

# La modélisation comme soutien à l'interdisciplinarité en recherche-développement. Une application au pastoralisme soudano-sahélien

Communication à colloque

JULIETTE ROUCHIER, MÉLANIE REQUIER-DESJARDINS

Ce texte décrit la construction d'un projet interdisciplinaire de modélisation au Cirad dans le cadre de deux thèses conduites autour d'un thème commun : l'élevage itinérant à l'extrême nord du Cameroun. L'entrée choisie pour aborder cet objet d'étude est celle des modes d'usage des ressources renouvelables non-marchandes, le pâturage et l'eau, par des acteurs saisonniers. Les deux disciplines concernées sont l'économie et l'intelligence artificielle, qui se sont combinées pour effectuer un travail de modélisation à des fins de simulation.

Le projet s'est appuyé au départ sur des données bibliographiques et un premier travail de terrain (Requier-Desjardins, 1997). Dans la zone soudano-sahélienne, la transhumance des troupeaux est une nécessité due à la variabilité dans la disponibilité des ressources naturelles et aux aléas climatiques. La possibilité d'avoir accès à la fois à l'eau et au pâturage au cours de la transhumance est un impératif de la vie pastorale.

Du point de vue de l'économie, l'accès aux pâturages et à l'eau s'explique par des échanges entre les populations itinérantes et sédentaires. En l'absence d'un marché de la ressource, les échanges sont supposés interindividuels et prennent la forme de contrat. À partir de l'évolution de ces échanges, des comportements collectifs, des institutions peuvent apparaître au cours du temps. À partir de cette représentation du monde pastoral, l'économie peut tester des hypothèses théoriques propres à deux courants scientifiques, l'économie néo-institutionnelle d'une part, et l'école d'E. Ostrom d'autre part : Comment, en partant du comportement des individus et des échanges noués en dehors du marché, peuvent naître des institutions collectives ? Quelles sont les répercussions sur l'usage des ressources naturelles et sur leur dynamique au cours du temps ?

Ce travail intéresse la modélisatrice et correspond à son usage du système multi-agents. L'intelligence artificielle distribuée est une branche de l'intelligence artificielle qui s'attache plus particulièrement à saisir l'articulation entre des actions localisées simples qui peuvent faire apparaître par leur répétition une organisation collective complexe (Ferber, 1995). En ce sens, l'interprétation économique de l'accès aux pâturages et à l'eau peut servir d'exemple pour représenter une organisation stable et néanmoins évolutive : dans les

actions individuelles d'échange, on peut dégager les règles qui permettent l'émergence d'ordre à un niveau social.

Ainsi, le questionnement sur le passage de l'individuel au collectif apparaît comme un point fondateur dans ce travail interdisciplinaire. Pour aborder cette question, l'économie accorde une place centrale aux échanges qui se nouent autour de l'accès à la ressource. Pour la modélisation, c'est l'importance des représentations individuelles pour obtenir une régularité dans les actions des agents qui semble intéressante à étudier.

Le modèle qui a été conçu, JuMel, repose sur une traduction de l'hypothèse centrale du travail : la mobilité des troupeaux s'exprime sous la forme d'une organisation sociale fondée sur les échanges interindividuels. Chaque interaction est interprétée par les agents qui la vivent, ce qui est traduit ensuite par une représentation. La simulation permet de voir sous quelles conditions cette mobilité des troupeaux et des hommes qui les accompagnent peut être appelée à perdurer au sein de l'univers décrit.

La recherche interdisciplinaire effectuée à travers de la construction d'un modèle s'organise en deux phases : l'élaboration du modèle sur la base de données bibliographiques et d'hypothèses théoriques et l'étude des résultats donnés pour chaque discipline par les simulations. Dans un dernier temps, cette approche commune du pastoralisme et des modes d'accès aux pâturages s'est ouverte sur une étude de terrain réalisée en commun.

## Sujet et outils : accès aux ressources

La mobilité des troupeaux est une pratique ancienne à l'extrême nord du Cameroun, en particulier chez les éleveurs de brousse d'ethnie *fulbe*. Cette mobilité est une réponse aux variations de la disponibilité en eau et en pâturages selon les lieux et les saisons (Dyson-Hudson, 1980). Elle est pratiquée par les éleveurs nomades et par des éleveurs sédentaires qui font transhumier leur troupeau en saison sèche<sup>1</sup>. Nous appelons pasteurs l'ensemble des éleveurs qui font transhumier leurs troupeaux. Par la suite, c'est à la

JULIETTE ROUCHIER  
Centre for Policy Modelling,  
Manchester Metropolitan  
University  
Manchester M1 3GH, UK  
j.rouchier@mmu.ac.uk

MÉLANIE REQUIER-DESJARDINS  
Cirad-Tera, Campus de  
Baillarguet  
BP 50 35, 34032  
Montpellier, France  
requier@cirad.fr

<sup>1</sup> La transhumance des éleveurs sédentaires est actuellement en régression : seuls les propriétaires dont le troupeau excède 50 têtes sont contraints de partir en transhumance.

période où les transhumants sont à la recherche de pâturages pour leurs bêtes que nous nous intéresserons.

