

OSS
Paris

IARE
Montpellier

ORSTOM
Montpellier

Programme ROSELT
Réseau de Surveillance Ecologique à Long Terme

SIE - ROSELT

**Conception d'un Système d'Information sur
l'Environnement pour les Observatoires ROSELT**

**Développement d'un SIE-ROSELT local pour
l'Observatoire de Banizoumbou (Niger)**

Rapport d'Etape
mars 1997

Jean-Marc d'Herbès, ORSTOM
Olivier Gayte, IARE
Maud Loireau, ORSTOM

Opérateur ROSELT : Institut des Aménagements Régionaux et de l'Environnement (IARE)
Parc Scientifique Agropolis 34397 Montpellier Cedex 5, France
Tél : (33) (0)4 67 63 65 00 Fax : (33) (0)4 67 63 03 66 e-mail : Roselt@iare.mnet.fr

Sommaire

Sommaire.....	1
Préambule.....	1
Contexte général.....	1
Constitution du réseau.....	2
I. La démarche SIE-ROSELT.....	4
I.1. Objectifs du SIE.....	4
I.1.1. Principes généraux.....	4
I.1.2. Utilisation de l'espace et des ressources.....	6
I.1.3. Les Unités Spatiales de Référence (USR).....	6
I.1.3.1 Les Unités Paysagères (UP).....	7
I.1.3.2 Les Unités de Gestion (UG).....	8
I.2. L'approche par modules d'utilisation des ressources.....	8
I.3. Conception et mise en œuvre d'un SIE-ROSELT.....	10
I.3.1. Introduction.....	10
I.3.2. Organisation générale du SIE-ROSELT : Hypothèses préalables.....	10
I.3.3. Méthode.....	11
I.3.4. Modèle objet général des SIE locaux de ROSELT.....	12
I.3.4.1 Principes.....	12
I.3.4.2 Le modèle objet du SIE ROSELT.....	13
I.3.5. Le modèle fonctionnel.....	14
I.3.5.1 Fonctions de haut niveau : diagramme fonctionnel.....	15
I.3.5.2 Application à un Observatoire ROSELT.....	16
I.3.5.3 Le dictionnaire des fonctions.....	16
I.3.6. Le modèle du système.....	16
I.3.6.1 Principes.....	16
I.3.6.2 Le diagramme du système du SIE-ROSELT.....	17
I.3.7. Synthèse et stratégie.....	18
II. Application : SIE local de Banizoumbou (Niger).....	19
II.1. l'Observatoire de Banizoumbou.....	19
II.1.1. Brève présentation.....	19
II.1.2. Caractérisation des systèmes bio-physiques et socio-économiques.....	20
II.1.2.1 Données et documents de base.....	20
II.1.2.2 Cartographie de l'Occupation des Terres.....	21
II.1.2.3 La quantification des ressources végétales.....	22
II.1.2.4 La caractérisation des unités socio-économiques.....	25
II.1.3. Détermination de l'utilisation de l'espace et des ressources.....	25
II.1.3.1 Echantillonnage.....	25
II.1.3.2 Les unités spatiales de référence (USR).....	25
II.1.3.3 L'utilisation de l'espace et des ressources : approche par modules.....	26
II.1.4. L'effort de récolte des données.....	28
II.2. Le SIE de Banizoumbou : produits et état d'avancement.....	29
II.2.1. Le modèle objet du SIE de Banizoumbou.....	29
II.2.2. Le modèle fonctionnel du SIE de Banizoumbou.....	30
II.2.3. Le modèle dynamique du SIE de Banizoumbou.....	32
II.2.4. Le modèle du système du SIE de Banizoumbou.....	33

II.2.5. Intégration des données du territoire de l'Observatoire ROSELT de Banizoumbou.....	35
Conclusions et suggestions.....	36
Mise en place des SIE locaux.....	36
Analyse du risque.....	37
Références bibliographiques.....	39
Sur l'Observatoire de Banizoumbou.....	39
Sur le Système d'Information sur l'Environnement.....	41
Sur ROSELT.....	41

Préambule

Contexte général

Le Réseau d'Observatoires de Surveillance Ecologique à Long Terme (ROSELT) est un outil spécifique de l'Observatoire du Sahara et du Sahel (OSS) ; il est le premier réseau en Afrique qui organise un suivi scientifique et statistique de l'environnement permettant d'une part, de caractériser les causes et les effets de la désertification des terres et, d'autre part, de mieux comprendre les mécanismes qui conduisent à ce phénomène. ROSELT est un dispositif régional visant à fournir des données fiables sur la dégradation des terres des zones arides circum-sahariennes et des indicateurs biophysiques et socio-économiques pertinents de la désertification, et, d'une manière plus générale, un état de l'environnement dans les milieux ruraux de la zone OSS.

Les deux objectifs majeurs, définis dans un document de référence (ROSELT, août 1995), consistent :

1) à améliorer les connaissances de base sur le fonctionnement et l'évolution à long terme des systèmes écologiques et agro-écologiques et sur la co-viabilité des systèmes écologiques et des systèmes socio-économiques ;

2) à contribuer à rendre les connaissances utilisables, par le regroupement, le traitement des données et leur mise à disposition, par l'identification d'indicateurs et de produits finalisés.

Pour ce faire, les pays et organisations qui ont adhéré au concept ROSELT ont assigné des objectifs spécifiques au réseau, parmi lesquels :

- + *l'harmonisation des approches scientifiques pour la surveillance écologique, pour le choix des données et leur mode de recueil, pour leur traitement et pour la restitution de l'information ;*
- + *l'amélioration des connaissances de base en ce qui concerne la surveillance écologique à long terme ;*
- + *le traitement coordonné d'un ensemble de données communes aux Observatoires, de manière à diffuser périodiquement un état de l'environnement et des indicateurs de l'environnement et de la désertification pour la zone OSS dans son ensemble, pour les sous-régions et pour les pays ;*
- + *l'échange d'information, d'une part, entre les pays et, d'autre part, entre les Observatoires ;*
- + *la promotion, par des actions de terrain, du rapprochement entre la recherche environnementale et les activités de développement ;*
- + *l'aide à la formation des scientifiques et des techniciens ;*
- + *l'aide à l'intégration des pays de la zone OSS dans les stratégies et les programmations internationales traitant de l'environnement et du développement durable.*

ROSELT s'inscrit dans les contextes locaux (acteurs du développement local), nationaux (mise en place des Plans d'Actions Nationaux, PAN, et des Plans Nationaux d'Action Environnementale,

PNAE), sous-régionaux (PASR du CILSS, de l'UMA et de l'IGAD), et internationaux (Conventions Internationales sur la Désertification, les Changements climatiques et sur la Biodiversité ; UNESCO, FAO, PNUD-UNSO, PIGB,...).

Constitution du réseau

A la suite de consultations et d'expertises nationales, sous-régionales, puis internationales, l'OSS a labellisé une trentaine d'Observatoires parmi ceux proposés par les pays membres, dont 12 forment actuellement le noyau pilote pour la phase de lancement opérationnel (1997-2000).

Chaque pays a désigné un Représentant National ROSELT, qui s'entoure d'un Comité National consultatif. La dimension sous-régionale est surtout activée actuellement en Afrique de l'Ouest, représentée par l'Institut du Sahel (INSAH), désigné par le Secrétariat Exécutif du CILSS. Le niveau central est placé sous la responsabilité du Secrétariat Exécutif et du Directeur Exécutif de l'OSS, M. Chedli Fezzani qui a confié l'animation du réseau à un opérateur, l'Institut des Aménagements Régionaux et de l'Environnement (IARE, Montpellier). Il s'appuie sur les avis d'un petit Comité d'orientation formé de MM. Skouri (Unesco, Paris), Jean-Claude Menaut (CNRS, Ecole Normale Supérieure, Paris) et des membres du Comité Scientifique et Technique de l'OSS, particulièrement MM. Antoine Cornet (ORSTOM, France), Michel Hoepffner (ORSTOM-MEDIAS, France), Klaus Müller-Hohenstein (Université de Bayreuth, Allemagne) et Jesse Theuri Njoka (University of Nairobi, Kenya).

Les 12 Observatoires du réseau du noyau pilote sont les suivants :

Afrique au Nord du Sahara :	Maroc :	Issougui
	Algérie :	Steppes des hautes plaines
	Tunisie :	Menzel Habib
	Egypte :	El Omayed
Afrique de l'Est au Sud du Sahara :	Ethiopie :	Melka Werer
	Kenya :	Kibwezi-Kiboko (grappe 4 Observatoires)
Afrique de l'Ouest	Niger :	Keita Zarma Ganda Torodi (grappe 3 observat.)
	Mali :	Cercle de Bourem
	Sénégal :	Ferlo (grappe de 3 Observatoires)
	Mauritanie :	Nouakchott
	Cap Vert :	Ribeira Seca

La phase opérationnelle est en cours de lancement (début 1997) : une majorité d'Observatoires pilotes réalisent déjà des documents cartographiques de base et la valorisation des données recueillies. L'ensemble des pays s'est également mobilisé pour le recueil, l'exploitation et la mise en forme des compléments d'information nécessaires, afin de bâtir le programme ROSELT pour la période 1997-2000. Le dépôt de requêtes auprès de partenaires de coopération et des bailleurs de fonds est en cours. Certaines de ces requêtes ont reçu des avis favorables (FFEM, Coopération Suisse...).

La présente note méthodologique s'inscrit dans la démarche globale de définition, d'harmonisation et de saisie des données à recueillir à court et long terme, ainsi que des méthodes de traitement de l'information, afin d'établir des normes communes à l'ensemble de ROSELT.

Au vu des acquis importants disponibles sur certains Observatoires, en particulier celui de Banizoumbou, faisant partie de la grappes d'Observatoires de Zarma Ganda-Torodi au Niger, il a été admis que la mise au point d'une chaîne de traitement d'information, à l'intérieur d'un Système d'Information sur l'Environnement (SIE), constituait une démarche devant être conduite parallèlement à la définition et l'harmonisation du recueil de données.

La conception générale d'un tel système est donc décrite dans la première partie de ce rapport ; l'exposé des outils et des méthodes de traitement utilisés y sont également détaillés. Dans la deuxième partie du rapport, cette méthode est appliquée au cas de l'Observatoire de Banizoumbou qui est ainsi proposé comme un prototype du SIE-ROSELT au niveau local.

L'objectif de cette note est de rendre compte d'une démarche en cours de réalisation, afin de la proposer pour discussion à l'ensemble des partenaires impliqués dans la mise en œuvre de ROSELT.

Le présent document résulte des contributions de Jean-Marc d'Herbès (chercheur Orstom) et de Maud Loireau (allocataire de recherche Orstom), pour la conception générale et sa mise en œuvre sur l'Observatoire prototype, d'Olivier Gayte (IARE, Montpellier) pour la conception et la mise en œuvre des Systèmes d'Information sur l'Environnement. Il prend également en compte les apports de Gilbert Long et d'Alain Gerbe (Roselt, IARE), ainsi que d'André Marty (Iram) pour la réflexion concernant le recueil et l'analyse des données socio-économiques.

I. La démarche SIE-ROSELT

I.1. Objectifs du SIE

Malgré la quantité et la qualité des travaux de recherche sur la dégradation des terres en zones sèches, les diagnostics actuels tendent à déplorer la rareté des travaux portant sur les liens dynamiques existant entre les tendances de la désertification et les modalités de vie des populations. Les lacunes les plus importantes résident dans le fossé existant entre les connaissances concernant les conditions bio-physiques de la dégradation des terres et celles sur les spécificités démographiques, économiques et sociales des zones correspondantes. Même lorsqu'elles existent, ces connaissances ne sont disponibles que sous une forme disparate, sectorielle, dans des institutions et des lieux dispersés. Les experts internationaux estiment donc, dans l'esprit de la Convention Internationale sur la Lutte contre la Désertification (CCD), que préalablement à toute analyse de l'extension et de l'intensité de la désertification, des procédures d'analyse et de surveillance (*monitoring*), qualitativement et quantitativement fondées, adaptées aux situations et aux ressources locales et comparables d'une région à l'autre, doivent être mises en œuvre.

I.1.1. Principes généraux

Des méthodes d'inventaire et d'évaluation des changements environnementaux, à l'intérieur de chacun des systèmes bio-physiques ou socio-économiques de certains territoires, ont été appliquées dans de nombreux pays, et fournissent des bases de données considérables. Cependant, l'utilisation de ces données reste délicate pour interpréter la dynamique des interactions entre les systèmes, en raison du fait que le recueil de données n'a pas été conçu, le plus souvent, en vue de leur intégration.

La démarche adoptée dans le cadre du programme ROSELT consiste donc à s'appuyer sur une expérience de recueil de données conçue dès le départ en vue d'analyser les interactions entre systèmes, d'élaborer les méthodes de traitement correspondantes à partir de cette expérience, de concevoir un "prototype" de Système d'Information sur l'Environnement fondé sur cette approche, puis d'analyser les conditions de l'adaptation de ce système à des Observatoires disposant déjà de bases de données utilisables pour cet objectif, bien que non recueillies spécifiquement dans ce but, enfin de concevoir un Système d'Information suffisamment simple et performant pour être facilement applicable à l'ensemble des situations abordées par le programme ROSELT.

Il faut souligner ici que cette démarche, qui se veut innovante, reste encore exploratoire pour certains de ses compartiments. Elle nécessite donc à ce titre de nombreux aller-retour entre les données récoltées et la mise au point d'un système de traitement, entre les experts-thématiciens et les concepteurs des dispositifs informatiques. Cela implique en particulier que la complexité des problèmes à résoudre pour aborder réellement l'étude des interactions entre systèmes ne soit pas éludée, dans le seul but de satisfaire à l'urgence de la mise en œuvre d'actions de terrain. La simplification, nécessaire dans le cadre de ROSELT, ne peut être réalisée qu'après avoir exploré les difficultés et testé les produits. Une démarche inverse, du plus simple au plus compliqué, présenterait le danger de se priver des possibilités d'interprétation des interactions, par des lacunes dans les données ou séries de données indispensables. Parallèlement, un investissement inutile pourrait être accordé à un recueil de données qui seraient mal échantillonnées, voire non indispensables au *monitoring* des changements les plus en rapport avec les problèmes d'environnement de la zone aride circum-saharienne.

Les réactions recueillies, au cours de réunions internationales, sur la présentation partielle de la démarche exposée ici confirment cette orientation : le programme ROSELT peut apporter une contribution décisive dans la définition d'une démarche permettant d'analyser la dynamique des relations entre les systèmes socio-économiques et les systèmes bio-physiques, notamment dans une perspective d'évaluation des performances du développement social et économique et d'élaboration des modèles de développement durable applicables aux zones arides africaines.

Les principes généraux guidant l'ensemble de la démarche sont les suivants :

1) Le recueil de données pour l'amélioration des connaissances n'a pas d'utilité en dehors de la conception et du développement d'un système d'information permettant de mettre en évidence des interactions entre les séries de variables directrices. Réciproquement, le système d'information doit être documenté en permanence et actualisé à partir de données pertinentes recueillies sur le terrain des Observatoires.

2) Le dispositif d'échantillonnage permettant le recueil de données doit être adapté aux contraintes de la recherche sur les interactions entre les séries de variables écologiques et de variables socio-économiques. La notion d'échelles (de temps et d'espace) est essentielle, à différents niveaux :

- + compatibilité des niveaux de perception et/ou d'organisation des phénomènes socio-économiques et écologiques ;
- + aptitude aux changements d'échelle, des stations d'observation au territoire de l'Observatoire, de l'Observatoire à la petite région écologique ;
- + prise en compte des paramètres intervenant aux différentes échelles, spécialement en ce qui concerne les variables socio-économiques (démographie-migrations ; marchés ; économie locale, nationale, sous-continentale, etc.), mais aussi écologiques (effets du climat sur les changements majeurs qui affectent les systèmes écologiques et agro-écologiques, variabilité du patrimoine biologique,...).

3) La restitution des résultats et la vulgarisation des moyens pour y parvenir doivent suivre les mêmes principes de changement d'échelles et de niveaux de perception ou d'organisation : du local (au niveau des agents chargés de la production et de la protection des ressources naturelles, ainsi qu'au niveau des populations) au régional (cf. aménagement du territoire) et au national (cf. Plans Nationaux). A chaque niveau, des indicateurs pertinents de l'état et de la dynamique des systèmes interactifs observés, ainsi que des outils d'aide à la décision, en privilégiant la forme cartographique, doivent pouvoir être proposés.

4) Les relations entre les variables et les paramètres identifiés et/ou mesurés au sol et les images aériennes et satellitaires doivent être recherchées, afin de permettre la spatialisation des résultats à des entités géodynamiques plus vastes et une actualisation dans le temps des dynamiques identifiables à partir des données de la télédétection.

5) Le recueil de données sur le terrain doit être fondé sur des mesures et des observations suffisamment simples et reproductibles pour assurer une fiabilité d'ensemble du réseau d'Observatoires. Ces données seront utilement réparties en deux séries. La première, correspondant à la nécessité de mise en commun comparative des données des Observatoires de ROSELT, consistera en une "**batterie minimum de données**" (*minimum data set*) définie en concertation avec l'ensemble des intervenants, en fonction des problématiques environnementales et du développement propres à la zone circum-saharienne et des produits attendus du système d'observation. La seconde répondra aux problématiques spécifiques pouvant être abordées sur le territoire de chacun des Observatoires sur la base de thématiques propres, mais cependant d'intérêt régional.

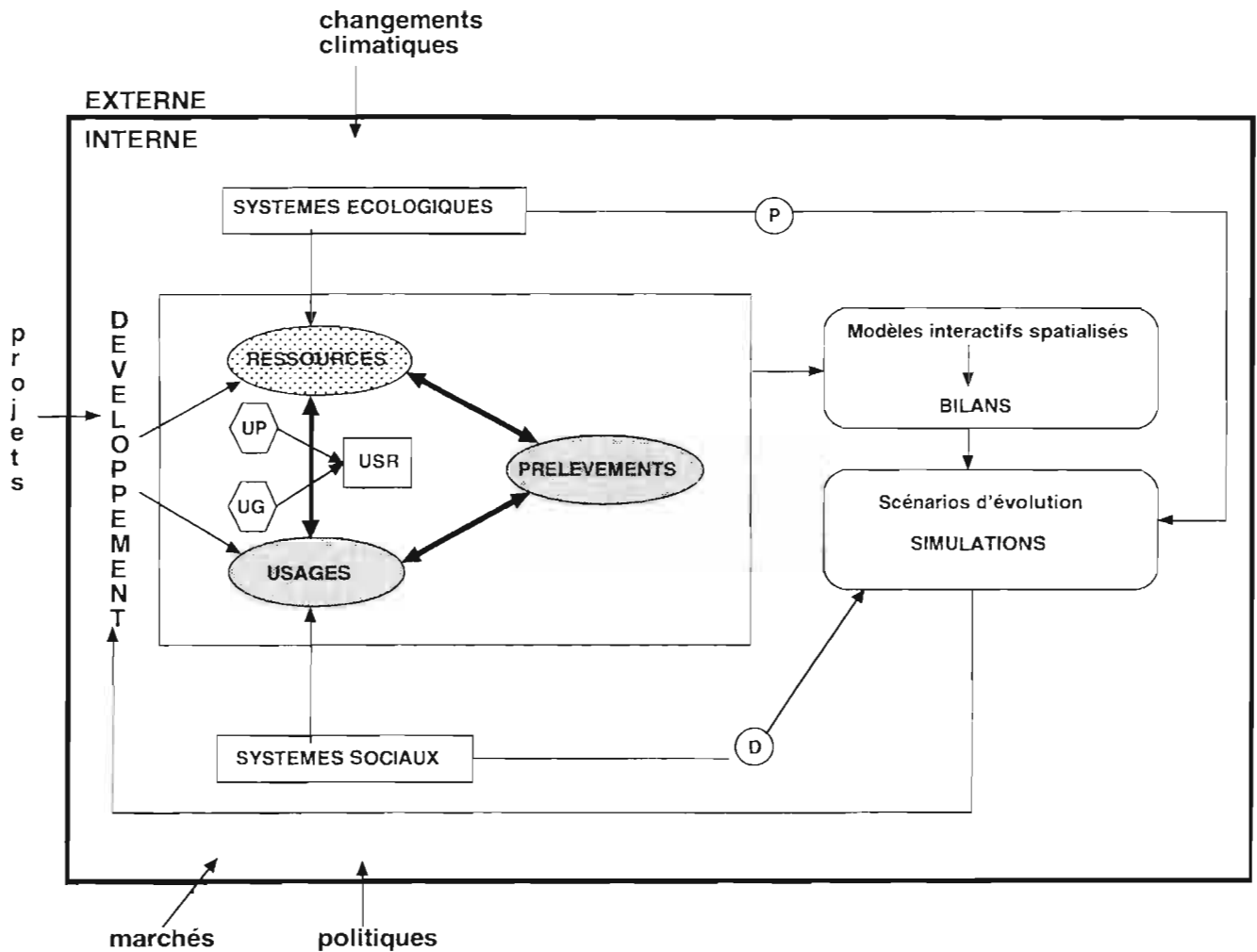


Figure 1. Démarche générale pour l'analyse de relations entre les systèmes bio-physiques (écologiques *s.l.*) et socio-économiques (sociaux *s.l.*) à partir de la modélisation des interactions ressources-usages.

