

Usage de ressources, fonctionnement d'exploitations agropastorales ; des modèles pluridisciplinaires renouvelables?

J. MIGUEIS*, D. HERVE*, D. GENIN*, G. RIVIERE**

*ORSTOM, **EHESS-CERMACA

Plutôt que d'usage des ressources naturelles, nous avons été amené à traiter, à propos de la dynamique de la jachère longue dans les Andes, de gestion d'un milieu. La question se déplaçait alors, de l'état d'une ressource, difficile à appréhender dans notre cas par un indicateur simple, vers la gestion d'un ensemble de ressources, par des unités familiales au sein d'une communauté villageoise. Il s'agissait dans un premier temps d'isoler un acteur, l'exploitant agricole, pour représenter ses activités agropastorales, en terme d'interactions et de flux sur un cycle annuel. Cet essai de modélisation interdisciplinaire doit à terme faire réfléchir les chercheurs (agronomie, zootechnie, anthropologie, sociologie) sur les effets d'une réduction de la durée de la jachère collective sur le fonctionnement des exploitations familiales.

Problématique

L'intégration de l'activité agricole et pastorale dans les Andes a permis de maintenir viables des exploitations agricoles de petite taille, grâce à une gestion de l'espace et une organisation sociale originales, en partie héritées d'un passé lointain. Ainsi, l'accès commun des troupeaux aux jachères longues pâturées, qui nécessite concertations et décisions collectives devient, une fois défini dans le temps, une contrainte pour les décisions familiales d'assolement en particulier. L'originalité de ces règles provient aussi du cadre très contraignant des conditions climatiques : période pluvieuse courte et aléatoire, encadrée de gelées fréquentes et léthales pour les principales cultures de pomme de terre et quinoa. La dispersion des parcelles sur des parties très variées du terroir (aynuqa soumise à des normes collectives et sayaña gérée individuellement) est l'une des stratégies adoptées pour répartir ces risques mais les trajets qu'elle entraîne sont de plus en plus considérés comme un facteur limitant.

L'intérêt du cas concret étudié, une communauté aymara de l'altiplano central bolivien, est que tout le territoire, à l'exception de quelques zones humides, exploitées individuellement en prairie permanente, est incorporé dans des successions de culture. A trois années de culture (pomme de terre, quinoa, orge) succèdent 10 ans de jachère pâturée qui représente la seule offre fourragère communale. Les déjections des ovins qui pâturent essentiellement les jachères, rassemblées la nuit dans un corral, sont apportées sur la pomme de terre, en tête de rotation. Le combustible provient des arbustes de composées extraits des jachères et des déjections sèches des bovins, alimentés essentiellement avec l'orge.

Dans ce contexte est apparue une volonté commune de rechercher une forme de représentation de l'activité agropastorale dans une exploitation de cette communauté. Or, le déroulement du temps, en faisant appel aux activités des membres de la famille, qu'elles soient agropastorales, domestiques ou rituelles, permettait d'intégrer des connaissances issues de différentes disciplines appartenant aux sciences sociales, malgré leur réticence initiale, et aux sciences de la nature. Un modèle qualitatif basé sur le temps a donc été élaboré, qui décrit le fonctionnement d'une exploitation dans une communauté à l'échelle d'une campagne agricole (Migueis, 1995a et 1995b). Ce simulateur est conçu comme un instrument de chercheurs pour



alimenter leur propre réflexion, dans lequel se confondent les porteurs de questions de recherche, les fournisseurs de connaissances et les utilisateurs (Chatelin, 1994).

