

Modèle de comportement spatial de troupeaux de bovins pour la gestion d'un terroir

Christophe CAMBIER

IRD-LIP6

BP1386 Dakar Sénégal- 8 rue du capitaine Scott 75015 Paris

Tel. 33 1 48 02 55 00

E-mail : Christophe.Cambier@lip6.fr, cambier@ird.fr

Alexandre ICKOWICZ

CIRAD

BP 5037 Campus de Baillarguet 34398 Montpellier cedex 05

Email : alexandre.ickowicz@cirad.fr

Martial Maury

IRD

Raphael MANLAY

ENGREF

BP 44494 648, rue Jean-François Breton. - 34093 Montpellier Cedex 5

Email : manlay@engref.fr

Résumé

Cette recherche s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre l'Ird et le Cirad, et se rapporte à la modélisation par SMA de systèmes agro-pastoraux. Dans le cadre de ce volet, on s'intéresse aux comportements spatiaux de troupeaux de bovins. Quels modèles d'agents nous apparaissent fiables, ou les plus viables pour retrouver des mêmes cheminements que ceux observés dans les campagnes de haute Casamance, nombreux indicateurs découlent de la validation de ce type de modélisation. Si certains bovins sont assimilés à des agents (Boids), d'autres plus cognitifs traduisent des aspects mentaux, nous montrons comment cette composition apparaît comme efficace.

Abstract

The work done is a simulation of cattle rambling on agro-pastoral lands. This work realised in the bosom of a research team in the IRD Senegal required first of all the creation of a model based on studies about agents and multi-agents systems. This model was due to be integrated in a simulation developed with java language. We finally had to validate the model by the valuation of the simulation using data from land observation. The simulation realised applies to the prediction of the influence of particular agro-pastoral applications on pastures in the region of Casamance in south-Senegal.

Mots-clés : modélisation, simulation multi-agent, comportement spatial, troupeaux de bovins, systèmes agro-pastoraux, grégarité, leader.

Keywords : multi-agents systems, modelling, leadership, biological systems, spatial memory; social attraction, cows model validation

1. Introduction

Des recherches sur les systèmes agro-pastoraux menées au Sénégal par l'IRD et le CIRAD ont pour but d'étudier les facteurs influant sur la gestion de la jachère, l'alimentation des troupeaux et les transferts de matière organique ...et de les prendre en compte afin de contribuer au maintien d'un équilibre dans la fertilité des sols. Il semble reconnu que l'agriculture serait responsable de 30 % des émissions de gaz à effet de serre ; à long terme notre démarche permet de tester des hypothèses et stratégies de développement au travers de modèles de simulations et favoriser des cultures durables en terme de fertilité des sols ayant moins d'effets nocifs sur l'atmosphère. Après des études de terrain, plusieurs modèles multi-agents ont été proposés [Manlay 2000], [Alioum 2003] et ont mis en évidence l'influence des contraintes socio-économiques sur la dynamique des flux de carbone pour la gestion intégrée d'un terroir. Cependant, il est apparu nécessaire de mieux prendre en compte l'aspect pastoral, en considérant notamment le rôle de la composante spatiale du comportement des troupeaux. D'un point de vue thématique, il s'agit ici d'étudier le comportement spatial et alimentaire des bovins pour en comprendre les modalités d'utilisation du pâturage. L'anticipation de ces comportements permettra de proposer de nouvelles stratégies de développement du terroir. D'un point de vue informatique, il s'agit de concevoir et de formaliser un modèle de simulations multi-agents applicable à la divagation des troupeaux. Ce papier se résume en quatre étapes : analyser les limites de l'existant, justifier les améliorations, détailler certains aspects conceptuels, expliquer les résultats et évoquer les perspectives.