Les deux ressources nécessaires pour le bétail sont l'eau et les pâturages (Kintz, 1991) : les pâturages sont constitués par des espaces résiduels de brousse appelés réserves forestières, par des jachères ou par des champs non cultivés. Les réserves forestières qui faisaient partie du territoire des chefferies coutumières sont maintenant la propriété de l'État central. Elles constituent l'espace de vie privilégié et saisonnier des pasteurs et de leurs troupeaux<sup>2</sup>. L'eau est présente sous la forme de *mayo*<sup>3</sup>, de mares artificielles et naturelles ou de puits individuels et collectifs selon la saison. Elle est abondante en saison des pluies en brousse et dans les villages, mais devient rare pendant la saison sèche. Ces deux ressources sont considérées comme des ressources communes (Weber et Reverret, 1999), parce qu'il existe une rivalité à la consommation entre les différents utilisateurs et parce qu'elles sont d'un accès ouvert qui rend l'exclusion des usagers difficile. Avec l'accroissement des surfaces cultivées (Dugué et al., 1994), ces espaces de brousse diminuent ce qui accroît la concurrence entre leurs utilisateurs et les risques de conflits entre eux. Le modèle théorique de la tragédie des communs (Hardin, 1968) conclut à la disparition de ces ressources naturelles par la surexploitation.

L'existence d'accords entre des populations sédentaires et pastorales jalonne la littérature concernant le pastoralisme. Certains accords prennent la forme de taxes à payer par les pasteurs aux chefferies locales, parfois sous forme de bétail (Froelich, 1949 ; Beauvilain, 1989). D'autres sont les contrats de fumure passés entre les pasteurs et les agriculteurs sédentaires : les troupeaux de pasteurs fument les terres agricoles en échange d'un droit de vaine pâture des résidus agricoles (Boutrais, 1973 ; Landais et al., 1990). Dans ses travaux sur les *Wodaabe* du Niger, M. Dupire (1962) note la précarité des arrangements entre pasteurs et sédentaires pour l'accès à l'eau et aux pâturages.

La transhumance, mouvement pendulaire et régulier des troupeaux est caractérisée par une répétition relative des mêmes déplacements d'une année à l'autre (Stenning, 1956). Il semble qu'il existe une organisation sociale de l'accès aux ressources communes, un ensemble de règles ou d'échanges économiques qui légitime cet accès pour les pasteurs.

D'un point de vue économique, la régularité peut avoir deux explications selon le point de vue choisi pour l'interpréter. La régularité des échanges concernant des ressources rares ou spécifiques est expliquée par l'école des coûts de transaction (North, 1990 ; Williamson, 1994). En termes de coût de transaction, il revient souvent moins cher de répéter un échange concernant un bien spécifique ou non-marchand plutôt que de chercher d'autres lieux et moyens d'acquisition de ce même bien. Le coût de transaction désigne le coût d'obtention de l'information et le coût de négociation liés à l'échange de ce bien. La régularité dans les parcours de transhumance peut être due à une volonté bien économique de minimiser le coût

des accords passés entre pasteurs et sédentaires. Pour North, les coûts de transaction définissent la dimension hors-marché des échanges et les variations de ces coûts modifient la structure institutionnelle d'une société (North, 1990). Une interprétation à partir des travaux d'Elinor Ostrom et de ses collaborateurs admet que le choix des lieux de la transhumance relève d'un ensemble de règles sociales appelées institutions collectives (Ostrom, 1990). Dans les civilisations pastorales étudiées, la reproduction des liens interpersonnels est un élément fondamental de la vie sociale (Monod, 1975). Pour tester ces deux interprétations, il apparaît nécessaire d'abandonner la modélisation économique classique pour s'intéresser aux modèles de programmation de sociétés virtuelles.

## Simulations multi-agents et modélisation en sciences sociales

Pour atteindre à une compréhension du lien entre la répétition d'actions individuelles et l'apparition d'une réalité collective, il est habituel de se baser sur un modèle d'interactions entre les agents à partir duquel on conduit des simulations. Le système multi-agents est un système informatique qui permet de mettre en place des univers virtuels à des fins de simulation (Lenay, 1994 ; Doran, 1994). Les modèles créés s'organisent autour d'entités, appelées des agents, placées dans un univers dynamique. Au cours du temps, ces entités évoluent, du fait de leurs caractéristiques propres et de l'ensemble des interactions qu'elles ont avec leur environnement. On définit en particulier un agent par ses capacités d'actions, en décomposant le mécanisme en trois étapes : perception – délibération – action.

En général, l'agent est doté d'un champ de perception limité, qui lui permet d'obtenir des informations sur son environnement. À partir de ces connaissances et des objectifs qui lui sont donnés, il procède durant ses délibérations à des choix entre un certain nombre d'actions prédéfinies. Ensuite, en agissant, il transforme son environnement, et donc la perception qu'il en a et il devra reconsidérer ses connaissances pour choisir de nouvelles actions.