Les simulations font intervenir des variables directrices écologiques (ex : les précipitations P) ou sociales (ex: la démographie D).

UP : Unités Paysagères UG : Unités de Gestion USR : Unités Spatiales de Référence

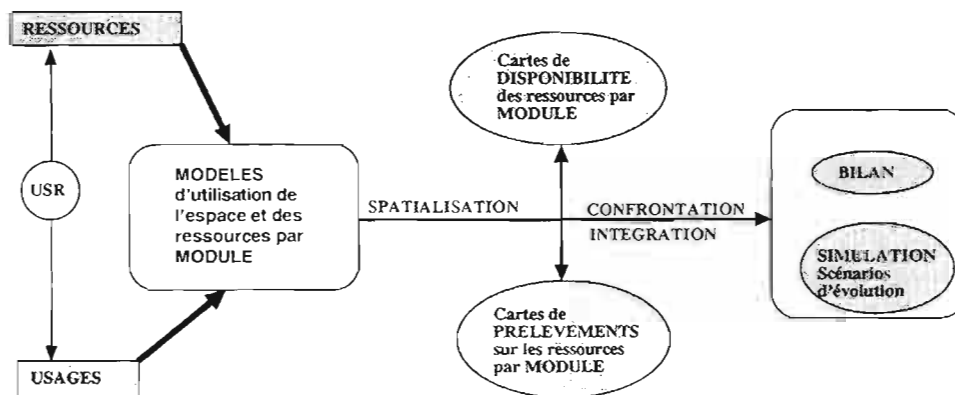


Figure 2. Elaboration des bilans à partir des modèles spatialisés d'utilisation de l'espace et des ressources par module d'utilisation des ressources (agricole, pastorale, etc.) : étapes méthodologiques de la procédure expérimentée.

La phase actuelle consiste à élaborer le *Système d'Information sur l'Environnement* permettant d'aborder l'étude des interactions entre les forces directrices écologiques et socio-économiques déterminant les dynamiques locales et sub-nationales au niveau des éco-régions. Cette phase est conçue à partir des données recueillies, dans ce but spécifique, sur l'Observatoire de Banizoumbou au Niger durant 4 années (1992-1995). Il en résultera (juin 1997) la production d'un *prototype d'analyse et de traitement des données*, dont la validation sera faite d'une part, sur le territoire de Banizoumbou et, d'autre part, sur les territoires d'un certain nombre d'Observatoires du "noyau dur" du programme ROSELT, sous réserve d'une qualification appropriée des données disponibles et des moyens correspondants (septembre-décembre 1997).

1.1.2. Utilisation de l'espace et des ressources

Les sociétés rurales des zones arides dépendent en grande partie, mais pas uniquement, des ressources naturelles renouvelables pour la satisfaction de leurs besoins alimentaires et énergétiques. Ces besoins se traduisent par une utilisation de l'espace et des ressources, selon des techniques, des pratiques et une logique spatiale dépendant d'une organisation sociale plus ou moins complexe. Le degré d'intégration, ainsi que l'évolution interactive de ces processus, est le reflet des relations et des adaptations progressives développées entre les différents systèmes, biophysiques et socio-économiques. Tout changement, endogène ou exogène, déterminant des changements d'état à l'intérieur de l'un des systèmes, a des répercussions sur le fonctionnement de l'autre système. Les pressions exercées déterminent des réponses qu'il importe de connaître, d'anticiper, afin de pouvoir gérer harmonieusement et durablement les relations souvent conflictuelles entre systèmes.

La base de la réflexion proposée repose sur la **dynamique interactive entre ressources et usages**, qui se traduit par des **prélèvements** (fig. 1). Dans ce contexte, une ressource ne sera définie que par rapport à un usage identifié : un arbre, entité naturelle sans affectation *a priori*, pourra être une ressource *énergétique* si ses composants ligneux sont récoltés dans ce but (auquel cas la quantification de la ressource ne s'intéressera qu'à ces composants), *pastorale*, si les feuillages sont utilisés, directement ou indirectement (émondage, gaulage des fruits) par le bétail, ou présenter simultanément d'autres usages et aménités (bois d'œuvre, ombrage, agro-foresterie, herboristerie traditionnelle pour l'usage pharmaceutique ou alimentaire, etc.).

1.1.3. Les Unités Spatiales de Référence (USR)

L'ensemble des processus conduisant à la production d'une ressource relève du fonctionnement d'**Unités Paysagères (UP ; fig. 1)**, elles-mêmes composées par des *unités écologiques (s.l.)*, plus ou moins affectées par les *types d'utilisation des terres (land use)*, passés ou actuels. Ainsi, les mosaïques de champs et jachères sur un type d'unité géo-morpho-pédologique homogène constituent une UP aisément identifiable sur les images aériennes ou satellitaires, aussi bien que sur le terrain. Les UP sont bien évidemment les lieux de production biologique, diversifiée et récoltable.

L'ensemble des décisions et des pratiques conduisant à un mode d'utilisation des terres pour l'exploitation d'une ressource relève du fonctionnement global des *systèmes sociaux (s.l.)*, et s'exprime spatialement au travers d'**Unités de Gestion (UG)**, dont la délimitation ne peut pas être faite directement sur images de la télédétection : elle doit faire appel à des enquêtes concernant les pratiques de gestion ainsi que la localisation de ces pratiques, en fonction de déterminants propres aux différents niveaux de décision (par exemple "foncier" au niveau du terroir ; "technique" au niveau de l'unité d'exploitation).

La superposition des deux types d'unités (UP et UG) n'est parfaite que dans le cas rare de paysages totalement artificialisés, dont les unités sont entièrement définies par le type de la gestion et ne doivent presque plus rien à l'expression des conditions de milieu (cas extrême : les milieux

urbains) ou, inversement, par des paysages très peu ou pas perturbés par les activités humaines (cas extrême : la forêt primaire climacique).

C'est la confrontation des deux types d'unités qui permet de définir et de localiser les **Unités Spatiales de Référence (USR)**.

L'usage d'une ressource se traduit par un **prélèvement** qualifiable, quantifiable et localisé, dont la confrontation avec la disponibilité quantifiée de la ressource offerte, sur ces mêmes unités spatiales de référence, conduit à l'établissement de **bilans** circonstanciés dans l'espace et dans le temps (fig.2). La modélisation des relations entre usages et ressources en fonction des déterminants socio-économiques ou bio-physiques permet de réaliser des **simulations de scénarios d'évolution**, à partir de variables clefs (ex: précipitations, P ; ou démographie, D). Le résultat de ces simulations fournit des informations sur les changements prévisibles des interactions entre les systèmes, permettant ainsi d'anticiper ces changements et de proposer les mesures nécessaires pour prévenir les effets négatifs éventuellement constatés. L'impact de ces mesures peut à son tour être simulé pour vérifier la pertinence des interventions préconisées.

Ce système, dont le fonctionnement est *interne* à un niveau d'organisation de l'espace (terroir, territoire de l'Observatoire,...), est en relation avec un système externe qui interfère avec le premier. Parmi les déterminants extérieurs susceptibles d'affecter le fonctionnement interactif, les plus importants sont identifiés sur la figure 1 : la politique nationale (à travers la fiscalité par exemple, ou les codes ruraux ou forestiers, les aides au crédit, les incitations et subventions, etc.) et internationale (FMI, Banque Mondiale, Convention Internationale de Lutte Contre la Désertification, ...), l'évolution des marchés régionaux (appel de main d'œuvre saisonnière ou pérenne, orientation des productions, etc.), enfin l'intervention des projets de développement, qui peut avoir des origines diverses, gouvernementales ou non, intégrée ou sectorielle, agissant sur l'un ou l'autre des systèmes analysés.

1.1.3.1 Les Unités Paysagères (UP)

Les Unités Paysagères sont constitués par un assemblage d'unités écologiques ou agro-écologiques élémentaires de l'espace rural. Leur caractérisation repose essentiellement sur une cartographie préalable, à une échelle pertinente ($\geq 1: 50\ 000$ dans la plupart des cas), de l'**occupation des terres**, thème cartographique défini dans le document conceptuel de ROSELT (août 1995), contenant une identification des formations végétales (caractérisées par la combinaison des recouvrements et hauteurs des différentes strates de végétation, herbacées, ligneuses basses et ligneuses hautes), l'identification des espèces dominantes dans chacune des strates, enfin le degré d'artificialisation défini à un niveau de précision pertinent par rapport aux grands types d'utilisation des terres dans le territoire ou l'écorégion considérés.

Ces unités élémentaires forment généralement des mosaïques spatiales récurrentes, dont le motif caractérise les unités paysagères. Celles-ci résultent en définitive d'une proportion déterminée et stable dans le temps d'unités (systèmes écologiques et/ou agrosystèmes) exprimant à la fois les conditions du milieu bio-physique et le mode d'utilisation des terres. Leur délimitation peut être réalisée manuellement, par contourage sur images aériennes ou satellitaires d'ensembles présentant une homogénéité globale pour les critères mentionnés, ou automatiquement, en utilisant des logiciels de reconnaissance de formes (analyse texturale) dans lesquels on introduit des critères d'apprentissage de reconnaissance des motifs souhaités. Cette délimitation peut aussi être faite par prospection directe sur le terrain, laquelle reste toujours justifiée, ne serait-ce que pour vérifier le travail d'interprétation d'images de la télédétection.

A chaque unité paysagère peuvent être associées des données pertinentes concernant la disponibilité et la production de ressources "brutes" c'est-à-dire sans affectation d'usage reconnue, ou précisées en fonction des différents usages identifiés pour l'Observatoire. La Cartographie de

L'Occupation des Terres est une représentation simplifiée du territoire de l'Observatoire, à partir de laquelle on peut établir l'échantillonnage pertinent pour la quantification des ressources-clefs de ce territoire.

1.1.3.2 Les Unités de Gestion (UG)

La détermination des unités de gestion est fondée sur l'analyse préalable de l'expression de la demande sociale sur l'espace et les ressources, à travers des unités socio-économiques de base, ou unités d'exploitation, qu'il faut donc caractériser. Une approche micro-socio-économique, fondée sur un inventaire des unités d'exploitation représentatif des divers groupes sociaux utilisateurs de l'espace, reprendra les variables classiques des enquêtes en milieu social (composition sociale et dynamique des unités socio-économiques, organisation du travail, budget d'exploitation, niveau de vie et consommation, etc.)

Pour la détermination des unités de gestion on identifie les activités et les différents types d'usage des ressources renouvelables (p.ex. agricoles, pastorales ou forestières), et on analyse les modes de prélèvement sur la ressource correspondante, à partir d'un échantillonnage double : le premier sur transects géographiques, localisés en fonction de points focaux pré-identifiés comme déterminant dans le gradient d'utilisation des terres (village, points d'eau, etc.) ; le second à partir d'un échantillonnage des unités socio-économiques de base, en recensant leurs diverses formes d'action et de prélèvement sur l'espace et les ressources.

A partir de cet échantillonnage à double entrée, il est possible de bâtir des **modèles conceptuels d'utilisation de l'espace** en fonction des variables déterminantes (densité démographique, qualité et accessibilité de la ressource, etc.) et de définir ainsi, par **spatialisation des résultats de ces modèles**, les unités de gestion correspondantes.

Une autre voie, actuellement en cours d'exploration, cherche à faire apparaître les unités de gestion sur des séries multi-date d'images satellitaires à haute résolution spatiale ; en effet, si le mode de gestion ne se reflète pas sur les images statiques (une seule date), la dynamique temporelle des observations satellitaires peut sans doute faciliter la mise en évidence des groupes d'unités élémentaires dont le comportement dans le temps est semblable, donc soumis à la même gestion (pour un milieu bio-physique identique). Le contourage manuel, ou automatique, de ces groupes d'unités au comportement identique dans le temps, contribuerait à la délimitation d'unités de gestion.

1.2. L'approche par modules d'utilisation des ressources

Dans la plupart des zones arides et semi-arides, le multi-usage de l'espace et des ressources est la règle : la jachère, par exemple, dont la fonction est essentiellement agricole (gestion de la fertilité et des adventices), fait aussi partie de l'espace pastoral et forestier. La même portion de territoire peut donc appartenir à des "espaces-ressources" différents, soit simultanément, soit consécutivement au cours des saisons ou des années. Les caractéristiques de l'unité paysagère sont donc issues de ces divers modes d'utilisation, en même temps qu'elles déterminent la nature et la quantité de ressources utilisables pour les usages considérés.

Il convient dès lors d'analyser l'état et l'évolution des unités paysagères en fonction des ces différents modes d'utilisation, associés à autant de modes de gestion. Il est pour cela nécessaire de privilégier une approche analytique, par module, avant de réaliser un bilan constituant la synthèse des interventions et des prélèvements (fig.2). Chaque fois que possible cependant, les liaisons entre modules doivent être mises en évidence et intégrées au bilan global ; ainsi, la classique

fertilisation des terres agricoles par les techniques de parcage des troupeaux, reflétant parfois des contrats sociaux riches et complexes, doit se traduire par des flux internes ou externes pour chaque unité paysagère.

Dans les zones circum-sahariennes, les modes d'utilisation des ressources dominants, qui déterminent un impact significatif sur le milieu, sont bien identifiés : l'usage agricole pour la céréaliculture pluviale, l'usage pastoral (en relation avec les pratiques d'élevage) et l'usage du bois-énergie (en relation avec les besoins énergétiques domestiques). Ils semblent communs à la plupart des Observatoires ROSELT, même si leur localisation relative dans l'espace est différente, en fonction des zones climatiques ou orographiques : complémentarités entre zones de montagne et de plaines en région méditerranéenne par exemple, ou localisation particulière des productions agricoles sur des secteurs aménagés en régions hyper-arides ou désertiques (jessours du sud tunisien, oasis sahariennes). L'approche permet de prendre en compte les spécificités locales, en ajoutant aux modules généraux des modules spécifiques pertinents. Par exemple, la cueillette des grandes tiges de graminées pour la fabrication de nattes dans certaines régions peut atteindre une envergure suffisante pour affecter les systèmes écologiques, justifiant ainsi l'incorporation de cet usage dans le Système d'Information.

Les autres usages des ressources, telle la cueillette des composants végétaux pour usage pharmaceutique ou condimentaire, ne sont pas considérés dans cette approche modulaire, car ils atteignent rarement des niveaux de prélèvement significatifs sur l'ensemble de l'espace, susceptibles de participer aux phénomènes de dégradation des terres. Ils n'en sont pas pour autant ignorés, et peuvent faire partie de l'analyse des pratiques traditionnelles et être intégrés aux activités économiques. Il en va de même des cultures maraîchères, dont l'importance sur l'économie alimentaire, voire monétaire, est reconnue, mais qui se pratiquent généralement sur des surfaces réduites, à proximité des villages. Selon leur importance, elles pourront être intégrées au module agricole, ou individualisées en un module propre. Ce sera le cas pour les systèmes irrigués, selon l'importance spatiale et économique des surfaces équipées pour l'irrigation.

Dans la plupart des cas, l'utilisation agricole de l'espace rural sera déterminante dans la structuration fondamentale des Unités de Gestion, et des Unités de Paysage. Ce sera donc le module à privilégier pour la définition des Unités Spatiales de Référence, sur lesquelles seront ensuite reportés les modèles de fonctionnement des autres modules identifiés sur le territoire de l'Observatoire. Il est bien évident que ce ne sera plus vrai dans les zones où l'agriculture pluviale ne peut plus être pratiquée. La structuration de l'espace répondra dans ce cas à d'autres composantes, pastorales le plus souvent, qu'il conviendra d'identifier au cas par cas.

Le SIE proposé est donc avant tout, sur le plan thématique, un cadre général d'analyse des relations entre ressources et usages et, au-delà, entre milieux et sociétés. Son application à l'ensemble des situations représentées sur les territoires des Observatoires de ROSELT suppose des adaptations qui sont du ressort de chaque responsable d'Observatoire, en liaison avec l'équipe centrale de ROSELT.

I.3. Conception et mise en œuvre d'un SIE-ROSELT

Les objectifs thématiques du SIE, tels qu'ils viennent d'être présentés, reflètent la démarche générale et conceptuelle du projet. Pour aboutir à un produit concret et opérationnel, utilisant des moyens informatiques, il est nécessaire de prolonger cette réflexion en analysant de manière détaillée les différents besoins exprimés. Cette tâche de conception n'est plus uniquement du ressort des experts thématiques, mais n'est pas encore du seul domaine des informaticiens. Il s'agit d'une étape fondamentale qui doit permettre de vérifier la faisabilité des objectifs du programme et de préciser l'architecture logicielle et l'organisation nécessaire à sa mise en œuvre.

I.3.1. Introduction

Un Système d'Information sur l'Environnement (SIE) est un ensemble de moyens humains et informatiques permettant de caractériser l'état et la dynamique d'un territoire donné, en référence aux problèmes environnementaux et de développement économique et social auxquels ils font face.

De manière plus technique, on peut considérer un SIE comme un système informatique capable d'assurer la gestion et l'exploitation des données de l'information écologique et socio-économique relative à un espace.

De par ses objectifs, ROSELT se doit de faire une large place à la notion de Système d'Information sur l'Environnement. Le SIE doit être, pour ROSELT, l'outil privilégié de gestion, d'échange et d'exploitation des données recueillies et du savoir accumulé. En intégrant dans sa structure les principes de la démarche ROSELT (prise en compte des données écologiques et socio-économiques, harmonisation des données, représentation spatiale des résultats, définition des indicateurs...), le SIE doit être l'aboutissement concret et visible de la longue réflexion méthodologique entreprise par ROSELT.

I.3.2. Organisation générale du SIE-ROSELT : Hypothèses préalables

Avant de présenter les fonctionnalités du SIE-ROSELT, il paraît nécessaire de fixer un cadre général en précisant *a priori* l'organisation générale du futur système. Cette organisation constitue l'hypothèse de base du travail de conception et non son aboutissement. Il s'agit à la fois d'un besoin, exprimé par les responsables du programme, et d'une contrainte, que doivent respecter autant que possible les procédures d'informatisation.