Une approche agent

Les agents représentent des entités biologiques (des vaches de Casamance), ils sont autonomes et évoluent dans un environnement sur lequel ils peuvent agir et dans lequel ils peuvent interagir avec d'autres agents [Ferber 1995]. Ces agents doivent posséder des capacités cognitives, au final l'agent visé sera hybride, mi-réactif/cognitif. Les agents cognitifs possèdent leur propre intelligence qui leur permet de se représenter et de résoudre des problèmes de manière autonome [Russel & Norving 1995]. Leur efficacité dépend directement du modèle utilisé pour coder l'"intelligence" de l'agent. C'est pourquoi cette approche se base sur des théories en éthologie et en psychologie a été utilisée. En s'inspirant particulièrement de la théorie du traitement de l'information [Bartlett 1932] en éthologie cognitive, qui étudie la manière dont les animaux acquièrent la connaissance. Mais également des modèles de représentation mentale en psychologie cognitive, qui induisent une représentation symbolique du monde sous une forme formelle (???) et symbolique. Les agents réactifs agissent par le biais d'interactions simples avec les autres agents et leur environnement afin de résoudre des problèmes complexes en collectivité et ce mode de résolution implique l'émergence de la solution par la mobilisation d'un nombre important

d'agents [Hogeweg & Hesper 1979]. Cette approche s'inspire de la théorie des systèmes complexes en physique [Perrier et Cambier 1995] et des études éthologiques sur le comportement des insectes sociaux [Drogoul et al. 1992].

2. Présentation et limites de l'existant

Quelques travaux, et notamment un développement en java ou CORMAS simulant des divagations de troupeaux sur un pâturage avait déjà été réalisé les années précédentes [Chandezon & Guilloux 2001], [Mandrillon & Petit 2001]. Dans ces simulations, le troupeau, représenté par un agent unique, calculait ses déplacements en fonction de 4 facteurs : -la qualité de l'herbe, - des points de passage obligatoires, -la mémoire du parcours. Le modèle utilisé considérait le troupeau comme seul agent du système, les vaches étant considérées comme gravitant autour d'un point et n'étaient donc pas représentées. La prise de décision dans les déplacements du troupeau était calculée à un niveau local : l'agent avait une vision limitée de son environnement, il n'y avait donc aucune anticipation dans les déplacements. L'espace de pâturage est discrétisé sous forme d'un maillage de parcelles carrées de 20m de côtés d'environ 3km². Les objets du système sont les éléments passifs par rapport auxquels les agents réalisent des actions. Les objets présents dans la simulation sont ceux qui font partie de l'"environnement" du troupeau [Von Uexküll 1965], c'est-à-dire ceux qui ont une influence sur son comportement.

3. Leadership ou grégarité dans le modèle d'agents

Les vaches, comme de nombreux herbivores, sont des animaux grégaires. Le groupe est le siège d'attractions mutuelles qui se concrétisent par le développement de relations sociales [Veissier et al. 1998]. Parmi les relations qu'entretiennent les animaux entre eux, celles de "dominance-subordination" structurent pour une grande part la vie au sein du groupe. Ainsi les mouvements du groupe dans l'espace font appel à des relations de "leadership" [Sato 1982], l'initiation des déplacements étant généralement le fait des mêmes animaux [Bailey 1995]. La présence d'un leader permet de simplifier la représentation du problème sans pour autant convenir que le troupeau devienne l'unique agent ; nous voulons des vaches *dociles* mais qui restent *libres* ! La recherche de nourriture est optimisée au sein d'un groupe, puisque qu'un individu bénéficie de la nourriture trouvée par ses congénères. L'occupation de l'espace dépend à la fois de la nourriture disponible sur le site, mais également des interactions dans le groupe. Bien que le leader initie les déplacements du troupeau, les mouvements de groupe sur le site de pâture sont initiés par les individus les moins grégaires qui pâturent plus fréquemment à une plus grande distance des autres [Arnold 1977].

Cela implique l'existence de spécificités individuelles dans le comportement social des vaches et particulièrement dans le degré de grégarisme. Ainsi, l'approche du

troupeau d'un point de vue "agents réactifs" permet de simplifier le problème en le traitant au niveau micro-social. Notre conception des interactions entre agents fera émerger certaines formes géométriques de troupeaux, ce qui nous a permis ensuite de valider plus facilement notre modèle par rapport aux données concernant les formes caractéristiques et la densité du troupeau observées [Perrocheau 2002]. Il est apparu nécessaire de définir deux types d'agent : le leader du troupeau, qui possède une vision plus étendue de l'espace de la simulation (ainsi que la mémoire de l'environnement) que ses congénères, les autres agents composant le troupeau ayant une relation limitée avec le milieu (notamment un champ de vision et une mémoire très limitée voire inexistante) et très forte avec le leader. Cela conduit à une vision de notre problème selon deux niveaux : - prise de décision dans les déplacements, - interactions dans le troupeau comme la consommation/excrétion.

