



A m a z o n i e

Sédiments

inconstants

Dans les plaines d'inondation où serpentent l'Amazone et ses affluents, d'énormes quantités de sédiments se déposent lors des crues. Jusqu'à présent, les scientifiques considéraient que les taux de dépôts sédimentaires étaient globalement constants dans le temps. De récentes recherches¹ menées en Bolivie, dans le cadre du programme Hybam, montrent au contraire que ce phénomène, en fait irrégulier, dépend étroitement de la variabilité du climat, et en particulier des événements La Niña.

Les fleuves et rivières peuvent charrier d'énormes quantités de sédiments dont une partie, en période de crue, se dépose dans les plaines d'inondation. Dans le bassin amazonien, qui abrite le plus puissant fleuve de la planète, les dépôts sédimentaires sont considérables. C'est le cas tout particulièrement dans les zones d'inondation en Bolivie, connues sous le nom de *Llanos*, qui commencent au pied des Andes. Ainsi, on estime qu'environ 100 et 150 millions de tonnes de sédiments se déposent en moyenne chaque année respectivement dans les plaines d'inondation du Rio Beni et du Rio Mamoré. Ces deux rivières constituent, avec le Madre de Dios, les tributaires andins du Rio Madeira, l'un des principaux affluents de l'Amazone à l'origine de plus de la moitié de la charge sédimentaire transportée par ce fleuve.

Alors que, jusqu'à présent, on considérait que la quantité de sédiments déposés était globalement constante d'une année à l'autre, une étude menée dans la plaine d'inondation où s'écoulent ces deux affluents met au contraire et pour la première fois en évidence une périodicité : lors du dernier siècle, les dépôts sédimentaires importants ne se seraient produits que relativement peu souvent (11 événements enregistrés sur 90 ans d'analyses), correspondant à une période de retour de huit ans en moyenne. Ces résultats ont été obtenus dans le cadre du programme HyBAm (Hydrogéodynamique actuelle du Bassin amazonien) par une équipe associant des scientifiques de l'IRD (travaillant au sein de l'UR154 Laboratoire des mécanismes de transfert en géologie - LMTG, unité mixte CNRS-IRD - Université Paul Sabatier), des universités de Washington² et de Californie³ et du Service national de météorologie et d'hydrologie (SENAMHI) de la Paz en Bolivie. Les chercheurs ont prélevé près de 300 carottes dans les sédiments déposés dans les plaines d'inondation des bassins du Rio Beni et du Rio Mamoré. L'analyse de leur

teneur en ²¹⁰Pb⁴ interprétée grâce à un nouveau modèle géochronologique mis au point par l'université de Washington leur a permis de dater les couches sédimentaires avec une précision de l'ordre d'une année et de mettre en évidence l'irrégularité dans le temps des dépôts sédimentaires majeurs.

Pourquoi dans cette partie du bassin amazonien la sédimentation se produit-elle de manière épisodique? La variabilité climatique semble jouer un rôle prépondérant. Les chercheurs ont en effet établi une corrélation significative entre ces périodes d'importants dépôts sédimentaires et la Niña, la phase froide du phénomène

climatique ENSO (*El Niño Southern Oscillation*). Au cours de la plupart des années Niña de ce dernier siècle, les reliefs andins ont subi de violentes pluies à l'origine de fortes crues et d'une intense érosion mécanique des versants andins, ainsi que cela a pu être mesuré dans une station hydrologique située au pied des Andes et suivie dans le cadre du programme HyBAm. Lors de ces crues, de très importantes quantités de sédiments sont arrachés des sous-bassins fluviaux andins et transportés vers la plaine d'inondation. Pour que les sédiments aient pu en partie s'y déposer (par exemple jusqu'à 40 % dans la plaine du bassin du Béni), les chercheurs

estiment que les montées des eaux, au cours de ces années de forts dépôts sédimentaires, ont dû être très rapides et dépasser 8000 m³/s pendant quelques jours puis atteindre ou dépasser 12000 m³/s. Les crues auraient alors atteint la puissance nécessaire pour détruire les digues naturelles formées le long du cours principal des deux affluents (rios Beni et Mamoré) et inonder ainsi une grande partie de la plaine. En effet, n'ont pas été enregistrés de dépôt majeur au cours des années où des maximums de débit ont dépassé ce seuil mais dont les montées de crue étaient lentes.

Contact

Laurence Maurice Bourgoïn
lmaurice@unb.br

1. Résultats publiés dans *Nature*, Aalto R., Maurice-Bourgoïn L., Dunne T., Montgomery, D.R., Nittrover C. and Guyot J.L., 2003. *Episodic sediment accumulation on Amazonian floodplains influenced by El Niño/Southern Oscillation*. *Nature*, 425 : 493-497.
2. *Quaternary Research Center and Department of Earth and Space Sciences*, Rolf Aalto.
3. Donald Bren, *School of Environmental Science and Management and Department of Geological Sciences*, Thomas Dunne.
4. Il s'agit d'un isotope radioactif qui permet de déterminer l'âge des particules déposées dans les différentes couches sédimentaires.



Question à J.-L. Guyot

Responsable du programme HyBAm, UR154 Laboratoire des mécanismes de transfert en géologie

En 1999, le premier numéro de Sciences au Sud dressait un état des lieux du programme HyBAm. Depuis, quelles sont les connaissances acquises sur le bassin amazonien grâce à ce programme de recherche?

