

1944-1994  
50  
années  
de  
recherche  
en  
coopération  
au  
Sénégal



“Cet ouvrage rend compte de l'exposition  
“l'Orstom a cinquante ans : recherche en  
coopération au Sénégal”, organisée à l'occasion  
de la célébration du cinquantenaire de l'Institut,  
au musée de l'Ifan de Dakar, du 25 octobre au  
18 novembre 1994”.

1944-1994

## 50 années de recherche en coopération au Sénégal



L'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération

Dakar 1996

**Conception et réalisation**

Joëlle Vincent assistée de Pierre Montoya

**Coordination**

Valérie Rotival assistée de Christian Conxicœur

**Directeur de publication**

Philippe Mathieu

**Participation scientifique**

Léonard E. Akpo, Jean Albergel, Philippe Antoine, Jean Pierre Beau, Charles Becker, Éric Bénéfice, Pascal Boivin, Alain Borgel, Erik Braudeau, Christophe Brun, Patrice Cadet, Jean-Louis Camicas, Michel Cam, Laurence Chabirand, Hervé Chevillotte, François-Xavier Cogels, Jean-Marie Constantini, Jean-Paul Comet, Honoré Dacosta, Hervé Demarcq, Marc Descloîtres, Marième Dia, Aïda Diagne, Pape Diallo, Moussa S. Diop, Macoumba Diouf, Bernard Dreyfus, Jean-Marc Duplantier, Robin Duponnois, Nicolas Dupuy, Abdou Salam Fall, Edem Fiany, Christian Floret, Alain Fonteneau, Didier Fontenille, Jean-Yves Gac, Gérard Galat, Anh Galat-Luong, Michel Grouzis, Pascal Handschumacher, Jean Le Fur, Jean-Marc Leblanc, André Lericollais, Coudy Ly, Louis Marec, Adama Marra, Dominique Masse, Thierry Mateille, Philippe Mathieu, Pierre Mourgues, Aminata Niang, Didier Orange, Gaston Pichon, Alain Poulet, Marie-Pierre Preziosi, Michel Ritz, Vincent Robert, Alain Rocheteau, Valérie Rotival, Gérard Salem, Christian Santoir, Jean-Luc Saos, Mariama Sène, Kirsten Simondon, Moumouni Traoré-Lamizana, Jean-François Trape, Bernard Tréca, Jacques Vassal, Guy Vidy, Jean-Marc Vinet, Abdoulaye Yam

**Artiste-peintre**

Aboubacar Yaya Zakari

**Maquette de couverture**

Jacques Deléon

**Illustrations**

Oumar Faye

La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part, que les "copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective" et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et 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 1<sup>er</sup> de l'article 40).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

# Remerciements

Monsieur Saliou Mbaye, Directeur des Archives du Sénégal  
Monsieur Abdoulaye Bara Diop, Directeur de l'Ifan  
Monsieur Tahirou Diaw, Conservateur du Musée de l'Ifan

## Collaboration scientifique

Direction des Archives Nationales  
Musée de la mer de Gorée/Ifan  
Charles Becker  
Didier Brunet  
Jean-Louis Camicas  
Yvon Dommergues  
Jean-Louis Garcia  
Jean-François Molez  
Simon Pereira-Barreto  
Alain Poulet

## Collaboration technique

Monique Allan  
Stéphane Chiasera  
Christian Conxicoeur  
Oumar Fall  
Faly Faty  
Sébastien Manné  
Babacar Ndiaye  
André Sireude  
le service entretien de l'Orstom-Dakar  
Jean-Pierre Gomis

## Maître d'oeuvre de l'exposition

Patrick Dujarric, Architecte  
Daniel Vivien, Cidop

# Remerciements

## Illustrations / Iconographies

Michel Carn  
Christian Conxicoeur  
Pape Diallo  
Augustin Dieme  
Aziz Diop  
Bernard Dreyfus  
Michel Dukhan  
Laurent Granjon  
Sarah Hammecker  
Claire Lissalde  
Louis Marec  
Pascal Mesochina  
Pierre Milleville  
Bernard Mougenot  
Pape Yatoudeme Ndiaye  
Tofene Ndiaye  
Amadou Cisse Ndiaye  
Yannick Pépin  
Claire Tarrière Diop  
Serge Tostain  
Jean-Marc Vinet  
Jean-Brice Wackermann

## Animateurs de l'exposition

Fatou Ba	Coudy Ly
Isidore Bakhom	Ousmane Mbodje
Mamadou Bassel	Sokhna Ndao
Adrien Coly	Amadou Ndiaye
Nafissatou Diagne	Ndeye Ndiaye
Aldiouma Diallo	Maurice Ndong
M. Diba	Awa Niang
Ibrahima Diedhiou	Magatte Niang
Mamadou Thiam Diop	Emanuelle Pate
Moussa Séga Diop	Ramatoulaye Samba
Djibril Diouck	Djibril Sane
Diégane Diouf	Fulgence Seck
Macoumba Diouf	Khadidiatou Senghor
Sam Diouf	Cheikh Sokhna
Fakhta Faye	Arame Soumare
Edem Fianyo	Abdoulaye Sy
Raymond Gomis	Thieky Taboula
Talla Gueye	Seynabou Tamba
Abdou Ilou	Joseph Tchani
Lamine Konate	

# Sommaire

<b>Avant-propos</b>	<b>11</b>
<b>La naissance de la recherche scientifique et son évolution au Sénégal</b>	<b>12</b>
À l'origine de la recherche scientifique au Sénégal : le projet encyclopédique de Michel Adanson	16
La découverte cartographique de la Sénégambie au XVIII <sup>e</sup> siècle	20
La découverte cartographique de la Sénégambie au XIX <sup>e</sup> siècle et au début du XX <sup>e</sup> siècle	24
La recherche scientifique pendant la période coloniale	28
La recherche scientifique et technique au Sénégal indépendant	30
L'Orstom au Sénégal	32
La formation par l'Orstom au Sénégal	34
<b>La mer et ses ressources</b>	<b>36</b>
Océanographie et pêches maritimes au Sénégal de 1944 à 1994	40
Pêche et recherche halieutique au Sénégal dans les années 50	44
L'upwelling : un phénomène océanique majeur pour le Sénégal	48
Océanographie spatiale	50
Les estuaires du Sénégal : environnement et pêche	52

<b>La planète Terre</b>	<b>54</b>
L'observatoire géophysique de Mbour	58
<b>Observatoire sismologique</b>	<b>58</b>
<b>Observatoire magnétique</b>	<b>60</b>
L'Année Internationale de l'Électrojet Équatorial (AIEE) 1992-1995	62
Quelques applications de la géophysique	64
Connaissance de la croûte terrestre	66
Connaissance des aquifères	68
Formation et développement	69
Connaissance des systèmes de sols tropicaux : une étude pédologique au Cameroun	70
<b>Les sols : connaissance, utilisation, conservation</b>	<b>72</b>
La pédologie au Sénégal	76
Les sols alluviaux du domaine fluvio-marin	80
Les sols salés de la vallée du fleuve Sénégal	81
Les sols de mangrove	82
<b>Les ressources en eau</b>	<b>86</b>
L'hydrologie au Sénégal	90
Connaître la ressource	94
La pluie	94
Les eaux de surface	96
Gérer la ressource	100
Le fleuve Sénégal	100
Le programme "Gestion des ressources naturelles au Sine-Saloum"	102
Les relations eaux de surface/eaux souterraines	104
Les nappes phréatiques	104
L'aménagement du fleuve	106

<b>Equesen : Environnement et qualité des eaux du fleuve Sénégal</b>	<b>108</b>
<b>Le projet Equesen (1989-1993)</b>	<b>108</b>
<b>Estimation des pluies par l'imagerie satellitaire</b>	<b>110</b>
<b>Érosion et altération du Fouta Djallon</b>	<b>112</b>
<b>L'érosion chimique sur le bassin amont du fleuve Sénégal</b>	<b>114</b>
<b>Le lac de Guiers</b>	<b>116</b>
<b>Brumes sèches et poussières éoliennes</b>	<b>120</b>
<b>La faune, l'homme et leur milieu</b>	<b>122</b>
<b>La recherche en écologie animale</b>	<b>126</b>
<b>Gestion rationnelle et durable des ressources naturelles</b>	<b>126</b>
<b>Cycle d'évolution du milieu</b>	<b>127</b>
<b>Les rongeurs</b>	<b>128</b>
<b>L'ornithologie</b>	<b>132</b>
<b>Recensements d'oiseaux</b>	<b>136</b>
<b>Recensements de faune en milieu terrestre</b>	<b>138</b>
<b>La primatologie</b>	<b>148</b>
<b>La nématologie</b>	<b>142</b>
<b>La plante, l'homme et leur milieu</b>	<b>146</b>
<b>L'eau et la production végétale</b>	<b>150</b>
<b>Méthodes d'étude de l'eau dans le système sol-plante</b>	<b>152</b>
<b>L'arbre et l'herbe au Sahel</b>	<b>154</b>
<b>La jachère en Afrique tropicale</b>	<b>156</b>

<b>Les biotechnologies et la production végétale</b>	<b>160</b>
Microbiologie	164
La fixation biologique de l'azote	164
Les micro-organismes des rizières	167
Les bactéries de l'extrême	167
Diversité génétique et amélioration des plantes	168
Étude de la diversité génétique par les marqueurs moléculaires	168
Les mils sahéliens ( <i>Pennisetum typhoides</i> )	170
Urci : Unité de recherche commune Isra-Orstom en culture <i>in-vitro</i>	172
<b>Les sociétés rurales</b>	<b>176</b>
Études en milieu rural dans la vallée du fleuve Sénégal	180
Dynamique de l'élevage dans les systèmes de production de la vallée du fleuve Sénégal	182
Études en milieu rural dans le bassin arachidier	184
<b>Les sociétés urbaines</b>	<b>186</b>
L'insertion des migrants dans la ville	190
Urbanisation et santé : l'atlas urbain de Pikine	194
<b>Santé et nutrition des populations</b>	<b>198</b>
Les maladies transmises par des vecteurs : la bilharziose	202
Implication des rongeurs dans la transmission de la bilharziose	203
Richard-Toll : émergence d'un foyer de bilharziose	204
Sibilh1, logiciel d'aide à la décision dans la lutte contre <i>Schistosoma mansoni</i>	206
Les maladies transmises par des vecteurs : le paludisme	208
Les méthodes d'étude	209
Le paludisme à Dakar	210

Paludisme infection - Paludisme maladie	212
<b>Les maladies transmises par des vecteurs : les arboviroses</b>	<b>214</b>
Une arbovirose transmise par les tiques : la fièvre hémorragique de Crimée-Congo (virus CCHF)	215
Une arbovirose transmise par les moustiques : la fièvre jaune	216
<b>Le Sida</b>	<b>218</b>
Épidémiologie des rétrovirus chez les primates	218
SIVSIM, modèle de simulation de la circulation du virus SIV <i>in natura</i>	220
<b>Amélioration des systèmes de soins</b>	<b>222</b>
Analyse cartographique de la desserte médicale et des recours aux soins dans l'arrondissement de Ross-Béthio	222
<b>Santé et démographie d'une population rurale : le projet Niakhar</b>	<b>224</b>
Historique et situation	224
Surveillance démographique	225
La rougeole	226
La coqueluche	226
Le paludisme	227
La fluorose	227
<b>Nutrition, malnutrition</b>	<b>228</b>
Les méthodes de mesure de l'état nutritionnel	229
Étude de supplémentation de nourrissons	229
Les effets à moyen et long terme de la malnutrition chez l'enfant	230
Prise en charge de la malnutrition et de la diarrhée	230
<b>Les outils de la recherche</b>	<b>232</b>
<b>La télédétection</b>	<b>234</b>
Utis : l'Unité de traitement d'images satellitaires	236
<b>Une porte d'entrée sur Internet dans les pays du Sud</b>	<b>240</b>
Rio : le Réseau intertropical d'ordinateurs	242
<b>Information scientifique et valorisation de la recherche</b>	<b>244</b>
L'IST au Sénégal	246
<b>Les sigles</b>	<b>251</b>



# Avant-propos

À l'occasion de la célébration du cinquantième anniversaire de l'Orstom, l'exposition intitulée "50 années de recherches en coopération au Sénégal" s'est tenue à Dakar au Musée de l'Ifan du 26 octobre au 19 novembre 1994. Placée sous le haut patronage de son excellence Monsieur Abdou Diouf, Président de la République, l'exposition a été entièrement réalisée au Sénégal dans un souci de vulgarisation et de convivialité. Sans rechercher l'exhaustivité, elle rendait compte des principales avancées scientifiques obtenues par l'Institut dans le cadre des recherches conduites en coopération avec ses partenaires au Sénégal.

92 panneaux en couleur, enrichis par plus de 1000 photos et schémas illustraient douze grands thèmes scientifiques. Chacun des thèmes était introduit par un bref historique rendant compte de l'évolution des approches. Une exposition de documents et des animations présentaient différents modes de diffusion des résultats de la recherche : ouvrages scientifiques, matériels pédagogiques et didactiques, produits multimédias.

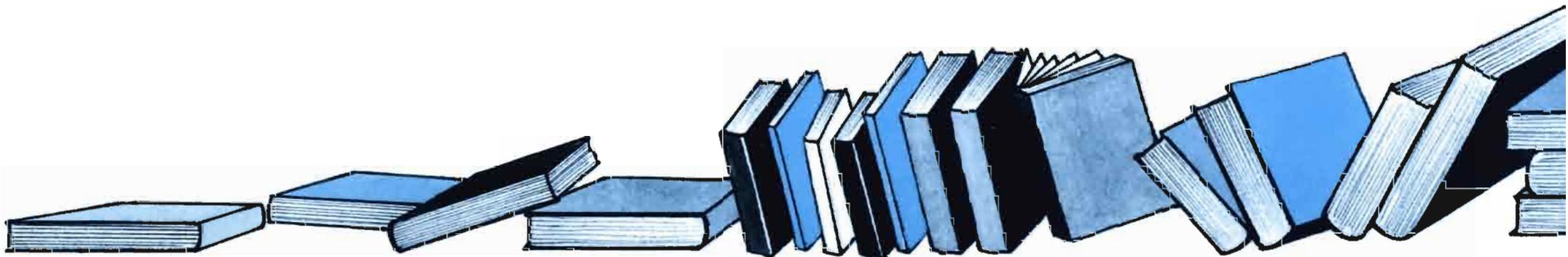
Le succès qu'a connu cette exposition (près de 5000 visiteurs en trois semaines) témoigne de l'intérêt que porte un public varié, composé de scolaires, d'étudiants, de scientifiques et de non scientifiques à la recherche en général et aux thèmes développés sur son environnement en particulier.

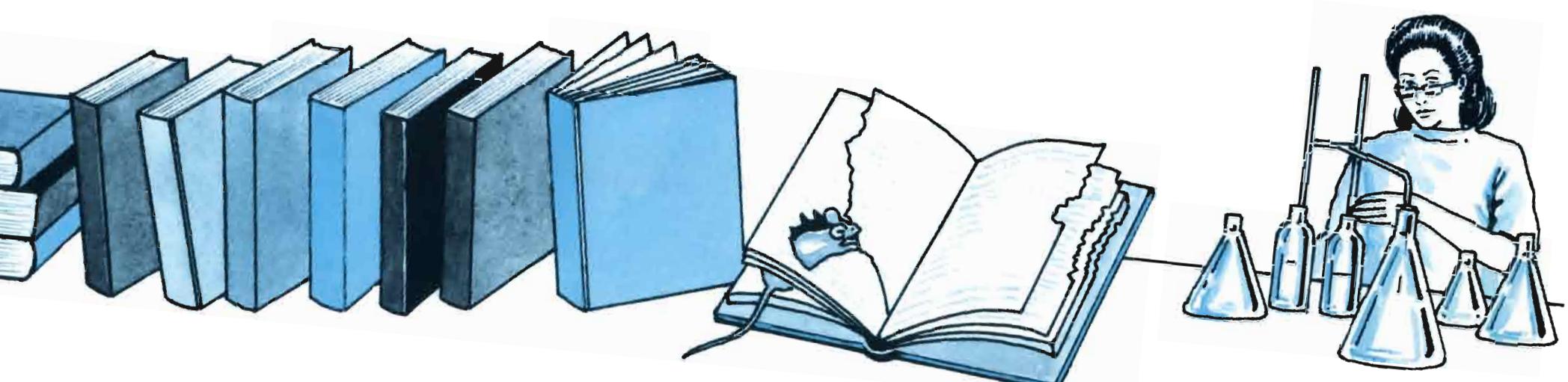
Cet intérêt justifie l'édition de cet ouvrage qui constitue la mémoire de cette exposition et en restitue le contenu sous une autre forme, ce qui permet de le mettre à la disposition du plus grand nombre.

L'ouvrage s'articule en douze grands thèmes réunissant les textes de l'exposition et un choix d'illustrations. Il est conçu de manière à ce que le lecteur puisse aisément orienter ses choix en fonction de ses centres d'intérêt.

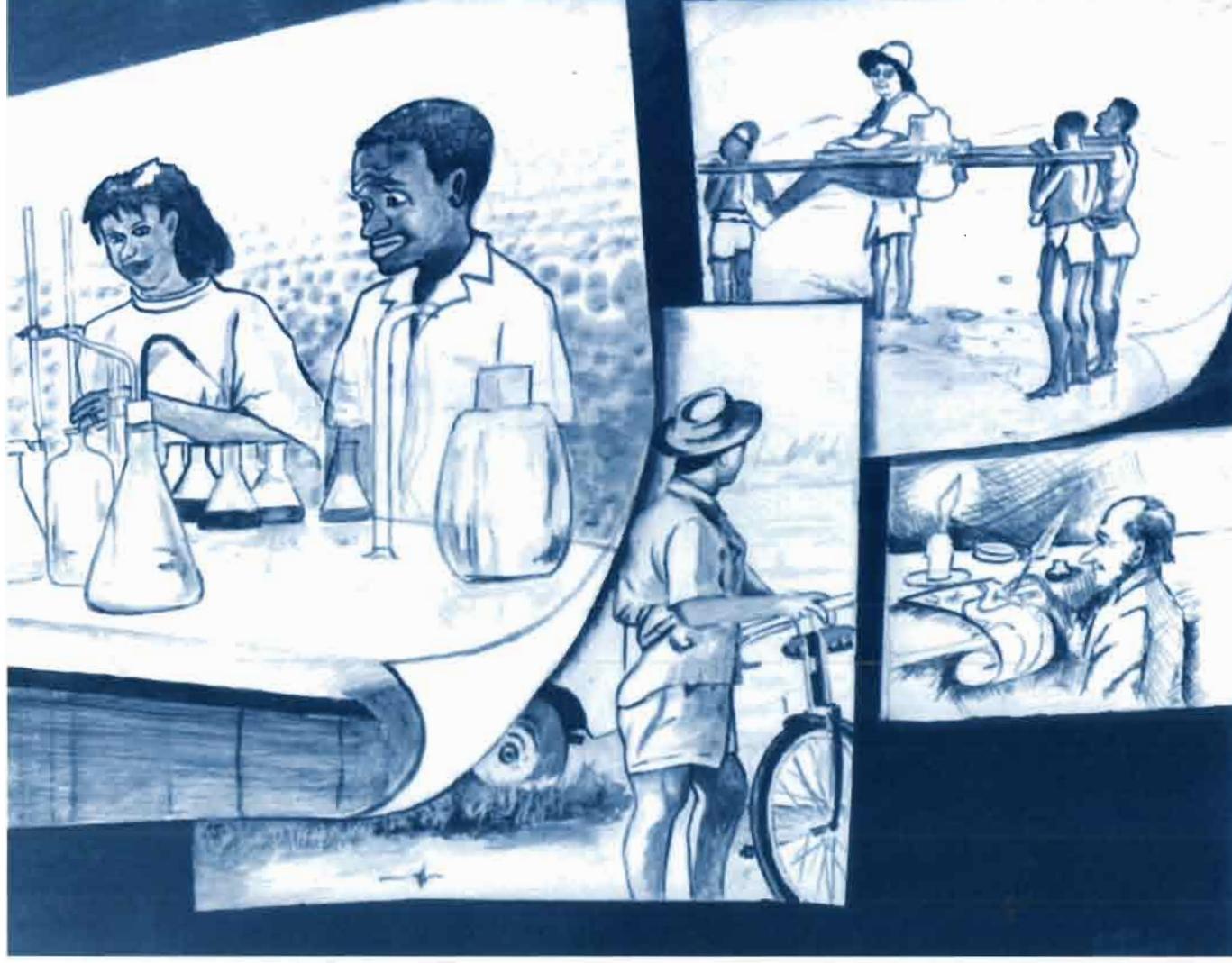
# de **La naissance la recherche scientifique**

**et  
son  
évolution  
au  
Sénégal**





Peinture : Aboubacar Yaya Zachary  
Cliché : Difco photo Dakar



Des premières cartes de reconnaissance des régions côtières de l'Afrique levées et utilisées par les navigateurs au XV<sup>e</sup> siècle aux recherches à caractère encyclopédique qui, au XVIII<sup>e</sup> siècle, ont transmis à notre génération une documentation d'un intérêt universel, les bases d'une recherche sur les milieux tropicaux se sont progressivement mises en place. Les documents qui ouvrent cet ouvrage en montrent quelques jalons sans souci d'exhaustivité.

L'histoire des sciences en Afrique reste à faire. Notre objectif est beaucoup plus modeste. Il est de rappeler l'action de quelques pionniers qui, par des démarches le plus souvent individuelles, ont construit une œuvre dans laquelle la recherche actuelle plonge ses racines. Les travaux qui sont arrivés jusqu'à nous témoignent de l'intérêt croissant qu'ont eu les européens pour la connaissance des milieux tropicaux.

La nécessité de mettre en valeur les territoires conquis par le colonisateur a conduit à organiser progressivement cette recherche. Des structures scientifiques ont commencé à se mettre en place et ont donné lieu à l'émergence d'une "recherche coloniale" à partir du début du XX<sup>e</sup> siècle. Mais c'est après la seconde guerre mondiale qu'une impulsion décisive a été donnée par la création d'institutions spécialisées et par la publication des textes fondateurs de ce qui deviendra ultérieurement l'Orstom.

### À l'origine de la recherche scientifique au Sénégal : le projet encyclopédique de Michel Adanson



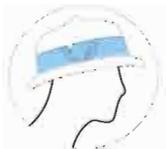
### La découverte cartographique de la Sénégambie au XVIII<sup>e</sup> siècle



### La découverte cartographique de la Sénégambie au XIX<sup>e</sup> siècle et au début du XX<sup>e</sup> siècle



### La recherche scientifique pendant la période coloniale



### La recherche scientifique au Sénégal indépendant



### L'Orstom au Sénégal



### La formation par l'Orstom au Sénégal





## À l'origine de la recherche scientifique au Sénégal :

# Le projet encyclopédique de Michel Adanson

Michel Adanson (1727-1806) séjourna au Sénégal de 1749 à 1754 et y collecta les documents nécessaires à la rédaction d'une *Encyclopédie du Sénégal*. Il constitua à partir de ses travaux en Afrique une riche collection d'animaux, de végétaux et de minéraux et accumula une documentation inédite qui atteste ses intérêts universels.

Son œuvre demeura méconnue en grande partie à cause de l'utilisation d'une "ortographe nouvelle" qu'il proposa et utilisa pour pouvoir transcrire les langues africaines. En effet, Michel Adanson collecta de nombreux renseignements linguistiques et proposa des traductions personnelles de poèmes français en wolof et de contes wolof en français.

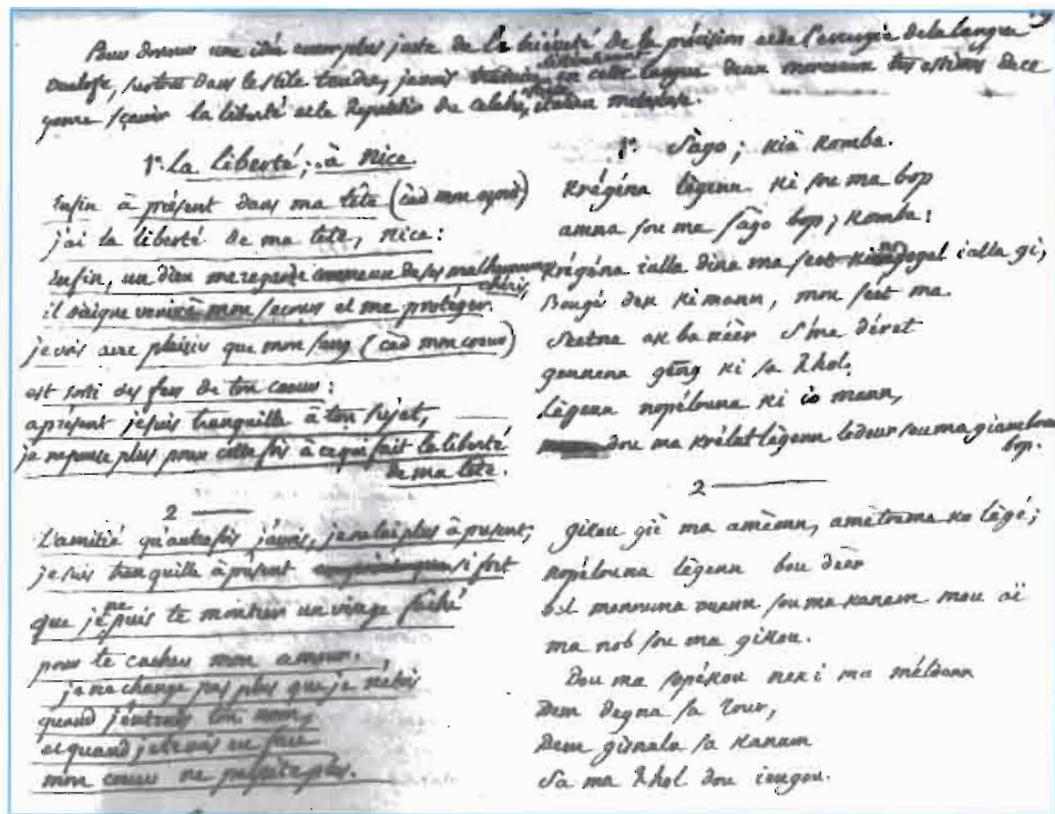
Il entreprit également un travail cartographique comportant des plans détaillés des rives du Sénégal, de la côte entre Saint-Louis et la Gambie, et fit effectuer les premiers relevés météorologiques complets sur une longue durée. Il est l'auteur de nombreuses observations sur les animaux et les végétaux. Si un seul volume de son *Encyclopédie*, consacré aux *Coquillages*, a vu le jour, par contre les données sur la flore furent utilisées dans la grande synthèse intitulée *Familles des plantes* dont les deux tomes sont publiés en 1763 et 1764. Ses collections déposées au Muséum national d'histoire naturelle de Paris ont été largement utilisées.

Dans son ouvrage sur les *Coquillages*, Michel Adanson propose la description scientifique complète de toutes les espèces collectées au Sénégal, avec de nombreuses illustrations. Pour certaines espèces nouvelles, il propose des dénominations où il privilégie toujours le nom local. Ainsi pour le *Cymbium neptuni*, il suggère le nom de *Yétus*, correspondant à l'appellation wolof du mollusque.



Plan de la presqu'île du Cap-Vert (extrait). En marge, sont données des références à l'ouvrage sur les Coquillages du Sénégal qui est précédé par une relation du voyage de Michel Adanson au Sénégal : l'auteur y énumère surtout les plantes observées, mais aussi les animaux et les minéraux.

Extrait d'un manuscrit linguistique sur la langue wolof, comportant une grammaire et un vocabulaire. L'auteur y propose la traduction en wolof de poèmes en vogue en France, pour manifester que la langue wolof est en mesure de traduire les concepts les plus subtils de la langue française.

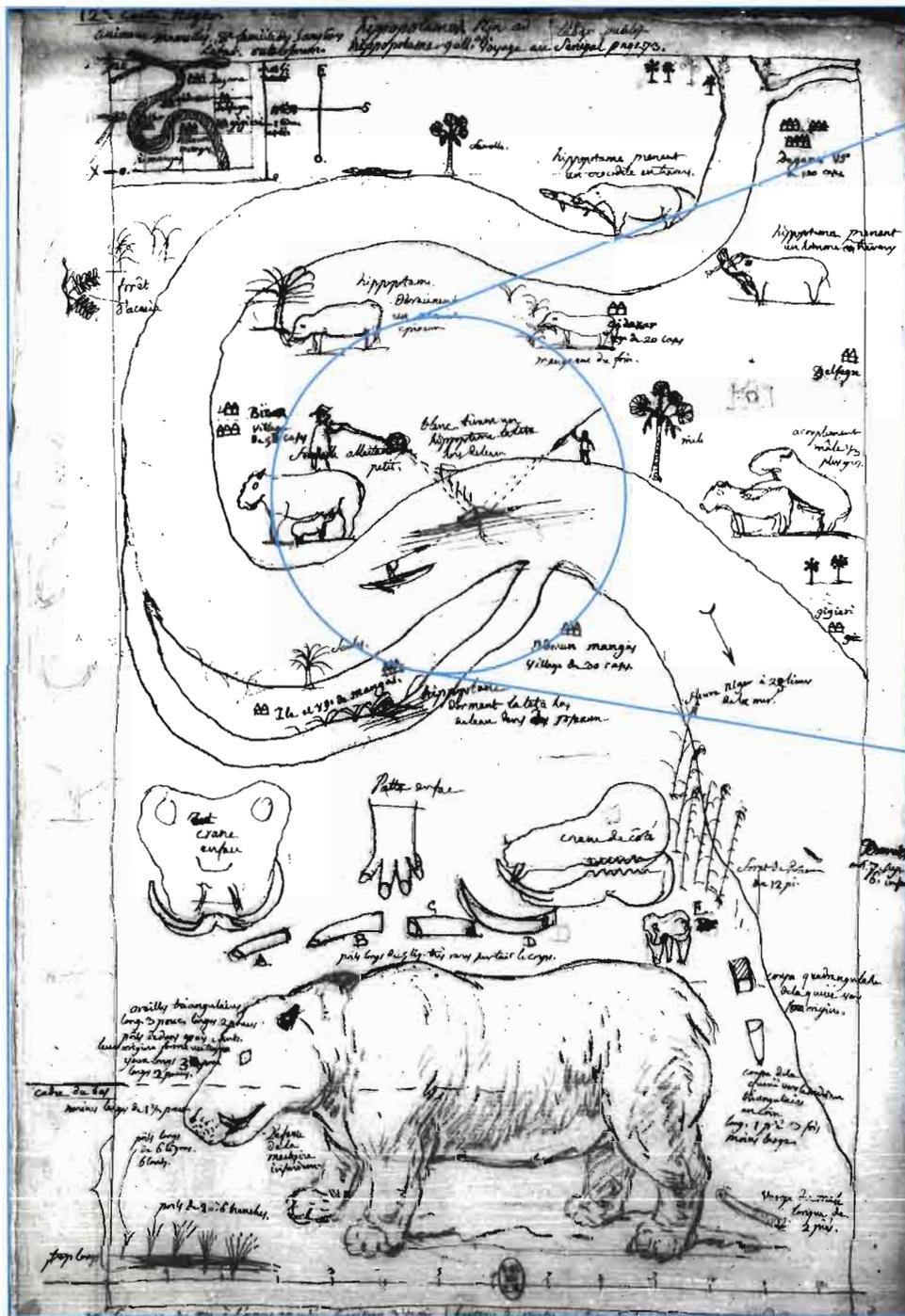


1° La Liberté; à Nice  
 Enfin à présent dans ma tête (càd mon esprit)  
 j'ai la liberté de ma tête, Nice  
 enfin, un dieu me regarde comme un de ses malheureux chéris  
 il daigne venir à mon secours et me protéger  
 je vois avec plaisir que mon sang (càd mon coeur)  
 est sorti des fers de ton coeur  
 a présent je suis tranquille à ton sujet  
 je ne pense plus pour cette fois à ce qui fait la liberté de ma tête

1° Sago; kià Komba  
 krégina lègenn ki sou ma bop  
 amna sou ma sago bop, Komba  
 krégina ialla dina ma seet ki ndogal ialla gi  
 bougé dek ki mann, mou seet ma  
 seetna ak ba nêër s'ma déret  
 gennenn geng ki sa rhol  
 lègenn nopélouna ki io mann  
 dou ma krélat lègenn lo dour sou ma giam b'our bop



On doit à Michel Adanson de nombreuses descriptions scientifiques des plantes africaines, en particulier la première description complète du Baobab, qui reçut de ce fait son nom scientifique *Adansonia digitata*.

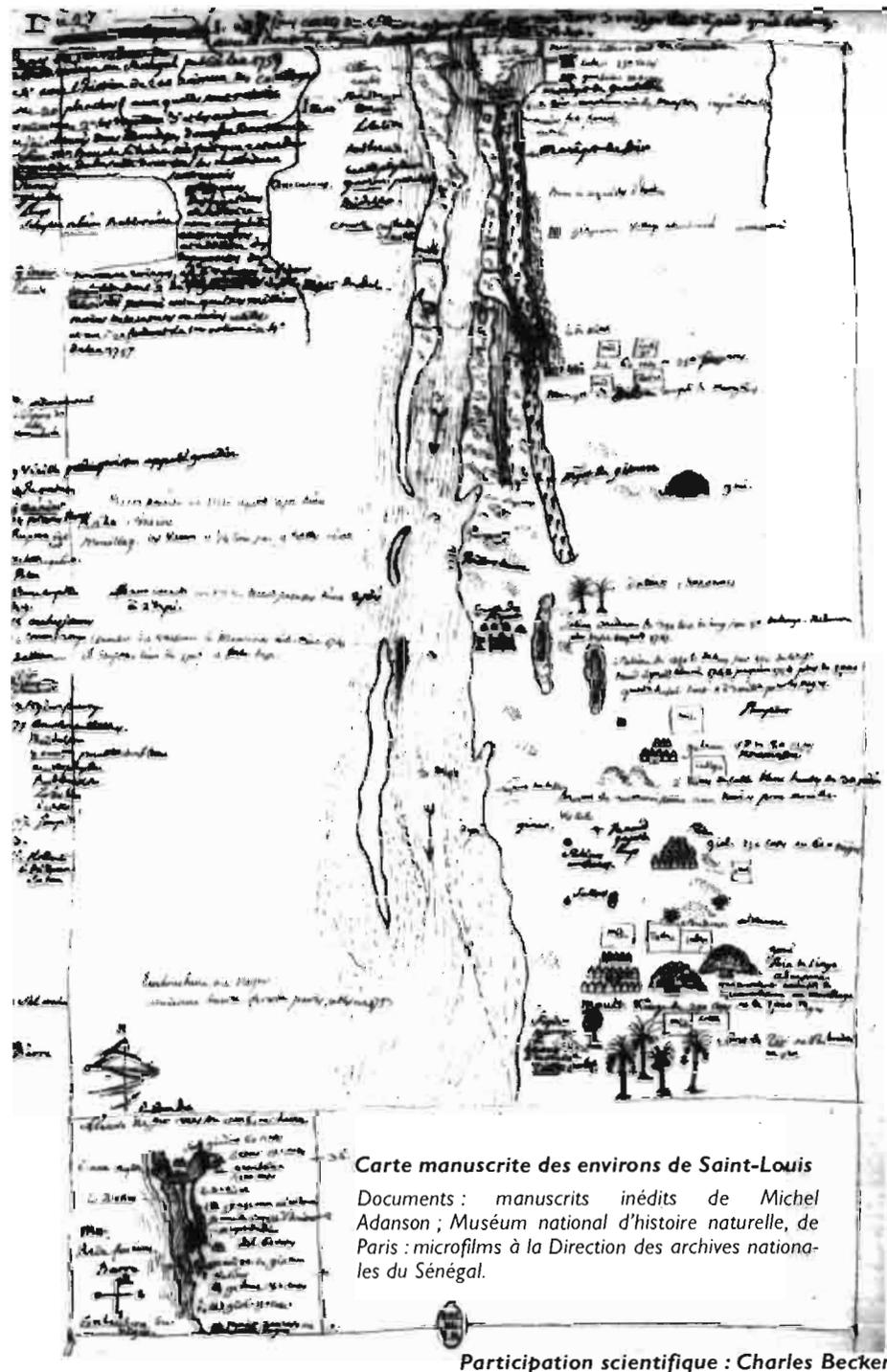
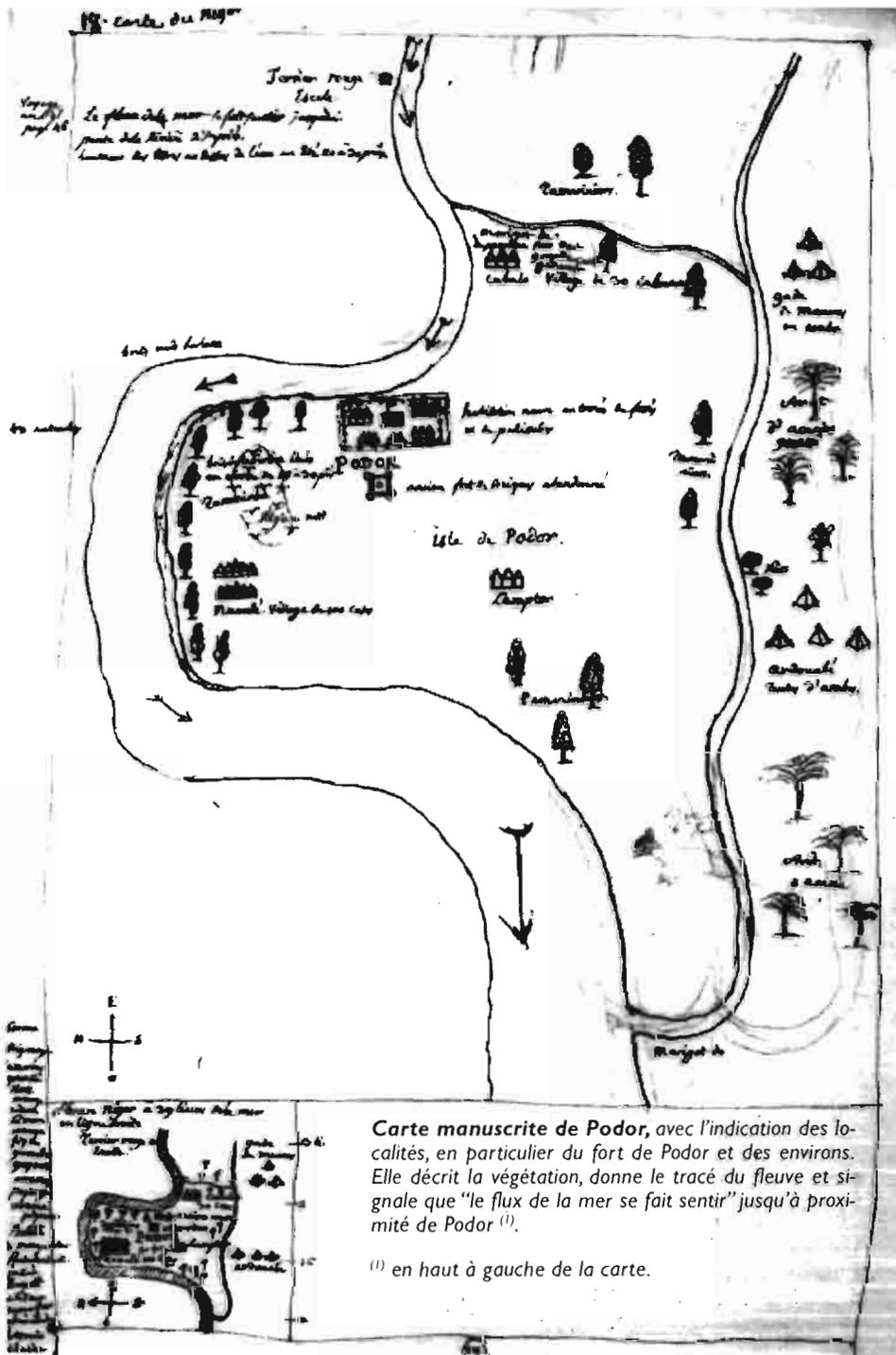


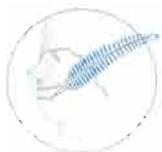
Carte de Dagana.

L'auteur y combine un tracé approximatif de la vallée avec une description zoologique presque complète de l'hippopotame. On note les données parfois amusantes sur la morphologie et sur les modes de vie de l'animal.

À la différence de ses prédécesseurs, Michel Adanson (1727-1806) a exploré lui-même une partie des pays cartographiés. Naturaliste, correspondant à l'Académie royale des sciences, il fit plusieurs voyages à Podor et au Cap-Vert. Sur la vallée du Sénégal, il ne dépassa pas Podor. Pour cartographier la partie plus en amont du fleuve, il a utilisé les relevés de l'ingénieur Loiseau. Dans son ouvrage, mais surtout dans un texte inédit, Adanson explique comment il a levé lui-même les latitudes des différents lieux, mesuré certaines distances et procédé avec rigueur et méthode. Ses cartes sont d'une extraordinaire richesse, sans doute parce qu'elles représentent le fruit d'une observation directe, par un véritable scientifique.

Dix-sept cartes manuscrites de la vallée du Sénégal, depuis l'embouchure jusqu'à Podor, ont été employées pour la confection d'une grande carte synthétique des environs du fleuve. Cette dernière n'a pas été éditée, mais fournit des indications nombreuses, précises et utiles sur les localités riveraines.

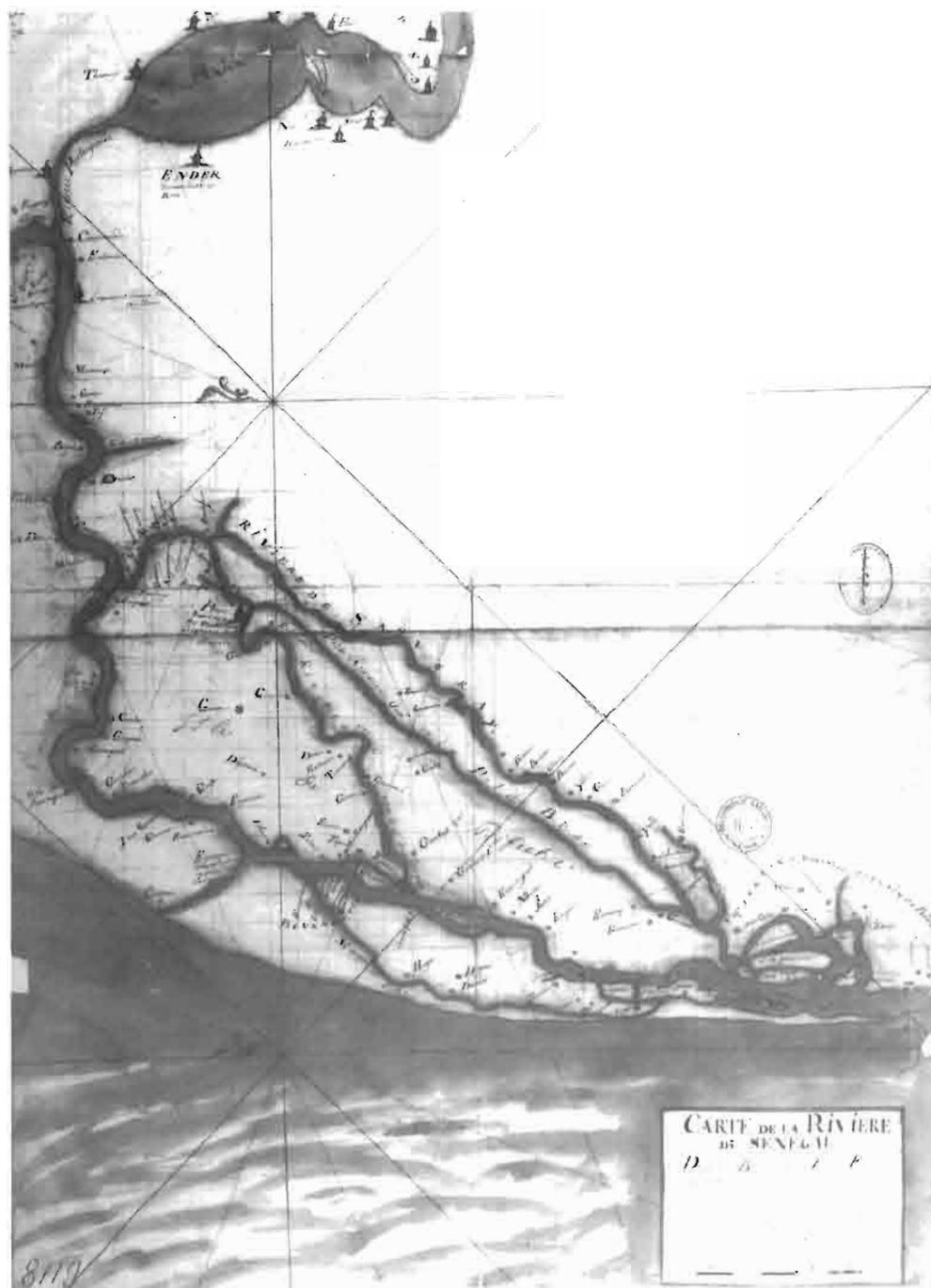




# La découverte cartographique de la Sénégambie au XVIII<sup>e</sup> siècle

Collaboration : CNRS

Les cartes suivantes illustrent l'évolution de la connaissance de l'espace sénégambien. Elles constituent des étapes qui manifestent les progrès de la cartographie européenne de la fin du XVII<sup>e</sup> au XIX<sup>e</sup> siècle : on y constate la rectification progressive du tracé des côtes, des fleuves et de leurs ramifications, l'apparition des toponymes (villages, provinces). On y trouve aussi des notations qui permettent de comprendre l'histoire des peuplements. Malgré les lacunes de cette documentation cartographique, il apparaît que tous les plans, ébauches, esquisses, croquis manuscrits, cartes particulières ou générales publiées ou non, apportent une quantité d'informations dont l'historien apprécie la valeur et l'intérêt.



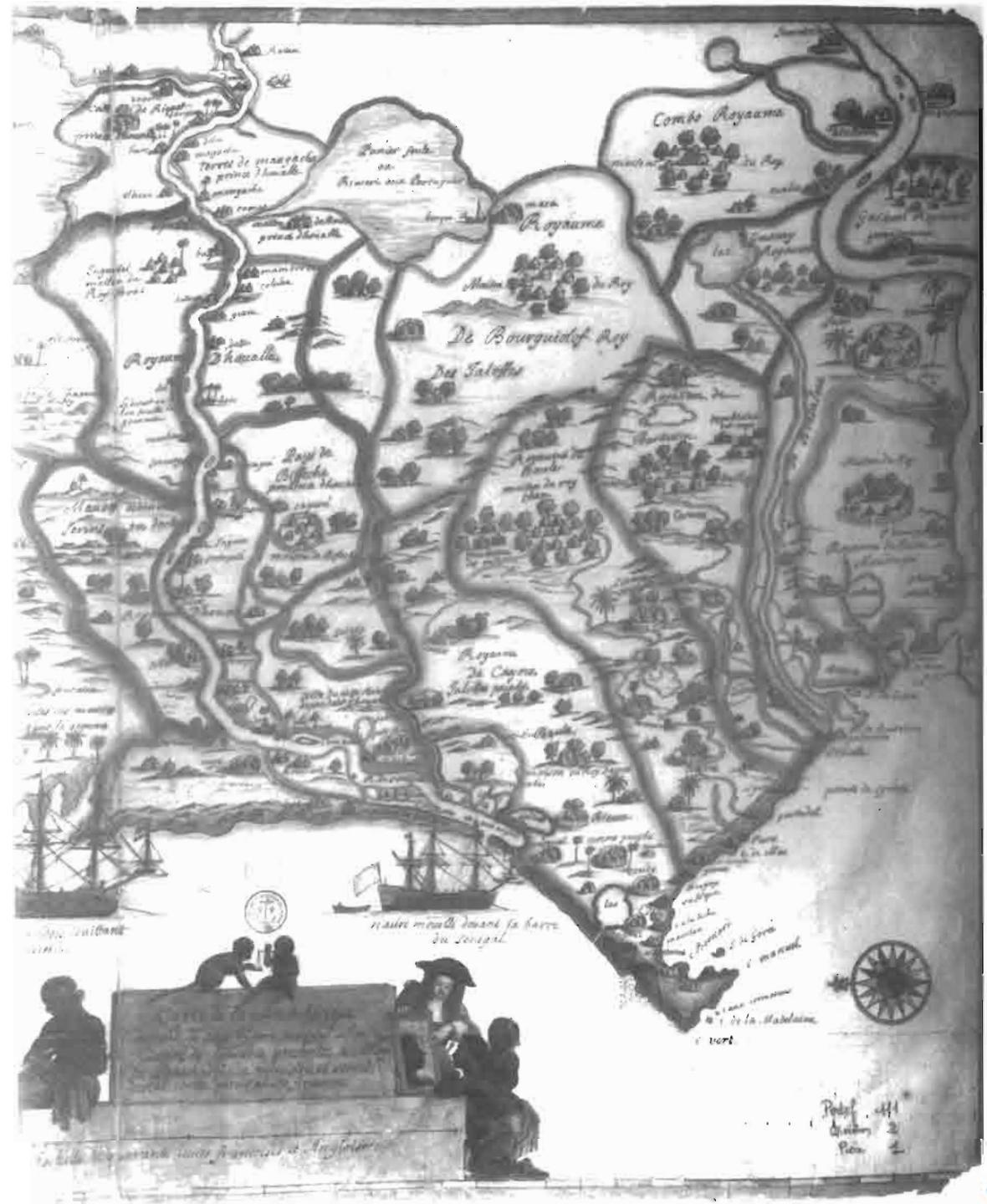
**Anonyme, 1720.**

Carte manuscrite du bas-Sénégal et des abords du lac du Panier-Foule (lac de Guiers). Cette esquisse propose un tracé relativement précis du delta du Sénégal sur lequel sont portés de nombreux villages riverains.

Autour du lac de Guiers figurent une quinzaine de villages dont certains sont situés sur le marigot de Bounoum. Le nom de ce dernier marigot n'apparaît pas, bien que son tracé soit indiqué en forme de vallée très large.

Avant le XVIII<sup>e</sup> siècle, la production cartographique relative au Sénégal est presque toujours insérée dans des documents généraux concernant toute l'Afrique ou une grande partie du continent. Certains renseignements spécifiques apparaissent. Ainsi, le Sénégal et la Gambie sont considérés dès le XIV<sup>e</sup> siècle comme des axes fluviaux et commerciaux importants, où aboutit le commerce transsaharien et interafricain.

Entre le XIV<sup>e</sup> et le XVI<sup>e</sup> siècle, les cartographes et les navigateurs réalisent des cartes qui répondent surtout à des préoccupations utilitaires : connaissance des zones de navigation et installation des comptoirs de commerce le long des côtes africaines. Les voies de pénétration vers l'intérieur commencent à être indiquées : ainsi, le Rio de Cenega est signalé très tôt après les découvertes portugaises ; il conflue avec le Rio de Gabia ou Gambia (la Gambie) pour constituer un fleuve transafricain, le Niger, qui rejoignait même le Nil.



**Anonyme, fin du XVII<sup>e</sup> siècle.**

“Carte de la Coste d’Afrique depuis le Cap Blanc jusques a la Riviere de Gambie”.

Cette carte, malgré son imprécision, présente un certain intérêt géographique. Un bon nombre de villages du Cap Vert et de la Petite-Côte figurent, avec ou sans leur nom. Sur le fleuve Sénégal apparaissent de nombreuses localités ainsi que les limites des provinces du Walo.

L’intérieur des royaumes du Kaor, du Baol et du Sine est rempli de cases et d’arbres, avec le dessin des “tombeaux des rois”. Dans le royaume du Saloum, plusieurs localités riveraines de la Gambie sont indiquées.

Carte très joliment illustrée, orientée le nord à gauche ; côtes, villages et “tentes des maures” sont représentés en vue cavalière ; figuration d’un navire hollandais traitant la gomme et d’un autre mouillé devant la barre du Sénégal.



