



Universiteit
Leiden
The Netherlands

SMALL Savannah : an information system for the integrated analysis of land use change in the Far North of Cameroon

Fotsing, E.

Citation

Fotsing, E. (2009, December 8). *SMALL Savannah : an information system for the integrated analysis of land use change in the Far North of Cameroon*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/14619>

Version: Not Applicable (or Unknown)

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/14619>

Note: To cite this publication please use the final published version (if applicable).

Résumé de la thèse

Problématique et objectif de l'étude

Les systèmes d'utilisation de l'espace comme la plupart des systèmes environnementaux sont très complexes. Cette complexité provient des dynamiques spatio-temporelles, du nombre important d'interactions entre ses composantes et de l'imbrication des échelles auxquelles opèrent les processus. La compréhension de ces liens interactifs et dynamiques est une priorité pour le développement durable des communautés rurales dans la mesure où elle constitue un préalable pour la mise en œuvre d'outils de gestion et d'aide à la décision. Au sein de la communauté scientifique qui étudie les changements environnementaux, il y a une prise de conscience croissante de la nécessité d'adopter des approches plus intégrées et d'élaborer des outils adaptés pour analyser les changements l'utilisation de l'espace et les facteurs déterminants d'ordre biophysique, socioéconomique et politique. Avec l'importance prise par les problèmes environnementaux ces dernières décennies, on a ainsi assisté à la mise en place de nombreux projets internationaux visant à constituer des Systèmes d'Information (SI) pour répondre aux besoins d'analyse et de suivi des phénomènes dans différents secteurs où l'information est au cœur des processus de décision. Toutefois, les méthodes de développement de Système d'Information conçues pour des applications plus simples ne sont pas adaptées pour répondre aux particularités des Systèmes d'Information sur l'Environnement (SIE). L'Extrême Nord du Cameroun est un exemple de région de savanes d'Afrique centrale où on a observé de nombreuses transformations des paysages agraires impulsées par la forte pression démographique et l'importance des mobilités humaine et animale. Ces dynamiques ont conduit dans plusieurs cas à une saturation foncière et à une compétition plus accrue entre les formes d'utilisation de l'espace et des conflits entre utilisateurs. Un enjeu majeur du développement dans ce contexte c'est d'identifier les stratégies que les acteurs impliqués dans la gestion du système d'utilisation de l'espace devront mettre en place pour éviter de basculer dans une spirale de dégradation des ressources et de pauvreté.

La présente thèse a pour objectif de spécifier et le développer SMALL Savannah, un exemple de Système d'Information sur l'Environnement conçu pour l'analyse intégrée de ces dynamiques, en vue de l'exploration des trajectoires d'évolution des changements dans un avenir proche. Les objectifs spécifiques de ce SIE sont : 1) caractériser à différentes échelles, les grandes dynamiques agraires survenues au cours des dernières décennies ; 2) explorer les facteurs déterminants potentiels et identifier les relations avec la structure et les changements d'utilisation de l'espace ; et 3) simuler les dynamiques d'utilisation de l'espace en vue d'explorer les scénarios d'évolution future. Cette thèse devrait à travers cette étude de cas, contribuer à la définition et à la spécification de la structure des SIE que nous considérons comme une étape préalable à la proposition de toute méthode de conception adaptée (**chapitre 1**).