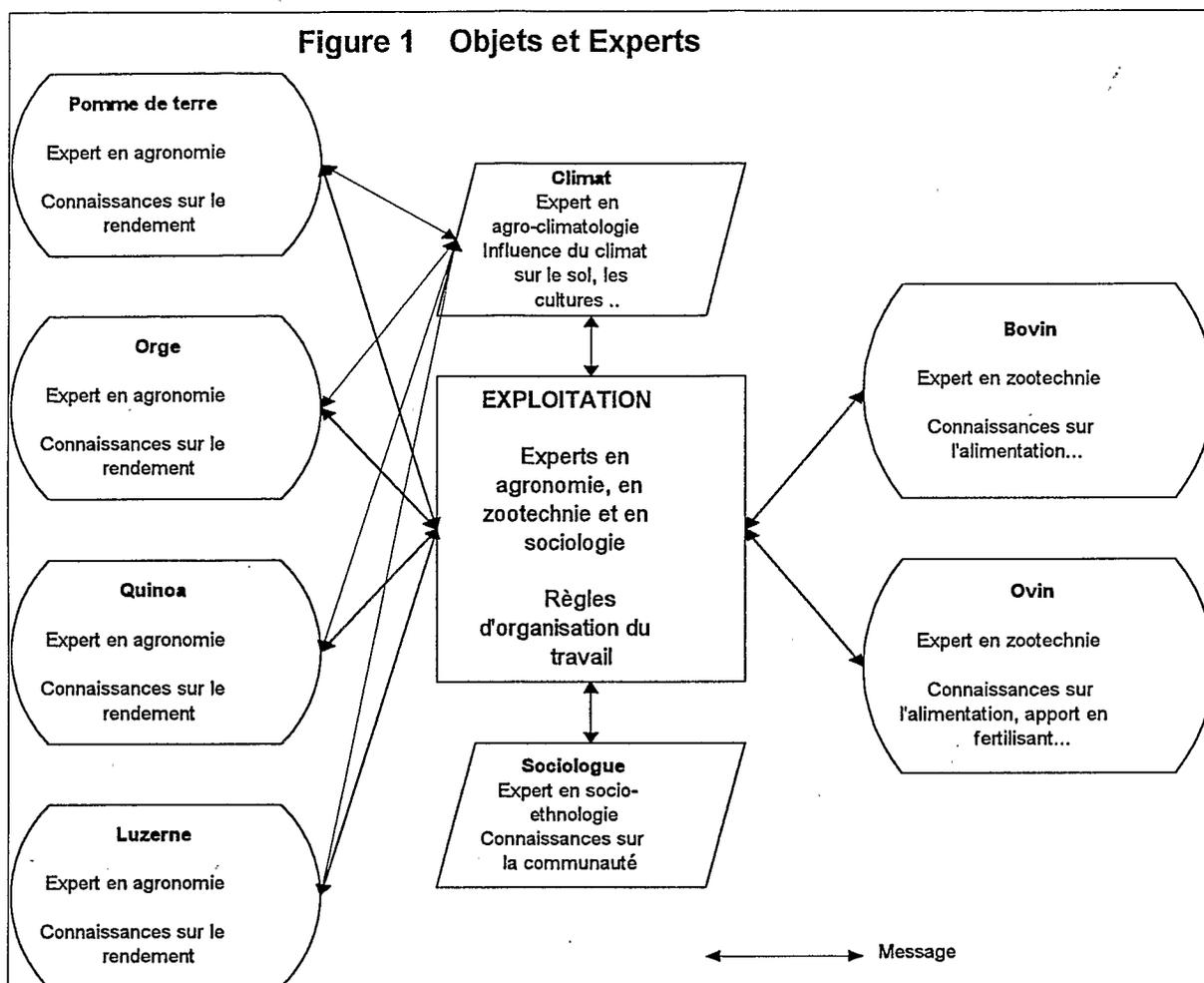
Structure du modèle

Pour la programmation du modèle a été choisi le langage orienté objet C++ sous environnement WINDOWS, car il permet de créer des programmes en langage compilé, avec une rapidité accrue par rapport à un langage interprété (Smalltalk) par un micro-ordinateur compatible PC (486 SX, 4 Mo de mémoire vive, 4 Mo d'espace libre sur le disque dur). Le choix de ce support devrait faciliter la diffusion ultérieure du produit. Une interface graphique a été mise en place sous environnement WINDOWS. Des éditeurs de texte spécialisés permettent de créer les fichiers de données qui sont lus et analysés avant toute simulation afin de garantir la cohérence des données d'entrée. Les résultats de la simulation sont également récupérés sous forme de fichiers (textes et graphiques), ce qui facilite leur consultation. Une recherche de simplification initiale était une condition nécessaire pour que le modèle soit opérationnel, compte tenu des données disponibles pouvant y être introduites. L'option a donc été prise de limiter le nombre de règles, tout en acceptant un plus grand nombre de paramètres modifiables, afin de permettre une flexibilité pour des utilisateurs ou des contextes variés.

Le modèle utilise deux concepts : langage orienté objet et intelligence répartie.