Les progrès de la cartographie du Sénégal suivent assurément les mouvements de l'expansion européenne. Si les cartes des navigateurs du XVI<sup>e</sup> siècle s'intéressent surtout aux côtes, celles du XVII<sup>e</sup> et du

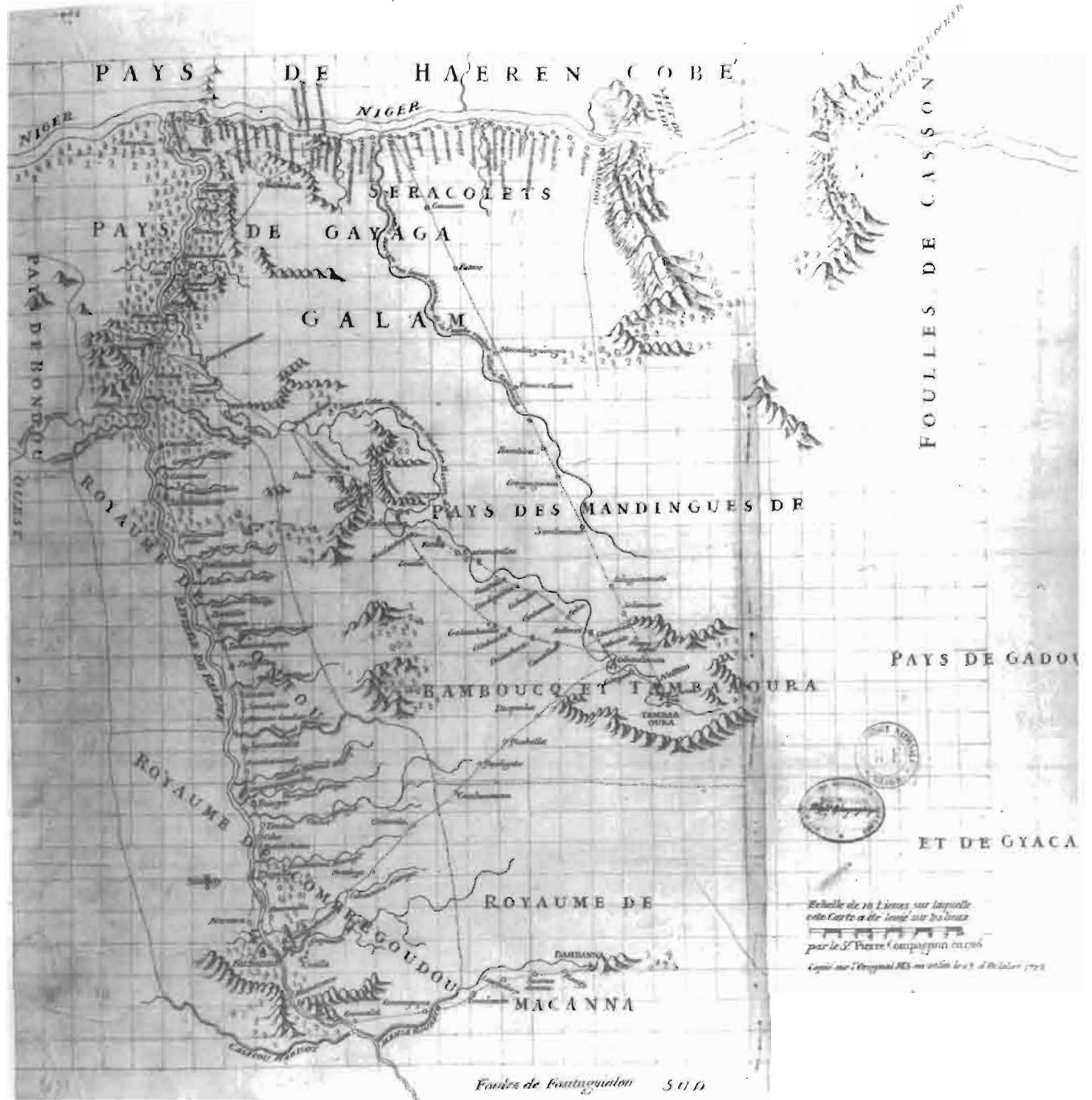
XVIII<sup>e</sup> siècle deviennent de véritables œuvres d'art qui naissent de la compilation des renseignements récoltés par les commerçants, les explorateurs et parfois les savants. Au XVIII<sup>e</sup> siècle se développe aussi le goût de l'observation directe : les explorateurs, les savants et même les commerçants consignent leurs découvertes et produisent des documents cartographiques.

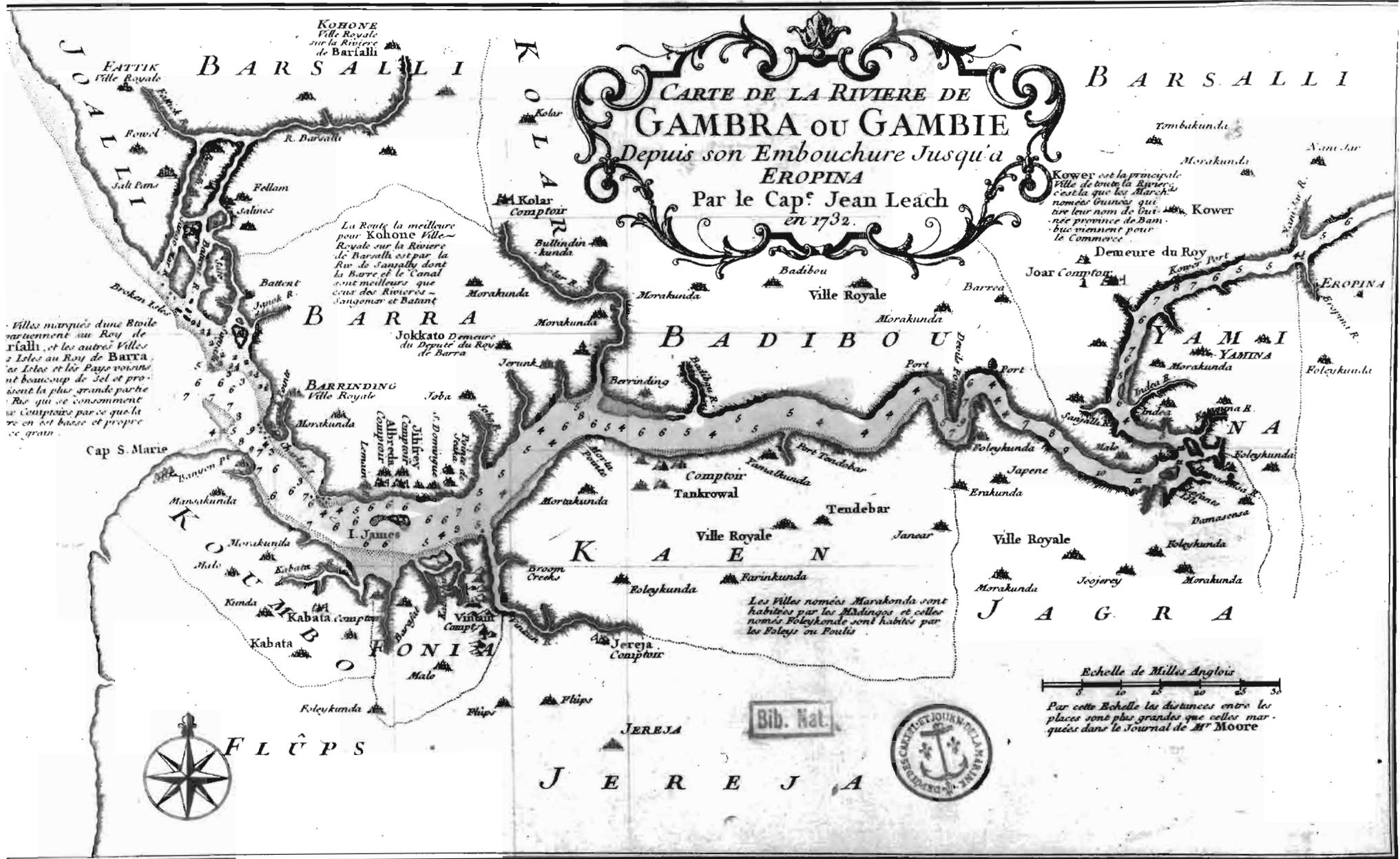
Tous les documents reproduits fournissent des indications historiques et géographiques intéressantes et permettent de suivre les étapes de la connaissance européenne du Sénégal. Malgré leurs lacunes et leurs silences, elles montrent l'implantation des villages et les migrations, permettent de saisir les activités économiques de la région, de comprendre les modifications socio-politiques. On enregistre des faits historiques qui sont présentés par des auteurs européens, aux diverses périodes de l'histoire. Ces faits sont à analyser et à comprendre à l'aide d'autres sources disponibles, comme les pièces d'archives complémentaires, mais surtout à l'aide de la tradition orale, qui fournit un éclairage différent sur l'histoire des populations sénégalaises. Toutefois, cette sélection des cartes géographiques les plus significatives représente et reste un témoignage -certes ambigu- des progrès de la connaissance de cette partie du continent africain.

**Pierre Compagnon, 1716 (rééditée en 1723).**

Carte des pays situés au confluent du Sénégal et de la Falémé. Pierre Compagnon effectua une exploration des pays situés au confluent du Sénégal et de la Falémé, pour y rechercher les mines d'or. Un des résultats de cette mission fut l'établissement de documents cartographiques qui feront autorité jusqu'au début du XIX<sup>e</sup> siècle. Bien qu'encore imprécise, la carte revêt un intérêt historique : de nombreux villages sont localisés, les frontières des anciens pays et royaumes sont tracées.

Au nord du Sénégal, appelé Niger, se trouve le pays des Haerencobé. Au sud du Sénégal et sur les deux rives de la Falémé se trouve le pays de Gayaga, habité par les Seracolets, et nommé également Galam. Plus au sud, sur les deux rives de la Falémé, se succèdent les royaumes de Contou et de Combregoudou. À l'est de ces deux royaumes, sont situés "le pays des Mandingues de Bamboucq et Tambaoura" et le "royaume de Macanna". À l'ouest figure une petite partie du Boundou ; à l'est se placent le pays des "Foules de Casson" et, au sud de celui-ci, les "pays de Gadou et de Gyaga".

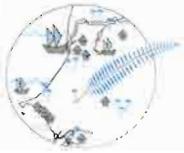




Jean Leach, 1732.

Carte majeure pour la reconnaissance des pays riverains de la Gambie. Leach s'est servi de cartes antérieures pour y apporter des corrections notables. Le document de Leach rectifie le tracé du fleuve, donne les profondeurs au long de son cours, indique de multiples villages des vingt royaumes riverains ainsi que leur capitale.

Cette carte sera utilisée, avec certaines des erreurs qu'elle contient, pendant un siècle. Elle a été établie à l'aide des données de Francis Moore qui explora la Gambie en 1731.



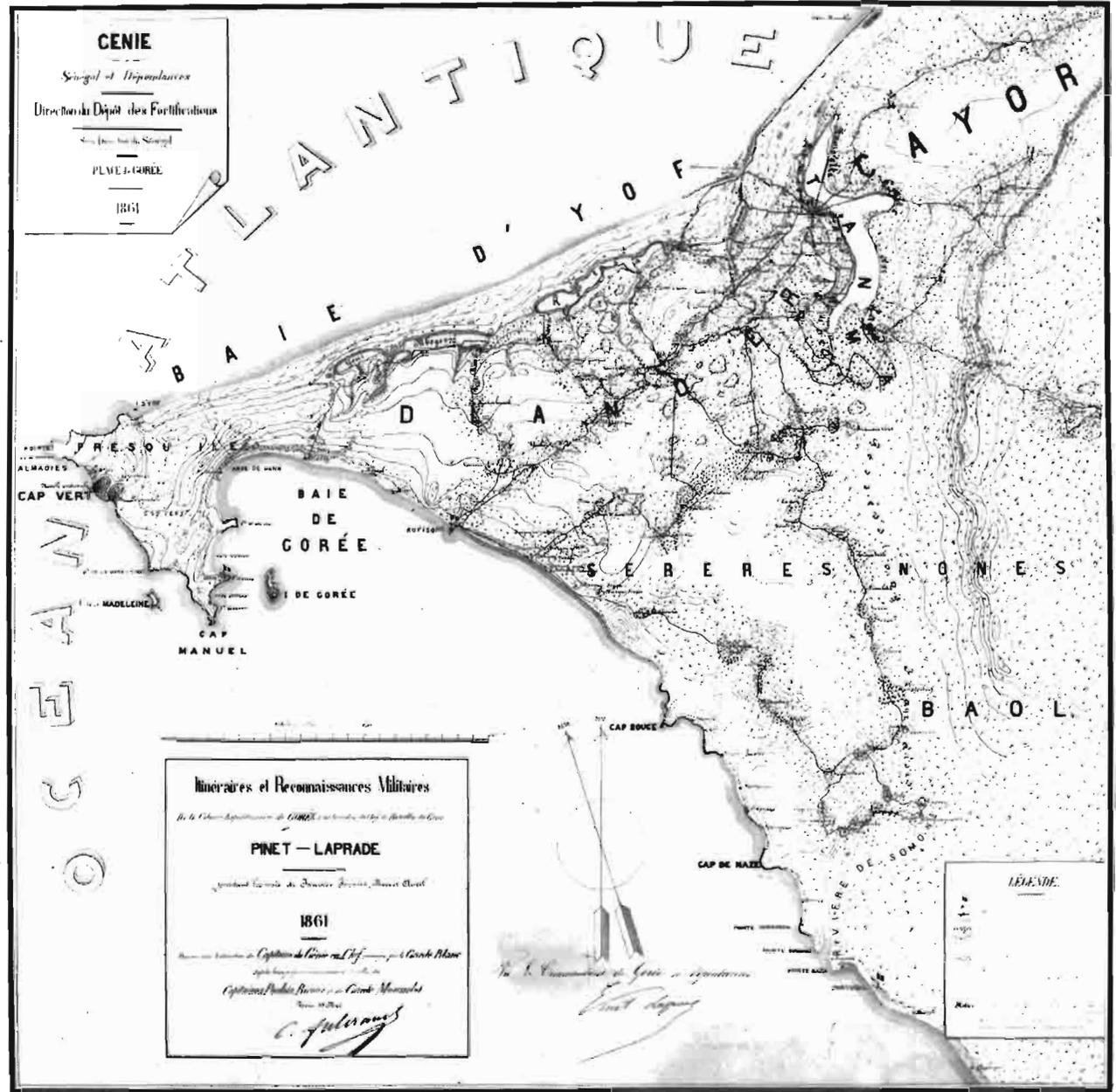
# La découverte cartographique de la Sénégambie au XIX<sup>e</sup> siècle et au début du XX<sup>e</sup> siècle

Collaboration : CNRS

Au XIX<sup>e</sup> siècle, les progrès de la connaissance géographique et de la cartographie sont concomitants à ceux de l'implantation française. Les progrès de la navigation poussent également à l'établissement de documents plus précis. Mais les cartes les plus importantes représentent surtout des synthèses, établies à partir des croquis d'itinéraires suivis par les colonnes militaires.

La délimitation des provinces -qui deviendront par la suite les cantons de l'administration coloniale- s'affine. On observe, sur les cartes, des divisions dont la pertinence sera vérifiée par la suite, mais qui seront en grande partie reprises.

A la fin du XIX<sup>e</sup> et au début du XX<sup>e</sup> siècle, la vallée du Sénégal est bien connue. Après les relevés par les militaires, les renseignements sont fournis par les autorités coloniales et collectés par des cartographes spécialisés, qui effectuent des levés.

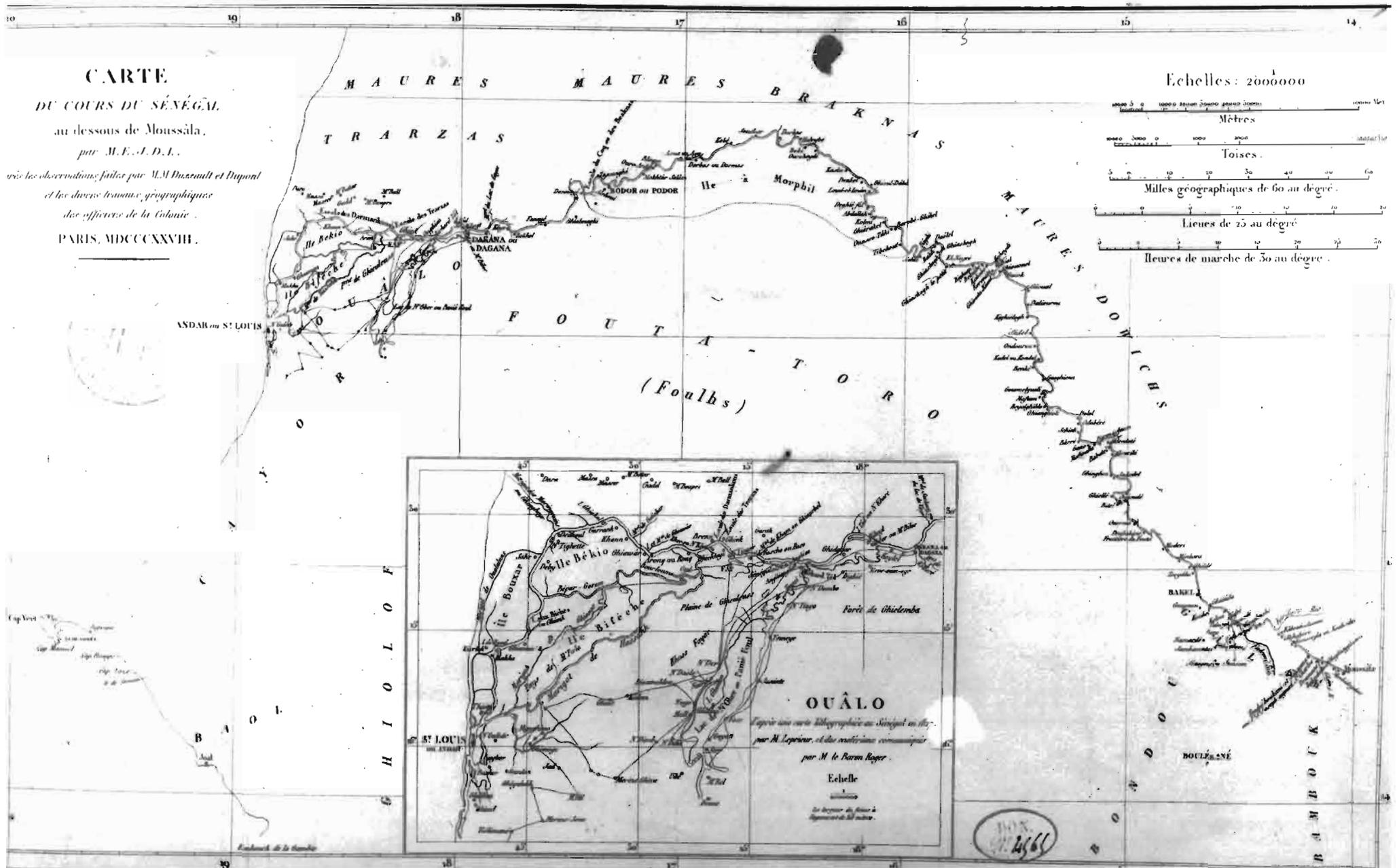


**Pinet-Laprade 1861.**

*Itinéraires et reconnaissances militaires de la colonne expéditionnaire de Gorée, au 1/100 000<sup>e</sup>.*

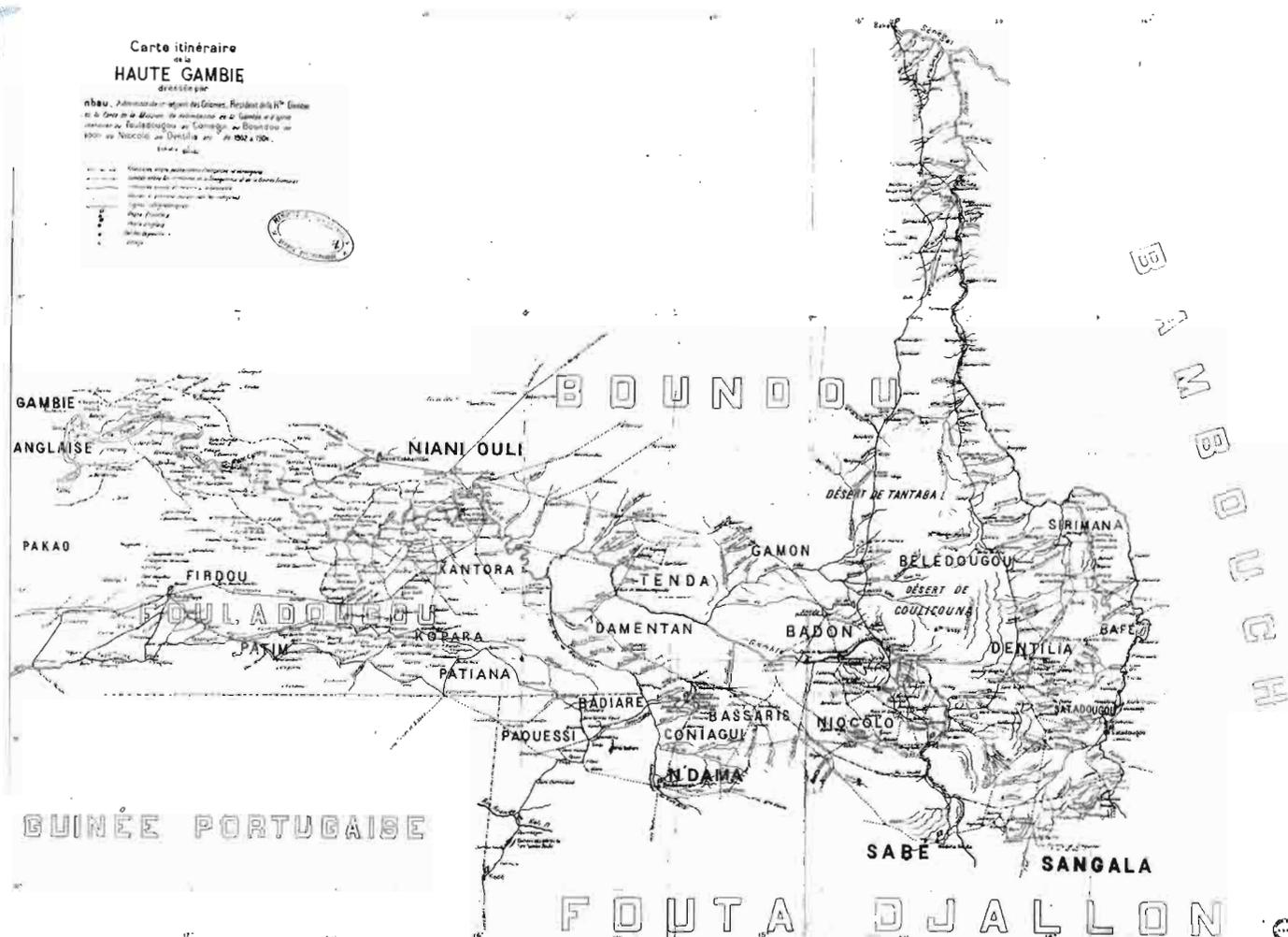
*Cette carte comporte des itinéraires au long desquels de nombreuses localités sont reportées. La carte se limite au Cap-Vert, à la Petite Côte (vers Mbour) et à l'ouest de Thiès. Elle donne des indications sur la végétation et le relief (courbes de niveau).*

*La légende reconnaît le caractère incomplet et imparfait de cette esquisse qui montre néanmoins à quel point le développement de la cartographie se réalise en liaison avec la conquête coloniale.*



Anonyme (M.E.J.D.L.) (Blondeau), 1828.

Carte du cours du Sénégal au-dessous de Moussala, au 1/200 000°. Cette carte rectifie le tracé du delta du Sénégal et donne un tracé du lac de Guiers. La toponymie de la vallée ne concerne que les villages riverains du cours principal du Sénégal. L'intérieur des terres est couvert par un encart représentant le "Ouâlo, d'après une carte lithographiée au Sénégal en 1827 par M. Leprieur et des matériaux communiqués par M. le Baron Roger (échelle 1/1 000 000)". Cette carte du Walo, assez précise, représente un agrandissement détaillé d'une partie de la carte qu'elle accompagne. Le tracé des bras du delta devient plus correct, de même que celui du lac de Guiers (ce dernier est appelé lac de N'Gher ou Panié Foule). Les limites de ce royaume ne sont pas indiquées sur la carte.



**Riembau, 1902-1904.**

Carte itinéraire de la Haute-Gambie.

Pour la Haute-Gambie les documents cartographiques du XIX<sup>e</sup> siècle sont rares, en dehors des cartes d'itinéraires de voyageurs et des croquis relatifs à la colonne Galliéni qui y poursuivit Mamadou Lamine Dramé.

Bien que les provinces du Sénégal Oriental soient placées sous le protectorat de la France dans les années 1890, leur cartographie se limitera à cette carte, fruit d'un travail de terrain notable. On constate la précision des données sur les implantations des villages, les routes et le tracé des vallées. L'auteur adopte la dénomination des provinces qui a été retenue lors de la signature des premiers traités avec la France et mentionne les contours approximatifs de celles-ci.

C'est à peu près à la même période que des travaux aussi précis se réalisent ailleurs, dans le cadre de la délimitation de la Gambie. Ils précèdent de peu les débuts du programme de cartographie complète de la colonie, qui va se mettre en place pour fournir à partir de 1910 des cartes de la colonie du Sénégal au 1/100 000<sup>e</sup>.

page de droite :

Vallon, seconde moitié du XIX<sup>e</sup> siècle. Cours de la Casamance de son embouchure à Diannah.

Cette carte traite de la partie aval de la Casamance. La partie amont est figurée sous forme d'encart en haut de la carte.

Le document s'intéresse surtout au cours de la Casamance dont il indique les profondeurs, et pour laquelle figurent des renseignements sur la navigation. Le tracé de la rivière et des ramifications y acquiert une certaine précision. Apparaissent des renseignements sur les abords du fleuve, où l'on relève les noms de la plupart des localités, ainsi que les unités politiques ou ethniques de la région avec quelques notations sommaires, parfois délicates à interpréter.

Un petit encart propose un aperçu sur les groupes "joola" de la rive sud de la Casamance, dressé à l'aide des renseignements obtenus à la suite du passage de Giackin et de l'Apertado entre la Casamance et Cachéo.

Nous remercions les institutions qui nous ont permis de consulter et reproduire les documents :

- Bibliothèque nationale de France, Paris ;
- Archives nationales de France, Paris ;
- Archives nationales de France, Section outre-mer, Dépôt des fortifications des colonies, Aix-en-Provence ;
- Archives de la marine de France ;
- Direction des archives du Sénégal, Dakar.

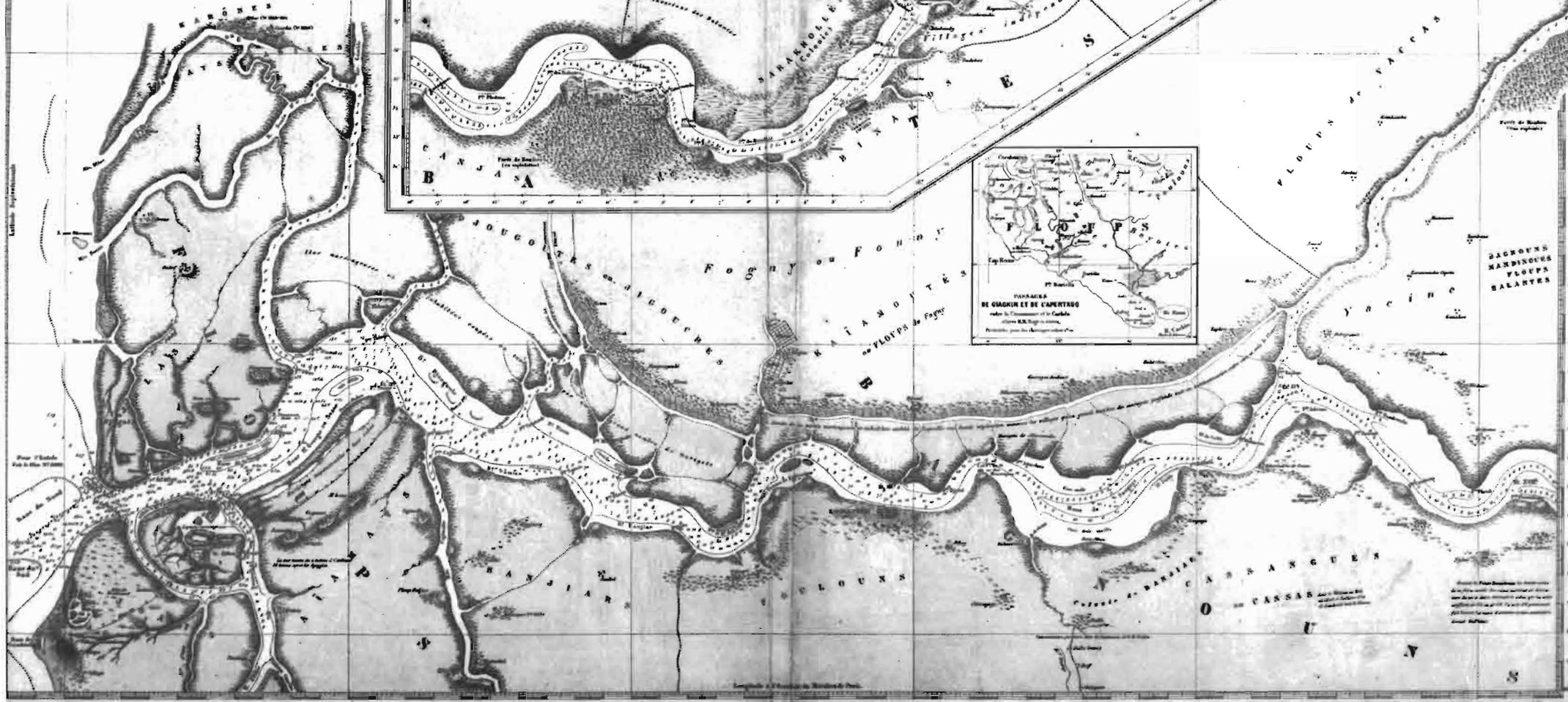
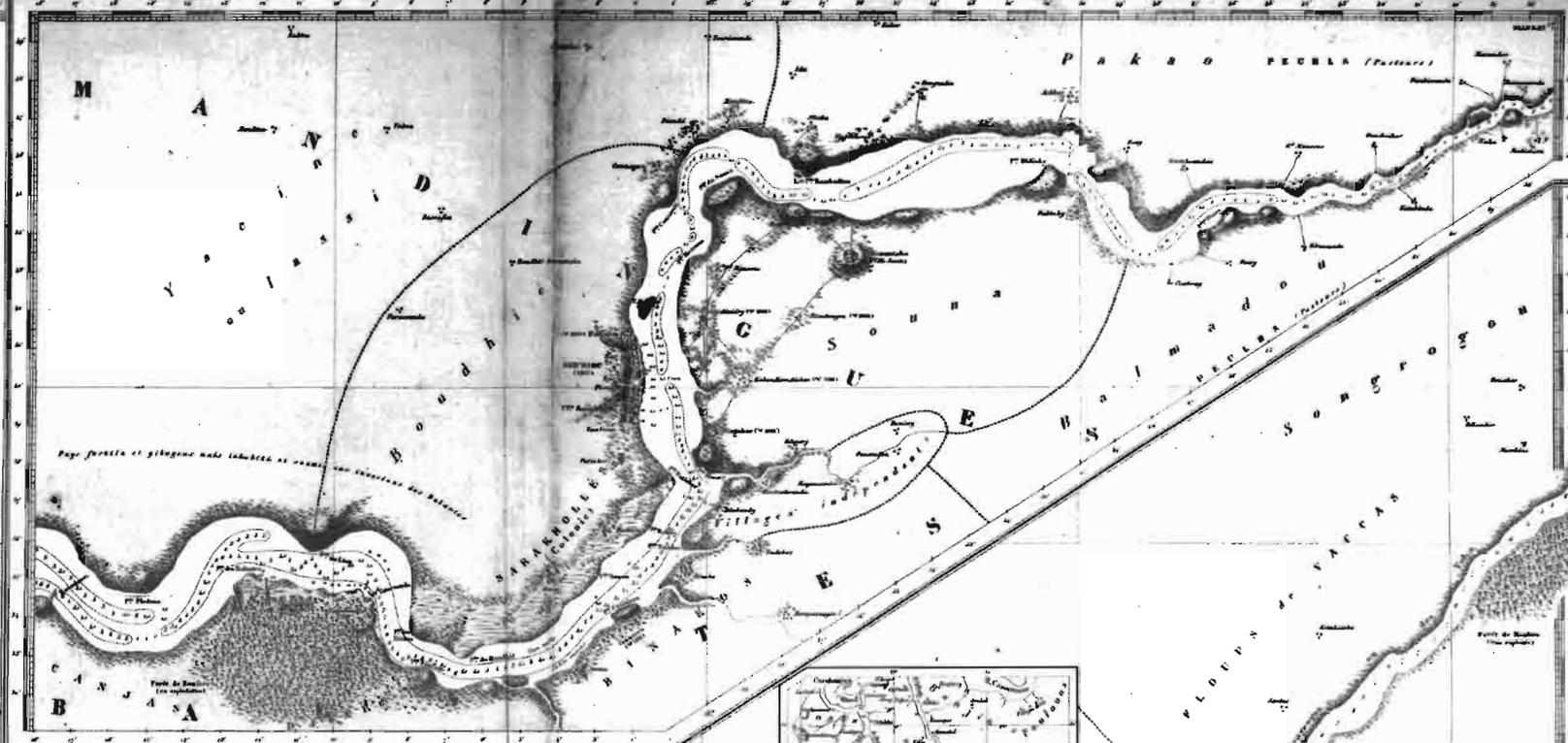
Participation scientifique : Charles Becker

**CÔTE OCCIDENTALE D'AFRIQUE**  
**COURS DE LA CASAMANCE**  
 DE SON EMBOUCHURE À DIANNAH

Dressée  
 par M. VALLON Capitaine de Frégate  
 d'après ses propres observations (1814-1816)  
 et sur les notes de M. B.  
 Roussin, Supr. Adm., P. B. de la Marine, de la Colonie.

ÉCHÉLON DES CARTES ET PLANS DE LA MARINE  
 1811.

Les Côtes sont représentées en Blanc.  
 les Bâtiements en Noir.  
 les Ports en Vert.  
 les Rivières en Bleu.  
 les Lacs en Vert.  
 les Montagnes en Gris.  
 les Forêts en Vert.  
 les Villes en Noir.  
 les Forts en Noir.  
 les Bastilles en Noir.  
 les Forts de Mer en Noir.  
 les Forts de Terre en Noir.  
 les Forts de Mer en Noir.  
 les Forts de Terre en Noir.



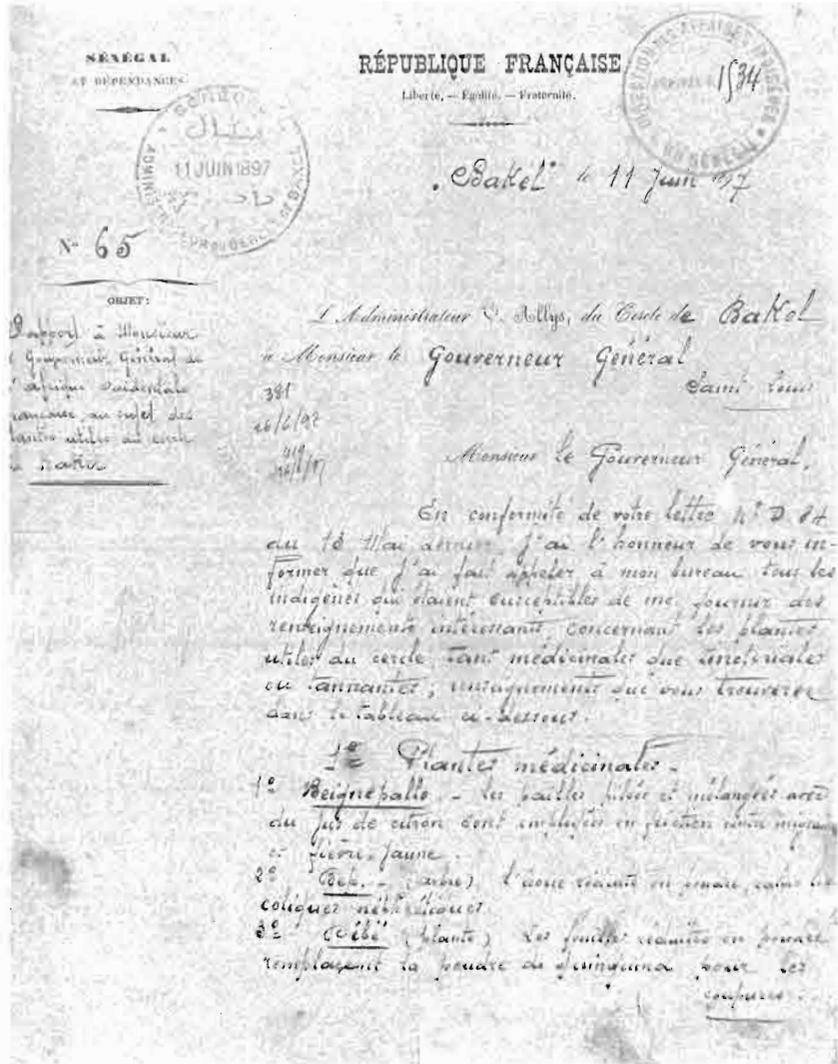


# La recherche scientifique

Collaboration : Direction des archives du Sénégal

Depuis son contact avec les territoires qui allaient devenir ses colonies, la France a eu comme souci le développement d'une recherche scientifique s'appliquant à la mise en valeur des pays colonisés.

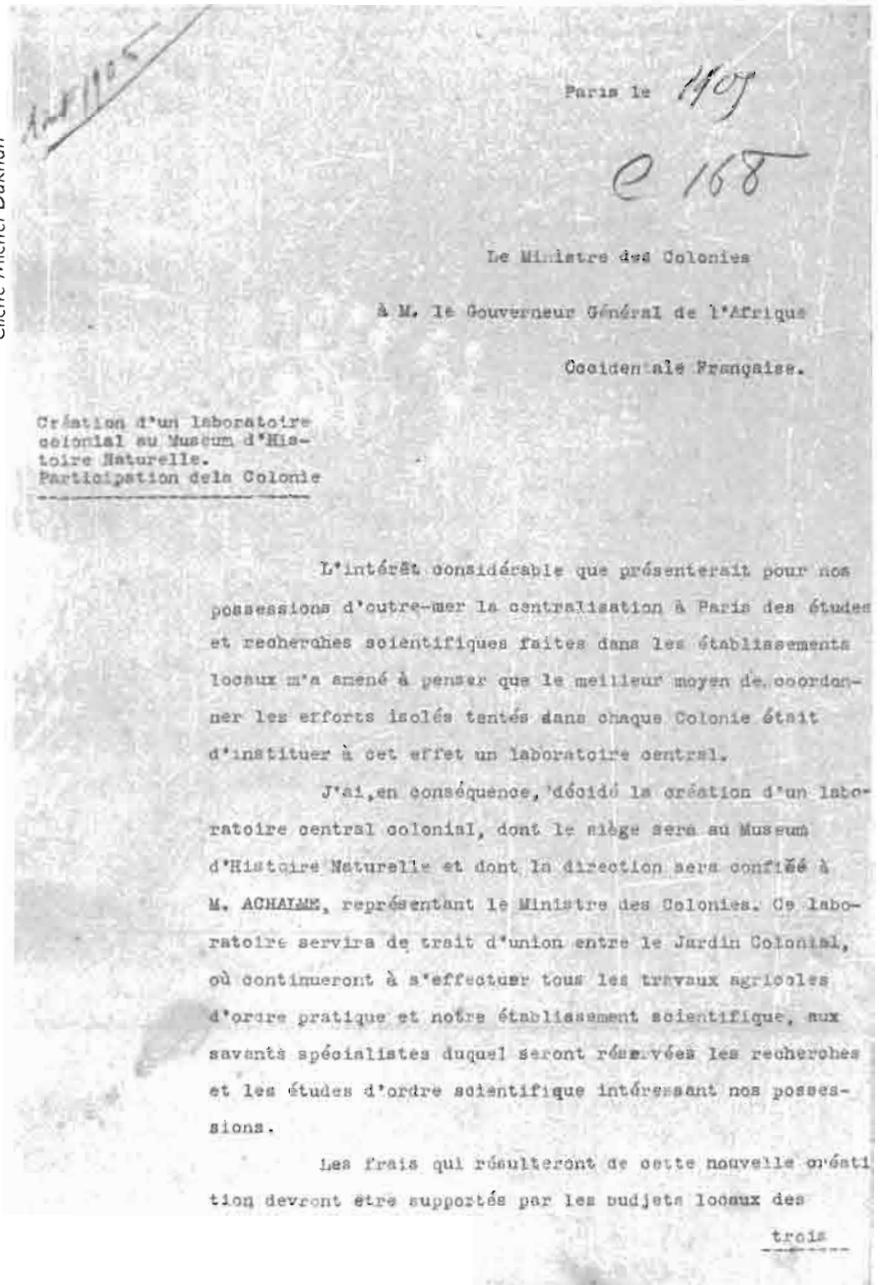
Une véritable "recherche coloniale" s'est progressivement structurée au Sénégal depuis le début du XX<sup>e</sup> siècle. On peut en rappeler quelques étapes.



Cliché Michel Dukhan

Note de l'Administrateur du Cercle de Bakel au Gouverneur général, datée de 1897, sur les plantes utiles "médicinales, tinctoriales ou tannantes".

Cliché Michel Dukhan



Création d'un laboratoire colonial au Muséum d'Histoire Naturelle. Participation de la Colonie

L'intérêt considérable que présenterait pour nos possessions d'outre-mer la centralisation à Paris des études et recherches scientifiques faites dans les établissements locaux m'a amené à penser que le meilleur moyen de coordonner les efforts isolés tentés dans chaque Colonie était d'instituer à cet effet un laboratoire central.

J'ai, en conséquence, décidé la création d'un laboratoire central colonial, dont le siège sera au Muséum d'Histoire Naturelle et dont la direction sera confiée à M. ACHAYME, représentant le Ministre des Colonies. Ce laboratoire servira de trait d'union entre le Jardin Colonial, où continueront à s'effectuer tous les travaux agricoles d'ordre pratique et notre établissement scientifique, aux savants spécialistes duquel seront réservées les recherches et les études d'ordre scientifique intéressant nos possessions.

Les frais qui résulteront de cette nouvelle création devront être supportés par les budgets locaux des

trois

1905 : lettre du Ministre des colonies au Gouverneur général de l'AOF. Révèle, à travers le projet de création d'un laboratoire colonial central au Muséum d'histoire naturelle, le souci de coordonner les efforts isolés de recherche.

# pendant la période coloniale

## De l'initiative individuelle à une recherche en voie de structuration

Le Comité d'études historiques et scientifiques de l'AOF, créé en 1915, a fonctionné jusqu'en 1925. Il avait pour mission de coordonner la recherche, d'en assurer la continuité et d'en faire mieux connaître les résultats.

## Créations de structures scientifiques

Des structures sont créées et établies en France métropolitaine comme dans les colonies pour promouvoir et encadrer la recherche : institutions de recherche, laboratoires, comité de recherche scientifique.

\* 11 octobre 1943 : création de l'Office de la recherche scientifique coloniale (ORSC) confirmée par l'ordonnance du 24 novembre 1944.

Au Sénégal, les premiers établissements de recherche avaient été créés auparavant :

\* 1911 : création de la Mission permanente d'étude des jardins d'essais coloniaux ;

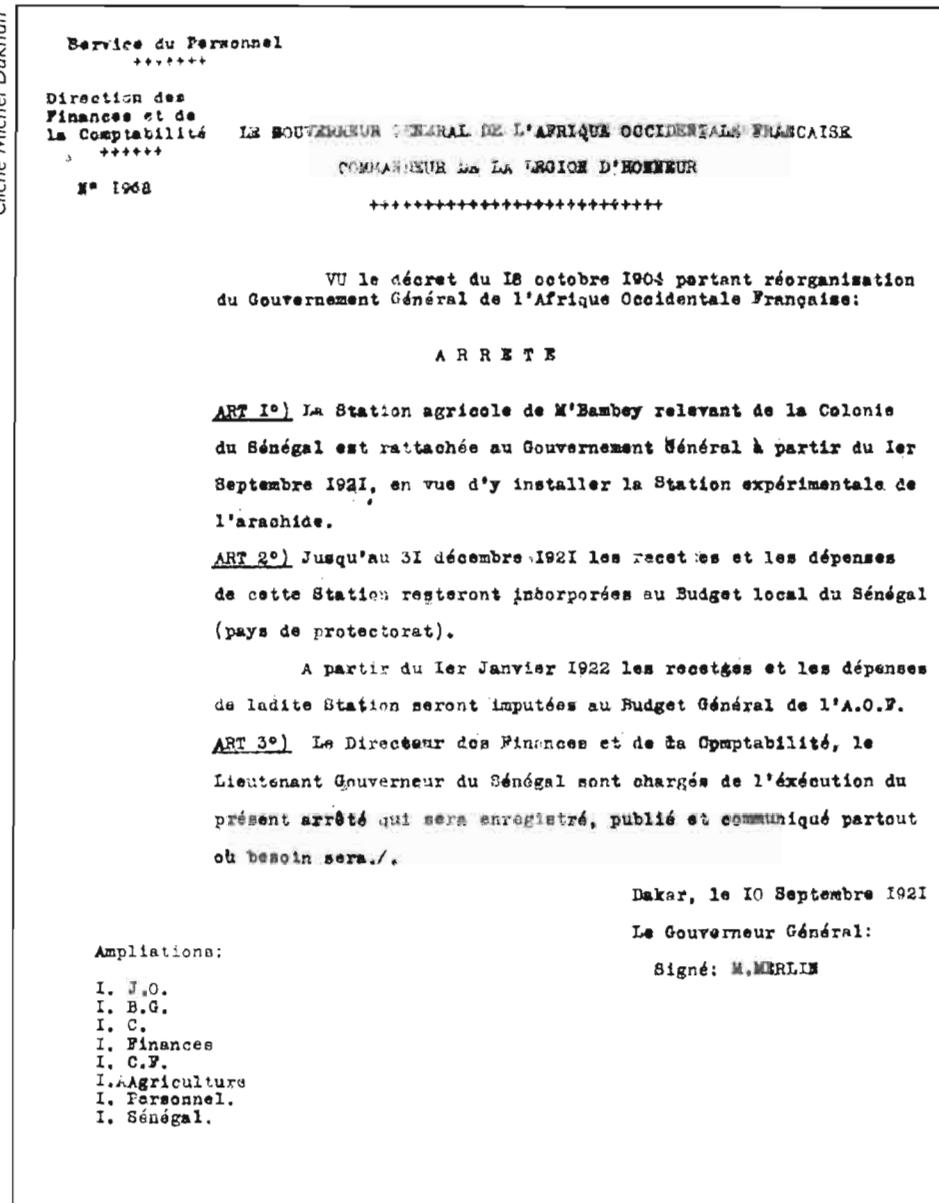
\* 1918 : création de l'École de médecine de Dakar ;

\* 1920 : création de l'Institut de biologie de l'Afrique Occidentale qui deviendra l'Institut Pasteur de l'AOF en 1924, puis l'Institut Pasteur de Dakar en 1963 ;

\* 1921 : création de la Station expérimentale agronomique de Bambey ;

\* 1935 : création du Laboratoire central d'élevage à Dakar ;

Cliché Michel Dukhan



\* 1936 : création de l'Institut français d'Afrique noire (Ifan) placé sous la haute autorité du gouverneur général de l'Afrique Occidentale française. Il deviendra, après l'indépendance, l'Institut fondamental d'Afrique noire ;

\* 1945 : premières missions de l'ORSC au Sénégal qui devient Orsom en 1949, puis Orstom en 1954 ;

\* 1950 : inauguration de l'Institut des hautes études ;

\* 1957 : fondation officielle de l'Université de Dakar qui est la plus ancienne université francophone au sud du Sahara.

## Diffuser, sensibiliser, transférer

La valorisation des résultats de la recherche est une préoccupation constante. L'initiative privée doit être en mesure de prendre le relais de la recherche scientifique.

La lutte contre l'aridité passe par des campagnes de sensibilisation. Elle est un devoir pour la collectivité et en particulier pour les jeunes.

A la veille de l'avènement de la cinquième République en France et de l'accès des colonies à l'indépendance, un important appareil de recherche existait déjà au Sénégal.

L'Orstom avait contribué à former 350 chercheurs et était déjà engagé, selon les termes de J.J. Juglas alors directeur général de l'Office "dans la bataille du plein développement".

1921 : création de la Station expérimentale agronomique de Bambey.

Participation scientifique : Philippe Mathieu

# La recherche scientifique et technique

Collaborations : Direction des archives du Sénégal, Unité de valorisation de l'Isra (Unival)

DECRET N° 66-513 du 26 Octobre 1966  
relatif à la coordination de la recherche et de la  
politique scientifiques -

LE PRESIDENT de la REPUBLIQUE.

Vu la Constitution, et notamment ses articles 37 et 65;  
Vu le décret N° 65-615 du 9 Septembre 1965 relatif à l'organisation de la Présidence de la République;  
La Cour Suprême entendus;  
Sur rapport du Secrétaire Général de la Présidence,

DECRETE :

TITRE PREMIER  
du Conseil Interministériel de la recherche  
scientifique et technique

**ARTICLE PREMIER.** - Il est institué un conseil interministériel de la recherche scientifique et technique chargé, sous l'autorité du Président de la République, d'élaborer la politique scientifique et technique du Gouvernement.

**ARTICLE 2.** - Le Conseil interministériel de la recherche scientifique et technique a pour mission :

- De coordonner les activités de recherche scientifique et d'études de base s'exerçant sur le territoire national;
- D'orienter les programmes scientifiques et techniques en fonction des priorités définies par le Gouvernement pour le développement économique et social;
- D'arrêter toute mesure propre à assurer le meilleur emploi et le développement du potentiel scientifique et technique national, en particulier en ce qui concerne la formation et le recrutement des personnels de recherche et d'études.

Le Conseil interministériel de la recherche scientifique et technique :

- Examine annuellement les programmes et les budgets des établissements et services de recherche de toute nature, compte tenu des plans nationaux de développement;
- Examine les accords de coopération relatifs aux recherches et études de base;
- Examine tout projet de texte concernant la création ou le fonctionnement d'établissements ou services de recherche ou portant sur le statut des personnels qui y sont employés;
- Prépare les instructions aux représentants désignés du Sénégal dans les réunions internationales ou intergouvernementales de caractère scientifique et technique;
- Propose dans le cadre du plan la liste des objectifs de recherche qui, en raison de leur importance pour le développement et la diversité des programmes scientifiques qui y concourent feront l'objet d'actions concertées entre les départements ministériels siégeant au conseil interministériel;

Cliché Michel Dukhan

Lors de son indépendance, le Sénégal était déjà le foyer d'intenses activités en matière de recherche scientifique et technique. Le nouveau pouvoir politique prendra très tôt conscience de la nécessité de cette recherche considérée comme un puissant moteur de développement.

## Mise en place des structures de politique scientifique

Quelques repères :

1966 : constitution par décret d'un Conseil interministériel de la recherche scientifique et technique (CIRST);

1970 : Direction des affaires scientifiques et techniques (Dast). Aujourd'hui, la Délégation aux affaires scientifiques et techniques (Dast) est rattachée au Ministère de la recherche et de la technologie ;

1973 : la Délégation générale à la recherche scientifique et technique (DGRST) devient le Secrétariat d'état à la recherche scientifique et technique, puis le Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, enfin le Ministère de la recherche scientifique et technique.

## Des accords de coopération avec la France

La convention générale du 17 Janvier 1974, relative à la coopération en matière de recherche scientifique et technique entre les gouvernements sénégalais et français, fut publiée au journal officiel de la république du Sénégal.

## Création de nouvelles institutions de recherche

### • La recherche agronomique

1974 : création de l'Institut sénégalais de recherches agricoles (Isra) qui regroupe toutes les recherches agricoles et halieutiques gérées jusque là par des instituts français.

L'Isra compte aujourd'hui 572 agents permanents dont 160 chercheurs, 22 programmes de recherches, 6 directions de recherches, 11 centres de recherches, 18 stations et 15 points d'essais.

L'État sénégalais a fixé à ce nouvel Institut les objectifs suivants :

- \* entreprendre et développer les recherches sur les productions végétales, animales et halieutiques ;
- \* recueillir et protéger le patrimoine scientifique national dans son domaine de compétence ;
- \* valoriser et diffuser les résultats de la recherche agricole ;
- \* gérer les centres de recherche agricole et océanographique ;
- \* former les chercheurs nationaux ;
- \* œuvrer au développement de la coopération scientifique interafricaine et internationale.

# au Sénégal indépendant

17/12/73 Le Soleil — PAGE CINQ

## Recherche scientifique et technique

### Une convention signée à Dakar entre la France et le Sénégal

Dans le climat de chaleureuse amitié et de confiance qui caractérise traditionnellement les relations entre la France et le Sénégal, un pas important et significatif vient d'être franchi dans la révision des accords de coopération entre les deux Etats.

Après de nombreux échanges de vues au cours des derniers mois, les deux gouvernements sont convenus d'aménager leurs relations dans le domaine de la Recherche scientifique et technique.

Une nouvelle convention en la matière a été élaborée et vient d'être paraphée par MM. Ousmane Sock, ministre du Plan et de la Coopération et Xavier de la Chevallerie, ambassadeur de France, en présence de M. Djibril Sène, délégué général à la Recherche scientifique et technique, et de M. Maurice Perrier, Conseiller technique

au cabinet du Secrétaire d'Etat aux Affaires étrangères.

Dans le cadre ainsi défini, la mise en place des institutions nationales sénégalaises de Recherche permettra de mener, dans des conditions plus appropriées, les actions prioritaires pour le développement économique et social.

Un accent tout particulier a été mis sur la formation et le perfectionnement des chercheurs. Sans porter préjudice à la qualité de cette formation, il s'agira de l'intensifier afin d'accroître le potentiel scientifique sénégalais et de consolider ainsi les institutions nationales de Recherche.

Pour sa part, le gouvernement français a réaffirmé sa préoccupation d'aider le gouvernement sénégalais à atteindre dans les meilleures conditions les objectifs qu'il s'est assignés.

La Conférence des responsables de recherche agronomique africains (Coraf) a été créée lors du III<sup>e</sup> séminaire franco-africain de recherche agronomique tenu à Abidjan en 1987. Sa mission est de renforcer les programmes nationaux de recherche agronomique et la coopération transnationale afin de constituer une véritable communauté scientifique africaine.

L'Orstom, comme le Cirad et l'Inra, est membre associé de la Coraf.

• **Dans le domaine de la santé**, les recherches s'organisent autour de trois pôles : la Faculté de médecine et de pharmacie, créée en 1962, l'Institut Pasteur de Dakar et l'Organisme de recherches sur l'alimentation et la nutrition africaines (Orana) qui est un organisme inter-états coordonné par l'Organisation de coordination et de coopération pour la lutte contre les grandes endémies (OCCGE).

• **L'Université de Dakar**, fondée en 1957, connaît une forte expansion. Elle devient Université Cheikh Anta Diop en 1986 et se dote d'instituts universitaires (Ifan, Ensut) et d'instituts de facultés (ISE, CREA, CRBL, IST).

• **Les institutions de recherche technologique** se développent également : l'Institut de technologie alimentaire (ITA), le Centre expérimental de recherches et d'études pour l'équipement (Cereeq), le Centre d'études et de recherches sur les énergies renouvelables (Cerer).

• Par ailleurs, le Gouvernement sénégalais a pris des initiatives pour la promotion de la recherche (congrès, fonds de publications scientifiques et techniques, prix du Président de la république pour les sciences, biennale de la science et de la technologie).