4. Déplacement du troupeau et mémoire de vache

La théorie du traitement de l'information [Bartlett 1932], postule que l'apprentissage ne consiste pas en une accumulation d'information, mais plutôt en une acquisition de connaissance codée dans le cerveau plutôt que copiée conformément à la réalité. D'où l'idée de tester de l'existence de modèles internes dans le cerveau qui représenteraient une partie du monde extérieur, et pour lesquels les relations entre éléments sont valables dans le monde réel. Si les vaches connaissent si bien leur pâturage, elles en possèdent une certaine mémoire et la prise de décision dans les déplacements du troupeau (à compléter ???). D'après Tolman, un grand nombre d'espèces animales construisent des représentations mentales qui leur permettent de connaître leur environnement et de s'y déplacer de manière efficace [Tolman 1948]. Les représentations mentales sont de nature conceptuelle et propositionnelle, elles ne sont donc pas bidimensionnelles, comme des cartes. O'Keefe et Nadel [O'Keefe & Nadel 1978] précisent le concept de carte cognitive et définissent les représentations spatiales comme le codage exocentré (des informations spatiales, incluant les relations existantes entre les objets de l'environnement. D'après Philip Johnson-Laird [Johnson-Laird 1980], les modèles mentaux ont la forme de correspondances entre "tokens" (éléments) à travers des relations : le cerveau ne mémorise pas la continuité du monde mais des entités particulières et discrètes qu'il associe entre elles. Ces postulats nous amènent à envisager la construction de la représentation du pâturage comme un ensemble entités/relations, les entités étant ici des informations extraites des objets de l'environnement (figure 1). Reste à déterminer ou plutôt proposer quels sont ces objets, et quelle est la nature des relations. Le choix des destinations du troupeau peut être influencé par sa perception de l'environnement, mais également par sa mémoire visuo-spatiale, car on devra prendre également en compte les lieux déjà visités dans la journée [Dumont & Hill 2001]. La mémoire des références est une cartographie de l'environnement, homologue de la représentation évoquée précédemment.

5. Distribution spatiale du troupeau

Les partenaires sociaux d'un animal influencent la distribution spatiale des vaches à travers leur influence sur les choix alimentaires du groupe. Dans les groupes constitués de longue date, la cohésion sociale prime sur les préférences individuelles [Scott et al. 1995]. On devra donc déterminer les facteurs qui régissent la cohésion du groupe.

La cohésion des vaches sur le pâturage dépend de plusieurs facteurs liés aux autres congénères (leader inclus), mais également aux préférences alimentaires. Nous devons dans un premier temps étudier la manière dont les vaches vont percevoir et se représenter les différents facteurs influençant leur comportement. Dans certains cas, les bovins doivent traiter l'information à partir du champ visuel (végétation présente et congénères) plutôt qu'à partir de leur mémoire et d'une représentation mentale du pâturage, cela par souci d'économie.

Les données concernant la densité et la taille du troupeau pourraient nous permettre de déterminer un facteur de dispersion (divagation en recherchant localement la nourriture).

On cherchera donc en premier lieu à atteindre un équilibre entre "facteur d'attraction" et "facteur de dispersion". Le rapport de [Perrocheau 2002] nous renseigne parfaitement sur la forme générale du troupeau selon les activités (ellipse orienté, rond, file..).

D'après ces observations il est donc possible d'inférer que l'influence du leader peut être formalisé par un facteur d'attraction proportionnel à la distance de séparation.

