

Espaces, ressources, usages

Proposition méthodologique pour le suivi de la désertification dans le cadre du réseau Roselt-OSS

Maud Loireau

Géographe

Jean-Marc d'Herbès

Géographe

Roselt (*Réseau d'observatoires de surveillance environnementale à long terme*) de l'OSS (*Observatoire du Sahara et du Sahel*) 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 dégradation des terres et, d'autre part, de mieux comprendre les mécanismes qui conduisent à la désertification. Face à la complexité de ce phénomène, il est nécessaire de prévoir des méthodes de traitement de l'information permettant d'intégrer des séries de facteurs de nature très diverse, tant d'origine socio-économique que biophysique. Dans la logique de Roselt-OSS, qui est de rendre compte de l'étendue du phénomène de dégradation des terres, trois axes de réflexion méthodologique sont privilégiés : la spatialisation des données à l'échelle des territoires des observatoires, l'extrapolation aux régions représentées par chaque observatoire, enfin la modélisation autorisant la simulation dynamique et prospective.

Dans cette perspective, sera exposée ici la démarche actualisée des méthodes et concepts de mise en œuvre d'un système d'information sur l'environnement SIE-Roselt, telle qu'elle a été proposée et approuvée en tant que *charte méthodologique*

commune du réseau lors de la réunion de lancement de la deuxième phase opérationnelle de Roselt-OSS en juin 2000 à Bamako (Mali). Cette démarche est issue d'une réflexion entre différents chercheurs et experts et d'une expérience appliquée sur l'observatoire Roselt de Banizoumbou au Niger (Loireaux, 1998).

I Roselt et ses objectifs

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 –, Roselt se définit à partir de chaque terme qui le constitue :

– *un réseau* : le réseau s'intéresse aux échanges et aux coopérations entre les observatoires eux-mêmes, mais aussi à l'ensemble qu'ils forment et qui est lui-même un observatoire aussi représentatif que possible de la totalité de la zone OSS ;

– *des observatoires* : Roselt est constitué d'un ensemble d'observatoires ; chacun concerne une zone géographique limitée et est défini par ses finalités qui sont doubles : effectuer un suivi (activité scientifique et technique) et produire des résultats facilitant une aide à la décision pour les gestionnaires et responsables du développement (activité opérationnelle) ;

– *une surveillance écologique* : la surveillance est basée sur des séries de mesures et d'observations et, donc sur l'acquisition répétitive de données écologiques au sens large (*i.e.* incluant les données socio-économiques en interaction avec les données écologiques) ; le terme « écologique » de Roselt doit ainsi être considéré comme couvrant tous les aspects de l'environnement et du développement des espaces ruraux (*s.l.*) ; enfin notons que la surveillance écologique est basée sur des mesures de terrain complétées par les données de la télédétection ;

– *le long terme* : l'évolution des systèmes écologiques et agro-écologiques doit être analysée sur des durées suffisamment longues pour en expliciter les mécanismes fonctionnels ; le pas de temps à envisager est de plusieurs décennies ; Roselt fournit également des informations à court et moyen termes.

Les deux objectifs majeurs de Roselt consistent 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 ;
- 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, 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 programmations traitant de l'environnement et du développement durable.

Missions des observatoires Roselt et approche intégrée du SIE

Un observatoire est défini techniquement par un système organisé de collecte et de traitements des données sur l'environnement d'une même unité écologique ou agro-écologique. Il correspond à une demande de produits d'aide à la décision, lesquels sont identifiés par les décideurs et gestionnaires des pays, pour un niveau spatial d'intégration donné (unité paysagère, sous-région, région) ; il peut comprendre une ou plusieurs stations (biotopes, écotopes) ou parcelles cultivées, sur lesquelles sont faites des

observations générales et/ou spécialisées. Les missions de tous les observatoires du réseau Roselt sont les mêmes, à savoir :

- *missions scientifiques* : dynamique des ressources naturelles, des usages, de la désertification, de la dégradation des terres (interaction ressources / usages), prévisions des évolutions écologiques à long terme, recherches thématiques en réseau, etc. ;
- *missions techniques* : récoltes de données sur le long terme (suivi), traitements des données, restitution de produits (cartes, indicateurs...), d'informations, de scénarios d'évolution pour une aide à la décision, etc. ;
- *missions propres à la mise en réseau* : harmonisation méthodologique, échanges et diffusions d'informations, formations, synthèses régionales.