Actuellement près de 40 chercheurs et ingénieurs dont la moitié sont issus de pays du Sud (Équateur, Bolivie, Brésil et Pérou) sont impliqués dans ce programme : climatologues, hydrologues, géochimistes et spécialistes de la télédétection et de la modélisation. La trentaine de campagnes réalisées en Amazonie et couplées au suivi obtenu grâce au réseau de stations hydrologiques et géochimiques, mis en place en Bolivie dès 1983 et au Brésil en 1995, ont permis de définir avec précision les apports hydriques, sédimentaires et géochimiques des principaux tributaires de l'Amazone. Ainsi, nous connaissons mieux la dispersion des matières en suspension dans les grandes sections jaugées (plusieurs km de large, jusqu'à 100 m de profondeur, forte vitesse du courant - 3 m/s - en crue). Le bilan hydro-sédimentaire calculé d'amont en aval a mis en évidence des zones de dépôt sédimentaire en Amazonie bolivienne, mais aussi en Amazonie centrale du Brésil. En 2003, ce réseau de stations fluviales a reçu le label d'observatoire de recherche sur l'environnement (ORE), avec un financement couplé IRD-INSU-ministère français de la recherche. L'ORE HyBAm s'appuie sur un réseau permanent de 4 stations hydrologiques installées sur le piedmont andin de Bolivie, du Pérou et d'Équateur, 6 sur les fleuves brésiliens, et 2 sur les fleuves de la Guyane française. Son objectif : évaluer



les flux d'eau et de matières dans le bassin amazonien, et notamment l'impact de la variabilité climatique et de la pression anthropique sur ces flux.

Les résultats déjà acquis ont montré l'importance des zones inondables sur les transferts d'eau, de sédiments et d'éléments chimiques associés. Afin de comprendre les processus qui interfèrent sur ces transferts au sein de ces zones humides appelées *várzea* au Brésil, le programme a équipé en particulier la *várzea* de Curuai près de la ville de Óbidos. Le bilan des entrées et des sorties de cette *várzea* a permis de mettre au point un modèle de fonctionnement de ces lacs amazoniens connectés au fleuve d'origine andine (MODVARZ). Enfin, les techniques spatiales sont aujourd'hui largement employées tant pour la mesure des niveaux d'eau par altimétrie radar (Topex, Jason) que pour la détermination des pentes des cours d'eau en plaine (DGPS), ou encore la détermination des concentrations de surface en matières en suspension dans les lacs d'inondation et les cours principaux (Landsat et Envisat).

Contact

Jean-Louis Guyot, Jlguyot@amauta.rcp.net.pe

Rio Grande, Bolivie. À la sortie des Andes, le fleuve perd de l'énergie, et les sédiments arrachés des versants andins finissent par se déposer.

Contamination

La contamination des fleuves et des rivières par le mercure constitue un problème de plus en plus préoccupant dans l'ensemble du bassin amazonien. L'un des processus majeurs à l'origine de la concentration élevée de cet élément dans les cours d'eau est l'érosion des sols qui présentent en Amazonie des teneurs en métaux lourds 10 fois supérieures à celles enregistrées dans les pays tempérés. Le mercure est essentiellement relargué dans les cours d'eau pendant les crues, transporté et adsorbé sur la fraction fine (argiles principalement) des particules en suspension. L'impact de la déforestation sur le lessivage des sols est déterminante et contribue de façon majeure à l'augmentation des concentrations de mercure dans les bassins versants qui ne sont pas affectés par les effets de l'orpaillage. « Toutes les activités humaines susceptibles de favoriser et d'augmenter les taux d'érosion dans les sous-bassins versants, dont l'exploitation aurifère, constituent une source importante de contamination du bassin amazonien par le mercure¹, souligne Laurence Maurice Bourgoïn qui étudie cette question en Amazonie bolivienne depuis plusieurs années. *L'analyse des eaux du Beni nous a permis de montrer que la contamination par le mercure n'est pas perceptible dans les rivières où l'or alluvial est exploité, sauf directement au droit des mines. Elle l'est en revanche 200 kilomètres en aval à l'exutoire de ces cours d'eau andins, particulièrement dans des zones de dépôt permanent ou transitoire de sédiments fins.* » Ceci s'explique par la géomorphologie des bassins andins et leurs caractéristiques géologiques. Du fait de fortes pentes, les vitesses d'écoulement des eaux sont rapides. De ce fait, les particules qu'elles contiennent et à la surface desquelles se fixe le mercure sont entraînées en aval, dans la plaine amazonienne où une partie de ce mercure (jusqu'à 20 %) sera déposée.

Une récente étude menée par cette équipe (voir ci-contre) a contribué à retracer l'histoire, au cours du siècle dernier, du dépôt de mercure associé aux particules fines dans la plaine d'inondation de l'Amazonie bolivienne (les *Llanos*), ainsi que le rôle de celles-ci dans le piégeage d'éléments métalliques transportés par les grands fleuves et tributaires. Ces résultats ont notamment mis en évidence une augmentation importante, ces trente dernières années, des concentrations en mercure dans les argiles déposées par la rivière dans la plaine du Rio Beni. Ceci correspond au récent « boom » de la prospection aurifère, aujourd'hui terminée, mais aussi à la colonisation de nouvelles terres cultivables sur les flancs abrupts du Piémont andin. Cette contamination des cours d'eau amazonien par le mercure constitue un problème majeur de santé publique. Des données recueillies sur le rio Beni révèlent en effet des concentrations élevées de mercure chez les poissons piscivores² et les populations indigènes qui les consomment. Les chercheurs ont en particulier observé chez les enfants de moins de cinq ans des teneurs en mercure deux fois supérieures à celles de leurs grands-parents. Ces données mettent en évidence un phénomène de contamination *in utero* qui apparaît actuellement aller en s'accroissant. Ces observations sont extrêmement préoccupantes car les effets neurologiques du mercure sont plus graves lors d'une contamination *in utero* que pendant l'enfance ou l'âge adulte...

