

sciences au sud

Spécial 2003
Année de l'eau douce

Le journal de l'IRD

Les méandres de l'eau

Editorial

Les chercheurs, l'eau et le caché

par Anne Coudrain, hydrologue, IRD

L'amplitude et la rapidité des changements récents de notre planète sont sans précédents dans l'histoire. Un défi majeur de la recherche est de produire des éléments de connaissance pour accompagner l'adaptation des sociétés à l'évolution rapide de leur environnement.

Dans le domaine de l'eau douce, des recherches portent sur les évolutions des besoins et de la disponibilité. Ces deux volets nécessitent en effet des recherches approfondies en raison des difficultés à rendre compte de l'interaction entre différents phénomènes qu'ils soient du domaine socio-économique pour le premier ou hydrologique pour le second. À ces approches essentielles, il faut sans doute aussi ajouter un volet plus secret, comme le montrent des travaux sur la gestion du linge domestique¹ : « Les acteurs ont rarement conscience du rôle décisif des habitudes acquises les plus élémentaires. Ils s'imaginent que leur imaginaire dessine l'avenir sinon en toute liberté du moins en confrontation unique avec des contraintes extérieures. Or le cœur de la détermination est en eux-mêmes, dans le capital de manières qui constitue le fonds de leur identité, limite les possibles et parfois secrète subtilement la matière des scénarios du futur. » La substance de cette réflexion sur le couple et son linge n'est-elle pas déclinable sur la société et son eau ? Les règles de bonnes pratiques de l'homme sur son jardin planétaire pourraient intégrer les nouvelles connaissances scientifiques et aussi les fondements du capital identitaire et imaginaire.

Par ses missions, l'IRD a un rôle pivot auprès de ses partenaires du sud comme du nord pour aiguiller des recherches intégrant ces deux volets et dans lesquelles de multiples acteurs ont un rôle attendu.

1. Jean-Claude Kaufmann, *La trame conjugale, analyse du couple par son linge*. Pocket.

L'eau et les philosophes

par Marcel Conche, philosophe

La rédaction a demandé au philosophe Marcel Conche l'ouverture de ce travail de réflexion sur l'eau. Face aux enjeux pour l'avenir de la planète, nous ne doutons pas, en effet, qu'il soit de ceux qui peuvent nous aider à renouveler notre vision du monde.

L'eau est très présente dans les philosophies de la nature, autant dire dans les philosophies grecques¹. Au Moyen âge, la philosophie est servante de la théologie ; à l'époque moderne, depuis Descartes, les philosophies dominantes ne sont encore que des philosophies théologisées. Chez Descartes, Kant, Hegel, la nature brille par son absence, cela même dans la prétendue Philosophie de la nature de Hegel, qui n'est qu'une épistémologie des sciences de la nature. Encore faut-il remonter à la plus ancienne philosophie grecque, celle d'avant Socrate, alors que la Nature (*Physis*) omnienglobante est l'unique force créatrice et génératrice de tout ce qui est.

Or, si la nature, telle qu'elle se donne à nous, est toujours là, c'est en changeant sans cesse. L'eau est la métaphore de ce changement universel. L'image du fleuve est attachée au nom d'Héraclite, pour qui « on ne peut pas entrer deux fois dans le même fleuve », car le fleuve n'est que de l'eau, mais ce n'est jamais la même eau. Cela signifie

qu'il n'arrive jamais deux fois la même chose. Certes, la nature a ses « saisons » (*horai*), ses habitudes ; elle se répète, car elle aime les rôles qu'elle a déjà joués et les joue toujours à nouveau, mais avec des acteurs différents.

Mais l'eau ne fournit pas seulement la métaphore du changement. Elle vaut aussi comme Source. Thalès en fait le « principe » (*archè*) des choses, c'est-à-dire non seulement l'élément primordial et ce d'où tout vient, mais aussi ce qui remplit tout l'espace et au sein de quoi s'est engendré le monde. Cette doctrine est celle même que l'on retrouve dans les anciens papyrus d'Égypte, où on lit : « au commencement était le Nou, masse liquide primordiale dans les profondeurs infinies de laquelle flottaient, confondus, les germes des choses ». Toutefois, Thalès explique que ces germes eux-mêmes, et les semences des animaux, ont une nature essentiellement aqueuse. Tout provient de l'eau universelle et tout y retourne. Ce à quoi il faut faire appel pour chercher l'explication de tout, ce ne sont pas des êtres mystérieux et



© IRD/A. Laraqe

Rocher de Cocuy dans le haut bassin du Rio Negro.

inconstatables, mais la substance la plus commune, la plus familière et d'ailleurs la plus nécessaire, que l'homme peut observer à loisir et sous tous ses aspects. La réalité est connaissable, du moins si l'on suit une méthode rationnelle qui prenne appui sur l'observation et l'expérience : tel est le rationalisme de Thalès, qui, désormais, appartiendra de plein droit au philosophe autant qu'au savant.

Pour les philosophes de l'époque classique de la Grèce et de l'époque hellénistique, l'eau n'a plus la signification universelle que Thalès lui attribuait. Elle est l'un des quatre éléments primordiaux qu'Empédocle a distingué, à côté du feu, de l'éther et de la terre. L'eau est, pour Aristote, l'objet d'une analyse qualitative, tandis qu'Épicure s'intéresse à la structure atomique de l'eau. Pour Empédocle, la terre et l'eau s'opposent comme le sec et l'humide, tandis que l'air et le feu s'opposent comme le froid et le chaud. Aristote complique cette

analyse. Chaque élément réalise l'union de deux qualités fondamentales : le feu est sec et chaud, l'air chaud et humide, l'eau humide et froide, la terre froide et sèche. Entre deux éléments, il y a toujours au moins une contrariété, ce qui rend possible la transmutation d'un élément dans l'autre, cela grâce au support de tous les éléments, la matière indéterminée, capable de recevoir tour à tour les qualités contraires. Il faut ajouter que les éléments sont doués de mouvements naturels, ceux de l'air et du feu vers le haut – vers la périphérie du monde –, ceux de l'eau et de la terre vers le bas – vers son centre. Ces mouvements naturels des éléments pour rejoindre leur lieu propre provoquent entre eux de perpétuels conflits et d'incessantes transmutations – non sans qu'intervienne une influence périodique : l'alternance des saisons, dépendante des révolutions du Ciel.

(suite p. 8)

Le défi d'une gestion par bassin

Entretien avec Frank Rijsberman, directeur de l'Institut international de gestion des ressources en eau (IWM)



© IRD/O. Dargouge

décennies, on a compris l'intérêt d'une gestion de l'eau au niveau du bassin versant où l'on rencontre tous les besoins et tous les utilisateurs.

Pour nous, le plus important est de faire la liaison entre les différentes échelles. Par tradition, l'eau est gérée de façon très sectorielle, les gens qui gèrent l'eau pour l'agriculture ne connaissent pas ceux qui s'occupent d'approvisionnement en eau potable et vice-versa.

Comment faire pour changer cette vision ?

Il existe plusieurs grandes initiatives internationales auxquelles nous participons. *Dialogue sur l'eau pour l'agriculture et l'environnement* tente de confronter les besoins et les avis des utilisateurs. C'est une initiative conduite par 10 organisations internationales, l'IWMI mais aussi la FAO, l'OMS, l'IUCN, etc.² L'action, *Comprehensive assessment of water management in agriculture* cherche à tirer des leçons du passé, à évaluer le potentiel des innovations et à identifier les besoins en recherche. L'IWMI coordonne cette action à laquelle participent tous les centres du CGIAR, ainsi que d'autres organismes partenaires comme la FAO et des représentants de différents utilisateurs. Enfin, nous avons récemment lancé un

programme de recherche dont l'IRD est un partenaire, le *Challenge program* Eau et alimentation.

Dans quelle mesure, ce dernier représente-t-il une démarche nouvelle ?

Pour la première fois, tout le système de recherche international sur l'agriculture a mis l'eau au premier rang de ses priorités. Auparavant, le financement était concentré sur les centres et leur mandat : le riz, le maïs, etc. Aujourd'hui, nous avons décidé de cibler quelques grandes questions de sociétés. Il y en aura peut-être quatre ou cinq, les deux premières concernent l'eau et l'alimentation et la « bio-fortification » (amélioration des plantes pour la qualité nutritive). D'un autre côté, nous essayons de coordonner les actions de façon beaucoup plus proche avec les centres de recherche, et de renforcer les liens entre les structures scientifiques des pays du Sud et les institutions du Nord.

Dans quelle mesure l'approche par bassin versant se heurte-t-elle aux conflits entre les différents pays traversés par un même fleuve ?

Nous avons clairement vu, en sélectionnant les bassins pour le *Challenge program*, qu'il y avait là une première

approche que notre action pouvait soutenir. Ainsi, par une série de conférences (Nile Conférences), au cours des dix dernières années, les pays du bassin du Nil ont développé une coopération, la Nile Basin initiative, qui comprend un conseil de ministres, un secrétariat technique et un grand programme soutenu par la Banque mondiale et le Pnud. Dans un tel contexte, le *Challenge program* peut avoir un grand impact.

Pouvez-vous nous citer des faits marquants ces dernières années ?

En Inde, par exemple, le problème le plus critique est la sur-utilisation de l'eau souterraine. Dans le nord du pays, en une trentaine d'années, le niveau de l'eau souterraine est passé d'une dizaine de mètres à 150 m en dessous de la surface. Parallèlement, on observait un des plus grands succès de l'agriculture indienne, souvent montré en exemple. Mais en une génération, la ressource sur laquelle était fondé ce succès a été épuisée. Aujourd'hui, plus de 50 % des puits sont taris, parce que les paysans, fortement soutenus par les gouvernements, notamment avec des tarifs privilégiés pour l'électricité, pompent l'eau jusqu'à la dernière goutte.

(suite p. 2)

Gérer les flux

La limite maximale des ressources en eau douce, accessibles à l'homme, a été identifiée comme le quart environ des 40 000 km³ qui s'écoulent chaque année vers les océans. La connaissance de cette limite, si proche des besoins actuels de l'humanité, a donné une impulsion aux études sur la gestion de l'eau. La répartition très hétérogène de cette ressource et les changements hydrologiques en cours et à venir imposent aux sociétés d'explorer les possibles conséquences des choix d'un jour. En ce sens, les simulations expérimentales des modèles de gestion intégrée sont essentielles.

Ouvrages titanesques ... ici ou ailleurs

par Jean-Marie Fritsch, hydrologue, IRD

Parmi tous les éléments que l'Homme s'est approprié sous le concept de ressources naturelles, l'eau douce, cette manne qui nous arrose et parfois nous inonde, mérite incontestablement le qualificatif de renouvelable.

L'ensemble des terres émergées de la planète reçoit, sous forme de pluie ou de neige, plus de 6 000 m³ d'eau par an pour chacun d'entre nous. Cette quantité sert à satisfaire nos besoins essentiels (boisson, hygiène et alimentation), notre confort, nos activités économiques, mais aussi pour assurer notre quote-part de l'équilibre environnemental global. Cependant, les ressources en eau douce sont dépendantes des contrastes et de la variabilité du climat. Une variabilité grande dans l'espace, comme l'atteste la diversité des paysages allant de la forêt tropicale aux déserts. Une variabilité grande dans le temps pour un lieu

donné, marquée par le rythme des saisons et les changements climatiques. Pour pallier les irrégularités du régime des pluies, des réserves-tampons naturelles ont très tôt été mises à profit. Le cours des rivières pérennes, les mares, les lacs et des puits dans les nappes d'eaux superficielles, ont en effet permis à d'importantes populations sédentaires de satisfaire leurs besoins. Une étape supplémentaire a été franchie lorsque la réalisation de canaux, tunnels, aqueducs, systèmes d'élévation et autres travaux hydrauliques, a permis de s'affranchir de cette contrainte d'établissement à proximité immédiate de la réserve. Ceci en apportant l'eau où on le souhaitait, avec la possibilité de la distribuer aux habitants et de la répartir sur l'ensemble des terroirs cultivés. Des jardins suspendus de Babylone aux temples d'Angkor, des citernes de Constantinople à la machine de Marly, le répertoire des lieux historiques, témoignent de l'ingéniosité dont ont fait preuve les sociétés humaines pour garantir leur alimentation en eau, est quasiment infini. Ces systèmes de distribution étaient généralement asso-



© IRD/J.-P. Montoroi

Canal d'irrigation, Égypte.

ciés à des réserves d'eau artificielles stockées derrière des barrages en terre ou en maçonnerie. Au xx^e siècle, particulièrement après 1930, les besoins de la civilisation industrielle, avec les possibilités technologiques qu'elle offrait, ont amené à la construction de barrages d'une tout autre dimension. Des barrages capables de retenir plusieurs centaines de milliards de m³ derrière des digues et dont la hauteur se compte en centaines de mètres, créant ainsi des lacs étendus sur plusieurs dizaines de milliers de km². De plus, l'eau n'est plus seulement source de vie mais devient un ingrédient majeur pour la production de quantités considérables d'énergie électrique. Or, l'image de la conquête et de la domestication des grands fleuves de la planète, qui a été perçue comme une épopée du développement au siècle dernier, est aujourd'hui singulièrement écornée.