Approche et méthodologie de l'étude

La complexité des systèmes d'utilisation de l'espace exige de recourir à des méthodes d'analyse adaptées pour comprendre les processus qui y opèrent. Les approches et modèles le plus souvent utilisés pour analyser l'utilisation de l'espace sont influencées par les traditions disciplinaires et ne fournissent pas une compréhension complète du système. La démarche proposée dans cette thèse pour atteindre les objectifs fixés ci-dessus, est une démarche interdisciplinaire qui s'articule autour des approches d'analyse spatiale, d'analyse systémique et de modélisation dynamique pour mieux appréhender les caractéristiques clés et la nature complexe du système agraire. La théorie des systèmes fournit des concepts appropriés pour caractériser la structure des systèmes agraires et représenter leur dynamique. Les approches d'analyse spatiale et systémique sont utilisées pour intégrer les connaissances spatiales avec celles fournies par les approches classiques partant d'enquêtes socio-économiques et historiques où l'accent est mis sur les relations entre acteurs et utilisation de l'espace au niveau local. La modélisation intégrée et la simulation des dynamiques d'utilisation de l'espace sont proposées comme une approche scientifique appropriée pour mieux comprendre le fonctionnement de ces systèmes et explorer les trajectoires d'évolution des changements d'utilisation de l'espace (**chapitre 2**).

Les données nécessaires pour représenter ces phénomènes environnementaux sont très hétérogènes et exigent de recourir à une diversité d'outils logiciels et de modèles pour le stockage, le traitement et l'analyse. Les changements d'utilisation de l'espace à l'échelle régionale ont été étudiés en combinant les observations directes, la télédétection et les SIG pour mieux comprendre l'organisation des paysages et suivre leur évolution. Les outils d'analyse statistique ont été utiles pour identifier les principaux facteurs déterminants les changements d'utilisation de l'espace en s'appuyant sur les tendances actuelles et la comparaison de séries de données. Les plateformes de modélisation et simulation sont utilisées pour explorer les trajectoires des changements d'utilisation de l'espace et fournir ainsi des informations utiles à la prise de décision (**chapitre 3**).

Le Système d'Information sur l'Environnement développé dans cette thèse repose sur un dispositif qui prend en compte l'effet des changements d'échelle et l'articulation entre les différentes échelles d'observation ou d'analyse. En effet, l'identification des niveaux appropriés d'analyse et de représentation des données, ainsi que le développement d'approches multi-échelle et surtout multi-niveau d'organisation sont de plus en plus déterminants dans les études sur les écosystèmes. Le dispositif multi-échelle proposé met en exergue les différents niveaux d'analyse et les problématiques dominantes. Les relations entre données disponibles et échelles d'observation sont ensuite abordées. Les besoins de changement d'échelle ou d'articulation entre différents niveaux d'analyse ont été formulés et quelques méthodes appropriées à ces opérations ont été décrites (**chapitre 4**). La démarche de développement du SIE SMALL Savannah couvre les trois principales phases d'une méthode classique de développement d'un SI à savoir l'analyse préalable du système réel, la conception du système d'information organisationnelle et informatisée, et la mise en œuvre des applications.

Analyse préalable du système d'utilisation de l'espace et conception du SIE

La zone d'étude est une région de l'Extrême Nord du Cameroun, en zone des savanes d'Afrique centrale dont le système d'utilisation de l'espace est caractérisé par des fortes densités de population, une diversité du peuplement, d'importants flux migratoires et une grande prédominance des activités agricoles et pastorales. On a observé au cours des deux dernières décennies d'importantes mutations dans les systèmes de mise en valeur de l'espace de cette région. L'état des lieux effectué au **chapitre 5** montre que la pression démographique a contribué au développement d'un système de mise en valeur extensif, conduisant à une saturation progressive de l'espace dans plusieurs terroirs. Ces dynamiques ont également conduit à une compétition importante entre les formes d'utilisation de l'espace et aux conflits entre les différents acteurs. La réponse la plus couramment observée face à cette situation est le déplacement des populations vers des zones plus productives confirmant l'hypothèse d'une trajectoire de type malthusienne. La relative stabilité observée dans plusieurs cas traduit la résilience de l'écosystème naturel de ces régions de savanes. Toutefois, quelques signes d'intensification au sens de Boserup sont perceptibles mais la véritable transition agraire reste attendue. Les hypothèses formulées sur la base de ces observations considèrent que les trajectoires futures vont principalement dépendre des investissements que les acteurs locaux et urbains vont consentir pour la gestion et l'aménagement de l'espace.