Contact

Laurence Maurice Bourgoïn
lmaurice@unb.br

1. Les orpailleurs utilisent du mercure pour séparer l'or des particules prélevées dans les alluvions déposées dans les rivières.
2. 86 % des espèces piscivores collectées dans le Rio Beni, en limite amont de la plaine amazonienne, présentent des teneurs dépassant le seuil fixé par l'OMS.



Dépôt de sédiments.

► Macro et microbiologies au service du retraitement

Le développement agricole et industriel des pays émergents, qui participe à l'essor de l'économie, s'accompagne de l'augmentation de la quantité de déchets produits.

Qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, ceux-ci sont bien souvent rejetés dans l'environnement, faute de moyens, de modes de gestion adaptés ou de connaissance de solutions alternatives, occasionnant ainsi d'importantes pollutions. L'IRD travaille avec des partenaires locaux à l'élaboration de procédés de recyclage et de valorisation de ces produits et sous-produits dérivés des activités humaines, en accord avec le contexte socio-économique et environnemental des pays concernés. Les recherches s'effectuent suivant deux approches très différentes de la gestion des déchets : l'une privilégie une valorisation locale avec un traitement des déchets fondé sur leur intégration directe dans les chaînes alimentaires et l'écosystème. Ainsi, une opération menée par l'US DIHVA¹ utilise l'élevage des poissons pour recycler les déchets potentiellement polluants des usines de traitement du palmier à huile et du caoutchouc en Guinée. L'autre approche est plus biotechnologique.

Elle repose sur la diversité des microorganismes – bactéries, levures, champignons – de milieux particuliers, tels ceux créés par les traitements post-récolte de la canne à sucre, des olives, du café, ou encore de milieux extrêmes (salins ou pollués aux hydrocarbures). L'objectif est de pouvoir identifier des microorganismes aux propriétés particulièrement performantes pour produire des enzymes ou des composés d'intérêt industriel. Les unités réunies au sein de l'Institut fédératif de recherche de Marseille, l'IBAIM², développent des bioprocédés pour recycler

et dépolluer les déchets solides et effluents gazeux d'origine agro-industrielle.

Ces deux approches visent à fournir aux pays partenaires des techniques de dégradation biologique et de valorisation des sous-produits de leurs activités pour améliorer les conditions de vie des populations, accroître leurs ressources et protéger l'environnement.

1. US048, « Dynamiques, impacts et valorisation des hydroaménagements ».

2. L'IBAIM (Institut fédératif de Recherche en Biotechnologies Agro-industrielles de Marseille) regroupe trois unités de recherche IRD, l'UR 101 « Microbiologie des environnements extrêmes » (Dir. : B. Ollivier), l'UR 119 « Biotechnologie microbienne post-récolte » (Dir. : M. Labat) et l'UR 120 « Biodépollution et valorisation microbienne d'effluents gazeux » (Dir. : R. Auria) et l'unité de biotechnologie des champignons filamenteux de l'INRA.



Alevins de tilapia.



Saurin Hem, chercheur de l'US DIHVA « Dynamiques, impacts et valorisation des hydroaménagements », étudiait la possibilité de développer la pisciculture en Guinée forestière afin de réduire les carences en protéines animales de la population du fait de l'enclavement de cette région, lorsque la Société Soguipah (Société Guinéenne de Palmiers à Huile et d'Hévéas) l'a interpellé au sujet des effluents potentiellement polluants de ses usines d'élaboration d'huile de palme et de caoutchouc.

Le chercheur y a vu l'opportunité de faire d'une pierre... plusieurs coups : fournir une source de protéines animales aux populations locales et leur procurer des revenus complémentaires, valoriser un effluent industriel, réduire les risques de pollution et augmenter la production de riz.

Le système de production associant la pisciculture à la riziculture, connu depuis longtemps en Asie, est maintenant opérationnel en Guinée forestière où il est testé depuis 1992¹. D'ores et déjà, la Banque Africaine pour le Développement a intégré la rizipisciculture dans les termes de référence du programme d'extension de la Soguipah et cette pratique se

Agro-industrie

Un avenir

L'activité agro-industrielle des pays émergents génère d'importantes quantités de déchets nuisibles à l'environnement et à la santé. Comment donner une seconde vie à ces résidus tout en préservant les hommes, les milieux et en offrant des revenus aux populations locales?

Mise en regard des différentes stratégies développées à l'IRD.



Oreochromis niloticus (tilapia du Nil).

développe désormais en Guinée maritime. Cependant, afin de pallier un déficit nutritionnel des poissons jusqu'alors nourris uniquement au son de riz (sous-produit agricole), la recherche d'autres sources alimentaires a coïncidé avec le souci de la Soguipah d'éliminer les effluents provenant de leur usine de traitement des coagulums du latex d'Hévéa (*H. brasiliensis*). Dans l'intérêt de préserver l'environnement, l'utilisation d'intrants non biologiques est totalement réhivitoire. Or, les résultats des analyses ont montré que les boues de rinçage du latex, dont plus de 300 m³ sont rejetés quotidiennement, ne constituent aucun risque de pollution. En effet, la DBO (demande biochimique en oxygène)

est faible (70 mg), quoique légèrement supérieure au seuil fixé à 50 mg/l par la Banque Mondiale. Les effluents, par leur composition pourraient ainsi constituer directement ou indirectement – via le phytoplancton – une source alimentaire pour les poissons. Leur forte teneur en azote ammoniacal (30 mg/l) en fait un excellent engrais naturel pour les plans d'eau, puisqu'on observe un développement de phytoplancton dans le lac artificiel qui recueille ces effluents, les pluies et les eaux de ruissellement, après deux mois de phase anaérobie. Par ailleurs, 70 % des protéines qui composent le latex étant hydrosolubles, elles

se retrouvent en suspension dans les eaux de rinçage. Cette émulsion protéique pourrait même être directement assimilable par les tilapias (*Oreochromis niloticus*), ce qui expliquerait leur développement exceptionnel : les mesures de croissance pondérale des alevins introduits dans la « lagune » montrent en

effet qu'après 5 mois leur poids moyen est passé de 6 à 70 grammes. Les autres espèces retenues pour la pisciculture – des Silures (*Heterotis niloticus* et *Heterobranchius isopterus*) – qui se nourrissent du phytoplancton produit grâce aux apports d'azote ammoniacal, ont enregistré des gains de poids du même ordre de grandeur. L'empeisonnement de cette « lagune » a donc été un succès : après un an, les 6 kg d'alevins de ces différentes espèces introduits initialement dans la « lagune » ont produit entre 4 et 5 tonnes de poissons!