Un objet est un module élémentaire réunissant un certain nombre de données et des fonctions permettant de modifier ou/et d'accéder à ces données. Les objets peuvent communiquer entre eux, s'échanger des informations via des messages qui correspondent à des appels de fonctions particulières de ces objets. Les connaissances des chercheurs ont été réparties dans ces différents objets : *Climat, Sociologue, Exploitation, Quinoa, Orge, Luzerne, Pomme de terre, Ovin, Bovin* (Figure 1). Le modèle résulte de la mise en relation de ces objets qui possèdent chacun un comportement propre décrit par des règles.

Un agent est "...une entité (physique ou abstraite) capable d'agir sur elle-même et sur son environnement, disposant d'une représentation partielle de cet environnement, pouvant communiquer avec d'autres agents et dont le comportement est la conséquence de ses observations, de sa connaissance et des interactions avec les autres agents" (Labidi & Lejouad, 1993). Ainsi, en fonction de ses connaissances ou de celles qu'il a pu obtenir, un agent prend de manière autonome des décisions pouvant affecter son environnement et ses propres données. C'est en ce sens que l'objet *Exploitation* peut être considéré comme un agent et, à la limite, les objets *Climat* et *Sociologue*.



Ce modèle s'inspire de deux autres modèles:

- **SIM-DELTA**, modèle multi-agents conçu pour simuler la pêche artisanale dans le delta du Niger, élaboré par l'ORSTOM-LIA (Bousquet *et al.*, 1993). La notion d'objets, utilisée dans ce modèle, permet d'intégrer plus facilement des connaissances scientifiques de plusieurs chercheurs de disciplines diverses. Elle offre en outre la possibilité de créer plusieurs experts ayant des visions différentes sur un même domaine et de tester ensuite ces points de vue par simulation.

- **OTELO** qui est un simulateur à base de connaissance pour raisonner l'équipement et l'organisation du travail en agriculture, développé par l'INRA-ESR et l'INRA-SAD (Attonaty *et al.*, 1990). Les règles d'organisation du travail agricole sont implémentées dans l'objet *Exploitation*, qui constitue ainsi le coeur du modèle. L'agriculteur effectue des travaux qui consomment des ressources en travail, en matériel, en hommes et en animaux. Chaque travail agricole pouvant être considéré comme une entité "indépendante", c'est à dire pouvant être séparé artificiellement des autres travaux agricoles quant à ses besoins de main-d'oeuvre, de matériel agricole, ses conditions climatiques de réalisation, et éventuellement l'espace spécifique dans lequel il se déroule, est un *chantier*. Au cours de l'année, des chantiers peuvent entrer en compétition à certaines époques pour l'affectation des ressources : terre, main d'oeuvre, animaux, matériels etc. L'année est donc découpée en périodes pour lesquelles les chantiers sont hiérarchisés afin d'éliminer ces compétitions. Un niveau diachronique gère donc la chronologie et l'enchaînement des opérations; un niveau synchronique règle, pour chaque période de l'année, les problèmes de conflit entre plusieurs chantiers concurrents.

Pour prendre en compte la contrainte communale sur le fonctionnement de l'exploitation, l'année considérée commence le jour des "chaumes hauts" à partir duquel tous les chefs de famille sont autorisés à faire paître leurs bovins sur la dernière sole d'aynuqa récoltée essentiellement en orge, avant son entrée en jachère. Cette date, commune à tous, varie d'une année sur l'autre. Le choix de cette date comme début de la simulation oblige à entrer des données d'assolement correspondantes à trois cycles successifs, A-1, A et A+1 et des données climatiques de deux années consécutives.

L'agent *Exploitation* connaît l'ensemble des caractéristiques de l'exploitation modélisée -assolement, matériel et main d'oeuvre disponible- ainsi que les règles de décision relatives aux différents travaux agricoles. L'année est divisée en périodes au sein desquelles les chantiers actifs sont classés hiérarchiquement pour gérer les compétitions. La boucle principale du modèle, qui correspond à la fonction *Simulation* de la classe *Exploitation*, parcourt les différentes périodes en définissant l'ordre de priorité des différentes activités journalières (Figure 2). Pour simuler le fonctionnement de l'exploitation agricole, *Exploitation* fait appel à d'autres objets. Afin de déterminer les productions, il fait appel aux objets tels que *Pomme de terre* et *Quinoa*, qui estiment leur rendement avec l'aide de l'agent *Climat*, en fonction des dates de semis et du cumul de l'évapotranspiration réelle journalière. L'objet *Bovin* établit la ration alimentaire de chaque bovin en fonction des réserves d'orge de l'exploitation et de la période de l'année considérée. L'agent *Sociologue* détermine, pour chaque travailleur, ses possibilités de participer aux chantiers selon leur éventuelle charge sociale et les fêtes de la communauté.

