



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).



**Photo 6.** Une vue panoramique du paysage agricole autour du village de Gadas, Extrême Nord du Cameroun.

# Chapitre 6. Architecture du Système d'Information sur l'Environnement SMALL Savannah

## Résumé

Les Systèmes d'Information sur l'Environnement (SIE) sont vus comme des instruments ayant pour objectif l'observation et la compréhension des phénomènes qui se déroulent sur un territoire donné. Avec l'importance accordée aux problèmes environnementaux ces dernières décennies, on a assisté à la mise en place de nombreux projets internationaux visant à développer des Systèmes d'Information dans différents domaines où l'information environnementale est au cœur des processus de décision. Toutefois, les méthodes et les techniques conçues pour le développement d'applications de gestion simples ne sont plus adaptées aux exigences de cette nouvelle génération de Système d'Information. En effet, les systèmes environnementaux sont très complexes et leur gestion exige de nombreuses observations, un diagnostic des situations et des expertises variées pour expliquer et prédire l'évolution des phénomènes. Malgré l'intérêt croissant pour les SIE, les avancées conceptuelles et techniques liées à la spécification et au développement de tels systèmes d'information sont restées assez limitées. Cette thèse est un essai de définition et de spécification de l'architecture des SIE, que nous considérons comme une étape préalable à l'élaboration ou l'adaptation de toute méthode de conception appropriée. Le cas étudié (SMALL Savannah) est un exemple de SIE conçu pour l'analyse intégrée des dynamiques agraires en zone des savanes de l'Extrême Nord du Cameroun. Ce système combine un module d'observation et d'analyse spatiale pour la représentation des phénomènes à partir des données géographiques de sources variées, un module de diagnostic et de caractérisation, un module d'explication et de prédiction des changements d'utilisation de l'espace, et un module de modélisation dynamique et de simulation des trajectoires de changements d'utilisation de l'espace en vue d'une gestion durable.

**Mots clés :** Système d'Information sur l'Environnement, méthodes de conception, Base de Données, analyse spatiale, SIG, modélisation.

## Abstract

Environmental Information Systems (EIS) are seen as instruments for the observation and understanding of phenomena that take place in a given location. As a consequence of increasing environmental problems, there have been a growing number of international projects with the objective to develop Information Systems in many fields of application where environmental information is crucial for the decision making processes. However, methods and techniques that were designed for the development of more simple management applications are not any more appropriate to the requirements of this new generation of Information Systems. In fact, environmental systems are very complex and their effective management requires a large number of observations, a diagnosis and a great variety of expertises in order to support the explanation and prediction of on going phenomena. The present thesis is an attempt to define and specify the architecture of EIS, which is seen as a preliminary step to the elaboration or adaptation of any appropriate design method. The case study (SMALL Savannah) is an example of an Environmental Information System designed for the integrated analysis of land use dynamics in the savannas area of the Far North of Cameroon. This system combines an observation and spatial analysis module for the representation of phenomena from various data sources, a diagnosis and characterisation module, a module for the explanation and prediction of land use change pattern, and a dynamic modelling and simulation module for the exploration of land use change trajectories geared toward a sustainable management.

**Key words:** Environmental Information System, design method, Data Base, spatial analysis and GIS, modelling.

## 6.1. Introduction

La gestion de l'environnement est une priorité pour la communauté scientifique internationale. En Afrique subsaharienne par exemple où l'on observe de nombreux changements naturels et anthropiques, l'enjeu principal est la promotion et la mise en œuvre du développement durable (Geny et al., 1992). Or, toute politique allant dans ce sens nécessite une meilleure compréhension des phénomènes environnementaux et une gestion rationnelle de l'espace et des ressources naturelles. La compréhension des systèmes environnementaux exige de nombreuses observations, un diagnostic des situations et des expertises variées pour expliquer les phénomènes et prévoir leur évolution. Avec l'importance prise par les problèmes environnementaux ces dernières décennies (déforestation, pollution, désertification, dégradation ou raréfaction des ressources naturelles, saturation de l'espace), une prise de conscience est notable au niveau des différents acteurs impliqués dans la gestion de l'environnement. On a ainsi assisté à la mise en place de nombreux projets internationaux visant à constituer des Systèmes d'Information Environnementaux dans différents domaines au sein desquels l'information environnementale est au cœur des processus de décision : la climatologie, l'avancée des récoltes, le suivi de la pêche, l'innovation sociale et les conditions économiques des populations, et l'évolution urbaine (Dzeakou et al., 1999 ; Courade, 1997 ; Kergreis, 1992).

Une des contraintes importantes à la mise place et l'adoption des Systèmes d'Information sur l'Environnement (SIE) reste la complexité des systèmes socio-environnementaux qui sont par essence des systèmes ouverts, dynamiques, et comportant de nombreuses interactions entre leurs composantes. La notion d'environnement est un concept assez global et complexe qui peut être considérée comme l'ensemble interactif et dynamique comprenant les différentes ressources naturelles (bioclimat, sols, eau, végétation, faune), le cadre de vie rurale ou urbaine et le paysage considéré comme produit des méthodes de mise en valeur actuelles et des traces de celles qui les ont précédées (Geny et al., 1992). Une avancée dans le domaine de la conception des SIE nécessite d'abord une réflexion approfondie sur les bases épistémologiques (Bartoli et Le Moigne, 1996). Au chapitre 2, nous avons présenté les concepts de base et un modèle de représentation des systèmes d'utilisation de l'espace qui montrent les spécificités des systèmes environnementaux et la nécessité de proposer des méthodes de conception de SI adaptée. Ce type de recherche orienté vers des domaines peu explorés conceptuellement bien que familiers pratiquement pour la plupart des professionnels nécessite l'expérimentation et l'illustration qui permettrait d'amorcer des retours critiques et de suggérer des nouveaux éléments de concepts, de méthodes et des modalités de leur mise en œuvre. Le travail de recherche mené dans cette thèse répond à ce triple objectif : définir les concepts et les éléments de spécification des SIE, proposer des éléments de méthode de conception et les illustrer sur un exemple. Le cas étudié ici, dénommé SMALL Savannah est un exemple de SIE conçu pour l'analyse intégrée des dynamiques agraires en zone des savanes de l'Extrême Nord du Cameroun. La démarche utilisée pour le développement du SIE SMALL Savannah couvre à cet effet les trois principales phases d'une méthode classique de conception et de développement d'un SI à savoir l'analyse préalable ou diagnostic du système réel, la conception du système d'information organisationnel et informatisé et la mise en œuvre des applications (Bouchy, 1994). Le chapitre précédent a été consacré à l'analyse préalable du système d'utilisation de l'espace. Cette description empirique a permis à cet effet d'identifier les données pertinentes et les processus que le SIE SMALL Savannah devrait pouvoir capturer. Le présent chapitre est consacré à la phase de conception qui devrait fournir une description conceptuelle du système.

Les quatre derniers chapitres de la thèse sont consacrés à des applications illustrant la mise en œuvre du système d'information.

Contrairement à l'intérêt et aux initiatives croissantes pour les observatoires environnementaux et les SIE, les avancées conceptuelles et techniques liées à la spécification et au développement de tels systèmes d'information sont restées assez limitées. Ce décalage pourrait s'expliquer par le fait que le concept de SIE pose encore un sérieux problème de définition qui n'aide ni à comprendre l'importance, les techniques et les approches requises pour le développement de tels systèmes. La plupart des applications environnementales sont développées sur des bases ad hoc plutôt que sur la base de méthodes formelles et les systèmes obtenus sont par conséquent peu ouverts (Fouda et Moore, 1998). Une autre raison importante de ce décalage est principalement liée à la complexité des systèmes environnementaux qui se caractérisent par de nombreuses interactions entre les composantes, des dynamiques non linéaires et la multiplicité des échelles d'opération des processus (chapitre 2). Les données environnementales sont par conséquent complexes et de natures variées (textes, cartes, objets géométriques, données attributaires, série statistique, photographies aériennes, images satellites, Modèle Numérique de Terrain, etc.). La représentation et le traitement de ces données font donc appel à une large gamme d'outils logiciels spécialisés tels que les SIG (Système d'Information Géographique), les SGBD (Système de Gestion des Bases de Données), les logiciels de traitement d'images, les systèmes experts, etc. Malgré l'intérêt croissant pour les SIE, les avancées conceptuelles et techniques liées à la spécification et au développement de tels systèmes d'information sont restées assez limitées. Les méthodes et techniques existantes qui ont été conçues pour le développement d'applications de gestion simples ne sont plus adaptées aux nouveaux besoins de cette nouvelle génération de SI (Bouzeghoub et al, 1997). Il s'agit notamment de la structuration des données complexes, de l'interopérabilité entre les composants logiciels et de l'ouverture du système vers un public plus large. On constate que les outils et techniques tels que les SIG ne permettent pas tous seuls de fournir une vision d'ensemble des données et des traitements, conduisant ainsi au développement d'applications lourdes ou inadaptées (Gayte et al., 1998). L'un des intérêts scientifiques de cette thèse est de contribuer à la définition et à la spécification des Systèmes d'Information sur l'Environnement en tant qu'outil pour les observatoires environnementaux (Fotsing et Assako, 2007). Ce travail devrait déboucher sur des propositions méthodologiques et opérationnelles adaptées au développement de cette nouvelle génération de Système d'Information.

Ce chapitre porte sur la spécification de l'architecture du SIE SMALL Savannah. La section suivante fournit un essai de définition des SIE et donne quelques exemples d'initiatives. La section 3 décrit les spécificités de SMALL Savannah qui permettent ainsi de justifier la méthode et le formalisme utilisés pour décrire les modèles conceptuels du système. La section 4 est consacrée à une description des fonctionnalités, des données, des traitements et de l'architecture logicielle de SMALL Savannah. La section 5 fait une synthèse des enjeux liés au développement des SIE et dégage les perspectives de recherches dans ce domaine.

## **6.2. Nature et structure d'un Système d'Information sur l'Environnement**

### **6.2.1. Définition d'un Système d'Information sur l'Environnement**

Il se pose un sérieux problème de définition des concepts liés aux Systèmes d'Information sur l'Environnement qui n'aide ni à comprendre l'importance, les techniques et approches requises pour le développement de tels systèmes (Fouda et Moore, 1998). Boulding a proposé une définition du concept de système d'information qui s'appuie sur le paradigme systémique (Le Moigne, 1977). En effet, il considère le système d'information d'une organisation comme une construction abstraite permettant de renseigner le système de pilotage (centre des décisions) et son environnement, sur le fonctionnement et l'efficacité du système opérant, siège de l'activité et de la dynamique du système. Cette définition est à la base de la méthode de conception MERISE qui a connu un grand succès pour la modélisation du fonctionnement et l'informatisation des systèmes d'information des organisations telles que les entreprises productrices de biens ou de services (Nancy et al., 1992). Dans ces cas, on supposait que pour une entreprise classique, il est possible avec plus de précision de délimiter les frontières du système c'est-à-dire distinguer le système interne de son environnement. L'environnement était considéré comme assez stable et on supposait que les interactions avec le système restaient faibles et sans conséquences majeures. De plus, on supposait que le système opérant n'avait pas besoin d'information en dehors des directives reçues du système de pilotage.

Cette vision de la notion de SI ne permet pas de modéliser complètement les systèmes plus complexes et plus ouverts comme les systèmes socio-environnementaux qui présentent de fortes interactions avec leur environnement et nécessitent de partager l'information entre les différents acteurs impliqués dans la gestion et le fonctionnement du système. Le système agricole tel que défini au chapitre 2, est un exemple de système environnemental qui met en exergue une telle ouverture du système et l'importance des interactions avec l'environnement (figure 2.3 du chapitre 2). On remarque que ce système est centré sur les formes d'utilisation de l'espace par les sociétés humaines et l'environnement du système est constitué des facteurs biologiques, physiques et socio-économiques qui influencent les activités liées à l'utilisation de l'espace. Contrairement à la définition d'un système d'information classique, la figure 6.1 adaptée de Gayte et al. (1997), montre que l'environnement est pris en compte dans la structure du système. Les opérateurs sont des acteurs qui utilisent directement l'espace. Il peut s'agir d'un paysan ou un groupe organisé. Le gestionnaire est un acteur intervenant dans la gestion de l'espace à un niveau de décision stratégique plus élevé. Il peut s'agir d'une autorité traditionnelle, d'une autorité administrative ou d'une structure technique en charge de la gestion des ressources naturelles à un niveau territorial donné.