Le cycle trophique et de croissance s'effectue entièrement dans la lagune à caoutchouc, ce qui en fait un type de pisciculture simplifiée et autonome. Des recherches plus poussées sur la composition de l'effluent permettront de comprendre les processus biochimiques en oeuvre.

Contact

Saurin Hem hem@mpl.ird.fr

1. Voir *Sciences au Sud* n° 4 (mars/avril 2000).

Gaz polluants à recycler



Les microorganismes offrent des potentialités remarquables pour dépolluer les effluents gazeux issus de l'activité industrielle qui menacent la santé des habitants et l'environnement, ou pour les valoriser par la production de biomasse. Les chercheurs de l'unité de recherche 120 « Biodépollution et valorisation d'effluents gazeux » de l'IRD, abordent le champ de la dépollution de l'air par biofiltration. Ils étudient l'aptitude de certains champignons filamenteux à « capter » directement les composés hydrophobes polluants, comme le toluène, contenus dans les vapeurs d'essence ou les rejets de l'industrie

pétrochimique. « L'autre volet de nos recherches vise à élaborer des bioprocédés pour valoriser certains déchets tels que l'éthanol gazeux produit lors de la fermentation de la mélasse issue du traitement de la canne à sucre. À ce titre, nous travaillons actuellement avec l'INRA¹ sur une technique de production de pâte à papier par voie biologique à partir de la bagasse de canne à sucre en présence d'éthanol gazeux. L'idée est de trouver une alternative aux procédés chimiques polluants habituellement utilisés, comme le chlore, pour détruire la lignine », expose Richard Auria, directeur de l'unité. Les enzymes délignifiantes requises, les laccases, sont produites par un



Biofiltre utilisé pour dépolluer les vapeurs d'essence.

champignon² cultivé en réacteur sur de la bagasse. Le passage d'éthanol sous forme vapeur induit et active la production des laccases par le champignon. Ces enzymes détruisent sélectivement les fibres de lignine de la bagasse. L'optimisation de ce procédé fait aujourd-

Des tourteaux producteurs d'asticots

Les tourteaux de palmistes sont les résidus solides de l'extraction d'huile des amandes des fruits de palme. Naturellement riche en protéines brutes (18 %) et en matières grasses (32 %), ce déchet industriel semble donc très intéressant pour l'alimentation animale. Il a fait l'objet, en Guinée forestière, d'un essai de pisciculture intensif mais « biologique » qui utilise les rejets de l'huilerie de la Soguipah¹. C'est en étudiant la digestibilité des tourteaux et leur processus d'assimilation chez les ruminants que le chercheur de l'IRD a envisagé la voie enzymatique pour en extraire protéines et lipides. Il a mis en place une véritable « chaîne de biodégradation » : les tourteaux, préalablement mouillés, fermentent. L'odeur attire alors des mouches bleues (genre *Calliphora*) qui pondent sur ce substrat. Après éclosion, les larves ou « asticots » sécrètent deux types d'enzymes qui hydrolysent les protéines et les lipides des tourteaux, les rendant assimilables par les asticots eux-mêmes. Grâce à ces nutriments, les asticots prolifèrent rapidement : les premiers résultats – production d'un kilogramme d'asticots pour 3 à 8 kg de tourteaux – seront améliorés ultérieurement. Ces asticots sont à leur tour consommés par les poissons, lesquels procurent aux populations humaines une source de protéines et de revenus. Ce type de pisciculture entièrement pris en charge par les populations locales se révèle compétitive par rapport aux autres pratiques agricoles de Guinée forestière. Impressionnés par l'exemple guinéen, la Malaisie et l'Indonésie, respectivement au 1^{er} et second rang mondial pour leurs plantations de palmiers à huile, ont manifesté auprès de l'IRD leur intention d'adopter cette méthode. Pour l'instant, le manque à gagner reste phénoménal puisque l'Indonésie « gaspille » 1500000 tonnes de tourteaux par an. Un programme de recherche, de coopération et de partenariat entre la Direction générale de l'aquaculture indonésienne et l'IRD a été encouragé et soutenu financièrement par le ministère français des Affaires étrangères. Il devrait voir le jour en Indonésie dès 2004.

Contact

Saurin Hem hem@mpl.ird.fr

1. soit 650 tonnes par an, soit environ 100 tonnes de protéines non valorisées.



Cerises et pulpe de café. Au Mexique, la pulpe ensilée – disponible toute l'année, inodore et de bonne qualité nutritive – suscite l'engouement des éleveurs de lombrics. Cette pulpe est en effet utilisée comme substrat pour l'élevage de lombrics destinés notamment à l'alimentation des poissons ou des volailles. Cette filière permet également la production d'un lombricompost particulièrement avantageux : capable de retenir trois fois plus d'eau que les composts issus d'autres substrats agricoles, il favorise l'économie d'eau dans des régions où elle reste un bien précieux. La société mexicaine Terranova, productrice de lombricompost, collabore avec les équipes de l'IRD et s'est érigée en site pilote pour l'expérimentation à grande échelle du procédé d'ensilage de la pulpe de café.