Le SIE-Roselt se veut être un outil, un cadre d'analyse des causes multiples de la désertification sur le long terme qui doit pouvoir répondre à ces diverses missions. Il doit tenir compte à la fois de la diversité des situations dans les différents observatoires labellisés « Roselt-OSS » et de la complexité des interactions entre les systèmes biophysiques et les systèmes socio-économiques à l'origine de la dégradation des terres.

Dans la continuité de la première phase qui a proposé un certain nombre d'activités de surveillance et de collectes des données, l'objectif de la deuxième phase opérationnelle du projet est de fournir un cadre systémique global de traitement des informations. A l'heure actuelle, à partir des données recueillies sur l'observatoire de Banizoumbou au Niger durant 4 années (1992-1995), un prototype d'analyse et de traitement des données, le SIEL-Banizoumbou (système d'information sur l'environnement à l'échelle locale), a été élaboré dans le but d'étudier les interactions entre les forces directrices écologiques et socio-économiques déterminant les dynamiques locales et sub-nationales au niveau des écorégions (Loireau, 1998).

Modèle général du SIE-Roselt

Les sociétés rurales des zones arides dépendent en grande partie, mais pas uniquement, des ressources 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 et une logique spatiale dépendant

d'une organisation sociale plus ou moins complexe. Le degré d'intégration ainsi que l'évolution interactive de ces deux processus sont le reflet des relations et adaptations progressives développées entre les différents systèmes, biophysiques et socio-économiques. Tout changement – endogène ou exogène – déterminant des changements d'états 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 gérer harmonieusement et durablement les relations souvent conflictuelles entre systèmes. La base de réflexion du réseau Roselt repose sur la dynamique interactive spatiale et temporelle entre usages et ressources.

Une ressource ne se définit que par rapport à un (ou plusieurs) usage(s) ou une (ou plusieurs) pratique(s) et réciproquement. L'utilisation des ressources détermine des pratiques et des prélèvements qui vont affecter les ressources et réciproquement. En effet, l'état des ressources à un instant donné peut affecter l'usage qui en est fait par les sociétés. Ce triptyque « ressources/usages/prélèvements » est en évolution continue dans le temps. Son état et son fonctionnement à un moment donné dépendent non seulement de son état et de son fonctionnement l'instant d'avant, mais aussi de l'histoire des facteurs du milieu biophysique à l'échelle géologique et historique (siècle) en interaction avec l'histoire d'utilisation du milieu par l'homme à l'échelle archéologique et historique.

Le fonctionnement des systèmes écologiques détermine un niveau de production des ressources. Il est contrôlé par différentes variables (climatiques, morphopédologiques et biologiques) à plusieurs échelles (locale, régionale, continentale, mondiale). Le fonctionnement des systèmes socio-économiques, en passant par une organisation en systèmes de production, caractérise les usages et les pratiques. Il est également contrôlé par différentes variables (démographiques, micro et macro-économiques, ethnologiques, historiques, religieuses...) à plusieurs échelles (locale, nationale, internationale...).