Cliché Michel Dukhan



Les nouveaux locaux de l'Isra (1994).

Extrait d'un article du journal "Le Soleil" du 17 décembre 1973, annonçant les aménagements apportés par les gouvernements sénégalais et français dans leur coopération scientifique et technique.



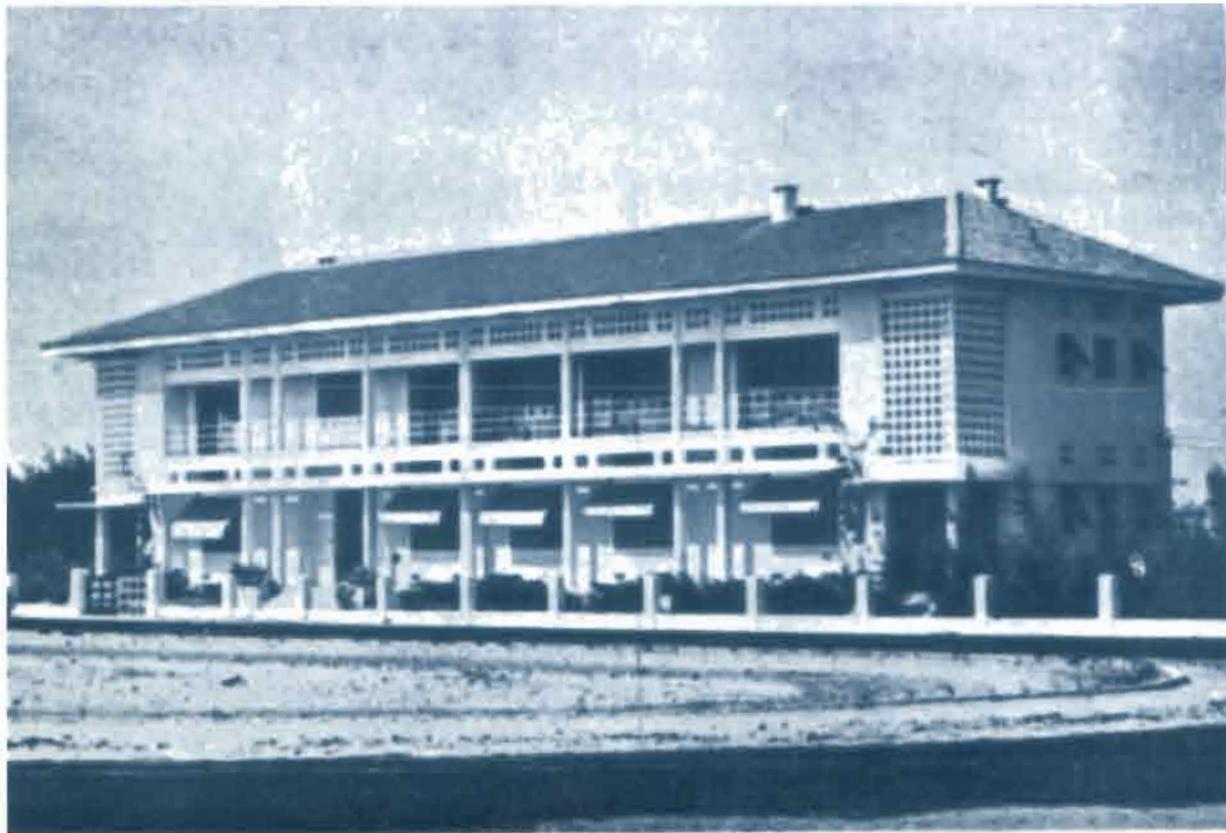
# L'Orstom au Sénégal

Collaboration : Direction des archives du Sénégal

## Premières réalisations

Les premières implantations de l'Orstom au Sénégal datent de 1949, avec la création d'un Observatoire géophysique à Mbour et d'un Centre de recherches pédologiques à Hann.

Depuis sa création, l'Orstom a développé un certain nombre d'activités scientifiques dans la zone soudano-guinéenne à partir des bases établies au Sénégal. Celles-ci se sont développées en même temps que l'Institut élargissait son champ disciplinaire.



**Le Centre de recherches pédologiques de Hann** a été le premier laboratoire implanté à Dakar, en 1949. Il fera bientôt partie d'un pôle pluridisciplinaire de recherches en sciences de la terre.



**Centre de Mbour : le laboratoire.**



**Centre de Mbour : la cave magnétique**

Cliché Michel Dukhan

Cliché Michel Dukhan

Cliché Michel Dukhan

**Créé en 1949, l'Observatoire géophysique de Mbour** sera intégré au réseau mondial des observatoires sismologiques et magnétiques.

## Une recherche en coopération pour le développement

- création de laboratoires communs Isra-Orstom



Cliché Joëlle Vincent

Unité de traitement d'imagerie satellitaire (Utis), créé en 1985.

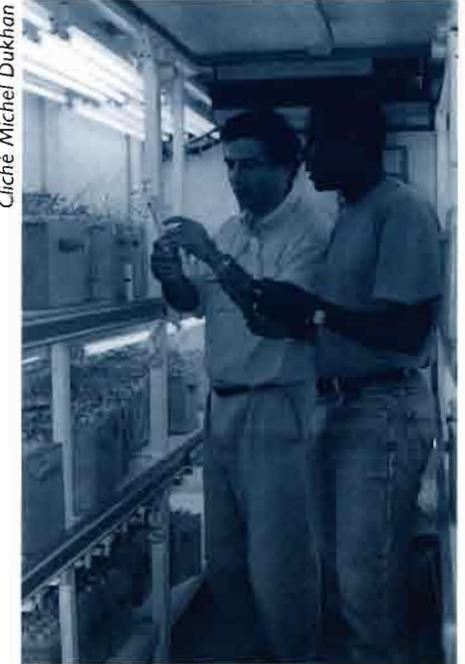
- associations avec des institutions sénégalaises (Isra, Ucad, Ministère de la santé et de l'action sociale, Institut Pasteur de Dakar, Direction des parcs nationaux) ;



Cliché Joëlle Vincent

Le Centre de recherche océanographique de Dakar-Thiaroye (CRODT), abrite le Département de recherches halieutiques de l'Isra où sont accueillis les chercheurs océanographes de l'Orstom qui collaborent avec l'Isra dans le domaine de l'environnement marin et des ressources halieutiques.

- une politique d'accueil et de formation



Cliché Michel Dukhan

Équipes de recherche associées, au laboratoire de Microbiologie des sols.



Cliché Michel Dukhan

Unité de recherche commune en culture *in-vitro* (Urci), créé en 1992.

Actuellement, l'Orstom dispose au Sénégal :

- de 60 chercheurs et de 33 ingénieurs, techniciens et administratifs expatriés ;
- de 141 agents (ingénieurs, techniciens, administratifs de recrutement local).

Il accueille :

- 27 allocataires de recherche, préparant des thèses, dont 13 sénégalais ;
- 145 stagiaires (en 1993) dont 93 sénégalais ;

Il a établi des contrats d'association avec 38 chercheurs sénégalais depuis 1990.

**43 programmes de recherche** sont actuellement conduits au Sénégal. Ils couvrent des domaines scientifiques qui répondent à des préoccupations nationales ou régionales. Les investigations liées à certains de ces programmes concernent plusieurs **grands écosystèmes** tels que les zones sahélo-soudaniennes, la vallée du fleuve Sénégal, les milieux marin et littoraux, la ville.

Participation scientifique : Philippe Mathieu



# La formation par l'Orstom au Sénégal

Dès sa création, l'Orstom a eu pour première tâche de recruter et de former les chercheurs de la France d'Outre-mer.

Deux instituts de formation et de recherche ont été créés à cet effet, l'un en France (Bondy), l'autre en Côte-d'Ivoire (Adiopodoumé).

Cette politique de formation n'a cessé de se développer car, outre la formation de son propre personnel de recherche, l'Orstom a eu parmi ses missions prioritaires de former les chercheurs qui étaient appelés à développer les communautés scientifiques des pays du sud.

## Une politique de partenariat



Formation des agents des parcs nationaux au décompte de la faune.

## Les élèves Orstom

Jusqu'en 1983, l'Orstom a formé une cinquantaine d'élèves sénégalais à qui était délivré un diplôme après deux années d'études théoriques et pratiques.

A partir de 1984, l'Orstom est doté d'un statut d'EPST (Etablissement public à caractère scientifique et technique) qui modifie les conditions de recrutement.

Le statut d'élève et le diplôme disparaissent.

L'Orstom poursuit son objectif de former des chercheurs suivant les besoins exprimés par les institutions partenaires, en particulier par :

. sa participation à des enseignements académiques (Université Cheikh Anta Diop, Université de Saint-Louis) ;

. l'accueil d'étudiants en doctorat provenant d'universités des pays du Nord et du Sud. Ceux-ci bénéficient d'un statut d'allocataire de recherche ;

. l'accueil de stagiaires ;

Les stages sont de durée plus ou moins longue, dans le cadre de la préparation de DEA, de diplômes d'ingénieurs ou de divers autres diplômes.

En 1992,

21 allocataires de recherche ont été accueillis, dont 6 sénégalais, 10 français et 5 venus de divers pays africains.

En 1993,

27 allocataires de recherche ont été accueillis, dont 13 sénégalais, 8 français, et 6 venus d'autres pays africains. Parmi ceux ci, 23 préparaient une thèse, 2 préparaient un DEA, et 2 autres un autre diplôme.

En 1994,

27 allocataires de recherche ont été accueillis, dont 15 sénégalais, 7 français, 5 venus d'autres pays africains. Parmi ceux ci, 22 préparaient une thèse, et 5 autres un autre diplôme.

En 1992,

104 stagiaires ont été accueillis dont 62 sénégalais, 18 de divers pays du sud, 24 de divers pays du nord.

En 1993,

145 stagiaires ont été accueillis dont 93 sénégalais, 24 de divers pays du sud, 28 de divers pays du nord. 18 d'entre eux préparaient une thèse, 44 un DEA, 68 un autre diplôme.

En 1994,

133 stagiaires ont été accueillis dont 86 sénégalais, 13 de divers pays du sud, 34 de divers pays du nord. 24 d'entre eux préparaient une thèse, 51 un DEA, 58 un autre diplôme.

Cliché Michel Dukhan

. l'organisation de stages (informatique, hydrologie, préparation de manuscrits scientifiques) ;

. des contrats formation-insertion ;

Formation initiale ou continue de chercheurs et techniciens : depuis 1990, dix contrats individuels ont été établis au profit de scientifiques sénégalais.

. la co-organisation **d'ateliers de formation régionaux ou internationaux.**

Ces dernières années se sont tenus :

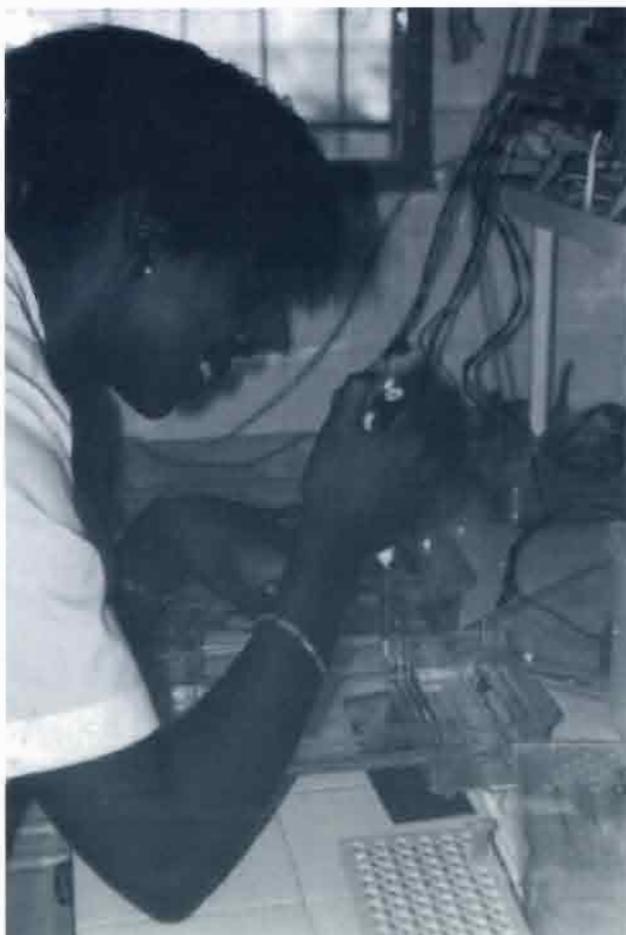
\* un séminaire de formation en télédétection appliquée aux sciences de la mer et des zones côtières (avec l'Unesco et l'Isra) : 20 stagiaires de l'Afrique francophone ;

\* un séminaire sur les interactions plantes-micro-organismes (avec la Fis, l'Isra, l'Ucad, l'Isesco et le CTA) : 65 participants de 20 pays ;

\* un atelier "l'eau et le système sol-plante-atmosphère" (avec l'Isra, la Coraf, le projet RCS-Sahel) : 15 participants de huit pays ;

\* un cours international sur les arbres fixateurs d'azote (avec l'Isra, l'Ucad, la Direction des eaux et forêts) : 20 participants des pays du Sud.

Cliché Michel Dukhan



Accueil de stagiaires, laboratoire de microbiologie des sols

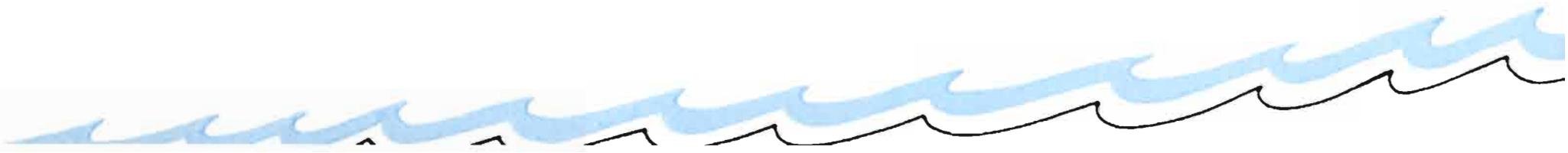
Cliché Michel Dukhan

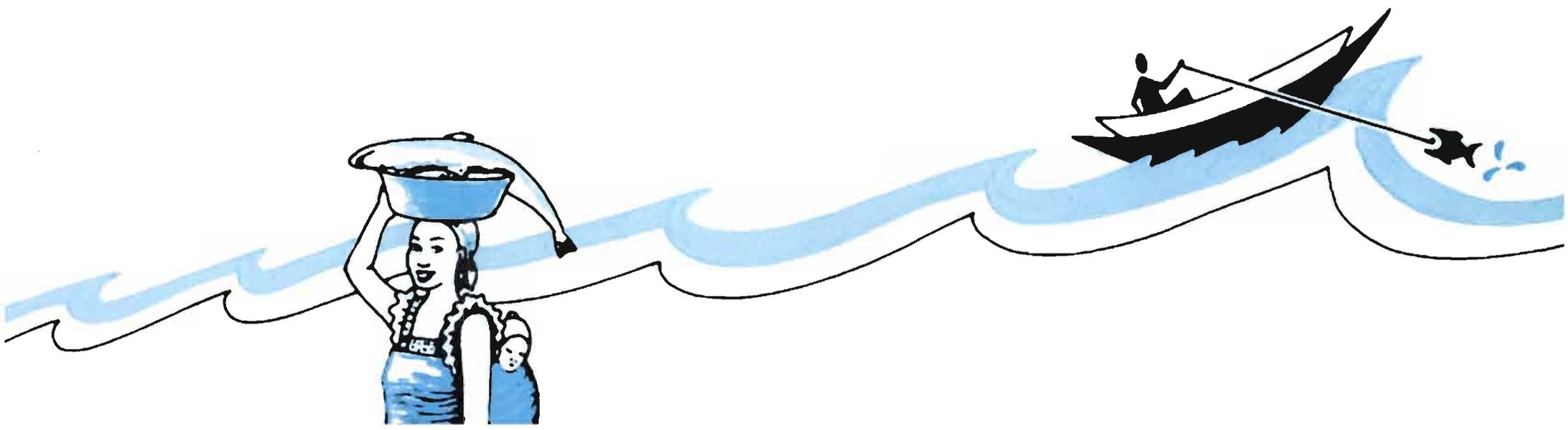


Atelier "l'eau et le système sol-plante-atmosphère"

# La mer

et ses  
ressources





Peinture : Aboubacar Yaya Zachary Cliché : Difco photo Dakar



L'océanographie, science des océans, étudie les fonds marins, les eaux océaniques, les matières inertes et organiques qu'elles contiennent ainsi que les organismes vivants qui les peuplent. L'halieutique recouvre l'ensemble des domaines de recherche liés à la pêche.

Compte tenu de l'importante façade maritime du Sénégal, les programmes de recherche sur les écosystèmes marins et continentaux se sont développés dès les années 1940. Dans un premier temps l'Ifan coordonne l'ensemble de ces recherches. En 1963, l'Orstom crée le Centre de recherches océanographiques de Dakar-Thiaroye (CRODT) qui reste sous sa direction jusqu'en 1975, date de la création de l'Institut sénégalais de recherches agricoles (Isra). Le CRODT devient alors un des départements scientifiques de l'Isra.

Les océanographes eurent d'abord comme objectifs de recenser et de décrire les constituants des environnements océanique et continental sénégalais :

- étude des variations de l'hydroclimat côtier ;
- inventaires de la faune et de la flore ;
- collecte de données statistiques sur les rendements de la pêche thonière (1963).

Ils cherchèrent ensuite à comprendre le fonctionnement de ces systèmes :

- étude de la biologie (croissance, reproduction) et du comportement (migration, déplacements) de diverses espèces et des mécanismes favorisant leur concentration ;
- mise en évidence du rôle de l'environnement climatique et hydrodynamique sur l'abondance des organismes vivants ;
- développement de modèles numériques afin de quantifier ces relations.

Ces recherches ont utilisé des nouvelles technologies :

- la télédétection, notamment pour l'étude du phénomène d'upwelling ;
- l'écho-intégration pour évaluer les biomasses de poissons pélagiques (sardinelles) disponibles.

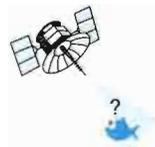
La socio-économie est enfin devenue partie intégrante de la recherche en halieutique :

- compréhension de la dynamique des flottilles industrielles, puis artisanales ;
- description des flux monétaires liés à l'activité de pêche, des conditions sociales de son développement (1983).

### Océanographie et pêches maritimes au Sénégal de 1944 à 1994



### Océanographie spatiale



### Pêche et recherche halieutique au Sénégal dans les années 50



### Les estuaires du Sénégal : environnement et pêche



### L'upwelling : un phénomène océanique majeur pour le Sénégal





# Océanographie et pêches maritimes

Collaboration : Isra/CRODT

Quelques 250.000 personnes travaillent au Sénégal dans le secteur de la pêche et permettent de débarquer annuellement plus de 350.000 tonnes de poisson. Le pays se place ainsi au 13<sup>ème</sup> rang mondial en quantité débarquée par habitant. Les ressources halieutiques (c'est-à-dire liées à la pêche) constituent l'une des principales matières premières du Sénégal en lui procurant annuellement plus de 200 milliards de francs CFA de valeur ajoutée.

Des relations étroites lient l'environnement marin, les ressources vivantes ainsi que les communautés qui exploitent ces ressources et les rendent disponibles pour la société.

## Synoptique de la pêche au Sénégal

**1** : les caractéristiques de l'**environnement physique** (dont le phénomène de l'*upwelling*) établissent un contexte fluctuant dans lequel peuvent ou non se concentrer des sels nutritifs ;

**2** : dans cet environnement, les **micro-organismes** animaux et végétaux (plankton), à la base des chaînes alimentaires, trouvent les éléments nécessaires à leur développement ;

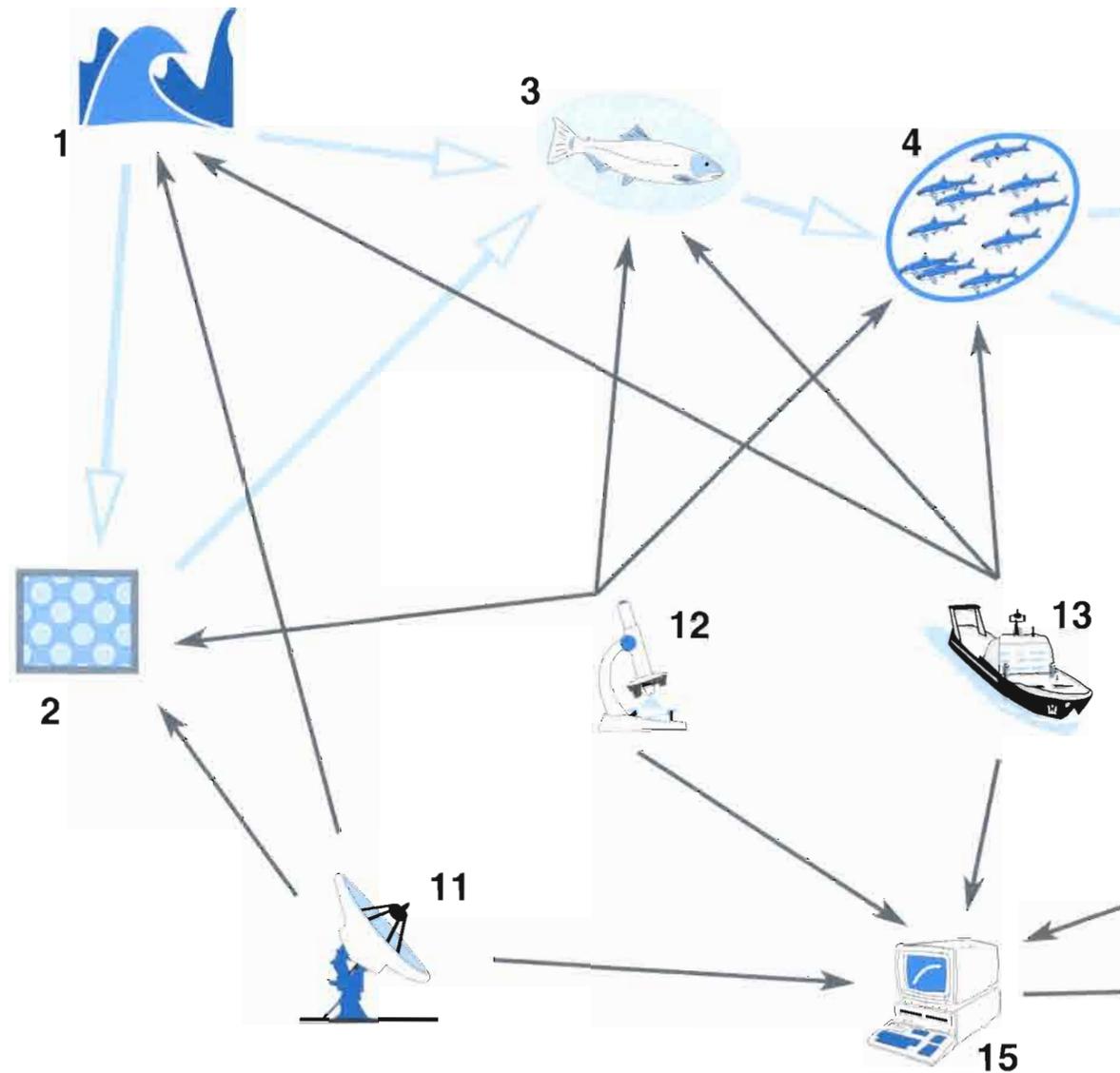
**3** : de nombreuses **espèces de poissons** peuvent ainsi vivre dans ces milieux et s'y développer en fonction de leurs caractéristiques biologiques (reproduction, croissance) ;

**4** : ces espèces s'organisent en "**stocks**". On distingue généralement trois grands types de stocks de poisson en fonction de leur milieu de vie. Les poissons démersaux vivent près des fonds (par exemple les soles). Les poissons pélagiques vivent en pleine eau et se distinguent en pélagiques côtiers, vivant près des côtes (comme les sardinelles) et pélagiques hauturiers qui fréquentent les étendues océaniques (tels les thons) ;

**5 et 6** : en fonction des quantités de poisson disponibles et de leur mode de vie, des **flottes de pêche** se développent et se spécialisent dans l'exploitation de certains stocks. Ainsi, les poissons démersaux sont en général pêchés par des lignes, des chaluts ou des filets dormants ; les poissons pélagiques par des filets dormants, tournants ou des lignes. La **pêche artisanale** (**6**) permet la capture des poissons côtiers ; les **navires industriels** nationaux ou étrangers (**5**) se partagent les ressources du large et interagissent près des côtes avec la pêche artisanale ;

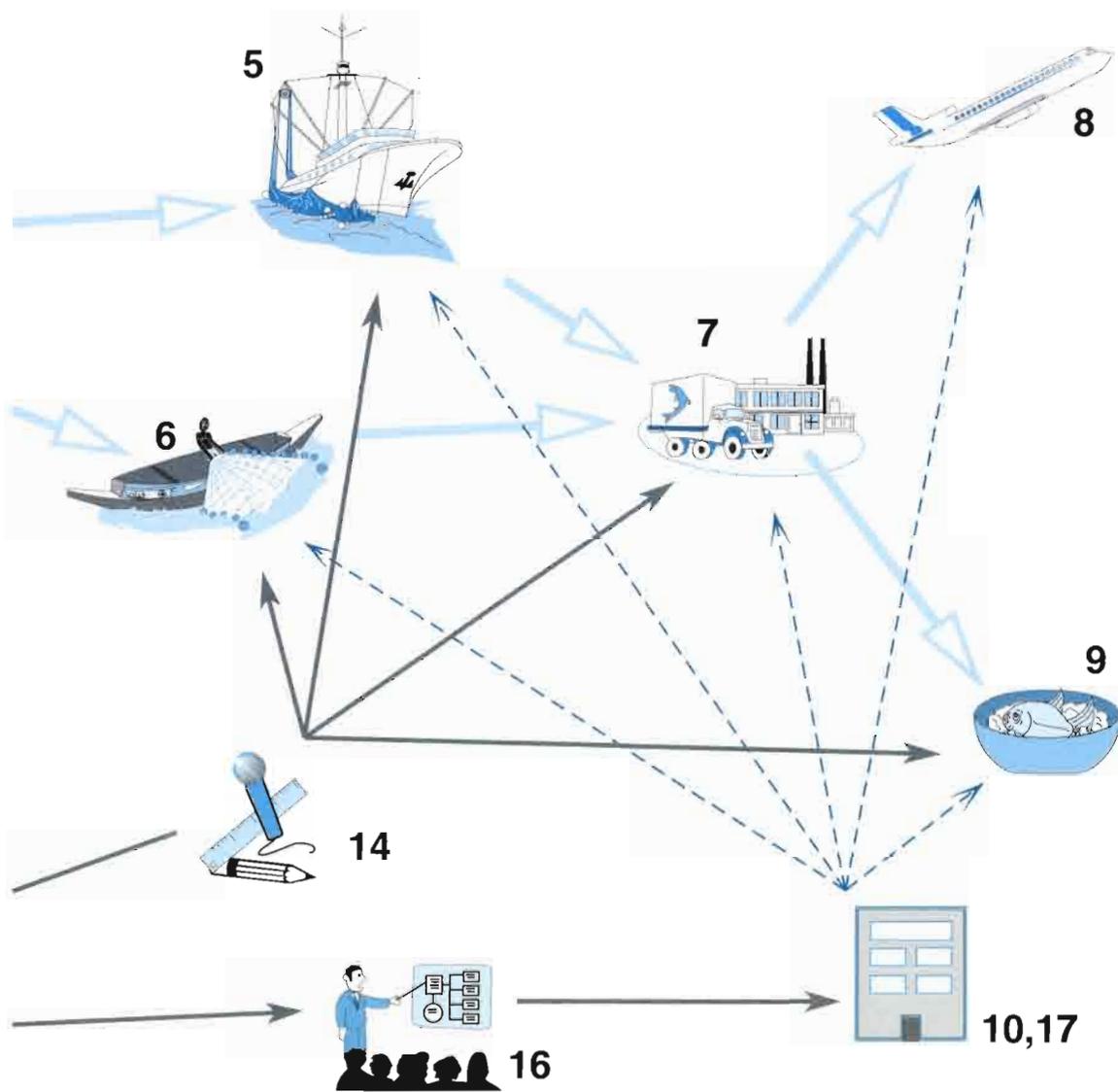
**7** : lorsque ces flottes ont débarqué leur prise, la commercialisation est assurée par des mareyeurs locaux, des usines ou par la transformation du poisson en "salé", "séché", "fumé" ;

**8 et 9** : le poisson est **acheté et consommé localement** (**9**) ou **exporté** (**8**) vers les pays limitrophes ou occidentaux ;



Synoptique de la pêche au Sénégal.

# au Sénégal de 1944 à 1994



**10** : le fonctionnement de ce système est protégé, surveillé ou aménagé par un ensemble de **mesures** et de **règlements** qui doivent être agencés de façon rationnelle. Du fait de ces interrelations, il est nécessaire d'étudier l'ensemble de ces domaines pour comprendre comment fonctionne ce système :

**11 à 14** : la **recherche scientifique** se dote pour cela de divers outils qui vont de l'utilisation d'**images satellitaires** (11) aux **enquêtes et interviews de terrain** (14), en passant par des **études en laboratoire** (12) et des **campagnes de recherche sur navires océanographiques** (13) ;

**15** : les **résultats** de ces mesures sont en général retranscrits dans des représentations (statistiques, modélisations) qui permettent de formaliser, d'agencer et de mettre en relation les connaissances acquises ;

**16 et 17** : la **communication** de ces résultats permet enfin de fournir des éléments de **décision** aux gestionnaires et décideurs à un niveau plus général ;

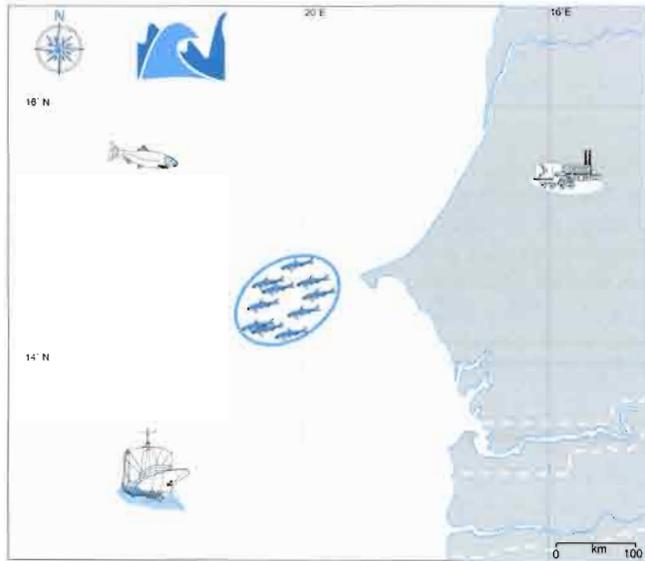
Depuis 50 ans, l'Orstom, en collaboration avec l'Isra, cherche à améliorer la connaissance de l'environnement marin, des pêcheries qui en tirent leur subsistance et de la place de ce système au Sénégal. Ce savoir est d'abord nécessaire pour connaître la nature et la quantité des ressources marines dont la société peut tirer parti. Il permet ensuite de suggérer le type et les modalités d'actions qui peuvent être entreprises pour préserver, utiliser et améliorer cette richesse.

L'accumulation de connaissances au cours de ces cinquante années de recherche a permis de mieux connaître la nature et la dynamique des constituants du système. La recherche tente de présent de les mettre en relation pour comprendre comment ils interagissent et contribuent à l'organisation pérenne et efficace de ce système. Grâce à la connaissance acquise, les premières approches globales ont ainsi fait leur apparition ; elles permettront peut-être un saut qualitatif dans notre connaissance du "système pêche" au Sénégal.



Les figures ci-dessous présentent l'évolution des domaines d'étude et des outils privilégiés par la recherche de 1944 à 1994. La taille des symboles est proportionnelle au nombre de travaux réalisés.

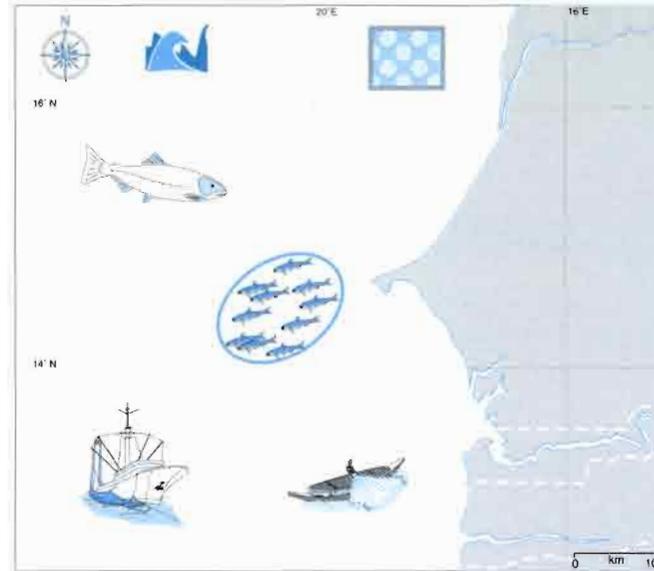
#### de 1944 à 1964



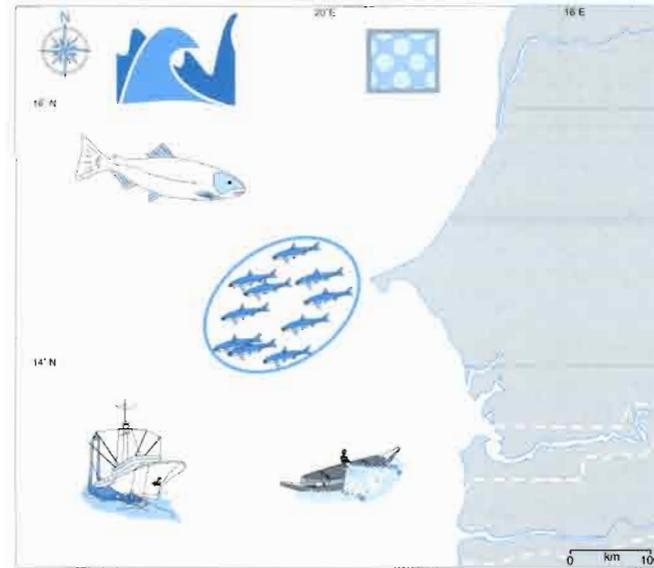
#### De 1944 à 1964

Quelques études ponctuelles et dispersées permettent le survol de l'ensemble du domaine avant la mise en place d'une recherche organisée ;

#### de 1965 à 1969



#### de 1970 à 1974



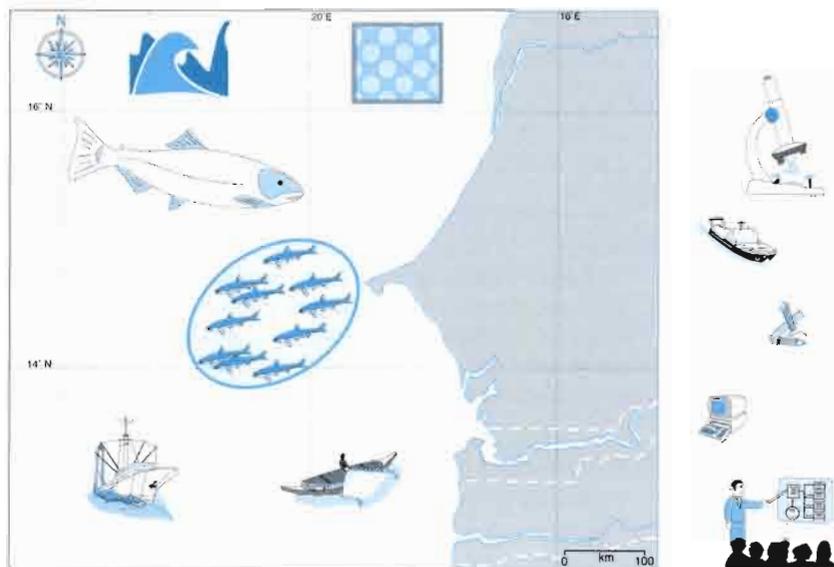
#### De 1965 à 1969

Les premiers programmes se focalisent sur les premiers maillons du système (constituants de l'environnement, paramètres biologiques des espèces). La collecte d'information est d'abord privilégiée ;

#### De 1970 à 1974

Les premières grandes synthèses sont produites ; la collecte d'informations se transforme en protocoles d'enquêtes qui s'effectuent alors en routine. On évalue quantitativement les stocks de poissons ;

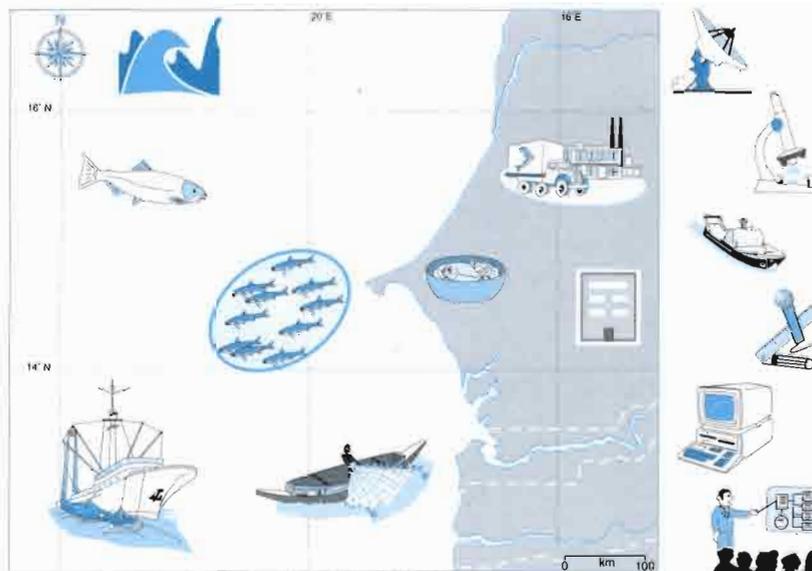
de 1975 à 1979



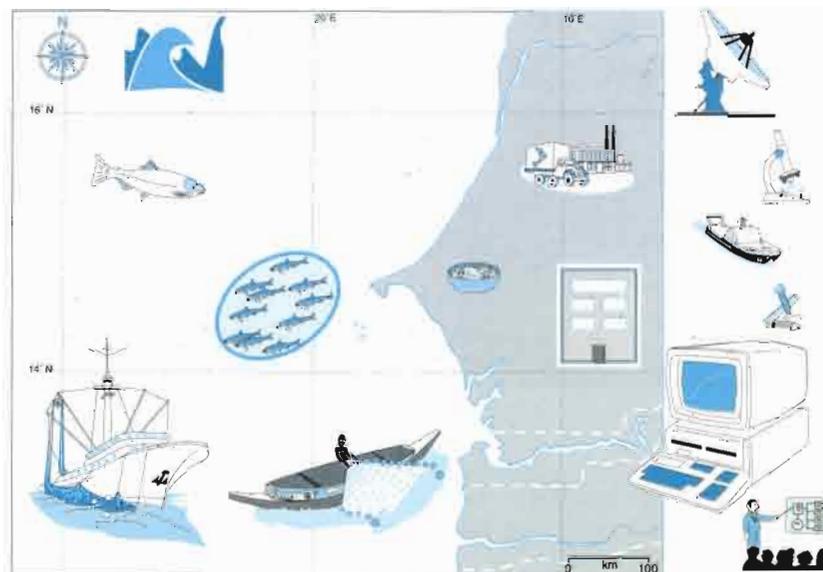
**De 1975 à 1979**

Un effort soutenu en biologie achève de compléter la connaissance sur les espèces du Sénégal. Les études sur les stocks prennent alors une place de plus en plus importante. Les protocoles d'enquêtes amènent les premières statistiques qui permettent l'analyse et la compréhension des phénomènes observés ;

de 1985 à 1989



de 1990 à 1994



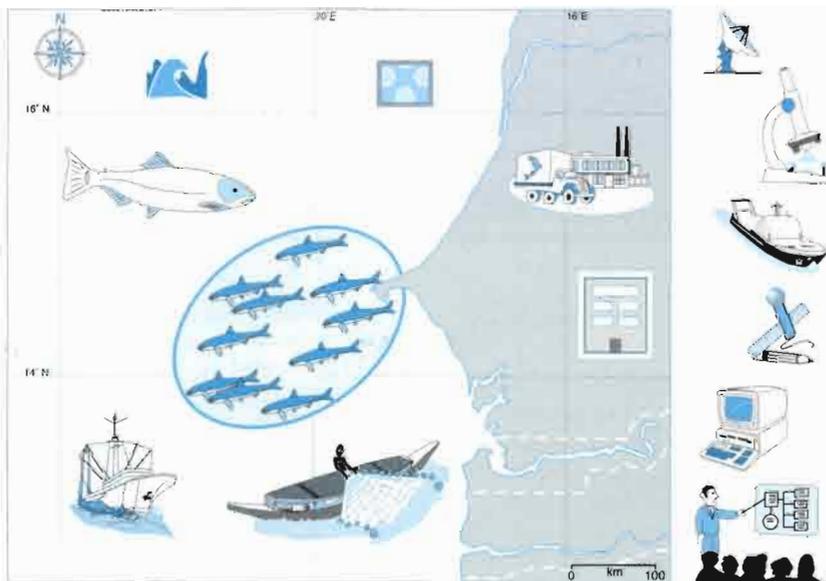
**De 1990 à 1994**

La complexité de la connaissance acquise exige des analyses de plus en plus poussées et conduit au développement de nombreuses études méthodologiques. Les recherches convergent vers l'étude du comportement des acteurs (poissons, flottilles, pêcheurs, gestionnaires).

**De 1985 à 1989**

Les connaissances acquises sont confrontées et aboutissent aux premiers modèles pluridisciplinaires. On s'intéresse maintenant aux caractéristiques et aux comportements des flottilles qui exploitent les stocks. La télédétection modifie profondément les recherches en océanographie ;

de 1980 à 1984



**De 1980 à 1984**

Les sciences naturelles communiquent leurs résultats tandis que la recherche s'oriente résolument vers l'étude de la pêche ; les techniques d'étude se modernisent (acoustique, modélisation) pour mieux évaluer les stocks disponibles. La socio-économie entre dans les problématiques ;



# Pêche et recherche halieutique

Collaborations : Isral/CRODT, Ifan, FAO

Fonds Orstom Dakar



## Les connaissances océanographiques

Les acquis scientifiques sont très variables selon les domaines :

(1) L'environnement océanographique est globalement bien connu grâce aux observations journalières et aux analyses réalisées en particulier par Berrit et Postel à partir de 1947. Plusieurs types d'embarcations ont servi à ces observations :

- \* les navires de guerre français (Beautemps, Beaupré, Commandant Delage),
- \* ceux du service des phares et balises,
- \* le chalutier de recherche "Gérard Tréca" (appartenant à "l'inspection générale de l'élevage"), opérationnel dès 1949 au Sénégal,
- \* diverses pinasses de recherche.

La dynamique globale de la saisonnalité de l'upwelling sénégalais est ainsi décrite dès 1950.

## La pêche

Au début des années 50, la pêche au Sénégal est caractérisée par des captures très faibles ne dépassant pas 20 000 tonnes de poisson par an :

(1) Captures faibles pour la pêche artisanale : une vingtaine de milliers de tonnes par an. Le parc piroguier se compose d'environ 3.500 pirogues, effectif voisin du parc actuel, mais il s'agit alors de petites pirogues, à rame ou à voile ; seule la zone très côtière située à portée de rames est exploitée ;

(2) Captures pratiquement nulles pour la pêche industrielle :

\* en 1952, un seul chalutier de 10 mètres de long, le "Denise", opère à partir de Dakar,

\* à la même date, aucun thonier ou sardinier n'a encore exploité les eaux sénégalaises, bien que l'abondance de ces ressources ait déjà été soulignée par les scientifiques. Il n'existe alors pratiquement pas de zone industrielle ni d'équipement de réfrigération dans le port de Dakar.

Durant l'hivernage, le Sénégal doit importer par avion du poisson fin de Guinée, où opéraient déjà cinq chalutiers industriels.



Fonds Orstom Dakar

Le "Yolande Bertin", premier thonier canneur congélateur à pêcher exclusivement le thon en Afrique, basé au Sénégal dès 1955 et qui a exploré toute la région avec l'aide des scientifiques.

# au Sénégal dans les années 50

(2) La systématique des espèces marines exploitables est aussi globalement bien connue à la même époque, grâce en particulier aux travaux développés depuis le laboratoire de Gorée par Cadenat, en collaboration avec les grands musées mondiaux de systématique ;

(3) Le plateau continental sénégalais et les espèces de fond (espèces "démersales") sont aussi bien connus, suite aux multiples campagnes du "Gérard Tréca". Postel achève dès 1950 la carte des fonds de pêche sénégalais. Ces espèces démersales, déjà exploitées par la pêche artisanale, sont également échantillonnées par les scientifiques sur les plages de débarquement des pirogues (Joal, Kayar, Cap Vert). Leur potentiel de capture est bien estimé dès 1952 ;



Fonds Orstom Dakar

La pêche à la canne à l'appât vivant au début des années 50 est pratiquée au Sénégal pour la première fois par des thoniers bretons et basques.

(4) Les ressources thonières demeurent totalement inconnues. Les premières campagnes exploratoires des thoniers "Perle de l'aube", "Marcelle Yveline" et "Yolande Bertin", menées avec des scientifiques embarqués, ont rapidement permis de comprendre le déterminisme des migrations thonières dans la région en fonction de la température de surface et de connaître la biologie des principales espèces de thons. Elles conduiront au rapide développement de la pêche thonière au Sénégal à partir de la deuxième moitié des années 1950 ;

(5) Les ressources pélagiques côtières, sardinelles et chinchards, qui sont les plus importantes en volume au



Fonds Orstom Dakar

Le Sopite, navire congélateur qui, vers 1955, stockait les thons sur le quai de Dakar pour pallier la faiblesse des frigorifiques de stockage des thons.



Fonds Orstom Dakar

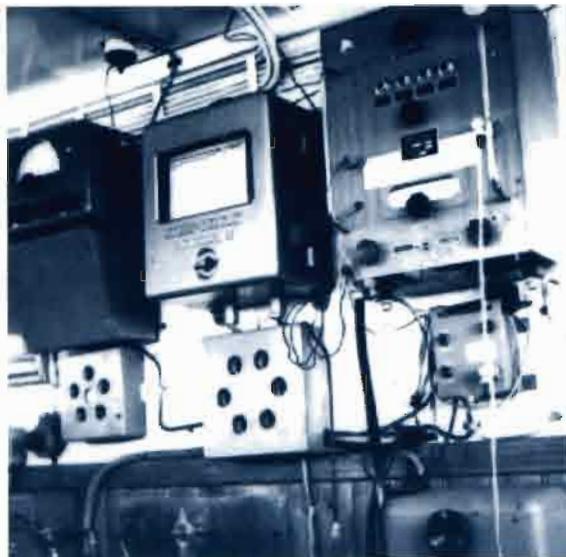
Le "Gérard Tréca", chalutier de recherche, a prospecté le plateau continental de la Mauritanie à la Guinée dès la fin des années 40. Les campagnes de ce petit chalutier ont permis de bien connaître dès 1950 la nature et le potentiel des espèces démersales disponibles dans la région.

Sénégal, demeurent paradoxalement presque totalement inconnues quant à leur volume ou à leur biologie. Cette carence s'explique aisément par l'absence de moyens de capture ou d'observation de ces espèces : le chalut pélagique et la senne tournante ne seront opérationnels au Sénégal que vingt ans plus tard.

L'exploitation intensive de ces pélagiques côtiers ne deviendra active qu'à la fin des années 1960 par les flottilles industrielles étrangères, puis à partir de la décennie 1970 grâce à l'énorme développement des sennes tournantes dans la pêche artisanale sénégalaise.



Fonds Orstom Dakar



**Le matériel scientifique,** sondeur par exemple, qui équipait le navire océanographique "Gérard Tréca" en 1950 était très peu performant en comparaison des matériels actuellement disponibles.

## La recherche

### La recherche halieutique au Sénégal

La recherche halieutique a toujours été active et diversifiée.

À la suite des premières explorations réalisées au Sénégal par Gruvel dès le début du siècle (1908) ou aux campagnes exploratoires du navire de recherche français "Théodore Tissier" en 1936 et 1951, on savait que les ressources halieutiques du Sénégal étaient très importantes.

Dans le but de développer rationnellement l'exploitation de ces ressources alors quasiment vierges, des structures de recherches sont créées dès 1947, puis remaniées en 1952 :

C'est le cas du "Centre d'études scientifiques et techniques des pêches", composé de trois sections :

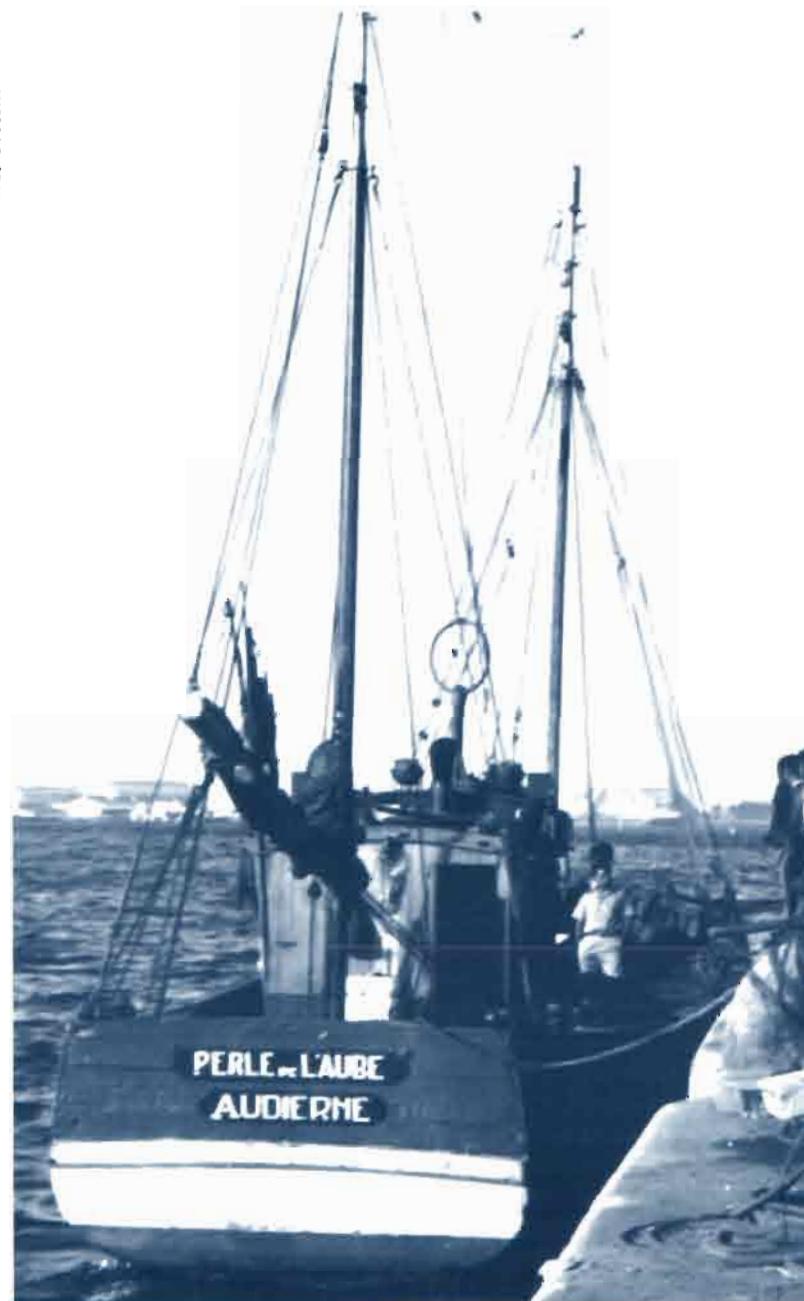
- \* Océanographie et biologie marine,
- \* Recherches techniques,
- \* Economie.

L'Orstom participe au fonctionnement de cette structure regroupant plusieurs organismes de manière institutionnelle et surtout par les travaux développés par divers chercheurs, qui seront progressivement recrutés par l'Institut.

L'Ifan, dirigé par Théodore Monod, constitue depuis la fin de la guerre le principal pôle des recherches halieutiques en Afrique de l'Ouest. Son laboratoire dispose d'une importante bibliothèque regroupant les principales revues et publications en biologie marine et halieutique.

Le rôle de l'Orstom se voit confirmé et accru au début des années 1960 par le développement du laboratoire de Thiaroye, le CRODT, d'abord laboratoire Orstom jusqu'en 1975, date de son transfert à l'Isra, qui est actuellement le pôle des recherches halieutiques au Sénégal.

Fonds Orstom Dakar



**Un thonier ligueur breton, la "Perle de l'aube",** pratiquant la pêche du thon tropical à la canne et à l'appât vivant, à Dakar durant l'hiver, en alternance avec la pêche estivale du Germon dans le golfe de Gascogne. Une cinquantaine de thoniers français (bretons et basques) pratique cette pêche à Dakar dès la fin des années 50.

### La recherche scientifique et le développement des pêches artisanales

Le développement spectaculaire de la pêche artisanale (prises accrues de 20.000 à 300.000 tonnes), est dû à la conjonction de multiples facteurs, dont un certain nombre est étroitement lié à la recherche halieutique conduite au Sénégal depuis cinquante ans.

Quelques résultats exemplaires :

- \* mise en évidence de l'importance des ressources halieutiques sur tout le plateau continental sénégalais ;

- \* aide à la motorisation des pirogues : dès 1952, plus de 200 pirogues sont équipées de moteurs hors bord (moteurs français "Goïot"). La motorisation des pirogues

sera presque complète trente ans plus tard et permettra un accroissement spectaculaire de l'effort de pêche, des zones exploitées et donc du volume des captures ;

- \* aide à la mise au point de nouveaux engins de pêche artisanale : les poissons pélagiques côtiers (sardinelles et autres) sont restés pratiquement inexploités par la pêche artisanale jusqu'au début des années 1970, faute d'engin de pêche efficace. La mise au point d'une senne tournante adaptée à la pirogue sénégalaise (Programme FAO-Orstom) permet de capturer actuellement près de 300.000 tonnes de poisson par an et de fournir ainsi à bas prix les protéines halieutiques accessibles aux populations sénégalaises.