Ce processus itératif est d'autant plus complexe que l'agent n'est pas seul à influencer sur ce qui l'entoure et qu'à chaque pas de temps, l'univers est modifié par les actions de tous les agents conduites de façon simultanée. Il y a plusieurs façons pour les agents de s'influencer les uns les autres : en transformant directement les autres, en communiquant avec eux par des envois de messages (transformant ainsi ses connaissances ou ses objectifs) et en modifiant l'environnement commun ainsi que la perception que chacun a de cet environnement (Bousquet, 1996).

Ces systèmes informatiques donnent lieu à deux utilisations très différentes. La première est celle de la résolution de problèmes. La distribution des capacités de calculs entre des intelligences autonomes capables de communiquer permet d'arriver plus vite, qu'avec

<sup>2</sup> Ces espaces de brousse servent à des usages multiples, principalement à l'alimentation des troupeaux du terroir, à la collecte journalière du bois de feu et à la cueillette de plantes sauvages, alimentaires ou médicinales.

<sup>3</sup> Bras de rivière saisonnier.

des gros calculateurs centralisés, à des solutions face à des questions très complexes. Le second usage est celui qui nous intéresse. Il s'agit de la simulation au sein de mondes virtuels, afin de tester, comme en laboratoire, des hypothèses abstraites sur l'émergence de dynamiques sociales à partir de comportements autonomes de la part des agents (Cariani, 1991 ; Baas, 1994 ; Doran, 1994).

Du fait de ses performances pour les interactions, la modélisation multi-agents est très souvent utilisée pour analyser les phénomènes d'auto-organisation. On peut produire ainsi les processus qui mènent à une différenciation des rôles dans une fourmière artificielle (Drogoul, 1992). Il est possible de décrire l'apparition de hiérarchies au travers d'une activité simple de quête d'une ressource qui ne peut s'exploiter qu'en commun (Doran et al., 1993, 1994).

Dans ces simulations, les agents n'ont aucune conscience de l'apparition du groupe et ne sont cantonnés qu'à la perception d'actions locales. On peut aussi estimer qu'il faut, pour créer un groupe cohérent, que les agents appartiennent à un groupe social prédéfini et aient une capacité à s'engager vis-à-vis des autres (Rao et Georgeff, 1995 ; Castelfranchi, 1995). L'agent n'est pas forcément un individu, et il est même possible de matérialiser les institutions en définissant un agent-groupe qui représente des caractéristiques du collectif et interagit avec des agents-individus (Barreteau, 1998). Ainsi, l'influence du groupe social sur les comportements individuels peut être mise en scène.

Dans la plupart de ces simulations, il est important de comprendre quelle est l'information pertinente minimale pour obtenir un type de structuration donnée. On peut tester par comparaison ce que donnent des hypothèses en terme d'objectifs et de rétroaction des phénomènes collectifs. C'est cette définition du modèle à travers des règles locales de comportement qui rend la simulation dans les systèmes multi-agents intéressante pour l'économie et la sociologie (Gilbert, 1993).

## Le modèle JuMel : question et traduction

Comme on l'a vu, les échanges entre deux communautés hétérogènes sont au cœur de la construction du modèle pour étudier l'accès aux ressources naturelles. Dans la perspective économique, la survie des troupeaux relève d'une bonne utilisation des revenus de la vente du bétail, identifiée comme le moyen principal d'obtention de liquidités.

Les besoins élémentaires des troupeaux ont été traduits par deux ressources distinctes : l'eau dont l'accès est géré par les chefs de village et les pâturages qui sont placés sous la responsabilité des cultivateurs. La qualité des pâturages dépend du nombre de troupeaux qu'ils supportent, selon le principe de la capacité de charge (Benkhe et Scoones, 1992).

Il y a trois catégories d'agents : 30 transhumants, 64 sédentaires répartis en 8 villages et un chef dans

chaque village, dont on peut voir les caractéristiques en *figure 1*. Les transhumants ont besoin que leurs bêtes aient accès aux deux ressources en quantité suffisante pour que la reproduction ait lieu. Les sédentaires ont besoin qu'un nombre minimal de bêtes soient présentes pour entretenir la terre, mais ne peuvent en accepter un trop grand nombre sans que cela implique une dégradation. On peut voir en *figure 2* le déroulement d'un tour. Les transhumants communiquent leurs besoins en ressources naturelles en envoyant des propositions d'accord : au cours d'une année, ils ont besoin d'accès à l'eau dans trois villages différents ; dans chaque village retenu, ils ont besoin de deux accès aux pâturages qu'ils négocient auprès des sédentaires de ce village. Ils paient le « coût » relatif à chaque accès grâce à l'argent qu'ils obtiennent en vendant des bêtes.

Face à une proposition, le chef répond en fonction des accès à l'eau disponibles dans son village. Face à une proposition, le sédentaire répond en fonction de l'état de sa terre, en terme de dynamique naturelle et d'occupation par d'autres troupeaux, et du coût proposé par le transhumant.

Les transhumants interprètent les réponses des chefs et des sédentaires. Il existe deux façons de mémoriser les interactions pour le transhumant. Dans un cas, il retient l'ensemble des dates d'accords acceptés et de refus. Ainsi, par la suite, il peut déterminer si l'histoire d'une relation a été plus satisfaisante qu'une autre : une relation est plus satisfaisante qu'une autre si la différence (accords – refus) est supérieure.