© IRD/P. Cayre

pour les résidus

La pulpe en poupe

Quelque 5 millions de tonnes de café sont produites chaque année dans les pays de la ceinture équatoriale. Or seulement 6 % en poids des cerises récoltées parvient à la tasse. Que deviennent pulpe, coques et autres résidus qui résultent de l'obtention des grains de café ? Ils sont en général entreposés autour des usines ou sont déversés dans les cours d'eau, occasionnant d'importantes pollutions. La pulpe en particulier, principal résidu de la filière caféicole, contient des composés toxiques et polluants envers la faune et la flore (caféine, tannins et polyphénols). «Le second obstacle majeur à la reconversion de la pulpe, riche en protéine, sucres et vitamines, dans l'alimentation animale en particulier, est sa très rapide putréfaction à l'air libre, dans des pays tropicaux où les conditions climatiques (humidité, température) sont particulièrement favorables», résume Isabelle Perraud-Gaime, de l'IRD (UR 119) à l'Institut Fédératif de Recherche en Biotechno-

logies Agro-industrielles de Marseille. Les chercheurs de l'unité ont donc étudié le moyen de stabiliser et de détoxifier la pulpe. Les recherches menées dans le cadre d'un projet européen associant l'IRD et des partenaires mexicains, brésiliens et anglais¹, ont abouti à la mise au point d'une méthode de conservation de la pulpe par ensilage, qui permet de stocker celle-ci pendant une année sans affecter ses qualités nutritionnelles. «La pulpe de café est compactée dans des silos couverts. Afin de favoriser la production d'acide lactique et de contrôler la production d'éthanol susceptible de nuire à l'utilisation future de la pulpe, nous avons élaboré un "starter" d'ensilage qui est un inoculum composé de bactéries lactiques²», explique la chercheuse. Le protocole d'ensilage, aujourd'hui optimisé, est le premier mis au point pour la

conservation des résidus de l'industrie des fruits et légumes et devrait faire l'objet d'un dépôt de brevet. Parallèlement, les chercheurs travaillent à la mise au point d'un procédé de dégradation de composés toxiques (tanins, caféine) de la pulpe fraîche ou ensilée, par fermentation en milieu solide en présence de champignons filamenteux spécifiques³. Certains *Penicillium* et *Aspergillus* sélectionnés fabriquent des décaféinases et utilisent ainsi la caféine comme source de carbone. Testés en réacteurs au laboratoire, ceux-ci éliminent rapidement la caféine de la pulpe à 91 %. «Dans les pays producteurs, la pulpe de café ensilée et détoxifiée trouve de nombreuses applications. Ainsi traitée, la pulpe voit son taux de protéine augmenter, ceux de caféine et de composés phénoliques diminuer. Les premiers essais en aquaculture sur des alevins de *Tilapia* ont montré l'intérêt de l'incorporation de cette pulpe dans la ration alimentaire des poissons. D'autres recherches réali-

sées à l'Université Autonome de Mexico (UAM-I) par l'équipe du Pr. G. Saucedo-Castañeda ont permis de démontrer la valeur probiotique de cette pulpe détoxifiée dans l'alimentation bovine», précise Isabelle Perraud-Gaime. ●

Contact

Isabelle Perraud-Gaime
isabelle.gaime-perraud@esil.univ-mrs.fr

1. Ce projet s'inscrit dans un programme de la Communauté européenne, intitulé CEE INCO-DC BIOPULCA, lancé en 1987 et reconduit jusqu'en 2001. Il rassemble des chercheurs de l'unité 119 de l'IRD, de l'université de Reading (Grande Bretagne), de l'université autonome métropolitaine (UAM) du Mexique (campus Iztapalapa) et de l'université fédérale du Parana au Brésil.
2. L'inoculum est produit par les partenaires mexicains de l'UAM impliqués dans le projet.
3. Certaines souches de champignons filamenteux capables de dégrader spécifiquement la caféine de la pulpe de café ont été identifiées grâce aux travaux de l'unité menés en collaboration avec le Département de Biotechnologie de l'Université Autonome Métropolitaine (UAM-I). L'étude biochimique et moléculaire des enzymes (tannases et décaféinases) produites par ces champignons en fermentation en milieu solide est réalisée par les équipes de Gustavo Viniestra (UAM-I), Ernesto Favela (UAM-I) et Christopher Augur (IRD-UR 119).

d'hui l'objet d'une thèse encadrée par des chercheurs de l'IRD et de l'INRA. D'autres voies de recyclage de l'éthanol et de la bagasse, comme l'alimentation animale, ont été explorées par des chercheurs de l'unité, en partenariat avec l'UAM³ de Mexico et l'ICIDCA⁴ de Cuba. «La technique repose sur le métabolisme d'une levure, *Candida utilis*, riche en protéines (jusqu'à 50 % de son poids), qui utilise l'éthanol comme source de carbone pour sa croissance. Cultivée sur de la bagasse en présence de sels minéraux, elle permet d'enrichir le niveau protéique de celle-ci», explique Pierre Christen, responsable de ces recherches au Mexique. Des essais sur le terrain sont en cours pour étudier l'acceptabilité de cet aliment équilibré par les animaux. ●

Contacts

Richard Auria
Rauria@esil.univ-mrs.fr
Pierre Christen
pc@xanum.uam.mx

1. L'unité mixte de recherche 1163 de l'INRA et l'UR 120 de l'IRD collaborent au sein du laboratoire de biotechnologie des champignons filamenteux à Marseille.
2. Champignon du genre *Pycnoporus*, agent de la pourriture blanche
3. Université Autonome Métropolitaine, Mexico.
4. Institut cubain de recherche sur les dérivés de la canne à sucre (Cuba).