Le système d'information SMALL Savannah est donc conçu dans ce contexte pour analyser ces dynamiques d'utilisation de l'espace et explorer les scénarios d'évolution future. SMALL Savannah est un ensemble de concepts, méthodes, outils et données permettant de caractériser la structure et explorer les dynamiques du système d'utilisation de l'espace, en référence aux problèmes environnementaux et de développement auxquels font face les communautés rurales de la zone d'étude. C'est un exemple de SIE qui intègre 1) un module d'observation et d'analyse spatiale qui repose sur un SIG et permet la représentation des phénomènes à partir des données géographiques de sources variées, 2) un module de diagnostic qui s'appuie sur la synthèse des informations de sources variées pour caractériser la structure et le fonctionnement du système agraire, 3) un module de prédiction qui repose sur un logiciel d'analyse statistique et permet d'expliquer la structure et les dynamiques d'utilisation de l'espace, et 4) un module de modélisation dynamique et de simulation qui permet d'explorer les trajectoires des changements d'utilisation de l'espace en vue d'une gestion

durable (**chapitre 6**). Les quatre derniers chapitres de cette thèse (troisième partie) sont consacrés à quatre exemples d'application qui illustrent plus ou moins la mise en œuvre de chacun de ces modules.

Mise en œuvre du SIE SMALL Savannah

L'analyse spatiale de l'extension récente de la culture du sorgho de contre saison présentée au **chapitre 7**, est une application qui illustre le processus de saturation foncière qui est en cours dans la région. Le sorgho de contre saison est une culture vivrière qui joue un rôle important dans le maintien de la sécurité alimentaire en zone des savanes de l'Extrême Nord du Cameroun. Au cours des deux dernières décennies, on a observé un intérêt croissant des producteurs pour cette culture qui a conduit à la mise en place d'un système extensif avec des conséquences remarquables sur la gestion durable du système d'utilisation de l'espace. Le Système d'Information SMALL Savannah est utilisé comme cadre conceptuel et outil pour analyser les causes et les conséquences de cette dynamique. Les résultats issus de cette application indiquent que la culture a renforcé sa place dans les zones de production traditionnelles et a connu une extension vers de nouvelles zones où la culture n'était pas pratiquée autrefois. Cette extension a été possible grâce aux conditions favorables du milieu physique et une forte demande impulsée par un contexte où la sécurité alimentaire demeure incertaine. Les défrichements importants et la réduction de la jachère ont conduit à une destruction importante du potentiel ligneux, une dégradation des sols, et une réduction de la disponibilité des pâturages. Il s'est développé autour de la production et de la commercialisation du sorgho repiqué une généralisation de la rente foncière et de la spéculation. Les stratégies des acteurs face à ces mutations diffèrent en fonction du contexte local, mais la réponse la plus observée reste principalement dominée par des pratiques extensives et une logique de satisfaction des besoins alimentaires. Toutefois, les signes d'intensification et de passage à une culture de rente sont perceptibles et se traduisent par une complémentarité avec le système d'élevage et l'implication des acteurs urbains. Le contexte agricole régionale porte à croire que le rôle de cette culture dans l'agro système va se renforcer au cours du temps. Prédire les impacts liés à la future expansion de cette culture est d'une importance essentielle pour le développement de cette région. Ceci nécessite une compréhension plus fine des règles d'accès à la terre, des stratégies de mise en valeur de l'espace et des interactions entre les différents acteurs impliqués.

