

D'un modèle chorématique à un modèle de simulation : gestion des ressources ligneuses en zone soudano-sahélienne

Jean-Pierre Chery¹
Georges Smektala²

¹ École nationale du génie rural, des eaux et des forêts (Engref)
Unité mixte de recherche « Structures et systèmes spatiaux »,
Laboratoire commun Centre d'études du machinisme agricole, du génie rural, des eaux et forêts (Cemagref)-Engref,
500, avenue Jean-François Breton,
34000 Montpellier
<chery@teledetection.fr>

² École nationale du génie rural, des eaux et des forêts (Engref),
Foresterie rurale et tropicale,
Unité mixte de recherche Sagert,
BP 44494,
34093 Montpellier cedex 5
<smektala@engref.fr>

Résumé

La modélisation des configurations spatiales a comme intérêt la réalisation de diagnostics territoriaux et de simulations de l'évolution des territoires. Cette modélisation graphique, combinaison de chorèmes élémentaires, a été peu utilisée dans les processus de gestion intentionnelle des territoires et des ressources. Par ailleurs, la modélisation en Dynamique des systèmes permet d'explicitier les variables d'état et la structure qualitative du système territorial, et d'évaluer les relations afin de réaliser des simulations. La proposition originale de cet article est d'utiliser la modélisation graphique dans la phase de conceptualisation d'un modèle de simulation de la dynamique des ressources ligneuses, dans le cas d'un village du Nord-Cameroun. Les chorèmes, qui représentent les structures et les dynamiques spatiales, sont traduits en termes de Dynamique des systèmes. Cet article propose donc de passer d'une modélisation graphique par les chorèmes lors du diagnostic de la situation, à une modélisation systémique permettant d'explorer les évolutions possibles du territoire et des ressources dans une perspective de gestion.

Mots clés : Méthodes et outils ; Ressources naturelles et environnement

Abstract

From graphic modelling to simulation modelling. Wood resources management in Sudano-Sahelian zones

In North Cameroon, in the Kaélé and Gadas village regions, farmers use almost exclusively wood resources for cooking and building purposes. But clearing has led to the decrease of forest areas, and cutting increases in the bush. Forest laws set up Community forests in 1994 in order to improve management. This paper assesses the possibility of a link between graphic and system modelling. It deals with the improvement of forest area management in order to switch from *effective management* (the set of management actions the environment goes through) to *deliberate management* (the set of management actions which aims to resolve an environmental problem), by exploring the possible future worlds which local stakeholders could choose once they have been informed and after all the options and outcomes having been discussed. To attain this goal, the territory with resources and activities is considered as a dynamic system whose modelling requires a spatial approach. A system is an organised set of processes linked by interactions, coherent and flexible enough to be autonomous to some extent. The spatial system is defined as an organised entity which evolves in an environment under the influence of interactions between a social group and its territory. Village territories are analysed according to three points of view: existential, physical and organisational. The data of the spatial system is then combined into choremes of territory material properties, of territory natural properties and of territorial dynamics. The diagnosis is translated into a graphic model at the scale of the village and at the scale of the region. Graphic modelling, through the use of choremes, provides interesting possibilities to carry out the diagnosis of spatial configurations. Furthermore, system modelling with the formalism of System Dynamics enables us to clarify state variables and the qualitative structure of the territorial system explored. The formalism used combines graphics with rules and values for the simulation program. Since graphic modelling by way of choremes enables us to represent the structure of the system, by establishing a correspondence between elementary choremes and system dynamic modelling elements, it thus becomes possible to build a causal graph and to then simulate various scenarios. For example, as a part of such a graph, spatial

compartments are modelled as stocks of surface and stocks of wood, each with their own dynamics. The graphic models construction with choremes, prior to systemic modelling, enables us to define state variables and causal relations with explicit spatial characteristics in the conceptualization of the systemic model. The interest and limits of individual-based models, GIS, and various software are discussed. Considering the multifunctionality of space and the multiplicity of points of view of local stakeholders, the question of participatory modelling is raised. The management of wood resources to satisfy the needs of the population of North Cameroon requires one to take into account the spatial organisation of territories, the products of social organisation. Making the diagnosis through graphic modelling enables one to translate it directly into a conceptual model (a causal graph) and to a simulating model in order to evaluate the qualitative behaviour of the resources management model.

Keywords: Tools and methods; Natural resources and environment

La question du devenir conjoint des sociétés et de leurs ressources, des sociétés et de leur territoire peut être étudiée à plusieurs échelles spatiales. Cet article porte sur les ressources ligneuses à l'échelle d'un territoire exploité par une communauté humaine en zone de savane africaine : un village inséré dans son environnement régional. L'exemple choisi est celui du village de Gadas [1], région de Maroua, province de l'Extrême-Nord Cameroun (figure 1).

Les propositions méthodologiques présentées ici font suite à des travaux de terrain réalisés en partenariat avec le Pôle régional de recherche appliquée au développement des savanes d'Afrique centrale (Prasac), l'Institut de recherche agricole pour le développement (Irad) du Cameroun, et le Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad).

Au Nord-Cameroun, les ruraux vivent principalement de l'agriculture et exploitent le bois pour la cuisson et la construction. Or, sous l'effet de l'accroissement démographique et de l'évolution de la nature des besoins qui conduit à la recherche d'un revenu monétaire, les superficies exploitées par l'agriculture augmentent au détriment des espaces de brousse, alors que, dans le même temps, les prélèvements de bois s'intensifient. Dans de nombreux villages, la disponibilité ligneuse régresse.

Par ailleurs, le législateur a modifié les règles d'appropriation des produits forestiers et les modalités de gestion des espaces forestiers par la loi forestière de 1994 et son décret d'application de 1995, en instituant des « forêts communautaires » [2]. Cette réforme, déjà mise en œuvre au sud du pays, pourrait être appliquée au nord si la volonté de l'Administration

forestière camerounaise rencontrait celle des bailleurs de fonds. L'objectif est l'amélioration de la gestion des espaces forestiers, afin de passer d'une gestion effective¹ à une gestion intentionnelle² [3], à l'échelle locale et à l'échelle régionale. Si des outils organisationnels (comité de

gestion, marchés ruraux...) ou techniques (plan de gestion) sont proposés après une phase de diagnostic, leur mise en œuvre n'est pas exempte de difficultés, du fait de la multiplicité des enjeux et de la complexité des interactions entre les espaces concernés et les acteurs qui y agissent concrètement.