Le paysage est considéré comme la résultante observable des séries de facteurs en interaction : les uns issus des systèmes sociaux classiquement associés à des espaces d'organisation « administratifs » ou « coutumiers », les autres issus des systèmes écologiques classiquement associés à des unités spatiales du milieu. Dans l'objectif de comprendre les mécanismes de

dégradation du paysage, de connaître la part respective des deux séries de facteurs en interaction sur un même territoire, il est nécessaire de définir et de délimiter des espaces communs et homogènes tant du point de vue biophysique que socio-économique (dits unités spatiales de référence = USR) possédant une stabilité relative dans le temps, sur lesquelles il devient possible d'établir un bilan « ressources/usages ». Pour construire ces USR, il s'agit dans un premier temps de différencier la délimitation d'une part, d'espaces homogènes du point de vue « biophysique » (unités paysagères = UP), d'autre part, d'espaces homogènes du point de vue de la gestion qui en est faite par l'homme (unités de pratiques homogènes = UPH). Les premiers rendent compte du fonctionnement des systèmes écologiques à travers la spatialisation des facteurs biophysiques déterminant un niveau de production des ressources. Les deuxièmes rendent compte du fonctionnement des sociétés à travers la spatialisation des pratiques appliquées par les populations pour exploiter les ressources de leur milieu. Dans un deuxième temps, la confrontation de ces deux plans d'information spatiale détermine les unités spatiales de référence (USR), plus petits communs dénominateurs entre les UP et les UPH (fig. 1). Si l'UP inclut entièrement l'UPH, l'USR est égal à l'UPH et inversement. Tous les cas de figures sont possibles selon la configuration biophysique et socio-économique de la zone. Les simulations font intervenir des variables directrices écologiques (comme par exemple, les précipitations) ou sociales (comme par exemple, la démographie).

■ Structuration de l'espace pour l'analyse des interactions ressources/usages

Les unités paysagères (UP) : définition et principes généraux de construction

Les unités écologiques ou agro-écologiques élémentaires de l'espace rural, exprimées dans la carte d'occupation des terres (COT), forment 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 biophysique et le mode d'utilisation des terres. La diversité des unités paysagères est à la fois fonction des conditions physiques du milieu (types de sol, unités géomorphologiques, micro-climats...), des facteurs biogéographiques (types de formations végétales caractérisées par la combinaison des recouvrements et hauteurs des différentes strates de végétation : herbacées, ligneuses basses et ligneuses hautes, espèces dominantes,...) et des facteurs humains (grands types d'utilisation des terres révélatrices de la pression anthropique : cultivées, non cultivées...). Les combinaisons entre ces différents facteurs ou conditions déterminent le niveau de biodiversité du paysage. La seule organisation spatiale des UP engendre une structure paysagère qui se prête à une analyse spécifique.

Le plan spatial des UP constitue un plan d'échantillonnage stratifié servant à positionner des relevés phyto-écologiques. Ceux-ci fournissent le niveau de disponibilité des ressources et préparent l'extrapolation à l'ensemble du territoire de l'observatoire.

Les unités paysagères sont des unités spatiales majeures (supra-parcellaire) à l'échelle du km², dont les contours sont considérés stables à l'échelle pluri-annuelle. La caractérisation des UP repose ainsi essentiellement sur une cartographie préalable des différents facteurs énoncés ci-dessus dans les observatoires, à une échelle pertinente (supérieure ou égale au 1 : 50 000^e dans la plupart des cas). Leur délimitation peut être réalisée manuellement par contourage sur images aériennes ou satellitales d'ensembles présentant une homogénéité globale pour les critères mentionnés (par exemple, sur des séries chronologiques de photos aériennes, contourage des zones sous l'emprise des cultures et celles hors cultures) ou automatiquement en utilisant des logiciels de traitements d'images satellitales (par exemple, la détermination d'indices moyens de végétation à partir de l'étude de séries chronologiques d'images satellitales Spot).

A chaque facteur déterminant correspond une carte thématique et le croisement de ces différentes cartes, à l'aide d'outils SIG, permet de déterminer les UP. Etant donné la multiplicité des critères, des simplifications et/ou des regroupements sont souvent nécessaires afin de définir un nombre d'unités paysagères raisonnables étant donné l'échelle d'étude (entre 10 et 30 classes à

l'échelle du 1 : 50 000⁶). Ces simplifications découlent d'une expertise supervisée par le thématicien, tenant compte des spécificités locales biophysiques et socio-économiques.