La localisation et les mesures précises des changements d'occupation du sol sont à ces effets très importants pour évaluer les dynamiques agraires et comprendre les processus qui les gouvernent. Toutefois, ces informations sont très difficiles à obtenir ou à suivre sur de vastes régions avec les méthodes d'enquête traditionnelles. Au **chapitre 8**, le Système d'Information SMALL Savannah est utilisé comme outil pour l'observation et l'analyse spatiale des changements d'occupation du sol dans la région autour de Maroua dans l'Extrême Nord du Cameroun. Une analyse diachronique et multi-niveau a été effectuée en utilisant un couple d'images satellites de 1987 et 1999. L'approche d'analyse d'image combine les traitements automatiques et la photo-interprétation pour dériver des structures d'occupation du sol pertinentes. La validation est effectuée sur la carte la plus récente en utilisant les données GPS comme référence. Les informations sur les erreurs de réalisation permettent d'améliorer la précision des cartes obtenues. Le croisement des cartes sous le SIG indique que les savanes boisées ont considérablement diminué (- 31%) au profit de l'extension des zones cultivées qui concerne principalement la culture du sorgho de contre saison (+ 44%) et les zones de cultures pluviales (+36%). Plus récemment, on a également observé une tendance à la récupération des sols nus le plus souvent dégradés pour les activités agricoles (-39%). Les jachères sont de plus en plus rares et les superficies des zones où on observe la reprise de la végétation ligneuse sont assez faibles (4%). L'analyse au niveau local permet d'avoir des connaissances plus pertinentes sur la diversité des situations et de mieux expliciter les stratégies des acteurs face aux différentes mutations. Des propositions d'aménagement et de gestion de l'espace adaptées peuvent ainsi être dérivées.

La connaissance des relations quantitatives entre la structure de l'utilisation de l'espace et les facteurs déterminants d'ordre biophysique et socioéconomique est également une étape très importante dans la construction des modèles spatiaux dynamiques de type empirique. Le choix des variables à inclure

dans ces modèles est le plus souvent difficile du fait de la complexité des processus en jeu dans les systèmes d'utilisation de l'espace. Le **chapitre 9** décrit la mise en œuvre d'une méthode combinant les approches inductive et déductive pour identifier les facteurs les plus pertinents qui expliquent la structure et les changements d'utilisation de l'espace dans la région autour de Maroua dans l'Extrême Nord du Cameroun. A partir des couches d'information extraites de la base de données du SIE SMALL Savannah, l'analyse spatiale a permis de calculer des variables représentant au mieux les processus étudiés. La procédure de sélection des variables s'appuie sur une analyse de type régression logistique. Un modèle de prédiction de la structure et des changements au cours de la période 1987 et 1999 a été construit pour chacune des 6 utilisations de l'espace considérées dans la zone d'étude. Les résultats de cette application confirment la très forte influence du centre urbain et révèlent celle des potentialités des terres agricoles sur les formes d'utilisation de l'espace. La pression sur l'espace évaluée à partir d'un indice de population potentielle explique mieux les structures et les changements que la densité de la population. Sur le plan méthodologique, les résultats illustrent l'intérêt d'une approche d'analyse plus déductive et intégrée qui prend en compte les processus réels et la multiplicité des interactions entre l'utilisation de l'espace et un ensemble de facteurs déterminants. Cette application fournit des éléments de compréhension du système d'utilisation de l'espace de la région et les informations quantitatives obtenues sont utilisées pour la modélisation dynamique et la simulation des changements d'utilisation de l'espace dans un futur proche.