On cherche ici à apporter une aide à la compréhension de ces interactions, pour

¹ Ensemble des actes de gestion subis concrètement par un milieu.

² Ensemble des actions ayant pour but la résolution d'un problème d'environnement.

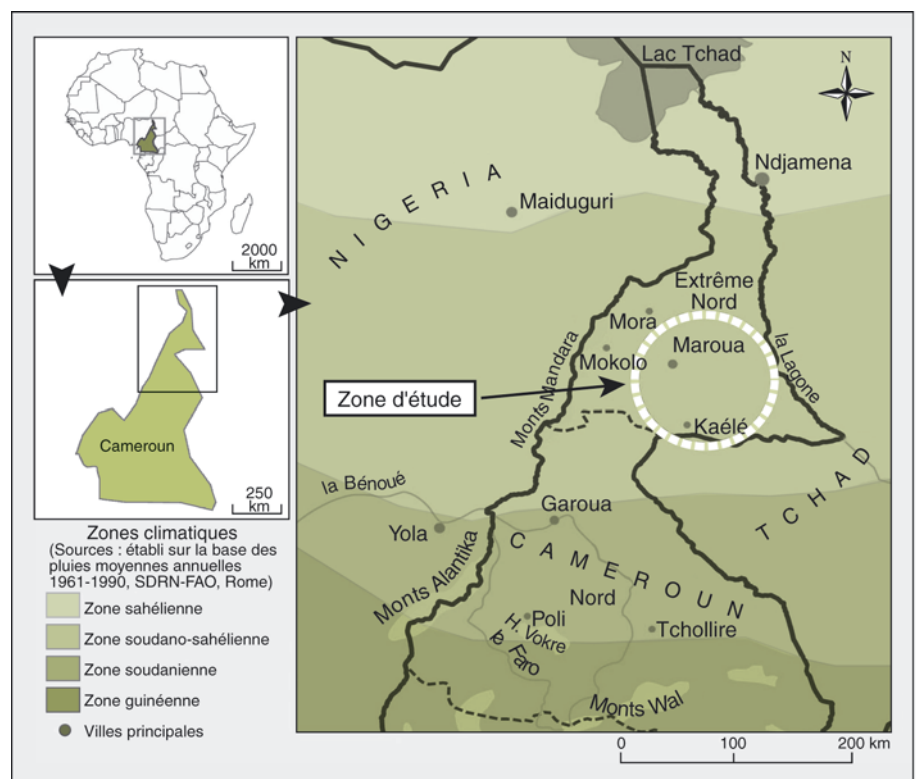


Figure 1. Carte de localisation de la zone d'étude [1].

Figure 1. Localization of the region of study [1].

l'exploration des mondes possibles vers lesquels pourrait se diriger la société locale, de façon intentionnelle, une fois informée et une fois débattues les options possibles [4, 5]. En l'occurrence, il s'agit de produire un système d'aide à la décision par la production et la diffusion d'informations auprès des acteurs du monde rural [6], afin d'examiner les évolutions possibles de la ressource forestière et de ses composantes, en relation avec des options de gestion qui constituent autant de façons différentes d'aménager le territoire.

Le territoire rassemble des ressources et des activités. Il est alors envisagé comme un système dynamique, dont la modélisation passe par une approche spatiale des phénomènes. C'est la possibilité de passage d'une modélisation graphique par les chorèmes³ lors du diagnostic⁴ de la situation, à une modélisation systémique permettant l'exploration des évolutions possibles du territoire et des ressources, qui est étudiée dans cette contribution (figure 2).

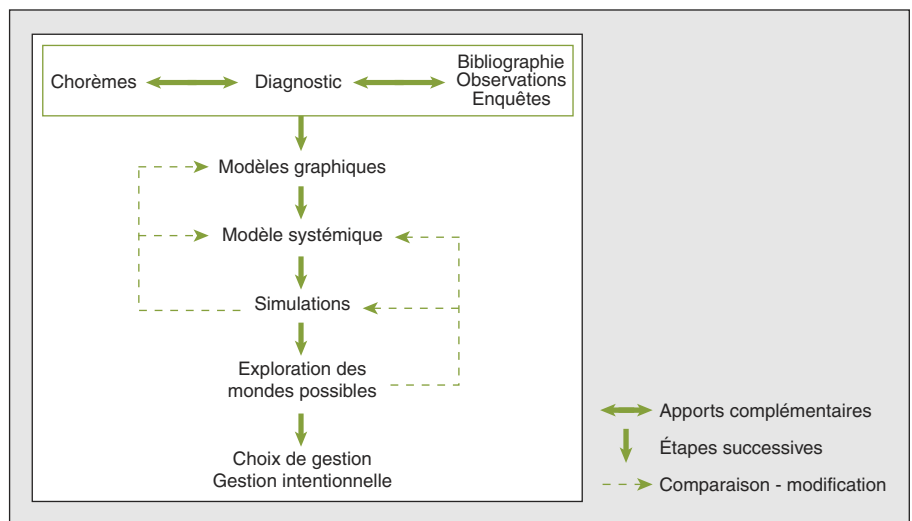


Figure 2. Schéma de la démarche méthodologique.

Figure 2. Diagram of the methodological workflow.

sont établies selon la configuration de l'espace naturel et aménagé. Le paysage participe à l'identité du territoire consi-

déré, par le décryptage que fait l'observateur de l'agencement des éléments naturels et aménagés de l'espace physique.

Le territoire comme système

Le Berre définit le territoire comme « la portion de la surface terrestre, appropriée par un groupe social pour assurer sa reproduction et la satisfaction de ses besoins vitaux » et l'analyse selon trois facettes : existentielle, physique, organisationnelle [7]. Ces trois facettes du territoire, avec leurs interactions, constituent le système territorial (figure 3) [8], qui entretient des échanges avec le monde extérieur (l'environnement du système). Il s'agit alors d'examiner les communautés villageoises du Nord-Cameroun selon cette grille.