C'est l'ensemble de ces objets, agents et des messages échangés qui permettent de modéliser le fonctionnement agropastoral d'une exploitation.

Figure 2 Extrait de la boucle principale du modèle

...

Si la date est comprise entre le dernier jour de semis de l'orge et le premier jour des labours (début février à début mars)

- Bovins au piquet
- PâturageMinimumOvin
- CoupeLuzerne
- RécolteOrgeVerte
- PâturageFacultatifOvin

Si la date est comprise entre le premier jour des labours et le premier jour de récolte de l'orge foin (début mars à mi-avril)

- Bovins au piquet
- PâturageMinimumOvin
- RécolteOrgeVerte
- Labour
- RécolteQuinoa
- RécoltePomme de terre
- PâturageFacultatifOvin

...

Une simulation

Les entrées

Le simulateur a pour base de temps la journée. La plupart des paramètres ayant des valeurs par défaut, seules les données, concernant l'exploitation dont on veut simuler le fonctionnement, doivent être introduites avant de lancer une simulation.

- Fichier Exploitation : matériel agricole, effectifs bovins et ovins initiaux, superficies de toutes les soles de l'exploitation et composition de la famille associée de calendriers de disponibilité pour chacun de ses membres en âge de travailler (fichiers Calendrier). Le fichier Calendrier permet d'introduire un travailleur temporaire dans l'exploitation. Les activités domestiques ne sont pas traitées en tant que telles dans le modèle; considérées comme contraintes, leur durée est soustraite de l'horaire journalier de travail agricole. Les voyages en ville, les migrations temporaires, les activités en dehors de l'exploitation sont décomptés du calendrier agricole d'une autre manière, sous forme de périodes ou de jours isolés. Ce sont leurs implications sur les activités agropastorales qui sont donc évaluées. Les distances des habitations aux blocs de culture sont comptabilisées en temps de marche. L'occurrence des dates de "chaumes hauts" et début de labours, fixées chaque année par l'assemblée communautaire, est sujette à d'importantes variations interannuelles. Ces dates comme les intervalles de semis et récolte servent à délimiter les *périodes*, elles sont donc également introduites dans le fichier Exploitation.

- Fichier Climat : données journalières de précipitation, température minimale et ETP de deux années consécutives. Les risques de gel sont pris en compte à travers la topographie.

Le déroulement

Si les données sont cohérentes, alors le simulateur utilise le modèle en introduisant ces données et en mémorisant les données modifiées par le modèle. Ces données modifiées seront de nouveau introduites dans le modèle pour simuler la journée suivante. Ce cycle d'introduction et de mémorisation des données s'effectue pour chaque jour de la simulation, au cours de la période annuelle comprise entre deux dates de "chaumes hauts"(Figure 3). Chaque jour est envoyé à l'agent *Exploitation* le message : "Un nouveau jour commence, des travaux agricoles doivent être effectués". Cet agent va alors effectuer différents travaux (labour, semis et récolte de pomme de terre, d'orge, de quinoa, buttage des pommes de terre, coupe de luzerne, coupe de graminées en complément, alimentation des bovins, gardiennage des ovins) en faisant appel aux autres agents pour compléter ses connaissances. Les chantiers s'enchaînent, sur une même sole, selon des règles de chronologie et des règles de priorité permettant de gérer les conflits entre chantiers. Le déroulement peut être interrompu et les résultats affichés à n'importe quel moment.

Les sorties

Le modèle sauvegarde les résultats obtenus sous forme de quatre fichiers textes ASCII lisibles par tout éditeur, traitement de texte ou tableur :

