

## 3. Etudes d'impacts

### 3.0 Etat des lieux et propositions

Les applications et études d'impacts (ressources en eau, agronomie, santé publique, gestion des ressources naturelles et gouvernance environnementale) sont l'un des enjeux ultimes d'AMMA. Elles sont en lien avec de très nombreux WPs du programme européen, notamment les 1.1, 1.2, 1.3, 3.1, 3.4 et 5.1. Pourtant en 2004 ces thématiques sont sous représentées dans les composantes européenne et nationale du projet. La raison est qu'il faut du temps pour faire émerger des interfaces viables entre la communauté géophysique au sens large, à la fois nombreuse et structurée autour de ses instruments/outils/réseaux, et la communauté des impacts, plus disséminée et dont les modes de fonctionnement et de financement ne sont pas les mêmes.

#### 3.0.1. Le contexte actuel

Les années 2000-2004 ont vu se dérouler de nombreuses réunions de travail pour la finalisation du programme AMMA, en France notamment. Dans la dynamique de ce programme, plusieurs journées de concertation ont été organisées dans les laboratoires impliqués dans les études d'impacts en Afrique de l'ouest. Ceci a permis de bien recenser les forces potentiellement disponibles. Autour de la communauté géophysique initiatrice d'AMMA, la communauté des impacts s'est peu à peu organisée et agrégée. Elle peut désormais jouer un rôle significatif dans le programme AMMA, d'autant que depuis 2003 elle est bien représentée au sein de son Comité Consultatif (CCMA). Ceci a notamment permis de répondre à l'appel d'offre GICC-2 sur les impacts du changement climatique en Afrique de l'ouest en termes de régionalisation, ressources en eau et paludisme. Ce projet est en cours de reformulation (réunion en novembre 2004) afin d'impliquer aussi les régions méditerranéennes sur lesquelles travaillent plusieurs laboratoires et notamment ceux de l'école vétérinaire de Lyon et le CNRM. Toutefois, le GICC est destiné à financer les études d'impacts du changement climatique. Il ne finance pas les travaux placés plus en amont qui lui sont pourtant nécessaires pour notamment régionaliser les impacts du changement climatique et qui sont au cœur d'AMMA. En particulier l'amélioration de la compréhension des liens entre variabilité de petite échelle de la pluie et le cycle de l'eau seul moyen de passer ensuite aux impacts sur la ressource en eau (mares, aquifère du continental terminal) dans une approche écophysologique.

Par ailleurs depuis 2002 quelques projets intégrés allant du climat aux impacts sociétaux ont été soumis au CNRS, à l'IRD à l'INSERM en profitant de la synergie créée entre ces communautés. Un projet intitulé AMMA-paludisme a été soumis en 2003 dans le cadre de l'axe "*Environnement et maladies transmissibles*" de l'ATC INSERM "*Environnement et Santé*". Ce projet sur 3 ans très ciblé et modéré (110 000 Euros demandés) avait l'avantage de réunir 7 laboratoires des CNES, CNRS, IRD, INRA et Institut Pasteur. Il n'a pas été retenu.

**De même le bilan 2004 n'est pas à la hauteur de l'investissement des laboratoires. Ainsi**

- **Le projet GICC-2 intégré ACCIAO** (impacts ressources en eau et paludisme) 275 000 Euros dont 100 000 de CDD est **en cours de reformulation..**
- **La déclaration d'intention pour ATP** (Cirad), sur les impacts de la variabilité de la mousson africaine sur l'agriculture du Sahel dans les buts de développer des méthodes et des outils d'analyse des stratégies des agriculteurs sahéliens à la variabilité et au Changement Climatique (15 chercheurs CIRAD et des collaborations CIRED, LODYC et LTHE et africaines : LPA, IER, CERAAS et AGRHYMET) **a été refusée.**
- **Le projet PRIMA (ACI-PROSODIE SHS)** ciblé sur les impacts agricoles (16 chercheurs des CIRAD, CRC, IRI, LERG, LODYC : 175 000 Euros, 2 ans de postdoc + 1 alloc. thèse demandés) **a été refusé.**
- **Le projet « Sahel Foncier Environnement » (ACI Soc. & Cultures dans le Dev. Durable, SHS)** ciblé sur la gestion des ressources et la gouvernance environnementale (25 chercheurs et étudiants des IRD US166, LAJP, IER, GEODE, LEGOS : 500 k Euros sur 3 ans, 2 ans de postdoc + 1 alloc. thèse demandés) **a été refusé.**

Ces projets, qui ne représentent pourtant qu'une partie de ce qui pourrait être fait. au sein d'AMMA, se sont heurtés à plusieurs types de difficultés : réflexes disciplinaires des jurys, difficultés de financement liées aux

frais terrain et au travail humain nécessaire (postdocs, allocations de thèse, et pour les EPIC comme le CIRAD parties salariales). Il conviendrait **dès 2005 de trouver un outil programmatique financier** permettant de contourner ces difficultés et donc de permettre de structurer des actions coordonnées AMMA. Il y va de l'affichage national et international d'AMMA, particulièrement en Afrique, mais aussi des futures recherches sur le climat. Ainsi il faut pouvoir mener des études amont interdisciplinaires si l'on veut s'attaquer correctement aux problématiques GICC-3.

### **3.0.2. Les projets API 2005**

**Deux groupes de travail (impacts agronomiques et impacts sur la santé publique) ont facilement émergé dans le cadre API 2005 et une proposition a été rédigée comme base de travail pour l'étude des impacts socio-économiques (détails en parties B, C et D).**

<b>Groupe applications agronomiques (coord : Benjamin Sultan, IRD, LODYC)</b>		
CIRAD	5 + 1 postdoc	2,3 ETP
LODYC	1	4 ETP
CIREN	2	0,75 ETP
LMD	1	0,25 ETP
CRC / LSCE	1 postdoc	0,7 ETP
AGRHYMET	2	0,2 ETP
CERAAS	1	0,2 ETP
IER-Bamako	1	0,2 ETP

<b>Groupe application à la santé publique (coord : B. Fontaine, CNRS, CRC)</b>		
LOA	1	0,1 ETP
LTHE	1	0,3 ETP
IRD-Niamey	1	0,1 ETP
CRC	2 + 1 MENRT	0,6 ETP
GEMI	1	0,1 ETP
PRODIG	1 MENRT	0,6 ETP
LISA	1	0,1 ETP
LODYC	1	0,1 ETP

<b>Groupe applications à la gestion des ressources naturelles (coord : O. Barrière, US 166 et P. Mazzega LEGOS/OMP)</b>
<p>Cette proposition implique les équipes SHS, SDU et STIC (25 personnes, étudiants compris pour un total effectif de <b>11,40 chercheurs ETP</b> de temps consacré au programme) réparties dans 7 laboratoires (IRD, CNRS, Universités, INRIA, IER).</p> <p>Les coordinateurs restent à la disposition du Comité Scientifique du programme AMMA afin de donner toute information complémentaire utile.</p> <p><b>Le financement demandé (montage en cours) devrait avoisiner les 70 000 Euros.</b></p> <p><b>Groupe applications à la socio-économie (coord : O. Barrière, US 166 et P. Mazzega LEGOS=)</b></p> <p>Cette proposition est susceptible d'impliquer des équipes SHS, SDU et STIC (25 à 30 personnes, étudiants compris) réparties dans 7 laboratoires (IRD, CNRS, Université, INRIA).</p> <p>Les coordinateurs restent à la disposition du Comité Scientifique du programme AMMA afin de donner toute information complémentaire utile.</p>

Ces deux actions intégrées (voir parties B et C) et cette proposition socio-économique (voir partie D) s'ajoutent sans les recouper aux études plus applicatives, déjà financées, associées à la région AMMA mais non intégrées dans l'API et l'IP. Ainsi l'ATI « Evolution Climatique et Santé » de l'IRD sur 3 ans, coordonnée par J-F Trape réunit 3 départements (12 UR et une US) et est divisée

en 10 actions dont 7 sont directement ciblées impacts. Le financement 2004 obtenu est de 65 000 euros.

Par ailleurs des discussions ont eu lieu à l'IPSL et à l'Université de Versailles et Saint-Quentin (Hervé de Feraudi) pour l'étude des impacts socio-économiques. Elles sont hors du cadre AMMA car les durées d'analyse nécessaires aux économistes ne sont pas liées à la programmation d'AMMA.

### **3.0.3. Les difficultés actuelles**

**Les sources naturelles pour financer les projets intégrés sur la zone AMMA n'existent pas encore.** La limite théorique de 2 000 euros pour 100% ETP dans l'API et l'IP pose problème aux équipes d'agronomie, d'entomologie et d'épidémiologie médicale qui ont besoin de matériel spécifique, d'enquêtes de terrain et de travail humain. Il existe la solution des appels d'offre 2005 GICC, ACI, INSERM, par exemple :

- le futur projet GICC-2 *ACCIAO / S2E* (AMMA et Méditerranée) avec un potentiel de financement de 100-200 K Euros mais où la variabilité aux échelles temporelles AMMA ne peut être prise en compte ; **toutefois ce projet s'insère dans le cadre du changement climatique : il ne permet donc pas l'insertion d'actions placées plus en amont qui lui sont pourtant nécessaires et qui sont au cœur d'AMMA.**
- les futurs appels d'offres *INSERM et ACI SHS* à condition d'identifier des coordonnateurs issus des SDV et SHS non impliqués encore dans les programmes. En effet, les CS de ces programmes ont des réflexes disciplinaires (SHS, agronomes, médecins...) et rejettent les projets transversaux. AMMA (voir A1) qui par nature sont pluridisciplinaires.

### **3.0.4. Quelques solutions à discuter**

- Soutenir davantage les projets intégrés labellisés AMMA sur les grands programmes en intégrant ou en jouant un rôle expert plus fort auprès de ces jurys. Ainsi pour la partie socio-économique sont explorés actuellement des soumissions dans le cadre de GMES-Afrique / OSS, les Programmes "Data Mining" et le PNTS.
- Minimiser les coûts terrain induits par les études d'impacts en : i) utilisant une partie (modeste) des moyens logistiques développés par les groupes géophysique AMMA ; ii) en mobilisant les structures AMMANET sur le terrain pour dégager des ressources puisque les problématiques applications sont très liées aux moyens humains disponibles et à la logistique terrain.
- Pousser les soutiens recherche : i) allocations MENRT (3 ans : habituelles et/ou co-tutelle entre 2 universités), AUF (8 mois en plusieurs fois), bourses en alternance MAE (3 mois/an sur 3 ans) dans le cadre des Mastères ou DEA en donnant priorité aux doctorants choisissant les sujets interdisciplinaires affichés sur le site AMMA ; ii) demandes postdoctorales des EPST et des régions pour les UMR avec une université- sur les thématiques AMMA. ; iii) demandes des EPIC (CIRAD) qui doivent intégrer une partie des salaires dans les soumissions à appels d'offre et ceci diminue (ou supprime) les chances de faire financer les postdocs et enquêtes de terrain
- Et pourquoi pas un programme de type ACI dédié aux études d'impacts au sein d'AMMA et/ou un nouveau programme interdisciplinaire CNRS *climat-impacts sociétaux* puisque la vocation de ces programmes est de « susciter l'émergence de nouvelles thématiques à la frontière des différentes structures traditionnelles » ?