Les relations entre l'organisation sociale et le territoire physique conduisent à une différenciation du territoire villageois en espaces spécialisés. Les relations entre le territoire physique et l'identité territoriale

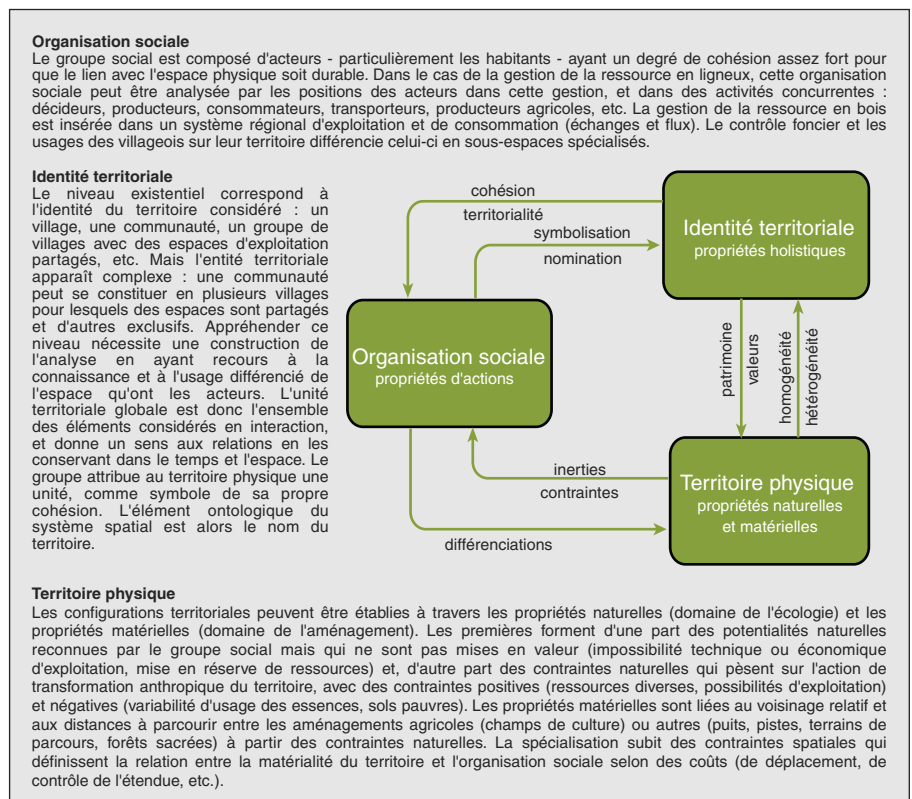


Figure 3. Le système territorial en trois facettes (d'après [8]).

Figure 3. The three sides of the territorial system (adapted from [8]).

³ Un chorème est une représentation schématique d'un phénomène spatial

⁴ Le diagnostic permet, à partir de la lecture des signes inscrits dans le territoire exploité et d'enquêtes auprès des acteurs, de faire des hypothèses sur l'état des ressources et sur les processus en cours qui modifient l'organisation du territoire.

Modélisation graphique par les chorèmes pour le diagnostic

Il est proposé ici d'utiliser cette grille d'analyse du territoire pour la construction d'un modèle graphique. La modélisation graphique est une méthode de représentation des organisations spatiales qui s'appuie sur la reconnaissance, le traitement et la composition de structures élémentaires de l'espace géographique ou chorèmes [9]. Les données du système spatial qui sont relevées, d'une part lors d'entretiens avec les acteurs locaux de la gestion effective des ressources, et d'autre part par l'observation, sont transcrites sous formes de chorèmes : chorèmes des propriétés matérielles du territoire, chorèmes de ses propriétés naturelles et chorèmes des dynamiques territoriales. La combinaison de ces chorèmes se fait par étapes et aboutit au modèle graphique du territoire. Cette démarche est appliquée au niveau d'organisation d'un village, et au niveau d'organisation de la région qui constitue l'environnement du système villageois.

Modèle graphique du territoire du village de Gadas

Le village de Gadas, situé au nord de la ville de Kaélé, constitue le territoire de référence pour le diagnostic retranscrit sous la forme d'un modèle graphique (figure 4). Les structures et dynamiques spatiales sont décrites sous la forme de chorèmes représentant des phénomènes marquant l'évolution territoriale des deux dernières décennies. Les propriétés naturelles et matérielles structurent l'espace en gradients, partitions et contraintes localisées. La dynamique d'extension de la surface cultivée, tendance générale liée aux besoins créés par la croissance démographique, est amplifiée par des investissements de villageois émigrés en ville, favorisant l'extension des champs de *mouskouari*⁵. La ressource ligneuse est l'objet d'une dynamique de prélèvements justifiant la pro-

⁵ Sorgho cultivé en saison sèche, particulièrement sur vertisols.

blématique de gestion abordée et ouvrant le système villageois aux dynamiques régionales.

Modèle graphique de la dynamique de la ressource ligneuse de l'espace régional

L'espace modélisé (figure 5) correspond à la région située au sud de Maroua, polarisée par cette ville peuplée de plus de 200 000 habitants à la fin des années 1990.

Les dynamiques régionales sont caractérisées par des fronts d'extension de l'exploitation des ligneux, marqués par l'armature urbaine qui localise les grands centres de consommation du bois. Ces fronts d'exploitation alimentent des flux de transport du bois vers ces centres [10]. Une différenciation spatiale de l'exploitation des ligneux apparaît alors. Elle est marquée par des conflits potentiels ou réels lorsque existe une compétition d'exploitation entre les locaux, qui revendiquent la propriété des ressources de ligneux sur leur territoire, et les extérieurs, qui exploitent ces ressources en accès libre pour répondre aux besoins des villes. Gadas est, par exemple, un territoire où le bois de feu est exploité par les villageois, et par les habitants de Kaélé, ville distante de moins de dix kilomètres [1].

Des modèles graphiques au modèle systémique

Brunet souligne qu'« il y a lieu de réfléchir aux actions et aux relations d'ordre général, même de nature apparemment « a-spatiale », qui sont susceptibles de déterminer les différences dans l'espace, et de faire système – tout en gardant à l'esprit leurs implications spatiales possibles » [11]. Cette position nous amène à enrichir une démarche de modélisation pour la simulation de la gestion des ressources ligneuses en Dynamique des systèmes, par la modélisation graphique qui identifie les structures et les dynamiques spatiales.