Cette représentation d'un système environnemental relatif à la gestion de l'espace permet de distinguer deux niveaux de perception du système environnemental qui correspond à deux types de Système d'Information sur l'Environnement généralement observés. Dans un premier cas, le système environnemental est perçu comme un système de production. C'est la notion classique de système d'information qui assure le lien entre le système de pilotage et le système opérant constitué des acteurs qui utilisent l'espace pour des besoins de production. Le second cas qui nous intéresse dans cette thèse est celui où le système environnemental est perçu comme un système de gestion du territoire. C'est alors le Système d'Information sur l'Environnement qui assure la relation entre le territoire, le système opérant ou les acteurs et le système de pilotage (figure 6.1). Ainsi, un Système d'Information sur l'Environnement peut être défini comme un ensemble de ressources humaines, matérielles et de procédures permettant de

caractériser l'état et la dynamique d'un territoire donné, en référence aux problèmes environnementaux et de développement économique ou social auxquels ses communautés font face (Loireau, 1998).

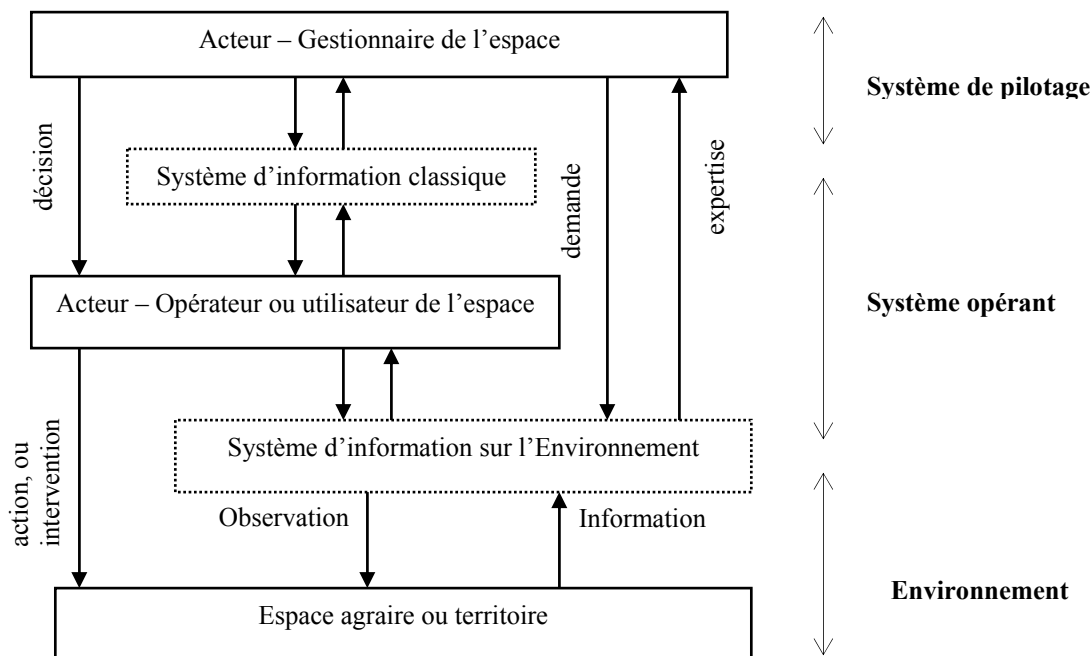


Figure 6.1. Structure d'un système environnemental relatif à la gestion de l'espace. Le système d'information est une entité abstraite qui relie l'organisation de l'espace et des acteurs aux gestionnaires à travers des échanges d'information, des actions ou des décisions.

### 6.2.2. Les fonctions d'un Système d'Information sur l'Environnement

Au regard de la définition du SIE, la finalité et les fonctions semblent être les mêmes que celles de tout système d'information notamment la génération, le traitement, la mémorisation et la diffusion de l'information nécessaire à la gestion ou à la prise de décision (Nancy et al., 1992). Toutefois, un Système d'Information sur l'Environnement présente des spécificités du fait de la nature du domaine d'application : la gestion de l'environnement. En effet, la notion d'environnement est un concept assez global qui peut être considéré comme l'ensemble interactif et dynamique comprenant les différentes ressources naturelles (bioclimat, sols, eau, végétation, faune), le cadre de vie rurale ou urbaine et le paysage considéré comme produit des méthodes de mise en valeur actuelles et des traces de celles qui les ont précédées (Burel et Baudry, 2003). La gestion de l'environnement nécessite donc une meilleure connaissance de la dynamique et des interactions entre ces différents écosystèmes et compartiments socio-économiques. De plus, l'importance prise par les problèmes environnementaux ces dernières décennies et l'adoption du concept de développement durable ont conduit les politiques d'environnement et de développement à s'orienter vers des approches intégrées de gestion qui exigent de disposer des moyens d'observation et de suivi de l'état de l'environnement, des outils d'analyse des impacts environnementaux et de prévision des changements, et des outils d'accompagnement des systèmes sociaux aux niveaux local.

Ces nouveaux besoins justifient l'intérêt des systèmes d'information sur l'Environnement qui apparaissent donc comme des outils adaptés pour supporter le fonctionnement des observatoires environnementaux qui sont orientés vers la compréhension et le suivi des phénomènes naturels. La notion d'observatoire est un concept très ancien qui trouve ses origines en astronomie. En effet, un groupe de personnes observait le comportement des astres à des fins de compréhension et de prévision. Aujourd'hui, les observatoires assurent des fonctions similaires et sont plus ou moins assimilés à des systèmes d'information qui produisent de façon régulière des informations pertinentes et représentatives, permettant de comprendre la structure et le fonctionnement des systèmes étudiés, de tracer les évolutions, d'effectuer des comparaisons dans le temps ou dans l'espace. En d'autres termes, ce sont de véritables outils de diffusion de l'information, d'aide à la décision et d'appui à la planification (Fotsing et Assako, 2007). En conclusion, les SIE peuvent être considérés comme des instruments des observatoires environnementaux ayant pour objectifs l'observation, la compréhension et la prévision des phénomènes qui se déroulent sur un territoire donné (Gayte et al., 1997). Pour atteindre ces objectifs, le SIE doit assurer trois fonctions complémentaires :

- observer le territoire en mesurant des variables, indicateurs ou descripteurs dans l'espace et le temps ;
- gérer et analyser les informations issues de ces observations ;
- présenter et communiquer ces informations au niveau décisionnel approprié sous forme de données, synthèses, connaissances ou expertises.

En se référant au schéma de la structure d'un système environnemental (figure 6.1), on peut distinguer deux principaux types de Système d'Information sur l'Environnement en fonction des utilisateurs et des fonctionnalités. Le premier type assure l'interface entre le gestionnaire de l'espace et les acteurs ou opérateurs impliqués dans les activités ou les phénomènes qui se déroulent sur le territoire. Ce type de SIE connu sous le terme d'applications de gestion fournit des indicateurs permettant d'engager rapidement des actions en fonction de la politique du gestionnaire. Le deuxième type de SIE assure l'interface entre le territoire et le gestionnaire. Les thèmes analysés étant plus complexes nécessitent une expertise pour interpréter les phénomènes. Le SIE, en plus des tâches d'observation, se présentent alors comme un instrument d'étude et de compréhension d'un thème donné. Cette deuxième catégorie de SIE correspond aux applications environnementales d'aide à la décision et d'aménagement de l'espace ou du territoire (Cheylan, 1991). Les possibilités de mise à disposition immédiate de l'information qu'offrent les réseaux de communication transforment le processus de collecte, structuration et de restitution de l'information et ouvrent des perspectives d'une nouvelle catégorie de systèmes d'information sur l'environnement (Fotsing et Assako, 2007). Ce type de SIE assure l'interface entre l'environnement et un public assez large incluant les décideurs, les gestionnaires, les acteurs, chercheurs ou journalistes. Le SIE correspond dans ce cas à un ensemble d'outils de capitalisation et d'intégration en réseau de connaissances acquises sur différents sites. Il répond ainsi à un besoin de partage et de transfert de connaissances scientifiques et des savoir-faire locaux entre les différents acteurs (Derniame, 1998).

### **6.2.3. Quelques exemples d'initiatives de mise en place de SIE**

Au cours des deux dernières décennies, plusieurs initiatives de mise en place de SIE ont été observées, le plus souvent dans le cadre d'observatoires environnementaux ou socioéconomiques. L'UNESCO a par exemple contribué à mettre en place l'Observatoire du Sahara et du Sahel qui avait pour finalité



d'appréhender les évolutions climatiques, le processus de désertification et les transformations des modes d'exploitation des ressources (Kergreis, 1992). Le programme à moyen terme proposé à la conférence inaugurale s'articulait autour de quatre objectifs : la maîtrise de l'information sur l'environnement, le renforcement de la connaissance de base, la participation des populations et la diffusion de l'information. La FAO a mis en place le SMIAR (Système Mondial d'Information et d'Alerte Rapide) qui tire profit des technologies de l'information pour fournir aux gouvernements, organisations internationales et institutions s'occupant d'opérations de secours, les analyses et informations sur la situation alimentaire mondiale, et en particulier dans les pays où les risques d'urgence alimentaire sont les plus grands (Dzeakou et al., 1999). La Banque Mondiale a mis en place le PRGIE (Programme Régional de Gestion de l'Information Environnementale) qui vise la mise en place d'un système d'Information portant sur l'état de l'environnement dans le bassin du Congo. C'est un réseau d'acteurs impliqués dans la protection et la valorisation des produits forestiers, l'utilisation des ressources naturelles et la conservation de la biodiversité. La Communauté Européenne et la Banque Mondiale ont contribué à la mise en route de deux projets de type observatoire environnemental : Le SIMES (Système d'Information Multimédia sur l'Environnement en Afrique Subsaharienne) et WISE-DEV (Web-Integrated System for Environment and DEvelopment), avec pour objectif de développer des méthodes pour soutenir la constitution d'un réseau cohérent d'observatoires environnementaux interconnectés à travers Internet (Derniame, 1998). Le PRASAC (Pôle Régional de Recherche Appliquée au Développement des Savanes d'Afrique Centrale), financé par le Fond Français d'Aide à la Coopération, a engagé des travaux de recherche visant à mettre en place l'observatoire régional du développement durable des savanes d'Afrique centrale. Les thèmes abordés par le PRASAC sont liés au développement rural de cette région : le suivi et l'analyse des filières agricoles, l'analyse des dynamiques d'utilisation de l'espace et des ressources naturelles, le suivi des exploitations agricoles et l'évolution des stratégies des producteurs (PRASAC, 1998). En effet, les dynamiques agraires qui résultent de l'influence des facteurs biophysiques ou des mutations socio-économiques observées en zone des savanes d'Afrique centrale ne sont pas souvent maîtrisées par les projets et structures en charge du développement rural. Le manque ou la mauvaise qualité de l'information et des connaissances sur ces dynamiques et une compréhension partielle ou approximative des processus en cours contribuent probablement à ces situations d'échec. Malgré l'importance des initiatives orientées vers la mise en place d'observatoires environnementaux, on constate qu'il existe très peu de SIE opérationnels. La plupart des applications environnementales existantes sont développées sur des bases ad hoc plutôt que sur la base de méthodes formelles et les systèmes obtenus sont par conséquent peu ouverts (Fouda et Moore, 1998).

### **6.3. Spécificités du Système d'Information sur l'Environnement SMALL Savannah**

Les spécificités de ce système d'information concernent la nature du système environnemental et du problème étudié (chapitre 5), les objectifs visés (chapitre 1 et chapitre 2), la structure logicielle du système proposé (chapitre 3) et l'approche de conception et de mise en œuvre (chapitres 4 et 6).