Pour la surveillance écologique à long terme, le zonage des UP devrait raisonnablement être remis à jour tous les 5 ou 10 ans si aucun changements brutaux n'a été identifié (par exemple, une grande sécheresse). Il est souhaitable de privilégier, chaque fois que possible, le traitement par images satellitales, la prospection directe sur le terrain étant justifiée dans tous les cas pour uniquement valider le travail d'interprétation des images satellitales.

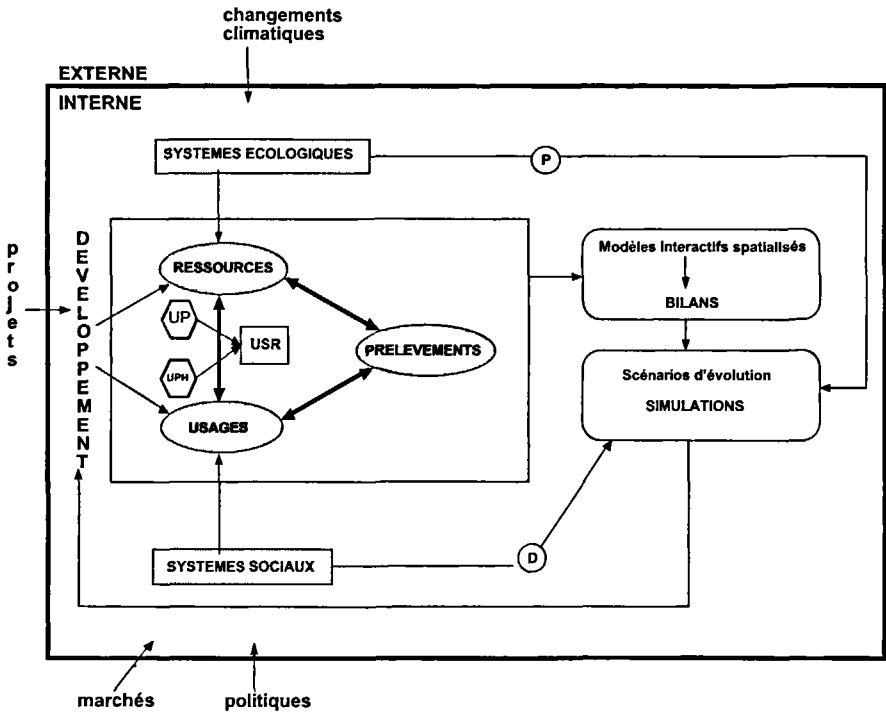


Figure 1

Démarche générale pour l'analyse de relations entre les systèmes biophysiques (écologiques *s.l.*) et socio-économiques (sociaux *s.l.*) à partir de la modélisation des interactions ressources / usages.
 UP : unités paysagères ; UPH : unité de pratiques homogènes ;
 USR : unité spatiale de référence ; P : précipitations ;
 D : démographie.

Les unités de pratiques homogènes (UPH) : définition et principes généraux de construction

Les UPH, contrairement aux UP, ne sont pas directement perceptibles dans le paysage. Elles doivent représenter une surface (de l'ordre du km²) relativement stable dans le temps (décennal) sur laquelle l'utilisation passée et actuelle des ressources par les sociétés est relativement homogène. Afin de les déterminer, la méthode proposée consiste en la spatialisation d'un modèle d'utilisation de l'espace et des ressources. Après avoir identifié les principales activités et les différents types d'usage des ressources renouvelables ayant un impact significatif sur les ressources en terme de quantité prélevée et de surface concernée (par exemple, typiquement en zone sahélienne, les usages agricole, pastoral et forestier), il s'agit d'identifier les pratiques et d'élaborer une typologie des pratiques combinées et, parallèlement, d'établir la nature des relations entre les paramètres déterminants de la distribution spatiale des pratiques afin de définir les règles de spatialisation des pratiques.