De plus, la notion de préférence alimentaire des bovins a été démontrée par Dumont [Dumont 1996]. Le modèle d'interaction dans le troupeau est inspiré du modèle des Boids développé par Craig Reynolds [Reynolds 1999]. Boids simule le déplacement et la coordination d'un groupe d'individus selon : - cohésion, - séparation, -alignement. Dans notre modèle, le déplacement intègrera 4 règles : cohésion, -séparation, -subordination au leader, -recherche de végétation. La méthode de construction de la représentation prévoit d'identifier les zones homogènes du pâturage : les cellules de végétation identiques et contingentes. Ces zones homogènes seront intégrées dans un ensemble entités/rerelations. Ce processus s'inspire de la théorie des "chunks" qui explique la manière dont le cerveau encode l'information en mémoire [Miller 1956]. Par analogie au "chunking", on va donner du sens à un ensemble de sous-unités. Dans cette représentation optimisée, l'espace sera stockée sous la forme d'un graphe : chaque point du graphe représente une zone homogène du pâturage (ou un "token" [Johnson-Laird 1980]) à laquelle sont associées des informations sur le type de végétation, la taille de la zone, la quantité de nourriture disponible ou encore si le troupeau est déjà passé ou pas sur cette zone. Les relations entre les différents "tokens" intègrent des informations sur les distances séparant ces zones. La fonction de décision utilisée pour calculer la meilleure destination parmi les zones encodées réalise un calcul fonction des facteurs identifiés comme influençant la décision du leader dans le déplacement du troupeau. Ces facteurs sont : la quantité et la préférence, la distance à parcourir à partir de la position actuelle et jusqu'au prochain point de passage obligatoire (ie. le point

d'abreuvement = la mare ou le lieu de parage = le piquet), et enfin la déviation par rapport à la trajectoire actuelle du troupeau.

6. Validations et perspectives

Le chemin parcouru par le troupeau donné en exemple définit bien un tracé circulaire qui contourne en saison de culture les champs d'arachide et les zones en jachère au centre du pâturage. L'un des buts de notre simulation était que le parcours du troupeau soit proche de ce type de tracé observé (figure 2 de gauche), cet objectif est atteint.

Le rapport d'observations de Perrocheau contient des données précises sur les formes et la vitesse de déplacement en fonction de l'activité. Cependant la simulation ne comporte pas encore des outils de calcul moyen de la vitesse en fonction de l'activité. Le graphique de la figure 2-à droite met en évidence une corrélation cohérente entre nourriture consommée et vitesse de déplacement. La modélisation des différentes formes de troupeau caractéristiques et observées sur le terrain permettent de valider (même si cela reste encore trop subjectif) l'intérêt de ce modèle SMA développé pour simuler la cohésion spatiale du troupeau. Il reste de nombreux paramètres libres à étudier et préciser, et une phase de tests est en cours. Si des modifications sont encore à envisager, aucun facteur majeur n'est à remettre en cause dans le modèle qui a servi de base à cette simulation.

Une fois validé le point de vue pastoral, il sera pertinent de coupler ce modèle de divagation des troupeaux sur un modèle de gestion des cultures afin d'intégrer une dynamique cohérente des flux de carbone.

Enfin, sur un aspect conceptuel, si il apparaît séduisant d'allier aspect cognitif et réactif, il faudra viser s'appuyer sur une méthodologie claire. Avant d'être réécrit en Java, ce programme était initialement conçu à partir de la plate-forme Cormas et le modèle en conserve encore l'empreinte au niveau du spatial. Il apparaît nécessaire de revoir l'architecture et nous avons décidé d'introduire un niveau de méta-modélisation multi-Agent inspiré des modèles Gaia, Alladin et J.Odell.

7. Bibliographie

ARNOLD G.W., 1977. An analysis of spatial leadership in a small flock in a small flock of sheep. *Applied Animal Ethology*. n° 3. pages 263 à 270.

BAILEY D.W., 1995. Daily selection of feeding areas by cattle in homogeneous and heterogeneous environments. *Applied Animal Behaviour Sciences*. n°45. pages 183 à 200.

ALIOUM., 2003. A. Mirot : Modele multi-agent vers une gestion intégrée du terroir. Rapport de mémoire d'ingénieur. Université de Ouagadougou.

BARTLETT S. F., 1932. Remembering: A study in experimental and social psychology. Cambridge, England : Cambridge.

BRESENHAM Jack E., 1965. Algorithm for Computer Control of a Digital Plotter. IBM Systems Journal. n°4(1). 1965. pages 25 à 30.

[CHANDEZON Julien., GUILLOUX Loïc., 2001. Simulation du comportement de troupeaux sur un territoire. IRD Geodes.