Forrester, concepteur de la Dynamique des systèmes, la définit comme un « mode d'étude du comportement (...), permettant de montrer comment des politiques, des décisions, des structures et des délais

sont en interrelation pour influencer la croissance et la stabilité » [12]. Cette méthode associe représentations graphiques et définitions de variables, règles et valeurs qui alimentent le programme de simulation. Elle passe par l'élaboration d'un graphe causal où figurent les relations de causalité de l'évolution dans le temps des éléments du système et de ses dynamiques internes et externes. Y apparaissent notamment des boucles de rétroaction à l'origine de phénomènes contre-intuitifs que la simulation permet ensuite de mettre en évidence. Ce graphe est transformé en diagramme stock-flux lui-même implémenté en langage informatique grâce à une interface graphique (tableau 1, page 534). Les fonctions et valeurs impliquées dans les règles (ou relations) sont alors définies par l'utilisateur, avant la phase de simulation et selon le choix d'un scénario [13]. Différentes plates-formes logicielles permettent d'implémenter le modèle pour effectuer des simulations informatiques, en s'inspirant du langage forresterien Dynamo. On citera par exemple les logiciels Stella d'Isee Systems, Vensim de Ventana Systems Inc., du domaine commercial, et Simile développé par l'*Institute of Ecology and Resource Management*, de l'université d'Edimbourg [14, 15].

Du graphe causal ...

À partir des éléments fonctionnels du graphe causal établi lors de la modélisation systémique d'un autre territoire villageois du Nord-Cameroun [16], nous établissons un graphe causal complété par les connaissances spatiales mobilisées dans la modélisation graphique (figure 6, page 535). La correspondance faite ici entre les chorèmes retenus et des éléments de la modélisation de la Dynamique des systèmes (tableau 2, page 536) conduit à considérer le modèle graphique comme une aide à la construction du modèle systémique.

Sur le plan de la structure, la modélisation graphique donne :

- les compartiments de l'espace et leurs propriétés (naturelles ou matérielles), à la fois supports d'activités et objets d'aménagements ; ils sont alors définis comme des stocks ;
- les acteurs impliqués, par les processus explicites (front de défrichement, types d'exploitations forestières, flux de matière ou de capitaux, etc.).

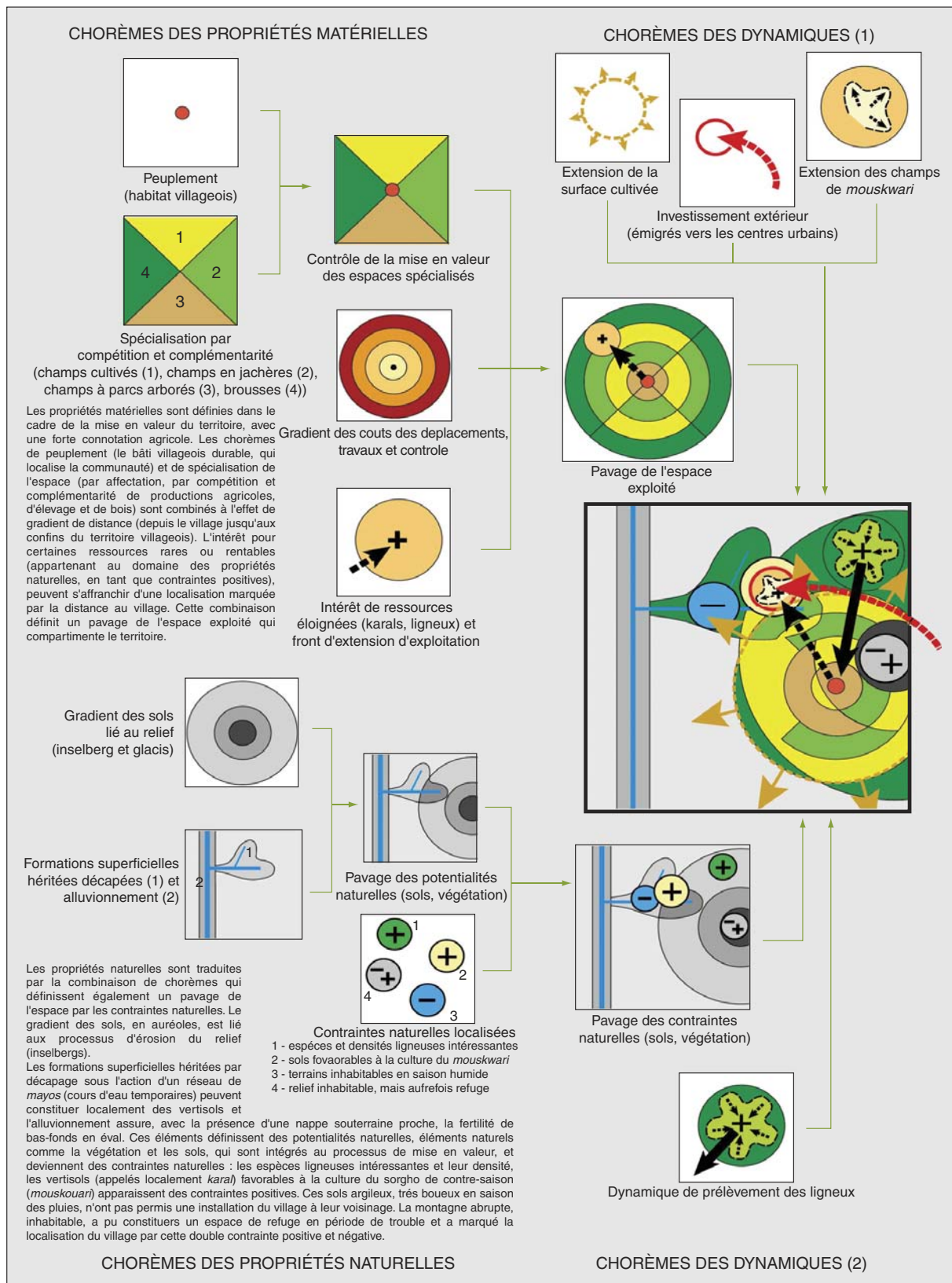


Figure 4. Modélisation graphique du territoire et des ressources ligneuses d'un village du Nord-Cameroun.

Figure 4. Graphic model of the territory and woody resources of a village in North-Cameroun.