Afin d'atteindre ces objectifs, un recueil de données basé sur le principe d'un double échantillonnage est proposé selon le schéma suivant :

- *un échantillonnage principal basé sur les types d'exploitations* : il nécessite une approche micro-socio-économique préalable, fondée sur un inventaire des types d'exploitations représentatif des divers groupes sociaux utilisateurs de l'espace en reprenant les variables classiques des enquêtes sociales (composition sociale et dynamique des unités socio-économiques, organisation du travail, budget d'exploitation, niveau de vie et consommation, etc.) ; à partir d'un échantillon d'exploitations représentatif de la zone, les données sont recueillies par enquêtes agro-économiques sur l'ensemble des parcelles exploitées, elles permettent de déterminer les mécanismes de co-adaptation à la nature et la variabilité des ressources pour satisfaire les besoins d'un groupe d'individus (par type d'exploitation et toutes exploitations confondues) sur un territoire donné, par leurs propres pratiques et stratégies ; l'objectif final du traitement de ces données est la construction de la typologie des pratiques combinées ;
- *un échantillonnage géographique* : il nécessite de pré-identifier les points focaux déterminants dans le gradient d'utilisation des ressources (villages en zone agropastorale, points d'eau en zone

pastorale...); ensuite, à partir d'un échantillon de points focaux (fonction de leur représentativité des différentes conditions biophysiques et socio-économiques sur l'ensemble du territoire), les données sont recueillies par enquêtes agro-économiques sur les parcelles le long de transects géographiques rayonnants autour de points focaux. Le nombre de transects et leur longueur dépendent de la distribution spatiale des UP autour de ces points ; les données ainsi recueillies permettent de préciser et valider les hypothèses portant sur l'organisation spatiale des pratiques analysées et d'en extraire la logique spatiale globale d'exploitation des ressources par un groupe d'individus, toutes exploitations confondues.

A partir de ces règles, un modèle théorique d'utilisation de l'espace et des ressources est conçu puis transcrit en langage informatique pour le développement d'un logiciel de simulation, permettant de dessiner les contours des UPH de manière automatique. Les règles doivent être simples et les informations biophysiques et socio-économiques nécessaires pour paramétrer le modèle doivent être facilement « obtensibles ». L'un des objectifs est en effet de permettre la généralisation à des zones plus vastes, voire à d'autres zones. L'autre objectif est de permettre la reproductibilité pour éventuellement actualiser la structure des UPH, estimée relativement stable sur une durée de 5 à 10 ans sans changements brutaux remarquables. Rappelons ici que les UPH sont ensuite croisées avec les UP afin de déterminer les USR.

I Approche par module d'utilisation de l'espace et des ressources et des bilans ressources/usages spatialisés

Comme évoqué, dans la plupart des zones arides et semi-arides, le multi-usage de l'espace et des ressources est la règle. Les caractéristiques des unités spatiales de référence (USR) sont donc issues de divers modes d'utilisation, en même temps qu'elles déterminent la nature et la quantité de ressources pour les usages considérés.

L'objectif étant d'analyser l'état et l'évolution des USR en fonction de ces différents modes d'utilisation, associés à autant de modes de gestion, une approche analytique par module est privilégiée avant de réaliser un bilan constituant la synthèse des interventions et des prélèvements (fig. 2). Chaque usage est associé à une (des) ressource(s), et leurs relations dans le temps et l'espace sont spécifiques. 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.