L'autre associe un coût au sédentaire. Si celui-ci accepte l'accord, c'est son véritable coût d'accès qui est retenu, sinon, le coût proposé dans l'accord est augmenté d'une constante. Quand un transhumant doit choisir le village le moins cher il prend comme valeur : (coût du village + 2\* moyenne des coûts des sédentaires connus).

Sur le terrain, les routes de transhumance sont des axes très stables, empruntés globalement par l'ensemble des éleveurs. Cependant, des modifications sont perceptibles en permanence. Elles peuvent être légères : parfois, la composition des campements se transforme du fait du départ d'un des éleveurs qui s'attache à un autre groupe. Elles sont parfois plus importantes, un lignage entier décidant de quitter définitivement une zone et de résider dans une nouvelle région pour toute la saison.

Les deux faits mis en parallèle posent la question des motivations dans les choix de parcours et des rencontres. C'est pour conjuguer une réflexion sur les coûts et la fidélité en parallèle que deux comporte-

Transhumant	Sédentaire	Chef
Nombre de bêtes bourse image des relations coût d'accès à l'eau coût d'accès	village chef taille de terre disponibilité coût d'accès	village membres nombre d'accès coût d'accès à l'eau

Figure 1. Les attributs (ou caractéristiques) qui définissent les agents.

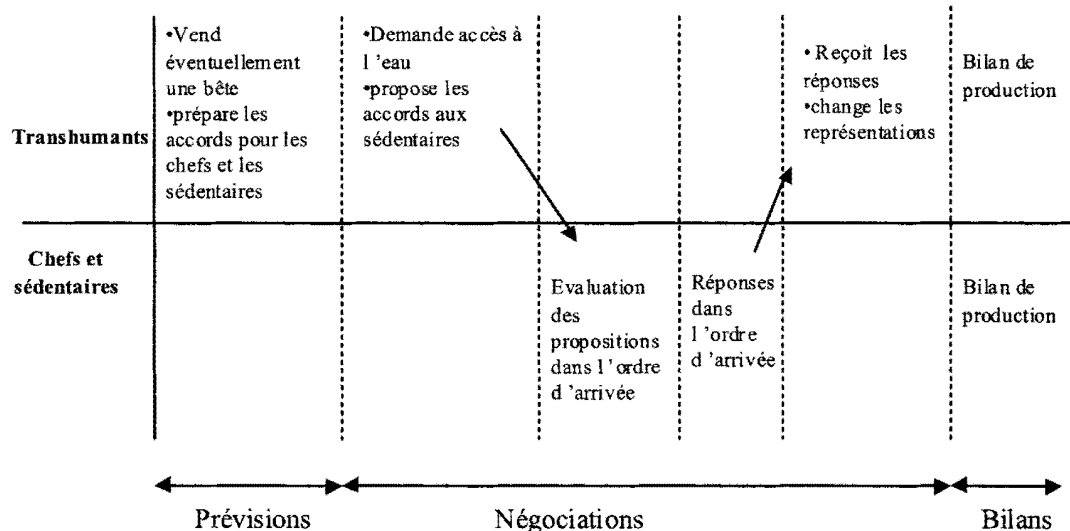


Figure 2. Déroulement d'un pas de temps : communication entre les agents et effet sur le troupeau et la ressource.

ments-types ont été définis : l'un utilitaire, relevant de la pure économie, à la recherche du moindre coût ou du gain maximum ; l'autre fondé sur une fidélité dans les relations et sur une bonne entente.

### Simulations et résultats

Trois sortes de simulations ont été mises en place. Dans les simulations « au hasard », les transhumants choisissent toujours trois villages au hasard, puis deux sédentaires dans chacun des villages. Dans les simulations « à priorité coût », les transhumants demandent l'accès dans les villages qu'ils considèrent les moins chers et vont ensuite chez les sédentaires les moins chers de ces villages. Dans les simulations « à priorité fidélité », les transhumants demandent l'accès dans les villages où la relation au chef et aux sédentaires a été la plus satisfaisante et vont voir les deux sédentaires avec lesquels la relation a été la plus satisfaisante.

Les trois grands critères observés sont :

- l'usage de la ressource : nombre de bêtes au cours du temps et état de la terre,
- la forme des relations,
- le type d'apprentissage induit.

Si des simulations au hasard ont été faites, c'était pour avoir un point de repère en termes de production. Ces simulations se sont révélées les « meilleures » en terme d'usage de la ressource. C'est quand les transhumants choisissent au hasard que la terre est la moins dégradée et qu'il y a le plus de bêtes dans chaque troupeau (figure 3).

Dans toutes les simulations, on retrouve au niveau global la « capacité de charge » (nombre de bêtes qui peut être supportée sans dommage par la terre) que l'on avait définie au niveau local. Il y a un lien direct entre l'état de la terre dans l'ensemble de l'univers et le nombre total de bêtes. L'usage des ressources est moins bon dans les simulations à priorité aux coûts

que celles où les choix sont basés sur les liens. La ressource est plus dégradée et le nombre de bêtes est largement inférieur. Cette différence s'explique par le fait qu'une concurrence apparaît entre les transhumants quand ils choisissent avec les coûts, et que certains sédentaires sont, en parallèle, abandonnés.

