réduite, la concurrence pour la main d'œuvre y est moins grande qu'ailleurs.

9.4.5 Indicateur : proportion d'offreurs de main d'œuvre satisfaits

Un grand nombre d'offreurs de main d'œuvre trouvent au moins un partenaire

Nous avons construit ce scénario en croisant cinq modifications :

- une absence due à la migration de 250 personnes, forte mais possible, créant un déficit permanent de main d'œuvre dans la communauté.

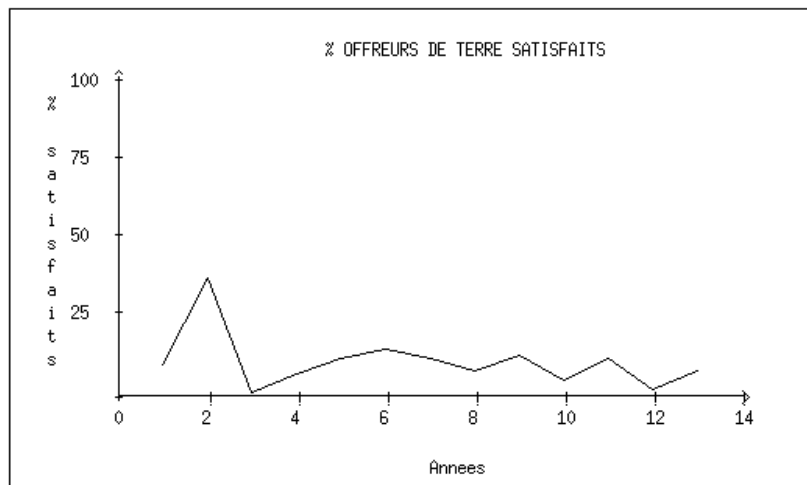


FIG. 9.24 - *Minimisation du nombre d'offres de terre satisfaites*

- une difficulté plus grande à labourer la terre, renforçant le déficit de main d'œuvre. La main d'œuvre en période critique est fixée à 15.76 journaliers / hectare.
- La proportion minimale de main d'œuvre est fixée à 25% au lieu de 50% dans la SR., manifestant une moindre exigence de la part des offres de main d'œuvre.
- Les offres de terre priorisent, parmi les offres de main d'œuvre, ceux dont les surplus de main d'œuvre sont réduits, favorisant ainsi une multiplication de partenaires plus dépendants.
- Un réseau de connaissance non évolutif, lié à l'appartenance au hameau.

En bref, une situation croisant une grande pénurie de main d'œuvre, comme dans le cas précédent, avec un comportement favorisant systématiquement le plus grand nombre d'accords.

Dans ces conditions 44 familles seulement sont en surplus de main d'œuvre en moyenne chaque année. La quasi totalité - 38 familles soit 85% - réalisent au moins un accord. L'évolution de ce pourcentage au cours du cycle de rotation est donné par la figure 9.25. Les grandes *aynuqa* y marquent encore leur différence, ainsi que *Titiri*, la plus petite.



FIG. 9.25 - *Maximisation de la MO. occupée dans les accords*

Relativement peu d'offres de terres parviennent à réaliser des accords

Nous avons construit ce scénario en croisant les modifications suivantes :

- La recherche des partenaires potentiels est limitée aux réseaux familiaux.
- La terre est plus facile à labourer (outils plus performants) : la main d'œuvre en époque critique est fixée à 3.94 journaliers/ha.
- Les offres de terre priorisent leurs partenaires potentiels qui leur proposent une plus grande quantité de main d'œuvre.

Il n'y a dans ces conditions jamais d'accords sur les treize ans du cycle de rotation.

9.4.6 Indicateur : familles avec réseau

Vers un réseau maximum

Pour améliorer l'efficacité de cet indicateur, nous avons modifié deux paramètres sensibles :

- Niveau d'exigence moyen = 3,
- Départ de 150 personnes.

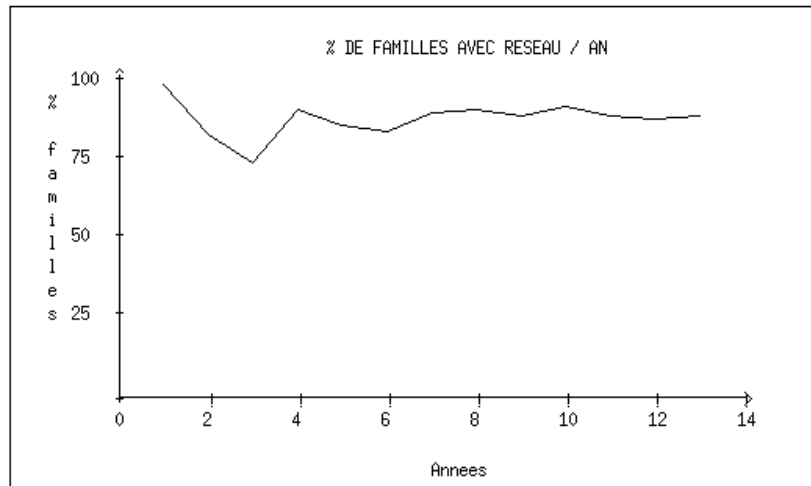


FIG. 9.26 - *Maximisation du % de familles avec réseau*

On considère qu'une famille dispose d'un réseau lorsqu'elle a au moins une référence dans sa mémoire. L'évolution du pourcentage de familles avec réseau en fonction des années du cycle est indiquée sur la figure 9.26.

Pour calculer la moyenne annuelle du réseau des familles, nous avons décidé de ne pas prendre en compte la première année car elle a une forte influence sur le calcul. Due à l'hypothèse sur l'état initial du réseau que les familles se connaissent toutes entre elles à l'intérieur du hameau dans lequel elles habitent. En moyenne sur les années du cycle, le réseau moyen des familles prend une valeur de 1.2. Cela signifie qu'en moyenne chaque famille a dans sa mémoire une seule famille répertoriée comme connue, cette donnée ne variant pas beaucoup par rapport à la SR. Le pourcentage de familles avec réseau est de 89% du total des 200 familles, valeur nettement supérieure à la SR.

b) Vers un réseau minimum

Les trois paramètres suivants ont été modifiés :

- Main d'œuvre en époque critique = 3.94 journaliers / hectare.
- Les offreurs de terre, avant de répondre, classent leurs coopérants en fonction de la quantité de main d'oeuvre proposée, et en ordre décroissant.
- Le départ de 250 personnes.

Le réseau moyen reste constitué de 4 partenaires, mais le pourcentage de familles ayant un réseau dépasse à peine la moitié des 200 familles. L'évolution du

pourcentage de familles ayant un réseau, selon les années du cycle, est présentée sur la figure 9.27.

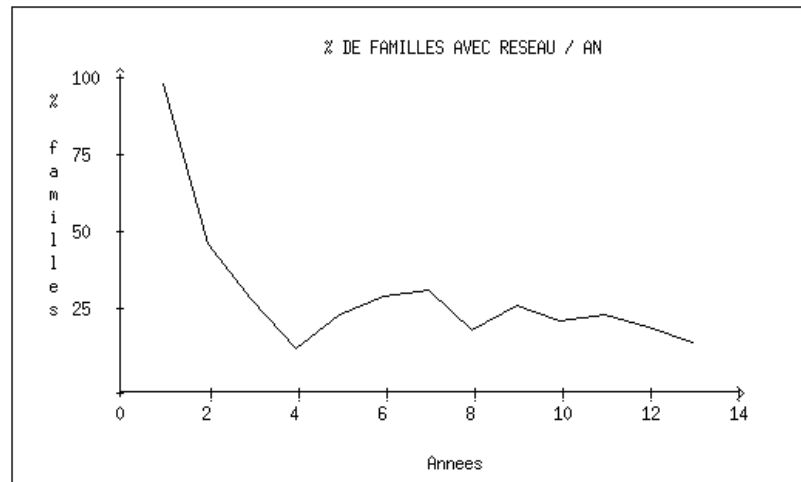


FIG. 9.27 - Minimisation du % de familles avec réseau

Chapitre 10

Enseignements des simulations

Dans ce chapitre, nous voulons mettre en évidence les apports du modèle et des simulations pour une meilleure compréhension du rôle des accords pour absorber les surplus ou combler les déficits de terre et main d'œuvre dans la communauté de Pumani.