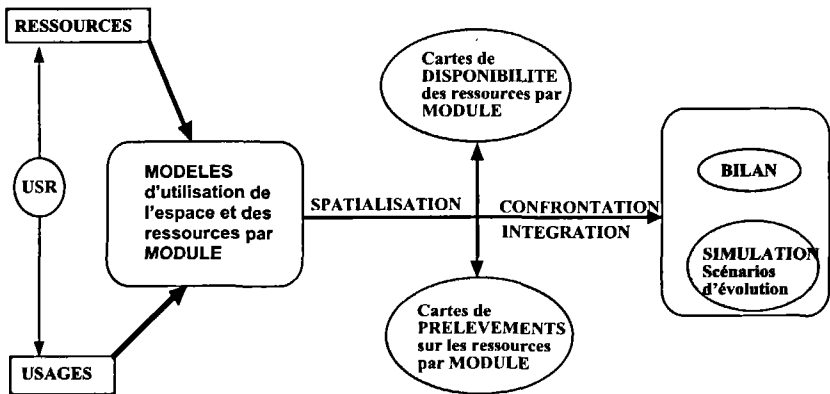


Figure 2

Etapes méthodologiques de l'élaboration des bilans à partir des modèles spatialisés d'utilisation de l'espace et des ressources par module.

Pour chaque type d'usage identifié, un modèle d'utilisation de l'espace et des ressources doit être élaboré. Dans le cas général (activités agropastorales imbriquées sur un même espace), un seul modèle sera utilisé pour la représentation spatiale des activités et des pratiques sur l'espace rural, pour la délimitation des UPH, puis des USR. Dans le cas d'espaces fortement différenciés (juxtaposition de périmètres irrigués et d'espaces pastoraux), il sera préférable de construire deux plans d'UPH qui seront ensuite

superposés. Le modèle retenu à cet effet est celui qui concerne l'activité humaine qui structure fondamentalement le paysage. Ainsi dans les zones agropastorales sahéliennes, c'est l'activité agricole qui est retenue ; en effet, de la structure du paysage qui en découle (espaces cultivés, en jachères ou hors culture), dépendent en grande partie les autres activités (pastorales et forestières). Dans d'autres zones où l'agriculture pluviale ne peut plus être pratiquée, la structuration de l'espace répond à d'autres composantes, pastorales le plus souvent, qu'il convient d'identifier au cas par cas. Les autres modèles de fonctionnement identifiés sur le territoire de l'observatoire sont reportés sur les USR délimitées et structurées à partir du module « principal ».

Le fonctionnement des USR est bien inféré à partir de tous les modèles d'utilisation de l'espace et des ressources établis pour chaque usage identifié, auxquels sont associés une disponibilité et un prélèvement. A partir de la carte des USR, peuvent être établies une carte de disponibilité des ressources et une carte de prélèvements pour chaque type d'usage. La confrontation des deux variables sur les USR permet d'établir un bilan circonstancié dans l'espace et dans le temps pour chaque type d'usage (fig. 1). Ces premiers bilans, dit « modulaires » permettent de localiser les zones d'équilibre ou de déséquilibre entre prélèvements et ressources et, en remontant la chaîne de construction, d'en identifier les causes. Les bilans modulaires sont ensuite confrontés pour établir un bilan global multi-usage sur l'ensemble du territoire de l'observatoire, sur la base spatiale des USR. Ce bilan permet non seulement de rendre compte de l'état du paysage à un instant donné, mais aussi en remontant la chaîne de construction, de connaître la part respective de l'influence des systèmes biophysiques et socio-économiques pour comprendre et interpréter cet état et d'en analyser les effets rétroactifs (feed-back) sur le fonctionnement des systèmes biophysiques.

Les bilans modulaires et le bilan global peuvent être construits sur une base annuelle et/ou saisonnière, suivant le degré de précision requis. La délimitation et la structure des UPH et des UP peuvent être *a priori* inchangées sur un pas de temps de 5 à 10 ans (sans changements brutaux identifiés) ; par contre, les quantités de ressources produites par UP et les prélèvements effectués par USR devraient être réajustés annuellement.