Les modèles spatiaux dynamiques sont des outils de très grande importance pour l'étude des systèmes complexes comme les systèmes environnementaux. De plus, une approche intégrée est indispensable lorsqu'on veut avoir une compréhension plus complète du comportement de ces systèmes. Le **chapitre 10** décrit les bases d'un modèle intégré développé pour explorer les trajectoires des changements d'utilisation de l'espace dans la région autour de Maroua, à l'Extrême Nord du Cameroun. Le modèle simule la compétition entre différentes catégories d'utilisation de l'espace en prenant en compte l'influence d'un ensemble de facteurs biophysiques, socio-démographiques et géoéconomiques. La procédure d'allocation des changements du modèle combine les résultats des modules de diagnostic, d'analyse spatiale et de prédiction du SIE SMALL Savannah. La validation du modèle a été effectuée pour la période 1987-1999 et les changements ont été simulés sur la période 1999 – 2010. Trois scénarios ont été formulés en s'appuyant sur l'analyse des tendances observés et les hypothèses de transition du système d'utilisation de l'espace tels que formulées par les théories de Boserup et de Malthus. Les principales dynamiques observées concernent le développement de la culture maraîchère et l'extension de la culture du sorgho de contre saison qui induisent une compétition plus importante pour l'accès à la terre par les acteurs et pour les différentes utilisations de l'espace. Les résultats de simulation pour chaque scénario permettent d'identifier des zones prioritaires pour toute intervention allant dans le sens de l'intensification ou d'une gestion intégrée et plus durable de l'espace. Le modèle développé constitue ainsi un outil de recherche exploratoire et un support de connaissances utilisable pour la planification de l'utilisation de l'espace. Une utilisation est envisageable pour initier toute concertation ou négociation entre les acteurs concernés par la gestion de l'espace.

Conclusion et perspectives

La recherche menée dans le cadre de cette thèse a permis de définir et spécifier les systèmes d'informations sur l'environnement en s'appuyant sur l'exemple du système d'utilisation dans la région de savanes de l'Extrême Nord du Cameroun où on a observé au cours des deux dernières décennies, de nombreuses transformations des paysages agraires impulsées par la forte pression démographique et l'importante mobilité humaine. Le Système d'Information développé pour ce cas et dénommé SMALL Savannah est un ensemble de concepts, méthodes, outils et données permettant de caractériser la structure et explorer les dynamiques du système d'utilisation de l'espace, en référence aux problèmes environnementaux et de développement auxquels font face les communautés rurales de la zone d'étude. Ce travail présente un double intérêt : scientifique et opérationnel (**chapitre 11**).

Sur le plan scientifique, les modèles descriptifs proposés mettent en exergue les propriétés complexes des systèmes d'utilisation de l'espace et suggèrent ainsi des éléments pour adapter et enrichir les méthodes d'analyse et de conception existantes. Les conclusions et perspectives suivantes peuvent être dégagées. L'espace est une caractéristique importante des systèmes environnementaux dans la mesure

où elle constitue le support de la plupart des processus étudiés. La conception et la mise en œuvre d'un SIE devraient prendre explicitement en compte la composante spatiale des phénomènes étudiés en proposant des approches appropriées. Un défi important dans cette perspective reste l'association des phénomènes sociaux avec les dynamiques spatiales qu'ils gouvernent. Les questions d'échelle sont très importantes et omniprésentes dans presque toutes les applications environnementales. Une attention particulière devrait y être apportée au cours des différentes phases du développement des SIE. Les questions se posent en terme d'identification et de choix d'échelles appropriées pour l'observation, l'analyse ou pour la représentation des données et en terme d'articulation entre ces différentes échelles. La modélisation et la simulation dynamique se présentent comme des outils indispensables dans le cycle de vie d'un SIE. L'étape de modélisation devrait être prise en compte dans les phases d'analyse, de conception et mise en œuvre des SIE. Compte tenu de la diversité et de la complexité des données environnementales manipulées leur stockage, traitement et analyse font appel à une large gamme d'outils logiciels spécialisés tels que les SIG, les SGBD, les logiciels de traitement d'images, les modules d'analyse statistique, les systèmes experts, les plate-formes de simulation, etc. La conception et l'implémentation d'un Système d'Information sur l'Environnement doit le plus souvent intégrer plusieurs de ces outils qui ont chacun une contribution spécifique à la finalité du système. L'étape de mise en œuvre montre que plusieurs tâches nécessitent une expertise pour interpréter les résultats et faire des choix pour les tâches suivantes. L'intégration des logiciels d'application et le développement des interfaces Homme-Machine pour les SIE exigent donc une analyse préalable pour identifier les besoins prioritaires de communication et spécifier les structures de données à échanger, ainsi que les composants logiciels qui devront assurer le contrôle des données et leur stockage.