Ce chapitre est divisé en deux parties. Dans la première est présenté l'apport de la modélisation sur l'analyse que nous faisons désormais de la situation de la communauté de Pumani. Dans une deuxième partie, nous introduisons les nouvelles questions que cette analyse nous a conduit à formuler.

10.1 Nouveau regard sur Pumani après les simulations

Dans notre travail, nous avons commencé par reconstruire, à partir des informations disponibles, les structures démographiques, foncières et sociales de Pumani, et formalisé les procédures de passation des accords. Puis nous avons transcrit informatiquement ce modèle sous forme d'une communauté "artificielle" et enfin réalisé un certain nombre de simulations. L'ensemble nous donne une nouvelle image de la communauté de Pumani, plus précise, sur certains aspects, que celle que nous avons auparavant. Nous voulons insister sur quelques points importants. Le but est de confronter cette image simulée à celle qu'en ont d'autres personnes qui connaissent la communauté et qui pourront ainsi la confirmer, la refuser ou l'enrichir.

10.1.1 Les structures démographiques et foncières et l'évaluation des déséquilibres terre / MO

déséquilibres globaux

Dans l'image que nous avons de Pumani, suite à une migration de 10% de la population partie à la recherche d'un travail, les familles sont capables de labourer annuellement, dans les *aynuqa*, un total d'un peu plus de 400 hectares, ce qui traduit un léger excédent de capacité de labour. Cependant, en prenant en compte la taille des *aynuqa*, la situation varie de ce point de vue au cours des treize années du cycle de rotation. On peut en effet nettement séparer deux classes d'*aynuqa* et donc d'années : quatre "grandes" où il y a un net déficit de main d'oeuvre et neuf autres, ou au contraire l'excédent de main d'oeuvre est assez important et qui pourraient donc à priori être labourées en totalité. Par ailleurs les quatre années déficitaires sont réparties tout au long du cycle de rotation, séparées par des intervalles de un, deux ou trois ans.

Toutefois cette division du cycle en deux types d'années est susceptible d'être fortement affectée, voire de disparaître, en cas de modifications du taux de migration ou des techniques de labour, ainsi que différents scénarios de simulation l'ont montré. Cependant, avec les conditions techniques actuelles, un déficit global de main d'oeuvre se maintiendrait dans les deux plus grandes *aynuqa* même avec une absence complète de migration.

déséquilibres familiaux

Les simulations montrent que les déséquilibres familiaux sont importants à Pumani. Il y a beaucoup de familles (plus d'un tiers) qui sont en surplus de terre, et beaucoup plus encore qui sont en surplus de main d'oeuvre. Cela pourrait cependant représenter des surfaces ou des capacités de labour négligeables, si par exemple, dans la plupart de ces familles, les surplus étaient très faibles. Il n'en est rien, puisque le cumul des surplus familiaux de terre, malgré le léger excédent moyen de main d'oeuvre, atteint presque un tiers de la surface d'*aynuqa* à labourer chaque année. Il en résulte une situation où normalement, les familles de la communauté ont besoin les unes des autres pour exploiter les terres d'*aynuqa*, et donc où la recherche d'accords de réciprocité est un élément important du point de vue de la production.

Cet état de fait quant à l'importance des surplus ne repose que sur des données disponibles quantitativement assez réduites. Il est accentué par l'hypothèse de répartition de la migration entre les familles : ce sont les familles les plus riches qui ont les moyens de supporter les frais de la présence de certains de leurs membres à la ville, et qui donc qui, *a priori*, migrent le plus. Nous avons par ailleurs réalisé un scénario dans lequel la répartition des terres entre les familles dans *aynuqa* remise en culture était chaque année, à l'intérieur de certaines contraintes

globales, déterminée par le hasard. Ce scénario a montré que les déséquilibres familiaux étaient alors encore plus importants.

Évolution des déséquilibres familiaux

Dans l'image que nous avons de Pumani, l'occupation du territoire communal est très uniforme, c'est-à-dire que la plupart des familles sont présentes dans toutes les *aynuqa* à l'exception de deux, *Titiri et Irupata*, où certaines familles semblent avoir trouvé une solution au problème des distances, en échangeant définitivement leurs parcelles contre des parcelles plus proches. Cette relative uniformité de la structure foncière entraîne une relative uniformité de la situation des familles vis-à-vis des surplus : celles qui sont en surplus de terre ont tendance à le rester et de même celles qui sont en surplus de main d'oeuvre. La source de variabilité de la situation de la communauté pendant le cycle de rotation est donc principalement, dans ces conditions, l'inégalité entre les surfaces des *aynuqa*.

10.1.2 La passation des accords et ses résultats

Résultats globaux des accords du point de vue de l'utilisation des terres

Si l'image reconstruite de la communauté nous montre une situation où la recherche d'accords de réciprocité est un élément important pour bien utiliser les terres, elle nous montre également à travers les simulations de la passation des accords, une situation où cette recherche aboutit dans une proportion relativement forte, sans cependant atteindre l'optimal. Un peu plus de 10% des terres d'*aynuqa* restent chaque année en moyenne sans labour. Cette situation varie bien sûr d'une année à l'autre, encore une fois essentiellement en fonction du type d'*aynuqa* ; dans les neuf *aynuqa* globalement excédentaires en main d'oeuvre la proportion de terre restant sans labour est inférieure à 10% mais reste cependant non négligeable sachant que ces terres pourraient être labourées en totalité. Dans les années correspondant à la remise en culture des grandes *aynuqa* globalement déficitaires, plus de 20% et parfois 30% des terres restent sans labour.

Importance sociale des accords

Un peu plus de la moitié du total des familles se trouve engagée dans des accords, ce qui nous paraît considérable et manifeste une forte intégration de la communauté. Dans ce domaine, un autre aspect de l'image qui nous est renvoyée par notre construction concerne la structure du réseau. Dans cette structure, les familles ayant conclu des accords l'ont fait avec un très petit nombre de partenaires, un à deux pour les familles en surplus de terre, un seul pour les familles en surplus de main d'oeuvre. De plus, il apparaît que ce partenariat est

relativement stable : les familles changent de partenaires dans les accords une à deux fois pendant le cycle.

Rapports de forces entre familles

Les discussions menées avec l'anthropologue et les résultats de nos entretiens avec les agriculteurs nous avaient laissé pressentir que les familles en surplus de terre étaient en position de force par rapport aux autres familles. Cette position de force se lit d'abord dans l'analyse des déséquilibres familiaux : les familles en surplus de terres sont moins nombreuses que celles qui cherchent des terres supplémentaires à labourer, et, mesurée en hectares, l'offre de main d'oeuvre dépasse l'offre de terres à labourer. Cette position de force se répercute apparemment dans les résultats finaux de la passation des accords telle qu'elle est simulée dans plusieurs scénarios. Alors qu'une forte majorité des familles en surplus de terre trouvent au moins un partenaire, moins de la moitié des familles disposant d'un surplus de capacité de labour trouve de la terre supplémentaire à labourer. Un autre aspect de cette inégalité a déjà été mentionné : les familles en surplus de terre ont en moyenne un ou deux partenaires, alors que les familles en surplus de capacité de labour n'en ont en moyenne qu'un seul.