## **3.1. Projet « Impacts agronomiques »**

(coordination Benjamin Sultan, LODYC)

### **3.1.1. La problématique scientifique**

Les populations rurales du Sahel sont particulièrement concernées par l'évolution climatique en cours dans la mesure où les performances de leurs systèmes de production, élevages ou cultures, sont étroitement tributaires du climat (Bazzaz et Sombroek 1996). En outre, la pauvreté de ces populations, ne leur permettant pas un accès aux adaptations technologiques (mécanisation, engrais, irrigation...), constitue un facteur aggravant des impacts socio-économiques du climat : les sécheresses des années soixante-dix ont provoqué une famine dramatique et celles des années quatre-vingt ont décimé les troupeaux (UDNP 2004). C'est dans ce contexte d'impacts socio-économiques forts auquel s'ajoute la perspective de changement global lié au réchauffement climatique qu'il est apparu essentiel à la communauté scientifique de **décrire et de comprendre les modes de variabilité intrinsèques au système de mousson pour fournir une aide à la décision aux utilisateurs et orienter la stratégie agricole**. La réponse aux interrogations sur le devenir de ces systèmes de production réside dans le dialogue entre trois communautés s'intéressant respectivement au climat, à l'agronomie et à la socio-économie. La recherche climatologique s'est orientée vers la prévision des changements climatiques globaux principalement de manière dynamique à travers les modèles de circulation générale (Palmer et al. 2004) et dans une moindre mesure de manière statistique en se basant sur les températures de surface de la mer (Ward et al. 1998). La communauté des agronomes s'est plus particulièrement intéressée à la croissance et à l'adaptation de la plante à la contrainte climatique à travers la modélisation et les essais de sélection variétale (Monteith 2000). Les sciences humaines sont mobilisées en amont de l'agronomie et de l'écophysologie pour évaluer les capacités de réaction des producteurs sahéniens aux nouveaux risques climatiques et, en aval, pour mesurer l'impact probable du changement climatique sur la sécurité alimentaire et sur les économies locales. Cependant si le dialogue entre ces trois disciplines s'avère être un enjeu prioritaire, il soulève nombre de difficultés résultant principalement des échelles propres à chaque communauté et l'impact régional et local d'un changement global du climat reste encore une très grande incertitude (Challinor et al. 2003). Le projet AMMA, à travers ses composantes françaises, européennes et internationales, et la mobilisation multidisciplinaire qu'il suscite, est le cadre idéal pour tenter de résoudre ces difficultés et **amorcer un réel dialogue entre les communautés pour répondre aux besoins prioritaires des populations**.

### **3.1.2. Les objectifs**

L'implication de plusieurs organismes et laboratoires français au sein du projet AMMA, comme le CIRAD, le CIRED, le LMD, le LODYC et le LSCE ainsi que de plusieurs partenaires africains (CERAAS, AGRHYMET), et la stratégie d'observations intensives permettent d'envisager un projet de recherche qui propose une approche transversale transcendant les échelles spatiales et temporelles. Cette approche relie le local au régional par l'étude de l'environnement climatique et son impact sociétal à travers la réponse du rendement agricole local aux fluctuations climatiques régionales et globales. L'objectif principal de cette proposition est de mesurer et de prévoir les impacts de la variabilité à grande échelle du climat sur les échelles fines de la parcelle agricole pour permettre aux techniciens du monde rural de mieux orienter les calendriers agricoles et d'optimiser les recherches agronomiques en matière de sélection variétale et d'adaptations de pratiques agricoles (itinéraires techniques). Il se décline en 4 thèmes distincts.

#### **3.1.2.1. Comprendre et modéliser la stratégie agricole à l'échelle fine**

- Le couplage entre l'échelle régionale du climat et l'échelle locale a déjà été entrepris avec le CIRAD à l'origine du développement d'un modèle agronomique SARRAH (Dingkuhn et al. 2003; Sultan et al. 2004a;b) dont une version simplifiée et antérieure est utilisée comme système d'alerte précoce par AGRHYMET (Samba 1998), ainsi que comme outils de diagnostic et d'aide à la décision par différents partenaires Africains dans la stratégie agricole des pays du CILSS (Comité Permanent Inter-Etats de Lutte contre la Sécheresse au Sahel). Si les facteurs climatiques liés à la contrainte hydrique apparaissent dominants, la comparaison des simulations avec des observations *in situ* est un moyen de valider les résultats et d'extraire d'autres facteurs physiques, propres à l'échelle fine, mais aussi sociale, par la consommation de

main d'œuvre que représente l'activité agricole, pour comprendre et prévoir les enjeux de la stratégie agricole au Sahel. Cette confrontation entre des observations agronomiques (dates de semis, rendements...) issus d'enquêtes en milieu paysan et des simulation du modèle SARRAH pourra s'appuyer sur des campagnes de terrain menées par des chercheurs de l'AGRHYMET. Ces enquêtes ont déjà débuté en 2004 sur le site de méso-échelle du degré carré à Niamey dans le cadre d'une action *PNRH-OVNI* à laquelle participent le CIRAD et le LODYC.

- Il existe deux grands caractères au sein des variétés céréalières cultivées au Sahel, les variétés à cycle constant et photopériodique (pour le mil comme le sorgho). Les secondes s'opposent aux premières par la durée de leur cycle phénologique qui varie en fonction de la date de semis et de leur caractère photopériodique (peu sensible à très sensible maturation à date fixe). Bien que le potentiel de rendement des variétés photopériodiques, qui ont peu fait l'objet de programme de sélection, est moindre, le choix variétal des paysans s'oriente souvent vers ces cultures qui mûrissent à la même date et offrent ainsi plusieurs avantages au regard des agriculteurs (Vaksmann et al. 1999), comme par exemple diminution des pressions biotiques, flexibilité du calendrier de semis.... Le photopériodisme représente le mécanisme principal d'échappement temporel des cultures aux contraintes climatiques liées au démarrage très variable de la saison de pluies. Il est donc nécessaire d'accorder une importance particulière à ce type de cultures qui occupent une place très importante pour comprendre et tenter d'évaluer le choix variétal. En se basant sur des données de parcelles expérimentales menées par des chercheurs au Sénégal et au Mali (CERAAS, CIRAD, IER.), le modèle du CIRAD sera calibré pour simuler l'évolution de ces deux grands types de cultures dans le but de réaliser des études de sensibilité pour comparer le comportement de chacune sous la contrainte climatique et leur réponse aux fluctuations du climat pour orienter la stratégie agricole.
- Les producteurs des zones sahéliennes et soudaniennes d'Afrique de l'ouest appliquent peu les recommandations de la recherche agronomique, par exemple en ce qui concerne les dates de semis, les variétés et les densités de semis (De Rouw 2004). Pourtant ces dernières années l'Afrique de l'ouest a fortement réduit ses besoins en aide alimentaire, certains pays se sont mis à exporter des céréales et l'Afrique de l'ouest dans son ensemble est devenu le deuxième exportateur de coton au monde, sans subvention. Ces performances semblent résulter moins de la recherche agronomique que de la combinaison de pluies moins catastrophiques, des migrations des populations, et de choix agronomiques parfois mal pris en compte par les agronomes eux-mêmes (extensification, diversification). Pour mieux comprendre ces stratégies, dont la sensibilité à la variabilité climatique est peu étudiée, la recherche agronomique doit aller au-delà de l'analyse du rendement par unité de surface. Elle doit aller au devant des producteurs pour tenter de comprendre leurs contraintes, leurs objectifs et leurs stratégies face à un environnement instable. Les modèles bioéconomiques, qui couplent les simulations de croissance de plante, la variabilité climatique et le comportement des producteurs sont particulièrement bien adaptés pour comprendre les raisons des choix des producteurs (Barbier et Bergeron 1998, Barbier et Hazell 2000). Une fois validés, ils permettent aussi de simuler les réactions probables des producteurs aux changements extérieurs tels que le changement de climat, de politique agricole et de nouvelles technologies.

### **3.1.2.2. Régionaliser la contrainte climatique**

- La spatialisation des résultats doit être envisagée d'abord à une échelle fine, de la parcelle à la région (100 km x 100 km), qui connaît une très forte variabilité des précipitations. Cette action pourra être menée sur les sites d'instrumentations AMMA des sites locaux intensifs aux sites de méso-échelle, où il sera dès lors possible de comparer la variabilité spatio-temporelle des pluies à la variabilité du rendement et des itinéraires techniques. A une échelle plus grande, les simulations de rendement de mil et de sorgho seront utilisées (1) pour isoler les facteurs climatiques limitants pour le développement de la plante qui sont principalement la pluie (cumul et distribution; Sultan et al. 2004), la température, la photopériode et le rayonnement global, (2) pour réaliser une cartographie de cette contrainte climatique sur le rendement en Afrique de l'Ouest (en identifiant les zones où le rayonnement est limitant, où le cumul pluviométrique est limitant, etc...) et enfin (3) pour évaluer les échelles pertinentes pour la prévision climatique en vue de la simulation du rendement. Une série de simulations sera réalisée en faisant varier l'échelle des entrées climatiques de manière à documenter l'erreur liée à l'agrégation (Baron et al. 2005) et à mettre en évidence

une échelle critique d'agrégation au-dessus de laquelle la simulation du rendement est inutilisable pour évaluer les impacts sociétaux.

- Cette spatialisation peut s'appuyer sur la télédétection, en utilisant des données satellites comme MODIS, Végétation ou encore LANDSAT dont les faibles coûts d'acquisition permettent la mise en place d'outils et de méthodologie utilisable par les partenaires Africains. Cette recherche concerne la mise en place de méthodologies d'identification de systèmes de culture du village à la région et d'élaboration d'indicateurs biophysiques permettant d'intégrer la variabilité spatiale pour un meilleur suivi et diagnostic des cultures. L'objectif sera d'étudier les impacts de ces indicateurs sur le modèle plante de manière à évaluer le potentiel de ces indicateurs dans l'amélioration de la simulation du rendement.

### **3.1.2.3. Evaluer les impacts de la variabilité et du changement climatique**

L'impact régional de la variabilité et du changement climatique (VCC) sur le cycle de l'eau en Afrique et donc sur la production agricole et les pratiques culturelles des milieux sahéliens est un enjeu important compte tenu des fortes incertitudes quant à la nature de cet impact et des conséquences catastrophiques potentielles sur la production alimentaire. Une manière de documenter cet impact est la simulation numérique du climat et de la croissance des plantes. Dans le cadre du projet européen *PROMISE (Predictability and Variability of Monsoons and Agricultural and Hydrological Impacts)* il a été possible de forcer le modèle SARRAH avec les précipitations simulées par le modèle ARPEGE de Météo-France, en vue de prévoir l'évolution du rendement en fonction de scénarios de changement climatique. Le couplage des deux modèles représente un certain nombre de difficultés notamment au niveau de la différence d'échelle entre la maille du Modèle de Circulation Générale (MCG) et l'échelle fine du modèle agronomique. En effet, l'agrégation des phénomènes pluvieux sur une maille carrée de 2.5 degrés ne permet pas de simuler correctement la dynamique de la biomasse et la réponse du rendement aux fluctuations climatiques (Baron et al. 2005). Ainsi, le transfert d'échelle est apparu comme un point-clé dans le cadre d'une étude d'impacts. Ce passage de la grande échelle de la VCC vers l'échelle fine peut être réalisé :

- Par l'identification d'événements pertinents de la VCC ayant un impact sur l'échelle locale comme le démarrage de la mousson, l'occurrence de séquences sèches (Sultan et al. 2004) en relation avec les attendus du *WP 1.1*.
- Par l'utilisation de méthodes de désagrégations spatiales et temporelles, en lien avec les propositions du *WP 1.4* utilisant notamment les méthodes géostatistiques de désagrégation des séries pluviométriques développées au LTHE, pour adapter le modèle SARRAH à l'utilisation de données climatiques à plus grande échelle.

Un second objectif consiste à étudier la manière de prendre en compte la vulnérabilité climatique dans les réformes des institutions qui encadrent la production agricole, afin en particulier d'identifier des schémas institutionnels robustes à l'instabilité climatique. Cette étude sera menée pour le cas du coton, dont la culture représente un enjeu majeur pour le développement de plusieurs Etats d'Afrique de l'Ouest et du Centre, puisqu'il s'agit de la principale source de devises et d'une importante source de recettes publiques. Par ailleurs, si la prise en compte de la hausse du CO<sub>2</sub> atmosphérique ne s'impose pas dans le cadre d'études sur les céréales (la plupart des cultures concernées sont de type C4, relativement insensible à cette variable), l'effet de la fertilisation par le CO<sub>2</sub> sera étudié dans le cas du coton. En effet, les expérimentations ont montré que le coton est l'une des cultures pour lesquelles l'accélération de la photosynthèse par la hausse du taux de CO<sub>2</sub> est la plus nette (Reddy et al. 2000). Une telle hausse des rendements est prévue par les quelques études menées pour les Etats-Unis (Doherty et al. 2003) et la Chine (Lien et al. 1994).