ROSELT, par définition réseau d'Observatoires, a pour objectif la mise en réseau des différents Systèmes d'Information sur l'Environnement développés pour chacun des Observatoires rattachés au réseau. A côté de ces **SIE locaux**, ROSELT doit donc assurer la centralisation de certains types de données et leur diffusion auprès des autres membres du réseau. La figure 3 représente les relations internes à ROSELT, ainsi que des hypothèses concernant les liens avec d'autres réseaux nationaux susceptibles d'être mis en œuvre, dans le cadre des politiques environnementales actuelles (PAN, PNAE...).

Ce schéma ne préjuge en aucun cas des outils logiciels, techniques et matériels employés, ni des règles déontologiques en vigueur.

L'information est donc, à la fois *répartie* entre les différents Observatoires et *centralisée* pour faciliter sa diffusion et son analyse. La mise en réseau doit en effet permettre de comparer l'état, l'évolution ou le fonctionnement des territoires des différents Observatoires avec un niveau d'observation assez fin. Le **SIE-ROSELT** est en cela *complémentaire* d'autres programmes de

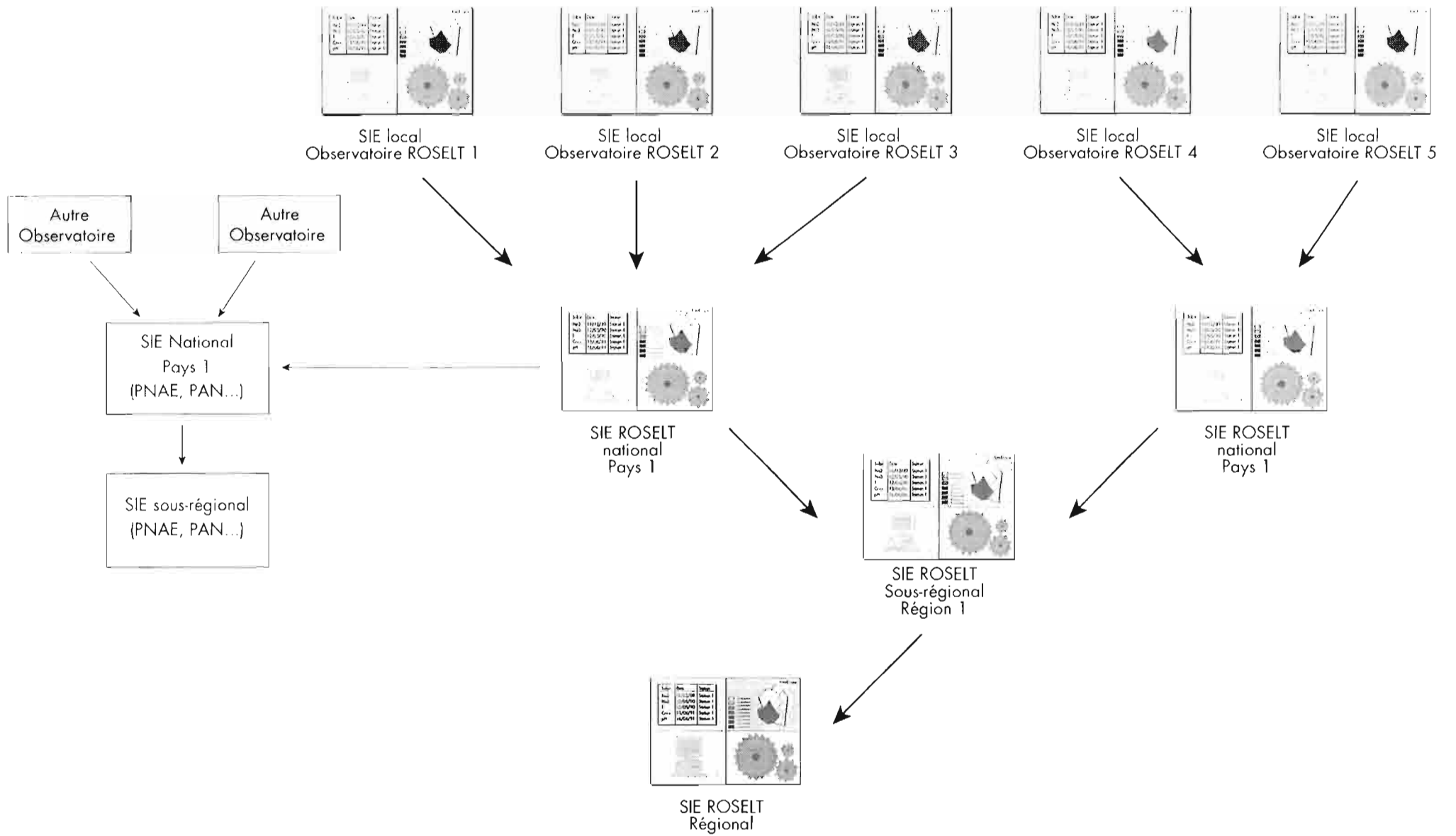


Figure 3. Organisation théorique générale des SIE ROSELT et hypothèses concernant ses relations avec les SIE nationaux et sous-régionaux

développement et de mise en œuvre de systèmes d'information, nationaux ou régionaux. Ces derniers exploitent l'information provenant de différents Observatoires (appartenant, ou non, à ROSELT) afin d'obtenir une synthèse généralisant les résultats à de plus vastes territoires. Dans le premier cas, on essaye de mettre en évidence les convergences ou les différences de fonctionnement entre les Observatoires (en particulier à travers la définition d'indicateurs des changements), dans le second, on réalise une synthèse spatialisée entre des informations extrapolées à partir de données locales et régionales (sub-nationales).

Pour que la mise en réseau soit bénéfique, il est nécessaire d'harmoniser largement les procédures de recueil des données ainsi que la structure des SIE locaux. Le problème d'harmonisation des données relève des experts thématiques et est abordé par ailleurs. Pour harmoniser la structure des SIE locaux, il est nécessaire de rechercher les invariants et de définir les règles de conception devant être respectées, ce qui fait l'objet de la présente réflexion.

De manière concrète l'appartenance au réseau ROSELT permettra à chacune des équipes des Observatoires :

- de disposer d'un ensemble d'outils logiciels adaptés permettant la mise en place rapide d'un SIE local capable d'assurer la gestion et l'exploitation des données recueillies localement,
- de connaître les mesures réalisées sur les autres Observatoires,
- de mettre à disposition des autres Observatoires les données recueillies localement.

L'organisation qui vient d'être présentée pose d'emblée deux problèmes importants aux informaticiens :

- d'une part, chaque Observatoire dispose d'une certaine autonomie au niveau du recueil des données et de leur traitement. Cela implique, potentiellement, qu'il sera nécessaire de construire autant d'applications qu'il existe d'Observatoires rattachés à ROSELT ;
- d'autre part, l'existence d'une redondance des informations (une donnée peut être stockée à la fois au niveau local et au niveau central) entraîne des risques d'incohérence particulièrement délicats à résoudre dans le cas d'une informatique répartie.

La réponse à de telles questions permettra de préciser les modalités techniques de la mise en réseau et de définir plus précisément les contraintes à respecter pour la conception de SIE locaux.

Pour l'instant, nous mettrons ici l'accent sur les SIE locaux. Nous cherchons à préciser :

- Quelles sont les données devant être gérées par les SIE locaux ?
- Quels services ceux-ci doivent rendre ?
- Quelle architecture doivent-ils respecter ?

La réponse peut être apportée par la construction des trois modèles préconisés par la méthode POLLEN (modèle objet, modèle fonctionnel, modèle du système), développée à l'IARE de Montpellier, avec la participation de spécialistes de l'Université (Gayte *et al.*, 1997) en vue de répondre aux besoins de création de systèmes d'information sur l'environnement.

1.3.3. Méthode

La conception du SIE-ROSELT s'appuie sur l'expertise conjointe de thématiques, d'informaticiens et reprend les principes de la méthode POLLEN, méthode de conception par objet qui emprunte le formalisme des techniques OMT (Rumbaugh *et al.*, 1992) et SADT (Jaulent, 1989).

POLLEN fournit des outils de représentation graphique qui permettent d'établir un dialogue entre les experts du domaine thématique et les informaticiens. Les modèles graphiques servent notamment à identifier les données gérées par le SIE ainsi que leur utilisation.

- Le **modèle objet** décrit la structure et le comportement des objets, ainsi que les relations entre objets. Il permet de *définir le contenu du système*. Il s'agit du modèle le plus important pour les applications à caractère environnemental.
- Le **modèle fonctionnel** décrit les services que doit rendre le système. Chacun de ces services est décomposé en fonctions du plus bas niveau jusqu'à atteindre des opérations élémentaires qu'il est possible d'associer à l'activité d'un objet. Ce modèle permet donc de *décrire ce que fait le système*.
- Le **modèle du système** décompose le système en sous-systèmes ayant une forte cohérence interne. Il permet de prendre en compte les *aspects organisationnels, humains et matériels du système d'information*.

L'utilisation de la méthode POLLEN conduit au développement de systèmes informatiques complexes, composés de plusieurs applications travaillant en coopération.

La démarche POLLEN consiste à affiner au cours de plusieurs étapes prédéfinies ces représentations du système afin d'aboutir à un dossier de conception suffisamment détaillé pour permettre la mise en oeuvre informatique des logiciels.

I.3.4. Modèle objet général des SIE locaux de ROSELT

I.3.4.1 Principes

La connaissance des types de données gérées par un SIE est l'un des points essentiels pour sa conception. Les données sont en effet généralement bien connues et relativement statiques, alors que les besoins sont susceptibles d'évoluer au cours du projet. Cette connaissance des types de données est acquise lors de l'élaboration du modèle objet.

La modélisation objet permet d'identifier les objets du système, de les décrire en terme de structure et de comportement, et enfin de préciser les relations qui existent entre les différents objets.

Le terme *objet* regroupe tout ce qui a un sens dans un certain contexte. Un village, une récolte, une mesure de température ou l'orage du 1er février peuvent être considérés comme des objets. Il peut s'agir d'un objet physique, d'un concept, ou d'une abstraction. Les objets constituent le support élémentaire sur lequel est basé l'ensemble de notre compréhension du problème. Un objet possède une **structure**, formée par l'ensemble de ses caractéristiques statiques, et un **comportement** qui représente l'ensemble de ses caractéristiques dynamiques.

La modèle objet donne lieu à l'élaboration d'un **diagramme objet** et d'un **dictionnaire des données**.

Un diagramme objet est un schéma composé de boîtes reliées par des traits (fig. 4). Chacune des boîtes correspond à une **classe** qui regroupe les objets de même type (ex : Station, Territoire,...). La première partie de la boîte donne le nom de la classe, la seconde donne ses attributs (sa structure) et la troisième ses opérations (son comportement). Les traits et les cercles entre les boîtes permettent de préciser les relations entre classes (association, héritage ou agrégation).

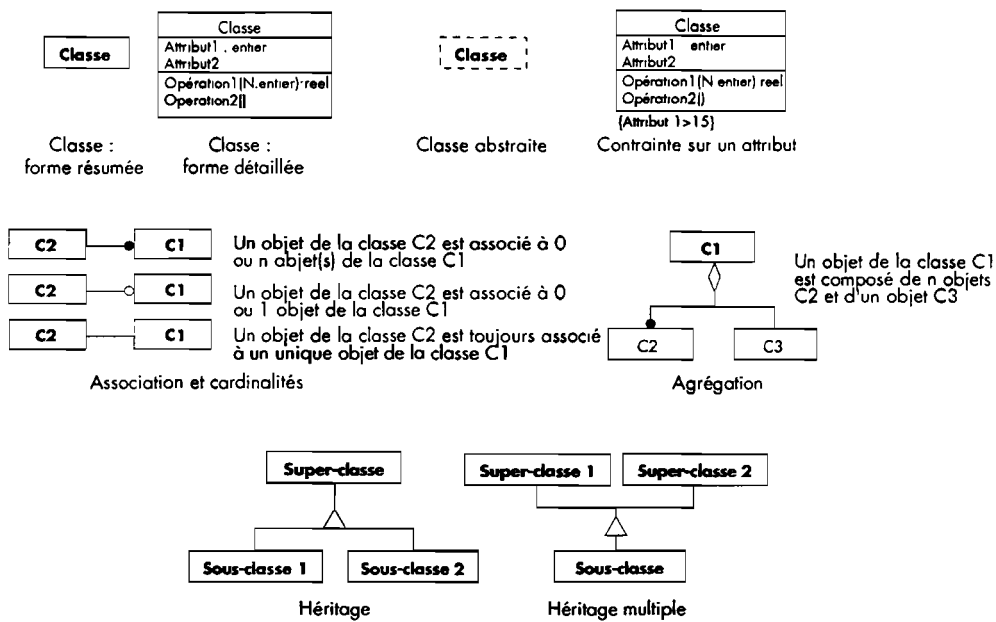


Figure 4. Formalisme du diagramme objet

1.3.4.2 Le modèle objet du SIE ROSELT

La figure 5 montre un modèle objet général applicable à tous les Observatoires ROSELT. Il est important de préciser ici les relations entre ce diagramme objet et le schéma conceptuel de la figure 1.

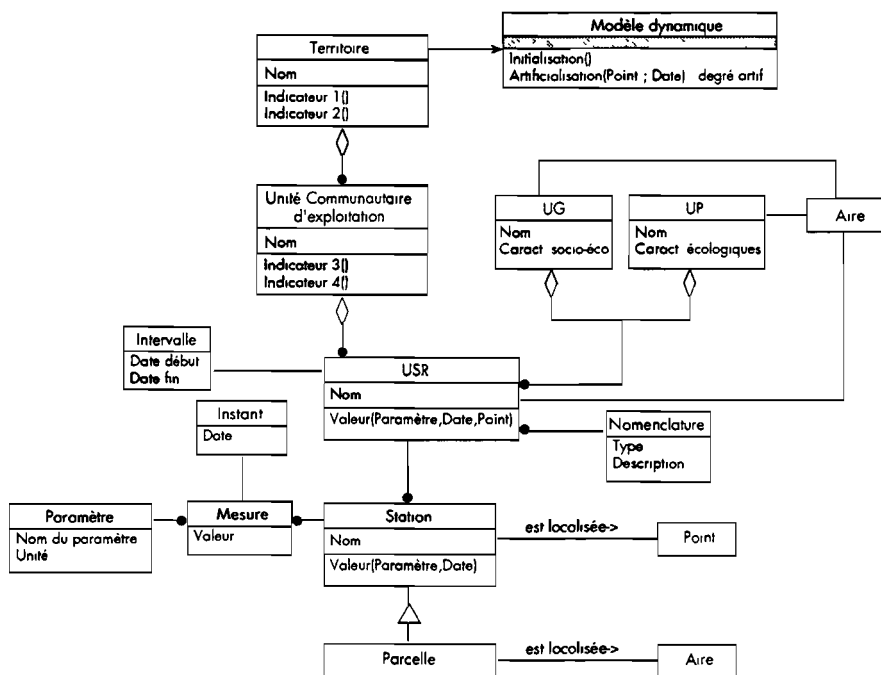


Figure 5. Diagramme objet général d'un SIE local

Les mesures (classe Mesure) réalisées sur des Stations (unités d'espace échantillonnées) ou des Parcelles (types particuliers de stations) par les spécialistes des différentes disciplines sont localisées à la fois dans le temps et dans l'espace. Elles constituent l'information de base sur laquelle sera bâtie une grande partie des fonctionnalités du système.

Les Unités Spatiales de Référence (USR ; voir § 1.3, Chapitre I) sont construites par désagrégation des unités de gestion (UG) et des unités paysagères (UP). Les USR constituent des portions de territoires considérées comme homogènes, pendant un intervalle de temps défini, aussi bien du point de vue bio-physique que du point de vue socio-économique. Les Unités Spatiales de Référence sont caractérisées à partir des Stations de mesure auxquelles elles sont associées. On peut ainsi définir de nombreuses opérations pour les objets de type USR telles que la valeur d'un paramètre en un lieu et à une date donnée.

Les Unités Communautaires d'Exploitation (UCE) résultent de l'agrégation de plusieurs Unités Spatiales de Référence. Les UCE correspondent à des unités administratives ou socio-économiques de base (terroir, finage...) pertinentes pour l'analyse de la dynamique des relations entre systèmes.

Enfin le Territoire de l'Observatoire est perçu comme l'agrégation des différentes UCE qui le compose. Un Observatoire est caractérisé par un certain nombre d'indicateurs de haut niveau qui permettent de définir l'état du territoire (bilan ressource/usage), de montrer sa dynamique passée et de faire des scénarios d'évolution. Ce dernier point rend indispensable l'élaboration de modèles mathématiques qui auront pour double tâche de réunir le savoir des experts de l'Observatoire et d'offrir des fonctionnalités d'aide à la décision.

Le diagramme objet présenté ici est simplifié car il repose uniquement sur les principes généraux du programme ROSELT. Il sera complété et affiné dès que le jeu de données minimales à mesurer sera défini. L'étude de cas sur le SIE de Banizoumbou donne un bon exemple de diagramme objet plus complet (Cf. chap.II, fig.10).

La structure du schéma doit cependant être invariante car elle repose sur les choix fondamentaux de ROSELT :

- Chaque Territoire est observé avec différents degrés de perception ou d'agrégation. On doit retrouver dans chaque cas les niveaux suivants : Station ou parcelle, USR, UCE, et Territoire de l'Observatoire. A chacun de ces niveaux doit correspondre un jeu d'indicateurs commun à tous les Observatoires et construit à partir de la connaissance du niveau immédiatement inférieur. Cette notion de niveau d'observation permet :
 - d'éviter de comparer ce qui n'est pas comparable (ex : le recouvrement de la végétation sur le territoire d'un Observatoire et le recouvrement d'une station isolée) ;
 - de masquer les différences de méthodes d'échantillonnage entre Observatoires ;
 - de masquer en partie l'hétérogénéité des Observatoires pour pouvoir les comparer.
- Les Unités Spatiales de Référence constituent la maille élémentaire d'analyse et d'interprétation du territoire. Elles peuvent être construites de multiples façons mais résultent toujours de la désagrégation d'Unités Paysagères et d'Unités de Gestion.

1.3.5. Le modèle fonctionnel

Une fois précisée la nature des objets gérés par un **SIE local**, il est nécessaire de préciser les services que doit rendre le SIE.

Il existe en fait deux types de services :

- les services "de haut niveau", rendus par le SIE au sein d'un Observatoire,

- les services "de bas niveau", rendus par les objets aux autres objets, ou à l'utilisateur.

La spécification de ces types de service fait appel à deux techniques différentes. Pour les fonctions de haut niveau, il est nécessaire de construire un *diagramme fonctionnel*, alors que les fonctions de bas niveau sont décrites dans un *dictionnaire des fonctions*.

1.3.5.1 Fonctions de haut niveau : diagramme fonctionnel

Le diagramme fonctionnel est un schéma qui permet de préciser les relations entre les différentes activités du système étudié (dans notre cas un Observatoire ROSELT). C'est un graphe dont les nœuds sont des traitements (boîtes) et les arcs des flux de ressources (flèches) : information au sens le plus abstrait, données, matière première, énergie, produit évolué...

Les diagrammes fonctionnels découlent de la décomposition hiérarchique d'un diagramme de très haut niveau composé d'une seule boîte. La figure 6 présente de manière sommaire le formalisme utilisé. Celui-ci reprend le principe des actigrammes de la méthode SADT (Jaulent, 1989).