De nos jours, les civilisations remettent en cause le gigantisme de ces interventions. En effet, l'implantation s'accompagne d'impacts considérables et parfois insoupçonnés et irréversibles sur l'environnement. De plus, la réalisation a pu infliger d'insupportables traumatismes à certains groupes humains, qui de surcroît ne pouvaient être liés aux bénéfices que procuraient ces aménagements. Cette réflexion a fait son chemin dans les pays développés, au point qu'il est généralement hors de question d'envisager la construction de nouveaux barrages de grande ampleur.

Ceci n'est en fait pas contraignant outre mesure puisque l'aménagement des cours d'eau est déjà très avancé et les demandes en eau auraient plutôt tendance à se stabiliser. Plus encore, il serait économiquement plus rentable d'effacer un ouvrage, recueillant ainsi tous les satisfécits en matière environnementale, plutôt que de le réhabiliter. Il existe cependant, en cette matière, un clivage très marqué entre pays du Nord et pays en développement. Ces derniers voient leurs infrastructures hydrauliques inachevées, leur population croissante, les besoins en production de nourriture considérables et leur dépendance énergétique vis à vis de produits pétroliers insupportable. Ainsi, des travaux hydrauliques titanesques sont programmés ou en cours, notamment en Asie et au Proche Orient. La controverse est vive et sa résolution doit forcément s'inscrire dans l'acceptation la plus large du concept de développement durable et d'une recherche pour le développement. C'est dans ce cadre que doit être appliqué le principe de la gestion intégrée des ressources en eau, qui en associant tous les acteurs concernés, doit assurer tout à la fois la dignité et le bien être des hommes, la préservation des écosystèmes et la richesse des sociétés. ●

Contact

Jean-Marie Fritsch
fritsch_j@gateway.wmo.ch

Le défi d'une gestion par bassin (suite de la p. 1)

entretien avec Frank Rijsberman, directeur général de l'IWMI



© IRD/J.-P. Montoroi

Il existe en Inde, comme en Chine, un lien très fort entre l'eau et l'électricité. Les fournisseurs d'électricité, au bord de la faillite dans plusieurs États de l'Inde, ne veulent plus soutenir ce système et livrer de l'électricité aux fermiers pour presque rien. Il y a en Inde une grave situation de dé-électrification. Nous essayons à l'IWMI de trouver des solutions durables pour la production agricole comme pour la production électrique.

Que préconisez-vous ?

Il est couramment admis que le fermier doit payer individuellement pour son électricité. Cela peut paraître logique et économique, mais c'est difficile à réaliser parce qu'il y a des millions de petits fermiers. Nous pensons alors qu'on pourrait ne pas mesurer individuellement la quantité d'électricité délivrée mais simplement fournir 6 ou 8 heures à taux fixe afin de mieux harmoniser la disponibilité en électricité avec les besoins des fermiers. Une autre cause du problème, en Inde, tient à l'irrigation de la luzerne, utilisée pour nourrir les vaches laitières, qui consomme énormément d'eau. Nous cherchons à faire évoluer la pratique en proposant des plantes moins exigeantes et des systèmes d'agricultures plus durables. Nous réalisons des expériences de micro-irrigation et tentons d'obtenir une implication plus importante des fermiers pour

réduire leur consommation. Bref, plusieurs approches différentes sont suivies simultanément.

Dans la situation que vous nous décrivez, que se passe-t-il pour la recharge des nappes souterraines ?

C'est une question que nous étudions aussi, notamment les méthodes permettant de concentrer les eaux de ruissellement pour accélérer cette recharge. Des ONG pratiquent par exemple la collecte des eaux de pluie au moyen de petits barrages dans des rivières qui ralentissent l'écoulement ou en utilisant des puits de grand diamètre. Certains craignent des risques graves d'engorgement par les boues, mais les ONG ont mis en place des milliers d'essais et nombre de villageois témoignent du fait qu'avec ce dernier système ils disposent désormais d'eau pendant toute la saison sèche. ●

Contact

www.iwmi.org

1. L'Institut international de gestion des ressources en eau (IWMI) est l'un des 16 centres de recherche du Groupe consultatif de recherche internationale en agriculture (CGIAR). Il a son siège à Colombo au Sri Lanka.
2. FAO, Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation ; OMS, Organisation mondiale de la santé ; IUCN, Union internationale de protection de la nature.

Le temps du Niger

par Patrick Le Goulven, hydrologue, IRD

Depuis 2001, le Cemagref, le CIRAD et l'IRD collaborent au sein du Programme commun des systèmes irrigués. Un programme destiné à caractériser le fonctionnement des systèmes irrigués à différentes échelles, mais aussi d'élaborer des outils et des méthodes de gestion concertée de l'eau adaptée aux contextes socio-économiques des grandes régions irriguées. Les chercheurs travaillent aussi sur des formes d'exploitation durables des aménagements hydro-agricoles et des bassins versants. Dans un contexte de préoccupations majeures autour des problèmes liés à l'eau, le ministère des Affaires étrangères a demandé aux équipes du Programme commun des systèmes irrigués d'élaborer en 2003 un projet visant à intégrer le Niger comme bassin de référence du Challenge program « eau et alimentation ». L'objectif étant de mener une recherche commune sur les trois bassins Limpopo, Mékong et Niger qui présentent une diversité de problématiques de gestion de l'eau, dans des schémas institutionnels et politiques transfrontaliers complexes. ●

Contact

Patrick Le Goulven, Patrick.LeGoulven@mpl.ird.fr

Challenge program Un intérêt manifeste

Pour le premier appel à manifestations d'intérêt du Challenge program « eau et alimentation », neuf bassins versants ont été retenus, ils couvrent toutes les grandes régions et tous les grands agro-écosystèmes. Les 5 thèmes scientifiques concernent la productivité agricole de l'eau, les bassins amont, la pêche et les écosystèmes aquatiques, la gestion intégrée des bassins et le système global eau et alimentation.

Plus de 340 manifestations d'intérêt ont été reçues. Après l'évaluation par une trentaine d'experts, le comité de pilotage réuni à l'IRD les 2 et 3 juin 2003 a retenu quelque 97 propositions pour l'étape finale de sélection. Les neuf bassins ont fait l'objet de propositions (d'une dizaine à près de quarante propositions par bassin), l'Afrique et l'Asie attirant davantage de propositions. Vingt-quatre projets concernent trois bassins ou plus. En ce qui concerne les thèmes, la gestion intégrée intéresse plus de la moitié des projets (thème principal ou secondaire), viennent ensuite la productivité agricole et les bassins amonts. Le thème Ecosystèmes et pêche concerne 15 % des projets. Enfin, les 97 propositions retenues concernent 461 partenaires avec une forte participation des institutions scientifiques des pays du Sud (251).

Afin de mettre tous les candidats sur un pied d'égalité, l'IWMI organisera dans les semaines à venir un atelier pratique sur la présentation et la rédaction d'une réponse à un tel appel d'offre international. ●

Ça résonne dans les eaux souterraines !

par Henri Robain et Jean-Michel Vouillamoz, géophysiciens, IRD

Un gain de connaissances du milieu souterrain par prospection géophysique de surface par rapport à la prospection directe par forages s'avère être rentable à la fois en terme économique et de spatialisation de l'information. L'IRD et Action contre la faim mènent un projet de recherche sur la Résonance magnétique protonique depuis 1999.

Cette nouvelle méthode, testée dans différents contextes géologiques en France, est particulièrement intéressante pour les régions arides, où les seules ressources en eaux sont les nappes souterraines. Anatoly Legtchenko, qui vient d'être recruté comme directeur de recherche à l'IRD, était membre de l'équipe géophysique du BRGM. Associé à IRIS Instruments, il a développé un outil réellement adapté au terrain. Ensemble, ils ont construit l'appareillage Numis en 1996.

Sur quel principe repose la RMP ? Sur la résonance des protons de l'eau pour un signal électromagnétique de fréquence donnée. Ce signal modifie l'équilibre énergétique des noyaux d'hydrogène des molécules d'eau présentes dans le sous-sol. Il est obtenu par la circulation dans une boucle de câble posée au sol d'un courant qui peut atteindre quelques centaines d'ampères, produit par une tension électrique de plusieurs milliers de volts. Après une injection de quelques dizaines de millisecondes, le courant est coupé et le signal de relaxa-

Concertation en Équateur

par Thierry Ruf, agro-économiste, IRD

Les communautés rurales, indiennes et métis, qui partagent les ressources en eau du versant du volcan Chimborazo rejettent catégoriquement l'idée de privatiser l'eau et ce malgré les conflits de répartition et des difficultés économiques.



Santa Rosa, près d'Ambato, province du Tungurahua, Équateur, les femmes irriguent les champs.

Lors du 2^e forum national de l'eau (Quito, 8 et 9 mai 2003), devant 700 participants venus de toutes les provinces et horizons professionnels, les nouvelles autorités équatoriennes ont annoncé la mise en chantier d'un processus de refonte complète du cadre juridique de la gestion de l'eau. La politique sera orientée par la recherche de l'équité sociale dans l'accès à l'eau, notamment en matière d'irrigation et d'eau potable dans le monde rural. Le ministre de l'Environnement a déclaré que « jamais l'eau ne serait privatisée en Équateur, car elle demeurera un bien public commun ».

Pourtant les choses n'ont pas toujours été aussi évidentes ! La réorganisation du secteur économique de l'eau, en particulier dans le domaine de l'irrigation, était déjà prévue en 1994 dans le contexte d'ajustement structurel de l'Équateur. Les gouvernements équatoriens des années

1994-2002 ont tenté d'appliquer une politique nouvelle de l'eau en dissolvant l'Instituto Ecuatoriano de los recursos hídricos (INERHI). Une gestion par bassins versants était recommandée et une nouvelle loi de privatisation de l'eau était exigée par les bailleurs de fonds. Pour appuyer ces réformes, la Banque mondiale avait financé une équipe d'assistance technique. L'instabilité politique du pays et les multiples révoltes indiennes ont conduit à repousser plusieurs fois la mise en place d'une nouvelle loi sur l'eau. Cependant, sur le terrain de l'agriculture andine, là où les besoins en eau s'accroissent avec l'intensification culturale et l'extension des réseaux traditionnels d'irrigation, la réflexion sur la gestion de l'eau a largement progressé. Elle associe dorénavant aux dimensions techniques et économiques celles de la société et de l'environnement. L'IRD, qui a contribué de 1986 à 1994 à cerner l'importance des réseaux d'irriga-

tion communautaires des Andes, a assuré un suivi régulier des politiques de l'eau et appuyé l'émergence d'une professionnalisation des ONG dans les approches en gestion sociale de l'eau. L'UR44, Dynamiques sociales de l'irrigation, poursuit donc cet accompagnement en participant au débat national engagé depuis 2002 pour une réforme profonde du secteur de l'eau. Dès sa création, l'UR a organisé la sauvegarde des inventaires réalisés dans le cadre de la coopération Orstom - Inerhi (1986-1992) car toutes les informations cartographiques avaient été perdues ou détruites après le démantèlement de l'Inerhi en 1994. De 1999 à 2002, avec des moyens scientifiques et en personnel limités, l'information a été reconstruite dans un système d'information géographique. Elle a ensuite été restituée à l'ensemble des acteurs de l'eau en Équateur : Conseil national des ressources hydriques, Confédération des conseils provinciaux, consortium de formation professionnelle à la gestion des ressources naturelles (CAMAREN), ONG et équipes de recherche ou d'enseignement.