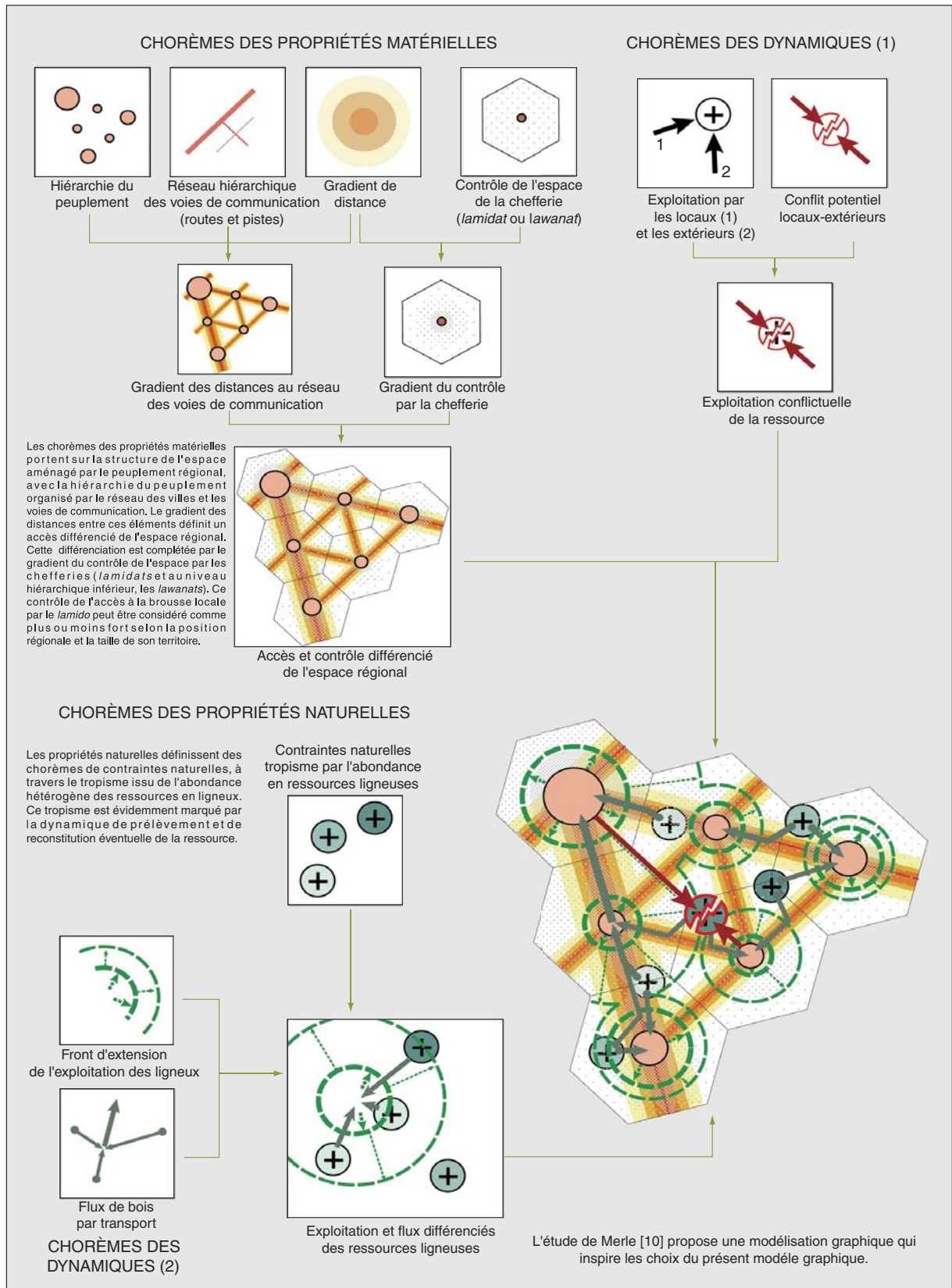




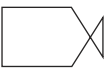















Figure 5. Modélisation graphique d'un espace régional au Nord Cameroun et de la dynamique de la ressource en ligneux.

Figure 5. Graphic model of a North Cameroonese regional area and of woody resources dynamics.

Tableau 1. Le langage graphique de J.W. Forrester et sa transcription dans un logiciel de modélisation en dynamique des systèmes (Stella) [13]

Table 1. The graphic language of J.W. Forrester and its transcription in a system dynamic modelling software (Stella) [13]

Nom	Symboles des diagrammes de Forrester	Symboles des diagrammes dans le logiciel STELLA	Définition
Nuage			Représente une source ou un puit. Il peut être interprété comme un niveau sans intérêt et pratiquement inépuisable ou insaturable
Niveau ou stock			Représente une accumulation de flux : la variable d'état
Flux			Variable d'un niveau. Il représente un changement dans l'état du système
Canal de matériel			Canal de transmission d'une grandeur physique qui se conserve
Canal d'information			Canal de transmission d'une certaine information qu'il n'est pas nécessaire de conserver
Variable auxiliaire			Une quantité d'une certaine signification physique dans le monde réel et avec un temps de réponse instantané
Constante			Un élément du modèle qui ne change pas de valeur
Retard			Un élément qui simule des retards dans la transmission de l'information ou du matériel
Variable exogène			Variable dont l'évolution est indépendante de celles du reste du système. Elle représente une action de l'environnement sur le système

Sur le plan des relations entre les éléments du système, elle met en lumière :

- les relations topologiques (distances, proximité, inclusion d'un réseau de communication) qui impliquent des contraintes (positives ou négatives) d'exploitation ou d'aménagement ;
- les actions par des acteurs qui modifient les caractéristiques des compartiments de l'espace (extension/diminution de surface, capitalisation-décapitalisation des stocks de bois) ;
- l'influence différenciée des acteurs sur les conditions sociales de l'exploitation des ressources (droit d'accès à la ressource et contrôle de l'exploitation) ;
- les tensions effectives ou potentielles entre acteurs pour l'exploitation des res-

sources sur certaines portions de l'espace.

... au diagramme stocks-flux

L'étude des systèmes de production [17] montre que trois activités principales s'exercent sur l'espace :

- l'agriculture, dans laquelle on peut distinguer plusieurs systèmes de cultures occupant des portions différentes de l'espace (champs de case, deuxième auréole, bas-fonds, champs de *mouskouari*) ;
- l'élevage, exploitant diverses portions du territoire (brousses, champs après récolte) ;

– l'exploitation du bois de feu et du bois de service, à usage domestique ou commercial.

Ces activités, conditionnées par les contraintes naturelles et matérielles de l'espace, conduisent à une spécialisation de celui-ci, traduite en compartiments dans le modèle. Ces compartiments ont du sens pour les acteurs puisqu'ils leur donnent généralement un nom dans la toponomie (*potokchien, zakoué, badouaké*, etc.) ou dans les catégories d'analyse locales. Des couples compartiments de « l'espace-produit » sont alors définis.