Fonds Orstom Dakar

**Les chercheurs océanographes** ne disposaient, il y a cinquante ans, que de modestes moyens de recherches, en particulier pour les calculs nécessaires à l'analyse des données.



Fonds Orstom Dakar

**L'équipage d'un des premiers thoniers basques** à pratiquer la pêche du thon à la canne et à l'appât vivant au Sénégal.

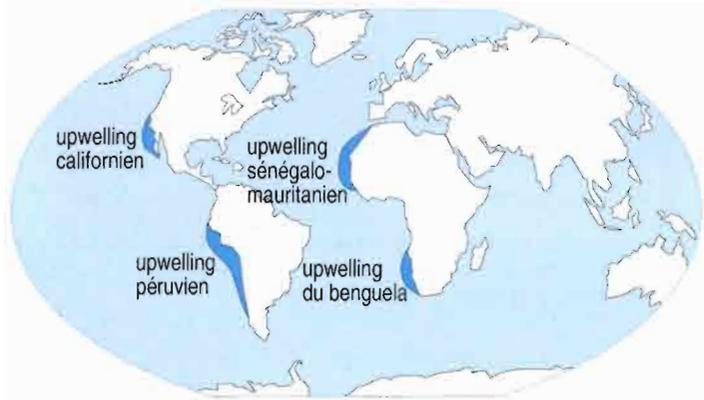


Participation scientifique : Alain Fonteneau



# L'upwelling : un phénomène océanique majeur pour le Sénégal

Collaboration : Isra/CRODT



Les principales zones d'upwelling dans le monde

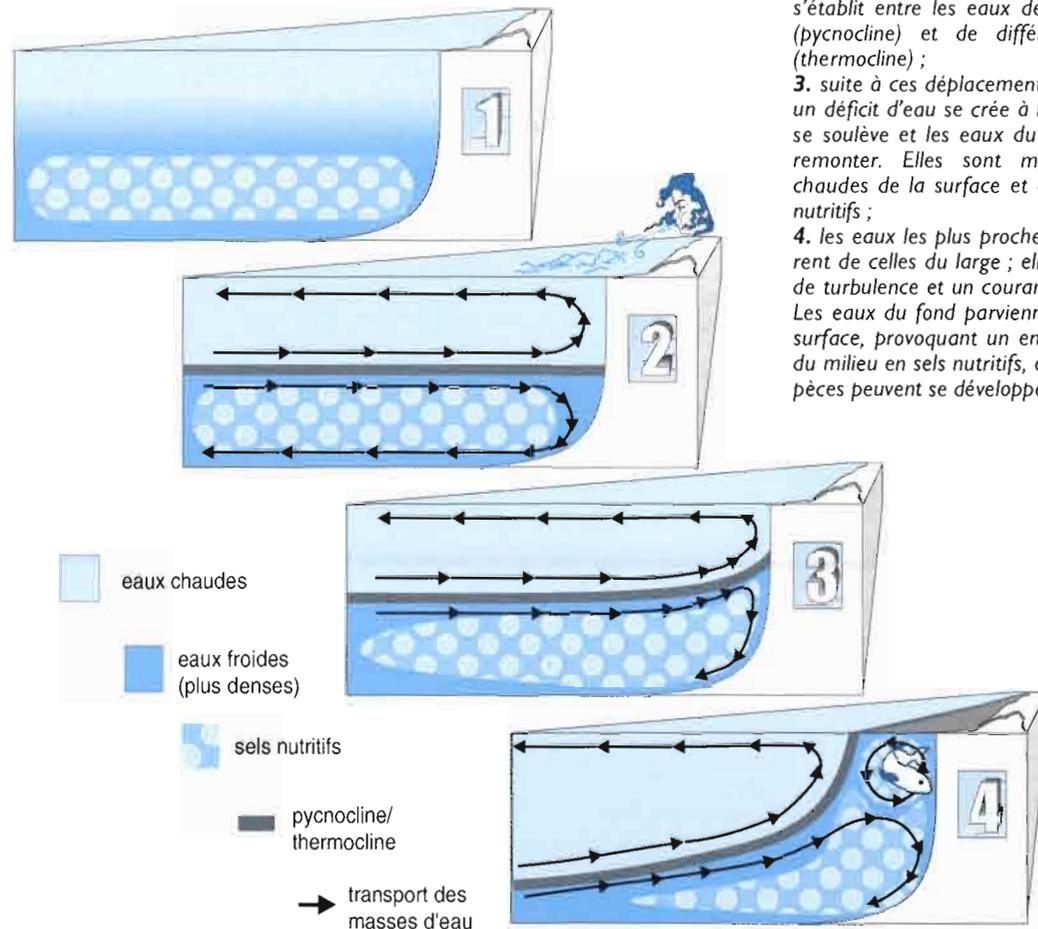
## Localisation

L'upwelling est un phénomène d'enrichissement océanique et d'intense production biologique qui survient dans certaines régions du globe. La côte sénégal-mauritanienne est le siège d'un upwelling qui procure annuellement au Sénégal plus d'un million de tonnes de poissons pélagiques<sup>(1)</sup>, soit à peu près les deux tiers de ses ressources marines.

<sup>(1)</sup> le groupe des pélagiques rassemble les poissons qui vivent en pleine eau, ce qui les distingue des démersaux (près du fond) et des benthiques (sur le fond).

## Dynamique

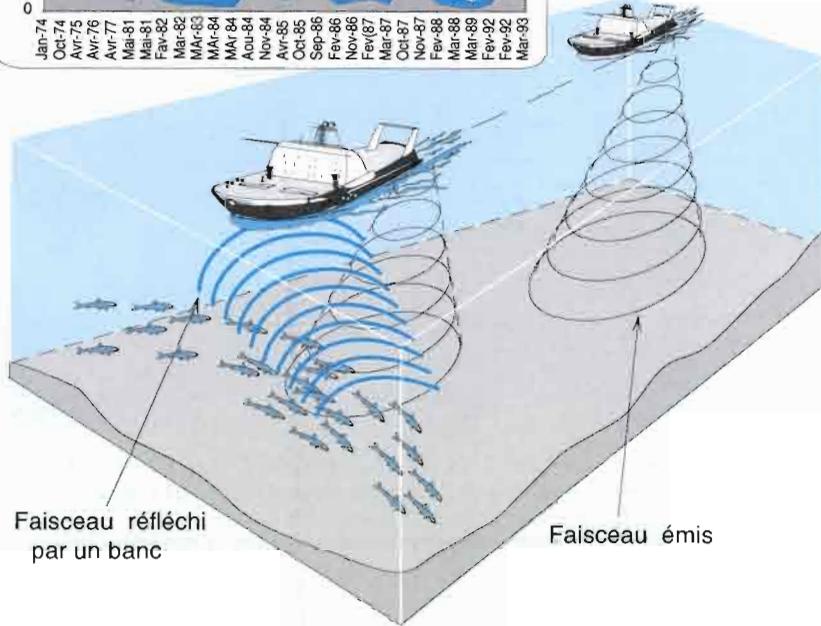
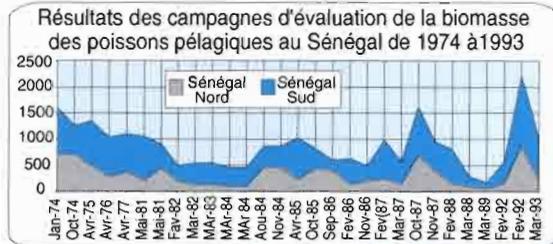
Les caractéristiques spécifiques de l'upwelling sénégalais, mis en évidence en 1947, sont décrites à partir de 1979. L'upwelling côtier est un processus physique qui provoque, sous l'action du vent, une remontée des eaux océaniques profondes à la surface de la mer.



## Dynamique schématique de l'upwelling sénégalais :

## Estimation des stocks de poissons

Pour déterminer les biomasses de poissons pélagiques vivant grâce aux upwellings, des techniques de mesures ont été développées.



### Estimation par écho-intégration

L'écho-sondeur est un appareil émetteur-récepteur d'ultra sons. Le temps qui s'écoule entre l'émission d'une impulsion sonore et la réception de son écho réfléchi par le banc de poissons, permet de déterminer la profondeur à laquelle se trouve ce banc. De plus, l'écho d'un poisson est proportionnel à son poids ; en additionnant l'ensemble des échos reçus, on obtient la densité de poisson par unité de surface. La biomasse moyenne (sardinelles, maquereaux, chinchards) est estimée à plus d'un million de tonnes dans les eaux sénégalaises ; elle subit de larges fluctuations.

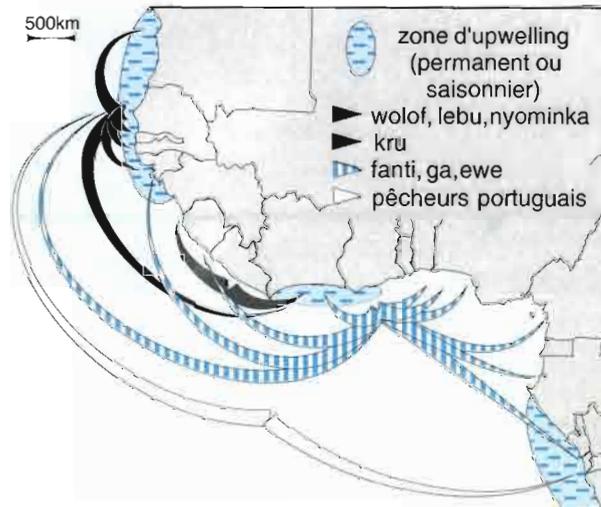
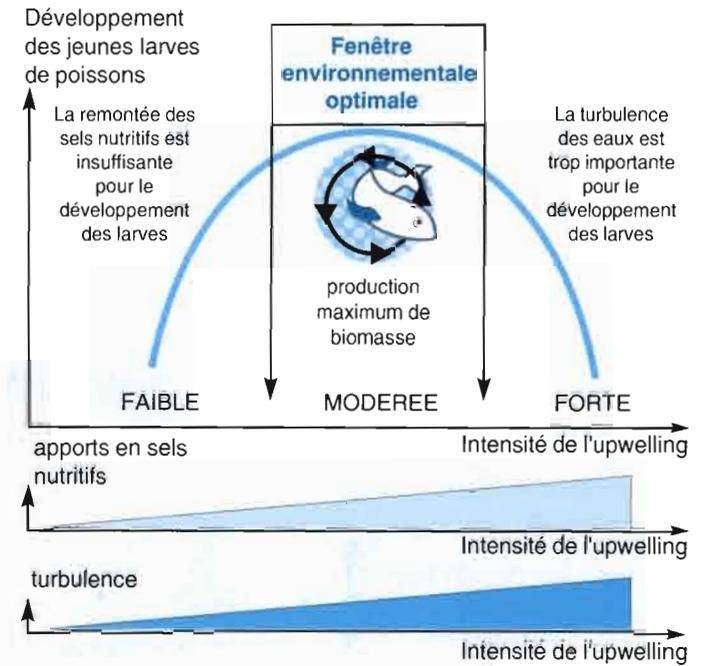
## Comportements des poissons

La mise en relation des paramètres physiques caractérisant l'upwelling et des fluctuations d'abondance des poissons a permis de mieux comprendre le déterminisme des migrations de pélagiques observées dans la région.

### Comportement face à l'upwelling : la "fenêtre environnementale optimale"

Plus l'upwelling est intense, plus la nourriture est abondante pour les poissons. Par contre, l'augmentation de la turbulence provoque de fortes mortalités des larves de poisson qui ne peuvent lutter contre le courant. Des recherches réalisées au Sénégal ont montré qu'il existait des conditions optimales pour que les poissons trouvent la nourriture suffisante tout en permettant la survie des jeunes.

Ces migrations pourraient ainsi correspondre à une perpétuelle recherche des meilleures conditions environnementales possibles.

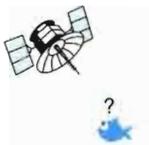


Principaux flux de pêcheurs artisans en Afrique de l'Ouest au XX<sup>e</sup> siècle.

## Migrations des pêcheurs

Connaître les migrations de poissons permet de mieux comprendre les déplacements des pêcheurs sénégalais à l'intérieur ou en dehors de la région.

La recherche des meilleures abondances de poissons ne constitue cependant pas le seul déterminant de ces déplacements. De nombreuses enquêtes et recherches en sciences humaines ont ainsi permis de préciser l'importance des contraintes techniques (facilités des conditions de pêche), sociales (éloignement des contraintes familiales), économiques (écoulement du poisson plus ou moins facilité selon les sites) ou culturelles (traditions de migration différentes selon les ethnies) pour comprendre et expliquer ces migrations.

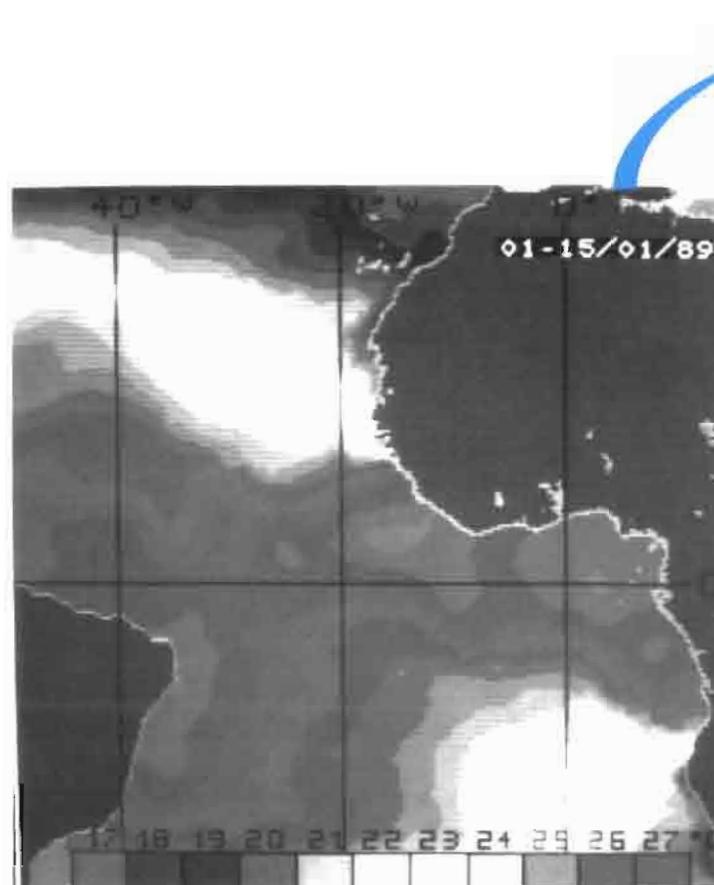


# Océanographie spatiale

**Utis : Unité de traitement  
d'images satellitaires  
(Orstom/Isra/CRODT)**

Le satellite géostationnaire Météosat est dédié à l'étude de la météorologie, la grande répétitivité d'observation (30 minutes) permet de suivre le déplacement des masses nuageuses. La mobilité de ces dernières permet l'observation directe de la surface des océans et la détermination des températures de surface de la mer (TSM).

Ce paramètre-clé témoigne de certains mécanismes physiques intervenant sous l'influence des grands mouvements de l'atmosphère. Par rapport aux mesures récoltées durant des campagnes océanographiques, le satellite permet la détermination détaillée de certaines structures, en bénéficiant d'une vue synoptique sur une large zone océanique.

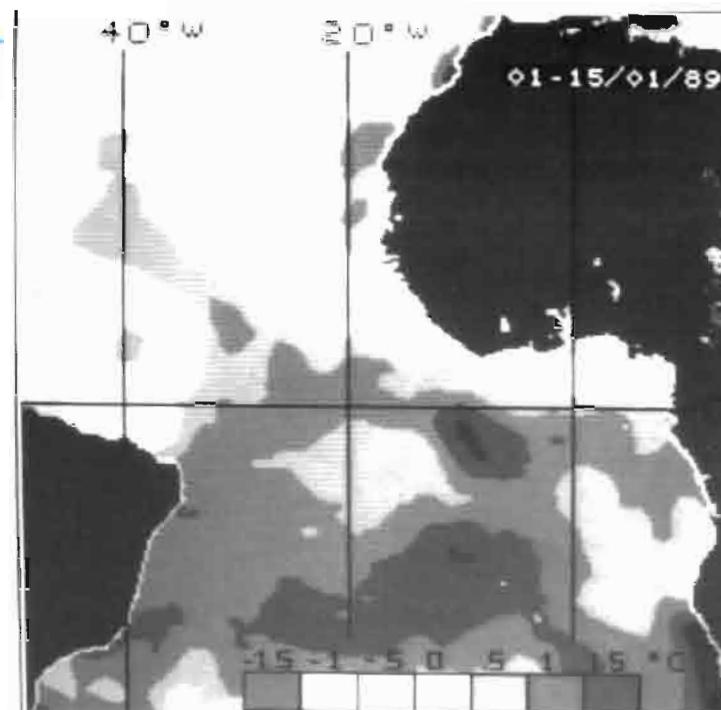


**Température de surface de la mer (TSM) corrigée.**

L'information du canal "infrarouge thermique" du satellite Météosat est compilée sur 15 jours. Certaines zones où les nuages ont été permanents pendant cette période ne fournissent pas d'information.

Les données recueillies par le réseau mondial des navires marchands servent alors à compléter et corriger les données du satellite.

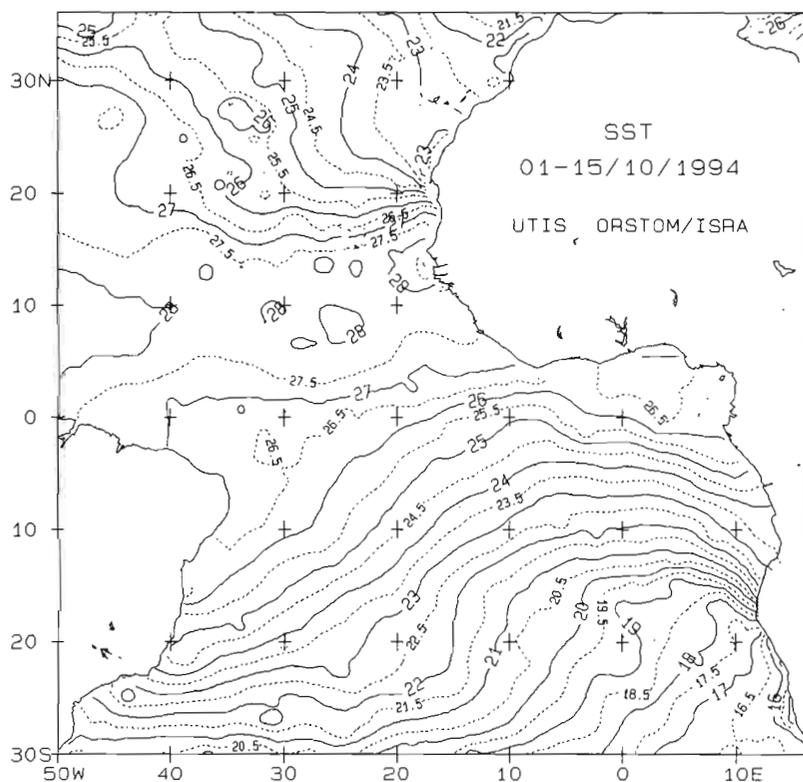
Sur cette représentation, on distingue nettement les zones de refroidissement côtier (température d'environ 20 degrés).



**Anomalies de TSM calculées par différence entre la carte précédente et la moyenne de la même saison établie sur trente ans.**

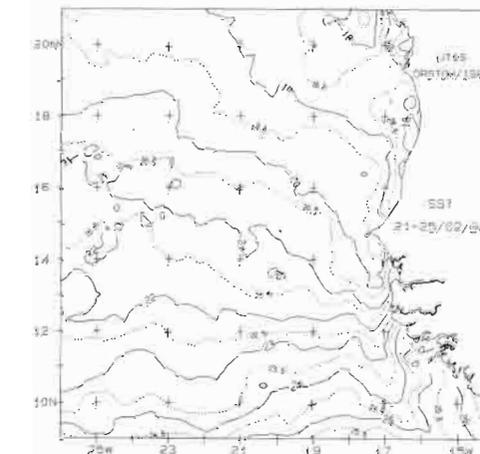
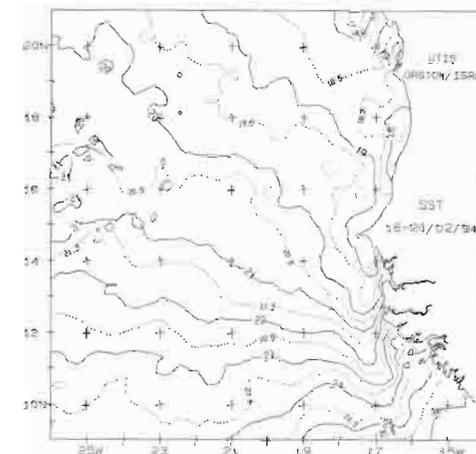
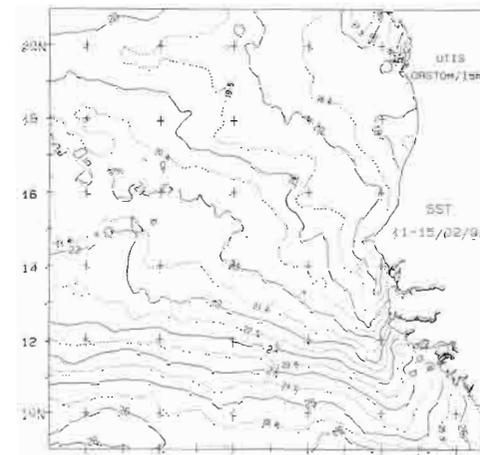
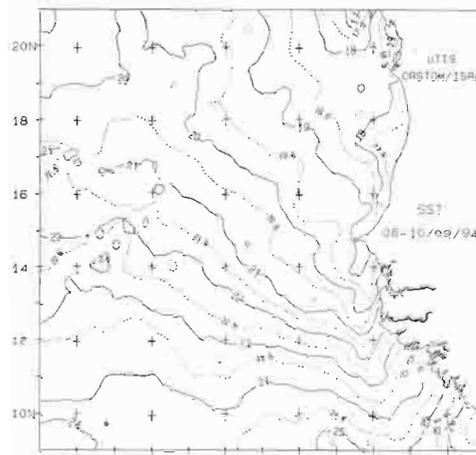
On remarque une nette anomalie "chaude" au sud de l'équateur. Ce type d'anomalie peut traduire des tendances climatiques générales.

Les vents alizés qui soufflent parallèlement à la côte vers l'équateur induisent des remontées d'eaux froides côtières, ou upwelling. La diminution de température par rapport à la saison chaude peut atteindre 15 degrés au Sénégal. L'upwelling, en apportant vers la surface des eaux riches en éléments nutritifs, induit une forte production biologique. Ces régions sont ainsi plus poissonneuses que les autres régions du globe.



**Carte en isocontourage des températures de surface de l'eau, pour la période du 1er au 15 octobre 1994.**

L'influence de l'upwelling de Benguela (au niveau de l'Angola) se propage pratiquement jusqu'à l'équateur et repousse les eaux chaudes vers les côtes guinéennes, sénégalaises et mauritaniennes. À cette date, l'upwelling sénégal-mauritanien est inexistant.



**Au cours de la période qui va du 6 au 25 février 1994, l'upwelling sénégal-mauritanien est bien marqué le long de la façade atlantique. En comparant chaque carte, on observe l'influence du vent (alizés du NE) sur l'évolution de l'upwelling.**



# Les estuaires du Sénégal : environnement et pêche

Collaboration : Isra / CRODT

Les milieux aquatiques continentaux du Sénégal (fleuve Sénégal, estuaires de la Casamance et du Sine-Saloum) concentrent une population importante. Ils supportent une exploitation intensive de leurs ressources naturelles.

De plus, de nombreuses espèces exploitées par la pêche artisanale maritime dépendent des conditions régnant dans ces milieux. C'est dire l'importance de ceux-ci pour l'économie du Sénégal.

La sécheresse a contribué à la modification profonde de ces écosystèmes. Les peuplements de poissons ont été affectés par ces changements. Il y a donc eu des conséquences importantes au niveau de l'exploitation des ressources aquatiques.

Divers aménagements dont le plus notable est l'édification des barrages de Diama et de Manantali sur le fleuve Sénégal ont aggravé ces conséquences.

Depuis de nombreuses années, l'Orstom a contribué à l'étude de ces milieux dans la plupart des domaines scientifiques concernés par :

- \* l'évaluation de la qualité des eaux : la salinité et les teneurs en minéraux essentiels à la productivité ;
- \* la connaissance de l'environnement physique : la bathymétrie, la sédimentologie, l'hydrodynamisme ;
- \* la compréhension des processus de production primaire et secondaire, depuis les algues planctoniques jusqu'aux poissons ;

- \* l'étude de la biologie et de l'écologie des espèces exploitées : poissons, crevettes, huîtres, mangrove ; celle de l'écologie des peuplements en relation avec les conditions environnementales et leur variabilité ;

- \* la connaissance de l'exploitation halieutique de ces ressources : modalités d'exploitation, niveaux d'exploitation, perspectives de gestion ;

- \* la description de l'organisation des sociétés de pêcheurs ainsi que des autres exploitants des ressources du milieu (cueillette des huîtres) ;

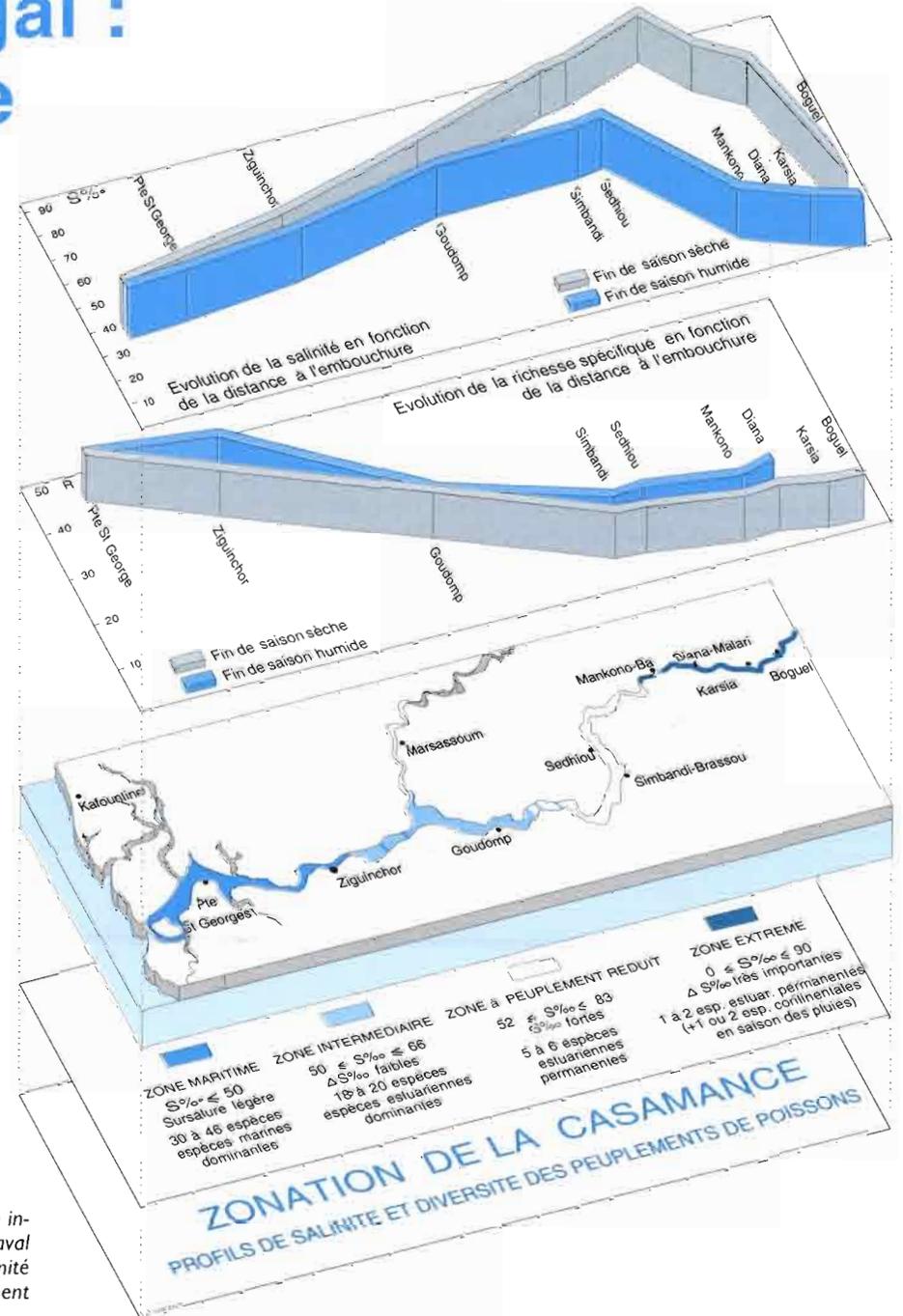
- \* l'organisation des marchés, la formation des prix.

Toutes ces études visent à établir, sur des bases scientifiques, le bilan de ces bouleversements. Elles permettent de comprendre les nouvelles modalités de fonctionnement des écosystèmes concernés.

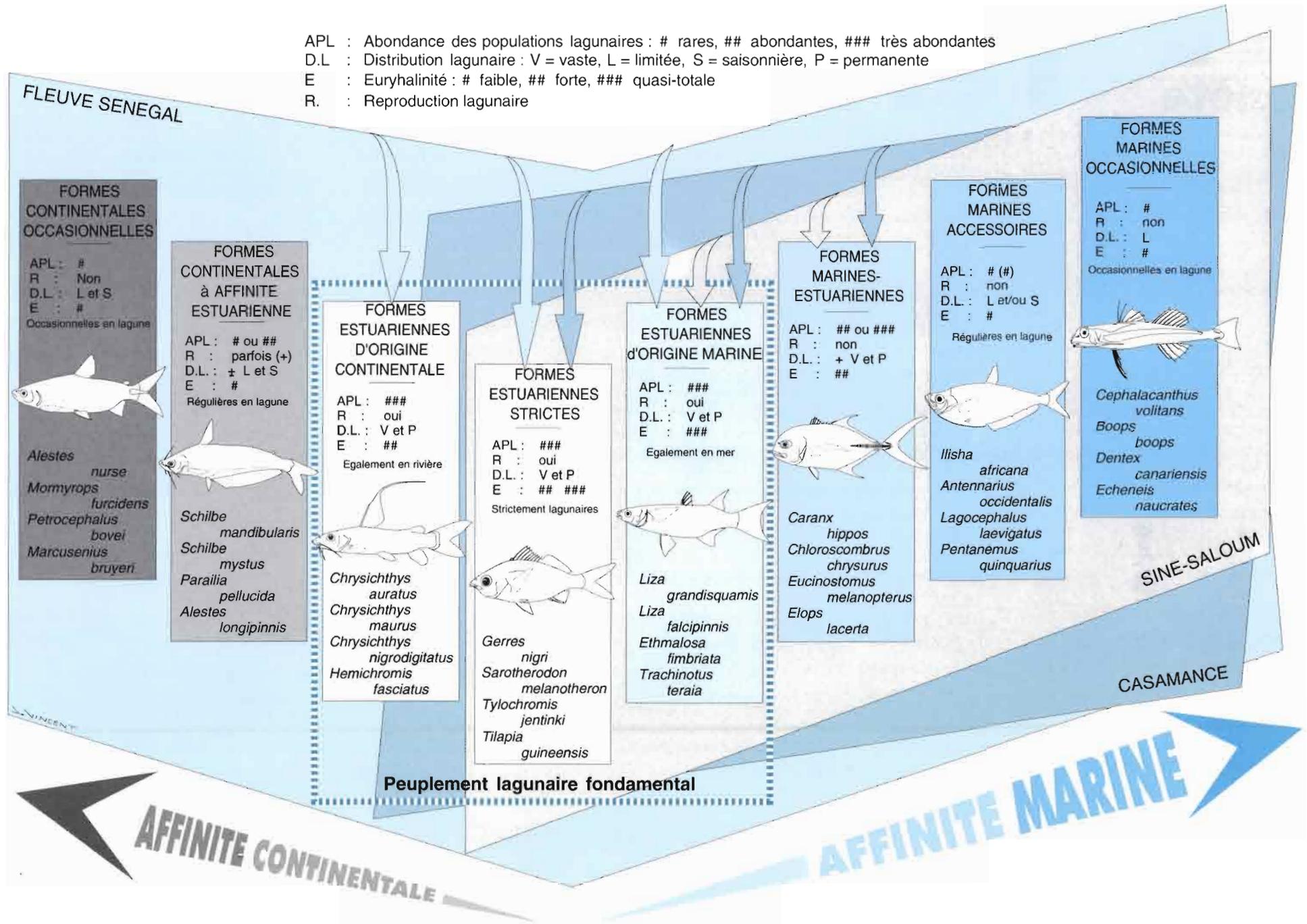
Les connaissances ainsi acquises se révèlent indispensables à la gestion rationnelle de ces écosystèmes dans la perspective d'un développement durable en dépit du contexte climatique défavorable.

## L'estuaire de la Casamance

La Casamance présente un cas typique d'estuaire inverse : estuaire dans lequel la salinité croît de l'aval vers l'amont. Cet accroissement de la salinité s'accompagne en particulier d'un appauvrissement de la diversité des espèces de poissons.



APL : Abondance des populations lagunaires : # rares, ## abondantes, ### très abondantes  
 D.L : Distribution lagunaire : V = vaste, L = limitée, S = saisonnière, P = permanente  
 E : Euryhalinité : # faible, ## forte, ### quasi-totale  
 R. : Reproduction lagunaire

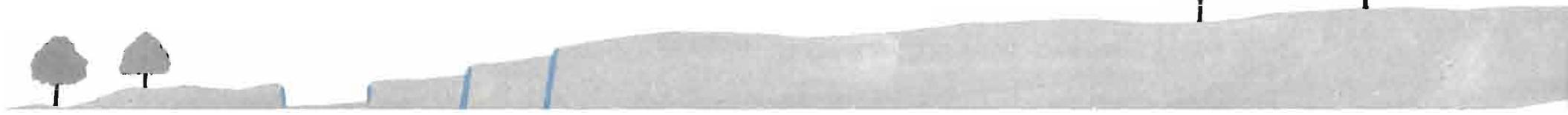


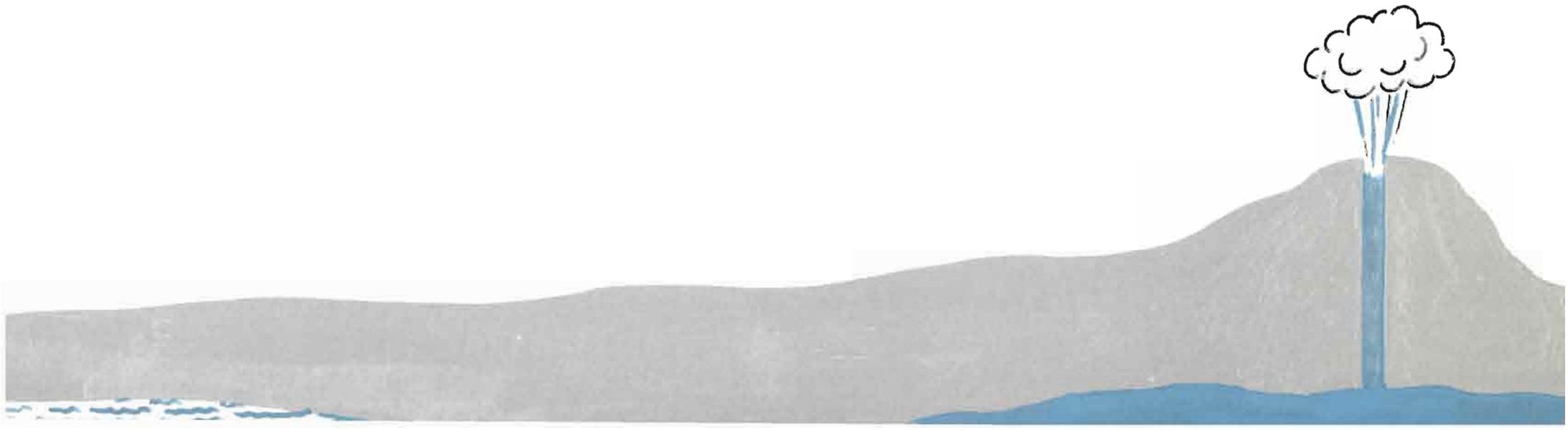
Les peuplements de poissons des estuaires. Ils sont composés d'espèces d'origine marine, d'espèces d'origine continentale et d'espèces estuariennes. Dans chacun de ces groupes, les espèces présentent divers types de cycles vitaux. Les proportions relatives de chaque groupe écologique dans le peuplement d'un estuaire sont fonction des conditions écologiques rencontrées.

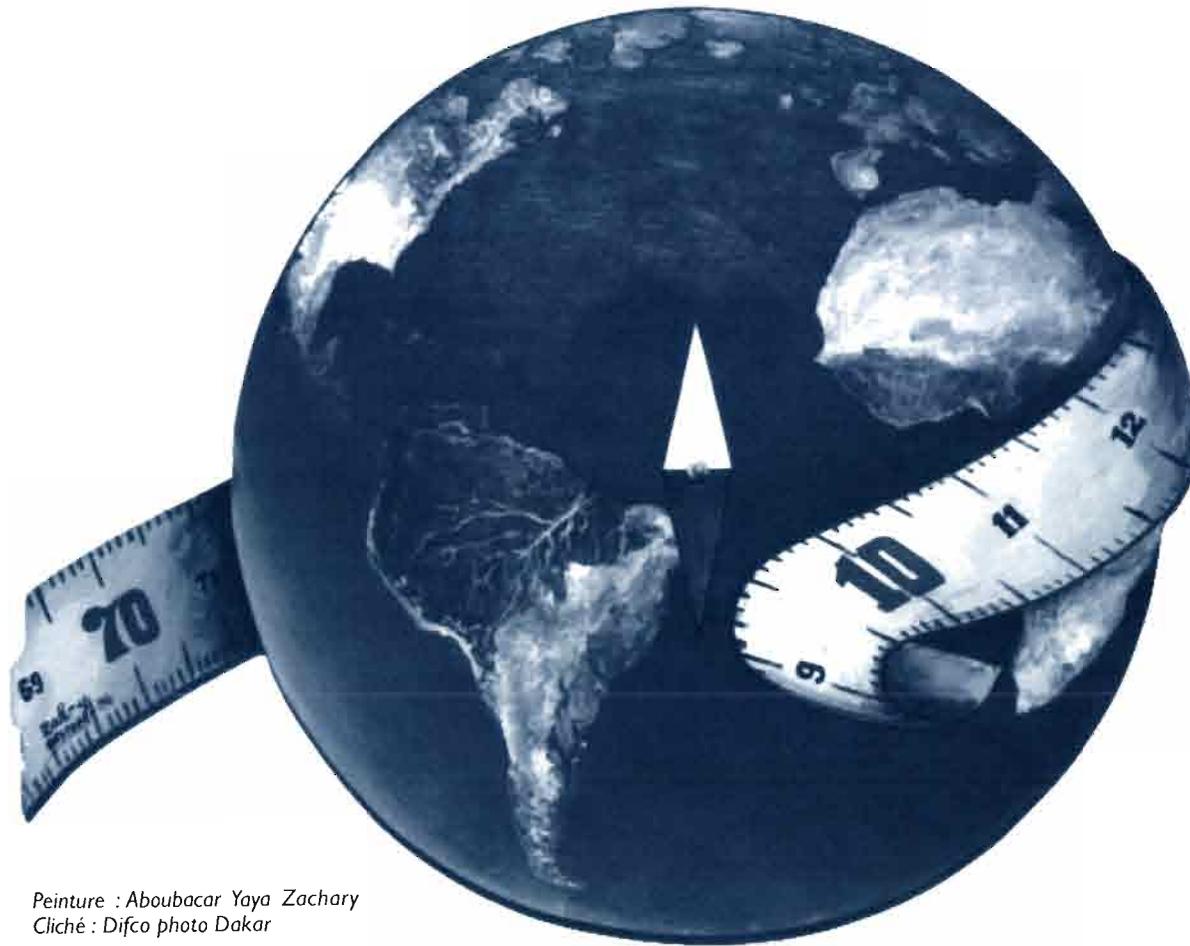
Participation scientifique :  
 Programme "Environnement  
 et ressources des estuaires  
 du Sénégal"

La  
planète

# Terre







Peinture : Aboubacar Yaya Zachary  
Cliché : Difco photo Dakar

La géophysique est l'étude du globe terrestre et de son environnement, par les méthodes de la physique : méthodes électriques, magnétiques, gravimétriques (mesure de l'intensité de la pesanteur), sismologiques.

Elle fut l'une des premières disciplines de l'Orstom au Sénégal avec, dès 1949, l'établissement à Mbour des observatoires magnétique et sismologique qui fonctionnent depuis 1952.

Ces observatoires recueillent régulièrement des données sismologiques, magnétiques et gravimétriques. Celles-ci constituent l'une des bases sur laquelle se fondent les recherches sur la structure du globe terrestre et de son environnement. Elles alimentent également les banques de données de la communauté scientifique internationale. L'Observatoire de Mbour est partie prenante dans des programmes internationaux.

A la fin des années 60, des programmes de recherche se sont centrés sur certaines structures caractéristiques de la lithosphère continentale pour connaître leur évolution en cours et comprendre les processus tectoniques plus anciens qui ont conduit à la formation des continents. Les cartes d'anomalies gravimétriques élaborées à partir des mesures de terrain ont contribué à définir les grandes structures du continent africain et à orienter les recherches géologiques et géophysiques sur des cibles privilégiées : cratons anciens, bassins sédimentaires, marges continentales, chaînes des Mauritanides (en 1980). Ces cartes offrent une aide précieuse pour le repérage de zones susceptibles de receler du pétrole, des minerais et des nappes d'eau profondes, ainsi que pour l'orientation, et la sécurité de la navigation aérienne et maritime.

L'enregistrement en continu des secousses sismiques affectant l'ensemble du globe est également assuré.

Depuis la fin des années 80, ces recherches fondamentales ont été associées, à la demande des services miniers ou instituts de recherche, à des programmes plus appliqués sur la genèse des gisements minéraux d'intérêt économique ainsi qu'à des études sismologiques en vue d'évaluer les risques naturels sismiques.

Une formation, assurée par des scientifiques, est réalisée auprès de l'Institut des sciences de la terre (IST) de l'Université Cheikh Anta Diop (Ucad) de Dakar.

### L'observatoire géophysique de Mbour :



- Observatoire sismologique
- Observatoire magnétique

### Année internationale de l'électrojet équatorial (AIEE) 1992-1995



### Quelques applications de la géophysique



- Connaissance de la croûte terrestre
- Connaissance des aquifères
- Formation et développement
- Connaissance des systèmes de sols tropicaux : une étude pédologique au Cameroun



# L'Observatoire géophysique de Mbour

## Observatoire sismologique

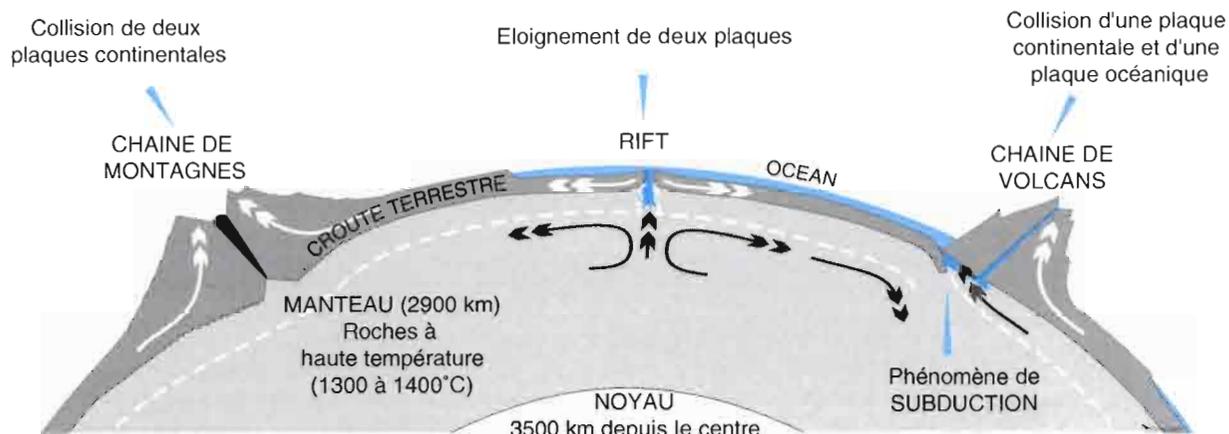


Schéma du fonctionnement de la tectonique des plaques

L'Observatoire de Mbour est intégré au réseau mondial de surveillance sismique et magnétique qui comporte environ 150 sites. Depuis 1952, il enregistre en continu les variations du champ magnétique terrestre et les ondes sismiques produites par les tremblements de terre survenant dans le monde entier. La rareté des observatoires dans les pays du Sud, confère aux données recueillies à Mbour une importance exceptionnelle, ainsi qu'en témoignent les nombreuses sollicitations dont il fait l'objet à travers le monde. Mbour couvre presque à lui seul une zone de 3.000 km de diamètre.

La technologie utilisée est constamment remise à jour et renouvelée par l'Unité technique des observatoires de l'Orstom à Paris (Réseau Géoscope en sismologie, Stations intermagnet en magnétisme etc.).

### Qu'est-ce que c'est ?

Le globe terrestre est composé de plusieurs enveloppes concentriques. La lithosphère, rigide, repose sur la partie visqueuse du manteau. Elle se fracture et forme une mosaïque de plaques rigides qui se déplacent les unes par rapport aux autres de quelques centimètres par an. Leurs frontières sont le siège de nombreux séismes (tremblements de terre). Un séisme crée différents types de vibrations (ondes sismiques) qui se propagent à travers tout le globe à des vitesses dépendant du type d'onde et des propriétés mécaniques du milieu traversé.

L'Observatoire de Mbour enregistre ces ondes en permanence à l'aide de sismographes.

### Pourquoi ?

L'ouest africain est une zone sismiquement calme. L'Observatoire de Mbour n'est donc pas gêné par des séismes proches. Il peut ainsi "écouter" les séismes lointains : un tremblement de terre de magnitude 5 situé aux antipodes sera enregistré à Mbour.

Cet observatoire occupe une position favorable pour la localisation des séismes du rift médio-atlantique

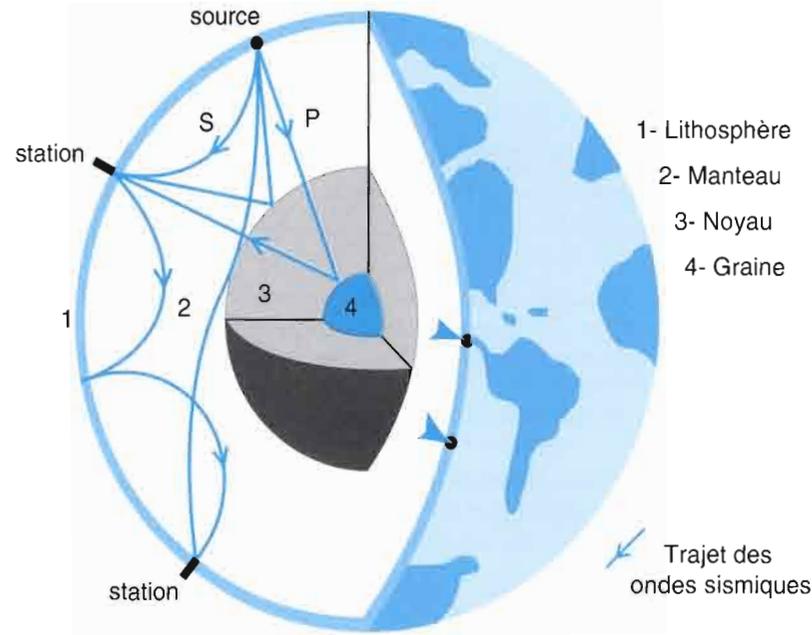
## À quoi ça sert ?

\* à définir les caractéristiques d'un séisme (localisation ou épicentre, intensité, magnitude) par l'analyse des ondes sismiques en plusieurs observatoires : à connaître, en tout point du globe, la probabilité d'occurrence et de magnitude des tremblements de terre. Les cartes de sismicité ainsi obtenues sont utilisées pour définir les normes parasismiques des constructions et ouvrages de génie civil (immeubles, barrages, ponts) ;

\* à approfondir nos connaissances sur la tectonique des plaques : leur géométrie, leur dynamique, les phénomènes de genèse, de collision, de chevauchement, de subduction (disparition d'une plaque sous une autre) ;

\* à étudier la constitution de l'intérieur du globe. L'analyse des ondes ayant traversé le globe a permis de montrer l'existence de la lithosphère, du manteau, du noyau liquide, de la graine ;

\* à tenter de prévoir à temps l'apparition des grands séismes destructeurs et de sauver ainsi de nombreuses vies humaines.



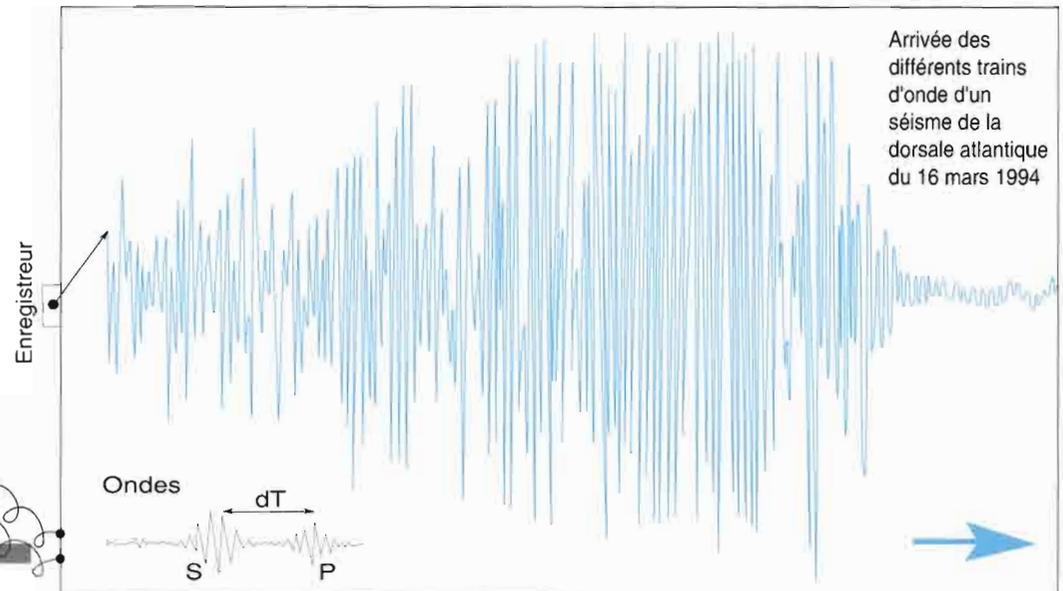
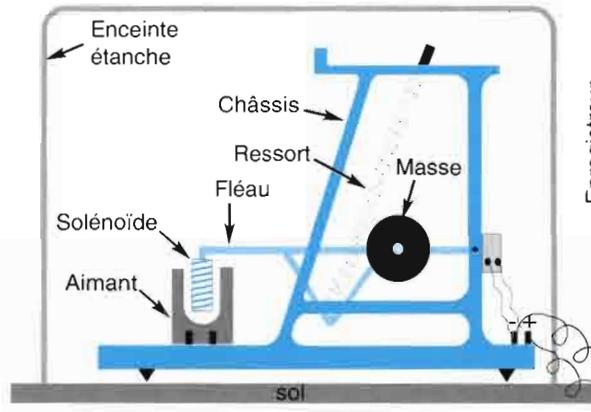
### Constitution du globe terrestre

Le trajet des différentes ondes sismiques subit des modifications de vitesse et de direction en fonction de la densité des milieux traversés.

L'étude des ondes sismiques transmises aux stations permet d'obtenir les caractéristiques des différentes couches de la terre.

### Principe du sismographe

Sur un châssis solidaire du sol, un fléau portant une masse est suspendu par un ressort astatisé (dont la tension de rappel est indépendante de l'allongement). Les mouvements du sol sont transmis par l'intermédiaire du châssis, et par inertie se crée un mouvement relatif de la masse par rapport au châssis. Un solénoïde (bobine électrique) au bout du fléau oscille alors dans l'entrefer d'un aimant créant un courant électrique transmis à un enregistreur. La différence de temps d'arrivée ( $dT$ ) des ondes P (première) et S (seconde) donne la distance à l'épicentre.