En parallèle au forum national sur l'eau, s'est tenue un séminaire franco-équatorien sur la mise en place d'un système de recherche sur les problèmes agraires de l'Équateur (SIPAE). Ce séminaire organisé à l'initiative des ONG, des universités et de l'IRD a aussi impliqué les principaux établissements de recherche et de formation supérieure français traitant du développement rural (INRA, CIRAD, CNRS, INAPG, ENSAR, CNEARC). L'UR44 soutient le projet et engage une nouvelle coopération à la demande des acteurs de l'eau sur le volet d'accompagnement des forums régionaux de l'eau : un volontaire international et une doctorante vont prochainement s'insérer dans le SIPAE.

Contact

Thierry Ruf
thierry.ruf@mpl.ird.fr

tion des noyaux d'hydrogène est mesuré dans la même boucle. Ce signal protonique ne dépasse pas quelques centaines de nanovolts et pour les cas défavorables, il faut pouvoir apprécier des tensions de seulement quelques nanovolts. C'est un véritable défi qu'ont relevé Anatoly Legchenko et les ingénieurs de la société IRIS en réalisant Numis capable d'injecter des courants aussi forts et de mesurer des tensions aussi faibles. L'intérêt fondamental de cette méthode est de permettre une détection de l'eau seule. Les autres méthodes, électriques ou électromagnétiques par exemple, mesurent des paramètres correspondant à l'ensemble eau plus roche. Pour obtenir l'information recherchée de la présence d'eau en quantité suffisante pour être exploitable, ces méthodes doivent être associées à des reconnaissances par forages. En France, au Cambodge, en Inde, à Madagascar, au Burkina Faso, au Honduras et au Mozambique, la RMP a été testée dans divers contextes hydrogéologiques. En milieux volcaniques, comme au Honduras, l'aimantation des différentes couches de lave est très variable. Donc si on induit un champ magnétique de fréquence correspondant au champ de surface, il ne permet pas de faire résonner les protons recherchés à la profondeur cible. Au Mozambique, sur un vaste plateau



semi-aride marqué par la présence de grès siliceux (pluviométrie 400 mm/an), la salinité de l'eau souterraine peut être localement trop forte pour constituer une ressource pour les populations. L'utilisation conjointe de sondages électriques et de RMP a permis d'accroître le taux de succès des forages de 0 % à 66 %. Cette combinaison permet en effet à la fois de détecter la présence d'eau et sa minéralisation. Le développement de la géophysique

appliquée à l'hydrologie va certainement se poursuivre avec en particulier, la généralisation de l'utilisation de la RMP en région aride et la poursuite de travaux de recherche pour étendre les domaines d'application de la RMP.

Contacts

Anatoly Legchenko
Anatoly.Legchenko@bondy.ird.fr
Henri Robain
Henri.Robain@bondy.ird.fr



© IRD/J.-J. Braun



© IRD/J.L. Ruiz

Inde

Force de la nature

par Jean-Jacques Braun, hydrochimiste, IRD

Bangalore : depuis deux ans, l'IRD collabore avec l'Institut indien des sciences¹ au sein de la Cellule franco-indienne de recherche en sciences de l'eau (Cefirse).

Le Sud-Ouest de l'État du Karnataka, situé au sud de l'Inde, présente un contexte exceptionnel pour les études comparatives des facteurs environnementaux. Les Ghâts constituent une barrière orographique qui se dresse parallèlement à la côte ouest de la péninsule. À l'est des Ghâts, sur une cinquantaine de kilomètres, la pluie annuelle passe progressivement de fortes valeurs à l'ouest, comprises entre 2 000 mm à 6 600 mm, à seulement 500 mm à l'est. Au centre, la zone de transition correspond à une étroite bande forestière préservée des activités humaines. Cette ancienne zone de chasse des Marajahs de Mysore constitue la réserve de biosphère des Nilgiris reconnue patrimoine mondial par l'UNESCO. Elle héberge les dernières populations sauvages de tigres et d'éléphants du sous-continent dont la survie est menacée par le morcellement et la dégradation de leur habitat. De part et d'autre de cette bande préservée, deux zones, l'une humide et l'autre semi-aride, sont le lieu d'intenses développements agricoles et d'agroforesterie avec utilisation d'engrais chimiques et de pesticides. Les activités humaines perturbent particulièrement les hydrosystèmes de la zone semi-aride où les cultures sont irriguées par des eaux provenant du pompage souvent excessif des nappes phréatiques ou de canaux liés à des barrages. Cette zone, fortement tributaire des flux de moussons, connaît régulièrement d'importantes sécheresses. Pour palier le manque d'eau, le gouvernement indien a installé sur la haute Kabini, tributaire majeur du fleuve Kaveri, un barrage à vocation de stockage pour l'irrigation et de production d'électricité. Ce barrage marque la limite entre les parcs de Bandipur au sud et de Nagarhole au nord. Il y a une trentaine d'années, sa mise en eau a nécessité le déplacement des tribus riveraines, effectué non sans heurts, et leur installation sur de nouvelles terres gagnées au détriment des zones forestières protégées. Les autorités administratives du Karnataka se trouvent confrontées à deux besoins : préserver la réserve de biosphère de la bande forestière et favoriser le développement agricole en tenant compte des changements de la société. L'ensemble de l'observatoire naturel de la rivière Kabini, recoupe les trois zones climatiques et constitue un laboratoire unique pour les études des flux d'éro-

sion physique et chimique en relation avec la couverture de sols et les conditions hydroclimatiques. Le contexte particulier et les enjeux socio-économiques rencontrés dans la zone de transition ont conduit à identifier deux petits bassins versants expérimentaux au sein du parc national de Bandipur. Le bassin de Moole Hole (430 ha) est entièrement couvert par la forêt décidue. Celui de Kempena Hadi (458 ha, situé sur la rive sud du barrage de la Kabini), défriché il y a trente ans, est



Bassin versant expérimental de Kempena Hadi.

© P. Curmi/IRD

partiellement mis en culture par les paysans qui ne pratiquent que des cultures pluviales (coton, oignons, ragi). L'étude en parallèle de ces bassins proches et semblables quant à leur substratum rocheux et leurs caractéristiques morpho-pédologiques permettra de caractériser l'influence d'une mise en culture prolongée. Ces bassins expérimentaux, intégrés dans le programme ORE BVET², fourniront des données scientifiques nécessaires pour reconstituer l'histoire des formations supergènes tropicales et pour prévoir leur évolution dans des milieux à faible ou à forte pression démographique.

Contact

Jean-Jacques Braun
braun@civil.iisc.ernet.in

1. Voir *Sciences au sud*, n° 8, « L'expérience de l'IRD en partage », p. 5.
2. Le programme ORE (Observatoire de recherche en environnement) BVET (Bassins versants expérimentaux tropicaux), lancé en France par le Ministère de la Recherche et des Nouvelles Technologies, vise au suivi sur le long terme des paramètres hydrogéochimiques. Voir *Sciences au sud*, n° 19, « Les bassins versants expérimentaux tropicaux », p. 6.

Parer les excès

Les sociétés humaines, rassemblées pour moitié dans des zones urbaines, et les écosystèmes sont soumis à des aléas de nature variée. Parmi les catastrophes, 90 % sont liées à l'eau. Alors que les besoins en terre arable, comme ceux en eau douce, tendent vers les limites du disponible, des phénomènes liés à l'eau (érosion, salinisation, extension de zones inondées) rendent impropres à l'agriculture des surfaces considérables. La santé enfin : au Brésil, 70 % des lits d'hôpitaux seraient occupés par des malades affectés par des maladies liées à l'eau. Savoirs et analyses, associés à l'humble déclaration de leurs limites, pourront-ils inverser la tendance ?

Les villes aux risques de l'eau

par Dominique Couret, géographe, IRD

Le choix du meilleur équipement, au détriment de solutions intermédiaires plus accessibles, conduit parfois à aggraver les risques urbains liés à l'eau.

Les grandes villes du Sud sont généralement des villes en forte croissance, où l'expansion du tissu urbain et de l'espace habité est, en bien des lieux, préalable à la mise en place des infrastructures d'approvisionnement en eau, d'évacuation des eaux usées et de canalisation des ruissellements. Les populations de ces villes sont donc souvent plus vulnérables que d'autres dans la mesure où elles doivent fréquemment inventer des solutions intermédiaires pour accéder à l'eau et à un environnement urbain viable. De plus, sur certains sites, comme les pentes de Quito ou d'Addis-Abeba mais aussi celles du plateau d'Abidjan, les fortes pluies saisonnières créent des situations à risque liées au ruissellement : érosion intensifiée des sols découverts par l'urbanisation, nouveaux axes de flux mettant en danger des quartiers aval, renforcement de la force des cours d'eau décuplant leur faculté érosive sur leurs berges, etc.

Cette conjonction de manque d'infrastructure et de fortes pluies est aussi un facteur de risque sanitaire accru : aires de stagnation des eaux, débordement des fosses septiques et puisards...

Les risques urbains liés à l'eau sont donc très divers. Ils varient selon la situation de l'équipement, le site et le climat propre à chaque ville. Ils peuvent aussi être démultipliés par certains aménagements urbains. Ainsi, dans bien des cas, le choix d'un réseau d'évacuation des eaux usées séparatif fait que les flux de ruissellement ne sont ni gérés, ni canalisés.

L'eau est un enjeu vital et un bien commun dont l'accès est largement subventionné. Les modes d'équipement moderne les plus souvent développés sont des réseaux centralisés d'eau et d'évacuation des eaux usées¹. Ils coûtent cher et sont souvent réalisés à partir de crédits internationaux à très long terme alors qu'il reste très difficile d'en faire supporter le coût aux populations. De plus, ce mode réseau est très inégalitaire dans ses résultats : la partie des villes la mieux équipée est le plus souvent la plus centrale ou celle des plus nantis. La technologie du réseau est la solution qui correspond à la meilleure option du

point de vue de la qualité de l'eau potable comme de l'environnement urbain. Dans les villes européennes, elle a permis d'envisager une condition sanitaire proche du risque zéro. Mais ceci n'est vrai que lorsque le contrôle des eaux est presque parfait. Dans le contexte des grandes villes du Sud, en revanche, ce choix est créateur de situations à risques supérieurs. En effet, dans l'attente d'un développement exhaustif réel des réseaux, aucun investissement n'est accordé à des solutions alternatives existantes, certes moins satisfaisantes, mais économiquement et socialement plus viables.

L'amélioration de la gestion des villes des Suds passe peut-être par cette perception transformée des risques liés à l'eau : le risque zéro étant impossible à atteindre, comment concevoir une amélioration de l'existant pour diminuer la vulnérabilité des populations ?

Contact

Dominique Couret
Dominique.Couret@bondy.ird.fr

1. Les eaux vannes sont les eaux des installations de type wc. Elles nécessitent un traitement avant d'être rejetées dans la nature.



Du sel dans la rizière

par Roland Poss, pédologue, IRD

La salinisation, qui progresse à un rythme alarmant dans les rizières du nord-est, risque de devenir le plus important problème environnemental auquel sera confrontée la Thaïlande dans les prochaines années.