À chacun de ces couples peuvent être associées :

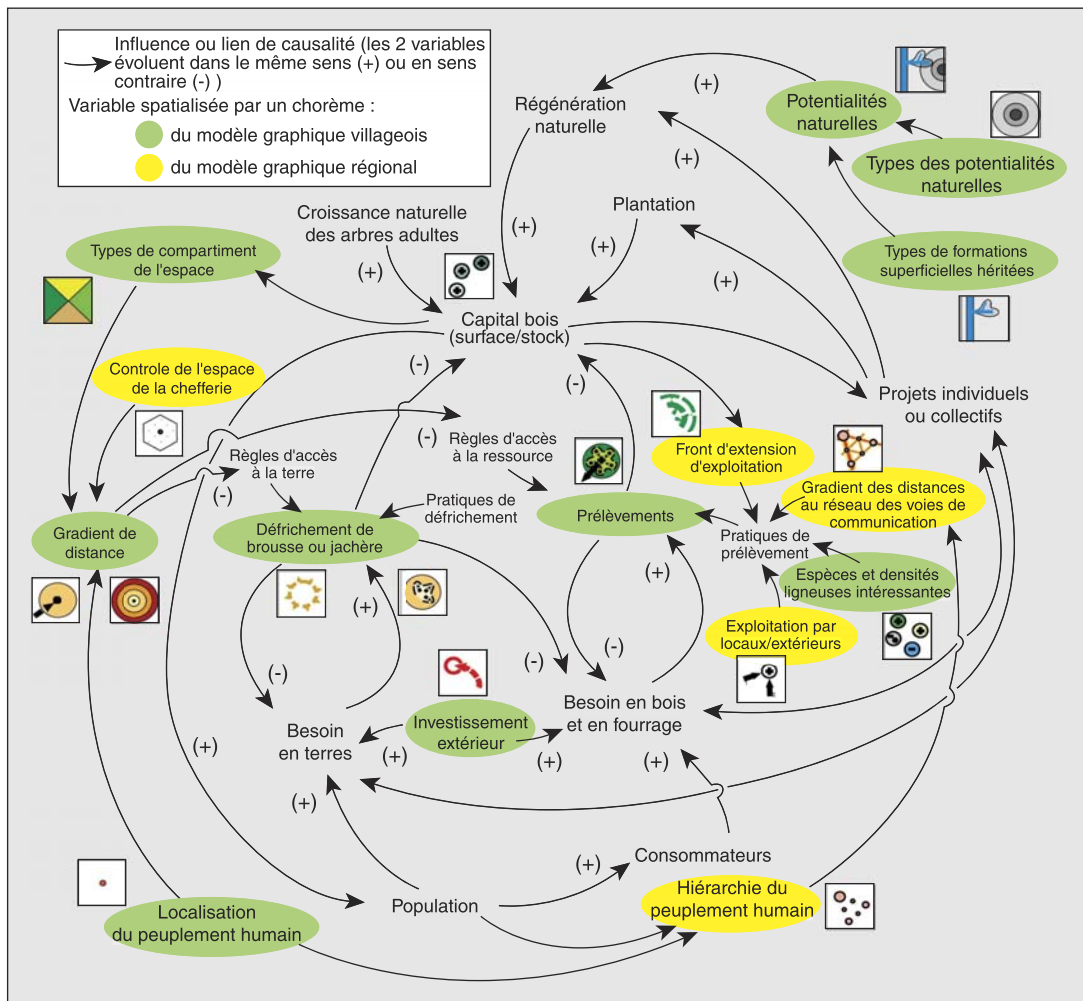


Figure 6. Graphe causal du système des ressources ligneuses, complété par les éléments issus des modèles chorématiques.

Figure 6. Causal graph of the wood resources system, supplemented with spatial choremes output by graphic models.

– d’une part, une dynamique spatiale du compartiment de l’espace considéré (dynamique à causes externes) ;
 – d’autre part, des variables caractérisant la production et la productivité (dynamique interne) de la ressource (capacité fourragère, tarif de biomasse ou de productivité pour les ligneux, rendement moyen pour les cultures).

Il est alors possible de modéliser chacun de ces compartiments sous la forme d’un couple de deux stocks. Nous nous limitons ici à un exemple, celui de la relation entre la surface d’une zone particulière et son stock de bois sur pied (figure 7, page 537).

Le stock de surface peut s’étendre ou se contracter, sous l’effet des actions humaines qui conduisent à un changement d’occupation du sol (défrichement et mise en culture, avec ou sans conservation d’arbres pour la création d’un parc arboré,

abandon de la culture, plantation d’arbres). Le stock de bois est l’objet de la dynamique naturelle des formations végétales (capitalisation due à la croissance du bois sur pied) et de prélèvements par la population locale ou par des extérieurs) pour des besoins domestiques ou commerciaux. Certains stocks et productions ont été évalués [18, 19].

Discussion

La Dynamique des systèmes, par construction, prend bien en compte la dimension temporelle des phénomènes [12, 13]. L’élaboration de modèles graphiques par la démarche chorématique, avant la modélisation systémique, permet de définir des variables d’état et des relations

causales avec des caractéristiques spatiales explicites. Cela conduit à mieux prendre en compte la structure spatiale dans la conceptualisation du modèle systémique. L’intérêt d’un modèle systémique étant de permettre des simulations à travers son implémentation informatique, il faut donc s’interroger sur la capacité de ces outils de modélisation à conserver ces avancées en matière de spatialisation du système, laquelle peut être envisagée sous deux formes ; d’une part, le pavage de l’espace en compartiments permet de leur affecter des attributs spatiaux (étendue, distance, proximité, etc.) et, d’autre part, certaines plates-formes de modélisation proposent des interfaces de représentation spatiale sous forme de grilles de cellules [14, 20]. Ces plates-formes permettent donc l’implémentation de caractéristiques spatiales, mais ne fournissent pas de méthode de conceptualisation du rôle de

Tableau 2. Structures et dynamiques du territoire villageois en chorèmes et éléments de dynamique des systèmes

Table 2. Structure and dynamics of the village territory, in choremes and system dynamic components