Sur le plan opérationnel, le SIE développé fournit des informations et connaissances qui aident à mieux comprendre les dynamiques agraires, à explorer les scénarios d'évolution des changements, à établir les bases d'une planification de l'utilisation de l'espace et à préparer la négociation entre les acteurs impliqués dans la gestion. Les grandes dynamiques agraires de la zone d'étude se présentent comme une conséquence de la croissance démographique, combinée avec la diversité et de la dynamique du peuplement humain. L'expansion agricole a été identifiée comme un processus central qui présente d'importantes interactions avec les dynamiques du système d'élevage et d'approvisionnement en bois de feu. Les aires protégées sont également soumises à des évolutions qui dépendent de ces processus. En particulier, la culture du sorgho de contre saison apparaît comme une composante essentielle du système agricole de la région. Elle joue un rôle important dans le maintien de la sécurité alimentaire et influence fortement la dynamique des autres systèmes de mise en valeur de l'espace. Le contexte agricole de la région porte à croire que le rôle de cette culture dans l'agro-système va se renforcer au cours du temps. Des recherches et des actions concrètes sont nécessaires pour accompagner ce processus et atténuer les impacts négatifs.

Une exploration de l'ensemble des facteurs déterminant les changements d'utilisation de l'espace montre que l'accessibilité au principal centre urbain, les potentialités des terres agricoles et la pression humaine sur l'espace évaluée à partir d'un indice de population potentielle expliquent mieux les structures et les changements. Les connaissances détaillées fournies par cette analyse peuvent être utilisées comme hypothèse de départ pour une étude sur un thème spécifique. Sur le plan pratique, il est important pour tout projet de développement qui intervient dans la gestion de l'espace de connaître sous quelles conditions s'établissent les différentes formes d'utilisation de l'espace. Cette caractérisation du système d'utilisation de l'espace et de ses variations spatiales en fonction des conditions biophysiques, sociodémographique, géoéconomique et politique est donc d'une grande importance pour l'élaboration des outils de gestion de l'espace et d'aide à la décision. Les simulations effectuées pour la période 1999-2010 indiquent les zones où des changements peuvent survenir, offrant ainsi la possibilité d'évaluer l'impact d'une politique donnée de gestion et d'utilisation de l'espace. La base de données portant sur l'utilisation de l'espace et les facteurs déterminants potentiels peut être mise au service des chercheurs et acteurs impliqués dans l'utilisation et la gestion de l'espace. Le modèle de simulation se présente comme un outil approprié pour un observatoire des dynamiques agraires et du développement rural. Il peut être utilisé par les scientifiques et les acteurs impliqués dans la planification pour la prise de décision et une gestion adaptative de l'espace. Une utilisation peut également être envisagée avec les acteurs locaux pour susciter les discussions et préparer la

concertation ou la négociation dans le cadre de démarches participatives d'utilisation et de gestion de l'espace. Le modèle de simulation peut également être utilisé par les chercheurs travaillant dans la zone d'étude pour tester des hypothèses sur l'évolution possible des trajectoires de changement d'utilisation de l'espace.

Les priorités des travaux futurs sur le plan méthodologique devraient inclure le développement d'approches de modélisation centré individu qui abordent mieux les décisions des acteurs, leurs stratégies de mise en valeur de l'espace, les réseaux sociaux qui se projettent dans l'espace et leurs interactions. Le développement de modèles de type multi-agents et leur intégration avec le SIG existant est à cet effet, une perspective prometteuse. SMALL Savannah est un exemple d'application qui met en exergue les problématiques importantes liées au développement des SIE. Les résultats de cette étude de cas fournissent à cet effet des éléments pour guider l'adaptation et l'enrichissement des méthodes de conception existantes.