Le Land Development Department, principal partenaire de l'UR Ariane* en Thaïlande, suit par satellite l'extension des taches de sel à la surface des sols. Ce problème est apparu au cours des trente dernières années dans une région grande comme le tiers de la France. C'est une conséquence directe, sur les nappes phréatiques, de la déforestation qui a débuté il y a une cinquantaine d'années. Grâce à leurs racines profondes, les arbres utilisaient l'eau des nappes phréatiques pendant la saison sèche. Les cultures qui les ont remplacés ont un système racinaire beaucoup plus superficiel et ne consomment donc que très peu d'eau pendant cette saison. Il s'en est suivi une remontée spectaculaire du niveau de nappes phréatiques, qui se situe maintenant souvent à moins d'un mètre de la surface en bas de versant. Or les roches contiennent des lentilles de sel qui salinisent l'eau des nappes. L'eau des nappes remonte par capillarité lorsque la surface du sol s'assèche ; l'eau s'évapore, reste le sel. Il se concentre à la surface du sol et, au-delà d'une certaine concentration, interdit toute agriculture. Les organismes de recherche et de développement thaïlandais ont testé toutes les solutions classiques : reboiser les versants pour tenter de retourner à la situation antérieure ou mettre en place des plantes résistantes au sel en bas de versant pour augmenter la profondeur de la nappe phréatique. Aucune solution n'est généralisable à

l'échelle régionale. Les chercheurs thaïlandais en ont conclu qu'il fallait peut-être aborder le problème d'une manière différente. Ce fut l'origine de la collaboration avec l'IRD. L'UR Ariane a abordé le problème par deux voies complémentaires : déterminer les mécanismes locaux de l'extension du sel et contribuer à une analyse scientifique des pratiques paysannes. Contrairement à ce qui est généralement admis dans cette région, les premiers résultats montrent que la remontée du sel est moins liée à la profondeur de la nappe qu'aux propriétés de transfert de l'eau dans le sol. La manipulation des propriétés physiques du sol pourrait donc être une option. Par ailleurs certaines stratégies paysannes, fondées sur la gestion de l'eau d'irrigation et sur l'apport de matière organique, se révèlent étonnamment efficaces. Mais il reste encore beaucoup à comprendre avant de voir ce savoir traditionnel, revisité par la science, être traduit en options de mise en valeur...

Contact

Roland Poss
roland.Poss@mpl.ird.fr

<http://www.mpl.ird.fr/ariane/>
<http://www.ird.sn/activites/ariane/>

* UR067 Ariane (IRD) : Les sols cultivés à fortes contraintes physico-chimiques des régions chaudes. Constituants, transferts et dynamiques rapides de dégradation.

H₂O mon amour, pas si sûr !

par Jean-François Guégan, épidémiologiste, IRD

L'augmentation des périmètres irrigués et de la riziculture dans les zones inter-tropicales a entraîné une apparition locale de nombreuses maladies, et l'augmentation de l'incidence de certaines autres. C'est un constat. Où il y a de l'eau, il y a de la vie sous toutes ses formes !

Que ce soit pour tout ou partie de leur cycle, l'eau est le biotope de nombreuses espèces animales, parmi lesquelles des arthropodes, ailés ou non, vecteurs de nombreuses maladies (paludisme, dengues, fièvre jaune, nématodes, ...) et des mollusques vecteurs de parasites (bilharzioses, ...). Certains rongeurs, réservoirs de maladies, sont également dépendants de la présence d'eau.

L'augmentation des périmètres irrigués et de la riziculture dans les zones inter-tropicales a entraîné une apparition locale de nombreuses maladies, et l'augmentation de l'incidence de certaines autres. C'est un constat. Où il y a de l'eau, il y a de la vie sous toutes ses formes !

Les modifications locales ou régionales, aménagements hydro-agricoles, riziculture, petits et grands barrages, etc., peuvent favoriser le développement de nouveaux gîtes pour ces espèces indésirables. En outre, ces points d'eau favorisent les contacts entre les vecteurs, réservoirs ou agents pathogènes, et de nouvelles populations humaines ou animales.

Par exemple, la création de nombreuses pièces d'eau (barrages collinaires), comme au Burkina Faso (voir encadré), peut être le prélude à l'installation de nouveaux moustiques vecteurs de maladies. On a démontré que la densité de moustiques adultes dans une zone est inversement proportionnelle à son éloignement d'une pièce d'eau : autrement dit, plus on s'éloigne d'un petit barrage ou d'une rizière propices au développement larvaire, plus la densité de moustiques décroît, diminuant d'autant les risques de contamination.

Sans doute plus encore que le nombre de nouveaux périmètres aquatiques, leur densité, c'est-à-dire le réseau qu'ils forment entre eux, constitue un para-

mètre à considérer. Les moustiques, par exemple, ayant des capacités migratrices relativement faibles, une contiguïté plus importante entre pièces d'eau devrait favoriser une meilleure colonisation. Cette organisation des populations animales en réseaux, comme pour les moustiques, pose naturellement le problème de l'éradication des maladies. Une éradication locale sera inefficace si elle peut être immédiatement « comblée » par l'arrivée de nouveaux individus issus d'une autre pièce d'eau.

La présence d'eau est aussi l'élément attracteur d'une diversité biologique faunistique et floristique importante, et donc de bactéries, de virus, de champignons, d'helminthes, espèces associées et potentiellement dangereuses pour l'homme. L'envahissement, par la jacinthe d'eau, des lacs, rivières et fleuves d'Afrique, a entraîné le déve-

loppement des bactéries *Vibrio*, dont *Vibrio cholerae*, responsable du choléra dans les populations humaines.

Il n'est pas dans notre propos de remettre en question la mise à disposition des populations de réserves d'eau nécessaires à leur vie, mais l'on doit s'interroger, le plus en amont possible, sur les effets induits néfastes pour la santé de ces mêmes populations. C'est ce type de recherche intégrative et prospective que se propose de réaliser un programme international « Global Environmental Change and Human Health » de l'Earth Science System Partnership, sous l'égide des 4 grands programmes des Nations Unies IHDP, WCRP, IGFB et Diversitas. Fortes de leur expérience tropicale de recherche transversale et multidisciplinaire, les équipes de l'institut sont fortement impliquées dans trois de ces programmes.

Contact

Jean-François Guégan
guegan@mpl.ird.fr

IHDP : International human dimension project.
WCRP : World change research program.
IGFB : International geosphere biosphere program.

Les eaux du Burkina Faso

Entièrement situé sur le territoire burkinabé dans la région la plus anthropisée du pays, le bassin versant du Nakambé a une surface de 20800 km². S'intéressant aux volumes d'eau stockés dans les retenues pratiquées sur le bassin, des chercheurs de l'UR50 ont répertorié 242 réservoirs en 1994 dans cette zone sur 1456 pour la totalité du Burkina Faso. De 55 millions de m³ en 1965, ce volume stocké était passé à 170 millions m³ en 1994. Les chiffres publiés il y a quelques temps, faisaient état d'une retenue pour 160 km² ou actuellement circulent des chiffres entre 1,3 et 2 retenues pour cette même unité de surface. Parmi les données les plus récentes : le barrage de Ziga, d'un volume de 220 millions de m³ a été mis en eau depuis 2000 sur le même bassin, portant à 390 millions de m³ le volume stocké, ce qui dépasse l'écoulement annuel moyen du fleuve qui est de 315 millions de m³.



Érosion au fil de l'eau

par Christian Valentin, pédologue et Jean Albergel, hydrologue, IRD

L'érosion, processus naturel qui tend à niveler la surface du globe, est accélérée par les activités humaines. Depuis l'apparition de l'agriculture au néolithique, l'érosion mondiale a été multipliée par cinq. Chaque année, elle rend improductifs 20 millions d'hectares dans le monde. Le ravinement entaille les versants cultivés et les routes, causant des dégâts coûteux.

À l'échelle régionale, densité de population et dégradation des sols se trouvent très souvent corrélées. Au Sahel, l'extension des surfaces cultivées suit le même taux de croissance que la densité de population. Au nord du Viêt-nam, avec les plus fortes densités de population rurale au monde (> 600 habitants par km²), le rythme actuel du déboisement s'élève à 3 500 km² par an, tandis que les exportations de matières en suspension par le Fleuve Rouge (Song Hong) atteignent 3 g/l. En Chine, le Fleuve Jaune charrie 10 fois plus de sédiments qu'il y a 2 300 ans. À elle seule, l'intensification récente des systèmes de culture serait responsable du doublement des quantités de sédiments dans les fleuves.



Érosion en nappes décapant et tronquant les sols rouges méditerranéens sur les grès marneux (observer les différences de couleur au sommet de la colline).

À la déforestation, l'ouverture de routes et l'urbanisation, il faut ajouter la réduction de la durée de jachère parmi les causes majeures de l'érosion. En région semi-aride, la diminution du couvert végétal favorise l'érosion éolienne. En région forestière, la difficile maîtrise de l'enherbement exige des sarclages plus nombreux, responsables de l'érosion aratoire c'est-à-dire du transfert de la terre vers l'aval des versants, dû au seul travail du sol et de la gravité. L'utilisation récente des traceurs (césium 137) montre l'importance majeure de ces deux formes d'érosion jusqu'ici ignorées ou largement sous-estimées. Au sud du Niger, l'érosion éolienne atteint 40 tonnes par hectare et par an contre seulement 5 tonnes par hectare et par an pour l'érosion hydrique. L'érosion aratoire sur les très fortes pentes cultivées du Laos (20 tonnes par hectare et par an) excède l'érosion hydrique (6 tonnes par hectare et par an).

Dans les régions chaudes, l'essentiel des réserves en matière organique et en éléments

fertilisants se concentre dans les premiers centimètres des sols. Dès lors, l'érosion provoque une réduction importante de leur fertilité. Les sédiments érodés se déposent dès que diminue la vitesse des mottes (érosion aratoire), du ruissellement (érosion hydrique) ou du vent (érosion éolienne). Ces dépôts, riches en éléments fertilisants forment des îlots de fertilité. Ces transferts accentuent l'hétérogénéité spatiale entre les zones d'érosion et les zones de dépôts à différentes échelles, depuis le champ jusqu'au bassin fluvial. Ainsi, l'érosion des montagnes éthiopiennes a favorisé l'émergence de la civilisation égyptienne dans le delta du Nil. En réduisant les apports de sédiments jusqu'à la mer, la sédimentation dans les barrages contrarie ces apports de limons nourriciers. Elle entraîne également le comblement ou le surcreusement des rivières en aval des barrages en fonction de la géomorphologie locale, l'érosion des deltas et des côtes, ainsi qu'une réduction des ressources halieutiques. Le comblement des lits de

rivières à l'aval des aménagements, appelé engraissement des berges, est l'un des principaux facteurs aggravant des inondations (Vidourle en France, Medjerda en Tunisie...). De plus, cette sédimentation réduit la durée de vie des lacs de barrage et des retenues collinaires. Ces sédiments augmentent les risques d'eutrophisation et plus généralement de pollution par les métaux lourds et les pesticides. Ces effets aval de l'érosion sont de plus en plus préoccupants non seulement dans les zones semi-arides où les retenues s'ensavent très rapidement, mais aussi dans les régions plus humides comme l'Asie du Sud-Est. Le défrichement récent des versants pour des cultures annuelles à forts intrants accroît les risques de pollution des rizières à l'aval et de problèmes sanitaires pour les populations.

Contact

Christian Valentin
valentinird@laopdr.com
Jean Albergel
albergel@ensam.inra.fr

L'Amazonie au rythme des inondations

par Frédérique Seyler, pédologue, IRD

Les surfaces inondées par les crues de l'Amazonie couvrent 450 à 750 000 km². Les chercheurs du groupe Hybam étudient et modélisent le fonctionnement de ces zones si importantes pour l'écosystème amazonien.