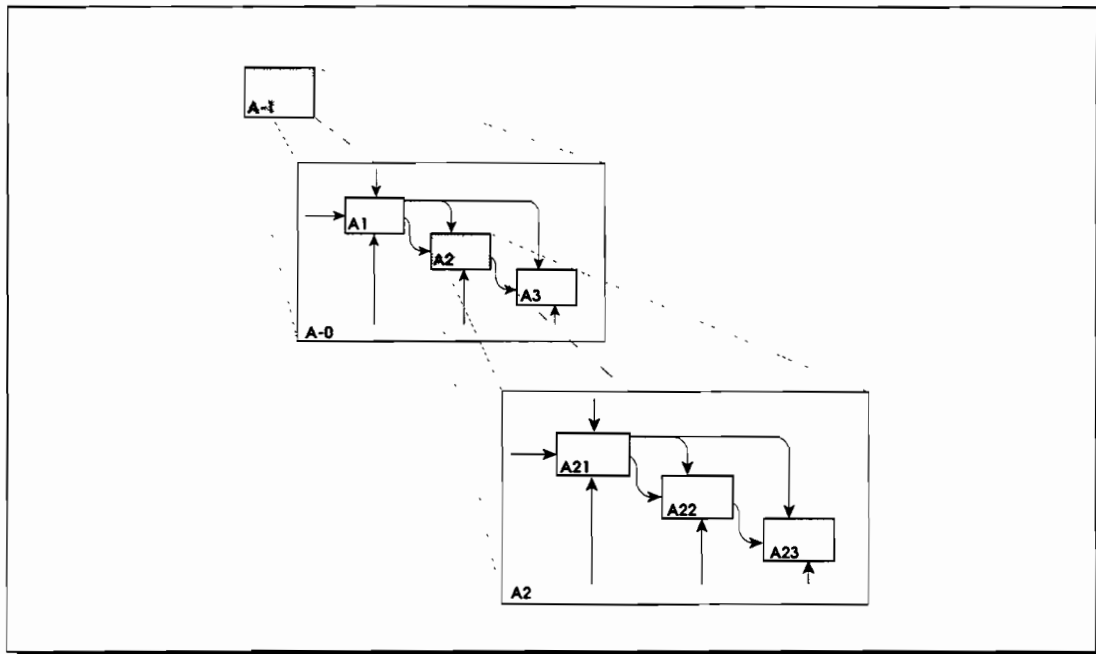


Figure 6. Hiérarchie des actigrammes SADT (d'après [Jaulent 89])

Les traitements transforment des *Données* sous la pression de *Contrôles* en utilisant des *Moyens* (fig.7).

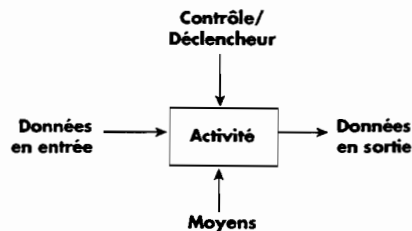


Figure 7. Formalisme des actigrammes de SADT

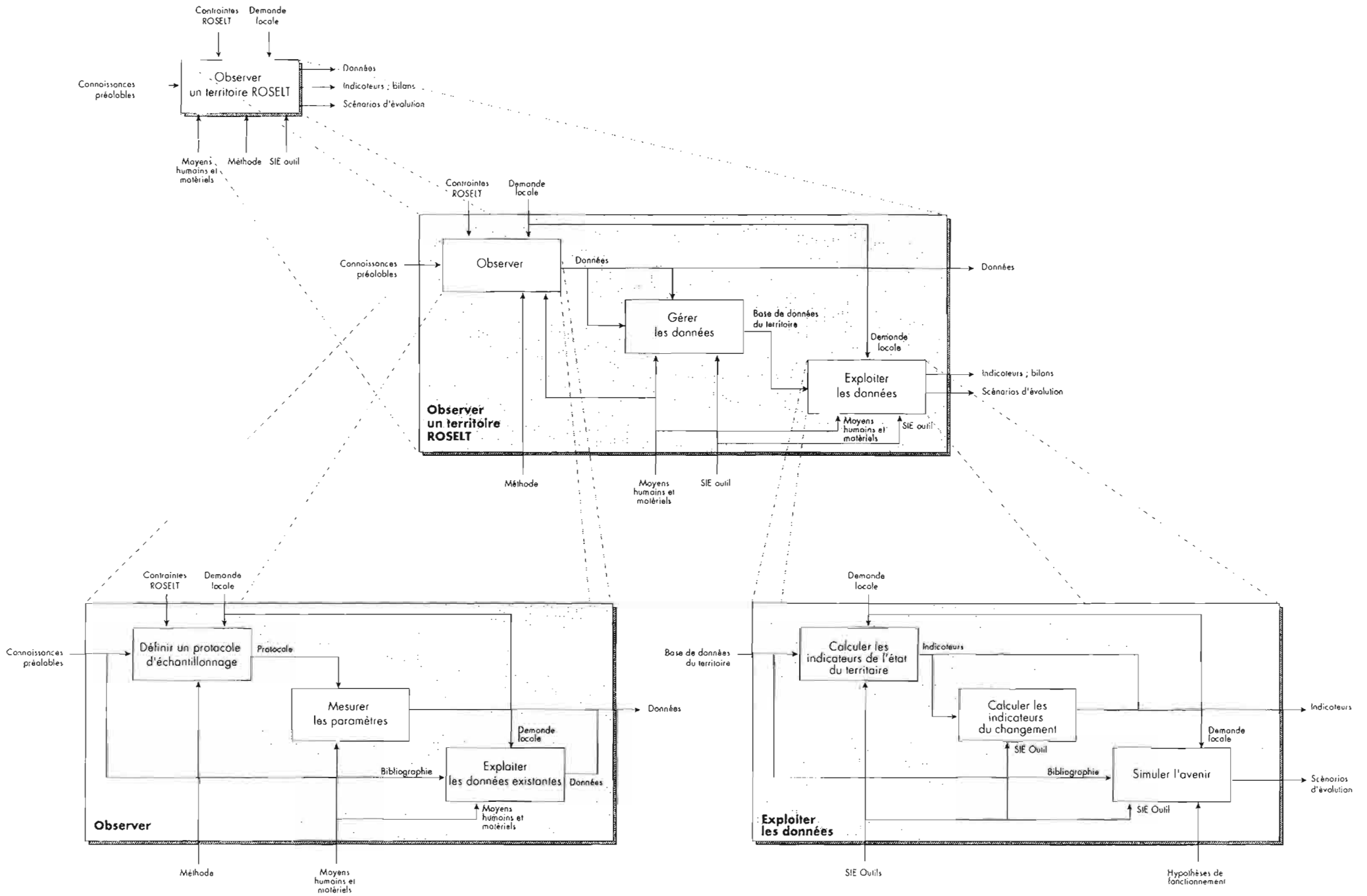


Figure 8. Diagramme fonctionnel général d'un Observatoire ROSELT

Une donnée "en entrée" est transformée par le traitement en une donnée "en sortie". Un contrôle est une information qui déclenche un traitement, ou qui lui impose une contrainte.

1.3.5.2 Application à un Observatoire ROSELT

Le diagramme fonctionnel de la figure 8 montre les activités fondamentales d'un Observatoire ROSELT, ainsi que le rôle du **SIE local**.

La boîte située en haut et à gauche du schéma nous renseigne sur l'activité élémentaire : "Observer un Territoire ROSELT". Celle-ci génère des données, des indicateurs ou bilans et enfin permet d'élaborer des scénarios d'évolution de l'Observatoire. Cette activité est déclenchée par l'existence d'une demande locale et doit respecter les contraintes scientifiques de ROSELT ; elle nécessite des moyens humains et matériels, des méthodes de recueil de données et un outil informatique de traitement et de gestion de l'information recueillie, le SIE.

Cette description très réductionniste de l'activité d'un Observatoire ROSELT peut être détaillée en "ouvrant" la boîte précédente, ce qui fait apparaître trois nouvelles boîtes qui peuvent être décomposées à leur tour. On voit ainsi que le recueil de données comprend une phase de définition d'un protocole d'échantillonnage, une phase de mesure des paramètres ou de recensement des observations et, en parallèle, un travail d'exploitation des données préexistantes.

En formalisant de manière synthétique les activités de base d'un Observatoire ROSELT, le diagramme fonctionnel constitue un outil de communication entre les différents intervenants du programme. Il fournit notamment aux informaticiens les grandes fonctions que doit assurer le SIE.

1.3.5.3 Le dictionnaire des fonctions

Le dictionnaire des fonctions recense et décrit de manière précise l'ensemble des traitements élémentaires assurés par les objets du système. Voici quelques exemples de fonctions élémentaires :

Nom de la fonction (opération)	Objets sur lesquels s'applique la fonction
Indicateur de désertification	Territoire de l'Observatoire
Recouvrement moyen par les ligneux hauts	USR
Température à la date t	Station

L'élaboration d'un dictionnaire général des fonctions ne pourra être entreprise que lorsque les modalités de mesure et les indicateurs communs à tous les Observatoires seront définis.

Un extrait de dictionnaire des fonctions est présenté dans l'étude de cas du SIE de l'Observatoire de Banizoumbou au Niger (Cf. chap.II, fig.11).

1.3.6. Le modèle du système

1.3.6.1 Principes

Une fois identifiés les objets du système d'information et les fonctions générales que doit assurer celui-ci, il est nécessaire de concevoir l'architecture générale du SIE. Cette tâche est en partie réalisée lors de l'élaboration d'un modèle du système composé lui-même d'un diagramme du système et d'un dictionnaire des sous-systèmes qui offrent respectivement une vue synthétique et détaillée de l'organisation informatique du SIE.

Le diagramme du système est un schéma qui représente, sous la forme de boîtes et de traits, les différents sous-systèmes logiciels du SIE et leurs relations.

Chaque boîte du schéma correspond à un sous-système, lequel est désigné par son objectif ou sa fonction principale : gestion des données descriptives (descripteurs), gestion des données cartographiques, grapheur...

1.3.6.2 Le diagramme du système du SIE-ROSELT

Le diagramme du système du SIE-ROSELT est présenté figure 9.

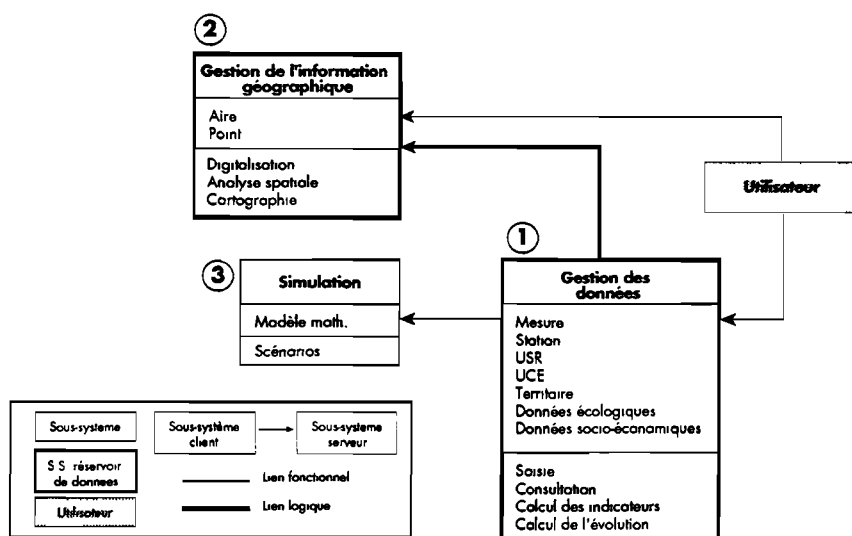


Figure 9. Diagramme du système du SIE ROSELT

Celui-ci montre l'existence de trois sous-systèmes logiciels :

- le sous-système **gestion des données** (1) est chargé du stockage, de la gestion et de l'analyse des données numériques et alphanumériques. Sa mise en oeuvre concrète doit se faire à partir d'un *Système de Gestion de Base de Données* (ex. : Oracle, Sybase, 4D, Access, Paradox...)
- le sous-système d'**information géographique** (2) est chargé du stockage, de la gestion et de l'analyse des données spatialisées. Sa mise en oeuvre concrète doit se faire à partir d'un logiciel *Système d'Information Géographique* (ex : Arc/info, ArcView, MapInfo, GeoConcept...)
- le sous-système de **simulation de la dynamique** (3) n'a pas de rôle de gestion des données. Il doit uniquement permettre la mise en oeuvre de *modèles mathématiques* conduisant à fournir des scénarios d'évolution de l'Observatoire. Plusieurs techniques de modélisation sont potentiellement exploitables : équations différentielles, systèmes multi-agents, automates cellulaires... Bien que les logiciels à mettre en oeuvre dépendent du type de modèle mathématique retenu, il est fort probable que des développements spécifiques doivent être proposés à partir de langages de bas niveau (C, Pascal, Delphi...).

1.3.7. Synthèse et stratégie

Les éléments présentés ci-dessus montrent que l'analyse des **SIE locaux** du programme ROSELT est bien avancée. Pour affiner l'analyse et permettre la conception, puis le développement de systèmes opérationnels, il sera nécessaire de connaître en détail l'ensemble des paramètres mesurés et des descripteurs faisant l'objet d'observations, par tous les Observatoires, ainsi que l'ensemble des indicateurs que doivent produire les SIE rattachés au programme ROSELT.

Il sera également nécessaire de quantifier, pour chaque Observatoire, la part des mesures spécifiques à l'Observatoire par rapport à ce qui est général. Alors seulement, pourra être abordé de manière plus fine le problème de la mise en réseau et des modalités d'échange de données et de l'information.

Dans l'immédiat, l'opportunité nous a été offerte de mettre en application les principes énoncés ci-dessus à partir de l'Observatoire de Banizoumbou (Niger), dont le territoire a fait l'objet d'intenses activités de recherche au cours des dernières années, à l'initiative de l'ORSTOM et en coopération avec de nombreux partenaires nationaux (Niger) ou étrangers (programmes bilatéraux et multilatéraux). On s'est ainsi trouvé dans la position d'anticiper sur une préoccupation qui se serait fait jour dans le déroulement de la phase opérationnelle (1997-2000), laquelle devrait bénéficier du soutien de nombreux bailleurs de fonds.

Cette anticipation permet, à partir du "prototype SIE-local de Banizoumbou", de susciter l'intérêt des responsables des Observatoires ROSELT du noyau dur et de déclencher des initiatives au niveau des pays concernés.

II. Application : SIE local de Banizoumbou (Niger)

Le travail rapporté ici a été réalisé sur le territoire de l'Observatoire de Banizoumbou (Niger), qui présente bien évidemment des spécificités, tant sur le plan écologique que sur le plan socio-économique. Nous rendrons compte d'une démarche adaptée aux modes d'utilisation de l'espace et des ressources de ce territoire, mais qui peut indifféremment être adaptée à d'autres situations : seules les entrées du système d'ensemble seraient à modifier. L'approche holistique et systémique proposée ne préjuge absolument pas de thématiques scientifiques spécifiques ou sectorielles, qui pourraient donner lieu à des recherches et à des méthodologies différentes, que l'on pourrait considérer comme complémentaires, dans la mesure où il s'agit bien toujours de traiter de problèmes environnementaux de l'espace rural fragilisé des zones arides circum-sahariennes.

II.1. l'Observatoire de Banizoumbou

II.1.1. Brève présentation

Le territoire de Banizoumbou au Niger, situé en zone sahélienne (550 mm de précipitations annuelles moyennes) fait partie d'une grappe d'Observatoires ROSELT comprenant en outre les territoires de Tondikandia (450 mm) et de Torodi (650 mm). Les paysages sont marqués par les grandes unités suivantes : les *plateaux cuirassés*, à usage essentiellement sylvo-pastoral (domaine des brousses tigrées et autres structures affines) mais de plus en plus défrichés pour la mise en culture ; les *vallées sèches*, axes alluviaux de drainage disséquant les plateaux ; enfin les *dépôts sableux éoliens* de la fin du Quaternaire, qui peuvent former des piémonts de raccordement entre les deux unités précédentes ("jupes sableuses") ou s'organiser en grands cordons dunaires traversant le paysage d'est en ouest. Vallées et dépôts sableux font l'objet d'une mise en culture progressivement croissante, conduisant à une emprise totale sur ces milieux, avec des modes de gestion traditionnelle pour la zone sahélienne (absence de jachères; ou jachères de gestion ou d'ajustement dans les zones les plus artificialisées ; jachères de plus longue durée dans les secteurs moins accessibles à la culture pluviale de mil ou de niébé). Les sols sont à texture dominante sableuse, très pauvres ; les formations végétales sont dominées par les Combretacées, en particulier par *Guiera senegalensis* F.Gmel. dans les jachères.

Plusieurs programmes scientifiques se sont succédés depuis 1989 sur ce territoire représentant une dizaine de terroirs sur une superficie de 40 000 ha. Ils ont fourni des données de base permettant une connaissance approfondie du fonctionnement des systèmes écologiques : **Epsat** (Estimation des Pluies par Satellites au Sahel), puis **Hapex-Sahel** ont caractérisé le fonctionnement physique des systèmes (précipitations, bilan d'énergie, bilan hydrique). Le programme **SALT** (Savanne à Long Terme, du PIGB) s'est intéressé au fonctionnement hydrologique et biologique des différents constituants du paysage (brousses sur plateau, jachères, champs cultivés) et a fourni une paramétrisation de base pour la production des différents milieux. L'**ILRI** (International Livestock Research Institute) mène actuellement un programme destiné à analyser les conditions de fertilisation des champs cultivés à travers une meilleure gestion des

troupeaux, alors que l'ICRISAT (Agronomie Tropicale, Centre Sahélien) conduit des recherches sur l'amélioration des cultures en conditions sociales réelles, appuyé sur son centre de recherche expérimental de Sadoré. Le programme régional "**gestion et amélioration de la jachère en Afrique de l'Ouest**" conduit un programme de recherche, à Banizoumbou ainsi que sur le territoire de l'Observatoire ROSELT de Torodi, destiné d'une part, à préciser le fonctionnement et la dynamique des jachères de la région écologique concernée et, d'autre part, à tester des méthodes simples de réhabilitation des jachères dégradées.

Parallèlement, et simultanément à ces programmes, apportant chacun des données alimentant une base de connaissances concernant le fonctionnement du milieu, l'étude de la dynamique des interactions entre les systèmes écologiques et les systèmes sociaux a été conduite entre 1992 et 1995 sur le terrain, avec pour finalité l'élaboration de modèles spatialisés, en vue de la simulation d'un certain nombre d'hypothèses concernant la co-viabilité des deux systèmes. Les études et modèles trouvent leur expression à l'intérieur du Système d'Information sur l'Environnement dont la conception générale est décrite précédemment.

La liste non exhaustive des références bibliographiques fournie à la fin de ce rapport témoigne de l'intensité des recherches dont a bénéficié le territoire de Banizoumbou. Il constitue, de ce fait, le banc d'essai pour tester la faisabilité d'un SIE local dans l'esprit du programme ROSELT de l'OSS, et pour produire un prototype de SIE local ROSELT qu'il conviendra ensuite de valider.

II.1.2. Caractérisation des systèmes bio-physiques et socio-économiques

Les données disponibles sur le territoire de l'Observatoire de Banizoumbou sont nombreuses, diversifiées et issues d'un grand nombre de programmes de recherche, ayant chacun des centres d'intérêt spécifiques et/ou sectoriels. Le détail de la structure de ces données ainsi que les méthodes d'observation et de mesure utilisées apparaîtront dans le rapport final sur le SIE de Banizoumbou.