DROGOUL Alexis., CORBARA Bruno., FRESNEAU Dominique., 1992. Applying ethomodeling to social organization in ants. Biology and Evolution of Social Insects. Leuven University Press. Leuven. pages 375 à 383.

DUMONT Bertrand., 1996. Préférences et sélection alimentaire au pâturage. INRA Prod. Anim.. n°9. pages 359 à 366.

DUMONT Bertrand., HILL David R.C., 2001 Multi-agent simulation of group foraging in sheep: effects of spatial memory, conspecific attraction and plot size. Ecological Modelling. n°141. pages 201 à 215.

FERBER Jacques., 1995. Les systèmes multi-agents : Vers une intelligence collective. Eyrolles. 450p.

HOGEWEG Pauline., HESPER B., 1979. Heterarchical selfstructuring simulation systems : concepts and applications in biology. In B.P. Zeigler, M.S. Elzas, G.J. Klir et T.I. Oren, editors. Methodology in system modelling and simulation. North Holland. pages 221-232.

ICKOWICZ Alexandre, MBAYE (M.), 2001. Forêts soudanaises et alimentation des bovins au Sénégal : potentiel et limites. Bois et Forêts des Tropiques, n° 270 (4) pp 47-61.

JOHNSON-LAIRD Philip N., 1980. Mental models in cognitive science. Cognitive Science. n°4. pages 71 à 115.

MANDRILLON Elie., PETIT Patrice., 2001. Troupeau de vaches se déplaçant sur un territoire. IRD. Geodes.

MANLAY Raphaël., 2000. Dynamique de la matière organique à l'échelle d'un terroir agro-pastoral de savane ouest-africaine (Sud Sénégal). Sciences de l'environnement. Montpellier : Ecole National du Génie Rural des Eaux et Forêts. 191 pages.

MANLAY R., ICKOWICZ A., MASSE D., FLORETC., RICHARD D., FELLER C., 2004. Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget of a village of the West African savanna - I. Element pools and structure of a mixed-farming system. Agricultural Systems 79 (1) 55-81.

MANLAY, R.J., ICKOWICZ, A., MASSE, D., FELLER, C. & RICHARD, D., 2004. Spatial carbon, nitrogen and phosphorus budget of a village of the West African savanna - II. Element flows and functioning of a mixed-farming system. *Agricultural Systems* 79 (1) 83-107.

MBAKE Bamba., 2005. Mémoire DEA UCAD. Dakar

O'KEEFE J. et NADEL L., 1978. *The hippocampus as a cognitive map*. Oxford, U.K.: Oxford University Press.

PERROCHEAU Laëtitia., 2001. Détermination de paramètres quantitatifs, explicatifs du comportement spatial des troupeaux bovins en divagation (Sénégal). DESS PARC. 2001. 41 pages.

REYNOLDS Craig W., 1999. *Steering Behaviors For Autonomous Characters*. [en ligne]. Sony Computer Entertainment America. Disponible sur : < <http://www.red3d.com/cwr/steer/> >. (consulté le 27.05.2004).

RUSSEL Stuart., Norving Peter., 1995. *Artificial Intelligence, a modern approach*. Prentice Hall Series in Artificial Intelligence.

SATO Shusuke., 1982. Leadership during actual grazing in a small herd of cattle. *Applied Animal Ethology*. n°8. pages 53 à 65.

SCOTT C.B., PROVENZA F.D., BANNER R.E., 1995. Dietary habits and social interactions affect choice of feeding location by sheep. *Applied Animal Behaviour Sciences*. 1995. n°45. pages 225 à 237.

TOLMAN Edward C., 1948. Cognitive maps in rats and men. *The Psychological Review*. n°55(4). pages 189 à 208.

VEISSIER I., BOISSY A., NOWAK R., ORGUEUR P., POINDRON P., 1998. Ontogeny of social awareness in domestic herbivores. *Applied Animal Behaviour Sciences*. n° 57. pages 233 à 245.

VON UEXKÜLL Jakob. 1965., *Mondes animaux et monde humain*. Denoël éditions. Paris.