La majeure partie des habitants du bassin amazonien occupe le bord de très nombreuses rivières. La plaine d'inondation amazonienne est composée d'une multitude de lacs de formes et de tailles très variables, d'eau blanche chargée en sédiments provenant de la Cordillère des Andes (varzéas) ou d'eau noire (igapos). En période de hautes eaux, ces rivières sont une voie de transport

pour le bois, la noix du Brésil et le caoutchouc. En période de basses eaux, les varzéas sont une zone d'activité très importante. Élevage et culture s'y pratiquent en raison de la fertilité apportée par les crues qui contraste avec la pauvreté des zones de terre ferme. Le cycle et la répartition de la végétation naturelle des bords de fleuve sont également rythmés par les alternances des crues. Certaines espèces herbacées se développent avec la montée des eaux et dépérissent lors de la décrue. Elles servent de fourrage aux troupeaux cantonnés à des espaces réduits pendant la crue.

Les varzéas, lieu de nombreux processus biogéochimiques, sont des écosystèmes très productifs. Elles sont le support d'une importante activité de pêche, mais sont aussi considérées comme l'une des sources naturelles de gaz à effet de serre tels que le méthane ou les composés gazeux du soufre. Le programme Hybam s'attache à étudier le fonctionnement de ces zones d'inondation, à montrer leur rôle dans le stockage permanent ou temporaire de l'eau et des sédiments et s'intéresse à leur variabilité spatiale et temporelle.

Modélisation

Le groupe Hybam s'est particulièrement intéressé à comprendre la dynamique temporelle de la varzea de Curuai, au sud d'Obidos, représentative d'un grand nombre de systèmes d'inondation de la plaine centrale amazonienne. D'une longueur totale de plus de 100 km en rive droite du fleuve, la varzea de Curuai est constituée d'une vingtaine de lacs inter-

connectés et reliés au fleuve par plusieurs chenaux permanents ou intermittents. Depuis 1999, des mesures ont été réalisées au cours de 17 campagnes de terrain et des échantillons d'eau ont été prélevés en 10 sites de référence pour des analyses géochimiques et de sédiments.

Les lacs fonctionnent comme des réservoirs naturels. L'eau s'écoule du fleuve vers la varzea, y séjourne pendant plusieurs mois et s'y mélange à la pluie et aux apports du bassin versant. De nombreux processus (sédimentation, processus bio-géochimiques) ont alors lieu. Ils modifient la charge et la composition de ces eaux. Ensuite, lorsque le fleuve aborde sa phase de décrue, le flux s'inverse. La modélisation des différents flux d'eau, sur un cycle hydrologique annuel, a montré que le volume d'eau du fleuve transitant par la varzea était très supérieur à sa capacité de stockage.

Climat et inondations

Dans la seule plaine des Llanos de Mojos (Bolivie), au sud ouest du bassin amazonien, les zones inondées couvrent jusqu'à 100 000 km². Ces inondations sont dévastatrices pour la population, en particulier à cause de leur impact sur l'élevage. Pour tenter de prévoir ces événements, le projet Hybam analyse les relations entre les anomalies du climat et les flux d'eau dans le bassin amazonien.

L'occurrence d'un événement El Niño et/ou des températures de surface océaniques basses sur l'Atlantique Sud Tropical et élevées sur l'Atlantique du Sud Ouest Subtropical, ont été mis en relation avec la survenue de fortes pluies, de crues et d'inondations spectaculaires. Mais, si cette relation entre les inondations et cette anomalie climatique est vérifiée pour les années 1990, on ne peut pas la mettre en évidence à plus long terme. Nous pensons aujourd'hui

que nos difficultés à retrouver des relations constantes entre le climat et les crues sont probablement dues aux variabilités à long terme et déphasées des températures de surface des différents bassins océaniques. Le recours aux modèles climatiques est nécessaire pour vérifier cette hypothèse.

Spatialisation des zones d'inondation

Sur la varzea de Curuai, une classification, à partir d'images satellites¹ prises à différentes dates, a permis de quantifier l'extension spatiale de l'inondation au cours du cycle hydrologique. Ce travail a montré que l'extension de l'inondation est une fonction polynomiale simple de la hauteur d'eau. Cela permet de calculer le volume d'eau stocké par la varzea pour chaque image. Ainsi en hautes eaux, pour une surface totale inondée de 2 300 km², quelque 9,3 km³ d'eau sont potentiellement stockés dans la varzea de Curuai. Une extension de cette étude à l'ensemble du bassin amazonien est en cours à partir d'une mosaïque d'images réalisées en hautes et basses eaux. Les surfaces inondées varient entre 450 000 km² et 750 000 km². L'objectif est maintenant d'associer cette estimation aux données des hauteurs d'eau des quelque 250 stations hydrologiques du réseau ANA (Agence nationale de l'eau du Brésil) et aux hauteurs d'eau dérivées des données radar altimétriques², afin d'obtenir une quantification des volumes d'eau potentiellement stockés dans ces zones d'inondation.

Contact

Frédérique Seyler
fseyler@lmtg.ups-tlse.fr

1. SAR (Synthetic Aperture Radar) du satellite JERS-1.
2. Topex, Jason, ERS et Envisat.

Sur l'hydrologie des crues extrêmes

par Christophe Bouvier, hydrologue, IRD

L'un des principaux thèmes

de recherche hydrologique est relatif à la prévision des crues exceptionnelles, compte tenu du fait que ce phénomène naturel est celui qui génère le plus de dommages dans le monde entier. Comme il s'agit d'événements exceptionnels, les observations et les mesures sont rares ; les observations ne peuvent généralement pas être réalisées quand le phénomène se produit, les mesures étant perturbées par les défaillances des capteurs, le charriage de flottants et autres impondérables. Le laboratoire Hydrosociences de Montpellier et l'Institut d'ingénierie de l'université nationale autonome de Mexico (UNAM) travaillent ensemble depuis plus de dix ans sur l'hydrologie des crues extrêmes, et développent plusieurs actions pour pallier la rareté des données.

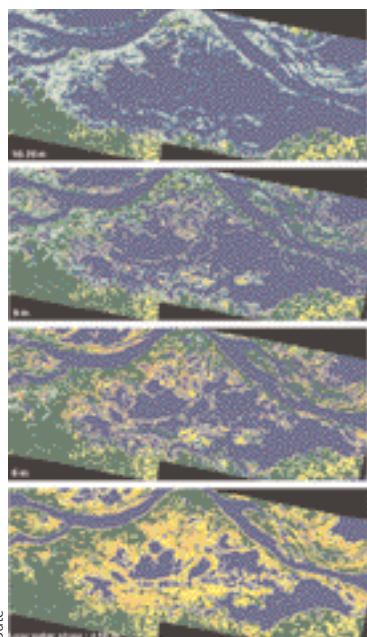
La première d'entre-elles réside dans la reconstitution post-événementielle des caractéristiques des crues exceptionnelles. Les inondations du 8 et 9 septembre 2002 ont profondément marqué le sud de la France, et tout particulièrement le département du Gard. Nous avons participé à la mission de retour d'expérience, qui a permis de reconstituer la dynamique de la crue à partir de relevés de terrain (niveaux maximum des eaux, pentes des lignes d'eau) et de témoignages. Les informations recueillies ont été consignées dans une base de données, assurant un accès et une lecture facile de ces données. Pour chaque site, un fichier a été constitué, comprenant : plan de localisation, photos du site, détails des mesures et des calculs, entretiens... Les estimations des débits maximum de la crue atteignent des valeurs de 30 m³/s/km² pour les petits bassins exposés au plus fort de la pluie (plus de 600 mm en 24 h), et ont conduit à une modification significative des estimations antérieures.

La seconde action consiste à prendre en compte de l'information régionale pour l'analyse statistique de ces événements exceptionnels. D'une façon générale, cela permet de mieux estimer le poids des événements extrêmes, en remplaçant ceux-ci dans un contexte élargi. Cette pratique est largement utilisée dans la région de la Côte Pacifique du Mexique, souvent affectée par les cyclones tropicaux. En France, l'approche régionale s'est également considérablement développée au cours des dernières années, notamment sur le pourtour méditerranéen caractérisé par une très forte irrégularité des précipitations.

Enfin, nous réalisons la reconstitution de l'organisation spatiale de la pluie. Estimer une crue à l'exutoire d'un bassin repose en effet sur la connaissance de la pluie sur la superficie du bassin. Or, bien souvent, l'analyse des pluies se limite à des estimations ponctuelles, et l'extension spatiale des systèmes précipitants reste une inconnue majeure. L'usage de générateurs stochastiques permet de reconstituer l'organisation spatiale des systèmes précipitants. Un algorithme basé sur les corrélations spatiales inter-postes a été mis en œuvre à Mexico, et s'est avéré performant pour reproduire les caractéristiques des champs pluvieux observés pendant la période 1988-1998. Ce type d'algorithme permet ensuite de simuler un grand nombre d'épisodes, et de disposer de chroniques spatiales très longues.

Contact

Christophe Bouvier
christophe.bouvier@msem.univ-montp2.fr



Images JERS de la varzea de Curuai des hautes eaux en haut, aux basses eaux en bas.

Savoir et prévoir

Les paradoxes de la sécheresse

Des modifications substantielles de précipitation et température sont annoncées. Leurs conséquences sur les écoulements, l'évapotranspiration et les volumes d'eau liquide et solide s'avèrent difficiles à prévoir sur la base des observations récentes. Etendre les recherches aux derniers milliers d'années permet de disposer de situations plus contrastées et de s'assurer d'une bonne intégration temporelle des rétroactions entre les différents phénomènes. L'évolution des sociétés sur de longues périodes est aussi riche d'enseignements. Dans les oasis, où la limitation de l'espace vital met en exergue l'interdépendance entre les différents usages de l'eau, les communautés développent des attitudes responsables pour leur survie collective. Le changement d'échelle sera-t-il possible ?

par Gil Mahé et Eric Servat, hydrologues, IRD

Dans certaines zones du Sahel, la diminution des pluies depuis trente ans s'accompagne d'une augmentation de l'écoulement des cours d'eau, une conséquence de la dénudation des sols, aggravée par certaines pratiques culturales, qui intensifie les conséquences de la sécheresse.

Depuis le début des années 1970, toute l'Afrique occidentale et, dans une moindre mesure, l'Afrique centrale ont connu une importante diminution des pluies. Dans le même temps, les débits de certains cours d'eau ont diminué de manière statistiquement significative. Cette diminution s'avère même souvent plus importante proportionnellement que la diminution annuelle des pluies, en raison de la forte baisse du niveau des nappes et de leur contribution aux écoulements. Ainsi quand les pluies diminuent, les apports des aquifères s'amenuisent et les écoulements des rivières ne sont pratiquement alimentés que par le ruissellement de surface. À la fin des années 1980, Bernard Pouyaud, hydrologue à l'IRD, a mis en évidence, sur de petits bassins versants

en zone sahélienne, une augmentation des écoulements. Apparemment paradoxale alors que les pluies diminuent, celle-ci est la conséquence directe de la sécheresse qui provoque une dénudation des sols qui, dès lors, favorise le ruissellement au détriment de l'infiltration dans le sol.

Récemment, les chercheurs du laboratoire Hydrosociétés à Montpellier (UR 50) et leurs collègues Burkinabè et Nigériens ont montré qu'un tel phénomène se faisait également sentir à l'échelle de grands bassins versants.

En étudiant les crues du Niger à Niamey, les hydrologues ont par exemple montré que depuis 1984, les crues d'été ont par quatre fois dépassé le niveau des crues d'hiver, ce qui ne s'était jamais produit depuis le début des observations en 1923. À Niamey, le fleuve Niger est en effet victime de deux crues. L'une durant la saison des pluies, en été, correspond au passage des crues locales des petits affluents drainant un bassin versant de 100 000 km². L'autre (crue principale) en hiver, correspond aux pluies de l'été précédent en Guinée et au Mali qui se sont lentement propagées à travers le delta intérieur du Niger. Cette dernière crue provient d'un bassin versant de 500 000 km².