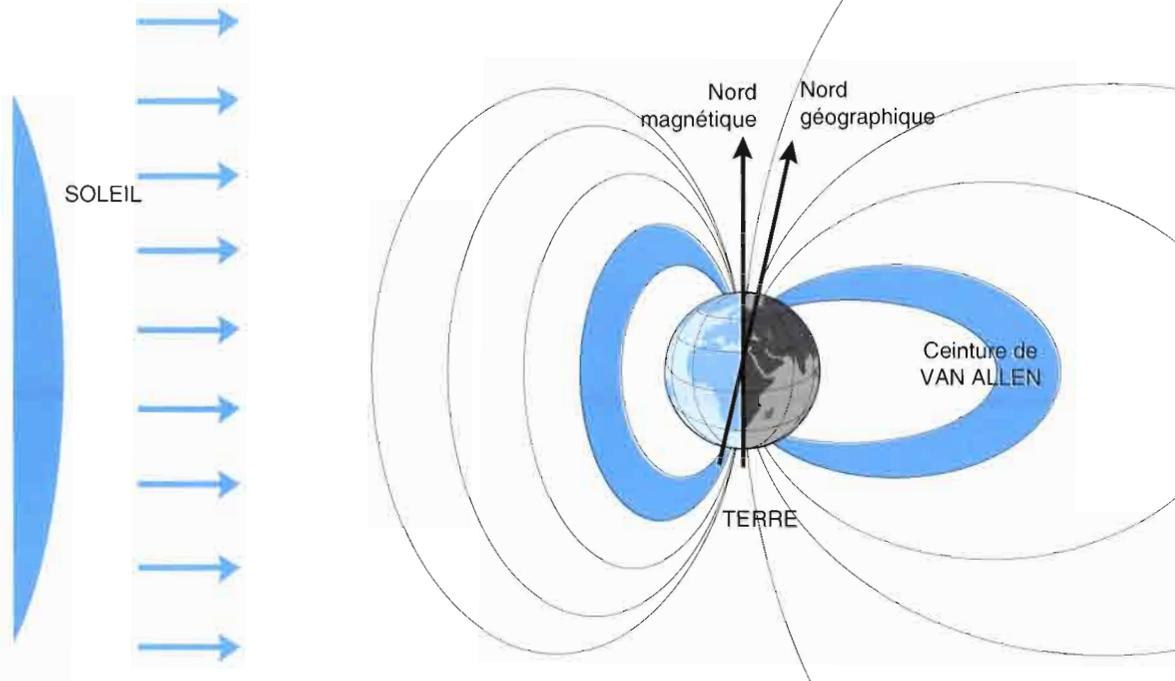


L'observatoire magnétique de Mbour enregistre en permanence le champ magnétique terrestre. Il sert fréquemment de référence lors de campagnes de couverture magnétique ou de prospection.

### Qu'est-ce que c'est ?

Attesté depuis des siècles par l'orientation de la boussole, le champ géomagnétique serait dû à des courants électriques auto-excités à l'intérieur de la partie liquide du globe. Ce champ est équivalent à celui que produirait un aimant linéaire situé au centre de la terre, et incliné sur l'axe des pôles. Il s'organise suivant un ensemble de lignes de force (la magnétosphère) qui se développent autour de la planète. Le vecteur champ est parallèle à ces lignes. Mesuré en nano-Tesla (nT), il est défini par son intensité  $F$ , son inclinaison  $I$  (angle qu'il fait avec la surface terrestre), sa déclinaison  $D$  (angle par rapport au nord géographique).

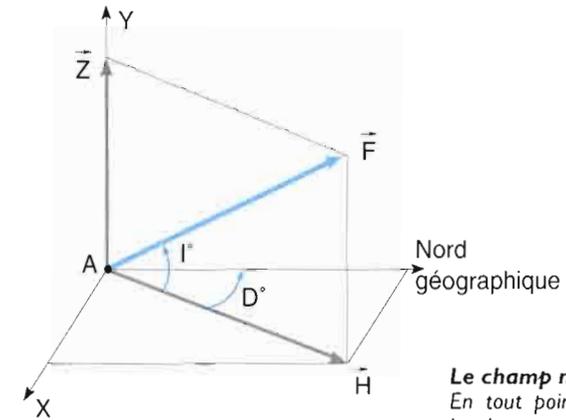
Les mesures du champ s'effectuent à l'aide d'aimants (l'aimant de la boussole donne la direction de la déclinaison ligne de force du champ), ou de magnétomètres à protons, qui utilisent certaines propriétés de l'atome.



### La magnétosphère

Les lignes de forces du champ magnétique terrestre sont confinées dans un volume appelé magnétosphère. L'interaction du vent solaire déforme cette magnétosphère, comprimant le côté solaire (jour) et étirant le côté anti-solaire (nuit).

## Observatoire magnétique



**Le champ magnétique terrestre**  
 En tout point A du globe terrestre, le champ magnétique peut être représenté par un vecteur  $F$ . Dans un repère terrestre  $X, Y, N$ , ce vecteur se décompose en différentes composantes :

- $F$  Champ total
- $H$  Composante horizontale
- $Z$  composante verticale
- $D$  déclinaison
- $I$  inclinaison

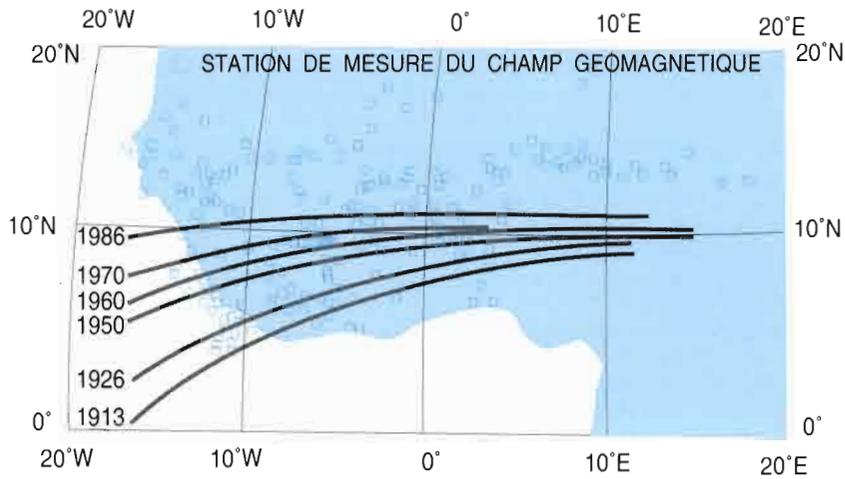
La mesure de ces éléments permet de caractériser le champ.

### Pourquoi ?

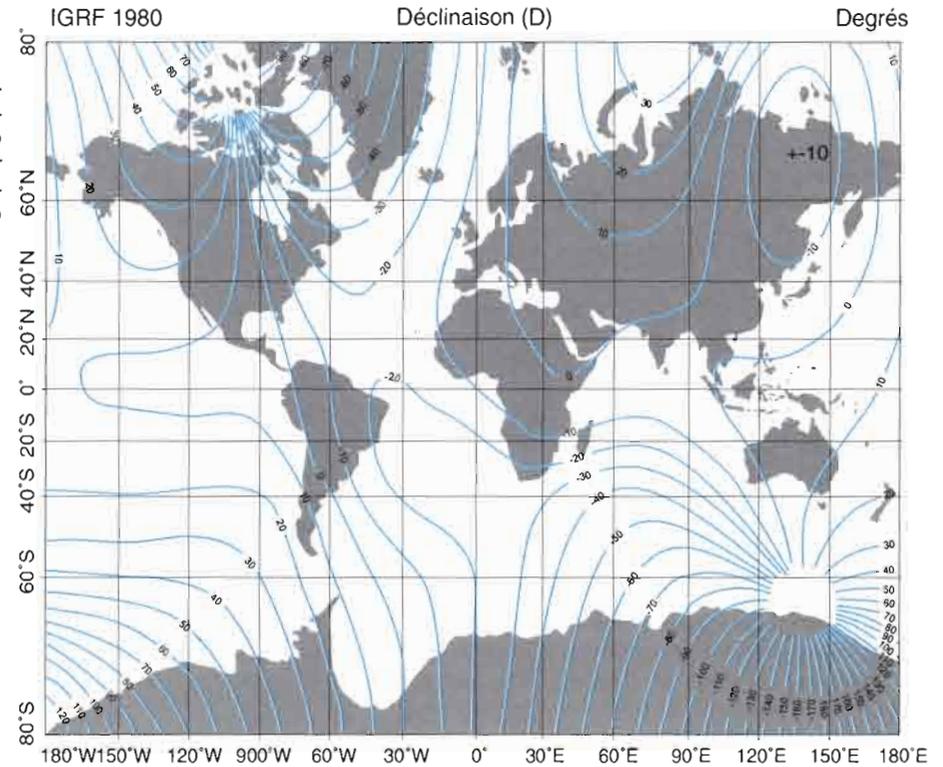
L'observatoire permet de suivre en permanence les différentes fluctuations du champ géomagnétique :

- \* la variation séculaire est une évolution lente du champ, due aux lents déplacements des cellules de courants électriques dans la partie visqueuse du globe terrestre. Le champ subit ainsi au cours des temps géologiques, différentes déformations et inversions dont l'étude est le paléomagnétisme ;

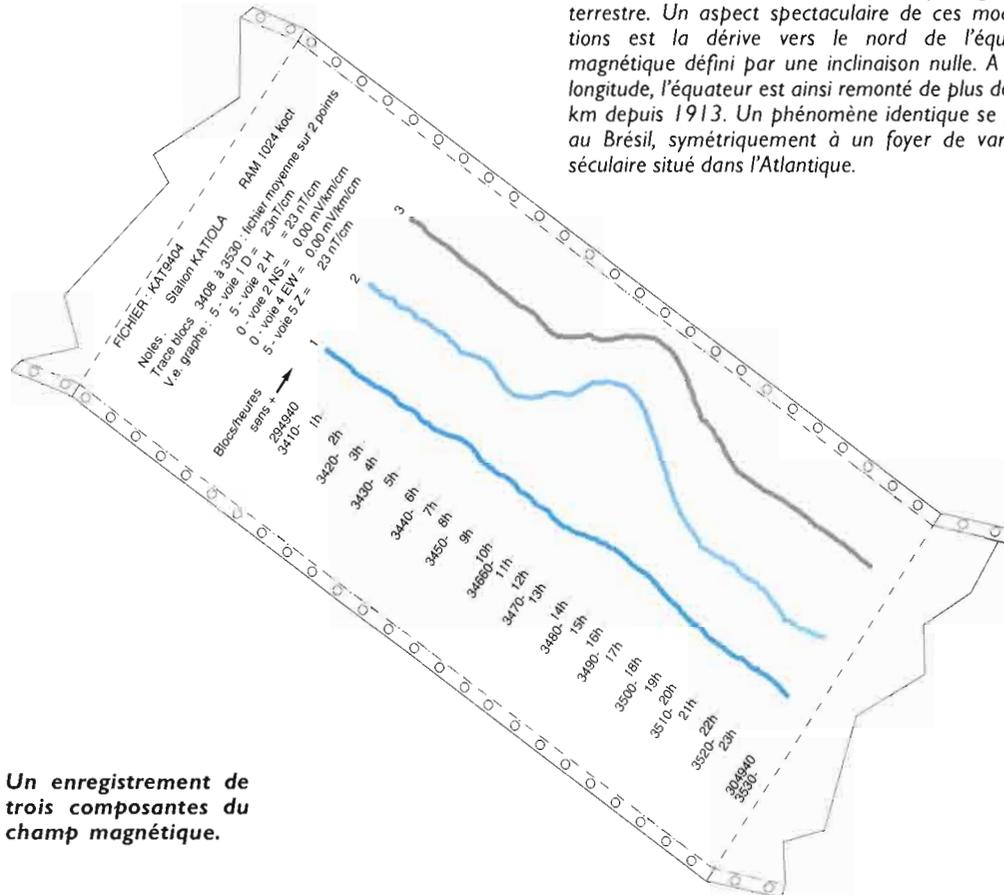
- \* les variations rapides sont dues à l'action du rayonnement solaire. On observe ainsi des variations diurnes, saisonnières, undécennales (cycle d'activité solaire de 11 ans), ainsi que des bouleversements violents de la configuration du champ lors des éruptions solaires (orages magnétiques).



**Carte IGRF**  
Un exemple de cartographie de la déclinaison du champ magnétique à partir des modèles mathématiques de champ (IGRF).



**Déplacement de l'équateur magnétique**  
La variation séculaire modifie le champ magnétique terrestre. Un aspect spectaculaire de ces modifications est la dérive vers le nord de l'équateur magnétique défini par une inclinaison nulle. A notre longitude, l'équateur est ainsi remonté de plus de 900 km depuis 1913. Un phénomène identique se passe au Brésil, symétriquement à un foyer de variation séculaire situé dans l'Atlantique.



Un enregistrement de trois composantes du champ magnétique.

## À quoi ça sert ?

Les données recueillies contribuent :

- \* au suivi de la variation séculaire du champ terrestre qui permet la mise à jour des cartes de déclinaison (diminuant dans notre région de 9' tous les ans). On a ainsi montré la dérive du champ magnétique en Afrique de l'Ouest : l'équateur magnétique, lieu où l'inclinaison du champ est nulle, a migré vers le nord de plus de 900 km depuis 1913. Ces cartes sont importantes pour l'orientation, la sécurité de la navigation aérienne et maritime, la topographie, la cartographie ;
- \* à la détermination, par les centres mondiaux, des modèles mathématiques permettant le calcul des composantes du champ en tout point du globe (International geomagnetic reference field, IGRF) ;
- \* à la compréhension des phénomènes physiques générant ce champ dont l'origine exacte reste encore mystérieuse ;
- \* à l'étude et la surveillance de l'activité solaire et de son impact sur notre environnement par exemple en climatologie. On sait qu'une éruption solaire perturbe les communications radioélectriques. Cette surveillance permet d'alerter les avions en vol, améliorant ainsi la sécurité ;
- \* à l'étude de l'ionosphère qui joue un rôle primordial dans les communications radio.



# Année internationale de l'électrojet équatorial

## Qu'est-ce que c'est?

### L'ionosphère

Supposée dès 1885, l'existence dans la haute atmosphère d'une région conductrice, siège de courants électriques, fût confirmée par Marconi en 1901. Il expliqua ainsi la réflexion des ondes radio qui peuvent se propager à des milliers de kilomètres malgré la rotondité de la terre.

Cette région de l'environnement terrestre, appelée ionosphère, est créée par l'action du rayonnement solaire. Elle s'organise en différentes couches s'étageant entre 80 et 400 km d'altitude.

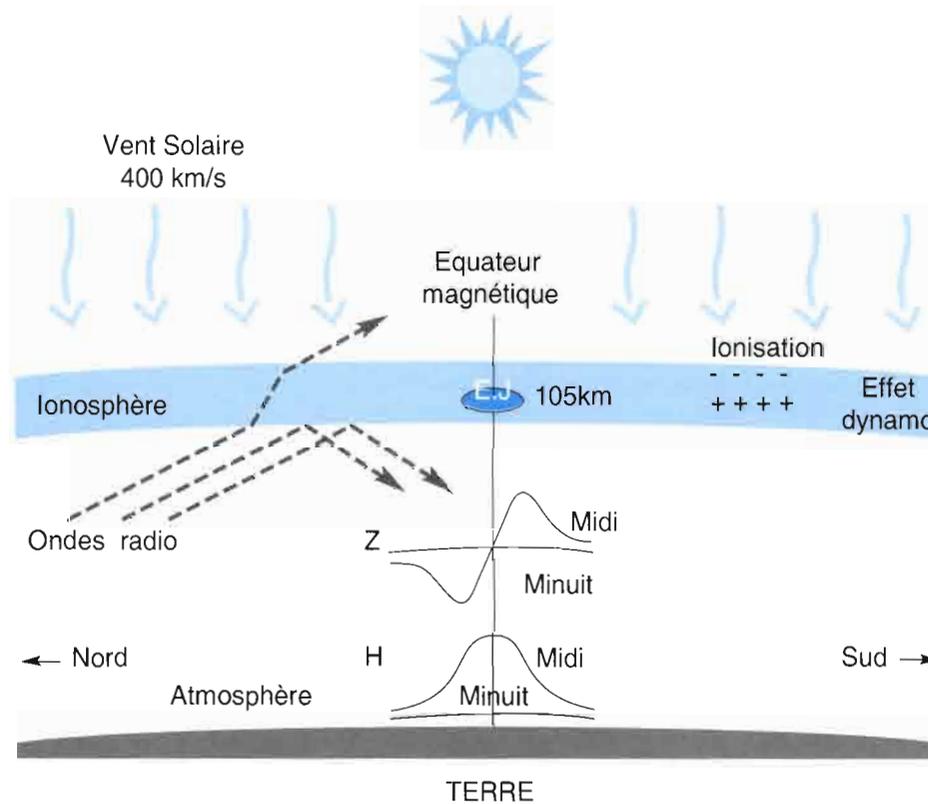
Entièrement dépendant de l'interaction soleil-atmosphère, ce milieu est extrêmement variable suivant l'heure, la saison, l'activité solaire. Son "contenu électronique" est maximum à midi et négligeable la nuit.

Suivant leur fréquence et l'état de l'ionosphère, les ondes radios sont réfléchies, absorbées ou traversent ces couches. Ainsi, pour avoir une bonne réception des ondes courtes on doit, suivant l'heure et le lieu, changer les fréquences (ou longueur d'onde) de l'émission.

### L'électrojet

En 1922, une anomalie magnétique fut observée au Pérou, près de l'équateur magnétique. En 1951, Chapman donna à ce phénomène le nom d'électrojet équatorial (EJ) dont l'existence ne fut prouvée expérimentalement qu'en 1972.

A l'équateur magnétique, la configuration du champ, qui est horizontal (inclinaison  $I = 0$ ), favorise la concentration des charges électriques ionosphériques et la création de courants intenses circulant d'ouest en est dans une bande de 5 km d'épaisseur, 500 km de large, située à 105 km d'altitude.



### L'ionosphère, l'électrojet

Les particules transportées par le vent solaire interagissent avec les molécules d'air de la haute atmosphère créant une couche ionisée, l'ionosphère. Cette couche conductrice peut réfléchir, absorber ou transmettre les ondes radio suivant leurs fréquences.

A l'équateur magnétique, la configuration du champ magnétique, qui est horizontal, crée une concentration de courant électrique intense et très localisée, l'électrojet (EJ). Cet électrojet modifie la morphologie des variations des composantes magnétiques H (horizontale) et Z (verticale).

## Pourquoi l'AIEE ?

En 1987, l'IDCDC (Inter divisional commission for developing countries) a proposé à la communauté scientifique mondiale d'intensifier l'étude de l'électrojet équatorial dans le cadre d'un projet international : l'AIEE. Un comité français, réunissant plusieurs organismes (CEA, CNET, CNRS, IPGP, NCAR, Université Paris Sud, Letti, Orstom,

Universités de Dakar et d'Abidjan) fut alors créé pour coordonner les projets scientifiques au niveau français.

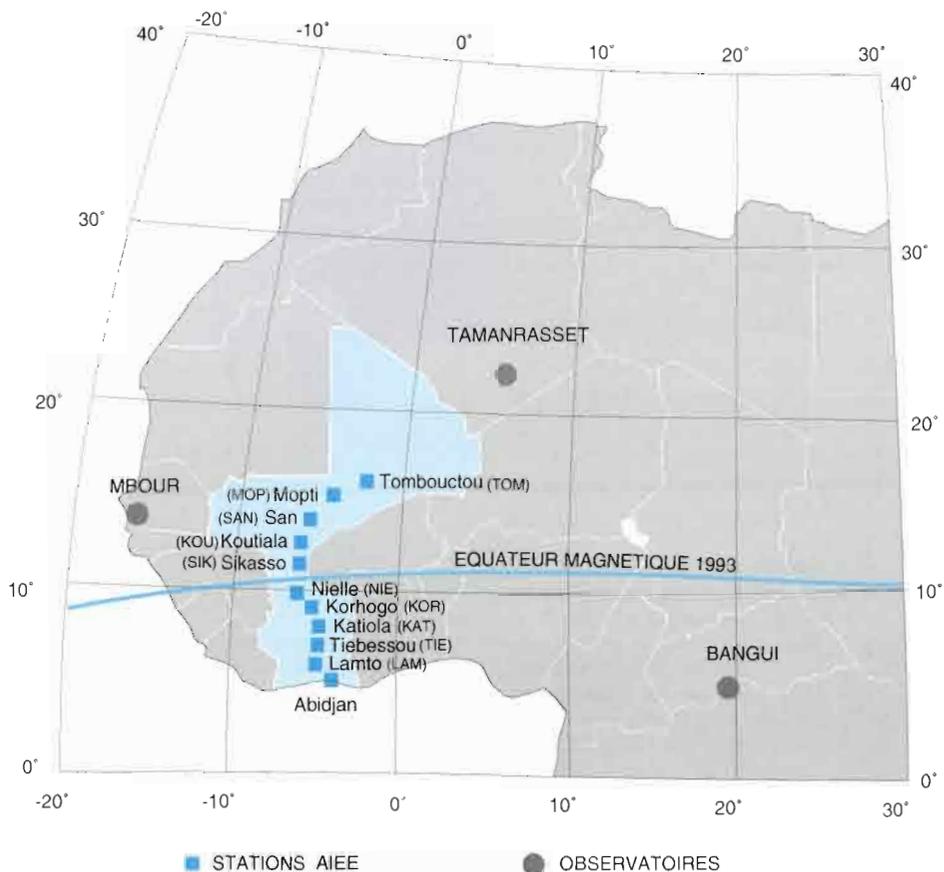
La géophysique de l'Orstom a proposé un projet d'étude et mis en place une chaîne de dix stations méridiennes qui enregistrent les variations des champs magnétique et tellurique générés dans la zone équatoriale par l'électrojet.

# (AIEE) 1992-1995

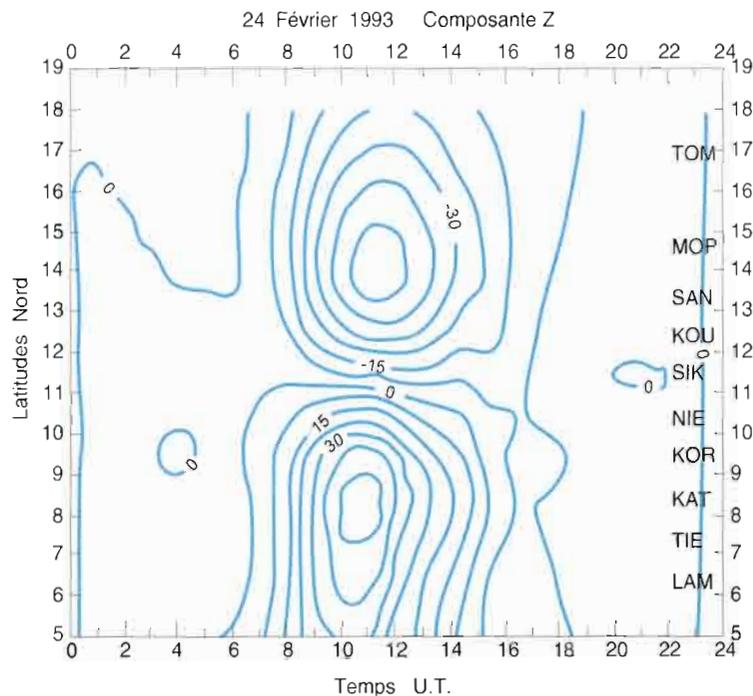
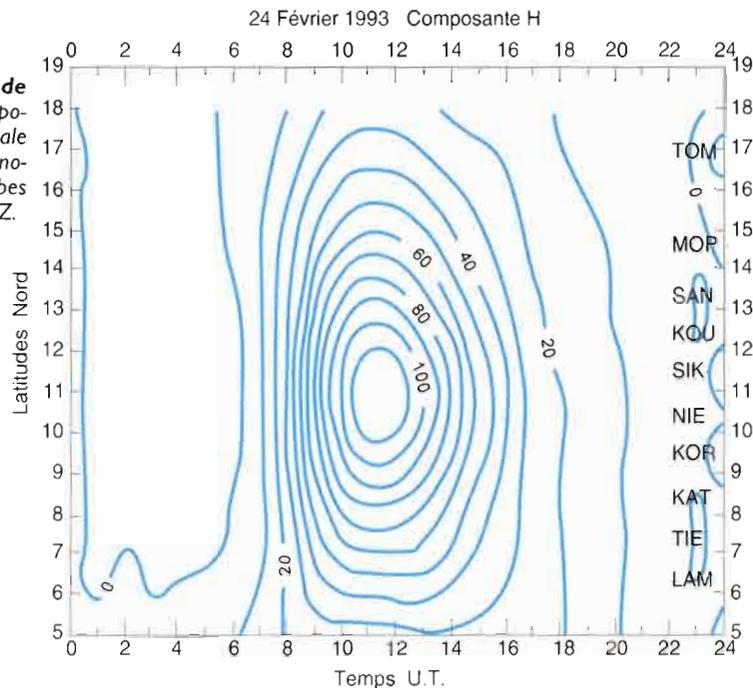
## À quoi ça sert?

- \* à l'amélioration des communications ;
- \* à l'amélioration de nos connaissances sur l'aéronomie, l'électrodynamique et d'autres phénomènes physiques qui contrôlent l'électrojet équatorial. L'objectif scientifique est l'étude de l'électrojet en tant que partie d'un circuit électrique global, ainsi que l'étude des courants telluriques et des conductivités terrestres à l'échelle régionale.

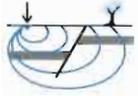
Carte du réseau AIEE



Cartographie de l'influence de l'électrojet au sol sur les composantes horizontale (H) et verticale (Z) Les valeurs sont en nano-Tesla (nT). L'équidistance des courbes est de 10 nT sur H et de 5 nT sur Z.



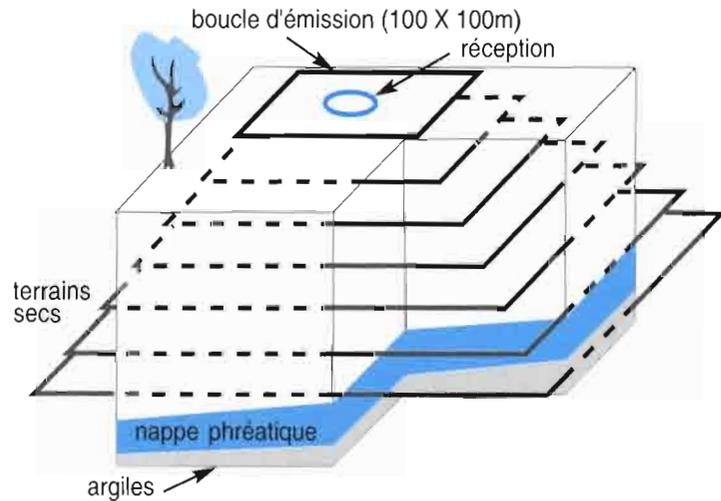
Participation scientifique : Jacques Vassal



# Quelques applications de la géophysique

La géophysique appliquée est utilisée pour la détection des ressources minières (minerais, pétrole) des eaux souterraines.

Elle apporte un complément indispensable à la géologie ou au génie civil et permet de détecter, à partir de la surface, toute structure enfouie à des profondeurs variées.



## Méthode TDEM (Time Domain Electromagnetism)

La coupure brusque d'un courant circulant dans une bobine disposée au sol (en noir) crée un champ électromagnétique qui se propage dans le sol. Le champ magnétique induit dans le sol est mesuré en surface par une bobine réceptrice (en bleu). On obtient ainsi la variation de la résistivité en fonction de la profondeur (jusqu'à 100-150 mètres). La résistivité est un paramètre important : elle sert, par exemple, à estimer les teneurs en eau ou en argile des différents terrains.

**N.B.** Un film intitulé " Quelques méthodes de géophysique appliquée " produit par la Cellule audiovisuelle de l'Orstom Dakar présente ce sujet de façon plus complète. Ce film a été conçu pour accompagner l'exposition du cinquantenaire de l'Orstom.

## Les objectifs

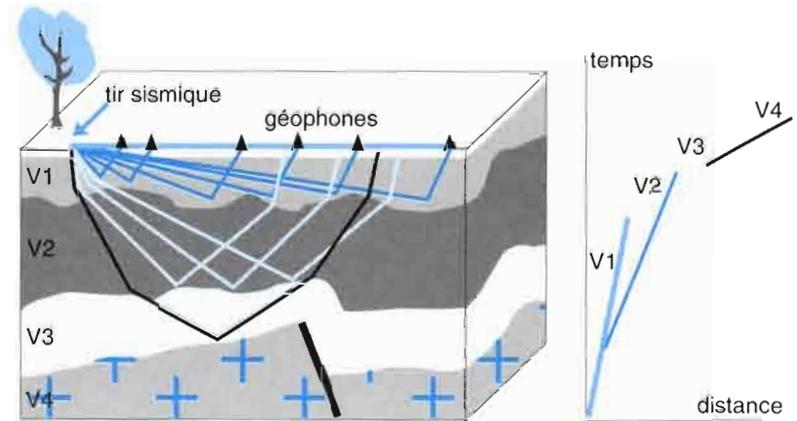
Le laboratoire de Dakar se spécialise plus particulièrement dans la connaissance des systèmes de sols tropicaux, celle des aquifères et des structures de la croûte terrestre, et prend une part active à la formation en géophysique et au développement.

Ces thèmes sont illustrés ici par quelques exemples d'études antérieures ou en cours de réalisation par l'Orstom et ses partenaires.

## Les méthodes

Elles sont de type électromagnétique (AMT, TDEM, VLF), magnétique, électrique (sondages), sismique.

Quelques unes de ces méthodes sont présentées ci-dessous :

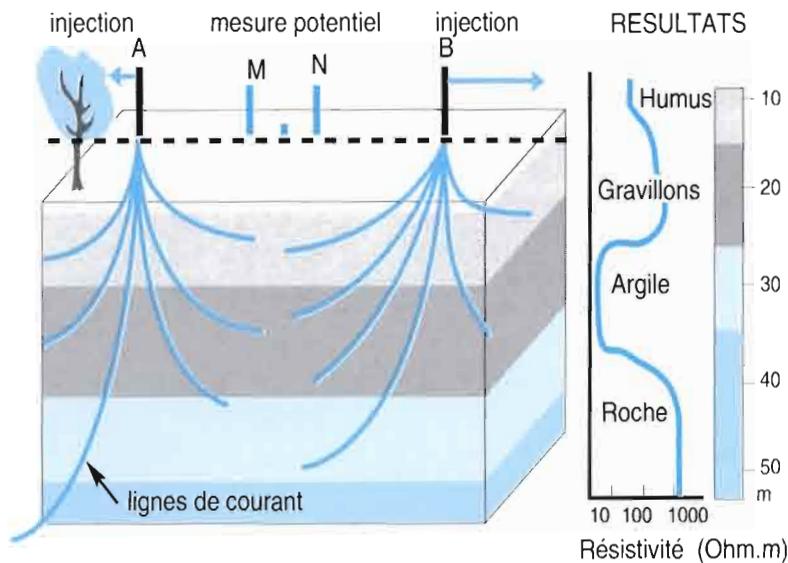


## Méthode sismique

Un ébranlement en surface (coup de masse, explosion, vibrations) crée une onde de choc qui se propage dans le sous-sol. La vitesse des vibrations varie avec la nature des terrains qu'elles traversent. Après de nombreuses réflexions et réfractions, ces vibrations sont enregistrées en surface par des géophones. Les courbes temps-distance obtenues permettent de connaître la compacité des différents terrains traversés, leur épaisseur et la présence de fluides tels que l'eau.

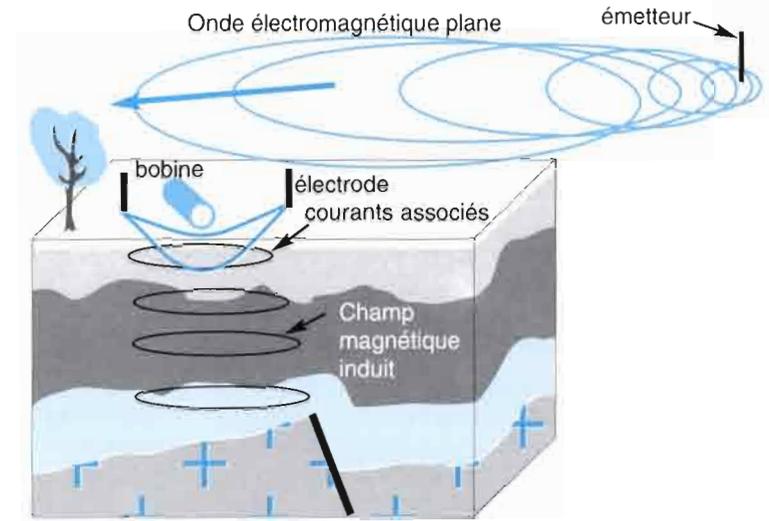
### Méthode électrique à courant continu

Un courant électrique circule entre deux électrodes plantées dans le sol. Il pénètre d'autant plus profondément que les électrodes sont plus éloignées l'une de l'autre. La mesure en surface de ce courant permet de calculer la résistivité du sous-sol jusqu'à des profondeurs dépassant 50 mètres.



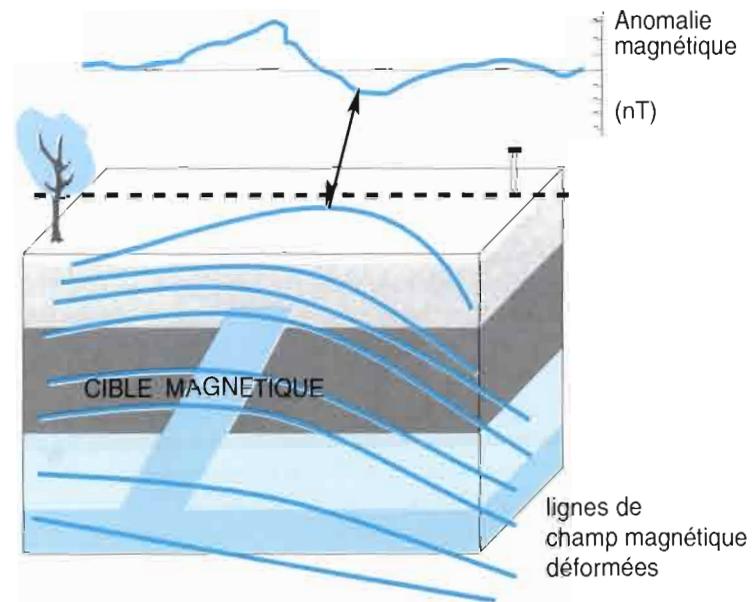
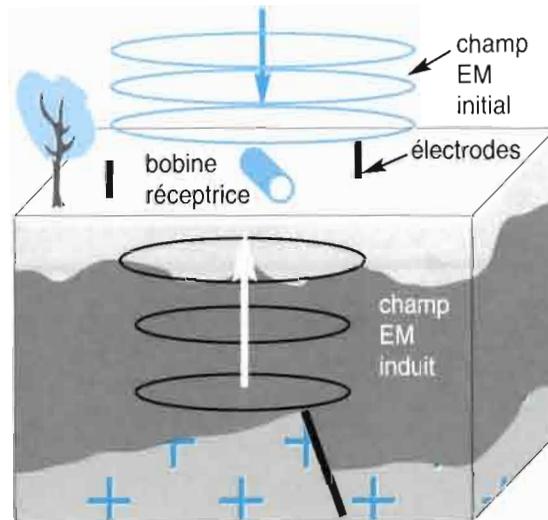
### Méthode VLF (Very low frequency)

Cette méthode est analogue à l'AMT, mais les ondes planes sont produites artificiellement par un émetteur lointain. Elle est rapide et pratique. Les résultats, généralement qualitatifs, servent à déterminer le positionnement d'autres relevés plus élaborés. La détection des zones aquifères possibles, des zones de fracture ou d'invasion salée est ainsi facilitée.



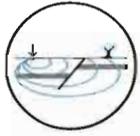
### Méthode AMT (Audio-magnéto-tellurique)

Les champs magnétiques et électriques naturels sont mesurés à l'aide d'une bobine captrice et de deux électrodes. La variation d'amplitude ou de fréquence de ces champs dépend du type de terrain qu'ils traversent et permet de connaître la distribution des résistivités du sol, sur des épaisseurs parfois considérables (plus de 2 km). Cette méthode est particulièrement adaptée à l'étude des grandes structures géologiques du globe.



### Prospection magnétique au sol

Certains corps souterrains magnétiques déforment les lignes du champ magnétique terrestre. La mesure de ces anomalies magnétiques permet de déterminer la forme de ces corps et leur profondeur d'enfouissement. Cette méthode peut servir dans la recherche des failles, ou des corps métalliques; elle est particulièrement utile pour la prospection minière.



# Connaissance de la croûte terrestre

## Étude de la chaîne des Mauritanides, en Afrique de l'Ouest

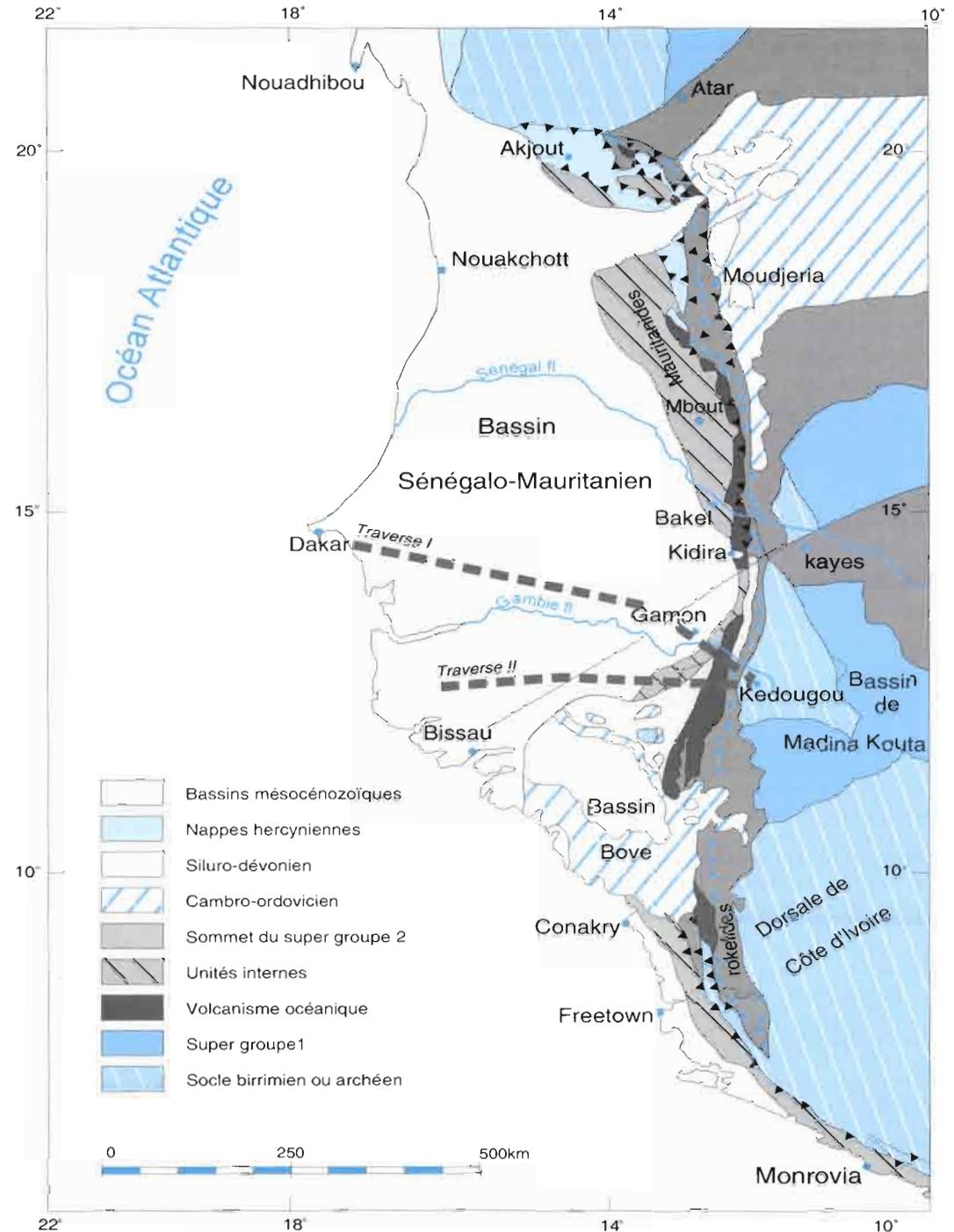
La bordure continentale de l'Afrique de l'Ouest a été le siège de grands bouleversements géologiques en particulier d'orogénèses. Ces évolutions géodynamiques ont conduit à la formation de systèmes montagneux, en particulier la chaîne des Mauritanides s'étendant du Maroc à la Guinée en passant par le Sénégal oriental.

Le domaine prospecté se décompose d'est en ouest en trois zones structurales :

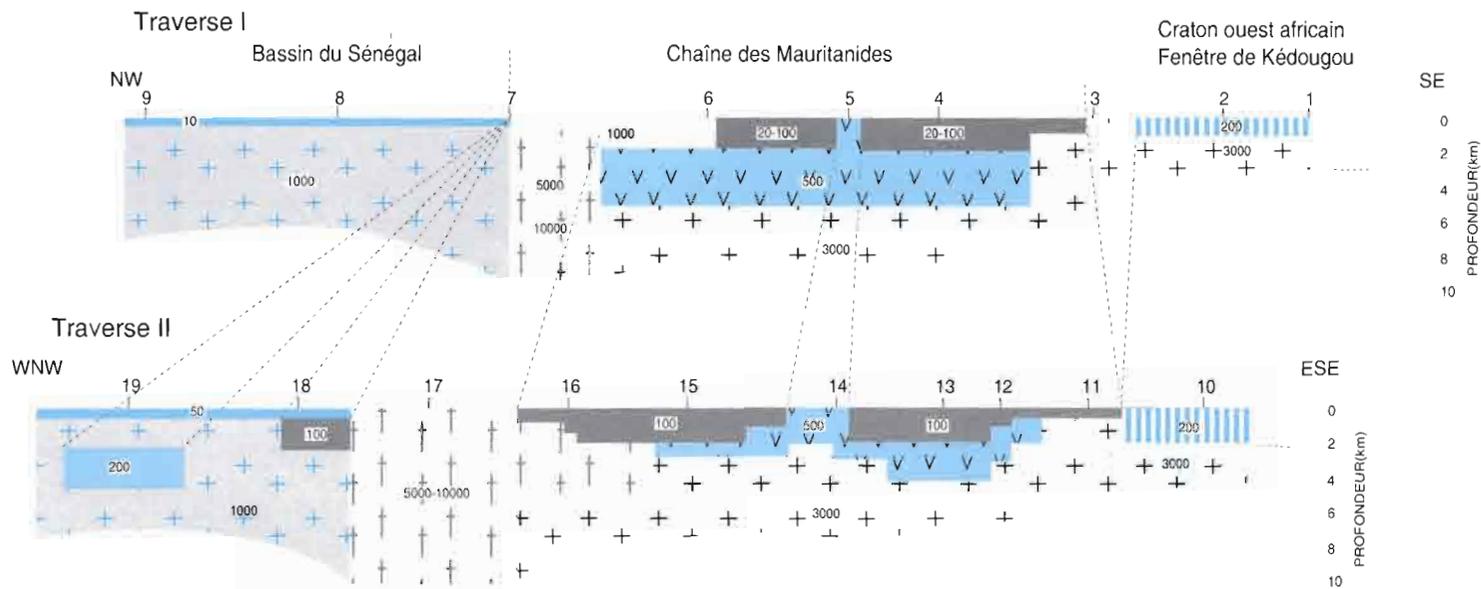
- 1) le craton ouest africain, socle ancien figé depuis 1.600 millions d'années (MA) ;
- 2) la chaîne des Mauritanides, mise en place il y a 700 MA et dont ne subsiste pratiquement aucun relief ;
- 3) le bassin sédimentaire sénégalo-mauritanien qui résulte de l'ouverture de l'océan atlantique central il y a 110 MA.

Pour mieux comprendre la mise en place de ces différentes entités structurales, des mesures géophysiques ont été réalisées en utilisant la méthode magnéto-tellurique (MT) qui permet de sonder l'intérieur de la terre jusqu'à plusieurs dizaines de kilomètres de profondeur.

Le long de deux traverses : Kédougou-Mbour (I) et Kédougou-Casamance (II), les différentes unités géologiques et structurales sont bien mises en évidence par le paramètre de résistivité électrique spécifique à chaque type de roche.



Esquisse géologique de la bordure du craton ouest-africain et localisation des profils géophysiques.



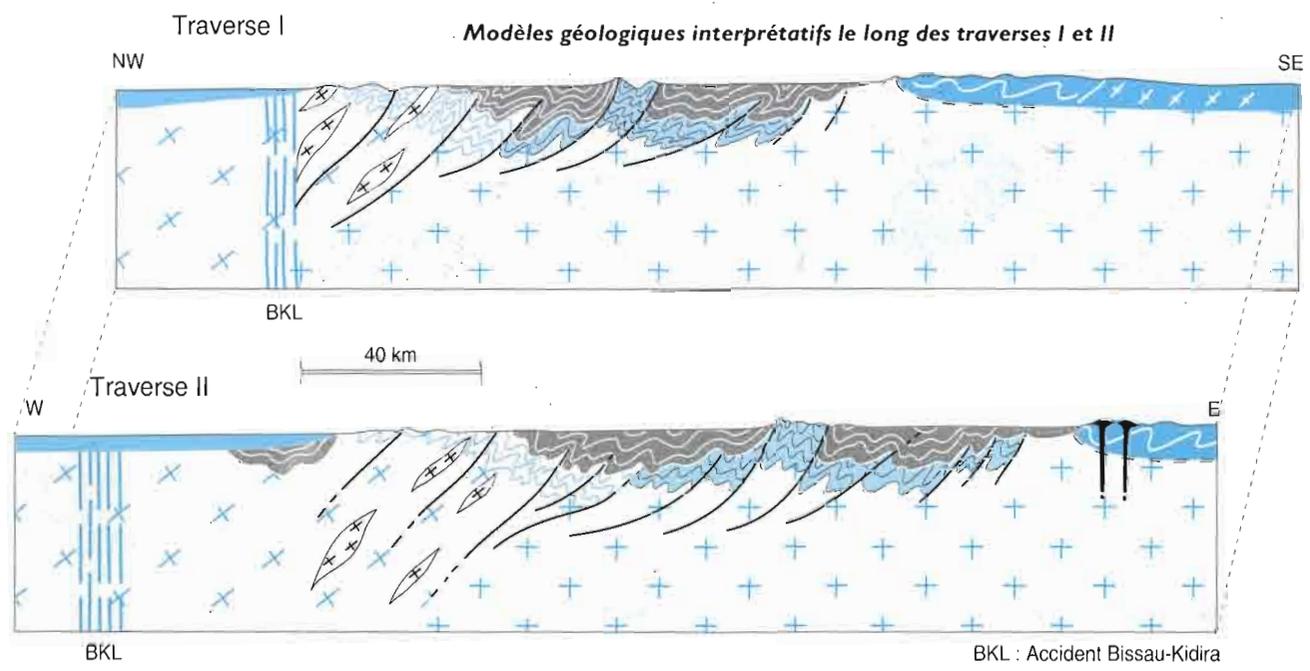
Sur les deux traverses, des résistivités de l'ordre de 1.000 ohm-m caractérisent le bassin sédimentaire et des résistivités plus élevées (3.000 ohm-m) représentent la chaîne des Mauritanides et le socle ancien. Entre le bassin et la chaîne, on constate la présence d'un terrain hautement résistant qui est en relation avec des roches intrusives montées à la faveur d'un grand accident profond à l'intérieur de la terre.

Modèles géoélectriques de la croûte supérieure déduits des mesures géophysiques, le long des traverses I et II.

- |  |                                  |  |                         |
|--|----------------------------------|--|-------------------------|
|  | Socle occidental                 |  | Granite du Niokolo Koba |
|  | Bassins molassiques              |  | Granite éburnéen        |
|  | Métavolcaniques bassaris         |  | Formation birrimienne   |
|  | Métavolcaniques de la Koulountou |  | Socle ante-éburnéen     |

À partir de ces modèles géophysiques, une interprétation géologique et structurale est réalisée. La zone BKL (accident Bissau-Kidira) pourrait correspondre à la zone de collision entre un micro-continent sénégal-mauritanien et le craton ouest-africain il y a 700 MA.

Modèles géologiques interprétatifs le long des traverses I et II



BKL : Accident Bissau-Kidira



# Connaissance des aquifères

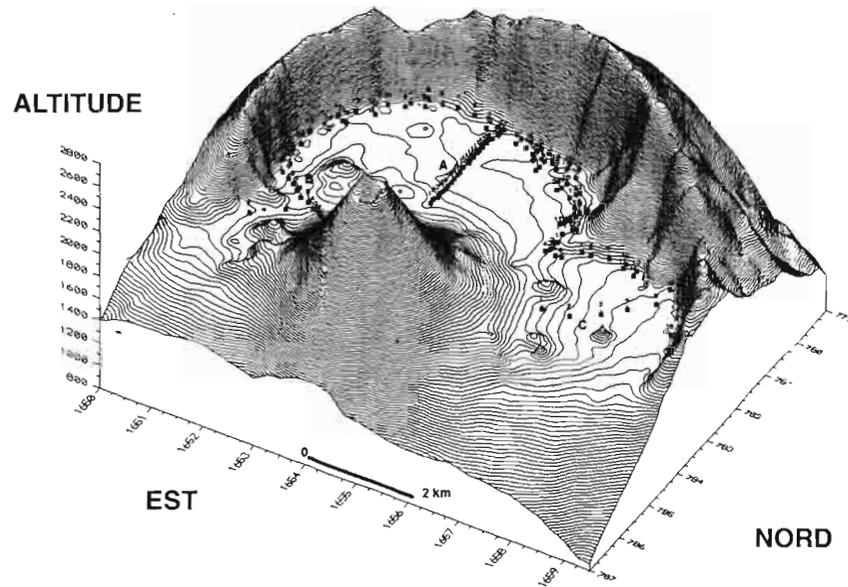
Collaborations : INGRH Praia, Init Praia

Les méthodes électromagnétiques sont largement utilisées dans la prospection appliquée à la recherche des eaux souterraines. On recherche soit des structures telles que des failles, soit des zones de faible résistivité électrique dans un milieu plus résistant, qui peut témoigner de la présence de l'eau.

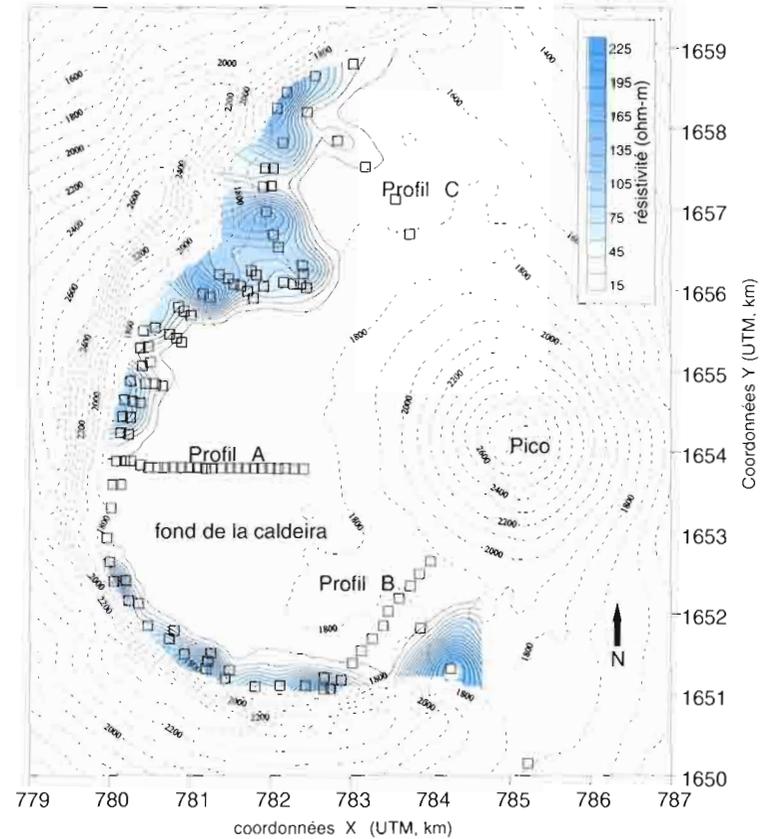
Ces études présentent :

- \* un intérêt pratique : pour mieux connaître la localisation de l'eau souterraine en vue de l'approvisionnement des populations et/ou d'une éventuelle exploitation pour l'irrigation ;
- \* un intérêt plus scientifique, pour mieux définir l'organisation des systèmes potentiels de drainage souterrains, et comprendre les mécanismes de circulation de l'eau dans le sol.

Par exemple, sur l'île volcanique de Fogo (République du Cap Vert), l'utilisation de la méthode géophysique électromagnétique TDEM a fourni une aide précieuse à la cartographie des résistivités électriques du sous-sol et à la délimitation de nappes d'eau souterraines par la détection d'anomalies conductrices.



Volcan Fogo : pic principal et caldeira. Localisation des stations de mesure TDEM.



Distribution des résistivités du sous-sol dans la caldeira du volcan Fogo (les lignes pointillées correspondent à la topographie).

- Dans la caldeira, la distribution des résistivités électriques du sous sol permet la définition de trois zones concentriques ayant des propriétés électriques différentes :
- \* la zone en bleu foncé serait le siège de circulations d'eau relativement pure située entre 25 et 80 mètres de profondeur ;
  - \* la zone en bleu clair traduirait une augmentation de la minéralisation de l'eau qui la rendrait impropre à la consommation ;
  - \* Il n'y aurait pas d'eau dans le reste de la zone prospectée.



cliché Marc Desclôtres

Le volcan Fogo

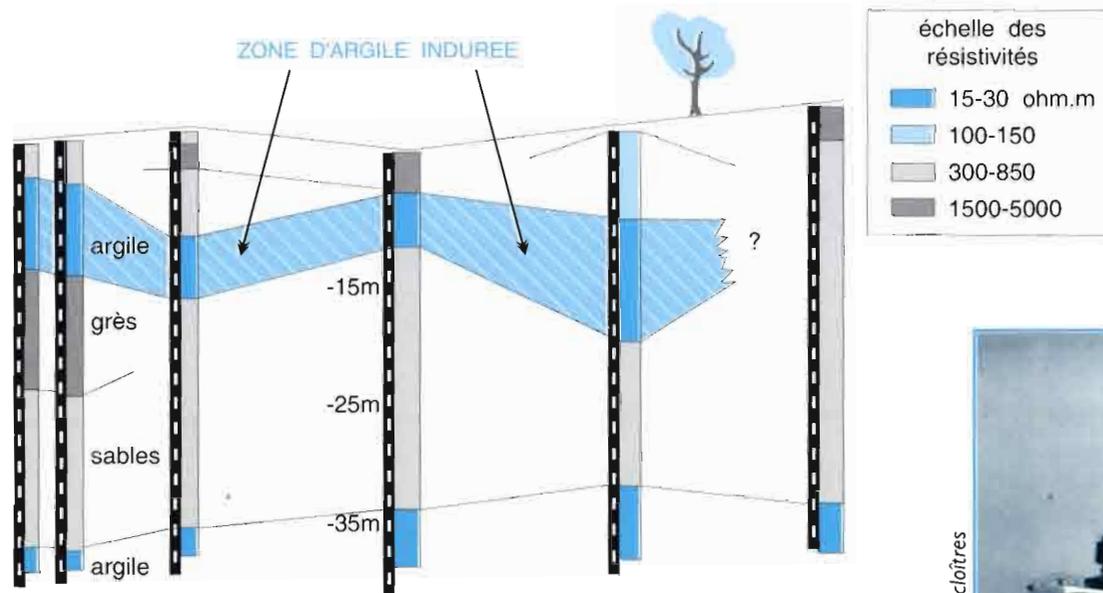
## Formation & Développement

Des chercheurs de l'Orstom enseignent la géophysique à l'Université Cheikh Anta Diop de Dakar depuis bientôt dix ans, à des étudiants de DEA dans le département de géologie, ainsi qu'à des élèves-ingénieurs de l'Institut des sciences de la terre. S'y ajoutent des initiations à la modélisation informatique et des stages de terrain.