On constate également une grande différence en ce qui concerne la forme des relations : les transhumants qui utilisent leur représentation des coûts comme critère de choix rencontrent peu de sédentaires différents (figure 4). Dans le cadre des simulations avec priorité donnée aux liens, un transhumant quitte aisément un sédentaire pendant quelques tours pour y retourner après. Dans les simulations où la priorité est donnée aux coûts, si une relation est rompue, c'est toujours définitif.

On peut observer en particulier ce résultat dans les simulations où les réponses des sédentaires sont perturbées. Si des refus systématiques sont opposés aux transhumants pendant un certain nombre de pas de temps, ceux-ci abandonnent les sédentaires seulement s'ils agissent en donnant priorité aux coûts. Dans les simulations avec priorité aux liens, à la fin de la période de perturbation, les agents conservent les mêmes relations fidèles.

### Discussion

Les résultats obtenus grâce aux simulations, pour lesquels on pourra se reporter également à Rouchier et al. (2000a), mettent en avant une idée largement partagée : la valorisation des aspects relationnels dans un environnement incertain autorise plus aisément la survie des hommes, que l'on déduit ici de celle des bêtes (O'Connor et Arnoux, 1992). Dans le système testé, le comportement fondé sur les coûts d'accès n'était pas, et de loin, le plus « soutenable ».

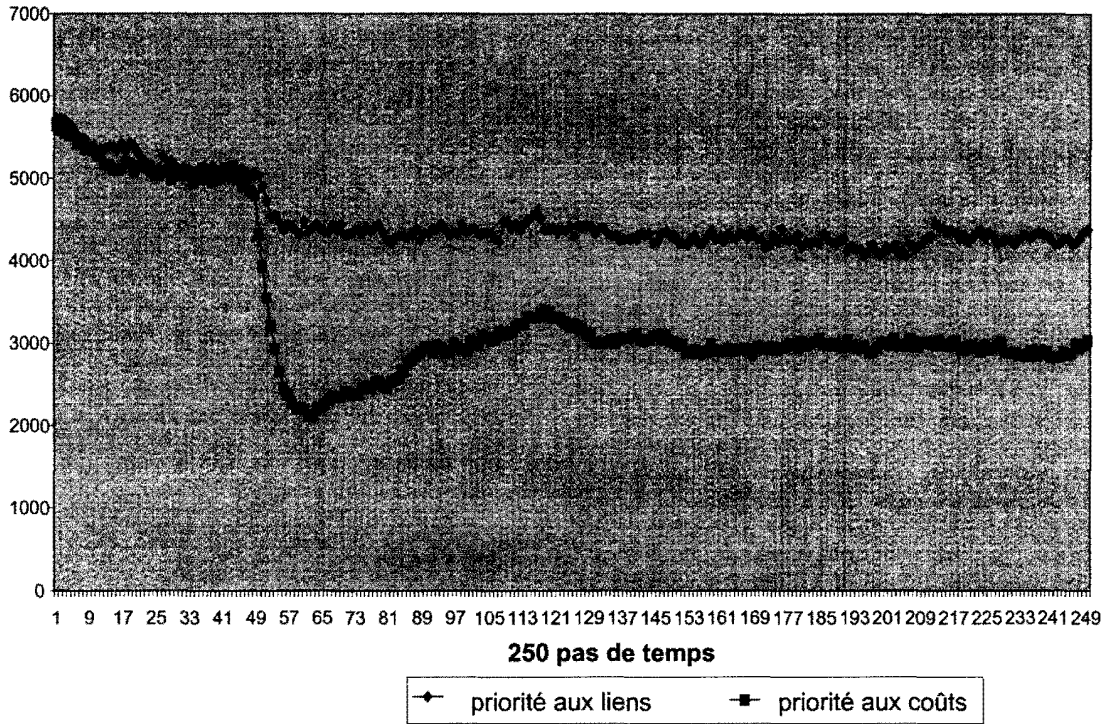


Figure 3. La capacité de charge au cours du temps (nombre de bêtes acceptables sur la terre à chaque pas de temps sans qu'elle soit dégradée) chute davantage dans les simulations à priorité aux coûts que dans les simulations à priorité aux liens.