II.1.2.1 Données et documents de base

+ Climat

Une station météorologique complète fonctionne depuis 1989 dans l'un des villages du territoire. Les paramètres suivants sont régulièrement enregistrés sur des centrales d'acquisition : précipitations (pluviographe) ; températures ; rayonnement global ; humidité relative ; évaporation. Des travaux de bioclimatologie menés dans le cadre des programmes Hapex-Sahel et SALT (Monteny, ORSTOM) ont produits des données concernant les bilans énergétiques et hydriques des principales formations végétales du territoire : les champs de mil ; les jachères ; les brousses tigrées. Ces mesures micro-climatiques ont été associées à des suivis de la croissance et de la production végétale saisonnière, ainsi qu'à des suivis de stocks hydriques dans les sols des mêmes stations écologiques, durant une année, en 1992 (Rabiou, 1992 ; Boureima 1993).

Un réseau de 30 pluviographes, suivi entre 1991 et 1994 (programme Epsat ; rapports annuels 1990-1996) a permis de vérifier l'extrême variabilité spatiale de la répartition des précipitations mesurées annuellement. Ce réseau a été réduit à 5 pluviographes à partir de 1995.

+ Hydrologie

Un centre de recherche et de formation sur le fonctionnement des aquifères (phréatique et artésien) fonctionne à Banizoumbou, sous la responsabilité de la Direction des Ressources en Eau, avec l'appui de la Coopération Suisse.

Un programme de suivi piézométrique et géochimique des puits et des mares est conduit depuis 1991 sur l'ensemble du territoire de Banizoumbou (J.C. Desconnets, 1994 ; Leduc et Loireau, 1997).

+ Cartographie du milieu physique

Des cartographies thématiques au 1: 50 000^e (pédologie ; géomorphologie sur l'ensemble du territoire) ont été réalisées depuis 1992 (Nagumo, ORSTOM ; Département de Géographie, Faculté des Lettres et Sciences Humaines, Université de Niamey et Coopération Suisse).

La cartographie des états de surface a été réalisée sur des secteurs d'étude limités à l'intérieur du territoire de Banizoumbou, à des échelles allant du 1: 1000^e au 1 : 10 000^e (Esteves, Rajot, ORSTOM).

Un modèle numérique de terrain est en cours de réalisation .

+ Imagerie aérienne et satellitaire disponible

Les photographies aériennes prises en 1950, 1975 et 1992 ont été exploitées pour l'analyse historique de l'occupation de l'espace par les populations humaines (extension des zones de culture, installation des villages, ...).

De nombreuses images satellitaires multispectrales (XS) ou Panchromatique (P) à haute résolution spatiale SPOT sont disponibles, pour des saisons et des années différentes, de 1986 à 1996.

II.1.2.2 Cartographie de l'Occupation des Terres

La caractérisation de la disponibilité des ressources végétales repose essentiellement sur une cartographie préalable, à une échelle pertinente (\geq 1: 50 000^e dans la plupart des cas), de l'occupation des terres, thème cartographique défini dans le document ROSELT daté d'août 1995, contenant une définition des *formations végétales* (caractérisées par la combinaison des recouvrements et hauteurs des différentes strates de végétation, herbacées, ligneuses basses et ligneuses hautes), l'identification des *espèces dominantes* dans chacune des strates, enfin le *degré d'artificialisation* défini au niveau de précision requis.

Cette cartographie constitue la base du système de recueil de données :

- en fournissant un cadre d'échantillonnage pour des analyses plus précises du fonctionnement et de la production des systèmes écologiques, puis en constituant la base d'une généralisation du thème à l'ensemble du territoire de l'Observatoire.
- en permettant une première analyse de l'hétérogénéité spatiale et de la fragmentation paysagère sous l'influence de l'artificialisation des milieux.
- en permettant une première approche en mode synchrone des dynamiques de la végétation à partir d'une classification des unités cartographiques, des plus simples au plus complexes.
- en permettant la mise en relation des paramètres structurels élémentaires (recouvrements des strates de végétation) avec les données de la télédétection satellitaire.

Dans le cas de Banizoumbou, une carte a été réalisée au moyen d'une classification supervisée des scènes satellitaires SPOT d'octobre 1992, précédée par la réalisation sur le terrain d'une typologie des unités cartographiques, déterminées à partir d'une quinzaine de transects de plusieurs kilomètres de longueur, positionnés sur les principales unités géomorphologiques (Loireau, 1993 ; Loireau et d'Herbès, 1996).

La classification obtenue (cf tableau 1) distingue à la fois des thèmes relevant de l'Occupation des Terres, telle que définie antérieurement (recouvrement par strate de végétation), des modes d'utilisation (*land use*), des états de surface *s.s.* ("croûtes superficielles" déterminant le comportement hydrodynamique de la surface des sols), rapportés à des grandes unités physiographiques. La détermination des espèces dominantes des différentes formations végétales demande le traitement de plusieurs images permettant de détecter la phénologie correspondant aux espèces que l'on souhaite différencier, ou l'établissement de relations phyto-écologiques entre les

types de milieu identifiés sur image et les espèces dominantes qui y sont statistiquement associées. Le document obtenu, appelé "spatiocarte", ne constitue qu'une classification de l'ensemble des pixels de l'image satellitaire brute (3 canaux). La réalisation d'une ou de plusieurs cartes thématiques passe par la sélection des thèmes pertinents et le contourage manuel (similaire à une photo-interprétation) des unités correspondantes.

Le document final réalisé constitue une carte des Unités Paysagères (UP), sur lesquelles sont reportées les informations concernant la disponibilité des ressources quantifiées selon les protocoles décrits ci-après.

La disponibilité d'un grand nombre d'images sur le territoire de Banizoumbou constitue une opportunité pour explorer les possibilités et les limites de la télédétection satellitaire multi-date, d'une part, pour affiner les cartographies existantes, d'autre part, pour le suivi de la dynamique du milieu.

II.1.2.3 La quantification des ressources végétales

Des relevés phyto-écologiques ou agronomiques ont été réalisés pour répondre à des problématiques spécifiques relevant des différents programmes de recherche réalisés à Banizoumbou. Les données relevées au cours de ces programmes ont été utilisées pour la quantification de la production de ressources végétales intervenant dans le SIE local de Banizoumbou. Les objectifs et les méthodes étant différentes, cependant compatibles, pour chaque programme, nous les présentons séparément pour chacune des formations végétales identifiées sur le territoire : la végétation des plateaux, les jachères et les champs de mil.

+ La végétation des plateaux

Le programme de recherche correspondant visait à déterminer les relations entre les différentes structures de végétation observées, le fonctionnement hydrologique et biologique correspondant, la production résultante, enfin les prélèvements possibles de la ressource ligneuse compatibles avec la conservation des structures végétales. Ce programme, conduit essentiellement par les chercheurs de l'ORSTOM à Niamey en collaboration avec les partenaires nigériens (en particulier J.M. Ambouta, doyen de la Faculté d'Agronomie), a bénéficié d'une part, d'une étroite coopération avec le projet Energie II, rattaché à la Direction de l'Environnement, chargé de la mise en place de "marchés ruraux de bois-énergie" (cf. d'Herbès *et al.*, *in press*), d'autre part, d'échanges scientifiques internationaux avec les chercheurs des pays dans lesquels ces types de structures contractées se retrouvent (cf. Tongway *et al.*, *in press*).

Tableau 1

LEGENDE DE LA SPATIO-CARTE DES ETATS DE SURFACE DU SOL DU DEGRE CARRE DE NIAMEY (images SPOT de septembre 1992)						
SIMPLIFICATION EN 16 CLASSES						
N° d'unité	Caractéristiques générales dominantes	Encroûtement superficiel dominant	végétation			Utilisation dominante
			type	recouvrement par strat		
				ligneux (%)	herbacée (%)	
1	Végétation dense sur plateaux	LIT/ST1 alg	fourrés, bois	>50		sylvo-pastorale
2	Végétation claire sur plateaux	LIT/ST1 alg	fourrés	20-50	<10	sylvo-pastorale
3	Sol nu sur plateaux	G/ERO	nulle	0	0	
4	Niveaux cuirassés secondaires	G/ERO/ST3	steppe arbustive très claire	≤10	≤15	pâtures
5	Hauts de versant Chanfreins	ERO	steppe arbustive très claire	≤10	<5	nulle
6	Dépôts sableux éoliens	DES/ST2	savane arbustive dense	25-50	25-50	jachère ancienne (≥7 ans)
7	Versants sableux Dunes	DES/ST2	savane arbustive assez dense	15-25	50-75	jachère ancienne (≥7 ans)
8	Dépôts sableux éoliens	DES/ST2	savane arbustive assez claire	10-15	>75	jachère ancienne à herbacée dense
9	Dépôts sableux éoliens	DES/ST2	savane arbustive herb. haut >25cm	10-15 50-75	50-75	jachère peu anc. (3-7 ans)
10	Dépôts sableux éoliens	DES/ST2	savane arbustive herb. bas <25cm	5-10	50-75	jachère peu anc. (3-7 ans)
11	Dépôts sableux éoliens	DES/ST2	savane très claire herbacée dense	<5	50-75	jachère récente (≤3 ans) qqfois semé
12	Dépôts sableux éoliens	DES/ST2/ST3	mil	<5	25-50	champs
13	Dépôts sableux éoliens	DES/ST2	mil/niébé	<5	15-25	champs
14	Bas-fonds	DES/ST2	mil/assez dense peu sarclé	<5	50-75	champs
15	Bas-fonds	DES/DEC	mil/ sorgho/niébé	<5	15-25	champs
16	Eau libre					

Concrètement, la quantification des ressources végétales de ces formations ligneuses sur plateau cuirassé a combiné diverses approches. La première, cartographique, a été réalisée sur des transects positionnés dans des formations échantillonnées en fonction de leur mode de contraction (tigrées plus ou moins denses, mouchetées, diffuses, ...). Cette approche consiste à évaluer le recouvrement des différentes strates de végétation, ainsi que leur hauteur moyenne, sur des segments linéaires homogènes dont la longueur est mesurée ; on calcule à partir de ces données le phytovolume moyen par type de segment intercepté. Ce phytovolume est ensuite corrélé à des mesures de phytomasses aériennes effectuées sur un petit nombre de transects sur lesquels la végétation est coupée selon les méthodes forestières (cubage et enstérage ; Ichaou et d'Herbès, 1997). Enfin, une approche sur l'imagerie aérienne et satellitaire permet d'identifier et de délimiter, sur l'ensemble du territoire, les différentes formations selon leur mode de contraction, et d'appliquer les mesures de phytomasse aux unités obtenues.

+ Les Jachères

La pratique de la jachère répond pour le paysan du Zarma Ganda à de multiples objectifs, d'abord agronomiques (gestion de la fertilité, élimination des adventices,...), mais aussi d'ajustement à la main-d'œuvre familiale disponible au moment des grands travaux, ou encore fonciers, afin de marquer ses droits sur les parcelles annuellement défrichées sans être nécessairement semées par la suite. La définition même des "jachères" s'en trouve compliquée à un instant donné, en fonction des intentions et des stratégies des paysans : une jachère peut être à tout moment défrichée, mais le cycle cultural ultérieur (un ou plusieurs semis de mil, intercalage de niébé-haricot, un ou plusieurs sarclages, récolte) est plus ou moins accompli, ce qui peut à tout moment restituer la parcelle mise en culture à "l'espace jachère".

Un programme spécifique a porté sur la caractérisation, par échantillonnage stratifié régional, de la structure et des niveaux de production en fonction de l'âge d'abandon de la culture et de la situation morpho-pédologique (Delabre, 1993 et en prép.). La quantification des ressources végétales a été réalisée en combinant des techniques d'analyse de la composition de la strate herbacée (points-quadrats), des coupes de carrés pour détermination de la matière sèche herbacée, des mesures biométriques des arbustes sur des parcelles d'un quart d'hectare, enfin des coupes d'arbustes pour la mesure de la matière sèche des différents constituants ligneux et foliaires.

La typologie résultante permet de disposer de données quantifiées (phytomasse des différents constituants végétaux aériens, herbacés, ligneux, foliaires), pour les différentes Unités Paysagères. Les mesures ont été réalisées en 1991 et 1992.

Par ailleurs, un protocole expérimental, destiné à préciser les conditions de production dans les jachères d'âge différent, sur les principaux types géomorphologiques, a été mis en place en 1993 sur 7 parcelles d'un hectare mises en défens. Le suivi des paramètres de la production végétale, des conditions d'infiltration hydrique (états de surface) et de l'humidité volumique dans le sol (techniques neutroniques), de 1993 à 1996, permet de disposer d'informations concernant les relations entre les précipitations et la production végétale, sous conditions de mises en défens (Delabre, en prép.).

Enfin, la répartition spatiale des jachères en fonction des modes de gestion et de la qualité des sols a été analysée lors de la détermination de l'usage de l'espace (§ 1.3 ci-après).

+ Les champs cultivés

Un programme d'étude des composantes du rendement du mil a été mis en œuvre entre 1992 et 1996 (A. de Rouw). Il permet de disposer de chiffres de production de mil (phytomasse totale et grains) pour les différentes Unités Paysagères, en fonction, d'une part, des techniques de gestion appliquées par les cultivateurs (durée de jachère, parcage d'animaux domestiques, utilisation d'intrants chimiques ou de variétés de mil améliorées, etc.), d'autre part, des unités géomorphologiques principales se prêtant à la mise en culture.

II.1.2.4 La caractérisation des unités socio-économiques

+ L'analyse historique du peuplement humain du territoire (ancienneté des chefferies villageoises, des puits, etc.) a été réalisée par des enquêtes auprès des chefs de village et autres personnes-ressources, ainsi que par la recherche de documents historiques dans les archives de l'Institut de Recherche en Sciences Humaines (IRSH) de Niamey.

+ L'inventaire des villages et lieux-dits, des pistes et des autres infrastructures et services (écoles, dispensaires, etc.) a été reportées sur carte. Le recensement de la population et des ménages par type d'activités (agricole, pastorale, forestière, autres) et par ethnie, a été réalisé par enquête exhaustive auprès des chefs de village, sur l'ensemble du territoire.

+ Des enquêtes, portant sur les systèmes de production et sur la micro-économie de l'exploitation, ont été réalisées sur un groupe d'unités d'exploitation, échantillonné en fonction de son appartenance aux diverses classes typologiques élaborées d'après le recensement général, dans quelques terroirs sélectionnés sur des critères d'ancienneté de création et de superficies relatives de plateaux et de terres aptes à la mise en culture avec les techniques traditionnelles.

II.1.3. Détermination de l'utilisation de l'espace et des ressources

Les groupes sociaux en présence exercent sur le milieu trois activités essentielles, de par leurs impacts et leurs interactions avec les ressources existantes : la *culture pluviale* de mil et/ou de niébé, le *pâturage* par des animaux domestiques (bovins, petits ruminants, camelins, asins), le *prélèvement de bois-énergie*. La réalisation de ces activités, en intensité et en investissement de travail, dépend de la *qualité* et de l'*accessibilité* des ressources. D'autres types d'activités et de prélèvements (récolte d'herbacés secs pour la fabrication de nattes; récolte de produits de la pharmacopée traditionnelle; cultures maraîchères, etc.) ont bien évidemment une importance capitale dans l'économie des ménages : la dialectique reliant usages et ressources n'a cependant pas le même caractère quantitatif que dans le cas des activités jugées déterminantes pour la dynamique générale des milieux au niveau de l'ensemble du territoire considéré.

II.1.3.1 Echantillonnage

Plusieurs centres villageois ont été retenus en fonction : d'une part, de la disponibilité en ressources (globalement : relation entre la superficie occupée par les plateaux et par les terres sableuses), d'autre part, de l'ancienneté de l'installation du groupe social ; notons tout de suite qu'il n'y pas une totale indépendance entre les deux paramètres, les villages les plus récents - l'un date de 1992 - s'installant obligatoirement sur un espace résiduel, généralement caractérisé par un degré d'attraction plus faible vis-à-vis de la ressource première qui est aujourd'hui la terre facilement cultivable.

II.1.3.2 Les unités spatiales de référence (USR)

Dans cette région écologique (comme dans bien d'autres en zone agro-pastorale sahéenne et soudanienne), le paysage est façonné par le défrichement des espaces réputés pastoraux en vue de la mise en culture. Il en résulte une mosaïque de champs et de jachères dont la rotation plus ou moins rapide (pas de jachères ; ou jachères de 2 à 10 ans, voire plus) rend délicate et utopique une cartographie actualisée annuellement. Dans ce cas, la "clef" pour la définition des unités de référence est le mode de gestion de la fertilité des terres à travers les diverses pratiques de la jachère.

Pour définir des unités de gestion (du système d'exploitation), qui soient en même temps des références spatiales, deux modes d'échantillonnage ont été utilisés :

- + le premier sous forme de plusieurs *transects radiaux* centrés sur les villages retenus dans l'échantillonnage. Chaque parcelle traversée est documentée par enquête auprès du chef de village accompagné de ses "mémoires" : propriétaire, mode de faire-valoir, historique, pratiques, éventuellement rendements. Un bref descriptif cartographique est réalisé, les coordonnées GPS des coins de la parcelle sont relevées, un plan de localisation est reporté sur la photo aérienne ;
- + le second est réalisé par *unité d'exploitation* (ou ménage). Les parcelles exploitées par un même foyer sont recensées et documentées auprès de l'exploitant : historique et les pratiques détaillées pour chaque parcelle ; facteurs déterminant leur gestion, leur rendement, leur utilisation lors des phases de jachère, etc..

Les données de ces deux modes échantillonnage sont regroupées ; elles permettent de construire une *typologie des modes de gestion parcellaire*, fonction d'un degré d'artificialisation complexe intégrant l'ancienneté de la mise en culture, la rotation champs-jachère, l'intensité des pratiques (fumure, engrais, préparation du champs, entretien, sarclage, etc.).

Cette typologie constitue de fait un modèle d'exploitation de la ressource en terres, que l'on peut rapporter :

- + d'une part, spatialement, à des unités écologiques localisées géographiquement par rapport au village et, d'une manière générale, aux contraintes à la mise en culture (*accessibilité sensu lato*, y compris foncière : on définit ici le concept d'*attractivité* d'une ressource pour un usage identifié) ;
- + d'autre part, socio-économiquement, à des caractéristiques d'exploitation, puis, en prenant en compte les niveaux d'organisation supérieur, à l'ensemble de la population du village, et à l'ensemble du territoire.

La validation des modèles ainsi élaborés réside dans le degré de coïncidence entre la reconstitution du terroir exploité à partir des seules données démographiques et écologiques d'autres centres villageois (validation synchronique), ou par la reconstitution des terroirs échantillonnés à partir de photos aériennes anciennes (validation diachronique).

Les unités spatiales ainsi délimitées sont des *unités de gestion*. Leur superposition avec la cartographie thématique pertinente (occupation des terres, pédologie, autres), permet de définir les unités spatiales de référence pour l'ensemble des observations, conformément à la conceptualisation de ces propositions formulées dans le chapitre I.

II.1.3.3 L'utilisation de l'espace et des ressources : approche par modules

+ Module agricole

La délimitation même des unités spatiales de référence (USR) informe sur l'utilisation de base de l'espace pour le système dominant de l'agriculture pluviale, tel qu'il est pratiqué à Banizoumbou. Chaque unité référencée comporte un pourcentage connu, par définition, de surfaces occupées soit par les champs, soit par les jachères de diverses catégories d'âge ; elle correspond par ailleurs à un type d'unité écologique à partir de laquelle on peut déterminer une capacité de production en ressources végétales.

Une première interprétation simple permet ensuite d'élaborer des cartographies thématiques préalables correspondant aux autres usages des ressources constatés : en l'occurrence, pour Banizoumbou, l'utilisation des ressources pastorales par divers animaux domestiques et la récolte de bois-énergie.

+ Module pastoral

Le thème des prélèvements pastoraux est abordé à plusieurs niveaux d'organisation de l'espace : l'ensemble du territoire, le village ou terroir villageois ; ou du système d'élevage : le troupeau dans son ensemble et l'individu animal.