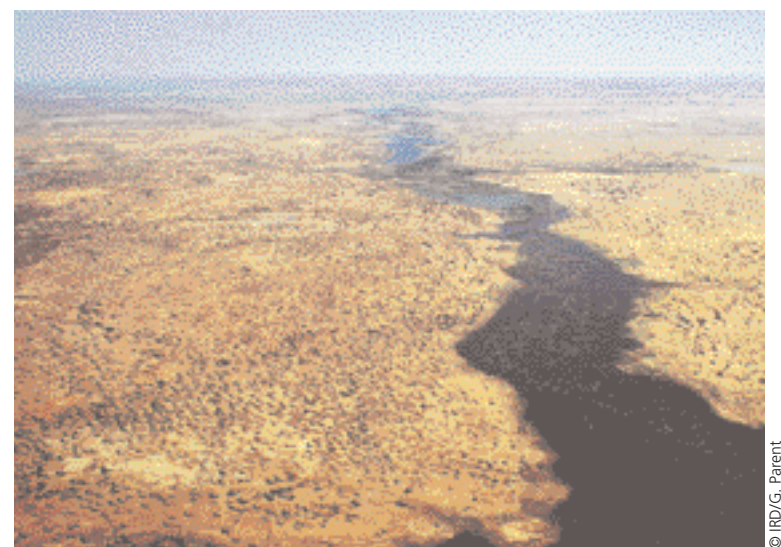
Ces observations nous ont conduit à nous intéresser aux chroniques de débits des affluents de rive droite du

fleuve Niger. On observe un passage progressif du sud au nord d'une zone de déficit à une zone de gain d'écoulement au cours des dernières décennies. Tout à fait au Nord, le gain d'écoulement semble s'estomper vers les régions moins peuplées et l'on peut penser qu'il existe une relation directe entre l'augmentation des surfaces cultivées et des sols nus et l'augmentation d'écoulement. Cela se traduit par des écoulements plus forts en début de saison des pluies et une crue annuelle centrée sur le mois d'août au lieu de septembre. Au sud de la région étudiée, les relations pluie-écoulement conservent la logique moins de pluie, moins d'écoulement. Dans la région de transi-

tion, comme le bassin de Goroubi, les débits augmentent au début de saison des pluies mais diminuent ensuite. Aujourd'hui, nous devons réunir des données sur d'autres cours d'eau de la zone sahélienne, afin d'apprécier l'extension régionale de ce phénomène qui aggrave les conséquences de la sécheresse et d'en estimer les modifications en fonction des caractéristiques des bassins versants.

Contact

Gil Mahé
gil.mahé@msem.univ-montp2.fr
Eric Servat
Eric.Servat@mpl.ird.fr



Sur le bassin du fleuve Nakambé au Burkina Faso, les écoulements ont augmenté malgré la diminution des pluies observée depuis 1970. Cette augmentation des débits a été reliée à l'augmentation des surfaces de sols cultivés et de sols nus aux dépens des surfaces en végétation naturelle sur le bassin depuis 30 ans.

Chronique du Petit âge glaciaire

par Bernard Francou, glaciologue, IRD

Le Petit âge glaciaire fait l'objet d'un intérêt particulier de la part de la communauté scientifique qui gravite autour des sciences de l'environnement. Ces quelques siècles, entre le XIV^e et le milieu du XIX^e siècle, ont été marqués par une des extensions des glaciers de montagne les plus fortes qu'ait connus l'holocène (10 000 ans). Cette période récente et assez bien documentée permet d'étudier les interactions entre climat, environnement et activités humaines et de mieux mesurer les impacts régionaux que pourra avoir le réchauffement climatique actuel. Dans les Andes tropicales, l'UR Great ice et ses partenaires régionaux tentent de reconstituer les anciennes extensions des glaciers et de dater les différents stades du Petit âge glaciaire à partir des moraines. La chronologie de ces stades s'appuie sur des techniques variées, combinant documents historiques (récits, peintures, gravures), lichénométrie (croissance des lichens étalonnée sur des objets datés) et datations isotopiques. La reconstruction du climat s'effectue sur la base de la reconstitution des lignes d'équilibre glaciaires à l'aide de modèles glacier-climat comprenant les principales variables mesurées du climat (températures, précipitations, etc.) et mis au point grâce aux connaissances acquises sur les processus physiques actuels à la surface des glaciers. On parvient ainsi à définir des scénarios climatiques possibles pour la période du Petit âge glaciaire et pour la période de retrait des glaces qui a suivi, que l'on confronte à d'autres informations : archives contenues dans les carottes glaciaires, interprétation des taux de croissance des arbres (dendrochronologie), données découlant des analyses géomorphologiques (dynamiques des formations de pente en milieu périglaciaire) et sédimentologiques (milieux lacustres et fluviaux), et bien entendu, sources documentaires disponibles pour cette période (archives des périodes coloniales et républicaines des états). Great ice couvre la partie « andine » d'un programme intitulé « Variabilité climatique et environnementale pendant le Petit âge glaciaire en France et en Amérique du Sud », placé sous la responsabilité du Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE) et qui implique une quinzaine de laboratoires dans une démarche interdisciplinaire.

Contact

Bernard Francou
francou@lgge.obs.ujf-grenoble.fr



Moraines du Glacier du Charquini (Cordillère Royale, Bolivie), couvrant le Petit âge glaciaire.

S a h e l

Une sécheresse persistante

par Yann L'Hôte, hydrologue, IRD

Depuis 1970 environ, le Sahel ouest africain subit un déficit pluviométrique sans précédent. L'arrivée bénéfique de deux années humides en 1994 et 1999 a conduit experts et scientifiques à s'interroger : est-ce le signe tangible de la fin de la sécheresse prolongée ? Les mesures des précipitations collectées pendant plus d'un siècle et les études conduites par les chercheurs de l'IRD montrent qu'il s'agit, statistiquement parlant, d'un signe trop ténu pour considérer la sécheresse comme terminée ou en voie de l'être.

Dès la création en 1946 du Service Hydrologique de l'Orstom, aujourd'hui IRD, les chercheurs et techniciens se sont attachés à collecter, entre autres, les relevés journaliers de l'ensemble des stations météorologiques et pluviométriques des États d'Afrique de l'Ouest et centrale. Outre la création de banques de données informatisées disponibles dans treize pays africains, de nombreuses études de synthèse ont été et sont encore effectuées grâce à ces données, parmi lesquelles la publication d'une carte d'isohyètes¹ moyennes annuelles sur le sous-continent. Cette dernière met en particulier en évidence un net déplacement vers le sud des isohyètes caractéristiques de la zone sahélienne (300 à 750 mm de pluie par an) entre deux périodes 1951-1969 (humide) et 1970-1989 (sèche). La sécheresse qui a commencé vers 1970 au Sahel se caractérise ainsi principalement par une extension géographique importante et par des successions d'assez nombreuses années déficitaires. En analysant les données enregistrées pendant plus d'un siècle (1896-2000) sur 21 stations pluviométriques, les chercheurs de l'IRD ont défini un indice repré-

sentatif des précipitations annuelles au Sahel et ont établi les moyennes décennales de cet indice.

Cet indice met en évidence au cours du XX^e siècle plusieurs périodes de sécheresse ou d'excédent pluviométrique ayant persisté pendant cinq années successives et plus : sécheresse de 1910 à 1916² (7 années), excédents de 1950 à 1967 (18 ans), déficits pluviométriques de 1970 à 1974 (5 ans), enfin une nouvelle sécheresse de 1976 à 1993 (18 ans), la plus longue et la plus intense du siècle.

La présence de deux années humides en 1994 et 1999 a cependant conduit les chercheurs à se demander si elles pouvaient constituer le signe de la fin de la sécheresse qui persiste depuis le début des années 1970. Pour répondre à cette question, les chercheurs ont effectué plusieurs analyses statistiques sur l'indice des précipitations, d'une part, et sur les séries des observations à chaque station pluviométrique, d'autre part. Ils ont également analysé la répartition dans le temps et l'extension géographique des années sèches de la décennie 1990. Si la décennie 1980 apparaît nettement comme la plus déficitaire, les années 1990 présentent

à l'échelle du siècle une moyenne très déficitaire, voisine de la décennie 1970, et ceci malgré la survenue bénéfique des deux années pluvieuses 1994 et 1999. Les conclusions de ces travaux conduisent ainsi à considérer que ces événements plus humides ne représentent pas un retour vers des conditions climatiques persistantes plus favorables. Selon les chercheurs, il ne sera possible d'annoncer la fin de la sécheresse qu'en prenant en compte statistiquement les années à venir, et ce, sur une plus longue période comprenant les deux décennies qui ont précédé le début de la sécheresse.

Contact

Yann L'Hôte
Yann.Lhote@msem.univ-montp2.fr

1. Ligne géographique d'égales précipitations.
2. La sécheresse des années 1910, centrée sur l'année 1913, quoique moins bien documentée, a présenté ce caractère de vaste extension géographique, elle a duré sept années successives qui sont cependant isolées dans le temps, à l'inverse de la période récente, depuis 1970.

Le Sénégal n'est pas un long fleuve tranquille

par Luc Descroix, hydrologue, IRD

En territoire aride et semi-aride, un cours d'eau tel le fleuve Sénégal ne peut manquer d'être une zone de transit et d'échange. Au printemps 1989, près d'un village du fleuve, deux paysans sénégalais sont tués lors d'une dispute sur le passage d'un troupeau provenant de Mauritanie. Des émeutes suivent dans les deux pays, opposant nationaux et ressortissants de l'autre pays qui vivent sur les rives du même fleuve Sénégal.

Le problème frontalier entre le Sénégal et la Mauritanie est sérieux car il intervient dans un contexte de pénurie à l'échelle sous-régionale. Depuis 1968, la pluviométrie a très sensiblement diminué dans l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest, la bande sahélienne ayant été la plus sévèrement touchée. Les disponibilités en eau ont baissé encore plus fortement¹. Cependant, l'eau semble n'avoir été qu'un catalyseur à une crise sous-jacente et épisodique.

Dans un climat de relations interethniques très complexes, plusieurs facteurs ont pu être à l'origine de tensions. Dans un contexte de pénurie d'eau, la vallée occupée par un fleuve pérenne, attire les populations. La sécheresse prolongée incite à la constitution de périmètres irrigués. L'aménagement du fleuve, mis en œuvre dans le cadre de programmes internationaux, accélère ces modifications mais dépossède partiellement les acteurs locaux en charge des modifications des régimes fonciers dans les deux pays. La baisse de productivité des pâturages a provoqué une surexploitation de l'espace, qui a exacerbé des tensions ethnico-culturelles entre Maures et Peulhs, mauritaniens et sénégalais, éleveurs et

agriculteurs qui avaient tous l'habitude de vivre en intelligence plutôt qu'en concurrence pour l'eau. Le conflit est aussi lié à l'aménagement du fleuve, qui propose une conception technicienne et froide de la gestion de l'eau opposée à une vision plus centrée sur les besoins, la culture et les coutumes des riverains. Les relations diplomatiques entre la Mauritanie et le Sénégal sont globalement bonnes, mais non exemptes de « coups de chaleur » qui tiennent plus de la susceptibilité réciproque des gouvernements et des États que de réels problèmes. En effet, la réalisation des barrages de Diama et Manantali² (respectivement en aval et en amont du fleuve Sénégal) dans le cadre de l'Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal, a apporté à ces deux pays, comme au Mali, une disponibilité accrue des ressources en eau et aussi en électricité. Or, la Mauritanie n'utilise que 5 % et le Sénégal 20 % de l'eau qui leur est attribuée. L'échec relatif du projet de riziculture est visible sur les bords du fleuve où, après 15 ans seulement, un cinquième de la surface initialement prévue en parcelles irriguées a été réalisé. On ne transforme pas des bergers et des producteurs de

mil en riziculteurs chevronnés en une génération.