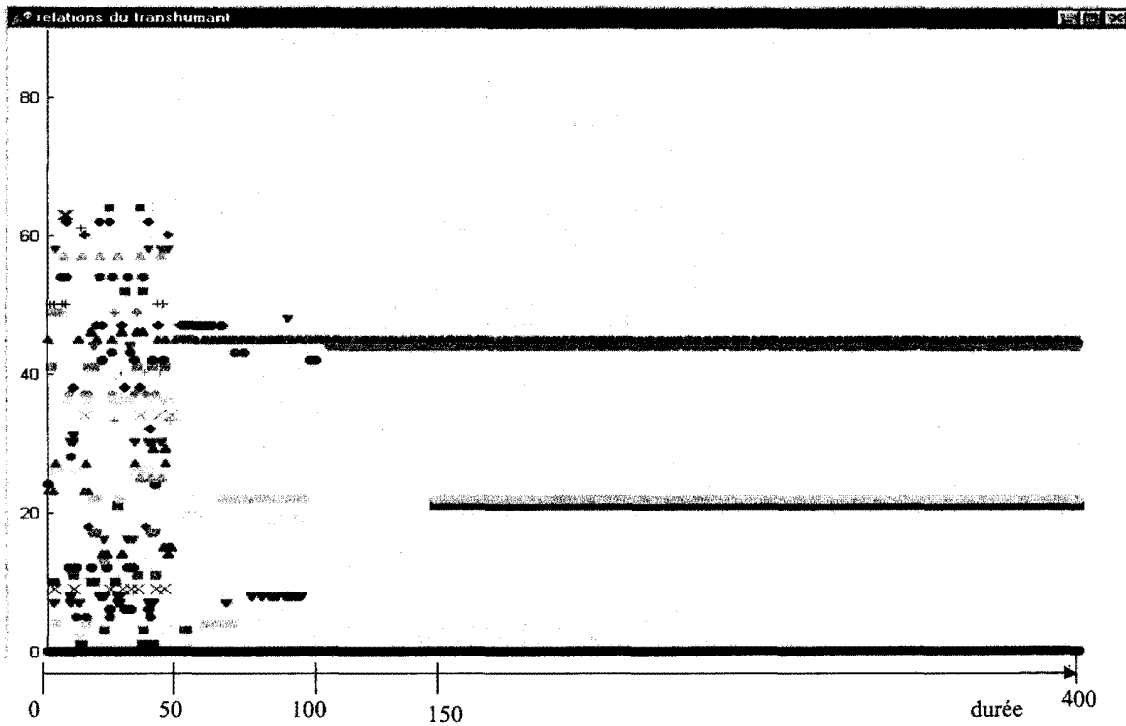


Figure 4. Les accords passés par un transhumant qui choisit avec priorité aux coûts. Les sédentaires refusent systématiquement pendant 50 pas de temps sur 400. (Pour lire les histoires de relation, il faut considérer que chaque point indiqué correspond à une rencontre à la date lue en abscisse avec le sédentaire dont le nom se lit en ordonnée.)

À la suite de la réalisation du modèle, nous avons entrepris un travail de terrain commun, durant lequel nous avons recherché ce qui, dans les échanges entre pasteurs et sédentaires, pouvait entrer en adéquation avec l'idée de fidélité et ce qui relevait d'un intérêt économique à court terme formulé en terme de coûts. Nous avons aussi recherché le lien qu'il pouvait y avoir entre les relations des pasteurs aux autorités sédentaires et celles inter-individuelles entre pasteurs et sédentaires. Les représentations réciproques des communautés ont été au centre des enquêtes.

Si l'on compare les données du modèle à celles du terrain, on remarque que la modélisation des représentations par les liens est plus conforme à la réalité des logiques des individus. Les agents réussissent à la fois à être plus adaptatifs tout en montrant une grande régularité relationnelle. Certains éléments par contre sont largement remis en cause, le plus important étant la permanence des comportements des agents au cours du temps. Il semble en effet que les nomades ne se comportent pas de la même façon en fonction de la situation dans laquelle ils se trouvent. Plutôt que d'avoir une unique logique, ils peuvent alternativement utiliser les deux. S'ils sont dans un environnement déjà bien connu, ils tenteront de reproduire les liens déjà formés. Si au contraire ils évoluent aux abords d'un village peu connus, c'est l'intérêt financier qui leur permettra de faire des choix. Il semble que les résultats du modèle mettent en avant cette différence de comportement entre les nouveaux venus et les transhumants habituels dont les comportements distincts ont des effets variés sur la ressource. Cela nous a permis de nous pencher sur l'événement social que constitue la présence des nouveaux venus. Au-delà d'implications ponctuelles sur la ressource dues à leur comportement, il existe des différences de comportement de la part des villageois et des autorités du village qui se sont révélées très intéressantes à observer (Rouchier, 2000).

Du point de vue de la modélisatrice, c'est à partir du moment où les deux membres de l'équipe ont été familiarisés avec l'autre discipline que la pensée a commencé à s'unifier et qu'une vision cohérente s'est élaborée. Il semble dorénavant impossible de créer un modèle où les mécanismes de l'accès au pâturage seraient réduits à une logique uniquement d'intérêt. Le travail commun comportait l'élaboration du modèle et le travail ultérieur d'enquêtes. Sans une compréhension intime des problématiques de l'économiste, il semble qu'il aurait été très difficile de prendre en compte la complexité des interactions en jeu.

Du point de vue de l'économiste, l'usage de la modélisation multi-agents a permis de comprendre la logique de ces interactions. L'émergence attendue d'institutions collectives à partir de la modélisation de l'accès à la ressource ne s'est pas produite même si des routines de comportements sont apparues. Ce résultat est normal compte-tenu des choix de modélisation, en particulier de l'absence d'organisation sociale prédéfinie. La vision naïve qu'avait l'économiste des SMA s'est précisée, lui permettant au fur et à mesure de l'avancée du travail interdisciplinaire de faire des choix pertinents dans la construction de l'univers et dans

ceux des simulations. L'introduction de la notion de représentation chez les agents économiques a permis d'introduire de la complexité dans l'univers ainsi modélisé. Plus que les échanges économiques, c'est bien la vision, l'interprétation que se font les pasteurs dans le modèle qui conditionne leur comportement à venir. On a noté en outre un élément important tout au long des simulations. Il n'est pas nécessaire que les agents aient une vision juste des coûts pour que leur troupeau survive, et même au contraire, c'est grâce à l'existence de mauvaises estimations que la dynamique des échanges peut perdurer (Rouchier et al., 2000b).