Mais ici encore la situation varie au cours du cycle de rotation en fonction du type d'*aynuqa* et de nets contrastes apparaissent. Dans les neuf *aynuqa* globalement excédentaires en main d'oeuvre, l'offre de main d'oeuvre dépasse deux fois l'offre de terres. Presque toutes les familles disposant de surplus de terre trouvent un partenaire pour labourer une partie de leur surplus. Dans les quatre grandes *aynuqa* la situation est inversée. L'offre de terres dépasse l'offre de main d'oeuvre, et c'est au contraire les familles en surplus de main d'oeuvre, moins nombreuses et donc en meilleure position, qui se trouvent naturellement favorisées.

Impact de la façon dont les familles établissent les accords

Dans notre reconstruction de la communauté de Pumani, les offreurs de terres jouent un rôle déterminant dans la passation des accords et dans ses résultats, comme le montre la comparaison de différentes simulations. Selon qu'ils se comportent de telle ou telle manière, l'utilisation des terres peut, dans les neuf *aynuqa* globalement excédentaires en main d'oeuvre, être quasi complète - presque toute la surface remise en culture est labourée - ou au contraire laisser presque un cinquième du territoire en friche. De même l'importance sociale des accords pour la communauté, mesurée par le nombre de familles engagées dans ces accords, peut passer dans les mêmes conditions de deux tiers des familles à un tiers seulement. C'est lorsqu'ils classent les propositions qui leur sont faites par les familles qui recherchent des terres à labourer que cette influence s'exerce, selon qu'ils priorisent ou non les familles qui leur font les offres de main d'oeuvre les plus fortes. Le comportement des familles en surplus de capacité de labour intervient de son

côté selon qu'elles acceptent de morceler leur force de travail sur plusieurs terres ou qu'elles se montrent au contraire très exigeantes et d'acceptent s'engager leur force de travail qu'avec ceux qui peuvent la prendre en totalité.

En résumé la passation des accords et leur efficacité quant à l'utilisation des terres sont favorisées par des comportements aboutissant à une dispersion des partenaires. De tels comportements peuvent paraître a priori "anti-économiques", mais il peut très bien ne pas en être ainsi dans le contexte andin. Pour les familles disposant d'un surplus de main d'oeuvre, "éparpiller sa force de travail", c'est aussi assurer une certaine diversité des parcelles et donc des situations de sols, ce qui n'est pas négligeable face aux risques climatiques. Pour les familles disposant d'un surplus de terre, confier sa terre à plusieurs partenaires peut être aussi une façon de diminuer les risques. Les deux stratégies peuvent s'associer pour conduire à une très bonne résorption des surplus de terre et de main d'oeuvre, comme le montrent certaines simulations.

10.1.3 Rôle général des accords dans les ajustements dynamiques au cours du cycle de rotation

Au départ nous avons posé comme une hypothèse que les accords jouaient un rôle d'ajustement important pour faire face à la variabilité des conditions de disponibilité de terre et de main d'oeuvre des familles au cours des treize années du cycle de rotation. L'analyse du bilan global et la présence des grandes et moyennes *aynuqa* nous permettent d'identifier les conditions nécessaires pour que les accords jouent un tel rôle et aussi d'entrevoir que deviendrait ce rôle suite à une éventuelle réduction du temps de jachère. La construction du simulateur et l'exécution des simulations ont à ce propos bien mis en évidence un certain nombre de points.

Rôle des accords et équilibres globaux

Les accords de réciprocité ne peuvent réellement jouer un rôle quantitatif important du point de vue de l'utilisation de la terre que si les déséquilibres globaux terre / MO ne sont pas trop grands. Cette condition d'équilibre ou de déséquilibre modéré est remplie dans les *aynuqa* de taille moyenne, à plus forte raison si l'on suppose une migration des membres des familles vers les villes légèrement plus forte que celle de l'hypothèse de base. Lorsque globalement la capacité de labour de la communauté correspond à peu près à la surface à labourer chaque année, alors les accords peuvent jouer pleinement.

Rôle des accords et équilibres familiaux

Une fois cette condition d'équilibre global remplie, il faut bien sûr que les familles aient des raisons de rechercher et de passer des accords, et que les com-

portements des uns et des autres soient compatibles avec la réalisation de cet objectif. Nous avons supposé que la principale raison de la recherche des accords était la résorption des déséquilibres familiaux terre/main d'oeuvre, encore faut-il qu'ils existent. De tels déséquilibres ont effectivement toutes chances d'être relativement importants, sauf si les familles ont une stratégie d'ajustement de leurs terres et de leurs moyens propres en main d'oeuvre, par exemple en "rapatriant" les membres émigrés lors de la période critique des labours. Quant aux comportements, nous avons vu qu'une combinaison de stratégies plausibles des familles en surplus de terre et des familles en surplus de main d'oeuvre pouvait aller dans le sens d'accords numériquement importants et efficaces du point de vue de l'utilisation de la terre.

Rôle des accords et existence de grandes *aynuqa*

La présence dans le cycle de rotation de quatre grandes *aynuqa* globalement fortement déficitaires pose question, du fait de leur particularité. Ces *aynuqa* résultent-elles du regroupement de secteurs autrefois indépendants, comme leur configuration géographique le suggère?. S'agit-il partiellement de réserves de terre, utilisables par la communauté comme "volet de sécurité"? Leur existence fait penser à ce qui s'est passé en 1991, où deux *aynuqa* qui se suivaient dans le cycle ont été regroupées, plaçant la communauté devant une surface à labourer équivalente à ces grandes *aynuqa*, avec des conséquences négatives puisqu'alors, on le sait, beaucoup de terres sont restées sans labour. De tels regroupements, s'ils se confirment dans le temps, auraient pour conséquence une réduction de la durée de la jachère, dont on peut se demander, dans l'état actuel démographique et technique de la communauté, quelle serait son utilité. Ils accentuent, nous l'avons vu, les déséquilibres entre terre et main d'oeuvre. Ce ne sont plus en tout cas les accords de réciprocités qui peuvent assurer les ajustements nécessaires. Comme l'ont montré les simulations, dans certaines conditions de structure foncière, si les familles se trouvent toutes devant une charge de terre à labourer en propre plus importante, les possibilités d'accords peuvent même diminuer.

10.2 Nouvelles questions

Les simulations nous ont ouvert un nouveau regard sur la communauté de Pumani, nous ont permis de confirmer et d'infirmer certaines idées initiales sur le rôle des accords, mais elles nous ont permis également de soulever de nouvelles questions, non posées, avant la construction du modèle.

Ces questions émergent en vue d'une confrontation entre l'image simulée de Pumani et la réalité. De fait, lors d'un récent et court passage à Pumani, nous avons pu constater que ces questions étaient loin d'avoir une réponse évidente, et qu'elles pouvaient exiger des investigations plus poussées. Il ne s'agit donc pas ici de faire une liste exhaustive de ces questions dont certaines sont déjà posées implicitement dans la section antérieure, mais plutôt d'en prendre quelques unes comme exemples, parmi les plus importantes, en les regroupant par grands thèmes.