### **3.1.2.4. Evaluer les rétroactions des zones cultivées sur le climat**

De nombreuses études ont mis en évidence le rôle fondamental joué par les zones agricoles sur le bilan hydrique et le bilan d'énergie de la surface (flux de chaleur latente, flux de chaleur sensible, albédo, ruissellement, ...), ainsi que sur les réserves hydriques et les stocks de carbone du sol. Toutefois, les zones cultivées sont à l'heure actuelle représentées de manière incomplète dans les modèles globaux. Mieux les modéliser à l'échelle continentale apparaît de plus en plus comme une nécessité car elles occupent des

superficiés importantes (15% de l'Afrique de l'Ouest), et ces superficies devraient s'étendre au cours du siècle à venir (Alcamo et al. 1998). Cette action vise donc à quantifier l'impact des zones agricoles sur le bilan hydrique, le bilan d'énergie et le bilan de carbone aux bonnes échelles. L'approche envisagée consiste à coupler le modèle global de biosphère de l'IPSL (ORCHIDEE ; Krinner et al. 2005) avec le modèle SARRAH (Gervois et al. 2004 ; de Noblet-Ducoudre et al. 2004). La calibration du modèle d'ORCHIDEE-SARRAH s'opérera sur le degré-carré de Niamey en utilisant à la fois des données agronomiques à l'échelle de la parcelle (date de semis, variété rendements) et deux stations de mesures de flux (flux de chaleur sensible, ETR, flux net de carbone). Le modèle ORCHIDEE comprenant à la fois la croissance des plantes cultivées et des plantes naturelles, la comparaison de ces deux types de plantes permettra de dégager les spécificités des plantes cultivées sur la dynamique du couvert végétal (phénologie, allocation, production de biomasse, stockage de carbone). Nous tenterons également de quantifier les changements touchant le bilan hydrique et le bilan d'énergie de la surface (flux de chaleur latente, flux de chaleur sensible, albédo, ruissellement, ...), ainsi que les réserves hydriques et les stocks de carbone du sol. Ce travail sera conduit à l'échelle régionale, c'est-à-dire intermédiaire entre l'échelle continentale des modèles de climat et l'échelle locale des modèles agronomiques. Ainsi, cette étude tentera de renforcer les liens entre les communautés d'agronomes d'une part (CIRAD) et les modélisateurs de la végétation à grande échelle (IPSL). Elle se situe à cheval entre les thématiques *WP 3.1* et *2.3* d'AMMA.

Par ailleurs, les actions du *WP 2.4*, s'intéressant à la chimie atmosphérique, pourront s'appuyer sur les données agronomiques (itinéraires techniques avec dates de semis et de récolte, type de culture, fertilisation...) issues des enquêtes proposées dans ce projet pour améliorer l'inventaire des émissions de NOx par les sols et ainsi évaluer leur impact sur la chimie de l'atmosphère et sur le climat (NOx en tant que précurseurs du gaz à effet de serre O3). La présence du site de mesures chimiques sur le site de Djougou (Bénin) oriente le choix des enquêtes agronomiques et socio-économiques proposées sur le Bénin de manière à profiter d'une part de la logistique déjà en place pour le *WP 2.4* et d'autre part à proposer par la suite des études communes entre le *WP 3.1* et le *WP 2.4*.

### **3.1.3. Plan de travail et méthodologie utilisée**

<b>Actions</b>	<b>Méthodologie utilisée</b>	<b>Moyens de mesures associées</b>
Mieux modéliser le rendement paysan avec modèle SARRAH	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Définition et modélisation des variétés-types clefs de mil, sorgho, maïs et arachide</li> <li>- Calibration en station (Sénégal, Mali) et validation en milieu réel (Niger, Bénin)</li> <li>- Application du modèle en conditions paysannes (impacts densité et intrants variables, indicateur de compétition des mauvaises herbes sur le bilan hydrique et les rendements)</li> <li>- Mise en place de méthodologies d'identification de systèmes de culture et élaboration d'indicateurs biophysiques pour forcer le modèle SARRAH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Enquêtes de type agronomique au Niger et au Bénin (itinéraires techniques avec dates de semis et de récolte, type de culture, fertilisation...)</li> <li>- Données satellites MODIS Végétation et/ou LANDSAT</li> </ul>
Evaluer les stratégies paysannes	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaboration de typologies des stratégies et adéquation sommaire avec les technologies</li> <li>- Analyse économétrique des déterminants des stratégies anti-risques</li> <li>- Elaboration d'un modèle des comportements des ménages</li> </ul>	Enquête de type socio-économique au Niger et au Bénin sur des échantillons représentatifs de ménages

Isoler les facteurs climatiques limitants et les échelles pertinentes pour la simulation du rendement	- Comparaison de simulations de SARRAH forcé avec des variables climatiques (précipitations, rayonnement...) avec ou sans variabilité interannuelle - Simulations de SARRAH en faisant varier l'échelle des entrées climatiques pour documenter l'erreur liée à l'agrégation	- Données de précipitations sur les sites de méso-échelle (Bénin et Niger) et à l'échelle régionale (utilisation de données historiques) - Données de stations météorologiques (utilisation de données historiques)
Couplage entre le climat à grande échelle et le rendement local via la précipitation locale	- Utilisation des méthodes de changement d'échelles du WP 1.4 - Identification d'événements climatiques, de types de temps ayant un impact sur la précipitation et donc sur le rendement à l'échelle locale	Données de précipitations sur les sites de méso-échelle (Bénin et Niger)
Identifier des schémas institutionnels robustes à l'instabilité climatique (étude de cas sur le coton)	- Modélisation des institutions d'encadrement de la filière coton (achat à l'avance des récoltes, libéralisation...) - Etude de l'impact du climat et des institutions sur le choix des cultures avec un modèle agro-économique prenant en compte l'incertitude et l'aversion au risque, MATA	Enquêtes de type agronomique
Quantifier l'impact des zones agricoles sur le bilan hydrique, le bilan d'énergie et le bilan de carbone	- Couplage entre le modèle global de biosphère de l'IPSL (ORCHIDEE) et le modèle SARRAH - Calibration du modèle sur les sites à méso-échelle (Bénin, Niger)	- Données agronomiques à l'échelle de la parcelle (date de semis, variété, rendements...) - Stations de mesures de flux (flux de chaleur sensible, ETR, flux net de carbone)

### **3.1.4. Les résultats attendus**

#### **3.1.4.1 Une banque de données agronomie / socio-économie**

Des enquêtes agronomiques (itinéraires techniques avec dates de semis et de récolte, type de culture, fertilisation...) et socio-économiques (taille du ménage, perception du risque climatique et capacité de réaction...) à l'échelle de la parcelle seront menées sur les sites d'instrumentation de AMMA au Bénin et au Niger (en continuité avec le projet *PNRH-OVNI*) pour la saison des pluies 2005. Le choix de ces deux sites est calé sur les sites de méso-échelle de AMMA (1) sur le degré carré de Niamey, disposant de séries pluviométriques à fines résolutions spatiale et temporelle sur la période 1990-2008 et (2) sur le Bassin de l'Ouémé, disposant également de données pluviométriques à l'échelle fine sur la période 1997-2008 et de mesures *in situ* des émissions chimiques des sols. La pérennisation de ces enquêtes jusqu'en 2008 permettra de disposer d'un observatoire agronomique et socio-économique en parallèle avec les observatoires environnementaux déjà en place. Cet observatoire permettra d'analyser la variabilité spatiale du rendement à l'échelle de la parcelle (super site) à la région (site de méso-échelle) et de discriminer dans la fonction de production les effets climatiques (pluviométrie) des autres facteurs (agronomiques, socio-économiques). Outre la calibration et la validation des modèles agronomique et socio-économiques, il pourra également être utilisé en lien avec le *WP 2.3* pour alimenter le modèle ORCHIDEE-SARRAH, et en lien avec le *WP 2.4* dédié à la chimie atmosphérique pour améliorer l'inventaire des émissions de NOx par les agrosystèmes.



### **3.1.4.2. Modèles calibrés et validés**

Ces données serviront à calibrer et à valider le modèle SARRAH à l'échelle de la parcelle, le modèle bioéconomique à l'échelle villageoise et à l'échelle d'un pays, et le modèle ORCHIDEE-SARRAH.

### **3.1.4.3. Couplage entre la télédétection et le modèle de croissance de plante.**

Les outils de télédétection permettront d'identifier les systèmes de cultures du village à la région et d'élaborer des indicateurs biophysiques pour un meilleur suivi et diagnostic des cultures. Télédétection et systèmes d'information géographique permettront d'extrapoler les résultats obtenus au niveau local à des échelles plus agrégées. Des efforts seront faits pour une meilleure articulation entre ces propositions et celles du *WP 2.3* pour la détection des surfaces cultivées et avec le *WP 4.3* regroupant la production et l'analyse de données issues des satellites environnementaux.

### **3.1.4.4. Définition d'une méthodologie pour l'étude des impacts agronomiques du climat.**

Les données de (B.4.1.) et les résultats issus de (B.4.2.) et (B.4.3.) permettront de définir une méthodologie, c'est-à-dire un ensemble cohérent de modèles et d'outils d'analyse adaptés à différents niveaux d'échelles pour l'étude des impacts agronomiques du climat. Cette méthodologie s'appuiera sur les outils de désagrégation du signal pluviométrique du *WP 1.4* et l'ensemble des modèles et outils calibrés et validés dans ce projet sera une base pour le *WP 5.2* de AMMA IP.

### **3.1.5. Les partenaires**

(XXX = recrutement en cours)

#### **CIRAD**

Dingkuhn Michael	UPR Ecotrop / Montpellier (10%)
Barbier Bruno	UMR CIREC/Ecopol, Ouagadougou (30%)
Baron Christian	UPR Ecotrop / Montpellier (50%)
XXX (agronome Cirad/Ceraas)	UPR Ecotrop / Thies (30%)
Feau Christian	UPR Geotrop / Montpellier (30%)
XXX (CDD Geotrop)	Post Doc Cirad (100%)

#### **LODYC**

Sultan Benjamin	LODYC, Paris (40%)
-----------------	--------------------

#### **CIREC**

Quirion Philippe	CIREC, Paris (50%)
Hallegatte Stéphane	CIREC, Paris (20%)

#### **LMD**

Grandpeix Jean-Yves	LMD, Paris (10%)
---------------------	------------------

#### **CRC**

Gervois Sebastien	Post Doc CRC / LSCE (70%)
-------------------	---------------------------

#### **AGRHYMET**

Traore Seydou	Agrhymet ; Niamey (20%)
Sarr Benoit	Agrhymet ; Niamey (20%)

#### **CERAAS**

Diouf Omar	ISRA - CERAAS ; Thiès/Bambey (20%)
------------	------------------------------------

#### **IER**

Kouressy Mamoutou	IER ; Bamako (20%)
-------------------	--------------------

### **3.1.6. Références des partenaires**

Barbier, B. (1998). "Induced Innovation and Land Degradation. Results from a bioeconomic model of a village in West Africa." *Agricultural Economics* **19**(1-2).

Barbier, B. and P. B. R. Hazell (2000). Declining access to transhumant areas and sustainability of agro-pastoral systems in the semi-arid areas of Niger. *Property Right and Collective action*. P. B. R. Hazell (ed). Washington, IFPRI.

- Baron C., B. Sultan, M. Balme, T. Lebel and M. Dingkuhn (2005) From climate scale to plot level : aggregation issues on simulating yield in Sahel, en preparation pour *Agric. For. Meteorol.*
- De Noblet-Ducoudre N., Gervois S., Ciais P., Viovy N., Brisson N., Seguin B., Perrier A. (2004) Coupling the soil-vegetation-atmosphere-transphert scheme ORCHIDEE to the agronomy model STICS to study the influence of croplands on the European carbon and water budgets. *Agronomie* (sous presse).
- Dingkuhn, M., A. Sow, A. Samb, S. Diack, F. Asch. 1995. Climatic determinants of irrigated rice performance in the Sahel. I. Photothermal and microclimatic responses of flowering. *Agricultural Systems* 48, 385-410.
- Dingkuhn, M., K.M. Miezán. 1995. Climatic determinants of irrigated rice performance in the Sahel. II. Validation of photothermal constants and characterization of genotypes. *Agricultural Systems* 48, 411-434.
- Dingkuhn, M. 1995. Climatic determinants of irrigated rice performance in the Sahel. III. Characterizing environments by simulating the crop's photothermal responses. *Agricultural Systems* 48, 435-456.
- Dingkuhn M, Baron C, Bonnal V, Maraux F, Sarr B, Sultan B, Clopes A et Forest F. Decision-support tools for rainfed crops in the Sahel at the plot and regional scales. In: Struif-Bontkes, T.E and Wopereis, M.C.S. (editors), *A practical guide to decision-support tools for agricultural productivity and soil fertility enhancement in sub-Saharan Africa*. 2003. IFDC, CTA, p. 127-139.
- Gervois S., de Noblet-Ducoudre N., Viovy N., Ciais P., Brisson N., Seguin B., Perrier A. (2004) Including croplands in a global biosphere model : methodology and evaluation at specific sites. *Earth Interactions* (sous presse).
- Krinner G., Viovy N., de Noblet-Ducoudré N., Ogée J., Friedlingstein P., Ciais P., Sitch S., Polcher J., Prentice C. A dynamic global vegetation model for studies of a coupled atmosphere-biosphere system. *Glob. Biogeochem. Cycles* (en révision).
- Samba A. 1998. Les logiciels DHC de diagnostic hydrique des cultures – Prévission des rendements du mil en zones soudano-sahéliennes de l’Afrique de l’ouest. *Sécheresse* 4, 281–288.
- Sultan, B., C. Baron, M. Dingkuhn and S. Janicot, 2004 : Agricultural impacts of large-scale variability of the West African monsoon. *Agric. For. Meteorol.*, in press.
- Sultan, B., Baron, C., Dingkuhn, M., Janicot, S. 2004. La variabilité climatique en Afrique de l’Ouest aux échelles saisonnière et intra-saisonnière, 2<sup>ème</sup> partie : **Applications à la sensibilité des rendements agricoles au Sahel**. *Sécheresse*, in press.

### **3.1.7. Références extérieures**

- Bazzaz F. et Sombroek W. (1996), *Global climate change and agricultural production. Direct and indirect effects of changing hydrological, pedological and plant physiological processes*. John Wiley, FAO, Rome, Italy.
- Challinor, A.J., J.M. Slingo, T.R. Wheeler, P.Q. Craufurd and D.I.F. Grimes, 2003 : Toward a combined seasonal weather and crop productivity forecasting system : determination of the working spatial scale. *J. Appl. Meteorol.*, 42, 175-192.
- De Rouw, A., 2004 : Improving yields and reducing risks in pearl millet farming in the African Sahel. *Agricultural Systems*, 81, 73-93.
- Doherty R.M. et al. (2003) "Spatial effects of climate scenarios on simulated cotton production in the South-eastern USA", *Climatic Change*, 60: 99-129
- Lin E. et al. (1994) "Management of vulnerable natural resources", in *National response strategy for global climate change: People's Republic of China, Asia development bank report* TA 1690-PRC, Manila, Philippines, pp. 323-370
- Monteith, J.L., 2000 : Agricultural Meteorology : evolution and application. *Agric. For. Meteorol.*, 103, 5-9.
- Palmer, T.N. et al., 2004 : Development of a European Multi-Model Ensemble System for Seasonal to Inter-Annual Prediction (DEMETER). *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, in press.
- Reddy K.R. et al. (2000) "Crop ecosystem responses to climatic change: cotton", in R. Reddy and H.F. Hodges eds., *Climate change and global crop production*, chapter 8, CAB International, UK
- UNDP, 2004 : Reducing disaster risk : a challenge for development, UNDP global report, Pelling M. (Ed.), 146 pp.
- Vaksmann M., S.B. Traoré, M. Kouressy, H. Coulibaly et F.N. Reyniers (1999), Etude du développement d’un sorgho photopériodique du Mali. Bacci L. et F.N. Reyniers, réds., *Le futur des céréales photopériodiques pour une production durable en Afrique tropicale semi-aride*, Actes du séminaire international, 27-30 Avril 1998, 109-122 CeSIA-CIRAD, Florence, Italie.

Ward, M.N., 1998 : Diagnosis and short-lead time prediction of summer rainfall in tropical north Africa at interannual and multidecadal timescales. *J. Climate*, 11, 3167-3191.

## **3.2. Projet « Impacts sur la santé »**

(coordination : Bernard Fontaine, CRC)

### **3.2.1. Cadre général**

Cette proposition est destinée à renforcer le volet « applications à la santé publique » au sein d'AMMA dans le cadre de l'API 2005 et possède des interactions fortes avec les WPs AMMA-IP 1.1, 1.2., 1.3, 3.1, 3.4 et 5.1 et leurs équivalents API. Elle a ciblé deux pathologies majeures - les méningites et le paludisme- qui sont comme on le sait très liées à la saisonnalité et à la variabilité climatiques et environnementales associées à la mousson africaine sur plusieurs échelles. Elle est volontairement modeste impliquant 10 chercheurs (au total 2 ETP) issus de 8 laboratoires avec une demande financière de 4000 Euros.

Ce projet de recherche a pour vocation de s'étoffer peu à peu dans le cadre des réunions de travail demandées ; c'est la raison pour laquelle plusieurs ETPs sont actuellement inférieures à 30%. Le projet pourra devenir un véritable WP d'interface Climat-Santé au sein d'AMMA si des budgets spécifiques peuvent être dégagés afin de pouvoir agréger les communautés SDV qui pour l'instant ne peuvent s'impliquer. Aussi, en 2005 des appuis-programmes hors AMMA seront demandés pour financer les parties plus techniques ou disciplinaires non financées directement par l'API notamment pour des soutiens humains dans les cadres des allocations doctorales et des appels d'offre ACI, ATIP, GICC ...

### **3.2.2. Projet climat-méningites**

#### **3.2.2.1. Problématique générale**

Chaque année, l'Afrique de l'Ouest est frappée par une épidémie de méningite touchant 25 000 à 200 000 personnes au sein de sa population parmi les plus pauvres dans l'économie mondiale. A l'échelle du continent, la chronologie de l'épidémie, qui démarre en février pour disparaître au mois de mai, et sa circonscription géographique dans la « ceinture de la méningite » entre 10°N et 15°N sont fortement influencées par les conditions climatiques. En effet, il existe une relation forte entre la présence de poussières (la bactérie subsiste en permanence dans les poussières), son transport via les vents secs d'harmattan en hiver et l'occurrence d'une épidémie de méningite. Cependant au-delà de ce constat, il existe assez peu d'études quantitatives sur cette relation aérosol-climat-santé. Le projet AMMA, à travers ses composantes françaises, européennes et internationales, et la mobilisation multidisciplinaire qu'il suscite, est le cadre idéal pour étudier cette **relation entre la circulation atmosphérique et les aérosols pour caractériser le soulèvement de poussières et identifier des types de temps favorables à la survenue d'une épidémie**. Des travaux récents ont d'ores et déjà permis de documenter ce contexte climatique pathogène en croisant les recensements hebdomadaires de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) de cas et de décès liés à la Méningite Cérébro-Spinale (MCS) au Mali pour la période 1994-2002 et les réanalyses américaines du NCEP-NCAR (Sultan et al. 2004a ;b). En effet, la construction d'indices atmosphériques à partir de l'humidité et du vent de surface a montré un synchronisme de la dynamique été/hiver du climat avec la progression de l'épidémie dont le démarrage coïncide avec le maximum de l'hiver en moyenne entre le 7 et le 15 février. Cependant cette analyse diagnostique ne permet pas de relier l'intensité de la « saison épidémique » avec l'intensité de l'hiver. Dans le cadre de AMMA-API, plusieurs actions sont proposées :

#### **3.2.2.2. Premiers pas vers l'analyse des relations climat / méningite / aérosols**

**A. A l'échelle interannuelle.** Des indices de l'épaisseur optique des poussières peuvent être construits à partir des observations journalières du contenu en poussières intégré verticalement sur l'Afrique (1979-1992 ; 1997-2000) à la résolution spatiale de 1° latitude x 1.25° longitude issues du satellite TOMS (Moulin et Chiapello 2004) et comparées au nombre de cas annuel de méningite sur différents pays de l'Afrique de l'Ouest sur la période 1997-2000.

**B. A l'échelle fine.** Des données hebdomadaires sur le Mali de MCS à l'échelle des arrondissements (1997-2003) et des districts (1992-2003), récemment acquises, permettront de réaliser une analyse fine de la

variabilité spatiale du démarrage de l'épidémie et de sa propagation à l'intérieur du pays en utilisant des méthodes de corrélations décalées pour identifier des zones sources et des zones puits dans l'évolution de la maladie (Broutin et al. 2004). Cette analyse pourra être mise en relation avec la circulation atmosphérique et les observations de poussières pour tenter de montrer une coïncidence entre l'arrivée des poussières et le déclenchement de la MCS.

### **3.2.2.3. Organisation de réunions pour la proposition d'un projet intégré en 2006**

Il est envisagé des réunions de coordination pour la proposition d'une étude statistique reliant **(1)** les différents types d'indicateurs de poussières (satellites, réseaux AERONET et IDAF, cartes d'émissions d'aérosols terrigènes et autres mesures in situ comme les mesures de visibilité dans les stations synoptiques...), **(2)** les réanalyses atmosphériques (NCEP, NCEP-2, ERA-40) et **(3)** les données épidémiologiques. Ces réunions permettront également d'articuler la proposition avec les actions menées dans le GDR MSG-ATR.

### **3.2.2.4 Plan de travail**

#### **1er trimestre :**

Recherche bibliographique sur les relations méningite / climat / aérosols

Construction des bases de données communes méningites et aérosols (issus de TOMS)

Analyse de la variabilité spatiale des dates de démarrage des épidémies au Mali

#### **2e trimestre**

Construction d'indices du contenu en poussières (issus de TOMS) et mise en relation avec les épidémies sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest

Mise en relation entre les indices de poussières, la circulation atmosphérique et le déclenchement des épidémies au Mali

Réunion de travail pour définir les grands axes d'une recherche sur le thème climat / aérosols / méningite

#### **3e et 4e trimestre**

Mise en forme des premiers résultats : une publication ?

Rédaction d'une proposition concertée sur le thème climat / aérosols / méningite

## **3.2.3. Projet climat-paludisme**

### **3.2.3.1. Problématique générale**

Le paludisme est un des **fléaux majeurs** de la planète. Ces dix dernières années, par exemple, la prévalence du paludisme –transmis par des vecteurs particuliers (les femelles anophèles)- s'est accrue de manière alarmante. **Chaque année**, de 300 à 500 millions de cas sont à l'origine de **1,5 à 2,7 millions de décès** et la maladie est la cause de 90% des décès d'enfants de moins de 5 ans en Afrique. En Afrique de l'ouest elle s'exprime tant dans ses formes endémiques qu'épidémiques car la présence de précipitations et d'humidité dans une ambiance chaude est une condition nécessaire à la survenue des cas de paludisme en Afrique subsaharienne (Craig et al., 1999). L'augmentation des précipitations et la présence d'eau (mares) favorisent les gîtes larvaires ce qui augmente la densité en vecteurs de type anophèle, avec une augmentation des probabilités de contact et de transmission (Aguirre et al., 2002 ; Aron and Patz, 2001). Dans ce cadre, l'étude des seuils de température qui accentuent ou ralentissent le développement larvaire est majeur d'autant qu'ils jouent aussi sur la fréquence des piqûres, le temps de maturation des parasites chez le vecteur et les temps de digestion des repas de sang. La transmission épidémique de la malaria à *Plasmodium falciparum* par *Anopheles gambiae* est limitée par une température de 16-18°C (à 22°C la transmission est endémique ou stable), et une pluviométrie moyenne de 80 mm par mois durant 5 mois de l'année. Ces seuils et contraintes démontrent qu'on ne peut plus aujourd'hui se contenter de l'approche traditionnelle consistant à croiser données climatiques et épidémiologiques aux pas de temps interannuel ou intermensuel, aux échelles larges

sur les plus longs historiques disponibles. L'approche doit être multi-échelles, actualisée et ciblée sur des régions-tests pertinentes.

### **3.2.3.2. L'apport de la télédétection spatiale**

Il est d'abord indispensable de pouvoir bien caractériser le type de végétation et son stade phénologique qui peut favoriser la présence du vecteur. Il faut ensuite obtenir un diagnostic précis (étendue, localisation) des modifications de couverture qui indiquent la présence humaine. Par ailleurs la dynamique des changements de couverture végétale est liée à la quantité et à la fréquence des précipitations. Les indices de végétation construits à partir des combinaisons des bandes spectrales permettront de relier les caractéristiques physiques détectées des végétaux et leur état fonctionnel ainsi que de suivre leur évolution temporelle. Ceci constituera un bon indicateur de la présence potentielle des vecteurs.

- A l'échelle globale on utilisera les indices de végétation NDVI à partir d'images NOAA et de données Meteosat pour les températures de surface (déjà disponibles, voir groupe AMMASAT). Nous testerons également les possibilités de calcul du NDVI à partir de Meteosat 8 (MSG). Pour l'estimation de la pluie nous disposerons des estimations réalisées par le groupe PRECIPAMMA.
- A l'échelle régionale, il s'agira d'identifier les zones propices à la prolifération vectorielle (rivières, mares, oued..) à partir d'images SPOT, landsat, radar et de photographies aériennes, complétées par un modèle numérique de terrain et une cartographie du réseau routier et des villages. L'utilisation de données ASTER, MODIS (TERRA), et MERIS (ENVISAT) sera testée à cette occasion.
- Ces analyses à partir de données de télédétection visent à caractériser des paramètres de végétation et de climat (pluie, température) qui seront reliés aux paramètres entomologistes caractérisant le vecteur épidémiologique (agressivité ; nombre d'anopheles capturés par homme par exemple).

### **3.2.3.3. L'apport de l'intrasaisonnier et des données villages**

Les études d'impacts du climat sur le paludisme ont jusqu'ici été menées au travers de données pluviométriques mensuelles ce qui ne reflète pas les pas de temps de variation entomologiques et épidémiologiques. Ce projet se propose d'étudier les impacts des rythmes intra-saisonniers, à des échelles de temps beaucoup plus fines (5 jours, quotidien) en identifiant les indicateurs climatiques associés à l'apparition des épidémies : seuils de précipitations, de températures diurnes, indices de végétation (NDVI) et humidité des sols.

En particulier l'étude de la modulation intra-saisonnaire de la mousson ouest-africaine et des rythmes qui accompagnent son installation sur le continent aux pas de temps quotidien et pentadaire ont mis en évidence l'existence de phases d'activité (pluies abondantes et croissantes), et de pauses (pluies en diminution ou du moins stagnantes). Ce schéma généralise l'approche plus classique des rythmes de la mousson (pré-onset guinéen puis onset sahélien) en montrant que ces événements ne sont qu'une partie de ces rythmes. Un calendrier précis a été établi sur la période 1979-2001 (Louvet et al., 2004).



Localisation des sites potentiels concernant l'acquisition de données paludologiques

### 3.2.3.4. Données et méthodologie:

- **Données climatiques** : on s'appuiera sur un jeu de données quotidien (inédit) indiquant la position en latitude de la trace au sol de la Zone de Convergence Inter-tropicale (sur la période 1989-2001 du Climate Prediction Center), sur les données météorologiques quotidiennes stationnelles et sur les mesures AMMA collectées (Bases de données issues des phases LOP et EOP).
- **Méthodes utilisées sur ces données**: Elles ressortent de l'analyse statistique (méthodes composites, filtrages, analyse harmonique) des événements. Priorité sera donnée à ceux qui sont liés à la mise en place de la mousson et à son retrait (onsets, breaks, surges) permettra l'établissement de calendriers précis sur la période pour caractériser la variabilité infra-mensuelle sur les paramètres associés au paludisme.
- **Données paludologiques**
  - De la **base internationale ARMA**: ces calendriers seront croisés avec les données paludologiques de cette base (mensuelles, Atlas du Risque de la Malaria en Afrique, déjà acquises). Elles présentent l'avantage de couvrir tous les pays de la zone d'étude)
  - **Données terrain** : décennaires, voire quotidiennes à l'échelle de villages ou districts : variables de type entomologique, parasitologique, morbidité et mortalité palustres réparties par classe d'âge.
    - **Période documentée** : dix ans ,ce qui permettra d'aborder aussi la variabilité interannuelle.
    - **Sites sélectionnés** : au Sénégal, le village de Ndiop (13°14'N, 16°23'W voir Figure, Fontenille et al, 1997) où la transmission est totalement dépendante des précipitations et le village de Dielmo bien documenté (taux de piqûres par personne et par nuit, taux d'inoculation entomologique, nombre décadaire d'accès palustres. Associées à ces données seront utilisées les données pluviométriques des postes de Toubacouta, Sokone et Missirah, ainsi que Kaolack la station synoptique la plus proche de ces deux villages.
    - **Approche en gradients méridiens** : elle sera accessible au travers des données des villages environnants de Korhogo et Danané en Côte d'Ivoire (données cliniques réparties par classes d'âge associées aux données pluviométriques mesurées *in situ* par l'ADRAO, sur la période 1997-1998), de Ouagadougou et Bobo-Dioulasso au Burkina Faso et des données épidémiologiques du Niger.
- **Méthodes utilisées sur ces données**: Elles relèvent de l'analyse statistique temporelle combinée des précipitations, de la température, des variables hygrométriques et des données paludologiques (RMV

synchrones et décalées, corrélations partielles, tableaux de Burt, analyse discriminante etc...); travail sur fichiers d'apprentissage et de test avec validation croisée et validation sur cas réels pour attester de la robustesse des résultats.

### **3.2.3.5. Principaux attendus**

- Disposer d'une base de données paludisme et pouvoir la rendre exploitable sur plusieurs échelles en Afrique de l'ouest
- Etablir des calendriers précis des événements météorologiques (synoptiques, sub-synoptiques, intra-saisonniers) associés à la mousson et les calendriers selon les sites et les échelles des événements épidémiques du paludisme
- Mesurer l'impact des phases de la mousson par rapport au cycle moyen saisonnier (ex : les années aux pauses anormalement précoces/tardives ont-elles un impact (une signature statistique) sur les épidémies de paludisme (début, fin, étendue spatiale, intensité ...)
- Sélectionner des estimateurs et prévisionneurs géophysiques des mêmes caractéristiques de ces épidémies (début, fin, intensité ...)
- Elaborer des modèles de régression multiple et d'analyse discriminante synchrones et avec décalages dans le temps pour établir une prévisibilité théorique des épidémies
- Proposer les schémas de prévision statistique robustes (validations croisées en mode hindcast, par la suite en mode forecast avec vérifications en années vraies).

### **3.2.3.6. Plan de travail 2005**

- **1<sup>er</sup> trimestre:**
  - Collecte des données de télédétection globales, des cartes pour validation et choix des zones-test pour l'étude régionale, en concertation avec les entomologistes de l'IRD.
  - Validation des résultats issus des analyses en cours au CRC (calendrier des breaks/surges/onssets) à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest sur les données pluviométriques *in situ* des différentes régions étudiées.
  - Croisement statistique entre ces calendriers et la base internationale paludologique ARMA.
- **2<sup>ème</sup> trimestre :**
  - Traitement des données globales NOAA et Meteosat ; collecte des données haute résolution ;
  - Programmation d'une mission en Afrique d'environ un mois avec séjour au CERMES à Niamey qui a un programme de recherches multi-états et multidisciplinaire « Santé/Environnement/Climat » dont un volet important concerne le paludisme. Les buts de cette mission sont de
    - prendre contact avec des chercheurs spécialisés sur le sujet et situés en Afrique (J.B Duchemin, médecin, Chef Unité parasitologie, I. Jeanne, chef Unité SIG/télédétection, et P. Boisier, Médecin, Chef Unité Epidémiologie),
    - acquérir les données aux échelles fines
    - engager une collaboration fondée sur la complémentarité des approches méthodologiques.

Après acquisition des données d'échelles fines les analyses s'attacheront à définir des seuils météorologiques, hydriques et environnementaux pertinents en fonction : des précipitations, températures diurnes, indice de végétation (NDVI), l'humidité des sols (pas de temps pentadaire ou décadaire).

- **3<sup>ème</sup> et 4<sup>ème</sup> trimestres :**
  - classification et cartographie (végétation, densité de l'urbain, villages, mares, réseaux hydrographique et routier) avec Modèle Numérique de Terrain. ;
  - détermination des paramètres pertinents localement avec recherche d'indicateurs ; spatialisation des données de densité des vecteurs.. croisement statistique de ces données avec les bases AMMA LOP et EOP (alors accessibles) ;
  - Mise en forme des premiers résultats obtenus pour publications.



### **3.2.4. Les participants**

Partenaires	ETP	Thématiques	Activités
I. Chiapello, CR LOA	10%	Climat-méningites	Aérosols
N. Dessay, IE., IRD, LTHE	30%	Climat-paludisme	Téledétection spatiale
A. Diédhiou, CR1, IRD	10%	Climat-paludisme	Coordination des missions Afrique + AMMANET
B. Fontaine, DR, CRC	20%	Climat-paludisme	Analyse climatique et coordination
J-F Guégan, DR GEMI	10%	Climat-méningites	Ecologie de la santé Epidémiologie
S. Louvet, alloc. MENRT, CRC	30%	Climat-paludisme	Seuils et périodes critiques
S. Philippon, thésitif PRODIG	60%	Climat-méningites	Indicateurs de poussières
P. Roucou, MCF, CRC	10%	Climat-paludisme	Analyse climatique
B.. Sultan, CR LODYC	10%	Climat-méningites	Analyse climatique et coordination
B. Marticorena. CR LISA	10%	Climat-méningites	Aérosols

### **3.2.5 Références externes citées:**

Aguirre, A.A., Ostfeld, R.S., Tabor, G.M., House, C. & Pearl, M.C. Conservation Medicine.

Ecological health in practise. Oxford University Press, Oxford, UK (2002).

Aron J.L. & Patz, J.A. Ecosystem change and public health. A global perspective. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, USA (2001).

Craig M.H., Snow R.W., and le Sueur D. A climate-based distribution model of malaria transmission in sub-Saharan Africa. *Parasitology Today* 1999; 15: 105-111.

Fontenille D., *et al*, 1997 : Four year's entomological study of the transmission of seasonal malaria in Senegal and the bionomics of *Anopheles gambiae* and *A. arabiensis*, *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 91, 647-652.

### **3.2.6. Références des participants**

Broutin H, Elguero E, Simondon F and J-F Guégan (2004) Spatial dynamics of pertussis in a small region of Senegal. *Proc. R. Soc. Lond., B*, in press.

Dessay N, Laurent H., Machado L.A.T., Shimabukuro Y. E., Batista G. T., Diedhiou A. Ronchail J., 2004. Comparative study of 1982-1983 and 1997-1998 El Niño events over different types of vegetation in South America. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 4063-4077

Louvet S, Fontaine B and P. Roucou Active phases and pauses during the installation of the West African monsoon through 5-day CMAP rainfall data (1979-2001), *Geophys., Res. Letter*, 30, 24.

Machado L. A. T., H. Laurent, N. Dessay and I. Miranda, 2004. Seasonal and diurnal variability of convection over the Amazon basin: a comparison of different vegetation types. *Theoretical and Applied Climatology*, 78, 61-77.

Moulin C and I Chiapello (2004) Evidence of the control of summer atmospheric transport of African dust over the Atlantic by Sahel sources from TOMS satellites (1979–2000), *Geophys. Res. Lett.*, 31, L02107, doi:10.1029/2003GL018931.

Sultan B, K Labadi, G Beltrando et S Janicot (2004) L'épidémie de méningite au Mali et la circulation atmosphérique en Afrique de l'Ouest. *Environnement, Risques et Santé*, 3 : 23-34.

Sultan B, K Labadi, JF Guégan and S Janicot (2004) Climate drives the meningitis onset in West Africa, *Plos-Medicine*, accepté.

### 3.3 Proposition « Impacts sur la Gestion des Ressources Naturelles »

Coord.: Olivier Barrière, anthropo-juriste, IRD Montpellier US166 barriere@mpl.ird.fr & Pierre Mazzega, géophysicien, CNRS LEGOS / OMP Pierre.Mazzega@cnes.fr

N.B. Cette proposition est intitulée « *Impacts de la Variabilité Climatique sur la Gestion des Ressources Naturelles Renouvelables au Sahel (Delta Intérieur du Niger et Gourma – Mali ; Delta du Saloum – Sénégal)* ». A l'heure actuelle, elle implique des équipes SHS, SDU et STIC (25 à 30 personnes, étudiants compris) réparties dans 7 laboratoires (CNRS, IER, IRD, INRIA, Universités).

#### 3.3.1 Objectif

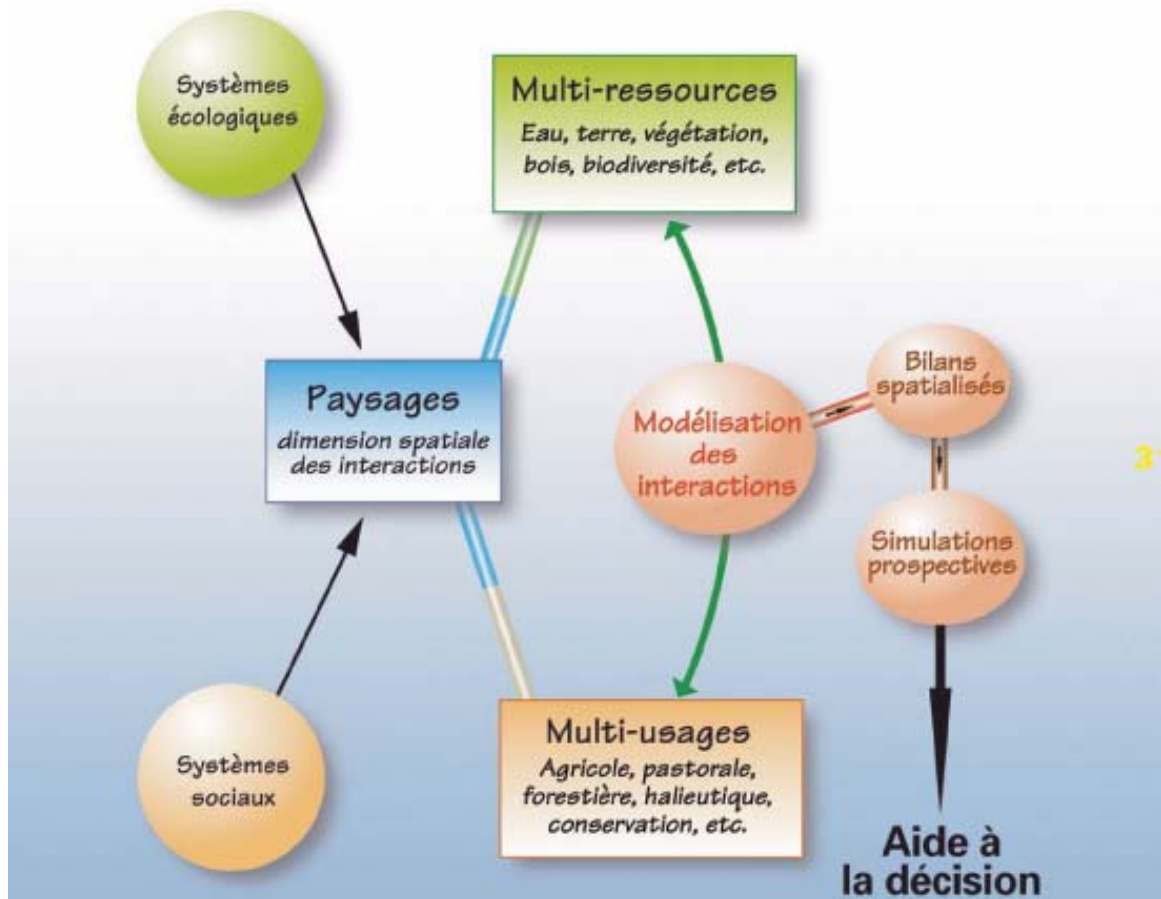
La conservation des espaces et des ressources naturelles en vue de leur transmission intergénérationnelle constitue l'objectif d'une gouvernance environnementale qu'il convient de mettre au point à la demande même des décideurs nationaux et locaux. Le projet se propose de construire les conditions de cette transmission à travers **l'organisation socio-juridique et institutionnelle d'une gestion patrimoniale appuyée sur l'analyse scientifique des dynamiques d'interactions socio-économiques et environnementales**. Celle-ci viendra appuyer les politiques de lutte contre la désertification et de conservation de la biodiversité dans un contexte de décentralisation, en particulier en élaborant avec les acteurs concernés aux divers niveaux sociétaux (régional, national, « cercle », local) des conventions locales de gestion patrimoniale de l'environnement.

#### 3.3.2 Contexte

Partant des concepts d'éco-développement (Stockholm, 1972) et de développement durable (Rio, 1992), puis du fait que la sécurisation alimentaire au Sahel se trouve particulièrement dépendante de l'état des milieux et des processus environnementaux, la gestion de l'environnement est devenue une des priorités majeures des politiques publiques des pays sahéliens. Cependant, les rapports des sociétés envers leurs milieux ne se décrètent pas, ils sont la conséquence de nombreux facteurs d'ordre culturels, économiques, juridiques et écologiques. Ils donnent lieu à des constructions paysagères qui sont la résultante observable à un moment donné de l'interaction des conditions bio-géophysiques et des systèmes d'exploitation des ressources par l'homme.

La voie qui nous semble la plus opportune pour développer le concept d'une patrimonialité environnementale se situe dans l'analyse des **rapports fonciers**. En effet, ceux-ci expriment les modes de régulation construits par les hommes pour organiser les espaces, les répartir et les exploiter, gérer les ressources et façonner les paysages. Ils se traduisent par des pratiques et des représentations et s'appliquent à différentes échelles d'intervention, se caractérisant par des motifs (pattern) spatiaux et temporels dont la dynamique est en partie dépendante des variabilités climatiques. Le foncier traduit ainsi un jeu d'acteurs au sein duquel les relations entre sociétés et nature constituent un enjeu primordial constitutif des bases d'une gestion patrimoniale de l'environnement.

Notre expérience nous conduit à l'idée que la mise en œuvre d'une régulation de type patrimonial ne peut pas seulement se définir par le biais d'un régime qui va imposer des conduites normatives : elle ne peut entrer en scène que dans un cadre consensuel autour d'un enjeu commun. Il ne s'agit pas d'ignorer le principe de légalité, mais bien au contraire, **de porter cette légalité à la rencontre de la légitimation locale**. Dans un premier temps, la démarche consiste à légitimer aux yeux des populations la légalité nationale pour dans un second temps, faire remonter auprès du législateur et de l'exécutif des constructions juridiques locales à légaliser. Ces propos s'inscrivent dans un contexte particulier, propre à de nombreux pays africains et particulièrement sahéliens, où deux réalités sont séparées par un gouffre : d'un côté l'État et son droit écrit et de l'autre, le monde rural et ses propres référents juridiques endogènes.



### 3.3.3 - Approche & Problématique Conceptuelle

La **soutenabilité** des interactions sociétés-environnement, particulièrement en zone semi-aride, suppose l'intégration de la variabilité de la productivité des milieux et de celle des distributions spatiales des ressources dans une adaptabilité aux fluctuations environnementales, voire une « **résilience sociale** » lors de crises. Ainsi les variabilités saisonnières, inter-annuelles et tendances du « **climat**<sup>1</sup> », via leurs **impacts** sur les systèmes écologiques (bio-physiques), affectent les valeurs économiques des ressources (utilisées ou potentielles) et de l'environnement lui-même, et suscitent de **continuelles adaptations** du jeu des acteurs et des régulations des pratiques et usages de l'environnement. L'élaboration de nouveaux modes de gestion patrimoniale de l'environnement sahélien doit s'appuyer sur l'analyse de cette dimension spatio-temporelle des dynamiques foncières et environnementales et en intégrer la co-évolution dans un schéma « plastique » de **gouvernance**.

D'un point de vue conceptuel, divers ingrédients seront déployés et œuvreront en commun pour satisfaire à cet objectif, à savoir :

- (1) l'analyse des états et la surveillance (de l'intra-saisonnier au pluri-annuel) de l'**environnement « bio-physique »** qui comporte trois aspects majeurs à savoir (a) la lecture des paysages vus sous l'angle des ressources végétales (pâturages et bois), en sol (qualité des terres), et en eau (réseau hydrographique, nappe aquifère, inondations) ; (b) le positionnement des systèmes écologiques dans le paysage pris comme système fonctionnel (une approche en « écologie du paysage » prenant en compte les interactions entre systèmes écologiques et systèmes sociaux *s.l.*) ; (c) l'analyse les

<sup>1</sup> Ici terme générique pour englober toutes les échelles de temps et d'espace des dynamiques atmosphériques.

processus de dégradation des ressources végétales et des terres : dynamiques hydriques et éoliennes (érosion et accumulation).

- (2) L'analyse des **valeurs économiques** des biens, services et externalités environnementales pour les sociétés concernées qui comportera a) un « suivi » des valeur « marchande » vs « patrimoniale » des ressources, des milieux et de l'environnement (économie patrimoniale); b) une analyse de l'intervention de l'économie dans une perspective patrimoniale (ressource partagée et non appropriée). La démarche d'évaluation consiste à calculer les coûts que supporterait la communauté si cet artefact naturel disparaissait (ici les coûts évités par le fait qu'un milieu de bonne qualité soit conservé, sont considérés comme des bénéfiques). Cette évaluation des actifs naturels utilise des informations directement accessibles sur les marchés réels. A partir des prix réels il est possible de mesurer les bénéfices tirés de ces actifs (e.g. biens et services non marchands).
- (3) L'analyse du **jeu des acteurs** (représentations, pratiques, stratégies et prises de décision) dans la (continue) négociation sociale des accès, usages et transmissions des ressources naturelles : analyse diachronique des rapports fonciers-environnementaux ; analyse synchronique du fonctionnement actuel de la gestion des ressources naturelles renouvelables ; étude stratégique du jeu des acteurs pour posséder ou conserver ressources et espaces ; analyse les diverses formes de rapports entre l'humain, le vivant et l'invisible don les représentations conditionnent les accès et usages de l'environnement.
- (4) des **modes de régulation** des espaces et des ressources naturelles renouvelables (où s'imbriquent diverses échelles de «gouvernance» , du local à l'international) qui englobe: (a) la pluralité des droits (des diverses législations à la charte pastorale aux modèles de comportements et schèmes locaux) ; (b) les espaces institutionnels de pouvoirs de droits à différentes échelles : Etat (ministère, région, cercle), collectivités locales décentralisées, terroirs villageois, unités d'exploitation ; (c) les espaces multifonctionnels où enchevêtrent droits pastoraux, agricoles, halieutiques, cynégétiques, forestiers, sur la protection d'espèces, sur les aires protégées, etc. ; (d) la diversité des pratiques et stratégies foncières (dynamiques des occupations et contrôles de l'espace) ; (e) les conflits fonciers-environnementaux (des instances locales au magistrat ).

Nous nous intéresserons en particulier à la manière dont ces différents systèmes s'organisent pour tracer un chemin viable de **co-évolution** compte tenu de leurs différences de temps d'adaptations aux variabilités climatiques (notamment saisonnières et inter-annuelles). Nous étudierons également les dispositifs sociétaux existant – et ceux à promouvoir – qui permettent d'intégrer l'idée de **risques** environnementaux d'origine bio-climatique et qui s'avèrent vitaux lors de crises environnementales sévères (typiquement les sécheresses récurrentes).

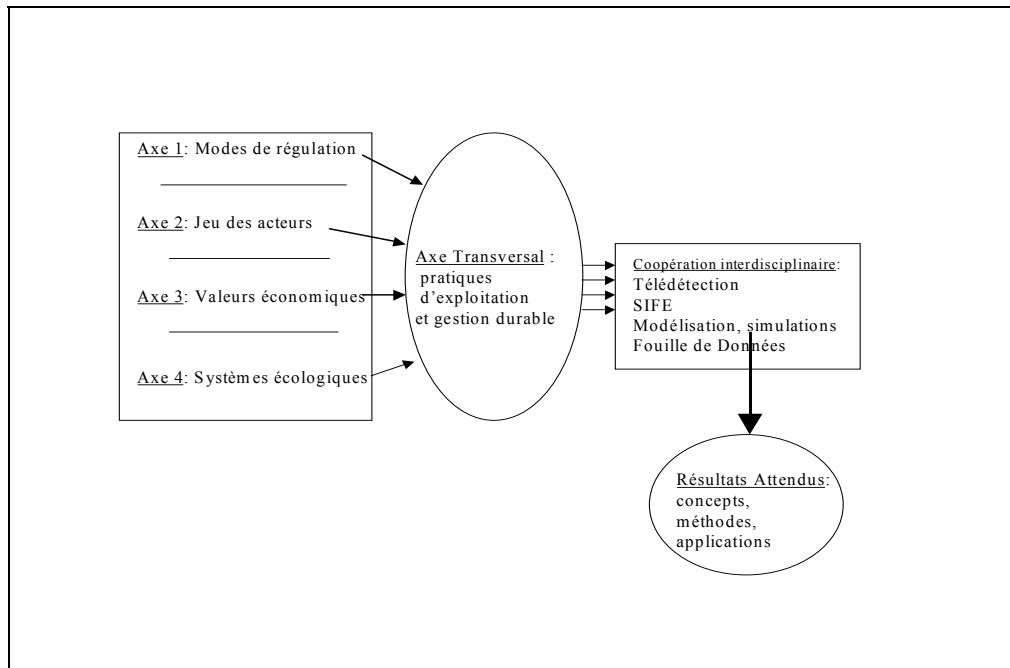
De plus l'étude de deux régions sahéniennes dont les activités sociaux économiques s'organisent autour de ressources différentes (principalement halieutique dans le Delta du Saloum au Sénégal ; riziculture, agriculture, pêche et pastoralisme dans le Delta Intérieur du Niger et le Gourma au Mali) nous permettra de mener diverses **analyses comparatives** sur les pratiques de gestion des ressources et de gouvernance environnementale, et sur les spécificités régionales des stratégies d'adaptation socio-économiques et juridiques aux variabilités climatiques et à leurs impacts (prévention des risques ; « remédiation » de crises, etc.).

### **3.3.4- Méthodologie(s)**

A un premier niveau, cette approche pluri-disciplinaire nécessite aussi d'établir explicitement une sorte de « traductibilité » conceptuelle incluant la critique croisée et constructive des formes disciplinaires d'appréhension des objets environnementaux. A cette fin nous entamons la mise en forme explicite des **structures et contenus des ontologies** (des ensembles conceptuels mobilisés et de leurs inter-relations) suivant les protocoles issues de la « fouille de texte » (*text mining* et *data mining*) utilisés en Intelligence Artificielle (partenariat avec l'équipe « Inférence et Apprentissage » CNRS/INRIA du LRI Orsay). Par ailleurs ces ontologies seront effectivement mises en œuvre pour l'exploitation **d'algorithmes de fouilles** sur les ensembles de données hétérogènes (de données quantitatives, éventuellement spatiales et

temporelles, à des réponses à des questionnaires/interviews de terrain, voire à des informations historiques).

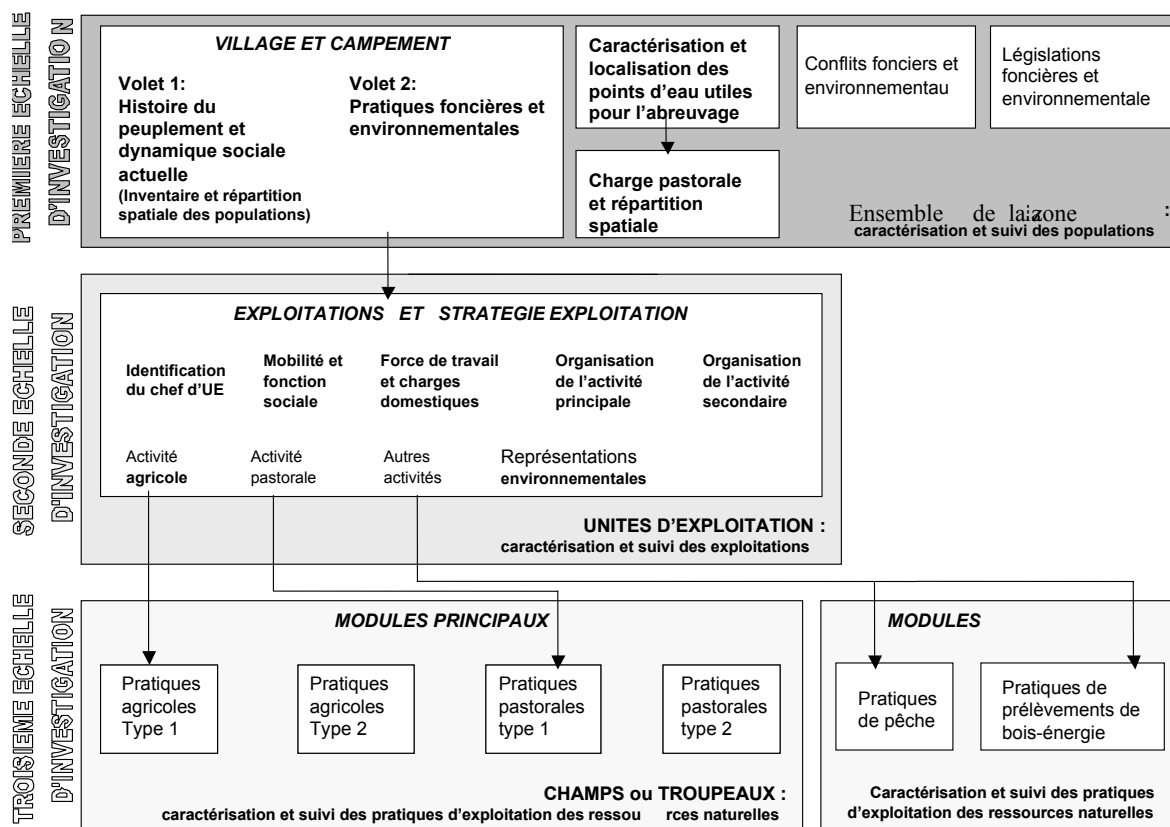
Par ailleurs, les éléments d'explication – quelque soit leur statut : hypothèses de travail ou « faits » avérés – des régularités des dynamiques d'interactions entre variabilité climatiques et gestion des ressources, seront explicitées sous forme de règle simple de comportement attribuées à des agents d'un **modèle multi-agents** ajusté aux terrains étudiés et utilisé comme outil d'accompagnement heuristique.



Pour comprendre les dynamiques complexes observées comme pour finaliser nos travaux, nous envisageons de solliciter un grand nombre d'**informations** :

- « produits » issus des travaux des autres volets de AMMA (*valorisation*) : cartes des précipitations; distribution des eaux de surface (Niger et affluents, lacs, mares, etc.) ; cartes de production primaire et de l'état des pâturages; distribution des feux et surfaces brûlées ; distribution des émissions d'azote atmosphérique par les sols et les cultures ; occupation/usage des sols (imagerie très haute résolution satellitaire et drone de l'US166 jointe aux enquêtes de terrain ; une composante de notre projet); etc.
- données acquises sur le terrain (~10 sites du delta et du Gourma ; plusieurs villages et unités d'exploitation du Saloum) suivant le protocole des observatoires ROSELT2 couvrant la caractérisation et le suivi: écologique ; des populations ; des charges pastorales ; des conflits fonciers et environnementaux ; des unités d'exploitation et de leurs stratégies ; des pratiques d'exploitation des ressources (agricoles, pastorales, halieutiques, bois-énergie, etc.) (ROSELT/OSS CT1 2004, CT2 2004, CT11 2004).

Figure : Schéma du dispositif d'enquêtes en sciences humaines et sociales



L'ensemble de ces informations sera intégré à un **SIG** adapté aux problématiques foncières et environnementales locales (**SIFEL**) sur au moins trois sites d'enquêtes plus approfondies (dont Hombori et Bourem, sites déjà dédiés dans le programme AMMA). Ce travail suivra la méthodologie commune à tous les observatoires du réseau ROSELT (ROSELT /OSS DS 3, 2004).

### 3.3.5- Programme de Travail

Un travail commun d'ordre conceptuel est déjà engagé (Automne **2004**), consacré à la construction des **ontologies** des disciplines engagées et centrées sur les thèmes de la gestion des ressources naturelles renouvelables et de la gouvernance environnementale. Ce travail fédérateur regroupera tous les acteurs de la recherche impliqués dans ce projet (plus probablement quelques « experts » externes, par ex. de prospective environnementale). Ce travail, tout à fait original (et en quelque sorte « arbitré » par nos collègues de l'Intelligence Artificielle) devrait se poursuivre tout au long du projet : lieu d'explicitation conceptuelle, de confrontation des points de vue et

Notre projet couvre deux zones sahéliennes :

- le Delta du Saloum (Sénégal): une réserve mondiale de biosphère où une population multi-ethnique dépend de l'exploitation des ressources et de l'état de l'environnement.
- le Delta Intérieur du Niger et le Gourma (Mali) dont les activités socio-économiques s'organisent surtout autour de la riziculture, de l'agriculture, de l'halieutique et du pastoralisme, engendrant une multi-fonctionnalité *de facto* des espaces.

Ces deux terrains présentent un même contexte de pluri-activités qui crée une forte pression sur les ressources locales et génère de nombreux conflits fonciers et environnementaux.

Des **bases de données sont déjà existantes** : a) les conflits d'accès aux ressources naturelles du delta intérieur du Niger ; b) le fonctionnement de 900 unités d'exploitation du delta du Saloum ; c) les

pratiques de pêche mises en œuvre par 1600 capitaines de pirogues. Cette disponibilité nous permet dès à présent d'ancrer certaines « pratiques » de travail interdisciplinaires et les développements méthodologiques afférents (travail sur les SIG-SIFEL avec l'US166 et GEODE, analyse de données de télédétection satellitaire SPOT 5 – coop. LEGOS-LRI, analyse croisées anthropologique juridique et économique – US166, ENFAT, LEGOS, etc.).

L'important dispositif **d'enquêtes de terrain** sera déployé par vagues successives réparties en **2005, 2006 et 2007**, en partie en poursuivant le travail en cours sur le Saloum et de manière plus intensive dans le Delta du Niger et le Gourma. Une dizaine de sites ont été pré-sélectionnés au Mali qui représentent de manière pertinents la diversité des environnements « écologiques », des ressources exploitées et des pratiques liées à l'accès et à l'usage de ces ressources.

L'analyse par une approche « objets-attributs » de l'imagerie satellitaire THR sera développée dès **2005** (projet à soumettre au prochain AO du PNTS) en parallèle et poursuivie sur la même période. L'axe thématique de cette analyse est centré autour de la dynamique de l'occupation et l'usage des sols pour les sites retenus du Saloum et au Mali.

### **3.3.6- « Produits » Attendus**

L'ensemble des données recueillies sera capitalisé sur une **base de données** informatique accessible (sous conditions d'agrément entre utilisateurs et éventuellement réciprocity d'accès à d'autres bases équivalentes). Ce point est fondamental pour permettre de valoriser le travail –notamment de terrain – effectué, ouvrir les observations à d'autres approches et interprétations, assurer la pérennité de ces informations pour des recherches sur le long terme (type « observatoires »).

Nous produirons un ensemble de scénarii de **prospective environnementale** (Mermet 2003), renseignés sur les données recueillies et leur interprétation, sur le modèle multi-agent et sur les résultats de la fouille. Ces **scénarii** exploreront notamment les évolutions possibles de la gestion des ressources et des cadres de leur gouvernance en fonction de perturbations réalistes de la **variabilité climatique** (par ex. augmentation des périodes de sécheresse, modification de la distribution intra-saisonnière des précipitations ou de leur gradient spatial, etc.). En retour, en examinant les retombées pratiques ou potentiels de ces scénarii, la cohérence entre éléments constitutifs et leur plausibilité, il sera conduit une critique des résultats ayant conduit à l'élaboration de ces scénarii.

Nous projetons d'**expérimenter** les modes d'organisation socio-juridiques et institutionnels<sup>3</sup> suggérés en testant leur validité au moyen d'un dialogue et d'une négociation (forums ou jeux de rôle) au sein et entre les différents groupes d'acteurs sociaux (dont on aura mis en évidence les représentations mentales, les pratiques et les stratégies). Cela conduira à souligner la possibilité de nouvelles modalités de rapports fonciers et environnementaux au sein des groupes sociaux, oeuvrant par là-même dans le sens de leur cohésion sociale et de leur reproduction culturelle.

Notons enfin qu'en partenariat avec l'Institut d'Etudes Rurales de Bamako, nous sommes en cours d'organisation d'un **Colloque International intitulé « Droits Fonciers et Environnement »** (International Meeting "Land tenure laws and Environment") qui se tiendra à **Bamako fin Février 2006**. L'idée est d'organiser une rencontre internationale sur la problématique du droit foncier en Afrique francophone, anglophone et lusophone. Dépassant la perspective d'étudier le droit foncier pour le droit foncier, l'objectif est de situer le droit foncier dans les différents contextes africains (sahéliens, côtiers, *circum* saharien, grands lacs, désertiques, forêts tropicales humides, etc.) et ainsi le placer dans une dynamique environnementale. Pourquoi ? en raison du fait que le droit et l'écologie se combinent pour : a) contribuer à la compréhension des rapports sociétés/nature, b) construire les perspectives d'une gestion durable des ressources naturelles renouvelables et de l'environnement, c) répondre au besoin d'œuvrer pour un développement viable à long terme. Nous solliciterons à cette fin le volet « **AMMA – Formation** » comme un des partenaires de cette organisation.

---

<sup>3</sup> Concrètement cette avancée juridique pourra être réalisée et mise en œuvre par le biais par exemple, de la mise au point de « conventions locales d'environnement ».

### **3.3.7- Partenaires**

- **IRD US166** : Unité de Service « Evaluation et Surveillance de la Désertification » de l'Institut de Recherche pour le développement, Centre de Montpellier : D'Herbès J.M. (agronome ; CR 20%), Barrière O. (anthropo-juriste ; CR 80%), Delaitre E. (géog. Env. ; CR 50%), Loireau M. (géog. Humaine ; CR coord. SIG ROSELT/OSS 35%), Barrière C. (socio-anthropologue; CDD 100%)
- **LEGOS** : Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiales (Observatoire Midi-Pyrénées, Toulouse) : Cournil C. (juriste, post-doc CNES, 100%), Mangiarotti S. (géophysicien ; CDD 20%), Mazzega P. (géophysicien/téledétection ; CR 80%), Requier M. (économiste ; CDD *en recrutement* 100%)
- **IER** : Institut d'Etudes Rurales du Mali, Bamako : Soumaré S. (socio-économie ; CR 50%), Dembélé F. (écologie ; CR resp. ROSELT/Bourem 35%), Cissé S. (socio-économie ; CR Mopti 35%), Soumaré A. (pastoraliste ; CR Gao 35%), Soumaré S. (informatique ; Ing. Bamako 20%)
- **LAJP** : Laboratoire d'Anthropologie Juridique de Paris, Université Paris I Panthéon-Sorbonne : Rochegeude A. (juriste ; MC 20%), Leroy E. (anthropologie juridique ; Prof. 20%), Diop M. (anthropologie juridique ; CE 20%), Ba H. (juriste ; doct. 20%)
- **GEODE** : Laboratoire Géographie de l'Environnement, Université Sciences Sociales Toulouse II : Hubschman J. (géographe, Prof., 20%), Paegelow M. (géomatique ; MC 20%), X (géographe ; thèse *en recrutement* 100%)
- **LDR** : Laboratoire des Dynamiques Rurales, Ec. Nat. Formation en Agronomie, Castanet (31) : Kephaliacos C. (économiste ; Prof. 20% ; co-encadrement M. Requier)
- **LRI – I&A** : Lab. Recherche en Informatique, équipe "Inférence & Apprentissage", CNRS – Univ. Paris Sud (Orsay) : Sebag M. (intelligence artificielle ; DR 20%), Kodratoff Y. (IA. ; DR 20%), Xx (IA ; dipl. Ing. + thèse *en recrutement* 100%)

**Total personnel impliqué: 11,40 chercheurs ETP**

### **3.3.8 Quelques Publications :**

- Barrière C., 1999, Techniques d'agression magique en pays bamana (région de Segou, Mali) : emprunts réciproques entre islam et religion traditionnelle, J. des Africanistes, t. 69, fasc. 1, 177-198.
- Barrière C., 1997, *Lieux et objets sacrés bamana de la région de Segou (Mali). Des repères en transformation pour une identité en reconstruction*, Thèse de Univ. Clermont-Ferrand II, 875 pp.
- Barrière O., 2004, « Une anthropologie juridique de l'environnement », in *Anthropologie et Droit, Intersections et confrontations*, Cahiers d'anthropologie du droit/Revue droit et culture, hors série 2004/4, éd. Karthala, pp.51-58.
- Barrière O., 2003, Gestion de l'environnement en pays Bassari (Sénégal oriental) ; réflexion sur un droit de l'environnement au Sénégal, *Revue canadienne Droit et Société / Canadian Journal of Law and Society*, vol.18 (1), 73-101.
- Barrière C. et O. Barrière, 2004, **Bassari : de l'ocre à la lumière**, livre grand public assorti de 250 photos, coédition IRD (à paraître).
- Barrière O. et Barrière C., 2001, **Un droit à inventer, Foncier et environnement dans le delta intérieur du Niger au Mali**, Editions IRD, Coll. « A travers champs », 474 pp.
- Barrière O. et Barrière C., 1998, Droit foncier et environnemental au Tchad : logique législative et pratiques juridiques locales, 78 pp. + vol. annexe : Répert. textes relatifs au foncier et à l'environnement au Tchad, AFVP/ORSTOM.
- Barrière O. et Barrière C., 1997, Le foncier-environnement, fondements juridico-institutionnels pour une gestion viable des ressources naturelles renouvelables au Sahel, FAO, Collection Etude législative n°60, Rome, 120 pp.
- Barrière O. et Barrière C., 1996, Systèmes fonciers dans le delta intérieur du Niger. De l'implosion du droit traditionnel à la recherche d'un droit propice à la sécurisation foncière, in *La sécurisation foncière en Afrique noire*, E. Leroy, A. Karsenty et A. Bertrand (dirs.), Ed. Karthala, Paris, 127-175.



- Barrière O. et Barrière C., Le Foncier-Environnement, pour une gestion viable des ressources naturelles renouvelables au Sahel; Rapport de recherches, Vol. 1: Approche interdisciplinaire dans le delta intérieur du Niger (Mali), 517 pp.; Vol. 2: Répertoire des conflits fonciers du delta intérieur du Niger (Mali), 400 pp.; Vol. 3: Index ethnobotanique des espèces du delta intérieur du Niger (Mali), 73 pages; Rapport de programme ORSTOM-CNRS.
- Bertolami M., Hubschman J., 2004, Les paysages de steppe pastorale de Patagonie argentine : structure, production et dégradation (*en préparation*).
- Blockeel H. and M. Sebag, 2003, Scalability and efficiency in multi-relational data mining, in *ACM SIGKDD*, Special Issue on Multi-Relational Data Mining, Vol 5, 17-30.
- Cournil C., 2004, « La politique communautaire d'éloignement des ressortissants de pays tiers irréguliers : état des lieux et perspectives », in *Les Nouveaux Regards de l'Immigration* (ouvrage collectif) sous presse.
- Cournil C., 2003, « Traite des êtres humains : une directive humanitaire au service de la maîtrise des flux », *Homme et Migration*, janvier / février 2003, n1241, 90-98.
- Cournil C., 2001, « Le dispositif Schengen à l'épreuve de la Convention européenne des droits de l'Homme », *Les Petites Affiches*, n211, 13-18.
- Debrah S.K., Sissoko K., Soumaré S., 1995, Etude économique de la production laitière dans la zone périurbaine de Bamako (Mali), *Revue d'Élevage Médicale Vétérinaire Pays Tropicaux*, 48 (1) 101-109.
- Godzik N. , Schoenauer M. and M. Sebag, 2004, Robustness in the long run: Auto-teaching vs Anticipation in Evolutionary Robotics, In X. Yao et al. (eds), *Parallel Problem Solving from Nature VIII*, to appear.
- Hubschman J., 2004, Le terrain et l'image, in *Actes de la Table ronde*, 3ème Semaine de la Coopération et de la Solidarité Internationale, Toulouse, 19/11/2003, Pôle Universitaire Européen, p. 30-31
- Hubschman J., 2002, Olhar sobre o sisal : as pesquisas sobre o meio, a paisagem e a sociedade no sertão sisaleiro da Bahia. In *O Sisal Baiano entre Natureza e Sociedade, uma visão interdisciplinar*, UFBA, Salvador / Governo da Bahia, Brésil, 115 p., p. 19-25.
- Hubschman J., 2001, Le cadre géographique de la Cité de Toulouse. Terrains, milieux et terroirs, in *TOLOSA, Nouvelles recherches sur Toulouse et son territoire dans l'Antiquité*, dir. J.-M. Pailler, Ecole Française de Rome éd., 603 p., p. 27-40
- Jarlan L., Mazzega P., Mougouin E., Schoenauer M., Tracol Y. And P. Hiernaux, 2004, Control of a simple sahelian land surface model using coarse radar remote sensing observations, *Remote Sens. Env.*, *submitted*.
- Jarlan L., Tourre Y., Mougouin E., Philippon N. and P. Mazzega, 2004, Dominant patterns of AVHRR NDVI interannual variability over Sahel and linkages with key climate signals (1983-2002), *Geophys. Res. Lett.*, *submitted*.
- Jarlan L., Mazzega P., Mougouin E., Lavenu F., Marty G., Frison P.L. and P. Hiernaux, 2003, Mapping of sahelian vegetation parameters from ERS scatterometer data with an evolution strategies algorithm, *Remote Sens. Env.*, 87, 72-84.
- Pascual M. and P. Mazzega, 2003, Quasicycles revisited: apparent sensitivity to initial conditions, *Theor. Population Biology*, 64, 385-395.
- Kephaliacos C. and P. Robin, 2004, Implementing environmental quality standards via collective projects in the French CTE procedure, *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology*, vol. 3, Nos 1/2, pp 1-10.
- Kephaliacos C. et A. Signoles, 2003, La réforme de la loi forestière de 1994 au Cameroun : une analyse en termes de réorganisation des droits de propriété. Quelles implications pour les populations forestières ?, *Coll. Droits et Développement*, 25-27 mai, Univ. Nancy 2.
- Kephaliacos C. and L. Grimal, 2000, Internalization of external effects versus decrease of externalities: From end of pipe technologies to cleaner technologies, *Intern. J. of Sustainable Development*, 3 (3) , 239-256.
- Mazzega P., 2002, Petites enquêtes sur une relation difficile: modèles ↔ données, HDR Univ. P. Sabatier, Toulouse 129 pp.
- Mermet L. (dir.), 2003, Perspectives pour l'environnement : quelles recherches ? quelles ressources ? quelles méthodes ?, *Environnement, Doc. Française, Min. Ecologie & Dev. Durable*, 107 pp.
- Paegelow M., Hubschman J. et Herrera A., 2004, Analyse, par SPOT 5 HRG Xi, des structures paysagères du *municipio* de Quivicán (Prov. De la Habana, Cuba) (*en préparation*).
- Requier-Desjardins M., Bied-Charreton M., 2003. « Désertification et Environnement Mondial : De projets de développement localisés à la notion de biens publics mondiaux ». Résumé exécutif de l'étude sur Désertification et l'environnement mondial réalisée pour le FFEM, en ligne sur le site du csfd (Comité Scientifique Français de la Désertification), 10 p.
- Requier-Desjardins M., 2003. Elevages et transhumances à l'extrême-nord du Cameroun, une étude des contrats d'accès aux pâturages communs. Enquêtes en milieu pastoral et essai de modélisation contractuelle. Résumé de la thèse, CIRAD, collection Regard sur les thèses, 39 p.

- Requier-Desjardins M. 2002. Désertification et environnement mondial (changement climatique et biodiversité), proposition d'indicateurs pour un projet de développement, l'IREMLCD, Fonds Français pour l'Environnement Mondial, 60 p, version provisoire.
- Rouchier J., Bousquet F., Requier-Desjardins M., Antona M., 2001. « A multi-agent model for describing transhumance in North Cameroon : comparison of different rationality to develop a routine. » In : Journal of Economic Dynamics and Control, vol. 25 : 3- 4, pp. 527-559.
- Sebag M., Azé J. and N. Lucas, 2004, ROC-based Evolutionary Learning: Application to Medical Data Mining, Artificial Evolution'03, Springer Verlag LNCS, 384-396.
- ROSELT/OSS CT1, 2004, Guide ROSELT/OSS pour l'évaluation et la surveillance de la végétation, Contribution Techn. 1, Montpellier (en préparation)
- ROSELT/OSS CT2, 2004, Guide ROSELT/OSS pour l'évaluation et le suivi des pratiques d'exploitation des ressources naturelles, Contribution Techn. 2, Montpellier, 117 pp. (à paraître)
- ROSELT/OSS CT11, 2004, Guide ROSELT/OSS pour l'évaluation et le suivi des états de surface et des sols, Contribution Techn. 2, Montpellier. (en préparation)
- ROSELT/OSS DS3, 2004, Concepts, méthodes et mise en oeuvre pour l'évaluation des risques de désertification : SIEL-ROSELT (système d'information sur l'environnement à l'échelle locale du programme ROSELT/OSS), Doc. Sci. 3, Montpellier, 50pp.
- Soumaré S., 1995, Bouani, un imbroglio foncier entre divers acteurs : bailleurs de fonds, aménagistes, instances politiques, administratives, ayants-droit, usagers, du droit coutumier, et du droit moderne, Cahiers N°21 de l'Univ. de Louvain-la-Neuve, 10 pp.
- Thiéry J., d'Herbès J.-M. et Valentin C., 1997, Modélisation de la réponse des brousses tigrées à différents modes de gestion. In : *Tendances nouvelles en modélisation pour l'Env.*, Elsevier, Paris, 329-335.
- Valentin C. and d'Herbès J.-M., 2001, Banded vegetation patterning : a global perspective. Tiger bush, and related structures. Banded vegetation patterning in arid and semi-arid environments. Ecological processes and consequences for management. (eds D. TONGWAY, C. VALENTIN, J. SEGHERI). Ecological Studies, Springer-Verlag, New-York.
- Valentin C. and d'Herbès J.-M., 1999, Niger tiger bush as a natural water harvesting system. Catena, 37, 231-256.
- Valentin C., d'Herbès J.-M. and Poesen J., 1999, Soil and water components of banded vegetation patterns. Catena, 37, 1-24.