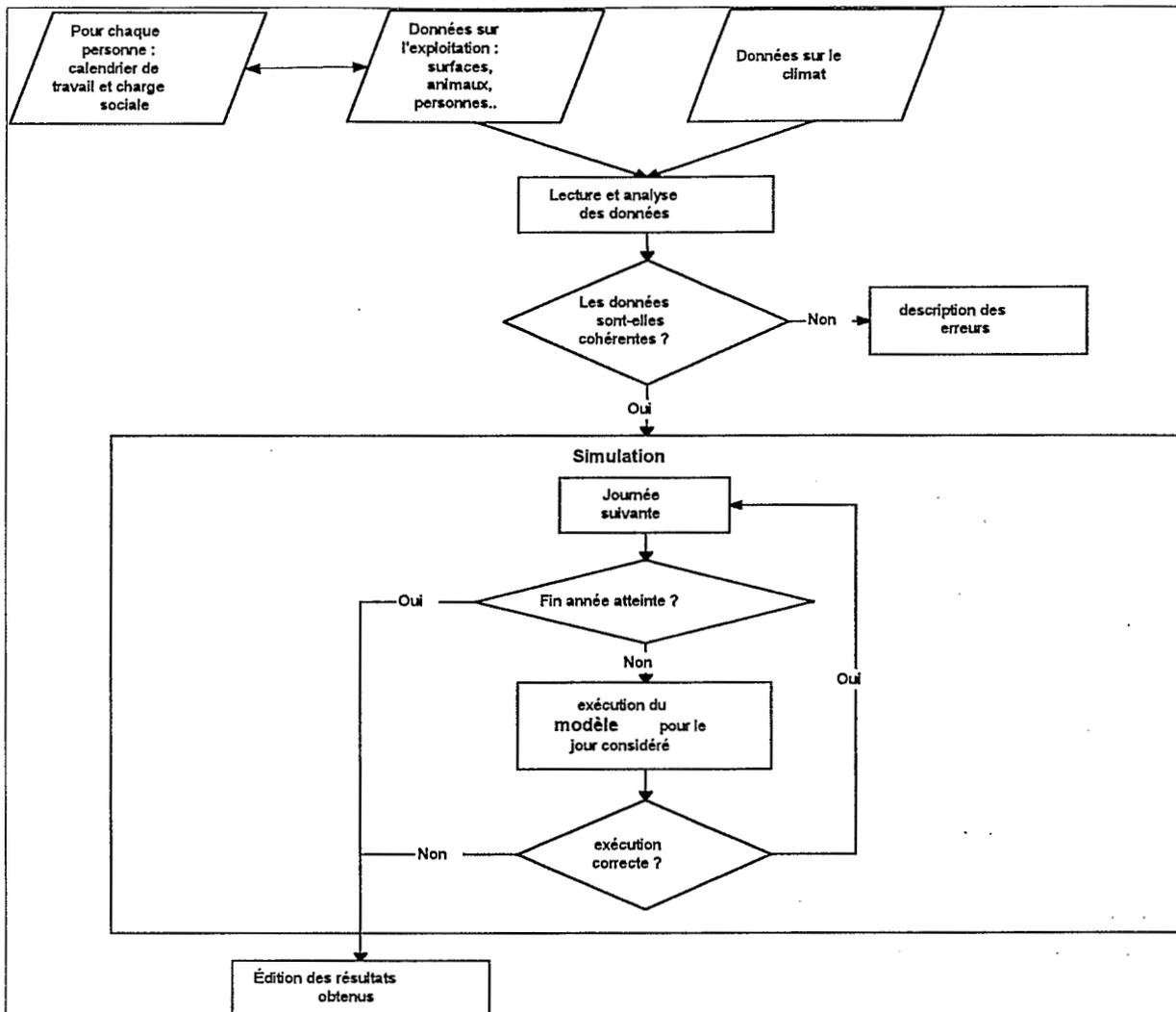
- Le journal représentant l'ensemble des travaux effectués quotidiennement sur l'exploitation.

- Les données liées à l'élevage (effectifs animaux, régime alimentaire bovin et état mensuel du stock d'orge, temps moyens quotidiens de pâturage des ovins par mois, production de déjections ovines servant d'engrais).

- Les surfaces labourées et semées en sayana pour la pomme de terre, la luzerne et l'orge, en aynuqa pour la pomme de terre, le quinoa et l'orge, et les productions obtenues.

- La part du temps mensuel passée sur chaque type de chantier par chaque personne et type de personne en âge de travailler dans la famille.

Figure 3 Le déroulement



Discussion

Le modèle est actuellement en cours de calibration, en confrontant les sorties aux données d'assolement et de calendrier de travail journalier de 4 exploitations contrastées. Des tests de sensibilité seront réalisés avant de simuler des scénarios. Nos commentaires se réfèrent donc simplement à ce qu'a permis jusqu'à présent le modèle.