Chorème ou combinaison de chorèmes	icône du chorème	Elément du modèle selon le formalisme de la Dynamique des systèmes	Symbole graphique ou combinaison de symboles graphiques forrestériens des diagrammes dans Stella
Les propriétés matérielles et naturelles			
Peuplement (habitat villageois)		Stocks de population (nombre d'habitants)	
Spécialisation des espaces		Stocks de surfaces (ha)	
Contrôle de la mise en valeur des espaces spécialisés		Connecteur entre la population et les espaces spécialisés	
Gradient des coûts de déplacement, travaux et contrôle		Fonction : coût = f (distance)	
Intérêt de ressources éloignées et front d'extension d'exploitation		Paramètre	
Pavage de l'espace exploité		Différents stocks de surfaces (ha)	
Gradient des sols lié au relief		Paramètre (plusieurs modalités qui correspondent aux types de sols)	
Formations superficielles héritées		Paramètre du décapage ou de l'alluvionnement	
Pavage des potentialités naturelles		Combinaison de paramètres	
Contraintes naturelles localisées		Paramètres	
Pavage des contraintes naturelles		Paramètres	
Les dynamiques			
Extension de la surface cultivée		Flux d'accroissement du stock de surface cultivée (ha/unité de temps)	
Investissement extérieur		Paramètre	
Extension des champs de muskouari		Flux d'accroissement du stock de champs de muskouari	
Dynamique de prélèvement des ligneux		Connecteur qui influe sur le flux de sortie du stock de ligneux	

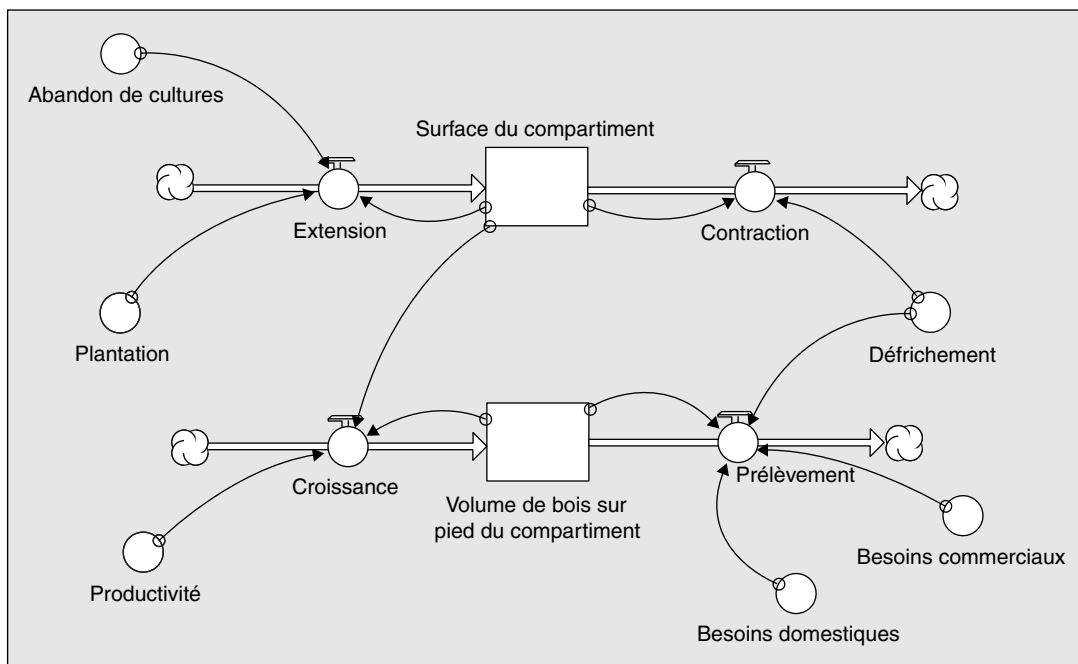


Figure 7. Exemple d'un couple de stocks d'un compartiment spatial de ressource en ligneux.

Figure 7. Example of a pair of stocks in a spatial woody resources compartment.

l'espace dans le système modélisé, ce que permet la modélisation chorématique. La liaison avec un système d'information géographique, quant à elle, permet de fournir des éléments quantifiés pour le modèle de simulation [21], mais n'est pas une aide directe à sa conceptualisation. L'étude de cas présentée ici a permis de mettre ainsi en évidence l'intérêt du couplage des deux méthodes. Cependant, l'utilisation de deux méthodes de modélisation alourdit la démarche et augmente les difficultés d'appropriation par les acteurs. La multifonctionnalité de l'espace et la multiplicité des représentations qu'en ont les acteurs posent le problème de ce couplage dans la perspective d'une modélisation participative, reconnue aujourd'hui comme utile à la gestion des ressources [22].

Une comparaison avec des méthodes de modélisation « individus-centrées » incluant des paramètres spatiaux, comme les systèmes multiagent spatialisés (SMAS) reste à faire, mais déborderait du cadre de cette courte discussion. On signalera simplement leur intérêt comme modélisation d'accompagnement dans la gestion des ressources [23] et les difficultés d'interprétation des résultats des simulations nécessitant un grand nombre de répétitions pour connaître les lois d'évolution globale du système. Une étude sur l'intérêt d'un modèle agrégé pour étudier

le comportement et simplifier la simulation d'un modèle de consommation « individus-centré », couplée à un modèle de ressources en eau, montre que le premier modèle donne les mêmes résultats que le second, mais pas pour toutes les valeurs des paramètres initiaux, et que le choix d'un type de modèle doit tenir compte du temps de calcul nécessaire et de la facilité d'appropriation de la démarche de modélisation par les acteurs [24].

Conclusion

La gestion des ressources ligneuses pour satisfaire les besoins des populations du Nord-Cameroun nécessite la prise en compte de l'organisation spatiale des territoires, produit de l'organisation sociale. Ces territoires considérés comme des systèmes spatiaux peuvent être analysés selon trois points de vue qui permettent de formaliser leurs structures à l'échelle locale et à l'échelle régionale. L'intérêt d'accompagner le diagnostic avec la modélisation graphique se situe dans la traduction possible et directe, d'une part en un modèle conceptuel, et, d'autre part, en un modèle de simulation qui devrait permettre d'évaluer le comportement qualitatif du système de gestion de la

ressource. Ce comportement qualitatif est considéré dans ses dimensions spatiales (hétérogénéité du territoire) et temporelles. Le couplage de la modélisation chorématique à la modélisation systémique semble pertinent pour examiner le problème à plusieurs échelles : locale (gestion des ressources sur le territoire d'une communauté) et régionale (organisation de la filière bois de feu).

Dans le cadre de la problématique de la gestion des ressources ligneuses au Nord-Cameroun, le travail de simulation qui reste à conduire concerne l'estimation de la production et de la disponibilité ligneuses et leur comparaison avec les besoins des populations. Plusieurs scénarios d'extension des zones de cultures au détriment de la brousse, combinés avec des options techniques de production alternatives (plantations, agroforesterie) et des options de régulations de l'accès aux ressources pourraient être testés. ■

Références

1. École nationale du génie rural, des eaux et forêts (Engref). *Gestion des ligneux dans la région de Gadas (Cameroun). Voyage d'étude de la formation « Foresterie rurale et tropicale »*. Montpellier : Engref ; Institut de recherche agricole pour le développement (Irad) ; Pôle régional de recherche appliquée au développement des savanes d'Afrique centrale (Prasac), 2001 : 37 p. + annexes.