- a. Au niveau de *l'ensemble du territoire* de l'Observatoire, un *recensement saisonnier des points d'eau utilisés pour l'abreuvement du bétail* est réalisé durant un cycle annuel entier (en fait deux cycles ont été suivis). Ces points d'eau sont classés selon une typologie simple définissant leur degré de fréquentation par les animaux (non, peu, moyennement et fortement fréquenté). Un échantillonnage respectant cette typologie sélectionne 3 points d'eau par classe, qui sont inspectés durant deux fois une journée par mois : l'ensemble des animaux fréquentant le point d'eau est recensé, par type, provenance et destination, propriétaire, berger, etc. Cinq recensements correspondant aux différentes saisons sont réalisés dans l'année : fin de saison sèche, début de saison des pluies, pleine saison des pluies, début de saison sèche et pleine saison sèche. On obtient ainsi une image instantanée, actualisée dans l'année de la répartition des troupeaux sur l'ensemble du territoire, ainsi que leur rattachement à un ou plusieurs points d'eau. On peut également par ce moyen détecter les troupeaux transhumants, peu pris en compte dans le niveau d'échantillonnage suivant.
- b. Au niveau des *villages échantillonnés* pour la délimitation des USR, la *typologie des exploitations* permet de préciser les modes de conduite de chaque troupeau, ainsi que son importance économique pour le ménage (une aide considérable a été apportée à ce niveau par la collaboration avec les équipes de l'ILRI œuvrant *pro parte* sur les mêmes terroirs). Chaque village peut ainsi être caractérisé par sa *composition en éleveurs de différents types* (propriétaires sédentaires, transhumants, bergers, etc.), ainsi que par son *effectif animal* rapporté à la population totale.
- c. Dans chaque village échantillonné, des *troupeaux de composition diverse* (bovins ; caprins ; ovins ; mixtes) ont été suivis durant les mêmes cycles saisonniers évoqués précédemment. Le suivi concerne le *comportement au pâturage de l'ensemble du troupeau* : circuit de pâturage, unités paysagères (UP) traversées et temps de passage dans chaque unité, déterminants du circuit (points d'eau, jachère ou champs sous contrat de parage, etc.). Ces suivis, effectués à pas de temps réguliers durant le cycle saisonnier et annuel, permettent d'obtenir une image précise de la répartition de l'effectif animal dans le temps et dans l'espace.
- d. Au niveau d'*individus animaux échantillonnés dans les troupeaux*, des suivis individuels, réalisés au cours des suivis de troupeaux, permettent de préciser les activités réalisées par les animaux dans chaque UP traversée, ainsi que les espèces ou groupes d'espèces végétales pâturées en fonction de leur disponibilité (abondance relative dans l'unité) et de leur état phénologique. La ressource pastorale est alors parfaitement définie dans le temps et dans l'espace, la carte des ressources pastorales correspond réellement à la ressource disponible pour les activités d'élevage.

Cet échantillonnage par niveaux d'organisation permet de construire un modèle assez précis de l'utilisation de l'espace et des ressources par les animaux domestiques en fonction de la disponibilité alimentaire des différentes unités paysagères. Construit à partir de quelques troupeaux, puis par aggrégation, rapporté au village-échantillon, le modèle permet de calculer les prélèvements effectués par les animaux domestiques sur l'ensemble du territoire, enfin de localiser dans le temps et dans l'espace ces prélèvements.

La superposition des deux documents, ressources pastorales disponibles et prélèvements observés et calculés permet de déduire un bilan circonstancié des relations offre du milieu-

consommation pastorale, d'en déduire les dysfonctionnements majeurs et de préconiser les moyens d'y remédier, en association avec les autres modes, parfois conflictuels, d'utilisation de l'espace et des ressources.

+ Module bois-énergie

Le thème du prélèvement des ressources ligneuses pour les besoins énergétiques domestiques est abordé au niveau des villages échantillonnés, par échantillonnage de quelques ménages auxquels des balances (de ménage) ont été remises durant un cycle annuel ; les enfants scolarisés sont chargés de tenir un cahier d'enquêtes sur lequel ils notent la nature et la quantité de bois quotidienne entrant dans le foyer, la destination des feux, l'origine du bois (acheté, échangé, récolté), le lieu et l'effort de récolte (personnes à charge), le nombre de personnes présentes au foyer quotidiennement, etc.

Une image assez précise de la problématique énergétique peut être obtenue en fonction d'une part, de la densité de population, d'autre part, de l'accessibilité aux ressources. Une carte des disponibilités en bois-énergie peut être dressée une fois la ressource réellement récoltée identifiée. La spatialisation des modèles "ressources-usages" à l'ensemble du terroir permet là encore d'obtenir une carte des prélèvements de bois-énergie qu'il est possible de confronter avec une carte des ressources ligneuses offertes, autorisant ainsi un bilan pour cette activité.

Les trois modes dominants d'activités humaines ainsi quantifiés et localisés, il devient alors possible de les superposer, de les documenter mutuellement (le prélèvement de ressources pastorales ou énergétiques a lieu aussi sur l'espace "jachère", appartenant à des unités de gestion agricole), et d'obtenir ainsi des bilans spatialisés du fonctionnement interactif "ressources-usages".

II.1.4. L'effort de récolte des données

Le programme décrit ci-dessus s'est déroulé sur 3 ans, comportant des phases de mise au point, ainsi que des digressions sur des thématiques scientifiques particulières, non indispensables au projet global.

La réalisation des transects et des enquêtes "ménages" représente l'investissement d'un technicien durant un an, saisie des données incluse.

Le suivi des animaux, au niveau des points d'eau et au niveau des troupeaux, représente un technicien travaillant durant un an, saisie des données incluses.

La réalisation des inventaires écologiques de base (cartographie et relevés de phytomasse) représente le travail de deux techniciens durant un an.

La coordination de l'ensemble est effectuée par un ingénieur ou un chercheur durant un an, puis un an supplémentaire pour le traitement et l'interprétation des données, en collaboration avec un ingénieur spécialisé dans l'utilisation des systèmes d'information géographique.

Des collaborations ont pu être obtenues utilement grâce à des stages de formation d'ingénieurs (Faculté d'Agronomie ; cf. références bibliographiques). La population a été également sollicitée pour des opérations précises : tout d'abord les notables villageois lors des enquêtes, remerciés de leur collaboration par des cadeaux appropriés (sacs de semences ou d'engrais, sel, noix de cola), mais aussi des techniciens, recrutés parmi les villageois, rémunérés, pour les mesures de terrain.

La construction de ce système de collecte de données et de leur intégration dans un système d'information, préalable indispensable à une amélioration de la connaissance des dynamiques environnementales dans les zones arides, et à la définition d'un protocole de surveillance en accord avec les objectifs de ROSELT, **nécessite donc l'investissement global d'un ingénieur et de 4**

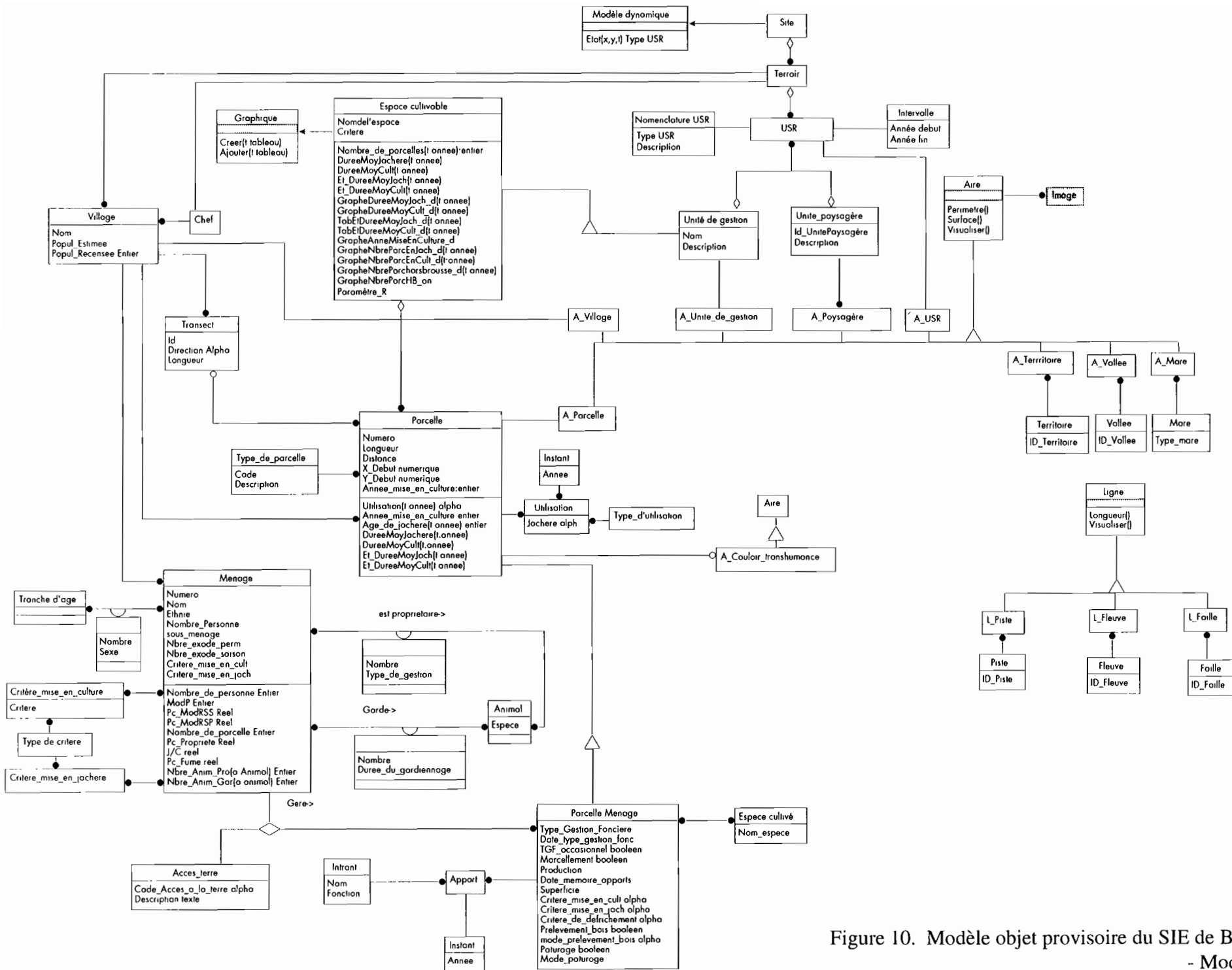


Figure 10. Modèle objet provisoire du SIE de Banizoumbou - Module agricole

techniciens de terrain, certes parfaitement formés, durant une première année, d'un ingénieur et d'un technicien SIG durant une deuxième année.

Le pas de temps qui sépare cette première opération des suivantes dépend de l'intensité des activités humaines et des pressions exercées sur le milieu. Pour Banizoumbou, on peut considérer que le pas de temps optimum pour le renouvellement de l'ensemble des données est de 5 années.

II.2. Le SIE de Banizoumbou : produits et état d'avancement

Le SIE de Banizoumbou constitue un **prototype de SIE local** dans l'esprit du programme ROSELT tel qu'il pourrait en exister pour chacun des Observatoires du réseau. Il respecte les contraintes de conception exposées précédemment (cf. chap.I) et offre de nombreux services de gestion des données, d'analyse spatiale et de simulation.

A l'heure actuelle (début 1997), seules les données correspondant au module agricole ont fait l'objet d'une analyse approfondie et d'une informatisation. Le travail se poursuit pour intégrer les autres modules, "pastoral" et "bois-énergie".

II.2.1. Le modèle objet du SIE de Banizoumbou

La figure 10 montre le diagramme objet du SIE de Banizoumbou. Sa structure est bien plus complexe que celle présentée précédemment (fig.5) mais on y retrouve la structure fondamentale. Les Unités Spatiales de Références (USR) sont issues de la désagrégation des Unités de Gestion (UG) et des Unités Paysagères (UP). Les stations élémentaires permettant le recueil de données sont ici les parcelles, qui sont localisées dans l'espace géographique, et dont on suit l'évolution selon des procédures normalisées.

L'*Unité Communautaire d'Exploitation* (UCE) est le terroir, lui-même composé de un ou plusieurs villages. Aux différents villages sont rattachées des parcelles, identifiées et géoréférencées, dont on connaît l'historique (en général depuis 1950) : utilisation des terres, date de première mise en culture, périodes de culture et de jachère. Certaines parcelles ont fait l'objet d'une enquête plus approfondie (*Parcelle Menage* sur le diagramme, correspondant à une unité d'exploitation échantillonnée) afin de préciser leurs caractéristiques (type de gestion foncière, morcellement, pratiques culturelles...) et les caractéristiques sociales du ménage gestionnaire (nombre de personnes, classes d'âge, ethnie, personnes en exode, nombre d'animaux, économie de l'exploitation,...).

Le formalisme du diagramme objet permet de préciser de manière relativement fine une réalité parfois complexe, ou bien de construire des objets artificiels sur lesquels pourront être effectués des calculs. Par exemple, pour identifier et caractériser les Unités de Gestion, la classe d'objets "Espace cultivable" a été créée et définie comme une agrégation de parcelles, cultivées effectivement ou non. Les objets "Espace cultivable" permettent de réaliser facilement des analyses portant sur un ensemble de parcelles (durée moyenne des jachères ; rapport temps de culture sur temps de jachère..) et rendent possible la définition d'une typologie des Unités de Gestion. Ces Unités de Gestion forment un sous-ensemble des Espaces cultivables, elles sont donc caractérisées par l'ensemble des parcelles qui le compose.

On dispose finalement de trois grands types de données :

- des données issues d'enquêtes auprès des ménages et des relevés de terrain ;
- des informations concernant la structure du territoire : localisation des points d'eau, des villages, des unités géomorphologiques ou paysagères,...
- des images satellitaires ou aériennes qui constituent un outil essentiel pour apprécier la dynamique spatiale et temporelle des paysages et valoriser spatialement les données recueillies par enquête ou sur le terrain.

II.2.2. Le modèle fonctionnel du SIE de Banizoumbou

Jusqu'à présent, le SIE de Banizoumbou a été utilisé essentiellement pour localiser et caractériser les Unités de Gestion qui doivent permettre la définition des Unités Spatiales de Référence.

Dans cette optique, de nombreuses fonctionnalités ont été développées pour permettre l'exploitation des connaissances sur les objets de type Parcelle et Espace cultivable. Quelques exemples sont donnés dans le tableau 2.

La spécification détaillée de chacune de ces procédures est en cours de réalisation et prendra la forme d'un *dictionnaire des fonctions*. Celui-ci regroupe la description de chacun des traitements effectués par le système et constitue une mémoire indispensable pour l'évolution du système. La figure 11 fournit un exemple de description d'une fonction, telle qu'elle apparaît dans le dictionnaire des fonctions. Le dictionnaire des fonctions est construit à l'aide d'un logiciel spécifique (°Pollen DF°), ce qui permet de s'assurer qu'il n'existe pas d'incohérence dans la description des fonctions.

En plus de ces fonctions évoluées, il existe de nombreuses procédures permettant de réaliser des requêtes sur une ou plusieurs classes d'objets, ou assurant le transfert d'information entre les différents sous-systèmes. Il est ainsi possible de visualiser la localisation d'un objet cartographique sur le SIG à partir de sa description dans la base de données, et inversement.

Tableau 2. Exemples de fonctionnalités utilisées dans le modèle fonctionnel du SIE-ROSELT de Banizoumbou

Graph. Durée moyenne des jachères	Cette fonction crée un graphique montrant la variation de la durée moyenne des jachères en fonction de la distance de chaque parcelle au village.
Graph. nombre de parcelles en jachère	Cette fonction crée un graphique montrant l'augmentation du nombre de parcelles en jachère au moment de l'année de référence en fonction de la distance de chaque parcelle au village. Le nombre de parcelle est cumulé.
Graph. % nombre de parcelles en jachère	Cette fonction crée un graphique montrant l'augmentation du nombre de parcelles en jachère au moment de l'année de référence en fonction de la distance de chaque parcelle au village. Le nombre de parcelle est cumulé et présenté en pourcentage du total.
Graph. Durée moyenne des cultures (années)	Cette fonction crée un graphique montrant la variation de la durée moyenne des cultures en fonction de la distance de chaque parcelle au village.
Graph. nombre de parcelles en culture	Cette fonction crée un graphique montrant l'augmentation du nombre de parcelles en culture au moment de l'année de référence en fonction de la distance de chaque parcelle au village. Le nombre de parcelle est cumulé.
Graph. % nombre de parcelles en culture	Cette fonction crée un graphique montrant l'augmentation du nombre de parcelles en culture au moment de l'année de référence en fonction de la distance de chaque parcelle au village. Le nombre de parcelles est cumulé et présenté en pourcentage du total.
Graph. évolution des parcelles cultivées.	Cette fonction crée un graphique montrant l'évolution du nombre de parcelles cultivées en fonction des années.
Graph. évolution nombre total de parcelles	Nombre total des parcelles de type (Champs, Jachère ou Brousse) en fonction des années.
Graph. évol. % sous emprise des cultures	Graphique du nombre de parcelles hors brousse sur nombre de parcelles total en fonction des années.
Graph. évol. nombre de parcelles informées	Nombre de parcelles informées de type (Champs, Jachère ou Brousse) en fonction des années.
Graph. évol. nombre de parcelles cultivées	Nombre de parcelles cultivées en fonction des années.
Graph. évol. nombre de parcelles en jachère	Nombre de parcelles en jachère en fonction des années.
Graph. Evolt. % parcelles cultivés	% de parcelles cultivées sur le nombre de parcelles renseignées (de type Champs, Jachère ou Brousse).
Graph. Evolt. % parcelles en jachère	% de parcelles en jachère sur le nombre de parcelles renseignées (de type Champs, Jachère ou Brousse).
Graph. Evolt. % parcelles en brousse	% de parcelles en brousse sur le nombre de parcelles renseignées (de type Champs, Jachère ou Brousse).
Graph. nbre de parc en jachère = f (age) pour une année.	Nombre de parcelles en jachères en fonction de l'âge des jachères à une date donnée.
Graph paramètre R en f(distance).	Graphique du paramètre R (durée moyenne des cultures/durée du cycle culture/jachère)*100) en fonction de la distance des parcelles aux villages, à la date donnée.
Paramètre R	Calcul la valeur du rapport : durée moyenne du cycle J/C sur durée moyenne des cultures.

m_EC_ÂgeMoyU_TU (Année : Entier ; Utilisation : Alpha(1)) :
Entier
Publique

Âge moyen des cultures ou jachères

Demandeur : Maud Loireau

Date de la demande initiale : 10/06/96

Description

Méthode qui renvoie l'âge moyen des jachères (cultures) des parcelles en jachère (culture) qui composent l'espace cultivable. Seules les parcelles en jachères (culture) à la date t sont prise en compte.

Si Utilisation = "J", la méthode renvoie l'âge moyen des jachères,

Si Utilisation = "C", la méthode renvoie l'âge moyen des cultures,
sinon la méthode renvoie 0.

La fonction fait la moyenne des valeurs de m_pt_ÂgeMoy(utilisation) # 0.

Méthode de la classe

Espace cultivable

Entrée

* Année : Entier

* Utilisation : Alpha(1)

Sortie

Entier

Utilisation

Fonction utilisée pour la construction des graphiques 10 et 11 : graphique montrant l'évolution de l'âge moyen des jachères (ou culture) en fonction des années.