À l'issue de l'expérience, il est apparu que la modélisation et la simulation avaient servi de cadre aux enquêtes de terrain. Cette méthodologie s'intitule la « modélisation d'accompagnement » (Bousquet et al., 1998). Elle a été déjà utilisée plusieurs fois dans le cadre de la recherche-développement (Barreteau, 1998 ; Bah et al., 1998).

## Conclusion

Le modèle construit a répondu en grande partie aux attentes. En effet, nous avons réussi à mettre en commun certains concepts et axes de recherche propres à chaque discipline d'origine. En particulier l'étude de l'articulation entre un niveau individuel et un niveau collectif a fait l'objet d'une traduction commune à partir du modèle. Nous avons pu identifier des routines de comportement au niveau global alors que les agents ne peuvent avoir une perception des autres qu'à partir des échanges qu'ils réalisent avec eux.

Le passage à un modèle informatique a contraint à la formalisation des hypothèses sous-entendues dans certains concepts. L'opposition formelle entre échange économique et échange social a dû être explicitée et appliquée à un même univers. C'est lorsque nous avons décrit de façon précise les processus de choix des agents qu'est apparue clairement l'hypothèse que les individus agissaient selon deux modèles de pensée parfaitement distincts.

Ce qui apparaît plus fondamental encore dans la démarche, est le passage nécessaire d'un ensemble d'hypothèses agrégées venues de deux disciplines à un travail d'éclairage mutuel. Un aller-retour entre deux disciplines a permis de construire un nouvel angle d'approche intermédiaire, qui éclaire les deux systèmes de pensée d'origine.

## Remerciements

Nous tenons à remercier François Bousquet et Jacques Weber pour leur encadrement sur ce projet interdisciplinaire mené au sein de l'équipe Green du Cirad. Nous en profitons plus généralement pour remercier la direction scientifique du Cirad et nos directeurs de thèse, Martin O'Connor et Alain Pavé, pour leur soutien. Nous voudrions également signaler tout particulièrement le rôle important joué par les commentaires de Jean Boutrais, Nicole Mathieu et Marcel Jollivet pour la révision des versions successives de ce texte. Finalement,

merci à Françoise Hématy pour avoir suivi les étapes de la mise en forme avec beaucoup de soin.