Champ d'oliviers, Maroc.

Les ressources de l'olive

À l'instar des souches isolées, identifiées et sélectionnées pour dégrader la caféine ou les tanins de la pulpe de café, quelques-unes des 600 souches de champignons filamenteux thermophiles isolées au Maroc dans les maasras, petites unités de trituration des olives noires, ou dans les champs d'oliviers, s'avèrent capables de produire en grande quantité des enzymes thermostables d'intérêt biotechnologique¹, explique Sevastianos Roussos, directeur de recherche à l'IRD et responsable de l'équipe «fermentation en milieu solide» de l'UR 119. Il s'agit notamment de tannases, de lipases et de phytases, qui figurent parmi les enzymes les plus importantes en industrie. Les premières dégradent les tanins qui, sous l'effet combiné de l'oxygène de l'air, de la lumière et de la température forment des complexes et piègent les protéines, alté-

rant ainsi la qualité nutritive du produit (pulpe de café, grignons d'olive, etc.) susceptible d'entrer dans l'alimentation animale, par exemple. Les secondes, les lipases, interviennent notamment dans la fabrication de détergents, dans les procédés de la chimie des lipides qui intéressent les filières pharmaceutique, cosmétique et de production d'arômes. Quant aux phytases, une voie majeure de leur utilisation concerne l'alimentation animale. «En dégradant l'acide phytique contenu dans les tourteaux d'oléagineux destinés au bétail, elle les détoxifie et les enrichissent en phosphore», précise S. Roussos. L'objectif est donc de mettre au point des bioprocédés permettant la production de ces enzymes à moindres coûts.

Depuis 1995, l'équipe développe des partenariats avec le Maroc dans le but de valoriser des sous-produits agricoles, de sélectionner des moisissures performantes mais aussi de favoriser la formation d'étudiants marocains en France. Une jeune équipe de l'Institut Agronomique et Vétérinaire de Rabat (IAV) travaille ainsi depuis 2002 conjointement avec l'équipe IRD pour l'établissement d'une collection de souches fongiques, dans le cadre d'un Projet de recherche agronomique pour le développement (PRAD), financé par les deux pays. ●

Contact

Sevastianos Roussos
roussos@esil.univ-mrs.fr

1. Un programme de coopération avec l'Institut agronomique et vétérinaire Hassan II a été lancé, il y a deux ans, pour la sélection de ces souches isolées.



Pressoir à olives, Maroc.

Jeunes pousses

Au Mexique, la consommation de champignons supérieurs constitue un apport alimentaire de qualité dans le régime des paysans et leur commercialisation pourrait permettre d'améliorer leurs revenus... Leur production offre de plus l'opportunité de recycler directement en les valorisant divers déchets agro-industriels solides dont la paille, la bagasse de canne à sucre ou la pulpe de café. Les jeunes du Club JRD de Mexico, hébergé au sein de l'université autonome métropolitaine – Iztapalapa (UAM-1) et encadré par Daniel Martinez, enseignant au « Colegio de postgraduados de Puebla » (Mexico), ont étudié de 2000 à 2002 la culture en laboratoire du champignon « shiitake », connu pour ses propriétés nutritives et médicinales. Moyennant des conditions d'humidité suffisante et de basses températures, ce champignon qui pousse naturellement sur les arbres, s'est montré à même de croître sur la paille et la bagasse de canne à sucre, notamment¹. La culture de pleurotes sur la pulpe de café ensilée, également testée dans le cadre du Club JRD, a abouti à de bons résultats en laboratoire. Actuellement, les jeunes du nouveau club se sensibilisent à la diversité microbienne mexicaine dans un second atelier qui a vu le jour en 2003. Ils isolent et identifient des microorganismes susceptibles de dégrader les composés polluants et de conduire à d'éventuelles applications industrielles et alimentaires. (Voir page 13). ●

Contacts

Catalina Cruz
cruz@irdmex.org
Pierre Christen
pc@xanum.uam.mx

1. Cette étude est actuellement intégrée dans les projets développés par l'UAM où la culture massive du shiitake sur ces substrats purs ou en mélanges, utilisés cette fois en grandes quantités, est envisagée.



Préparation de la bagasse de canne à sucre.

Partenariat durable

En octobre 2001, le laboratoire de microbiologie de l'IRD recevait le prix Recherche-Innovation de l'Anvar (Agence française de l'innovation) et France Info, récompensant le partenariat entre l'IRD, l'industriel Episucre¹ et le Centre de recherche sur les biopolymères artificiels (CRBA – CNRS – Montpellier). Une bactérie, *Bacillus thermoamylovorans*, est à l'origine du bioprocédé breveté qui mobilise ces trois partenaires. Son métabolisme particulier permet de transformer le saccharose et d'envisager la production en quantité et à bas prix d'acide lactique par fermentation des surplus de production de sucre de betterave. Cet acide entre dans la fabrication par polymérisation de plastiques biodégradables. L'industriel Episucre poursuit actuellement sa collaboration avec l'IRD et finance une bourse doctorale d'un étudiant du laboratoire. «En plus de la bactérie initiale, isolée du vin de palme, nous étudions également les potentialités d'une bactérie d'origine hydrothermale. Nous parvenons maintenant à produire des ébauches de polymères et travaillons avec les chimistes du CRBA à l'optimisation du procédé de fermentation et de polymérisation» explique Yannick Combet-Blanc, du laboratoire de microbiologie de l'IRD (UR 101) et «découvreur» des atouts de *B. thermoamylovorans*. ●

Contact

Yannick Combet-Blanc
Combet@esil.univ-mrs.fr

1. filiale de l'entreprise Erstein, 3^e sucrier français.