Fonction(s) appelée(s)

- m_PT_ÂgeUtil_TU

Fonction(s) appelante(s)

- m_EC_TbÂgeUt_U

Erreurs et conditions aux limites

Si l'agrégation ne contient aucune parcelle, ou si aucune des parcelles n'est en jachères (culture), la fonction renvoie 0.

Maintenance

La fonction a été construite initialement pour renvoyer l'âge moyen des jachères. Le paramètre "Utilisation" a été rajouté par la suite pour étendre les possibilités de la fonction au calcul de l'âge moyen des jachères ou des cultures.

Figure 11. Extrait du dictionnaire des fonctions du SIE de l'Observatoire de Banizoumbou, Niger

II.2.3. Le modèle dynamique du SIE de Banizoumbou

Le modèle dynamique du SIE de Banizoumbou a pour objectif de décrire la dynamique du territoire de l'Observatoire de Banizoumbou afin de permettre la conception et le développement d'un outil permettant de réaliser des simulations et d'élaborer des scénarios d'évolution.

Il s'agit d'un travail particulièrement délicat, qui relève autant du travail des experts thématiques que d'un travail d'informaticien. Formaliser par des règles forcément restrictives la dynamique d'un territoire est un travail fortement expérimental qui aide à comprendre le fonctionnement d'un paysage et qui doit être validé avant de fournir des scénarios d'évolution exploitables au niveau de l'aide à la décision.

Après avoir envisagé l'utilisation de modèles décrits par des équations différentielles, nous avons adopté, après réalisation d'un prototype, le principe d'une représentation du territoire par l'intermédiaire d'un réseau d'automates cellulaires. Ce type de modélisation consiste à diviser le territoire en un nombre limité de petites surfaces élémentaires, les cellules, et à exprimer par des équations la dynamique d'une cellule en fonction de ses caractéristiques propres et des caractéristiques de ses voisins proches. Les automates cellulaires constituent l'un des rares outils permettant de spatialiser une dynamique. Ils sont particulièrement adaptés à la modélisation des phénomènes de diffusion et de propagation. Cette technique de base devra être enrichie afin de permettre la prise en compte de phénomènes plus complexes. Il paraît notamment nécessaire que les cellules puissent évoluer en fonction d'autres facteurs (caractéristiques du terroir, des précipitations...). Une solution envisagée consiste à définir un système multi-agent pour enrichir les capacités de représentation du phénomène.

Les recherches entreprises actuellement concernent le territoire de Banizoumbou de manière spécifique. Celui-ci est organisé par hypothèse selon un modèle bien connu dit "Centre-Périphérie". Le territoire est structuré sous la forme d'auréoles concentriques autour des zones d'habitation. Cette organisation est assez fréquente mais n'a fait l'objet à notre connaissance d'aucune représentation formelle. Le problème est de déterminer d'une part, la typologie des différentes Unités de Gestion et, d'autre part, d'expliquer l'agencement (superficie et localisation) de ces unités en fonction d'autres facteurs (population, géomorphologie, ressources, contraintes...).

Quelle que soit la représentation détaillée qui sera fournie, il paraît nécessaire de prévoir deux types de modèles dynamiques, devant s'appuyer sur les mêmes logiques de fonctionnement :

- le premier doit permettre de simuler le découpage d'un espace géographique donné en unités de gestion correspondant à différents degrés d'artificialisation, en fonction (*a priori*) : des caractéristiques des villages (population), des contraintes et des ressources (qualité des terres, accessibilité,...). L'objectif de cette modélisation est de permettre l'extension des principes de fonctionnement d'un terroir à d'autres terroirs fonctionnellement proches mais n'ayant pas fait l'objet d'un recueil de données aussi fin que sur le terroir de Banizoumbou (fig.12). Ce modèle suppose l'hypothèse d'une stabilité (pas de variation démographique forte) et d'un équilibre entre usages et ressources exploitées, au moins durant la période d'analyse (2-4 ans).

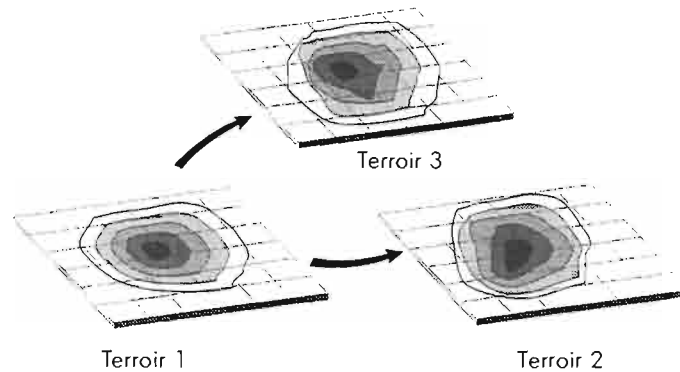


Figure 12. Extension spatiale du modèle de fonctionnement d'un terroir (terroir 1 intensivement documenté ; terroirs 2, 3, ..., extensivement documentés)

- Le deuxième type de modèle dynamique doit permettre, à partir d'un terroir bien documenté, de simuler ses possibilités d'évolution en fonction d'événements prédéfinis tels que l'importance des précipitations, les flux démographiques ou encore les fluctuations du marché (prix, denrées). L'objectif de cette modélisation est donc de permettre des projections dans le temps à partir d'une situation de départ bien identifiée et documentée.

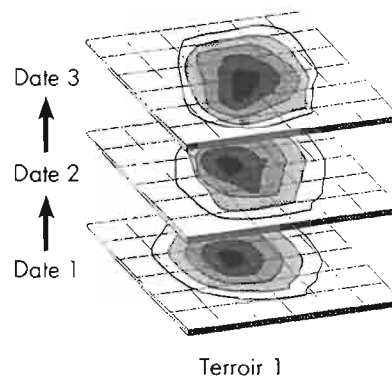


Figure 13. Extension temporelle du modèle de fonctionnement du terroir

La construction de ces modèles est en cours de réalisation (début 1997). Elle s'appuie à la fois sur l'analyse statistique des données recueillies, sur les connaissances des experts thématiques et sur les règles en usage en écologie et sociologie.

En parallèle à cette réflexion d'expert, un prototype a été développé (langage *VBA* d'°Excel°) pour s'assurer de l'intérêt de la technique des automates cellulaires. La figure 14 montre un exemple de résultat fourni par cette maquette. Le produit final, en cours de développement, est réalisé en *Pascal-Objet* (logiciel °Delphi°).

II.2.4. Le modèle du système du SIE de Banizoumbou

Après une phase d'analyse, qui a permis d'élaborer le modèle objet et le modèle fonctionnel, les phases de conception détaillée, puis de développement ont été entreprises.

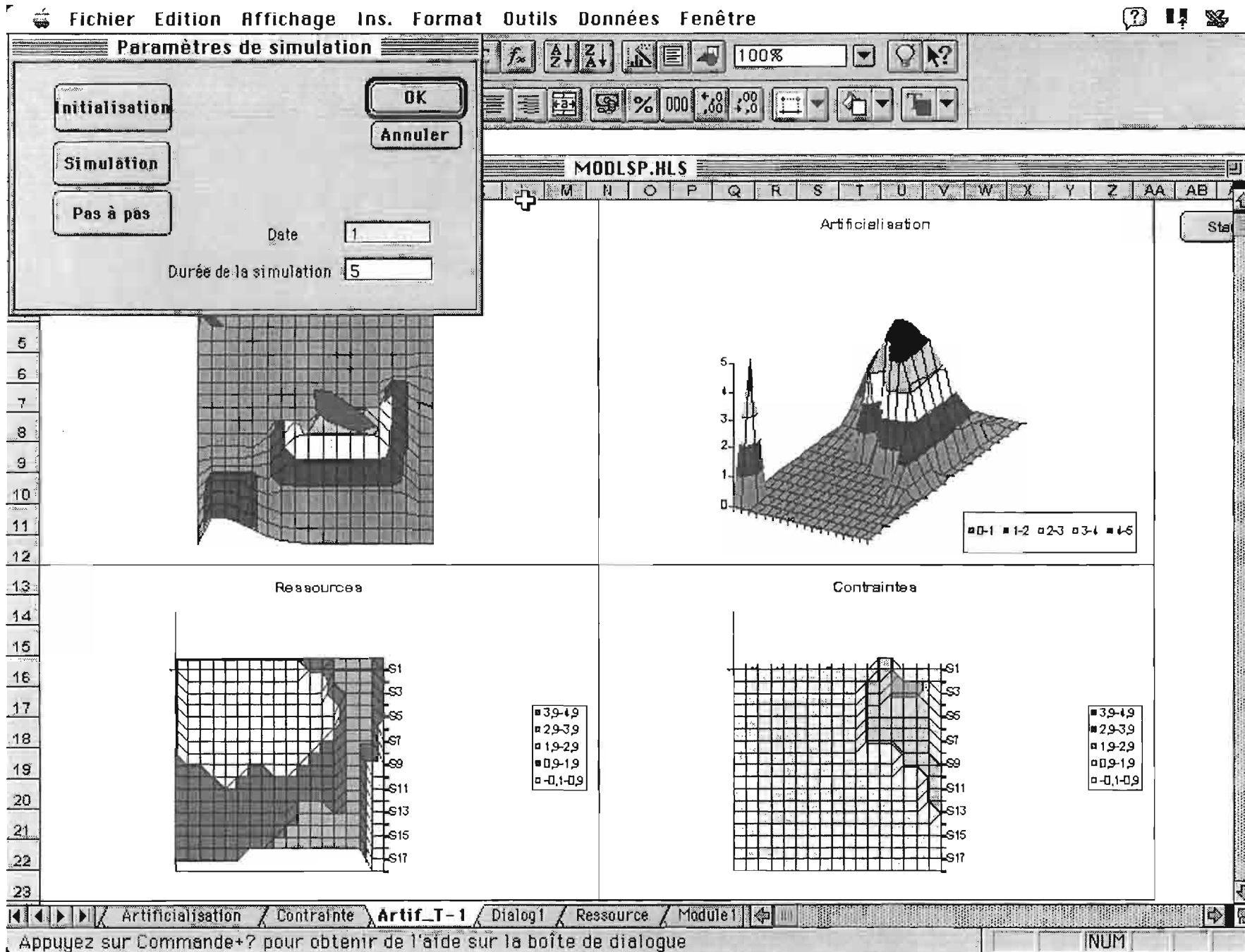


Figure 14. Prototype de logiciel pour la modélisation et la simulation de la dynamique spatiale

L'architecture informatique du SIE Banizoumbou (fig.15) reprend les principes définis pour les SIE locaux (fig.8 et 9). Le Système de Gestion des Données a été développé à l'aide du SGBD °4ème Dimension°. Le Sous-Système d'Information Géographique est géré grâce au logiciel SIG °MapInfo° (la compatibilité du système avec le logiciel SIG °ArcView° est prévue à court terme). Pour permettre la création de graphiques, un sous-système Grapheur a été rajouté au schéma de base. Il sera sans doute intéressant de le conserver pour de nombreux SIE locaux. C'est le logiciel °ms-Excel° qui a été choisi pour implémenter les fonctionnalités du sous-système Grapheur. L'ensemble du système informatique tourne actuellement sous Windows 3.1 et sur Mac-OS.

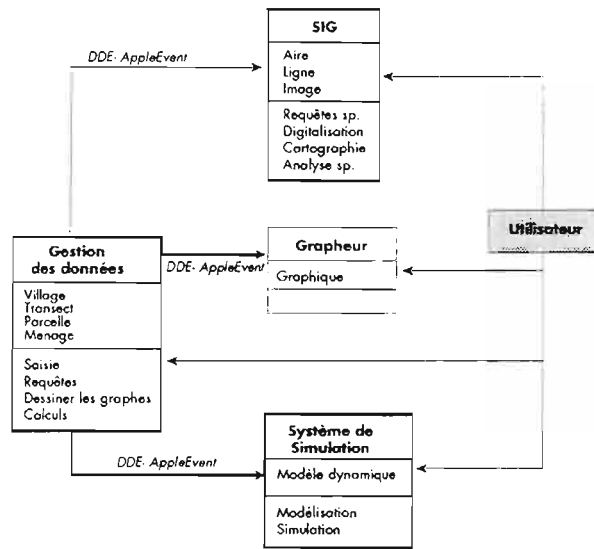


Figure 15. Modèle du système informatique du SIE de Banizoumbou

La figure 16 montre l'architecture physique du SIE de Banizoumbou.

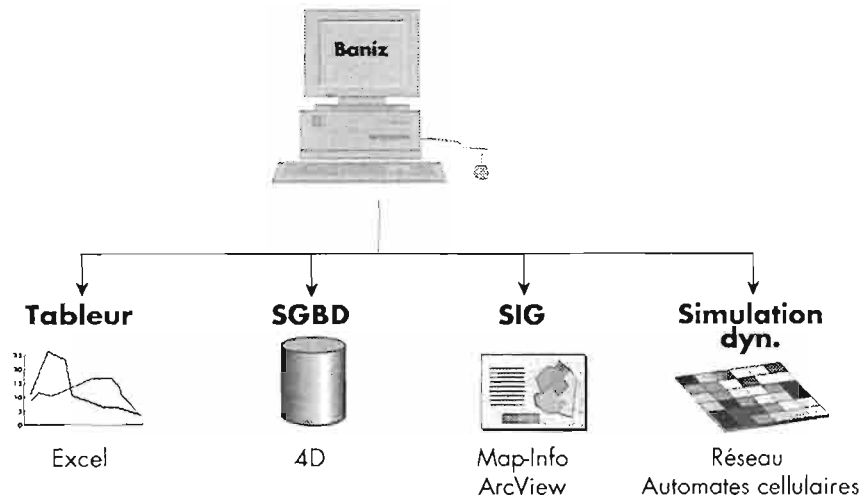


Figure 16. Architecture physique du SIE de Banizoumbou

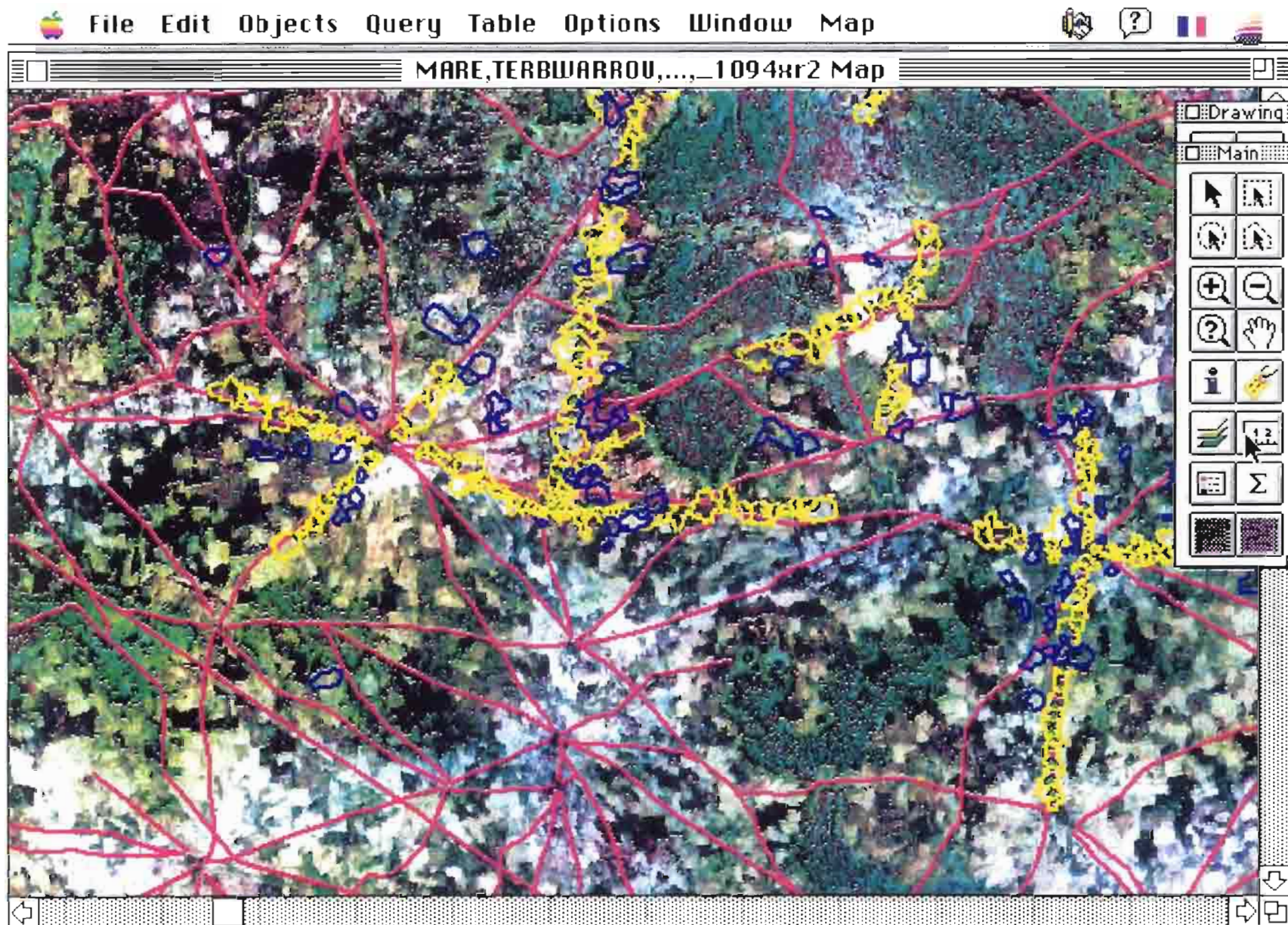


Figure 17. Ecran de visualisation des objets cartographiques (logiciel MapInfo - Sous système d'information géographique)

Parcelle

Id parcelle	T1BA9	Village	BA	Banizoumbou
Id transect		Longitude	460 366,96 m UTM	
Accès terre		Latitude	1 496 450,46 m UTM	
Longueur	81			
Distance	2041			
Util av. 1950	B			

Nom_Espace	Année	Code	Type d'utilisatio	Durée
BAtans	1982	C	Culture	3
Banizoumbou	1983	C	Culture	4
	1984	J	Jachère	1
	1985	J	Jachère	2
	1986	C	Culture	1
	1987	C	Culture	2
	1988	C	Culture	3
	1989	C	Culture	4

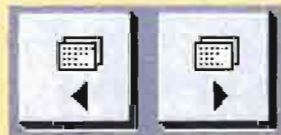


Figure 18. Ecran de visualisation pour les objets de la classe "Parcelle"
(logiciel 4D - Sous système de gestion des données)

Analyse des espaces cultivés

Tondikiboro Banizoumbou toutes parcelles BAtrans KDtrans SDtrans	> >> < <<	Tondikiboro Banizoumbou BAtrans	
Nombre de parcelles <input style="width: 50px;" type="text" value="23"/>		Année de référence <input style="width: 50px;" type="text" value="1995"/>	
1. Graph. Durée moyenne des jachères 2. Graph. nombre de parc. en jachère 3. Graph. % nombre de parc. en jachère 4. Graph. Durée moyenne des cultures 5. Graph. nombre de parc. en culture 6. Graph. % nombre de parc. en culture 7. Graph. nombre de parc. hors brousse	> >> < <<	Cette fonction crée un graphique montrant la variation de la durée moyenne des jachères en fonction de la distance de chaque parcelle au village.	
Nouveau graphique		Ajouter au graphique	
Fermer		Carte de l'espace c.	

Figure 19. Ecran de requête pour les objets de la classe "Espace cultivé"
(logiciel 4D - Sous système de gestion des données)

Les différentes applications qui composent le système communiquent entre elles par l'intermédiaire de liens DDE (sous Windows) ou Apple-Event (sous Mac-OS). Ainsi, les graphiques sont générés directement sur le grapheur (°Excel°) à partir du logiciel SGBD (°4D°) et il est possible de visualiser sur le SIG (°Map-Info°) le résultat d'une requête faite sur la base de données (°4D°).