Dans ce contexte, le projet sénégalais dit des vallées fossiles³ paraissait être un risque pour le partage de la ressource et semble aujourd'hui abandonné. Celui du canal du Cayor⁴ est lui aussi gelé pour éviter une tension diplomatique avec la Mauritanie. Dans ce projet, l'eau accordée au Sénégal dans le cadre de l'OMVS, serait utilisée pour alimenter Dakar et irriguer des surfaces situées plus près des marchés de consommation.

Grâce à la prise de conscience des différents acteurs et utilisateurs, le moment est peut-être venu d'entamer de nouvelles discussions sur le thème de la ressource eau. Source de conflits hier, ne pourrait-elle devenir source de solidarité demain ? Avec l'entrée de deux nouveaux pays, la Guinée et le Mali, dans l'arène du partage de l'eau, le débat s'élargira sans doute.

En savoir plus

Descroix, L. et Lasserre, F., 2003. *L'eau dans tous ses états : tensions, coopé-*

rations et géopolitique de l'eau. L'Harmattan, Paris, 350 p.

Contact

Luc Descroix
descroix@mail.lthe.hmg.inpg.fr

1. Pour l'ensemble du bassin du Sénégal, entre les périodes 1951-1970 et 1971-1990, la pluviométrie a baissé de 22 %, les volumes apportés par le fleuve de 54 % (Descroix et Lasserre, 2003).
2. Voir *Sciences au Sud*, n° 9, p. 4 et n° 13, p. 4.
3. Le projet de réhabilitation des vallées fossiles consiste à redonner vie à des cours d'eau par la construction de canaux et de forages. Il a pour objectif d'alimenter Dakar et de permettre un aménagement de régions occupées aujourd'hui uniquement par les Peulhs nomades dont les troupeaux contribuent à la désertification du nord du pays.
4. Le projet consiste en la mise en place d'un canal reliant sur 300 km le lac de Guiers à la ville de Dakar. Ce canal, en plus de résorber le déficit en eau de la capitale sénégalaise, doit permettre aussi le développement d'une agriculture irriguée le long des zones qu'il traverse.

par là, de sa population.

En Tunisie, l'agriculture durable atteint aussi ses limites, car si les puits récupèrent en aval l'eau infiltrée dans les parcelles irriguées à l'amont, toute culture devient impossible vers la partie la plus basse du paysage où l'eau devient trop salée. Au début du xx^e siècle, l'oasis atteint 100 hectares.

En 1957, au Chili, l'État réorganise le réseau d'irrigation. La quantité d'eau disponible et sa salinité augmentent. Les pertes sont freinées par la cimentation des canaux, mais ce nouveau réseau provoque de profonds changements sociaux. Cet ensemble de disposition altère le lien quasi-charnel qu'entretenait l'Atacama avec sa terre et l'eau, sa vision du monde.

En 1969, l'État tunisien intervient lui aussi dans la gestion du système d'irrigation, suite à la conjonction de l'abandon des *foggaras* par la majorité des propriétaires et de la destruction de systèmes d'irrigation par des pluies diluviennes. Deux puits profonds ont alors été forés en amont de l'oasis pour conserver le système de distribution de l'eau par gravité. L'eau, stockée dans des réservoirs, est distribuée par les *foggaras* où le débit peut alors atteindre 120 litres/s. Le droit de l'eau est assuré par des associations d'intérêts collectifs et le droit familial ne s'applique plus. Le tour d'eau est de 8 à 15 jours et des aguadiers, qui rappellent les juges de l'eau atacama, sont chargés d'ouvrir les vannes de chacune des bornes à la demande. En 1991, l'oasis couvre 500 hectares, mais une parcelle sur 10 est abandonnée. La jeune génération ne veut plus cultiver. À San Pedro d'Atacama, des associations ont décidé de se regrouper afin de planifier, récolter des cotisations et assurer les travaux d'entretien des canaux d'irrigation. Renforcer légalement ces associations et intéresser des personna-

lités d'un certain poids social à s'investir dans le fonctionnement de la régulation sociale de l'irrigation constitue une solution à la survie de ces oasis.

En 2002, un hôtel se construit au milieu de l'oasis d'El Guettar en Tunisie. Il accueillera des touristes qui auront visité la vieille oasis de Tozeur et son plan d'irrigation du xi^e siècle exposé au musée de la ville. Atacama explore les possibilités pour maîtriser le tourisme culturel, sportif et scientifique et éviter ainsi le tourisme de masse.

Oasis d'El Guettar, Tunisie.



1. Bernard Lacombe livre dans son ouvrage *Les oasis du désert d'Atacama, Nord Chili*, les conclusions de l'étude *Le désert, l'homme et l'eau dans l'Atacama*, menée conjointement par l'IRD et la Universidad Católica del Norte. Jean-Olivier Job et Jean Albergel ont effectué des études sur les oasis tunisiennes.
2. Moyenne pluviométrique inter-annuelle calculée entre 1970 et 1990.

Histoire de climat

par Luc Ortlieb, Anne-Marie Hocquenghem et Gabriel Vargas, IRD

A une échelle globale, le système couplé El Niño-Oscillation Australe (ENSO) est la première cause de variabilité du climat actuel. Les effets de cette oscillation pluri-annuelle, à périodicité variable, entre une phase « chaude » (El Niño) et une phase « froide » (La Niña), se manifestent par des perturbations météorologiques et océanographiques qui affectent particulièrement certaines régions tropicales telles que le Pérou, l'Équateur ou le Nordeste Brésilien et des régions de moyenne latitude comme le Chili, le Paraguay et l'Argentine. En liaison avec les nombreux travaux qui visent à mieux comprendre le système ENSO et à prévoir plusieurs mois à l'avance les occurrences d'événements El Niño, des chercheurs travaillent sur une reconstruction des événements du passé qui permette d'évaluer les variations de fréquence et d'intensité des « paléo-El Niño ».

Dans un contexte de réchauffement de la planète, et compte tenu de l'occurrence récente des deux événements El Niño de plus forte intensité du xx^e siècle (1982-83 et 1997-98) qui ont eu des conséquences particulièrement catastrophiques, on peut craindre que de tels événements se succèdent à l'avenir à un rythme accru. Une étude sur les interactions entre variations séculaires du climat telles que le Petit âge glaciaire (xvi^e-xix^e siècles) et le régime ENSO s'impose donc. Quelles étaient la fréquence et l'intensité des événements El Niño avant l'ère industrielle ? Plus généralement, quelles sont les marges de variabilité du système ENSO au-delà du dernier siècle et demi, pour lequel on dispose de données météorologiques instrumentales ?

Après l'arrivée des Conquistadores au Pérou en 1532, des textes écrits par des chroniqueurs, autorités ecclésiastiques, judiciaires et administratives, ou des voyageurs, nous renseignent sur des anomalies météorologiques telles qu'inondations, destruction de ponts et bâtiments, famines et sécheresses notables. La compilation de ces informations d'ordre anecdotique constitue un corpus documentaire sur lequel s'appuie une reconstruction de la variabilité des occurrences d'événements El Niño depuis le premier tiers du xvi^e siècle. L'interprétation de ces données n'est cependant pas simple, et fait l'objet de recherches en cours, notamment au Pérou et au Chili, qui associent climatologues et historiens.

L'un des principaux problèmes rencontrés concerne la validation des informations recueillies en tant qu'indicateurs d'anomalie liée au système ENSO (El Niño ou La Niña). Ne doivent être retenues comme « proxies » de manifestations paleo-ENSO que certaines anomalies paléohydrologiques caractérisées dans des régions déterminées. Ce travail implique donc une analyse fine de calibration sur les conditions météorologiques actuelles. En parallèle, sont développées des comparaisons et intercalibrations entre ces registres documentaires et d'autres types d'enregistrements paléoclimatiques ou paléo-océanographiques à haute résolution temporelle. Parmi ces derniers, citons des séquences de sédiments laminés (lacustres ou marins), des carottes de coraux récifaux de diverses régions du Pacifique, des stalagmites du Brésil et des carottes de glaciers andins.

Contact

Luc Ortlieb
Luc.Ortlieb@body.ird.fr

Histoires d'oasis

par Cédric Duval, journaliste

Jardin irrigué aux confins des déserts, caractérisé par son endémisme, l'oasis est un milieu agricole développé depuis des millénaires. Là plus qu'ailleurs, l'eau est symbole de vie. Des études menées séparément et sur deux continents¹ montrent que l'évolution dans le temps d'une oasis obéit à des règles générales imposées par les changements du milieu, des techniques et des sociétés.

Depuis quelque 40 000 ans, au pied du Jebel Orbata en Tunisie méridionale, une source rassemble, sans la fixer, une petite population de chasseurs-cueilleurs moustériens (période du paléolithique). Avec le développement des techniques agricoles, après le 8^e millénaire, les hommes vont chercher l'eau à l'intérieur de la montagne. Le procédé consiste à creuser dans le sol une galerie dans les profondeurs du piémont (pied du massif montagneux de pente assez forte). L'eau des rares pluies (170 mm par an²) s'infiltré dans le piémont, et la galerie sert de drain. La *foggara*, cet ingénieux collecteur, peut atteindre jusqu'à un kilomètre et demi et marque le paysage par les longues traînées de la terre extraites lors de la perforation.

Dans les oasis d'altitude du Nord Chili, cinq siècles avant notre ère, se développe la civilisation atacama. Elle pratique l'agriculture irriguée, l'élevage et l'exploitation extensive du milieu naturel. L'Atacama se compose alors d'un certain nombre d'oasis divisées elles-mêmes en *ayllos* (communautés paysannes familiales). Chaque oasis ayant des potentialités différentes, les communautés rurales s'échangent leurs produits par caravanes de lamas et la chasse leur permet de commercer avec

d'autres groupes humains.

En Tunisie, les *foggaras* bouleversent la donne de l'eau et imposent une organisation sociale. Les familles entretiennent les *foggaras* de l'oasis et possèdent les terres que celles-ci peuvent irriguer, sur une largeur de dix mètres, et sur une longueur libre, tant que la pente permet à l'eau de s'écouler par gravité. En parallèle à cette maîtrise de la ressource en eau, la population croît. Pourtant, à cette époque, les *foggaras* ont un débit limité à 2 litres par seconde.

Au Chili, la période de l'an 800 à 1450 est également marquée par la maîtrise de l'eau et à travers sa régulation la société s'organise : pouvoir, relations sociales et familiales, destins individuels. Les atacamenos cherchent à économiser cette ressource avec une protection arborée contre l'évaporation et par son transport plus rationnel par canaux. En hiver, l'eau abonde et on la laisse divaguer, mais dès que les chaleurs arrivent, l'eau ne tarde pas à manquer. Un juge des eaux gère alors la distribution de l'eau, en tenant compte des cultures et de leurs besoins inégaux, afin de maximiser la production. Cependant, les sols sont pauvres, et le climat irrégulier. L'agriculture n'est donc pas orientée vers la productivité individuelle, mais vers la survie simple de l'activité agricole de l'Atacama et,

En Savoir plus sur le net

L'observation et la collecte de données ont constitué un point fort des activités des premières décennies de l'Orstom. Les effets de balancier de la politique scientifique ont remis en cause le bien fondé de tels engagements à la fin de l'Orstom. De nos jours, l'évidence du besoin de caractériser les changements hydroclimatiques et environnementaux remet la donnée à l'honneur. Le réveil d'archives au sens propre ou figuré s'opère dans le cadre de programmes internationaux. Des réseaux sont développés autour du rassemblement régional de données et de leur analyse. Le ministère de la recherche française a favorisé récemment le retour en force de l'acquisition de données sur le long terme avec la mise en place d'Observatoires de recherche en environnement (ORE, voir *Sciences au Sud*, n° 18, page 4 et n° 19 page 6). De nombreux éléments sur les activités de l'IRD dans le domaine de l'eau et ses implications dans les programmes, réseaux et observatoires ainsi que de nombreux liens avec les sites correspondants sont disponibles sur le portail consacré à l'année internationale de l'eau douce sur le site de l'IRD.