### **6.3.1. Le système d'utilisation de l'espace en zone des savanes de l'Extrême nord du Cameroun**

L'analyse préalable effectuée au chapitre précédent montre que l'Extrême Nord du Cameroun est une région de savanes d'Afrique centrale où on a observé de nombreuses transformations des paysages agraires impulsées par la forte pression démographique et l'importante mobilité humaine. Ces dynamiques ont conduit dans plusieurs cas à une saturation foncière, à une compétition plus accrue entre les formes d'utilisation de l'espace et à des conflits entre les acteurs. La prise en compte de ces évolutions et la prédiction des développements futurs, sont des aspects importants que le SIE devra prendre en compte. D'autre part, plusieurs acteurs sont impliqués dans l'utilisation et la gestion de l'espace. La difficulté de préciser le rôle des acteurs impliqués dans le circuit d'information (concepteur, gestionnaire, enquêteur, utilisateurs à différents niveaux) constitue également une contrainte à prendre en compte. La diversité des acteurs implique également une diversité de points de vue sur les thématiques abordées et exige d'adopter des approches interdisciplinaires. L'ouverture du dispositif vers un public diversifié rend difficile la mise à disposition d'informations pertinentes et dédiées à un public cible donné. Cet exemple illustre bien les propriétés complexes des systèmes d'utilisation de l'espace telles que présentées au chapitre 2. La complexité de ces systèmes 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 concernées. C'est une étape préalable pour le développement des outils de gestion et d'aide à la décision.

### **6.3.2. Finalité et objectifs du SIE SMALL Savannah**

SMALL Savannah (en anglais, Spatial Modelling and Analysis of Land cover and Land use change) est un exemple de SIE développé dans le cadre de la mise en place de l'observatoire du PRASAC. Il est conçu pour analyser et modéliser les dynamiques agraires en zone des savanes de l'Extrême Nord du Cameroun. Comme nous l'avons mentionné en introduction de cette thèse, la finalité de SMALL Savannah est de mettre à disposition des informations et connaissances nécessaires à une meilleure compréhension de la structure et des dynamiques des systèmes agraires en zone des savanes. Ce SIE devrait permettre de : 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 trajectoires d'évolution future. Pour atteindre ces objectifs, le système développé combine un module d'observation et d'analyse spatiale pour la représentation des phénomènes à partir des données géographiques de sources variées, un module de diagnostic et de caractérisation, un module d'explication et de prédiction des changements d'utilisation de l'espace, et un module de modélisation dynamique et de simulation des trajectoires de changements d'utilisation de l'espace. Les informations et connaissances dérivées du système peuvent être utilisées pour la phase de négociation et de planification de l'utilisation de l'espace en vue d'une gestion plus durable. Sur le plan fonctionnel, le système SMALL Savannah fournit donc à la fois des possibilités d'application pour la gestion, l'aide à la décision et l'aménagement de l'espace.

### **6.3.3. Hétérogénéité des sources de données et multiplicité des outils logiciels**

Les informations sur les processus de changement d'utilisation de l'espace portent sur une variété de thèmes et doivent le plus souvent être localisées dans l'espace et repérés dans le temps (cartes diverses, recensement de la population et statistiques agricoles). Les exemples de thématiques identifiées sont le peuplement de l'espace, les dynamiques d'occupation du sol, les dynamiques foncières, les conflits d'utilisation de l'espace et les stratégies des acteurs. Les types des données manipulées sont par conséquent variés et complexes. Le système doit prendre en compte les types numérique, alphanumérique, image, objet géométrique, modèle numérique de terrain ou tout autre type défini par l'utilisateur. Les méta-données c'est-à-dire les données décrivant les données sont nombreuses dans la mesure où les informations manipulées ne sont pas exactes, et dépendent toujours du protocole de collecte. De plus la même donnée est susceptible d'être utilisée par plusieurs utilisateurs qui ne connaissent pas nécessairement la problématique qui a donné lieu à la collecte de l'information, ou encore par des utilisateurs qui ont des points de vue divergents, bien qu'également fondés.

La mise en place et le développement d'un tel système nécessite de combiner une large variété de techniques informatiques (SGBD, SIG, module de traitement d'images, module d'analyse statistique et module de simulation). En effet, différentes applications informatiques sont développées indépendamment en utilisant ces outils pour répondre à des besoins spécifiques. Les données de télédétection et les logiciels de traitement d'images permettent par exemple de faire des observations systématiques et régulières des paysages naturels, le suivi de la dynamique des ressources naturelles à l'échelle d'une région et certains aspects des impacts des activités humaines. Les logiciels de SIG offrent de nombreuses fonctionnalités pour l'intégration et le traitement de données environnementales à référence spatiale. On constate que l'utilisation cloisonnée de ces outils ne permet pas de fournir une vision d'ensemble des données et des traitements, conduisant ainsi au développement d'applications lourdes ou inadaptées (Gayte et al., 1997). Les SIG par exemple, qui sont le plus souvent assimilés aux SIE présentent l'inconvénient de se consacrer exclusivement à la gestion de l'information spatiale et les autres notions comme le temps et les données complexes sont faiblement prises en compte. Le risque d'utiliser un seul outil pour développer l'ensemble du SIE est de réduire la solution du problème aux possibilités offertes par l'outil informatique. Toutefois la multiplication des outils et le manque de cohésion entre eux posent les problèmes de parcellisation des données et d'interopérabilité entre les applications.

### **6.3.4. Choix méthodologiques pour la conception du SIE SMALL Savannah**

Sur le plan méthodologique, la démarche d'analyse, de conception et de mise en œuvre du SI couvre l'ensemble des phases nécessaires à une analyse appropriée des changements d'utilisation de l'espace (identification des problèmes, description du système, conception et mise en œuvre). La démarche de développement de plusieurs SI se focalise le plus souvent sur la modélisation conceptuelle et la mise en œuvre. Le défi méthodologique majeur de la communauté scientifique s'intéressant aux SIE est d'autant plus une meilleure connaissance du monde réel que le développement de nouvelles techniques d'implémentation de modèles logiques. En effet, l'histoire du développement des SIE et plus spécifiquement des SIG, marquée par de nombreux échecs montre que la phase d'analyse préalable et de spécification des besoins n'est pas le plus souvent bien faite (Laurini et Thompson, 1996 ; Pantazis et

Donnay, 1996). Cette situation est due en partie au fait que les utilisateurs ne connaissent pas précisément ce qu'ils veulent par conséquent, ils n'arrivent pas à effectivement articuler leurs besoins. De plus leurs besoins changent au cours du temps. Dans ce contexte, la réussite d'un projet de SIE passe par un certain nombre de qualité que le développeur doit rassembler : une ouverture d'esprit, une capacité d'abstraction pour modéliser le système, une formation multidisciplinaire aussi bien sur le plan technique que thématique (Bouchy, 1994).

De plus les méthodes et approches de conception ou formalismes de modélisation des SI existants ne sont pas adaptés aux spécificités des SIE présentés aux paragraphes précédents. Le choix méthodologique effectué pour la conception de SMALL Savannah repose donc sur une combinaison et une adaptation des méthodes classiques en fonction des situations, de manière à tirer profit des avantages de chacune des approches (Gayte et al, 1997). L'approche de conception descendante classique suggère de commencer le processus par une vue globale (représentant les aspects organisationnels et de gestion) et de la décomposer successivement de manière à déboucher sur des tâches élémentaires à programmer. Cette approche suppose qu'à partir de toutes les spécifications, il est possible de construire un système correspondant. Or il peut arriver que certaines spécifications soient contraires ou impossibles avec les technologies actuelles. De plus, il est difficile de spécifier clairement toutes les entités, attributs et associations étant donnée que les règles ne sont pas bien connues. L'approche ascendante suggère de commencer par les programmes de bas niveau et de construire le système graduellement par intégration successive en partant des niveaux inférieurs vers les niveaux supérieurs, tout en essayant de respecter au mieux les besoins de l'utilisateur. L'inconvénient de cette approche est la difficulté de connaître l'ensemble des attributs et des relations entre entités dans les situations complexes. Une approche intermédiaire entre ces deux consiste à commencer par les deux extrémités et essayer de développer le système graduellement pour atteindre les résultats intermédiaires. Une autre approche de conception est orientée par la technologie et suggère d'identifier au préalable le type de technologie disponible avant d'envisager la construction du système définitif. Cette approche semble plus adaptée à la conception des SIE perçus comme un ensemble de composants logiciels existant à interconnecter ou à intégrer (Derniame et al., 2001). L'approche de conception par prototypage suppose que les trois approches citées précédemment ne permettent pas de satisfaire suffisamment les besoins de l'utilisateur. Elle propose par contre des systèmes simples avec un nombre réduits de spécifications et essaie de construire le système désiré par corrections successives et intégrations. L'approche par prototypage est très utilisée et semble être prometteuse pour le développement des SIE dans la mesure où elle ne nécessite pas une connaissance complète de toutes les exigences au début du processus de développement. De plus elle offre une certaine flexibilité et donne l'opportunité d'essayer et de suggérer des changements. La méthode d'analyse et de conception POLLEN (Procédure d'Observation et de Lecture de L'ENVironnement) est un premier exemple de méthode de conception hybride qui a été proposée pour l'analyse et la conception des SIE (Gayte et al., 1997). Le formalisme de cette méthode est utilisé dans la section suivante pour décrire les différents modèles du système d'information SMALL Savannah.

#### **6.4. Les modèles conceptuels du Système d'Information SMALL Savannah**

Les trois principaux modèles conceptuels qui constituent l'architecture du système SMALL Savannah sont décrits dans cette section. Il s'agit du modèle fonctionnel qui décrit les fonctionnalités du SI, du modèle objet qui décrit le schéma conceptuel des données manipulées par le SI et du modèle du système informatique qui décrit la structure des composantes logicielles du SI.

#### **6.4.1. Le modèle fonctionnel de SMALL Savannah**

Le modèle fonctionnel décrit les services rendus par le système et permet de mettre en évidence les fonctionnalités du système, les composantes qui le constituent et la nature des interfaces entre celles-ci (Lissandre, 1990). Le formalisme utilisé pour représenter le modèle fonctionnel peut être le diagramme de flot des données de la méthode OMT ou les actigrammes de la méthode SADT (Structured - Analysis - Design – Technique). La méthode SADT utilisée dans ce cas s'appuie sur la théorie des systèmes et se trouve donc adaptée pour expliciter les fonctions et la structure des systèmes complexes. Le modèle est décrit par un ensemble de diagrammes indiquant les relations entre les différentes activités du système étudié. Les diagrammes sont obtenus par une analyse descendante qui consiste en une décomposition fonctionnelle et hiérarchique des activités du système. En effet, le premier niveau du modèle est en général très abstrait qui correspond à une seule activité. Les activités et les moyens nécessaires à leur réalisation sont progressivement détaillés. La décomposition en sous systèmes, composants, éléments ou fonctions, permet d'affiner la description des fonctions du système et de sa structure en facilitant ainsi sa compréhension. La figure 6.2 illustre cette démarche de décomposition hiérarchique. Une activité ou une composante du système est représentée par un rectangle à l'intérieur duquel est mentionnée la fonction globale. Chaque activité transforme des données en entrée en des données en sortie. Les données de contrôle ou contraintes influencent ou modifient la manière dont l'activité ou la fonction est mise en œuvre. Les moyens sont les éléments matériels mobilisés pour la mise en œuvre de l'activité. Les flèches sont affectées d'un label indiquant la nature des données échangées. L'ensemble des flèches indique les communications qui existent entre les activités du système sans aucun détail sur l'ordre d'exécution dans le temps. Les diagrammes ainsi construits sont appelés diagrammes d'activité ou actigrammes. La décomposition du système en sous-système dans la méthode SADT n'est pas réductionniste dans la mesure où les composants ou éléments dérivés maintiennent les relations qui existent entre eux et dont l'ensemble peut permettre de reconstituer le système entier.

Au niveau d'abstraction le plus élevé, SMALL Savannah est vu comme une boîte noire qui reçoit des données multi sources et multi thèmes relatifs à la gestion et à l'utilisation de l'espace (figure 6.3). L'activité principale de ce Système d'Information consiste à représenter les phénomènes observés et les analyser afin de fournir des informations et des indicateurs utiles à une meilleure compréhension des dynamiques agraires de la zone d'étude. Ce système offre ainsi des possibilités pour pallier le problème de rareté de l'information géographique et constitue en même temps un système de connaissance, de diagnostic et de prédiction des situations agraires (Mullon, 1992). Il peut dans cette perspective être utilisé comme un outil de gestion et d'aide aux politiques de développement et d'intervention en milieu rural. La principale contrainte identifiée pour la mise en place d'un tel système est la complexité du système agricole. Les principaux moyens utilisés par le SI pour atteindre ses objectifs sont les outils logiciels et matériels qu'offrent les nouvelles technologies de l'information.

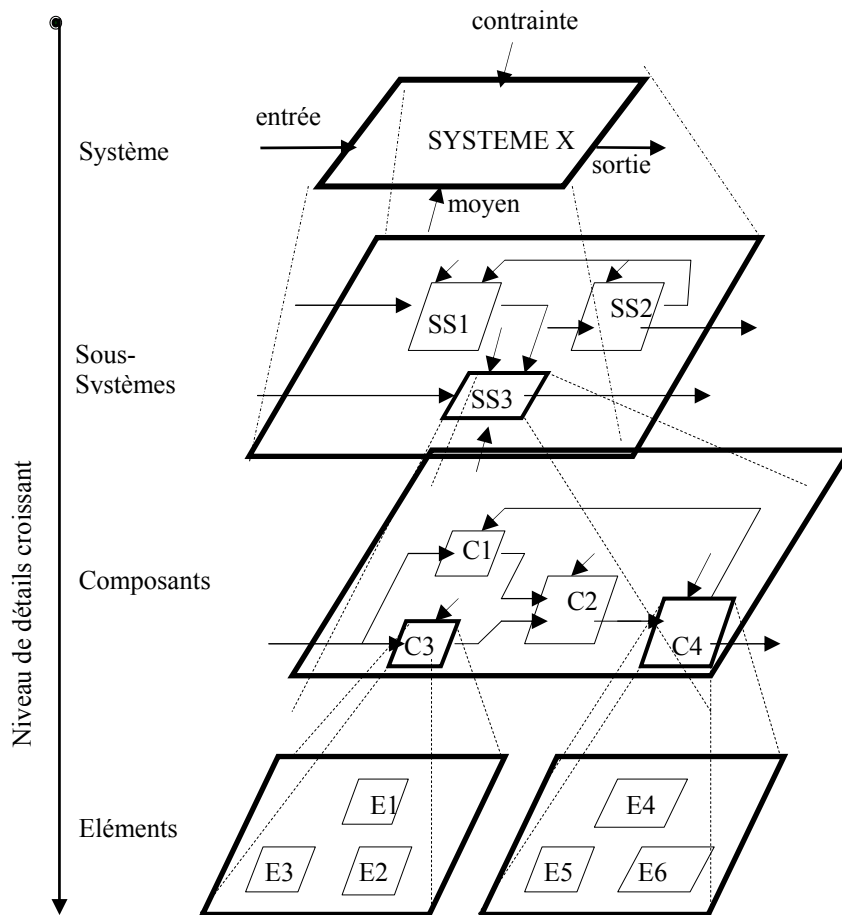


Figure 6.2 : Démarche de décomposition d'activité d'un système dans le formalisme SADT.

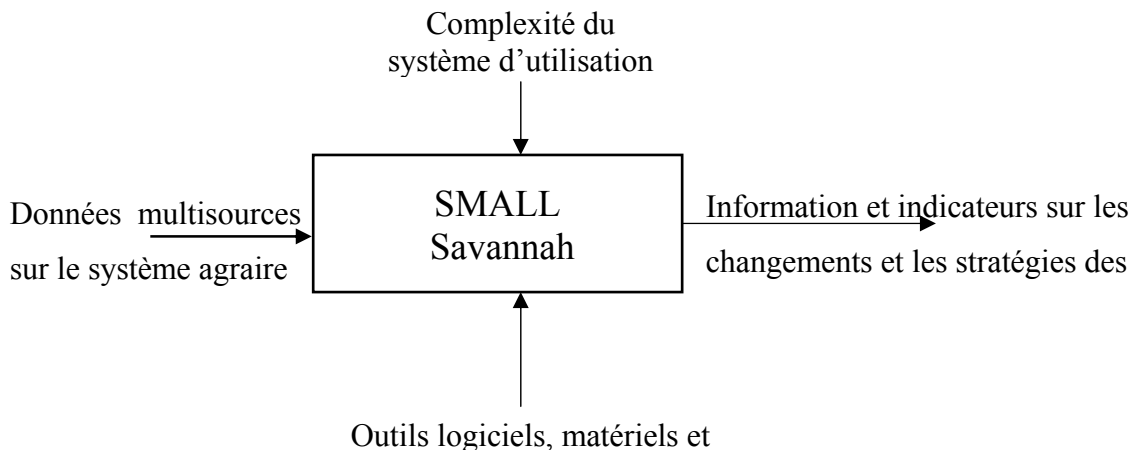
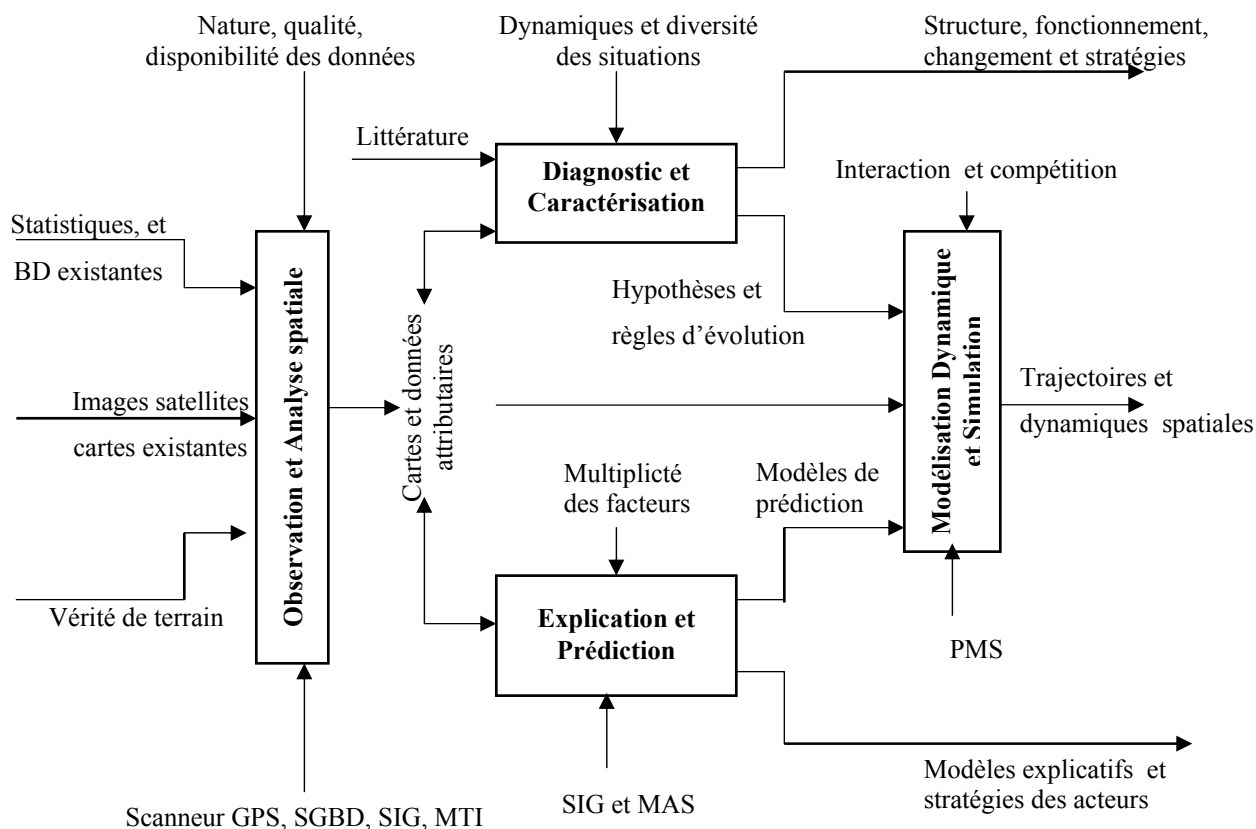


Figure 6.3 : Diagramme fonctionnel de niveau 1 du SIE SMALL Savannah.

A un niveau plus détaillé, le SIE SMALL Savannah peut être divisé en quatre principaux sous-systèmes ou modules qui concourent au fonctionnement du système comme le montre la figure 6.4 : observation et analyse spatiale, caractérisation et diagnostic, explication et prédiction, modélisation dynamique et simulation. On distingue les trois principaux type de données d'entrée : 1) les images, photographies ou cartes existantes ; 2) les statistiques, les bases de données et la littérature existantes, et 3) les données

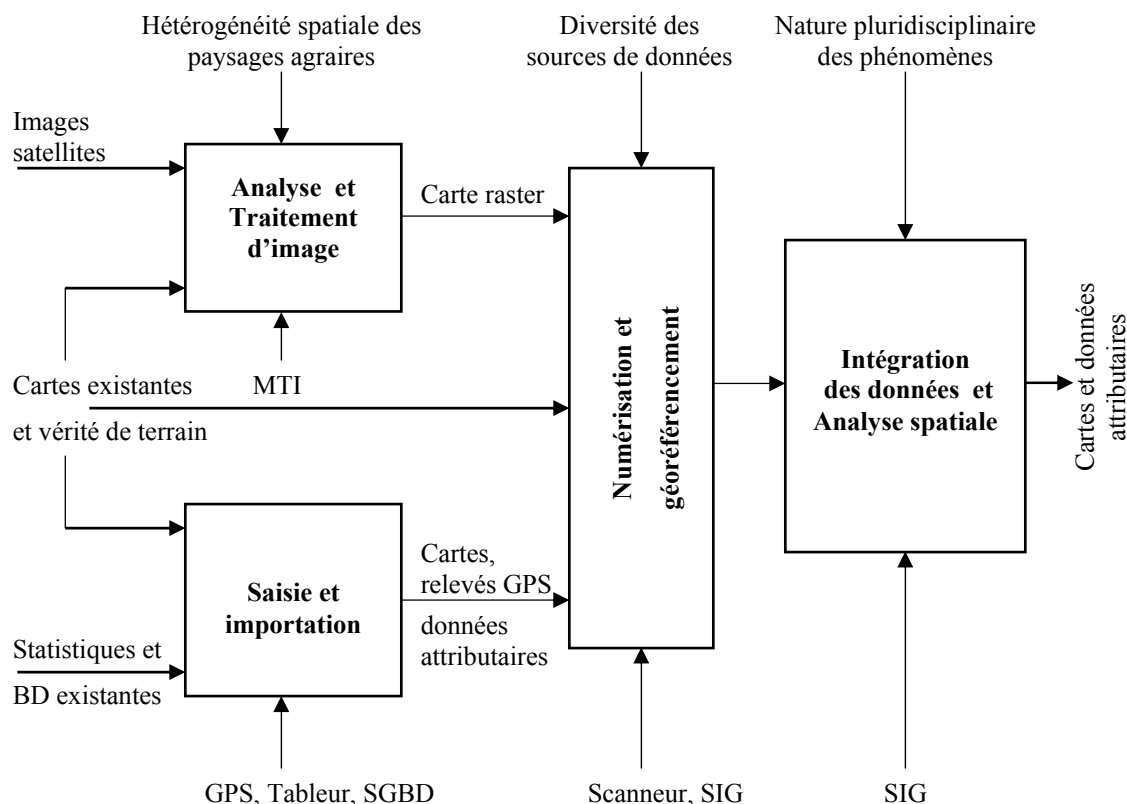
primaires collectées sur le terrain. Le principal résultat du module d'Observation et d'Analyse spatiale est la base de données géographique du SIE qui est composée de couches de cartes et des données attributaires associées. Ces cartes sont exploitées comme données d'entrée pour les modules Diagnostic-Characterisation et Explication-prédiction. Les informations produites par le module Diagnostic-Characterisation portent sur la structure, le fonctionnement et les changements survenus dans le système d'utilisation de l'espace. A travers des indicateurs dérivées de ces informations, le module Explication-Prédiction fournit des modèles explicatifs des évolutions et les stratégies que les acteurs mettent en place. Le module de modélisation dynamique et simulation produit les dynamiques spatiales relatives aux trajectoires possibles de changement d'utilisation de l'espace. La diversité des outils logiciels et matériels utilisés pour la mise en œuvre sont : le système GPS (Global Positioning System), le Système de Gestion des Bases de Données (SGBD), le Système d'Information Géographique (SIG), le Module de Traitement d'Image (MTI), le Module d'Analyse Statistique (MAS) et la plateforme de Modélisation et Simulation (PMS). Les paragraphes suivants décrivent tour à tour et dans les détails les données en entrée, les fonctions, les ressources logiciels ou matérielles et les informations en sortie de chaque module.



**Figure 6.4 : Diagramme fonctionnel de niveau 2 mettant en exergue les quatre principaux modules du SIE SMALL Savannah.**

**a) Module d'observation et d'analyse spatiale**

Le module d'observation et d'analyse spatiale a pour fonction l'acquisition des données multi-sources et la représentation des phénomènes étudiés. L'activité d'acquisition des données concerne les opérations suivantes : analyse d'images, saisie et importation des données existantes ou de terrain et numérisation des cartes papier existantes. Cette activité s'appuie sur les techniques et fonctions de structuration, de traitement, et d'intégration de données qu'offrent le GPS, les SGBD, les Modules de Traitement d'Image (MTI) et les Systèmes d'Information Géographique (SIG). Dans le contexte spécifique des savanes d'Afrique centrale, les contraintes identifiées pour la mise en œuvre du module d'observation et d'analyse spatiale sont l'indisponibilité, la qualité approximative des données images et des statistiques. Les procédures d'acquisition et de traitement proposées dépendent du type de données et des besoins. Les cartes existantes au format raster sont mises en forme sous un logiciel de traitement d'image avant leur géoréférencement et leur digitalisation. Le traitement des images satellites combine traitement automatique et photo-interprétation (chapitre 3, section 2). Les relevés GPS et les données d'observations associées sont saisies sous un tableur et importées ultérieurement sous le SIG (chapitre 8). Les fonctions d'intégration et d'analyse spatiale fournies par les SIG sont utilisées pour dériver des variables qui traduisent l'inscription spatiale des phénomènes étudiés comme par exemple la pression humaine sur l'espace, l'influence de l'accessibilité au centre urbain sur les changements d'utilisation de l'espace (chapitre 9).

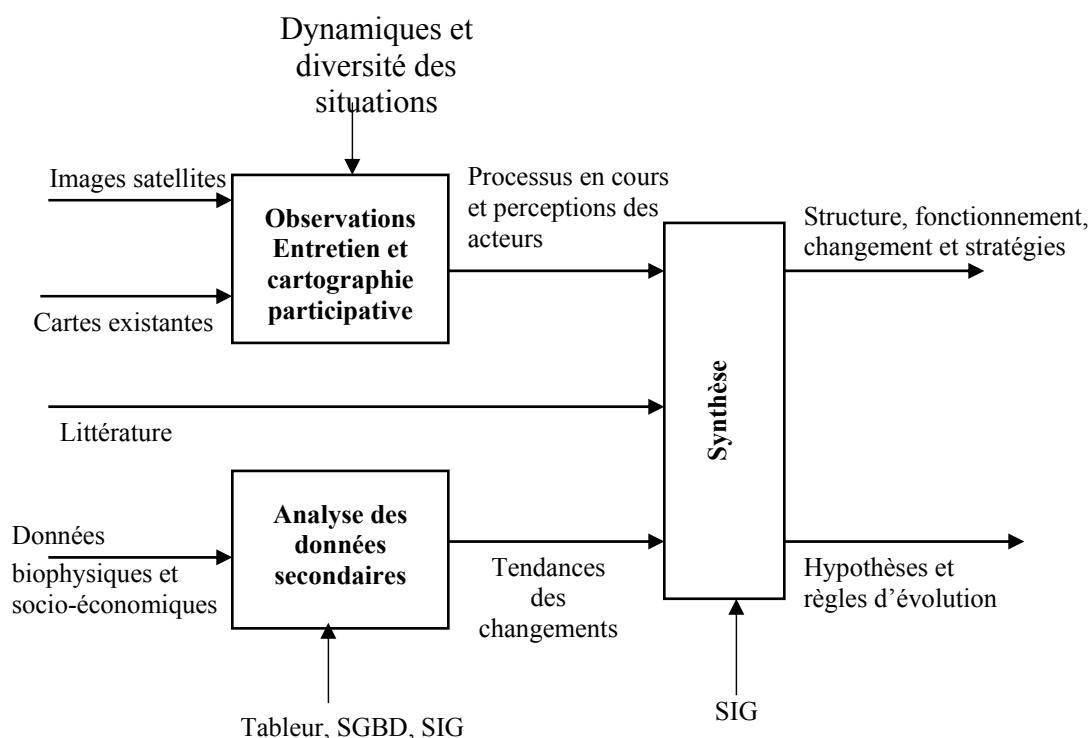


**Figure 6.5 : Diagramme du module d'observation et d'analyse spatiale.**



**b) Module de diagnostic et de caractérisation**

Le module de diagnostic et caractérisation est l'activité qui consiste à décrire la structure des unités d'occupation du sol, le fonctionnement du système d'utilisation de l'espace et les changements survenus au cours des dernières décennies. La finalité étant d'aboutir à mettre en exergue les dynamiques, les facteurs déterminants, les stratégies des acteurs, les règles d'évolutions ou logiques qui sous-tendent les processus qui opèrent dans l'espace (figure 6.6). Cette analyse de la dynamique du système agraire est basée sur une approche systémique et tire profit d'une combinaison des données et connaissances issues de sources diverses (chapitres 5, 7 et 8). La revue de la littérature et l'exploitation des données statistiques agricoles ou de recensement (population, cheptel), l'analyse historique du peuplement et de l'utilisation de l'espace, l'analyse d'images satellites ou de cartes existantes, permettent de formuler des hypothèses sur les logiques d'organisation de l'espace. La cartographie participative associée aux enquêtes auprès des populations rurales est un moyen réaliste de collecte des données complémentaires sur l'organisation de l'espace. Elle permet en même temps d'identifier les processus et les explications pertinentes sur la base des connaissances et perceptions paysannes (Bocco et Toledo, 1997).



**Figure 6.6 : Diagramme du module de diagnostic et de caractérisation.**

**c) Module d'explication et de prédiction des changements**

Le développement de SMALL Savannah repose sur l'hypothèse selon laquelle l'analyse des dynamiques spatiales peut conduire à identifier et expliciter des processus pertinents des dynamiques agraires. La plupart des données ont une référence spatiale, les processus sont identifiés en prenant comme point de

départ leur inscription spatiale. Cette hypothèse est bien illustrée par la figure 6.7 qui montre que les données du module d'explication et prédiction sont principalement des cartes d'occupation du sol ou d'utilisation de l'espace et des cartes des facteurs potentiellement déterminants. Les fonctions d'analyse spatiale offertes par les SIG permettent de combiner ces données spatiales multi-dates et multi-thèmes afin de détecter les changements et de les relier aux facteurs déterminants potentiels (chapitres 7 et 8). Une analyse empirique de type régression statistique permet de quantifier les relations entre l'utilisation de l'espace et les facteurs déterminants et permet ainsi de prédire la distribution de l'utilisation de l'espace (chapitre 9). Les informations spatiales produites sont enrichies avec celles issues de la littérature et du terrain pour expliquer les changements d'utilisation de l'espace et montrer les stratégies des acteurs.

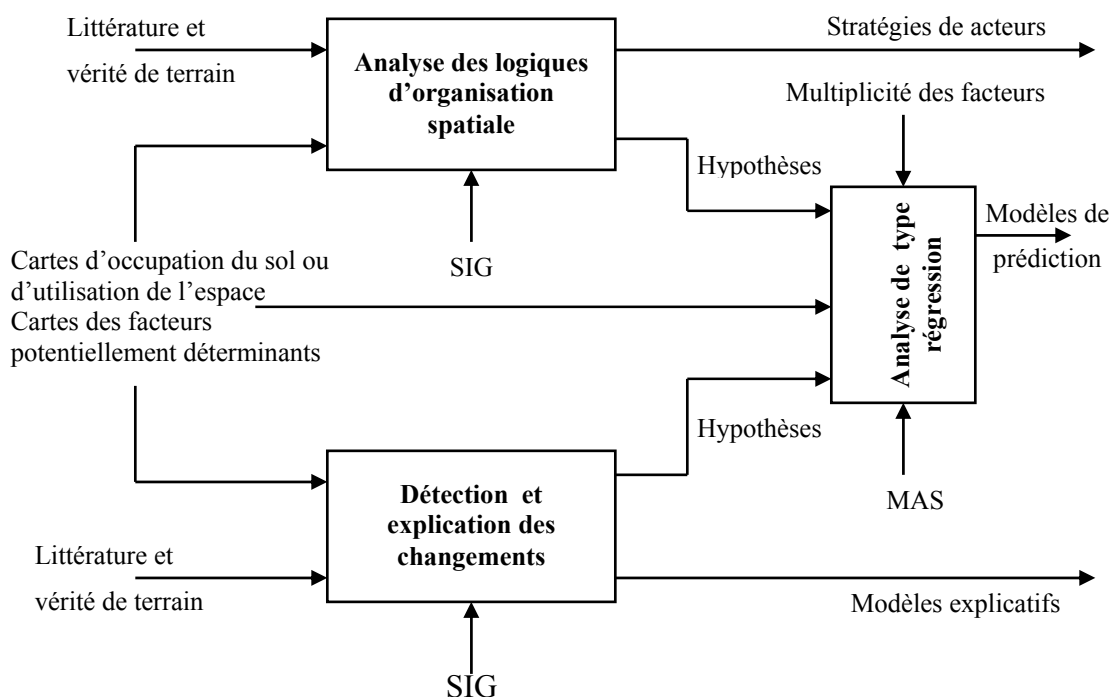


Figure 6.7 : Diagramme du module d'explication et de prédiction.

#### d) Module de modélisation dynamique et de simulation

L'une des caractéristiques importantes du SIE est la possibilité d'élaboration des scénarios de simulation des dynamiques d'utilisation de l'espace, dans la perspective d'anticiper les évolutions et proposer des alternatives de gestion de l'espace. La calibration du modèle dynamique s'effectue en utilisant les connaissances préalables sur les changements d'utilisation de l'espace fournies par le module de diagnostic - caractérisation. La formulation des scénarios s'appuie également sur les résultats du module de diagnostic - caractérisation concernant les hypothèses sur les trajectoires possibles d'évolution. On arrive ainsi à estimer pour chaque scénario, les besoins des populations et spécifier les exigences des politiques futures sous forme de restrictions. La procédure d'allocation des changements prend en compte les probabilités de transition ainsi définies et les règles d'évolution qui traduisent des restrictions de changement ou une politique donnée de gestion de l'espace (chapitre 10). La principale sortie de ce

module est la future structure de l'utilisation de l'espace montrant la localisation et le moment où les conversions de l'utilisation de l'espace peuvent prendre place (Verburg et al., 2002).

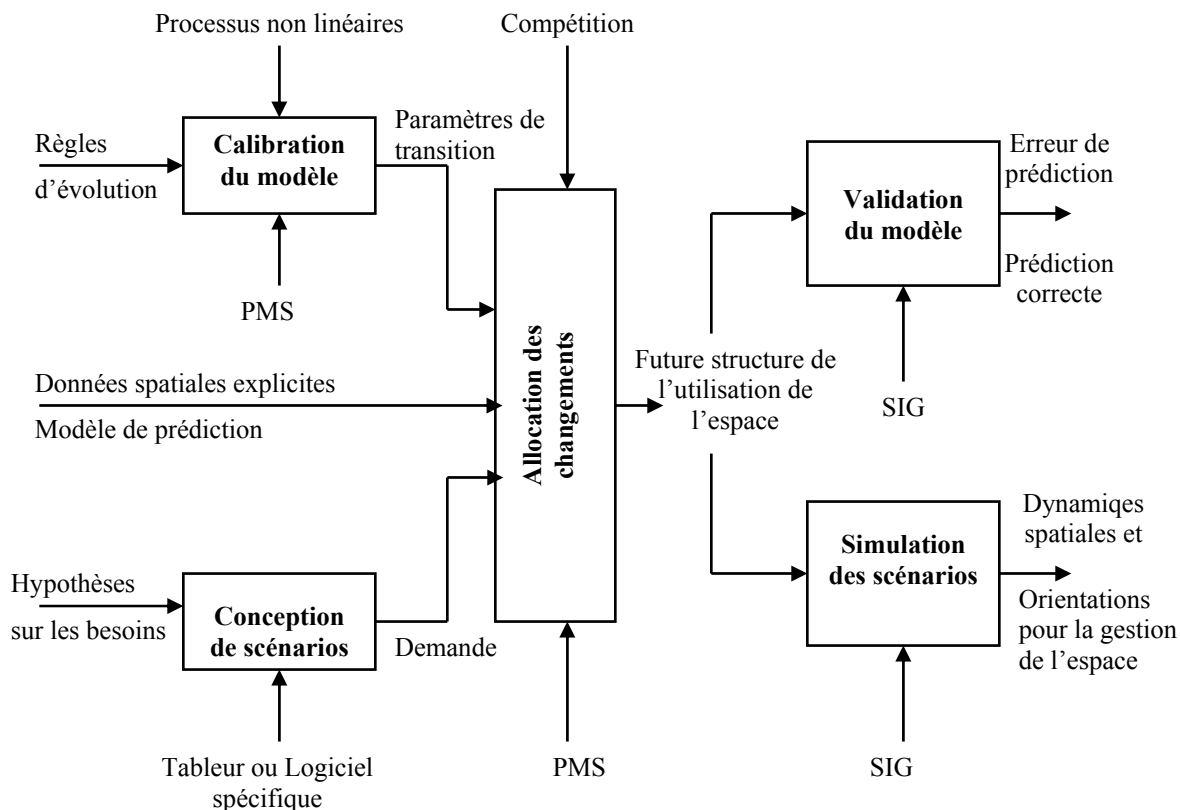


Figure 6.8 : Diagramme du module de modélisation dynamique et de simulation.

#### 6.4.2. Le modèle objet de SMALL Savannah

Le modèle objet décrit l'ensemble des données manipulées, les relations sémantiques qui existent entre elles et les traitements appliqués. Le tableau 6.1 donne la liste des données manipulées, leurs sources et les variables dérivées à l'issue des traitements. On distingue principalement les données sur l'utilisation de l'espace et les données sur les facteurs déterminants d'ordre biophysiques, sociodémographiques et géoéconomiques. Toutes ces données ont été structurées et intégrées dans la base de données du SIE. On peut remarquer que ces données sont de sources différentes et par conséquent de nature et de formats variés (texte, image, carte, plan etc.). L'un des problèmes majeurs du développement des SIE opérationnels est l'inexistence d'un formalisme unique permettant de représenter et gérer cette diversité des types de données. Le modèle relationnel est l'un des premiers modèles de base de données et le plus largement utilisé. Il repose sur le formalisme « Entité-Association » (Nancy et al., 1992 ; Gardarin, 1998). Ce modèle souffre toutefois d'une simplicité qui rend difficile la description d'objets structurés ou complexes. Les faiblesses concernent notamment la modélisation de certains aspects des données géographiques telles que la composante spatiale, la dynamique des objets et la représentation multiple des objets. C'est ainsi qu'on a assisté à une évolution vers des modèles plus riches sémantiquement (Pornon, 1993 ; Fotsing, 1996). Le modèle « d'Aggrégation-Généralisation » est une extension du modèle « Entité-Association » avec les concepts d'agrégation et de généralisation qui correspondent respectivement à la

composition d'objets (« est composé ») et à la hiérarchie d'héritage (« est un type de »). Le modèle objet combine ces deux types de modèle et permet de décrire dans un même schéma, les données et les traitements. L'approche Orientée-Objet est une perspective intéressante pour représenter les objets complexes et décrire les structures hiérarchiques adaptées à la représentation multiple (Bouzeghoub et al., 1997). De nouvelles approches consistent à enrichir les modèles existants pour les adapter aux données géographiques (Caron et Bédard, 1993). Le formalisme utilisé dans cette section pour décrire les données combine et adapte les concepts du modèle Entité-Association et du modèle Orienté-Objet mais, la mise en oeuvre dans le système informatique utilise le modèle relationnel.

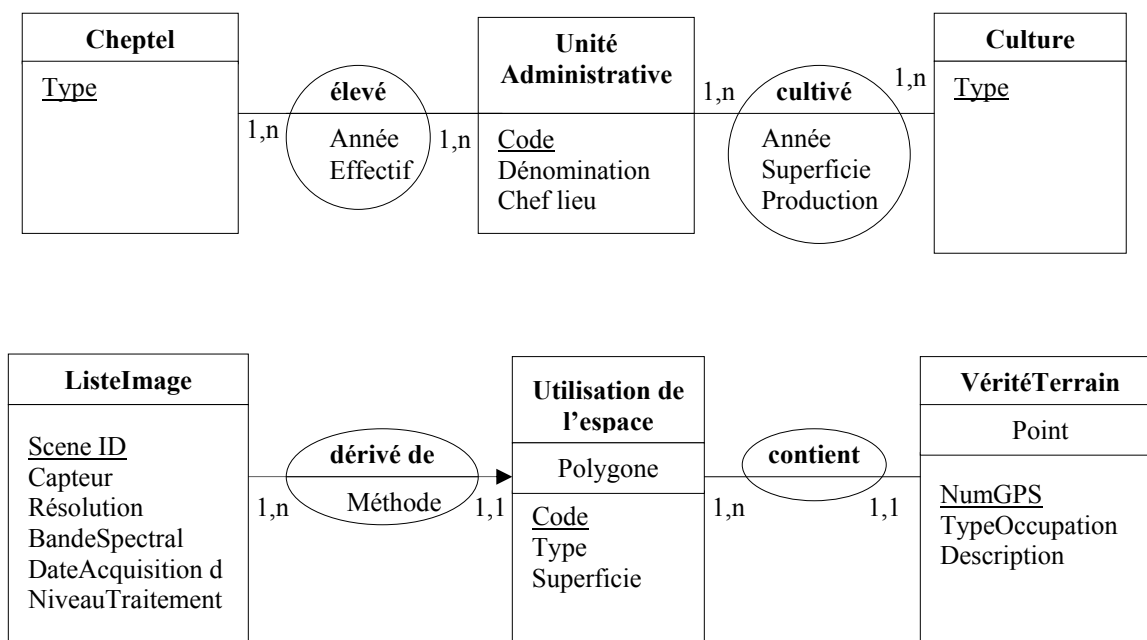
<b>Nature des données</b>	<b>Sources</b>	<b>Variables</b>	<b>Description</b>
<b><i>Biophysiques</i></b>			
Relief	USGS, 1998	Altitude	Altitude
		Slope	Pente
Types, aptitudes et potentialités des sols	Brabant et Gavaud, 1984 et 1985	Soilpot	6 variables de potentialité agricoles
		Soilsorg	6 variables d'aptitude au sorgho
Pluviométrie	SODECOTON, 2001	Rainfall	Pluviométrie moyenne 1994-1998
<b><i>Socio-démographiques</i></b>			
Population par village	RGPH, 1987	Density	Densité de population
		Rurpot87	Indice de pression population rurale
		Rurpot99	Indice de pression population rurale
		Poppot87	Indice de pression population totale
		Poppot99	Indice de pression population totale
Distribution ethnique	Seignobos et Iyébi-Mandjeck, 2000	Fulbe	Pourcentage de Fulbé
		Mofu	Pourcentage de Mofu
		Guiziga	Pourcentage de Guiziga
<b><i>Géographiques et économiques</i></b>			
Réseau hydrographique	IGN, 1973	Distriver	Distance aux cours d'eau
Infrastructures routières et Marchés	IGN, 1973	Distroad	Distance à la route
		Travelc	Temps déplacement à la ville principale
		Travelu	Temps déplacement aux centres urbains
		Travelm	Temps de déplacement aux marchés
<b><i>Utilisation de l'espace</i></b>			
Recensement du cheptel	MINEPIA, 2002	Livestock	Densité du cheptel en UBT/km <sup>2</sup>
Utilisation de l'espace	Images SPOT Chapitre 8	LU1987	6 variables d'utilisation en 1987
		LU1997	6 variables d'utilisation en 1999
		LUchange	6 variables des changements

**Tableau 6.1 : Ensemble des données et variables obtenues à l'issue des traitements.**

Les données manipulées portent sur l'utilisation de l'espace et les facteurs déterminants. Ces données peuvent être regroupées en quatre thèmes principaux dont les sous-modèles correspondant sont décrits dans les paragraphes suivants: l'occupation du sol et l'utilisation de l'espace, les facteurs biophysiques, les facteurs sociodémographiques et les facteurs géoéconomiques. L'ensemble des données a une référence spatiale qui est décrite implicitement dans les modèles. Les méta-données (échelle, source, nature des données) sont représentées comme des propriétés et nous avons introduit à cet effet une association (dérivé de) qui permet de décrire des versions différentes du même objet. Dans le diagramme objet, une flèche est orientée vers l'entité dérivée et le traitement appliqué est une propriété de cette association (voir les figures de 6.9 à 6.11). Les méthodes de traitement indiquées dans les modèles ne sont pas décrites dans ce chapitre. Elles peuvent être trouvées aux chapitres 3 et 8, pour les méthodes d'analyse d'image et aux chapitres 5, 9, pour les modèles de dérivation des variables correspondant aux facteurs déterminants.

**a) Sous-modèle de données sur l'occupation du sol et de l'utilisation de l'espace**

Le sous-modèle de données sur l'occupation du sol et l'utilisation de l'espace représenté à la figure 6.9, comprend : les données d'occupation du sol et d'utilisation de l'espace dérivées directement des images satellites ou de photographies aériennes, les données issues des statistiques agricoles et les données du recensement du cheptel (MINAGRI, 1999 ; MINEPIA, 2002).



**Figure 6.9 : Exemples de structure de données sur l'occupation et l'utilisation de l'espace. La méthode de dérivation des structures d'utilisation de l'espace est décrite au chapitre 3. Les valeurs (1,n) correspondent aux cardinalités minimales et maximales telles que définies dans le modèle Entité-Association.**

Les différentes méthodes d'extraction des unités d'occupation du sol sont décrites au chapitre 3. Chacune des images satellites brutes ont subi des opérations de prétraitement telles que la correction géométrique, l'amélioration de contraste et les compositions colorées. La qualité des données d'utilisation de l'espace dépend du choix des images et des traitements numériques qui sont ensuite appliqués. En effet, à partir des images, les unités d'occupation du sol sont extraites par une combinaison de différentes méthodes

automatiques et manuelles parmi lesquelles les classifications multispectrales, les indices de végétation, la morphologie mathématique, la photo-interprétation et la cartographie participative. Les points GPS issus des campagnes de terrain sont intégrés dans la base de données et servent pour la validation de la nature des unités d'occupation du sol (chapitre 8). La carte des localités permet de mieux repérer les structures et les unités d'occupation du sol. Les données de statistiques agricoles, au niveau des unités administratives, portent sur la production, les surfaces mises en culture et les rendements de chaque type de culture et sont disponibles par année. Les données sur l'effectif du cheptel sont également disponibles pour chaque année à l'échelle des unités administratives (chapitre 5). La valeur du type de cheptel peut être bovin, ovin ou caprin. La mise à jour de cette partie de la base de données et l'amélioration du dispositif de collecte de l'information permettrait de suivre et comparer l'évolution de la production agricole et du cheptel entre les différentes zones.

#### ***b) Sous-modèle de données sur les facteurs biophysiques***

Les données sur les facteurs biophysiques qui sont actuellement disponibles concernent le relief, les sols et la pluviométrie. Pour chacun de ces thèmes, des variables plus pertinentes sont dérivées des données cartographiques de bases (figure 6.10).

La précision de la carte du relief est améliorée et une carte de pente est ensuite dérivée. La carte initiale du relief est un Modèle Numérique de Terrain (MNT) provenant de la base de données hydrologique avec une résolution d'un kilomètre (USGS, 1998). L'altitude et la pente sont les deux variables dérivées de ce MNT et utilisées dans le modèle de changement d'utilisation de l'espace (chapitre 9). En effet, la résolution initiale d'un kilomètre ne permet pas d'avoir une carte de pente assez réaliste. Elle affiche des pentes nulles sur des plages de 1km qui forment des plateaux artificiels sur des hautes altitudes. La solution à ce problème a consisté à faire une interpolation pour améliorer la précision du MNT (6.9a). On obtient un résultat satisfaisant compte tenu de la nature du relief de la région qui présente très peu de changements du sens de la pente sur de faibles distances comme 1 km.

Une carte des potentialités agricoles des terres et une carte d'aptitude des terres à la culture du sorgho de contre saison ont été dérivées en s'appuyant sur les propriétés physiques des sols et leurs aptitudes aux cultures (6.9b). La carte de base des types de sols est numérisée et intégrée dans le SIG. Pour la carte des potentialités agricoles, les unités de la carte des sols ont été regroupées en fonction de la combinaison de leur niveau d'aptitude pour les cultures pluviales et pour les cultures irriguées (chapitre 5). Une carte d'aptitude des sols à la culture du sorgho de contre saison a été créée en s'appuyant sur les caractéristiques physiques des différents types de sol (chapitre 7).

Les données pluviométriques sont saisies sous forme de tableaux pour chaque station. Les cartes de point correspondantes sont créées par géocodage avec une carte de localisation des stations (6.9c). La carte obtenue est utilisée pour dériver une carte d'isohyètes par interpolation (chapitre 5). A l'échelle de la région de l'Extrême Nord du Cameroun, une carte des cours d'eau est obtenue par digitalisation de la carte topographique. Les deux problèmes que pose cette carte obtenue sont la faible précision et l'absence de mise à jour. A l'échelle de la zone de référence, les traitements des images SPOT sont utilisés pour dériver des cartes plus précises et plus récentes du réseau hydrographique, ici relativement mobile. La morphologie mathématique est utilisée et une digitalisation manuelle est effectuée pour compléter les branches de réseau non détectées automatiquement (chapitre 3).

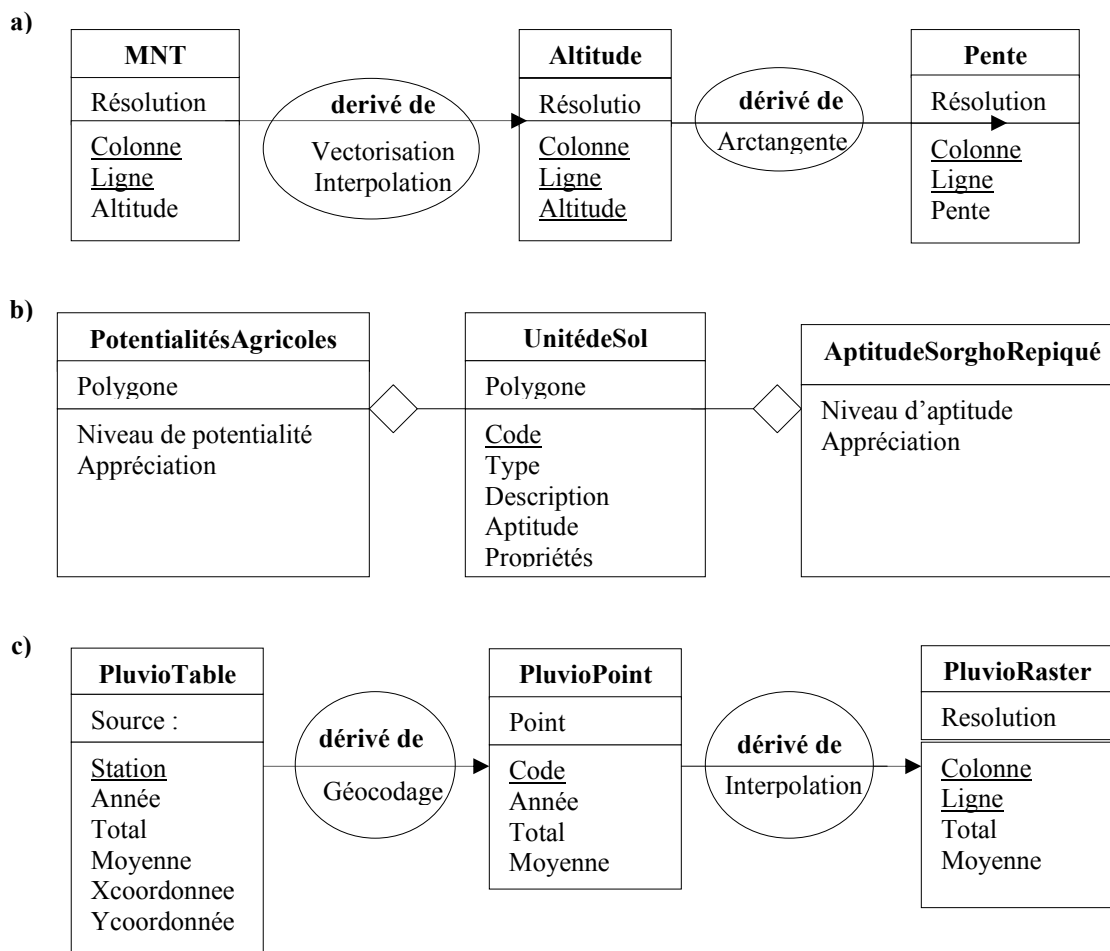
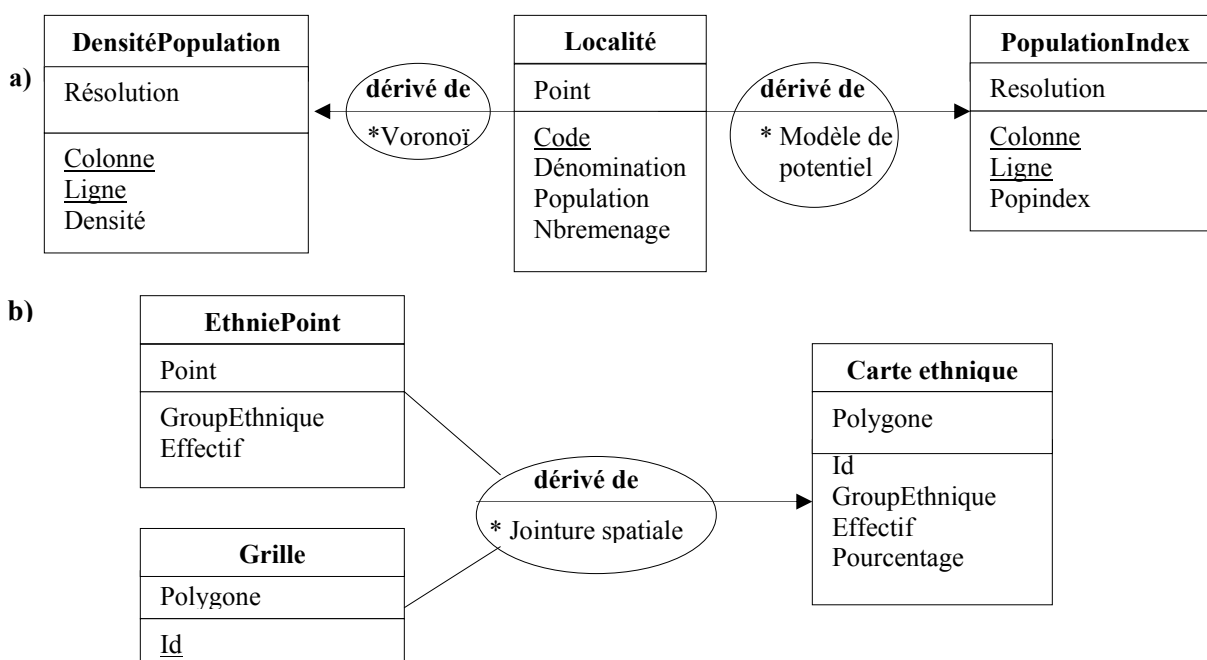


Figure 6.10 : Exemples de structure de données sur les facteurs biophysiques. Les détails sur les fonctions d'interpolation et de calcul de pente sont décrits au chapitre 9. Les unités d'aptitude et de potentialité des sols sont composées d'unité de type de sol (voir chapitres 5 et 7).

c) Sous-modèle de données sur les facteurs sociodémographiques

Les données sociodémographiques sont très importantes dans les études sur les changements de l'utilisation de l'espace, en particulier pour estimer la demande ou la pression sur les ressources agricoles ou pastorales. Les données sociodémographiques de base comprennent les données de population et la répartition ethnique (figure 6.11). Les données de population proviennent du dernier recensement général de la population du Cameroun qui date de 1987. Cette source de données présente deux problèmes pour son exploitation : l'échelle de collecte et l'absence de référence spatiale. Sur le plan administratif, le pays est divisé en provinces, une province est divisée en départements, un département en arrondissements, un arrondissement en villages et les villages en quartiers. Ce sont à ces échelles que l'utilisateur souhaiterait obtenir les données mais elles ne sont disponibles que pour des zones de dénombrement (ZD), unité choisie pour le recensement. Les informations disponibles que l'on peut extraire de ces statistiques sont, le nombre de ménage, la population totale d'une ZD et la nature de la ZD (urbain ou rural). Au niveau du village et du quartier, le nombre de ménages est également connu. La structure de données définie permet de calculer l'effectif de la population pour un village donné dans les différents cas notamment pour

les ZD regroupant plusieurs localités ou pour les localités découpées en plusieurs ZD (Yonta, 2001). Les données de population par village sont utilisées pour dériver une carte de densité de population (6.11a) et une carte des zones d'influence potentielle de la population autour des zones d'habitation (chapitre 9). La carte de base de la distribution ethnique est issue de l'atlas de la province de l'Extrême Nord (Seignobos et al., 2001). Chaque ethnie est représentée par une couleur et les effectifs sont représentés par des symboles proportionnels (100 ou 1000 habitants). La digitalisation de cette carte a permis de créer une carte de point dont la structure comprend les attributs correspondant à l'ethnie et l'effectif. Une jointure spatiale est ensuite effectuée entre la couche de point et une couche contenant des grilles carrées et dont la structure de données associée comprend les attributs, effectif, densité et pourcentage de chaque ethnie par rapport à la population totale (6.11b).

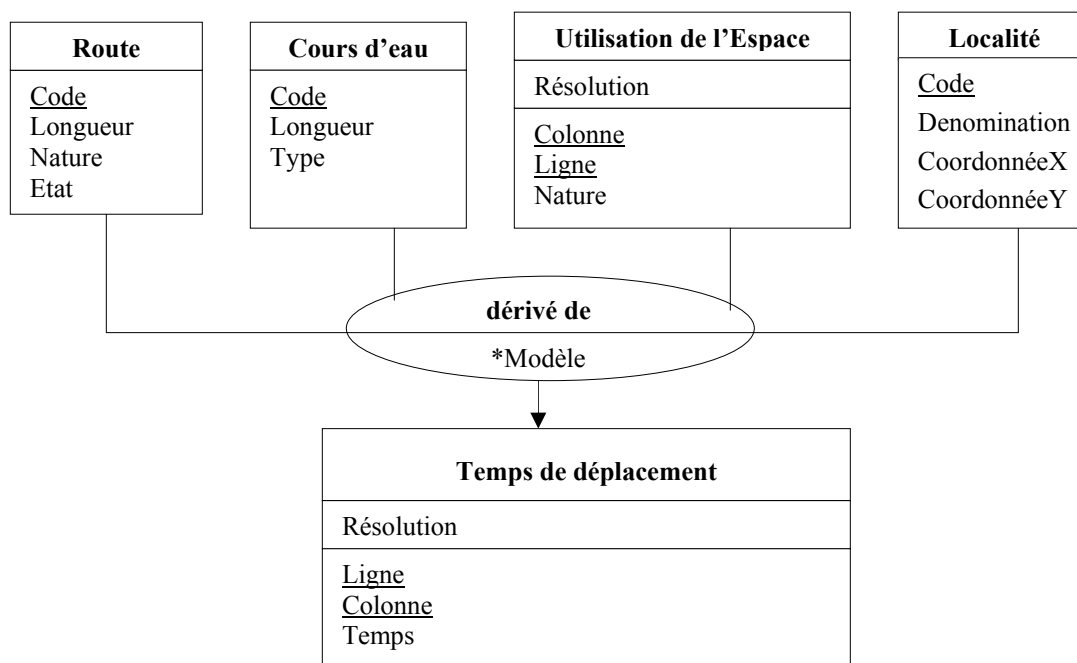


**Figure 6.11 : Exemples de structure de données sur les facteurs socio-démographiques. \*Le modèle de potentiel est décrit en détail au chapitre 9. La fonction de Voronoï et la jointure spatiale sont mises en oeuvre sous le SIG.**

**d) Sous-modèle de données sur les facteurs géoéconomiques**

Les facteurs géoéconomiques pris en compte dans le modèle de simulation sont représentés par une évaluation de l'accessibilité aux marchés et aux principaux centres urbains. Les données de base utilisées pour dériver les variables d'accessibilité sont constituées des cartes de l'infrastructure routière, du réseau hydrographique et de l'utilisation de l'espace. Chaque route est caractérisée par les propriétés suivantes : la présence de bitume, le type de la route, la nature et l'importance politico-économique. Le modèle d'accessibilité décrit au chapitre 9 permet de calculer une carte du temps de déplacement de chaque position de l'espace vers une destination donnée : la ville, le marché ou le centre urbain le plus proche (figure 6.12).





**Figure 6.12 : Exemple de structure de données sur les facteurs géoéconomiques. \* Le modèle d'accessibilité est décrit en détail au chapitre 9.**

### 6.4.3. Le modèle du système informatique de SMALL Savannah

Dans la section précédente, les données et les traitements ont été décrits sans aucune référence aux outils logiciels nécessaires pour la mise en œuvre. Le modèle du système permet de préciser l'architecture du système informatique et ses relations avec l'organisation des ressources humaine, matérielle et logicielle, nécessaires à son fonctionnement. Le modèle du système est représenté par un diagramme montrant les différents sous-systèmes et leurs interrelations. Un sous-système est un ensemble de classes et de fonctions qui présentent une certaine cohésion, c'est-à-dire qu'il regroupe les parties du système qui ont les mêmes fonctionnalités et utilisent les mêmes structures de données, les mêmes types de matériel ou les mêmes composants logiciels. Le formalisme de représentation est un graphe dont les nœuds sont les sous-systèmes et les arcs sont les relations de dépendances logiques ou fonctionnelles. Les relations entre les utilisateurs et les sous-systèmes peuvent être représentées. Les liens entre les différents sous-systèmes sont de type fonctionnel et correspondent aux échanges de données nécessaires au fonctionnement de l'ensemble du système. .

Le diagramme du système informatique de SMALL Savannah est composé de cinq sous-systèmes (figure 6.13). Chaque sous-système assure une fonction spécifique dans le processus de traitement et l'implémentation physique est réalisée avec un ou plusieurs logiciels appropriés. On distingue cinq sous-systèmes principaux parmi lesquels deux assurent principalement le stockage et la gestion des données géographiques. Les trois autres sous-systèmes assurent les tâches d'analyse statistique, de simulation des dynamiques et de visualisation des résultats.

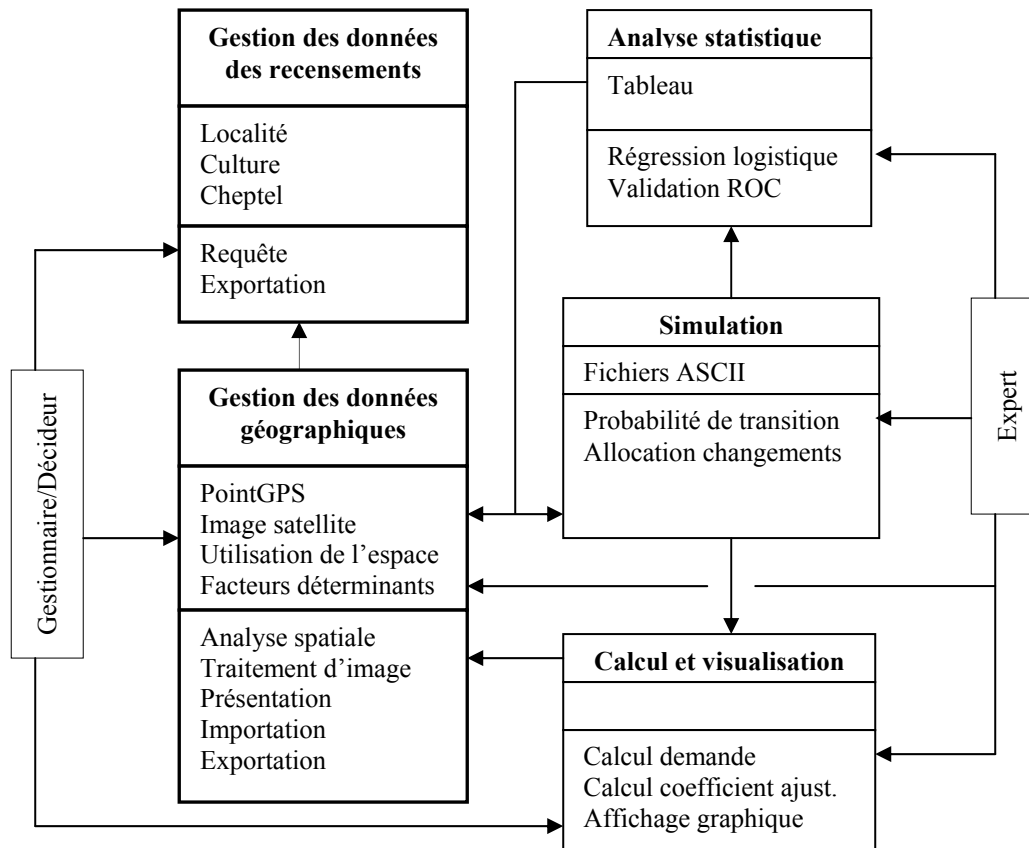


Figure 6.13 : Diagramme du système informatique de SMALL Savannah. Les flèches permettent de montrer le sens d'émission de la requête du sous système client vers le sous système serveur des données.

**a) Sous-système de gestion des données des recensements**

Ce sous-système assure la gestion des données de recensement de la population et du cheptel, les statistiques agricoles (surfaces cultivées) par unité administrative. Le SGBD ACCESS et le tableur EXCEL sont utilisés respectivement pour structurer ces données et implémenter des requêtes permettant d'estimer la population de chaque village. Une base de données géographique sur les villages de la région a été utilisée pour effectuer un géocodage des données de population.

**b) Sous-système de gestion des données géographiques**

Ce sous-système assure les fonctions d'acquisition, de traitement et d'intégration des données géographiques de source et de nature diverses. Les images satellites ont été analysées sous le logiciel ILWIS. Les points GPS des vérités terrain ont été importés sous le logiciel de SIG MapInfo. Les images et les cartes d'occupation du sol au format vecteur dérivées des traitements d'images sont également géoréférencées sous MapInfo avec l'ensemble des cartes des données biophysiques, socio-démographiques et d'infrastructure. Les opérations d'analyses spatiales au format raster sont élaborées sous le logiciel de SIG Arcview.

***c) Sous-système d'analyse statistique***

Ce sous-système assure une fonction d'exploration des relations quantitatives entre les changements d'utilisation de l'espace et les facteurs déterminants. Les données spatiales au format raster sont converties sous forme d'un tableau où chaque ligne correspond aux données d'une cellule et chaque colonne aux données d'une variable (utilisation de l'espace ou facteur déterminant). Le logiciel SPSS est utilisé pour construire des modèles de régression multiple entre chaque classe d'utilisation de l'espace et les facteurs déterminants appropriés.

***d) Sous-système de calcul et visualisation des paramètres***

Ce sous système fait appel aux possibilités d'un tableur pour calculer certains paramètres nécessaires à la simulation ou pour visualiser graphiquement certains résultats de la simulation. Le logiciel Excel permet par exemple d'effectuer les tâches suivantes :

- l'estimation de la demande annuelle pour chaque type d'utilisation de l'espace pour la période de simulation,
- le calcul des coefficients d'ajustement pour la validation des structures d'utilisation de l'espace issues du modèle de simulation,
- la visualisation de la courbe des coefficients d'ajustements entre les scènes comparées,
- la visualisation graphique de l'évolution des superficies de chaque type d'utilisation pendant la période de simulation.

***e) Sous-système de simulation des dynamiques spatiales***

Ce sous-système implémenté sous la plateforme de modélisation CLUE-S, permet d'effectuer les projections des changements de l'utilisation de l'espace en s'appuyant sur différents scénarios d'évolution possible dans un avenir proche (Verburg et al., 2002). Les données cartographiques et les paramètres nécessaires à la simulation sont fournis à ce sous-système sous forme de fichier ASCII.

***f) Principaux utilisateurs du système***

Dans sa version actuelle, le système peut être utilisé dans le cadre d'un observatoire des dynamiques agraires et du développement rural pour mieux comprendre les dynamiques et explorer les scénarios d'évolutions possibles. Les utilisateurs potentiels sont les acteurs impliqués dans la planification et la gestion de l'espace. Le système peut également être utilisé par des scientifiques pour tester des scénarios d'évolution possible de la trajectoire des changements d'utilisation de l'espace. Deux principaux types d'utilisateur peuvent interagir avec le système : le gestionnaire ou décideur et l'expert (figure 6.13). Le gestionnaire ou décideur peut consulter les bases de données ou les résultats des simulations sous forme graphique ou de cartes. Les interventions de l'expert dans le système restent très déterminantes pour l'interprétation des résultats intermédiaires et le déclenchement des traitements successifs (analyse d'image et exploration statistiques des facteurs déterminants). Il intervient également pour la mise en forme des données nécessaires au calcul de certains paramètres, à la réalisation des graphiques, et à l'exécution des scénarios de simulation.

## 6.5. Conclusion et perspectives

Dans ce chapitre, nous avons proposé des éléments de définition et de spécification des SIE en les illustrant sur le cas de SMALL Savannah. L'architecture du système décrit s'appuie sur trois modèles conceptuels qui fournissent trois points de vue complémentaires du système : le modèle objet, le modèle fonctionnel et le modèle du système informatique. Le modèle fonctionnel montre que le SIE SMALL Savannah fournit quatre principales fonctionnalités : l'observation et l'analyse spatiale, le diagnostic et la caractérisation du système agraire, l'explication et la prédiction, la modélisation dynamique et la simulation. Le modèle objet met en exergue plusieurs exemples de données complexes qui nécessitent une extension des formalismes existants (modèle entité association et modèle objet) pour leur représentation. Il s'agit par exemple des objets spatiaux, les méta-données et les différentes versions d'un même objet. Le modèle du système informatique est composé de cinq sous-systèmes qui correspondent à différents outils logiciels qui doivent échanger des informations. Sur le plan conceptuel, le développement du SIE SMALL Savannah est une contribution à la proposition de méthodes de développement adaptées pour les SIE. La structure du SIE proposée est un exemple qui peut être utilisé dans le cadre de travaux ultérieurs pour une spécification plus formelle. Les éléments de démarche proposés constituent des axes pour guider l'adaptation et l'enrichissement des méthodes de conception existantes afin de prendre en compte les contraintes de cette nouvelle génération de SI. Une attention particulière devrait également être portée vers les aspects organisationnels du SIE qui n'ont pas été abordés explicitement dans ce travail.

Les chapitres suivants sont consacrés à des exemples d'applications qui illustrent les résultats de la mise en œuvre de chaque module de SMALL Savannah qui a été présenté dans ce chapitre. Les chapitres 7 et 8, portent principalement sur le diagnostic et la caractérisation du système agraire et de ses changements à différentes échelles. Les données intégrées sous le SIG (occupation du sol, recensement, statistiques agricoles, cartes) et l'analyse spatiale sont utilisées à cet effet. Le chapitre 9, décrit comment l'analyse spatiale permet d'explorer les relations entre l'utilisation de l'espace et les potentiels facteurs déterminants les changements. Le chapitre 10 est une application du modèle de simulation développé pour explorer les trajectoires des changements d'utilisation de l'espace dans un avenir proche. Sur le plan technique, on constate que l'utilisation cloisonnée des outils logiciels dans les SIE ne permet pas de fournir une vision d'ensemble des données et des traitements, conduisant ainsi au développement d'applications lourdes ou inadaptées. Les développements ultérieurs de ce Système d'Information doivent s'orienter vers une intégration plus avancée de ces différents sous-systèmes au sein d'un même système informatique afin de tirer profit des fonctionnalités offertes par les composants logiciels existants. Les techniques d'échange d'information ou de réutilisation d'applications devraient être explorées dans cette perspective. Toutefois, un problème important reste conceptuel dans la mesure où il faut 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. En conclusion, cette expérience illustre les principaux enjeux liés aux méthodes de conception et de mise en œuvre des SIE et ouvre des perspectives de recherche dans ce domaine. Il s'agit par exemple de la spécification formelle des SIE, l'adaptation des méthodes existantes pour prendre en compte les propriétés propres à ces systèmes.