L'union fait la force

L'utilisation à grande échelle des moustiquaires imprégnées d'insecticide est une composante importante de la stratégie globale de lutte contre le paludisme, en particulier en Afrique subsaharienne où plus de 90 % des cas sont enregistrés chaque année. Seuls les pyréthriinoïdes sont actuellement recommandés pour le traitement des moustiquaires, en raison de la rapidité de leur mode d'action, des faibles doses d'utilisation, de leur relative innocuité pour l'homme et de leur sécurité d'emploi. Compte tenu de la résistance croissante des vecteurs du paludisme aux pyréthriinoïdes, la recherche de produits de remplacement devient une priorité. De nouvelles molécules, telles que les néonicotinoïdes, offrent d'intéressantes potentialités mais elles n'ont pas encore franchi tous les tests d'innocuité pour la santé et ne seront donc pas disponibles avant plusieurs années. C'est pourquoi les recherches s'orientent actuellement vers l'association, sur une même moustiquaire – soit en mélange sur toute la surface, soit en mosaïque avec l'insecticide le plus toxique sur la partie haute et l'autre sur les côtés – d'insecticides déjà commercialisés et présentant des modes d'actions différents. De récents essais en laboratoire et en case expérimentale démontrent aujourd'hui l'efficacité de cette méthode (voir ci-contre).

Quelques difficultés doivent cependant être surmontées avant toute utilisation de mélanges d'insecticides en imprégnation de moustiquaires.

En effet, imprégner et ré-imprégner à intervalle régulier les moustiquaires avec un seul insecticide constitue déjà pour les communautés un obstacle majeur à leur diffusion. Qu'en sera-t-il pour des moustiquaires bi-traitées qui nécessitent un travail plus délicat ? Une solution pourrait résider dans l'utilisation de moustiquaires pré-imprégnées industriellement. Elles restent efficaces malgré des lavages successifs – ce pendant toute leur durée de vie (5 à 7 ans) – et permettent d'éviter aussi bien l'imprégnation que la ré-imprégnation. Ce concept pourrait fort bien être appliqué aux moustiquaires bi-traitées, sous réserve toutefois que leur prix d'achat reste abordable pour les utilisateurs ou les pays qui en feront la demande.



© IRD/J.-N. Jacques
Volière des moustiques adultes à Montpellier.

ans un éditorial de *Sciences au Sud*¹, Philippe Lazar, alors président de l'IRD, préconisait d'étendre le principe des polythérapies appliquées au traitement de certains cancers, de maladies virales ou bactériennes, aux maladies infectieuses ou parasitaires dans leur ensemble, soit au niveau de la lutte contre les vecteurs qui les propagent, soit à celui des agents pathogènes eux-mêmes. Convaincu de l'intérêt et l'originalité de cette approche, le laboratoire de Lutte contre les Insectes Nuisibles (LIN)² élabore alors un programme de recherche sur les associations d'insecticides en vue de lutter plus efficacement contre les moustiques résistants aux traitements les plus souvent utilisés et obtient les financements nécessaires (programme VIH PAL, ministère de la Recherche et des nouvelles Technologies).

Les premiers tests en laboratoire mettent en évidence une synergie entre deux insecticides à mode d'action différents, les pyréthriinoïdes et les carbamates : ceux-ci interagissent efficacement lorsqu'ils sont utilisés simultanément. En d'autres termes, la mortalité obtenue avec un mélange de deux insecticides à faible dose est apparue nettement supérieure à la mortalité attendue par sommation des mortalités de chaque insecticide pris séparément.

L'insectarium du LIN abrite plusieurs souches et espèces de moustiques d'intérêt médical, certaines sensibles à 100 % aux insecticides, d'autres au contraire résistantes à 100 %. L'effet de synergie a été mis en évidence pour la première fois sur des adultes sensibles d'*Anopheles gambiae*, le vecteur majeur du paludisme en Afrique subsaharienne. Test positif



© IRD/J.-M. Hougaard
Case expérimentale.

Moustiquaires de choc

La résistance des anophèles aux pyréthriinoïdes, insecticides les plus utilisés, constitue l'un des obstacles majeurs à la lutte contre le paludisme. Des chercheurs étudient des alternatives parmi lesquelles l'utilisation conjointe de deux insecticides sur une même moustiquaire. Cette association, qui crée un effet de synergie, s'avère très efficace.



© IRD/V. Robert
Imprégnation d'une moustiquaire par une solution d'insecticide, Cameroun.

également sur des larves sensibles de *Culex quinquefasciatus*, moustique vecteur de filarioses lymphatiques et principale source de nuisance en milieu urbain. Plus intéressant, cette synergie a été observée sur des souches de ces deux espèces, résistantes aux pyréthriinoïdes du fait de la mutation d'un gène³. Des essais en cas expérimentales menés à Bouaké en Côte d'Ivoire ont par ailleurs confirmé l'efficacité de moustiquaires imprégnées par ces deux insecticides sur des populations sauvages d'*Anopheles gambiae* et de *Culex quinquefasciatus* résistantes aux pyréthriinoïdes. Ce mécanisme de résistance étant largement répandu en Afrique de l'Ouest, les associations d'insecticides pourraient améliorer le contrôle des populations de moustiques vecteurs devenues résistantes. En collaboration avec l'équipe « Génétique de l'adaptation » (CNRS – UMR 5554), des recherches sont en cours pour tenter d'identifier les mécanismes physiologiques impliqués dans l'effet de synergie. Des données récentes incitent à penser que celui-ci proviendrait d'une accumulation d'acétylcholine, le principal neurotransmetteur de l'insecte qui mourrait alors par paralysie.