En dehors du sous-système Simulation Dynamique qui est actuellement en cours de développement, le **système est opérationnel pour le module agricole du SIE local de Banizoumbou**. Les figures 17, 18 et 19 montrent quelques copies d'écran de l'application SIE Banizoumbou.

La plus grande partie du développement a consisté à mettre en oeuvre le modèle objet sous la forme d'une application de base de données. En plus de la définition de la structure physique de la base, et des écrans de saisie, un travail important a été nécessaire pour programmer les différents traitements définis dans le dictionnaire des fonctions.

Le travail le plus important pour la construction du SIG a été d'intégrer les données et d'assurer leur calage sur un même référentiel. La partie développement en langage MapBasic s'est révélée très limitée.

Pour assurer la génération automatique des graphiques, il a été nécessaire de programmer des procédures spécifiques à partir du langage VBA de °ms-Excel°.

Enfin, le développement du logiciel de simulation est en cours. Il est réalisé en langage Pascal-Objet de Delphi.

II.2.5. Intégration des données du territoire de l'Observatoire ROSELT de Banizoumbou

A l'heure actuelle, toutes les données relatives aux parcelles ont été intégrées dans le SIE, ainsi que les données de nombreux thèmes cartographiques. Les données spatiales, vectorielles ou raster, ont été converties au système de projection des cartes topographiques du Niger (UTM fuseau 31). Les images aériennes et satellitaires ont été orthorectifiées. L'erreur sur la superposition entre images et vecteurs est de l'ordre de 30 à 50 m.

Conclusions et suggestions pour la poursuite du travail

Le travail de conception du SIE-ROSELT doit permettre de préciser de manière détaillée les contraintes à respecter pour chacun des SIE locaux (de chaque observatoire intégré dans le programme ROSELT) et fournir des indications sur leur mise en réseau afin que tous les acteurs du programme puissent accéder facilement aux données issues de l'activité de l'Observatoire et à leur traitement. Ce travail est d'ores et déjà bien avancé, tant du point de vue conceptuel que du point de vue du développement informatique. Les éléments suivants ont ainsi été traités :

- Identification d'une méthodologie à suivre pour l'informatisation du programme ROSELT,
- Analyse générale du SIE-ROSELT, et description des contraintes logiques à respecter pour chacun des SIE locaux,
- Analyse, conception et développement partiel du SIE local de l'Observatoire de Banizoumbou.

Dans les prochains mois, il sera nécessaire de compléter le travail engagé en affinant l'analyse actuelle et en achevant le développement du SIE local de Banizoumbou. Celui-ci pourra ainsi constituer une référence pour les futurs SIE locaux. Les tâches à réaliser sont développées ci-dessous :

- 1) Poursuite de la conception, du développement et de l'intégration des données pour les modules Bois et Pâturage du SIE de Banizoumbou ;
- 2) Traitement des images satellitaires ;
- 3) Modélisation du fonctionnement du territoire de Banizoumbou et développement d'un logiciel de simulation ;
- 4) Rédaction du dossier d'analyse du SIE Banizoumbou ;
- 5) Rédaction du dossier d'analyse pour les SIE locaux et pour le SIE fédérateur ROSELT ;
- 6) Développement d'un SIE local de référence.

Les points 1, 3 et 4 font partie du travail de thèse de Maud Loireau (Université Paul Valéry de Montpellier). L'échéance prévue pour l'achèvement de ces travaux est en juillet 1997. Les points 2, 5 et 6 seront développés entre les mois de juillet et de décembre 1997, sous réserve que les moyens appropriés, humains en particulier, soient disponibles.

Mise en place des SIE locaux

A la suite de ce travail, chacun des Observatoires ROSELT pourra disposer des outils conceptuels (méthode, dossiers d'analyse...) et techniques (structure des données, programmes) nécessaires pour le développement d'un SIE spécifiquement adapté.

Pour mettre en place son SIE local, chaque Observatoire aura alors le choix entre plusieurs possibilités :

- **Utiliser un clone du SIE de Banizoumbou qui servira alors de référence :**

Il s'agit de la solution la plus simple à mettre en oeuvre et la moins onéreuse. Elle risque cependant de ne pas convenir à certains Observatoires ayant des besoins spécifiques trop différents du prototype proposé à partir de l'Observatoire de Banizoumbou.

- **Enrichir un clone du SIE de Banizoumbou en ajoutant des fonctionnalités supplémentaires spécifiques à l'Observatoire :**

En disposant du code source du système de référence, les responsables des Observatoires ROSELT peuvent en augmenter les fonctionnalités en faisant procéder à des développements spécifiques. Cela entraînera de nouveaux coûts d'analyse et de programmation, mais devrait permettre de couvrir tous les besoins existants.

- **Développer son propre SIE :**

Enfin, il est possible que des développements entièrement spécifiques puissent être réalisés avec des outils logiciels et matériels totalement différents. La mise en oeuvre d'un tel SIE devra néanmoins respecter les contraintes des SIE locaux, consignées dans le dossier d'analyse établi par la structure centrale de ROSELT.

Pour assurer en permanence une parfaite compatibilité entre les SIE locaux et le SIE-ROSELT, il paraît très important qu'un expert ROSELT de la structure centrale soit associé à chacune des phases d'analyse préalable à un développement spécifique. Ainsi, les nouvelles fonctionnalités développées localement pourront être répercutées au niveau de la structure centrale du programme ROSELT.

Analyse du risque

Pour pouvoir concentrer son effort sur les parties sensibles du projet et ainsi limiter les risques de retard ou d'échec, il est nécessaire de procéder régulièrement à une analyse du risque. Celle-ci consiste à identifier les problèmes qui peuvent se poser parmi les tâches qui restent à réaliser, et à fournir des réponses permettant de les limiter.

Au stade d'avancement auquel nous sommes parvenus, les risques semblent se limiter essentiellement à deux points :

- **Le premier est essentiellement technique.** Il correspond aux aspects techniques de la modélisation du fonctionnement du système et au développement du logiciel de simulation correspondant. Le risque apparaît ici assez élevé car il s'agit d'un travail de recherche fortement expérimental, et nul ne peut actuellement garantir la validité finale. Tout au plus conviendra-t-il de se contenter d'approximations successives matérialisant le progrès des connaissances.

- **Le deuxième est d'ordre organisationnel.** Il concerne la mise en réseau des différents Observatoires, la pertinence d'un SIE local de référence et son adaptation aux différents Observatoires. Ce risque subsiste, car les réflexions sur la mise en réseau et sur les particularités de chaque Observatoire n'ont pas été assez poussées jusqu'à maintenant pour répondre à cette question. Le

prototype réalisé sur Banizoumbou offre une base de réflexion intéressante qu'il s'agit maintenant d'exploiter. Il paraît également impératif de fixer rapidement le jeu de données et les indicateurs communs à tous les Observatoires, travail qui est entrepris, par ailleurs, par l'opérateur central de ROSELT avec la collaboration de l'ORSTOM, ce qui est un gage de cohérence dans la suite des opérations.

Il serait souhaitable que les responsables d'Observatoires ROSELT retenus dans le noyau dur (douze Observatoires) puissent d'ores et déjà se tenir prêts à valider tout ou partie des systèmes proposés, en étudiant leur applicabilité à leurs propres conditions. Ceci ne pourra se faire qu'à deux conditions :

- que la désignation des responsables locaux soit conforme à l'esprit de cette partie du programme ROSELT, notamment en regard de leurs compétences scientifiques et techniques ;
- que des moyens appropriés soient rapidement dégagés pour continuer à bénéficier de l'effet d'anticipation qui constitue le défi que la structure centrale de ROSELT a voulu relever grâce à la convergence des intérêts de l'OSS, de l'ORSTOM et de l'IARE.

Références bibliographiques

Sur l'Observatoire de Banizoumbou

- Ahonon, D.**, 1992. *Evolution de la structure ligneuse le long d'un gradient successional dans les jachères du Sahel nigérien*. Mémoire d'Ingénieur de 4^e année, Fac. d'Agronomie, Univ. de Niamey & ORSTOM, Niamey : 35p + annexes.
- Ahonon, D.**, 1993. *Résistance à la coupe de l'arbuste Guiera senegalensis dans les jachères du sud-ouest nigérien*. Mémoire d'Ingénieur de 3^eme année, Faculté d'Agronomie, Niamey : 65p
- Ambouta, J.M.K.**, 1994. *Etude des facteurs de formation d'une croûte d'érosion et de ses relations avec les propriétés internes d'un sol sableux fin au Sahel*. Ph.D., Univ. Laval, Québec : 97p.
- Ba, M.**, 1991. *Etude des jachères de quelques terroirs du Sahel nigérien à Banizoumbou*. Mémoire de DESS "Gestion des Systèmes Agro-Sylvo-Pastoraux en Zones Tropicales", Univ. Paris XII Val-de-Marne : 32p + annexes.
- Courault, D., d'Herbès, J.M. & Valentin, C.**, 1990a. *Le bassin versant de Sama dey. Premières observations pédologiques et phyto-écologiques. Programme Hapex-Sahel*. ORSTOM, Paris 31p + annexes.
- Courault, D., d'Herbès, J.M. & Valentin, C.**, 1990b. Caractérisation spectrale des principales organisations de la surface des sols du Niger. In J.POUGET ed. *Caractérisation et suivi des milieux terrestres en région aride et tropicale*. Compte-rendu des II^e Journées de Télédétection, Bondy, 4-6 décembre 1990. ORSTOM éditions, Paris : 39-47.
- Courault, D., d'Herbès, J.M., Valentin, C. & Rémy, D.**, 1991. Etude de la variabilité spatiale du comportement hydrodynamique des sols au Niger à partir d'images satellitaires. *Proceedings of the 5th International Colloquium - Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing*. Courchevel, France, 14-18 janvier 1991 : 601-604.
- Delabre, E.**, 1993. *Une typologie structurale des jachères à Guiera senegalensis du sud-ouest nigérien*. Mémoire DSPU, ENGREF, Montpellier "Formation Forestière Supérieure pour les Régions Chaudes", CIHEAM/IAMM, ORSTOM, Niamey : 56p.
- Delabre, E.**, (en prép.), 1997. *Etude du fonctionnement et de l'amélioration des jachères à Combretacées du sud-ouest nigérien*. Thèse doctorat, Ecole Normale Supérieure Paris-Ulm, Université Paris VI, Orstom-Niamey.
- Delabre, E. & d'Herbès, J.M.** (subm.) Phyto-dynamique post-culturelle dans les jachères du sud-ouest nigérien. *Acta Oecologica*.
- Delbaere, E.**, 1994. *Identification de la structure des écosystèmes forestiers contractés sahéliens par télédétection aérienne et satellitaire. Facteurs déterminant ces structures*. Mémoire fin d'études ISTOM, Cergy-Pontoise : 75 p.
- Desconnets, J.C.**, 1994. *Typologie et caractérisation hydrologique des systèmes endoréiques en milieu sahélien (Niger-Degré Carré de Niamey)*. Thèse Doctorat, Univ. Montpellier II : 326p. + annexes.
- d'Herbès, J.M., Courault, D., Timouk, F. & Valentin, C.**, 1992. *Spatiocarte des états de surface du degré carré de Niamey*. ORSTOM, Hapex-Sahel Information System, LERTS, Toulouse : 1 carte.

- d'Herbès, J.M., Delabre, E. & Loireau, M.**, 1995. Bases écologiques pour une spatialisation des données recueillies dans le cadre de l'expérience Hapex-Sahel. In T. Lebel ed. *Hydrologie et Météorologie de méso-échelle dans Hapex-Sahel : Dispositifs de mesures au sol et premiers résultats*. Editions de l'ORSTOM, Paris.
- d'Herbès, J.M., Ambouta, J.M.K. & Peltier, R.**, eds., 1997 (*in press*). *Fonctionnement et gestion des écosystèmes forestiers contractés sahéliens*. Actes d'un atelier régional programmé du 20 au 24 novembre 1995 à Niamey. *Bois et Forêts des Tropiques & éditions de l'Orstom*. Financement CEE.
- d'Herbès, J.M. & Valentin, C.**, (*in press*). Surface conditions in the Niamey region (Niger): spatial distribution, ecological and hydrological implications. *J. of Hydrology*.
- d'Herbès, J.M., Valentin, C. & Mougenot, B.**, 1994. *Spatiocartes des états de surface du degré carré de Niamey, échelle 1/200 000, scènes du 25 septembre 1992*. ORSTOM, Hapex-Sahel Information System, LERTS, Toulouse : 3 cartes.
- Djerembete, B.**, 1992. *Etude des caractéristiques biologiques d'occupation de l'espace par Guiera senegalensis (bassin versant de Banizoumbou)*. Mémoire d'Ingénieur, Fac. d'Agronomie, Univ. de Niamey & ORSTOM, Niamey : 43p + annexes.
- Doubou, K. M.**, 1992. *Téledétection de la production primaire d'une zone sahélienne : radiométrie au sol des différents états de surface*. Mémoire d'Ingénieur, Centre Régional de Téledétection de Ouagadougou (CRTO) & ORSTOM, Niamey : 25p + annexes.
- Dufay, A.**, 1994. *Enquêtes socio-économiques dans une zone agro-pastorale sahélienne : le site de Banizoumbou*. Mémoire de 2ème Année Ingénieur Agronome, Rennes.
- Hassane, A.**, 1992. *Comportement spectral des éléments dans les unités stables du degré carré de Niamey*. Mémoire d'Ingénieur, Centre Régional de Téledétection de Ouagadougou (CRTO) & ORSTOM, Niamey : 35p.
- Ichaou, A. & d'Herbès, J.M.**, 1996. Productivité comparée des formations structurées et non structurées dans le Sahel nigérien: conséquences pour la gestion forestière. In *Fonctionnement et gestion des écosystèmes contractés sahéliens*, eds. J.M. d'Herbès, J.M.K. Ambouta & R. Peltier. John Libbey Eurotext, Paris.
- Karimou, A.**, 1994. *Etude topographique des plateaux de la région de Niamey ; relations entre la pente et les structures de végétation*. Mémoire d'ingénieur, ECICA, Bamako : 35p
- Karimou, B.H.**, 1992. *Dynamique saisonnière de la strate ligneuse le long d'un gradient successional dans les jachères du Sahel nigérien*. Mémoire d'Ingénieur, Fac. d'Agronomie, Univ. de Niamey & ORSTOM, Niamey : 35p + annexes.
- Leduc, C. & Loireau, M.**, 1997 (*in press*). Fluctuations piézométriques et évolution du couvert végétal en zone sahélienne.
- Loireau, M.**, 1993. *Dynamique d'un paysage sahélien au Niger. Bilan paysagé entre la production primaire et l'utilisation des ressources par les groupes sociaux. Caractérisation de l'espace et des ressources à l'aide de la téledétection spatiale haute résolution*. Mémoire de DEA "Espaces et Sociétés", Dépt. de Géographie Humaine, Univ. Paul Valéry, Montpellier & ORSTOM, Niamey : 123p.
- Loireau, M.**, (*en prép.*), 1997. *Dynamique des paysages sahéliens dans le sud-ouest nigérien : bilan entre productivité du milieu et prélèvements par les populations rurales*. Thèse doctorat, Université Paul Valéry, Montpellier, Orstom-Niamey.
- Loireau, M. & d'Herbès, J.M.**, 1996. Cartographie des unités d'occupation des terres du Super Site Central Est (Banizoumbou) du programme Hapex-Sahel. In M. Hoepffner, B. Monteny. *Actes des Xèmes Journées Hydrologiques de l'ORSTOM*, 13 & 14 septembre 1994, Montpellier. Editions de l'ORSTOM.
- Maïga, I. A.**, 1992. *Cartographie de l'occupation des terres à partir des images satellitaires à haute résolution spatiale SPOT*. Mémoire d'Ingénieur, Centre Régional de Téledétection de Ouagadougou (CRTO) & ORSTOM, Niamey : 34p.
- Ouattara, L.**, 1992. *Etude des relations pluviométrie-phénologie-production dans la zone sud-ouest du Sahel nigérien*. Mémoire d'Ingénieur, Fac. d'Agronomie, Univ. de Niamey & ORSTOM, Niamey : 40 + annexes.

- Peugeot, C.**, 1995. *Influence de l'encroûtement superficiel du sol sur le fonctionnement hydrologique d'un versant sahélien (Banizoumbou, Niger).- Expérimentations in-situ et modélisation*. Thèse doctorat, Univ. Grenoble I : 355p.
- Ponchelet, C.**, 1994. *Etude préalable à la création au Niger d'un Institut de Recherche et d'Accompagnement du Développement (IRAD)*. Mémoire de DESS "Pratiques sociales et pratiques professionnelles du développement", IEDES, Université Paris I : 22p.
- Rabiou, A.M.**, 1992. *Dynamique saisonnière de la strate herbacée le long d'un gradient successional dans les jachères du Sahel nigérien*. Mémoire d'Ingénieur, Fac. d'Agronomie, Univ. de Niamey & ORSTOM, Niamey : 44 + annexes.
- Seghieri, J., Galle, S. & Rajot, J.L.**, 1995. La brousse tigrée dans le Sahel nigérien : étude de la co-fluctuation du stock hydrique et de la végétation annuelle. *In* M. Hoepffner, B. Monteny. *Actes des Xèmes Journées Hydrologiques de l'ORSTOM*, 13 & 14 septembre 1994, Montpellier. Editions de l'ORSTOM.
- Seghieri, J., Galle, S. & Rajot, J.L.**, (in press). Intraseasonal relationships between soil water dynamics and vegetation development in a two phases mosaic in Niger. *Journal of Arid Environment*.
- Tandia M.T.**, 1991. *Utilisation de l'espace et des ressources pastorales dans quelques terroirs villageois du Sahel nigérien*. Mémoire de DESS "Gestion des Systèmes Agro-Sylvo-Pastoraux en Zones Tropicales", Univ. Paris XII Val-de-Marne : 29p + annexes.
- Thiéry J., d'Herbès, J.M. & Valentin, C.**, 1995. A model simulating the genesis of banded vegetation patterns in Niger. *Journal of Ecology*, 83: 497-507.
- Thiéry J., d'Herbès, J.M. & Valentin, C.**, 1997. Modélisation de la réponse de brousses tigrées à différents modes de gestion. *In Tendances nouvelles en modélisation pour l'environnement*, Journées du PIR-EVS du CNRS, Paris, 15-17 janvier 1996.
- Tongway, D., d'Herbès, J.M., Seghieri, J. & Valentin, C.**, éditeurs (in press), 1997. *Banded vegetation patterning in arid & semi-arid environments. Ecological processes and consequences for management*. Ecological Studies, Springer-Verlag, New-York.
- Verhoef, A.**, 1996. *Surface energy balance of shrub vegetation in the Sahel*. Thesis, Univ. Wageningen : 246p.

Sur le Système d'Information sur l'Environnement

- Gayte O., Libourel Th., Cheylan J.P. et Lardon S.**, 1997. Méthode de conception des Systèmes d'Information sur l'Environnement. Collection de géomatique. Hermès ed..
- Jalut P.**, 1989. SADT Un langage pour communiquer. Eyrolles.
- Rumbaugh J., Blaha M., Eddy F., Premerlani W. et Lorensen W.**, 1991. OMT. Object oriented modeling and design. Prentice hall.
- Rumbaugh J., Blaha M., Eddy F., Premerlani W. et Lorensen W.**, 1995. OMT. Modélisation et Conception orientées objet. Prentice Hall - Masson.

Sur ROSELT

- ROSELT**, 1995. Conception, organisation et mise en œuvre de ROSELT. Document OSS-ROSELT.