Le modèle synthétise des connaissances de disciplines différentes et transmet des connaissances intégrées. Il suppose un important travail interdisciplinaire préalable. Questionné par le modélisateur, chaque chercheur est amené à exposer clairement ses connaissances et à les partager avec des chercheurs appartenant à d'autres domaines scientifiques. Le modèle détecte les données manquantes en prospectant les interfaces entre disciplines et vérifie la cohérence globale. L'utilisation de ce modèle contribue à valider des règles de fonctionnement et conduit à vérifier ou approfondir des résultats : pourquoi l'agriculteur fait ceci et non cela, quels sont les points de blocage ou les raisons des blocages constatés, quelles tendances sont ainsi détectées?. Compte tenu de cette utilisation, les fonctions de production introduites, bien que restant grossières, apparaissent suffisantes.

Un certain nombre d'ajustements, effectués par les unités de production, échappent au cadre communal : la vente de travail hors de la communauté (exhacienda voisine, La Paz, piémont amazonien, Argentine), les relations entretenues avec les résidents en ville, par exemple. Ceux qui engagent la main d'oeuvre familiale sont pris en compte dans le modèle en terme d'absence de l'exploitation. Tous les contrats de réciprocité entre familles sont assimilés à des contrats de métayage avec partage équitatif du travail et de la récolte. Les surfaces concernées sont alors divisées par deux. L'exploitation agricole est donc considérée dans ce modèle sans relations avec d'autres exploitations (modèle mono-exploitation). Un autre modèle en cours traitera spécifiquement des relations entre exploitations (Paz et al., 1995).

La structure objet du modèle permettrait de passer aisément d'un modèle mono-exploitation (une exploitation dans une communauté) à un modèle pluri-exploitations (toutes les exploitations d'une communauté et leurs interactions). Il suffirait pour cela de créer des classes dérivées de la classe *Exploitation* dans lesquelles les règles d'interaction, de communication entre les exploitations seraient programmées. Il serait en outre possible d'introduire d'autres modèles de gestion d'exploitation sans modifier l'ensemble du programme. Dans la mesure où notre point de vue privilégie la gestion, nous sommes en droit de nous demander si les outils et les concepts élaborés peuvent servir d'une part à représenter la gestion d'autres types de ressources renouvelables et d'autre part à élaborer des modèles dans d'autres domaines.

Bibliographie

Attonaty J.M., Chatelin M.H., Poussin J.Ch., Soler L.G., 1990. Un simulateur à base de connaissance pour raisonner équipement et organisation du travail en agriculture. In Economics and artificial intelligence, P. Bourgien et B. Walliser eds., Paris, pp. 291-297.

Bousquet F., Cambier C., Mullon C., Morand P., Quensière J., Pavé A., 1993. Simulating the interaction between a society and a renewable resource. *Journal of Biological Systems*, Vol. 1, 2 : 199-214.

Chatelin M.H., 1994. Compte rendu de la mission effectuée en Bolivie du 19 au 30 septembre 1994. Grignon, France, INRA-ESR, GENEPI, 6 p.

Labidi S., Lejouad W., 1993. De l'Intelligence Artificielle Distribuée aux Systèmes Multi-Agents. INRIA, Rapport de recherche No 2004, août 1993.

Migueis J., 1995a. Pumani. Un modèle de représentation de l'activité agro-pastorale dans les Andes. La Paz, Bolivie, ORSTOM-IBTA, Manuel d'utilisation, 80 p.

Migueis J., 1995b. Pumani. Un modèle de représentation de l'activité agro-pastorale dans les Andes. La Paz, Bolivie, ORSTOM-IBTA, Manuel technique, 293 p.

Paz B., Hervé D., Treuil J.P., 1995. Modélisation des échanges entre exploitations d'une communauté andine. Une approche par modélisation multi-agents. La Paz, ORSTOM-IBTA/LIA, Rapport de recherche intermédiaire, 17 p.

Tendances nouvelles

**EN MODÉLISATION
POUR L'ENVIRONNEMENT**

cité des Sciences et de l'Industrie, Paris
les 15, 16 et 17 janvier 1996

**ACTES DES JOURNÉES DU PROGRAMME
ENVIRONNEMENT, VIE ET SOCIÉTÉS**

POSTERS

THÈME 1 : Hydrologie, transports des solutés
dans les sols. Epidémiologie, risques.

THÈME 2 : Production, ressources, pêche,
agriculture,  conomie. Forêt.



CENTRE NATIONAL
DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE