

Recherche écorégionale sur la gestion intégrée des ressources naturelles dans les écosystèmes de riziculture en Asie du sud-est

François Bousquet,¹ Jean-Christophe Castella,² Benchaphun Ekasingh,³ Chu Thai Hoanh,⁴ Suan Pheng Kam,⁵ Hubert Manichon,⁶ Duong Van Ni,⁷ Dang Dinh Quang,⁸ Guy Trébuil⁹ et To Phuc Tuong¹⁰

Avec la décentralisation progressive de la gestion des ressources naturelles dans plusieurs pays d'Asie, il est nécessaire de recourir à des méthodes et à des moyens nouveaux pour permettre des travaux de recherche véritablement interdisciplinaires et fondés sur l'action en matière de gestion intégrée des ressources naturelles (GIRN), de manière à donner aux parties concernées davantage de maîtrise et de pouvoir de décision. Les parties prenantes doivent accéder au savoir, comprendre le problème en cause, acquérir les qualifications et les outils permettant de mieux communiquer et négocier. Elles doivent aussi être capables d'exprimer leurs objectifs divergents, négocier le respect de leurs exigences et, pour finir, adopter et adapter les interventions appropriées, à l'échelle convenable. Les grands défis pour la recherche sont de générer un savoir pertinent en matière de GIRN et les outils pour l'appliquer, et de faciliter la mise en partage, sans contrainte, de ces connaissances entre chercheurs, décideurs, directeurs et usagers de ces ressources. Le présent article met en exergue plusieurs résultats de travaux de recherche participative effectués en ce sens.

Les trois buts du Groupe consultatif pour la recherche agricole internationale (CGIAR)—faire reculer la pauvreté, accroître la sécurité alimentaire et protéger l'environnement—reconnaissent le fait que le bien-être des personnes dépend du bien-être des systèmes d'où elles tirent leurs moyens d'existence. Autrement dit, il faut reconnaître qu'il existe une corrélation étroite entre les préoccupations liées aux moyens d'existence des exploitants agricoles et le niveau de base de leurs ressources renouvelables et la résilience de leurs systèmes de production dépend de leur capacité d'adaptation à les gérer. Pour appuyer le développement durable d'une région donnée, il faut considérer l'ensemble du système constitué par le territoire, ses populations et leurs activités comme un objet de recherche. Les activités de recherche passées ont montré que, pour améliorer les moyens d'existence tout en assurant la viabilité et la résilience de la base de ressources, il faut comprendre et exploiter les interactions qui existent entre les politiques et les cadres institutionnels et le comportement humain ainsi qu'entre les activités humaines et les processus biophysiques.

La décentralisation de la gestion des ressources est en cours dans de nombreux pays d'Asie. Il faut élaborer des méthodologies et renforcer les capacités pour appuyer des activités de recherche opérationnelle véritablement interdisciplinaires dans le domaine de la gestion intégrée des ressources naturelles (GIRN), de manière à faciliter l'autonomisation des parties concernées aux différents niveaux. Pour prendre les décisions en connaissance de cause, il leur faut avoir accès au savoir, comprendre le problème qui se pose, acquérir les compétences et les outils nécessaires pour faciliter la communication et la négociation, avoir la capacité d'exprimer leurs objectifs divergents, négocier leurs exigences et, enfin, adopter et adapter les interventions appropriées, à la bonne échelle.

Si la GIRN et les problèmes environnementaux deviennent de plus en plus complexes, des approches, méthodes et outils novateurs deviennent disponibles pour assurer une gestion adaptative de ces systèmes. Il est nécessaire d'adopter une perspective interdisciplinaire de ces systèmes pour faire face aux différents aspects de l'intégration dans la GIRN, à travers les disciplines et les sources du savoir, à travers les échelles géographiques et temporelles et à travers le continuum recherche-développement-politiques.

Le principal défi au plan de la recherche consiste à produire des connaissances pertinentes en matière de GIRN, notamment les outils pour s'en servir et faciliter leur libre échange entre chercheurs, décideurs, gestionnaires et utilisateurs des ressources. Il est possible, notamment, d'utiliser des outils dynamiques et interactifs de modélisation au sein de plateformes de communication pour aider les parties intéressées à comprendre et simuler les interactions entre différents niveaux d'organisation biologique, physique et sociale, à diverses échelles spatiales et différents niveaux hiérarchiques d'organisation sociale. Le rôle des chercheurs étant de faciliter l'autonomisation, il s'agira surtout de mettre au point des méthodologies de recherche et opérationnelles tout en impliquant les parties intéressées et en nouant des partenariats à chaque étape du processus.

L'initiative Ecor (I) en Asie

En 1995, le CGIAR a confié à l'Institut international de recherche sur le riz (IRRI) la tâche de mettre en œuvre l'Initiative écorégionale des zones tropicales humides et sub-humides d'Asie (Ecor (I) en Asie). Le but principal de cette initiative était de doter les scientifiques et les gestionnaires des Systèmes nationaux de recherche et de vulgarisation agricoles de meilleures méthodologies pour la GIRN. Les activités ont été axées sur l'élaboration et la mise à l'épreuve de méthodologies de recherche opérationnelles ainsi que sur la formation des scientifiques des Systèmes nationaux de recherche et de vulgarisation agricoles à leur application sur le terrain. Les sites pilotes étaient représentatifs des différents écosystèmes agricoles, l'accent étant mis sur les environnements caractérisés par une productivité faible et écologiquement fragiles. Des partenariats ont été établis entre institutions nationales et internationales dont les rôles sont complémentaires en raison de leur mandat, de leurs ressources ou de leurs compétences. En mettant l'accent sur un problème majeur touchant à la GIRN sur chaque site, les activités entreprises dans le cadre d'Ecor (I) visaient à :

- renforcer des partenariats stratégiques de recherche-développement (R&D) pour leur permettre de régler le problème par le partage de l'information, l'apprentissage réciproque, la formation et le renforcement des capacités;
- comprendre les dynamiques socio-économiques et agro-écologiques et déterminer les points d'intervention;
- faciliter l'application de la connaissance en matière de GIRN accumulée par diverses parties prenantes, à l'aide d'outils interactifs et de mécanismes de soutien à la négociation;
- entreprendre des activités de recherche interdisciplinaires et participatives sur la viabilité des écosystèmes agricoles en associant les enquêtes sur le terrain aux méthodologies de modélisation et de simulation, afin d'évaluer, en liaison avec les parties intéressées, divers scénarios et l'effet des interventions technologiques ou organisationnelles;
- soutenir les activités de renforcement des capacités en matière de GIRN à l'échelon national et régional pour formuler des approches interdisciplinaires et des outils adaptés, par le biais d'une recherche collaborative et de formation;
- améliorer l'établissement, à l'échelon régional, des réseaux des spécialistes de la GIRN et faciliter leur communication à l'aide de mécanismes de coordination efficaces.

Les équipes travaillant sur des sites pilotes ont utilisé une variété de démarches et d'outils. Cette communication présente quelques résultats d'activités de recherche, fruits de collaborations entre institutions rattachées à des systèmes nationaux de vulgarisation et de recherche agricole, instituts français de recherche avancée et Centres du CGIAR. Elle présente également les activités de formation entreprises dans le cadre d'Ecor (I), notamment en matière de modélisation participative pour la GIRN. Les institutions suivantes ont participé aux activités d'Ecor (I) en Asie présentées ci-dessous :

- Systèmes nationaux de recherche et de vulgarisation agricole: Thaïlande: ministère de l'Agriculture (DOA-MOAC), Université de Chiang Mai, Université de Chulalongkorn, Université de Khon Kaen, Université de Ubon Ratchathani; Viet-Nam: Institut vietnamien des sciences agricoles, Institut national des sols et des fertilisants, Université de Can Tho, Institut de recherche sur le riz de Cuu Long (CLRRI).
- Organisations de recherche avancée: Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD), Centre national du machinisme agricole, du génie rural des eaux et des forêts (CEMAGREF), Institut de recherche pour le développement (IRD), Universités de Paris X, Montpellier II et Lyon I, Université et Centre de recherche de Wageningen, Center for the Study of Institutions, Population, and Environmental Change (CIPEC), Indiana, États-Unis.
- Organisations de recherche internationale: IRRI, Centre pour la recherche forestière internationale (CIFOR), Resilience Alliance Network, Agent Links Network.

Changement d'utilisation des terres dans les montagnes du bassin du Fleuve Rouge

Sur les hautes terres du nord du Viet-Nam, quatre facteurs principaux ont entraîné les modifications profondes de l'utilisation des sols de ces dernières décennies, à savoir une pression démographique croissante, la privatisation de l'économie, la redistribution des terres et les réformes politiques. Les zones de bas-fonds sont désormais entièrement exploitées tandis que le développement des pratiques agricoles non viables sur les pentes met en péril les écosystèmes montagnards fragiles (Kinh et al. 1999). Le programme « Système agraire de montagne » (SAM) a été lancé en 1998 en vue d'améliorer i) la productivité agricole, ii) la gestion des ressources naturelles et iii) les conditions de vie des

minorités ethniques qui vivent sur ces hautes terres. Le programme SAM comportait deux volets. Compte tenu d'un premier diagnostic agronomique expliquant l'hétérogénéité au sein et entre les champs et hiérarchisant les facteurs qui limitent la production, le « volet Système de culture » du projet SAM a identifié des systèmes adaptés et améliorés du niveau du champ à celui des petits bassins versants. Un éventail d'options à faible apport d'intrants, qui pourraient remplacer la pratique d'abattis-brûlis, a été testé dans les conditions paysannes. Les avantages et les contraintes de ces innovations ont été documentés et mis à la disposition des utilisateurs par le biais de parcelles de démonstration, de systèmes d'appui à la prise de décision et de simulations participatives. Le « volet régional » complémentaire avait pour but de comprendre la dynamique des modifications de l'utilisation des sols et les principaux facteurs qui les déterminent, du niveau de l'exploitation agricole à celui de la province, avant d'introduire des innovations au plan technique et organisationnel. Ce volet a défini des clés permettant d'extrapoler les résultats de la recherche obtenus à de vastes régions géographiques et a offert de nouveaux outils pour faciliter la prise de décision en matière de gestion durable des ressources naturelles (Kam et al 2002).



Un modèle de simulation multi-agents a été élaboré en vue de mettre à l'épreuve les hypothèses tirées des enquêtes auprès des ménages et les données de télédétection à propos des mécanismes liant l'affectation des terrains rizicoles aux familles d'agriculteurs pratiquant l'abattis-brûlis sur les pentes et le déboisement. Ce modèle a représenté la diversité des systèmes actuels d'utilisation des sols en analysant les interactions entre les régimes fonciers dans les bas-fonds et la dynamique de l'utilisation des sols sur les pentes. Pour transformer ces résultats de recherche en actions concrètes, il a fallu incorporer les changements les plus récents au plan technique, économique et social qui ont accompagné le processus d'affectation des terrains forestiers dans une démarche participative associant les parties prenantes locales intéressées. Étant donné que les actions de recherche et de développement mettent généralement en jeu une multiplicité d'acteurs, la compréhension réciproque des points de vue de chacun constitue un préalable à la communication. Nous avons utilisé des jeux de rôles, des entretiens individuels, la modélisation multi-agents et les systèmes d'information géographique (SIG) pour renforcer cette communication, en élaborant une représentation partagée de leur système servant de base aux échanges de vues entre les parties intéressées.

Les scénarios de modifications de l'utilisation des sols ont découlé de l'interaction dynamique entre i) les stratégies des agriculteurs, c'est-à-dire le processus individuel de prise de décision découlant du profil de ressources d'une exploitation agricole, ii) les institutions qui définissent les conditions d'accès aux ressources et leur utilisation, et iii) les environnements biophysiques et socio-économiques. Nous avons synthétisé les connaissances obtenues à l'aide de ces outils dans un échantillon de sites de recherche représentatif de la province de Bac Kan, dans un cadre de modélisation dénommé SAMBA. En couplant le modèle et le SIG, nous avons extrapolé la représentation des règles locales de gestion à l'ensemble de la province. Les simulations participatives ont permis de repérer les villages présentant des trajectoires similaires concernant les modifications de l'utilisation des terres et auxquels l'on pourrait appliquer des innovations techniques et/ou institutionnelles analogues. Après avoir élaboré des scénarios de modifications de l'utilisation des terres avec les parties intéressées, nous avons évalué l'impact de ces modifications sur l'état des ressources et avons formulé ensemble des stratégies de gestion du bassin versant compatibles avec les mesures de protection de l'environnement (Castella et al. 2006).

Impacts du changement de politique de l'eau sur les modes de vie dans une région côtière du delta du Mékong

Dans les zones côtières d'Asie du sud-est, le développement rapide de l'aquaculture en eau saumâtre a provoqué des conflits concernant l'utilisation des ressources en terre et en eau. Un exemple de tels conflits est offert dans le delta du Mékong où, en 2001, des éleveurs de crevettes dans la province de Bac Lieu ont détruit un ouvrage important de déviation de cours d'eau pour permettre à l'eau saumâtre de gagner leurs bassins d'élevage plus en amont. L'incident s'est produit dans un réseau de régulation des eaux de 250 000 ha comportant la construction échelonnée de onze grandes vannes d'écluse entre 1994 et l'an 2000. L'objectif était d'accroître la superficie protégée de l'inondation par l'eau de mer afin d'étendre et d'intensifier la production de riz—une priorité nationale dans les années 90. Le projet d'élimination de la pauvreté de la province de Bac Lieu, financé par le Department for International Development (DfID) du Royaume-Uni, est intervenu pour aider les autorités provinciales à examiner les problèmes à l'origine de ces conflits, qui commençaient à opposer les éleveurs de crevettes et les exploitants rizicoles. L'objectif principal du projet était d'améliorer les moyens de subsistance des personnes démunies en formulant une stratégie de gestion efficace et durable des ressources en terre et en eau de la région. Le projet a rassemblé, sous l'égide de l'IRRI, une équipe multidisciplinaire de chercheurs

provenant de Centres internationaux de recherche agricole, d'instituts de recherche avancée et de plusieurs universités et organismes de recherche et de planification du Viet-Nam.

Le projet a retenu un cadre intégré, centré sur le problème à résoudre, pour établir le lien, à échelles multiples entre des problèmes de production au niveau des exploitations agricoles et la gestion des ressources naturelles au plan régional. Des enquêtes pluridisciplinaires ont permis de comprendre de quelle manière la dynamique des changements hydrologiques influe sur les modifications de l'utilisation des sols et, de ce fait, affecte les moyens de subsistance des communautés rurales. Si de nombreuses personnes ont profité de la construction des vannes d'écluse (riziculteurs dans la partie est), les perdants ont été nombreux (éleveurs de crevettes dans la partie ouest, sans compter un bon nombre d'agriculteurs pauvres ou sans terre qui vivent de la pêche en eau libre). Les autorités ont reconnu qu'il fallait modifier les politiques dans le sens d'une diversification de l'économie en milieu rural en tirant parti des vastes ressources du littoral. Une occasion a été offerte par les résultats de la modélisation hydrologique effectuée par l'équipe de recherche qui ont montré que l'ouverture et la fermeture échelonnées de certaines vannes d'écluse permettraient d'instituer un double régime d'apport d'eau salée et d'eau douce, qui rendrait possibles l'élevage de crevettes et la culture intensive du riz dans différents secteurs de la zone d'étude. Cette conclusion a amené les autorités provinciales à collaborer avec les planificateurs de la région et l'équipe de recherche en vue de dresser un plan de zonage pour l'utilisation des sols et d'élaborer une stratégie d'accompagnement pour la gestion de l'eau, qui ont été par la suite approuvés au plan national. À présent, ce modèle hydrologique sert d'outil de gestion à l'échelon régional pour programmer le fonctionnement des écluses. À l'échelle des exploitations agricoles, les chercheurs ont collaboré avec les communautés locales en vue d'adopter et d'adapter des techniques rizicoles se prêtant aux conditions spécifiques de la qualité des sols et de l'eau des régions récemment protégées de l'intrusion d'eau salée.

D'après les enquêtes menées entre 2000 et 2005, sous l'effet de la politique de *doi moi* (ou rénovation) appuyée par une démarche plus structurée en matière de gestion des eaux dans la région, le produit intérieur brut (PIB) annuel par habitant d'une population de l'ordre de 800 000 personnes de la province est passé de 250 à 650 dollars au cours de la période. Le revenu des collectivités pauvres vivant dans les zones aux sols sulfatés acides a triplé, la production piscicole a augmenté considérablement et aucun conflit n'a opposé les groupes d'utilisateurs de l'eau depuis 2002 (Hoanh et al 2003, 2006). Le succès du projet de la province de Bac Lieu repose sur la participation active des principales parties intéressées. Ce succès a incité les provinces voisines à adopter des stratégies de développement similaires et a donné aux autorités provinciales de Bac Lieu suffisamment d'assurance pour proposer de conduire l'élaboration d'une stratégie plus régionale de gestion intégrée des eaux dans la péninsule de Ca Mau du delta du Mékong.

Renforcement des capacités en modélisation d'accompagnement et utilisation des systèmes multi-agents

En 1999, le « Multiple Cropping Center » de la Faculté d'agriculture de l'Université de Chiang Mai organisait un cours de formation sur les systèmes multi-agents et la gestion intégrée des ressources naturelles (GIRN) et invitait le CIRAD à le conduire. Les systèmes multi-agents visent à comprendre la façon dont sont coordonnés les différents processus en concurrence directe. Les chercheurs qui utilisent cette démarche pour la GIRN considèrent le processus de prise de décision comme une suite d'interactions entre les parties intéressées ayant divers objectifs, perceptions, niveaux ou types d'informations et différents niveaux d'influence. Des collègues des Systèmes nationaux de recherche et de vulgarisation agricoles ont vu la nécessité de recourir à ce type d'approches novatrices issues des sciences de la complexité pour mieux comprendre et gérer les interactions entre les dynamiques sociales et écologiques, en s'appuyant sur des notions centrales comme la gestion adaptative, l'apprentissage social et la recherche-action.

À la suite de ce cours, un projet de recherche, mené en collaboration entre l'IRRI et le CIRAD et financé par le Programme « Technologies de l'information et de la communication en Asie » de l'Union européenne, a été lancé en 2001 dans le but de renforcer la formation aux systèmes multi-agents, en sciences sociales et en GIRN. Des chercheurs de renommée internationale ont dispensé des cours en Thaïlande, sur divers points de vue disciplinaire concernant le sujet et l'équipe de l'IRRI-CIRAD a contribué avec les collègues des Systèmes nationaux de recherche et de vulgarisation agricoles à la préparation des études de cas sur des problèmes tels que la dégradation des terres, les modifications de l'utilisation des sols, la gestion intégrée du bassin versant, la diversification des cultures, le partage des eaux d'irrigation, les systèmes de semences, etc. Cette formation a mobilisé les compétences de trois universités publiques de Thaïlande (celles de Chulalongkorn, de Chiang-Mai et de Khon Khaen) et 85 scientifiques de neuf pays y ont également pris part. Le projet a permis d'affiner et de mettre à l'épreuve la démarche de modélisation d'accompagnement en utilisant les

systèmes multi-agents avec les communautés rurales. La modélisation d'accompagnement facilite le dialogue, le partage des connaissances et la prise collective de décisions grâce à la recherche-action « impliquée » en vue de renforcer la capacité de gestion adaptative des communautés locales. Des systèmes multi-agents qui intègrent les points de vue de diverses parties prenantes sont conjointement mis au point pour l'apprentissage collectif. Les parties prenantes sont associées à la construction de ces modèles pour en améliorer la pertinence et leur utilisation lors de l'évaluation collective des scénarios simulés. L'outil « Systèmes multi-agents » est utilisé dans un processus itératif cyclique de modélisation d'accompagnement comportant les trois étapes suivantes:

- enquêtes sur le terrain et recherche des connaissances existantes afin de générer des hypothèses explicites pour la modélisation;
- modélisation, c'est-à-dire la conversion des connaissances existantes en un outil formel qui servira d'instrument de simulation;
- simulations pour remettre en cause la compréhension antérieure du système et déterminer de nouvelles questions clés pour d'autres investigations sur le terrain.

En général, l'outil de simulation est associé à des jeux de rôles puisque l'on peut intuitivement considérer un modèle multi-agents comme un jeu de rôles simulé par l'ordinateur. Le jeu de rôles est employé avec les parties intéressées pour leur permettre de:

- comprendre le modèle;
- valider le modèle en étudiant le comportement des agents, les propriétés du système qui émerge de leurs interactions, et proposer des modifications;
- parvenir à suivre les simulations du système multi-agents informatiques et proposer des scénarios à évaluer.

Une douzaine d'études de cas menées dans cinq pays d'Asie pour déterminer si la modélisation d'accompagnement pourrait appuyer avec succès la prise de décision collective ont été publiées dans un ouvrage collectif (Bousquet et al 2005). La plupart des modèles fonctionnent sur la plate-forme de simulation « Common-pool resources and multi-agent systems » (CORMAS) mise au point au CIRAD. Huit collègues des systèmes nationaux de recherche et de vulgarisation agricoles préparent leur doctorat dans ce domaine et l'approche de modélisation d'accompagnement basée sur les systèmes multi-agents pour la gestion intégrée des ressources naturelles est enseignée dans plusieurs cours d'universités du Sud-est asiatique. Une méthodologie spécifique pour évaluer les effets et l'impact d'un processus de modélisation d'accompagnement est en cours d'élaboration. Elle orientera également l'évaluation des améliorations de la capacité d'apprentissage collectif des parties prenantes. Parallèlement, la démarche de modélisation d'accompagnement fait l'objet de nouvelles recherches méthodologiques pour faciliter la communication entre des agents et des organisations hétérogènes à des niveaux hiérarchiques plus englobants.

Conclusion

En comprenant la façon dont les populations rurales acquièrent et partagent les connaissances et les expériences, les activités entreprises dans le cadre d'Ecor (I) Asie ont permis de renforcer les capacités de développement du savoir entre pairs et d'apprentissage en vue d'une meilleure prise de décision dans des contextes complexes et en évolution rapide et à des échelles ou niveaux d'organisation multiples. Cette expérience a également montré que des démarches et des méthodes interdisciplinaires pertinentes de gestion intégrée des ressources naturelles pouvaient être élaborées conjointement en réseau adaptable et souple, facilitant la réalisation d'activités interinstitutionnelles en Asie du sud-est. Un défi majeur consiste à promouvoir le renforcement institutionnel à l'interface entre les pratiques et les intérêts communautaires, d'une part, et la réglementation régionale en matière de gestion des ressources, d'autre part, pour appuyer l'adoption de modes de vie résilients en particulier pour les couches les plus vulnérables de la société. Les résultats prometteurs d'Ecor (I) Asie ont permis que ses activités se poursuivent, notamment dans le cadre des projets en cours d'évaluation intégrée et du Programme pour relever les défis « Eau et alimentation » du CGIAR.

¹ François Bousquet, directeur de recherche, est modélisateur à l'Unité de recherche sur la gestion des ressources renouvelables et l'environnement « GREEN » au CIRAD, Montpellier, France. Ancien collaborateur de l'Université de Chulalongkorn (2004-2005), il a été affecté à la division des sciences sociales de l'IRRI de 2001 à 2004.

- ² Jean Christophe Castella, agronome de l'Institut de recherche pour le développement (IRD) a été détaché à l'IRRI de 1997 à 2003 pour mettre en œuvre, avec l'Institut des sciences agricoles du Viet-Nam, le programme conjoint « Étude intégrée sur les modifications de l'utilisation des sols sur les hauts plateaux du nord du Viet-Nam ».
- ³ Ekasingh Benchaphun est agroéconomiste au « Multiple Cropping Center » de la Faculté d'agriculture de l'Université de Chiang Mai en Thaïlande.
- ⁴ Chu Thai Hoanh, hydrogéologue, est modélisateur à l'Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI), bureau de l'Asie du sud-est à Pénang, en Malaisie et ancien collaborateur de la division récoltes, sol et eau de l'IRRI (2002-2003) et de la division des sciences sociales (1997-2002).⁵ Suan Pheng Kam, PhD, is a geographic information systems specialist at the WorldFish Center in Penang, Malaysia, and former Ecor (I) Asia leader at IRRI.
- ⁵ Suan Pheng Kam, géo-agronome est spécialiste en systèmes d'information géographique au Worldfish Center (WFC), à Pénang, en Malaisie et ancien directeur d'Ecor (I) Asie à l'IRRI, aux Philippines.
- ⁶ Hubert Manichon, professeur de sciences du sol, spécialiste des sols est un ancien directeur scientifique au CIRAD à Montpellier, France.
- ⁷ Duong Van Ni, chercheur en sciences du sol et de l'environnement est directeur du Centre de recherches appliquées sur la biodiversité Hoa An, Université de Can Tho, au Viet-Nam.
- ⁸ Dang Dinh Quang agronome à l'Université Thai Nguyen est un ancien collaborateur du département des systèmes agraires de montagne à l'Institut des sciences agricoles du Viet-Nam.
- ⁹ Guy Trébuil est agronome à l'Unité de recherche sur la gestion des ressources renouvelables et l'environnement « GREEN » au CIRAD. Collaborateur à l'Université de Chulalongkorn depuis 2004, il a été affecté à la division d'agronomie et d'agro-écologie de l'IRRI de 1993 à 2001 puis à la division des sciences sociales de 2001 à 2004.
- ¹⁰ To Phuc Tuong, docteur en hydrologie et sciences du sol, est responsable de la division des récoltes et des sciences de l'environnement à l'IRRI à Los Baños, Laguna aux Philippines.

Références

- Bousquet F., Trébuil G. and Hardy B. (rév.). (2005) Companion Modeling and Multi-Agent Systems for Integrated Natural Resource Management in Asia. CIRAD et International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines. 360 p.
- Castella J.C., Kam S.P., Quang D.D., Verburg P.H. and Hoanh C.T. (2006) Combining top-down and bottom-up modelling approaches of Land Use/Cover Change to support public policies: Application to sustainable management of natural resources in northern Vietnam. *Land Use Policy* 23: sous presse.
- Hoanh C.T., Tuong T.P., Gallop K.M., Gowing J.W., Kam S.P., Khiem N.T. and Phong N.D. (2003) Livelihood impacts of water policy changes: evidence from a coastal area of the Mekong River Delta. *J. Water Policy* 5(5): 475–488.
- Hoanh C.T., Tuong T.P., Gowing J.W. and Hardy B. (eds). (2006) Environment and livelihoods in tropical coastal zones: Managing agriculture-fishery-aquaculture conflicts. Book No.2 of CA Series (Comprehensive Assessment of CGIAR), CABI Publishing, UK (sous-presses).
- Kam S.P., Castella J.C., Hoanh C.T., Trébuil G. and Bousquet F. (2002) Methodological integration for sustainable natural resource management beyond field/farm level: lessons from the ecoregional initiative for the humid and sub-humid tropics of Asia. *Int. J. Sustainable Devel. World Ecol.* 9(4): 383–395.
- Kinh N.N., Teng P.S., Hoanh C.T. and Castella J.C. (1999) Towards an Ecoregional Approach for Natural Resource Management in the Red River Basin of Vietnam. The Agricultural Publishing House, Hanoi, Vietnam. 254 p.

Ecoregional research for integrated natural resource management in Southeast Asian rice ecosystems

François Bousquet,¹ Jean-Christophe Castella,² Benchaphun Ekasingh,³ Hoanh Chu Thai,⁴ Suan Pheng Kam,⁵ Hubert Manichon,⁶ Duong Van Ni,⁷ Dang Dinh Quang,⁸ Guy Trébuil⁹ and To Phuc Tuong¹⁰

With resource management becoming decentralized in many Asian countries, new methods and capacities are needed to support truly interdisciplinary action research in the field of integrated natural resource management (INRM) to facilitate the empowerment of stakeholders. Stakeholders need access to knowledge, understanding of the problem at hand, skills and tools to facilitate communication and negotiation, and the capability to articulate their differing objectives, negotiate their demands, and finally adopt and adapt appropriate interventions at the right scale. The main research challenge is to generate pertinent INRM knowledge and the tools for using it, and to facilitate their free exchange among researchers, policymakers, managers and resource users. This paper highlights the characteristics of promising methodologies and several results obtained through collaborative research.

The three goals of the Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR) — alleviating poverty, increasing food security and protecting the environment — recognize that human well-being depends on the well-being of the systems in which people earn their living. This means recognizing that the livelihood concerns of farmers are closely linked with the status of their renewable resource base and that the resilience of their production systems depends on their adaptive capacity to manage it. To support the sustainable development of a given region, the comprehensive system composed of the land, its people and their activities must be researched. Past research has demonstrated that, to improve livelihoods while ensuring the sustainability and resilience of the resource base, one needs to understand and harness the interactions among policies, institutional settings and human behavior, as well as between human activities and biophysical processes.

The decentralization of resource management is under way in many Asian countries. Methodological development and capacity building are needed to support truly interdisciplinary action research in the field of integrated natural resource management (INRM) to facilitate the empowerment of stakeholders at various levels. To make informed decisions, stakeholders need access to knowledge, understanding of the problem at hand, skills and tools to facilitate communication and negotiation, and the capability to articulate their differing objectives, negotiate their demands, and finally adopt and adapt appropriate interventions at the right scale.

As INRM and environmental problems become more complex, innovative approaches, methods and tools are becoming available to deal with the adaptive management of these systems. An interdisciplinary systems perspective needs to be adopted to tackle the various dimensions of integration in INRM across disciplines and sources of knowledge, geographical and time scales, and the research-development-policy continuum.

The main research challenge is to generate pertinent INRM knowledge and the tools for using it, and to facilitate their free exchange among researchers, policymakers, managers and resource users. In particular, dynamic and interactive modeling tools can be used in communication platforms to help stakeholders understand and simulate biological, physical and social interactions at various spatial scales and hierarchical levels of social organization. Because the researchers' role is to facilitate empowerment, the emphasis is on developing research and operational methodologies while involving stakeholders and forging partnerships at every stage of the process.

The Ecor (I) Asia initiative

In 1995, the International Rice Research Institute (IRRI) was mandated by the CGIAR to convene the Ecoregional Initiative for the Humid and Subhumid Tropics of Asia, or Ecor (I) Asia. Its main purpose was to empower national agricultural research and extension system (NARES) scientists and research managers with better methodologies for INRM. Activities focused on developing and testing operational research methodologies, and on training NARES scientists on how to use them in the field. The pilot sites were representative of the different agroecosystems, with emphasis on marginally productive and ecologically fragile environments. Partnerships were established among national and international

institutions with complementary roles in line with their mandates, resources and expertise. With a strong focus on a major INRM problem at each site, Ecor (I) activities aimed to:

- strengthening strategic research and development (R&D) partnerships to tackle the problem through information sharing, mutual learning, training and capacity building;
- understand socioeconomic and agroecological dynamics and identify intervention points;
- facilitate the use of INRM knowledge accumulated by diverse stakeholders through the use of interactive tools and negotiation support systems;
- develop interdisciplinary and participatory research on the viability of agroecosystems by associating field surveys with modeling and simulation methodologies, using them with stakeholders to assess scenarios and the effects of technological or organizational interventions;
- support capacity building in INRM nationally and regionally to develop adapted interdisciplinary approaches and tools through collaborative research and training; and
- improve the regional networking of INRM specialists and facilitate communication through effective coordinating mechanisms.

Various approaches and tools were used by the teams working at the pilot sites. This paper highlights several research results obtained through collaboration among NARES institutions, French advanced research institutes (ARIs) and CGIAR Centers. It also presents Ecor (I) training activities in participatory modeling for INRM. The following institutions took part in the Ecor (I) Asian activities described in this paper:

- NARES: Thailand: Department of Agriculture, Chiang Mai University, Chulalongkorn University, Khon Kaen University, Ubon Ratchathani University; Vietnam: Vietnam Agricultural Science Institute, National Institute for Soils and Fertilizers, Can Tho University, Cuu Long Delta Rice Research Institute.
- ARIs: Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD); CEMAGREF; Institut de recherche pour le développement; universities of Paris X, Montpellier II and Lyon I; Wageningen University and Research Center; and Center for the Study of Institutions, Population and Environmental Change, Indiana, USA.
- International Institutions: IRRI, Center for International Forestry Research, Resilience Alliance Network and Agent Links Network.

Land-use changes in the uplands of the Red River basin

In the uplands of northern Vietnam, increasing population pressure, combined with privatization, land redistribution and political reforms, were the main driving forces behind the profound land-use changes that occurred in recent decades. With lowland areas fully exploited, the development of unsustainable agricultural practices on the hillsides endangers fragile upland ecosystems (Kinh et al. 1999). The Mountain Agrarian Systems (SAM) Program set out in 1998 to improve agricultural productivity, natural resource management and the living standards of ethnic minority groups in the highlands. The SAM Program comprised two subprograms. The cropping systems component — based on a preliminary agronomic diagnosis to explain intra- and inter-field heterogeneity and rank production-limiting factors — identified the need to develop improved cropping systems up to the level of the small watershed. A range of low-input alternatives to slash-and-burn agriculture was tested under farm conditions. The advantages and constraints of these innovations were documented and made available to users through demonstration plots, decision support systems and participatory simulations. The complementary regional component aimed to understand the processes of land-use changes and their main driving forces from the farm to the provincial level, prior to introducing technical and organizational innovations. This component identified keys for extrapolating to large geographic areas locally obtained research results and offered new tools to facilitate decision-making in sustainable natural resource management (Kam et al. 2002).

A multi-agent simulation model was developed to test hypotheses, derived from household surveys and remote sensing data, on the mechanisms linking the allocation of paddyland to farm households with shifting hillside cultivation and deforestation. The model represented the diversity of the current land-use systems by analyzing the interactions between land-tenure policies in the lowlands and land-use dynamics in the uplands. Translating these research results into concrete action required incorporating the most recent technical, economic and social changes that accompanied forestland allocation into a participatory process involving local stakeholders. As research and development interventions typically

involve multiple actors, a precondition for communication is a mutual understanding of each other's point of view. We used role-play games, individual interviews, multi-agent modeling and geographic information systems (GIS) to construct a shared representation of their system as a basis for discussion among stakeholders and so enhance communication.

Scenarios of land-use change resulted from dynamic interactions among (i) farmers' strategies (i.e., individuals' decision-making processes as a function of each farms' resource profile), (ii) the institutions that define resource access and use, and (iii) the biophysical and socioeconomic environments. We synthesized the knowledge generated with these tools at a sample of research sites representative of Bac Kan Province to generate a modeling framework named SAMBA. By coupling the model with GIS, we extrapolated the representation of local management rules to the whole province. Participatory simulations helped identify villages with similar trajectories of land-use change for which similar technical and/or institutional innovations could be applied. After developing scenarios of land-use change with stakeholders, we assessed the impact of these changes on the resource base and collectively designed strategies for watershed management compatible with environmental policies (Castella et al. in press).

Livelihood impacts of water-policy changes on the Mekong Delta coast

In the coastal areas of Southeast Asia, the rapid development of brackish-water aquaculture has brought conflicts over the use of land and water resources. This conflict is exemplified in the Mekong River delta, where in 2001 shrimp farmers in Bac Lieu Province destroyed a major water diversion to allow tides to push brackish water upstream to their ponds. This happened within a 250,000 hectare sector of a water control scheme that involved the phased construction of 11 large sluice gates between 1994 and 2000. This was done to increase the area of land protected from inundation with saltwater and so expand and intensify rice production, which was a national priority in the 1990s. The Bac Lieu Poverty Elimination Project, financed by the United Kingdom's Department for International Development, stepped in to help provincial authorities address the complex issues underlying the emerging conflicts between shrimp and rice farmers. Its main objective was to improve the livelihoods of poor people by developing an effective and sustainable strategy for managing land and water resources in the area. Led by IRRRI, the project assembled a multidisciplinary team of researchers from international agricultural research centers, ARIs and several Vietnamese universities, research and planning agencies.

The project applied an integrated, problem-oriented framework for linking multiscale issues of production at the farm level and natural resource management at the regional level. Multidisciplinary investigations provided an understanding of how the dynamics of hydrological change influenced land-use changes and consequently the livelihoods of rural communities. Although many people gained from the construction of the sluices (rice farmers in the eastern part), there were many losers (shrimp farmers in western part, plus many poor and landless farmers dependent on catching wild fish). The authorities recognized the need for policy change towards rural economic diversification, taking advantage of the extensive coastal resources. An opportunity stemmed from results of hydrological modeling conducted by the research team, which revealed that the phased opening and closing of selected sluices would allow a dual regime of saline and freshwater that could accommodate shrimp aquaculture and intensified rice cultivation in different parts of the study area. This prompted the provincial authorities to work with regional planners and the research team to develop a land-use zoning plan and an accompanying strategy for managing water that subsequently received national approval. The hydrological model is now used as a regional management tool for scheduling sluice operation. At the farm level, researchers worked with local communities to adopt and adapt rice technologies for the specific soil and water-quality conditions in areas recently protected from salinity intrusion.

Surveys undertaken from 2000 to 2005 show that, as a result of the *doi moi* (renovation) policy supported by a more structured approach to managing water in the area, the annual per capita gross domestic product of approximately 800,000 people in the province increased from US\$250 to \$650 during the period. The income of poor communities living in areas with acid sulfate soil increased threefold, fishery production increased significantly, and there have been no conflicts between the water user groups since 2002 (Hoanh et al. 2003, in press). The success of the Bac Lieu project hinges upon the active participation of the key stakeholders. These achievements in Bac Lieu Province have interested neighboring provinces in adopting similar development strategies and have boosted the confidence of Bac Lieu provincial government to offer its leadership for a wider regional strategy of integrated water management on the Ca Mau Peninsula of the Mekong Delta.

Capacity building on companion modeling and multi-agent systems

In 1999, the Multiple Cropping Center in the Faculty of Agriculture of Chiang Mai University organized a training course on multi-agent systems (MAS) and INRM and invited CIRAD to lead it. The aim of MAS is to understand how different processes that are in direct competition are coordinated. Researchers using this approach to INRM see the decision-making process as a series of interactions among stakeholders with various objectives, perceptions, levels or kinds of information, and degrees of influence. NARES colleagues perceived the need for innovative approaches belonging to the science of complexity to better understand and manage the interactions between social and ecological dynamics by relying on key concepts such as adaptive management, social learning and action research.



Following the course, an IRRI-CIRAD collaborative research project funded by the European Union's Asia Information Technology and Communications Program (Asia IT&C) started in 2001 to reinforce training activities on MAS, social sciences and INRM. Internationally renowned researchers delivered courses in Thailand on different disciplines' points of view on the subject, and the IRRI-CIRAD team supported NARES colleagues' development of case studies on problems such as land degradation, land-use changes, integrated watershed management, crop diversification, irrigation water sharing, seed systems, etc. This training process mobilized the expertise available at three public universities in Thailand (Chulalongkorn, Chiang-Mai and Khon Khaen), and 85 scientists from nine countries participated in it.

The project helped to refine and test the companion modeling (ComMod) approach using MAS tools with communities. ComMod facilitates dialogue, shared learning and collective decision-making through implied action research to strengthen the adaptive management capacity of local communities. MAS models integrating various stakeholders' points of view are jointly developed and used for collective learning. Stakeholders are involved in constructing these models to improve their relevance and use through the collective assessment of simulated scenarios. MAS tools are used in an iterative cyclic ComMod process comprising three stages:

- field investigations and a search for existing knowledge to generate explicit hypotheses for modeling,
- modeling (i.e., the conversion of existing knowledge into a formal tool to be used as a simulator) and
- simulations to challenge the former understanding of the system and identify new key questions for investigations in the field.

Generally, the simulator is associated with role-playing games because, intuitively, a MAS model could be seen as a role-playing game simulated by the computer. The games are used with stakeholders so that they can (i) understand the model; (ii) validate it by examining agent behavior and the properties of the system emerging from their interactions, and by proposing modifications; and (iii) follow MAS simulations and propose scenarios to be assessed.

A dozen case studies developed in five Asian countries to assess whether ComMod could be successfully used to support collective decision-making were published in a collective book (Bousquet et al. 2005). Most of the models use the common-pool resources and multi-agent systems simulation platform developed by CIRAD. Eight NARES colleagues are currently studying for doctoral degrees in this field, and the MAS-based ComMod approach for INRM is presented in several university courses in Southeast Asia. A specific methodology to assess the effects and impact of a ComMod process is being designed. It will also guide the evaluation of the improvement of the stakeholders' capacity for collective learning. At the same time, further methodological development of the ComMod approach is under way to upscale the process for facilitating communication among heterogeneous agents and organizations at higher hierarchical levels.

Conclusion

By understanding how rural people acquire and share knowledge and experience, Ecor (I) Asia activities helped to build capacity for peer-to-peer knowledge development and learning for better decision-making in complex and fast changing systems and at multiple scales or levels of organization. This experience also proved that relevant interdisciplinary approaches and methods for INRM can be developed together with an adaptive and flexible network facilitating inter-institutional activities in Southeast Asia. A key challenge is to foster institution building at the interface between (i) community-based practices and interests and (ii) regional regulations for managing resources to support resilient livelihoods, particularly for the most vulnerable sectors of society. The promising outcomes of Ecor (I) Asia have formed the

bases of continued activities, especially under current projects of the Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture and the CGIAR's Challenge Program on Water and Food.

¹ François Bousquet, Director of Research, is a modeller in the research unit on renewable resource management and environment ("Green") of the Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement (CIRAD) in Montpellier, France, and formerly with the Chulalongkorn University-CIRAD Companion Modelling Project (2004-2005) and the International Rice Research Institute (2001-2004) in the Philippines.

² Jean-Christophe Castella, PhD, is a production systems agronomist from the Institut de recherche pour le développement (IRD) in Montpellier, France, seconded to IRRI from 1997 to 2003 to implement a joint research program in partnership with the Vietnam Agricultural Science Institute to comprehensively study land-use changes in northern Vietnam uplands.

³ Benchaphun Ekasingh, PhD, is an agricultural economist and chair of the Multiple Cropping Center in the Faculty of Agriculture of Chiang Mai University, Thailand.

⁴ Hoanh Chu Thai, PhD, is a water resource modeler in the Southeast Asia office of the International Water Management Institute in Penang, Malaysia, and formerly at IRRI (1997-2003).

⁵ Suan Pheng Kam, PhD, is a geographic information systems specialist at the WorldFish Center in Penang, Malaysia, and former Ecor (I) Asia leader at IRRI.

⁶ Hubert Manichon, Professor, is a soil scientist and former scientific director of CIRAD.

⁷ Duong Van Ni, PhD, is a soil and environmental scientist and director of the Hoa An Biodiversity Application Research Center of Can Tho University, formerly at the Mekong Delta Farming Systems Research and Development Institute of Can Tho University, Vietnam.

⁸ Dang Dinh Quang is an agronomist at Thai Nguyen University, formerly at the Agrarian Systems Department of the Vietnam Agricultural Science Institute (VASI), where he coordinated the Mountain Agrarian Systems Program, a collaborative research-development program of VASI, CIRAD, IRD and IRRI.

⁹ Guy Trébuil, Director of Research, is an agronomist in the research unit on renewable resource management and environment ("Green") of CIRAD, in the Chulalongkorn University-CIRAD Companion Modelling Project since 2004, and formerly in IRRI (1993-2004).

¹⁰ To Phuc Tuong, PhD, is a soil and water engineer and head of the IRRI Crop and Environmental Sciences Division.

References

Bousquet F, Trébuil G, Hardy B (eds.). 2005. Companion modeling and multi-agent systems for integrated natural resource management in Asia. CIRAD and International Rice Research Institute, Los Baños, Laguna, Philippines. 360 p.

Castella JC, Kam SP, Quang DD, Verburg PH, Hoanh CT. Combining top-down and bottom-up modelling approaches of Land Use/Cover Change to support public policies: Application to sustainable management of natural resources in northern Vietnam. Land Use Policy 23. In press.

Hoanh CT, Tuong TP, Gallop KM, Gowing JW, Kam SP, Khiem NT, Phong ND. 2003. Livelihood impacts of water policy changes: Evidence from a coastal area of the Mekong River delta. J. Water Policy 5(5): 475-488.

Hoanh CT, Tuong TP, Gowing JW, Hardy B (eds.). Environment and livelihoods in tropical coastal zones: Managing agriculture-fishery-aquaculture conflicts. Book No. 2 of CA Series (Comprehensive Assessment of CGIAR), CABI Publishing, UK. In press.

Kam SP, Castella JC, Hoanh CT, Trébuil G, Bousquet F. 2002. Methodological integration for sustainable natural resource management beyond field/farm level: Lessons from the ecoregional initiative for the humid and sub-humid tropics of Asia. Int. J. Sustainable Devel. World Ecol. 9(4): 383-395.

Kinh NN, Teng PS, Hoanh CT, Castella JC. 1999. Towards an ecoregional approach for natural resource management in the Red River basin of Vietnam. The Agricultural Publishing House, Hanoi, Vietnam. 254 p.



LA FRANCE ET LE CGIAR:

DES RESULTATS SCIENTIFIQUES POUR LA RECHERCHE AGRICOLE INTERNATIONALE

La présente publication a été coordonnée par Daniel Rocchi et placée sous l'autorité scientifique d'un Comité de rédaction composé paritairement d'experts du CGIAR et français: Denis Despréaux,¹ Emile Frison,² Bernard Hubert³ et Manuel Lantin⁴.

Les articles signés sont de la responsabilité de leurs auteurs et les textes non signés sont de la responsabilité du Comité de rédaction.

Daniel Rocchi est officier de liaison au Secrétariat du CGIAR à Washington depuis 2005, mis à disposition par le ministère de l'Agriculture et de la Pêche. Titulaire d'un doctorat en sociologie rurale, il a occupé différentes responsabilités en matière d'aménagement et de développement de l'espace rural, notamment aux Antilles, avant de rejoindre, en 1999, la Direction générale de l'enseignement et de la recherche de ce ministère où il s'est spécialisé dans l'administration de la recherche.

¹ Denis Despréaux est sous directeur de la performance de l'enseignement supérieur, de la recherche et de l'innovation au ministère de l'Éducation nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche. Il est aussi secrétaire exécutif de la Commission de la recherche agricole internationale (CRAI). Titulaire d'un doctorat en phytopathologie, il a consacré sa carrière scientifique aux cultures pérennes tropicales.

² Emile Frison est directeur général de l'Institut international des ressources phytogénétiques (IPGRI) depuis août 2003. Titulaire d'un doctorat en pathologie des plantes, il a consacré une part importante de sa carrière à la recherche agricole internationale pour le développement.

³ Bernard Hubert, titulaire d'un doctorat en écologie, a étudié l'écologie des rongeurs en Afrique de l'ouest avant de rejoindre l'Institut national de la recherche agronomique (INRA) où il a dirigé le département de recherche «Systèmes agraires et développement ». Aujourd'hui, il est directeur scientifique de la division Société, Économie, Décision et responsable de la problématique de développement durable à l'INRA, où il est directeur de recherche. Il est aussi directeur d'études à l'École des hautes études en sciences sociales (EHESS) de Paris.

⁴ Manuel Lantin, conseiller scientifique au Secrétariat du CGIAR, est titulaire d'un doctorat de phytogénétique. Avant de rejoindre le Secrétariat du CGIAR, il a été responsable de la recherche et de la formation au ministère de l'Agriculture des Philippines, président du département d'agronomie et directeur adjoint de l'Institut d'amélioration des plantes de l'Université des Philippines à Los Bagnos.

de recherche et de gestion, et varie en fonction de la perception des organismes et des acteurs impliqués. (Liu et Taylor, 2002).
Concepts :
• L'hydrologie spatiale : stabilité des écosystèmes
• L'interconnexion entre les paysages
• Les activités humaines : le principal facteur de l'évolution des paysages au niveau planétaire
• La structure et les fonctions du paysage sont variables dans le temps et l'espace en raison des perturbations naturelles et anthropiques. (Liu et Taylor, 2002).
• Hiérarchisation naturelle qui se présente selon une classification à quatre niveaux : 1) géologie, 2) espèces ou population, 3) communauté ou écosystème, 4) paysage (Ro et Hong, 2007).
Module 3: De la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) au Nexus Eau-Energie-Nourriture et Écosystèmes. Après avoir abordé les règles régissant la gestion de l'eau ainsi que leur mise en œuvre, ce troisième module traite des questions d'intersectorialité de la ressource en eau. Il se concentre sur deux concepts avec tout d'abord celui de la Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) visant à développer une gestion coordonnée des ressources en eau et de ses ressources associées. Puis, nous aborderons l'approche dite du Nexus Eau-Energie-Nourriture et Écosystèmes pour une considération Orange and others published Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables tropicales | Find, read and cite all the research you need on ResearchGate. De plus, le système d'exploitation actuel des ressources et le fonctionnement hydrologique font du DIN un écosystème complexe à gérer. Dans ces travaux, nous adoptons une approche intégrée et pluridisciplinaire pour aborder la problématique de gestion des ressources du DIN. L'approche mobilise l'hydrologie, la sociologie, l'agronomie et l'économie. L'analyse des données hydrologiques a permis de mettre en évidence une différence significative entre les dates de passage des maximums des fleuves Niger et Bani qui alimentent le DIN.