8. Annexe figures

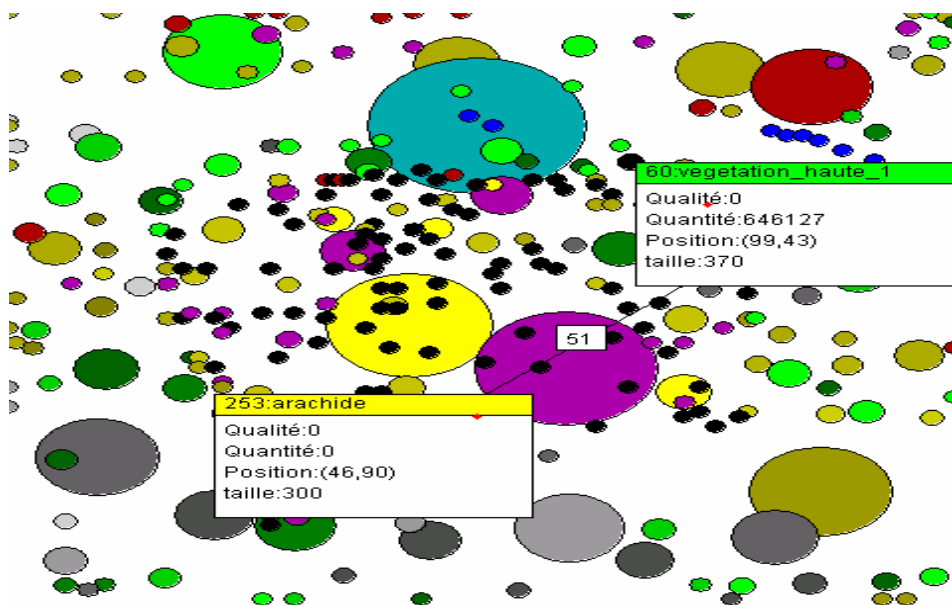


Figure 1 : Représentation graphique de l'environnement mental perçu par la vache

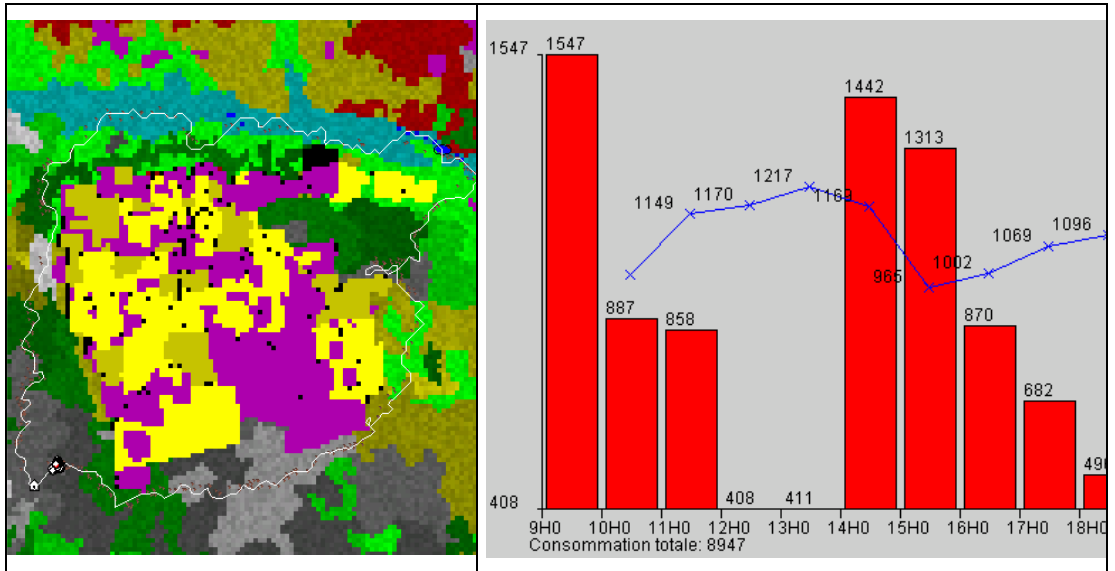


Figure 2 : Un parcours du troupeau sur l'image de gauche et à droite : des indicateurs de consommation/vitesse de déplacement. Sur ce dernier diagramme, la courbe bleue représente la vitesse en m/s et les rectangles comptabilisent les consommations de matière sèches en gramme pour un troupeau virtuel test de 3 individus.