<http://www.ird.fr/EAU>

sciences au sud

Sciences.au.sud@paris.ird.fr
IRD - 213, rue La Fayette -
F - 75480 Paris cedex 10
Tel. : 33 (0)1 48 03 77 77
Fax : 33 (0)1 48 03 08 29
<http://www.ird.fr>

Directeur de la publication
Serge Calabre

Directrice de la rédaction
Marie-Noëlle Favier

Rédacteur en chef
Olivier Dargouge (dargouge@paris.ird.fr)

Comité éditorial
Françoise Bellanger, Marianne Berthod,
Jacques Boulégué, Patrice Cayré,
Jean-Michel Chassériaux, Yves Hardy,
Jacques Merle, Jean-Claude Prot,
Yves Quéré, Anne Strauss,
Hervé de Tricornot, Gérard Winter

Rédacteurs
Marie-Lise Sabrié (sabrie@paris.ird.fr)
Marie Guillaume (guillaum@paris.ird.fr)
Samuel Cordier (cordier@paris.ird.fr)
Ariel Crozon (crozon@paris.ird.fr)
Olivier Blot (blot@rio.net)

Correspondants
Fabienne Beurel-Doumenge (Montpellier),
Bertrand Gobert (Brest),
Jacqueline Thomas (Nouméa),
Michel Fromaget et
Abdoulaye Ann (Dakar)

Ont collaboré à ce numéro
Anne Coudrain,
Guermia Boubaya,
Cédric Duval

Photos IRD - Indigo Base
Claire Lissalde,
Danièle Cavanna

Photogravure, Impression
Jouve, 18, rue Saint-Denis,
75001 Paris - Tél. : 01 44 76 54 40
ISSN : 1297-2258
Commission paritaire : 0904805335
Dépôt légal : juillet 2003

Journal réalisé sur papier recyclé.

La goutte d'eau qui voulait aller à Jérusalem

par Bernard Germain Lacombe, anthropologue

Il était une goutte d'eau qui naquit, ainsi est la coutume chez les gouttes d'eau, dans un nuage, en plein ciel. Les gouttes d'eau sont adultes et conscientes tout de suite – cela est dû, pense la gente savante, au fait que, dès leur première seconde de vie, le ciel se reflète en elles et leur donne sa sagesse.

Notre goutte commença à voyager, regardant la terre, contemplant les étoiles... Elle échappa aux éclairs qui parfois déchiraient le nuage où elle était et qui faisait tomber tant de ses sœurs par surprise. Elle, elle voulait choisir où aller. Elle interrogeait les unes et les autres et entendait mille récits. Les eaux ont une grande mémoire, une mémoire d'éléphant. Le fait est connu : composées de mille et mille molécules, les gouttes d'eau ont vécu des milliards de vies antérieures à travers elles; notre goutte contenait donc des atomes qui n'avaient existé que quelques jours à l'air libre après être demeurés des millénaires enfermés dans des glaciers ou dans des nappes souterraines... D'autres avaient circulé des milliards de fois de par le monde et savaient tout de la terre. C'est dire que notre goutte, toute jeune pourtant, avait une histoire riche. Et elle voulait aller où elle voulait se rendre et pas ailleurs. Mais lui restait à savoir où elle voulait arriver. Finalement, lui prit l'envie d'aller à Jérusalem.

« Prends garde aux déserts, lui dirent ses sœurs, tu y fonds de chaleur dans les sables, ou le soleil te consume, ou le moindre être vivant te consume. »

« Prends garde aux montagnes, l'avertirent certaines, selon que tu tombes ici tu es Espagnole, et là Française, quand ce n'est pas ici Française et là Italienne ! Ou bien Chilienne et non pas

Argentine, Chinoise et non pas Indienne ! »

« Prends garde aux océans, lui dirent d'autres, ils t'absorbent, te salent et te conservent ainsi des millénaires, et la houle qui les traverse ne t'emporte jamais : elle te laisse là où elle t'a trouvée, t'ayant seulement remuée de l'amplitude de son onde... »

Nantie de tous ces conseils, notre goutte cherchait où tomber, car les vents qui la portaient pourraient bien laisser passer des millénaires avant de l'emmener à Jérusalem et, quand elle y arriverait, la ville ne serait peut-être bien qu'un tas de ruines, comme Ninive, Babylone, Anghor Vat ou Tikal. Finalement, elle tomba juste là où le Rhin et le Rhône naissent. Malgré le vent qui voulait l'emmener Dieu sait où, elle glissa du bon côté de la ligne de crêtes et dévala le Jura. Elle glissait de feuille en herbe, d'herbe en brindille. Elle évita les insectes assoiffés, les taupes maladroites, les cerfs indifférents et les renards joueurs qui voulaient attraper les rayons de lune ou de soleil qu'elle reflétait... Elle arriva enfin dans un ruisseau, rejoignit la rivière, le fleuve et là, elle dévala. Elle visita Lyon, passa sous les arches du pont d'Avignon. Y dansaient des jeunes gens. Les lourdes robes provençales multicolores des demoiselles virevoltaient; notre goutte – qui était un garçon bien élevé –, ferma les yeux pour ne pas voir ces jambes nues qui n'en finissaient pas et se perdaient dans des jupons de dentelles.

Un pêcheur en prenant un poisson ne vit pas que la goutte qui s'accrochait à la ligne était celle qui voulait aller à Jérusalem. Notre eau, opportuniste comme un scientifique, ou un politique,

se saisissait de toutes les occasions : elle évita le goudron des routes et le sel de la mer et, profitant d'un coup de mistral, remonta dans un nuage qui allait vers le sud. Elle en prit ensuite un autre qui se dirigeait vers l'est et, dès qu'elle entendit sonner les trompettes de Jéricho, elle sut qu'elle était allée trop loin, mais ce fut pour elle un jeu d'enfant d'arriver au dessus de Jérusalem. Elle avait acquis tant d'expérience d'avoir ainsi voyagé.

Mais là, elle entendit des cris, des éclairs sortaient des canons dans un fracas de claquemets de fouets. Une foule coulait comme un fleuve en son delta : les pâtés de maisons étaient comme les îles de ce flot d'êtres déchirés. La goutte prit soudain peur, craignant de s'écraser sur le canon brûlant d'un fusil qui l'eut sublimée et rendue au néant de ses milliards de molécules... Mais elle n'avait pas fait tout ce trajet pour rien quand même ! ? Alors, elle se laissa tomber; elle glissait dans l'air qui sifflait, dans le jappement des balles qui traçaient leur route meurtrière dans l'air. Finalement, elle vit une femme qui tenait comme dans un cri, la bouche



© P. Lacombe

ouverte, mais aucun son n'en sortait; ses yeux étaient secs. Alors, la goutte sut que là s'achevait sa route. Elle se laissa tomber sur le bord de l'amande des yeux noirs et glissa sur la pommette, apaisant le visage en baignant sa douleur.

Contact

Bernard G. Lacombe, anthropologue à l'IRD, a travaillé tant en Amérique latine qu'en Afrique. Outre ses ouvrages scientifiques, il a publié différents contes aux éditions L'Harmattan. bernard.lacombe@bondy.ird.fr

L'eau et les philosophes

(suite de la page 1)

Epicure, de son côté, cherche à expliquer, à partir de sa structure atomique, que l'eau coule, de sorte qu'il faut un récipient pour la retenir, contrairement à la terre. Les atomes, dont toutes choses sont faites, ont des formes diverses : certains sont lisses et ronds, d'autres ont des crochets, des pointes ou autres aspérités. Démocrite admettait un nombre infini de formes différentes. Epicure se contente d'un nombre fini, quoique très grand, car, en bonne méthode, il faut réduire les hypothèses à ce qui est strictement nécessaire pour expliquer ce qui est donné à nos sens : ce monde². Il n'y a que des corps – l'« âme » même est un corps. Tout corps est composé d'atomes en mouvement perpétuel, entre lesquels il n'y a pas d'autre rapport que celui de contact, dans le choc. Pour comprendre la cohésion des solides, il faut supposer qu'ils sont formés principalement d'atomes crochus dont les ramifications forment entre elles un tissu extrêmement serré. Ces atomes s'embarrassent les uns les autres par leurs crochets ou branches. Ainsi se retiennent-ils mutuellement à l'intérieur du corps. Certes, les atomes de la périphérie, repoussés par ceux des couches inférieures, se détachent, formant des émanations ou simulacres (eidôla), qui, arrivant à nos yeux, permettent la perception du corps dont ils émanent (du reste, des atomes viennent sans cesse colmater les pertes subies). Quant aux liquides, dont l'eau, leur fluidité invite à les considérer comme comprenant surtout des éléments lisses et ronds. Ceux-ci sont peu capables de se faire mutuellement obstacle, de sorte qu'ils doivent être retenus ensemble par

un solide : leur contenant. Les gaz, de même, n'ont pas de limite propre. Comme je l'explique dans *Présence de la nature* (PUF, 2001), il faut distinguer soigneusement les notions de « monde », de « nature » et d'« univers ». Pour les Épicuriens, un monde (*cosmos*) est une – « structure » et il y a d'innombrables cosmos, tandis que l'univers (*to pan*) est unique, infini et astructuré. Mais ils réduisent la nature à l'univers, méconnaissant ainsi quelque peu cette créativité essentielle que les Antésocratiques avaient reconnue à la Nature – à la *Phusis*. Lorsque la religion monothéiste prit le pas sur la philosophie, la créativité fut ôtée à la Nature pour être accordée à un Dieu. À quoi Epicure objecte qu'expliquer le monde par un « pouvoir divin », c'est ne rien expliquer, car si le monde avait été tout autre (par exemple, un monde sans eau), on invoquerait tou-

jours le même « pouvoir divin ». De plus, comment Dieu aurait-il pu créer l'eau ou l'homme, par exemple, puisqu'il n'aurait pu savoir ce que signifient les mots « eau » ou « homme » avant que la nature ait fait qu'existent ces choses-là ? Car, on ne peut savoir ce que sont les choses qu'après qu'elles ont été. Aujourd'hui, grâce à des philosophes comme Bergson, Whitehead, Bachelard, mais aussi Heidegger, l'on est revenu à une philosophie de la Nature et l'on a redécouvert la *Phusis* des Grecs. Les philosophies théologisées, celle notamment des cartésiens, des kantien et des post-kantien, ont marqué un moment aujourd'hui dépassé de l'histoire humaine. La nature étant cela seul qui s'offre avec évidence à tous les hommes, c'est une philosophie de la Nature, comme le Site ou l'Englobant universel, qui doit pouvoir réaliser l'accord des

esprits. Telle est l'idée générale d'une philosophie pour demain.

En savoir plus

Toute l'œuvre de Marcel Conche est rééditée aux Presses universitaires de France (PUF), comme :

Le fondement de la morale, PUF, coll. « Perspectives critiques », 1999 (réédition).

Présence de la Nature, PUF, 2001.

Confession d'un philosophe, Albin Michel, 2003.

Quelle philosophie pour demain ?, PUF, 2003.

1. Le poème de Lucrèce, De la nature, n'est que le système du Grec Epicure, exprimé en vers latins.
2. Entendant par « monde » ce que l'on a sous les yeux, y compris les étoiles.



Vivant en province où il poursuit son œuvre, loin des modes et des coteries, Marcel Conche est né en Corrèze dans une famille de paysans. D'abord instituteur, il a terminé sa carrière comme professeur de philosophie à l'université Paris I-Panthéon Sorbonne dont il reste depuis 1988 professeur émérite – il reçut la médaille d'honneur de la Sorbonne en 1980. Membre correspondant de l'académie d'Athènes (Grèce) depuis 1997, il a reçu en 1996 le prix Moron pour l'ensemble de son œuvre. Pour Marcel Conche la philosophie n'est pas seulement objet d'étude : la vie du philosophe témoigne plus de l'exigence de sa pensée que ses livres; elle doit être son chef-d'œuvre et justifier le sens de la quête philosophique qui est la recherche de la vérité. Reconnu tardivement par le grand public il est considéré comme un des penseurs contemporains les plus originaux et les plus indépendants.