## Bibliographie

- Baas N.A., 1994, *Emergence, hierarchies and hyperstructures. Artificial Life*, n° III, vol. XVII, Langton C.G. (Ed.), Addison-Wesley, 515-537.
- Balzer, 1997, SMASS: A Serial Multi-Agent System for Social Simulation, sur site www.
- Bah A., Canal R., D'Aquino P., Bousquet F., 1998, *Les SMA Génétiques Pour L'étude de la Mobilité Pastorale en zone intertropicale humide*, Smaget, Cemagref, Clermont-Ferrand, 291-302.
- Barreteau O., 1998, Un système multi-agents pour explorer la viabilité des systèmes irrigués : dynamique des interactions et modes d'organisation, thèse de doctorat, École Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts.
- Beauvilain A., 1989. *Nord-Cameroun, crises et peuplement*. Thèse de Géographie, Coutances, 2 tomes, 625 p.
- Benkhe R.H., Scoones I., 1992, *Repenser l'écologie des parcours : implications pour la gestion des terres de parcours en Afrique*, IIED, Programme Réseaux des Zones Arides, London, England, dossier n°33, mars 92, 46 p.
- Bonfiglioli A.M., 1988, Duda, histoire de famille et histoire de troupeau chez un groupe de Wodaabe du Niger, MSH, Cambridge University Press, 187 p.
- Bousquet F., 1994, Des milieux, des poissons, des hommes : étude par simulations multi-agents, thèse de doctorat, Orstom.
- Bousquet F., 1996, Systèmes multi-agents et action sur l'environnement, *Actes du colloque : « Mémoires, inscriptions, actions, individuelles et collectives » 22-26/01/96* Centre de recherche de Royallieu, Compiègne.
- Bousquet F., Bakam I., Proton H., Le Page C., 1998, Cormas: Common-Pool Resources and Multi-Agent Systems, *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, vol. 1416, 826-837.
- Boutrais J., 1973. *La colonisation des plaines par les montagnards au nord du Cameroun*. Travaux et documents de l'Orstom, n° 24, 277 p.
- Cariani P., 1991, *Emergence and artificial life. Artificial Life* n° II, vol. X, Langton C.G. ed., Addison-Wesley, p.775
- Castelfranchi C., 1995, Commitment : from individual intention to groups and organizations, *Actes du colloque ICMA'S'95*, V. Lesser ed., MIT Press, 41-48.
- Doran J., Palmer M., 1993, The EOS project: Integrating two models of Paleolithic social change, *Artificial Societies*, N. Gilbert & R. Conte ed., UCL Press
- Doran J., 1994, *Collective memory and emergent human social complexity*, Mémoire Collective. Dialogue Entre Les SMA Artificiels (IAD) et Les Sciences Humaines et Biologiques, Centre de recherche de Royallieu, Compiègne.
- Doran J., Palmer M., Gilbert N., Mellars P., 1994, The EOS project: modelling Upper Paleolithic social change, *Simulating societies. The computer simulation of social phenomena*.
- Drogoul A., 1992, *L'éthomodélisation*. Institut Blaise Pascal, Jussieu, Rapport n°92/20.
- Dugué et al., 1994. *Projet Garoua, diversité et zonage des situations agricoles et pastorales de la zone cotonnière du Nord-Cameroun*. Ira-IRZV-Cirad, 84 p.
- Dupire M., 1962, Des nomades et leur bétail, *L'Homme* 1, 22-39.
- Dyson-Hudson R.N., 1980. Nomadic Pastoralism, *Annual rev. of Anthropology* 9, 15-64
- Eldridge Mohammadou ed, 1976, L'histoire des Peuls Férôbe du Damaré, Maroua et Petté, *African Languages and Ethnography III*. Institute for the study of languages and cultures of Asia and Africa (ILCAA), 409 p.
- Ferber J., 1995, Les SMA : vers une intelligence collective, Inter Éditions.
- Froelich J. C., 1949. Le commandement et l'organisation sociale chez les Fulbe de l'Adamaoua. *Études Camerounaises*, 27-28, 90 p.
- Gilbert N., 1993, Emergence in social simulation, prepared for Sim Soc 93, Cartosa di Pontignano, Siena.
- Godelier M., 1974, Considérations théoriques et critiques sur le problème des rapports entre l'homme et son environnement. *Information sur les sciences sociales* 13 (6), 31-60.
- Hardin G., 1968. The tragedy of the Commons. *Managing the Commons*, Hardin G. et Baden J, 1977, New York : W.H. Freeman and Company, 16-30.
- Kintz D., 1991. Le foncier dans la pensée et dans la pratique des éleveurs et des agro-pasteurs, *L'appropriation de la terre en Afrique noire : manuel d'analyse, de décision et de gestion foncières*. Khartala, Paris, 37-48.
- Landais E., Lhoste P., Guérin H., 1990. Systèmes d'élevage et transferts de fertilité. *Savanes d'Afrique, terres fertiles ?* Cirad, Ministère de la coopération et du développement, Paris, 219-265.
- Lenay C., 1994, Intelligence Artificielle Distribuée : modèle ou métaphore des phénomènes sociaux, *Revue Internationale de systémique*, 8 (1), 1-11.
- Monod T., 1975, Introduction, *Les sociétés pastorales en Afrique*. Études présentées et discutées au XIII<sup>e</sup> Séminaire International Africain, Niamey, Décembre 1972, International African Institute, Oxford University Press, 298-321.
- North D.C., 1990. *Institutions, institutional change and economic performance*. Cambridge University Press, 152 p.
- O'Connor M., Amoux R., 1992. Écologie, échange inéluctable et éthique de l'engagement, sur le don et le développement durable, *revue du MAUSS*, 15-16, 288-308.
- Ostrom E. 1990. *Governing the Commons*. Cambridge : Cambridge University Press, 280 p.
- Rao A.S., Georgeff M.P., 1995, BDI, *Actes du colloque ICMA'S'95*, V. Lesser ed., MIT Press.
- Requier-Desjardins, M., 1997. L'accès aux pâturages, une approche économique de la mobilité, *Actes du colloque Méga-Tchad, L'homme et l'animal dans le bassin du lac Tchad*, 17 p.
- Rouchier J., 2000, La confiance à travers l'échange. Accès aux pâturages au Nord-Cameroun et échanges non-marchands : des simulations dans des systèmes multi-agents, Thèse de doctorat, Université d'Orléans.
- Rouchier J., Bousquet F., Requier-Desjardins M., Antona M., 2000a, A multi-agent model for describing transhumance in North Cameroon: comparison of different rationality to develop a routine, *Journal of Economical Dynamics and Control*, à paraître.
- Rouchier J., Bousquet F., Barreteau O., Le Page C., Bonnefoy J.-L., 2000b, Multi-Agent modelling and renewable resources issues: the relevance of shared representations for interacting agents, *Actes de MABS 2000 (Multi-agent Based Simulation)*, à paraître.
- Stenning D.J., 1956. Transhumance, migratory drift, migration patterns of pastoral fulani nomadism. *Journal of the Royal Anthropological Institute*, 87, 57-73.
- Weber J., Reveret J.P., 1993. La gestion des relations sociétés-natures : modèles d'appropriation et processus de décision. *Une terre en renaissance*, coll. Savoirs n°2, Orstom et *Le Monde Diplomatique*, oct.1993, sous le titre : Ressources renouvelables, les leurres de la privatisation.
- Williamson O. E., 1994. *Les institutions de l'économie*. Interéditions, 404 p.