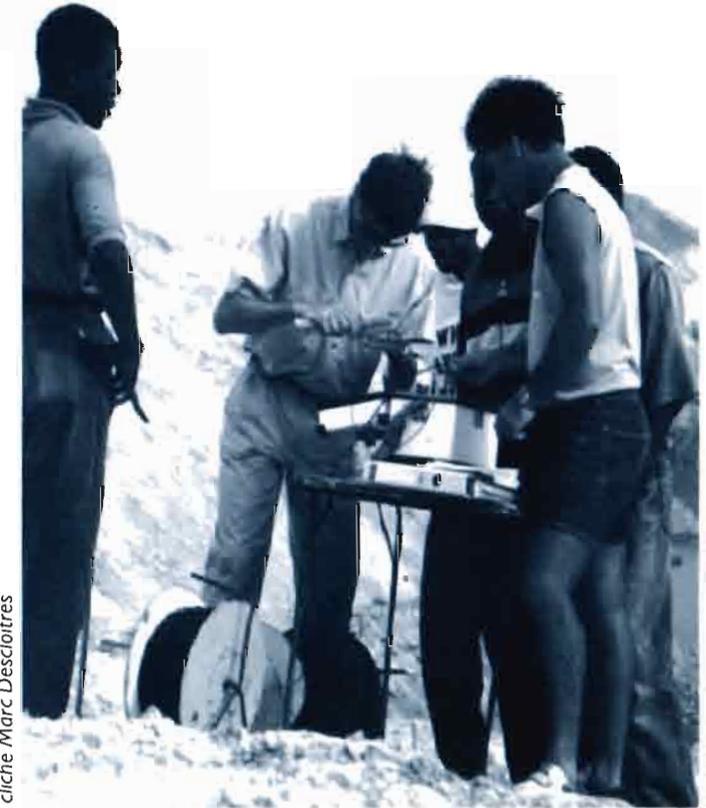
En géophysique, la collaboration avec l'Université de Dakar porte en partie sur :

- \* la caractérisation des aquifères profonds dans le bassin sénégalais ;
- \* la contamination des nappes par des eaux salées ;
- \* l'étude des argiles compactes qui créent des problèmes dans l'exploitation minière des phosphates de Taïba ;
- \* l'étude des latérites comme matériaux de construction (routes) ;
- \* les formations aurifères et les aquifères au Sénégal Oriental (mise en place d'un programme Campus d'une durée de trois ans).

### Phosphates de Taïba : étude des argiles indurées



**Résultats des essais géophysiques :** en bleu foncé, la zone d'argile indurée gênante pour l'exploitation des phosphates.



cliché Marc Desclôîtres

Travaux pratiques des étudiants sur le terrain



cliché Marc Desclôîtres

Exploitation du gisement de phosphate de Taïba : engin d'excavation.

Le gisement des phosphates de Taïba est situé à environ 80 km de Dakar. La présence de niveaux profonds d'argile compacte, au-dessus du gisement, gêne son exploitation. Les méthodes géophysiques ont été utilisées pour localiser ces zones et évaluer leur étendue. Il est important de savoir quelle quantité d'argile est indurée, pour le choix et le dimensionnement des engins d'excavation.

Participation scientifique : Marc Desclôîtres, Michel Ritz, Pierre Mourgues



# Connaissance des systèmes de sols tropicaux : une étude pédologique au Cameroun

Collaborations : IRA, Université de Yaoundé

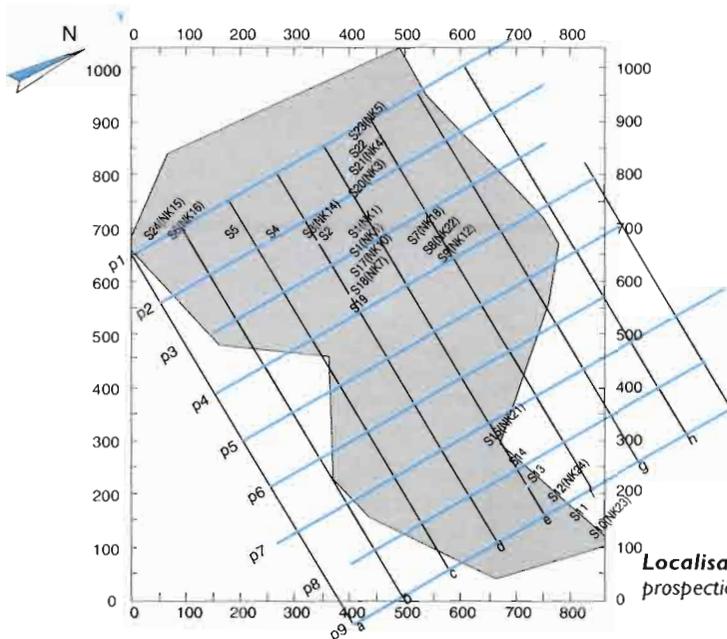


Le laboratoire de géophysique de Dakar est la base de départ de missions dans toute l'Afrique Occidentale et Centrale, par exemple le Cameroun.

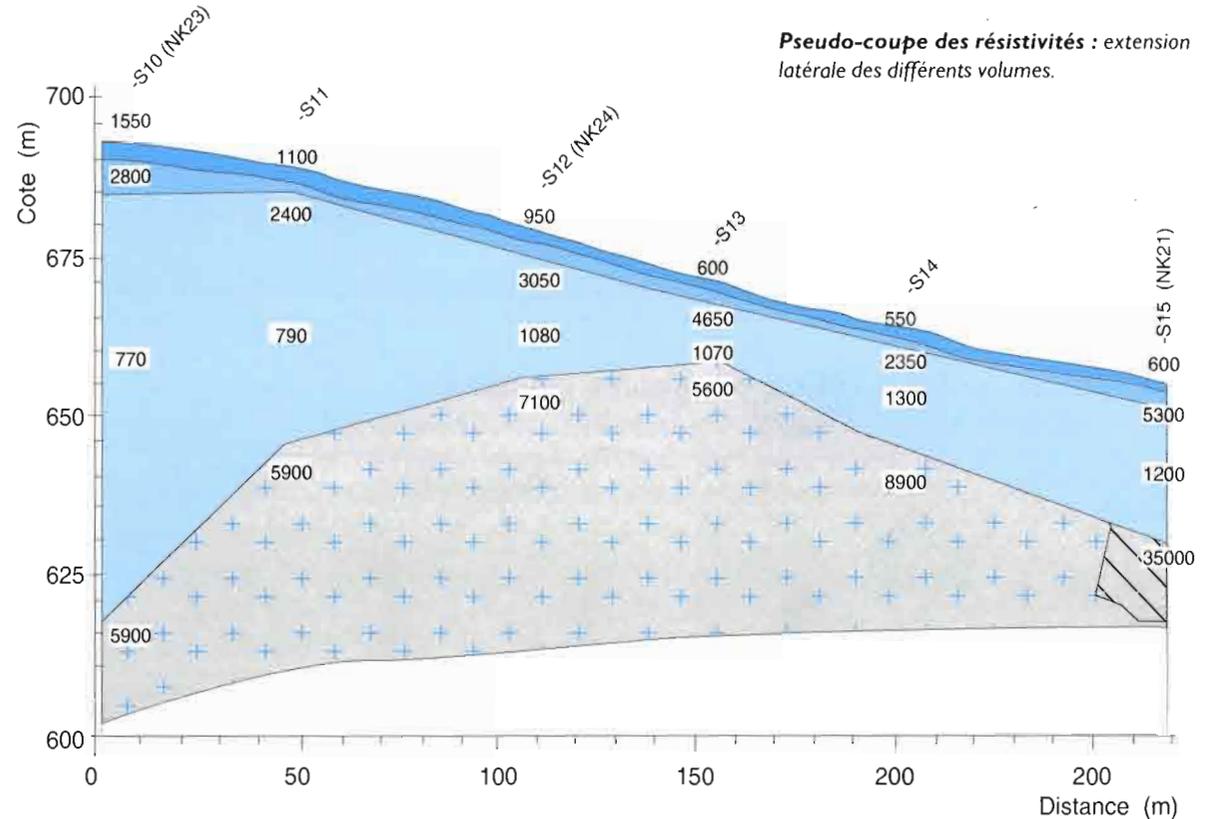
Le sujet de cette étude est la caractérisation et l'inventaire des sols du plateau forestier du sud-Cameroun.

Nko'ongop, le site choisi, regroupe les principaux systèmes de sols de cette région.

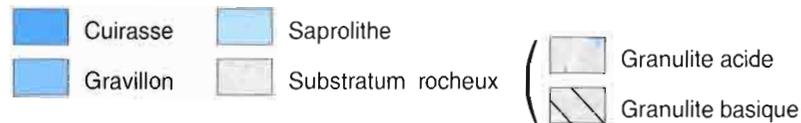
La géophysique apporte une aide précieuse pour la détermination des sols par des moyens rapides et peu coûteux. Elle facilite le travail du pédologue, lui évitant de creuser de trop nombreux puits de reconnaissance.



Localisation du site de Nko'ongop, prospection géophysique.



Pseudo-coupe des résistivités : extension latérale des différents volumes.



## Les sondages électriques

La modélisation des données recueillies par sondages électriques sert à dresser l'inventaire des résistivités des principaux sols. Ces résistivités sont spécifiques à chaque type de sol et permettent de les différencier. On a ainsi reconnu et localisé les sols argileux meubles ou gravillonnaires, les cuirasses, les altérations et les roches saines.

## La prospection magnétique au sol

Deux magnétomètres synchronisés sont utilisés pour mesurer le vecteur champ magnétique total. Les résultats obtenus sont présentés sous forme de profils qui permettent d'analyser les anomalies magnétiques. Ainsi, on a repéré précisément dans la roche deux réseaux de failles indécélables en surface et déterminé leur orientation.

Les résultats obtenus permettent au pédologue de connaître plus précisément la façon dont se forment les sols et de déterminer leur volume, spécialement lorsqu'il s'agit de sols adaptés à certaines cultures (manioc, banane, café, cacao).

Cliché Marc Desclôîtres

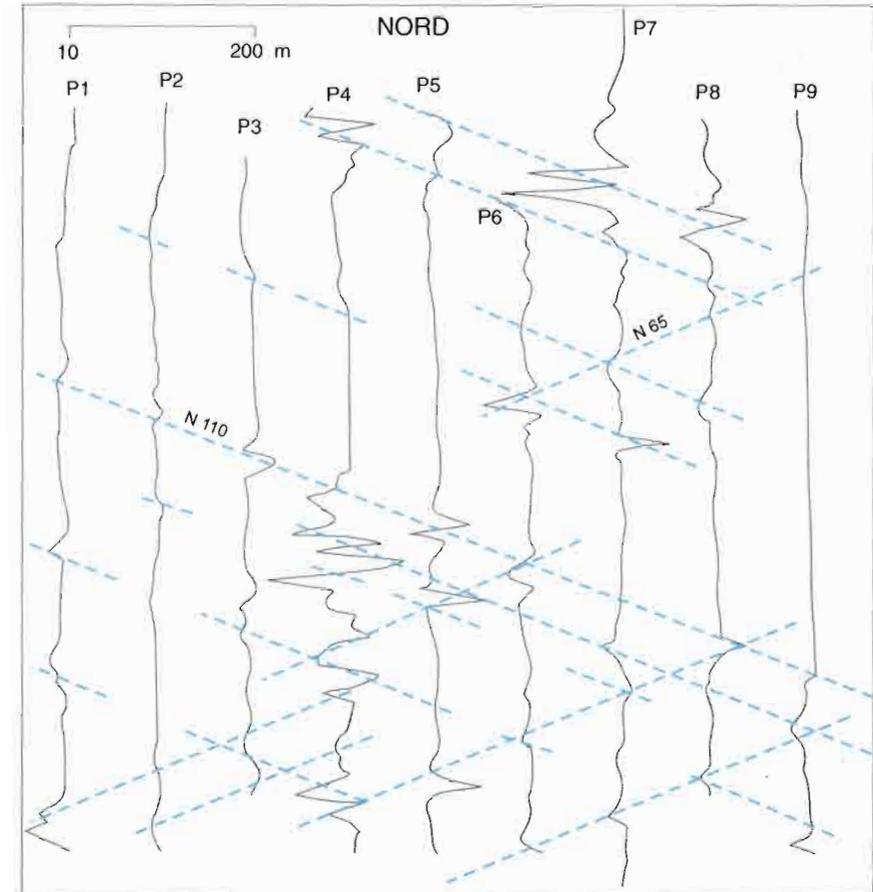


Sondage électrique ; résistivimètre ABEM

Cliché Marc Desclôîtres



Point de mesure  
du magnétisme  
au sol

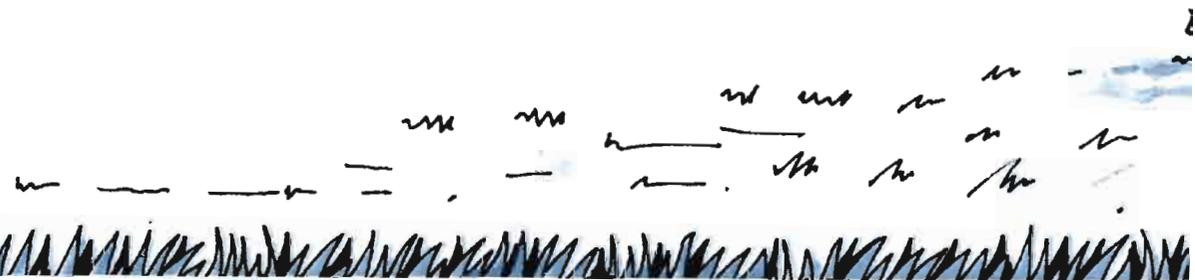


Réseau de failles (pointillés) mis en évidence d'après la forme des anomalies magnétiques.

Participation scientifique : Marc Desclôîtres, Michel Ritz

# Les sols :

connaissance,  
utilisation, conservation





Peinture : Aboubacar Yaya Zachary Cliché : Difco photo Dakar



La pédologie, science du sol, est l'étude des caractères physiques, chimiques, biologiques des sols, de leur évolution et leur utilisation par l'homme. Par l'inventaire des ressources en sol, la pédologie contribue à la mise en valeur, à la gestion, à la conservation et à la restauration des sols. Elle est un préalable essentiel à l'élaboration de la politique agricole d'un pays.

La pédologie fut une des premières disciplines de l'Orstom au Sénégal : le Centre de recherches pédologiques de Hann fut créé en 1949 à l'emplacement du centre actuel.

Les premières reconnaissances pédologiques (inventaire et classification des sols) au Sénégal ont été effectuées pendant la seconde guerre mondiale par des pédologues de l'Orstom ou de l'Irat à la Station de Bambey. Elles ont donné lieu de 1946 à la fin des années 1960 à la réalisation de relevés à l'échelle régionale ou nationale (du 1/100 000<sup>e</sup> au 1/1.000.000<sup>e</sup>).

L'utilisation de la télédétection satellitaire ou aéroportée à la fin des années 70 facilita d'ailleurs la réalisation de cartes à petite échelle.

Ces cartes de reconnaissance générale ont souvent été complétées par des cartes thématiques à grande échelle exécutées dans le cadre de programmes de mise en valeur agricole.

Aujourd'hui, la cartographie des sols, rendue plus performante par des traitements infographiques, demeure une phase incontournable dans les projets de mise en valeur des terres tropicales.

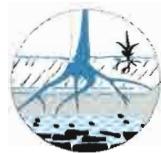
A la fin des années 1960, les travaux d'inventaire et de classification des sols tropicaux furent enrichis par l'étude de leur évolution, en tenant compte de leur environnement (climat, topographie, tectonique, végétation, faune, activité humaine).

Ainsi, certains types de sols salinisés en milieu de mangroves firent l'objet d'études approfondies dès 1969.

Parallèlement, des recherches ont été entreprises sur l'érosion ou l'évolution des sols sous culture dans des programmes visant à accroître leur fertilité.

Cette recherche eut une dimension régionale, spécialement en milieu tropical, et fût menée de concert avec les grandes institutions internationales. Elle a contribué à l'élaboration de la typologie mondiale des sols, de la classification des sols (FAO) et de la carte mondiale des sols (FAO).

## La pédologie au Sénégal



## Les sols alluviaux du domaine fluvio-marin

- Les sols salés de la vallée du fleuve Sénégal
- Les sols de mangrove





# La pédologie au Sénégal

## Les recherches

### Inventaire des sols

À la demande du gouvernement sénégalais plusieurs conventions furent signées pour la réalisation de cartes pédologiques couvrant le territoire :

\* 1962-1965, début de la convention avec le Ministère sénégalais de l'économie rurale pour la réalisation d'un inventaire des sols et la cartographie pédologique de l'ensemble du Sénégal à des échelles variant du 1/200.000<sup>e</sup> au 1/500.000<sup>e</sup> selon les régions ;

\* 1969, l'Orstom est chargé par l'Ifan de réaliser la carte au 1/5.000.000<sup>e</sup> des sols de l'Afrique Occidentale ;

\* 1971, synthèse cartographique de la Casamance ;

\* 1981, cartographie des forêts classées du centre-est du Sénégal à la demande du Secrétariat d'état aux eaux et forêts ;

\* 1971, à la demande de la Société des terres neuves (STN), réalisation de cartes pédologiques d'aptitudes culturales des Terres Neuves situées au Sénégal Oriental ;

\* 1980-1982, cartographie des cuvettes du delta et de la moyenne vallée du fleuve Sénégal ;

\* 1993, saisie infographique des cartes des sols au 1/500.000<sup>e</sup> réactualisées de l'ensemble du Sénégal et au 1/100.000<sup>e</sup> de l'ensemble de la Casamance.

### Interventions thématiques et études de mise en valeur des sols

Ces prospections pédologiques sont le support nécessaire au choix des orientations agricoles d'un site ou d'une région. Elles aboutissent à des cartes de sols, des cartes d'aptitudes culturales, des cartes d'occupation de sols :

\* étude de la dégradation des sols à arachide (1945) ;

\* établissement d'une carte pédologique en moyenne Casamance en vue de la diversification des cultures et de l'implantation du bananier dans cette région ;

\* étude pédo-agrostologique pour l'implantation d'un Centre de recherche zootechnique (CRZ) pour le développement de la race bovine "Ndama", résistante à la trypanosomiase ;

\* à partir de la carte pédologique réalisée sur le Sénégal Oriental, développement et intensification de la culture du coton ;

\* optimisation des périmètres hydro-agricoles de la moyenne vallée du fleuve Sénégal (1990-1994).

L'aménagement agricole et l'exploitation intensive du milieu nécessitent une surveillance pédologique des sols pour un contrôle de :

\* la perte de fertilité des sols ;

\* l'érosion hydrique ou éolienne ;

\* la dégradation de la structure du sol : réactualisation des études pédologiques antérieures par l'utilisation des nouvelles méthodes de caractérisation (programme Capsen : caractérisation pédo-hydrique des sols du Sénégal) ;

\* les phénomènes d'alcalinisation, d'acidification et de salinisation du sol.

## LÉGENDE ( extraits )

### SOLS ÉVOLUÉS SUR PLACE

#### SOUS-ORDRE FERRUGINEUX TROPICAL.

#### GRUPE DES SOLS FERRUGINEUX NON OU PEU LESSIVÉS.

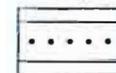
#### SOUS-GROUPE DES SOLS DIORS

Famille des Diors sablo-argileux sur roches complexes (roches éruptives - sables).



Série de Dakar.

Famille des Diors sur colluvions sablo-argileuses.



Série de Pout.

Famille des Diors sur colluvions éoliennes anciennes (sables argileux).



Série de M'Bour.

Famille des Diors sur sables de tombo.



Série de Bambilor.

### SOLS PEU OU PAS ÉVOLUÉS SUR PLACE

#### SOLS D'ALLUVIONS.



Soils colluviaux formés sur argiles noires.



Soils éoliens (dunes fixées)

#### SOLS SQUELETTIQUES (REGOSOLS).



Dunes vives.



Sables exondés et plages.



Sur marne, calcaires marneux et roches éruptives.



OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER  
**PRESQU'ILE DU CAP VERT - DAKAR**  
CARTE PÉDOLOGIQUE (extrait)  
EN 3 FEUILLES - ÉCHELLE 1/50.000<sup>e</sup>  
Dressée par R. MAIGNIEN



## L'évolution de la pédologie

De l'inventaire des sols d'un pays (échelle 1/1.000.000<sup>e</sup>), les travaux se sont orientés vers des études régionales, puis de plus en plus détaillées, jusqu'à l'échelle d'une petite vallée ou d'un périmètre agricole (quelques dizaines à quelques centaines d'hectares).

Actuellement les études se spécialisent, en liaison avec d'autres laboratoires (hydrologie, écologie végétale, nématologie, microbiologie), sur le comportement physique des sols :

- \* en tant qu'habitat pour les racines, les micro-organismes, la faune du sol ;
- \* en tant que réserve en eau.

Cette collaboration avec d'autres disciplines donne lieu à l'intégration de la pédologie dans de grands programmes pluridisciplinaires qui se déroulent actuellement au Sénégal :

- \* le programme "optimisation des périmètres hydro-agricoles de la vallée du fleuve Sénégal";
- \* le programme régional "étude, amélioration et gestion de la jachère en Afrique tropicale".

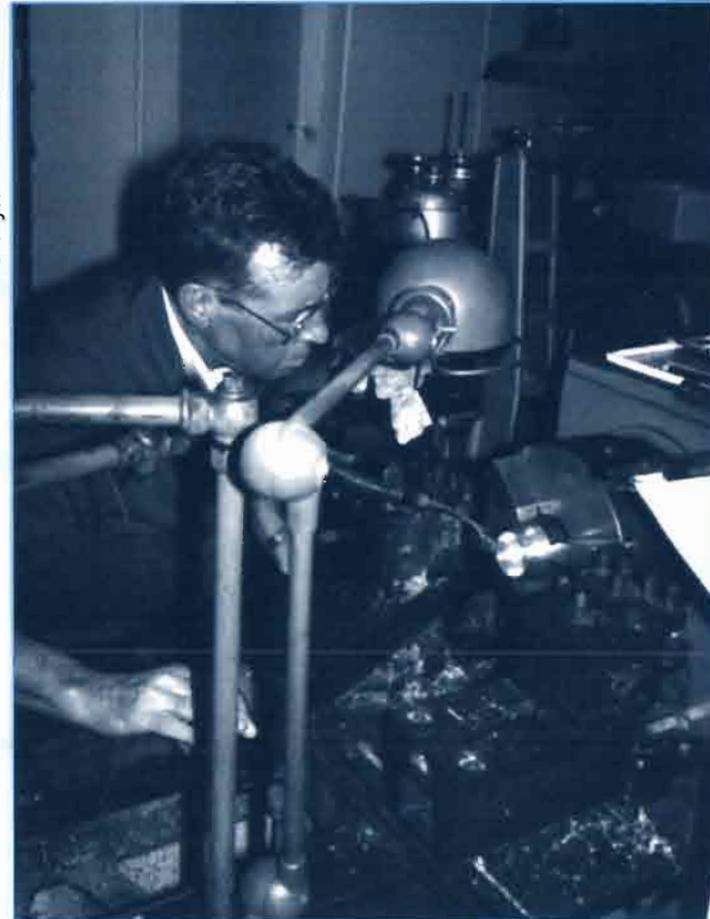
## Les méthodes utilisées

Pour assurer cette recherche fondamentale et appliquée, des moyens techniques performants sont à la disposition des scientifiques :

- \* un laboratoire, spécialisé en physique du sol (étude de la structure du sol et son comportement hydrique), centrales de saisie informatique ;
- \* un laboratoire d'analyse chimique des sols, de l'eau, des végétaux ;
- \* des logiciels pour le traitement spécifique de certaines données pédologiques :
  - le krigeage, traitement spatial des données,
  - la rétractométrie pour la caractérisation et la modélisation du comportement structural du sol,
  - le SIG, Système d'information géographique ; saisie et archivage des cartes et données pédologiques, traitement d'images satellitaires.

## La rétractométrie : présentation d'un prototype de rétractomètre automatique à laser

Cliché : Jean-Marie Constantini



Réalisation du rétractomètre multipostes à laser dans les ateliers de l'Orstom Bondy

Le rétractomètre multipostes à laser est un appareillage automatique assisté par micro-ordinateur. Il permet la mesure équidimensionnelle en continu de la rétraction de huit échantillons de sol naturel ou à structure remaniée, au cours d'un dessèchement contrôlé, en fonction du temps.

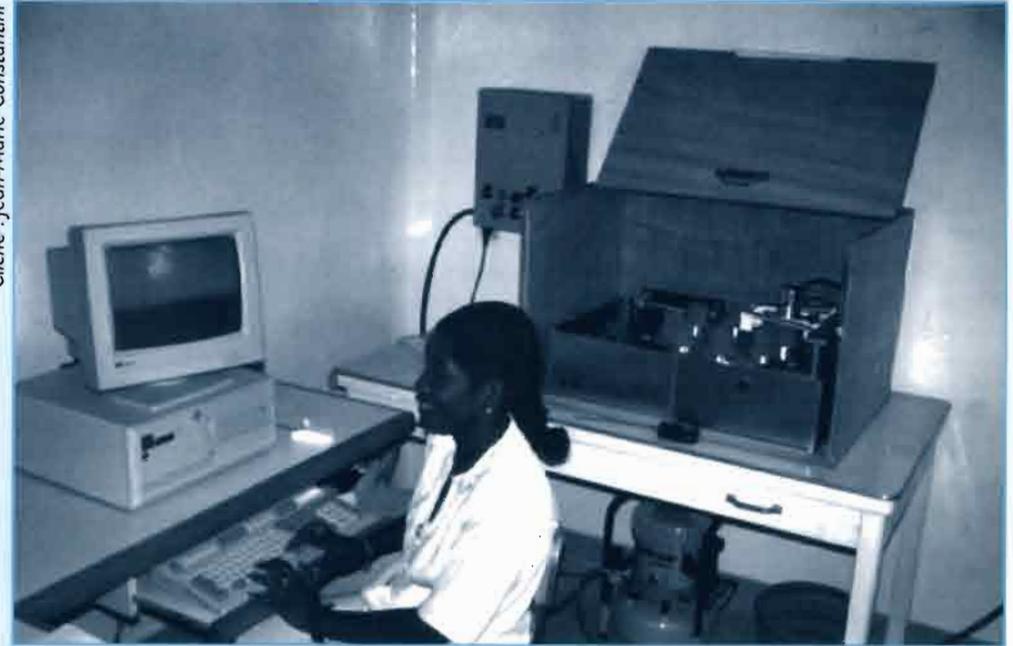
La mesure est pratiquée en laboratoire, dans un environnement régulé en température et en humidité.



Le prototype

Cliché : Jean-Marie Constantini

Cliché : Jean-Marie Constantini



Installation au laboratoire de chimie analytique Orstom de Dakar-Hann.

Étude et validation de la rétractométrie pour la caractérisation et la modélisation du comportement structural du sol.

Cette technique, associée à la modélisation de la courbe de retrait mesurée, permet d'étudier les différents aspects et propriétés de la structure du sol (porosités, réserves en eau micro et macro-porale, indice de stabilité structurale, comportement de la phase argileuse du sol...), et le suivi quantitatif de leur modification sous différents facteurs : climatique, chimique (sels, engrais...) ou culturels (labour). Elle permet ainsi d'évaluer de façon précise et significative, la dégradation ou au contraire l'amélioration de la structure du sol dans différents systèmes de culture.

La rétractométrie a de nombreuses applications, en cartographie des sols, en agronomie, en hydrophysique (hydrodynamique des eaux...) ou encore en géotechnique du bâtiment.



# Les sols alluviaux du domaine fluvio-marin

Les sols alluviaux du domaine fluvio-marin ont des caractéristiques très particulières, héritées principalement des sels marins et des conditions de leur mise en place.



Cliché Didier Brunet

Récolte de riz

Cliché Jean-Luc Maeght



Préparation du sol dans une rizière

Des agricultures traditionnelles s'y sont développées depuis longtemps, caractérisées par leur haut niveau d'intégration dans les systèmes de production, et par leur aptitude à tirer parti de l'environnement sans le dégrader.

Situés dans le delta et la moyenne vallée du fleuve Sénégal, les basses vallées des fleuves Gambie et Casamance, les estuaires du Sine et du Saloum, ces sols représentent une ressource actuelle et potentielle importante pour l'agriculture régionale.

La sécheresse a déstabilisé ces systèmes, et d'autres enjeux sont apparus avec la recherche d'une intensification des productions et les tentatives d'acquisition d'une nouvelle maîtrise de l'eau (aménagement des bolons et projets de petits barrages anti-sel en Casamance, régularisation du cours du fleuve Sénégal sous l'égide de l'OMVS) ; c'est toujours sur l'exploitation des grandes vallées alluviales que reposent les plus solides espoirs d'autosuffisance alimentaire du Sénégal.

De façon continue, des études se sont consacrées à ce milieu, à la connaissance du fonctionnement naturel des sols, de leurs potentialités, des espoirs et des risques liés à leur mise en valeur, aux conditions de leur protection ou de leur réhabilitation.

Quelques unes de ces expériences et leurs implications sont évoquées à travers l'étude de deux grands domaines :

- \* les sols salés du delta et de la moyenne vallée du fleuve Sénégal et leur mise en valeur par culture de décrue puis par irrigation (sols salés) ;
- \* les sols de mangrove et la riziculture (sols sulfatés-acides).

# Les sols salés de la vallée du fleuve Sénégal

Collaborations : Isra, Cirad, Adrao



Cliché Pascal Boivin

**Parcelles d'essai rizicole en moyenne vallée du fleuve Sénégal**  
Étude de l'élaboration du rendement et du bilan hydro-salin.

Suite à l'avis favorable de Georges Aubert (fondateur de la pédologie tropicale à l'Orstom), l'exploitation par irrigation des sols de la vallée alluviale figure dès 1949 parmi les objectifs principaux d'une régulation du cours du fleuve.

De 1949 à 1970, un ensemble de travaux de reconnaissance des sols du delta et de la vallée du fleuve Sénégal sont donc entrepris dans le but d'identifier les ressources en sols et leurs potentialités par rapport à l'irrigation.

Des travaux sur les sols sous cultures de décrue et sur la riziculture avec semi-contrôle de l'eau sont également réalisés.

Le problème de la salinité dans les casiers rizicoles, tôt identifié, fait l'objet de nombreuses recherches, entre 1975 et 1982. On étudie en particulier les phénomènes de remontée des nappes phréatiques et les risques de dégradation des sols par sodisation. Entre 1982 et 1990, la télédétection est appliquée à l'étude des états de surface des sols

en relation avec la salinité dans le delta.

Un nouveau programme est lancé en 1990, conjointement avec l'Isra, portant sur la performance des systèmes irrigués de la moyenne vallée du Sénégal. La pédologie intervient en association avec l'agronomie, dans le cadre des périmètres irrigués.

Deux approches sont conjuguées :

- \* à court terme, l'étude de l'influence des sols sur l'élaboration du rendement, par l'étude du bilan hydro-salin des cultures et celle de la fertilité chimique des sols au cours des cycles culturaux ;
- \* l'étude de l'impact de l'irrigation à moyen et long terme sur l'environnement.

En effet, si le risque salin, bien identifié, semble possible à gérer, on vient par contre de montrer que l'alcalinisation des terres représente un risque majeur pour les sols de la vallée, dans un futur proche. L'alcalinisation est une dégradation du sol, due à une accumulation de carbonates de sodium. Ce phénomène se produit actuellement dans les périmètres irrigués. Une gestion appropriée de l'eau, faisant notamment appel au drainage, devient nécessaire.

Aujourd'hui, les recherches tentent de préciser les mesures de conservation des sols qui apporteraient le moins de contraintes possible aux exploitants.

Cliché Pascal Boivin



**Dispositif de mesure de l'évolution de la solution du sol (salinité, alcalinité)**



## Les sols de mangrove



Un exemple de mangrove saine

Cliché Jean-Luc Saos

### Sols potentiellement sulfatés acides, sols sulfatés acides

La mangrove est une formation végétale particulière qui se développe sur les vases instables des estuaires, en milieu fluvio-marin et en eau saumâtre. Constituée principalement de palétuviers, elle abrite une faune riche et variée et produit des bois de qualité (feu et construction).

Les populations locales y ont développé une riziculture performante, au moyen de polders gagnés sur la mer.

Sous l'influence de certains palétuviers (du genre *Rhizophora*) et des bactéries qui s'y développent, des quantités importantes de soufre sont accumulées dans ces sols, principalement sous forme de pyrite (FeS). Les petits cristaux de pyrite sont parfaitement observables et les sols dégagent une odeur de H<sub>2</sub>S (oeuf pourri) caractéristique.

Si ces sols sont exondés, un ensemble de réactions d'oxydation de la pyrite conduit à la libération d'acide sulfurique dans le milieu. De tels sols, imprudemment poldérisés, voient ainsi leur pH passer de la neutralité (7) à une acidité forte (3 et moins), ce qui les rend incultivables.

Cliché Pascal Boivin



À partir de 1980, la mangrove casamançaise a été profondément dégradée par la sécheresse.

Voilà pourquoi les sols de mangrove sont qualifiés de "potentiellement sulfatés acides". On comprend alors toute l'ingéniosité du système rizicole traditionnel diola, dont la gestion consiste à dessaler ces sols en évitant précisément toute phase d'oxydation prolongée.

La cartographie au 1/200.000<sup>e</sup> des sols de la basse Casamance a été effectuée dès 1962.

Dans les années 70, une première étude fondamentale permet de connaître les caractéristiques des sols de mangrove, de montrer qu'ils sont d'une grande fragilité et d'identifier les mécanismes qui peuvent causer leur dégradation.

En 1980, d'autres travaux confirment les études précédentes et montrent l'impact destructeur de la sécheresse débutante sur les mangroves régionales.

Cliché Pascal Boivin



**Mesures d'infiltrabilité** sur des sols de rizière en basse Casamance.



Cliché Didier Brunet

**Vallée de Djiginoum,** basse Casamance : reprise d'une végétation à *Eleocharis*, après dessalement.



Cliché Pascal Boivin

Éssai de réhabilitation d'un sol sulfaté acide en case lysimétrique



Cliché Jean-Pierre Montoroi

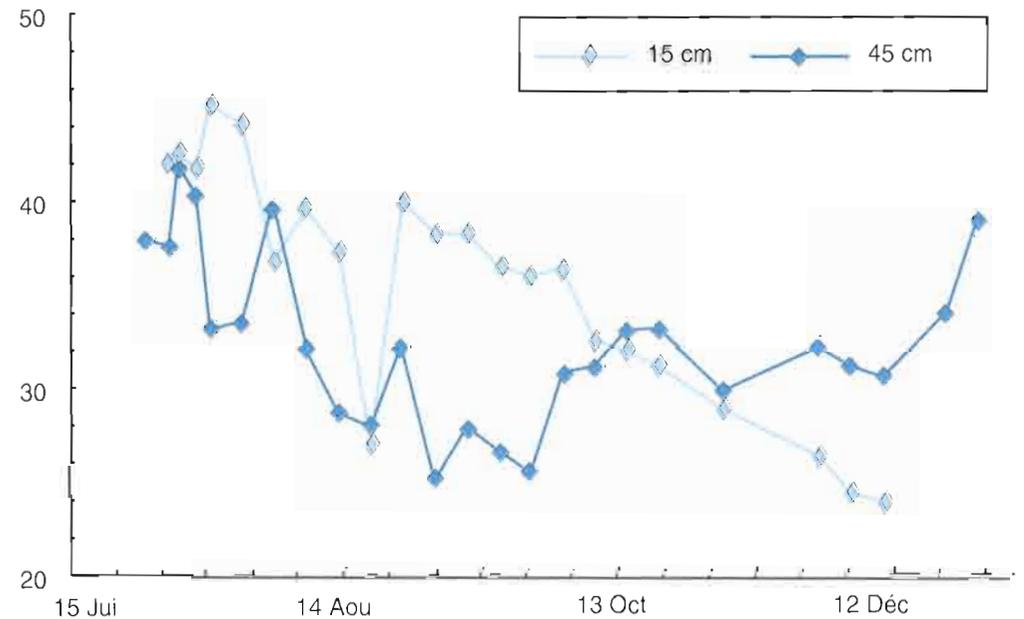
Le barrage anti-sel de Djiginoum

En 1983, un nouveau programme de recherches, lancé avec l'étude des Kalounayes (basse Casamance) permet de montrer qu'une profonde dégradation des sols est en cours, en raison de la sécheresse. Les mécanismes mis en jeu sont détaillés et quantifiés. Un nouveau type de sol, d'une acidité extrême (des pH de 1 ont été mesurés), est alors identifié : le sulfatosol alunique. Ces sols se développent aux dépens des rizières et sont impropres à la culture en raison de fortes teneurs en aluminium, toxique pour la flore et la faune.

Simultanément, on a constaté que la salinité envahissait, par l'estuaire de la Casamance, l'ensemble de la région, contaminant les nappes, détruisant la végétation et réduisant les populations de poissons tant en nombre qu'en diversité.

À partir de 1986, un second programme est lancé, dans le but de proposer et de tester des méthodes de réhabilitation de la riziculture : on estimait alors que 70% des rizières avaient dû être abandonnées, et les perspectives faisant de la Casamance le futur grenier à riz du Sénégal n'étaient qu'un vieux souvenir.

Salinité mS/cm

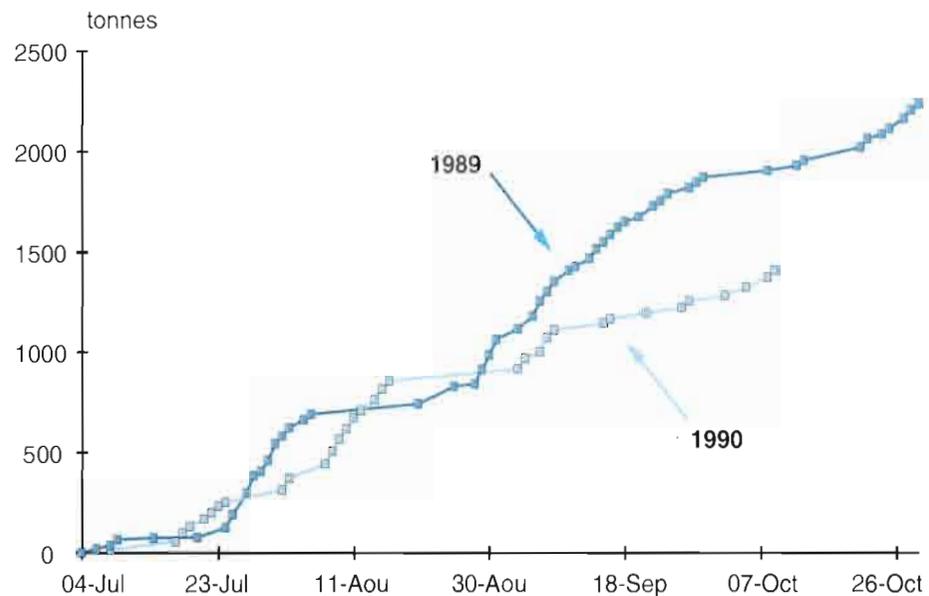


Salinité des sols dans la vallée de Djiginoum en 1990



Cliché Pascal Boivin

**Effet de protection d'un barrage anti-sel sur la palmeraie**  
à gauche : palmeraie dégradée  
à droite : palmeraie en bon état



**Barrage de Djiginoum** : quantités cumulées de sels évacués en 1989 et 1990.



Cliché Didier Brunet

**Opération de réhabilitation des sols salés et acides dans la vallée de Djiginoum** : première récolte de riz depuis 20 ans.

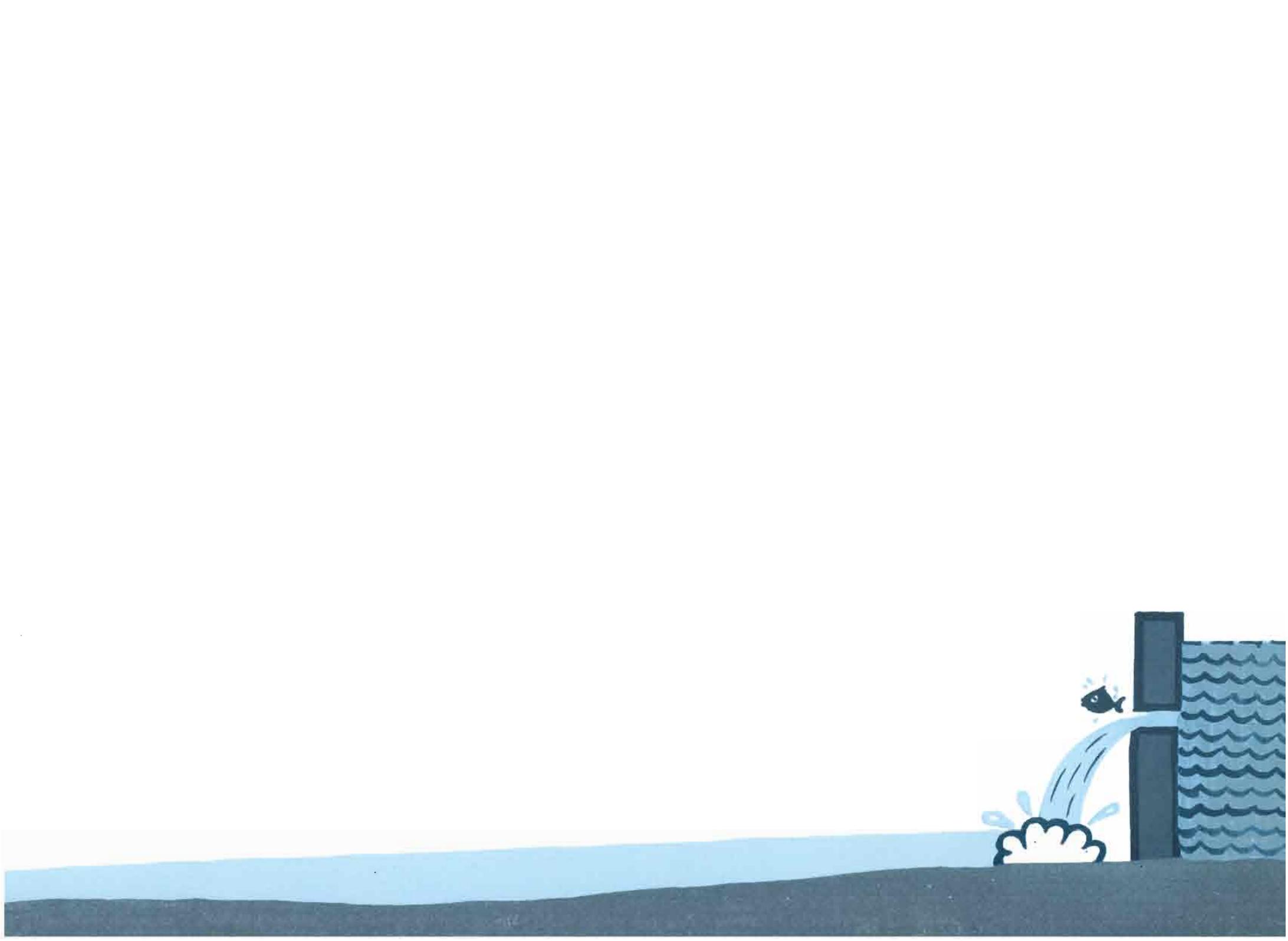
Après des essais en cases lysimétriques et au champ, un modèle d'aménagement anti-sel et de récupération des sols est imaginé. Pour garantir son applicabilité, les chercheurs se sont fixé comme contrainte de ne pas faire intervenir d'intrants (tout ce que l'on apporte de l'extérieur) et de n'avoir recours qu'à des techniques traditionnelles, applicables par les exploitants.

C'est ainsi que le barrage anti-sel de Djiginoum a été réalisé. En trois ans, il a permis de réhabiliter une riziculture traditionnelle, en dessalant les sols, et en assurant des récoltes au moins deux fois supérieures aux rendements habituels en rizières non salées.

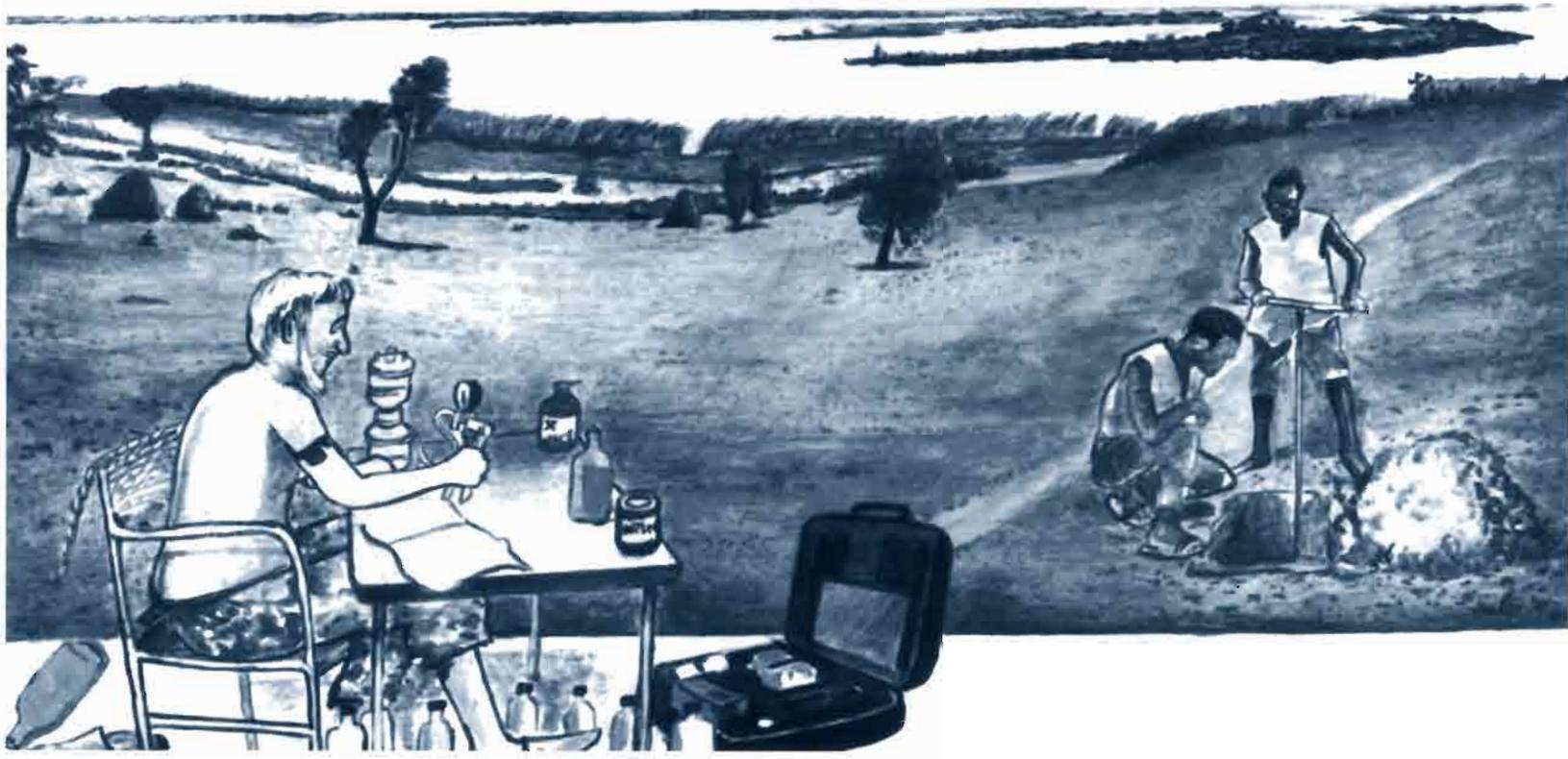
Cette expérience a fait école, reprise par diverses organisations de développement, et on dénombre actuellement environ 45 projets d'aménagement de ce type.

**Les  
ressources en** **eau**





Peinture : Aboubacar Yaya Zachary Cliché : Diffo photo Dakar



Les recherches sur les ressources en eau sont réalisées par les laboratoires d'hydrologie (étude des eaux de surface), d'hydrogéologie (étude des eaux souterraines) et de géochimie dans lequel s'insère le programme Equesen (Environnement et qualité des eaux du fleuve Sénégal).

L'hydrologie procède à l'étude des précipitations, des régimes fluviaux, des eaux de bassins versants et des ouvrages hydrauliques. L'analyse des précipitations journalières, dès 1965, ainsi que l'étude des eaux pérennes, ont précédé les programmes sur l'évolution des conditions climatiques et la gestion de l'eau (système expert de gestion des ressources).

La recherche hydrologique s'organise autour de deux thèmes centrés sur l'analyse de la pluie et des eaux de surface (pérennes et non-pérennes) :

- connaissance de la ressource en eau ;
- gestion de la ressource.

L'hydrogéologie, qui traite de la recherche et du captage des eaux souterraines, se consacre essentiellement, dans la vallée du fleuve Sénégal, aux relations entre les eaux de surface et les eaux souterraines.

L'étude des nappes phréatiques et de leurs échanges avec les eaux de surface vise à jeter les bases d'une bonne gestion et à permettre la préservation de cette ressource.

Le projet Equesen (1989-1993) est un programme intégré de recherches pour l'acquisition et la modélisation des connaissances de base sur l'ensemble du bassin versant du fleuve Sénégal : étude des cycles biochimiques lors d'une période de sécheresse et après la construction de barrages qui ont profondément modifié le fonctionnement de cet écosystème tropical.

Il s'intéresse :

- aux aménagements du fleuve ;
- aux apports exogènes (pluies et poussières, remontées salines dans les estuaires) et aux écoulements ;
- à l'estimation des pluies par l'imagerie satellitaire ;
- aux mécanismes d'érosion, d'altération et de sédimentation, à la formation et à la dégradation des sols ;
- à la gestion des eaux du lac de Guiers ;
- aux phénomènes des brumes sèches et des poussières éoliennes.