Sur la structure démographique et foncière, et l'évolution technique

Dans la section antérieure nous avons dit que le territoire est occupé d'une manière assez uniforme par toutes les familles de la communauté mais il serait fondamental de vérifier ce point : aller plus en détail et voir d'abord si chacune des familles dispose de terres dans chacune des *aynuqa*, ce qui paraît assez anodin à obtenir comme information. Mais peut-on quantifier et savoir comment sont réparties les surfaces dont disposent les familles entre les différentes *aynuqa*? Cette répartition est-elle complètement aléatoire ou au contraire se rapproche-t-elle d'une certaine logique et laquelle? D'une manière plus large, quelle est actuellement la dynamique de réajustement des surfaces de terres disponibles entre les différentes familles, dans les *aynuqa* et dans les *sayaña*.

Nous avons vu que la situation de la communauté dépendait fortement de ses effectifs restant sur place. Qu'en est-il exactement quantitativement et quelle est la tendance actuelle?. Dans le même ordre d'idée, nous avons décrit le labour de la terre comme étant la tâche la plus difficile à réaliser dans le domaine agricole, parce qu'elle exige, dans les conditions techniques actuelles, un effort physique important qui doit être réalisé dans un délai très court juste après les premières pluies. La question qui se pose est de savoir pourquoi les gens de la communauté partis en ville (particulièrement à La Paz), sachant l'importance de cette tâche, ne décident pas de retourner temporairement à Pumani au moment du labour pour aider leurs familles?

On peut se demander enfin combien de chefs de famille ont recours au tracteur pour les labours car on a vu que ce changement technique pouvait modifier radicalement les rapports entre les familles de la communauté.

Sur les déséquilibres

L'existence d'un relatif déséquilibre global en faveur d'un excédent de main d'oeuvre nous paraît tout à fait évidente mais correspond-elle à la réalité?. De plus, comment ce déséquilibre global, en admettant sa réalité, est-il perçu par les paysans de la communauté? Le prennent-ils en compte comme facteur incitatif, par exemple lors de la prise de décision de migration? Par ailleurs les déséquilibres familiaux, qu'on peut supposer individuellement connus des familles sont-ils en cumul aussi importants qu'ils nous sont apparus, et la communauté a-t-elle conscience de cette importance?

Sur l'importance et le rôle des accords

Le nombre d'accords, le nombre de familles engagées dans les accords sont des données qui devraient être facilement évaluables dans leur ordre de grandeur. Est-ce que réellement, par exemple, plus de la moitié des familles sont engagées dans les accords comme nous l'avons vu dans certaines de nos simulations, ou bien ce nombre est-il beaucoup plus faible?. Autrement dit l'importance sociale des accords est -elle quantitativement celle que notre modèle lui attribue? On pourrait également s'interroger utilement sur la structure du réseau des accords dans la réalité, à travers la valeur des indicateurs que nous avons utilisés : nombre de partenaires par famille ayant passé des accords, appartenance ou non de ces partenaires au même hameau, etc.

De notre point de vue de modélisateur, nous avons considéré la part du cumul des surplus familiaux de terre labourée grâce aux accords comme une mesure d'efficacité de ces derniers. A travers cette mesure, c'est bien l'utilisation de la terre qui est supposée être le critère de bon fonctionnement de la communauté : ce fonctionnement est mauvais si trop de terres restent sans labour, bon si toutes les terres remises en culture sont labourées. Mais est-ce un critère pour les acteurs eux mêmes ?

Pour certains agriculteurs, l'abandon de la terre est visible et mal vu par les membres de la communauté. Il traduit un certain manque d'attention portée au territoire communal. Il serait intéressant de savoir s'il existe une volonté consciente des familles pour éviter cet abandon ; si, par exemple, lors de l'assemblée Générale du mercredi des Cendres, cette question est évoquée et si des propositions de mesures concrètes sont émises, si des incitations sont faites auprès des paysans pour qu'ils établissent les meilleurs accords de ce point de vue. Est-ce que par exemple cet élément a joué l'année dernière lors de la décision de cultiver uniquement l'*aynuqa Titiri* qui est pourtant la plus petite *aynuqa* sans la regrouper avec l'*aynuqa* qui lui succédait dans le cycle de rotation.

D'une façon plus large se pose la question de savoir quel est le rôle que les agriculteurs veulent que les accords jouent, qu'attendent-ils des accords?: des objectifs collectifs, à savoir par exemple que le maximum de surface disponible

soit labouré, que les accords occupent le plus possible les gens de façon à éviter une trop grande migration vers la ville, que le plus grand nombre de familles soient engagés dans ces accords et que la communauté soit ainsi fortement intégrée, ou au contraire des objectifs purement individuels où chacun tire de son côté pour obtenir le meilleur bénéfice personnel possible.

Sur la différenciation des *aynuqa*

A maintes reprises nous avons rapporté notre analyse à l'existence de quatre grandes *aynuqa* à côté de neuf autres de taille moyenne. Dans les conditions démographiques et techniques que nous avons prises pour hypothèses, les premières sont fortement déficitaires en main d'oeuvre alors que les secondes sont fortement excédentaires. Cette différenciation est si criante qu'on ne peut imaginer qu'elle ne soit pas perçue si les hypothèses sont justes. Il serait pertinent de savoir comment les paysans la perçoivent et la vivent. Quelle importance, quel sens ou quelles causes donnent-ils à sa présence dans le cycle?. En tiennent-ils compte dans leur prévisions, notamment en matière de migration?

Dans le même ordre d'idée et pour préciser, lors des années où ces grandes *aynuqa* reviennent en culture, sont-elles considérées par la communauté comme à labourer en totalité, ou au contraire comme partiellement constituées de réserves de terre qu'il est normal de laisser en friche? Dans le premier cas la capacité de labour de la communauté devrait être quasiment entièrement employée ces années là, comme nous l'avons constaté dans les simulations et cette tension sur la main d'oeuvre devrait être ressentie. Dans le second cas, les rapports entre offre de terres et offre de main d'oeuvre resteraient inchangés.

Sur les discussions conduisant à la passation des accords

Dans notre modèle nous avons pris en compte certains comportements suivis par les agriculteurs pendant les discussions qui précèdent l'établissement des accords; nous les avons formalisés en les simplifiant et les coulant dans le moule d'un "protocole" distinguant offreurs de terres et offreurs de main d'oeuvre, uniformément appliqué par tous et de la même façon chaque année. On peut se demander si cette uniformité correspond à peu près à la réalité, ou si au contraire, les particularités de chaque famille, la variabilité des comportements pour s'adapter aux conditions spécifiques de chaque année sont des faits massifs qui doivent être intégrés dans la vision du fonctionnement de la communauté.

Chapitre 11

Conclusion générale

Notre objectif de départ était la construction d'un simulateur dont nous disposons à présent. Il nous a permis effectivement de mieux comprendre les mécanismes de fonctionnement des accords *“al partir”*.

L'exploration de différents scénarios nous a permis de cerner l'influence que peuvent avoir sur les accords les caractéristiques structurelles de la communauté (structures foncière, démographique et sociale) et comportementales des agriculteurs (préférences des partenaires, exigences sur la qualité des terres, etc.).

Nous avons ainsi confirmé notre hypothèse qu'un tel modèle construit sur une disponibilité partielle de données et d'autres informations et règles connues qualitativement, pouvait faire émerger des questions précises, donner des pistes aux recherches de terrain, formuler des problématiques et identifier des indicateurs.

Une fois de plus nous revenons sur le fait qu'une modélisation d'accompagnement aux nombreux travaux de recherche sur la communauté peut permettre non seulement une interaction modèle / terrain mais également constitue un bon outil de réflexion pour les chercheurs.

Au cours de notre recherche, nous avons du affronter trois défis importants :

- Le manque d'information sur certaines caractéristiques démographiques et sociales de la communauté
- La difficulté de formaliser les règles et procédures de décision des acteurs
- La difficulté de communiquer notre conviction sur l'enrichissement que peut apporter fécondité de ce type de modélisation à certaines disciplines.

Le manque d'information et la construction du modèle

Ce type de modélisation exploratoire, n'exige pas une connaissance précise et complète du terrain. Son but est d'intégrer ce que l'on sait déjà et de faire différentes hypothèses sur ce qu'on ne connaît pas, de suffisamment formaliser ce peu de connaissances et ces hypothèses pour pouvoir en tirer des conséquences,

puis d'évaluer la vraisemblance de ces conséquences par rapport à la réalité. C'est un processus réitéré au cours de la recherche.

Ce travail de reconstruction du modèle basée sur une "situation de référence", censée être le plus proche possible de la réalité de Pumani, a été mené, pour ce qui concerne les structures, sur des tendances générales et locales plutôt que sur des données exhaustives et précises. Pour ce qui concerne les règles de fonctionnement elles sont basées essentiellement sur les entretiens et les apports anthropologiques.

Le fait de pas avoir pu construire un modèle sur des données précises rend la "situation de référence" fragile car elle repose sur des tendances générales dont leur spécifications sont parfois hypothétiques. Mais la confrontation des résultats de la "simulation de référence" avec l'anthropologue de l'équipe (Gilles Rivière qui s'était éloigné de ce travail lors des manipulations informatiques), a confronté notre travail. Rivière estime que malgré les méthodes qu'il qualifie de "non conventionnelles", les résultats de nos simulations l'interpellent en ce sens que des nombreuses similitudes avec ses connaissances et observations sont trouvés. Par exemple, il avait estimé que cette année (1997). Un 38% des terres de *Siwigani* sont restés sans culture et nos simulations nous donnent une valeur de 34% pour cet abandon de terres.

Ceci, et d'autres points en commun, ne sont pas une coïncidence. Il est due tout simplement au fait que l'exactitude des données n'est pas un "point d'amplification du système" comme l'avance l'approche systémique [88]. Cette tolérance du système aux des imprécisions (modérées), sur la structure foncière par exemple, a été clairement montrée avec la simulation d'un scénario qui reflète une distribution complètement aléatoire de terres entre les agriculteurs ; les résultats de cette simulation et ceux de la "situation de référence" ne présentent pratiquement pas de différences comparés avec les autres résultats (cf. tableaux 9.19, 9.18).

La difficulté à formaliser les décisions des acteurs

Ce qu'on voit d'abord en général, ce ne sont pas les décisions, encore moins la préparation des décisions, mais leurs résultats, c'est-à-dire, les actions effectuées et leurs conséquences. A savoir, dans le cas de Pumani, les accords conclus. Supposer que ces accords sont issus de délibérations qui permettent de choisir entre plusieurs options possibles, faites au long d'un processus comportant des discussions entre les acteurs, est déjà une hypothèse forte. Au minimum peut-on observer les pratiques de rencontre entre agriculteurs qui précèdent la passation des accords. Questionner ensuite les agriculteurs sur leur "critères de choix" est un pas supplémentaire qui oriente peut-être déjà les réponses.

Ces remarques étant posées, nous nous sommes effectivement aidé des observations faites par l'anthropologue (Gilles Rivière) ayant travaillé sur Pumani et connaissant bien les familles et leurs pratiques de rencontre, et nous avons mené nous-mêmes des entretiens avec quelques agriculteurs. Il nous a paru possible

d'identifier un mode de déroulement des discussions - basé sur la prééminence de l'offreur de terres -, ainsi que certaines attitudes "clés" et leurs variantes plausibles - principes de classement des propositions, volonté ou non de morceler la ressource dont la famille dispose entre les mains de plusieurs partenaires - et de considérer ce principe et ces attitudes comme déterminant les accords.

A partir de là nous avons pu formaliser informatiquement les conversations menant aux accords, en s'inspirant de "protocoles" tel le "Contract-Net", décrits dans la littérature sur les systèmes multi-agents. Il est clair que ce faisant nous simplifions énormément : nous renonçons d'abord à prendre en compte la complexité psychologique et sociale que renferme la communication interpersonnelle des rencontres, ce qui est inévitable dans une telle modélisation ; nous avons aussi renoncé, en dehors de la distinction offreur de terre/offreur de main d'oeuvre, à prendre en compte une diversité de comportements entre les familles : non pas parce que nous y étions techniquement obligés, les systèmes multi-agents permettent justement d'intégrer cette diversité, mais par manque d'information quantitative sur cet aspect de la réalité.

La difficulté de communiquer avec certaines disciplines

Des disciplines comme l'anthropologie et la sociologie sont attentives par nature à la complexité des sociétés humaines, aux différentes dimensions de chaque acte humain. Elles ont donc tendance à se méfier des modèles et des leurs constructeurs, surtout quand ceux-ci prétendent reconstituer en ordinateur des parties des "communautés artificielles" en ne prenant en compte que quelques éléments qui caractérisent ces groupes sociaux. Tout rapprochement de ces artifices avec les vraies communautés leur paraît en effet sacrilège et vain.

Pourtant elles aussi modélisent ; on peut même dire avec Ph. Descola que tout discours ethnologique contient un "modèle" de la société qu'il restitue. Mais ce n'est pas par là que nous pouvons espérer emporter la conviction. Il nous faut convaincre, pensons-nous, non pas de la "ressemblance de ces communautés artificielles avec la réalité, mais de la capacité de nos tentatives qui cherchent à cerner et mieux comprendre les phénomènes étudiés.

A cet égard il nous semble avoir posé, à travers les enseignements que nous avons tiré de nos simulations, un certain nombre de questions importantes sur la réalité de Pumani. Ces questions ne touchent certes pas aux représentations et aux aspects symboliques des activités. Mais elles concernent, à travers des indicateurs identifiés, la structure spatiale du système d'*aynuqa* et son histoire, la pression démographique sur les terres, l'inégalité foncière entre familles, les tensions sur les ressources terres et capacité de labour, l'importance marginale ou non des accords dans l'utilisation des terres et l'intégration sociale, la perception qu'ont les paysans de tous ces éléments.

Nous avons posée ces questions à l'anthropologue Rivière qui a réagi positivement et il considère que parmi ces questions il y a des nouvelles questions qu'il ne

s'était pas posé avant et d'autres auxquelles il n'avait pas accordé l'importance méritée. Ce anthropologue nous a apporté une série de réflexions à partir de ces questions qui nous rendent compte, entre autres que :

- Les réponses à ces questions ne sont pas immédiates mais qu'il est clairement important de les traiter si on veut vraiment comprendre la complexité des accords.
- Les accords sont encore plus importantes et diffusés que ce qui le montre le modèle.
- Pour compléter les réflexions sur les réseaux de connaissances et leur évolution il ne faudrait pas oublier que à Pumani, pratiquement tout le monde est en accord avec autrui car il existe des accords pour toute activité.

Une image de Pumani soumise à discussion

La reconstruction effectuée à partir des données disponibles, la formalisation des comportements des acteurs puis les simulations effectuées nous ont effectivement amené à nous forger une nouvelle image de Pumani, de la place des accords, de leurs déterminants et de leurs impacts, des variantes possibles de ces éléments. Cette image constitue pour nous le vrai enseignement de notre modélisation et des simulations qui ont été conduites. Nous voyons par exemple Pumani comme une communauté pour la quelle les accords ont une importance quantitative assez importante, aussi bien socialement (nombre de familles engagées) que par rapport à l'utilisation des terres. Mais nous avons compris aussi que cette importance pouvait être très sensible aux changements structuraux, tels le rapport entre la démographie de la population et les surfaces de terres à cultiver, ou encore aux changements affectant les techniques utilisées. Nous avons compris que dans des conditions démographiques, foncières et techniques identiques, les attitudes des acteurs lors de la passation des accords pouvaient avoir un impact significatif. Nous avons vu l'importance première du comportement des offreurs de terre qui semblent être, la plupart du temps, en position de force. Nous avons vu que la combinaison d'une attitude des offreurs de terres recherchant à s'entourer d'un maximum de partenaires et d'une attitude des offreurs de main d'oeuvre acceptant, face aux offres qui leurs sont faites, de disperser leur force de travail, pouvait conduire à une forte intégration sociale et une utilisation maximale des terres d'*aynuqa* remises en culture. Nous avons vu encore que la variabilité de la surface des *aynuqa* au cours du cycle de rotation des jachères longues pouvait introduire des changements de situation importants certaines années, ce qui pose le problème des raisons de l'existence de cette variabilité.

Il nous reste maintenant à proposer cette image à la discussion, c'est-à-dire, à la confronter avec d'autres images que peuvent en avoir d'autres personnes ayant abordé le même terrain, pour la valider ou au contraire rechercher, en cas

de désaccords, quel peut être l'origine de ces derniers. Le retour sur le terrain, actuellement en projet, muni de ce nouveau regard sur Pumani, sera le moyen idéal d'une telle confrontation et apportera à notre travail sa meilleure conclusion.

Chapitre 12

Annexes

(à rassembler)

12.1 Les entretiens à pumani

12.2 Enquête de 1992 - 1993

12.3 Déclaration des classes du simulateur

Nous ne présentons ici que la déclaration de trois classes : La classe communauté, la classe famille et la classe accord qui donnent une idée de l'implantation informatique.

Déclaration de la classe Communauté

Déclaration de la classe Famille

Déclaration de la classe Accord

12.4 Initialisation du simulateur

12.4.1 Structure des fichiers de résultats

12.5 Ecrans et tableaux de la situation de référence

Chapitre 13

Références Bibliographiques

Bibliographie

- [1] Albó (J.). – *Desafios de la solidaridad Aymara*. – La Paz - Bolivia, CIPCA, La Paz - Bolivia, 1985, 1 édition, 25.
- [2] Albó_J._Liberman_K._Godinez_A._Pifarré_F. – *Para comprender las culturas rurales en Bolivia*. – CIPCA-UNICEF, La Paz - Bolivia, 1989.
- [3] Bailly_C.Challine_JF.Cloess_PY.Ferri_HC.Marchesin_B. – *Les langages orientés objets. Concepts, langages et applications*. – Cepadues-Editions, 1987.
- [4] Bayarat (B.). – *Joli manuel pour LaTex2e*. – École supérieur d'Ingenieurs en Electrotechnique et Électronique, 1995.
- [5] Bommel (P.). – *Reflexions sur la validation des modèles. Application au projet MOPA (Modélisation de la pêche artisanale au Sénégal par un système multi-agents)*. – Rapport technique, Université Claude Bernard - Lyon 1; Rapport de Stage de DEA, 1997.
- [6] Bommel (P.). – *Réflexions sur la validation des modèles. Application au projet MOPA (Modélisation de la pêche artisanale au Sénégal par un système multi-agents)*. – Rapport technique, Université Claude Bernard - Lyon 1; Rapport bibliographique de DEA, 1997.
- [7] Bounoux (D.). – *Sciences de l'information et de la communication*, chap. Quand dire c'est faire (1961), pp. 209–217. – Larousse, France, 1993.
- [8] Bounoux (D.). – Les territoires de la communication. *In: La communication; états et savoir*. – Sciences Humaines, Demos formation, Mars/avril 1997.
- [9] Bourgeat (A.). – Changement d'échelle pour la modélisation des écoulements souterrains complexes. *In: Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement, actes des journées*. CNRS, Paris-France, 1996.
- [10] Bourliaud_J._Hervé_D._Morlon_P._Reau_R. – *Estrategias de barbecho e intensificación de la agricultura andina*. – ORSTOM-PISA; Lima-Pérou, 1988.

- [11] Bousquet (F.). – *Des milieux, des poisons, des hommes : étude par simulation multi - agents (le cas de la pêche dans le delta du Niger)*. – Thèse de PhD, Université Claude Bernard Lyon I - France, 1994.
- [12] Brassac_Ch._Almeida_J._Grégori_N._Saint-Dizier_V. – *IA distribuée et systèmes multi-agents, JFIADSMA '96*, chap. La théorie des actes de langage en IAD : utilisations et limites, pp. 229–249. – HERMES Paris-France, 1996.
- [13] Bublot (G.). – *Économie de la production agricole*. – Vander, Cesson - France, 1974.
- [14] Chaina (F.). – *Desarrollo rural andino*, chap. Sistema de aynokas: un componente de la agricultura campesina en el ámbito circumlacustre Sur de Puno. – Desarrollo Rural Andino, 1986.
- [15] Chang_MK._Woo_C. – *Decentralized Artificial Intelligence - 3*, chap. SANP: a communication level protocol for negotiations, pp. 31–54. – Elsevier Science Publisher B.V. Great Britain; Eds: Werner E. & Demazeau Y., 1992.
- [16] Chirinos (L.). – *Estudio socioeconómico de una comunidad originaria del altiplano. Posibilidades de colectivizar callapas de aynocas con el fin de obtener unidades económicas de producción*. – Thèse, Tesis Ing. Agronome, Universidad Mayor de San Simón, Cochabamba - Bolivia, 1975.
- [17] Cosmides_L._Toboy_J. – *The Adapted Mind; Evolutionary Psychology and the Generation of Culture*, chap. Congnitive Adaptations for Social Exchange, pp. 163–220. – Oxford University Press, 1992.
- [18] Cuesta_M._Massy_N._Céspedes_J. – *El intercambio ingreso-carga animal en tierras de pastoreo*. – Rapport technique, Convenio IBTA-SR.CRSP, La Paz - Bolivia, 1995.
- [19] Dan (H.). – *Xview Programming Manual*. – O'Reilly & Associates Inc. USA, 1993.
- [20] Delannoy (C.). – *Programmer en C++*. – Eyrolles, France, 1993.
- [21] Demazeau (Y.). – *European Conference on Congnitive Science*, chap. From interactions to collective behaviour in agents-based syste. – Saint-Malo, France, 1995.
- [22] Demonio (L.). – *Cahiers internationaux de sociologie, LXVII*, chap. La quadrature du cycle: logiques et contraintes du temps en milieu rural. – France, 1979.

- [23] Di-Natale (R.). – *Revolución Agraria en Bolivia*. – Imprenta Universitaria, Cochabamba - Bolivia, 1953.
- [24] Dortier (JF.). – Les mystères de la communication. *In: La communication; états et savoir*. – Sciences Humaines, Demos formation, Mars/avril 1997.
- [25] Escamilo (S.). – *Producción e intercambio en el valle de Chusgón*. – Universidad mayor de San Marcos, Lima - Pérou, 1989.
- [26] Ferber (J.). – *Conception et programmation par objets*. – HERMES; 34, rue Eugène Flachat, 75017 - Paris, 1990.
- [27] Ferber (J.). – *Les systèmes multi-agents. Vers une intelligence collective*. – Inter Editions, Paris - France, 1995.
- [28] Fernandez (Ma.). – *Consideraciones para la investigación participativa en comunidades campesinas alto andinas*. – Série Comunidades, Lima - Pérou, 1989.
- [29] Franchesquin (N.). – *Modélisation des négociations aboutissant à une prise de décision collective au sein d'une assemblée communautaire*. – Thèse, Rapport de DEA à l'Université Paris 6, France, 1995.
- [30] Genin_D._Fernandez_J. – *Dinamicas del descanso de la tierra en los Andes*, chap. Uso pastoril de la tierra en descanso en una comunidad agropastoril del altiplano boliviano, pp. 201–236. – IBTA-ORSTOM, 1994.
- [31] Girard (N.). – *Modéliser une représentation d'experts dans le champ de la gestion de l'exploitation agricole. Stratégies d'alimentation au pâturage des troupeaux ovins allaités en région méditerranéenne*. – Thèse de PhD, Université Claude Bernard Lyon I, France, 1995.
- [32] Gonzalez_de_Olarte_E. – *Economía de la comunidad campesina*. – Instituto de Estudios Peruanos, Lima - Pérou, 1984.
- [33] Goossens_M._Mittelbach_F._Samarin_A. – *The LaTeX Companion*. – Addison-Wesley Publishing Company, 1994.
- [34] Grant (WE.). – *System analysis and Simulation in Wildlife and Fisheries Sciences*. – Wiley Intersciences, 1986.
- [35] Guyon (E.). – *Virtualité et réalité dans les sciences*, chap. Modélisation et Expérimentation. – Diderot Editeur, Arts et Sciences, Editions Frontières Paris - France, 1995.
- [36] Habarurema_E._Steiner_K. – *Geoderma 75 (1997) 75-87*, chap. Soil suitability classification by farmers in southern Rwanda, p. 13. – ELSEIVER - GEODERMA - Great Britain, 1997.

- [37] Harald (M.). – *La economía campesina y el concepto comunidad (un enfoque crítico)*. – Rapport technique, IEP, Pérou, 1990.
- [38] Hervé (D.). – *Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes*, chap. Desarrollo sostenible en los andes altos: los sistemas de cultivos con descanso largo pastoreado, pp. 15 – 36. – Convenio IBTA-ORSTOM, La Paz - Bolivia, 1994a.
- [39] Hervé (D.). – *Dinámicas del descanso de la tierra en los andes*, chap. Respuestas de los componentes de la fertilidad del suelo a la duración del descanso, pp. 155 – 170. – Convenio IBTA-ORSTOM, La Paz - Bolivia, 1994b.
- [40] Hervé_D._Genin_D._Rivière_G. – *Dinámicas del descanso de la tierra en los andes*. – IBTA-ORSTOM, La Paz - Bolivia, 1994.
- [41] Holdridge (LR.). – *Life zone ecology*. – Tropical Science Center; San José, Costa Rica, 1967.
- [42] Iturra (R.). – *Transitions et subordination au capitalisme*, chap. Changement et continuité la paysannerie en transition dans une paroisse galicienne, p. 39. – édition de la maison des sciences de l’homme Paris; Sous la direction de Maurice Godolier, 1992.
- [43] Jacquemin_A._Tulkens_H. – *Fondements d’économie politique*. – Ed. Universitaires Prémises, Bruxelles - Belgique, 1989.
- [44] Jennings (NR.). – *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, chap. Coordination Techniques for Distributed Artificial Intelligence, pp. 186–210. – John Wiley and Sons, Inc., 1996.
- [45] Kerbrat-Orecchioni (C.). – L’analyse des conversations. *In: La communication; états et savoir*. – Sciences Humaines, Demos formation, Mars/avril 1997.
- [46] Kirn (St.). – *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*, chap. Organizational Intelligence and Distributed Artificial Intelligence, pp. 505–526. – John Wiley and Sons, Inc., 1996.
- [47] Koelma_D_Smeulders_A_. – *Proceedings Computing Science in the Netherlands*, chap. A blackboard infrastructure for object-based image interpretation., pages 136-147. – E. Baker, 1994.
- [48] Koning_JL._Demazeau_Y._Esfandiari_B._Quinqueton_J. – *Journées Francophones en IAD et SMA*, chap. Quelques perspectives d’utilisation des langage et protocole d’interaction dans le contexte des télécommunications. – AFCET & AFIA, Voiron, France, 1995.

- [49] Kuwabara_k., Ishida.t. (Osato_N.). – Agent talk” : Coordination protocole description for multi-agents systems. *In: First International COnference on Multi-Agents Systems.* – ICMAS 95.
- [50] Laurent (I.). – *Pequeña propiedad, poder y economía de mercado.* – IEP, Lima - Pérou, 1983.
- [51] le Rouet; France (CNRS; Cary) (édité par). – *Une expérience interdisciplinaire à propos des jachères longues pâturées dans les Andes.* – 1997.
- [52] Lepage (Ch.). – *Biologie de populations et individus centrés.* – Thèse de PhD, Université de Paris 6, 1996.
- [53] Leviandier (T.). – Validation partielle de modèles, modestie feinte ou ambition réelle? *In: Tendances nouvelles en modélisation pour l’environnement, actes des journées.* CNRS, Paris-France, 1996.
- [54] Lewin (K.). – La communication dans les groupes. *In: La communication; états et savoir.* – Sciences Humaines, Demos formation, Mars/avril 1997.
- [55] Lippman-Stanley (B.). – *L’essentiel du C++.* – Addison-Wesley Publishing Company, INC, France, 1992.
- [56] Macary_JF._et_Nicolas_C. – *Programmation JAVA.* – EYROLLES, 61 Bld Saint-Germain; 75240 Paris Cedex 05, 1996.
- [57] Maisonneuve (J.). – *Introduction à la psychosociologie*, chap. Les communications leurs réseau et leur vicissitudes, pp. 172–190. – Puf monologue. Presses universitaires de France, 1985.
- [58] Maisonneuve (J.). – *Encyclopédia Universalis*, 230-233 La Sociométrie. – Encyclopédia Universalis, 1990.
- [59] Marc (E.). – Les face à face et ses enjeux. *In: La communication; états et savoir.* – Sciences Humaines, Demos formation, Mars/avril 1997.
- [60] Marsily (G.de). – De la validation des modèles en sciences de l’environnement. *In: Tendances nouvelles en modélisation pour l’environnement, actes des journées.* CNRS, Paris-France, 1996.
- [61] Maruichi_T._Ichikawa_M._Tokoro_M. – *Multi-agents Modeling*, chap. Modeling Autonomous Agents and their Groups. – ELSEVIER, Amsterdam - Holland, 1990.
- [62] Mayer (E.). – *Symposium 91: an interdisciplinary perspective on andean ecological complementarity*, chap. Production Zones, p. 76. – Wenner green fondation for anthropological research, Florida, USA, 1993.

- [63] Meillassoux. – *Encyclopédia Universalis*, chap. Echanges. – Encyclopédia Universalis, 1990.
- [64] Migueis_J_Herve_D_Genin_D_Rivière_G. – *Pumani, un modèle de représentation de l'activité agro-pastorale dans les Andes*". – Rapport technique, IBTA-ORSTOM, La Paz - Bolivia, 1995.
- [65] Moko_W-Y., _Shapoor_M. (_Grossner_C._Radhakrishnan_T.). – *Modeling Multi-Agents Rule Based System*. – Rapport technique, Concordia University, Computer Science Departement, Quebec-Canada, 1994.
- [66] Montes-de_Oca (I.). – *Geografía y recursos naturales de Bolivia*. – Academia Nacional de Ciencias - Bolivia, 1989, 2 édition.
- [67] Moravie (MA.). – *Modèle de dynamique de peuplements pluri spécifiques inéquiennes*. – Thèse, Université Claude Bernard Lyon 1, France, 1995.
- [68] Moulin_B. (Chaib-Draa_B.Orlove_B.). – *Foundation of Distributed Artificial Intelligence*, chap. An Overview of Distributed Artificial Intelligence. – John Wiley and Sons, Inc., 1996.
- [69] Nii (H.P.). – Blackboard systems: The blackboard model of problem solving and the evolution of blackboard architectures. *In: AI Magazine*. – The AI Magazine, California USA, Summer 1986.
- [70] Nye (A.). – *Xlib Programming Manual*. – O'Reilly & Associates Inc. USA, 1995a.
- [71] Nye (A.). – *Xlib Reference Manua*. – O'Reilly & Associates Inc. USA, 1995b.
- [72] O'Hare (GMP.). – *Foundations of Distributed Artificial Intelligence*. – Wiley-Interscience Publication, John Willey & sons, INC., 1996.
- [73] Oreskes_N., _Shrader-frechette_K. (Belitz_K.). – Verifation, validation and confirmation of numerical models in the earth sciences. *Sciences*, Février 1994.
- [74] Orlove_B._Godoy_R._Morlon_P. – *Comprendre la agricultura campesina en los Andes centrales*, chap. Sistemas de Barbecho sectorial. – Ed. Ifea. Instituto Frances de Estudios Andinos; Lima - Pérou, 1996.
- [75] Pacheco_Fernandez (L.). – *Dinámicas del descanso de la tierra en los Andes*, chap. El sistema de *aynuqa* en Pumani, dinámicas y tendencias, p. 10. – IBTA-ORSTOM, La Paz - Bolivia, 1994.

- [76] Paerregaard (K.). – *Nuevas organizaciones en comunidades campesinas: el caso de Usimba Chaquicicha*. – Universidad Católica Pontífica du Pérou, 1987.
- [77] PageFiske (A.). – *Structures of Social Life; The four Elementary Forms of Human Relations*. – The Free Press, New York, 1991.
- [78] Pagès (R.). – *Encyclopédia Universalis*, chap. Communication; les procesus de la communication. – Encyclopédia Universalis, 1990.
- [79] Pavé (A.). – *Modélisation en biologie et écologie*. – ALéAS; 15 Quai Laspagne - 69001 Lyon - France, 1994.
- [80] Paz-Betancourt (B.). – *Determinación de la mejor combinación de sistemas de producción agrícola, desde el punto de vista económico y de conservación de suelos*. – Thèse, Universidad Autónoma Tomás Frías, Potosí - Bolivia, 1988.
- [81] Paz-Betancourt_B._Franchesquin_N._Herve_D._Treuil_JP. – *Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement, Actes des journées*, chap. Décisions collectives, accords et négociations : une expérience de modélisation multi-agents d'un contexte agro-pastorale dans les andes boliviennes. – CNRS, Paris - France, 1996.
- [82] Paz-Betancourt_B._Hervé_D._Treuil_JP. – *Modélisation des échanges d'une communauté andine: une approche par modélisation multi-agents*. – Rapport technique, ORSTOM, La Paz - Bolivie, 1995.
- [83] Populaire_P.Demazeau_Boissier_O._Schiman_J. – *Intelligence artificielle et les systèmes multi-agents*, chap. Description et implémentation de protocoles de communication en univers multi-agents. – AFCET & AFIA, Voiron, France, 1993.
- [84] Rimé (B.). – *Psychologie Sociale*, chap. Langage et communication. – Presses Universitaires de France, 1980.
- [85] Rivière (G.). – *Dinámicas del descanso de la tierra en los andes*, chap. Cultura y cultivos. El sistema de *aynuqa*: memoria e historia de la comunidad (comunidades aymaras del altiplano boliviano), pp. 89 – 106. – Convenio IBTA-ORSTOM, La Paz - Bolivia, 1994.
- [86] Rivière_G._Pacheco_L._Hervé_D. – *Journée d'Agriculture et de Botanique Appliquées.*, chap. Espaces, Droits et jachères dans une communauté *aymara* des hauts-plateaux boliviens, pp. 83–104. – Journée d'Agriculture et de Botanique Appliquées Vol. XXXVIII(1):83-104, 1996.

- [87] Rolland (Ch.). – *LATEX, Guide pratique.* – Éditions Addison-Wesley France S.A., 1993.
- [88] Rosnay (J.). – *Le Macroscopie.* – Ed. Le Seuil, 1975.
- [89] Rosnay (J.de). – *L'Homme Symbiotique.* – Le Seuil, 1995.
- [90] Rothemberg (J.). – *The Nature of Modelling*, chap. Artificial Intelligence, Simulation and Modeling. – Wiley Intersciences, Ed. L.E. Widman, K.A. Loparo, N.R. Nielsen, 1989.
- [91] Sandoval_G._Albó_J._Greaves_T. – *Chiquiango la cara aymara de La Paz.* – Rapport technique, CIPCA, La Paz - Bolivia, 1987.
- [92] Searle (JR.). – *Expression and meaning: Studies in the theory of speech acts.* – Cambridge University press; New York - USA, 1979.
- [93] Servat (D.). – *Rivage.* – Rapport technique, LIA-ORSTOM, Septembre 1997.
- [94] Sian (S.S.). – *Decentralised Artificial Intelligence*, chap. Adaptation Based on Cooperative Learning in Multi-agents Systems, pp. 257–272. – Elsevier Science publisher, 1991.
- [95] Smith (RG.). – The contract net procole: High-level communication and control in a distributed plomer solver. *In: Interaction Language, Structure Protocole.*
- [96] Stanley_F._Dornbusch_R. – *Economía.* – Mac Graw Hill, Madrid - España, 1985.
- [97] Stroustrup (B.). – *Le langage C++.* – Inter Éditions, Addison-Wesley Europe, 1989.
- [98] Torrico_V._LisbertG._Fernández_D._San-Martín_J. – *Apuntes sobre reciprocidad.* – Rapport technique n° 32, Agruco, Cochabamba - Bolivia, 1994.
- [99] Treuil_JP._Mullon_C. – *Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement, Actes des journée*, chap. Expérimentation sur mondes artificiels: pour une réflexion méthodologique. – CNRS, Paris - France, 1996.
- [100] Uzueta (O.). – *Mapa ecológico de Bolivia; memoria explicativa.* – Ministerio de Asuntos Campesinos y Agropecuarios; La Paz - Bolivia, 1975.
- [101] Van-Raalte (T.). – *Xview Reference Manual.* – O'Reilly & Assocites Inc. USA, 1993.

- [102] Vreeswijk (G.). – *Open Protocol in Multi-agents Systems.* – Rapport technique, University of Limburg, Departement of Computer Science (FdAW)P.O. Box 161, NL-6200 MD Maastricht, The Netherlands, 1995.
- [103] White (J.). – *Prospectus for an Open Simple Agent Transfer Protocol.* – Rapport technique, General Magic, Inc. Holland, 1996.
- [104] Wielsch (M.). – *Le grand livre d'UNIX.* – Micro Application, France, 1995.
- [105] Winkin (Y.). – Vers une anthropologie de la communication? *In: La communication; états et savoir.* – Sciences Humaines, Demos formation, Mars/avril 1997.