Conclusion

Système externe du système d'analyse des interactions ressources/usages et ambitions de l'ensemble du SIE-Roselt

Le système d'analyse des interactions ressources/usages décrit jusqu'ici, – et dont le fonctionnement est interne à un niveau d'organisation de l'espace (correspondant au territoire de l'observatoire) –, est en relation avec un système externe qui interfère avec le premier (fig. 1). Parmi les déterminants extérieurs susceptibles d'affecter le fonctionnement interactif, les plus importants sont : la politique nationale (à travers la fiscalité par exemple ou les codes ruraux ou forestiers, les aides au crédit, les incitations et subventions...) et internationale (FMI, Banque mondiale, Convention de lutte contre la désertification...), l'évolution des marchés régionaux (appel de main d'œuvre saisonnière ou pérenne, orientations de productions...), l'intervention des projets de développement, et enfin les changements climatiques aux échelles continentale et planétaire.

La modélisation spatiale est nécessaire pour établir un bilan fonctionnel de la situation à un moment donné dans chaque observatoire Roselt, pour déterminer des indicateurs du système global (éco-complexe) et simuler des scénarios d'évolution à partir de la modification des valeurs des paramètres du modèle. L'objectif final, visé à travers le SIE-Roselt, est de comprendre le présent à partir du passé pour prévoir l'avenir. Les scénarios prospectifs sont des outils d'aide à la décision. Les conséquences des interventions réalisées sur le territoire de l'observatoire peuvent être également simulées pour tester leur pertinence.

Dans le cadre du suivi écologique à long terme de Roselt, l'ambition de la démarche est à la fois la simulation prospective pour une aide à la décision des décideurs et des gestionnaires du territoire et l'alimentation d'une base de données pour vérifier et affiner les tendances proposées.

Bibliographie

- d'Herbès J.-M., Gayte O., Loireau M., 1997 – *SIE-Roselt : bases conceptuelles et organisationnelles pour la création de systèmes d'information sur l'environnement adaptés aux besoins du programme Roselt de l'OSS. Développement d'un SIE-Roselt local à partir du territoire de l'observatoire de Banizoumbou (Niger)*. Doc. Orstom, OSS/IARE, Montpellier.
- d'Herbès J.-M., Loireau M., 1998 – « Capacité de charge et usages multiples de l'espace et des ressources ». In Hervé D., Langlois M. (éd.) : *Pression sur les ressources et rareté*, Doc. Orstom, Montpellier, 6 : 51-58.
- Gayte O., d'Herbès J.-M., Loireau M., 1997 – « Apport de la conception par objet pour l'élaboration des systèmes d'information sur l'environnement. Application au programme Roselt ». In Geiger W., Jaeschke A., Rentz O., Simon E., Sprengler Th., Zilliox L., Zundel T. (éd.) : *Conférence européenne sur les technologies de l'information pour l'environnement*, Strasbourg, vol. 1 : 296-305.
- Gayte O., Libourel Th., Cheylan J.-P., Lardon S., 1997 – *Méthode de conception des systèmes d'information sur l'environnement*. Paris, Hermès, coll. de Géomatique, 450 p.
- Loireau M., 1998 – *Dynamique des paysages sahétiens dans le sud-ouest nigérien : bilan entre productivité du milieu et prélèvements par les populations rurales*. Thèse doct., univ. Paul Valéry, Montpellier.
- Loireau M., d'Herbès J.-M., 1997 – « Des unités spatiales de référence pour l'étude de la dynamique des relations ressources-usages dans la zone agropastorale du Sahel nigérien. Régulations démographiques et environnement ». In Auclair L., Gubry P., Picouët M., Sandron F. (éd.) : *V^e Journées démographiques de l'Orstom*, Paris, 22-24 septembre 1997, Doc. Orstom, Ceped / LPE : 45-51.
- Loireau M., d'Herbès J.-M., Gayte O., 1997 – « Modèle de simulation de l'extension spatiale de l'emprise des cultures au Sahel ». In : *Les temps de l'environnement*, PIR-EVS/CNRS, Toulouse, tome 2 : 159-165.
- Roselt, 1995 – *Conception, organisation et mise en œuvre de Roselt*. Doc. Orstom, OSS/IARE, Montpellier.
- Rumbaugh J., Blaha M., Eddy F., Premerlani W., Lorenzen W., 1995 – *OMT, modélisation et conception orientées objet*. Paris, Masson.