

SCIENCE et développement durable

75 ANS
DE RECHERCHE AU SUD

IRD Éditions

SCIENCE
et développement durable

75 ANS DE RECHERCHE AU SUD

SCIENCE
et développement durable

75 ANS
DE RECHERCHE AU SUD

IRD Éditions
INSTITUT DE RECHERCHE POUR LE DÉVELOPPEMENT

Marseille, 2019

Direction éditoriale
Marie-Lise Sabrié, Thomas Mourier, Corinne Lavagne

Rédaction
Viviane Thivent

Conception maquette et mise en page
Charlotte Devanz

Correction
Stéphanie Quillon

Les photos de cet ouvrage sont issues de la banque d'images Indigo (IRD)

Photo de couverture
Peinture d'art haïtien, Port-au-Prince, *Haïti* par H. Jackson. © Paul Kim - Banque d'images Alamy

Photos pages de partie
Partie 1 – Accès à l'eau, Burkina Faso. © IRD/B. Ouattara
Partie 2 – Volcan Cotopaxi en activité, Équateur. © IRD/J. P. Verdesoto
Partie 3 – Fruits rouges (*Aframomum*), forêt du Mayombe, République démocratique du Congo. © IRD/E. Katz
Partie 4 – Forêt tropicale humide des South Western Ghats, Inde. © IRD/G. Michon
Partie 5 – Atelier d'observation du soleil, Sénégal. © IRD/R. Nisin

La loi du 1er juillet 1992 (code de la propriété intellectuelle, première partie) n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article L. 122-5, d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans le but d'exemple ou d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite » (alinéa 1er de l'article L. 122-4). Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon passible des peines prévues au titre III de la loi précitée.

© IRD, 2019
ISBN : 978-2-7099-2737-6

COMITÉ SCIENTIFIQUE

Les directrices et directeurs des départements scientifiques de l'IRD :
Philippe Charvis, Jean-Luc Chotte, Olivier Dangles, Olivier Evrard,
Flore Gubert, Marina Lévy, Yves Martin-Prével, Frédéric Ménard,
Florence Migot-Nabias, Frédérique Seyler, Valérie Verdier

Fabien Anthelme, Jacques Berger, Emmanuel Bonnet, Luc Cambrézy,
Jean-Pierre Chauveau, Pierre Chevallier, Pierre Chavance, Jean-Luc Chotte,
Jean-Yves Collot, Éric Deharo, Éric Delaporte, Valérie Delaunay,
Edmond Dounias, Robin Duponnois, Christian Feller, Dominique Guillaud,
Serge Hamon, Jean-Marc Hougard, Serge Janicot, Raymond Laë,
Thierry Lebel, Eric Leroy, Jérôme Lombard, Jean-François Molino,
Claude Payri, Mireille Razafindrakoto, Vincent Robert, François Roubaud,
Sevastianos Roussos, Frédéric Simard, Cheikh Sokhna, Philippe Solano,
Florence Sylvestre, Christian Valentin, Jérôme Vialard

COMITÉ ÉDITORIAL

Marie-Noëlle Favier, Mireille Guyader, Corinne Lavagne, Thomas Mourier,
Marie-Lise Sabrié, Ghislaine Thirion, Laurent Vidal

Chaque texte de l'ouvrage est accompagné par des logotypes qui renvoient aux dix-sept objectifs du développement durable promus par l'ONU en 2015 (www.un.org/sustainabledevelopment/fr/). Ce choix vise à inscrire les travaux – même anciens – de l'IRD dans les perspectives les plus actuelles de la recherche pour le développement.

SOMMAIRE

11 Préfaces
19 Introduction
L'IRD : une science engagée pour le développement durable

PARTIE 1 32 **Vers des sociétés plus justes**

34 Microcrédit et maxi-dettes
36 Une économie d'emplois précaires
38 La part manquante des femmes
40 La gouvernance et la corruption vues d'en bas
41 Développer l'éducation publique dans les villes
42 L'abécédaire du multilinguisme
44 Interroger le développement
45 Le réseau Méga-Tchad
46 Sécuriser les droits fonciers des paysans
48 Cultures des lieux
49 Une histoire évolutive des hommes
50 La migration en relief
51 Un monde en campement
52 Christianismes africains au Maroc
53 Trajectoires invisibles de santé
54 Les liens migratoires
55 Minorités déplacées
56 Oui à la trithérapie en Afrique
58 Naître sans le VIH
60 Rejouer la scène et changer
62 Une pâte sucrée contre la faim
64 Prévenir les effets de la malnutrition
66 Lutter contre les carences
68 Prévention de l'obésité au Maghreb

PARTIE 2

70 **Aléas, risques et vulnérabilités**

72 Niakhar : zone sentinelle depuis 1962
74 La généalogie du *Plasmodium*
76 La révolution des moustiquaires
78 Prévenir le paludisme par intermittence
79 Protéger les femmes enceintes contre le paludisme
80 Reconstituer l'histoire du VIH
82 Sur la piste d'Ebola
84 Ebola : une fin prédéterminée ?
85 Humaniser les mesures de biosécurité
86 Le programme OCP, ou comment éradiquer la « cécité des rivières »
88 De l'effet des insecticides sur l'environnement
89 Tester avant de traiter
90 Extinction des feux pour la mouche tsé-tsé ?
92 Pionniers sur le virus Zika
93 Vers des usines à moustiques
94 Immuniser des chiens pour sauver des hommes
96 Détecter les tuberculoses résistantes
97 Épidémies climatiques
98 Glaciers sous surveillance
100 Allô ? Attention à l'eau !
102 Alerte à la canicule africaine
104 Évaluer le risque sismique
106 Des éruptions au long cours
108 Cartographier les ressources pour gérer les priorités
110 Sonder la face cachée des séismes
111 Des données pour une meilleure sécurité routière
112 Des contaminations record de plastiques en eau douce
113 Tracesense, la mesure des traces de pollution
114 *Mesotoga* : la bactérie des milieux pollués
115 Prendre les cyanobactéries sur le fait

PARTIE 3 116 **Agriculture durable et sécurité alimentaire**

118 Piéger le carbone grâce au sol
120 L'érosion à l'ombre des arbres
122 Plantes en symbiose
124 Macrofaune, macro-effet
126 De l'art de corriger le pH des sols
128 Petits barrages, grands effets
130 Dans le sol africain, de l'eau
132 La mesure de l'eau
133 Les *khettaras*, des vestiges bien vivants
134 L'arbre, pilier de l'agriculture
136 Le terroir, outil scientifique pour le développement
137 La forêt amazonienne cache l'abattis
138 Optimiser les savoirs agricoles
139 Du Giec à l'opérationnel
140 Première cartographie de la panachure du riz
141 Du manioc et des bactéries en héritage
142 Ravageurs malgré eux
143 Des champs sous surveillance thermique
144 Sensibiliser les décideurs aux bio-invasions
145 Sexer pour développer le dattier
146 Changer les déchets verts en or
148 Vers une aquaculture durable
149 La maîtrise de la reproduction
150 Thons tropicaux sous surveillance
152 Vers des appâts plus durables
153 La pêche adaptative, c'est le Pérou !

PARTIE 4 154 **Dynamique des écosystèmes et préservation de la biodiversité**

156 El Niño dans le viseur
158 L'exploration des océans tropicaux : le programme Pirata
160 Modéliser les upwellings
162 Observatoires de la zone critique
164 De l'hydrologie locale au climat global

166 Les paradoxes du Sahel
168 Averses à crue
170 Petits bassins, grands résultats
172 Jauger les fleuves depuis le ciel
174 Explorateurs du passé climatique sud-américain
175 Une mer d'eau douce
176 Des sols dans tous leurs états
178 De sable, de poussière et de vent
180 La forêt guyanaise cataloguée
182 Des pâturages et des hommes sous perfusion glacière
183 La part des oiseaux
184 Découverte de super-coraux en Nouvelle-Calédonie

PARTIE 5 186 **Science ouverte et savoirs partagés**

188 Soutenir des équipes scientifiques
190 Moustiques, virus et mondialisation
192 Pour la création de centres de recherche clinique en Afrique
193 Former des veilleurs sanitaires
194 La modélisation « libérée »
195 Un SIG maison
196 Des données publiques sur les pêches ouest-africaines
197 Cartographie des réglementations
198 Le riz comme bien commun
200 Gardiens de la diversité agronomique
202 La forêt de Guyane dans un herbier
204 Un botaniste dans mon smartphone
206 Aux avant-postes de l'ethnopharmacologie
208 Archéologie participative aux Marquises
210 Découverte d'une nouvelle civilisation
212 Florilège d'atlas
214 La formation dématérialisée
215 La science comme outil citoyen
216 Des savoirs et des images accessibles à tous

219 Liste des contributeurs scientifiques

Préface

PROFESSEURE FABIOLA LEÓN-VELARDE SERVETTO
Présidente du Conseil national de la science, de la technologie et de l'innovation technologique du Pérou (CONCYTEC), présidente du Comité d'orientation stratégique de l'IRD

Je suis très honorée, tant sur le plan professionnel que personnel, que l'IRD m'ait proposé d'écrire cette préface, un défi qui me tient particulièrement à cœur. C'est en effet un honneur de préfacer cet ouvrage qui célèbre 75 années de recherche en partenariat consacrée au développement et au bien-être des pays du Sud. C'est aussi un plaisir pour moi, car une grande partie de ma carrière professionnelle est étroitement liée à la France. L'attachement et l'affection que j'ai pour ce pays et pour l'IRD font que cette opportunité m'est très chère.

Il me revient à présent de relever le défi de retracer en quelques lignes la richesse de 75 années de recherche de l'IRD. C'est l'occasion d'un regard en arrière sur cette riche histoire scientifique, mais aussi d'un regard porté sur le chemin qui reste à parcourir. C'est en particulier le partenariat, dimension spécifique des recherches que mène l'IRD pour le développement, que je voudrais m'attacher à faire valoir.

Quand l'IRD met en œuvre un programme de recherche pour le développement, il le fait en affectant ses chercheurs de manière continue dans le pays partenaire : ceux-ci sont présents au quotidien au sein même des institutions de leurs partenaires stratégiques ou dans des laboratoires mixtes de recherche. Au cours de ces dernières années, près de 10 programmes structurants interdisciplinaires ont ainsi été développés en partenariat au Pérou. Cette démarche, profondément attachée aux valeurs humaines, à la fois souple et efficace, offre au pays partenaire une assistance technique unique. À travers la présence continue de ses chercheurs, l'IRD est ainsi en mesure de transmettre son expertise internationale. Cette vocation particulière de formation et d'échange de connaissances fait que cet organisme de recherche présente à son actif d'incontestables réussites, qu'il est très apprécié de ses partenaires et qu'il est à l'origine de réelles avancées dans la cinquantaine de pays où il a développé ses activités.

Les modalités de coopération avec l'IRD vont de l'appui à des centres de recherche interdisciplinaires à la participation à des projets et programmes scientifiques définis en commun avec des pays tiers. Les recherches sont

menées dans des unités mixtes de recherche (UMR), des unités mixtes internationales (UMI) ou des unités mixtes de service (UMS) regroupées dans cinq départements scientifiques.

Un autre élément clé réside dans la nature des apports et de l'appui technique de l'IRD, qui sont orientés vers la production de connaissances scientifiques mais qui sont en même temps des axes de développement. La richesse des recherches de l'IRD en a fait un acteur scientifique majeur au Pérou et sur le plan international. Ainsi, au Pérou, un bureau de recherche en vulcanologie a été créé en 1988 à Arequipa avec le soutien de l'IRD et, en 2005, le premier réseau de surveillance sismique télémétrique du volcan Misti a été mis en place. L'IRD contribue ainsi depuis cinquante ans au développement de l'Amérique latine, et notamment du Pérou, premier pays du continent où l'Institut s'est installé de manière permanente.

Au cours de ces dernières années, la représentation de l'IRD au Pérou comptait plus de 20 chercheurs en poste à Lima, Callao et Iquitos, d'autres en mission de longue durée ou dans des unités mixtes de recherche, et plus de 60 agents en mission de courte durée. L'IRD y mène actuellement des programmes en partenariat avec 12 instituts de recherche – parmi lesquels l'Instituto del Mar del Perù (IMARPE) –, avec 10 universités – dont la première université péruvienne, l'université Cayetano Heredia, avec laquelle l'IRD entretient une relation privilégiée –, ainsi qu'avec différents ministères, l'Unesco et plusieurs entreprises privées.

Ayant été vice-rectrice de la Recherche durant quatre ans, puis rectrice de l'université Cayetano Heredia, je suis un témoin privilégié des apports du « modèle » IRD. L'IRD a été un partenaire de premier plan dans le développement d'une culture spécifique de la recherche en partenariat.

Aujourd'hui, présidente du Conseil national de la science, de la technologie et de l'innovation technologique du Pérou (CONCYTEC), il me revient de coordonner les différentes activités de l'IRD au Pérou, avec pour objectif de contribuer aux progrès de la science péruvienne et sud-américaine et, par là même, de développer les recherches sur les zones désertiques et sur les écosystèmes des Andes et d'Amazonie ; et de faire en sorte que les connaissances acquises de manière collective contribuent au développement économique et culturel des pays voisins. La création de l'école doctorale franco-péruvienne en sciences de la vie est exemplaire du partenariat entre l'IRD et le CONCYTEC : cette école représente une initiative unique au Pérou, qui permet à des équipes de recherche françaises et péruviennes de travailler ensemble à la formation des professionnels dont le pays a besoin.

Au cours de ces décennies, l'IRD n'a jamais ménagé ses efforts pour promouvoir l'échange de connaissances et apporter les moyens humains nécessaires au développement des activités de recherche et de formation. Pourquoi ne pas le dire, il a aussi contribué, au travers de ces dernières, à élargir notre regard et nos connaissances sur notre propre pays, dans toute sa variété et sa complexité.

Il faut mentionner des contributions importantes, comme la mise en œuvre du programme sur l'épidémiologie de la maladie de Chagas, une maladie tropicale très répandue en Amérique latine, ou le développement d'une application permettant de traiter les données de concentrations des micropolluants et d'assurer un meilleur contrôle de la qualité de l'eau.

Bilan de 75 années de recherches, ce livre présente les résultats de différents programmes, de pratiques et de méthodologies développés par l'IRD et ses partenaires, fruits du travail ardu et des efforts de ses dirigeants et de ses chercheurs, mettant la science au service du développement grâce à des recherches d'excellence. Comme on pourra le lire dans les pages qui suivent, l'IRD a contribué à des avancées importantes dans le domaine scientifique, environnemental, sanitaire, social et économique dans le monde entier. Et notamment en Amérique du Sud, où il a permis de rendre plus visibles certaines disciplines scientifiques qui en étaient à leurs prémices, tout en posant les bases de leur développement futur. Je fais ici référence aux recherches dans des disciplines comme la géologie, la sismologie, la climatologie, l'océanographie, l'hydrologie, l'étude des glaciers et des écosystèmes, qui ont fait de l'IRD un partenaire scientifique majeur pour tous les pays concernés. À titre d'exemple, je dois mentionner les nombreux résultats issus des recherches en géologie, le levé des cartes tectoniques et structurales dans les Andes, autant de domaines qui auraient tardé à révéler leurs secrets si l'IRD n'y avait pas été présent.

Aujourd'hui, au terme de 75 ans d'histoire, l'IRD peut porter son regard vers l'avenir avec la satisfaction d'une mission bien remplie grâce aux compétences de sa direction et à son investissement constant pour renforcer les capacités scientifiques et technologiques de ses partenaires. Grâce à eux, l'IRD est devenu une référence scientifique majeure pour relever les défis du développement durable. Je suis convaincue que ces 75 prochaines années offriront de nouvelles opportunités de partenariat, avec à terme d'importantes avancées au bénéfice de la France, des pays partenaires et du monde.

Préface

PROFESSEUR MARY TEUW NIANE
Ancien ministre de l'Enseignement supérieur,
de la Recherche et de l'Innovation du Sénégal

L'Institut de recherche pour le développement a soixante-quinze ans. Si cet âge fait débat, c'est en raison, pour l'essentiel, des évolutions des différentes structures qui ont fini, une fois agrégées, par donner naissance à cette institution dans sa forme et dénomination actuelles ; laquelle, après plusieurs décennies, a permis la gestation et le développement d'une recherche appliquée dans les pays d'Afrique Noire d'expression française. Sans doute, quelques-uns de nos jeunes et brillants chercheurs ignorent-ils ce que nos politiques nationales de recherche doivent à l'Institut. Même si la notoriété, longtemps exclusive, qu'il a acquise dans nos communautés scientifiques est, de nos jours, tempérée ou concurrencée par de nouveaux venus dont la politique et les moyens ont fini d'instiller une concurrence dans un environnement de plus en plus ouvert aux lois du marché.

Un des mérites de l'IRD est, aussi, d'avoir survécu aux indépendances africaines. L'accession des nouveaux États à la souveraineté internationale, avec les espoirs et excès qui sont consubstantiels aux ruptures de cette nature, laissait penser que les pouvoirs qui se sont substitués à ceux de l'ancienne métropole se détourneraient de ce mode d'organisation et de gestion de la recherche pouvant leur rappeler la dure férule coloniale. Il n'en fut rien. Au contraire, l'Institut s'est adapté au nouveau contexte politique par une structuration qui assigne à la recherche une mission principale : le service à la communauté. C'est, sans nul doute, cette utilité sociale qui vaut à l'IRD cette étonnante stabilité et cette surprenante longévité.

En réalité, nous n'avons plus le choix. La Recherche ne correspond plus désormais que très peu à son idée initiale, conçue comme une organisation constituée de chercheurs jouissant de privilèges et d'immunités, dans des espaces protégés des influences de toute nature, des pouvoirs publics comme des groupes de pression. On ne peut plus faire l'économie du débat sur la rentabilité et l'efficacité des investissements faits dans le cadre de la recherche. Il s'agit de nouvelles exigences adossées, d'une part, sur des principes et des considérations éthiques et, d'autre part, sur l'utilité sociale des chercheurs, des découvertes qu'ils mettent en évidence, des inventions qu'ils développent et de la valorisation de toute cette activité de production intellectuelle. La politique de recherche ne doit sa légitimité qu'à son utilité sociale. C'est dans ce cadre que l'IRD inscrit son action.

Ce n'est pas, pour moi, faire seulement office d'amitié en écrivant cette préface. J'ai personnellement pris part à tout un ensemble d'activités de recherche que j'ai coordonnées dans le cadre d'équipes mises en place avec l'IRD, à travers, notamment, UMMISCO, une Unité Mixte Internationale placée sous la tutelle de sept établissements universitaires, en France, au Maroc, au Sénégal, au Cameroun et au Vietnam. Le travail collaboratif entre chercheurs français et chercheurs sénégalais nous a permis, à cette occasion, d'envisager de nouvelles pistes de recherche plus conformes aux politiques publiques. Cela nous a valu beaucoup de satisfaction, notamment la formation d'une élite scientifique apte à prendre en charge les politiques nationales de recherche. De cette collaboration entre l'IRD et les laboratoires de recherche des universités sénégalaises, il a résulté plusieurs soutenances de thèses de doctorat. Ce résultat a pu être atteint grâce au cadre institutionnel international qu'offre une telle organisation, mais aussi grâce au plateau technique qui permet de mener des recherches dans le respect des standards mondiaux.

Beaucoup a été fait et beaucoup est en train d'être fait par l'IRD. L'ampleur et la profondeur de l'intervention de l'Institut dont rend compte son site web ne font pas apparaître tous les liens sociaux créés au sein des jeunes communautés de chercheurs africains et français. L'effet d'émulation adossé à une confraternité scientifique nous a permis de mettre en place, au sein de nos espaces académique et scientifique, des règles et standards qui ont eu pour effet d'intégrer différents systèmes d'enseignement supérieur et de recherche, et de leur appliquer les mêmes critères d'évaluation. Il est heureux de constater que ce sont les académiques, les chercheurs et autres acteurs du système d'enseignement, de recherche et d'innovation, qui ont accepté de partager les mêmes référentiels dans le cadre de leurs activités et de faire apprécier la pertinence, la régularité, la cohérence, la qualité et l'efficacité des recherches menées et des résultats obtenus.

C'est le choix que nous avons fait au Sénégal. Il s'agit d'un développement civilisé, c'est-à-dire celui qui promeut le développement durable, le respect des droits de l'homme et la bonne gouvernance. Il s'agit d'un mode de développement coûteux, difficile et inédit. Mais c'est le seul moyen de bâtir une société avec une forte culture scientifique et technologique. Et c'est le prix à payer pour que la seule voie de développement laissée à l'Afrique ne soit pas une voie sans issue, un exutoire pour un soi-disant « refus de développement » de l'Afrique.

Les initiatives prises par l'IRD, les centres et structures de recherche africains pour combler le gap de connaissances entre les pays développés et les pays en développement sont importantes. J'ai la conviction que les Africains

doivent, à partir de leur point de vue et de leurs intérêts, proposer de nouvelles définitions d'un certain nombre d'indicateurs à partir desquels les pays sont classés. Et surtout, j'ai la conviction que notre engagement politique pour une maîtrise de la connaissance par le plus grand nombre est le gage d'un développement accéléré. La maîtrise de la connaissance et de la compétence n'est pas seulement un facteur essentiel de l'insertion dans l'économie de la connaissance, dans la constitution d'une image positive de l'Afrique ; elle est surtout indispensable à la constitution d'un point de vue africain fondé sur les intérêts du Continent et à la perception que l'Afrique a de son avenir, en particulier, de ses relations avec le reste du monde.

En réalité, ce sont les découvertes et avancées scientifiques et leurs applications technologiques qui sont le moteur du développement économique. Ce rôle reconnu à la science, à la technologie et à l'innovation dans la transformation, le développement économique durable et l'atténuation de la misère est admis et accepté. Les pays qui ont émergé et sont parvenus à un niveau de développement qui permet de les ériger en exemple sont passés par ce chemin difficile de maîtrise des sciences et des technologies. Nous n'avons pas d'autre choix. Aucun autre choix n'est possible. Il nous revient, dès lors et ensemble, de poursuivre notre œuvre commune pour l'avènement d'une science rentable et utile, en mesure de prendre en charge, concrètement, les aspirations des populations et d'asseoir les bases d'une croissance économique durable.

L'ouvrage que publie l'IRD à l'occasion de son 75e anniversaire nous plonge au cœur de toutes ces préoccupations qui sont, densément, à l'œuvre dans les ODD. Qu'il s'agisse d'œuvrer pour des sociétés plus justes, d'envisager les moyens nécessaires pour faire face aux aléas, risques et vulnérabilités, de mettre en place une agriculture durable garantissant la sécurité alimentaire, de stabiliser les dynamiques à l'œuvre dans les écosystèmes et la préservation de la biodiversité et de mutualiser des savoirs, on se retrouve à faire de la science utile et accessible. Les thèmes traités font ressortir les grandes préoccupations des communautés en mettant en rapport analyses théoriques et réalités empiriques pour mieux mettre en évidence la substance des enseignements de cette double démarche qui nous plonge dans les grandes questions de développement.

C'est un des mérites de l'IRD dont l'ambition, clairement assumée pour le Sénégal dans le cadre de l'équipe UMMISCO SENEGAL, est de répondre aux défis sociaux et environnementaux ; ce, par le développement de méthodologies de modélisation mathématique et informatique et d'outils qui permettent de mieux appréhender et comprendre les dynamiques émergentes sous-jacentes pour la prise en charge des préoccupations des acteurs locaux et étatiques de la sous-région ouest-africaine.

C'est de cette seule façon que nous pourrons faire face et nous éviter encore les déconvenues économiques qui nous imposent ces manques et crises multiformes. C'est dans la mise en œuvre de programmes de qualité pour le développement du capital humain capable de porter et de mettre en œuvre les objectifs de développement que nous trouverons le salut. Le développement économique et social de toute nation requiert la mise en place d'un système d'enseignement supérieur, de recherche scientifique, technologique et d'innovation performant.

Ce sont les fils conducteurs des réformes en œuvre dans l'enseignement supérieur, la recherche et l'innovation depuis cinq ans avec le soutien de nos partenaires, au premier rang desquels se trouve l'IRD, auquel je souhaite un joyeux anniversaire pour qu'il continue à nous faire bénéficier de son cadre institutionnel et de ses infrastructures et équipements scientifiques.

Introduction

L'IRD : une science engagée pour le développement durable

PROFESSEUR JEAN-PAUL MOATTI
Président-directeur général
de l'Institut de recherche pour le développement (IRD)

Cet ouvrage constitue l'une des multiples initiatives qui, tout au long de l'année 2019, célébreront le 75e anniversaire de l'Institut de recherche pour le développement (IRD). Il présente les contributions les plus significatives des recherches conduites par l'Institut, et par les organismes dont il est issu, tant à la science universelle qu'à l'amélioration des conditions de vie des populations de pays longtemps regroupés sous le vocable de « Tiers-Monde », et désormais qualifiés de pays en développement (PED). Ce terme de PED recouvre des réalités de plus en plus hétérogènes allant des pays « émergents » qui sont déjà de grandes puissances mondiales, comme le Brésil, la Chine ou l'Inde, aux pays dits « les moins avancés », où la majorité de la population continue de vivre en dessous du seuil de pauvreté absolue[1].

Comme l'ensemble des manifestations organisées à l'occasion de cet anniversaire, l'ouvrage illustre la continuité historique de notre Institut sur une relativement longue période, en même temps que deux ruptures majeures intervenues au cours de ces trois quarts de siècle : la première marquera la fin des sciences coloniales ; la seconde posera les fondements d'une recherche au service du développement durable et d'un partenariat scientifique équitable. Cette histoire fait aujourd'hui de l'IRD un organisme original, voire quasi unique, dans le paysage scientifique français, européen et international. La France est en effet le seul pays du monde à disposer, avec l'IRD, d'un organisme public de recherche pluridisciplinaire entièrement dédié à la coopération scientifique avec les PED de la zone intertropicale et méditerranéenne ; institut auquel vient s'ajouter le Cirad, un autre organisme spécialisé dans cette coopération et se consacrant à la recherche agronomique.

1 – Tel que défini par les institutions internationales, moins de 1,90 US $ par personne et par jour en parité de pouvoir d'achat.

La vérité historique oblige à reconnaître que célébrer en 2019 les 75 ans de l'IRD relève d'un choix, d'ailleurs assumé. Il eût en effet été possible de faire remonter les origines de l'Institut plus tôt, par exemple au « Congrès de la recherche scientifique dans les territoires d'outre-mer » organisé en septembre 1937, à l'occasion de l'Exposition universelle, et à la constitution dans la foulée, par le gouvernement du Front populaire, d'un Comité consultatif des recherches scientifiques de la France d'outre-mer à l'intérieur de ce qui deviendra l'année suivante le Centre national de la recherche scientifique (CNRS)[2]. Deux éminentes personnalités scientifiques, Irène Joliot-Curie et Jean Perrin, qui exerceront, successivement l'un et l'autre, la responsabilité de sous-secrétaire d'État à la recherche du Front populaire, se feront dès l'origine les avocats d'une prise en compte des spécificités de ce qui se revendiquait alors sans complexe comme « science coloniale », et de la nécessité de lui donner une traduction institutionnelle via une certaine forme d'autonomie à l'égard des dispositifs « généralistes » d'organisation de la recherche publique.

Cela ne sera pas sans susciter des débats qui perdurent jusqu'à aujourd'hui avec les partisans d'une simple déclinaison aux Suds des disciplines scientifiques classiques.

On comprendra aisément la volonté de ne pas se référer à la création en 1943, par le régime de Vichy, de l'Office de la recherche scientifique coloniale (ORSC), premier organisme public indépendant dédié à la recherche dans l'Empire colonial. Le choix s'est logiquement porté sur la reconstitution de l'ORSC par l'ordonnance du 24 novembre 1944 du gouvernement provisoire issu de la résistance à l'occupation nazie. Faire de 1944 le moment fondateur du processus qui conduira d'abord en 1953 à l'Office de la recherche scientifique et technique outre-mer (Orstom)[3], puis à l'IRD, est bien sûr enraciné dans notre référence aux valeurs démocratiques et de progrès constitutives de notre République. Mais, au-delà, et c'est sans doute le plus important, les années 1944-1945 donnent le coup d'envoi de la présence des équipes de recherche du futur Orstom en Afrique, à Madagascar, en Guyane, dans les océans Pacifique et Indien, dans des territoires coloniaux qui pour l'essentiel étaient jusqu'alors demeurés vierges ou presque de toute investigation scientifique.

---

2 – C. Bonneuil, Des savants pour l'Empire, les origines de l'Orstom, *Cahiers pour l'Histoire du CNRS*, 1990, p. 10.

3 – L'ORSC se transformera cinq ans plus tard en Office de recherche scientifique d'outre-mer (Orsom), puis en 1953, en Office de la recherche scientifique et technique d'Outre-mer (Orstom).

De la « science coloniale » au partenariat scientifique équitable

Au cours de ces quatre dernières années, j'ai eu l'occasion, en tant que président-directeur général de l'Institut, de visiter nombre de nos pays partenaires et de participer à diverses formes de « commémoration » de la présence sur place de l'Orstom, par exemple le 70e anniversaire de l'IRD à Madagascar en mai 2018, ou le 60e anniversaire en octobre 2017 en Tunisie. À chaque fois, j'ai été frappé par le fait que nos collègues de l'Enseignement supérieur et de la recherche (ESR) de ces pays n'hésitaient pas à revendiquer *toute* l'histoire de leurs relations avec les chercheurs de notre Institut, y compris son passé colonial. C'est qu'effectivement, les travaux conduits par les botanistes, entomologistes, spécialistes de physiologie végétale, généticiens, géologues, océanologues, halieutes, hydrologues, pédologues et agronomes (on parlait plutôt alors de « défense des cultures » que d'agronomie) de l'Orstom, auxquels viendront rapidement se joindre des anthropologues, ethnologues et chercheurs d'autres disciplines de sciences humaines et sociales[4], ont permis une accumulation primitive de connaissances d'une valeur inestimable : sur la faune, la flore, les bassins fluviaux et les ressources hydriques, les sols et le potentiel agricole, les ressources minières et naturelles, et, bien sûr, les structures sociales des régions intertropicales et méditerranéennes. Il n'en reste pas moins qu'au cours des quinze premières années d'existence de l'Orstom, le champ géopolitique où les chercheurs effectuaient leurs travaux était les colonies tout d'abord, puis les territoires d'outre-mer. La finalité des recherches menées, aux yeux des pouvoirs publics français, si ce n'est des chercheurs eux-mêmes, demeurait la mise en valeur et l'exploitation des ressources de ces territoires au bénéfice des intérêts métropolitains.

Les profonds bouleversements provoqués, à partir des années 1960, par les indépendances des colonies africaines et malgache de l'Empire français ne se traduisirent pas seulement par une extension du champ géographique de l'Orstom à de nombreux pays d'Afrique anglophone, d'Amérique latine, d'Asie du Sud-Est et du Pacifique Sud qui n'avaient

4 – E. Sibeud, Les sciences sociales à l'épreuve de la situation coloniale, *Revue d'Histoire des Sciences humaines*, 2004/1, 10, pp 3-7.

jamais connu de domination coloniale française. Ils ont surtout alimenté un processus certes progressif mais qui, en définitive, a abouti à une première rupture radicale avec le colonialisme des origines[5]. Formellement représenté dans quarante pays des Suds et entretenant des collaborations avec plus du double d'entre eux, l'IRD d'aujourd'hui est l'exact contraire d'une institution néocoloniale. En effet, sa vocation est totalement dédiée au renforcement des capacités propres de l'Enseignement supérieur et de la recherche de ses pays partenaires à contribuer, d'une part, aux avancées de la science universelle, d'autre part, à la satisfaction des besoins de leurs populations, en particulier de leurs groupes les plus pauvres et vulnérables. Si les chercheurs de l'IRD d'aujourd'hui partagent avec leurs prédécesseurs de l'Orstom le souci de s'enraciner au plus près des collaborations avec leurs collègues des Suds et des terrains intertropicaux et méditerranéens, ils incarnent un modèle original d'expatriation qui a peu d'équivalent ailleurs, en particulier dans le monde scientifique anglo-saxon. De fait, toutes et tous vivent et travaillent au quotidien dans les laboratoires, centres de recherche et universités de leurs partenaires des PED.

Cette indispensable distanciation à l'égard de toute forme de condescendance, voire de domination, à l'égard des scientifiques et, bien sûr, des populations des Suds, avec lesquels l'Institut collabore, nécessite cependant une vigilance continue et une réflexion autocritique permanente sur nos pratiques de recherche. Ainsi, les travaux de l'IRD ont joué un rôle significatif dans la reconnaissance de la nécessaire flexibilité des règles internationales de protection de la propriété intellectuelle pour faciliter l'accès des PED aux médicaments et à d'autres biens essentiels, ou pour combler la fracture numérique entre pays riches et pauvres[6] ; de même, ils ont fortement contribué à la reconnaissance des savoirs traditionnels, à commencer par ceux des peuples dits « premiers », et aux évolutions des règles internationales visant à garantir un juste « partage des avantages » des résultats de la recherche et des innovations qui en découlent[7]. Pour autant, nous devons adapter sans cesse nos pratiques,

5 – M.-L. Sabrié, Histoire des principes de programmation scientifique à l'Orstom (1944-1994), *in* : *Les sciences hors d'Occident au XX^e siècle*, éditions de l'Orstom/Unesco, 1995, vol. 2, pp. 223-234.

6 – F. Orsi, M. P. Carrieri, B. Coriat, É. Delaporte, J.-P. Moatti, B. Spire et al., Call for action to secure universal access to ART in developing countries, *Lancet*, 2010, vol. 375, issue 9727, pp. 1693-1694.

7 – F. Thomas, Les éthiques du partage des avantages dans la gouvernance internationale de la biodiversité sauvage et cultivée, *Éthique Publique*, 2014, vol. 16 (1).

par exemple en termes de dépôts de brevets, pour nous mettre en conformité avec ces évolutions que nos recherches ont elles-mêmes suscitées, comme c'est le cas actuellement avec le protocole de Nagoya de 2010 en matière d'accès aux ressources génétiques et de conservation de la biodiversité[8]. De même, l'IRD répond désormais activement aux demandes de restitution de collections scientifiques de diverses natures ou de fonds patrimoniaux provenant de ses pays partenaires, qu'il s'efforce de soutenir dans leurs démarches de réappropriation et de conservation à long terme. C'est ainsi que l'Institut remettra prochainement à la République du Gabon les centaines d'heures d'enregistrement des musiques et traditions orales collectées au Gabon dans les années 1950 par deux ethnomusicologues de l'Orstom.

Contribuer sur un pied d'égalité au renforcement des capacités des chercheurs, universitaires et institutions de recherche des PED – cœur du partenariat scientifique équitable qui fonde désormais l'action de l'IRD – n'est pas seulement une nécessité pour la science mondiale. Une récente analyse bibliométrique a d'ailleurs montré que les co-publications avec les chercheurs des Suds sont le seul domaine où la production scientifique d'ensemble de l'ESR français échappe à la tendance quasi inéluctable à voir son impact et sa visibilité diminuer, du fait d'une compétition internationale de plus en plus vive avec la montée en puissance de la recherche des pays émergents et, en particulier, de la Chine[9]. L'insuffisance des infrastructures et des capacités scientifiques dans de nombreux PED handicape aussi toute leur stratégie de développement. Ainsi, le fait que l'Afrique subsaharienne représente à peine 2 % de la production scientifique mondiale (le Nigeria et l'Afrique du Sud assurant à eux seuls près de la moitié de cette contribution)[10] obère sa capacité à l'innovation technologique, à peser dans les négociations internationales et, surtout, à former les cadres et les entrepreneurs indispensables à une croissance durable du continent[11].

---

8 – G. Bourdy, C. Aubertin, V. Jullian, É. Deharo, Quassia "biopiracy" case and the Nagoya Protocol: A researcher's perspective, *Journal of Ethnopharmacology*, vol. 206, 12 July 2017, pp. 290-297.

9 – *5 ans de production scientifique des unités mixtes de recherche de l'IRD*. Analyse bibliométrique 2012-2017, IRD, Marseille, 2018. http://www.ird.fr/media/ird.fr/actualites/photos-actualites/2017-1er-semestre/rapport-bibliometrique

10 – Rapport de l'Unesco sur la science vers 2030, Unesco, Paris, 2016. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000246417

11 – African Union, Agenda 2063 : the Africa we want. https://au.int/fr/agenda2063

De l'aide au développement à l'analyse critique du développement durable

La décolonisation initiée dans les années 1960 s'est également accompagnée d'une réorientation de la finalité des programmes de recherche, qui s'inscriront désormais dans une perspective « d'aide au développement » des nouveaux États. Néanmoins, après les indépendances, quand se forgeaient les premières institutions de la science nationale des PED, cette « recherche pour le développement » désignait des formes d'assistance technique ainsi que des programmes mis en œuvre dans les pays pauvres essentiellement financés par les pays riches. L'urgence de faire reculer la pauvreté, les impératifs de la croissance, les besoins de l'agriculture et de l'industrialisation, la mise en place des systèmes de santé guidaient les priorités de la recherche. La recherche dans les pays des Suds était pensée comme un outil de développement socioéconomique dans une logique de rattrapage des pays riches. Dans les années 1980, les crises des dettes en Amérique latine, en Afrique et en Asie, les contestations des programmes d'ajustement structurel que s'efforçaient d'imposer aux PED les institutions financières internationales, les crises sanitaires mondiales comme celle du sida, qui ont coïncidé avec la fin de la bipolarisation géostratégique héritée de l'après-guerre entre les blocs occidental et soviétique, et l'éclatement du modèle centre-périphérie marquèrent la fin de cette tendance. Celle-ci n'était pas exempte d'un certain paternalisme et de tentations de néocolonialisme, qui imprégnaient les programmes d'aide au développement, y compris dans le domaine de la recherche.

L'IRD d'aujourd'hui s'inscrit dans une seconde rupture radicale, fruit de l'émergence, au cours de ces cinquante dernières années, d'abord dans le champ scientifique, puis dans les arènes politiques multilatérales, d'une vision de plus en plus critique de la notion du développement conçu comme un processus linéaire au cours duquel les PED doivent parcourir, à vitesse accélérée, les grandes étapes historiques qui ont présidé à la croissance des pays de l'OCDE[12]. Avalisée dès 1987 par la

12 – S. Anand, A. Sen, Human Development and Economic Sustainability, *World Development,* vol. 28, issue 12, December 2000, pp. 2029-2049.

publication du rapport *Notre avenir à tous* (*Our Common Future*), rédigé en 1987 par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement de l'ONU, et connu comme le *Rapport Brundtland*, du nom de sa présidente, l'idée d'une transformation vers le développement durable a constitué une première incarnation de cette critique. Celui-ci est conçu comme « un mode de développement qui répond aux besoins des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs » ; deux concepts-clé lui sont rattachés, « le concept de besoins, et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir »[13]. Adoptés près de trente ans plus tard, en septembre 2015, par les 193 pays membres des Nations unies, les Objectifs de développement durable (ODD) à l'horizon 2030 demeurent le fruit de compromis multiples entre des pays, des acteurs et des intérêts différents, voire contradictoires. Mais, en accélérant la prise de conscience des urgences sociales – avec la montée sans précédent des inégalités – et écologiques – du réchauffement climatique aux autres changements environnementaux globaux – qui menacent à moyen terme l'avenir de la planète, la recherche scientifique a joué un rôle majeur. Elle a en effet contribué à définir ces objectifs comme cadre de référence du dialogue multilatéral et a proposé des solutions permettant d'infléchir en profondeur les modèles de croissance intenables qui continuent de dominer l'économie et les relations mondiales[14]. Parce qu'elles se concentrent sur la zone intertropicale et méditerranéenne, qui cumule les plus fortes vulnérabilités écologiques, sociales et politiques des modèles actuels de développement, les recherches en partenariat avec les Suds conduites par l'IRD se retrouvent souvent, de façon quasi naturelle, en première ligne des débats que suscite la mise en œuvre des ODD.

Si, comme le démontrent nombre des projets évoqués dans cet ouvrage, l'IRD s'inscrit désormais dans le cadre de référence fixé par les ODD, il n'abdique en aucun cas la nécessaire combinaison d'esprit critique, de

13 – Commission mondiale sur l'environnement et le développement, *Notre avenir à tous*, éditions du Fleuve/Publications du Québec, 1989.

14 – J.-P. Moatti, Dépasser les ambiguïtés et les limites des ODD : la science en première ligne, in : *Un défi pour la planète. Les Objectifs de développement durable en débat*, IRD Éditions/éditions Quae, 2017.

rigueur méthodologique et de défense de l'autonomie de la recherche à l'égard des pouvoirs constitués. Cette combinaison demeure au cœur de la démarche scientifique et caractérise l'Institut depuis les origines, au prix parfois de relations difficiles avec les autorités des pays d'accueil, voire avec celles de notre propre pays. À l'image du combat pour l'accès aux médicaments essentiels pour le sida, la tuberculose et la malaria pour les personnes atteintes des Suds, auquel j'ai été personnellement associé dans ma carrière de chercheur[15], cet ouvrage fourmille d'exemples qui montrent que les recherches conduites par l'IRD ont souvent eu le plus d'impact transformateur quand elles remettaient en cause les idées reçues, y compris au sein d'une communauté scientifique internationale qui n'échappe pas toujours à une excessive hégémonie de la pensée anglo-saxonne.

L'aptitude au débat pluraliste et à la pensée critique est donc partie intégrante de l'ADN de notre Institut. Elle en fait toute la richesse. Si elles ne font pas forcément l'unanimité en notre sein, comme d'ailleurs dans l'ensemble de la communauté scientifique internationale, nombre de recherches actuellement en cours avec nos partenaires des PED se réfèrent explicitement à la notion d'« anthropocène ». Celle-ci postule que l'activité humaine a atteint un tel degré de développement qu'elle aurait fait entrer la Terre dans une nouvelle ère géologique[16], que les changements environnementaux et sociaux globaux en cours menacent de transgresser les limites de la lithosphère et de la biosphère planétaires[17]. D'autres s'inscrivent même dans la perspective critique du « capitalocène »[18], selon laquelle ce n'est pas l'activité humaine en soi qui menace de détruire la planète, mais bien l'activité humaine telle que générée par les rapports sociaux de production et de domination capitalistes, en particulier dans sa phase de prédominance de la sphère financière.

---

15 – J.-P. Moatti, I. N'Doye, S. M. Hammer, P. Hale, M. Kazatchkine, Antiretroviral treatment for HIV infection in developing countries: an attainable new paradigm, *Nature Medicine*, 2003, vol. 9, pp. 1449-1452.

16 – P. J. Crutzen, W. Steffen, How Long Have We Been in the Anthropocene Era? *Climatic Change*, 2003, vol. 61, issue 3, pp. 251-257.

17 – W. Steffen, K. Richardson, J. Rockström *et al.*, Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet, *Science*, 2015, vol. 347, issue 6223, 1259855.

18 – A. Malm, *Fossil Capital: The Rise of Steam Power and the Roots of Global Warming*, Verso Books, London & New York, 2016.

Les deux ruptures majeures évoquées ci-dessus n'ont pas manqué d'avoir une traduction institutionnelle : tout d'abord en 1984, lorsque l'Orstom, rebaptisé à cette occasion « Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération » mais conservant le sigle Orstom, accède au statut d'établissement public à caractère scientifique et technologique (EPST), puis lors de la création en 1998 de l'Institut de recherche pour le développement (IRD), dans les formes statutaires d'EPST similaires à celles d'autres organismes publics de recherche comme le CNRS, l'Inra ou l'Inserm qui président à son fonctionnement actuel[19]. Le hasard faisant bien les choses, cette 75e année de l'Institut correspond également au 20e anniversaire de la création de l'IRD dans sa forme actuelle.

Depuis la création de l'IRD en 1998, d'autres évolutions institutionnelles sont intervenues. La plus récente a vu la totalité des laboratoires de l'Institut devenir des « unités mixtes de recherche » l'associant aux universités et, dans la grande majorité des cas, à un ou plusieurs autres organismes publics de recherche (Cirad, CNRS, Ifremer, Inra, Inserm, Irstea), faisant ainsi progresser la mutualisation d'ensemble de la projection aux Suds de l'ESR français. Ces cotutelles avec des établissements et organismes de sciences « généralistes » permettent aux équipes de l'IRD de combiner, encore mieux que par le passé, une insertion dans l'actualité la plus pointue de toutes les grandes disciplines scientifiques avec leurs connaissances de longue durée et profondes des contextes et des spécificités des PED.

Ce faisant, l'IRD est désormais mieux armé pour gérer et dépasser les tensions inhérentes à sa double fonction, depuis les débats originels antérieurs même à la Seconde Guerre mondiale jusqu'aux discussions sur le rôle de la science dans le monde multipolaire et numérique d'aujourd'hui. Tension qui, bien au-delà du clivage traditionnel entre recherche fondamentale et recherche appliquée, se joue entre, d'une part, sa contribution à la science universelle – nombre des grandes questions qui se posent à la recherche, du changement climatique aux migrations en passant par les inégalités, ne sont en effet pas solubles sans l'éclairage des données observées dans la zone intertropicale et méditerranéenne – et, d'autre part, sa contribution à l'élaboration d'innovations et de solutions mieux adaptées aux besoins essentiels des populations des PED. Tension aussi

19 – Ph. Lazar, Quelle science pour les pays en développement ?, *Science*, 1999, 99 (4), pp. 59-62.

entre son rôle désintéressé de producteur de connaissances scientifiques qui, par essence, sont un bien public mondial au service de l'humanité tout entière, et son rôle au service de la « diplomatie scientifique » et de la stratégie d'influence de la France, et plus largement du monde francophone. Mais ce ne sont pas tant les aspects institutionnels que l'inscription résolue de l'IRD dans une troisième ère majeure, actuellement en cours dans le champ scientifique lui-même, qui garantira son avenir, comme celui de toute la recherche au service du développement durable.

À l'avant-garde de la « science de la durabilité » *sustainability science*

Amorcée dans les années 1980, l'émergence d'un nouveau champ scientifique, baptisé *sustainability* science dans la littérature internationale, et que l'on peut traduire imparfaitement par « science de la durabilité », est devenue depuis le début de ce siècle une priorité de l'Académie nationale des sciences des États-Unis (NAS), et quelque temps après, de son équivalent chinois[20]. Elle est désormais au cœur de l'action du Conseil international pour la science (ISC), qui coordonne les Unions scientifiques internationales[21], et de grands programmes de recherche ou partenariats scientifiques internationaux comme Future Earth[22] et le Belmont Forum[23]. L'Académie américaine définit cette *sustainability science* comme « traitant des interactions entre les systèmes naturels et sociaux et de la façon dont ces interactions peuvent affecter les enjeux du développement durable : satisfaire les besoins des générations présentes et futures en réduisant la pauvreté tout en préservant les écosystèmes planétaires »[24].

20 – R. W. Kates, W. C. Clark, R. Corell *et al.*, Sustainability Science, *Science*, 27 April 2001, vol. 292, issue 5517, pp. 641-642.

21 – https://council.science/

22 – http://www.futureearth.org/

23 – http://www.belmontforum.org/

24 – W. C. Clark, Sustainability Science: A room of its own, PNAS, February 6, 2007, 104 (6), pp. 1737-1738.

Au cours de ces vingt dernières années, ce champ a été conforté par la création de plusieurs journaux scientifiques spécialisés et, plus récemment, par sa reconnaissance par les plus grandes publications scientifiques « généralistes » (*Nature*, *Science*, *Lancet,* etc.)[25].

La science de la durabilité se caractérise par le fait que ses objets et ses problématiques de recherche trouvent d'abord leur source dans la confrontation aux problèmes du monde réel, des écosystèmes et des sociétés, plutôt qu'à la dynamique propre des disciplines scientifiques qu'elle mobilise. Elle se veut donc intrinsèquement interdisciplinaire et intersectorielle, puisqu'elle se focalise sur une meilleure compréhension des chaînes causales complexes qui permettent d'expliquer les changements et les dérèglements actuels des éco-socio-systèmes, et sur la production de solutions et d'innovations qui favorisent les trajectoires d'évolution vers un développement durable[26]. Elle exprime, au sein même des pratiques de recherche, un attachement tout particulier aux « sciences participatives », c'est-à-dire à la co-construction, dès l'amont, des programmes de recherche avec les communautés et les groupes sociaux qui sont les premiers concernés par les problèmes qu'elle s'efforce de traiter[27]. L'ancrage dans les territoires (sur le terrain) doit ainsi permettre de conjuguer le développement de fronts de science génériques avec la reconnaissance des problèmes auxquels font face les sociétés dans leur quotidien et dans leur environnement.

La préparation, puis l'adoption en 2015 et la mise en œuvre en cours de l'Agenda 2030 des ODD ont suscité une formidable accélération de l'intérêt pour la science de la durabilité, dans la communauté scientifique et au-delà. Des avancées significatives sont notamment intervenues dans l'analyse des interactions entre les multiples phénomènes visés par les ODD, ainsi qu'entre les politiques et actions visant à les promouvoir. Il s'agit en effet d'éviter que la poursuite « verticale » de chaque objectif n'affecte négativement les autres, pour,

---

25 – M. A. Bettencourt, J. Kaurc, Evolution and structure of sustainability science, PNAS, December 6, 2011, vol. 108, n° 49, pp. 19540-19545.

26 – J.-L. Chotte, J.-P. Moatti, Une science interdisciplinaire au service du développement durable. *The Conversation*, juillet 2018. https://www.ird.fr/toute-l-actualite/communiques-et-dossiers-de-presse/cp-2018/une-science-interdisciplinaire-au-service-du-developpement-durable

27 – *Nature Editorial*, 3 October 2018. The best research is produced when researchers and communities work together. https://www.nature.com/articles/d41586-018-06855-7

au contraire, maximiser les synergies positives entre les politiques de soutien aux ODD[28]. Pour ne citer qu'un seul exemple parmi des centaines, il s'agit d'éviter que la sécurité alimentaire ne soit garantie, comme à l'heure actuelle, par une croissance exponentielle de l'usage des intrants chimiques et des pesticides dans l'agriculture, mais, à l'inverse, d'augmenter, par la promotion de l'agroécologie, les capacités de stockage du carbone dans les sols, qui contribuent simultanément à la réduction des émissions de gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique et à l'amélioration de la productivité agricole[29].

Les Nations unies ont amorcé une reconnaissance institutionnelle de la science de la durabilité, en confiant, pour la première fois de leur histoire, l'évaluation critique des ODD à un groupe de 15 scientifiques indépendants (IGS), dont l'auteur de ces lignes fait partie, plutôt qu'aux agences onusiennes elles-mêmes ; ce, de façon à permettre à celle-ci d'échapper aux habituelles négociations et compromis inter-gouvernementaux qui caractérisent les institutions multilatérales. Le premier de ces rapports quadriennaux dits « GSDR » pour *Global Sustainable Development Report*, qui se renouvelleront régulièrement jusqu'à l'horizon 2030 fixé aux ODD, est prévu pour septembre 2019[30]. Dans le contexte géostratégique actuel de crise du multilatéralisme, il constitue une rare opportunité pour l'évidence et la rationalité scientifiques d'influencer dans le bon sens les politiques publiques.

À la lecture de cet ouvrage, on peut certes argumenter que l'IRD, au cours de ses 75 ans d'existence, n'a pas attendu l'émergence de la science de la durabilité pour pratiquer l'interdisciplinarité, contribuer à la résolution des problèmes majeurs rencontrés par les PED, et associer les populations, notamment les plus vulnérables, aux programmes de recherche pour le développement. D'autres pans de la recherche française pourraient sans doute avancer un argumentaire similaire. Mais, à force de pratiquer la *sustainability science* comme Monsieur Jourdain faisait de la prose, c'est-à-dire sans forcément l'expliciter, sans se positionner dans les instances et lieux de débat de ce champ, et sans même parfois en avoir

28 – *International Science Council, A Guide to SDG Interactions: from Science to Implementation*, 2017.
https://council.science/cms/2017/05/SDGs-Guide-to-Interactions.pdf

29 – https://www.4p1000.org/fr

30 – https://sustainabledevelopment.un.org/globalsdreport/2019

conscience, la science française et francophone risque de voir son impact s'amoindrir, tant face à la compétition scientifique internationale que dans sa capacité à influencer les politiques publiques et les comportements des acteurs clés du développement durable.

Fort de 75 ans de partenariat avec les pays et territoires de la zone intertropicale et méditerranéenne, les plus exposés aux dérèglements globaux et souvent les plus motivés, par nécessité, pour élaborer et diffuser des innovations « frugales » susceptibles de favoriser les ruptures vers des trajectoires de développement durable[31], l'IRD est particulièrement bien placé pour s'investir dans la science de la durabilité. Ce 75e anniversaire est donc l'occasion pour que notre Institut se porte à l'avant-garde de cette science en jouant un rôle d'entraînement et d'impulsion de l'ensemble de la recherche française et francophone, et surtout des scientifiques des Suds. Il y va de son avenir dans le prochain quart de siècle et, peut-être aussi un petit peu, et en toute modestie, de celui de notre planète.

31 – R. Adams, S. Jeanrenaud, J. Bessant, D. Denyer, P. Overy, Sustainability-oriented Innovation: A Systematic Review, *International Journal of Management Reviews*, vol. 18, issue 2, pp. 180-205, 2016 ; M. Hossain, H. Simula, M. Halme, Can frugal go global? Diffusion patterns of frugal innovations, *Technology in Society*, vol. 46, August 2016, pp. 132-139.

PARTIE 1

Les recherches menées par l'IRD sur les transformations des sociétés du Sud sont de précieuses sources de connaissances pour l'amélioration de la justice sociale, des relations de genre, de la lutte contre la pauvreté, de l'accès à l'emploi, à l'éducation et aux soins. Elles s'appuient sur des programmes développés de longue date sur la gouvernance, les inégalités, les mobilités et les obstacles à la croissance au Sud. Les questions foncières et culturelles, les dynamiques sociales et spatiales des sociétés du Sud, dans leurs liens avec celles du Nord, sont également au cœur des recherches menées par l'IRD et ses partenaires.





VERS DES SOCIÉTÉS PLUS JUSTES

Microcrédit et maxi-dettes

Dans les années 2000, le monde de l'aide internationale s'enthousiasme pour le concept du microcrédit, qui fera l'objet d'un prix Nobel en 2006. Cet engouement retombe lorsque les chercheurs et les ONG découvrent les travers de ces « petits prêts ».

En 2002, un projet innovant se met en place en Inde : des groupes mêlant l'État, les futurs bénéficiaires, des ONG et des banques, qui travaillent ensemble pour octroyer de petites sommes d'argent aux pauvres et faciliter un projet ou un achat. Une forme de microcrédit. Intéressés par la démarche, des chercheurs de l'IRD entament alors un travail d'évaluation et découvrent l'envers du miroir. En décortiquant la situation des familles qui empruntent, ils s'aperçoivent que toutes sont déjà endettées, non auprès de banques mais auprès de la famille, d'usuriers, de notables locaux ou de prêteurs sur gage.

Cette dette informelle, que personne à l'époque ne prend en compte, peut être très importante. Dans la zone rurale étudiée, certaines familles peuvent cumuler jusqu'à dix, vingt, trente dettes, soit un total allant d'un à trois salaires annuels. Lorsque les revenus sont irréguliers et la protection sociale quasi inexistante, le surendettement est donc massif. Dans un tel contexte, l'obtention d'un microcrédit contractuel, avec des échéances de remboursement fixes et mensuelles, ne fait que fragiliser les plus précaires, dont les revenus sont aussi irréguliers qu'imprévisibles.