2. Gautier D, Smektala G, Njiemoun A. Règles d'accès à la ressource ligneuse pour les populations rurales du Nord-Cameroun. Perspectives de la nouvelle loi forestière de 1994. In : Jamin JY, Seiny Boukar L, eds. *Actes du colloque, « Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis », Maroua, 27-31 mai 2002*. Maroua (Cameroun) ; N'Djamena (Tchad) : Prasac, 2002 : 9 p. (cédérom).
3. Mermet L. Dans quel sens pouvons-nous gérer l'environnement? Gérer et comprendre. *Annales des Mines* : 1991 : 68-81.
4. Callon M, Lascoumes P, Barthe Y. *Agir dans un monde incertain*. Essai sur la démocratie technique. Paris : Seuil, 2001 ; 356 p.
5. Mermet L, Poux X. Pour une recherche prospective en environnement. Repères théoriques et méthodologiques *Nature Sciences et Sociétés* 2002 ; 10 : 7-15.
6. Caron P. Zonages à dire d'acteurs : des représentations spatiales pour comprendre, formaliser et décider. Le cas de Juazeiro, au Brésil. In : Lardon S, Maurel P, Piveteau V, eds. *Représentations spatiales et développement territorial*. Paris : Hermes Science Publications, 2001 : p. 343-57.
7. Le Berre M. Territoires. In : *Encyclopédie de la Géographie*. Paris : Economica, 1992 : 635-56.
8. Chery JP. *Modélisation d'un système spatial en zone frontalière franco-suisse : adéquation de la Dynamique de Système aux problèmes de la différenciation spatiale*. Thèse doctorat, Grenoble, Institut de géographie alpine (IGA), université Joseph Fourier, 1998, 315 p.
9. Brunet R. La composition des modèles dans l'analyse spatiale. *L'Espace Géographique* 1980 ; 4 : 237-63.
10. Merle C. *Organisation spatiale de l'exploitation des brousses dans le sud de Maroua, (Extrême-Nord Cameroun)*. Mémoire DEA géographie, université Montpellier 3, 2002, 109 p.
11. Brunet R, Dollfus O. *Mondes nouveaux*. Coll. Géographie Universelle. Paris ; Montpellier : Hachette ; Reclus. 1990 ; 551 p.
12. Forrester JW. *Industrial Dynamics*. Cambridge (États-Unis) : MIT Press, 1961 ; 464 p.
13. Aracil J. *Introduction à la Dynamique des systèmes*. Lyon : Presses universitaires de Lyon, 1986 ; 414 p.
14. Muetzefeldt R, Massheder J. The Simile visual modelling environment. *Europ J Agronomy* 2003 ; 18 : 345-58.
15. Haggith M, Muetzefeldt R, Taylor J. Modelling decision-making in rural communities at the forest margin. *Small-scale Forest Economics, Management and Policy* 2003 ; 2 : 241-58.
16. Edjolo A, Smektala G, Chery JP, Peltier R. *Modélisation systémique de la dynamique de la ressource arborée en zone soudano-sahélienne. Le cas du territoire villageois de Mafa Kilda, Nord-Cameroun*. Actes du colloque « Organisation spatiale et gestion des ressources et des territoires ruraux », SAGERT, Montpellier, 25-27 février 2003. Montpellier : Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (Cirad) ; Ecole nationale du génie rural, des eaux et forêts (Engref) ; Centre national d'études agronomiques des régions chaudes (Cnearc), 2003 : 549-56.
17. École nationale du génie rural, des eaux et forêts (Engref). *Étude de la gestion des ressources ligneuses dans le village de Gadas (Cameroun) : de l'accès libre au bois vers une difficile régulation des prélèvements. Voyage d'étude de la formation « Foresterie rurale et tropicale »*. Montpellier. Engref ; Institut de recherche agricole pour le développement (Irard) ; Pôle régional de recherche appliquée au développement des savanes d'Afrique centrale ((Prasac)), 2000 : 50 p. + annexes.
18. Smektala G, Hautdidier B, Gautier D, Peltier R, Njiemoun A, Tapsou ? Prénom. Construction de tarifs de biomasse pour l'évaluation de la disponibilité ligneuse en zone de savanes au Nord-Cameroun. In : Jamin JY, Seiny Boukar L, eds. *Actes du colloque « Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis » Maroua, 27-31 mai 2002*. Maroua (Cameroun) ; N'Djamena (Tchad) : Prasac, 2002 : 10 p. (cédérom).
19. Manlay R, Peltier R. N'Toupka M, Gautier D. Bilan des ressources arborées d'un village de savane soudanienne au Nord-Cameroun en vue d'une gestion durable. In: Jamin JY, Seiny Boukar L, eds. *Actes du colloque « Savanes africaines : des espaces en mutation, des acteurs face à de nouveaux défis », Maroua, 27-31 mai 2002*. Maroua (Cameroun) ; N'Djamena (Tchad) : Prasac, 2002 : 15 p. (cédérom).
20. Voinov A, Voinov H, Costanza R. Surface water flow in landscape models : 2. Patuxent watershed case study. *Ecological Modelling* 1999 ; 119 : 211-30.
21. Legg C. CAMFLORES: a flores-type model for the humid forest margin in Cameroon. *Small-scale Forest Economics, Management and Policy* 2003 ; 2 : 211-24.
22. Sayer JA, Campbell B. Research to integrate productivity enhancement, environmental protection, and human development. *Conservation Ecology* 2001 ; 5 : 32. <http://www.consecol.org/vol5/iss2/art32> (consulté le 23/09/2004)
23. Etienne M. SYLVOPAST : a multiple target role-playing game to assess negotiation processes in sylvopastoral management planning. *J Artificial Societies and Social Simulation* 2003 ; 2. <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/6/2/5.html> (consulté le 23/09/2004)
24. Edwards M. *L'intérêt d'un modèle agrégé pour étudier le comportement et simplifier la simulation d'un modèle individu-centré de consommation couplé à un modèle de ressource en eau*. Thèse doctorat, université Paris 6-Pierre et Marie Curie, Paris, 2004, 275 p.