## L'hydrologie au Sénégal



## Connaître la ressource



## Gérer la ressource



### Les relations eaux de surface/ eaux souterraines



### Equesen : Environnement et qualité des eaux du fleuve Sénégal

- Reconnaissance historique
- Estimation des pluies par l'imagerie satellitaire
- Érosion et altération du Fouta Djalou
- L'érosion chimique sur le bassin amont du fleuve Sénégal
- Le lac de Guiers
- Brumes sèches et poussières éoliennes





# L'hydrologie au Sénégal

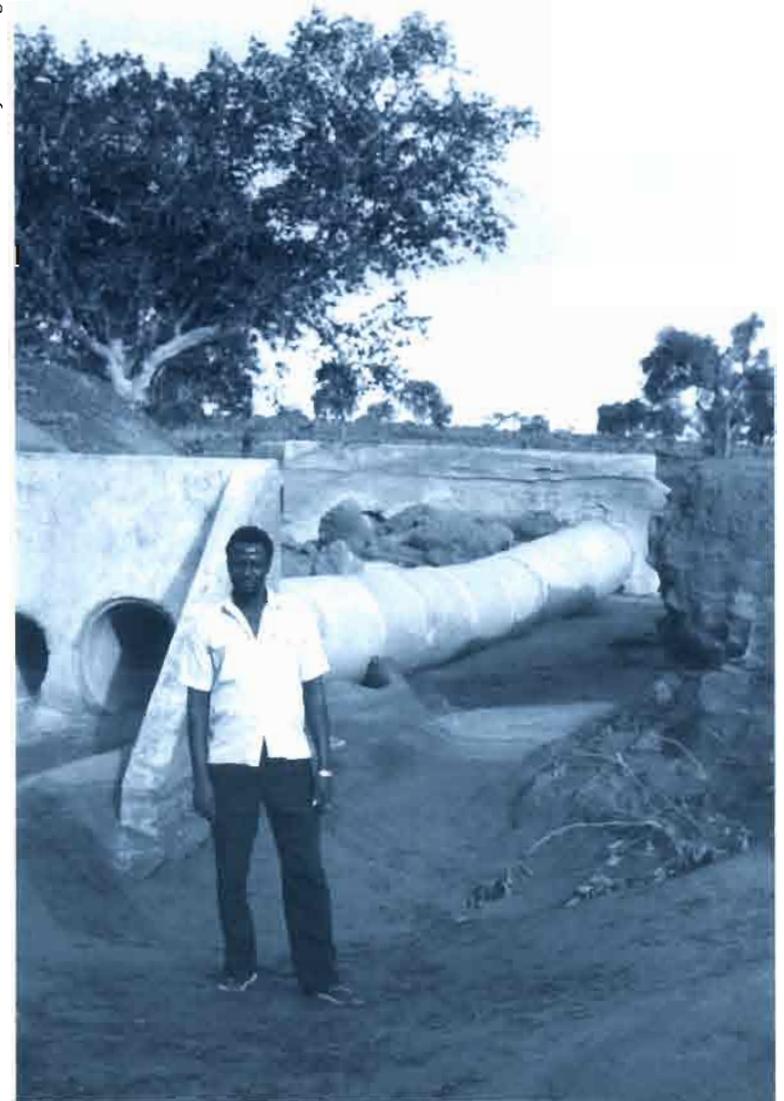
Collaborations : CIEH, Isra, Ucad, OMVS, OMVG, DGRH



*Le bonheur d'avoir de l'eau*

Clichié : Jean Albergel

Clichié : Jean Albergel



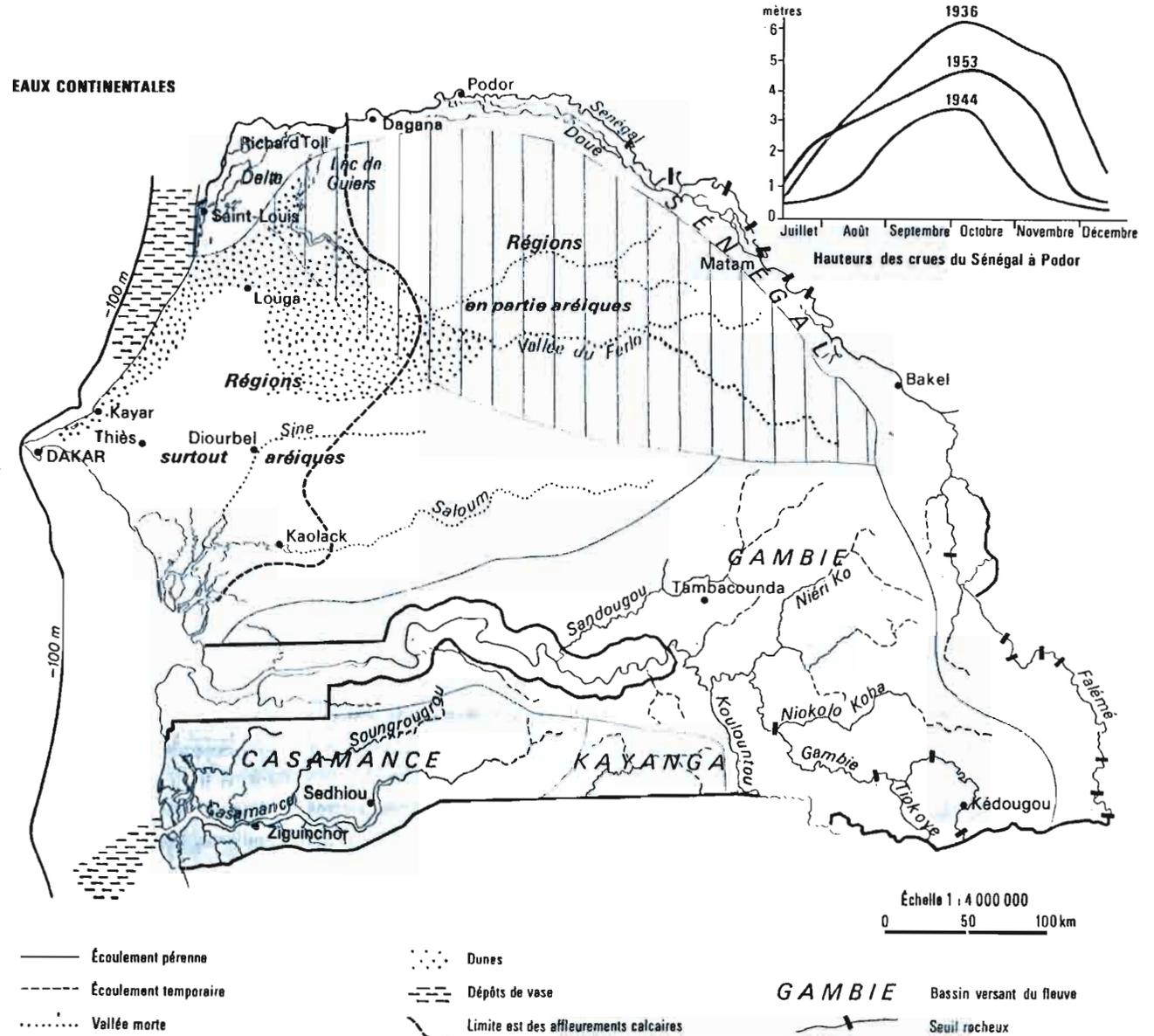
*Piste emportée par une crue*

Une bonne connaissance des régimes fluviaux des zones intertropicales est nécessaire à la navigation fluviale et au commerce, mais aussi au développement agricole par le biais des aménagements hydro-agricoles. Dans ce contexte, l'hydrologie occupe une place importante dans les travaux réalisés par l'Orstom au Sénégal.

Depuis l'indépendance du Sénégal, le laboratoire a toujours travaillé en étroite collaboration avec les ministères sénégalais, pour mettre en place et suivre le réseau hydrométrique national.

Les monographies des fleuves Casamance, Sénégal et Gambie ont été éditées respectivement en 1970, 1974 et 1990.

L'informatisation des banques de données de la DGRH et le plan directeur des ressources en eau du pays constituent les derniers travaux effectués ou en cours.





Cliché Jean Claude Bader

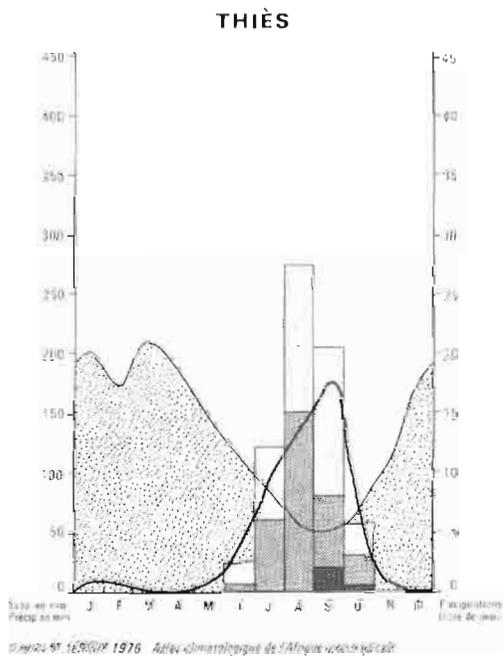
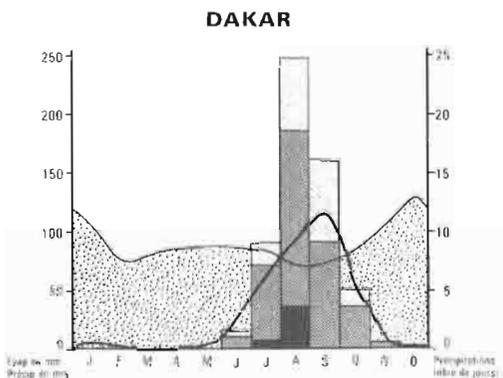
Plate-forme hydrologique d'acquisition et de télétransmission de données

En 1978, l'Orstom a réalisé, au Sénégal, une première mondiale de transmission par satellite de données climatologiques et hydrométriques. Cette technique s'est améliorée pour quitter le domaine de la recherche et passer à celui de la gestion au quotidien des ressources hydrauliques (programme "Gestion des ouvrages communs de l'OMVS").

Dans le domaine du climat, l'Orstom a publié des recueils de précipitations journalières de l'origine des stations à 1965, puis de 1966 à 1980, pour chacun des États de l'Afrique de l'Ouest et du Centre. Ces recueils ont permis de faire l'étude des averses exceptionnelles pour chaque État, puis une synthèse régionale.

L'étude des eaux non pérennes dans les petits bassins versants commence en 1962, à la demande du Ministère des travaux publics et de l'urbanisme. C'est le cas des bassins versants de Sébikotane puis de Panthior, Bignona, et enfin de Thyssé-Kaymor qui sont étudiés en partenariat avec l'Isra et l'Ucad.

Extrait de l'Atlas national du Sénégal



**TYPES DE PRÉCIPITATIONS (1)**

(1) ORSTOM, O.F. *Rapport sur les données des précipitations en Afrique occidentale* (Météorologie Météorologique Française) N° 29, Paris 1967.

- Averses orageuses
- Précipitations continues non crageuses
- Pluie faible ou trame

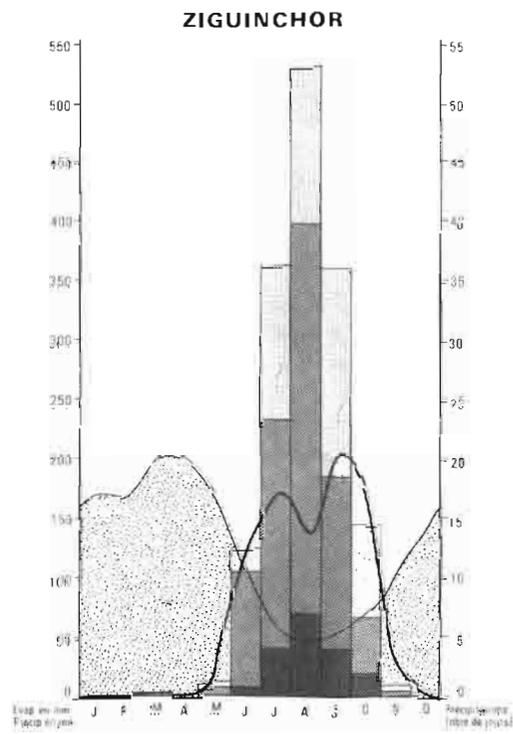
Exemples de pourcentage de la hauteur moyenne mensuelle (2)

(2) Météorologie Météorologique du Sénégal, ASTOFA, Service Météorologique du Sénégal, Dakar, 1967.

(3) *Atlas de précipitations journalières pour les principales stations climatiques de l'ASTOFA - ASTOFA - Météorologie Météorologique*, 1967, 1964.

(4) *Atlas de Sénégal*, Service Météorologique du Sénégal, Dakar, 1967.

Evaporation > Précipitations



Exemples de types de précipitations au Sénégal

Si l'objectif de la plupart de ces études était le dimensionnement des ouvrages hydrauliques (barrages, digues) ou celui des ouvrages d'art (ponts routiers, radiers), plusieurs thèmes de recherche fondamentale les sous-tendaient : notion de risque hydrologique, étude des processus de transferts d'eau aux interfaces sol-atmosphère.

Le déficit pluviométrique amorcé en 1968 a provoqué une sécheresse croissante, puis une hypersalinisation des eaux et des sols des deltas du Sénégal, du Saloum et de la Casamance, entraînant l'abandon de nombreuses rizières.

Grâce aux banques de données hydro-pluviométriques, un grand nombre de programmes sur la sécheresse, la connaissance de l'évolution climatique et la gestion de l'eau, devenue ressource précieuse, ont pu être lancés.

En Casamance, la mise au point d'un système expert pour l'évaluation des disponibilités en eau et des techniques d'aménagement et de gestion de la ressource fut l'amorce d'un grand programme régional d'étude sur les bas-fonds, de 1987 à 1991.

D'autres programmes, en association avec l'Israël et l'Ucad, ont porté sur la réhabilitation des hydro-systèmes soudanais ("Économie de l'eau", "Défense et restauration des sols au Sine Saloum", "Savane à long terme", du Programme international géosphère-biosphère).

### Atmosphère

Climat  
Evolution  
H<sub>2</sub>O  
CO<sub>2</sub>

### Biosphère

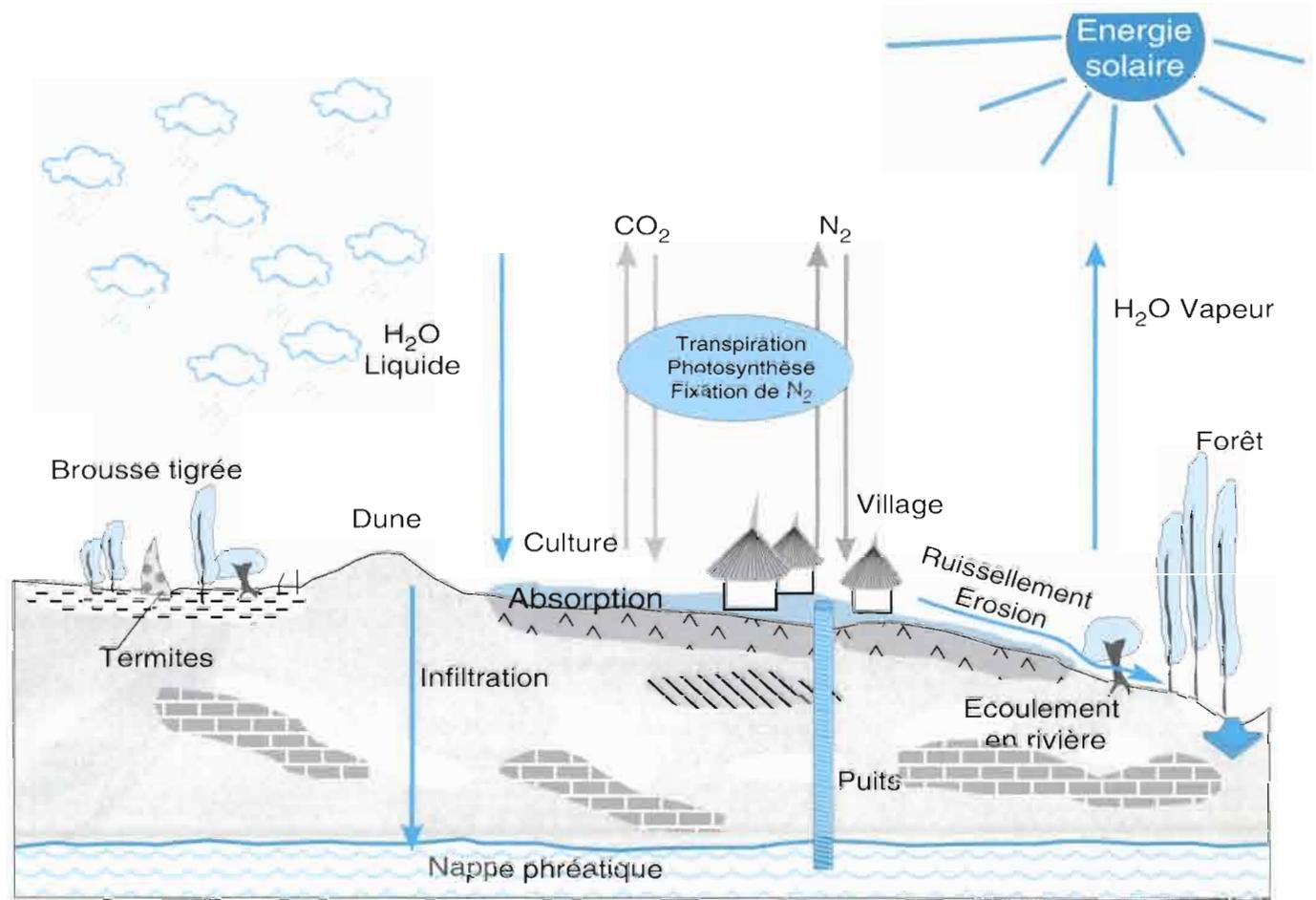
Production de M.O.  
Evolution  
Structures  
Perturbations

### Sol

Evolution  
Transfert, stockage  
H<sub>2</sub>O  
CO<sub>2</sub>  
NO<sub>3</sub>

### Sous-sol

Stockage H<sub>2</sub>O



Le Cycle de l'eau



# Connaître la ressource

Collaborations : Asecna, Météorologie nationale

La persistance de la sécheresse en Afrique de l'Ouest risque d'avoir des répercussions importantes sur les équilibres biologiques et la vie des hommes.

La prévision du climat dans les prochaines années devient un axe de recherche prioritaire et des travaux sont entrepris dans le but de mieux connaître la ressource en eau et de rechercher les causes de cette période de sécheresse.

## La pluie

Les variations saisonnières de la pluie sont très marquées avec l'occurrence d'une saison très humide, entre juillet et septembre. Très peu de reliefs viennent perturber la circulation dominante de mousson et en fonction de sa progression sur le pays, celle-ci donne lieu à trois formes de précipitations :

- \* des orages isolés au nord de la ZITC (Zone intertropicale de convergence) ;
- \* des orages organisés, appelés lignes de grains, liés au déplacement de la ZITC. Ils représentent 50% des précipitations dans la frange semi-aride du pays ;
- \* des pluies continues, non orageuses. Leur importance dans le bilan pluviométrique diminue au fur et à mesure que l'on se dirige vers le nord, mais reste non négligeable jusqu'à la latitude de Dakar.

Le volume des précipitations est représenté par des indices régionaux pluviométriques. Il varie très fortement, tant d'une année sur l'autre qu'à l'échelle de la décennie, ce qui est inhérent au climat ouest-africain.

De 1951 à 1990, deux phases contrastées se succèdent :

- \* De 1950 à 1968, la pluviosité est excédentaire par rapport à la moyenne ;
- \* Depuis 1969 se succèdent des années déficitaires avec deux paroxysmes de sécheresse, en 1972-74 et 1983-85.

La ZITC, ou Zone inter-tropicale de convergence, est la ligne où convergent les alizés marins humides et les masses d'air sec venant du Sahel.

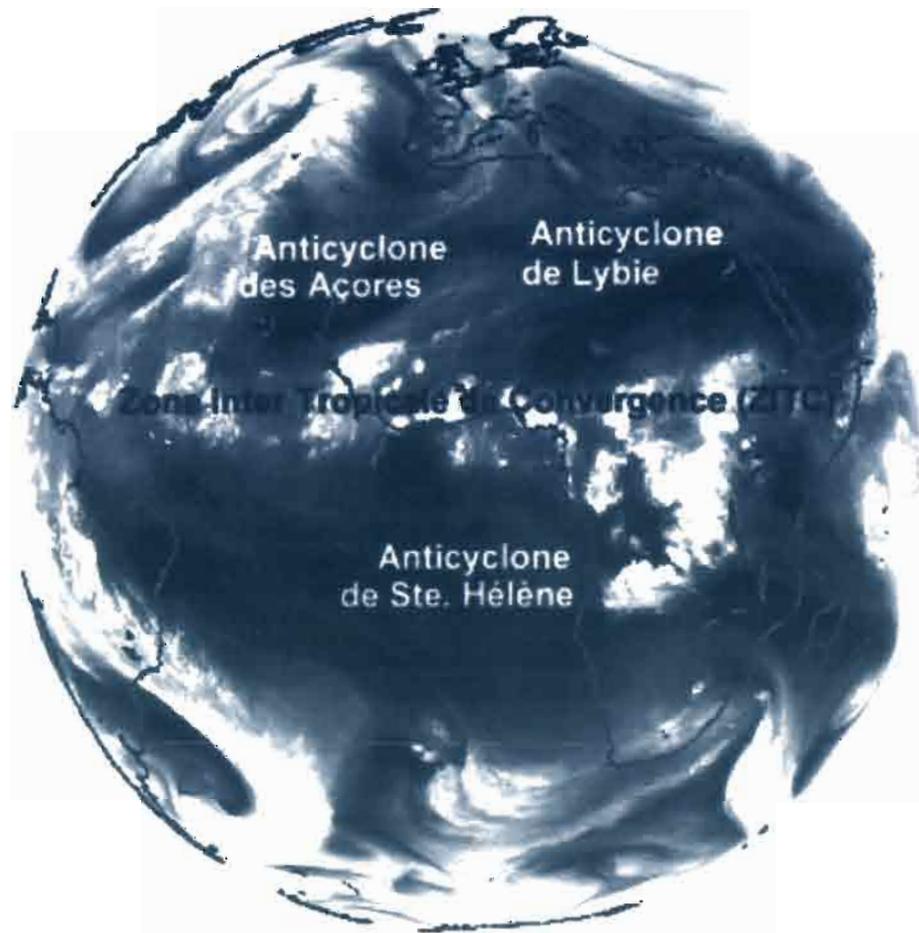
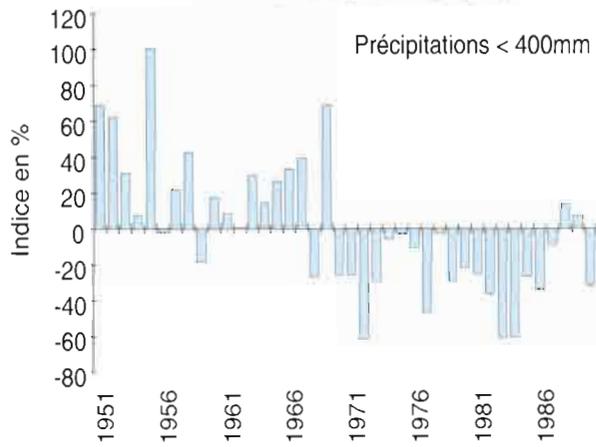


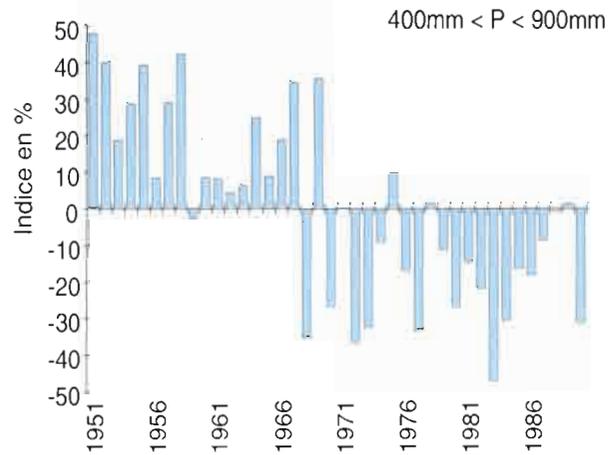
Image de synthèse, obtenue à partir du canal "vapeur d'eau" du satellite Météosat :

- 1 - zones pauvres en vapeur d'eau (anticycloniques) ;
- 2 - zones nuageuses ou à très forte teneur en vapeur d'eau, position de la ZITC. En altitude, la présence de nuages est quasi-permanente.

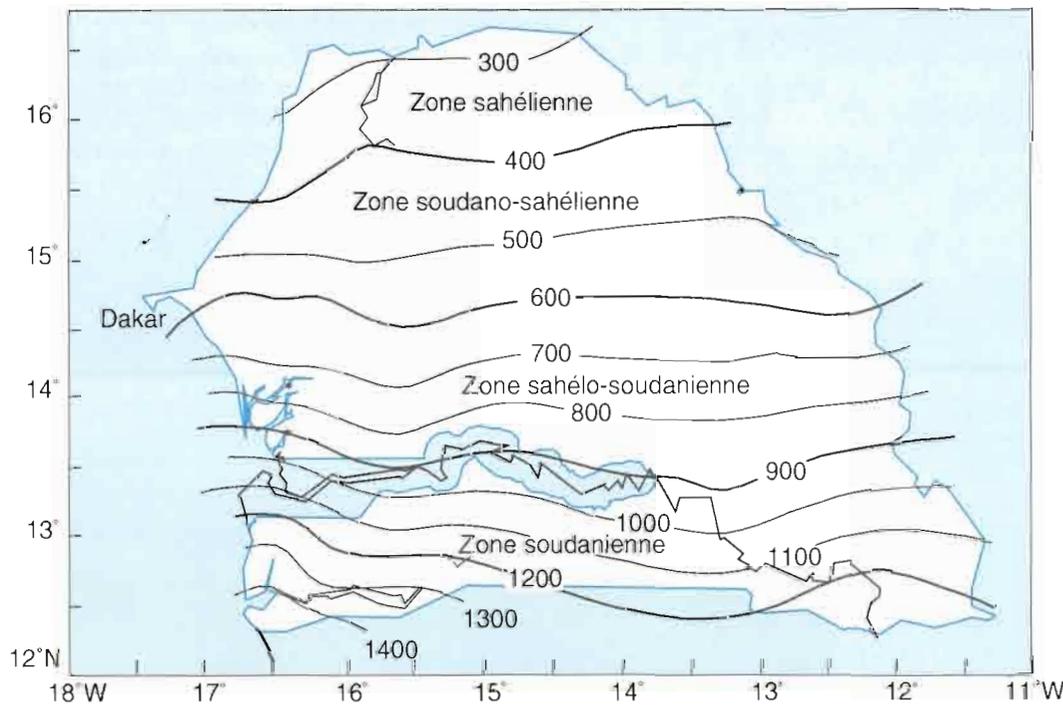
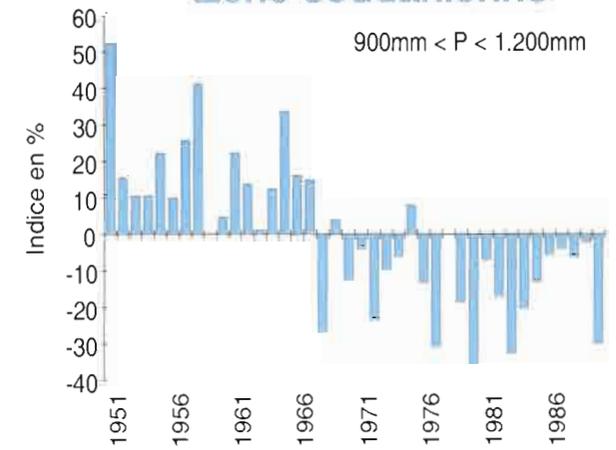
### Zone sahélienne



### Zone soudano-sahélienne

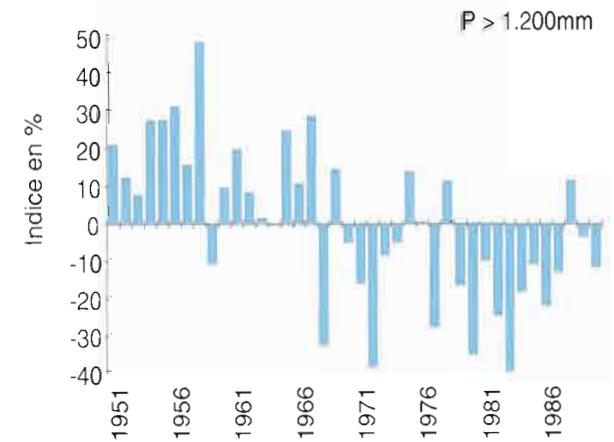


### Zone soudanienne



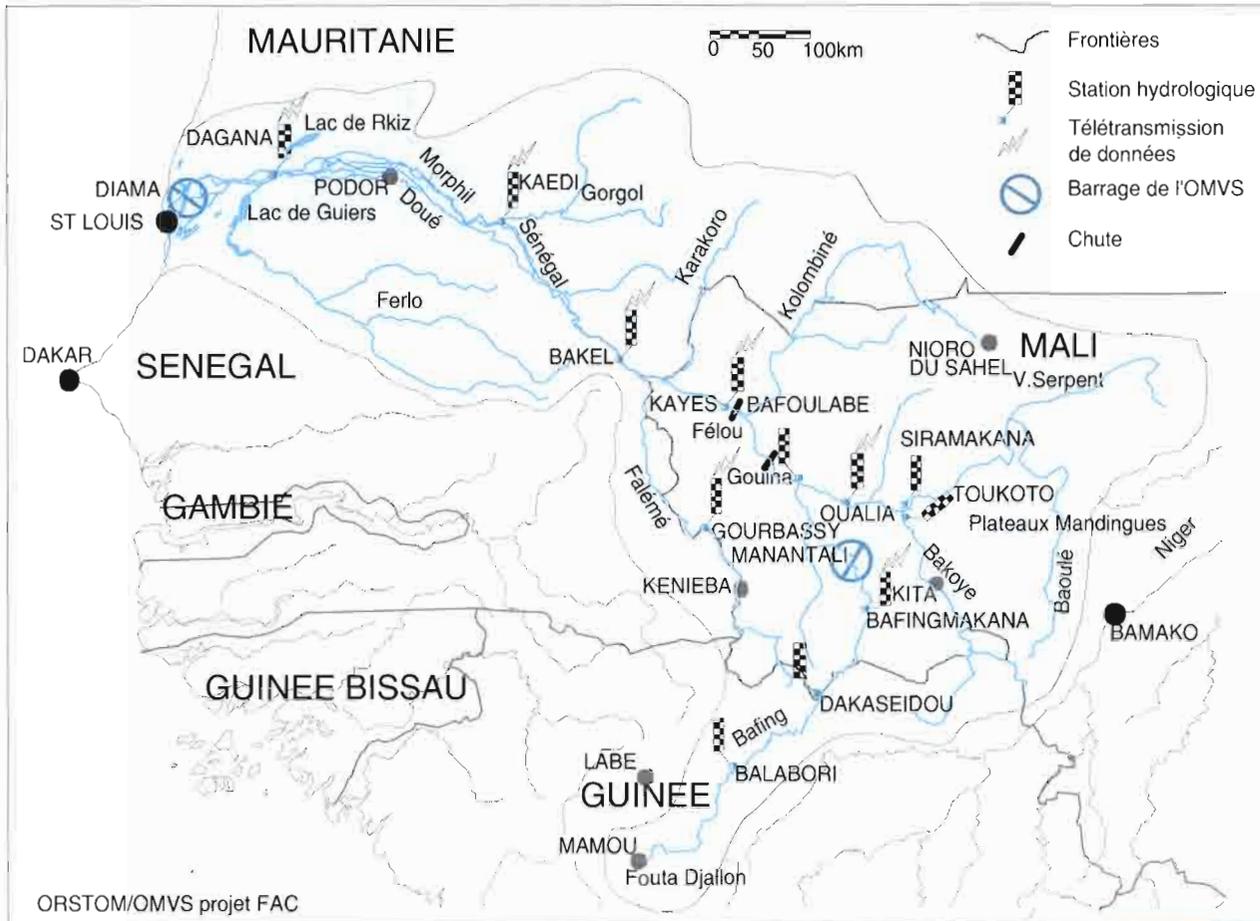
Tracés de variabilité inter-annuelle par zone pluviométrique

### Zone guinéenne



Carte des isohyètes du Sénégal, période de référence 1951-1990.

A l'échelle annuelle, la distribution des pluies au Sénégal est très zonale.



Bassin versant du Sénégal et équipement hydrologique

Collaborations : OMVG, OMVS, DGRH

## Les eaux de surface

Le Sénégal possède deux systèmes hydrographiques importants :

- \* le fleuve Sénégal ; 36.6% de son bassin versant (220.000 km<sup>2</sup>) se situe au Sénégal. À l'aval de Bakel, il ne bénéficie plus d'apports importants ;
- \* le cours supérieur de la Gambie. La partie sénégalaise du fleuve Gambie (54.631 km<sup>2</sup> sur un total de 77.054 km<sup>2</sup>) concerne l'aval de son bassin continental.

À cela, il faut ajouter :

- \* la Casamance, petit fleuve côtier dont le bassin d'une superficie de 20.150 km<sup>2</sup> est presque entièrement situé au Sénégal. Sa vallée inférieure est envahie par les eaux marines qui remontent en période de basses-eaux jusqu'à Diana Malari à 152 km de l'embouchure ;

- \* le cours supérieur de la Kayanga avant son entrée en Guinée Bissau (2.870 km<sup>2</sup> au Sénégal).

Ces quatre cours d'eau ont un régime tropical.

Les autres rivières ont uniquement des écoulements sporadiques :

- \* le Saloum formé d'un ensemble de petits bassins débouchant dans un estuaire complexe aux eaux très salées ;
- \* une série de petites rivières côtières coulant d'est en ouest et débouchant sur la côte entre Dakar et Joal Fadiouth.

Cliché Luc Séguis

Riziculture irriguée près de Podor



## Utilisation des eaux de surface pérennes

### \* Alimentation des populations

Depuis 1972, les ressources souterraines de la presqu'île du Cap-Vert et de la région de Thiès ne suffisent plus à l'alimentation en eau potable de Dakar. Une usine de pompage d'une capacité de 60.000 m<sup>3</sup>/j a été construite sur la rive occidentale du lac de Guiers à N'Gnith. L'adduction d'eau jusqu'à Dakar s'effectue par une conduite souterraine.

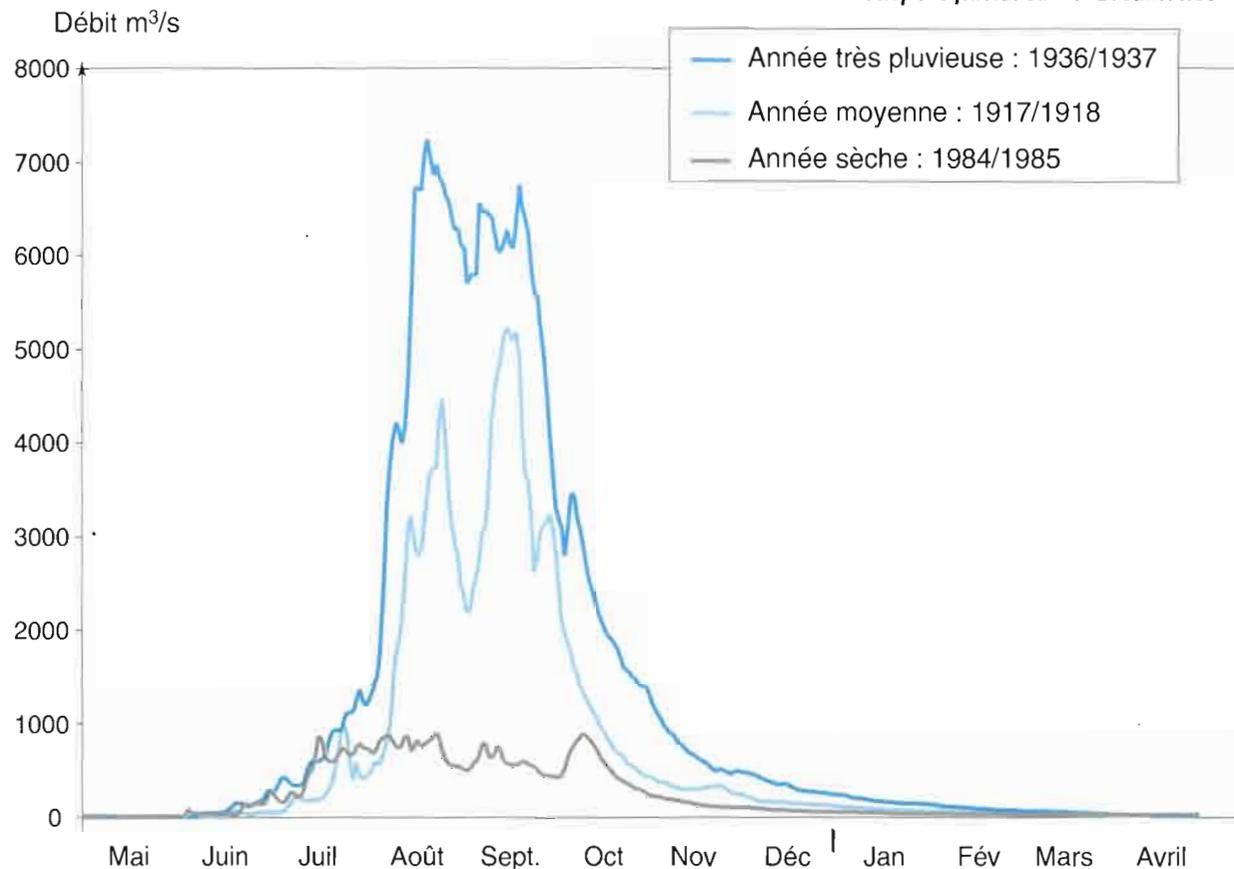
Les principales villes de la région du fleuve Sénégal sont alimentées par des stations de pompage sur le fleuve ou ses effluents. Un débit annuel prélevé de 11.000 m<sup>3</sup>/j couvre les besoins actuels de l'alimentation urbaine.

Kédougou est alimentée par un pompage sur la Gambie (690 m<sup>3</sup>/j).



Cliché Michel Dukhan

Transport fluvial sur la Casamance



Hydrogrammes-typés à Bakel

### \* Irrigation

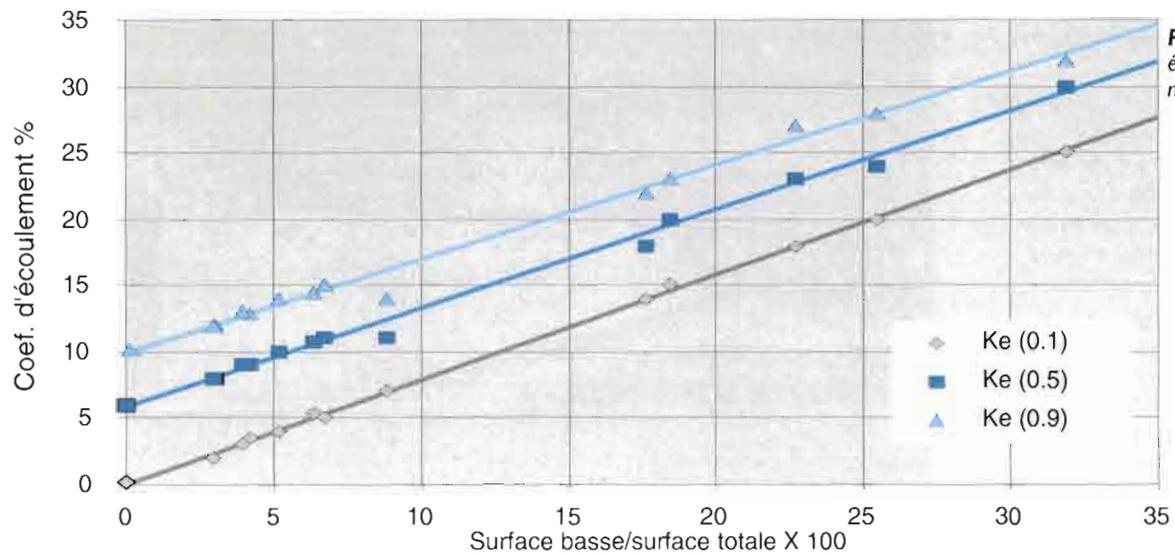
L'irrigation est surtout importante dans la vallée du fleuve Sénégal, de Bakel au delta. Les objectifs d'aménagement de la rive gauche du Sénégal pour l'an 2000 sont définis en vue du développement agricole de la vallée et de l'autosuffisance alimentaire. Les superficies aménagées devront atteindre 162.000 hectares.

### \* Transport

Seuls les estuaires de la Casamance et du Saloum connaissent une navigation fluviale de bateaux venant de la haute mer. La navigation sur le fleuve Sénégal entre Saint-Louis et Kayes est en projet.

### \* Électricité

Il n'y a pas actuellement d'exploitation hydroélectrique. L'OMVG (Organisation pour la mise en valeur du fleuve Gambie) a un projet de barrage hydroélectrique à Kékréti. Celui de Manantali (Mali) devra fournir bientôt de l'électricité aux pays de l'OMVS (Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal).



Ressources annuelles :  
écoulement en basse et  
moyenne Casamance.

Collaborations : DGRH, Isra

### Les ressources non pérennes

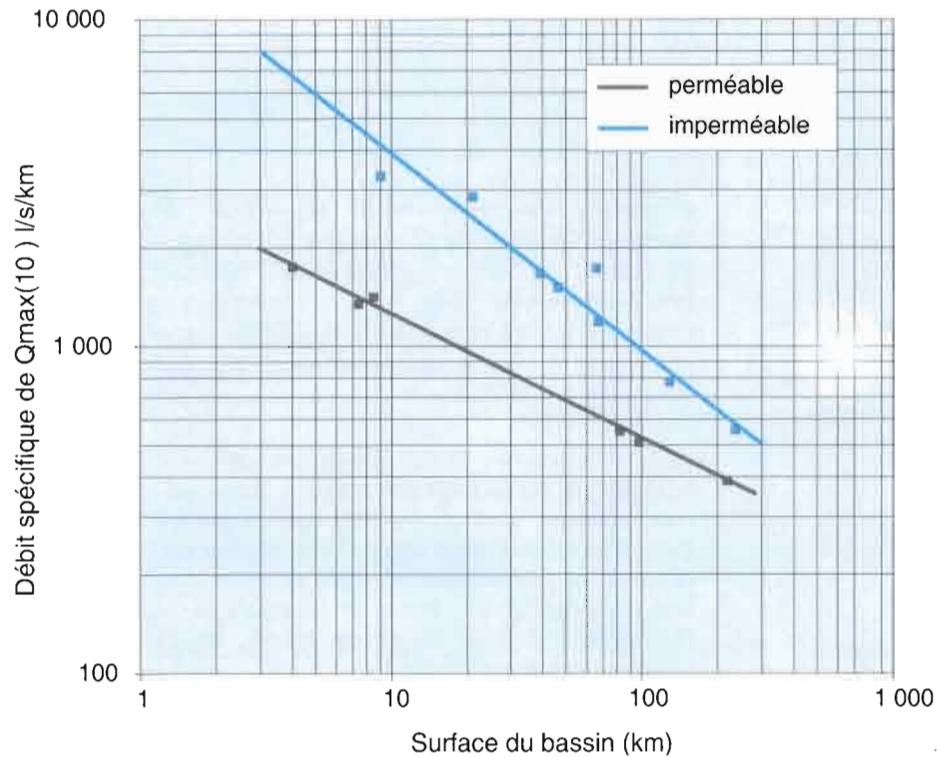
La recherche hydrologique intervient dans le dimensionnement des ouvrages d'aménagement, bas-fonds ou retenues collinaires.

Des méthodes de prédétermination des crues sont élaborées pour la conception des déversoirs et d'autres pour l'estimation des écoulements annuels et la prévision de la ressource mobilisable.

Cliché Jean Albergel



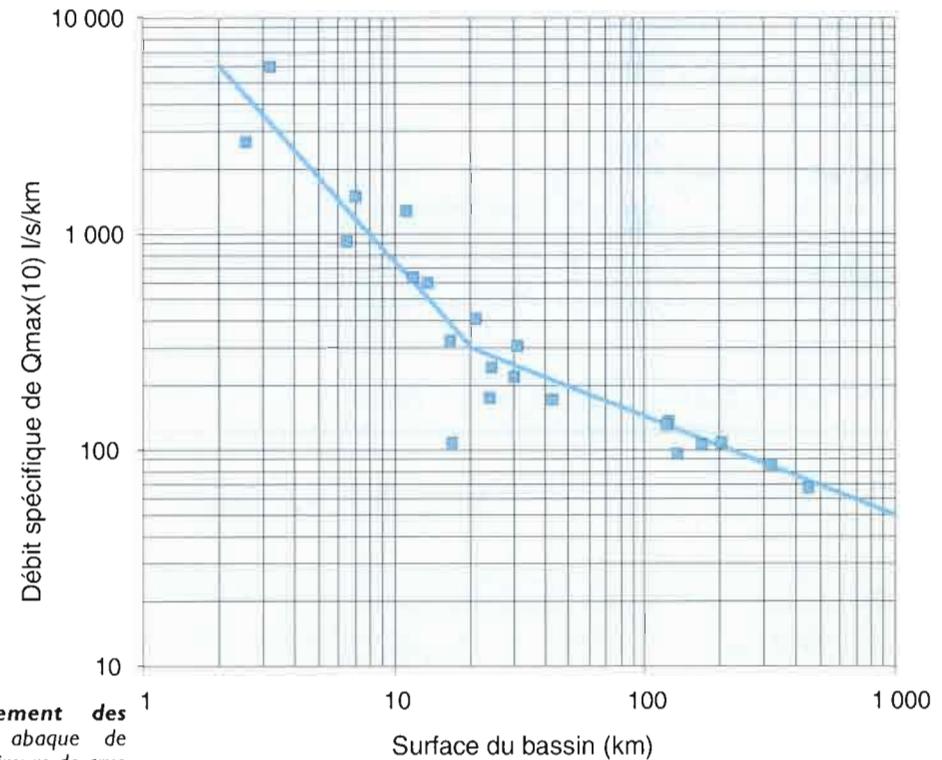
Bas-fond de Casamance



**Conception des réservoirs :** abaque de calcul du maximum de crue décennale dans le haut bassin du Sénégal.



Station de jaugeage d'un marigot temporaire



**Dimensionnement des déversoirs :** abaque de calcul du maximum de crue décennale en Casamance.

Participation scientifique : Jean Albergel, Honoré Dacosta



Bas-fond du Sine-Saloum

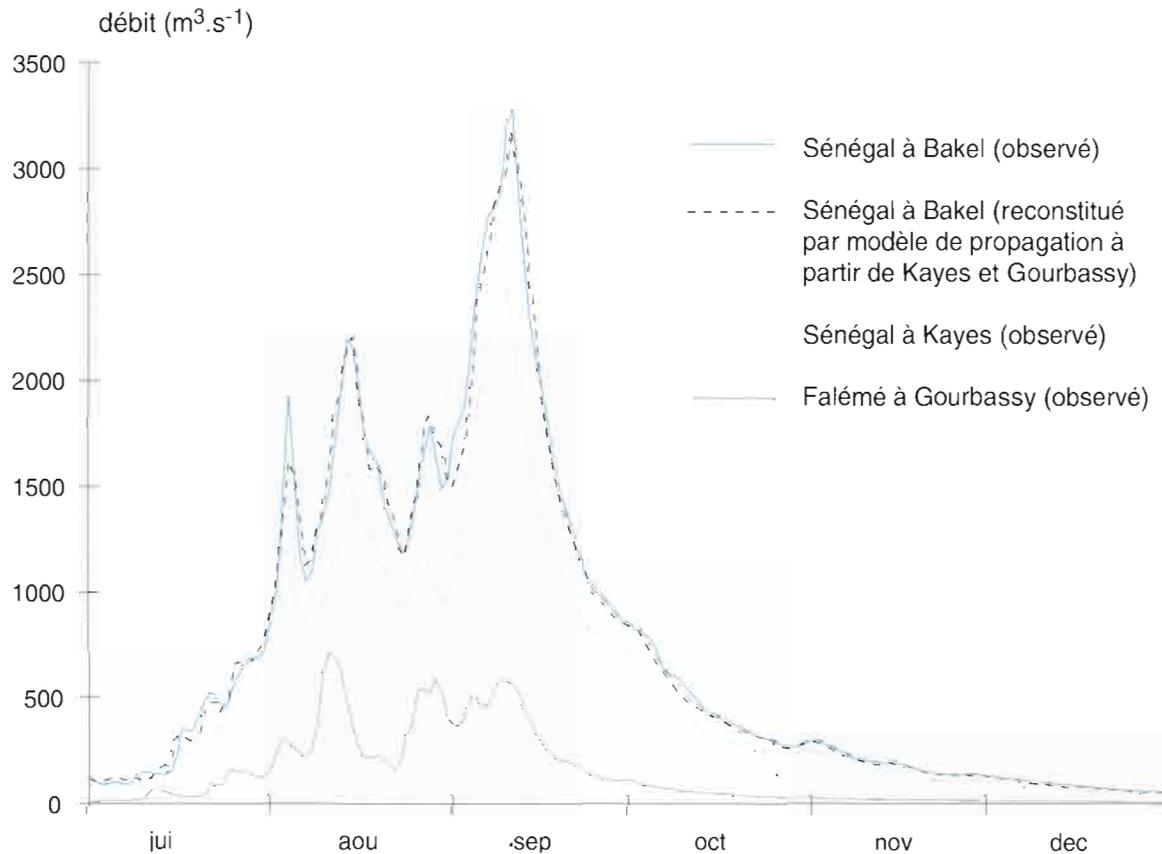


# Gérer la ressource

## Le fleuve Sénégal

L'alimentation du fleuve Sénégal provient des reliefs du Fouta-Djalon et des plateaux mandingues. À l'aval de Bakel, le fleuve ne reçoit plus que des apports relativement négligeables. Son régime d'écoulement est caractérisé par la propagation d'une crue annuelle qui s'amortit vers l'aval. La basse vallée et le delta présentent un système complexe de chenaux multiples, de vastes plaines de débordement et de dépressions en liaison directe avec le fleuve (lac de Guiers et de R'Kiz).

Collaboration : OMVS  
Financement : Fac



**Modèle numérique de propagation de crue sur le haut bassin du Sénégal.** Comparaison des valeurs modélisées à partir de Kayes et Gourbassy, avec les débits observés à Bakel en 1980.

Organisme inter-état (Mali, Mauritanie et Sénégal), l'OMVS est le gestionnaire des barrages de Diama (implanté en 1986) et de Manantali (mis en service en 1988).

L'OMVS a chargé l'Orstom de mettre en place un système d'aide à la gestion des deux ouvrages qui a reçu l'appui du Fonds d'aide et de coopération français (Fac).

Neuf limnigraphes télétransmetteurs de type "Chloé" ont été installés sur le fleuve. Ces appareils mesurent le niveau de l'eau par l'intermédiaire d'un capteur de pression. L'information est retransmise par le système Argos vers une station de réception et permet de connaître la situation hydrologique sur l'ensemble du bassin pratiquement en temps réel.

Un logiciel (Progesen) intégrant un modèle numérique de propagation a été élaboré, simulant le régime naturel du fleuve. À partir des données recueillies en amont, il permet le calcul et l'ajustement des lâchers d'eau de Manantali pour satisfaire différents besoins en eau.

## Manantali

Le barrage de Manantali, mis en service en 1988 sur le Bafing, contrôle environ la moitié des écoulements transitant dans le fleuve Sénégal. Ses fonctions sont :

- \* l'irrigation de 375.000 ha de cultures ;
- \* la production de 800 GWh d'électricité par an ;
- \* la navigation de Saint-Louis à Kayes ;
- \* la régularisation des crues du Bafing ;
- \* le soutien des pointes de crue du Sénégal, pour le maintien des cultures traditionnelles de décrue.

Le modèle Simulsen doit permettre d'évaluer l'effet de certaines règles de gestion du barrage de Manantali, sur le degré de satisfaction de différents objectifs assignés à l'ouvrage :

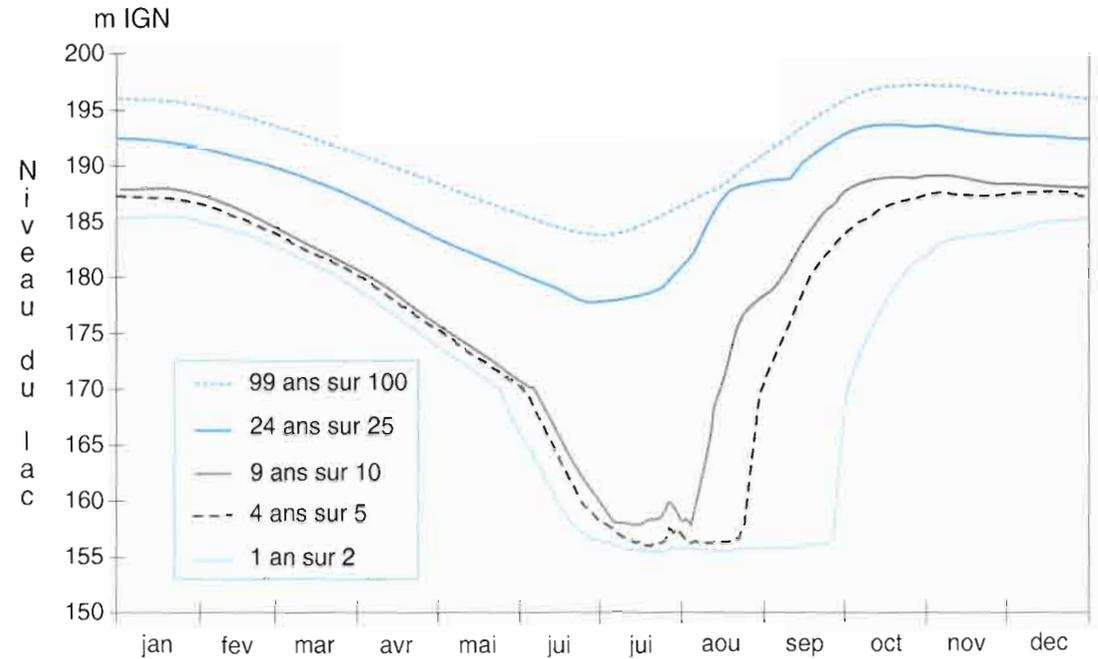
- \* le respect des limites physiques du barrage et du niveau maximal admissible pour la sécurité de la retenue ;
- \* le laminage des crues, au niveau de Bakel ou à la sortie de la retenue ;
- \* la demande de production électrique ;
- \* la satisfaction de différents types de besoins en eau, exprimés en débit au niveau de Bakel.

Une procédure particulière permet d'élaborer les consignes de gestion à respecter dans le lac, correspondant à certains niveaux de risque d'échec pour la satisfaction des différents objectifs.



Barrage de Manantali

Cliché Jean-Claude Bader

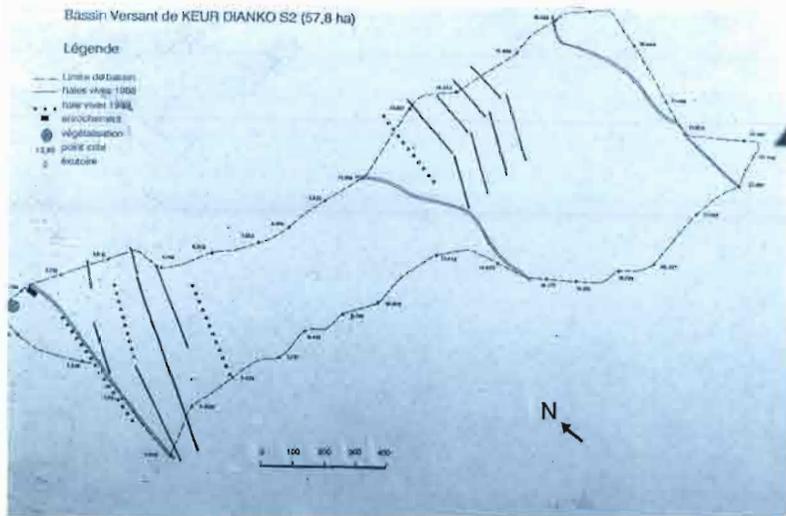


**Niveaux à respecter dans le lac de Manantali, permettant d'atteindre les objectifs de régularisation de débit assignés à l'ouvrage.** L'exemple présenté est relatif à la fourniture d'eau pour l'irrigation de 300.000 ha, augmentée de  $25 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  pour besoins divers. Le maintien du niveau de la retenue au-dessus d'une courbe garantit la possibilité de satisfaire l'objectif envisagé, avec la fréquence de réussite indiquée dans le cartouche.