« La recherche sur la dette de l'IRD, menée en Inde et en Asie du Sud sur une longue période et parfois dans des conditions difficiles, est exceptionnelle en ce sens qu'elle saisit les caractéristiques et les réalités uniques qui caractérisent l'essence et la perpétuation de la dette des ménages. Dans un paysage en constante évolution, la recherche révèle des schémas cachés négligés par les interventions publiques et tisse un superbe récit expliquant l'exclusion et l'exploitation continues et structurelles des personnes par la dette, mais aussi l'ambivalence de la dette et les limites des politiques de microcrédit. C'est pourquoi le travail de l'IRD est d'une grande importance pour l'Organisation internationale du travail, dans ses efforts pour accroître l'efficacité des politiques publiques de lutte contre la vulnérabilité au travail. »

Coen Kompier, Organisation internationale du travail, Inde

••• Dans les pays en développement, le microcrédit fragilise une population pauvre déjà endettée •••



Souscription de microcrédit, Pakistan.

Et le phénomène n'est pas seulement présent en Inde, on le retrouve dans de nombreux pays en développement. En outre, ce surendettement a des conséquences ambiguës. Il peut être la marque d'une solidarité familiale ou, au contraire, d'un enfermement dans un cercle vicieux pouvant conduire à la prostitution ou à la servitude. Si les ONG sont depuis lors moins nombreuses à pratiquer le microcrédit, les compagnies financières privées ont pris le relais, notamment parce qu'elles se sont aperçues que les pauvres aussi pouvaient être solvables.

Depuis, d'autres initiatives plus prometteuses sont suivies par l'IRD, comme de petites banques coopératives au Brésil qui financent et accompagnent des projets créant localement de la richesse. À suivre donc…

PARTENAIRES

Institut français de Pondichéry, Inde

Gujarat Institute for Development Studies, Inde

CIESAS-Occidente, Guadalajara, Mexique

Université fédérale de Bahia, Brésil

Université Hassan II, Casablanca, Maroc

Une économie d'emplois précaires

L'économie informelle n'est pas l'économie souterraine ou illégale. C'est celle qui correspond aux emplois précaires non recensés, ceux qui dans certains pays peuvent représenter l'immense majorité des emplois. D'où l'importance de pouvoir la quantifier.



Vendeur de pagnes, La Paz.



Emploi précaire, Togo.

Les pays en développement sont les royaumes de la débrouille. En l'absence d'opportunités d'emplois décents et d'aides sociales, les plus pauvres cultivent, échangent et exercent des emplois à domicile ou comme ambulants. Une économie informelle tolérée et massive mais que les autorités ont du mal à quantifier. Et pour cause : les recensements officiels repèrent les entreprises par leur adresse physique, mais la méthode est inadaptée pour décrire la réalité de cette économie, où seules les activités bénéficiant d'une certaine réussite ont les moyens de s'installer dans des locaux. Ce biais a longtemps permis aux gouvernements de laisser croire que l'économie informelle était celle des microentreprises dynamiques, celle des start-up. Une vision très enjolivée de la réalité.

Pour combler cette lacune, entre 1986 et 1988 au Mexique, des chercheurs imaginent une nouvelle approche pour mieux détecter les acteurs de l'économie informelle. Leur idée ? Effectuer des enquêtes non pas dans les entreprises, mais au sein des familles, pour savoir d'où vient l'argent qui les fait vivre. Quelques années plus tard, en 1993, au Cameroun puis à Madagascar, cette approche est améliorée, engendrant les enquêtes dites « 1-2-3 ». Il s'agit de questionnaires mixtes, mêlant des questions sur les familles et les microentreprises informelles qu'elles dirigent, et qui, comme leur nom l'indique, présentent trois volets : le premier vise à comprendre les différents types d'emplois des membres du ménage, et donc à repérer les petites unités informelles qu'ils ont créées ; le deuxième est un questionnaire sur le(s) entreprise(s) détectée(s) ; et le troisième porte sur la consommation des ménages, qui souvent achètent à de petites entreprises informelles.

Devenues un standard international, ces enquêtes 1-2-3 ont permis de mieux prendre en compte l'importance et surtout le fonctionnement de l'économie informelle, qui représente 70 % des emplois dans les pays en développement et jusqu'à 90 % en Afrique subsaharienne, 80 % en Asie du Sud-Est et 55 % en Amérique latine.

PARTENAIRES

Université d'Antananarivo, Madagascar

Universidad Catolica, Pérou

Vietnam Academy of Social Sciences

Instituts nationaux de la statistique, ministères du Travail, organismes régionaux et internationaux

« Les enquêtes sur le secteur informel et les microentreprises menées avec l'appui scientifique des chercheurs de l'IRD sont d'une importance cruciale pour le Vietnam. Elles permettent de combler le déficit de connaissances sur le sujet. Mais au-delà, elles ont des implications de premier plan en termes de contribution aux politiques publiques pour les populations laissées pour compte dans un contexte d'intégration internationale croissante et d'accélération du changement technologique. Pour la première fois au Vietnam, le Premier ministre a reconnu l'existence du secteur informel et la nécessité de le placer en haut des priorités de l'agenda officiel, avec l'élaboration de politiques ciblées qui devraient permettre à ces populations de participer au processus de croissance inclusive que le pays entend promouvoir. »

Doctor Nguyễn Thắng, Vietnam Academy of Social Sciences, Hanoï, Vietnam



© IRD/M.N. Fawer

Vendeurs de rue,Vietnam.

••• Des enquêtes mixtes permettent de quantifier l'économie informelle •••

La part manquante des femmes

Le genre est souvent appréhendé en termes de discrimination sociale ou économique. Mais les discriminations démographiques, qui empêchent les filles de naître ou de survivre, sont bien plus déterminantes en réduisant dramatiquement la part des filles dans certains pays.



Groupe de collégiennes, Indonésie.

La politique de l'enfant unique en Chine, le coût colossal de la dot des filles en Inde, tels sont les deux facteurs souvent présentés pour expliquer le déficit de naissance des filles dans le monde. Mais la situation serait en réalité bien plus complexe que cela. C'est ce que montre une équipe de démographes, après avoir comparé en 2008 la situation entre les deux pays. D'autres mécanismes seraient à l'œuvre. Pour tenter de mieux les identifier, les chercheurs examinent la situation d'autres nations du globe et ajoutent ainsi le Vietnam, l'Albanie, le Kosovo, l'Arménie, la Géorgie ou encore l'Indonésie à la carte des discriminations prénatales à l'encontre des filles.

De cette étude comparative naît en 2009 un cadre théorique présentant les trois piliers menant à l'émergence de ces pratiques, à savoir une préférence sociale pour les garçons, un accès à des technologies permettant de connaître le sexe des enfants à naître et une baisse de la fécondité. Lorsque ces trois facteurs sont réunis, une discrimination démographique peut se mettre en place, avec une intensité et une temporalité variables. Aujourd'hui, on estime à 120 millions le déficit du nombre de femmes, soit parce qu'elles ne sont pas nées, soit parce qu'elles sont décédées au cours de l'enfance, faute de soins.

Cette réalité n'est pas sans conséquences pour l'avenir, comme le montrent les projections. Dans certains pays comme la Chine ou l'Azerbaïdjan, 115 garçons naissent pour 100 filles. Ce surplus d'hommes devrait créer une saturation du marché matrimonial, et le phénomène ne fera que s'accentuer avec l'accumulation de générations successives d'hommes célibataires. Ces résultats ont permis de porter le débat sur la discrimination prénatale dans l'arène publique. Ils ont incité les gouvernements à mettre en place des politiques allant de campagnes de sensibilisation de la population à la formation des échographes, et parfois même jusqu'à l'interdiction de révéler le sexe de l'enfant.

PARTENAIRES

Geostat, National Statistics Office of Georgia, Tbilissi, Géorgie

General Statistics Office, Hanoï, Vietnam

Agjencia e Statistikave të Kosovës, Pristina, Kosovo

Jawaharlal Nehru University, New Delhi, Inde

Beijing University, Beijing, Chine

Fonds des Nations unies pour la population, New York, États-Unis

WorldVision, New York, États-Unis

Population Council, New York, États-Unis

London School of Economics, Londres, Royaume-Uni

••• La Chine et l'Inde ne sont pas les seuls pays
à faire naître davantage de garçons •••



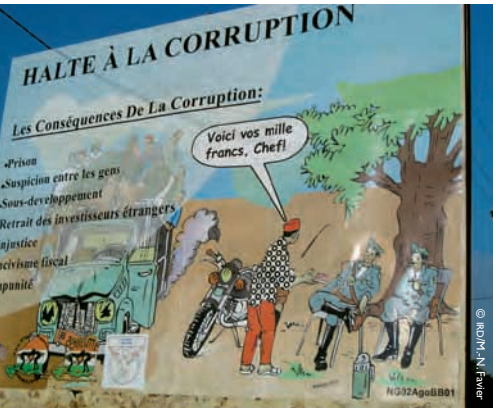
Jeunes femmes sur la plage, Inde.

« Dans un pays comme l'Inde, ces travaux majeurs sur la sélection sexuelle à la naissance ou la surmortalité féminine ont permis de mieux comprendre ces discriminations dans une perspective internationale. Ces études encouragent les décideurs indiens à prendre des mesures pour s'attaquer à ces problèmes. Les résultats issus de ces recherches sont souvent utilisés par les intervenants indiens qui travaillent dans ce domaine. »

Nandita Saikia, Assistant Professor, Jawaharlal Nehru University, New Delhi

La gouvernance et la corruption vues d'en bas

L'amélioration de la confiance dans les institutions, la garantie de la sécurité des citoyens et le contrôle de la corruption sont parmi les objectifs de l'Agenda international. Toutefois, la conception d'indicateurs de suivi de ces objectifs représente un énorme défi.



Affiche contre la corruption, Niger.

Dans les années 1990, les économistes s'interrogent sur les facteurs de blocage de l'économie malgache. En effet, Madagascar est le seul pays en paix qui s'appauvrit sans discontinuité depuis l'Indépendance. Pour documenter le lien entre cycles économiques et politique, des enquêtes sont menées sur la gouvernance sociopolitique au quotidien. Cette thématique est abordée à travers des modules d'enquêtes statistiques menées en collaboration avec l'Institut malgache de la statistique. L'objectif est alors de saisir directement la perception et le vécu de la population concernant la corruption, la discrimination, l'insécurité et de jauger la confiance accordée aux institutions. Une première.

Jusque-là, les indicateurs de la corruption ou de la gouvernance étaient majoritairement calculés par des organisations internationales comme la Banque mondiale ou Transparency International, sur la base d'avis d'experts souvent éloignés des réalités vécues par les citoyens ordinaires. Par ce travail pionnier, l'IRD propose notamment un indicateur alternatif qui mesure la corruption bureaucratique subie au quotidien par la population, en recourant à un dispositif d'enquêtes *ad hoc*. Ce dispositif repose sur une séquence de questions qui concernent l'ensemble de la population.

La publication du niveau de corruption observé par cet indicateur a alors contraint les autorités à reconnaître l'ampleur du phénomène (un tiers de la population touché) et à mettre en place des mesures et des institutions de lutte contre la corruption. Depuis cette première expérience à Madagascar en 1995, la méthodologie a été expérimentée dans de nombreux autres pays. En 2013, elle a servi de base au dispositif harmonisé de mesure et de suivi des indicateurs de gouvernance, paix et sécurité (GPS) adopté par l'Union africaine et validé par l'ensemble des Instituts nationaux de la statistique (INS) des pays africains. L'approche est aujourd'hui également adoptée par les INS des pays du Nord (Italie, France).

PARTENAIRES

Université d'Antananarivo, Madagascar

Universidad Catolica, Pérou

Vietnam Academy of Social Sciences

Instituts nationaux de la statistique, ministères du Travail, organismes régionaux et internationaux

Développer l'éducation publique dans les villes



Cours de CE1, Burkina Faso.

Inscrite à l'Agenda international, l'amélioration de l'accès à l'éducation est l'une des priorités en matière de développement. Il s'agit de diminuer les disparités entre les pays, mais aussi au sein même de chacun d'entre eux.

Au Burkina Faso, l'accroissement de l'offre scolaire publique – primaire puis secondaire – en milieu rural a été une priorité pour les politiques éducatives menées depuis les années 2000. L'idée était de réduire les inégalités entre milieux urbain et rural. Aussi la capitale, Ouagadougou, qui présente les niveaux de scolarisation les plus élevés du pays, a peu attiré l'attention des politiques. Cette situation scolaire privilégiée cache pourtant de fortes inégalités spatiales intra-urbaines. Un partenariat initié en 2015 a permis de produire un atlas numérique de l'offre scolaire, à partir d'une base de données inédite, qui croise la localisation de tous les établissements primaires et secondaires de la capitale avec les caractéristiques de chaque établissement.

Qu'en ressort-il ? Tout d'abord, un très net déficit de l'offre scolaire publique : elle représente 31 % seulement des écoles primaires et 25 % au niveau secondaire. Les établissements publics sont concentrés dans les quartiers centraux de la capitale, alors que les populations d'âge scolaire résident majoritairement dans les quartiers périphériques. Le secteur privé, dominé par les établissements laïcs, se révèle spatialement très hétérogène : ceux bien équipés, chers, sont situés dans les quartiers centraux et destinés aux catégories aisées ; ceux mal dotés, moins chers, sont essentiellement placés dans les zones périphériques où vivent les populations les plus pauvres. Alors qu'au Burkina Faso, l'éducation est obligatoire pour les 6-16 ans depuis la loi de 2008, dans la capitale, l'insuffisance et la répartition spatiale de l'offre scolaire publique posent un problème en termes d'équité. Les familles des zones périphériques désireuses de scolariser leurs enfants n'ont d'autre choix que des écoles privées et le plus souvent de mauvaise qualité.

Cet atlas numérique de l'offre scolaire à Ouagadougou, qui permet de discerner les territoires urbains les plus défavorisés et d'identifier les établissements insuffisamment dotés, constitue un outil précieux de suivi, de diagnostic et de pilotage du système éducatif, qu'il conviendrait maintenant de pouvoir pérenniser. Cet outil pourrait aussi être étendu à d'autres villes et capitales.



École privée à Ouagadougou, Burkina Faso.

PARTENAIRES

Institut supérieur des sciences de la population, université de Ouaga 1, Burkina Faso

Institut des sciences de la société, Burkina Faso

Directions générales des études et des statistiques sectorielles : ministère de l'Éducation nationale et de l'Alphabétisation, ministère des Enseignements secondaire et supérieur, ministère de l'Action sociale et de la Solidarité nationale, Burkina Faso

L'abécédaire du multilinguisme

En Guyane, 75 % de la population ne parle pas français avant d'aller à l'école. Or l'enseignement se déroule en français, sans adaptation particulière. La conséquence ? Un échec scolaire massif. 56 % des Guyanais finissent leur scolarité sans diplôme. Une réalité contre laquelle des mouvements de revendication locaux se sont érigés dans les années 1990.



Formation de médiateurs bilingues, Guyane.

En Guyane, la scolarisation est encore récente dans les communautés amérindiennes et marronnes alors qu'elle date de quelques générations pour les populations créoles du littoral, de ce fait plus francophones. Dans ce département, quarante langues différentes cohabitent, dont dix ont été décrites depuis les années 1990 par l'Orstom à la suite de revendications politiques locales pour intégrer ces langues locales à l'école. Aussi, en 1998, des chercheurs se sont appuyés sur des expériences réalisées au Brésil ou en Colombie pour mettre en place un dispositif expérimental, bilingue, dans lequel le français cohabite avec des langues minoritaires comme le kali'na ou le wayana, le nengee ou encore le hmong. Ces langues ont été reconnues comme « langues de France ». De tels dispositifs, généralisés en 2017, ont largement facilité l'intégration scolaire des élèves.

••• Deux programmes ont contribué à adapter l'école aux spécificités guyanaises •••

En parallèle, entre 2000 et 2013, une grande étude sociolinguistique a été lancée pour préciser la répartition géographique des langues de Guyane. 80 écoles ont été visitées. Il est apparu que ce n'est pas une seule langue minoritaire qui est parlée au sein de chaque classe, mais plusieurs. À 10 ans, la plupart des enfants pratiquent jusqu'à quatre langues différentes. Ce constat a donné naissance à un second dispositif, basé sur le plurilinguisme des élèves. L'idée est d'utiliser toutes les langues présentes en classe comme des ressources et d'utiliser des outils pédagogiques permettant de créer des ponts, des parallèles entre les langues, de façon à accélérer l'apprentissage. Ces techniques, utilisées notamment par les linguistes ou dans les centres d'accueil pour les migrants, ont été intégrées depuis 2010 dans la formation universitaire des enseignants de Guyane. De quoi créer une société plus inclusive. Grâce à ces mesures et à l'arrivée d'internet dans les zones reculées, les premières générations d'élites formées, amérindiennes et marronnes, sont en train d'émerger.

PARTENAIRES

Université de Guyane

Rectorat de la Guyane

Direction des affaires culturelles, Guyane

« L'IRD, au travers de son laboratoire des sciences sociales (CELIA) puis du SEDYL, a contribué à mettre en valeur depuis vingt-cinq ans des langues peu ou pas documentées (les langues amérindiennes et businenge notamment), ce qui a conduit à une meilleure connaissance de la situation sociolinguistique guyanaise. Ces travaux ont permis de faire entrer les langues locales dans l'enseignement et dans la formation des enseignants, et de faire reconnaître le plurilinguisme de la population, avec pour objectif de réduire les inégalités dans le département et de favoriser une meilleure inclusion sociale. »

Antoine Primerose, président de l'université de Guyane



À l'école en Guyane.

Interroger le développement

Dans les années 1980, le monde du développement prend conscience que nombre de ses actions en faveur des pays du Sud sont des réussites partielles, et parfois même des échecs patents.



© R.Dr Lavigne-DeVille

Affiche de projet de développement, Bénin.

Dans les années 1980, des géographes, sociologues ou anthropologues de l'IRD œuvrant aux quatre coins de l'Afrique constatent l'absurdité de certains projets de développement, et les effets limités de nombreux autres. Ils vont désormais considérer les politiques et les projets de développement comme un objet de recherche à part entière. Ils interrogent alors la notion de développement et mènent des recherches sur les interventions elles-mêmes, et plus largement sur le monde du développement, ses acteurs, ses institutions. Leur objectif était de comprendre la façon dont l'aide internationale et les projets des États sont devenus une partie intégrante du quotidien des sociétés, et quels sont leurs effets. Loin d'une vision idéalisée, ils ont replacé les interventions dans leur contexte local et dans leur histoire. Ils ont analysé les conflits qu'elles suscitent.

Montrant la diversité des intérêts autour des projets, interrogeant leurs enjeux politiques et les conceptions du « progrès » qu'ils véhiculent, ces travaux novateurs ont contribué à renouveler la compréhension de ce qu'est le « développement ». Ils ont été à la base de la création, en 1991, de l'Association pour l'anthropologie du changement social et du développement (APAD), qui compte près de 300 membres, en Afrique et en Europe.

Les chercheurs ont ensuite exploré les dynamiques des organisations locales, la mise en place des politiques de décentralisation, le fonctionnement concret des administrations nationales ou des centres de santé, les politiques publiques…, apportant des contributions majeures à la compréhension des rapports entre États, sociétés et monde de l'aide, en Afrique et ailleurs. Ces travaux ont contribué à engager un dialogue à la fois critique et constructif entre les chercheurs, les agents de l'État et les praticiens du développement, au Nord comme au Sud. Certains acteurs du développement n'hésitent plus aujourd'hui à faire appel aux anthropologues pour étudier les effets de leurs actions, et parfois pour mieux les définir.

PARTENAIRES

Centre national de la recherche scientifique et technique, Ouagadougou, Burkina Faso

Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Laboratoire d'études et de recherches sur les dynamiques sociales et le développement local (Lasdel), Niamey (Niger) et Parakou (Bénin)



Le réseau Méga-Tchad



Femmes de l'ethnie Boudouma, lac Tchad.

Le bassin du lac Tchad est à la fois un carrefour de cultures, un foyer de domestication des plantes et une zone de forte biodiversité. D'importants programmes de recherche relevant des sciences de la vie et des sciences humaines y ont été menés

En 1977, un petit groupe de chercheurs en sciences humaines – linguistes et géographes au départ – crée le Réseau international de recherches pluridisciplinaires dans le bassin du lac Tchad. Depuis, ce réseau s'est considérablement développé et il réunit aujourd'hui plus de 350 chercheurs de plus de vingt nationalités différentes. Ce réseau informel a pour objectif de stimuler la recherche sur les peuplements actuels et passés du bassin tchadien, et de favoriser les échanges entre les chercheurs travaillant sur cette région.

Pour ce faire, il édite un bulletin annuel publié en ligne, anime un site web et organise régulièrement des manifestations scientifiques autour de thèmes allant de l'histoire de la métallurgie aux relations hommes/femmes, de l'organisation économique et politique aux rites mortuaires, de la végétation à l'insécurité en passant par l'éducation des enfants. Le réseau intègre de nombreuses disciplines et rassemble les connaissances sur le bassin du lac Tchad acquises avant la mise en place des différentes universités locales. Ce faisant, il a contribué à améliorer leur production scientifique.

Aujourd'hui, les données accumulées par le réseau depuis plus de trente ans sont les seules disponibles, avec celles de jeunes universités locales, depuis l'insurrection de Boko Haram et l'interdiction d'accès à cette région en 2010. C'est à partir de cette base de données que des projets de suivi des populations des rives du lac – où vivent deux millions de personnes – peuvent être envisagés. De fait, ce réseau continue à éclairer par ses travaux les programmes de développement dans cette région en proie à l'insécurité.

Dans l'actuel contexte de crise et d'insécurité, les recherches sur les politiques et les pouvoirs locaux, sur le défi démographique que connaît la région, sur la jeunesse, sur les technologies de la communication semblent prioritaires pour nombre de scientifiques.



Étal de poissons fumés, Doro Léléwa, Niger.

PARTENAIRES

Universités du Tchad, du Cameroun, du Niger et du Nigeria

Sécuriser les droits fonciers des paysans

Dans les pays anciennement colonisés, la question foncière est souvent un casse-tête. Depuis les années 1990, l'ajustement structurel imposé à certains États et les revendications des agriculteurs et éleveurs ont fait de la question des droits sur la terre en milieu rural un sujet très controversé.



Récolte de pommes de terre, Équateur.



Éleveur et son troupeau, Bénin.

Dans nombre de pays du Sud, depuis l'époque coloniale, seules certaines élites (locales, nationales ou étrangères) ont accès à un titre de propriété, et les terres non enregistrées sont considérées par la loi comme contrôlées par l'État. Pourtant, en milieu rural, l'essentiel des terres est régi par des normes locales, ou coutumières, très dynamiques, mais reposant sur des principes différents du droit étatique et non reconnus par ce dernier. La transmission des terres ou des biens immobiliers ne fait l'objet d'aucun acte officiel. Ces conditions favorisent les spoliations dont les populations rurales sont parfois victimes, de la part de l'État, d'élites politiques ou économiques. Mais comment prouver, ou établir, la possession d'une terre dans une telle situation ?

Ce dualisme entre droit de l'État et normes locales devient un sujet de préoccupation dans les années 1990, lorsque les droits fonciers « informels » commencent à être considérés comme des freins au développement agricole. Dès lors, deux visions principales s'affrontent. L'une, dominante, promeut l'attribution de titres de propriété privée censés sécuriser les acteurs économiques et les inciter à investir. L'autre questionne les liens supposés entre propriété privée et investissement, et alerte sur les risques de dépossession des paysans. Elle promeut plutôt

« Les travaux de l'IRD sur le foncier ont fortement interpellé de nombreux chercheurs et experts ouest-africains, leur permettant de sortir des sentiers battus. Ils ont servi de fondements à ma contribution en tant qu'expert foncier à la politique foncière du Burkina ; ils ont aussi alimenté mes apports à la formulation des orientations de l'Union africaine sur les politiques foncières en Afrique. »

Hubert Ouedraogo, juriste, consultant international, ancien expert foncier auprès de la Land Policy Initiative de l'Union africaine

••• Par leurs travaux, les chercheurs œuvrent
à la sécurisation des droits fonciers en milieu rural •••



Champs de sorgho en pays bassari, Sénégal.

la sécurité des droits des agriculteurs et des éleveurs sur la terre et sur les ressources naturelles qu'ils exploitent, en renforçant la capacité des institutions locales qui régissent le foncier.

Étudiant tant les dynamiques foncières sur le terrain que les politiques foncières et leurs réformes, en montrant que celles-ci peuvent aggraver l'insécurité foncière, les anthropologues, les économistes, les géographes ont largement contribué à montrer la pertinence de cette seconde vision, et à alimenter la réflexion sur les façons de la concrétiser. S'appuyant sur leurs recherches de terrain, ils ont contribué au débat sur les politiques foncières, en mettant au point des méthodes de description des droits locaux, en étudiant les conséquences des stratégies déployées par les gouvernements, en faisant circuler leurs analyses *via* des rapports et des publications scientifiques, et en participant à des groupes de réflexion sur les réformes foncières, aux échelles nationales et internationales.

PARTENAIRES

Centro de Investigaciones y Estudios Superiores en Antropologia Social, Mexico, Mexique

Université Félix Houphouet-Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire

Université Alassane-Ouattara, Bouaké, Côte d'Ivoire

Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Cultures des lieux

Dans les années 1970, la géographie s'appuie beaucoup sur des données quantifiables, visibles et traduisibles en cartes. De ce fait, elle peut parfois négliger certaines dimensions essentielles des sociétés dont elle prétend rendre compte. C'est ce constat qui a donné naissance à d'autres approches en géographie, davantage tournées vers la culture.



Récolte du kava, Vanuatu.



Scène de repas, Tanna, Vanuatu.

La géographie ne peut pas reposer uniquement sur la collecte de données, des levés topographiques ou des cartes, mais doit aussi prendre en considération les dimensions symboliques ou sensibles dans lesquelles évoluent les sociétés. Telle est l'intuition de Joël Bonnemaison, un géographe installé en Océanie à partir des années 1980. Après avoir parcouru les îles pour décrire les phénomènes migratoires ou les pratiques agricoles, il finit par s'intéresser, au fil de longs entretiens, aux récits sur le monde et aux perceptions de l'environnement des insulaires.

Quittant le domaine jusque-là fonctionnel de la géographie, il s'intéresse à une information invisible, située à la frontière entre celle-ci et l'ethnologie. Ce faisant, il sort du quantitatif et du matériel pour entrer dans l'affect et le qualitatif. Il ouvre un champ de recherches où l'analyse spatiale s'enrichit de la vision et de la symbolique des sociétés. Il promeut une géographie vue par le filtre de la culture des habitants.

Sur l'île de Tanna, dans l'archipel du Vanuatu, il entend par exemple le récit fondateur d'un ogre mis en pièce et dont la tête, le tronc et les membres tombent en différents endroits de l'île, les chargeant durablement de symboles : impensable pour les insulaires de concevoir le fonctionnement d'une partie de l'île indépendamment des autres parties. De même, de longs récits mythiques expliquent l'origine des pierres sacrées qui ponctuent l'espace de l'île et sont la source de différents savoirs vitaux pour la société locale.

En s'intéressant à ces récits et aux lieux qu'ils chargent ainsi de sens, le chercheur élabore le concept de « géosymboles ». Il explore le lien, pour lui charnel, unissant les peuples à leur territoire. Poursuivant par d'autres analyses inspirées des visions endogènes de l'espace, il ouvre la voie en France à tout un pan culturel de la géographie. Sa vision fera école dans le monde universitaire, en France mais aussi à Québec et dans le monde.

PARTENAIRES

Communautés de l'île de Tanna



Collecte du miel chez les Baka, Cameroun.

Une histoire évolutive des hommes

Après s'être intéressée à la morphologie humaine, à l'alimentation ou aux maladies, l'anthropologie biologique s'est penchée sur la génétique, explorant les modalités d'adaptation et l'origine des populations.

L'homme est un animal comme les autres. Il évolue et, sur le long terme, s'adapte à son environnement. Pour étudier ce phénomène d'adaptation, une étude pluridisciplinaire est menée au Cameroun entre 1983 et 1993. Pourquoi le Cameroun ? Parce que le pays réunit la plupart des écosystèmes africains (désert, forêt, savane, haute altitude) et compte 240 langues différentes, et donc autant de populations humaines. Pendant dix ans, les chercheurs ont ainsi recensé les ressources disponibles, les recettes de cuisine, les calories ingérées, la croissance des individus, les maladies en présence…

Entre autres résultats, ils montrent que 20 à 25 % des enfants camerounais souffrent de malnutrition, quel que soit leur milieu de vie mais pour des raisons différentes. Une observation que les chercheurs expliquent ainsi : en forêt, la nourriture est abondante mais les pathogènes aussi, ce qui entrave le développement des enfants. En milieu sec (savane ou désert), la nourriture est plus aléatoire, mais la charge parasitaire est moindre. Les enfants y sont en meilleure santé, bien que leur alimentation soit moins riche. Ce constat a permis d'adapter les stratégies de lutte ciblées contre la malnutrition.

Dans les années 2000, les anthropologues s'intéressent à la diversité biologique des populations et dressent une cartographie génétique du Cameroun. Trois grandes familles se détachent, les Bantous, les Sahéliens et les Pygmées. En collaborant cette fois avec des climatologues, les chercheurs vont retracer l'histoire des Pygmées, une population caractérisée par sa petite taille et qui se serait adaptée à la vie en forêt. Au gré des grands cycles climatiques qui ont parfois réduit et fragmenté les forêts africaines, depuis plusieurs centaines de siècles, les Pygmées auraient connu plusieurs phases d'isolement expliquant leur dispersion et leur morphologie actuelle.

Depuis quelques années, les recherches portent plutôt sur les contacts avec la faune sauvage, et notamment la fréquence des confrontations entre les singes et les hommes, l'objectif étant de mieux cerner et identifier les virus susceptibles d'être transmis à partir du gibier. Ceux qui pourraient être à l'origine des maladies émergentes de demain.



Huttes traditionnelles, Pygmées Baka, Cameroun.

PARTENAIRES

Ministère de la Recherche du Cameroun

La migration en relief

Les flux migratoires font régulièrement la une des médias. Moins souvent celle des journaux scientifiques. Et pourtant, des approches scientifiques innovantes révolutionnent actuellement la compréhension de ces mouvements de population.



Camion de migrants de retour au Niger.

Un flux migratoire se résume souvent à un trait, voire à une flèche, sur une carte. Une vision très réductrice de la réalité, comme le révèle la diversité des récits de migrants recueillis lors d'une étude de terrain effectuée sur les routes transsahariennes. Il doit exister un moyen pour saisir la diversité des situations migratoires, et donner à voir les différentes expériences vécues par les migrants, celles qui modifient leur parcours et les font souvent basculer dans la vulnérabilité. Une réflexion est alors entamée pour établir une nouvelle représentation du parcours migratoire, notamment en visualisant les ressources mobilisées par le migrant et l'évolution de son statut en fonction des réglementations nationales et internationales qui s'appliquent dans les pays traversés.

Par la suite, un partenariat est établi avec une équipe d'informaticiens pour voir comment utiliser les récits individuels des migrants afin d'enrichir la compréhension des parcours migratoires. Extraire un parcours migratoire à partir de données textuelles constitue un réel défi scientifique. Ces informations sont fouillées par différents outils informatiques et modélisées sous forme de graphes représentant notamment les espaces, les temps et les ressources du parcours migratoire. Ce faisant, l'équipe met en lumière des points de convergence, c'est-à-dire les écueils et les opportunités qui structurent les parcours migratoires.

Cette représentation des lieux et des acteurs de la migration selon le modèle de l'ontologie informatique rend compte de la réelle complexité des parcours migratoires et montre la diversité des processus sociaux, politiques, économiques à l'œuvre. Elle confirme entre autres que ce sont en réalité les dispositifs d'externalisation du contrôle des frontières des pays du Nord aux frontières des pays d'origine et de transit qui font basculer les migrants de la légalité vers l'illégalité sur les routes des Sud.

PARTENAIRES

CNRS, France

Université Paris-Descartes, France

Université d'Artois, France

Université de Poitiers, France



Approvisionnement de bois dans un camp de réfugiés, Kenya.

Un monde en campement

Le nombre des migrants dans le monde est passé de 150 millions en 2000 à 250 millions aujourd'hui.

À la fin des années 1980, des démographes et des géographes commencent à s'intéresser aux relations entre migrations et développement. Puis, dans les années 1990, les crises africaines voient l'émergence de camps de réfugiés. Les chercheurs montrent alors que ces structures fermées, gérées par des organisations non gouvernementales, ont des effets sur l'environnement mais aussi sur l'économie locale, puisque les villages environnants profitent indirectement de l'aide internationale. Parce qu'il s'agit de structures nouvelles – des agglomérations allant de quelques centaines à plusieurs dizaines de milliers d'habitants qui croissent et se transforment dans un contexte d'enfermement –, des anthropologues entreprennent d'étudier leur dynamique interne entre 2000 et 2008.

Ils mettent en évidence que ces brouillons de ville peuvent avoir des effets positifs, notamment en favorisant la scolarisation des enfants ou leur multilinguisme, la transformation de l'habitat ou la naissance de nouvelles sociabilités. Mais ils posent également des questions sur le devenir à long terme des populations enfermées. Car comment grandir, étudier ou se projeter dans le monde si l'on ne peut sortir du camp ? Comment envisager un retour après une telle expérience ?

Ces questions ont amené le Haut-Commissariat des Nations unies pour les réfugiés (HCR) à créer au début des années 2010 une commission réfléchissant sur les alternatives aux camps de réfugiés. Les camps peuvent être considérés comme des solutions d'urgence adoptées par les États ou la communauté internationale en attendant d'autres solutions durables, mais celles-ci n'arrivent que rarement. L'attente des populations « encampées » durant plusieurs années voire décennies peut entraîner des formes d'urbanisation marginale, de politisation ou de « ghettoïsation » liées à cette immobilisation. La reconnaissance sociale, urbanistique et politique des droits de ces populations permettrait l'ouverture des camps et une meilleure intégration des 15 millions de réfugiés et déplacés qui y vivent aujourd'hui.



Enfants somaliens, camp de Saint-Annes, Kenya.

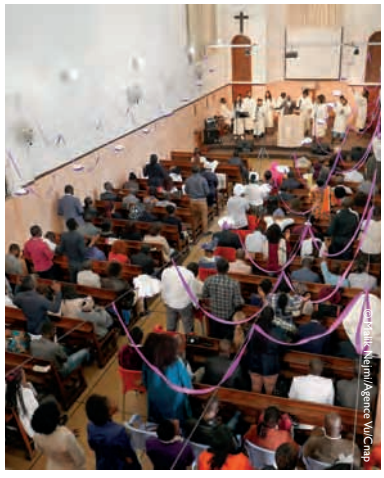
PARTENAIRES

Médecins sans frontières



Christianismes africains au Maroc

Les pratiques religieuses se transforment au gré des migrations et des rencontres. Ce processus est actuellement à l'œuvre au Maroc par le biais des migrations africaines.



Culte à l'église évangélique de Rabat, Maroc.



Temple dans un camp de migrants, Maroc.

Le Maroc est un pays musulman, où la liberté de culte n'est possible que pour les juifs marocains et les étrangers. Mais cette réalité est aujourd'hui questionnée par la nouvelle politique migratoire du pays qui, entre 2015 et 2018, a régularisé autour de 50 000 migrants, dont une bonne partie de confession chrétienne, venus d'Afrique subsaharienne. Cette régularisation a enrichi le pays de bien des façons, notamment en interrogeant les pratiques religieuses. Les églises, délaissées depuis la fin du protectorat français, se sont à nouveau remplies et cette dynamique chrétienne a dû trouver sa place.

Ainsi, une réorganisation du christianisme a vu le jour au Maroc et on a pu observer un renouvellement théologique. Car, pour limiter les incertitudes générées par l'arrivée massive de chrétiens, quelques leaders religieux chrétiens originaires de France et d'Afrique subsaharienne ont créé à Rabat un institut de théologie, formant des religieux capables d'encadrer les nombreuses églises souvent informelles présentes dans le pays. Un institut étudié *in situ* par une anthropologue pour comprendre la manière dont la religion se trouve façonnée par les réalités migratoires.

Au sein de l'institut Al Mowafaqa, les futurs encadrants sont formés à la théologie protestante et catholique durant quatre années et étudient également l'islam, le judaïsme, l'histoire religieuse et les langues comme l'hébreu, le grec et l'arabe. L'objectif est d'accompagner l'encadrement chrétien sur une terre renouant avec un christianisme jusqu'alors éteint ou caché, qui renaît avec les migrations et se construit dans son rapport à l'étranger, à la société locale et à l'islam.

Ces évolutions interrogent aussi les principes culturels et religieux de la société marocaine. Le roi du Maroc, Commandeur des croyants, vient d'inviter le pape en mars 2019 à le rencontrer afin d'évoquer ensemble les thématiques qui traversent leurs religions, et notamment les questions liées aux migrations autour de l'accueil et de l'hospitalité.

PARTENAIRES

LMI Movida (Mobilités, voyages, innovations et dynamiques dans les Afriques méditerranéenne et subsaharienne), Maroc-Sénégal-Burkina Faso-Niger

Université internationale de Rabat

Trajectoires invisibles de santé

On ne tombe pas toujours malade sans raison : le contexte ou les parcours de vie peuvent influer. Tel est le constat qui a amené des spécialistes de la santé à utiliser les outils des démographes pour détecter des facteurs de risque insoupçonnés.

Les immigrés subsahariens représentent 1 % de la population française, mais ils comptent pour 40 % des nouveaux cas de VIH détectés. Pendant longtemps, cette réalité n'a surpris personne. L'Afrique étant un continent particulièrement touché par le virus du sida, il semblait normal de trouver davantage de cas chez les migrants issus de ce continent. Une évidence qui s'est pourtant révélée fausse.

C'est ce que parviennent à démontrer des chercheurs en 2015, après avoir étudié les parcours de vie des migrants. Pour ce faire, ils ont appliqué au domaine de la santé des outils mis au point par les démographes pour analyser de façon statistique les parcours professionnels ou familiaux. Ils ont ainsi interrogé quelque 2 500 migrants africains et codé les réponses afin de pouvoir les comparer quantitativement.

Contre toute attente, les résultats montrent qu'entre un tiers et la moitié des Africains vivant en France avec le VIH ont été infectés après la migration, donc sur le sol français. La transmission se fait souvent lors des premières années, lorsque la situation des migrants est précaire. L'absence de logement est un facteur de risque important, en particulier chez les femmes qui entrent parfois dans une relation sexuelle transactionnelle. Les femmes ayant été contaminées en France par le virus du sida ont en outre quatre fois plus de risques d'avoir subi des violences sexuelles.

Ces résultats ont été utilisés par le ministère français de la Santé pour mieux cibler les campagnes de prévention et de dépistage. L'innovation méthodologique a quant à elle fait école. Réappliquée à d'autres recherches, elle a permis de montrer par exemple qu'au Cameroun, les personnes handicapées physiques ou mentales sont plus exposées au VIH, avec de fortes différences entre les hommes et les femmes.



© IRD/S. Brédiloux

Hôtel meublé à Belsunce, quartier d'accueil des nouveaux migrants, Marseille

PARTENAIRES

Institut de formation et de recherche démographique, Cameroun

Association Aides

Réseau des associations africaines et caribéennes de lutte contre le sida en Île-de-France

Comité médical pour les exilés, France

Inserm, France

Les liens migratoires

Les migrants laissent derrière eux des familles et des amis avec lesquels ils maintiennent des liens qu'il n'est pas toujours facile de qualifier ou de quantifier. Analyser ces relations permet de saisir les facteurs de migration ainsi que les retombées de ces déplacements.



Retour d'un migrant, Burkina Faso.

Pour saisir l'impact des migrations, il ne suffit pas de s'intéresser aux personnes qui s'expatrient. Il faut également connaître le sort de celles qui restent au pays. Et c'est pour comprendre les liens entre ces deux populations qu'en 2007, une équipe de chercheurs s'est intéressée à la migration sénégalaise, qui présente une grande variété de profils. Une enquête simultanée est alors lancée dans quatre pays d'accueil, la France, l'Italie, la Côte d'Ivoire et la Mauritanie. Dans chacune de ces destinations, des enquêteurs ont interrogé 300 migrants sénégalais sur leur situation et celle de leurs proches restés au pays. À partir des informations fournies par les migrants, ils ont ensuite retrouvé les familles au Sénégal pour les interroger sur les conditions dans lesquelles a été entrepris le départ et sur leur perception des conditions de vie du migrant. Ils ont ainsi obtenu, pour une partie des migrants, un jeu de données appariées. Une première.

En plus d'apporter un éclairage sur les montants de transferts monétaires envoyés par les migrants et sur les procédés mis en œuvre pour assurer leur régularité (notamment sur le contrôle social exercé par les premiers arrivants dans les pays d'immigration), l'étude a permis de montrer que la perception des migrants sur la situation matérielle des familles, et celle des familles sur la réalité des migrants, étaient toutes deux faussées. Si les familles ne savent pas grand-chose de la situation du migrant, les migrants ont tendance à surévaluer le patrimoine de la famille, notamment parce que l'argent envoyé pour réaliser des investissements ou des achats n'a pas été dépensé comme ils l'imaginaient.

Cette réalité explique le développement récent d'outils (plateformes commerciales ou applications sur smartphone) qui permettent aux migrants de livrer à leurs proches des denrées alimentaires ou des bons de consommation qu'ils peuvent retirer chez des commerçants agréés. Les migrants gardent ainsi le contrôle sur l'usage des fonds qu'ils envoient. Ethicphone, une jeune pousse incubée par Bond'innov dont l'IRD est membre fondateur, est l'un de ces outils.

PARTENAIRES

Agence nationale de la statistique et de la démographie (ANSD), Sénégal

Minorités déplacées



Mémoire vive des bombardements, Laos, 1994.

Quinze ans après la fin de la guerre du Vietnam, une partie du Laos est un champ de mines… où vivent des ethnies montagnardes. Le gouvernement entreprend de les déplacer massivement dans les années 1990. Une décision aux conséquences désastreuses qu'il veut faire financer par l'aide internationale.

Au Laos, la guerre du Vietnam ne s'est pas complètement achevée en 1975. Pour les ethnies minoritaires vivant dans les montagnes (50 % de la population), et particulièrement au Sud, région la plus bombardée de l'histoire, elle s'est poursuivie avec la présence de plus de 80 millions de bombes à fragmentation non explosées. À partir de 1993, un ethnologue s'installe dans des villages reculés afin d'étudier l'impact social et culturel de la guerre. Il est alors le témoin du brusque déplacement en plaine de villages entiers et de leur installation précaire en bord de route. Il s'agirait de faciliter leur accès à des services d'éducation et de santé, au demeurant inexistants. Ayant alerté sur les conditions dramatiques de ces déplacements pratiqués à grande échelle, il obtient que le PNUD, en collaboration avec l'Unesco, commande en 1996 une enquête à l'Orstom afin d'évaluer la situation au plan national.

Pendant dix mois, une équipe pluridisciplinaire – ethnologues, agronomes et économistes – assistée de fonctionnaires locaux de l'éducation étudient dans six provinces le destin de plus de 1 000 familles issues de 70 villages relocalisés. Il s'agit de la première grande enquête sociale dans un pays peu ouvert à la recherche. En résulte un volumineux rapport aux conclusions catastrophiques. Publié en juin 1997, il montre les conséquences d'une politique autoritaire menée dans la précipitation, notamment les taux très élevés de malnutrition et de mortalité parmi ces montagnards brutalement coupés de leur écosystème comme de leur environnement culturel. Suite à ce rapport, les principaux pays donateurs conditionnent leur soutien au Laos, obligeant le gouvernement à restreindre les relocalisations, à les justifier ou à mieux les préparer. D'un autre côté, cette recherche a tenu un rôle pionnier dans l'étude des mobilités contemporaines en Asie du Sud-Est continentale et dans celle des risques d'acculturation rapide liés aux déplacements de minorités ethniques.



Déplacement contraint, minorité Kantou, Laos, 1995.

PARTENAIRES

Ministère de l'Éducation, ministère de la Santé, Académie des sciences sociales du Laos

PNUD, Unesco, ONG (MSF, ACF, ESF, CCL)

CNRS, Efeo, université de Hong Kong

Oui à la trithérapie en Afrique

En 1996, la trithérapie antirétrovirale devient efficace pour le traitement du sida, qui de maladie mortelle passe au statut de maladie chronique. Du moins dans les pays du Nord. Car au Sud, où se trouve la grande majorité des malades, le traitement n'est pas à l'ordre du jour.



Recherches sur le sida, hôpital de Yaoundé, Cameroun.

La trithérapie serait trop chère (1 500 euros/jour) et trop compliquée à gérer : de ce fait, elle ne serait pas applicable en Afrique… car les équipes hospitalières ne pourraient prendre en charge la prise de médicaments à heure fixe ou les effets secondaires générés. C'est pour tordre le cou à cette idée reçue qu'en 1998, un médecin sénégalais convainc son gouvernement de financer un projet pilote permettant de tester la trithérapie sur 400 malades. Avec l'aide de l'IRD, il prouve que la trithérapie peut être mise en place en Afrique moyennant quelques ajustements, notamment au niveau de la prise des médicaments, à administrer le soir plutôt qu'à midi pour préserver le secret médical. Cette pratique sera par la suite adoptée par les pays du Nord. La démonstration prend sa pleine dimension en 2000 lorsque, lors de la conférence de Durban, les politiques et les ONG parviennent à faire chuter le prix de la trithérapie de 80-90 % dans le cadre du programme Access, qui a ciblé le Sénégal parmi les pays pilotes.

Et, cette même année, apparaissent les trithérapies génériques. Des médicaments que les bailleurs de fonds et autres agences internationales rechignent à acheter, faute d'évaluation scientifique. C'est pourquoi, entre 2000 et 2002, cette fois au Cameroun, les chercheurs de l'IRD démontrent l'efficacité d'antirétroviraux génériques, dont l'achat pourra par la suite être multiplié par quatre.

Entre 2002 et 2004, ils prouvent en outre qu'il est important de suivre le taux de virus chez les malades traités pour éviter l'apparition des résistances. Cette analyse n'était pas demandée par l'OMS pour des raisons de coût. Aujourd'hui, le rôle de l'IRD est toujours déterminant dans la lutte contre le sida en Afrique puisque l'Institut et ses partenaires travaillent sur l'évaluation des traitements de première ligne sur un continent où les patients viennent encore trop tardivement se faire soigner et où 45 % des malades du VIH ne sont pas traités.

PARTENAIRES

Programme national de lutte contre le sida (PNLS) du Sénégal, Dakar, Sénégal

Hôpital central de Yaoundé, Cameroun

··· L'IRD démontre que la trithérapie peut être appliquée en Afrique ···



Campagne de prévention contre le sida, Cameroun.

« Le partenariat entre l'IRD et les pays en développement dans la recherche pour un accès universel au traitement antirétroviral en Afrique, qui traverse sa deuxième décennie, s'est inscrit dans la performance, la proactivité, l'innovation, l'efficience et la durabilité. Il a permis la formation de chercheurs de haut niveau français et africains : cliniciens, virologues, immunologistes, épidémiologistes, économistes de la santé, etc. »

Dr Ibra Ndoye, coordinateur du site ANRS du Sénégal et ancien directeur du Programme national de lutte contre le sida du Sénégal

Naître sans le VIH

Au début des années 1980, l'épidémie du VIH est déjà bien présente en Afrique et commence à se répandre en Asie. En Thaïlande, elle prend la forme d'une épidémie généralisée, hétérosexuelle, en ville et à la campagne. Il devient impératif de mettre au point des méthodes simples de prévention et de traitement



Soin d'un bébé infecté par le VIH, Thaïlande.

Dans les années 1990, les chercheurs entament en Thaïlande un travail de recherche clinique sur les femmes enceintes atteintes du VIH. Avec plus d'un million de personnes infectées (2 % de la population), la Thaïlande est alors le pays asiatique le plus touché par l'épidémie. Inspirés par les résultats d'une étude franco-américaine parue en 1994, ils conçoivent une méthode simplifiée de prévention de la transmission périnatale du VIH pour que les femmes des pays en développement puissent en bénéficier. Cette étude commence en 1997 avec le soutien financier des National Institutes of Health (NIH) aux États-Unis et le soutien logistique du gouvernement thaïlandais. Le protocole simplifié se révèle aussi efficace que le protocole original franco-américain, assez lourd, qui comprenait des perfusions de zidovudine au moment de l'accouchement et cinq prises orales par jour pendant cinq mois. La Thaïlande et d'autres pays commencent immédiatement à utiliser les résultats du nouveau protocole.

••• Un protocole médical pour arrêter la transmission du VIH de la mère vers l'enfant •••

Et c'est alors qu'une équipe mixte, sud-africaine et américaine, montre qu'une prise de névirapine par la mère à l'accouchement et par le nouveau-né permet de réduire de 50 % la transmission. Les chercheurs de l'IRD et le ministère de la Santé publique thaïlandais décident alors d'associer la zidovudine et la névirapine dans le traitement. Ce nouveau protocole, qui permet de réduire le taux de transmission à 2 %, sera recommandé dès 2004 par l'Organisation mondiale de la santé (OMS) jusqu'à ce que les trithérapies puissent être utilisées dans les pays à ressources limitées, pour à la fois soigner la mère et prévenir la transmission du VIH à l'enfant.

PARTENAIRES

Universités de Chiang Mai et de Mahidol, Thaïlande

Inserm, France

Harvard School of Public Health, États-Unis

« La collaboration entre l'université de Chiang Mai et l'IRD a joué un rôle majeur pour accélérer l'accès à la prévention de la transmission périnatale du VIH en Thaïlande et dans tous les pays à ressources limitées. Elle a également contribué à une meilleure connaissance des mécanismes sous-jacents. »

Wasna Sirirungsi, virologue, doyenne de la Faculty of Associated Medical Sciences de l'université de Chiang Mai



Antirétroviraux génériques distribués en Thaïlande.

Rejouer la scène et changer

Dans les années 2000, 800 000 femmes meurent à l'accouchement chaque année dans le monde, soit 2 100 par jour. 90 % de ces décès ont lieu en Afrique, où l'accès aux soins, souvent chers et mal organisés, est difficile pour les populations rurales.



Dispensaire au Bénin.

Le Mali et le Sénégal sont entrés dans le deuxième millénaire avec un record peu enviable, celui du plus fort taux de mortalité lié aux naissances. Dans ces pays en effet, 800 femmes meurent tous les 100 000 accouchements, contre 10 par exemple en France. Dans la plupart des cas, il s'agit de femmes jeunes, entre 15 et 25 ans, qui ne survivent pas à la naissance de leur premier enfant. En raison, entre autres, de la mauvaise qualité des soins reçus. D'où l'idée du projet « Quarite », initié par l'IRD et réalisé en partenariat avec les autorités sanitaires locales.

En 2007, les chercheurs tirent au sort 46 hôpitaux du Mali et du Sénégal. Pendant un an, ils suivent leur système de soin, ainsi que le taux de mortalité des femmes et des enfants. L'année suivante, ils interviennent dans la moitié de ces hôpitaux : ils rappellent aux équipes les bonnes pratiques, mais surtout ils mettent en place des « revues de décès ». Ces réunions visent à reconstituer l'histoire de la patiente décédée, de son arrivée jusqu'à sa mort. Objectif ? Identifier non pas les coupables, mais les problèmes survenus ainsi que les solutions qui pourraient être testées pour éviter que le scénario ne se répète, par exemple en facilitant l'accès à certains médicaments, et en réglant des problèmes de surcharge de travail.

En 2011, l'évaluation de ces mesures fait ressortir des résultats spectaculaires : dans les hôpitaux accompagnés, le taux de mortalité des

« À la suite du projet Quarite, l'évaluation de la qualité des soins est plus objective, car elle est basée sur des critères de qualité standardisés. Il y a aussi une remise en cause individuelle et collective, ainsi qu'une promptitude à changer les comportements pour évoluer vers le positif. »

Sabine Liliou, gynécologue, district de Bogodogo, Burkina Faso

••• La mise en place des « revues de décès » permet de réduire le taux de mortalité des femmes de 15 % dans les hôpitaux de référence au Mali et au Sénégal •••



Peinture murale à l'entrée de la maternité du centre de santé de Popenguine, Sénégal.

femmes a chuté de 15 % en moyenne, et de 35 % dans les hôpitaux ruraux. Le taux de mortalité des nouveau-nés a quant à lui diminué de 26 %. L'effet est si significatif que les autorités maliennes et sénégalaises étendent immédiatement le programme à l'échelle nationale. Et, en 2014, l'OMS reprend l'idée : les revues de décès sont désormais effectuées dans la plupart des pays africains. Grâce à ce type d'initiative, depuis 2007, le taux de mortalité lié aux accouchements a été divisé par deux en Afrique.

PARTENAIRES

Ministères de la Santé du Mali et du Sénégal

Société des gynécologues obstétriciens du Canada

Société malienne de gynécologie-obstétrique

Faculté de médecine de l'université de Bamako, Mali

Université de Montréal, Canada

Une pâte sucrée contre la faim

Dans les années 1990, 165 millions d'enfants de moins de 5 ans, soit un enfant sur quatre, souffrent d'une insuffisance pondérale.



Livraison de Plumpy'nut en Haïti.

1993 : lors d'une conférence organisée par plusieurs ONG à Paris, l'IRD présente une formulation d'aliment qui pourrait répondre aux besoins nutritionnels des enfants de moins de 5 ans souffrant de malnutrition. D'emblée, l'idée intéresse Nutriset, une entreprise normande qui cherche à fabriquer des aliments de renutrition efficaces et pouvant être utilisés facilement par les ONG sous les climats chauds. C'est le début d'une étroite collaboration entre l'IRD et Nutriset.

Au départ, l'idée est de fabriquer un liquide à base de lait, mais le format se révèle difficile à utiliser sur le terrain. Après plusieurs échecs, le concept d'une pâte sucrée à base d'arachide finit par aboutir et en 1997, le premier Plumpy'nut (qui signifie « noix dodue ») est testé au Kenya. Un brevet est alors déposé par l'IRD et Nutriset. Mais il faudra attendre 2005 et une famine dévastatrice au Niger pour que le produit commence réellement à être distribué. En 2007, cette pâte sucrée que les enfants mangent sans difficulté est reconnue et labélisée par le PNUD, l'Unicef et l'OMS.

Très facile d'utilisation, Plumpy'nut contient du lait, du sucre, des huiles végétales, des sels minéraux et des vitamines. Il supporte les conditions climatiques propres à l'Afrique et peut être directement administré par la mère, sans eau et sans encadrement médical. En outre, dès 2005, un réseau d'entrepreneurs basés dans les pays du Sud, PlumpyField, est lancé afin que des antennes locales puissent elles aussi produire et distribuer cet aliment. Nutriset a dans cette perspective apporté son savoir-faire en matière d'assurance qualité de la pâte nutritive. En 2010, le brevet est mis à disposition sur internet à destination des pays en développement. En 2016, plus de 43 000 tonnes de produits nutritionnels ont été vendus

« Plumpy'nut est vraiment efficace et utile pour traiter les enfants atteints de malnutrition sévère, qui peuvent suivre le traitement chez eux, cela nous permet ainsi de toucher beaucoup d'enfants en même temps. »

Noël Marie Zagré, chef du service nutrition de l'Unicef au Niger



Fabrication de Plumpy'nut au Niger.

••• En 1997, l'IRD et Nutriset créent Plumpy'nut, pâte à base d'arachide prête à l'emploi. Une révolution dans la lutte contre la malnutrition •••

par la société normande. Elles auraient permis de traiter 2,5 millions d'enfants souffrant de malnutrition aiguë. Une contribution significative pour améliorer l'autonomie alimentaire quotidienne des populations les plus vulnérables.

PARTENAIRES

Nutriset, société française de recherche, développement et production d'aliments destinés au traitement de la malnutrition dans les pays du Sud

Prévenir les effets de la malnutrition

La malnutrition tue trois millions d'enfants de moins de cinq ans chaque année et engendre des retards de croissance et de développement intellectuel pouvant toucher près d'un enfant sur deux.



Consommation de bouillie améliorée, Burkina Faso.



Formation à la préparation de bouillies fortifiées, Madagascar.

PARTENAIRES

ONG Gret (Professionnels du développement solidaire)

Universités, centres de recherche et instances gouvernementales en charge de la nutrition

Fonds des Nations unies pour l'enfance (Unicef), Programme alimentaire mondial (PAM), Organisation mondiale de la santé (OMS), Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO)

Entreprises agroalimentaires locales

La malnutrition chronique peut passer inaperçue, mais pas ses conséquences. Notamment chez les enfants de moins de deux ans qui développent des retards physiques et cognitifs irréversibles. En 1994, cette réalité a poussé à chercher une traduction concrète à certains résultats de recherche des nutritionnistes de l'Institut en favorisant leur association avec l'ONG Gret (Professionnels du développement solidaire) pour lancer le programme Nutridev. Les trois objectifs de ce programme sont de sensibiliser à de meilleures pratiques de nutrition, de rendre accessibles au plus grand nombre des aliments appropriés et d'améliorer les services de santé.

À Madagascar, la première idée a été d'élaborer des recettes pour que les mères préparent elles-mêmes, en autonomie et à moindres frais, des bouillies améliorées à partir d'ingrédients locaux. Mais les procédures à suivre étaient trop contraignantes pour être suivies au quotidien. D'où un changement de stratégie, et la signature d'un accord avec une entreprise locale pour fabriquer à partir de 2002 une farine (Koba Aina) à base de maïs, de riz et de légumineuses permettant de préparer une bouillie à consommer en complément du lait maternel à partir de l'âge de six mois.

Durant la même période, au Vietnam, une farine fortifiée à base de riz a été produite jusqu'en 2007 par des entreprises d'État ou privées. Au Burkina Faso, la fabrication d'aliments de complément a été confiée à de petites entreprises locales.

••• Depuis vingt-cinq ans, le programme Nutridev développe des solutions innovantes destinées aux enfants de moins de deux ans et aux femmes en âge de procréer en vue de prévenir la malnutrition chronique du jeune enfant •••

Aujourd'hui, le Gret continue de soutenir dans le monde une vingtaine d'entreprises locales pour la fabrication d'aliments fortifiés de qualité, développés en collaboration avec les nutritionnistes. Très peu chers et parfaitement

« Je dirige depuis 2013 l'entreprise sociale Nutri'zaza, qui met en œuvre, en étroit partenariat avec Nutridev, une stratégie pérenne et reconnue comme efficace de lutte contre la malnutrition chronique à Madagascar. Pour ce faire, la formation reçue auprès des chercheurs de l'IRD au début des années 2000 pendant mon stage de master ainsi que l'expérience acquise par la suite en participant à différents projets de recherche-action de Nutridev me sont vraiment utiles. »

Mieja Vola Rakotonarivo, directrice de l'entreprise sociale Nutri'zaza, Madagascar



Production d'un aliment thérapeutique au Vietnam.

adaptés aux besoins nutritionnels et aux habitudes alimentaires locales, ils sont promus et vendus aux familles à travers différents réseaux de distribution. À Madagascar, l'entreprise sociale Nutri'zaza, créée en 2013, emploie une centaine de femmes travaillant dans des restaurants pour bébés et des réseaux de ventes mobiles. En vingt-cinq ans, le programme a permis de rendre disponibles plus de 30 aliments fortifiés produits par une quarantaine d'entreprises locales au bénéfice d'enfants issus de plus de dix pays.

Lutter contre les carences

La carence en fer est un problème majeur de santé publique, pouvant engendrer des retards de développement physique et cognitif chez l'enfant, une déficience du système immunitaire, des pertes d'activités chez les adultes avec de fortes incidences sur le développement des sociétés.



Préparation d'un aliment thérapeutique pour le traitement de la malnutrition, Vietnam.

PARTENAIRES

Institut bolivien de biologie d'altitude, Bolivie

Ministère de la Santé, Vietnam

Ministère de l'Agriculture, ministère de la Santé et Unicef, Cambodge

Organisation de coordination et de coopération pour la lutte contre les grandes endémies, Togo

Institutions et ONG internationales : ILSI, GAIN, Gret, PAM, Unicef, OMS, IAEA…

« Il n'y a pas d'anémie en Bolivie. » Dans les années 1990, cette phrase tirée d'un rapport de l'Unicef interpelle l'Orstom, qui vient tout juste de terminer un programme de recherche au Togo sur l'anémie. Une étude épidémiologique est alors lancée, qui montre que 40 % à 60 % des Boliviens sont en réalité anémiques et souffrent de carence en fer. Si leur taux d'hémoglobine est élevé, c'est avant tout parce qu'ils vivent en altitude, ce qui introduit un biais dans le diagnostic de l'anémie.

Un essai comparatif est entrepris, dans lequel des enfants boliviens reçoivent du fer chaque jour ou chaque semaine, par pilule ou dans une boisson traditionnelle à base de céréales et enrichie en fer. Les résultats suggèrent qu'une prise hebdomadaire de pilule est aussi efficace qu'une prise quotidienne, le traitement qui est pourtant encore préconisé aujourd'hui par l'OMS. D'autre part, la boisson enrichie a un impact identique à celui des pilules. Commercialisée par un producteur local, cette boisson ne rencontre toutefois pas le succès escompté, faute d'une campagne d'information des populations.

En 1998, l'équipe poursuit ses recherches au Vietnam. Plusieurs essais sont lancés auprès de nourrissons et de femmes enceintes, avec de nouveaux types de suppléments. Les résultats montrent alors qu'une prise hebdomadaire de fer/acide folique démarrée deux mois avant conception et maintenue lors de la grossesse a un impact supérieur, en termes de poids de naissance, à la supplémentation quotidienne.

Les chercheurs testent ensuite un nuoc-mâm enrichi en fer et démontrent que sa consommation dans des conditions réelles, au sein des populations, permet d'éliminer la carence en fer en un an. Forts de ce résultat, ils créent et évaluent l'impact de compléments alimentaires pour les nourrissons et les jeunes enfants à base de produits locaux, d'abord au Vietnam, puis au Cambodge, avec une pâte à base de poissons, très appréciée dans ce pays.

••• De la Bolivie au Cambodge, des produits locaux enrichis permettent de lutter contre les carences en micronutriments •••



© Abdi Berger

Vente de nuoc-mâm enrichi,Vietnam.

« La lutte contre la carence en micronutriments chez les femmes enceintes et les jeunes enfants est la seule solution pour mettre fin au cycle générationnel de la malnutrition. Le travail accompli par l'IRD et l'Institut national de la nutrition au Vietnam a montré que le défi peut être relevé dans un délai relativement court, et il a servi de modèle pour d'autres pays asiatiques. »

Professeur Le Danh Tuyen, directeur de l'Institut national de la nutrition, Vietnam

Prévention de l'obésité au Maghreb

Au cours des dernières décennies, les pays du Maghreb ont vu la convergence de la mondialisation, de l'urbanisation et d'un développement socioéconomique rapide. Les changements de mode de vie associés se traduisent par une alimentation plus riche en calories, en gras, sucre et sel, avec davantage d'aliments industriels. En corollaire, l'obésité et des maladies chroniques associées (diabète, hypertension, maladies cardiovasculaires) sont en forte augmentation.



Épicerie en Tunisie.

Pour quantifier la charge de l'obésité et des maladies associées, des projets en partenariat ont été menés depuis les années 2000, principalement en Tunisie, mais aussi en Algérie et au Maroc. Les chercheurs ont par exemple montré que plus d'un tiers des femmes y sont obèses et plus des deux tiers en surpoids alors que les proportions sont moitié moindres chez les hommes. L'origine de ce différentiel, qui n'existe pas en Europe, serait principalement sociale car cet écart diminue fortement avec le niveau d'éducation et d'activité professionnelle. Les modes de vie qui favorisent l'obésité ne protègent pas nécessairement des carences nutritionnelles : beaucoup des femmes ayant un excès de masse grasse présentent aussi des carences, notamment en fer. Mais cette transition nutritionnelle n'a peut-être pas que des aspects négatifs : une étude chez les adolescents tunisiens montre que la modernisation de l'alimentation peut améliorer sa qualité en augmentant sa variété, mais que celle-ci décroît ensuite lorsque la part des aliments favorisant l'obésité et les maladies chroniques augmente trop.

••• La définition d'interventions en santé publique nécessite d'abord de quantifier les problèmes puis d'en analyser les causes, avant de proposer des actions de prévention adaptées •••

« La recherche orientée pour l'action dans la collaboration entre l'IRD et l'Institut national de nutrition et de technologie alimentaire a contribué à une meilleure compréhension des problèmes de santé et de nutrition de la Tunisie et à la formulation de politiques et de programmes d'intervention adaptés. »

Professeure Jalila El Ati, cheffe de service et responsable du laboratoire SURVEN (Surveillance et épidémiologie nutritionnelle en Tunisie), Institut national de nutrition et de technologie alimentaire, Tunis



© RDP/Trassac

Publicité d'huile alimentaire, Tunis.

À des fins de prévention, au Maroc et en Tunisie, les propositions émanant des ministères, des centres de santé ou du secteur privé, notamment agro-industriel, ont été recueillies au cours d'entretiens assistés par ordinateur et analysées. L'objectif était d'identifier parmi un ensemble d'actions potentielles celles qui pourraient faire l'objet d'un consensus.

L'ensemble de ces recherches se traduit en pratique par la stratégie nationale de lutte contre l'obésité du gouvernement tunisien. Un ensemble de mesures, qui va du financement de terrains de sport à la labellisation des boulangers fabriquant du pain moins salé, est testé dans un gouvernorat pilote, préalablement à la généralisation au niveau national.

PARTENAIRES

Institut national de nutrition et de technologie alimentaire, Tunisie

Institut national de santé publique, Tunisie

Université Ibn Tofaïl, Kénitra, Maroc

Institut national de santé publique, Algérie

PARTIE 2

Paludisme, maladie du sommeil et plus récemment sida, Ebola, chikungunya…, les maladies qui sévissent dans les pays du Sud sont au cœur des recherches de l'IRD. Il s'agit de comprendre, prévenir et contrôler les maladies tropicales en s'appuyant sur les résultats de la recherche, mais également d'en évaluer les déterminants environnementaux, sociaux, humains et de traduire les acquis scientifiques en termes opérationnels pour les populations. Les sociétés du Sud sont aussi particulièrement vulnérables aux catastrophes naturelles. De nombreux programmes de l'IRD y sont consacrés, de même qu'aux différentes formes de pollution d'origine anthropique ou naturelle. L'ensemble de ces recherches se traduit concrètement en termes d'amélioration de la santé, de la sécurité et du bien-être des populations du Sud.





ALÉAS, RISQUES ET VULNÉRABILITÉS

Niakhar : zone sentinelle depuis 1962

Dans les pays en développement, les données démographiques et épidémiologiques fiables sont rares, ce qui entrave l'établissement de mesures sanitaires et sociales appropriées. D'où l'idée de recueillir des données dans des zones géographiquement circonscrites et permettant un suivi sur le temps long.



Étude sur l'alimentation des nourrissons, Niakhar.

1962 : dans le sous-sol du Service de la statistique de Dakar au Sénégal, une idée germe. Celle de monter, en collaboration avec l'Orstom, des systèmes d'observation de la population rurale dont, à l'époque, les autorités ne savent que peu de choses. Deux sites, Paos-Koto et Niakhar, sont choisis et soumis à enquête systématique. Les chercheurs y récoltent des données de natalité, de mortalité, de migration et de santé, mais aussi des indicateurs portant sur la nutrition, l'éducation, les pratiques culturales et l'environnement. Si l'observatoire de Paos-Koto ferme dans les années 1980, celui de Niakhar au sud-est de Dakar perdure et offre l'une des plus longues et importantes séries de données d'Afrique en matière de suivi démographique et épidémiologique.

Dès 1965, les chercheurs s'aperçoivent que la rougeole est responsable d'une forte mortalité. Ils organisent alors une campagne de vaccination dont ils parviennent à évaluer l'efficacité. Un succès fondateur. D'autres protocoles thérapeutiques sont établis et testés par la suite, contre la coqueluche, la méningite ou le paludisme. De quoi transformer l'observatoire de Niakhar en laboratoire à ciel ouvert, utilisé autant pour évaluer les méthodologies de recueil de données que les mesures sanitaires nécessaires.

Cet outil a en outre permis d'étudier les transformations sociales et familiales et de suivre l'évolution d'une population qui est passée de 23 000 à 45 000 âmes entre 1983 et 2017. Grâce à lui, il est par exemple aujourd'hui possible de mener des études sur les réseaux sociaux et leur impact sur les comportements en matière de santé, ou d'évaluer la qualité des enquêtes nationales. Pionnier du genre, le site de Niakhar appartient désormais à un réseau de 50 observatoires créé à la fin des années 1990 en Asie et en Afrique, dont trois sont gérés au Sénégal par l'IRD : ceux de Bandafassi, Mlomp et Niakhar.

PARTENAIRES

Ministère de la Santé du Sénégal

Agence nationale de la statistique et de la démographie, Sénégal

Université Cheikh Anta Diop, Dakar

Cirad, France

••• Le gouvernement sénégalais et l'Orstom ont créé l'un des premiers observatoires africains de population •••



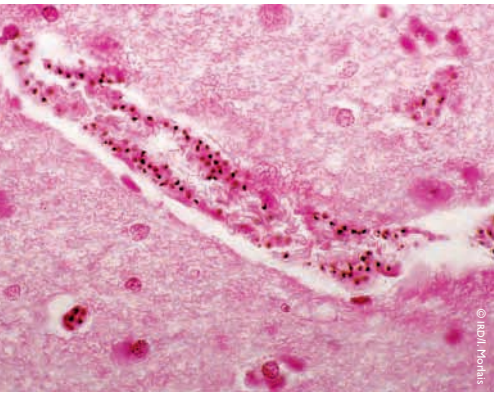
Réunion d'information pour un essai vaccinal, Niakhar, 1992.

« Le site de Niakhar, de renommée mondiale, par les multiples recherches et productions scientifiques qui ont servi au continent africain et au-delà, témoigne de l'histoire sanitaire, démographique et humaine de notre pays, dont il a contribué à bâtir les fondements. »

Professeure Awa Marie Coll Seck, ministre d'État auprès du président de la République du Sénégal

La généalogie du *Plasmodium*

Le paludisme touche 220 millions de personnes et en tue près de 450 000 chaque année. Il s'agit de la maladie parasitaire la plus répandue au monde et 90 % des cas surviennent en Afrique.



Capillaires cérébraux atteints par *Plasmodium falciparum*.

Il y a dix ans, on croyait qu'il existait seulement deux espèces de *Plasmodium*, le parasite responsable du paludisme. L'une, *Plasmodium falciparum*, était supposée propre à l'homme ; l'autre, *Plasmodium reichenowi*, aux chimpanzés. Mais c'était sans compter sur le travail d'un chercheur gabonais qui, en 2009, détecte dans le sang d'un bébé chimpanzé une troisième espèce baptisée *Plasmodium gaboni.* Se pourrait-il qu'il y en ait d'autres encore ?

C'est pour en avoir le cœur net que des chercheurs gabonais et leurs partenaires de l'IRD et du CNRS entreprennent une étude sur les parasites présents chez les primates. La capture de ces derniers étant malaisée, l'équipe se penche tout d'abord sur leurs déjections. Des travaux antérieurs conduits sur le VIH avaient en effet montré que les excréments de primates pouvaient contenir des versions dégradées du virus. Et pourquoi pas des traces de *Plasmodium* ?

Malgré les doutes de la communauté internationale, les chercheurs poursuivent leurs travaux et analysent des centaines de déjections de chimpanzés et de gorilles vivant en Afrique centrale. Plusieurs nouvelles espèces de *Plasmodium* sont ainsi découvertes. Ce qui permet de démontrer que le parasite devait exister déjà du temps de l'ancêtre commun à tous les hominidés. Mieux, en 2018, un proche « cousin » du *Plasmodium* humain est identifié chez le gorille.

Les conséquences sont majeures : malgré l'existence de plusieurs espèces de *Plasmodium*, seul *P. falciparum* parvient à contaminer l'homme. En comparant les génomes de différentes espèces de *Plasmodium*, et en particulier celle trouvée chez le gorille, il devrait être possible de déceler les gènes spécifiques à l'homme… des gènes dont l'expression pourrait ensuite être bloquée par un vaccin ou un médicament. Les espoirs sont immenses et expliquent qu'aujourd'hui, les chercheurs de l'IRD participent aux suivis sanitaires réalisés dans les sanctuaires de chimpanzés et de gorilles. Objectif ? Leur prélever un peu de sang dans l'espoir d'y trouver des *Plasmodium* leur permettant de comprendre les processus clés impliqués dans l'infection des hôtes.

PARTENAIRES

Centre international de recherches médicales de Franceville (CIRMF), Gabon

Centre de recherche médicale, Yaoundé, Cameroun

Université d'Alabama, États-Unis

Sanger Institute Malaria Program, Royaume-Uni

CNRS, France

« Ce travail est un exemple productif de partenariat Nord/Sud, le Nord apportant son expertise et le Sud le matériel biologique et la disponibilité des chercheurs, ce qui permet un transfert de technologies aboutissant à une découverte importante. Ces nouvelles données sur le paludisme appellent à la vigilance en zone d'endémies, à cause de la possibilité de transfert de microbes entre homme et singes, mais aussi donnent un espoir dans la recherche d'un vaccin contre cette vieille maladie qui tue toujours plus dans mon pays ! »

Dr Benjamin Ollomo, Centre international de recherches médicales de Franceville, Gabon



Gorille, parc de la Lékédi, Gabon.

••• Au moins huit espèces de *Plasmodium*, le parasite responsable du paludisme, ont été découvertes chez les grands singes en Afrique •••

La révolution des moustiquaires

Avec les moustiquaires imprégnées, l'IRD invente une méthode de lutte efficace contre les moustiques vecteurs des agents pathogènes du paludisme. La transmission, le nombre de cas et la mortalité infantile vont ainsi être notoirement réduits.



Devant la moustiquaire, Bénin.

Selon le rapport OMS de 2015, 457 millions de cas de paludisme ont été évités grâce à l'utilisation des moustiquaires imprégnées d'insecticide. Un résultat remarquable obtenu notamment grâce aux centaines de millions de moustiquaires imprégnées à longue durée d'efficacité distribuées ces dernières années à grande échelle dans les zones impaludées. La moustiquaire imprégnée de pyréthrinoïde (MIP) est actuellement encore la seule méthode nouvelle et réellement opérationnelle de lutte antivectorielle, assurant une protection personnelle, familiale et communautaire.

Tout commence au service d'entomologie médicale du centre Muraz de Bobo-Dioulasso au Burkina Faso, en 1983, lorsqu'une équipe d'entomologistes médicaux expérimente une nouvelle méthode de lutte visant à tuer les moustiques avant la piqûre, alors que la méthode classique (insecticide sur les murs) tue les moustiques après la piqûre !

La technique est simple : tremper des moustiquaires dans une bassine contenant de l'eau et un insecticide pyréthrinoïde (perméthrine). Après avoir suspendu ces moustiquaires imprégnées dans les cases pièges de la station de Soumousso, les chercheurs constatent qu'elles réduisent fortement le contact entre l'homme et le moustique : elles limitent l'entrée des moustiques, tuent nombre de ceux qui sont entrés, augmentent le taux de sortie et empêchent ainsi que les dormeurs soient piqués. C'était bien le but recherché !

Cette équipe procède ensuite aux premières évaluations épidémiologiques au Burkina Faso, démontrant que ces moustiquaires imprégnées réduisent de 90 % la transmission des parasites du paludisme et de 50 % le nombre de cas chez les enfants. Mais à cette époque, la majorité de la communauté

« Entre 2001 et 2015 plus de 663 millions de cas de paludisme ont été évités grâce aux différentes opérations de lutte. Les moustiquaires imprégnées d'insecticide ont eu le plus fort impact, représentant, selon les estimations officielles, 69 % des cas évités. »

Extrait du communiqué de presse de l'OMS, Journée mondiale de lutte contre le paludisme, 25 avril 2017

••• Dans les années 1980, la mise au point des moustiquaires imprégnées de pyréthrinoïdes va révolutionner la lutte contre les vecteurs du paludisme. •••



Vérification d'une moustiquaire, Bénin.

scientifique est sceptique, portant davantage ses espoirs vers la découverte « imminente » d'un vaccin contre le paludisme – que l'on attend toujours.

Suite à la première communication scientifique de ces résultats en 1984, des chercheurs issus de différents organismes viennent à Bobo-Dioulasso apprendre la technique puis développent des programmes de lutte dans plusieurs pays qui confirment cette réduction de la transmission et de 50 % de la morbidité palustre.

Une vaste étude est ensuite menée en Gambie, au Ghana et au Kenya, démontrant que les moustiquaires imprégnées utilisées à grande échelle réduisent de 20 % la mortalité générale infanto-juvénile. C'était l'argument clé pour relancer la lutte antivectorielle et intégrer la moustiquaire imprégnée dans les programmes nationaux de lutte contre le paludisme.

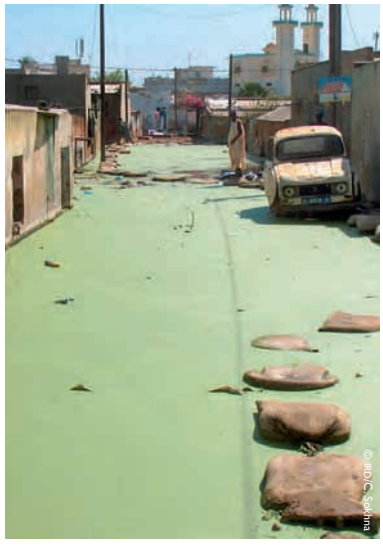
Sensibilisés par ces résultats, dans les années 1990, des industriels fabriquent des moustiquaires imprégnées « à longue durée d'efficacité » (de trois à cinq ans), actuellement distribuées à très grande échelle dans les pays impaludés, avec le succès que l'on connaît.

PARTENAIRES

Centre Muraz, devenu Institut public burkinabé de recherche pour la santé

Prévenir le paludisme par intermittence

Dans la lutte contre le paludisme, un grand combat demeure, celui de la prévention. Car la vaccination, outil probablement indispensable à l'élimination du paludisme en Afrique, est toujours indisponible bien que régulièrement annoncée depuis quarante ans.



Inondations entraînant le développement de gîtes larvaires d'anophèles, Dakar, Sénégal.



Distribution d'un traitement préventif contre le paludisme, Niakhar, Sénégal.

Le paludisme tue, mais surtout les enfants de moins de cinq ans. Des enfants qui, en l'absence de vaccin, ne sont pas faciles à protéger lorsqu'ils naissent et grandissent en zone paludéenne. Pendant longtemps, la solution privilégiée a consisté à administrer un traitement préventif très contraignant, que les enfants doivent prendre chaque jour, ce qui n'est pas évident… ni pertinent à long terme, puisque cette approche favorise l'apparition de résistances. En outre, un traitement sur l'année entière paraît inutile dans les régions sahéliennes, où le risque de transmission du paludisme est saisonnier, le moustique vecteur n'y étant présent qu'entre septembre et novembre.

Ce constat incite dans les années 2000 les chercheurs à imaginer un traitement intermittent, plus adapté. Ils réadaptent alors le protocole en vigueur pour les femmes enceintes et les nourrissons, et le testent au Sénégal sur 1 200 enfants en 2002 et sur 2 000 enfants en 2004. Ils montrent ainsi que la prise d'une à trois doses d'artésunate et de sulfadoxine-pyriméthamine à un mois d'intervalle pendant le pic de transmission permet de réduire de 86 % le risque de contamination chez les enfants de moins de cinq ans. Et ce, sans provoquer d'effets secondaires graves. Entre 2008 et 2010, une évaluation à plus grande échelle est conduite sur quelque 200 000 enfants sénégalais. Très bien suivi, ce protocole permet alors de faire passer le pourcentage d'enfants infectés de 30 %-40 % à 2 %.

Le succès est tel que cette approche intermittente, appelée chimioprévention du paludisme saisonnier, est recommandée depuis 2012 par l'Organisation mondiale de la santé. Elle est actuellement mise en œuvre au Sahel ainsi que dans toutes les régions où au moins 60 % des cas de transmission surviennent sur une période de quatre mois, avec pour objectif de protéger plus de 34 millions d'enfants de moins de 5 ans. Dans plusieurs pays, cette approche préventive est désormais une priorité dans les plans nationaux de lutte contre le paludisme.

PARTENAIRES

Université Cheikh Anta Diop, Sénégal

Programme national de lutte contre le paludisme du Sénégal (PNLP)

London School of Hygiene and Tropical Medicine (LSHTM), Royaume-Uni



Prévention du paludisme, sensibilisation de femmes enceintes, Bénin.

Protéger les femmes enceintes contre le paludisme

Le paludisme peut nuire au développement des enfants *in utero*. Ce constat a conduit l'OMS à considérer les femmes enceintes comme une population particulièrement vulnérable dans les zones où le parasite du paludisme sévit.

En 1935, au Sri Lanka, une épidémie de paludisme contamine 500 000 personnes. Les femmes enceintes meurent deux fois plus que les autres, et celles qui survivent font des fausses couches, ou mettent au monde des enfants prématurés. Dans les zones plus régulièrement touchées par la maladie, de tels phénomènes ne surviennent pas du fait de l'acquisition d'une immunité protectrice chez les femmes en contact régulier avec le parasite. Cependant, dans les années 1960, les médecins s'aperçoivent que les nouveau-nés des femmes infectées ont un plus petit poids à la naissance. Cela conduit à la mise en place d'un traitement préventif spécifique dans les régions où sévit le paludisme : les femmes enceintes doivent y prendre régulièrement de faibles doses de chloroquine ou d'un mélange de dapsone et pyriméthamine.

Dans les années 1980, au Burkina Faso, une équipe de l'IRD évalue l'efficacité de cette approche dite de chimioprophylaxie et révèle que les femmes ne prennent pas leur traitement. Pour tenter de pallier ce problème, en 1994, au Malawi, une équipe américaine teste un traitement préventif dit alternatif : des doses curatives de sulfadoxine-pyriméthamine sont données aux femmes enceintes pendant les deux consultations prénatales souvent réalisées au cours du second trimestre de grossesse. Soutenue par l'OMS avant même d'avoir été évaluée, cette stratégie s'est révélée payante, mais imparfaite, notamment parce qu'elle ne protège pas les femmes pendant le premier trimestre de grossesse. En outre, des résistances médicamenteuses sont apparues.

Ces défauts ont conduit les chercheurs à poursuivre leurs recherches sur le traitement préventif intermittent (TPI), montrant l'insuffisance de deux prises médicamenteuses et influençant l'OMS dans ses nouvelles recommandations d'administration du TPI à quatre reprises au minimum. Lors de plusieurs essais menés au Bénin à partir de 2005, ils ont en outre montré que la méfloquine pouvait constituer une alternative efficace, mais non recommandée par l'OMS en raison d'effets secondaires modérés mais fréquents (nausées, vertiges) .



Femme enceinte en consultation, Cameroun.

PARTENAIRES

Institut de recherche clinique du Bénin, Cotonou, Bénin

Centre hospitalier et universitaire de la mère et de l'enfant Lagune, Cotonou, Bénin

Unité de formation et de recherche en sciences de la santé, Université de Ouagadougou, Burkina Faso

Reconstituer l'histoire du VIH

Le sida, la maladie émergente de la fin du XX^e siècle, est principalement dû à un virus, le VIH-1, dont il existe 4 variants. Depuis le début de l'épidémie, plus de 80 millions de personnes ont été contaminées dans le monde. Où et comment un tel virus a-t-il pu émerger ?



Dessin d'enfant, Sénégal.

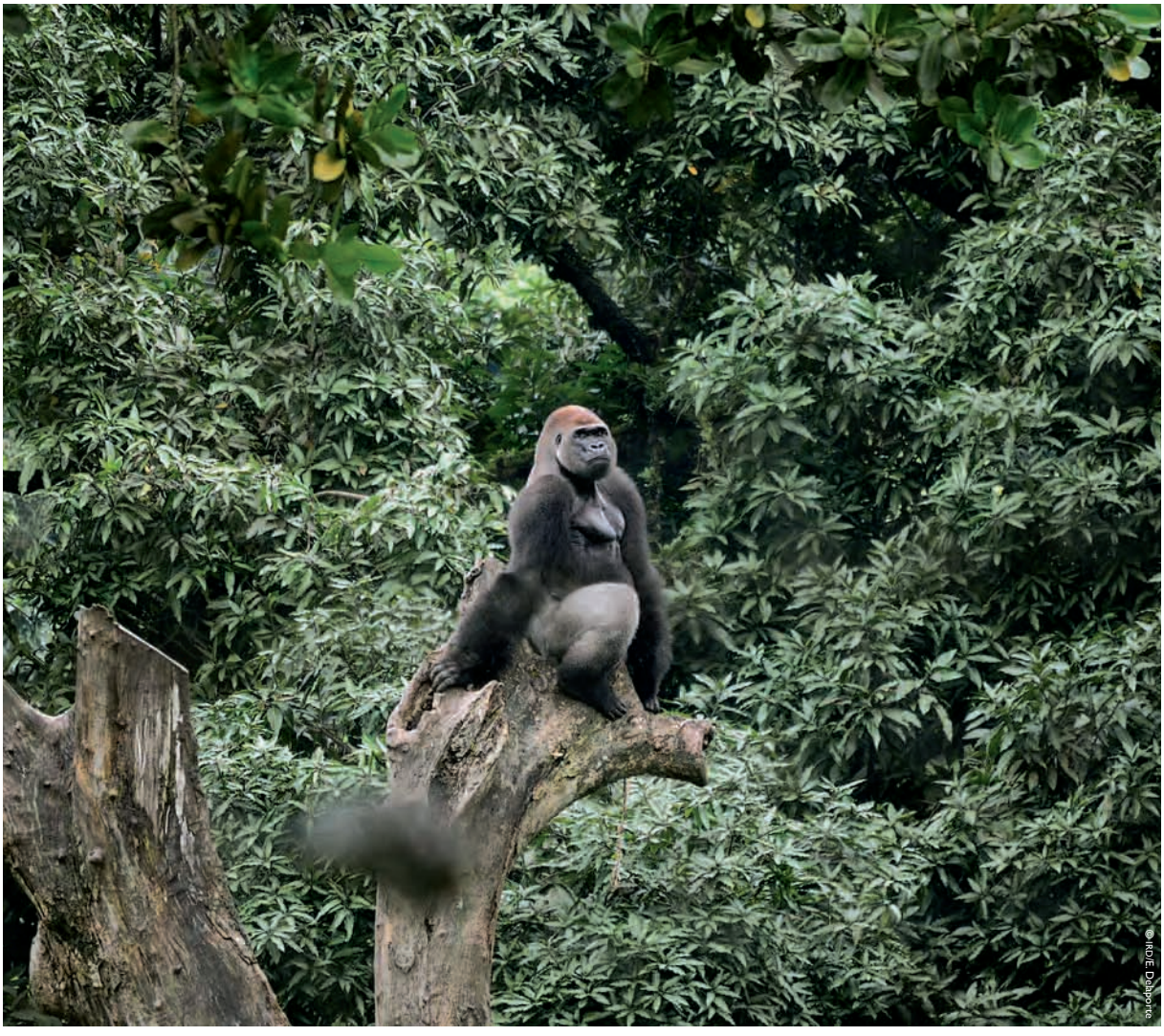
Au début des années 1980, lorsque le monde découvre le VIH, plusieurs millions de personnes sont déjà infectées. Une réalité qui pose immédiatement la question de l'origine de l'épidémie et du virus. Dans un centre de primatologie américain, en 1983, on identifie un variant chez un macaque. Dans la foulée, le sang d'un grand nombre de singes en captivité est analysé, confirmant que des cousins du VIH sont présents chez une quarantaine d'espèces de primates. Mais en 1987, des chercheurs font une découverte encore plus déterminante en identifiant un virus très proche de celui qui est responsable de la pandémie mondiale chez un chimpanzé captif du Gabon.

••• Les chercheurs identifient l'origine du virus du sida chez les grands singes au Cameroun •••

Mais pour affirmer que le VIH provient bien des singes, il faudrait aller plus loin et étudier des chimpanzés sauvages. Or ces populations sont protégées et ne peuvent pas être capturées, ce qui rend les recherches plus difficiles. À défaut d'avoir accès à leur sang, les chercheurs vont étudier leurs déjections. En 2002, après avoir vérifié en laboratoire que les excréments des chimpanzés infectés contenaient bien les fragments viraux, les chercheurs commencent à collecter des milliers de fèces de chimpanzés et gorilles sauvages en Afrique centrale.

« Ces méthodes d'analyses à partir des déjections d'animaux sauvages ont permis d'identifier l'origine d'autres agents pathogènes, et rendront possible l'étude approfondie des agents pathogènes à l'interface de l'homme et de la faune sauvage, pour mieux comprendre l'émergence de certaines maladies infectieuses. »

Eitel Mpoudi Ngole, directeur du Centre de recherches sur les maladies émergentes et réémergentes (CREMER), Yaoundé, Cameroun



Gorille femelle, Sud-Cameroun.

Les résultats mettent d'abord en évidence une situation épidémiologique disparate : certaines populations ne sont pas infectées, alors que d'autres sont contaminées à hauteur de 30 % à 50 %. Et surtout, les colonies de primates sont infectées par des virus de la même famille, mais tous spécifiques de la région où ils vivent. Ces études montrent aussi que les gorilles du Cameroun sont infectés par un virus proche du VIH-1.

Il a ainsi été possible de cartographier les quatre points de départ des quatre types du virus VIH-1 (M, N, O, P) et les points de passage animal-homme. Tous ont pour origine géographique le Cameroun : pour les types O et P, chez des gorilles du centre-sud et à l'ouest, respectivement ; pour les types N et M, chez des chimpanzés, au centre-sud et à l'est, dans la région de la Lobéké. Le virus VIH-1 M, le plus répandu, est responsable de la pandémie, alors que les autres sont restés endémiques au Cameroun.

PARTENAIRES

Centre de recherches sur les maladies émergentes et réémergentes (CREMER), Yaoundé, Cameroun

Institut national de recherche biomédicale, Kinshasa, République démocratique du Congo

University of Pennsylvania, Philadelphie, États-Unis

Sur la piste d'Ebola

Contre le virus Ebola, les traitements et les vaccins ne sont pas encore généralisés. Les méthodes de lutte reposent donc principalement sur des mesures sanitaires visant, d'une part, à empêcher la transmission du virus de la faune animale vers l'homme et, d'autre part, à bloquer la transmission de personne à personne.


© IRD/J. Lemasson

Capture de chauves-souris, Gabon.


© IRD/A. Epelboin

Enquête sur le rôle des chauves-souris à l'origine de l'épidémie, République démocratique du Congo.

En 1976, un médecin belge, Peter Piot, identifie un nouveau virus dans un échantillon de sang prélevé sur l'une de ses compatriotes, décédée au Zaïre, l'ex-Congo belge. Baptisé Ebola du nom d'une rivière située dans la zone contaminée, ce pathogène tue cette année-là 300 personnes. Il s'agit de la première épidémie connue d'Ebola. Pas la dernière. Car depuis, dans cette région du monde, le virus surgit sans raison apparente ni périodicité, en forêt profonde ou en savane, dans des zones isolées ou non.

••• Un virus transmis à l'homme par les grands singes et les chauves-souris •••

La source animale de cette maladie est restée un mystère jusqu'à ce que des chercheurs de l'IRD et leurs partenaires s'y intéressent. Entre 1996 et 2005, ils découvrent que le virus décime aussi les grands singes des forêts du Gabon et du Congo. Or, ces animaux sont chassés et consommés par les populations locales. En remontant la piste, ils prouvent que le virus est capable de passer des primates vers l'homme. Pour autant, les grands singes ne seraient pas les seules sources de contamination.

Les chercheurs en font la démonstration quelques années plus tard lorsqu'ils détectent des anticorps et des fragments de génome du virus Ebola chez plusieurs espèces de chauves-souris frugivores, indiquant que ces animaux seraient les véritables réservoirs du virus Ebola. Quelques années plus tard, ils s'aperçoivent que certaines épidémies humaines coïncident avec les migrations de chauves-souris frugivores. Comme ces mammifères sont eux aussi chassés par les populations locales, ils pourraient être à l'origine des épidémies : la transmission vers l'homme se ferait soit par contact direct avec le sang des chauves-souris, soit au travers de fruits souillés par la salive de ces chiroptères.

Ces découvertes débouchent alors sur la mise en place de réseaux de surveillance de la faune, ainsi que sur des consignes de prévention claires et concrètes pour les populations locales, notamment en matière de chasse, afin de réduire les probabilités de déclenchement de ces épidémies.

PARTENAIRES

Centre international de recherches médicales de Franceville (CIRMF), Gabon

Institut national de recherche biomédicale, République démocratique du Congo

National Institute for Communicable Diseases, Afrique du Sud

Centers for Disease Control and Prevention, États-Unis



Village touché par une épidémie, Gabon.

« Le partenariat avec l'IRD a permis l'éclosion de la recherche sur la fièvre hémorragique Ebola au Gabon en réponse aux épidémies qui ont durement touché à plusieurs reprises notre pays depuis 1995. Grâce à une collaboration continue entre nos deux instituts, le CIRMF est devenu un centre d'excellence, de renommée mondiale, dans le domaine des maladies émergentes en Afrique centrale ce qui lui a valu d'obtenir récemment le label de centre collaborateur OMS pour les arbovirus et les fièvres hémorragiques virales. »

Professeur Jean-Raymond Nzenze, président du conseil d'administration du Centre international de recherches médicales de Franceville, Gabon

Ebola : une fin prédéterminée ?

La caractérisation des mécanismes immunitaires associés à l'infection par le virus Ebola constitue un préalable indispensable à la conception de traitements et de vaccins. Dans un contexte de multiplication des épidémies, le recours à des traitements ou à des vaccins efficaces devient une priorité sanitaire dans la lutte contre les épidémies.



Manipulation du virus Ebola, Gabon.

Être contaminé par le virus Ebola, c'est mourir dans 80 % des cas. Une statistique étrangement stable qui a amené des équipes de l'Institut Pasteur et de l'IRD, en collaboration avec leurs partenaires, à s'interroger sur les mécanismes d'action du virus dans l'organisme. À partir de 1997, ils ont prélevé le sang de personnes touchées par le virus Ebola pour étudier les réponses immunitaires qui surviennent lors de l'infection.

Ils ont ainsi trouvé une différence dans les réactions immunitaires des survivants et des personnes décédées. Ces dernières succombent après un « orage inflammatoire ». La première réponse immunitaire contre le virus, non spécifique, est si forte qu'elle crée des dommages irréversibles dans l'organisme, aboutissant à des troubles de la coagulation sanguine altérant rapidement les fonctions vitales ; la seconde réponse, normalement plus ciblée, est ensuite inopérante : les cellules immunitaires prolifèrent et meurent dans la foulée. Or ces deux phénomènes extrêmes ne surviennent pas chez les survivants. Cette découverte pourrait ainsi permettre de mieux aiguiller la recherche d'une solution thérapeutique.

En outre, les chercheurs se sont rendu compte que certaines personnes contaminées sont asymptomatiques et se débarrassent rapidement du virus. Pour en apprendre davantage, ils ont lancé une grande étude au Gabon, prélevant le sang de 4 500 personnes prises au hasard. Les résultats montrent que 10 % à 33 % des populations possèdent des anticorps contre Ebola… alors qu'elles n'ont jamais connu d'épidémie. Cette immunité diffuse serait sans doute acquise au contact des fruits contaminés par la salive de chauves-souris, mais son efficacité protectrice n'est pas encore démontrée.

PARTENAIRES

Centre international de recherches médicales de Franceville (CIRMF), Gabon

Institut national de recherche biomédicale, République démocratique du Congo

National Institute for Communicable Diseases, Afrique du Sud

Centers for Disease Control and Prevention, États-Unis

Humaniser les mesures de biosécurité



Collecte de données épidémiologiques sur Ebola, Gabon.

Entre 2014 et 2016, lors de l'épidémie d'Ebola en Afrique de l'Ouest, l'absence de préparation a conduit les autorités à prendre des mesures sanitaires parfois extrêmes qui ont provoqué des « résistances » au sein des populations, voire une franche opposition.

Ebola est une maladie infectieuse qui suscite la peur du fait de sa létalité élevée et d'un imaginaire anxiogène. Dans les zones touchées, des stratégies de prévention ont été mises en place dans la précipitation, de manière rigide ou autoritaire, allant de la fermeture des frontières à celle des établissements scolaires, de l'isolement des personnes ayant été en contact avec un malade… à celui des personnes venant des zones contaminées. Avec quelles conséquences ? Pour répondre à cette question, des anthropologues ont travaillé sur les perceptions et l'évaluation des mesures sanitaires en contexte, au Sénégal, en Guinée et dans trois pays voisins.

Ils ont révélé plusieurs phénomènes, à commencer par l'insuffisance des messages sanitaires transmis aux populations : en Guinée, une partie des malades, convaincue d'un complot politique, a refusé de prendre les médicaments prescrits. Au Bénin, un centre Ebola a été détruit avant même que l'épidémie n'ait atteint le pays. À l'inverse, au Sénégal, où le ministère de la Santé a diffusé par les médias des informations claires sur la flambée épidémique, la population lui a fait confiance.

Les mesures de précaution imposées aux personnes ayant été en contact avec un cas d'Ebola sont dans tous les cas difficiles à vivre. Dans les pays d'enquête, les personnes confinées pendant vingt-et-un jours, isolées, angoissées, incapables d'exercer leur emploi, ont rencontré des problèmes économiques et ont été victimes de rejet social, notamment parce qu'elles étaient suspectées (à tort) de transmettre Ebola. L'étude a montré comment les volontaires et intervenants de première ligne ont su gérer ces effets.

Ces résultats ont aidé à humaniser les procédures de biosécurité et d'isolement tout en les rendant applicables dans les contextes locaux *via* notamment l'instauration d'une aide psychosociale pour les personnes confinées, et l'adaptation des messages pour les malades et la population. De manière plus large, ils ont été pris en compte par l'OMS pour la définition de recommandations en matière d'éthique lors des épidémies au niveau global.



Centre de traitement de l'épidémie Ebola, Guinée.

PARTENAIRES

Centre régional de recherche et de formation à la prise en charge clinique de Fann (CRCF), Dakar, Sénégal

Centre de recherche et de formation en infectiologie de Guinée (CERFIG), Conakry, République de Guinée

Le programme OCP, ou comment éradiquer la « cécité des rivières »

Jusque dans les années 1980, l'Afrique vit sous le joug d'un fléau dont on a presque oublié le nom, l'onchocercose ou « cécité des rivières », une maladie qui rend aveugle, ruine les sociétés rurales et transforme des territoires fertiles en « no man's land ».



Prospection de gîtes larvaires, Guinée.

« Les grands marigots mangent les yeux. » Bientôt, ce proverbe burkinabé sera aussi incompréhensible pour un Africain qu'il l'a toujours été pour un Européen. Il fait référence à l'onchocercose, une maladie qui rend aveugle et qui, jusque dans les années 1980, sévissait dans nombre de pays africains, à proximité des rivières. C'est en effet là que vit le vecteur, la simulie, un moucheron hématophage dont les piqûres, douloureuses, peuvent transmettre un ver parasitaire de la famille des filaires.

Chez l'homme, les filaires adultes vivent sous la peau des genoux, des hanches et des côtes où les femelles fécondées produisent en quantité des microfilaires qui envahissent le derme, y compris l'œil, et meurent au bout de deux ans en libérant des toxines à l'origine des lésions. Pour poursuivre leur cycle, elles doivent être ingérées par une simulie qui les transmettra à un autre individu lors d'une nouvelle piqûre… L'intensité des symptômes est proportionnelle au nombre de piqûres infectantes reçues.

Dès les années 1950, en l'absence de traitement, les chercheurs lancent des études sur le cycle de vie de la simulie. Entre 1960 et 1972, dans trois zones situées en Côte d'Ivoire, au Mali et au Burkina Faso, ils testent des protocoles d'élimination des larves aquatiques du moucheron avec des insecticides.

« Le programme de lutte contre l'onchocercose en Afrique de l'Ouest est indubitablement un succès en ce qui concerne le contrôle de la maladie et la protection de l'environnement… Un programme précurseur, avant la lettre, des principes du développement durable. »

Dr Boakye A. Boatin, ancien directeur du programme OCP



Femme atteinte d'onchocercose, Cameroun.

Les résultats, très concluants, deviennent la pierre angulaire d'un projet international, l'OCP (Onchocerciasis Control Project). Conçu et dirigé par l'Orstom, l'OCP assure, entre 1975 et 2002, le contrôle du vecteur dans onze pays africains et le traitement hebdomadaire de 50 000 kilomètres de rivières. 40 millions de personnes sont ainsi protégées et plusieurs millions d'hectares de terres sont rendus à l'agriculture. L'introduction à partir des années 1980 d'une solution thérapeutique à base d'ivermectine changera la stratégie de lutte, permettant l'élimination quasi totale de l'onchocercose sur tout le continent africain.

PARTENAIRES

Organisation mondiale de la santé (OMS)

Programme des Nations unies pour le développement (PNUD)

De l'effet des insecticides sur l'environnement

À partir de 1973, afin de rendre habitables des zones riveraines propices à l'agriculture, de grandes quantités d'insecticides anti-simulidiens ont été déversées dans les rivières d'Afrique de l'Ouest dans le cadre du programme OCP.



Stock d'insecticide, Bénin.

Dans les années 1970, débute en Afrique de l'Ouest une grande campagne de contrôle des populations de simulies, mouches vectrices de l'onchocercose humaine. Des quantités importantes d'insecticides sont déversées chaque semaine dans les rivières de la région avec un impact environnemental potentiel que les chercheurs se mettent en devoir d'étudier. Avant toute chose, il leur faut comprendre le fonctionnement écologique initial des écosystèmes et de la faune locale d'invertébrés aquatiques et de poissons. Un défi puisqu'à l'époque, seule une liste assez lacunaire des espèces en présence est établie.

Ensuite, il s'agit de définir la limite acceptable de l'impact du pesticide sur le milieu. Ainsi, si le moindre effet est observé sur les populations de poissons, ou lorsqu'une résistance apparaît chez la larve de simulie, il est impératif de changer d'insecticide, en passant par exemple du téméphos au chlorphoxime puis à un bacille capable d'éliminer les larves. Cette stratégie, très efficace, suppose un suivi en temps réel des écosystèmes traités, pour maximiser l'effet du traitement tout en minimisant le coût et l'impact sur l'environnement.

Durant la durée du programme, qui s'étale sur environ vingt ans, de nombreux chercheurs africains ont été formés pour assurer la surveillance écologique du milieu. Au final, les études ont montré que les traitements avaient eu, en définitive, assez peu d'influence sur les populations de poissons qui constituent un apport protéinique essentiel pour les riverains des pays enclavés. Si des effets non prévus initialement ont été observés ultérieurement, ils ne sont pas liés aux insecticides : la recolonisation des terres par les populations paysannes locales, ainsi que l'implantation d'industries agroalimentaires (coton, canne à sucre…) consommatrices d'eau ont en effet contribué à la déforestation et à détériorer l'environnement, entraînant une dégradation globale du milieu.

PARTENAIRES

Centre national des sciences halieutiques et Institut polytechnique, Guinée

Institut d'économie rurale, Mali

Centre national de recherche agronomique, Côte d'Ivoire

Universités de Côte d'Ivoire, du Bénin et du Togo

Tester avant de traiter



Dépistage de la filariose, République du Congo.

À la fin des années 1980, la découverte de l'ivermectine permet de lancer des programmes de lutte efficaces contre l'onchocercose ou « cécité des rivières ». Mais le médicament provoque des effets secondaires et peut, dans certains cas, entraîner la mort.

L'ivermectine, médicament découvert dans les années 1970-1980, est largement utilisée pour lutter contre l'onchocercose. En détruisant les stades larvaires du parasite qui vivent dans la peau et les tissus oculaires (microfilaires), elle permet de prévenir les manifestations de la maladie. Mais dans les années 1990, les chercheurs découvrent que certains individus développent, dans les jours suivant le traitement, une encéphalopathie avec coma potentiellement létal. Ces accidents surviennent en Afrique centrale, là où l'onchocercose coexiste avec une autre filariose appelée loase (filariose à *Loa loa*).

Ainsi, en 1995, les chercheurs lancent une étude au Cameroun pour évaluer la fréquence de ces accidents. 18 000 personnes sont traitées à l'ivermectine et le traitement entraîne deux cas de coma. Les deux personnes touchées présentaient des densités élevées de microfilaires de *Loa loa*, supérieures à 30 000 par millilitre de sang. Mais ce résultat n'est pas réellement pris en compte par la communauté internationale, car les bénéfices de l'ivermectine sont trop importants pour que l'on puisse imaginer d'arrêter le traitement. Jusqu'en 1999 où, au Cameroun, le traitement de 6 000 personnes dans le district d'Okola entraîne 23 comas et 3 décès. Ces événements, survenus au moment même où le pays lançait son programme national de lutte contre l'onchocercose, conduisent à définir des recommandations spécifiques pour les traitements par ivermectine dans les zones à *Loa loa* : dans ces régions, une surveillance médicale accrue doit être mise en place pour limiter les risques de décès.

Mais cette solution transitoire ne saurait être satisfaisante sur le long terme. Aussi, les chercheurs ont-ils imaginé un outil de détection rapide permettant d'identifier les personnes à risque : le « Loascope ». L'idée est de compter rapidement dans une goutte de sang les microfilaires de *Loa loa*. Très mobiles, celles-ci sont dénombrées automatiquement à partir de courtes vidéos d'un tube très fin rempli de sang, prises avec un smartphone. La densité de microfilaires apparaît en deux minutes sur l'écran et les sujets présentant plus de 20 000 mf/ml, à risque d'encéphalopathie, peuvent ainsi être écartés du traitement par ivermectine, tandis que le reste de la population est traité sans risque. 10 000 Loascopes devraient être déployés en 2019 dans toute l'Afrique centrale.



Traitement d'un bovin à l'ivermectine, Burkina Faso.

PARTENAIRES

Centre de recherche sur les filarioses et autres maladies tropicales, Cameroun

University of California, Berkeley, NIH/NIAID, États-Unis

University Medical Center, Rotterdam, Pays-Bas

Extinction des feux pour la mouche tsé-tsé ?

Fléau du XXe siècle, la maladie du sommeil – ou trypanosomiase – pourrait être en passe d'élimination grâce à de nouvelles solutions thérapeutiques, mais aussi grâce à un meilleur contrôle du vecteur de la maladie, la mouche tsé-tsé.



Glossine, ou mouche tsé-tsé.

L'histoire de la lutte contre la maladie du sommeil en Afrique est en partie liée au passé colonial de la France : jusqu'au début du XXe siècle, cette maladie mortelle fait des ravages en Afrique subsaharienne. Elle est causée par un flagellé transmis aux humains et aux animaux par une mouche hématophage, la glossine ou mouche tsé-tsé. Pour tenter d'enrayer ce fléau, dès les années 1920, des équipes françaises dépistent et traitent systématiquement les malades détectés. Une stratégie efficace, mais comportant de gros risques, dus aux effets secondaires des traitements de cette époque, pouvant mener au décès chez 5 % des malades.

D'où la volonté des scientifiques d'imaginer une autre approche, visant à éliminer le vecteur, la mouche tsé-tsé, dans les foyers de maladie du sommeil. Contrairement au moustique, la mouche tsé-tsé pique durant la journée et à l'extérieur des maisons, à proximité des points d'eau, des zones humides ou des forêts. En 1975, en étudiant le comportement des mouches, deux chercheurs travaillant au Burkina Faso découvrent que les tissus blancs ou bleus les attirent. Ils créent alors des pièges biconiques en tissu, mimant la forme d'un homme ou d'un animal. Des pièges qui deviennent fatals lorsqu'ils sont imprégnés d'insecticides.

Par la suite, la forme des pièges se diversifie pour attirer chacune des 31 espèces de mouches tsé-tsé présentes en Afrique. Puis elle se simplifie pour diminuer le coût de fabrication, jusqu'à aboutir dans les années 1980 à de grands écrans blancs et bleus déployés à grande échelle en Côte d'Ivoire ou en Ouganda. Dans les années 2000, des travaux complémentaires montrent que les écrans peuvent être plus petits, sans que cela ne nuise à leur efficacité : bien installés, ils éliminent 80 % à 97 % des mouches tsé-tsé. Résultat : de 300 000 cas en 1990, on est passé à 1 500 cas rapportés en 2017, grâce aux pièges désormais fabriqués industriellement, mais aussi aux progrès thérapeutiques de ces cinq dernières années.

PARTENAIRES

Cirad, France

Centre international de recherche-développement sur l'élevage en zone subhumide (CIRDES), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Institut Pierre-Richet, Bouaké, Côte d'Ivoire

Institut de recherche en élevage pour le développement (IRED), N'Djamena, Tchad

Université de Yaoundé et université de Dschang, Cameroun

Liverpool School of Tropical Medicine, Liverpool, Royame-Uni

Programmes nationaux de lutte contre la trypanosomiase humaine africaine (PNLTHA)

••• Entre 1975 et 2005, les chercheurs inventent des pièges pour capturer ou éliminer les mouches tsé-tsé •••



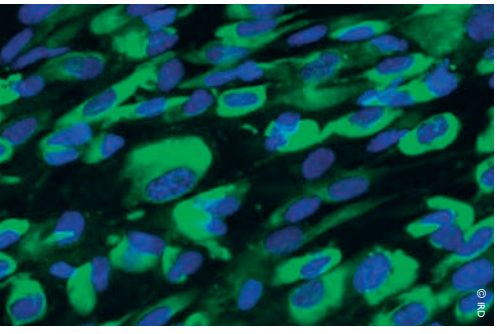
Pose d'un piège à glossines dans une zone de mangrove, Guinée.

« L'impact de ces écrans est bien visible actuellement dans les foyers de trypanosomiase humaine africaine (THA), par exemple en Guinée, au Tchad, en Côte d'Ivoire et en Ouganda, en termes non seulement de réduction des densités de glossines, mais aussi d'incidence de la maladie du sommeil, avec en outre la particularité qu'ils peuvent être facilement déployés par les populations elles-mêmes. En raison de leur efficacité, combinée à leur facilité d'utilisation, et grâce à leur coût abordable, plusieurs programmes nationaux utilisent ces outils, pas seulement dans les foyers de THA, mais aussi dans le cadre de la lutte contre les TAA (trypanosomiases animales africaines). »

Jean-Baptiste Rayaisse, Centre international de recherche sur l'élevage en zone subhumide, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Pionniers sur le virus Zika

Dans les pays du Sud, certaines maladies émergentes peuvent être confondues avec la dengue ou la fièvre jaune. Tel est le cas de la maladie à virus Zika, une pathologie dont les chercheurs n'ont pas fini de saisir les effets et qui constitue une priorité de santé publique.



Cellules humaines infectées par Zika.

Lorsque le monde découvre le virus Zika, lors de l'épidémie sud-américaine de 2015, l'IRD travaille déjà sur le sujet depuis la survenue d'une épidémie en Polynésie française. Mais le virus, lui, a été repéré bien plus tôt, dans les années 1940, en Ouganda, chez un macaque Rhésus. Il faudra attendre 2007 pour qu'il soit détecté chez l'homme, au milieu du Pacifique, dans les îles Yap. Et non sans raison : dans la plupart des cas, la maladie à virus Zika se traduit par une fièvre, des maux de tête, et passe inaperçue. Sauf quand elle touche une femme lors de son premier trimestre de grossesse. Elle peut alors engendrer des malformations, notamment des microcéphalies chez les nouveau-nés.

Mais cette donnée n'est pas connue lorsque les chercheurs entament leurs travaux sur ce virus. Leur objectif est alors de comprendre le mode d'entrée du virus dans le corps. Ils sont ainsi les premiers à montrer que le virus ne contamine pas seulement le sang : il infecte aussi les cellules de la peau. Cette découverte est publiée en 2015, en pleine épidémie sud-américaine. L'équipe devient alors l'un des leaders mondiaux sur la thématique. Elle identifie ensuite avec ses partenaires les récepteurs permettant au virus d'infecter les cellules et ouvre la voie à des travaux à portée plus thérapeutique.

Aujourd'hui, elle s'intéresse aux effets du virus sur des cellules du cerveau mises en culture. Il s'agit notamment de mieux comprendre pourquoi et comment le virus Zika perturbe la neurogenèse. À ce jour en effet, il reste très difficile d'évaluer l'ampleur et la nature des séquelles neurologiques des enfants à naître, mais aussi des adultes qui, dans certains cas, développent des troubles moteurs et visuels.

PARTENAIRES

Université de Mahidol, Thaïlande

Inserm, France

Institut Pasteur, France



Larves de moustique tigre.

Vers des usines à moustiques

Vecteur de maladies comme le chikungunya ou la dengue, le moustique tigre est présent dans les TOM mais aussi dans le sud de la France. La maîtrise de cette espèce s'avère donc indispensable, posant des questions nouvelles sur les moyens de lutte.

En 2006, une épidémie de chikungunya frappe l'île de La Réunion, pointant le besoin croissant de réguler les populations du moustique tigre, *Aedes albopictus*. Parce que l'usage des pesticides fait de plus en plus polémique, les chercheurs décident d'emprunter une autre voie, celle dite de la technique de l'insecte stérile (ou TIS). Dans cette stratégie, des moustiques mâles stériles sont produits en masse et lâchés dans la nature pour entrer en compétition avec les mâles sauvages et empêcher ainsi les femelles de se reproduire.

Déjà utilisée en agriculture pour lutter contre certaines mouches considérées comme nuisibles pour le bétail ou les cultures, cette pratique a été testée dans les années 1960 et 1970 en Inde et au Salvador pour éradiquer des moustiques à des fins sanitaires. Mais sans succès. Les deux essais ont en effet tourné court, essentiellement à cause de difficultés techniques. Mais aussi, en Inde, en raison du mode de stérilisation chimique des moustiques, qui finissait par nuire à leurs prédateurs ; et au Salvador, du fait d'un manque de communication sur la méthode et les objectifs de cette lutte.

Mais ces échecs historiques ne découragent pas les chercheurs. Et pour cause : chez les moustiques, seul le sperme du premier mâle ayant fécondé la femelle peut produire des œufs. En choisissant correctement le moment des lâchers, il devrait être possible de réduire la population sans avoir recours au moindre pesticide. C'est pourquoi, en 2008, l'IRD signe un accord-cadre avec l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) qui soutient le développement de cette innovation dans différents États membres. Ensemble, ils collaborent à un projet permettant d'acquérir un savoir-faire dans la production en masse des moustiques, le sexage et la stérilisation des moustiques mâles avec des rayons X.

Aujourd'hui, de nouveaux financements sont nécessaires pour construire la première unité de production de moustiques mâles stérilisés, pour tester à petite échelle le principe de la TIS et évaluer les effets des lâchers sur les populations de moustique tigre à La Réunion.



Élevage de larves à La Réunion.

PARTENAIRES

Université de La Réunion

Direction générale de la Santé, France

Fonds européen de développement régional

Agence internationale de l'énergie atomique

Cirad, CNRS, EHESP Rennes, France

Immuniser des chiens pour sauver des hommes

La leishmaniose est une maladie parasitaire présente dans 90 pays, dont 72 sont parmi les plus pauvres du monde. Elle est transmise par un moucheron qui se nourrit du sang de différents mammifères, dont en particulier celui des chiens.



ADN coloré de *Leishmania.*

La leishmaniose tue 62 000 personnes chaque année dans le monde. Mais il s'agit d'une maladie « négligée », qui n'est pas parmi les priorités des bailleurs de fonds. Ce qui rend particulièrement difficiles les recherches menées sur ce fléau transmis par les phlébotomes, des moucherons qui piquent autant les hommes que les animaux, en particulier les chiens, un de leurs hôtes de prédilection. Les scientifiques s'en aperçoivent lorsque, au Brésil, les instances sanitaires lancent une campagne d'éradication des chiens infectés par la leishmaniose, créant alors un pic de contamination humaine : car en l'absence de chiens, les phlébotomes se rabattent sur les hommes.

••• Les chercheurs développent un vaccin canin contre la leishmaniose •••

Ce résultat inattendu ouvre une piste nouvelle pour les chercheurs. Si personne n'est prêt à financer des recherches sur la leishmaniose humaine, il n'en est pas de même pour la leishmaniose canine qui menace 25 millions de chiens dans le sud de l'Europe. En 1990, cette réalité permet à des chercheurs de lever de l'argent et d'étudier enfin le parasite de la leishmaniose chez le chien. Il leur faudra cinq ans pour mettre au point un milieu de culture sans sérum, c'est-à-dire sans contaminant d'origine animale, et permettant de multiplier le pathogène.

Par la suite, ils étudient la façon dont le parasite infecte des cellules du système immunitaire canin et découvrent une approche prometteuse

« Il est nécessaire de reconnaître l'existence de la maladie et de l'intégrer dans les plans stratégiques des ministères de la Santé. »

Bashir Mwambi, université internationale des sciences de la santé, Kampala, Ouganda



Chien atteint de leishmaniose, Sénégal.

dans la perspective d'un vaccin. Ce dernier ne déclenchera pas la production d'anticorps mais de cellules immunitaires capables d'éliminer les cellules infectées. Ils isolent alors dans les sécrétions des parasites des protéines capables de déclencher cette réponse immunitaire. Au terme de douze ans de recherches et de tests cliniques, ils parviennent à mettre sur le marché, en 2011, un vaccin canin contre la leishmaniose. Parallèlement, ils travaillent en collaboration à la mise au point d'un vaccin pour l'homme, en cherchant à diminuer les coûts de production pour le rendre accessible aux populations concernées. Un premier vaccin humain devrait entrer très prochainement en test clinique de phase 1.

PARTENAIRES

Institut Pasteur de Tunis, Tunisie

Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima, Pérou

Détecter les tuberculoses résistantes

La résistance aux antibiotiques représente aujourd'hui une menace pour la santé publique mondiale. Ainsi, la tuberculose continue de progresser en raison de l'émergence de souches multirésistantes.



Recherches sur l'épidémiologie de la tuberculose, Vietnam.

Le problème des résistances touche l'ensemble du monde bactérien. Des souches résistantes à tous les antibiotiques, appelées « superbugs », sont d'ores et déjà apparues sur chaque continent. Cette menace explique que les chercheurs tentent activement de comprendre les mécanismes d'apparition de ces résistances. Il apparaît que les souches déjà résistantes à un antibiotique ont une plus grande facilité à acquérir de nouvelles résistances. Celles-ci semblent émerger plus particulièrement dans les pays du Sud, où il n'existe pas ou peu de régulations de l'utilisation des antibiotiques pour l'homme et l'animal. Dans ce contexte, la mise en place en Asie du Sud-Est de projets « One Health », basés sur l'étude combinée de l'environnement, de la santé animale et humaine dans une vision intégrée, s'avère primordiale pour envisager des stratégies de contrôle efficaces.

Mycobacterium tuberculosis, la bactérie responsable de la tuberculose, est dangereuse et particulièrement difficile à éliminer. Il faut, en effet, utiliser une combinaison de quatre antibiotiques pendant six mois pour espérer en venir à bout. Et encore faut-il que la bactérie n'ait pas développé de résistances. Car, au fil des années, un nombre croissant de souches multirésistantes apparaissent, nécessitant le recours à des antibiotiques dits de seconde ligne.

Mais, pour pouvoir combiner ces différentes voies thérapeutiques, il faut pouvoir établir en amont le degré de résistance de *M. tuberculosis*. Une tâche tout sauf évidente, puisqu'il faut près d'un mois pour cultiver et caractériser la bactérie.

En 2009, un programme est lancé en Asie du Sud-Est pour cartographier les différentes formes de tuberculose circulant dans la région. Plusieurs souches résistantes aux antibiotiques de première et de deuxième ligne sont identifiées. Un travail d'inventaire débute alors pour déterminer tous les gènes de résistance trouvés chez les bactéries asiatiques. Ce recensement permet aux chercheurs de créer un outil de diagnostic capable de caractériser en une seule expérience et en cinq heures le type de résistance (de simple à multiple) d'une souche de *M. tuberculosis*. Un progrès colossal. Cet outil devra cependant être breveté et perfectionné pour une utilisation adaptée aux pays du Sud avant d'être commercialisé.

PARTENAIRES

Institut national d'hygiène et d'épidémiologie (NIHE), Hanoï, Vietnam

Université des sciences et technologies de Hanoï (USTH), Vietnam

Centre d'infectiologie Lao-Christophe Mérieux (CILM), Vientiane, Laos

Institut Pasteur du Cambodge (IPC), Phnom Penh, Cambodge

Plateforme GeT-Biopuces, LISBP, Toulouse, France



Aedes aegypti, moustique vecteur de la dengue.

Épidémies climatiques

Les épidémies sont liées aux flux de populations, aux modes de vie, aux densités démographiques, aux vecteurs, mais aussi au climat. Cette découverte a permis d'améliorer la prévision et la gestion de certaines épidémies, notamment celles de méningite et de dengue.

Au début des années 2000, une équipe travaillant au Mali fait un constat étonnant : il existe un lien entre la survenue de l'harmattan, un vent chaud et sec venu du Sahara, et le déclenchement des épidémies de méningite. Cette découverte amène les chercheurs à étudier les deux pays les plus touchés par les épidémies annuelles de méningite, à savoir le Niger et le Burkina Faso.

En croisant les données épidémiologiques collectées depuis la fin des années 1960 et les informations météorologiques disponibles, ils montrent que 25 % de la variabilité observée des cas de méningite sont liés à l'intensité des vents. Cela peut permettre de mieux anticiper la survenue de grandes épidémies comme celle de 1996, qui a fait 25 000 victimes.

Quelques années plus tard, en 2009, une équipe pluridisciplinaire entame un travail similaire en Nouvelle-Calédonie. Il s'agit cette fois d'étudier les fluctuations des épidémies de dengue. Les chercheurs reprennent alors quarante ans de données épidémiologiques de 1971 à 2011 et montrent qu'il existe des relations statistiques très précises entre les variables climatiques de température et de précipitation et les flambées de la maladie. Ils montrent également qu'il est possible de prévoir les épidémies un mois à l'avance à l'aide d'un modèle statistique avec 70-80 % de fiabilité. Ce modèle entre maintenant dans les processus de décisions et permet aux autorités sanitaires de mieux anticiper ces épidémies, en informant les populations, en prévoyant des commandes d'insecticides et en organisant la lutte antivectorielle. Projeté à l'horizon 2100, il suggère qu'en raison du changement climatique, la fréquence des épidémies de dengue devrait augmenter, passant d'une tous les cinq ans à une tous les ans.



Vent de sable, Burkina Faso.

PARTENAIRES

Centre hospitalier de Nouvelle-Calédonie (CHT)

Institut Pasteur de Nouvelle-Calédonie (IPNC)

Direction des Affaires sanitaires et sociales de Nouvelle-Calédonie (DASS)

Communauté du Pacifique (CPS)

Météo-France Nouvelle-Calédonie

Agence nationale de la météorologie du Burkina Faso





Glaciers sous surveillance

Les glaciers des régions tropicales et subtropicales ont des fonctionnements spécifiques. Leur réponse au réchauffement climatique ne peut pas être extrapolée à partir des seules observations réalisées sur les glaciers des latitudes moyennes ou polaires.



Carottage de glace, volcan Chimborazo, Équateur.

En Europe, les glaciers accumulent de la neige en hiver et fondent en été. Mais cette respiration saisonnière n'est pas le lot de tous les glaciers et notamment de ceux des zones tropicales et sub-tropicales. Les chercheurs s'en aperçoivent dès le début des années 1990, notamment lors de programmes conduits sur les glaciers d'altitude en Bolivie. Ils mesurent le bilan de masse du glacier, installent des stations de mesure météorologiques sur et à côté des langues glaciaires, quantifient le ruissellement de l'eau en aval et complètent leurs mesures avec des images satellitaires. Ils montrent ainsi que les glaciers tropicaux ont un comportement bien différent de celui des glaciers des zones tempérées : ils accumulent de la neige en été, pendant la saison humide, et non en hiver. Une caractéristique qui peut générer des comportements inattendus face au changement climatique.

Aussi, dans le cadre du projet Cryobsclim, différents glaciers représentatifs des milieux d'altitude de la zone intertropicale et subtropicale sont sélectionnés et suivis sur le long terme en Bolivie, en Équateur, au Pérou mais aussi dans l'Himalaya. Ces observations permettent de suivre leur évolution et d'imaginer leurs comportements futurs sous différentes hypothèses climatiques. L'objectif est de saisir les impacts possibles pour les populations vivant en aval, et dont l'approvisionnement en eau en hiver, lors de la saison sèche, dépend de la présence des glaciers. Les chercheurs estiment ainsi que si les glaciers sont stables dans une partie de l'Himalaya, ils sont très menacés dans les Andes, ce qui ne sera pas sans conséquences pour les pays concernés.

« Ces outils d'analyse nous ont permis de quantifier l'apport actuel des glaciers aux ressources en eau au niveau régional en conditions de sécheresse extrême. Les glaciers apportent respectivement 15 %, 86 % et jusqu'à 91 % d'eau pour la consommation des villes de Quito, La Paz et Huaraz. Cette information permettra aux gestionnaires de mieux planifier les actions pour palier l'effet de la réduction progressive de ces apports dans le cadre du changement climatique. »

Marcos Villacis, École polytechnique nationale de Quito, Équateur



Station météorologique au sommet du Chimborazo, Équateur.

••• Le réseau Cryobsclim permet de suivre le comportement des glaciers tropicaux •••

Seul organisme à l'échelle internationale à avoir mis en place, conjointement avec les partenaires andins et himalayens, un suivi de long terme sur des glaciers du Sud, l'IRD a depuis les années 1990 constitué de longues séries d'observations, un jeu de données sans équivalent pour des milieux difficiles à instrumenter et à surveiller. Les applications vont aujourd'hui de la quantification des aléas glaciaires dans l'Himalaya aux modes de gestion innovants de la ressource hydrique au Pérou, en Bolivie ou en Équateur. Dans ce dernier pays par exemple, un modèle hydrologique complet d'allocation de la ressource hydrique pour la ville de Quito a été mis en place. Il tient compte des apports d'eau fournis par les glaciers et sert d'outil de planification.

PARTENAIRES

Tribhuvan University, Népal

Universidad Mayor de San Andrés, Bolivie

École polytechnique nationale, Institut de météorologie et d'hydrologie, Équateur

Institut de géophysique du Pérou

Autorité nationale de l'eau du Pérou

Services de météorologie et d'hydrologie nationale du Pérou et de Bolivie

Institut d'hydrologie, de météorologie et d'études environnementales, Colombie

Allô ? Attention à l'eau !

Dans un contexte de changements globaux, les pays de la zone intertropicale sont de plus en plus exposés aux inondations. Comprendre et surveiller ces phénomènes représente un enjeu majeur de recherche pour développer des systèmes d'alerte pertinents.



Arrivée de la mousson à Niamey.

Pour les opérateurs de téléphonie mobile, la pluie est une nuisance qui entrave la bonne transmission des communications. Une gêne dans laquelle, en 2007, des chercheurs hollandais et israéliens voient une solution pour un tout autre problème. Leur idée ? Transformer les fluctuations du signal émis et reçu par les antennes-relais en données permettant de détecter en temps réel les précipitations. Si l'approche ne présente que peu d'intérêt en Europe, elle serait pertinente pour les pays africains qui, à défaut d'une bonne densité de stations et radar météorologiques, possèdent un bon réseau d'antennes-relais.

••• En utilisant le réseau des antennes-relais, il est possible de surveiller les risques d'inondation sous les tropiques •••

En 2012, des équipes françaises et africaines décident de tester le principe au Burkina Faso. En collaboration avec Telecel Faso, ils démontrent que l'analyse des signaux des antennes-relais permet de détecter et de quantifier le niveau des précipitations. En couplant ces données à un modèle hydrologique, ils parviennent alors à créer une application capable de cartographier les risques d'inondation urbaines. Rain Cell (*Rain Measurement from cellular phone networks*) est né.

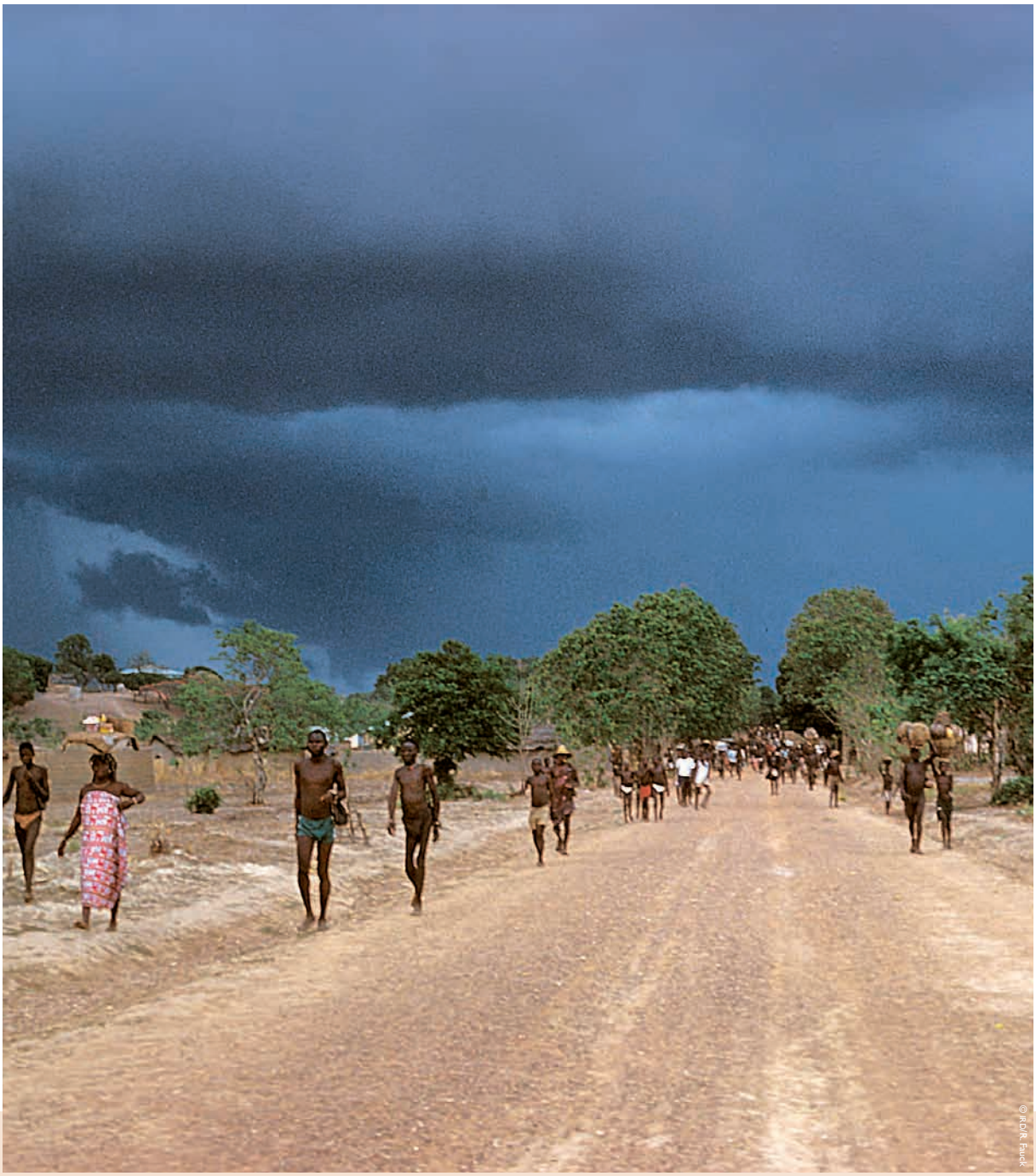
Mais les chercheurs vont encore plus loin. En s'appuyant sur l'ancrage historique de l'IRD en Afrique, en 2016, ils convainquent l'opérateur Orange de partager ses données. Un tour de force qui leur permet de tester le dispositif dans cinq pays, à savoir le Burkina Faso, le Niger, le Mali, le Cameroun et le Maroc, avec un pilote en temps réel opérationnel au Cameroun depuis 2018. Ne reste plus maintenant qu'à affiner le modèle économique pour installer définitivement Rain Cell dans le long terme et l'opérationnel.

PARTENAIRES

Universités de Ouagadougou, d'Abidjan, de Yaoundé, de Douala, de Fez

2IE Ouagadougou, Burkina Faso

Services hydro-météorologiques et de sécurité civile, communautés urbaines au Niger, Cameroun, Mali et Burkina Faso



La mousson, essentielle aux ressources en eau pour l'agriculture sahélienne.

« Disposer de données de pluie en temps réel dans les villes africaines très menacées par les inondations aiderait nos services à mieux anticiper les risques ; nous sommes intéressés par le projet Rain Cell. Cette recherche innovante permet d'accéder à une information pour la météo en exploitant une infrastructure déjà en place, les réseaux de téléphonie mobile. »

Ernest Ouedraogo, directeur général de la Météorologie nationale du Burkina Faso

Alerte à la canicule africaine

D'ici à la fin du siècle, de fortes vagues de chaleur devraient frapper le Sahel. Même si la population locale est acclimatée aux températures élevées, elle pourrait souffrir de ces événements extrêmes.



Sol craquelé par la sécheresse, Burkina Faso.

En 2003, la France découvre le potentiel meurtrier des canicules. Elle met en place un plan d'alerte et de prévention qui, en 2006, lors de la canicule suivante, porte ses fruits et limite le nombre de victimes. Quelques années plus tard, en 2013, les chercheurs alertent sur les impacts du changement climatique : les habitants du Sahel feront eux-aussi face à des canicules et devront disposer d'un système d'alerte adapté pour éviter les victimes lors des vagues de chaleur.

Mais qu'est-ce qu'une vague de chaleur dans ces régions déjà chaudes ? Et quels sont les seuils de dangerosité à considérer pour des populations acclimatées aux températures élevées ? Pour répondre à ces questions, les chercheurs lancent des études au Sénégal et au Burkina Faso, deux pays où sont réalisés des suivis de population. Ils collaborent d'abord avec les agences météorologiques nationales pour qu'elles puissent publier toutes les semaines un bulletin de prévision de la canicule. Une routine depuis 2016.

Ensuite, ils décident d'associer les données sur les consultations médicales et les décès, issues des observatoires de l'IRD, avec les données météorologiques, pour élaborer des signaux d'alerte. Un concept séduisant, pourtant difficile à mettre en œuvre car ces informations ne sont pas collectées en temps réel mais tous les semestres, ce qui nécessite d'adapter les techniques d'évaluation des seuils thermiques en vigueur dans les pays du Nord.

« Les vagues de chaleur sont des phénomènes météorologiques fréquents au Sahel et à fort impact sur la santé humaine. Les projections climatiques laissent présager une recrudescence en intensité et fréquence de ce phénomène. À cet effet, la prévention par la diffusion en temps réel de l'information météorologique et climatique aux usagers pour une atténuation de l'impact des vagues de chaleur s'avère cruciale, d'où le rôle essentiel du projet ACASIS par sa mise en place d'un système d'alerte précoce utilisant les NTIC (sms d'alertes, appels vocaux, site web, application mobile). »

Pape Ngor Ndiaye, chef prévisionniste de l'ANACIM, Agence météorologique du Sénégal



Puisage d'eau dans une rivière asséchée, Burkina Faso.

••• Des chercheurs posent les jalons d'un système d'alerte à la canicule au Sénégal et au Burkina Faso •••

En marge, ils conduisent une enquête *in situ* auprès de plusieurs milliers de personnes afin de mieux qualifier leurs conditions de vie, leur ressenti et leur vulnérabilité face aux fortes chaleurs. Les résultats préliminaires suggèrent que les personnes de plus de 55 ans souffrent davantage lorsque les températures élevées se prolongent dans le temps et que la température nocturne ne baisse pas. Les enfants de moins de cinq ans, quant à eux, réagissent plus rapidement aux augmentations brutales de température. Autant de données fondamentales pour construire d'ici à quelques années un système d'alerte efficace et adapté.

PARTENAIRES

Direction de la météorologie du Sénégal

Direction de la météorologie du Burkina Faso

Université Cheikh Anta Diop, Sénégal
Centre de suivi écologique, Sénégal

Université Gaston-Berger, Sénégal
Université de Ouagadougou, Burkina Faso

Centre de recherche en santé de Nouna, Burkina Faso

Évaluer le risque sismique

Des tremblements de terre particulièrement ravageurs peuvent survenir en Équateur et au Pérou. Dans ces pays, la connaissance des zones où les séismes sont susceptibles de se produire est un élément important de politique publique en matière de prévention des risques sismiques.



Suivi de l'activité sismique, Équateur.

En 1906, un séisme de magnitude 8,8 frappe l'Équateur. Il s'agit du cinquième plus violent séisme jamais enregistré dans le monde. Dans le siècle qui suit, plusieurs autres grands tremblements de terre secouent la zone. Trois sont d'une magnitude supérieure à 7. Une fréquence qui explique, entre autres, l'implantation de sismologues de l'IRD sur place. La région n'étant pas instrumentée, dès leur arrivée en 2008, ils installent dix stations de mesure équipées d'un accéléromètre, d'un sismomètre et d'une balise GPS. Cette instrumentation doit leur permettre de décrire les secousses, mais aussi les glissements « silencieux » qui peuvent se produire sur certaines failles. Deux ans plus tard, l'Équateur complète le dispositif, et bénéficie aujourd'hui d'un réseau de surveillance moderne incluant 85 balises GPS, 80 sismomètres et 120 accéléromètres. Les stations de mesures permettent d'établir des cartes d'aléas sismiques.

L'analyse des données récoltées permet de découvrir en 2014 une plaque tectonique jusque-là inconnue, que les chercheurs baptisent la plaque « Inca ». Ils calculent en outre les contraintes exercées régionalement et pointent les zones où de grands séismes ont le plus de probabilité de se produire. Le séisme de magnitude 7,8 qui a eu lieu en 2016 en Équateur et a fait près de 700 victimes se situe dans une des zones précédemment identifiées comme dangereuses. Aujourd'hui, les chercheurs français et équatoriens dressent des cartes d'aléas sismiques. Une information essentielle que les politiques et institutions équatoriennes peuvent désormais utiliser pour simuler l'impact d'une crise sismique et établir des priorités d'aménagement. Mais ces cartes ont également permis aux chercheurs de déduire que le prochain grand séisme pourrait se produire au Pérou dans la région de Lima où vivent 12 millions de personnes.

PARTENAIRES

École polytechnique nationale de Quito, Équateur

Institut océanographique de la marine équatorienne

École supérieure polytechnique du littoral de Guayaquil, Équateur

Institut de géophysique du Pérou

« En Équateur, les séismes et les éruptions volcaniques ont constamment impacté la population et le développement du pays. La connaissance de ces phénomènes et de leurs effets est fondamentale pour la gestion des risques, pour les politiques de prévention et pour améliorer la résilience. Cette connaissance est une des activités de notre institut, et la participation de l'IRD a été essentielle à la formation de spécialistes et la réalisation de projets de recherche en commun. Les résultats obtenus ont apporté des avancées significatives sur la connaissance des processus sismiques et volcaniques. »

Alexandra Alvarado, directrice de l'Institut de géophysique (2016-2018), École polytechnique nationale de Quito, Équateur



© IRD | P.Vergnault

Après le séisme, Équateur.

Des éruptions au long cours

L'Équateur compte quatre-vingt volcans, dont trente potentiellement dangereux et susceptibles de menacer la vie de millions de personnes et, plus indirectement, l'économie du pays.



Éruption du volcan Tungurahua en 1999, Équateur.

En 1999, deux volcans considérés comme « explosifs » entrent en éruption en Équateur. Le premier se trouve à quelques kilomètres de Quito, avec ses 2 millions d'habitants et son aéroport indispensable à la vie économique du pays. Mais c'est le second volcan, le Tungurahua, qui suscite le plus d'inquiétude. Il surplombe en effet une bourgade de 15 000 habitants et s'avère particulièrement dangereux. Il serait susceptible de produire des nuées ardentes, nuages de cendres incandescentes qui dévalent à grande vitesse les flancs des volcans. Les équipes sur place entament alors un travail pour tenter de préciser la fréquence et la magnitude des éruptions, ainsi que la vulnérabilité des populations et des installations environnantes.

Et pour cause : à mille lieues de ceux de Hawaii ou de l'Etna, les volcans d'Équateur produisent une lave très visqueuse. Riche en silice, elle s'écoule un peu comme du dentifrice sortant d'un tube : en formant un dôme de lave qui s'élève vers le ciel et explose sous la pression du gaz piégé en profondeur. En 2006 au Tungurahua, une très puissante éruption a produit des nuées ardentes, faisant six morts… Un bilan somme toute limité grâce à l'institut de géophysique local où exercent les volcanologues et les autorités chargées de la sécurité des populations. Les riverains ont été prévenus à temps, les six morts sont des personnes qui sont revenues dans la zone rouge pendant l'éruption et l'ont payé de leur vie.

Cet exemple illustre la nécessité d'adapter les systèmes d'alerte aux caractéristiques des volcans mais aussi à la culture et à la psychologie des populations locales, de façon à éviter les refus d'évacuation des retours trop hâtifs, ou les aménagements urbains dangereux en cas de crise. La perception du risque est ainsi aussi importante que le risque lui-même. D'où l'intérêt de l'approche transdisciplinaire, ancrée sur le terrain et sur le long terme.

PARTENAIRES

Institut de géophysique de l'École polytechnique nationale de Quito, Équateur



Conséquences de l'éruption du volcan Tungurahua, Équateur.

« Notre coopération avec l'IRD en volcanologie s'est avérée très fructueuse pour préciser le comportement passé de certains volcans (récurrence et puissance des éruptions, chimie des magmas, aléas associés) et pour mieux suivre l'activité de certains volcans actifs dangereux, comme le Tungurahua, le Reventador ou leCotopaxi. Au-delà des publications et de la formation, par exemple au travers du LMI SVAN, cette collaboration est donc un succès au bénéfice partagé. »

Silvana Hidalgo, directrice de l'Institut de géophysique, École polytechnique nationale de Quito, Équateur

Cartographier les ressources pour gérer les priorités

Les catastrophes naturelles frappent indifféremment les pays du Nord et du Sud. Mais c'est bien au Sud qu'elles font le plus de dégâts, faute de procédures d'urgence adaptées. Or transposer les systèmes de gestion des catastrophes du Nord vers le Sud n'a pas beaucoup de sens, dans la mesure où ces pays ont rarement des moyens comparables à ceux du Nord.



La Paz, ville exposée aux glissements de terrain, Bolivie.

Dans les années 1990, des chercheurs publient un atlas présentant une cartographie des risques sismiques et volcaniques à Quito, en Équateur. Ce travail fondateur et précurseur pour l'Amérique latine peine toutefois à intéresser les décideurs. Aussi l'équipe décide-t-elle de changer d'approche. Quelques années plus tard, elle aborde la notion de risques en termes de stratégies. L'idée n'est plus de cartographier des zones menacées, mais d'analyser le fonctionnement de la ville pour établir les priorités. Objectif ? Maximiser l'efficacité des mesures d'urgence dans un contexte où les ressources sont limitées. En collaboration avec les institutions locales, les scientifiques pointent l'importance économique du patrimoine historique, dont la protection devient une priorité. Depuis, lors des éruptions volcaniques et des pluies de cendre, ce sont les toits des bâtiments historiques qui sont nettoyés en premier pour éviter tout risque d'effondrement.

Inspirée par l'exemple de Quito, la ville de Lima demande en 2010, aux géographes de simuler l'impact d'un grand séisme sur la capitale. Là encore, en collaboration avec les décideurs, l'équipe analyse les risques, mais aussi la position des zones à populations vulnérables, l'implantation et l'accessibilité des hôpitaux, le fonctionnement du réseau routier, l'accès à l'eau, à l'électricité ou à la nourriture. Cette approche permet d'identifier des problèmes et de trouver par anticipation des solutions, en élargissant certaines routes ou en ciblant les points d'intervention prioritaires. Cette méthodologie de cartographie des ressources est reprise en 2012 et 2013 pour analyser la situation de Port-au-Prince et de La Paz, pointant des particularités locales, comme l'absence de grands opérateurs électriques en Haïti, ce qui multiplie le nombre d'interlocuteurs et modifie la façon de gérer la crise. Cette approche, qui étudie les connexions entre les ressources vitales, pourrait également être appliquée dans les pays du Nord.

PARTENAIRES

Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Équateur

Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú

Gobierno Autónomo Municipal de La Paz, Bolivie

Direction de la défense civile d'Haïti

••• L'approche pluridisciplinaire permet de créer
des stratégies de gestion des catastrophes naturelles •••



Le volcan Cotopaxi en éveil, Quito, Équateur.

« Depuis 1988, plusieurs programmes de recherche ont été développés avec la municipalité de Quito, parmi lesquels figure le programme "Systèmes d'information et risques du district métropolitain de Quito" (DMQ) entre 2002 et 2004 dont l'objectif était l'élaboration méthodologique axée sur la compréhension de la vulnérabilité. Cela représentait une contribution unique à la vision traditionnelle de l'analyse des risques et s'est avéré un instrument pratique permettant de se concentrer sur des actions spécifiques de réduction des risques. Sans aucun doute, les contributions apportées par la coopération de l'IRD ont marqué le travail de planification de la ville de Quito. Mon travail professionnel a bénéficié de l'influence directe de ce programme de recherche. »

Nury Bermúdez, coordinatrice nationale de gestion des risques, PNUD, Équateur, ex-fonctionnaire de Planification du District Métropolitain de Quito

Sonder la face cachée des séismes

Dans des zones de subduction, 80 % de l'énergie sismique est libérée en mer, parfois à proximité de côtes très peuplées comme sur le pourtour de l'océan Pacifique. D'où l'intérêt de mesurer précisément l'activité sismique dans ces zones vulnérables.



Immersion d'un sismomètre, Équateur.

PARTENAIRES

Instituto Oceanográfico de la Armada, Équateur

Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, Équateur

Instituto Geofísico del Perú, Lima

Servicio Geológico Colombiano

Sonatrach, Algérie

Université des sciences et de la technologie Houari-Boumediene, Alger

Les grands séismes n'ont pas lieu n'importe où. Ils surviennent surtout dans les régions péripacifiques, dites « de subduction », comme au Japon, au Chili, en Indonésie ou au Vanuatu. Cette dernière zone est étudiée dans les années 1970 par des sismologues de l'Orstom qui se heurtent alors à un problème trivial : dans cette partie du monde, il n'y a pas assez de terres émergées pour poser leurs appareils de mesure.

Ils s'associent alors à une équipe de l'université du Texas, à Austin, qui développe des sismomètres sous-marins autonomes. Une petite prouesse technique car ces instruments enregistrent une très grosse quantité de données, données qui ne peuvent être transmises à travers la colonne d'eau et qui doivent être stockées sur place jusqu'à ce que les chercheurs les récupèrent… ce qui nécessite des batteries très performantes. En outre, comme ces appareils sont posés au fond des mers, ils doivent à la fois supporter la pression et pouvoir être remontés à la surface pour livrer leurs informations. Par bien des points, les sismomètres sous-marins ressemblent donc plus à des robots que leurs analogues terrestres.

Après avoir testé les prototypes américains, les chercheurs commencent à développer leurs propres instruments dont le dernier né, actuellement en cours de test au large de Nice, est équipé de batteries au lithium et dispose d'une autonomie d'au moins trois ans. À titre de comparaison, les générations précédentes, utilisées actuellement en recherche, ont une durée de vie de six mois. L'IRD en possède quarante. Déployés en réseau, ils ont permis de connaître la géométrie précise de la zone de subduction du Vanuatu. En Équateur, ils ont été utilisés pour suivre les répliques du grand séisme de 2016 et mieux comprendre le transfert des contraintes tectoniques, notamment vers la frontière colombienne, lieu potentiel d'une future rupture sismique.



Jeune fille en vélomoteur, Ouagadougou, Burkina Faso.

Des données pour une meilleure sécurité routière

Au Burkina Faso, comme dans toute l'Afrique, les traumatismes liés aux accidents de la route sont un problème de santé publique souvent négligé. De nouveaux outils de géolocalisation et de suivi des accidentés pourraient permettre d'élaborer des leviers d'action.

En Afrique, on estime que les accidents de la route pourraient devenir la cinquième cause de décès d'ici 2030. Or les données collectées sur les accidents sont rares et peu fiables, ce qui entrave le développement d'actions de prévention. Aussi, à Ouagadougou, une équipe de chercheurs a-t-elle expérimenté un système de surveillance des accidents avec des unités de la police nationale, qui a permis d'établir une carte des « points noirs » des accidents.

Cette carte montre que les accidents ont souvent lieu dans des quartiers denses et sur les axes de sortie et de contournement de la ville. 86 % des blessés sont des conducteurs de deux-roues, principalement de jeunes hommes provenant des quartiers populaires périurbains. Ce constat a pointé l'inadaptation des infrastructures routières face à l'explosion du nombre des deux-roues, mais aussi le manque de transports collectifs, qui force les jeunes travailleurs à effectuer de longs trajets en moto. Les piétons, 6 % des blessés, sont eux aussi victimes de la circulation. Cette fragilité est renforcée par les difficultés d'accès aux soins, également mesurées par les chercheurs dans le cadre d'un suivi des accidentés au service des urgences de Ouagadougou. Le coût des soins, très élevé, empêche les blessés de se faire soigner correctement.

Après la présentation de ces résultats, les effectifs policiers ont été renforcés dans les zones « accidentogènes ». En termes d'aménagement, les routes anciennes et étroites devront être adaptées à l'intensification de l'usage des deux-roues. Enfin, des informations précises sur les traumatismes permettent d'informer la population des dangers de la route.

Ces données constituent un élément essentiel dans la prévention et l'amélioration de la sécurité routière au Burkina Faso, mais aussi ailleurs en Afrique. Le Bénin expérimente actuellement le même système avec la géolocalisation des accidents à Cotonou. La prochaine étape consistera à étudier des axes routiers sous-régionaux reliant les principales capitales ouest-africaines.



Circulation à Ouagadougou, Burkina Faso.

PARTENAIRES

Institut des sciences des sociétés, Burkina Faso

Institut de recherche en santé publique, Bénin

Université de Montréal

Des contaminations record de plastiques en eau douce

Si la pollution par les plastiques des océans est fortement médiatisée, celle dans les eaux douces l'est moins. Or, il pourrait s'agir d'un problème sanitaire et environnemental majeur.



Amas de déchets flottants, Hô Chi Minh-Ville, Vietnam.



Microplastiques triés en laboratoire, Hô Chi Minh-Ville, Vietnam.

Du plastique partout. Dans les arbres, les rues, les champs, les rivières de la région de Hô Chi Minh-Ville au Vietnam. La situation est si préoccupante qu'en arrivant sur place en 2015, une équipe jusque-là spécialisée dans la contamination de l'environnement par les métaux, décide de réorienter ses recherches et de se consacrer à la pollution engendrée par les plastiques : ceux, macroscopiques, qui se voient, mais aussi ceux, dégradés, invisibles, qui se mêlent à l'eau ou aux poussières et dont la taille est inférieure à 5 millimètres.

Les chercheurs réalisent alors que si les plastiques font l'objet de recherches et de suivis dans les pays du Nord, ou dans le milieu océanique, il n'en est rien dans les pays du Sud, où pourtant les systèmes de traitement de l'eau et des déchets sont les plus déficients.

En collaboration avec des équipes travaillant en France, ils étudient l'eau du fleuve Saïgon au cœur de la mégalopole d'Hô-Chi-Minh-ville. Mais rapidement, les protocoles imaginés pour un fleuve comme la Seine sont dépassés par les concentrations locales en microplastiques : les temps de pose des filets pour collecter les contaminants plastiques passent de trente à une minute pour éviter les problèmes de saturation. Les résultats montrent alors que la concentration en macroplastiques dans les eaux saïgonaises est 700 fois supérieure à celle d'une rivière traversant une mégapole d'un pays développé ; et celle des microplastiques est 1 000 fois plus élevée. Un litre d'eau « potable » peut ainsi contenir plus d'une centaine de fibres plastiques, avec un effet sanitaire inconnu sur l'environnement comme sur la santé. Ces mêmes fibres se retrouvent aussi dans l'atmosphère et sont donc potentiellement présentes dans les poumons des populations.

Face à l'urgence de la situation, en 2018, une exposition en français,en anglais et en vietnamien a été organisée par les scientifiques pour informer les citoyens sur la filière du plastique au Vietnam. Une approche « coup de poing » qui a suscité le débat, et peut-être une certaine prise de conscience.

PARTENAIRES

Centre asiatique de recherche sur l'eau (CARE), Ho Chi Minh University of Technology, Vietnam

Institut des géosciences de l'environnement (IGE), Grenoble, France

Laboratoire d'anthropologie des mondes contemporains (LAMC), Université libre de Bruxelles (ULB), Belgique

Laboratoire « eau, environnement, systèmes urbains » (LEESU), université Paris-Créteil, France

Tracesense, la mesure des traces de pollution

La mesure au long cours de la pollution de l'environnement est un objectif aussi important que difficile à atteindre, pour des raisons économiques et techniques. Le développement d'outils de mesure ou de détection innovants est nécessaire, notamment pour déceler rapidement les éléments trace.

L'homme n'a pas l'exclusivité des pollutions. Certains écosystèmes de Bolivie sont susceptibles de former naturellement du méthyl-mercure, une neurotoxine organométallique particulièrement toxique. Les concentrations de cette toxine varient à l'échelle saisonnière, et surtout à l'échelle de la journée. Et cette pollution « naturelle » est difficile à étudier car la collecte, le traitement chimique et l'analyse en laboratoire d'échantillons d'eaux sont des procédures complexes et onéreuses. Les capteurs passifs qui pourraient concentrer de façon simple le méthyl-mercure dans l'eau, quant à eux, doivent être plongés dans le milieu plusieurs jours pour obtenir une mesure. Impossible dès lors de détecter et d'étudier les variations quotidiennes des concentrations de méthyl-mercure.

C'est cette limitation technique qui amène à développer un autre instrument de mesure. L'idée, testée sur un coin de paillasse, est d'utiliser un support nanostructuré pour augmenter la surface d'absorption et accélérer la captation de la molécule cible à l'aide d'un système de vibration pulsée. En collaboration avec un ingénieur en électronique, un prototype de terrain est créé qui permet de capter l'élément trace, adossé à des capteurs de température, de luminosité et de position reliés à une application pour smartphone. Avec un tel dispositif, la captation de méthyl-mercure se fait en quelques minutes, mais pas la mesure : une fois sorties de l'eau, les plaques nanostructurées, jetables, doivent être analysées en laboratoire pour établir le niveau de concentration.

Le prix de revient et le seuil de détection de cette technique sont tous deux bien moins élevés que les approches classiques. Baptisés « Tracesense », ces capteurs brevetés en 2016 et en cours de test sont très faciles d'utilisation et pourraient être déployés par des non-spécialistes. En théorie, et moyennant quelques ajustements, ils pourraient aussi être utilisés pour détecter d'autres métaux ou des perturbateurs endocriniens.



Tracesense, dispositif de mesure de pollution.

PARTENAIRES

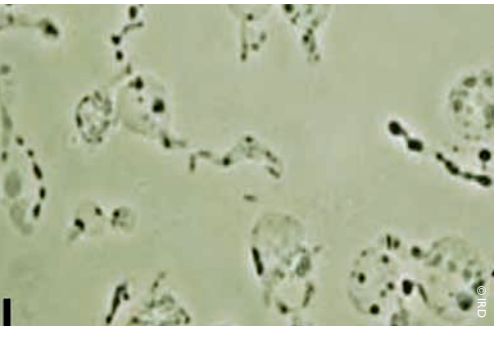
Suez-Environnement, France

Mesotoga : la bactérie des milieux pollués

Comment éliminer les pollutions infligées par l'homme à l'environnement ? Une piste consiste à activer des mécanismes biologiques existant à l'état naturel et qui permettent à certains micro-organismes de dégrader et/ou de transformer des contaminants chimiques pour les rendre moins toxiques, voire totalement inoffensifs.



Ruisseau contaminé par le plomb et l'étain, Bolivie.



Mesotoga, microscopie optique.

De manière inattendue, des environnements fortement contaminés, notamment par les métaux lourds, les organochlorés ou les hydrocarbures, peuvent héberger des bactéries très particulières, les *Mesotoga*. Au début des années 2000, la présence de ces bactéries n'est connue que de façon indirecte dans l'environnement, grâce à l'utilisation de marqueurs moléculaires. Il faut attendre 2011 et des études conduites sur un réacteur tunisien traitant un effluent industriel riche en métaux lourds pour qu'enfin, une équipe de microbiologistes parvienne à les cultiver (*Mesotoga* souche PhosAc3).

Deux espèces appartenant à ce genre bactérien sont décrites à ce jour, *Mesotoga prima* et *M. infera.* Elles appartiennent à l'ordre des Thermotogales, bactéries anaérobies dont on avait rapporté la présence uniquement dans les écosystèmes chauds tels que les sources hydrothermales ou les eaux des gisements pétroliers. Leur présence dans des environnements à plus basses températures (30-45°C) constitue donc une énigme de l'évolution bactérienne que les chercheurs s'emploient à résoudre. Afin d'améliorer la croissance de *Mesotoga*, les chercheurs ont alors eu l'idée de cultiver *Mesotoga* avec une autre bactérie capable de produire des sulfures à partir du sulfate. Cette opération s'avère un succès, permettant aux chercheurs de mieux comprendre le métabolisme de *Mesotoga.*

Ce binôme bactérien, protégé grâce à deux brevets, pourrait donc être utilisé pour « bioremédier » les environnements contaminés par les hydrocarbures, les BTEX (benzène, toluène, éthylbenzène, xylène), les organochlorés ou les métaux lourds qui résultent des activités anthropiques. D'un point de vue plus fondamental, l'étude du génome des *Mesotoga* permettra de mieux comprendre la transition évolutive ayant permis aux micro-organismes de passer d'une vie à basse température à une vie à haute température ou vice versa.

PARTENAIRES

Institut national des sciences appliquées et de technologie, Tunisie

Centre de biotechnologie de Sfax, Tunisie

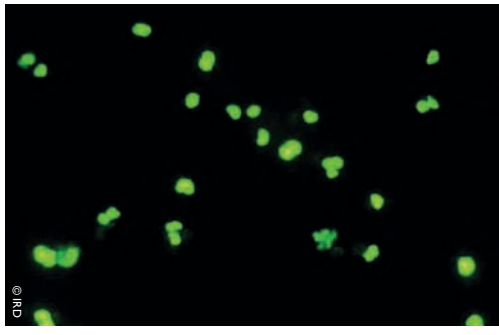
Prendre les cyanobactéries sur le fait

La prolifération de micro-organismes dans les milieux aquatiques marins ou terrestres peut être source de problèmes sanitaires, notamment quand elle s'accompagne de la production de toxines. Des systèmes de surveillance performants permettent de réduire l'impact de ce phénomène.

Certaines cyanobactéries, telles que les *Microcystis,* ont le pouvoir de changer l'eau en poison mortel. En effet, lorsqu'elles prolifèrent dans les eaux douces, elles produisent parfois une hépatotoxine, la microcystine, dont l'ingestion peut altérer le foie ou produire des tumeurs au niveau des reins. Que ce soit à travers l'eau de boisson ou dans le reste de la chaîne alimentaire, elles sont donc susceptibles d'impacter la santé humaine, mais aussi de contaminer la faune sauvage ou domestique. C'est pourquoi, dans plusieurs pays comme le Canada ou l'Australie, ces micro-organismes font l'objet d'une surveillance constante. Leur détection dans l'eau déclenche des alertes sanitaires ou la fermeture de sites… Mais ces mesures sont-elles toujours indispensables ?

La prolifération des cyanobactéries ne signifie en effet pas forcément que l'eau devient toxique. Pour des raisons encore inconnues, la synthèse de microcystine n'est pas systématique et des fausses alertes sont donc régulièrement déclenchées. D'où l'intérêt de la nouvelle approche à base de marqueurs moléculaires, publiée en 2017. Plus simple et rapide que les procédures actuelles, elle permet à la fois d'identifier les cyanobactéries potentiellement toxiques et de dénombrer visuellement celles qui sont en train de sécréter des toxines. La détection se fait grâce à des sondes moléculaires destinées à caractériser à la fois l'identité et l'activité des micro-organismes. Ces sondes fluorescentes se fixent sur les molécules d'ARN : sur les ARN ribosomaux, permettant de préciser l'identité du micro-organisme ; et sur les ARN messagers pour déterminer l'activité associée à la biosynthèse des toxines.

Cette approche devrait permettre d'améliorer les systèmes de surveillance et de progresser dans la compréhension des facteurs à l'origine de la synthèse de toxines. Depuis ce travail fondateur, quelque 25 sondes d'activité ont été conçues, pour caractériser tous les types de micro-organismes planctoniques ainsi que certaines de leurs activités métaboliques d'intérêt.



Cyanobactéries marquées par sonde moléculaire.

PARTENAIRES

Province des îles Loyauté, Nouvelle-Calédonie

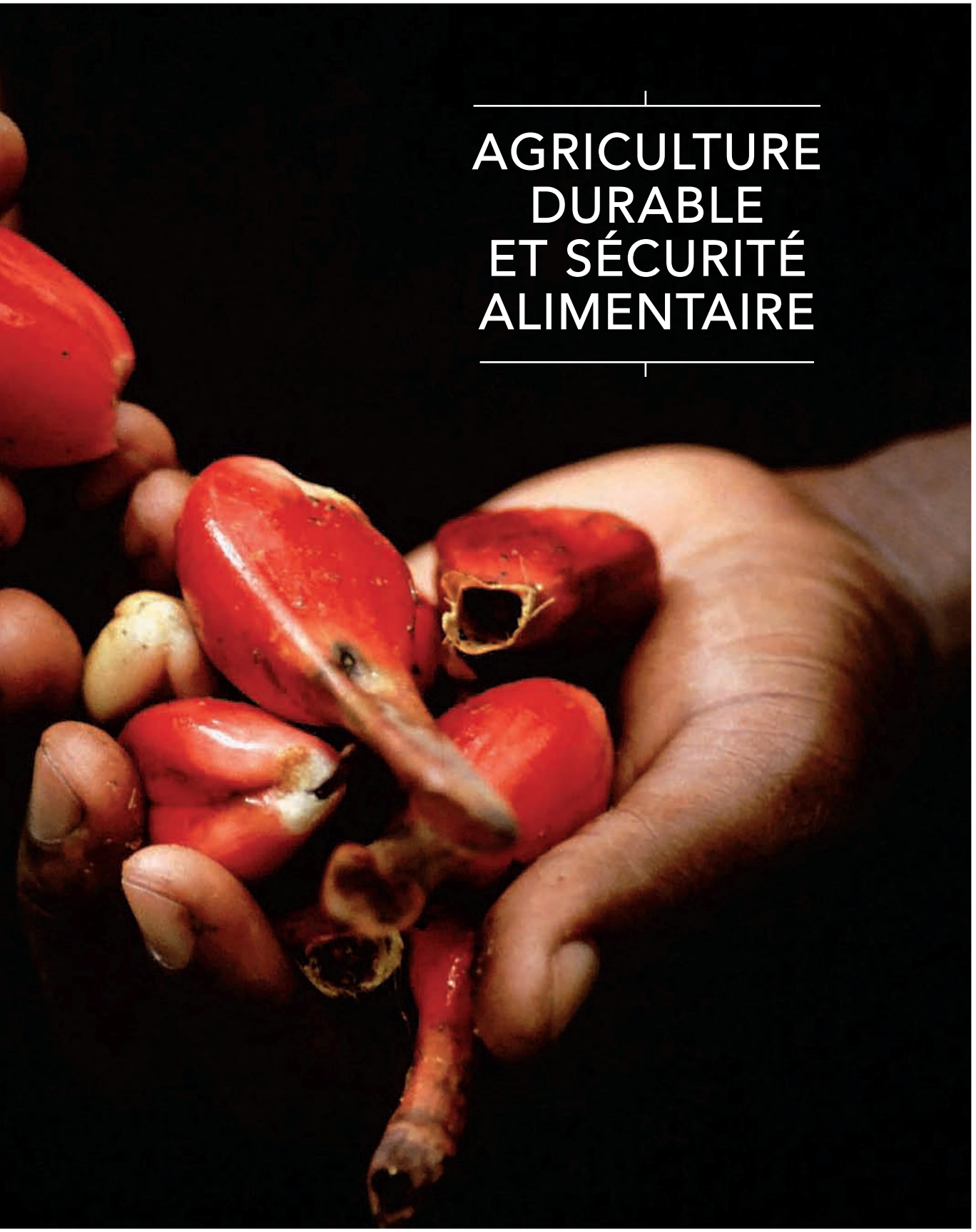
Université de Rennes, France

Université Paris-Diderot, France

PARTIE 3

Développer une agriculture durable et une gestion des ressources adaptées aux changements globaux tout en préservant l'environnement, tels sont les défis du développement durable. Il s'agit de répondre aux objectifs de sécurité alimentaire à échéance 2050, afin de nourrir une population mondiale qui atteindra 9 ou 10 milliards d'individus. Et à cet effet d'améliorer les pratiques de gestion de l'eau, des sols et des agrosystèmes, tout en maîtrisant les flux de carbone, de manière à gérer durablement l'ensemble des ressources. Les recherches sur les ressources halieutiques et en aquaculture doivent par ailleurs permettre un meilleur contrôle de la pression sur les ressources océaniques.





AGRICULTURE DURABLE ET SÉCURITÉ ALIMENTAIRE

Piéger le carbone grâce au sol

Les sols sont à l'interface de l'air, de l'eau et du vivant. Si leur composition et leur structure déterminent leur fertilité, ils ont également la propriété de piéger les gaz à effet de serre. Une capacité qui, depuis le Sommet de la Terre en 1992, suscite beaucoup d'intérêt.



Matière organique en décomposition.

Jusque dans les années 1990, les pédologues avaient avant tout deux priorités : la fertilité des sols et la protection de ces milieux hétérogènes dans lesquels l'organique côtoie le minéral sous des formes parfois très intimes, notamment au niveau de l'humus, cette matière organique d'origine végétale, animale et microbienne qui, en se décomposant, modifie les propriétés du sol.

Pour étudier cette matière organique, les pédologues ont depuis les années 1970 développé des techniques innovantes pour comprendre sa structure et sa composition, mais aussi pour évaluer quantitativement sa distribution dans les sols tropicaux. Ces recherches ont abouti d'une part à des cartes positionnant les sols en fonction de leur richesse en matière organique et, d'autre part, à des développements technologiques (spectrométrie infrarouge) permettant de multiplier les analyses à bas coûts. Ces travaux de recherche permettent également d'identifier les pratiques agricoles qui piègent davantage la matière organique dans le sol, pour accroître la fertilité des terres.

Une manne d'informations dont l'intérêt monte en puissance dans les années 1990, lorsque le monde prend conscience de l'importance des gaz à effet de serre. Situé à l'interface entre l'atmosphère et les plantes, le sol s'avère un compartiment potentiellement important pour stocker les

« La matière organique dans les sols tropicaux est d'une importance capitale pour leur fertilité, d'autant plus qu'il s'agit souvent de sols fortement altérés avec des basses teneurs en argile, et qui présentent du reste une faible réactivité (kaolinite). Les recherches menées par l'IRD sur la problématique ont été des leviers de la recherche agricole au Burkina Faso et en Afrique subsaharienne. Elles ont permis de raisonner utilement le fonctionnement biologique des sols. La technique du « zaï » en est une belle illustration pratique. »

Professeur Edmond Hien, professeur à l'université Joseph Ki-Zerbo, Ouagadougou



Les tourbières accumulent la matière organique, filtrent l'eau et fournissent du fourrage, Bolivie.

gaz à effet de serre (CO_2, CH_4 et N_2O). Dès lors, tous les savoirs acquis antérieurement sont revisités à l'aune de la séquestration du carbone et de l'azote par les sols.

••• Certaines pratiques agricoles permettent d'accroître le potentiel de séquestration du carbone par les sols •••

Les chercheurs montrent alors que la mise en application de techniques de culture comme l'agriculture de conservation, l'agroforesterie ou l'arrêt de la culture sur brûlis pourrait piéger une quantité non négligeable des émissions sur les vingt à trente prochaines années. Ce résultat est à l'origine de l'initiative française « 4 pour 1000 », qui vise à augmenter la séquestration du carbone dans le sol de 0,4 % chaque année, *via* des pratiques agricoles adaptées.

PARTENAIRES

Université de Ouagadougou, Burkina Faso

Université d'Antananarivo, Madagascar

Université de São Paulo, USP/CENA, Brésil

LMI-IESOL, Burkina Faso - Sénégal

L'érosion à l'ombre des arbres

L'évolution des pratiques agricoles a un impact fort sur la qualité des sols. Ainsi, le défrichement des forêts pour leur mise en culture a au cours des décennies favorisé le ruissellement des eaux à la surface des parcelles, accélérant l'érosion et l'appauvrissement des sols.



Ravine d'érosion, Mexique.

Entre 1946 et 1948, l'Algérie et Madagascar connaissent d'importants problèmes d'érosion des sols, avec notamment la formation de ravines. Un phénomène nouveau. Emboîtant le pas des Américains, les chercheurs de l'Orstom entreprennent d'étudier ces processus en Afrique, puis en Amérique latine et en Asie. Dans les années 1950, ils commencent par mesurer les pertes en matière sur des parcelles calibrées. En 1973, la synthèse de ces résultats permet d'adapter « l'équation universelle des pertes en terre » aux conditions africaines et d'en pointer certaines limites. Cette équation proposée en 1959 par les Américains n'a en fait d'universel que le nom, puisqu'elle ne donne une idée de l'impact de l'érosion hydrique qu'à l'échelle de la parcelle, et dans le contexte américain.

En outre, ces mesures de pertes de matière révèlent la bonne résistance des sols tropicaux et l'intérêt de maintenir le couvert végétal plutôt que les terrasses. De quoi révolutionner la conservation des sols, notamment en Afrique où l'on va rapidement passer d'une approche reposant sur les terrassements à la maîtrise de l'érosion par des techniques agroécologiques, à savoir la gestion du couvert, l'utilisation des résidus de culture, les rotations, la réduction du travail du sol ou les jachères.

À la fin des années 1970, les chercheurs tentent une approche plus expérimentale : en s'inspirant d'un modèle américain, ils construisent un grand simulateur de pluie qu'ils utilisent depuis la forêt tropicale jusqu'au Sahel. Comme ce dispositif est très lourd, ils en conçoivent une version plus petite, facilement transportable et qui a depuis été utilisée sur quatre continents. À la fin des années 1990, ils équipent également des bassins versants pour quantifier l'érosion due aux ravines et aux glissements de terrain. Ils montrent par exemple qu'un sol de forêt sans sous-bois se dégrade très rapidement car les gouttes de pluie prennent du volume sur les feuilles et frappent le sol avec force. Contrairement à une idée reçue, les plantations d'arbres ne protègent donc pas forcément mieux le sol qu'une végétation plus rase.

PARTENAIRES

Department of Agricultural Land Management, Laos

Soils and Fertilizers Research Institute, Vietnam

Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation, Thaïlande

Institut des régions arides, Tunisie

Université Mohammed V, Maroc

••• Très tôt, l'Orstom préconise les approches agroécologiques de la conservation des sols dans les zones intertropicales •••



Olivier déraciné, Tunisie.

« En tant que partenaire national de l'IRD, je peux témoigner des nombreux impacts des études multi-échelles sur l'érosion au Laos : elles ont permis une meilleure sensibilisation des décideurs et ont également donné lieu à des recommandations directes auprès des paysans pour la gestion de leurs terres, en soulignant les impacts de pratiques inadaptées sur l'érosion, la fertilité des terres et sur la qualité des eaux en aval. »

Oloth Sengtaheuanghoung, pédologue, Department of Agricultural Land Management, Laos

Plantes en symbiose

Certaines plantes sont capables de produire leur propre engrais grâce à des symbioses réalisées avec des bactéries. Comprendre ce processus, c'est la possibilité de l'améliorer, de l'utiliser et, éventuellement, de le transférer à d'autres espèces.



Nodosités de niébé, Sénégal.

Les légumineuses (soja, arachides, haricots) produisent des graines qui contiennent jusqu'à 30 % de protéines, ce qui les rend très intéressantes sur le plan nutritif. Mais ce n'est pas leur seul atout, puisqu'elles sont aussi capables d'enrichir des sols pauvres. Comment ? Grâce à une symbiose naturelle avec des bactéries qui, en échange de sucres carbonés, produisent de l'azote pour la plante.

En Asie et en Amérique du Sud, cette capacité a été repérée de longue date par les paysans qui inoculent leurs champs de légumineuses avec des bactéries sélectionnées empiriquement. Mais cette pratique n'existe pas en Afrique où pourtant de nombreuses légumineuses comme l'arachide, le soja ou le niébé sont cultivées et fertilisées avec de coûteux engrais chimiques. De là l'idée de développer ces pratiques sur le continent africain et d'aider à la sélection de bactéries adaptées aux cultures africaines.

••• Les symbioses peuvent être utilisées pour fertiliser ou dépolluer les sols •••

Dans d'autres contextes, ces symbioses ont aussi été utilisées pour fertiliser des sols pauvres, comme en Thaïlande où des associations légumineuses/bactéries ont permis d'enrichir des rizicultures. Et comme certaines bactéries facilitent l'adaptation des plantes à certaines substances toxiques, elles sont exploitées pour permettre la revégétalisation de sols pollués, notamment en Nouvelle-Calédonie sur des terres chargées en nickel.

Mais les chercheurs se sont aussi penchés sur les mécanismes moléculaires permettant à la plante d'intégrer en son sein des bactéries étrangères. Depuis les années 1990, on pensait qu'il n'existait qu'un seul mécanisme de reconnaissance pour réaliser cette symbiose. Un système de « clé-serrure », imaginé comme universel… en tout cas jusqu'à ce qu'une équipe de chercheurs découvre en 2007, chez une légumineuse africaine, un procédé bien plus simple et qui pourrait être transféré à des plantes non légumineuses comme le riz, le blé ou le maïs. C'est en tout cas l'une des pistes aujourd'hui suivies par les chercheurs.

PARTENAIRES

Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal ; Institut sénégalais de recherches agricoles

Université de Suranaree, Thaïlande

« Les recherches conduites en partenariat avec l'IRD, notamment celles visant à biofertiliser les champs des paysans avec des bactéries élites fixatrices d'azote, permettent d'améliorer les rendements de production tout en diminuant l'usage d'engrais chimique. Elles sont particulièrement importantes pour les pays africains, dans un contexte de promotion de pratiques résilientes et d'atténuation des impacts des changements climatiques. »

Diegane Diouf, professeur à l'université Cheikh Anta Diop de Dakar, Sénégal



Préparation du riz pour le repiquage, Thaïlande.

Macrofaune, macro-effet

Les sols dans leur position d'interface offrent de nombreux services écosystémiques dont dépend l'humanité : recyclage des nutriments, production primaire, séquestration du carbone, résistance à l'érosion. Or, ces fonctions ne pourraient être assurées sans les organismes vivant dans le sol.



Turricule de ver de terre dans un champ, Togo.

À Madagascar, en 2017, des chercheurs ont montré que l'ajout de vers de terre dans le sol pouvait accroître de 40 % le rendement d'un champ de riz pluvial. Les invertébrés n'ont donc pas volé le surnom d'« ingénieurs du sol » utilisé dans les années 1990 lors du lancement d'un programme de recherche sur la macrofaune du sol.

À cette époque, la communauté scientifique commence tout juste à réaliser que les invertébrés visibles à l'œil nu (vers de terre, termites ou larves) jouent un rôle prépondérant dans le fonctionnement des sols. Ils facilitent en effet la décomposition des matières organiques, le recyclage des nutriments et leur disponibilité pour les plantes. En construisant des galeries, ils modifient aussi les propriétés physiques (structure du sol, rétention en eau, érosion) et biologiques (modification des activités microbiennes) des sols. Ils peuvent en outre améliorer la résistance des végétaux face à certains pathogènes comme la pyriculariose du riz ou certains nématodes parasites.

••• Les vers de terre, les larves d'insectes ou les termites ont un effet décisif sur les propriétés du sol •••

Ces propriétés étonnantes, l'IRD a largement contribué à les mettre en lumière dans les pays tropicaux, et à les quantifier, notamment au travers d'indicateurs permettant d'utiliser l'activité de la macrofaune pour décrire le fonctionnement du sol et comprendre l'état d'un éco- ou d'un agro-système. Ces indicateurs fonctionnels ont fait l'objet de nombreux travaux et développements ces dernières années, avec par exemple la mise en route de l'outil Biofunctool®, qui propose depuis 2018 un set d'indicateurs de terrain pour mesurer la santé des sols.

En parallèle, les chercheurs de l'IRD, à la pointe dans le domaine, ont testé des protocoles permettant d'intensifier certaines fonctions de la macrofaune et d'accroître ainsi la productivité et la durabilité des petites cultures familiales.

PARTENAIRES

Université d'Antananarivo, Madagascar

Université Nagui Abrogoua, Côte d'Ivoire

Institut d'écologie de Xalapa, Mexique

Khon Kaen University, Thaïlande

« L'étude de la macrofaune du sol et de ses fonctions en agriculture et en environnement est un aspect de la science qui n'a été abordé à Madagascar que depuis l'existence du partenariat entre l'IRD (UMR Eco&Sols) et le Laboratoire des radio-isotopes en 2004. Depuis, on s'est rendu compte que ces organismes, et essentiellement les vers de terre, jouent un rôle vraiment important dans le maintien de la durabilité des agrosystèmes malgaches. Les résultats des études effectuées permettent d'avancer que l'introduction directe des vers de terre, par inoculation des parcelles, ou indirecte, *via* l'utilisation des lombricomposts, est une solution pour la durabilité des agrosystèmes malgaches. »

Professeur Tantely Razafimbelo, Laboratoire des radio-isotopes (LRI), Madagascar



Utilisation du compost pour les travaux agricoles, Madagascar.

De l'art de corriger le pH des sols

La salinisation des sols constitue l'une des contraintes majeures à la production agricole dans les zones arides et semi-arides. Ce processus a largement été exacerbé ces dernières décennies par l'extension des surfaces irriguées sans drainage, mais aussi par le changement climatique et la montée des eaux marines.



Sol salé, Thaïlande.

PARTENAIRES

Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal

Institut national de recherches en génie rural, eaux et forêts (INRGREF), Tunisie

Université Kasdi Merbah, Ouargla, Algérie

Autour du lac Tchad s'étalent des polders qui, un jour, pourraient être en capacité de nourrir une grande partie de la population régionale. Or, ces polders sont les résultats persistants de travaux anciens menés par les chercheurs. Les sols entourant le lac Tchad sont très fertiles, mais ils sont aussi particulièrement difficiles à mettre en valeur, car très argileux. L'eau ne s'y infiltre pas facilement. Elle y stagne et dépose des sels minéraux qui rendent la terre alcaline et peu perméable. Sans précaution, ces sols peuvent devenir très rapidement stériles. Or, des chercheurs avaient résolu ce problème entre 1950 et 1980, en ajoutant du gypse et du calcaire à la terre afin de modifier son pH, favoriser le drainage de l'eau et intensifier les rendements.

••• En améliorant certaines techniques agricoles, les scientifiques ont rendu arables des terres impropres à l'agriculture •••

Dans les années 1970, cette fois en Afrique de l'Ouest, un travail similaire a été mené sur les écosystèmes de mangrove, afin de rendre cultivables des sols cette fois soumis aux eaux saumâtres. Le problème de la salinisation des mangroves était encore plus complexe, puisque le sel n'était pas le seul obstacle à surmonter pour mettre en valeur ces milieux. Car une fois asséchées, les terres de mangrove ont en effet tendance à s'oxygéner et à devenir suffisamment acides pour tuer les végétaux. Grâce à la construction de petits barrages, à des techniques de surélévation de parcelle ou de modification du pH, les scientifiques ont toutefois trouvé des solutions au cas par cas. Une expérience qui, dans les années 1980-1990, a débouché sur une phase plus expérimentale, puis sur la modélisation des phénomènes d'acidification et de salinisation des sols. Il est alors devenu possible de proposer aux paysans des techniques de culture adaptées, avant de planter ou de semer.



Rizière de mangrove, Guinée.

« Les travaux de l'Orstom ont servi de base à la relance de la recherche pédologique sur la mise en valeur des terres rizicoles salées et acides des mangroves et tannes de Basse Casamance, thématique devenue encore plus cruciale dans un contexte de changement climatique, de lutte contre la désertification, de préservation de la biodiversité et de baisse de la production agricole et vivrière en Afrique de l'Ouest. Les recherches actuellement menées par l'université Assane Seck de Ziguinchor sont motivées par la volonté de renforcer et d'actualiser les acquis scientifiques et de développer certains services écosystémiques liés à la mangrove, comme le sel solaire, une initiative récente et innovante à l'étude. »

Lamine Fall,enseignant-chercheur, Université Assane Seck de Ziguinchor, Sénégal

Petits barrages, grands effets

De la simple citerne au grand barrage, stocker l'eau est indispensable en zone aride : la création de petits barrages s'y est progressivement généralisée au cours des dernières décennies.



Culture d'oignons grâce à l'eau de pluie stockée dans un petit barrage, Burkina Faso.



Bétail à proximité d'un lac réservoir, Burkina Faso.

Dans les années 1980, une forte sécheresse frappe le Sahel. Les scientifiques s'intéressent alors au potentiel agronomique des bas-fonds, zones humides que les populations africaines avaient dû fuir à cause de l'onchocercose. Comme cette maladie est désormais sous contrôle depuis l'élimination du parasite qui en était responsable, des possibilités de mises en valeur nouvelles s'offrent aux populations. Les chercheurs expérimentent alors de nouvelles infrastructures de petite et moyenne taille pour gérer les eaux pluviales : digues filtrantes au Burkina Faso, barrages semi-souterrains au Mali, petits barrages en Côte d'Ivoire et au Sénégal. Ces recherches essaiment au sein des ONG qui, à leur tour, installent de petites retenues d'eau.

L'engouement est tel qu'en 1996, des recherches sont engagées sur ces petites retenues au Sahel (Burkina Faso et nord de la Côte d'Ivoire), en Amérique latine (Mexique et Brésil), au Maghreb (Maroc et Tunisie) et au Proche-Orient (Liban), dans un projet pluridisciplinaire « Petits Barrages ». Hydrologues, agronomes et halieutes améliorent les techniques, tandis que géographes, écologues, sociologues et économistes commencent à en jauger les effets. Car depuis les années 1980, ce sont des centaines de milliers de petits barrages qui ont été construits.

Alors que leurs performances économiques sont régulièrement dénoncées comme sous-optimales, les recherches soulignent la valeur de ces

« Les recherches conduites en Tunisie sur les retenues collinaires ont accompagné un ambitieux projet d'aménagement du territoire porté par le ministère de l'Agriculture. Elles ont permis la création d'un observatoire qui sert de référence pour les projets actuels de gestion conservatoire des eaux et des sols. Les échanges entre scientifiques de Méditerranée, d'Afrique subsaharienne et d'Amérique latine ont aussi mis en exergue le rôle fondamental de ces infrastructures pour le développement durable des zones arides. »

Professeure Akiça Bahri, Institut national agronomique de Tunisie, ex-directrice de l'IWMI pour l'Afrique de l'Ouest et ex-coordinatrice de la Facilité africaine à l'eau à la Banque africaine de développement



Retenue collinaire en Tunisie.

••• L'aménagement hydraulique pour la mise en valeur des bas-fonds est au cœur des recherches •••

petits barrages et démontrent qu'ils constituent un levier efficace d'atténuation des effets des changements globaux. Nombreux et dispersés, ils assurent des services variés (usages domestiques, irrigation, abreuvement du bétail, pêche, recharge des nappes phréatiques, etc.) au plus près des populations rurales. Ce sont de bons pièges à sédiments, qui peuvent ainsi prolonger significativement la durée de vie des grands ouvrages situés plus en aval. Ils constituent aussi des zones humides qui contribuent au maintien de la biodiversité aquatique et terrestre. Les petits barrages participent aujourd'hui à l'aménagement du territoire des régions intertropicales les plus vulnérables.

PARTENAIRES

Afrique de l'Ouest : International Water Management Institute (IWMI)

Brésil : Université fédérale du Pernambouc (UFPE)

Mexique : Institut national de recherche en foresterie, agriculture et halieutique (INIFAP)

Méditerranée : Centre arabe de recherche sur les zones arides et les terres sèches (ACSAD), Institut national du génie rural et des eaux et forêts de Tunisie (INGREF)

Dans le sol africain, de l'eau

D'après l'Unicef, plus de 2 000 enfants, principalement africains, meurent chaque jour faute d'accès à l'eau potable. Un problème que les investissements internationaux n'ont jusque-là pas réussi à résoudre.



Prospection aquifère par résonance magnétique.

30 % des Africains n'ont pas accès à l'eau potable au sud du Sahara, et ce malgré la construction de dizaines de milliers de puits et forages depuis des décennies. 40 % des forages réalisés n'aboutissent pas à la découverte d'eau, ou alors en quantité insuffisante pour répondre à la demande. Ce constat a amené à s'interroger sur l'efficacité de l'approche utilisée pour localiser les forages

En Afrique, 40 % du sous-sol est constitué de roches anciennes et dures. Réputées non poreuses, elles sont censées laisser circuler l'eau lorsqu'elles sont fracturées. Ces zones sont généralement recherchées en surface par différentes techniques, dont l'analyse des images aériennes, ou des mesures *in situ* de résistivité électrique des terrains.

Pour évaluer cette approche, en 2012 le projet GRIBA a été déployé dans trois pays dont le sous-sol est constitué de roches anciennes : le Bénin, le Burkina Faso et l'Ouganda. Après analyse des résultats de nombreux forages réalisés depuis des décennies, et d'expérimentations sur plusieurs nouveaux sites, il apparaît que la source d'eau potable principale ne se trouve pas dans les fractures mais dans des zones souterraines où les roches sont altérées et réduites dans un état proche du sable. Il s'agit d'une découverte majeure : l'eau souterraine ne doit pas seulement être recherchée dans les zones de fracturation.

En 2015, les chercheurs sont allés plus loin en proposant une méthodologie permettant de caractériser, depuis la surface, ces zones d'altération sableuses, invisibles car situées en profondeur. Deux instruments sont nécessaires : l'un, usuel, permet de mesurer la résistivité électrique en deux dimensions et de détecter les zones d'altération sableuses. L'autre, la RMP, développé par l'IRD, permet de connaître le volume d'eau disponible et d'estimer le débit qui pourrait être pompé. L'établissement de seuils de prélèvements pérennes est ainsi à portée et le Bénin est en train de s'équiper pour tester cette approche à grande échelle.

PARTENAIRES

Université d'Abomey-Calavi, Bénin

Université de Ouagadougou, Burkina Faso

Université Makerere, Ouganda

Direction générale de l'eau, Bénin

Ministère de l'Eau et de l'Environnement, Ouganda

« Ces travaux, menés en partenariat avec l'RD, ont permis aux chercheurs béninois juniors et seniors d'être formés à la mise en œuvre de cette nouvelle approche de prospection des eaux souterraines en zone de socle. En outre, la population et les autorités connaissent désormais l'état de la réserve en eau souterraine dans les localités prospectées. Finalement, les décideurs politiques ont pris conscience de l'efficacité de cette nouvelle approche et l'intègrent dorénavant dans le cahier des charges des appels d'offre pour l'alimentation en eau potable au Bénin. »

Professeur Nicaise Yalo, université d'Abomey-Calavi, Bénin



Forage équipé d'une pompe, Bénin.

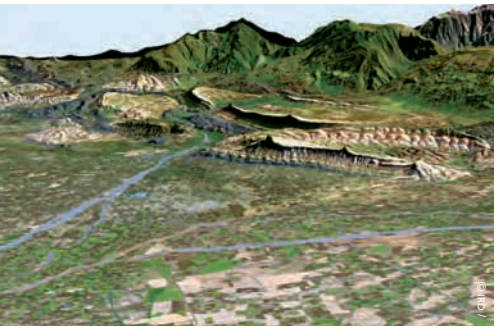
••• Une nouvelle approche permet de mieux localiser l'eau potable souterraine •••

La mesure de l'eau

L'homme exerce une pression croissante sur les ressources en eau. Il utilise l'eau pour boire, se laver mais, surtout, pour irriguer. 80 % de l'eau prélevée est ainsi destinée à l'agriculture, ce qui n'est pas sans poser un problème important dans les régions où l'eau douce se raréfie.



Paysage rural du Maroc.



Modélisation d'une vallée au Maroc.

Les paysans utilisent l'eau pour irriguer leur champ, mais la quantité prélevée n'est pas connue précisément, notamment par les agences de gestion de l'eau, ce qui n'est pas sans conséquences pour l'environnement ou pour les populations. Car, sans quantification, comment estimer la pression exercée sur les nappes phréatiques et éviter les pompages excessifs ? C'est pour tenter de répondre à cette problématique qu'au début des années 2000, au Maroc, en région semi-aride, un programme scientifique est mis en place afin de déterminer la quantité d'eau nécessaire pour chaque culture et celle utilisée par les paysans pour l'irrigation. Quand faut-il irriguer et quelle quantité d'eau appliquer ?

Les chercheurs entament alors un travail de terrain visant à mesurer le plus précisément possible l'évapotranspiration et le bilan hydrique pour les différents types de culture et sous différentes conditions climatiques. Ils en déduisent des valeurs permettant de modéliser la consommation d'eau des cultures marocaines en fonction de la météo et à l'aide de données satellitaires à haute résolution spatiale permettant un suivi spatiotemporel de la croissance des plantes. Ils peuvent ainsi déterminer la quantité d'eau utilisée par l'agriculture pour de vastes territoires.

Ils esquissent alors une première version du modèle SAMIR, une plateforme qui doit permettre aux organismes de gestion de l'eau de mieux jauger les quantités puisées par le secteur agricole. Mais l'utilisation routinière de SAMIR se heurte au coût élevé des images satellitaires haute résolution et à leur insuffisante fréquence. Deux obstacles qui disparaissent avec le lancement, en 2015 et 2017, des satellites *Sentinel 2* du programme européen Copernicus, qui fournissent des images gratuites et de très bonne résolution tous les cinq jours en chaque point du globe. Par la suite, afin de répondre plus spécifiquement au besoin de gestion à l'échelle de chaque parcelle irriguée, le modèle SatIrr est créé et est accessible en ligne, gratuitement, pour conseiller les agriculteurs sur les quantités d'eau à apporter. Adapté au domaine méditerranéen, il sera bientôt paramétré pour des climats plus humides tels que celui du sud de l'Inde.

PARTENAIRES

Université Cadi Ayyad de Marrakech

Office de mise en valeur agricole du Haouz, Maroc

Agence de bassin hydraulique du Tensift, Maroc

Institut national agronomique de Tunisie



Entrée de galerie souterraine, oasis de Skoura, Maroc.

Les *khettaras*, des vestiges bien vivants

Le climat chaud et sec du pourtour méditerranéen a poussé les populations riveraines à imaginer des solutions pour trouver de l'eau, notamment en aménageant leur environnement. Les galeries drainantes – ou *khettaras* – comptent parmi les techniques mises en œuvre au fil des siècles et elles sont aujourd'hui en voie de réhabilitation.

On les croyait taries. Mais au lendemain de la sécheresse qui a sévi au Maroc jusque dans les années 2000, le retour de l'eau s'est accompagné de la remise en service, dans les oasis pré-sahariennes, de grandes galeries drainantes creusées au fil des siècles par les hommes. Ainsi dès 2005, une équipe de recherche étudie la réhabilitation, dans le Tafilalet, d'un dédale de galeries souterraines qui s'étendent chacune sur 5 à 10 kilomètres, à une profondeur de 2 à 18 mètres. Leur fonction ? Drainer l'eau de la nappe phréatique pour l'acheminer jusqu'aux oasis.

Si de telles structures existent et fonctionnent encore en Iran ou en Algérie, on les pensait complètement abandonnées au Maroc. À tort, car en cinq endroits au moins (Figuig, Boudnib, Tafilalet, Todgha, Skoura), les chercheurs observent des galeries en cours de réhabilitation par les populations rurales et décrivent le fonctionnement de ces structures appelées localement *khettaras*.

Il apparaît ainsi que les habitants des oasis se réinvestissent désormais dans la maintenance des *khettaras* et dans l'agriculture, en particulier les jeunes qui reviennent en milieu rural à cause du chômage auquel ils se trouvent confrontés en ville. Un pari risqué face à l'incertitude climatique, mais assumé pour relancer l'action collective et se réapproprier les règles d'accès à l'eau en vue d'une possible pénurie dans les années à venir.

Ce travail se traduit par la publication d'articles scientifiques mais aussi par la réalisation de deux maquettes présentant le fonctionnement de ces ouvrages hydrauliques. L'une est exposée au Mucem de Marseille, l'autre à Marrakech, au musée Mohammed VI pour la civilisation de l'eau au Maroc. De quoi améliorer l'image de ces techniques ancestrales qui, à l'inverse des approches modernes, permettent d'exploiter l'eau des nappes phréatiques sans jamais effectuer de surpompage.



Khettara dans la vallée du Tafilalet, Maroc.

PARTENAIRES

Université Cadi Ayyad de Marrakech

Université Ibn Zohr d'Agadir

Institut agronomique et vétérinaire Hassan II, Rabat

ORMVAO, Ouarzazate

L'arbre, pilier de l'agriculture

Depuis déjà plusieurs décennies, l'agriculture intensive a montré ses effets pervers : pollutions, déforestation, paupérisation des sociétés paysannes… Dans ce contexte, les techniques traditionnelles des agriculteurs du monde tropical, qui associent arbres et cultures, forêt et agriculture, ont beaucoup à nous apprendre.



Agroforêt villageoise, Indonésie.

En 1980, une équipe de géographes tropicalistes publie l'ouvrage *L'arbre en Afrique, la fonction et le signe* et imposent un changement de paradigme. Pour la première fois, l'arbre n'est plus perçu comme une entrave, mais comme un élément central dans les pratiques agricoles africaines. C'est le début d'une prise de conscience inattendue pour les agronomes du Nord. Jusque-là, les arbres étaient surtout l'affaire des forestiers ou des pédologues, qui cherchaient selon les cas à les exploiter ou à les replanter pour éviter l'érosion des sols. Mais, dans les années 1990, les chercheurs s'aperçoivent que les arbres ont aussi une réelle fonction dans les pratiques agricoles traditionnelles. On commence alors à utiliser le terme « agroforêt » pour désigner ces systèmes paysans qui incluent les arbres. Par exemple, dans certaines agroforêts de Sumatra, les hévéas et les arbres fruitiers sont plantés en association. Dans les premières années, ils accompagnent les cultures de riz, puis produisent des fruits, du caoutchouc ou du bois pour le feu. On retrouve dans d'autres agroforêts 80 à 90 % de la biodiversité animale de l'île, dont un rhinocéros que l'on croyait disparu.

Des études menées au Brésil ou au Cameroun confirment par la suite ce rôle prépondérant des arbres. Là où un regard extérieur voyait des arbres isolés, ou des forêts naturelles, se trouvaient en fait des agroforêts. Les chercheurs redécouvrent alors que les arbres fertilisent le sol, facilitent la

« Les recherches menées en partenariat avec les collègues de l'IRD sur les systèmes agroforestiers communautaires au Maroc ont contribué de façon directe à la qualification des savoirs traditionnels pour une meilleure conservation de ces espaces agroforestiers et socio-culturels. La gestion de ces espaces agroforestiers en tant que bien commun *(Agdal)* permet de développer un savoir faire, et un modèle d'accès aux ressources garantissant une exploitation durable et raisonnée des ressources fourragères et ligneuses : elle apporte des enseignements très précieux pour améliorer nos politiques publiques dans ces domaines. »

Mohamed Alifriqui, laboratoire Écologie et Environnement, université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc



Agroforêt à damar, Sumatra, Indonésie.

••• Des études montrent le rôle central de l'arbre dans les pratiques agricoles du Sud •••

circulation de l'eau et le stockage du carbone ou permettent la conservation de la biodiversité. En copiant le modèle écologique de la forêt tropicale, les paysans du Sud sont parvenus à utiliser la biodiversité comme facteur de régulation des maladies des cultures. Un savoir-faire qui, après avoir été négligé par les experts du Nord, est désormais reconnu comme un modèle d'avenir, y compris dans les régions tempérées. Pour une fois, l'innovation au Nord tire son inspiration des pratiques du Sud.

PARTENAIRES

Center for International Forest Research (CIFOR), Indonésie

World Agroforestry Center (ICRAF), Kenya

Université Cadi Ayyad, Maroc

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Brésil

Institut de recherche agricole pour le développement (IRAD), Cameroun

Le terroir, outil scientifique pour le développement

Aux Indépendances, l'agriculture africaine nécessite d'être modernisée. Des opérations de développement sont alors financées sans études préalables, créant un besoin de connaissances scientifiques des enjeux agricoles africains.



Scène de village, Rhumsiki, Extrême-Nord Cameroun.



Travaux des champs, Niger.

Dans les années 1950 et encore aux débuts des années 1960, de grandes enquêtes agricoles sont lancées dans quelques pays africains (Guinée, Côte d'Ivoire, Cameroun), mais elles livrent des statistiques globales aux échelles de vastes régions. Dès lors, ces données occultent des différenciations spatiales ; de plus, elles sont statiques et minimisent les productions vivrières.

Dans les années 1960, ce constat conduit à opter pour une démarche radicalement différente : recourir à des monographies pour décrire les composantes de situations agraires locales qui fourniront des indicateurs adaptés à chaque agriculture africaine. Le document de base est alors un dossier de cartes du terroir, défini comme « portion de territoire appropriée, aménagée et utilisée par le groupe qui y réside et en tire ses moyens d'existence ».

Des années 1960 aux années 1980, des générations de jeunes géographes effectuent des études de terroirs qui restituent, de façon approfondie, des organisations agraires locales. Contrairement aux postulats antérieurs, celles-ci apparaissent aussi élaborées qu'en Europe, avec des originalités, comme le rôle pivot joué par certains arbres dans les systèmes agraires.

À partir des années 1990, les développeurs se rendent compte de l'intérêt de l'approche par les terroirs pour comprendre des innovations agraires, par exemple l'insertion de cultivateurs dans les aires d'accueil de migrants ou les réaménagements de parcellaires à la suite de l'adoption de nouvelles productions agricoles. La politique de « gestion de terroirs » vise à impliquer les communautés villageoises dans le développement, notamment dans la préservation des ressources naturelles et la gestion du foncier.

En comportant une immersion prolongée dans la vie villageoise, les études de terroirs ont conduit les chercheurs à prendre conscience de la pertinence des savoirs paysans en agriculture. Cette réhabilitation des savoirs locaux, plus que jamais d'actualité, est le fondement d'un développement rural endogène, affranchi de modèles extérieurs.

PARTENAIRES

Maison des Sciences de l'Homme (EPHE, VI[e] Section), Paris, France

Université Paris I-Sorbonne, France

Université Paris X-Nanterre, France

La forêt amazonienne cache l'abattis



L'abattis, un espace riche en plantes cultivées, Río Negro, Brésil.

L´image de l'agriculture amazonienne est souvent attachée à celle de fronts de colonisation qui avancent sur la forêt. Mais d'autres formes d'agriculture telles que celles pratiquées par les peuples amérindiens et les populations traditionnelles permettent, avec un cycle long de jachère, de conserver le couvert forestier.

La diversité culturelle de l'Amazonie brésilienne, où il est parlé plus de 200 langues, renferme aussi une immense diversité d'agricultures qui diffèrent par leurs pratiques, leurs savoirs, les plantes cultivées et les systèmes alimentaires qui en résultent. Nombre de plantes telles que le manioc, les ignames, le roucou, les patates douces, aujourd'hui incorporées dans le modèle alimentaire national, résultent de processus de domestication, de sélection, de conservation menés au cours des siècles par les populations amérindiennes. L'apport de ces populations à la diversité des plantes cultivées est encore largement méconnu, en particulier des pouvoirs publics, tandis qu'en parallèle l'avancée des fronts de colonisation, une urbanisation croissante, de nouvelles pratiques alimentaires menacent l´existence de ces systèmes agricoles locaux et donc des ressources biologiques associées.

Une première étape dans la reconnaissance de l'importance de ces agricultures a été franchie en 2010 avec la reconnaissance du système agricole traditionnel du Río Negro comme Patrimoine culturel du Brésil. Cette inscription qui résulte d´une synergie entre associations amérindiennes, chercheurs brésiliens et français et organisations non gouvernementales a permis de donner une visibilité nationale aux modes de production locaux et à l´immense palette des ressources phytogénétiques gérées dans des agricultures trop souvent considérées comme archaïques. Cette diversité de ressources, par exemple des dizaines de variétés de manioc présentes dans un seul abattis, résulte des savoirs experts des agricultrices, de pratiques qui privilégient la diversité et en assurent la circulation par des échanges continus à l´échelle du bassin du Río Negro. D'autres éléments, les fameuses terres noires fertiles, la distribution d'espèces utiles comme le noyer d'Amazonie, le cacao ou autres montrent combien la forêt amazonienne a aussi une histoire culturelle. Aujourd'hui, à l'heure de la transition écologique, il est essentiel de comprendre les fondements de ces systèmes agricoles durables et de garantir à la fois leur continuité et leur adaptation à de nouvelles contraintes socioéconomiques et écologiques.



Tubercules de manioc et boutures, Río Negro, Brésil.

PARTENAIRES

Université d'État de Campinas (UNICAMP), Brésil

Association des communautés indigènes du Moyen Río Negro (ACIMRN), Brésil

Institut du patrimoine historique et artistique national (IPHAN), Brésil

Entreprise brésilienne de recherche agricole (EMBRAPA), Brésil

Optimiser les savoirs agricoles

Les sécheresses des années 1972-1973 au Sahel ont révélé l'importance de la dégradation de terres et leurs conséquences pour les populations. Une prise de conscience internationale s'est progressivement affirmée.



Cordon pierreux contre l'érosion, Gabon.



Chenal d'irrigation, Niger

C'est dans les vieux pots que l'on fait les meilleures confitures, et dans les pratiques ancestrales que l'on peut puiser pour imaginer les techniques agricoles de demain. Tel est l'esprit des grands programmes « jachère » conduits dans les années 1990 par l'IRD dans des pays sahéliens touchés par la désertification, la Côte d'Ivoire, le Niger, le Sénégal, le Mali et le Burkina Faso. L'idée ? Recenser les pratiques agricoles traditionnelles et les optimiser pour répondre aux besoins de la croissance démographique.

Au Burkina Faso, les chercheurs ont ainsi étudié de près le zaï, une technique grâce à laquelle les paysans parviennent à revégétaliser de façon spectaculaire une terre sèche. Elle consiste à quadriller le sol avec des petites rigoles et à ne planter qu'au croisement de ces traits. Ce qui permet de travailler la terre de façon ciblée, en apportant de l'eau et de la matière organique juste à l'endroit où la plante pousse. Les chercheurs ont optimisé cette pratique en ajoutant des bactéries ou des champignons capables de désagréger la matière organique et donc de libérer plus rapidement les nutriments utiles pour la plante.

Une autre approche a été d'utiliser les termites comme engrais biologique en leur faisant dégrader les résidus de cultures. La poudre ainsi produite a par exemple permis de faire pousser des plants de tomates au Burkina Faso. Les chercheurs ont en outre développé des techniques de régénération naturelle assistée pour faciliter la pousse de nouveaux arbustes sur les terres cultivées ; et empêcher le vieillissement des populations d'arbres, qui constituent à la fois des havres de biodiversité et des protections naturelles contre l'érosion hydrique et éolienne. Ces différents savoirs ont été valorisés par le Comité scientifique français de la désertification, et repris dans le cadre du projet « Grande muraille verte » lancé en 2008.

PARTENAIRES

Université Cheikh Anta Diop, Sénégal

Institut sénégalais de recherches agricoles

Institut de l'environnement et recherches agricoles, Burkina Faso

Du Giec à l'opérationnel

Le changement climatique est une réalité dont les effets commencent à se faire fortement sentir. Dans ce contexte, les entreprises « météo-sensibles » et les acteurs du monde agricole ou viti-vinicole sont particulièrement touchés, du fait de leur forte vulnérabilité économique.

En matière de changement climatique, les connaissances scientifiques sont synthétisées dans les rapports du Giec, le prestigieux Groupe intergouvernemental d'experts sur le changement climatique… mais également dans des outils très concrets, utiles pour la société. C'est en tout cas l'idée d'un climatologue qui, en 2010, a convaincu l'IRD de le soutenir dans la création d'une entreprise franco-argentine baptisée Ecoclimasol. Sa vocation ? Créer des plateformes grâce auxquelles de petits producteurs pourraient mieux se préparer aux aléas climatiques, en accédant à des prévisions agroclimatiques plus ciblées obtenues à travers des modèles numériques, des capteurs ou des stations météorologiques locales.

Dans les premières années d'activité, ce ne sont pas les paysans qui s'intéressent à l'entreprise, mais les compagnies d'assurances qui utilisent le système pour repérer les fraudes. La plateforme permet aussi d'ouvrir des droits à indemnisation en cas d'épisodes climatiques extrêmes. Après ce premier succès, l'équipe développe deux autres interfaces, l'une pour les agriculteurs, l'autre pour les viti-viniculteurs. Peu chères et faciles à utiliser, elles fournissent des prévisions en temps réel, à quelques jours ou saisonnières, grâce à une intelligence artificielle capable de compiler les données issues de différents canaux d'informations. Elles épargnent aux utilisateurs des dépenses et des pollutions superflues, notamment parce que ces derniers évitent de répandre des fertilisants ou des produits phytosanitaires juste avant un épisode pluvieux.

En parallèle, Ecoclimasol développe en Argentine une plateforme permettant de rendre transparentes et compréhensibles toutes les prévisions climatiques. Ce travail se poursuit avec une identification des zones les plus vulnérables et le conseil dans l'adaptation au changement climatique, permettant entre autres de mieux protéger les populations et de dimensionner de futures infrastructures, qu'il s'agisse de ponts, de routes ou de réseaux sanitaires.



Plateforme Climavista Agro, Ecoclimasol.

PARTENAIRES

Centre international des hautes études agronomiques - Institut agronomique méditerranéen de Montpellier (CIHEAM-IAMM), Montpellier, France

Institut Pierre-Simon-Laplace (IPSL), université Paris-Saclay, France

Première cartographie de la panachure du riz

La panachure du riz est une maladie causée par un virus affectant les riz sauvages et cultivés. Propre à l'Afrique, elle peut engendrer des pertes de rendement allant parfois jusqu'à 100 %. Elle constitue donc une menace pour la sécurité alimentaire de ce continent.



Variété de riz sensible au virus de la panachure.



Repiquage manuel des jeunes plants de riz après semis en pépinière, Tanzanie.

La panachure du riz est un fléau qui – une fois n'est pas coutume – se propage lentement. Pour être contaminé, un plant de riz doit entrer en contact avec une plante atteinte par le virus ou se trouver sur la route de coléoptères capables de propager le virus. Certaines pratiques paysannes, comme le repiquage, peuvent aussi accélérer la propagation, qui reste malgré tout assez lente. Si bien que le virus a eu tout le temps pour évoluer et se différencier en plusieurs souches, plus ou moins virulentes. À la fin des années 1990, deux équipes de chercheurs lancent des travaux sur cette maladie. L'une tente de sélectionner des plants de riz résistants aux panachures du riz ; l'autre se consacre au virus, et plus particulièrement à sa diversité génétique.

Pour ce faire, la seconde équipe analyse l'ARN de virus prélevés dans toute l'Afrique à différentes dates et montre que la panachure du riz est d'abord apparue en Afrique de l'Est. En se propageant, elle s'est différenciée. Résultat : chaque souche virale possède son aire de répartition. Les caractéristiques de ces souches ont été testées en laboratoire. Et cette étude aboutit en 2018 à la publication d'une cartographie qui établit l'aire de répartition et la virulence des différentes souches du virus. De quoi fournir un guide pour déployer judicieusement les variétés de riz les plus résistantes, notamment en évitant les régions où les risques pour que le virus contourne ces résistances et s'attaque à ces variétés sont les plus importants : au Burkina Faso, au Togo, au Bénin, au Niger et au Nigeria, les chercheurs ont en effet découvert une souche virale particulièrement virulente et contre laquelle aucun gène de résistance connu ne présente de résistance durable. Ce travail de cartographie a en outre révélé des anomalies dans la propagation de certaines souches, qui semblent se disperser plus rapidement que les autres et élargir leur aire de répartition.

PARTENAIRES

AfricaRice Center, Bouaké, Côte d'Ivoire

Faculté des sciences agronomiques et de l'environnement (FSAE), université de Tillabéri, Niger

Du manioc et des bactéries en héritage

L'avenir sourit au manioc. Quatrième source de calories dans les pays tropicaux, cette plante à racine comestible résiste à la sécheresse et, dans un contexte de réchauffement climatique, pourrait devenir l'aliment phare de demain.

En 1985, une bactérie ravage la totalité des champs de manioc du Congo-Brazzaville, provoquant une importante famine. Observée quelques années auparavant en Côte d'Ivoire, on la disait tombée du ciel. Mais non, *Xanthomonas phaseoli* pv. manihotis, *Xpm* de son petit nom, est bien terrestre. Les chercheurs le démontrent en décelant son existence en Amérique latine, région d'origine du manioc et sans doute de la bactérie. Là-bas aussi, elle décime les plants et se propage au rythme des bouturages. Car pour cultiver le manioc, les paysans repiquent des boutures à partir de la tige. Si la plante initiale est infectée, le risque qu'une épidémie se développe est important.

Pour tenter d'enrayer le phénomène, les chercheurs créent des pépinières de manioc dans des zones forestières plutôt isolées les unes des autres. Mais ils se penchent aussi sur les mécanismes moléculaires déterminant la virulence du micro-organisme. Dans les années 2000, ils séquencent le génome de la bactérie. Et sur les 5 000 gènes découverts, l'un d'eux retient leur attention puisque son inactivation retire à la bactérie toute possibilité de se multiplier. De nouvelles pistes de contrôle de la maladie s'ouvrent alors à eux. En parallèle, ils développent en 2018 un outil de diagnostic moléculaire performant permettant de détecter les plantes infectées et d'éviter la dissémination de boutures contaminées.

Mais les chercheurs s'intéressent aussi à la diversité génétique du micro-organisme, pour mieux appréhender ses capacités à contourner les mécanismes de résistance du manioc. Pour ce faire, ils prélèvent des plants malades dans différents pays d'Afrique et d'Amérique latine, mais aussi dans des herbiers, retrouvant une feuille de manioc infectée en Argentine en 1821. Ce travail à long terme débouchera sur une meilleure connaissance de l'aire de répartition historique et contemporaine du pathogène, permettant à terme de mieux comprendre son histoire évolutive et de prédire les épidémies de demain.



Sacs de semoule de manioc, Brésil.

PARTENAIRES

Université Félix-Houphouët-Boigny, Côte d'Ivoire

Université des sciences, des techniques et des technologies de Bamako, Mali

Institut de l'environnement et recherches agricoles, Burkina Faso

Universidad de los Andes, Universidad nacional de Colombia, International Center for Tropical Agriculture, Colombie

Ravageurs malgré eux

Le maïs et le sorgho sont les céréales les plus cultivées en Afrique. Mais leur rendement reste faible en raison des mauvaises conditions climatiques, du manque de fertilité des sols, des maladies, mais également du fait de chenilles de papillons.



Larve de l'insecte *Busseola fusca*, ravageur du maïs et du sorgho.

En Afrique, les chenilles de certains papillons forent la tige de céréales comme le maïs ou le sorgho, causant des pertes de rendement comprises en moyenne entre 20 % et 40 %. Pour tenter de régler ce problème, les paysans ont appris à éliminer les friches environnantes qui, selon les agronomes, constituaient des réservoirs pour ces ravageurs. Or, cette idée a été réfutée par d'autres scientifiques dans le cadre d'un programme déployé à partir des années 2000 en Afrique de l'Est, principalement au Kenya, en Ouganda et en Tanzanie.

Comme les chenilles semblaient se différencier par des cycles et des comportements variés, les chercheurs les ont étudiées de plus près et ont découvert que des dizaines d'espèces se cachaient derrière les quelques ravageurs répertoriés depuis près d'un siècle. Cette découverte, confirmée par des études génétiques, a amené les équipes à s'interroger sur ce qui conduit certaines espèces seulement à devenir des insectes ravageurs. Les recherches ont permis de comprendre que la plupart des chenilles sont en fait très spécialisées. Parmi les nombreuses espèces trouvées dans les friches, seules quelques espèces généralistes ou se nourrissant de graminées apparentées aux céréales sont capables de s'attaquer aux cultures.

Or ces friches hébergent également de nombreux ennemis naturels des chenilles, en particulier des guêpes. Ainsi, la proximité des friches, loin d'être un problème, serait l'une des solutions permettant de limiter l'impact des chenilles de ravageurs en renforçant la lutte biologique.

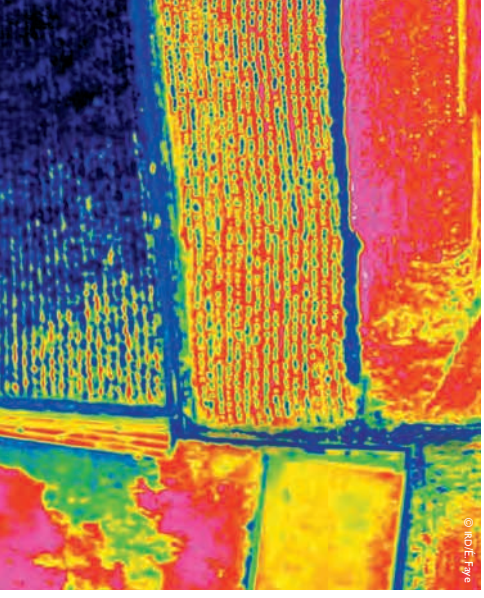
Ainsi, une évaluation récente de la lutte biologique réalisée au Kenya, au Mozambique et en Zambie a montré qu'elle permettait de limiter les pertes de rendement et a permis de sortir de la pauvreté près de 140 000 paysans. Une autre solution prometteuse pour renforcer la lutte biologique serait la mise en culture simultanée de plusieurs types de céréales, afin de limiter la prolifération d'insectes spécialisés.

PARTENAIRES

School of Biological Science, University of Nairobi, Kenya

Faculty of Agronomy and Forest Engineering, Mozambique

Faculty of Sciences and Biodiversity Monitoring Center, University of Kisangani, République démocratique du Congo



Paysage thermique à partir d'images d'un drone.

Des champs sous surveillance thermique

Des drones visualisent les variations de température d'une culture à l'échelle centimétrique.

Dans les Andes équatorienne, un insecte invasif, la teigne guatémaltèque, ravage depuis plusieurs années les champs de pomme de terre, allant jusqu'à ruiner 100 % des récoltes. Un fléau que l'IRD a commencé à étudier au début des années 2000, en montrant que le cycle de développement de cette espèce, comme celui de la plupart des insectes, était étroitement lié à la température. Ce constat a amené les chercheurs à s'interroger sur le rôle de l'hétérogénéité thermique de l'environnement sur la dynamique de ces ravageurs, hétérogénéité qu'il semblait intéressant de mesurer non pas à l'échelle de la planète, du continent, de la région ou du champ, mais à celle de l'insecte, du centimètre.

Pour ce faire, en 2012, les chercheurs ont utilisé un drone équipé d'une caméra thermique dont l'itinéraire et l'altitude de vol pouvaient être très précisément configurés grâce à un pilote automatique et des points GPS. Une première grâce à laquelle ils ont enregistré les variations de température à la surface des feuilles des cultures. Ils ont ainsi montré que, dans un rayon de 1,5 mètre, les insectes peuvent trouver une gamme de températures plus chaudes ou plus froides sur une gamme de 20 °C par rapport à la température de l'air, leur permettant ainsi de s'adapter aux écarts thermiques ambiants. Une surprise qui relativise l'impact possible du changement climatique, en tout cas sur ces ravageurs.

Ce travail a débouché sur le développement d'une boîte à outil numérique, facilitant par exemple le suivi de l'état de santé des champs *via* des drones équipés d'une caméra thermique. Les feuilles endommagées par des ravageurs subissent en effet une modification de leur température, ce qui permet de les détecter et d'agir de façon ciblée. En outre, une analyse en cours des variations de température en fonction de la position des plants pourrait permettre d'imaginer des architectures de champ moins propices aux invasions de teignes.



Survol d'un champ par un drone, Équateur.

PARTENAIRES

Université pontificale catholique de l'Équateur (PUCE)

Sensibiliser les décideurs aux bio-invasions



Capture de rats, Cotonou, Bénin.

80 % des échanges mondiaux de marchandises se font par voie maritime, avec des conséquence pour les écosystèmes et les populations : le transport maritime est en effet un vecteur privilégié de dissémination des espèces envahissantes.



Port de Cotonou, Bénin.

À la fin du XVIII[e] siècle et au début du XIX[e] siècle, l'essor de la marine à vapeur a un impact inattendu qui prend la forme d'une pandémie de peste. En dix ans, les rats noirs transportés dans les cales des navires véhiculent la maladie dans tous les grands ports du monde. Cet exemple historique est l'une des conséquences d'une invasion biologique. Mais d'autres effets sont possibles, notamment sur la biodiversité, l'agriculture et l'économie.

Malgré la signature de conventions internationales visant à empêcher la propagation des espèces envahissantes, les pays du Sud restent souvent peu préparés aux risques et enjeux que représentent ces bio-invasions. En Afrique subsaharienne, les espèces envahissantes ne sont pas toutes connues et les initiatives visant à les inventorier restent assez rares. Conscients de la situation, des chercheurs ont amorcé différentes initiatives avec plusieurs universités au Sénégal, au Niger et au Bénin. Dès 2016, une équipe réunissant des scientifiques de ces trois pays s'est formée, servant de socle pour la mise en place en 2018 d'un réseau plus vaste : un groupement de recherche international-Sud (GDRI-Sud) qui vise à soutenir la recherche et la formation sur les espèces envahissantes en Afrique de l'Ouest, et à sensibiliser les enseignants, les autorités politiques et les acteurs socioéconomiques ouest-africains aux enjeux qu'elles représentent.

À titre d'exemple, les chercheurs établissent actuellement un partenariat avec le port de Cotonou pour tester différentes approches innovantes permettant de mieux contrôler les espèces envahissantes, notamment les rongeurs, susceptibles d'être introduits *via* les navires marchands. Rien que dans ce port, un dixième des quantités de riz qui transitent par les entrepôts de stockage est perdu à cause des rats et des souris exotiques. Et il ne s'agirait là que d'une infime partie du coût réel des bio-invasions, puisque le coût lié à leurs conséquences en termes de santé, d'agriculture et de services écosystémiques reste totalement inconnu. Pour donner un ordre de grandeur, les États-Unis consacrent 128 milliards de dollars par an, soit 1 % de leur PIB, à la surveillance et au contrôle des espèces envahissantes.

PARTENAIRES

Université Cheikh Anta Diop, université Gaston-Berger, Sénégal

Institut sénégalais de recherches agricoles

Université Abdou Moumouni, Direction générale de la protection des végétaux, Centre régional Agrhymet, Niger

École Polytechnique et université d'Abomey-Calavi, Port autonome de Cotonou, Bénin



Palmeraie de Dikhil, Djibouti.

Sexer pour développer le dattier

Il existe très peu de programmes d'amélioration génétique du palmier-dattier. Pourtant, les besoins en plants résistants aux maladies ou aux stress abiotiques, essentiels à la sauvegarde et au développement des palmeraies, sont importants.

Le palmier-dattier est un grand timide : il met sept à dix ans avant de dévoiler ses premières fleurs, et donc son sexe. Espèce dioïque, il est soit mâle, soit femelle, comme le figuier ou le kiwi. Une particularité qui n'arrange guère les paysans. Avec cette plante en effet, planter une graine, c'est avoir une chance sur deux de faire grandir sept ans durant un pied mâle, pollinisateur certes, mais incapable de produire des dattes.

Ce qui explique qu'en Afrique du Nord, dans les pays où les palmeraies relèvent de la tradition, les paysans aient massivement opté pour une multiplication clonale. Des boutures de pieds femelles sont replantées à l'infini, causant une forte érosion de la diversité génétique des palmiers-dattiers dans ces régions. De quoi appauvrir les palettes organoleptiques des dattes et limiter les capacités d'adaptation de ces cultures face aux maladies ou au changement climatique.

D'où les programmes développés depuis 2007 sur la sélection du palmier-dattier, notamment à travers un réseau fédéré de pays africains. En 2011, une équipe qatarie publie le premier génome du palmier-dattier. Grâce à ce séquençage, les chercheurs de l'IRD identifient trois marqueurs génétiques qui permettent pour la première fois de discerner dans 100 % des cas les mâles des femelles.

Cette découverte brevetée en 2012 révolutionne les pratiques. Au Maroc, elle permet de planter les pieds mâles dans les palmeraies traditionnelles pour combler le manque en pollinisateurs. Et à Djibouti, elle est utilisée pour sélectionner des plants femelles et établir de nouvelles palmeraies dans le désert.



Jeunes plants de palmier-dattier, ONG ADIM, Djibouti.

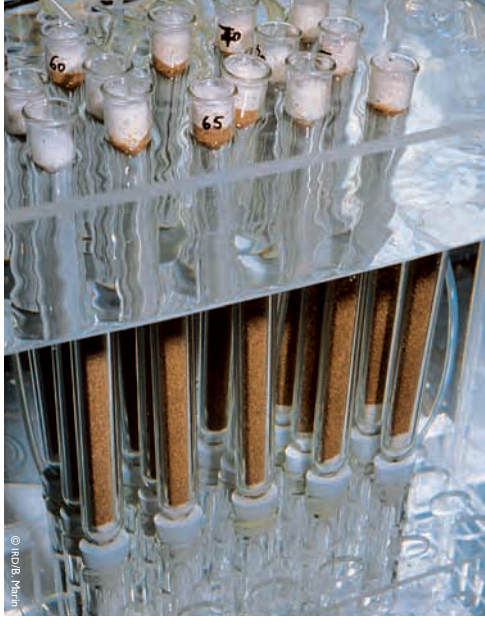
PARTENAIRES

Université de Tunis

Centre d'étude et de recherche de Djibouti (CERD)

Changer les déchets verts en or

La fabrication du sucre, du vin, de l'huile d'olive ou du café engendre des déchets agro-industriels. Or ces derniers représentent des tonnages importants souvent rejetés dans les rivières, qui deviennent des sources de pollution pour l'environnement.



Colonnes de Raimbault.



Pressoir à huile traditionnel, Maroc.

Pour obtenir un litre d'huile d'olive, on jette 95 kilos de déchets verts (margines, grignons, bois de taille ou feuilles). Pour une tasse de café, ce sont des kilos de pulpe, marre, bois et feuilles qui sont perdus. Dans la plupart des filières agricoles, plus de 90 % de la biomasse végétale est ainsi laissée de côté, causant d'importants problèmes de pollution. Un grand gâchis que les chercheurs tentent de limiter en valorisant les déchets verts.

Pour ce faire, ils ont repris une invention brevetée par l'IRD en 1975 : la colonne de Raimbault, un tube en verre vertical grâce auquel une quantité contrôlée de gaz peut passer au travers d'un substrat organique, naturel ou composé. Cet outil de laboratoire a été amélioré de façon à créer des bioréacteurs capables de faire pousser des champignons filamenteux sur des déchets agro-industriels, et de produire en masse des spores qui pourront être utilisées pour ensemencer d'autres déchets verts.

Dans la filière sucrière, les chercheurs de l'IRD et leurs partenaires ont ainsi identifié en 2006 un champignon sécrétant une enzyme capable de casser la lignine et de transformer les bagasses de canne à sucre en pâte à papier. Un autre travail mené au Mexique a montré qu'un champignon pouvait être mis à contribution pour transformer cette même bagasse en aliment pour le bétail. D'autres champignons peuvent en outre être utilisés pour éliminer les tanins ou la caféine de la pulpe de café, qui peuvent dès lors servir de source pour la production de molécules à haute valeur ajoutée, comme des antioxydants ou des enzymes.

Dans la filière oléicole, après l'extraction de l'huile d'olive, les déchets solides et liquides peuvent quant à eux être utilisés pour faire du lombri-compost, voire pour produire des lombrics, tandis que les résidus agro-industriels prédigérés par les moisissures peuvent devenir source de production pour des antibiotiques ou des biopesticides. Le domaine des bioconversions est promis à un bel avenir, avec un champ des possibles quasi illimité.

PARTENAIRES

Université de Tunis El Manar

Institut agronomique et vétérinaire Hassan II et université Ibn Zohr, Maroc

Université Cheikh Anta Diop, Sénégal

Université fédérale de Parana, Brésil

« Pratiquée de longue date, la fermentation en milieu solide est en passe de devenir une technique d'actualité. Dans de nombreuses régions du monde, les techniques traditionnelles de fermentation ont été maîtrisées. Mais au cours des 20 dernières années, un regain intérêt a vu le jour partout dans le monde, pour en comprendre les principes et développer de nouvelles applications. »

Gustavo Viniegra-Gonzalez, professeur de biotechnologie, Universidad Autonoma Metropolitana, Mexico



Moulin à canne à sucre, Cap-Vert.

••• Les déchets agro-industriels peuvent être valorisés au lieu d'être abandonnés •••

Vers une aquaculture durable

Depuis quinze ans, l'aquaculture ne vise plus seulement à produire une grande quantité de poissons, elle cherche aussi à être plus respectueuse de l'environnement.



Pisciculture associant panga, lentille d'eau et gourami, Indonésie.



Fermes aquacoles flottantes, Vietnam.

C'est le grand paradoxe de l'aquaculture : elle est une solution à la surpêche, mais elle en est en même temps l'un des moteurs, lorsqu'elle utilise des farines de poissons marins pour nourrir les élevages. Ses effluents peuvent en outre être une source de pollution des eaux.

Ces constats ont amené les chercheurs à imaginer des stratégies alternatives, pour pallier les effets négatifs sur l'environnement. Ainsi, en Indonésie, des études ont permis de remplacer la farine de poisson par une poudre d'insectes issue d'un processus de bioconversion. Pour la fabriquer, les chercheurs ont utilisé et valorisé des déchets organiques, domestiques ou agro-industriels, dont se nourrissent les larves d'un diptère surnommé « black soldier » (*Hermetia illucens*). Une fois réduites en poudre, ces larves constituent une farine riche en protéines, bon marché et qui peut se substituer au moins partiellement aux farines de poisson.

Pour réduire la pollution, les chercheurs ont imaginé des élevages regroupant plusieurs espèces de poissons, de plantes et/ou de mollusques, les unes étant susceptibles de consommer les déchets des autres. Ce principe dit d'« aquaculture intégrée multi-trophique » (IMTA) a été développé au sein des élevages de pangas en Indonésie, par l'adjonction d'une plante flottante dans les étangs de production. Cette lentille d'eau du genre *Lemna* croît en épurant l'eau des bassins d'élevage. Mais elle est aussi consommée par une espèce de poisson herbivore, le gourami géant, dont la production vient compléter celle des pangas, améliorant le retour économique de l'élevage. Une approche similaire a été appliquée au Sénégal avec un écosystème artificiel en circuit fermé qui associe le tilapia euryhalin, du zooplancton et l'algue unicellulaire *Chlorella*.

Enfin, pour limiter cette fois le recours aux antibiotiques, un travail d'inventaire a été mené sur les plantes utilisées traditionnellement pour soigner les poissons par les pisciculteurs du nord du Vietnam et de l'île de Java. Une quinzaine de ces plantes sont actuellement à l'étude.

PARTENAIRES

Université d'agriculture de Hanoï, Vietnam

Agency for marine Affairs and Fisheries research and development (AMAFRAD), Jakarta, Indonésie

Centre de recherches océanographiques, Dakar, Sénégal

Cirad, France



Poissons loches-clowns, Indonésie.

La maîtrise de la reproduction

Ces dernières décennies, la production aquacole est passée de 5 millions de tonnes en 1980 à près de 74 millions en 2014. Une croissance liée au boom de la pisciculture.

En 2014, l'aquaculture atteint un record historique : le secteur fournit désormais plus de la moitié du poisson destiné à la consommation humaine. Selon les estimations, cette contribution devrait continuer à croître et passer à plus de 60 % d'ici 2030. Ce boom aquacole s'est surtout produit en zone tropicale et dans les pays asiatiques émergents, où les recherches menées par l'IRD et ses partenaires ont permis de maîtriser le cycle d'élevage d'une dizaine d'espèces africaines, amazoniennes et asiatiques. Notamment au Vietnam où, dans les années 1990, les chercheurs sont parvenus à maîtriser la reproduction du panga, de la famille des poissons-chats.

À cette époque, ce poisson est déjà élevé par les Vietnamiens, mais les juvéniles sont prélevés dans le Mékong, ce qui pose des problèmes écologiques et politiques, notamment avec le Cambodge. En étudiant le cycle de reproduction du panga, les chercheurs développent un protocole d'induction hormonal permettant la reproduction artificielle des poissons afin d'obtenir des alevins en écloserie. De quoi faire passer la production de 50 000 à plus d'un million de tonnes par an en une quinzaine d'années. Un travail semblable est conduit en Afrique de l'Ouest sur le tilapia lagunaire, le mâchoiron ou le silure africain, ou dans le bassin amazonien sur la torche. Pour le *pirarucu* amazonien, une technique permettant de distinguer les mâles et les femelles chez les géniteurs est mise au point.

Des travaux sont aussi réalisés sur des espèces destinées au marché des poissons d'ornement. C'est notamment le cas de la loche-clown, une espèce endémique des rivières des îles de Sumatra et de Bornéo, où plus de 50 millions de juvéniles sauvages sont capturés chaque année et exportés partout dans le monde. Pour cette espèce, la maîtrise de la reproduction en captivité, obtenue en Indonésie, a alors une double motivation, économique et environnementale. Il s'agit à la fois d'alléger la pression de pêche sur les populations naturelles et de fournir les alevins sur les marchés avec plus de régularité.



Spécimen d'*Arapaima gigas*, ou *pirarucu*, élevé en captivité, Amazonie, Pérou.

PARTENAIRES

Centre de recherches océanologiques, Abidjan, Côte d'Ivoire

Université de Cantho, Vietnam

Agency for marine Affairs and Fisheries research and development (AMAFRAD), Jakarta, Indonésie

Université de Santa-Cruz, Bolivie

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (IIAP), Iquitos, Pérou

Cirad, France

Thons tropicaux sous surveillance

Le développement de pratiques de pêche utilisant des objets flottants artificiels pourrait menacer les populations de thons et celles d'espèces marines sensibles capturées accidentellement.



Pêche à la senne, Seychelles.

Tout objet flottant à la surface des océans est susceptible d'attirer les thons tropicaux. Au début des années 1990, cette observation a poussé les pêcheurs à déployer des objets flottants artificiels (« dispositifs de concentration de poissons » ou DCP) pour concentrer les poissons et les capturer plus facilement avec de grands filets appelés senne, qui encerclent les bancs de poissons. De quoi améliorer les rendements des navires… mais engendrer quelques craintes sur la durabilité de la ressource thonière et sur les impacts environnementaux de cette pratique.

••• Les données collectées depuis la fin des années 1960 permettent de suivre l'évolution des populations de thons •••

Car actuellement, des milliers de DCP dérivent à la surface des océans. Certains, sommaires, sont constitués de radeaux de bambous lestés d'un filet. Ils finissent parfois leur périple dans des zones fragiles comme les récifs coralliens où ils créent d'importants dégâts, ce qui a conduit les chercheurs à tester de nouveaux modèles biodégradables, en collaboration avec le secteur professionnel. D'autres DCP sont équipés d'instruments de mesure, dont des GPS et même des sondeurs qui permettent de renseigner à distance les pêcheurs sur la présence de thons sous le DCP. Un perfectionnement technologique qui, sans réglementation par les Organisations régionales de gestion des pêches (ORGP), pourrait avoir des conséquences lourdes sur la durabilité de l'abondance des populations ciblées et de celles victimes des dégâts collatéraux.

Les recherches ont en effet confirmé que les DCP ont tendance à concentrer les jeunes poissons (juvéniles) pour le thon jaune et le thon obèse qui

« La méconnaissance du nombre de DCP déployés chaque année par les navires de pêche entraîne des incertitudes importantes dans les évaluations des stocks. Les DCP représentent ainsi une thématique de recherche importante et d'actualité pour les pays du Sud, aux gestionnaires desquels les scientifiques doivent donner des avis pour répondre efficacement aux enjeux de développement durable. »

Justin Amande, Centre de recherches océanologiques, Abidjan



DCP dérivants, Seychelles.

ont des durées de vie d'environ quize ans, ce qui pourrait avoir des conséquences néfastes pour ces deux populations. Le manque de connaissances sur la mortalité naturelle des juvéniles empêche toutefois d'avoir une idée claire de l'impact réel de ce mode de pêche. La pêche sous DCP est également celle qui engendre le plus de prises accessoires d'espèces non ciblées et sensibles comme les requins, les raies et les poissons porte-épée. Certains individus peuvent être conservés à bord et d'autres rejetés, le plus souvent morts.

Depuis que les Français ont commencé à exploiter les thons tropicaux à la fin des années 1960, l'observatoire des écosystèmes pélagiques tropicaux exploités de l'IRD est mandaté pour collecter et vérifier les données commerciales des navires français opérant dans les eaux tropicales, en collaboration avec les professionnels de la pêche et les partenaires du Sud. Les données de pêche sont basées sur la collecte des livres de bord tenus par les pêcheurs où sont indiqués les lieux et dates des coups de pêche, la capture par espèce et le mode de pêche employé (DCP ou banc libre). Ces informations sont corrigées et validées par des échantillonnages des captures au débarquement, mais aussi par l'embarquement régulier d'observateurs scientifiques à bord des navires de pêche qui les complètent par des observations sur les prises accessoires et accidentelles. L'observation électronique peut parfois aussi compléter l'observation humaine. Ces données sont utilisées par les scientifiques au sein des Organisations régionales de gestion des pêches pour évaluer l'état des stocks de thons tropicaux et de certaines espèces capturées accidentellement et mesurer l'impact environnemental de cette pêche, sans parvenir encore à quantifier exactement l'effet DCP. Affaire à suivre donc…

PARTENAIRES

Centres de recherches océanologiques, Abidjan et Dakar

Seychelles Fishing Authority

Ministère des Ressources halieutiques et de la Pêche, Madagascar

Organisations régionales de gestion des pêches (ORGP)

Vers des appâts plus durables

À l'échelle mondiale, la pêche à la palangre pélagique a le même poids économique que la pêche à la senne utilisée pour les thons. Elle cible préférentiellement les thons et les espadons de grande taille mais elle peut entraîner des dommages collatéraux, notamment chez les tortues marines, les requins ou les oiseaux marins.



Prise accessoire à la palangre.



Appâts artificiels.

Lorsque les navires pêchent à la palangre pélagique, ils posent derrière eux une ligne longue parfois de dizaines de kilomètres pouvant porter jusqu'à 3 600 hameçons qui resteront à la dérive pendant plusieurs heures. Ces hameçons sont garnis d'un appât, un maquereau, une sardine ou un calamar, pour attirer les grands poissons pélagiques comme les thons ou les espadons… Mais des requins, et parfois des espèces protégées comme les tortues, certains oiseaux de mer et des mammifères marins sont également capturés, selon les lieux de pêche. Et ce n'est pas là le seul inconvénient.

Car la pêche à la palangre utilise chaque année 350 000 tonnes d'appâts naturels qui pourraient tout aussi bien être consommés par l'homme. Un grand gâchis, d'autant que 15 % seulement de ces appâts permettent de capturer un poisson cible. Le reste est rejeté à la mer. Ces appâts doivent en outre être achetés à un prix toujours plus élevé, et maintenus congelés à terre comme en mer, ce qui représente des charges importantes pour armateurs et pêcheurs.

Pour réduire les coûts environnementaux et économiques de l'appât naturel dans les pêcheries palangrières, des programmes de recherche ont été lancés dès 2008. L'idée ? Remplacer les appâts naturels par des versions artificielles et réutilisables. Pendant trois ans, à La Réunion, différents leurres en forme de poissons ont été testés. En 2011, un appât artificiel écologique (APARE) a été mis au point, qui a été testé puis breveté par l'IRD et qui, à ce jour, évite de pêcher les espèces protégées. Concrètement, il s'agit d'une coque souple et percée réutilisable, en polymère biodégradable, qui peut être remplie avec une pulpe fabriquée avec les déchets des pêcheries. Les appâts artificiels devraient contribuer à réduire les coûts deproduction tout en valorisant les sous-produits de la filière. Plusieurs modifications doivent encore être apportées aux premiers prototypes développés. Les chercheurs tentent actuellement de mettre au point différentes améliorations, en partenariat avec les industriels, et espèrent une mise sur le marché dès 2025.

PARTENAIRES

Université fédérale et rurale du Pernambouc, Recife, Brésil

Seychelles Fishing Authority, Port Victoria, Seychelles

CAP RUN/ARDA, La Réunion



Campagne océanographique, Pérou.

La pêche adaptative, c'est le Pérou !

Le Pérou possède la zone océanique la plus productive en poissons au monde… mais aussi la plus capricieuse. Cette variabilité a nécessité une adaptation unique du système de gestion des pêches. Un exemple à suivre ?

Au large du Chili et du Pérou, le courant de Humboldt provoque une remontée d'eaux froides très riches en nutriments à l'origine d'une énorme productivité en poissons. Des stocks que les Péruviens ont appris à surveiller depuis les années 1960, notamment au travers de campagnes d'évaluation express conduites simultanément par une quinzaine de bateaux équipés de sondeurs acoustiques.

Ce suivi s'explique par l'importance économique de la pêche au Pérou, mais aussi par la variabilité extrême de cette zone, dont le rendement peut diminuer fortement lors des phénomènes El Niño, comme en 1972-1973 ou 1982-1983, lorsque la population d'anchois s'est effondrée, affectant durablement l'écosystème et la société. D'où l'idée proposée par l'Instituto del Mar del Perú de changer d'approche et de mettre en place une gestion en temps réel des stocks de poissons tenant compte d'une grande variété de paramètres de l'écosystème.

Lorsque l'IRD commence à travailler sur place en 2001, le Pérou a déjà réussi à mieux gérer les conséquences d'El Niño de 1997-1998. Mais certains savoir-faire scientifiques manquent pour exploiter la somme considérable de données amassées. L'IRD aide alors à créer des équipes pluridisciplinaires et entame une collaboration qui, en quinze ans, contribue à la formation d'une centaine de scientifiques péruviens. L'occasion de mettre à jour un certain nombre de connaissances et de permettre ainsi de baser les modèles conceptuels ou numériques sur des processus validés.

Des outils sont également développés pour mieux prévoir El Niño, visualiser le positionnement des masses d'eau, suivre par GPS le mouvement des bateaux et des oiseaux, ou détecter la formation de tourbillons océaniques par satellite. Grâce à ces outils, le système de gestion des pêches péruvien est aujourd'hui le plus réactif au monde : les quotas sont revus tous les six mois et, en cas d'anomalies, les pêches peuvent être stoppées en quelques heures. Une réactivité qui n'existe nulle part ailleurs.



Senneurs péruviens sur une zone de pêche.

PARTENAIRES

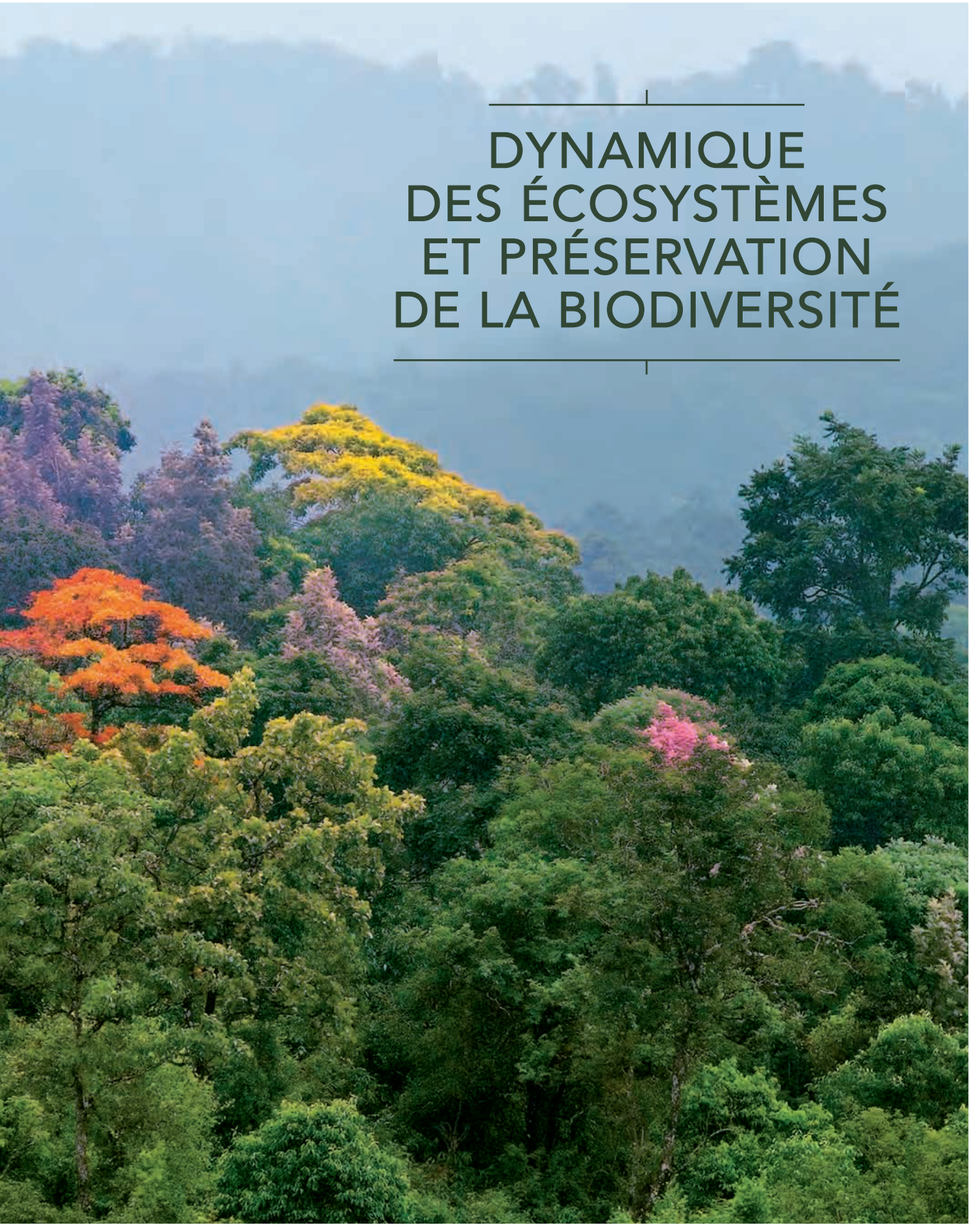
Instituto del Mar del Perú (IMARPE)

PARTIE 4

Face au changement climatique et aux pressions croissantes exercées sur l'environnement, une meilleure compréhension de la dynamique des écosystèmes et la conservation de la biodiversité sont parmi les grands enjeux actuels de la science. Du cycle de l'eau à la dynamique des sols, des mécanismes climatiques anciens et actuels jusqu'à la recension et la protection de la biodiversité, les recherches pluridisciplinaires menées à l'IRD visent à développer une gestion globale et durable des écosystèmes tout en intégrant les capacités d'adaptation et de résilience des hommes et de l'environnement.



DYNAMIQUE DES ÉCOSYSTÈMES ET PRÉSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ



El Niño dans le viseur

El Niño est un moteur majeur de la variabilité climatique en zone intertropicale. Il modifie la pluviométrie, la productivité de certaines zones océaniques ou influe sur la formation des cyclones, avec de forts impacts sociétaux. De fait, la compréhension de ce phénomène est un objectif scientifique prioritaire.



Nord du Pérou, destructions liées à El Niño.

Dans les années 1980, les météorologues étaient formels : il serait impossible de prévoir le temps au-delà d'une ou deux semaines. Dix ans plus tard, des climatologues leur donnent tort en parvenant à prédire certaines anomalies climatiques plusieurs mois à l'avance. Pour en arriver là, il aura fallu observer et comprendre un phénomène dont on ignorait encore presque tout : El Niño. L'IRD a joué un rôle important dans cette aventure internationale, en collectant de nombreuses observations grâce à des navires marchands, des campagnes océanographiques, ou en contribuant à l'installation de « TAO », un réseau de bouées instrumentées réparties à la surface du Pacifique depuis les années 1990.

Ces observations ont révélé petit à petit les secrets d'El Niño, un phénomène climatique majeur lié aux interactions entre l'océan et l'atmosphère. Dans le Pacifique, les vents soufflent habituellement d'est en ouest, générant la remontée d'eaux profondes, froides et riches en nutriments près des côtes sud-américaines, et des eaux plus chaudes favorisant de fortes

« Le phénomène El Niño a des impacts importants au Pérou, il pose de ce fait de nombreuses questions scientifiques quant à sa dynamique, ses mécanismes et surtout, quant à sa prévisibilité dans le Pacifique oriental. El Niño génère en effet des événements extrêmes, avec des conséquences dévastatrices pour les populations et les infrastructures, et qui affectent, entre autres, les activités agricoles et la pêche au Pérou. En tant que chercheur dans le domaine, j'ai eu la chance de collaborer au Pérou avec des spécialistes internationaux grâce au soutien de l'IRD, et à profiter du modèle IRD d'expatriation et de formation d'étudiants qui, au-delà des publications scientifiques, permet d'appliquer les nouvelles connaissances à l'ensemble des activités… »

Ken Takahashi, directeur du Service météorologique et hydrologique national, Pérou

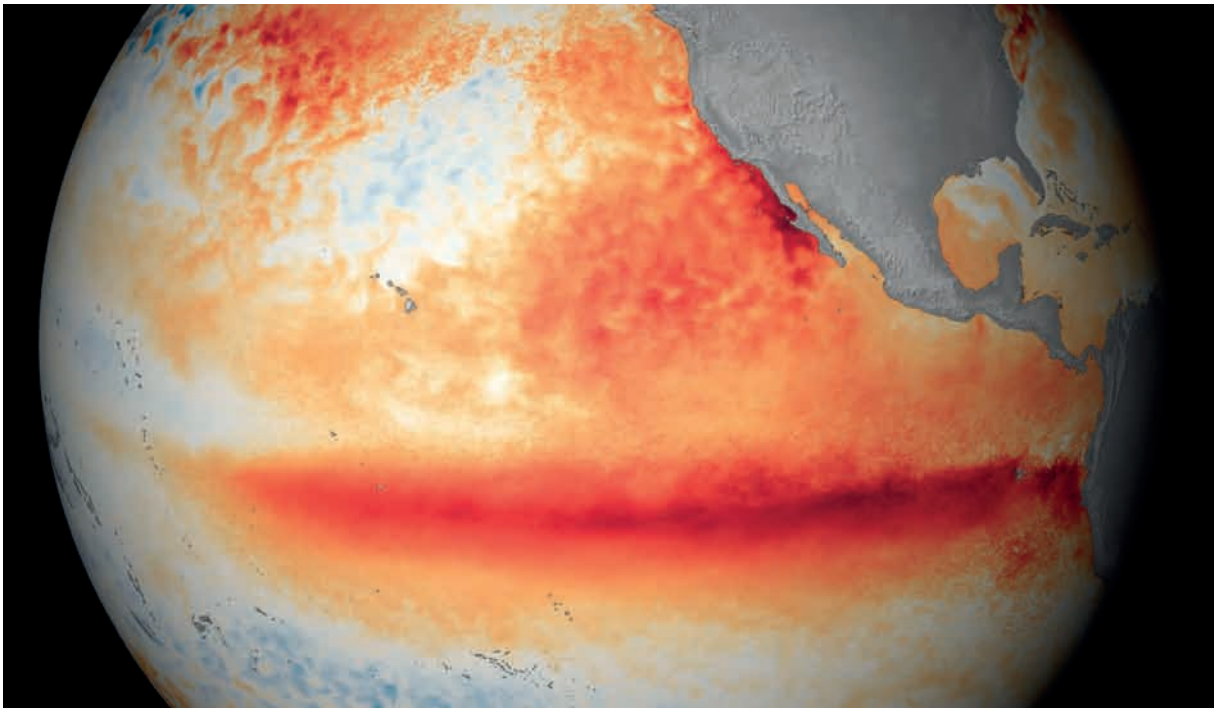


Image satellite en fausses couleurs d'un épisode El Niño. © NOAA

pluies de l'autre côté du Pacifique. Or cet équilibre se rompt régulièrement, amenant un El Niño et son lot de sécheresses en Australie, d'eaux anormalement chaudes et peu productives au Pérou, ou de cyclones tropicaux en Polynésie française.

Les chercheurs de l'IRD ont contribué à démontrer le rôle prépondérant du centre du Pacifique dans la mise en place de « l'effet boule de neige » menant au développement d'un épisode El Niño. Ces travaux, publiés à la fin des années 1990, ont permis de mieux comprendre les interactions océan-atmosphère responsables du développement d'El Niño. Aujourd'hui, l'IRD travaille toujours sur les multiples facettes de ce phénomène climatique, en particulier sur les deux « familles » d'El Niño, différenciant les extrêmes, aux impacts dévastateurs, et les autres, plus fréquents et cantonnés au Pacifique central. L'IRD a aussi contribué à montrer que les épisodes El Niño les plus extrêmes pourraient devenir bien plus fréquents d'ici la fin du XXIe siècle. En outre, l'Institut joue un rôle moteur dans le remodelage en cours du système international d'observations de l'océan Pacifique.

PARTENAIRES

Service météorologique et hydrologique national, Pérou

NOAA, États-Unis (développement du réseau TAO)

Commonwealth Scientific and Research Organisation, Australie

Programmes TOGA puis CLIVAR



L'exploration des océans tropicaux : le programme Pirata

Dans les années 1960, les océans tropicaux étaient mal connus. La création de systèmes d'observations multiples incluant des navires, des bouées dérivantes et des bouées fixes va apporter une contribution majeure à la connaissance de ces océans, éléments clés de la machine climatique.



Bouée du réseau Tao-Pirata, Atlantique tropical.

Au cours des années 1960, l'Orstom lance à partir de Nouméa des campagnes de mesures qui vont durer plus de deux décennies, visant à décrire pour la première fois la structure thermique et dynamique du Pacifique équatorial occidental. Ils découvrent alors l'existence de courants, sous-courants et contre-courants équatoriaux insoupçonnés. Ces observations couplées à celles des Américains dans le Pacifique équatorial oriental permettront une compréhension complète du phénomène El Niño à l'échelle de l'ensemble de l'océan Pacifique équatorial.

En 1974, pour mieux prévoir les cyclones qui régulièrement affectent les Caraïbes, le programme international GATE est mis sur pied, associant pour la première fois océanographes et météorologues. Entre Dakar et les Caraïbes, les chercheurs tentent de comprendre comment la chaleur accumulée dans cette zone est transmise à l'atmosphère. Par la suite, le programme franco-américain FOCAL/SEQUAL (1982 -1984) va étudier la variabilité de la structure de l'océan tropical Atlantique, susceptible d'être influencée par le phénomène El Niño du Pacifique. FOCAL et SEQUAL seront prolongés par TOGA (1985-1995), grand programme international d'observations opérationnelles des océans, auquel l'Orstom apporte l'essentiel de ses moyens d'observation dans les océans Pacifique et Atlantique.

••• Les prévisions de Pirata peuvent permettre aux agriculteurs africains de mieux anticiper la période des semis •••

Forts des acquis de ces programmes, les États-Unis, la France et le Brésil mettent en place à la fin des années 1990 dans l'Atlantique tropical un réseau de bouées météo-océaniques nommé Pirata. Ces bouées transmettent en temps réel de nombreux paramètres marins et atmosphériques, comme la température et la salinité de l'eau à différentes

PARTENAIRES

NOAA, États-Unis

University of Cape Town, Afrique du Sud

Université d'Abomey-Calavi, Bénin

GEOMAR, Allemagne

INPE, DHN, UFPE, Brésil

« L'Orstom, aujourd'hui IRD, a développé des centres de recherches océanographiques dans la zone tropicale, notamment à Abidjan, Dakar, Tahiti et Nouméa. Lorsque ces centres furent créés, l'océanographie tropicale était une curiosité. Aujourd'hui, elle est un élément clé de la question climatique incluant des phénomènes comme El Niño et le réchauffement global. »

George Philander, professeur à l'université de Princeton, membre de l'Académie nationale des sciences, États-Unis

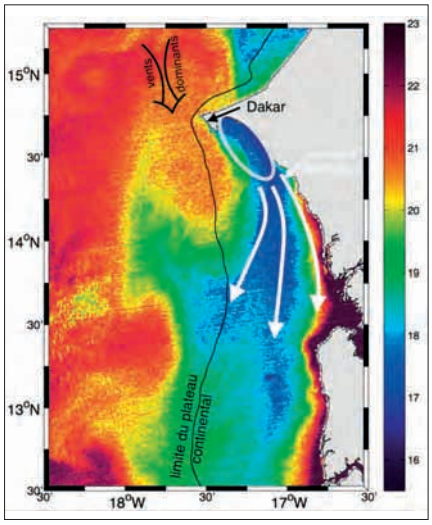


Mise à l'eau d'une bouée, Golfe de Guinée.

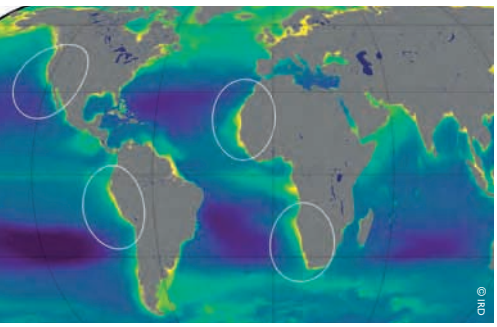
profondeurs, la force et la direction des vents… Observations qui contribuent à améliorer la prévision d'événements comme les cyclones, mais qui servent aussi aux prévisions saisonnières : c'est grâce à elles que l'on est parvenu à déterminer qu'un refroidissement des eaux du golfe de Guinée précède de quelques semaines le démarrage de la mousson africaine, information très précieuse pour les paysans devant optimiser leur période de semis. L'originalité et la valeur des observations du réseau Pirata tiennent à sa capacité à traiter l'ensemble des dimensions spatio-temporelles, globales et locales, des phénomènes observés, en y associant les pays du Sud, mission spécifique de l'IRD.

Modéliser les upwellings

Les upwellings sont des remontées d'eaux froides, riches en nutriments et en petits poissons. Une manne sur laquelle certains pays du Sud font reposer leur économie, pour le meilleur et pour le pire… Car ces zones sont capricieuses et sensibles à la variabilité climatique.



Modélisation de l'upwelling sénégalais LOCEAN IPSL.



Chlorophylle moyenne de surface. Les quatre systèmes majeurs d'upwellings marqués par les ellipses.

Les zones d'upwellings sont aussi poissonneuses que versatiles et fragiles : dans le système du courant de Humboldt, au large du Pérou et du Chili, la productivité des eaux chute à chaque épisode El Niño. Sur les côtes namibiennes, la surpêche a engendré une prolifération de méduses qui empêche la reconquête du milieu par les espèces pêchables. De fait, la bonne compréhension de la dynamique physique, géochimique et biologique des upwellings constitue pour nombre de pays du Sud un enjeu de recherche de tout premier plan. Or cette dynamique des upwellings est complexe et son étude est difficilement accessible pour beaucoup de pays du Sud.

••• L'IRD met à la disposition des pays du Sud des modèles simulant la dynamique des upwellings •••

Car si certains modèles simulent le fonctionnement de ces processus, ils sont assez difficiles à manipuler et nécessitent des compétences théoriques élevées, ainsi que des supercalculateurs. Des puissances de calcul

« C'est dans le cadre des structures de l'IRD que j'ai obtenu un doctorat à l'université de Cape Town (Afrique du Sud). Cela m'a également permis de visiter plusieurs instituts de recherche à Brest et d'interagir avec des spécialistes dans les domaines de l'océanographie physique et de la modélisation des océans. Cette formation spécifique a été importante pour moi, en ce qui concerne le développement de compétences qui m'ont permis de trouver un emploi. En outre, il était important pour les sciences de la mer dans la région de mieux comprendre la circulation océanique dans le sud-ouest de l'océan Indien. C'est grâce à cette meilleure compréhension de la circulation océanique, associée à la dynamique des écosystèmes marins, que de meilleures pratiques de gestion sont maintenant mises en œuvre dans la région. »

Dr Issufo Halo, océanographe physicien, université de technologie de la Péninsule du Cap, Cape Town, Afrique du Sud



La côte du Sénégal, longée par un upwelling.

dont les pays du Sud ne disposent pas toujours. D'où l'idée d'adapter les modèles à cette réalité en créant des outils facilitant leur accessibilité, capables de « tourner » sur des ordinateurs classiques. C'est ainsi que sur les deux dernières décennies, l'IRD et ses partenaires ont adapté le modèle d'océans Roms, rebaptisé Croco, qui simule les courants marins.

Croco permet par exemple d'utiliser des grilles emboîtées les unes dans les autres pour obtenir une résolution spatiale assez fine à des coûts de calcul réduits. Il est en outre adossé à des systèmes de simulation des cycles géochimiques et biologiques qui permettent de modéliser respectivement les apports de nutriments (Pisces) et le cycle de vie des poissons (Ichtyop). Il est ainsi constitué de modules distincts qui s'adaptent aux besoins. Près de 1 500 chercheurs et ingénieurs dans le monde, en particulier en Afrique de l'Ouest, à Madagascar ou en Asie du Sud-Est, l'utilisent en toute autonomie pour suivre et comprendre, entre autres, l'évolution des upwellings.

PARTENAIRES

University of Cape Town, Afrique du Sud

Instituto del Mar del Perù (IMARPE), Pérou

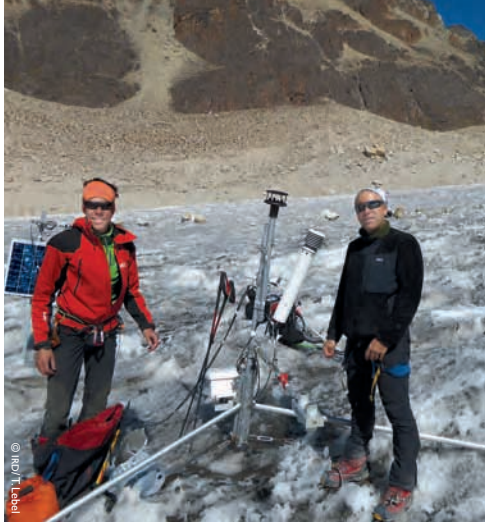
Université Cheikh Anta Diop, Sénégal

CNRS, France

University of California Los Angeles (UCLA), États-Unis

Observatoires de la zone critique

Avec l'émergence de la problématique du changement global, l'observation des milieux naturels se structure et s'inscrit dans une stratégie nationale et internationale.



Mission sur le glacier du Zongo, Bolivie.



Mesure de débit sur le Rio Marañon, Pérou.

Au début des années 1970, la grande sécheresse ouest-africaine interpelle la communauté scientifique sur la stabilité de l'environnement et du climat dans les régions intertropicales. Dans les années qui suivent, cette question devient une priorité de recherche. Des observatoires sont conçus pour suivre sur le long terme l'évolution des différentes variables physiques et biogéochimiques qui contrôlent la « zone critique », cette mince pellicule comprise entre la basse atmosphère et le sous-sol racinaire et où se concentre 99% de la vie terrestre.

••• Depuis trente ans, des services nationaux d'observation permettent de suivre l'impact des changements globaux dans la zone intertropicale et l'espace méditerranéen •••

Les sites sélectionnés pour constituer ces observatoires sont représentatifs des grands systèmes tropicaux. Les mieux structurés sont labellisés « Services nationaux d'observation » par l'IRD et le CNRS. Ils sont dimensionnés pour répondre aux spécificités des environnements dont ils documentent les évolutions. Au fil des années, plusieurs observatoires voient ainsi le jour : AMMA-Catch au Niger, au Bénin et au Mali, qui documente l'Ouest africain ; Hybam au Brésil et dans les pays andins, pour observer le bassin amazonien ; Glacioclim en Bolivie et en Équateur, qui suit l'évolution des glaciers tropicaux ; Pirata dans l'Atlantique tropical, ou encore Omère au Maroc et en Tunisie, consacré au milieu méditerranéen.

Ces observatoires sont indispensables pour comprendre la mécanique des changements globaux et saisir leur impact. Les données recueillies sur le terrain alimentent les modèles, pour les valider et les faire évoluer. Mais elles permettent aussi de tester et de calibrer de nouvelles techniques de mesure telles que les radars, les capteurs infrarouge ou micro-onde, ou la résonance magnétique protonique (RMP) qui permet de qualifier l'eau souterraine. Les données *in situ* des observatoires sont également précieuses pour calibrer les données satellitaires, comme récemment celles du satellite GRACE qui utilise les fluctuations du champ de gravité pour déduire les variations du stock d'eau continentale sur de très grandes zones.

PARTENAIRES

Universités, services météorologiques et services de l'hydrologie et des ressources en eau d'Afrique de l'Ouest et centrale, des pays andins et d'Asie du Sud-Est



AMMA, arrivée de la pluie sur le site de mesure de l'IRD, Niger.

« Les observatoires Hybam et Glacioclim représentent pour la communauté scientifique des pays andins tropicaux un outil robuste pour mieux répondre aux besoins des preneurs de décisions face aux changements globaux, du fait d'une documentation fine de l'évolution des régimes hydroclimatiques de la région. »

Juan Carlo Espinoza, Institut de géophysique du Pérou, Lima

De l'hydrologie locale au climat global

Dans les années 1980, l'apparition des modèles de circulation générale fournit aux scientifiques l'outil nécessaire pour anticiper les possibles évolutions du climat de la planète. La création du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (Giec) en 1988 concrétise l'émergence d'un nouveau front scientifique qui se situe *de facto* à l'interface avec les politiques publiques de développement et de gestion de l'environnement.



Arrivée de la mousson.

En 1990, dans la région de Niamey au Niger, des chercheurs de l'IRD, associés à des scientifiques de Météo France, du CNRS et de la NASA s'affairent dans le cadre du projet Hapex-Sahel. Ils installent des instruments très sophistiqués qui, pendant deux ans, enregistrent les flux d'air et d'eau à des échelles très fines. Bref, tout ce qui permet de décrire et de comprendre les échanges situés à l'interface entre la terre et l'atmosphère. La zone d'étude est un carré d'environ 100 kilomètres de côté. La surface est parfaite pour alimenter en données les premiers modèles de simulation du climat. Un objectif tout à fait nouveau pour l'Orstom.

Car historiquement, les activités de l'Orstom en hydrologie sont très ancrées dans les problématiques de développement local. Chercheurs, ingénieurs et techniciens sont envoyés sur le terrain pour quantifier les variations du régime des pluies ou des crues afin de dimensionner correctement les barrages hydrauliques ou les réseaux d'assainissement. Il s'agit alors avant tout d'acquérir la donnée utile pour l'application. Progressivement, les jeunes chercheurs de l'Institut vont promouvoir une vision plus globale de l'hydrologie en tant que constituant essentiel de la machine climatique, sans pour autant renier leur mission de contribuer à sécuriser l'accès aux ressources en eau pour les populations des pays où ils interviennent

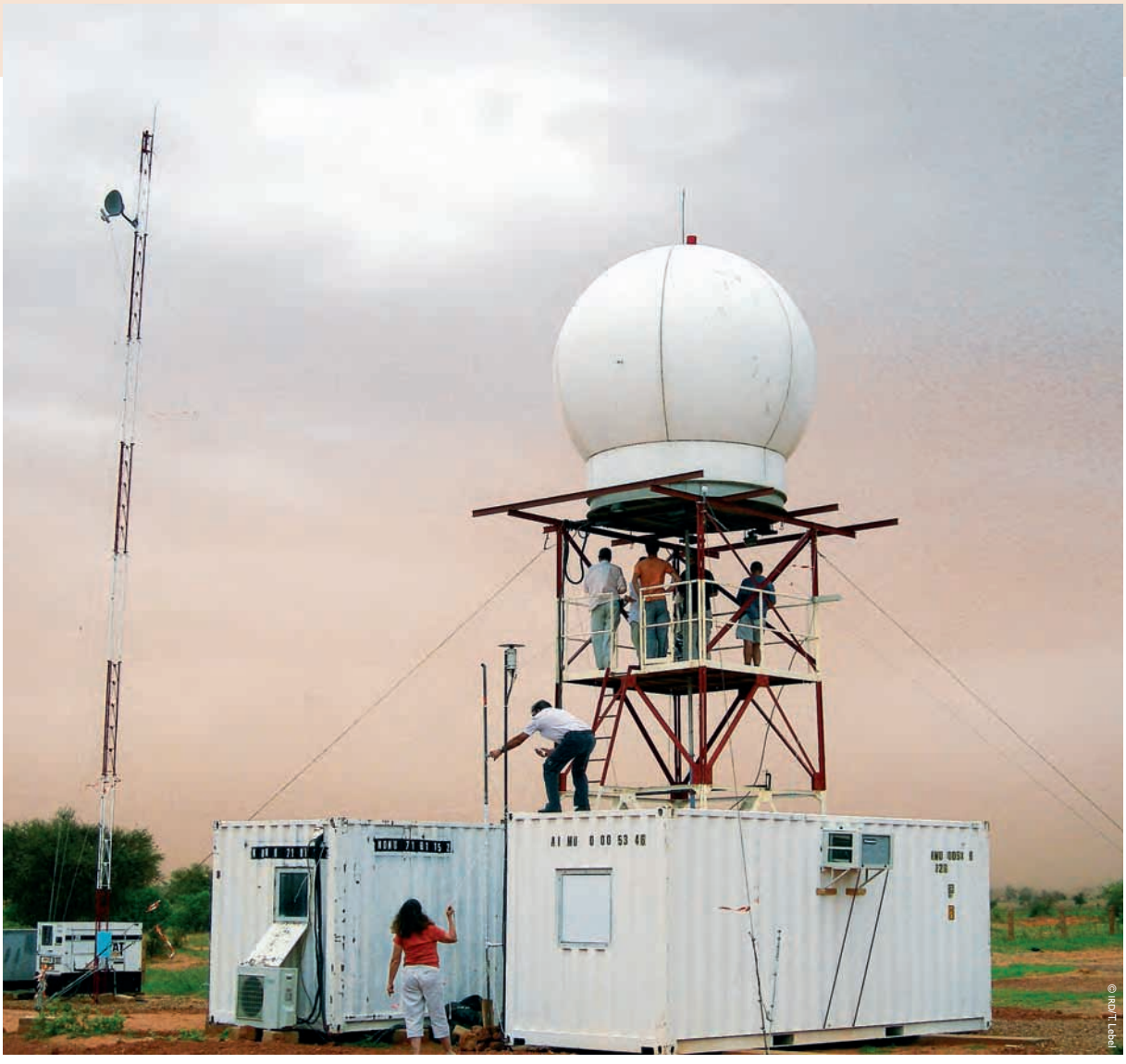
Dans cette histoire, Hapex-Sahel est un tournant : la première campagne de mesures organisée pour comprendre la machinerie climatique en zone intertropicale, débouchant quinze ans plus tard sur les campagnes AMMA qui mobiliseront 600 scientifiques pour décortiquer le fonctionnement de la mousson africaine afin de mieux la représenter dans les modèle de climat et de pouvoir anticiper son évolution dans le contexte du changement global.

PARTENAIRES

Universités, directions de la Météorologie, Centres de recherche régionaux ouest-africains.

« La collaboration entre le centre Agrhymet et l'IRD a démarré il y a quarante ans. Les projets Hapex-Sahel et AMMA ont marqué un tournant en permettant de construire en commun une vision globale de la manière dont le changement climatique allait affecter le cycle hydrologique et les ressources en eau au Sahel. »

Abdou Ali, directeur du Département information et recherche, Centre régional Agrhymet, Niger



Le radar du MIT sur le site de Niamey, Niger.

••• De Hapex-Sahel à AMMA : vers une vision globale du cycle de l'eau en lien avec l'émergence de la question du changement climatique •••

Les paradoxes du Sahel

Depuis les années 1960 et jusque dans les années 1980, l'Orstom pilote des programmes de suivis environnementaux dans différents pays africains. Les données récoltées permettent de mieux saisir l'évolution climatique et la dynamique hydrologique du Sahel.



Arbre déraciné par la crue.

Entre 1968 et 1993, une intense sécheresse frappe le Sahel. Et pourtant, depuis les années 1980, le débit des fleuves et des rivières ne cesse d'augmenter. Il augmente alors même qu'il ne pleut pas davantage. Une bizarrerie qui ne survient pas seule : dans certaines parties instrumentées du Niger, on observe même que le niveau des nappes phréatiques se met à monter. Un double paradoxe que les hydrologues parviennent à expliquer rétrospectivement en étudiant les données environnementales accumulées depuis les années 1960 sur des bassins équipés.

••• En trente ans, le cycle de l'eau au Sahel s'est modifié, avec des épisodes de sécheresse persistante affectant à la fois l'agriculture et l'élevage •••

Il apparaît que l'augmentation des écoulements fait suite à un pic de sécheresse survenu en 1983-1984 qui aurait achevé une végétation déjà affaiblie. Cette absence de couverture végétale, et notamment d'arbres, aurait favorisé le ruissellement de l'eau et réduit son infiltration dans le sol. Mais alors, pourquoi le niveau des nappes se met-il à monter par endroit ? Parce que, dans certaines régions du Sahel, l'eau ne s'écoule pas jusqu'à la mer. Elle s'accumule dans de grandes mares où elle finit par s'infiltrer dans le sous-sol et alimenter les nappes phréatiques. Pour autant, les chercheurs ne sont pas au bout de leurs surprises.

« L'IRD, à travers la recherche sur des sites d'observation à long terme, comme AMMA-CATCH, montre que l'eau, ressource rare et facteur limitant du développement socioéconomique, ruisselle abondamment au Sahel malgré le changement climatique. Le double paradoxe hydrologique ainsi observé constitue de ce fait une opportunité de développement. »

Professeur Ibrahim Bouzou Moussa, université Abdou Moumouni, conseiller du ministre de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation, Niamey, Niger



Arrivée de la crue annuelle, Niger.

Car le reverdissement du Sahel observé à partir des années 1990 ne s'accompagne pas de la diminution attendue des écoulements. L'IRD résout cette nouvelle énigme en montrant que dans les régions concernées, 30 à 50 % des sols sont dégradés et incapables d'absorber l'eau. Sans une politique active de réhabilitation, ils resteront « imperméables ». La conséquence est une modification du bilan hydrique global du Sahel, avec de nouveaux risques d'inondation et la nécessité d'adapter les ouvrages hydrauliques et les infrastructures sanitaires à cette nouvelle réalité. Mais avec également de nouvelles opportunités d'irrigation.

PARTENAIRES

Université Cheik Anta Diop, Sénégal

Université Gaston-Berger, Sénégal

Université Amadou Mahtar Mbow, Sénégal

Université de Zinder, Niger

Université de Ouagadougou, Burkina Faso

Université de Bamako, Mali

Averses à crue

Depuis les années 1950, le nombre de morts causés par les crues a été multiplié par cinq en Afrique. Le Sahel est particulièrement touché. Le phénomène est dû à plusieurs facteurs, la croissance démographique, la grande vulnérabilité des populations, de mauvais aménagements, mais également à une modification du climat et du régime des pluies.



Inondation, Niger.

On peut habiter un pays désertique et être menacé par les crues : en 2012 et 2017, la crue du fleuve Niger a ainsi causé des centaines de morts et des dizaines de milliers de sinistrés. Un phénomène devenu récurrent, et dont l'origine pose question. Le plus important ruissellement des eaux de pluie observé au Sahel depuis la fin des années 1980 suffit-il vraiment pour expliquer la survenue de ces catastrophes ?

••• Depuis les années 1990, les pluies extrêmes au Sahel sont plus fréquentes et plus intenses •••

Pour en savoir davantage, des chercheurs de l'IRD ont étudié le régime des pluies au Sahel et analysé les données de précipitations journalières relevées entre 1950 et 2015 au Sahel. Ils se sont ainsi aperçus qu'à partir des années 1990, l'intensité des pluies, et non leur fréquence, avait tendance à augmenter, en particulier celle des événements les plus extrêmes.

Pour aller plus loin, les chercheurs ont disséqué les données enregistrées depuis 1990 par l'observatoire AMMA-CATCH au Niger. À leur étonnement, ils ont montré que les pics d'intensité au sein de ces événements

« Inondations récurrentes, crues ravageuses, pertes de production, tels sont les défis auxquels les pays du Sahel seront confrontés face aux changements climatiques. D'où l'importance de disposer d'observations de qualité sur le long terme sans lesquelles on ne peut anticiper ces événements. Ce type d'étude doit faire tache d'huile au niveau de nos services nationaux d'hydrologie, qui doivent intégrer ce phénomène d'intensification des pluies dans leur communication sur les risques d'inondation et dans les calculs de dimensionnement des ouvrages. »

Ibrahim Maïnassara, ingénieur hydraulicien, responsable de la collecte de données pluviométriques, Niger



Ligne de grain lors de l'arrivée de la mousson.

pluvieux avaient tendance à augmenter de 2 % à 3 % chaque décennie depuis les années 2000. Une tendance qui jusque-là n'avait été observée qu'aux États-Unis. Au Niger, les pluies connaissent ainsi des phases plus intenses, facilitant le ruissellement et la survenue de crues.

Cette intensification suggère une modification du régime des pluies au Sahel. De fait, le climat sahélien pourrait être en train de changer, et non simplement d'osciller entre des périodes successivement sèches ou humides. Cette réalité oblige à réévaluer les politiques de protection des populations et des ouvrages contre les crues. Mais elle pourrait aussi accroître la précarité des populations, confrontées à des pluies moins fréquentes mais plus violentes.

PARTENAIRES

Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger

Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal

Université Gaston-Berger, Saint-Louis, Sénégal

Centre Régional Agrhymet, Niamey, Niger

Direction de la Météorologie du Bénin

Direction de la Météorologie du Burkina Faso

Direction de la Météorologie du Sénégal

Petits bassins, grands résultats

Dans les années 1950, la France décide de développer ses colonies en construisant des infrastructures de transport et des aménagements hydrauliques. Des ouvrages coûteux, dont le dimensionnement pose question en raison du peu de données disponibles, qu'il va falloir compléter.



Dispositif de mesure de hauteur d'eau, Bénin.

Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, la France se reconstruit… et décide d'équiper ses colonies en barrages, ponts et réseaux d'approvisionnement en eau. Des ouvrages d'envergure qui doivent être correctement dimensionnés pour supporter les variations locales de pluies, de ruissellement et de débit des cours d'eau. Le tout jeune Orstom est alors mandaté pour récolter des données nécessaires au lancement de ces chantiers.

Du Maghreb à l'Afrique équatoriale en passant par l'Amérique du Sud, les agents de l'Orstom assurent le suivi de près de 300 bassins versants de superficie généralement inférieure à la centaine de kilomètres carrés choisis pour leur homogénéité ou leur représentativité. Au début, ces bassins sont équipés sommairement avec des pluviomètres et des dispositifs de mesure de l'écoulement, et sont suivis pendant trois à cinq ans, exceptionnellement plus longtemps. L'objectif est alors d'établir un bilan hydrologique et d'estimer la variabilité annuelle des écoulements, ainsi que l'ampleur et la fréquence des crues.

À partir des années 1990, les mesures commencent à être utilisées pour paramétrer et alimenter les modèles. Moins de bassins sont suivis, mais

« Entre 1989 et 1993, l'Orstom a conduit avec succès une collaboration avec l'Institut de recherches hydrauliques (IPH) de Porto Alegre (Brésil). Des stations de suivis hydrologiques et sédimentologiques en milieu de grandes cultures ont été installées et ont fait l'objet de nombreuses publications scientifiques. Ces dispositifs, toujours actifs trente ans plus tard, ont permis de former sur le terrain plusieurs dizaines d'étudiants en hydrométrie, valorisant ainsi le travail d'observation et d'acquisition de données de qualité. Cette action a fortement contribué à l'avancement de la recherche hydrologique et à la formation de ressources humaines dans notre pays. »

Professeure Nilza Maria dos Reis Castro, docteure de l'université de Strasbourg
Institut de recherches hydrauliques, Université Fédérale du Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brésil



Jaugeage d'un petit torrent dans les Andes, Équateur.

••• Le suivi de nombreux petits bassins versants a permis de décrire le cycle de l'eau et de mieux cerner les risques en zone intertropicale. Mais pas seulement •••

ils le sont plus finement, afin de mieux comprendre les chemins de l'eau. Cette expérience, les chercheurs vont l'appliquer jusqu'à aujourd'hui dans des contextes plus spécialisés soumis aux changements globaux, y compris climatiques : territoires ruraux (Maghreb, Afrique de l'Ouest, Amérique latine), haute montagne (cordillère des Andes, Himalaya), ou milieux urbains (Afrique de l'Ouest et centrale, Mexique).

PARTENAIRES

HydroSciences, Montpellier

UMR LISAH (Inra-IRD-Montpellier Supagro)

Institut des géosciences de l'environnement (IGE), France

Centre d'études spatiales de la biosphère (Cesbio), France

Institut d'écologie et des sciences de l'environnement (iEES), France

Jauger les fleuves depuis le ciel

Que ce soit pour l'agriculture, la recherche ou la production d'électricité, la connaissance du débit des fleuves est une information déterminante. Or, cette donnée n'est pas toujours disponible, notamment dans les nombreux bassins où le suivi hydrologique régulier des cours d'eau n'est plus assuré.



Image satellite de l'Amazone.



Satellite Sentinel-5, programme Copernicus.

Depuis quarante ans, dans le monde, le niveau d'information sur le débit des fleuves n'a eu de cesse de diminuer, jusqu'à revenir à ce qu'il était au début du XX^{e} siècle. La raison ? Des sous-équipements chroniques de certains pays du Sud ou une culture du secret dans des zones politiquement sensibles. Or, à l'ère du changement climatique et de la modélisation globale, ces données sont plus que jamais cruciales. Cette réalité a conduit les chercheurs à imaginer une technique pour jauger le débit des fleuves à distance, et notamment grâce à des données satellitaires jusque-là inexploitées.

Depuis les années 1970-1980, les militaires, puis les scientifiques utilisent des satellites pour observer les variations du niveau des océans et détecter des anomalies thermiques ou gravitationnelles. Ces satellites envoient sur Terre des ondes qui sont réfléchies par l'eau. Le temps de trajet aller et retour de l'onde permet de déduire l'altitude de l'eau, son « altimétrie ». Mais si cette technique est efficace sur de grandes étendues d'eau, elle était difficilement utilisable pour les rivières, à cause des perturbations générées par la végétation et les habitations.

••• Une technique de pointe permet de déduire le niveau d'eau des fleuves à partir de données satellitaires •••

Partant du principe que ces satellites passent un tiers de leur temps au-dessus des continents, au début des années 2000, des chercheurs reprennent les données brutes des satellites ENVISAT et T/P, et développent de nouveaux algorithmes permettant de déduire la hauteur des fleuves, à 30 cm près. Entre 2002 et 2010, une équipe de l'IRD calibre la méthodologie sur le bassin de l'Amazone et montre que même de toutes petites rivières peuvent être ainsi surveillées depuis l'espace. Grâce à ces travaux, un saut qualitatif a lieu en 2016 avec le lancement des satellites Copernicus qui diminuent par trois le niveau d'erreur. Les niveaux d'eau calculés sont désormais accessibles à tous sur le site Hydroweb.

PARTENAIRES

Agence nationale de l'eau (ANA), Brésil.
Service géologique du Brésil (CPRM).
Université de l'État d'Amazonas (UEA), Brésil

Commission internationale du bassin Congo-Oubangui-Sangha (CICOS), République démocratique du Congo

Autorité du bassin du Niger, Niger

Centre national d'études spatiales (Cnes), France



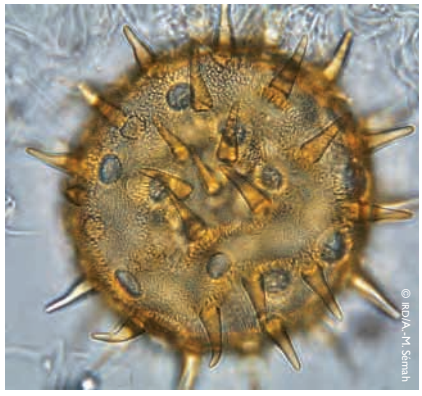
Le fleuve Amazone.

« Notre partenariat avec l'IRD a permis la formation d'étudiants à des technologies qui seront fondamentales pour le suivi hydrologique dans le futur. Aujourd'hui, la CPRM compte une équipe en hydrologie spatiale formée, grâce à l'IRD, au niveau doctorat ou maîtrise. Ces ingénieurs et techniciens contribuent ainsi au suivi hydrologique par satellite des régions reculées, ainsi qu'à l'utilisation de cette nouvelle source d'information pour compléter l'information produite par le Réseau de suivi hydrologique du Brésil. En retour, notre expertise en mesures de terrain et en campagnes fluviales, d'une part, et notre réseau de stations, d'autre part, ont un rôle important pour l'évolution de ces nouvelles technologies, puisqu'ils permettent la validation et le calibrage des données satellitaires. »

Daniel Médeiros Moreira, CPRM (Serviço Geologico do Brasil)

Explorateurs du passé climatique sud-américain

Quel sera le climat de demain ? La réponse à cette question passe par une meilleure connaissance des variations climatiques passées, à l'échelle planétaire autant qu'à l'échelle régionale. Or, les paléoclimats de certaines parties du monde sont peu étudiés.



Le pollen, un bon indicateur climatique, microscopie optique.



Mission sur le rio Napo, Équateur.

« Vous avez transporté du charbon jusqu'ici ? » À la fin des années 1970, une équipe de chercheurs s'étonne des techniques de cuisson utilisées lors d'une expédition transamazonienne. La réponse négative du cuisinier est à l'origine d'une découverte importante : il y a du charbon de bois en Amazonie, vestige de grands incendies qui ont par le passé ravagé la forêt. L'analyse au carbone 14 de ces charbons montre qu'ils se sont formés il y a 6 000 ans. Ce constat est à l'origine d'une série de recherches visant à connaître l'histoire alors inconnue du climat passé sud-américain.

À partir des années 1980, les chercheurs de l'Orstom s'intéressent ainsi aux lacs, et plus particulièrement aux sédiments lacustres. Ces derniers conservent en effet la mémoire des climats passés : les pollens, les crustacés ou les micro-organismes qui s'y déposent au fil des âges sont autant d'indices de la végétation ou de la température passées ; et la concentration de l'oxygène 18 permet en outre de connaître le niveau des précipitations. Ainsi, les chercheurs effectuent des carottages dans des dizaines de lacs de Bolivie, du Pérou et du Brésil. Ce faisant, ils parviennent pour la première fois à reconstituer les variations du climat sud-américain sur les 40 000 dernières années.

Une moisson de données inédite qui permet de pointer l'hétérogénéité climatique du continent sud-américain et de confirmer certaines hypothèses. Par exemple, il y a 6 000 ans, lorsque le Sahara était vert, le bassin amazonien a connu une période sèche due à une modification du régime des moussons, et qui est à l'origine des incendies évoqués. Plus près de nous, les données accumulées permettent de tester et de calibrer des modèles de simulation des variations passées et futures du climat.

PARTENAIRES

Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivie

Université Cayetano Heredia, Pérou

Université de Sao Paulo, université fédérale Fluminense, université de Ceara, université de Brasilia, Brésil

Une mer d'eau douce



Assèchement du lac Tchad.

Dès la fin des années 1950, l'Orstom s'est engagé dans l'observation pluridisciplinaire du lac Tchad. Un travail sur le long terme qui aujourd'hui permet d'instruire les différents scénarios de développement du lac.

Le lac Tchad est une étendue d'eau sans accès à la mer, soumise à l'évaporation, et qui pourtant n'est pas salée. Dès les années 1950, cette étrangeté amène des hydrologues, des pédologues et des biologistes à développer des recherches autour du lac qui à l'époque s'étend sur 20 000 kilomètres carrés. Ils analysent la mécanique hydrologique du système et montrent qu'en profondeur, les sels s'infiltrent dans l'aquifère, formant des nappes d'eau salée sur lesquelles reposent la couche d'eau douce. Mais ce travail cesse subitement dans les années 1970 à cause de la guerre et il ne reprendra qu'à la fin des années 1990. À l'époque, le lac s'est considérablement réduit. Une image satellitaire prise en 2001 lui donne une surface de 3 000 kilomètres carrés. Pour autant, les scientifiques ignorent comment interpréter cette variation en termes de fonctionnement ou d'évolution future. Plusieurs études sont alors lancées. Des travaux de terrain et de télédétection permettent de déterminer les variations passées du lac Tchad, et de montrer qu'il y a 8 000 ans, lors d'une période climatique particulièrement chaude, la superficie du lac était de 350 000 kilomètres carrés. Les fluctuations du lac Tchad ne datent donc pas d'hier.

En parallèle, les hydrologues mettent à profit les nouvelles technologies pour préciser la stratification actuelle des eaux dans l'aquifère. En surface, l'eau est douce mais riche en bactéries et non potable ; en profondeur, elle est salée mais potable. En améliorant la connaissance de la structuration des masses d'eau, la qualité des forages d'eau douce peut ainsi être optimisée.

Toutefois, en 2010, les problèmes sécuritaires mettent un nouveau frein aux recherches de terrain. Elles se poursuivent alors en reprenant les données accumulées depuis les années 1990 qui constituent une base de référence pour l'orientation des programmes de développement et d'aménagement du lac Tchad. Et notamment pour documenter les différents scénarios de transfert des eaux du bassin du Congo vers le bassin du lac Tchad, qui s'appuient en grande partie sur les données collectées par l'Orstom et l'IRD durant plusieurs décennies.



Mesure d'hydrologie, lac Tchad.

PARTENAIRES

Université de N'Djamena, Tchad

Université de N'Gaoundéré, Cameroun

Université Abdou Moumouni, Niamey, Niger

Ministère de l'Hydraulique et Directions régionales, Niger

Université de Maiduguri, Nigeria

Des sols dans tous leurs états

La modélisation hydrologique constitue aujourd'hui la base de la prévision des crues et des étiages. Elle permet notamment le bon dimensionnement des ouvrages d'art : barrages, ponts, buses et des réseaux d'irrigation.



Érosion hydrique, Niger.

La quantification du ruissellement de l'eau dans les bassins versants de la zone intertropicale est l'une des missions historiques de l'Orstom. Elle devait faciliter l'aménagement routier ou sanitaire de pays où tout restait à faire. Un travail de titan qu'à la fin des années 1970, des chercheurs entreprennent d'exploiter statistiquement. Objectif ? Créer un modèle permettant d'estimer le niveau des crues décennales, en connaissant simplement un nombre limité de paramètres comme la forme du bassin, le type de sol, la végétation et le régime des pluies. Mais cette idée originale se traduit par un échec. En effet, la nature des sols ne semble aucunement reliée au niveau de ruissellement mesuré en surface. Un paradoxe que les chercheurs peinent à comprendre.

••• L'état de surface des sols renseigne sur leur capacité à permettre le ruissellement de l'eau •••

Le déclic survient après 1980, lorsque les chercheurs comprennent que le sol tel qu'il est envisagé par les pédologues rend compte de son histoire, de sa formation, mais pas de ses propriétés de surface. Ces dernières varient en effet en fonction des usages agricoles, du couvert végétal ou des conditions climatiques. Cette réalité conduit les chercheurs à abandonner la notion d'unités hydrologiques fondées sur le sol au profit de celles fondées sur leurs « états de surface ».

Ces états peuvent notamment être mesurés à l'aide de grands arrosoirs transportables, les simulateurs de pluie. Ces dispositifs de terrain permettent alors de prévoir le niveau de ruissellement de l'eau à un endroit donné, et de dresser des cartes d'un genre nouveau, caractérisant les états de surface de sol. Ces données fournissent une représentation plus réaliste des transferts d'eau, et permettent à l'IRD de développer des modèles plus en phase avec la réalité. Ce progrès améliore de façon très significative l'acuité des prévisions des épisodes de crues, de basses eaux et voire de la qualité des eaux.

PARTENAIRES

Université de Niamey, Niger

Institut des régions arides, Tunisie

Department of Agricultural Land Management, Laos

Soils and Fertilizers Research Institute, Vietnam



Étude de ruissellement au Mexique.

« Les travaux sur l'étude de la dynamique des organisations pelliculaires de surface des sols sableux fins cultivés au Sahel ont montré que ces sols ont tendance à subir un encroûtement généralisé à l'origine de ruissellements importants.
Ces travaux ont surtout permis de mettre en évidence que ce phénomène est essentiellement dû à leur forte susceptibilité à la formation et l'extension de la croûte d'érosion, type d'état de surface le plus ruisselant que même une jachère de longue durée ne semble pouvoir significativement contrarier. »

Jean-Marie Ambouta Karimou, professeur à l'université Abdou Moumouni de Niamey, Niger

De sable, de poussière et de vent

Dans les milieux arides et semi-arides, les terres sont fragiles, très peuplées et soumises au vent. Dans ces régions, la prise en compte de l'érosion éolienne est au moins aussi importante que celle de l'érosion hydrique pour anticiper les évolutions des sols pour l'agriculture.



Mesure des poussières éoliennes, Niger.



Conteneur-laboratoire pour la mesure des poussières éoliennes, Niger.

Dans les années 1930, d'énormes tempêtes de poussières ravagent les cultures du « Dust Bowl », un vaste territoire à cheval entre le Texas, le Kansas et l'Oklahoma, jetant des milliers de paysans sur les routes. Les chercheurs américains s'aperçoivent alors que ces catastrophes sont liées à l'extension des surfaces agricoles qui favorise l'érosion éolienne de sols devenus trop fragiles. Leurs recherches aboutissent à des modèles d'érosion des sols très précis, mais difficilement transposables aux autres continents.

• • • De la nécessité d'analyser et de modéliser l'érosion éolienne au Sahel • • •

C'est pourquoi, dans les années 1990, des chercheurs de l'IRD et du CNRS entreprennent l'étude de l'érosion éolienne au Sahel, une région cultivée, très peuplée et dont les poussières peuvent aller jusqu'à fertiliser la forêt amazonienne. Ils commencent par décrire le processus à différentes échelles, du grain de sable déplacé sur quelques mètres aux poussières transportées à l'échelle du terroir. Entre 2006 et 2010, dans le cadre de la campagne AMMA, ils installent au Niger un dispositif pour mesurer les flux de poussières comprenant une tour de 6 mètres et un laboratoire enterré. Il s'agit de connaître le nombre, la distribution en taille et la composition des particules transportées par le vent. Ils installent également trois stations de suivi des poussières, toujours opérationnelles, dans la bande sahélienne, au Niger, au Mali et au Sénégal.

Ils montrent ainsi que la période d'érosion éolienne la plus intense au Sahel ne se situe pas lors de la saison sèche, comme attendu, mais au début de la saison des pluies, de mai à juin. Cette érosion est accentuée par la mise en culture des terres ou par le ramassage systématique des résidus agricoles qui conduisent à une quasi-absence de végétation lors de cette période de l'année. Ces travaux visent entre autres à modéliser la perte progressive de la fertilité des sols sahéliens.

PARTENAIRES

Université Abdou Moumouni, Niamey Niger

Institut des régions arides de Médenine, Tunisie

UMR LISA (Laboratoire interuniversitaire des systèmes atmosphériques), UMR iEES-Paris, UMR ISPA Inra Bordeaux



Mesure de l'érosion éolienne, Tunisie.

« Les portées ou l'intérêt des recherches sur l'érosion éolienne au Niger, initiées ou développées grâce à l'IRD, se situent à trois niveaux : 1) fondamental, pour la compréhension des processus de cette menace dans le contexte sahélien et nigérien ; 2) académique, à travers la formation de plus en plus d'étudiants dans ce domaine et l'amélioration des modules sur « la gestion et la conservation des terres » *via* les résultats issus de mesures *in situ* ; et 3) pratique, *via* les axes stratégiques de fixation des dunes ou de restauration des terres. »

Amadou Abdourhamane Touré, UAM / FAST / Département de géologie, Niamey, Niger

La forêt guyanaise cataloguée

Les forêts de Guyane représentent en superficie un tiers de la forêt française. Un territoire immense et largement inhabité, dont la gestion revient pour les deux tiers à l'Office national des forêts (ONF), le Parc amazonien de Guyane (PAG) couvrant le tiers Sud du territoire. D'où la nécessité de disposer d'une vue d'ensemble de la diversité et de la fragilité du couvert forestier.



Inselberg de la forêt guyanaise.

La forêt amazonienne n'est pas homogène. Elle est composée d'une mosaïque d'habitats que les gestionnaires s'emploient à cartographier. Un objectif hors de portée des travaux d'inventaires de terrain. En Guyane, ce constat a conduit l'ONF à collaborer avec l'IRD et le Cirad au début des années 2000, pour développer des techniques de télédétection permettant d'extrapoler les connaissances de terrain.

••• Des inventaires de terrain et des outils de télédétection permettent de cartographier les habitats forestiers de Guyane •••

Les chercheurs décident alors d'utiliser les données du satellite américain *SRTM* dont les ondes radar donnent accès à la géomorphologie, c'est-à-dire à l'organisation spatiale du relief et des sols à l'échelle du territoire. Cette démarche fait écho aux travaux de pédologie qui, dans les années 1970-1980, avaient montré que les variations des propriétés physico-chimiques des sols influencent la composition en espèces de la communauté d'arbres qui s'y installe. Ces variations ont pour origine l'altération par érosion superficielle de sols très anciens qui se sont formés dans des conditions climatiques différentes de celles d'aujourd'hui.

De fait, la géomorphologie peut être utilisée pour déterminer non seulement la nature des sols mais aussi le type de forêt qui s'y développe. Cette méthodologie, croisée aux inventaires de terrain, a permis d'établir un catalogue d'une vingtaine d'habitats forestiers de Guyane. Publié en 2015, il est rapidement devenu un document incontournable pour établir les plans de gestion forestière. Ce document a attiré l'attention des gestionnaires forestiers des pays limitrophes, notamment du Suriname et de l'État brésilien de l'Amapa, avec qui l'IRD collabore aujourd'hui pour y appliquer la même approche. Plus récemment, une cartographie du même type a été lancée sur le bassin du Congo, en Afrique centrale, où se trouve la deuxième plus grande forêt tropicale au monde.

PARTENAIRES

Inra, Cirad, ONF, ONCFS

Parc amazonien de Guyane SBB (gestion forestière, Suriname)

IEPA et EMBRAPA, Brésil



Vue aérienne de la forêt guyanaise.

« Très rapidement, l'ONF, en tant que gestionnaire forestier, a pris conscience de la responsabilité qui lui incombait et notamment de la nécessité de mieux comprendre pour mieux gérer l'écosystème qui l'entourait. Outre les compétences internes dont l'ONF pouvait disposer, il a très vite développé des partenariats avec les organismes de recherche, dont le Cirad et l'IRD. Ces partenariats se poursuivent aujourd'hui dans le cadre de projets tels que Habitats ou Dynfordiv, avec une volonté d'amélioration continue des principes et règles de gestion de la forêt tropicale guyanaise. »

Olivier Brunaux, Direction régionale de Guyane, responsable de l'Unité territoriale de Cayenne

Des pâturages et des hommes sous perfusion glacière



Étude de la biodiversité, Bolivie.

Dans les Andes tropicales, à l'aval des glaciers, un écosystème très particulier, vital pour les sociétés locales, est menacé par le changement climatique. Des images satellitaires couplées à des données de terrain permettent de proposer des scénarios d'évolution à long terme.



Pâturage d'alpacas dans les *bofedales*, Bolivie.

2012 : sur les hauts plateaux de Bolivie, des chercheurs étudient un papillon ravageur de la pomme de terre. Là, ils entendent parler des *bofedales*, des oasis de verdure qui suivent les cours d'eau et contrastent avec les paysages arides de la région. Peu connus, ces écosystèmes sont moins complexes que ceux situés plus en aval puisqu'ils sont dominés par une espèce végétale, ce qui pourrait permettre de modéliser leur interaction avec l'environnement physique, notamment les précipitations et les glaciers.

C'est ainsi que les chercheurs commencent à travailler sur les *bofedales*. Il apparaît alors que ces écosystèmes sont vitaux pour les populations locales, qui y font paître leur bétail. Prévoir leur évolution dans un contexte de changement climatique est donc un enjeu majeur pour la région. C'est pourquoi les chercheurs choisissent de reconstituer leur évolution récente en étroite relation avec l'eau, et donc avec les glaciers qui les surplombent. Glaciers suivis par les scientifiques depuis trente ans.

En croisant les données de terrain avec des images satellitaires, les chercheurs trouvent une relation entre la surface occupée par les 1 700 *bofedales* étudiés et la fonte des glaciers observée depuis la fin des années 1970. Approvisionnés en eau toute l'année, y compris en période sèche, les *bofedales* proches des glaciers se portent aujourd'hui particulièrement bien. Ils sont plus étendus et supportent une pression de pâturage élevée.

Cet état de grâce cessera lorsque les glaciers auront disparu. L'absence d'eau lors de la saison sèche devrait alors réduire la surface des *bofedales*, qui pourraient ne plus supporter le pâturage. Un signal d'alerte entendu par les populations locales, qui testent dès à présent des stratégies de protection, en restreignant l'accès à certains *bofedales* pendant la saison humide ou en tentant de retenir l'eau par différents procédés.

PARTENAIRES

Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Équateur

Universidad Mayor de San Andrés, Bolivie



Pêche à l'anchois, remontée du chalut, Pérou.

La part des oiseaux

Entre pêche durable et surpêche, c'est la guerre des chiffres. Quel est le seuil de prélèvement acceptable pour permettre le renouvellement des stocks de poissons et le maintien de l'écosystème ? Telle est la question.

Voici une recherche publiée en 2011 dans la revue *Science* qui n'aura pas coûté cher. À peine deux réunions. Tout commence par une discussion entre deux scientifiques. L'un, sud-africain, est convaincu que la surpêche des stocks d'anchois et de sardines a un impact sur le succès reproducteur des oiseaux marins. Ses données le prouvent mais, comme elles sont très localisées, elles ne suffisent pas pour convaincre les autorités locales de modifier le niveau des prélèvements. L'autre, chercheur à l'IRD, a alors une idée. Pourquoi ne pas réunir toutes les données mondiales portant sur le suivi des populations des oiseaux marins et sur celui des poissons pêchés pour voir s'il est possible de trouver une relation entre les deux ?

Le chercheur consulte alors son réseau et tous ceux qui sont susceptibles de détenir des observations sur le long terme – 20 à 40 ans – de la survie ou du succès reproducteur d'oiseaux marins en lien avec des données de pêche. Comme ces experts se montrent réticents à l'idée de partager leurs données, une solution pragmatique est imaginée. Il s'agit d'organiser une réunion où chacun amènerait ses données et les mettrait temporairement en commun pour vérifier si, oui ou non, il y a un effet. La stratégie fonctionne et les scientifiques découvrent l'existence d'un seuil de prélèvement des poissons au-dessus duquel le succès reproducteur des oiseaux marins est affecté par manque de nourriture. Cet effet sera analysé en détail lors d'une seconde réunion.

En comparant des données de sept écosystèmes marins situés dans l'Arctique, l'Antarctique, le Pacifique et l'Atlantique, portant sur quatorze espèces d'oiseaux côtiers et 483 années d'observations cumulées, les chercheurs calculent que l'abondance des espèces fourrages (sardine, anchois, hareng, krill…) ne doit pas tomber sous le tiers de l'abondance maximale observée sur le long terme, sans quoi le succès reproducteur des oiseaux décline. Ce seuil a depuis été intégré dans les différentes politiques de gestion de la pêche dans le monde. La mise en commun de données internationales a ainsi permis de revoir le niveau de prélèvement optimal pour les poissons pélagiques comme les sardines et les anchois.



Oiseaux marins suivant la remontée du chalut, Pérou.

PARTENAIRES

Marine Research Institute and Zoology Department, University of Cape Town, Afrique du Sud

Ministry of Fisheries and Marine Resources, Lüderitz Marine Research, Lüderitz, Namibie

Farallon Institute for Advanced Ecosystem Research, Californie, États-Unis

Stockholm Resilience Centre, Stockholm University, Stockholm, Suède

British Antarctic Survey, Cambridge, Royaume-Uni

Découverte de super-coraux en Nouvelle-Calédonie

L'acidification et le réchauffement des océans devraient avoir des conséquences dramatiques sur les récifs coralliens. Or, en Nouvelle-Calédonie, certains coraux résistent dans des conditions tout à fait inattendues.



Étude du blanchissement corallien, Nouvelle-Calédonie.

En 2016, une collaboration avec une équipe australienne conduit des chercheurs de l'IRD travaillant en Nouvelle-Calédonie à recenser tous les coraux situés à proximité des mangroves. Et à Bouraké, ils découvrent un récif corallien étonnant, qui prospère dans des conditions extrêmes de température, de pH et d'oxygénation. Des conditions environnementales qui pourraient ressembler à celles attendues pour la fin du siècle, celles qui justement, d'après les expériences conduites en aquarium, doivent sonner le glas des coraux. Et donc ces projections se trouvent nuancées par la découverte du site néo-calédonien.

••• Certains coraux peuvent survivre dans des conditions physico-chimiques tout à fait inattendues •••

Depuis 2016, les chercheurs analysent ce site unique au monde et considéré comme un laboratoire naturel permettant d'étudier les capacités d'adaptation des récifs coralliens face à des modifications environnementales. Ils découvrent ainsi qu'une cinquantaine d'espèces de coraux se sont adaptées à ce milieu plus acide, plus chaud et pauvre en oxygène. Or, fait surprenant, ailleurs dans le monde, ces mêmes espèces sont les premières à succomber aux fortes chaleurs.

« L'écosystème corallien constitue pour les Calédoniens un patrimoine naturel et culturel fondamental et vital, il nourrit les hommes dans tous les sens du terme, et participe pleinement à la construction des codes de fonctionnement des sociétés et de leurs identités. »

Didier Poidyaliwane, membre du Gouvernement en charge des affaires coutumières, de l'écologie, du développement durable, des relations avec le Sénat coutumier, les conseils coutumiers et les terres coutumières, Nouvelle-Calédonie



Blanchissement corallien, Nouvelle-Calédonie.

Lors des fortes températures de 2016, seulement 20 % des coraux du « site laboratoire » de Bouraké ont blanchi, contre 100 % pour le reste de la Nouvelle-Calédonie. Cette capacité de résistance inattendue pourrait leur être conférée par une symbiose avec une algue unicellulaire particulière, thermorésistante, mais aussi par des facteurs qui restent à découvrir et probablement liés à la proximité des mangroves. Pour tenter d'en apprendre davantage, les chercheurs effectuent le suivi du milieu, tentent différentes expérimentations et analysent le matériel génétique des algues.

La présence de coraux vivant dans ces conditions environnementales, comparables et même pires que celles prévues d'ici 2100, donne l'espoir que certains coraux pourraient survivre au réchauffement climatique, voire que l'on pourrait sauver ou repeupler certaines des zones endommagées.

PARTENAIRES

Université de la Nouvelle-Calédonie

Aquarium des lagons, Nouvelle-Calédonie

University of Technology, Sydney, Australie

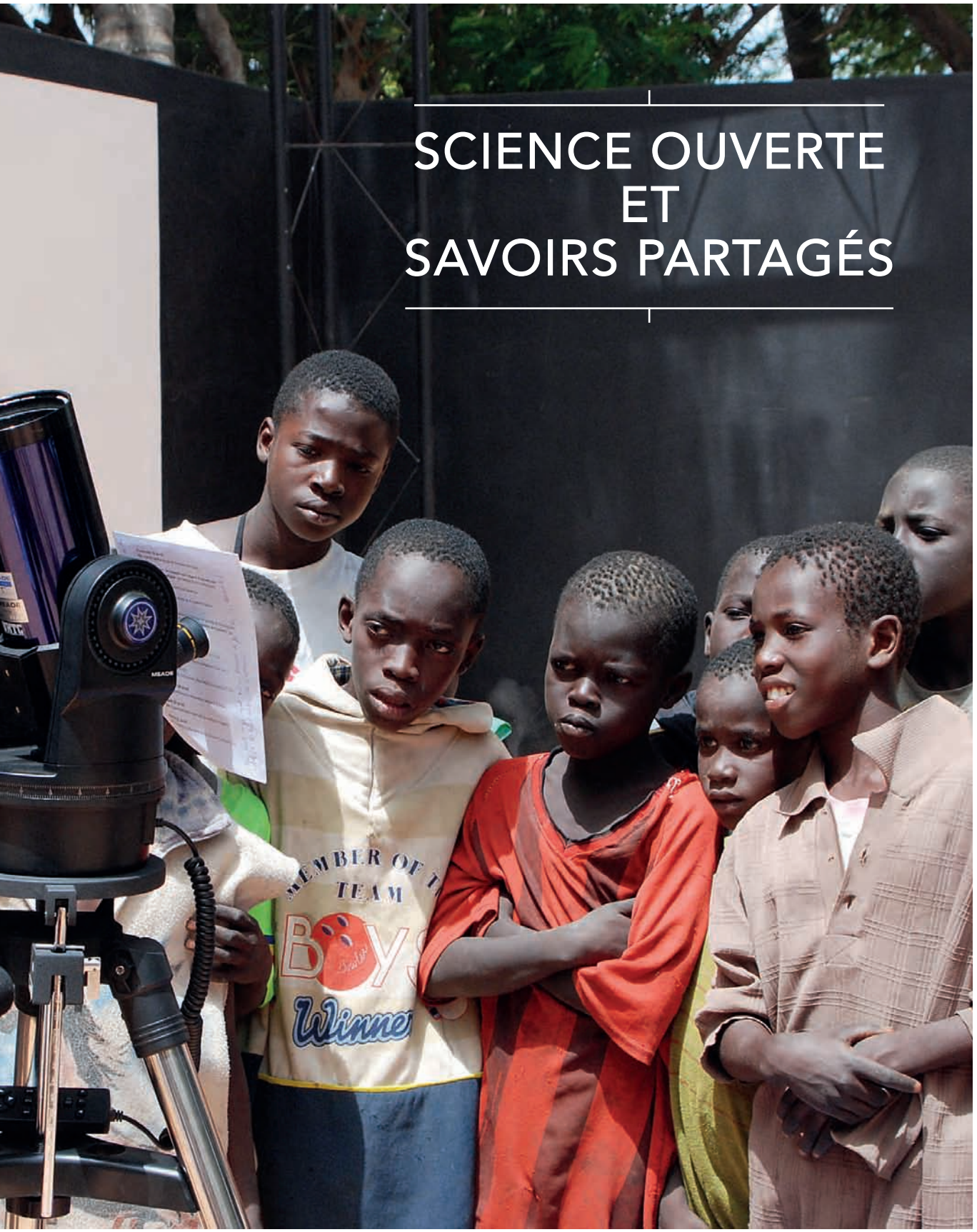
Université de Milan-Bicocca, Italie

PARTIE 5

Pour contribuer de manière effective au développement, les connaissances, fruits de la recherche, doivent être diffusées, partagées et appropriées par le plus grand nombre. Fort de ce principe dont il a fait l'un de ses objectifs prioritaires, l'IRD s'est de longue date attaché à mettre en place une grande diversité d'outils et de dispositifs au service du partage des savoirs et des données de la recherche. Il participe ainsi à renforcer les capacités des communautés scientifiques du Sud et à permettre aux citoyens d'être des acteurs à part entière du développement.



SCIENCE OUVERTE ET SAVOIRS PARTAGÉS



Soutenir des équipes scientifiques

Dans les années 1990, l'IRD prend conscience d'une réalité amère : malgré les investissements et les efforts de collaboration, beaucoup de pays du Sud ne parviennent pas à développer une recherche de qualité. Et leurs difficultés économiques n'expliquent pas, à elles seules, cet échec.



JEAI en hydrogéophysique, Bénin.

L'IRD est un organisme de recherche, certes, mais dont la vocation n'est pas seulement de produire des connaissances nouvelles. Parmi ses finalités figure l'aide au développement des pays du Sud, et le déploiement de leurs systèmes de recherche propres est une façon d'y contribuer. Un objectif qui pendant des décennies s'est traduit par des opérations de formation et de soutien d'étudiants du Sud. Mais cette stratégie s'est révélée peu efficace car une fois formés, les jeunes chercheurs, souvent très isolés et peu soutenus financièrement, finissaient par perdre en compétences ou changer de trajectoire professionnelle.

••• L'IRD propose des bourses pour financer des équipes de recherche, ou aider à leur maturation scientifique •••

Ce constat a amené l'IRD à modifier sa stratégie en 1994 : plutôt que de former des individus, l'Institut décide de soutenir des équipes de recherche intégralement issues des pays partenaires. Avec le programme « AIRE développement » qui s'est prolongé jusqu'en 2005, quelque 35 équipes étrangères ont bénéficié d'un soutien financier sur six ans et ont entretenu des contacts privilégiés avec les huit organismes de recherche français participant au programme. Cela a permis de pérenniser les groupes de recherche et de leur donner une visibilité suffisante pour qu'ils puissent obtenir d'autres financements internationaux… et accéder ainsi à une plus grande autonomie.

En parallèle, le programme « AIRE développement » a révélé l'existence d'équipes motivées mais scientifiquement trop jeunes pour prétendre à un financement de la part du programme. Pour elles, l'IRD a créé dès 2000 le programme « jeune équipe associée » (JEAI), une bourse sur trois ans

PARTENAIRES

Universités, organismes de recherche, ministères en charge de l'Enseignement supérieur et de la Recherche des pays du Sud

« Le programme “ AIRE développement ” était un dispositif fondé sur quatre piliers : l'ouverture thématique, l'excellence scientifique, la structuration de la recherche et la formation des formateurs. Dans un environnement marqué en Afrique par un tarissement des financements pour l'enseignement supérieur et la recherche, à la faveur des plans d'ajustement structurel, l'IRD est devenu à travers cette initiative un acteur majeur de la coopération scientifique. »

Maurice Tchuenté, initialement enseignant-chercheur en informatique, puis recteur d'université, puis ministre de l'Enseignement supérieur et de la Recherche du Cameroun. Il est actuellement membre du conseil scientifique de l'IRD



L'équipe JEAI au Cameroun.

permettant à une équipe de travailler en étroite collaboration avec l'IRD pour gagner en compétences et en maturité. Dans le prolongement de ces dispositifs, l'Institut a aussi mis en place des « laboratoires mixtes internationaux » (LMI), structures opérationnelles implantées dans les locaux des partenaires du Sud, construites autour d'une thématique de recherche bien ciblée et d'une plateforme scientifique pérenne (laboratoire, gros équipement, moyens de calcul, centre documentaire, …). Enfin, l'IRD a aidé à la création de nouvelles filières de formation et à la mise en place de systèmes d'évaluation de la recherche ou de l'enseignement.

Moustiques, virus et mondialisation

L'émergence de maladies virales transmises par les moustiques en milieu urbain dans l'hémisphère Nord révèle la nécessité de collaborations fortes entre chercheurs du Nord et du Sud. Le vectopôle de Montpellier permet aux chercheurs et étudiants du monde entier de mener ensemble des recherches innovantes dans le domaine de la biologie et du contrôle des insectes vecteurs.



Mouche tsé-tsé (*Glossina* sp.), vecteur de la maladie du sommeil en Afrique, marquée avec une poudre fluorescente.

Dengue, maladie à virus, Zika, chikungunya, il y a dix ans à peine, ces maladies étaient inconnues du grand public. Avec la conquête de nos villes par le moustique tigre notamment, ces virus aux noms exotiques que l'on croyait cantonnés aux régions tropicales se sont rapprochés des zones tempérées. Non pas tant du fait du changement climatique, mais plutôt de celui de la mondialisation qui, au gré des transports de passagers et de marchandises, a permis la propagation des maladies et des œufs de moustiques vecteurs, africains ou asiatiques. Résultat : longtemps oubliées dans l'hémisphère Nord, ces maladies et ces vecteurs connus et étudiés au Sud par les chercheurs de l'IRD et leurs partenaires représentent aujourd'hui une menace sanitaire à l'échelle mondiale. La mobilisation des chercheurs du Nord et du Sud, la mutualisation de leurs expériences et expertises sont les leviers de solutions innovantes pour une gestion durable de ce risque vectoriel désormais mondialisé.

Les besoins en recherche et en formation sont à la hauteur du défi à relever. C'est pourquoi l'IRD et la région Occitanie ont investi plus de 2,5 millions d'euros dans la construction du vectopôle, une plateforme unique en Europe, constituée de 350 m^2 de laboratoires confinés, qui permet aux chercheurs de travailler en toute sécurité sur des insectes piqueurs, infectés ou non par un virus, une bactérie ou un parasite. Ils y étudient le comportement des insectes, leur capacité à transmettre différents agents infectieux ou encore l'évolution des résistances aux insecticides.

« L'Institut Pasteur de Bangui mène en parfaite collaboration avec l'équipe de l'IRD des projets de recherche sur les vecteurs d'arbovirus et de paludisme, dont certains nécessitent obligatoirement un accès à la plateforme du vectopôle de l'IRD. Ainsi, pour les trois thèses (de 2012 à 2019) en entomologie médicale menées au sein de l'IPB, une partie des recherches ont été réalisées dans le cadre de la plateforme. »

Dr Carine Ngoagouni, Institut Pasteur de Bangui, République centrafricaine



Laboratoire commun du vectopôle à Montpellier, confinement maximal (I3) pour l'étude des interactions vecteurs-pathogènes.

••• Une plateforme pour la recherche et la formation •••

Opérationnel depuis 2015, le vectopôle est devenu la pierre angulaire d'un réseau d'insectariums montpelliérains où les recherches sont élargies aux vecteurs de maladies animales et aux ravageurs des cultures. Le consortium nommé vectopôle Sud anime ainsi des recherches au croisement d'enjeux majeurs en santé humaine, animale et environnementale, qui se déclinent dans les environnements du Nord comme du Sud. Cette approche de santé globale permettra de faire des liens entre des savoirs jusque-là trop compartimentés, tant thématiquement que géographiquement.

Site internet du consortium vectopôle Sud : http://www.vectopole-sud.fr/

PARTENAIRES

Institut de recherche en sciences de la santé (IRSS), Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Institut Pasteur de Bangui, Bangui, République centrafricaine

Institut Pierre Richet (IPR), Bouaké, Côte d'Ivoire

Centre international de recherches médicales de Franceville (CIRMF), Gabon

University of Science and Technology of Hanoï (USTH), Hanoï, Vietnam

University of California Davis, États-Unis

Pour la création de centres de recherche clinique en Afrique



Suivi des patients, CERFIG, Guinée.

En Afrique, l'émergence de centres de recherche conçus et administrés avec les partenaires, ouverts aux chercheurs du Nord comme du Sud, constitue un nouveau modèle de coopération et de développement scientifique.



Centre de recherche et de formation en infectiologie (CERFIG), Guinée.

PARTENAIRES

CRCF : Centre hospitalier national universitaire de Fann, université Cheikh Anta Diop, ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation du Sénégal, Progamme national de lutte contre le sida, (PNLS), Sénégal, IRD, IMEA, ANRS

CERFIG : université Gamal Abdel Nasser de Conakry, l'Institut national de Santé publique de Guinée, IRD, Inserm, université de Montpellier

IRCB : Centre de lutte intégrée contre le paludisme (CLIP), Faculté des sciences de la santé de l'université d'Abomey-Calavi (FSS/UAC), IRD, Inserm

Dans les années 2000, une importante étude clinique est lancée au Sénégal pour démontrer que la trithérapie antirétrovirale peut être mise en place en Afrique pour les personnes vivant avec le VIH. Il nécessite une plateforme réunissant dans un même lieu tout ce qui est nécessaire à la prise en charge des patients et à une recherche de qualité. C'est ainsi que, fruit de longues années de collaboration entre l'IRD et ses partenaires, et avec le soutien de l'UE et de l'ANRS, le Centre régional de recherche et de formation à la prise en charge clinique de Fann (CRCF) est né en 2005. Situé au cœur du centre hospitalier universitaire de Dakar, le lieu est aussi une plateforme ouverte les formations des chercheurs du Sud comme du Nord.

De manière comparable, lors de l'épidémie à virus Ebola (2013-2016) en Guinée, la nécessité de mise en place d'un suivi des survivants a abouti à l'ouverture d'un établissement centralisant là aussi les moyens et les compétences : le Centre de recherche et de formation en infectiologie de Guinée (CERFIG), géré par les partenaires depuis novembre 2017, accueille des études pluridisciplinaires sur les maladies émergentes chez l'homme et les animaux.

Parallèlement, au Bénin, la réalisation de plusieurs essais multicentriques de traitement et de prévention du paludisme ainsi que la mise au point d'un vaccin antipaludique destiné aux femmes enceintes ont motivé la création de l'Institut de recherche clinique du Bénin (IRCB). Partant d'une pathologie particulière, tout comme le CRCF et le CERFIG, c'est une plateforme qui s'est ouverte à l'ensemble des maladies transmissibles ou non, destinée à organiser et à participer à des essais multicentriques dans la sous-région francophone.



Échantillonnage de larves, Bénin.

Former des veilleurs sanitaires

Les épidémies de paludisme, de dengue ou de chikungunya rendent nécessaire la surveillance au long cours des insectes vecteurs de ces maladies. Une mission remplie entre autres par les entomologistes médicaux.

À la fin des années 1990, un constat s'impose : alors que les maladies vectorielles sont toujours présentes, voire en progression, le nombre d'entomologistes médicaux se réduit. Or sans eux, comment repérer la présence des vecteurs sur le terrain ? Ces professionnels sont en effet les seuls capables de déterminer si les insectes sont ou non porteurs de maladies. Une compétence cruciale qui pourtant fait défaut, faute de formations académiques dédiées, notamment en France.

Cette réalité pousse des chercheurs à créer en 2006 un master international d'entomologie médicale et vétérinaire (MIE) à l'université d'Abomey-Calavi, au Bénin, en partenariat avec l'université de Montpellier. En 2015, la formation est déplacée en Côte d'Ivoire, à Bouaké, à l'université Alassane-Ouattara.

La première année se déroule à la fois en France et en Côte d'Ivoire, la seconde en Côte d'Ivoire (trois mois) et au Burkina Faso (un mois). Ensuite, les étudiants suivent un stage de recherche en France ou à l'étranger. La position géographique du MIE n'a rien d'anodin, car elle permet aux étudiants de s'immerger réellement dans les zones de transmission des principales maladies vectorielles tout en accédant à des laboratoires de pointe du domaine.

Depuis sa création, le MIE a formé 116 étudiants issus de 26 pays différents, dont certains non francophones (Ghana, Bolivie, Cap-Vert et Guinée équatoriale). Quarante-cinq thèses ont été soutenues ou sont en cours. Les débouchés sont importants, puisque les jeunes sont ensuite recrutés dans des universités, des institutions de recherche mais aussi dans des programmes nationaux de lutte, des ONG, ou encore dans des entreprises privées œuvrant pour la lutte antivectorielle. Le MIE a également développé une offre de cours à distance et permis la formation d'un réseau d'entomologistes en France et en Afrique.



Formation du MIE, Cotonou, Bénin.

PARTENAIRES

Université Alassane Ouattara, Bouaké, Côte d'Ivoire

Institut Pierre Richet, Bouaké, Côte d'Ivoire

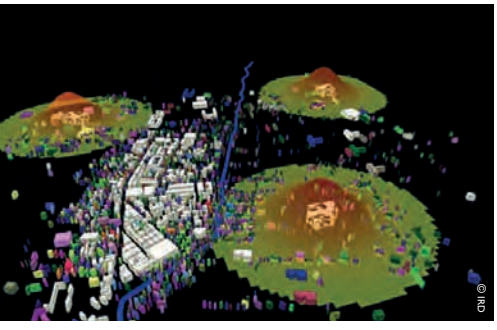
Institut de recherche en sciences de la Santé, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Centre inter-régional de recherche-développement sur l'élevage en zone sub-humide, Bobo-Dioulasso, Burkina Faso

Université de Montpellier, France

La modélisation « libérée »

Les nouvelles approches de modélisation et simulation informatiques permettent d'évaluer par des expérimentations virtuelles les conséquences de décisions politiques, de catastrophes naturelles ou de mesures sanitaires. Mais elles restent souvent l'affaire d'experts en informatique, parfois très déconnectés des réalités de terrain.



Modélisation de la crue du Fleuve Rouge à Hanoï.

En 2006, au Vietnam, une équipe travaille sur la simulation d'une épidémie de grippe aviaire. L'objectif est alors de visualiser la propagation du virus H5N1 entre les villages et de saisir l'impact des décisions politiques sur le cours de l'épidémie. L'équipe découvre alors que la propagation observée des épidémies de grippe aviaire ne peut être simulée que si le virus est capable de survivre dans l'eau et pas seulement dans les populations d'oiseaux sauvages. Une condition dont la véracité est confirmée par des études de laboratoire, prouvant l'intérêt d'une approche que l'équipe appliquera plus tard à la gestion des secours en contexte de catastrophe naturelle.

Un changement de problématique et d'applications qui incite les chercheurs à trouver une forme de généralisation commune aux différents types de phénomènes étudiés. Ils décident ainsi de créer un logiciel tout-terrain capable de modéliser une gamme potentiellement infinie de phénomènes dynamiques grâce à la programmation d'objets informatiques appelés « agents », dans des domaines aussi variés que l'épidémiologie, l'évolution de l'occupation des sols, la gestion des ressources partagées ou encore la mobilité urbaine.

En 2010, ils mettent en ligne GAMA (http://gama-plaform.org), un logiciel libre de modélisation et de simulation des phénomènes spatialisés. Il fonctionne avec un langage unique et intuitif, GAML, imaginé spécialement par l'équipe pour être manipulé facilement par des non-experts. Pour les chercheurs, il s'agit de rendre accessible au plus grand nombre la modélisation et de démocratiser cette approche par modèles, en offrant en particulier des outils de visualisation permettant de réaliser des analyses poussées des phénomènes simulés, que ce soit sous forme de cartes animées, de représentations réalistes en 3D ou de jeux sérieux, dans lesquels des agents artificiels sont remplacés par des individus bien réels capables d'interagir avec la simulation. GAMA est aujourd'hui utilisé par environ 2 000 modélisateurs dans le monde.

PARTENAIRES

Vietnam national University, Hanoï, Vietnam

University of Can Tho, Vietnam

University of Wageningen, Pays-Bas

Université Paris-Sud, France

Université de Toulouse 1, France

Université de Rouen, France



Calculs géométriques dans SavGIS.

Un SIG maison

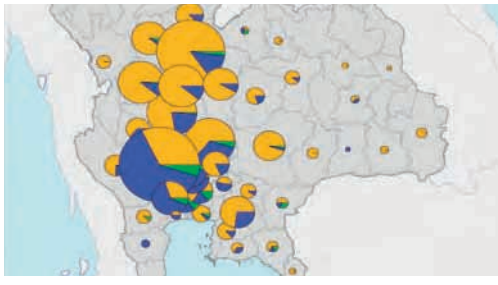
Au début des années 1980, les systèmes d'information géographique (SIG) n'ont pas encore pris l'essor qu'on leur connaît aujourd'hui, et les logiciels commerciaux sont inexistants. L'Orstom développe alors une plateforme capable de gérer et de représenter des données géolocalisées.

Deux millions de lignes de code, telle est la taille d'un système d'information géographique (SIG) unique, né et développé au sein de l'Institut. Tout commence dans les années 1980 au centre de recherche de Bondy où, dans un service dédié, des cartographes donnent un sens visuel aux données fournies par les chercheurs. L'idée germe alors de créer un logiciel capable de gérer et traiter rapidement des informations géographiques. L'approche est, pour l'époque, aussi innovante qu'audacieuse. Quelques développeurs sont recrutés, des ordinateurs pourvus de périphériques graphiques sont achetés et en 1986, le logiciel permet déjà de dresser un cadastre numérique en Martinique.

Dans la foulée, il est renforcé et utilisé pour la réalisation d'un *Atlas de la ville de Quito*. Une base de données dédiée est créée, qui regroupe toutes les informations géolocalisées de la ville, qu'il s'agisse de la démographie ou des réseaux de transports, en passant par la géologie ou la topographie à grande précision... Aujourd'hui encore, elle continue d'être utilisée et mise à jour par la municipalité de Quito.

Baptisé SavGIS, le développement du logiciel s'est poursuivi, permettant de dresser des cartes géologiques, urbaines, ou de sites archéologiques... Capable de gérer et de croiser des millions de données, il acquiert dans les années 1990 la capacité d'intégrer des images aériennes et satellitaires, qui permettent par exemple d'analyser l'architecture et l'environnement des camps de réfugiés au Kenya. Par la suite, il offrira également la possibilité de réaliser des modélisations spatialisées, et ainsi de simuler plusieurs épidémies en Asie du Sud-Est ou en Afrique, ou d'analyser des risques sanitaires en Thaïlande et au Laos.

Accessible sur internet (www.savgis.org), SavGIS est gratuit. Il a déjà fait l'objet de plus de 10 000 téléchargements réalisés en particulier par des internautes des pays africains. Francophone, il dispose de nombreux fonds de cartes et jeux de données géolocalisées téléchargeables.



Modélisation des risques sanitaires : occurrences de grippe aviaire dans les fermes avicoles, 2004-2008, Thaïlande.

PARTENAIRES

Municipalité du district métropolitain de Quito, Équateur

Institut panaméricain de géographie et d'histoire

Centre international de recherches médicales de Franceville, Gabon

Asian Institute of Technology, Thaïlande

Center for vectors and vector borne diseases, Mahidol University, Thaïlande

Institut Pasteur du Cambodge, Phnom Penh, Cambodge

Des données publiques sur les pêches ouest-africaines

L'IRD rend publiques des données collectées dans les écosystèmes estuariens, lagunaires et continentaux d'Afrique de l'Ouest.



Pêche des huîtres de mangrove, Sine Saloum, Sénégal.



Bateau d'échantillonnage des pêches, Sénégal.

Pour appréhender l'évolution des écosystèmes, il est indispensable de collecter des données de terrain. Et si possible, sur le long terme. Or ce type d'information manque dans certaines régions du monde comme en Afrique de l'Ouest.

C'est pourquoi, en 2000, des chercheurs de l'IRD ont compilé, à partir de leurs archives, toutes les informations concernant les peuplements de poissons des lagunes, des estuaires et des plans d'eau continentaux de cette région. Leur travail a abouti à la création en 2006 du Système d'informations sur les peuplements de poissons et la pêche artisanale des écosystèmes estuariens, lagunaires ou continentaux d'Afrique de l'Ouest (PPEAO – http://ppeao.ird.fr).

Il s'agit d'une base de données publique réunissant toutes les informations brutes obtenues entre 1978 et 2013 dans le cadre de différents projets de recherche. Certaines données sont le fruit de pêches expérimentales réalisées par les chercheurs (plus de 5 300 coups de pêche) ; d'autres sont issues d'enquêtes effectuées auprès de pêcheurs artisans (plus de 110 000 enquêtes au débarquement).

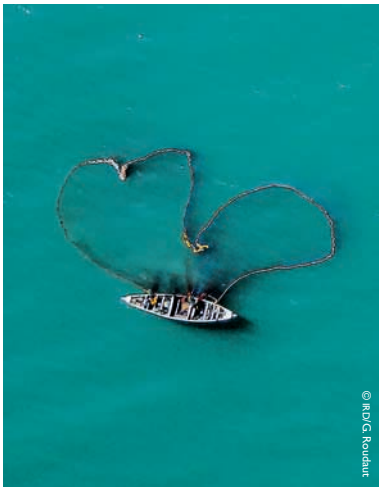
Cette base de données a permis de reconstituer l'évolution des peuplements de poissons notamment au Sénégal, dans les estuaires de la Casamance et du Sine Saloum, où la salinité des eaux a augmenté dans la seconde moitié du XX^{e} siècle. Elle a aussi permis d'étudier les effets de la mise en place d'aires marines protégées au Sénégal, en Guinée-Bissau et en Mauritanie. Les occurrences d'espèces collectées lors des pêches expérimentales ont été versées en 2016 au Système mondial d'information sur la biodiversité (GBIF – www.gbif.fr).

PARTENAIRES

Centre de recherches océanographiques de Dakar-Thiaroye, Sénégal

Centre de recherches océanographiques d'Abidjan, Côte d'Ivoire

Centre national des sciences halieutiques de Boussoura, Guinée



Pêche à la senne, Sénégal.

Cartographie des réglementations

Les espaces maritimes côtiers du Sud se caractérisent par la diversité et la spécialisation sectorielle des règles applicables à l'environnement. En résulte un manque de lisibilité, voire un manque de connaissance du droit applicable. Un problème auquel il devient urgent d'apporter des solutions.

C'est en navigant dans la baie du Saloum au Sénégal que des chercheurs de l'IRD et de l'IUCN ont pris conscience, en 2010, de la complexité du millefeuille réglementaire régissant les zones maritimes du Sud. Et surtout, de son manque de lisibilité, puisque sur une même zone se superposent des règles de pêche, d'exploitation pétrolière et de protection de la nature. Ce constat est à l'origine de la réalisation en 2013 de différents atlas réglementaires pour les espaces maritimes de Mauritanie, du Sénégal, de la Guinée et du Cap-Vert.

Le principe consiste à présenter les différentes couches de réglementation sur une même carte interactive, de façon à afficher en quelques clics les différentes règles en vigueur sur un lieu donné. Ce travail a permis de déceler des incohérences, notamment en Mauritanie où deux décrets, l'un émanant de la défense et l'autre de la pêche, étaient incompatibles. Il a été aussi le point de départ pour la rédaction des premiers manuels du droit de l'environnement pour ces pays. Au Sénégal, l'atlas – et les erreurs réglementaires détectées – est un document de référence pour la réforme nationale en cours.

Depuis, la démarche a essaimé puisqu'un autre atlas a été réalisé en 2017 pour le Cap-Vert. Un cinquième est en cours de conception au Brésil. Ce dernier est inscrit dans le projet européen Paddle et fait l'objet d'une réflexion interdisciplinaire. L'objet n'est plus seulement de cartographier la réglementation mais de la compléter par des données venues de l'écologie ou de la physique. Au Brésil, ce travail a notamment permis de pointer des secteurs très poissonneux et qui pourraient mériter un classement comme zones marines protégées.



Pirogues de pêche côtière, Sénégal.

PARTENAIRES

Université Cheikh Anta Diop, Dakar

Instituto nacional de desenvolvimento das pescas, Cap-Vert

Universidade presbiteriana Mackenzie, Sao Paulo, Brésil

Le riz comme bien commun

Dans les années 2000, une équipe internationale séquence pour la première fois l'ADN d'une plante modèle, *Arabidopsis*, très étudiée par les biologistes. Dès lors, une course contre la montre s'engage entre la recherche publique et privée. L'enjeu ? Parvenir à séquencer le génome du riz.



Amélioration des variétés de riz au Vietnam.

Lorsque le séquençage du premier génome végétal est annoncé en 2000, une angoisse saisit le monde scientifique. Que se passerait-il si un consortium privé venait à séquencer l'ADN d'une plante d'intérêt agronomique ? Une plante aussi vitale que le riz ? En 1997, un consortium international financé par des fonds publics et réunissant 10 pays est créé pour tenter d'accomplir un exploit scientifique. Les technologies de cette époque sont en effet coûteuses, lentes et complexes. Un pays seul ne peut venir à bout du séquençage du riz, dont le génome équivaut à quatre fois celui d'*Arabidopsis*.

C'est ainsi que l'IRD, qui travaille depuis les années 1970 sur la diversité des riz sauvages et cultivés, se tourne vers le Génoscope, artisan du séquençage du génome humain, pour faire entrer la France dans le consortium. Les différents États participants se partagent alors le génome du riz. Revient à la France de séquencer le chromosome 12. Et l'investissement paie : en 2005, le génome entier du riz est publié par ce consortium dans la revue *Nature*, alors que les séquences obtenues par le secteur privé étaient incomplètes ou de moins bonne qualité.

Avec le progrès des techniques et la baisse des coûts de séquençage, d'autres espèces comme le mil ou le caféier sont ensuite séquencées par l'IRD et ses partenaires. Mieux, des milliers d'individus d'une même espèce sont passés au crible, notamment pour le riz ou le mil. Il devient possible de rendre compte de la diversité génétique au sein des espèces et d'identifier des gènes susceptibles d'être sélectionnés pour accroître la productivité, les capacités d'adaptation ou la résistance aux maladies. Ces recherches ont permis aux scientifiques d'identifier par exemple des gènes d'intérêt chez l'espèce africaine de riz cultivé qui ont été transférés au riz asiatique, comme les gènes de résistance à la panachure jaune du riz, une maladie virale affectant les rizières en Afrique.

PARTENAIRES

Génoscope (Centre national de Séquençage), France

Laboratoire « Génome et développement des plantes (LGDP), UMR CNRS-UPVD université de Perpignan, France

UMR « Amélioration génétique et adaptation des plantes », Cirad-Inra, Montpellier SupAgro, France

« L'analyse du génome du riz par l'IRD a contribué à mieux connaître la diversité des cultivars de l'espèce africaine de riz cultivé et à favoriser le développement par l'AfricaRice de variétés NERICA issues de croisements entre les deux espèces de riz cultivé. »

Moussa Sié, Formerly Head of Africa-wide Rice Breeding Task Force Africa Rice Center (AfricaRice), Bouaké, Côte d'Ivoire

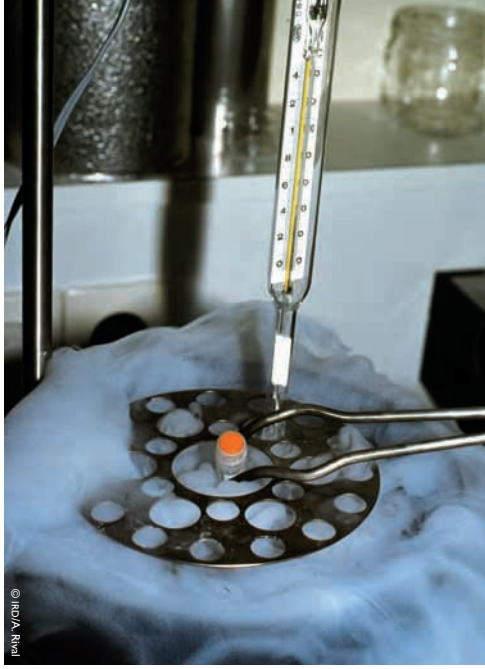


Panicule de riz.

••• L'IRD, le CNRS et Génoscope séquencent le chromosome 12 du riz •••

Gardiens de la diversité agronomique

Dans les années 1960, l'avènement de l'agriculture intensive déclenche une opération de sauvetage sans précédent. Objectif : empêcher que les ressources génétiques des espèces cultivées et de leurs apparentées sauvages ne soient perdues.



Cryoconservation des semences.



Mils sauvages et hybrides, Niger.

Entre les années 1950 et 1980, c'est la « révolution verte » : des plantes améliorées, sélectionnées pour leur rendement, envahissent les champs. La réduction de la diversité en culture faisant craindre une érosion irréversible des ressources génétiques, la FAO demande à des organismes internationaux, dont l'Orstom, de participer à des collectes et d'élaborer des collections : il s'agit de sauver la diversité génétique des plantes cultivées et leur capacité d'évolution.

••• Des collections de graines permettent de remédier à l'érosion de la diversité génétique des plantes cultivées •••

Dès 1966, des chercheurs se rendent sur le terrain, en Éthiopie, pour y collecter des formes sauvages du caféier arabica. Entre 1970 et 1990, des collectes d'espèces de riz sont effectuées en Afrique de l'Ouest et à Madagascar, des prospections de mil et de sorgho, céréales des zones arides, sont menées dans les pays sahéliens. D'autres espèces (igname, manioc, niébé, gombo) font aussi l'objet de prospections.

Les céréales donnent des semences se conservant parfaitement en chambre froide mais devant tout de même être régénérées tous les vingt à trente ans.

« Les programmes développés par l'IRD et ses partenaires du Sud ont permis de sauver la diversité génétique de nombreuses espèces, de définir les modalités de collecte et d'utilisation des ressources génétiques. Ils ont également été consacrés à informer, former et sensibiliser scientifiques, agriculteurs et politiques à l'importance de l'utilisation de ressources génétiques pour contribuer à l'amélioration de la productivité agricole face aux changements globaux. »

Ndjido Kané, Institut sénégalais de recherches agricoles



Fleurs de caféiers, Côte d'Ivoire.

Pour d'autres espèces ne produisant pas de graines ou ayant des graines difficiles à conserver, des solutions alternatives sont recherchées. Ainsi, des collections en plein champ sont installées, des biotechnologies (micropropagation, culture de méristèmes) sont mises au point, de même que la technique de conservation dans l'azote liquide (cryoconservation).

Au cours des années 1990, l'émergence de la biologie moléculaire permet de mieux comprendre l'organisation de la diversité et de proposer de nouvelles approches de gestion. Ainsi, des chercheurs de l'IRD développent le principe de la « Core collection », qui permet de réduire considérablement le nombre de doublons.

Dès le début des années 2000, les possibilités de séquençage des génomes ouvrent de nouvelles possibilités concernant notamment l'adaptation aux changements climatiques. La comparaison du génome de mils, prélevés en 1973 puis en 2003, conduit les chercheurs à identifier un gène majeur impliqué dans la résistance à la sécheresse. L'étude du génome du riz donne la possibilité de mieux appréhender celui d'autres céréales. De même, le séquençage du caféier robusta, une espèce africaine, permet de mieux comprendre l'extraordinaire diversité des espèces malgaches.

PARTENAIRES

Centre national de recherche agronomique, Abidjan, Côte d'Ivoire

AfricaRice, Bouaké, Côte d'Ivoire

Centre national de la recherche appliquée au développement rural, Antananarivo, Madagascar

Institut national de la recherche agronomique du Niger, Niamey

Université d'Abomey-Calavi, Bénin

La forêt de Guyane dans un herbier

Il n'existe aucun ouvrage ou collection proposant la recension exhaustive de toutes les plantes présentes en Guyane. Cette lacune a rendu nécessaire, en 1965, la création d'un herbier, devenu depuis une référence internationale en matière de botanique tropicale.



Façade de l'Herbier de Guyane.

Dans les années 1960, en Guyane, les botanistes qui travaillent sur l'architecture des arbres butent sur un problème concret : en l'absence de publication d'une flore de Guyane, ils peinent à déterminer les espèces récoltées. Les seuls documents existants datent de 1775 et recensent 1 241 espèces, ce qui est très faible au regard de la biodiversité guyanaise.

En 1965, ils décident donc de réunir une collection formelle et créent l'Herbier de Guyane. Sous l'égide de l'Orstom, des campagnes de collecte sont lancées et, au fil des décennies, quelque 200 000 spécimens représentant 5 000 espèces sont réunis. Tous sont issus du bouclier guyanais, avec 80 % des échantillons provenant du département français de Guyane et le reste du Guyana et du Suriname. Cela explique le rayonnement international de l'Herbier, qui réunit un consortium de 150 spécialistes du monde entier. Ces derniers publient, les uns après les autres, les différents volumes de la flore des Guyanes, chacun correspondant à une famille végétale. À ce jour, un tiers des familles de plantes de l'Herbier ont fait l'objet d'une monographie.

••• En Guyane, la création d'un herbier fait progresser les savoirs •••

Aujourd'hui, cette plateforme qui réunit dans un même bâtiment experts, collections de plantes et base de données, est devenue incontournable pour toutes les recherches relatives au monde végétal guyanais. 300 chercheurs y passent chaque année, ainsi que des scolaires et de simples citoyens. Elle constitue un outil de référence fondamental, le seul qui à ce jour donne une vision concrète de la diversité végétale de la Guyane. Vivante, elle suit les évolutions de la classification et offre un outil de travail indispensable à tous les chercheurs engagés dans des projets comportant une composante floristique. Elle s'enrichit chaque année un peu plus et garde la mémoire des aires de répartition passées des plantes. La base de données de l'Herbier de Guyane est consultable en ligne : http://publish.plantnet-project.org/project/caypub

PARTENAIRES

Université de Guyane

Museu Goeldi, Brésil

IEPA, Brésil

EMBRAPA, Brésil

Parc amazonien de Guyane

Parc naturel régional de Guyane

CNRS, Inra, Cirad, France

« L'Herbier de Guyane est indispensable pour tous les chercheurs intéressés par la biodiversité néotropicale. Il constitue l'une des plus importantes collections de plantes de la région du bouclier des Guyanes, qui reste une des régions les moins explorées au nord-est de l'Amazone. Ainsi, les collections de l'Herbier de Guyane ont été d'une grande utilité non seulement pour les études portant sur la flore de Guyane française, mais aussi pour nous aider à mieux comprendre la biodiversité du Brésil. »

Paulo H. Labiak Evangelista, université fédérale du Paraná, Brésil



Préparation de spécimens en forêt.

Un botaniste dans mon smartphone

Pour observer l'évolution des écosystèmes sous l'effet des changements globaux et apprendre à les gérer au mieux, il faut disposer d'informations actualisées sur la répartition des espèces, et notamment des espèces végétales.



Frangipanier en fleur, Madagascar.

Huit millions de téléchargements depuis 2013, 55 millions de connexions quotidiennes effectuées par quelque 100 000 utilisateurs de 171 pays différents, l'application Pl@ntNet, qui permet d'identifier une plante à partir d'une simple photo, est un succès planétaire. Un succès né de la rencontre entre botanistes, écologues et agronomes de l'IRD, du Cirad, de l'Inra et du réseau associatif Tela Botanica, mais qui doit également à la rencontre fortuite, en 2008, entre le directeur d'une unité de botanique de l'IRD et la responsable d'une équipe informatique de l'Inria, qui travaille alors sur un logiciel capable d'analyser et de comparer des images. L'idée germe alors d'utiliser une approche analogue pour créer une plateforme collaborative permettant à tout un chacun de reconnaître et de déterminer des plantes.

Au début, il s'agit d'un site internet confidentiel sur lequel les internautes envoient leurs photos. Mais en 2013, l'application se démocratise avec une première version de l'application pour smartphone. Au début, l'application ne concerne que la flore de l'Europe de l'Ouest mais elle s'étend dès 2015 à d'autres régions du monde, notamment à l'outre-mer et aux zones tropicales. Entièrement gratuite, traduite en neuf langues, l'application est ludique et destinée au grand public.

Elle fonctionne grâce à un programme informatique et une imposante base d'images. Mais elle s'appuie aussi sur un réseau de botanistes qui participent à la validation des données. En outre, chaque photo envoyée par les utilisateurs est géolocalisée et conservée par la plateforme, s'ajoutant à la base de données qui ne cesse de s'enrichir, atteignant plusieurs dizaines de millions d'observations. Une mine pour les recherches en écologie, pour le suivi de la biodiversité et des plantes invasives.

Leader mondial dans son domaine, Pl@ntNet a aussi développé un jeu en ligne, *The PlantGame*, pour que le plus grand nombre puisse acquérir des compétences en botanique tout en contribuant à la validation des images prises par les utilisateurs. Un cercle vertueux efficace puisque le taux de succès d'identification est supérieur à 90 %, pour un total de 17 000 espèces recensées dans la base.

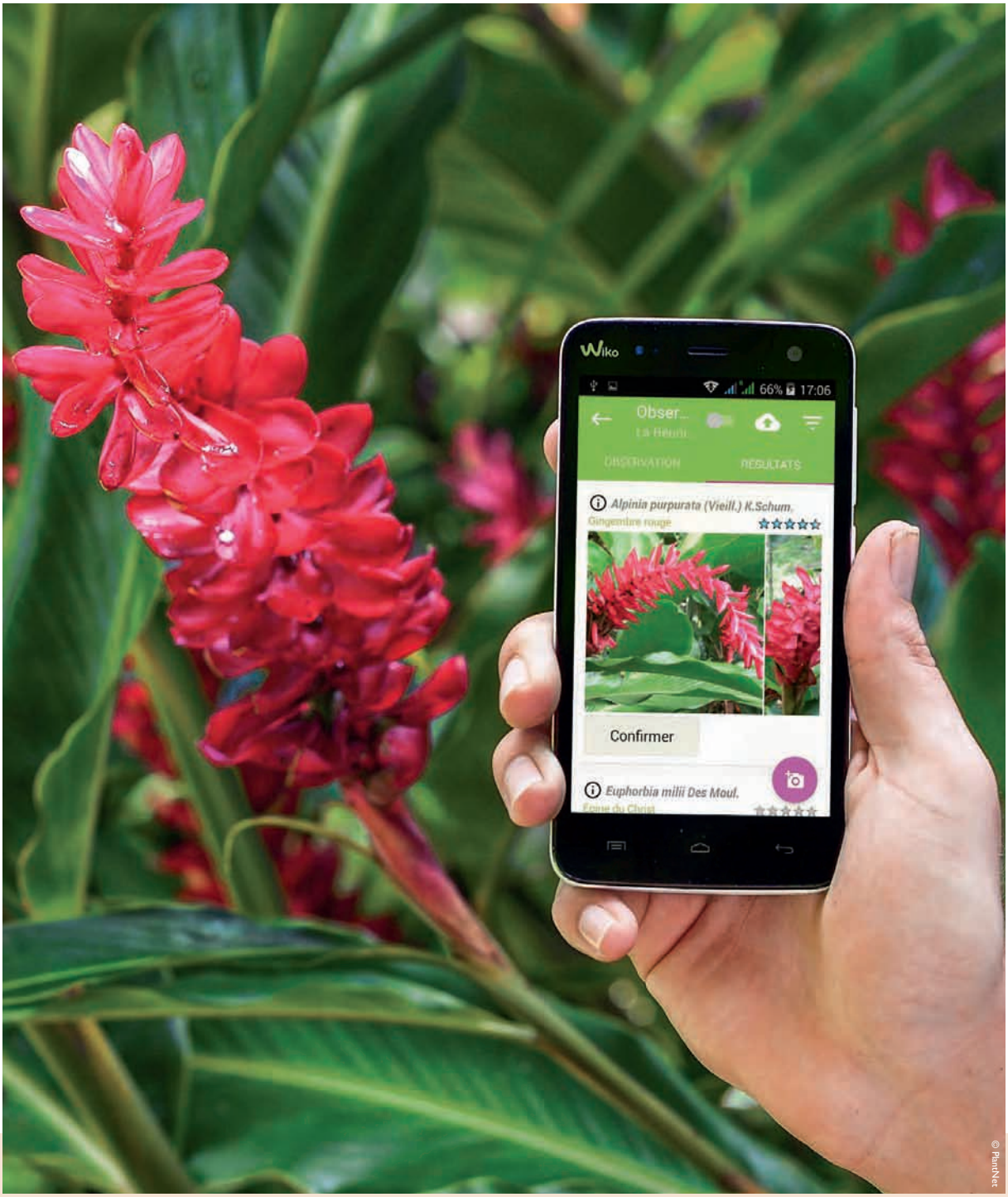
PARTENAIRES

Inra, Cirad, Inria, France

Tela Botanica, France

Nombreux partenariats en Amérique latine, en Afrique et dans l'océan Indien

••• Une application transforme le citoyen en sentinelle de la biodiversité végétale •••



L'application Pl@ntNet sur un smartphone.

Aux avant-postes de l'ethnopharmacologie

Avec l'exode rural et la mondialisation, les savoirs traditionnels sont menacés d'extinction. Ce constat a conduit l'OMS à lancer entre 2000 et 2010 un grand inventaire des pharmacopées locales. Un recensement anticipé de longue date par l'IRD.



L'ouvrage *Pharmacopées traditionnelles en Guyane*, 2e édition.



Plantes collectées pour un bain de vapeur thérapeutique, Pérou.

En 1987, l'IRD publie le premier ouvrage d'ethnobotanique en langue française. Si ce domaine de recherche existe depuis près d'un siècle dans le monde anglo-saxon, il n'apparaît en France que dans les années 1970. À cette époque, des anthropologues et un chimiste des plantes se rejoignent sur le terrain, en Guyane. À partir de 1974, ils entament un travail conjoint pour recenser les plantes médicinales chez les Créoles de Cayenne, ainsi que chez les Indiens Palikur et Wayampi, qui vivent sur le fleuve Oyapock. Ils analysent la composition chimique des plantes utilisées dans leur pharmacopée.

Par la suite, les chercheurs publient le fruit de leur recherche sous la forme d'un ouvrage. L'objectif est alors d'assurer la pérennité de ces savoirs ancestraux. Dans les années qui suivent, les chercheurs s'appuient sur l'Herbier de Guyane et sur les progrès de la botanique pour affiner l'identification des plantes constituant les pharmacopées créole, palikur et wayampi. Une deuxième édition de l'ouvrage, actualisé, paraît ainsi en 2004, documentant l'usage de 620 espèces médicinales.

À partir de 1992, les scientifiques entreprennent une collecte des savoirs traditionnels auprès de six autres ethnies amérindiennes et andines. Les résultats sont publiés en accord avec les populations locales, qui souhaitent empêcher la disparition des savoirs oraux qui constituent leur identité. Ces sociétés connaissent en effet une évolution très rapide qui

« Le projet de recensement des usages des plantes a été bien accepté par la population, car il a été perçu non seulement comme une tentative de valorisation directe de la flore médicinale, mais aussi comme un sauvetage culturel, étant donné que, maintenant, il y a peu de personnes qui connaissent cette partie de la culture yanesha, et de moins en moins de jeunes qui s'y intéressent. »

Augusto Francis Lores, représentant de la communauté de San Pedro de Pichanaz, secteur Azulis, Pérou, et responsable du projet pour la partie yanesha



Marché aux plantes médicinales de Huaraz, Pérou.

··· Recension des savoirs médicinaux de neuf groupes amérindiens de l'Amazonie et des Andes ···

ne favorise pas la transmission des gestes et des connaissances aux jeunes générations, éduquées de plus en plus souvent loin des anciens. Le recensement et la publication de ces savoirs permettent d'assurer le maintien des connaissances ancestrales, mais aussi leur protection, notamment vis-à-vis des brevets. En Inde, un brevet sur le curcuma a ainsi pu être dénoncé avec des textes anciens prouvant l'antériorité de ce savoir.

PARTENAIRES

Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), Bolivie

Consejo indigeno de los pueblos Tacanas (CIPTA), Bolivie

Unicef/ministère de la Santé de Bolivie

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Pérou

Universidad Peruana Cayetano Heredia, Pérou

Communidades yaneshas de San Pedro de Pichanaz, Pérou

Archéologie participative aux Marquises

L'image associée aux îles Marquises, à leurs habitants et à leur culture a été mise à mal lors de la période coloniale. Leur éloignement par rapport aux centres de décision situés à Tahiti, leur faible population et des préjugés vivaces contribuent encore aujourd'hui à une méconnaissance de l'histoire de l'archipel.



Archéologie participative, Marquises.

Il n'y a pas forcément besoin d'argent pour être novateur et pionnier. Aux Marquises, c'est même le manque de moyens qui a rendu communautaire et participative une recherche qui aurait pu rester très confidentielle. Tout commence dans les années 1980 avec les premiers travaux réalisés dans le cadre du volontariat à l'aide technique aux Marquises, un archipel isolé et situé à quelque 1 500 kilomètres de Tahiti. C'est alors que les insulaires révèlent l'existence d'un abri sous roche qu'ils pensent ancien, et participent aux premières fouilles.

Les datations effectuées suggèrent une occupation datant de 200 ans avant J.-C., une estimation qui sera revue par la suite et rajeunie de 1000 ans. Mais qu'importe, cette première expérience pique la curiosité des Marquisiens qui, dans les années 1990, demandent et obtiennent l'affectation d'un chercheur dédié à l'archéologie de l'archipel. Il s'agit notamment d'étudier un site que la population souhaite utiliser dans le cadre du tout jeune festival culturel marquisien. Avec l'aide d'une association culturelle locale et de la commune, une vallée de l'île d'Hiva'Oa est explorée, dévoilant l'ampleur du peuplement passé : ce site deviendra emblématique de la Polynésie.

Aux Marquises, avant l'arrivée des navires occidentaux avec leur cortège de maladies, la population avoisinait les 100 000 âmes. En 1920, les Marquisiens n'étaient plus que 2 000 et la plupart des villages abandonnés, puis oubliés. La redécouverte de ces vallées et de leur occupation ancienne survient en plein renouveau culturel. Pour les besoins du festival, des vestiges mis au jour sont en partie restaurés et retrouvent leur fonction initiale. C'est ainsi qu'aux Marquises s'est développée, naturellement et bien avant l'heure, une véritable archéologie participative. Au rythme des festivals organisés tous les deux ou quatre ans sur différentes îles de l'Archipel, sept sites ont été partiellement réhabilités, dont trois sont retenus pour l'inscription des Marquises au patrimoine de l'humanité. Chacun d'eux participe au développement culturel, économique et touristique des Marquises.

PARTENAIRES

Université de Polynésie française

Municipalités de l'archipel marquisien

Associations culturelles et artisanales des Marquises

Fédération culturelle du Motu Haka o te Henua Enana

Musée de Tahiti et des îles

••• Dans l'archipel, l'archéologie est devenue
un socle de développement •••



Dalle taillée, Fatu Iva, Marquises.

« J'ai eu de la chance, je suis sortie un peu. J'ai voyagé. Là, j'ai compris. On a visité les sites de Hawaï avec les enfants d'une école traditionnelle de là-bas. Ils ont des sites, mais ils en ont aussi des faux. Cela m'a fait réfléchir : chez nous, on a de vrais sites ! »

Yvonne Katupa, Hatiheu, Nuku Hiva, 19 avril 2018, récit recueilli par Zoé Lamazou.

Découverte d'une nouvelle civilisation

La haute Amazonie a longtemps été considérée comme une région où l'histoire humaine tenait une place négligeable. Pour les archéologues, l'environnement amazonien n'était pas censé permettre le développement d'une véritable civilisation.



Récipients, La Florida, Équateur.

En 1998, l'Équateur et le Pérou mettent fin à leur litige frontalier et rendent accessible un territoire de la haute Amazonie qu'ils se disputaient depuis des années. Entre 2000 et 2007, des archéologues y travaillent pour la première fois, mettant au jour quelque 400 sites archéologiques, témoins d'une civilisation inconnue. Ils la nomment la société Mayo-Chinchipe-Marañón, du nom des trois fleuves qui délimitent cette zone de 2 000 km^2. Les sites présentent de nombreux restes d'habitation avec des artefacts en pierre et en céramique. Les datations montrent que cette civilisation est ancienne, vieille de 5 300 ans. Et elle aurait perduré durant au moins 3 000 ans.

••• La domestication du cacao ne se serait pas faite au Mexique mais en haute Amazonie •••

Sur le site le plus imposant Santa Ana-La Florida, découvert en mars 2003, les archéologues effectuent des fouilles approfondies, mettant au jour des vestiges d'architecture en pierre, des récipients en pierre polie et des poteries très différentes de celles des autres cultures amazoniennes. Ils y découvrent les plus anciens résidus d'une boisson de cacao de l'histoire. Dans une poubelle domestique, ils trouvent en outre les restes de cacao brûlé, signe que la fève pouvait aussi être utilisée pour la cuisine. Ainsi, si le cacao a été ramené du Mexique par les conquistadors au XVI^e siècle, la plante pourrait avoir été domestiquée bien plus tôt dans une autre région

« L'impact positif généré par les recherches archéologiques en haute Amazonie, avec sa dimension sociétale, contribue à revaloriser l'identité des populations à travers leur patrimoine culturel local… »

Quirino Olivera Nunez, présidente de l'Assosiation péruvienne d'archéologie et de développement social de l'Amazonie



Mortier en forme de cabosse de cacao, Équateur.

d'Amérique, en haute Amazonie, où existent de nombreuses variétés de cacaotiers sauvages. Cette découverte a consacré une histoire ancienne, et donc ajouté une valeur économique à l'excellente réputation gustative des cacaos produits dans cette région. Elle a donc directement profité aux producteurs et aux populations locales.

En outre, les vestiges de la société Mayo-Chinchipe-Marañón ont livré des coquillages provenant du Pacifique. Cette civilisation était donc en contact avec les populations côtières et celles vivant dans les Andes, et sans doute aussi avec celles du fleuve Amazone. De nombreuses découvertes restent sans doute à faire, puisque plus des deux tiers de l'Amazonie restent inexplorés sur le plan archéologique.

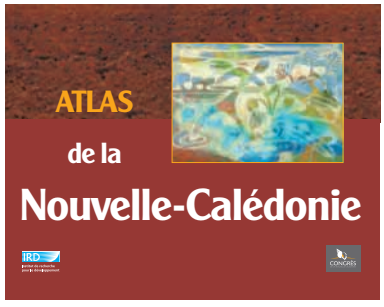
PARTENAIRES

Instituto Nacional de Patrimonio Cultural, Équateur

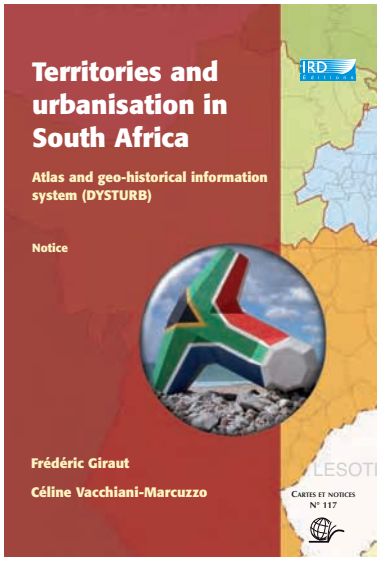
University of Calgary, Canada

Florilège d'atlas

Spatialiser les données chiffrées pour les rendre lisibles et accessibles au premier coup d'œil, tel est l'enjeu des atlas, ouvrages permettant d'élargir la diffusion des connaissances au-delà du cercle des initiés.



Couverture de l'*Atlas de la Nouvelle-Calédonie*.



Couverture d'un atlas CD-ROM sur l'Afrique du Sud.

Donner à voir le savoir, tel est l'enjeu des atlas réalisés par l'IRD à partir des années 1970 pour la Côte d'Ivoire ou les DOM-TOM. À chaque fois, ces ouvrages ont réuni et cristallisé les savoirs d'une centaine de contributeurs, experts en géologie, économie, botanique, agriculture, histoire ou démographie, généralement sous la responsabilité de chercheurs géographes. Les connaissances acquises dans tous ces domaines ont été collectées dans une double logique d'inventaire et de mise en cohérence de l'information, et au final présentées sous forme de cartes et de notices.

En parallèle, un autre type d'atlas a été publié régulièrement entre 1967 et 1987. Appelés « Atlas des terroirs », ils étaient consacrés aux structures agraires des pays situés au sud du Sahara, chacun décrivant la situation dans un pays différent et permettant ainsi d'établir des comparatifs précis entre les divers pays.

••• Différents atlas ont été réalisés et publiés par l'IRD à la demande d'États du Sud ou de territoires de l'Outre-mer, mais également pour explorer certains champs scientifiques particuliers •••

En général réalisés à la demande des États ou des territoires, des atlas classiques grands formats ont été publiés sur la Nouvelle-Calédonie (1981 et 2013), la Guyane (1979 et 2001), la Polynésie (1993), le Cameroun (1995 et 2000)… Ils constituent pour les pays ou les territoires un outil de souveraineté, voire un symbole d'appartenance fort. Ceci explique les tirages souvent importants de ces ouvrages et leur large diffusion institutionnelle. Certains ouvrages ont par ailleurs été consacrés à des villes du Sud, comme les atlas de Quito, La Paz, Ouagadougou ou Hà Nôi, ou à des secteurs économiques, comme l'*Atlas de la pêche artisanale au Pérou,* paru en 2017, ou les différents atlas des thonidés de l'Atlantique et de l'océan Indien. Certaines thématiques développées ont pu déboucher sur des études complémentaires afin d'aider à la prise de décision économique ou politique (réforme foncière, réglementation des pêches, aménagement du territoire…).

PARTENAIRES

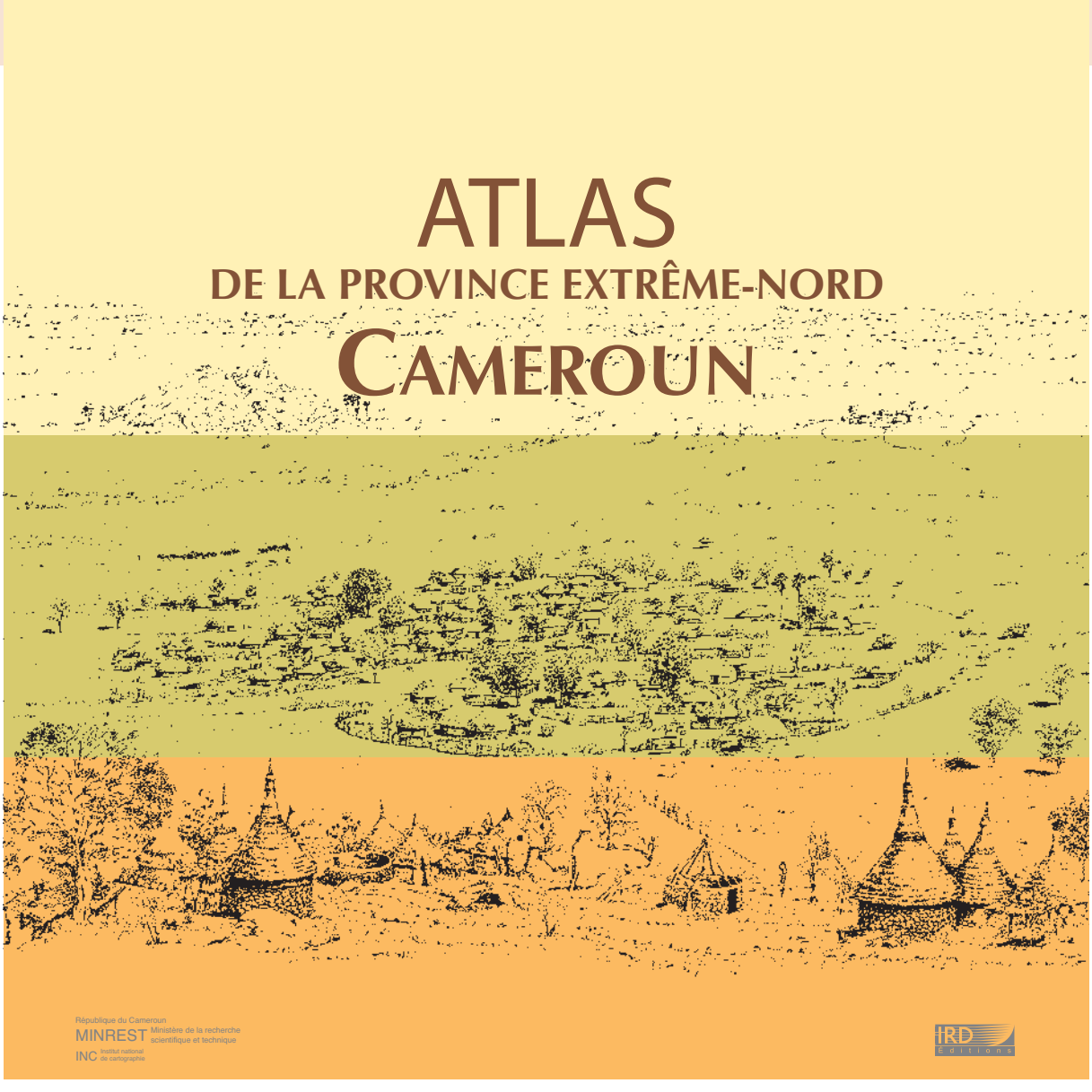
Congrès de Nouvelle-Calédonie

Région Guyane

Ministère de la recherche scientifique et technique du Cameroun…

« Aujourd'hui encore, l'*Atlas de la Nouvelle-Calédonie* publié par l'Orstom en 1981 demeure un ouvrage de référence par la somme de connaissances et les analyses pertinentes qui s'y trouvent. Toutefois, une actualisation des savoirs et la nécessité d'apporter des repères utiles à la compréhension de l'actuelle Nouvelle-Calédonie ont décidé le Congrès de Nouvelle-Calédonie à réaliser un nouvel ouvrage en étroite collaboration avec l'IRD. »

Extrait de la préface de l'*Atlas de la Nouvelle-Calédonie* (2013), Roch Wamytan, président du Congrès de Nouvelle-Calédonie



Couverture de l'*Atlas de la province extrême-nord Cameroun*.

La formation dématérialisée

L'accès à une éducation de qualité constitue le quatrième des dix-sept objectifs du développement durable. Il s'agit d'une condition essentielle pour réduire les inégalités.



Les MOOC ou « Massive Open Online Courses » sont des cours en ligne, souvent donnés par des experts d'un domaine donné, imaginés pour la première fois aux États-Unis. Ils se sont ensuite répandus pour devenir un phénomène mondial fin 2012. Cette année-là, des chercheurs participant au Réseau d'excellence des sciences de l'ingénieur de la francophonie (Rescif, www.rescif.net) décident de se lancer dans l'aventure et de réaliser un MOOC sur le thème « des rivières et des hommes ». L'idée est d'y présenter, sur des sessions de cinq semaines, des connaissances théoriques et appliquées en matière d'hydrologie et de géomorphologie.

Lancé en 2014 et réédité chaque année à l'automne, ce MOOC est le premier cours en ligne réalisé en collaboration avec des experts du Nord et du Sud. Dix chercheurs y interviennent pour présenter des concepts théoriques en s'appuyant sur des cas d'études authentiques, notamment au Mexique, au Bénin, au Vietnam et en Équateur. Les savoirs enseignés sont transposables à la plupart des pays du monde, ce qui explique l'engouement pour ce MOOC, qui a touché quelque dix mille personnes résidant dans 85 pays. Les participants sont des étudiants, des techniciens, mais également de simples citoyens souhaitant avoir une meilleure compréhension du sens de leurs gestes quotidiens.

Ce MOOC qui donne accès à des enseignements rares, voire inexistants dans certains contextes du Sud, est accessible en français, en anglais, en vietnamien et en espagnol. Il est utilisé notamment au Vietnam par les enseignants-chercheurs pour proposer un enseignement combinant un apprentissage virtuel et présentiel. Depuis, d'autres MOOC ont été réalisés en collaboration avec l'IRD, dont « Causes et enjeux du changement climatique » en 2015, « Le paludisme » en 2016 ou « Entomologie médicale » en 2017, ou encore « Objectifs de développement durable » en 2018, élu meilleur MOOC universitaire de l'année.

PARTENAIRES

Institut polytechnique de l'université nationale du Vietnam

École polytechnique nationale de Quito, Équateur

Grenoble-INE, France

École normale supérieure de Lyon, France

Université Lumière Lyon 2, France

Université catholique de Louvain, Belgique


© IRD/M.Vilayek

Réalisation d'une interview dans le cadre de l'initiative ePOP, Nouvelle-Calédonie.

La science comme outil citoyen

La science n'est pas seulement une affaire de chercheurs. Elle est aussi une façon de percevoir et de penser le monde, comme les arts ou la littérature. Cette vision est à l'origine du développement d'actions innovantes à destination des jeunes.

La science est une culture, une façon d'appréhender le monde. Et c'est dans cet esprit que, dès 1999, l'IRD a lancé en France et dans les pays partenaires les « Clubs de Jeunes pour la recherche et le développement ». Ces projets, menés sur le long terme au gré d'une collaboration étroite entre un enseignant et un chercheur, amènent un groupe d'élèves à conduire une étude scientifique, de la définition du sujet à la restitution des résultats un ou deux ans plus tard.

Entre 15 et 30 clubs fonctionnent chaque année dans le monde, le plus souvent au sein de lycées et de collèges. Les thèmes abordés sont très variables et dépendent des problématiques locales. Les jeunes ont ainsi pu travailler sur des insectes ravageurs, l'accès aux transports, les migrations ou le changement climatique… Dès que possible, les résultats sont présentés à des décideurs locaux afin que les élèves puissent prendre conscience de la dimension citoyenne du savoir acquis.

À partir de 2004, l'IRD a été mandaté par le ministère des Affaires étrangères pour coordonner des projets de culture scientifique en Afrique. Cette expérience a permis de nouer un dialogue et une collaboration durables avec des associations africaines. Des actions allant d'expositions itinérantes à des conférences, du théâtre scientifique ou des ateliers ont ainsi pu être développées.

Par la suite, des projets à destination des étudiants ont été mis en place, comme ePOP, une initiative collaborative dans laquelle les jeunes insulaires du Pacifique sont invités à recueillir sur leur téléphone portable les interrogations de la population locale sur les effets des changements environnementaux et les porter auprès de scientifiques. Des grandes rencontres réunissant ces jeunes sont en outre régulièrement organisées, comme en 2016, au Maroc, lors de la COP22 de Marrakech, où quelque 150 jeunes ont pu débattre et réfléchir autour de la thématique « Climat sous surveillance ».


© JVE-Niger

Club de jeunes du Niger dans le cadre du dispositif « Climat sous surveillance ».

PARTENAIRES

Institut français

France Média Monde

Agence française de l'enseignement français à l'étranger (AEFE)

Associations, ONG et établissements scolaires

Des savoirs et des images accessibles à tous

À l'heure où la science s'ouvre et se diffuse en « open access », la base Horizon Pleins Textes de l'IRD fait figure de précurseur en ayant mis gratuitement en ligne, dès le milieu des années 1990, les publications des chercheurs de l'IRD.

Aujourd'hui, ce sont 99 000 documents scientifiques qui sont enregistrés dans l'archive institutionnelle de l'IRD, un fonds hybride numérique et imprimé dont les 66 000 documents PDF en libre accès ont fait l'objet de près de trois millions de téléchargements en 2018, principalement de la part des pays d'Afrique francophone, avec en tête la Côte d'Ivoire, l'Algérie et le Cameroun.

Ce large corpus numérique, qui s'accroît de près de 3 000 nouveaux documents tous les ans, est pluridisciplinaire (pédologie tropicale, hydrologie, océanographie, sciences humaines et sociales, santé, botanique…) et assure une visibilité internationale à la recherche en partenariat menée par l'IRD et ses collaborateurs du Sud depuis 75 ans.

Le fonds documentaire a été labellisé « Collection d'Excellence » en 2018, une distinction attribuée par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche qui en reconnaît ainsi la valeur tant sur le plan patrimonial que scientifique.

Interrogeable depuis un portail de valorisation multilingue (français, espagnol ou anglais) ou directement via les moteurs de recherche généralistes, la base Horizon répond aux exigences du Plan national pour la science ouverte et est moissonnée également par les grandes infrastructures d'information scientifique telles qu'Open Aire, Base, qui disséminent au plan international les résultats de la recherche en partenariat pour le développement.

L'IRD dispose par ailleurs d'une importante base iconographique constituée au fil de plusieurs décennies de recherche au Sud. Capital iconographique unique de plus de 50 000 photographies sur l'Afrique, l'Asie, l'Amérique latine, l'Océanie et les Outre-mer, la photothèque Indigo conserve et diffuse les photographies prises et légendées par les chercheurs de l'Institut. Ces images prises sur le terrain ou dans les laboratoires couvrent un large éventail de disciplines : sciences de la vie et de la Terre, sciences de la santé, sciences de l'homme et de la société. Elles sont accessibles à tous, journalistes, éditeurs, chercheurs, enseignants, étudiants ou simples citoyens.

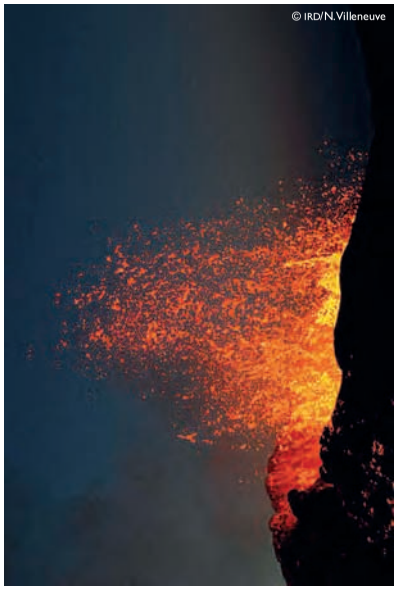
HORIZON PLEINS TEXTES

http://www.documentation.ird.fr

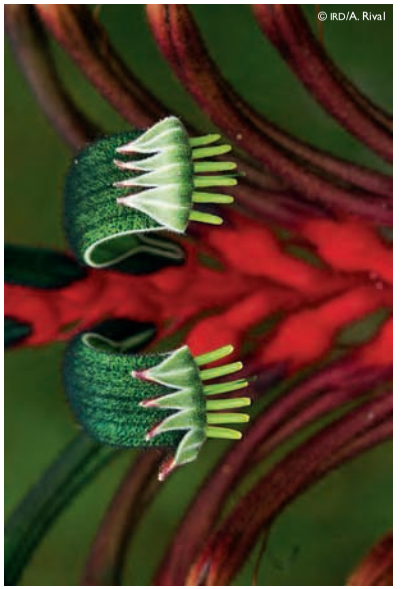
PHOTOTHÈQUE INDIGO

http://www.indigo.ird.fr

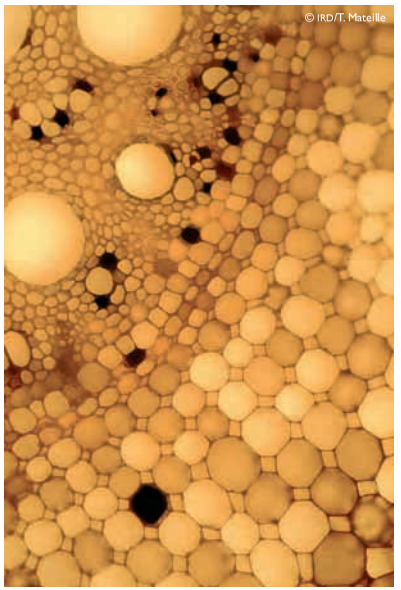



© IRD/N.Villeneuve


© IRD/S.Andrefouet


© IRD/A. Rival


© IRD/O. Barrière


© IRD/T. Mateille


© IRD/S. Bonvalot


© IRD/G. Michon


© IRD/E. Folcher

LISTE DES CONTRIBUTEURS SCIENTIFIQUES

Partie 1 – Vers des sociétés plus justes

Microcrédit et maxi-dettes
Isabelle Guérin,
socioéconomiste, UMR Cessma

Une économie d'emplois précaires
François Roubaud,
économiste et statisticien, UMR LEDa, équipe Dial

La part manquante des femmes
Christophe Z. Guilmoto,
démographe, UMR Ceped

La gouvernance et la corruption vues d'en bas
François Roubaud,
économiste et statisticien, UMR LEDa, équipe Dial
Mireille Razafindrakoto,
économiste et statisticienne, UMR LEDa, équipe Dial

Développer l'éducation publique dans les villes
Marc Pilon,
démographe, UMR Ceped

L'abécédaire du multilinguisme
Isabelle Léglise,
sociolinguiste, UMR SeDyL

Interroger le développement
Philippe Lavigne Delville,
socioanthropologue, UMR Gred
Pierre-Yves Le Meur,
anthropologue, UMR Gred
Fatoumata Ouattara,
anthropologue, UMR LPED

Le réseau Méga-Tchad
Christian Seignobos,
géographe, UMR Gred, retraité

Sécuriser les droits fonciers des paysans
Jean-Pierre Chauveau,
socioanthropologue, UMR Gred
Philippe Lavigne-Delville,
socioanthropologue, UMR Gred
Éric Léonard,
économiste et géographe, UMR Gred

Culture des lieux
Dominique Guillaud,
géographe, UMR Paloc

Une histoire évolutive des hommes
Alain Froment,
anthropobiologiste, UMR Paloc

La migration en relief
Nelly Robin,
géographe, UMR Ceped

Un monde en campement
Michel Agier,
anthropologue, CEMS

Christianismes africains au Maroc
Sophie Bava,
socioanthropologue, UMR LPED

Trajectoires invisibles de santé
Annabel Desgrées du Lou,
démographe, UMR Ceped

Les liens migratoires
Flore Gubert,
économiste, UMR LEDa, équipe Dial

Minorités déplacées
Yves Goudineau,
anthropologue, EFEO et Case

Oui à la trithérapie en Afrique
Éric Delaporte,
infectiologue, UMI TransVIHMI

Naître sans le VIH
Gonzague Jourdain,
médecin épidémiologiste, UMI IRD-PHPT

Rejouer la scène et changer
Alexandre Dumont,
médecin épidémiologiste, UMR Ceped

Une pâte sucrée contre la faim
Texte rédigé à partir de documents et d'articles de presse

Prévenir les effets de la malnutrition
Serge Trèche,
nutritionniste, UMR Nutripass, retraité

Lutter contre les carences
Jacques Berger,
nutritionniste, UMR Nutripass

Prévention de l'obésité au Maghreb
Pierre Traissac,
épidémiologiste, UMR Nutripass

Partie 2 – Aléas, risques et vulnérabilités

Niakhar, zone sentinelle depuis 1962
Valérie Delaunay,
démographe, UMR LPED

La généalogie du *Plasmodium*
François Renaud,
biologiste, UMR Mivegec
Éric Delaporte,
infectiologue, UMI TransVIHMI

La révolution des moustiquaires
Pierre Carnevale,
entomologiste médical, paludologue, retraité
Vincent Robert,
entomologiste médical, UMR Mivegec
Frédéric Darriet,
entomologiste médical, UMR Mivegec

Prévenir le paludisme par intermittence
Cheikh Sokhna,
biologiste, paludologue, UMR Vitrome

Protéger les femmes enceintes contre le paludisme
Michel Cot,
médecin épidémiologiste, UMR Merit

Reconstituer l'histoire du VIH
Martine Peeters,
virologue, UMI TransVIHMI

Sur la piste d'Ebola
Éric Leroy,
virologue, UMR Mivegec

Ebola : une fin prédéterminée ?
Éric Leroy,
virologue, UMR Mivegec

Humaniser les mesures de biosécurité
Alice Desclaux,
anthropologue, UMI TransVIHMI

Le programme OCP, ou comment éradiquer la « cécité des rivières »
Bernard Philippon,
entomologiste médical, retraité
Vincent Robert,
entomologiste médical, UMR Mivegec
Jean-Marc Hougard,
entomologiste médical, UMR Mivegec

De l'effet des insecticides sur l'environnement
Didier Paugy,
hydrobiologiste, retraité

Tester avant de traiter
Michel Boussinesq,
médecin parasitologiste, UMI TransVIHMI

Extinction des feux pour la mouche tsé-tsé ?
Philippe Solano,
entomologiste/parasitologiste, UMR Intertryp

Pionniers sur le virus Zika
Dorothée Missé,
virologiste, UMR Mivegec

Vers des usines à moustiques
Louis-Clément Gouagna,
entomologiste médical, UMR Mivegec

Immuniser des chiens pour sauver des hommes
Jean-Loup Lemesre,
immunobiologiste, UMR Intertryp

Détecter les tuberculoses résistantes
Anne-Laure Bañuls,
microbiologiste, UMR Mivegec

Épidémies climatiques
Christophe Menkes,
climatologue, UMR Entropie
Morgan Mangeas,
mathématicien, UMR Espace-Dev
Benjamin Sultan,
climatologue, UMR Espace-Dev

Glaciers sous surveillance
Thomas Condom,
hydroglaciologue, UMR IGE

Allô ? Attention à l'eau !
Marielle Gosset,
hydrométéorologue, UMR GET

Alerte à la canicule africaine
Serge Janicot,
climatologue, UMR Locéan

Évaluer le risque sismique
Jean-Mathieu Nocquet,
géodésien, géophysicien, UMR Géoazur

Des éruptions au long cours
Jean-Luc Le Pennec,
volcanologue, UMR Magmas et volcans

Cartographier les ressources pour gérer les priorités
Sébastien Hardy,
géographe, UMR Prodig

Sonder la face cachée des séismes
Philippe Charvis,
géophysicien, UMR Géoazur
Yann Hello,
géophysicien marin, UMR Géoazur

Des données pour une meilleure sécurité routière
Emmanuel Bonnet,
géographe de la santé, UMI Résiliences

Des contaminations record de plastiques en eau douce
Émilie Strady,
géochimiste des eaux, UMR MIO

Tracesense, la mesure des traces de pollution
David Point,
chimiste de l'environnement, UMR GET

Mesotoga : la bactérie des milieux pollués
Bernard Ollivier,
microbiologiste, UMR MIO

Prendre les cyanobactéries sur le fait
Isabelle Biegala,
microbiologiste, UMR MIO

Partie 3 – Agriculture durable et sécurité alimentaire

Piéger le carbone grâce au sol
Christian Feller,
pédologue, UMR Eco&Sols, retraité
Collectif MOS,
UMR Eco&Sols

L'érosion à l'ombre des arbres
Christian Valentin,
pédologue, UMR iEES-Paris, retraité

Plantes en symbiose
Éric Giraud,
microbiologiste, UMR LSTM

Macrofaune, macro-effet
Éric Blanchart,
écologue du sol, UMR Eco&Sols

De l'art de corriger le pH des sols
Jean-Pierre Montoroi,
agropédologue, UMR iESS-Paris

Petits barrages, grands effets
Philippe Cecchi,
écologue, UMR Marbec
Jean Albergel,
hydrologue, UMR Lisah

Dans le sol africain, de l'eau
Jean-Michel Vouillamoz,
hydrogéologue, UMR IGE

La mesure de l'eau
Vincent Simonneaux,
ingénieur de recherche en télédétection et hydrologie, UMR Cesbio
Salah Er-Raki,
hydroclimatologue, université Cadi Ayyad
Gilles Boulet,
hydrologue et modélisateur, UMR Cesbio

Les *khettaras*, des vestiges bien vivants
Thierry Ruf,
géographe, UMR Gred

L'arbre, pilier de l'agriculture
Geneviève Michon,
ethnobotaniste, UMR Gred

Le terroir, outil scientifique pour le développement
Jean-Baptiste Boutrais,
géographe ruraliste, UMR Paloc, retraité

La forêt amazonienne cache l'abattis
Laure Emperaire,
ethnobotaniste, UMR Paloc

Optimiser les savoirs agricoles
Robin Duponnois,
écologue, UMR LSTM

Du Giec à l'opérationnel
Jean-Philippe Boulanger,
climatologue, UMR Locéan

Première cartographie de la panachure du riz
Eugénie Hébrard,
phytovirologue, UMR IPME

Du manioc et des bactéries en héritage
Valérie Verdier,
phytopathologiste, UMR IPME
Boris Szurek,
phytopathologiste, UMR IPME

Ravageurs malgré eux
Bruno Le Rü,
entomologiste, UMR EGCE
Paul-André Calatayud,
entomologiste, UMR EGCE

Des champs sous surveillance thermique
Olivier Dangles,
écologue, UMR Cefe

Sensibiliser les décideurs aux bio-invasions
Gauthier Dorbigny,
biologiste, UMR CBGP

Sexer pour développer le dattier
Frédérique Aberlenc,
biologiste, UMR Diade

Changer les déchets verts en or
Sevastianos Roussos,
microbiologiste, UMR IMBE, retraité

Vers une aquaculture durable
Marc Legendre,
physiologiste des poissons, UMR Isem

La maîtrise de la reproduction
Marc Legendre,
physiologiste des poissons, UMR Isem

Thons tropicaux sous surveillance
Daniel Gaertner,
biologiste des pêches, UMR Marbec
Pierre Chavance,
biologiste marin, UMR Marbec, retraité
Pascal Bach,
écologue des pêches, UMR Marbec

Vers des appâts plus durables
Pascal Bach,
écologue des pêches, UMR Marbec

La pêche adaptative, c'est le Pérou !
Arnaud Bertrand,
écologue marin, UMR Marbec

Partie 4 – Dynamique des écosystèmes et préservation de la biodiversité

El Niño dans le viseur
Jérôme Vialard,
océanographe, UMR Locéan

L'exploration des océans tropicaux : le programme Pirata
Jacques Merle,
océanographe physicien, UMR Locéan, retraité
Bruno Voituriez,
océanographe physicien, retraité
Bernard Bourles,
océanographe physicien, UMR Legos

Modéliser les upwellings
Pierrick Penven,
océanographe physicien, UMR Lops

Observatoires de la zone critique
Thierry Lebel,
hydroclimatologue, UMR IGE

De l'hydrologie locale au climat global
Thierry Lebel,
hydroclimatologue, UMR IGE

Les paradoxes du Sahel
Gil Mahé,
hydroclimatologue, UMR HydroSciences
Luc Descroix,
hydrologue, UMR Paloc

Averses à crue
Gérémy Panthou,
hydroclimatologue, LTHE

Petits bassins, grands résultats
Pierre Chevallier,
hydrologue, UMR HydroSciences, retraité

Jauger les fleuves depuis le ciel
Stéphane Calmant,
géophysicien, UMR Legos

Explorateurs du passé climatique sud-américain
Bruno Turcq,
paléoclimatologue, UMR Locéan

Une mer d'eau douce
Guillaume Favreau,
hydrogéologue, UMR IGE

Des sols dans tous leurs états
Christian Valentin,
pédologue, UMR iEES-Paris, retraité

De sable, de poussière et de vent
Jean-Louis Rajot,
pédologue, UMR iEES-Paris

La forêt guyanaise cataloguée
Raphaël Pélissier,
écologue, UMR Amap

Des pâturages et des hommes sous perfusion glacière
Olivier Dangles,
écologue, UMR Cefe

La part des oiseaux
Philippe Cury,
écologue marin, UMR Marbec

Découverte de super-coraux en Nouvelle-Calédonie
Ricardo Rodolfo-Metalpa,
biologiste, UMR Entropie

Partie 5 – Science ouverte et savoirs partagés

Soutenir des équipes scientifiques
Hervé de Tricornot,
spécialiste des politiques de recherche, retraité

Moustiques, virus et mondialisation
Frédéric Simard,
entomologiste médical, Mivegec

Pour la création de centres de recherche clinique en Afrique
Éric Delaporte,
infectiologue, UMI TransVIHMI
Michel Cot,
médecin épidémiologiste, UMR Merit
Jean-François Etard,
médecin épidémiologiste, UMI TransVIHMI
Bernard Taverne,
anthropologue, UMI TransVIHMI

Former des veilleurs sanitaires
Jean-Marc Hougard,
entomologiste médical, UMR Mivegec
Florence Fournet,
entomologiste médicale, UMR Mivegec

La modélisation « libérée »
Alexis Drogoul,
informaticien, UMI Ummisco

Un SIG maison
Marc Souris,
mathématicien, chercheur en sciences de l'information, UMR UVE

Des données publiques sur les pêches ouest-africaines
Monique Simier,
biostatisticienne, UMR Marbec

Cartographie des réglementations
Marie Bonnin,
juriste de l'environnement, UMR Lemar

Le riz comme bien commun
Alain Ghesquière,
généticien, UMR Diade

Gardiens de la diversité agronomique
Serge Hamon,
phytogénéticien, UMR Diade
Yves Vigouroux,
génomicien des populations, UMR Diade

La forêt de Guyane dans un herbier
Sophie Gonzalez,
botaniste, UMR Amap

Un botaniste dans mon smartphone
Jean-François Molino,
écologue, UMR Amap

Aux avant-postes de l'ethnopharmacologie
Geneviève Bourdy,
ethnopharmacologue, UMR Pharma-Dev
Christian Moretti,
ethnopharmacologue, UMR EIO, retraité

Archéologie participative aux Marquises
Pierre Ottino-Garanger,
archéologue, UMR Paloc

Découverte d'une nouvelle civilisation
Francisco Valdez,
archéologue, anthropologue, UMR Paloc

Florilège d'atlas
Benoît Antheaume,
géographe ruraliste, UMR Prodig, retraité

La formation dématérialisée
Nicolas Gratiot,
hydrogéomorphologue, UMR IGE

La science comme outil citoyen
Service IST et banque d'images Indigo

Des savoirs et des images accessibles à tous
Service médiation avec le public

Achevé d'imprimer : imprimé en France par Estimprim à Autechaux
Dépôt légal : mai 2019



Cet ouvrage constitue l'une des multiples initiatives qui, tout au long de l'année 2019, célèbrent le 75e anniversaire de l'Institut de recherche pour le développement (IRD). Il présente les contributions les plus significatives des recherches conduites par l'Institut et ses partenaires tant à la science universelle qu'à l'amélioration des conditions de vie et à la préservation de l'environnement dans les pays en développement.

www.editions.ird.fr

Avec le soutien de :

FONDATION BNP PARIBAS

20 €

978 2 7099 2737 6

ISBN: 978-2-7099-2737-6