« Contrairement au domaine agricole, les mélanges d'insecticides n'ont jusqu'à présent jamais été utilisés en santé publique. Les retombées des travaux du LIN pourraient aboutir progressivement à une révision des stratégies de lutte antivectorielle. Le gain serait multiple : meilleure efficacité, moindre coût et moindre toxicité des traitements, grâce à l'utilisation de doses plus faibles d'insecticides », conclut Jean-Marc Hougaard, qui dirige ces travaux.

Contact

Jean-Marc Hougaard,
Jean-marc.Hougaard@mpl.ird.fr,
Vincent Corbel,
Vincent.Corbel@mpl.ird.fr,
Frédéric Darriet,
Frédéric.Darriet@mpl.ird.fr

1. *Sciences au Sud* n° 5, mai/juin 2000.
2. Implantation principale de l'UR 16 « Caractérisation et contrôle des populations de vecteurs », Centre collaborateur de l'OMS pour l'évaluation des insecticides en santé publique et laboratoire ISO 9001 version 2000.
3. *Fiche d'actualité scientifique* n° 183 - Septembre 2003.

Rendons à César...

Témoignage de Pierre Carnevale, Frédéric Darriet et Vincent Robert

« Il y a 20 ans déjà, une équipe de l'Orstom, aujourd'hui l'IRD, réalisait la première imprégnation de moustiquaires avec la perméthrine. Aujourd'hui, l'usage de ces moustiquaires imprégnées est chaudement recommandé par l'OMS qui en fait même le fer de lance de son initiative *Roll Back Malaria*. Basés au service d'entomologie médicale et antenne Orstom auprès de l'OCCGE au Burkina Faso, ces pionniers ont expérimenté pour la première fois ces moustiquaires dans les cases pièges de la station expérimentale de Soumoussa (centre collaborateur de l'OMS). Testée et développée, cette méthode a été rapidement transmise aux chercheurs maliens, ainsi qu'à des scientifiques anglo-saxons accueillis en stage à Bobo Dioulasso. Les premiers résultats, présentés au Congrès international de Calgary en 1984 par les chercheurs de l'équipe initiale et publiés dans les documents de l'OMS, a soulevé des interrogations et des espoirs. Ces chercheurs ont été également des pionniers pour les tests dans les villages en zone de savane (Karankasso) et en zone de riziculture (vallée du Kou) aux environs de Bobo Dioulasso. Contre vents et marées, ils ont poursuivi leur double action de « savoir faire » et « faire savoir » : montrer, informer, former ainsi que tester des moustiquaires dans différentes conditions contre différents vecteurs (au Cameroun par exemple contre *Anopheles nili* et *Anopheles mouchei*, en 1992 et 1993). Ils ont participé à la promotion de cet outil via des sessions de formation au Niger, au Tchad, en Namibie, au Cameroun, en Tigrée-Ethiopie, etc. Ces « missionnaires de la moustiquaire imprégnée » sont les premiers aussi à tester – dès 1997 en Côte d'Ivoire – ces protections

contre des vecteurs résistants aux insecticides pyréthriinoïdes (*Anopheles gambiae*) avec des résultats tout à fait remarquables présentés dans différents congrès. Résultats généralement mis à la disposition des communautés scientifiques et « de lutte » sur le site Internet de l'OMS-TDR avant même qu'ils ne soient publiés. Les « graines » semées toutes ces années ont germé : le docteur L. Manga, responsable de la lutte antivectorielle au bureau régional Afrique de l'OMS qui a fait ses « classes » à l'IRD, « incite » à l'utilisation des moustiquaires imprégnées, désormais partie prenante de l'arsenal des programmes nationaux en Asie du Sud-Est et en Afrique sub-saharienne. D'importantes études soutenues par l'OMS dans les années 90 ont démontré la réduction de la mortalité infanto-juvénile dans les zones où de telles moustiquaires sont employées à grande échelle par les communautés (Gambie, Ghana, Kenya).

En collaboration avec leurs collègues africains, ces mêmes chercheurs IRD ont aussi été des pionniers dès 1996 dans l'utilisation des moustiquaires industriellement pré-imprégnées : les Olyset, testées en Côte d'Ivoire et au Sénégal, et les Permanet, récemment expérimentées en cases pièges et à l'échelle de villages dans le cadre du programme « Danané » soutenu par l'initiative Pal+ du ministère français de la Recherche et des nouvelles Technologies. »

Contact

Pierre Carnevale,
pierre.carnevale@mpl.ird.fr

Le réseau ABC

La diversité des recherches à mener sur les vecteurs du paludisme nécessite de conduire parallèlement des études de laboratoire et des études plus opérationnelles dans différentes zones d'endémie. L'unité de recherche de l'IRD « Caractérisation et contrôle des populations de vecteurs » vient de mettre en place le réseau *Anopheles Biology and Control* (ABC), qui devrait permettre de poursuivre les recherches dans ce domaine au sein de quatre pays africains, le Bénin, le Burkina Faso, la Côte d'Ivoire et le Cameroun. Le réseau permet d'allier une diversité de sites, et donc de caractéristiques épidémiologiques, à une palette de compétences. Il a pour objectif principal d'optimiser les stratégies et les méthodes de lutte anti-vectorielle et de faciliter la recherche et l'évaluation de nouveaux insecticides. Il se compose de six stations expérimentales et de quatre laboratoires de recherche (voir carte), en plus du LIN à Montpellier (laboratoire « hors site »). Chaque station du réseau est sous la responsabilité d'un entomologiste médical national assisté d'une équipe technique. Les membres du réseau – des entomologistes basés dans les différents laboratoires de recherche connectés – bénéficient de l'appui d'un groupe d'experts ayant des compétences en épidémiologie, en socio-anthropologie et en santé publique.