Cliché Jean-Yves Gac

Barrage de Diama



Cliché Jean Albergel

Aménagement intégré du bassin versant de Keur Dianko

Modèle Corediam :  
courbe de remous du  
barrage de Diama.

### Diama

Le barrage de Diama, implanté très près de l'embouchure du fleuve Sénégal, prévient les intrusions d'eau salée marine, et permet de rehausser le niveau du fleuve par rapport au régime naturel, favorisant ainsi l'irrigation.

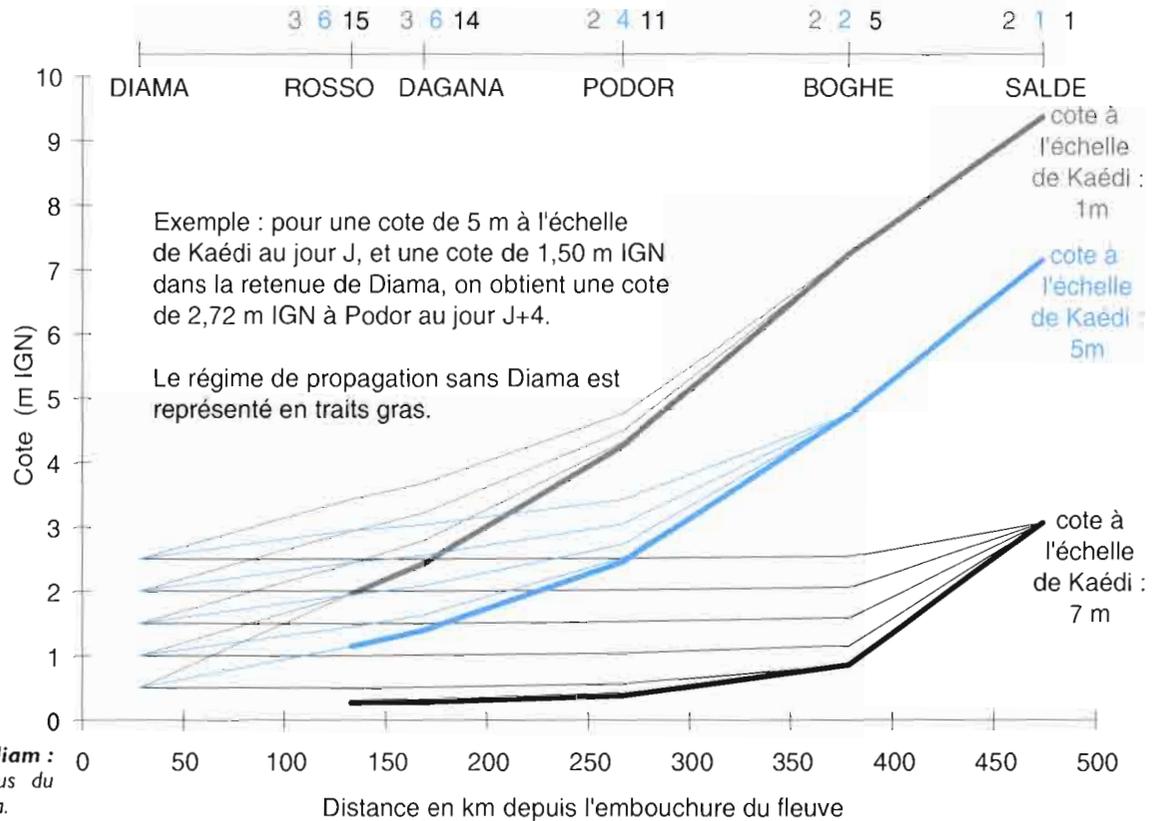
Un logiciel de calcul (Corediam) a été élaboré ; couplé au modèle de propagation Progesen, il permet de simuler les lignes d'eau du lac de Diama et d'évaluer le niveau d'eau aux différentes stations influencées par le barrage.

Collaborations : Isra, Cirad

### Le programme "Gestion des ressources naturelles au Sine-Saloum"

Le bassin arachidier est la première région agricole du Sénégal. Elle assure près de la moitié de la production nationale pour les deux principales cultures : arachide et mil, qui occupent plus de 90% des quelques 2 millions d'hectares cultivables. Toutefois l'importance de cette région est menacée depuis une quinzaine d'années par la dégradation du milieu qui résulte de trois facteurs principaux :

Temps de propagation DT depuis KAEDI, pour différentes cotes à l'échelle de KAEDI : 7m (—), 5m (—), 1m (—)



- \* les aléas climatiques, avec la succession d'années sèches depuis 1970 ;
- \* la baisse de la fertilité des sols en culture continue ;
- \* l'érosion hydrique qui sévit particulièrement dans le sud-est, sur des sols ferrugineux tropicaux lessivés; le ruissellement crée d'importants ravine-ments aux dépens des terres agricoles.

Les recherches en cours dans le sud-est du bassin arachidier s'inscrivent dans une approche pluridisciplinaire (hydrologie, pédologie, agronomie, sociologie et économie). Elles sont centrées sur l'amélioration des ressources en sol et en eau à différentes échelles : bassin versant, topo-séquence, parcelle paysanne, plante.



Cliché Jean Albergel

Mesure des transports solides lors d'une crue

En vue de préserver le milieu et d'améliorer les termes du bilan hydrique du sol, il est nécessaire de mettre en oeuvre des techniques de "Défense et restauration des sols" (DRS), adaptées à l'échelle et au milieu. Ainsi, avec une forte participation des communautés rurales, des dispositifs anti-érosifs ont été mis en place à la fois dans les terres agricoles et dans les zones de parcours. Ces dispositifs sont suivis afin de connaître leur impact sur la ressource en eau et sur les résultats agronomiques.



Cliché Jean Albergel

Aménagement d'une parcelle paysanne



Cliché Jean Albergel

Aménagements : cordons pierreux en demi-lunes.



# Les relations eaux de surface eaux souterraines

## Les nappes phréatiques

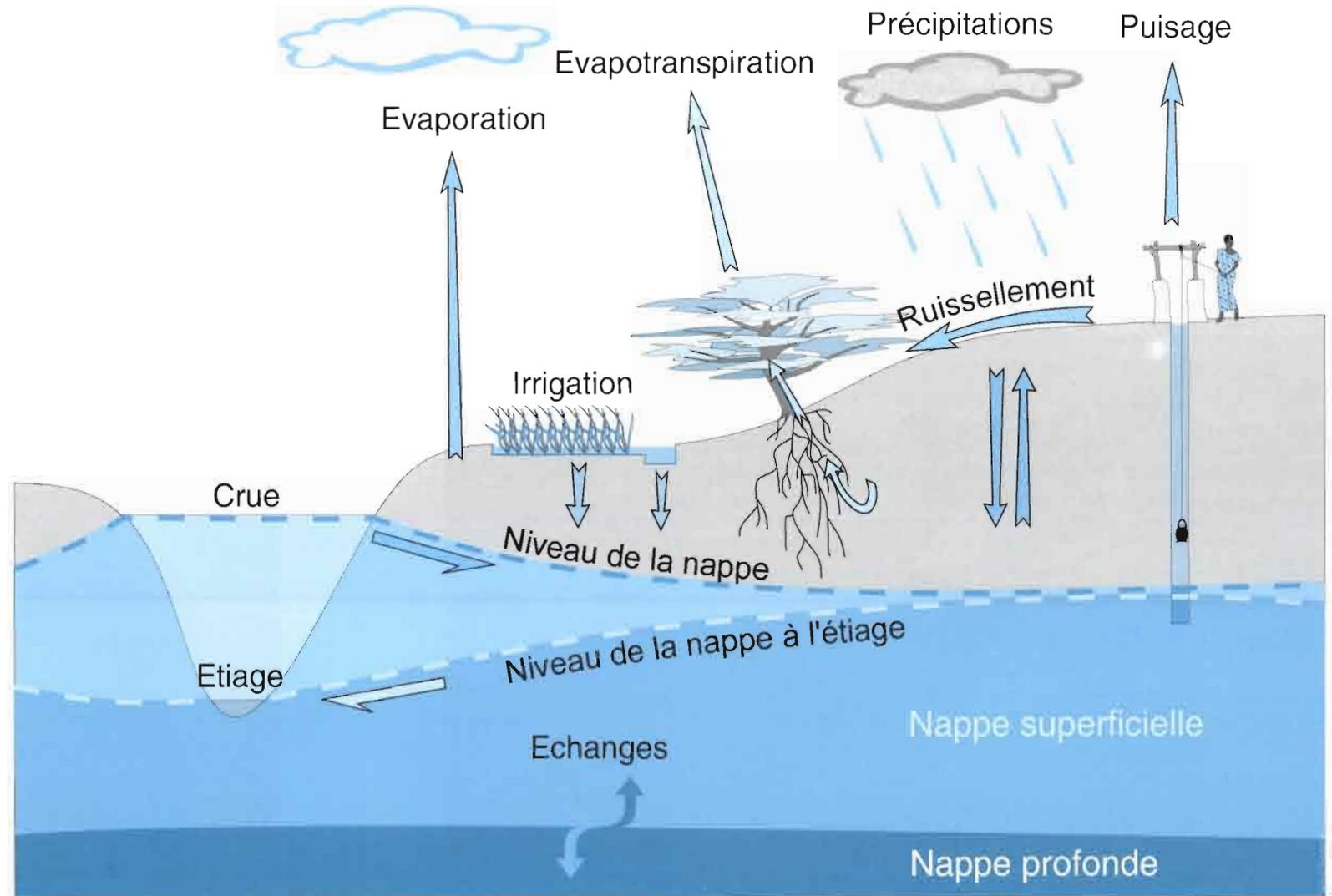
Au Sénégal, les cours d'eau pérennes sont peu nombreux et la principale ressource en eau des populations rurales provient du puisage de la nappe phréatique. Cette même ressource permet la survie de la végétation pendant la longue saison sèche qui caractérise le climat sahélien.

Une nappe phréatique est une étendue d'eau souterraine imbibant un terrain perméable et limitée à sa base par une couche de terrain imperméable.

Le volume d'une nappe varie en fonction de ses échanges d'eau avec la surface. La nappe est alimentée par l'infiltration de l'eau de pluie et des rivières à travers le sol ; ses pertes en eau sont dues :

- \* à l'évaporation à la surface du sol ;
- \* à l'évapotranspiration, ou transpiration de l'eau captée dans le sol par les racines des végétaux ;
- \* au puisage par les populations locales ;
- \* au drainage par les cours d'eau à l'étiage.

La connaissance des mécanismes de recharge et d'épuisement de la nappe phréatique et de ses échanges avec les eaux de surface et les aquifères profonds est d'une importance capitale pour une bonne gestion de son utilisation et sa préservation.



Les échanges entre eaux de surface et eaux souterraines



**Station limnimétrique.**  
Mesure des hauteurs d'eau à Bakel.



**Piezomètre dans la vallée du fleuve**



**Puits villageois**



**La rivière Nema (sud Saloum) ; la forte pluie (130 mm) du 28 juillet 1994 a provoqué une crue trop violente et rapide pour que les eaux puissent s'infiltrer dans le sol jusqu'à la nappe souterraine.**

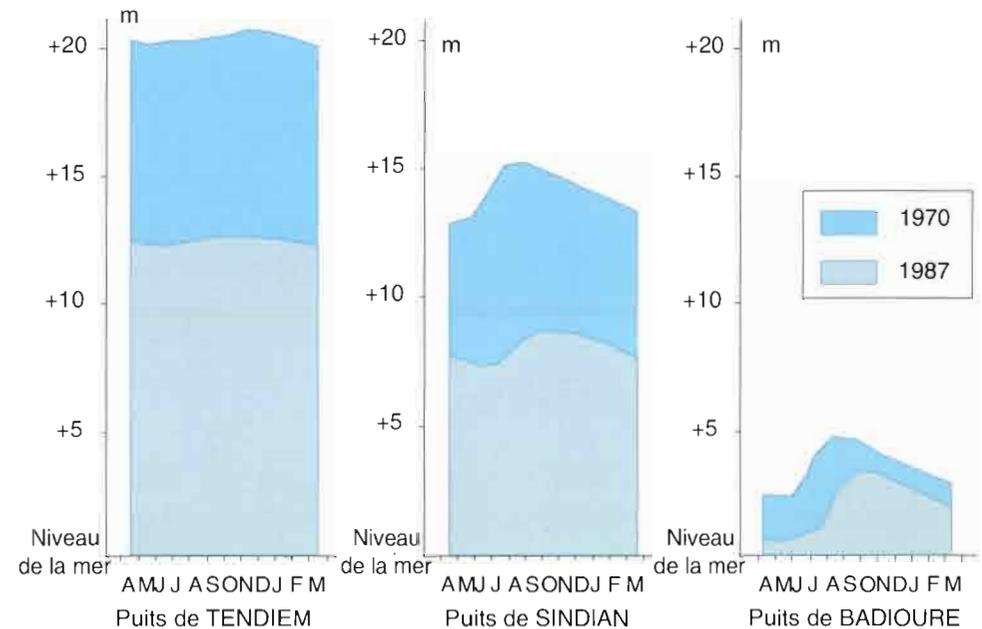
Des stations limnimétriques installées sur les fleuves et les rivières permettent de connaître les hauteurs d'eau. Pour observer les nappes, on dispose soit des puits villageois, soit de forages spécialement aménagés : les piézomètres.

Le suivi piézométrique, les techniques isotopiques, les analyses chimiques et les méthodes géophysiques permettent d'évaluer les temps de transfert, les taux d'évaporation, la qualité de l'eau et son évolution, les limites des aquifères et leurs relations avec les nappes plus profondes.

Depuis les années 70, la longue période de sécheresse a eu pour conséquence une baisse générale des nappes phréatiques (7 à 10 mètres).

Les eaux salées souterraines progressent alors vers l'intérieur des terres ; les réserves en eau douce diminuent, les puits deviennent salés et sont peu à peu abandonnés.

**Baisse de la nappe superficielle, mesurée en 1970 et 1987.**

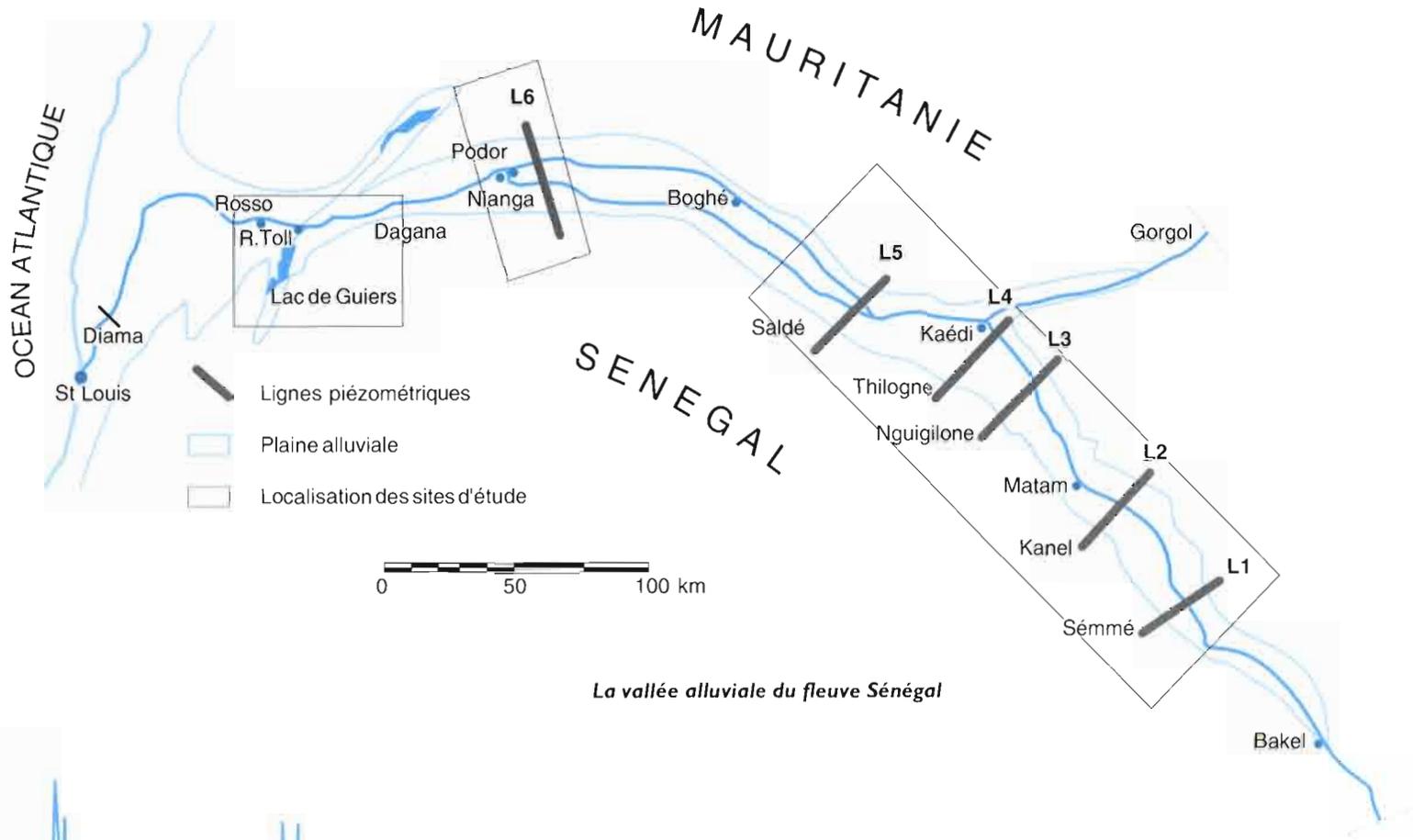




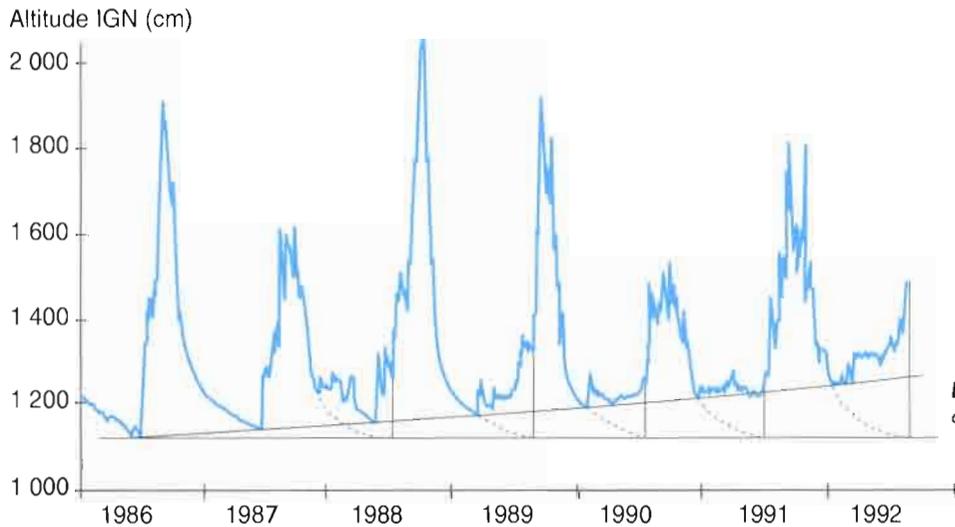
**Collaboration : OMVS**  
**L'aménagement du fleuve**

Sur le fleuve Sénégal, un réseau exceptionnel par ses dimensions a été utilisé : 1.100 points d'observation, dont 600 piézomètres installés par l'OMVS en 1986/87, et environ 500 puits villageois. Ce réseau a été suivi mensuellement à partir de 1988.

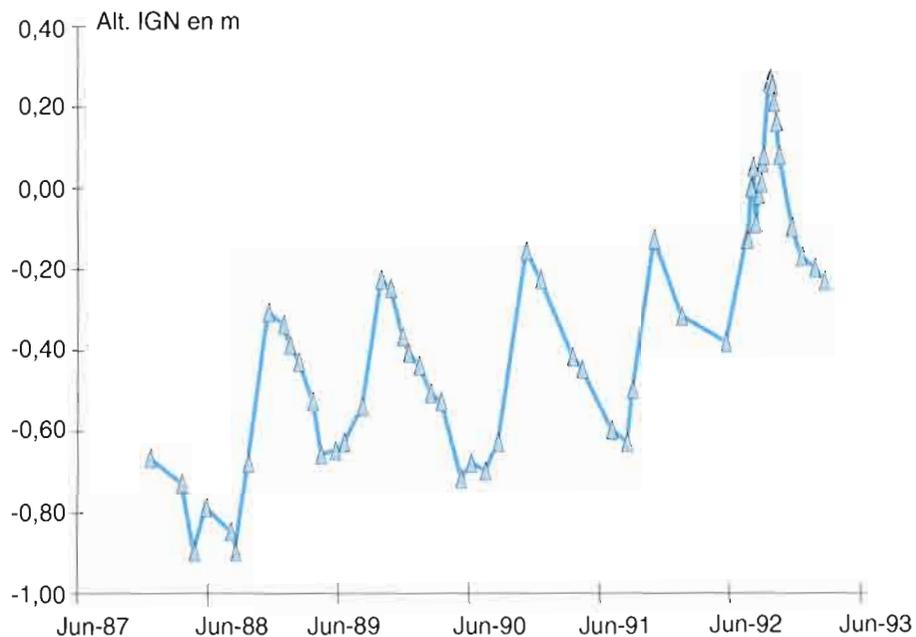
Les études ont porté principalement sur deux secteurs de la basse vallée (L6) (Richard-Toll et Podor) dans la moyenne vallée (L1 - L5).



**La vallée alluviale du fleuve Sénégal**



**L'influence du barrage de Manantali se fait sentir sur l'ensemble de la vallée ; à Bakel, le niveau d'étiage remonte depuis 1987, et il a atteint 1,30 m en 1992.**



**Remontée du niveau de la nappe à Podor**

Après la mise en service des barrages de Manantali et de Diama, l'évolution du niveau des nappes, et la qualité des eaux ont été suivies.

Le barrage de Manantali permet la régulation des débits du fleuve et la remontée des niveaux de basses eaux (étiage).

Le barrage de Diama empêche la remontée de l'eau de mer dans le lit du fleuve. Il crée une retenue dont la hauteur d'eau monte régulièrement et devrait atteindre 2,5 mètres.

Les fluctuations saisonnières de la nappe suivent celle du fleuve. Cependant le niveau moyen d'étiage remonte d'année en année, parallèlement à celui du fleuve.

\* avant le barrage, le niveau d'étiage était celui de la mer (remontée des eaux salines dans le fleuve) ;

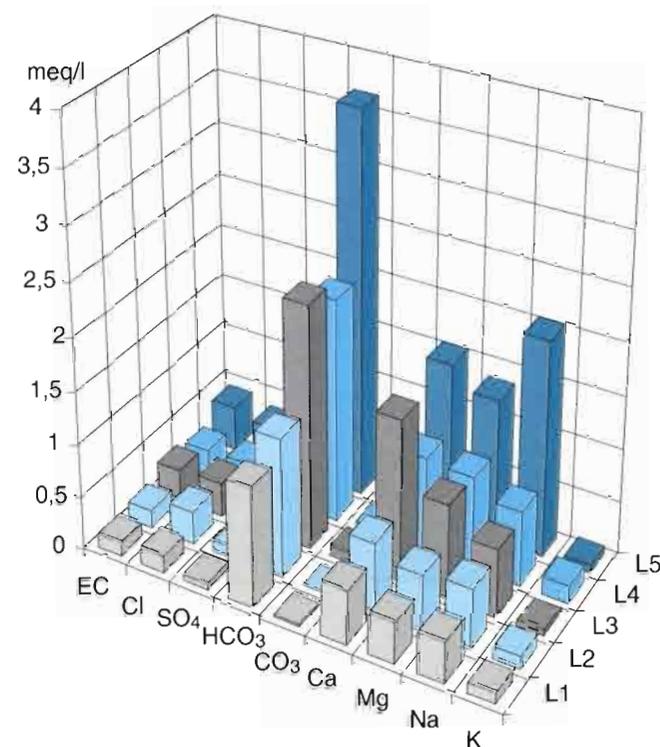
\* après la construction du barrage de Diama, on a pu constater que le niveau d'étiage était en dessous du niveau de la mer (évaporation) ;

\* entre 1987 et 1992, la mise en service des deux barrages permet la remontée du niveau d'étiage de 1 mètre et plus.

On constate une remontée de la nappe phréatique dans toutes les stations de mesure.

La composition chimique des eaux souterraines est en relation avec celle des eaux de surface.

Par exemple, la quantité de sel (NaCl) augmente au fur et à mesure que l'on se rapproche de la mer.



**Analyses chimiques des eaux souterraines aux stations L1 à L5.**



# Equesen : Environnement et qualité des eaux

Collaborations : Ucad, Isra, FUL

## Le projet Equesen (1989-1993)

C'est un programme intégré de recherches pour l'acquisition et la modélisation des connaissances de base sur l'ensemble du bassin versant du fleuve Sénégal. Il renvoie essentiellement à une étude des cycles biogéochimiques, menée au cours d'une période de sécheresse et après la construction de barrages qui ont profondément modifié le fonctionnement de cet écosystème tropical.

Ce programme, nécessairement multidisciplinaire, s'intéresse à des domaines aussi variés que la climatologie, la géologie, la géochimie, l'hydrogéologie, l'hydrobiologie et la limnologie.

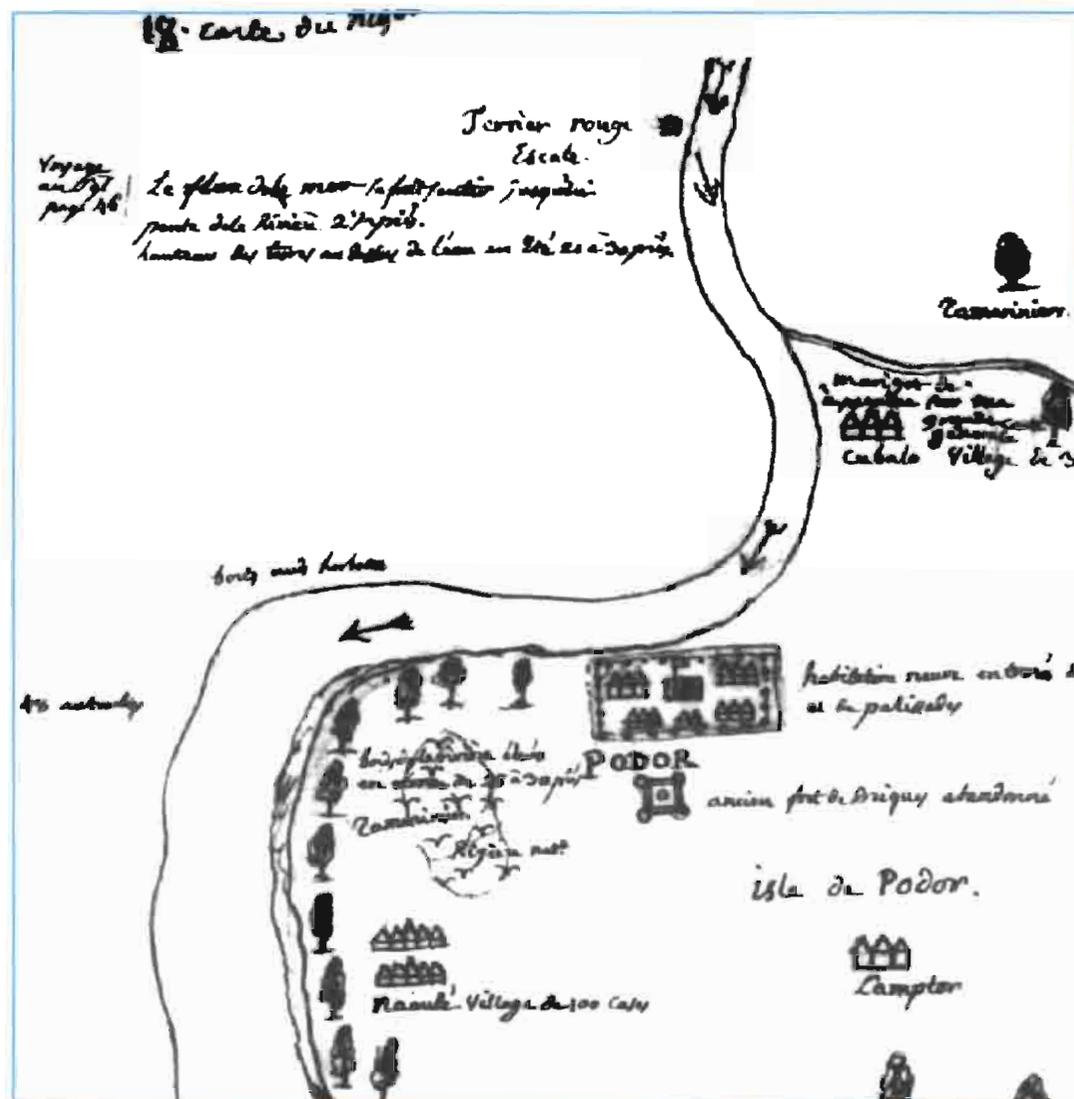
### Reconnaissance historique

Certaines informations intéressantes sur le passé ont pu être découvertes par l'étude des cartes anciennes (paléocartographie) et des récits de voyageurs.

Au deuxième siècle avant notre ère, Ptolémée établit la carte de l'Afrique intérieure (interprétée par Sagazan en 1951). Les latitudes y sont plus ou moins bien respectées (repérage sur la hauteur du soleil), mais les distances en longitudes sont entachées de sérieuses erreurs (imprécision sur l'heure).

La carte du Sénégal à Podor de Gabbard, de décembre 1854, mentionne la présence du bateau à vapeur Guet Ndar très loin dans la vallée du Ferlo.

Le mois de décembre correspond au début de l'étiage. Cette mention indique donc une très forte crue au cours de l'année 1854.



Sur la 18<sup>ème</sup> carte manuscrite du "Niger" (en réalité le Sénégal) de Michel Adanson (1754) figure, en amont du fort de Podor, une annotation de l'auteur : "le flux de la mer se fait sentir jusqu'ici"<sup>(1)</sup> La remontée des eaux océaniques très profondément à l'intérieur des terres était aussi une réalité au milieu du XVIII<sup>e</sup> siècle ; en corollaire, la crue du Sénégal était faible.

<sup>(1)</sup> En haut et à gauche de la carte

Voir aussi : La naissance de la recherche... ; Le projet encyclopédique de Michel Adanson, p. 16

# du fleuve Sénégal

## Les aménagements



Cliché Pierre Michel/Université de Strasbourg

Le barrage anti-sel de Diama, à 50 km de l'embouchure du fleuve Sénégal (1985), est complété par des endiguements. Il peut influencer les niveaux d'eau du fleuve sur près de 350 km.



Cliché Jean-Yves Gac

Le barrage régulateur de crue de Manantali sur le Bafing au Mali (1987)

### Les signaux d'entrée sur le bassin versant du fleuve Sénégal

Deux décennies de sécheresse : 1972 - 1992 :

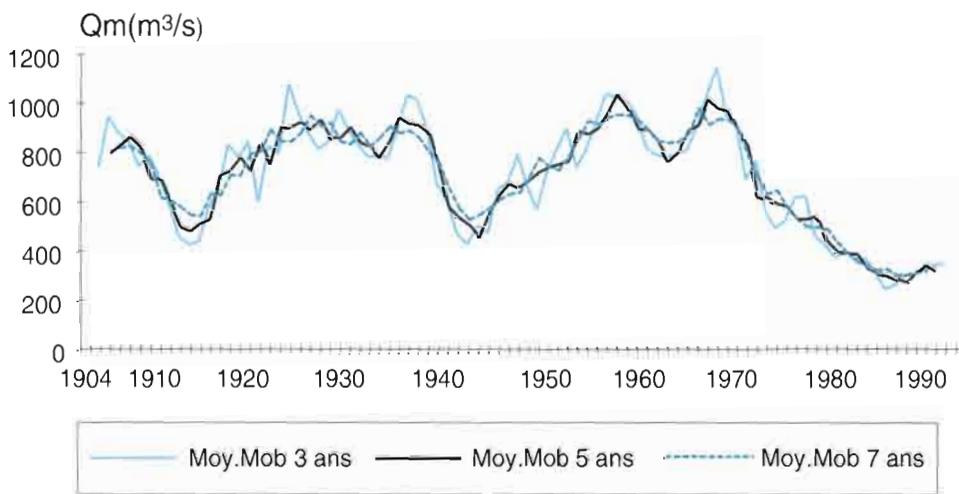
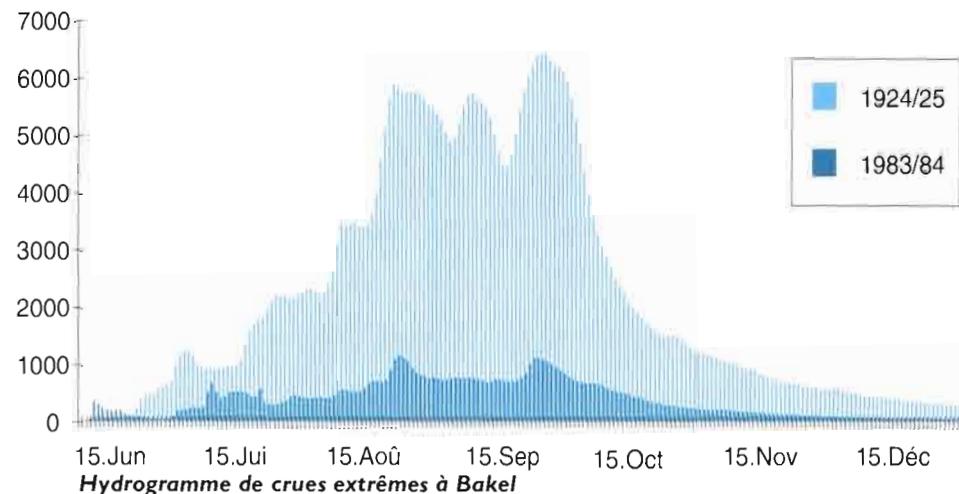
- 1- réduction des précipitations et des écoulements
- 2- augmentation de la sédimentation éolienne
- 3- intrusion saline amplifiée dans les estuaires

## Les apports exogènes

- \* Estimation des pluies par télédétection
- \* Échantillonnage des poussières éoliennes
- \* Invasion marine

## Les écoulements

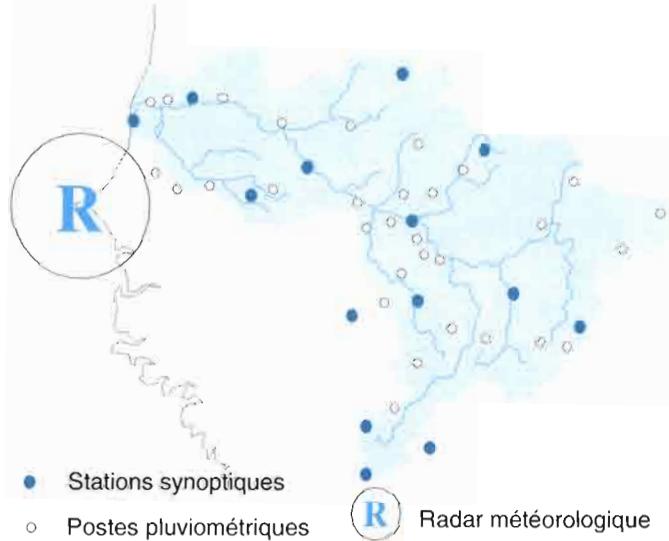
milliers de m<sup>3</sup>/s



Variations interannuelles des écoulements à Bakel

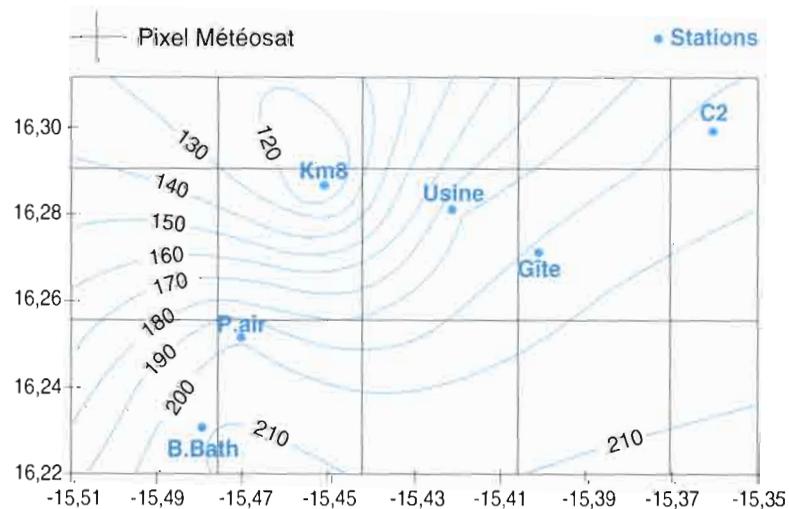


## Les arguments



### Réseau de mesures pluviométriques du bassin

Dans ce domaine d'études, le réseau de mesures au sol est peu dense et la pluviométrie peut varier fortement sur de petites distances. Les méthodes classiques d'estimation des pluies se sont révélées insuffisantes et trop grossières.



**Variabilité spatiale de la pluviométrie à petite échelle**  
Zone des casiers de la Compagnie sucrière sénégalaise (CSS), à Richard Toll. Les lignes du quadrillage sont espacées de 5 km.

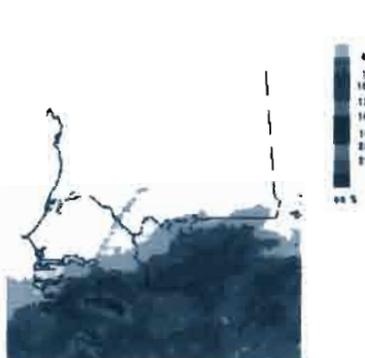
# Estimation des pluies par l'imagerie satellitaire

## La méthode

Le programme "Epsat" a permis de mettre au point et de valider sur le terrain une méthode d'estimation des précipitations par le satellite Météosat.

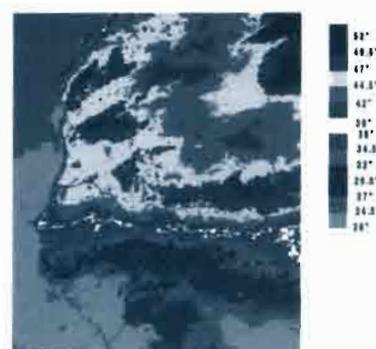


Les méthodes "Epsat" d'estimation de la pluviométrie à partir du canal infra-rouge Météosat; des algorithmes originaux combinant les paramétrisations de :



FOC : champs d'occurrence de nuages froids pour la saison des pluies 1991.

**La source :** les nuages précipitants (générateurs de pluie) ont au sommet une température d'environ  $-40^{\circ}\text{C}$ . Ils peuvent être reconnus et enregistrés sur une image satellite.



T MAX : champ thermique radiatif maximum de surface pour la saison des pluies 1991.

**La cible :** parallèlement, la température mesurée à la surface du sol par l'imagerie infra-rouge Météosat, baisse sous l'effet de l'évapotranspiration liée à la pluie.

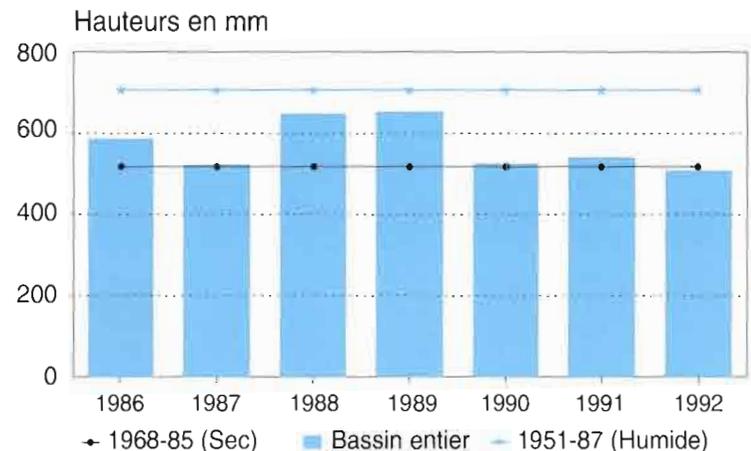
Une combinaison de ces deux paramètres permet, par le calcul, de localiser et quantifier les précipitations.

### Les résultats

Cette méthode permet d'obtenir une cartographie des champs de pluie, avec une résolution de  $25\text{ km}^2$  au pas de temps de dix jours.

Les cartes des isohyètes (lignes séparant des aires de même pluviométrie) obtenues permettent, par comparaison d'une période de temps à l'autre, de mettre en évidence des anomalies pluviométriques de façon beaucoup plus précise que ne l'autorisaient les relevés d'un réseau classique.

Cela peut être utilisé pour la gestion des cultures (détermination des dates optimales de semis, estimation des rendements agricoles...), par prévision des déficits hydrologiques.



Pluviométrie du bassin du Sénégal au cours des saisons des pluies 1986 à 1992.

### SAISON 1992



Pluviométrie estimée ; saison 1992.

Participation scientifique : Michel Carn, Jean-Yves Gac



## Érosion et altération du Fouta Djalou

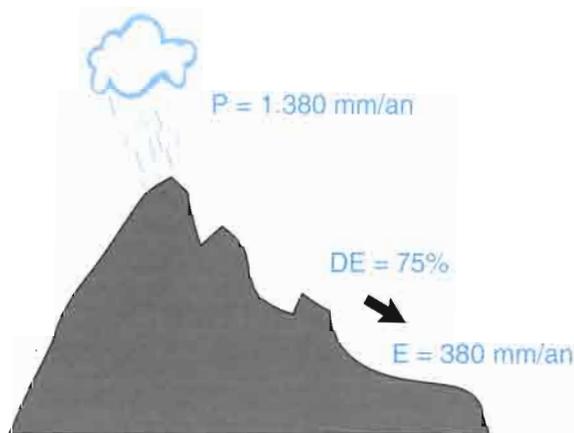
Le massif du Fouta Djallon, partie nord de la dorsale guinéenne, est le seul relief important de l'Afrique de l'Ouest. Cette situation particulière en fait le "château d'eau" de cette région. Son substratum géologique est entièrement constitué de roches cristallines. La partie ouest est gréseuse et franchement découpée. Les fleuves Sénégal, Gambie et Niger prennent leur source dans sa partie est, granitique et doléritique, organisée en une succession de plateaux latéritiques plus ou moins cuirassés.

Dans ces régions tropicales, soumises à des climats chauds et humides pendant de longues périodes, l'altération des roches a donné naissance à un matériau très monotone sur le plan minéralogique, constitué essentiellement de quartz résiduel, de kaolinite et de goéthite. Secondairement, on y trouve divers oxydes et hydroxydes, quelques minéraux lourds plus ou moins altérés et des traces d'illites ou de micas hydratés.

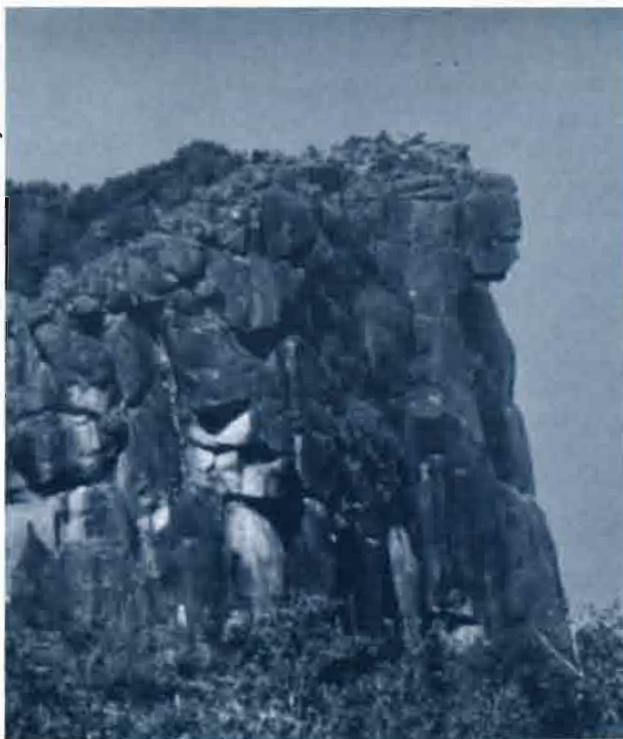
### Le bilan hydrologique

La pluviométrie moyenne sur le Fouta Djallon est de 1.380 mm. :

- \* 75% de cette eau s'infiltrate dans le sol ou est reprise par la végétation ;
- \* 25% ruisselle en surface jusqu'à une rivière.



Cliché Jean-Luc Saos



**La dame du Mali (Guinée)**, point culminant (1.538 m) du Fouta Djallon, aux sources du Sénégal et de la Gambie

### Les apports atmosphériques

La composition chimique des eaux de pluie varie en fonction de la nature et de la quantité d'éléments qu'elle contient, soit à l'état dissous (bicarbonates et calcium), soit à l'état particulaire (poussières : silice et aluminium).

### La répartition des écoulements

De la composition de l'eau et de la nature du sol dépend l'importance relative de l'érosion du sol en surface (due au ruissellement) et de l'altération de la roche saine en profondeur (liée à l'infiltration des eaux).

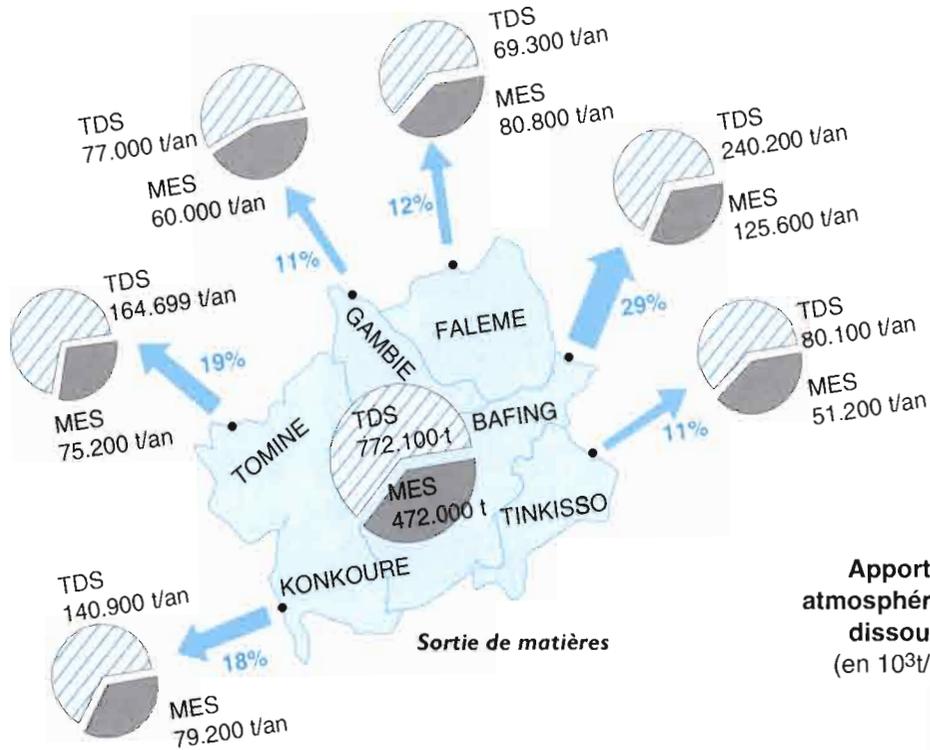
Sur le plateau du Fouta Djallon, le ruissellement est prédominant sur les grès, important sur les granites et les dolérites.

### Les eaux d'altération

En fonction de leur nature, les éléments du sol sont plus ou moins mobilisables par l'eau. Les eaux les plus minéralisées sont issues de grès quartzitiques.

Formations lithologiques	Cl mg/l	HCO <sub>3</sub> mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	Na mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l
Granites	0	6.7	0	0.8	0.2	1.3	7.1
Grès	0	1.9	0	0.5	0.1	0.2	5.4
Schistes	0.5	13.7	1.3	0.7	0.8	4.8	7.3
Grès quartzitiques	0	22.6	3.6	1.8	0.3	1.0	19.8
Dolérites	0	13.9	0.9	1.8	0.4	0.9	10.2

**Composition chimique des eaux d'altération** par classe lithologique (après correction des apports atmosphériques).



## Le bilan géochimique

On appelle approfondissement la reconstitution des sols en profondeur par altération de la roche saine.

Au fur et à mesure que l'altération progresse dans la roche il y a formation de sol, phénomène qui s'oppose à l'ablation mécanique qui tend, en surface, à réduire l'épaisseur des sols. Par exemple, les grès et les dolérites sont générateurs de sol (érosion < altération), alors que pour les granites et les schistes, le sol tend à disparaître (érosion > altération).

L'importance relative de l'érosion des sols et de l'approfondissement des profils est appréciée par classe lithologique :

- \* les grès, les grès quartzitiques et dans une moindre mesure les dolérites forment actuellement des sols ;
- \* les granites sont en équilibre géochimique ;
- \* les sols sur schistes sont fortement érodés.

### Bilan géochimique

La composition chimique des eaux d'altération varie en fonction des types de roches rencontrés.

La mesure des proportions d'éléments dissous ou en suspension dans l'eau, permet de déterminer le rapport entre érosion et altération.

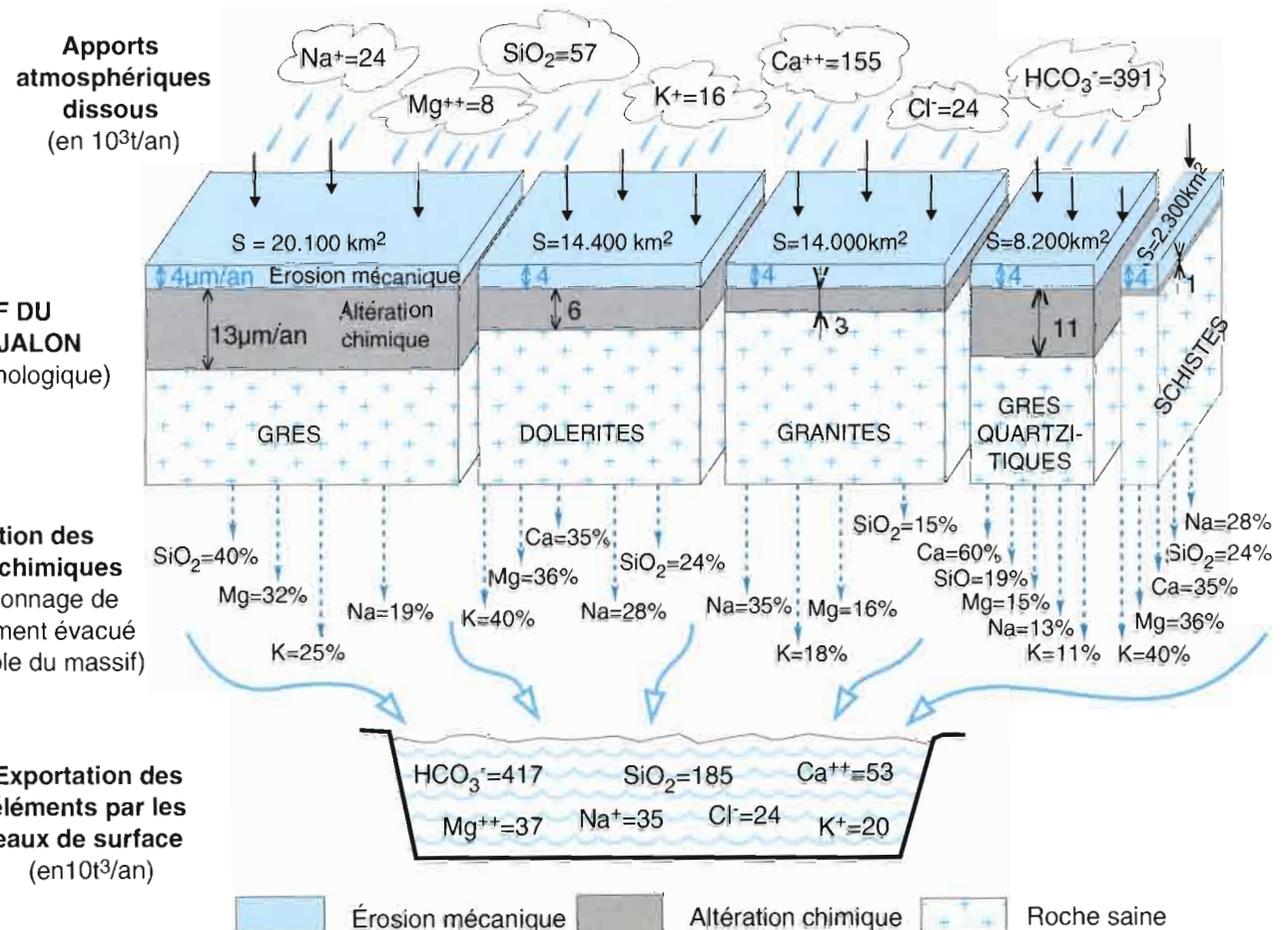
Érosion mécanique et altération chimique s'associent pour évacuer les éléments hors du profil pédologique.

Chaque année, le Fouta Djallon livre par érosion des sols ou altération chimique plus de 1.200.000 tonnes de matières. L'altération chimique des paysages latéritiques cuirassés où les éléments sont peu mobilisables par l'eau (3 tonnes/km<sup>2</sup>/an) est faible.

### MASSIF DU FOUTA DJALON (par unité lithologique)

### Évacuation des éléments chimiques (en % du tonnage de chaque élément évacué par l'ensemble du massif)

### Exportation des éléments par les eaux de surface (en 10<sup>3</sup>t/an)





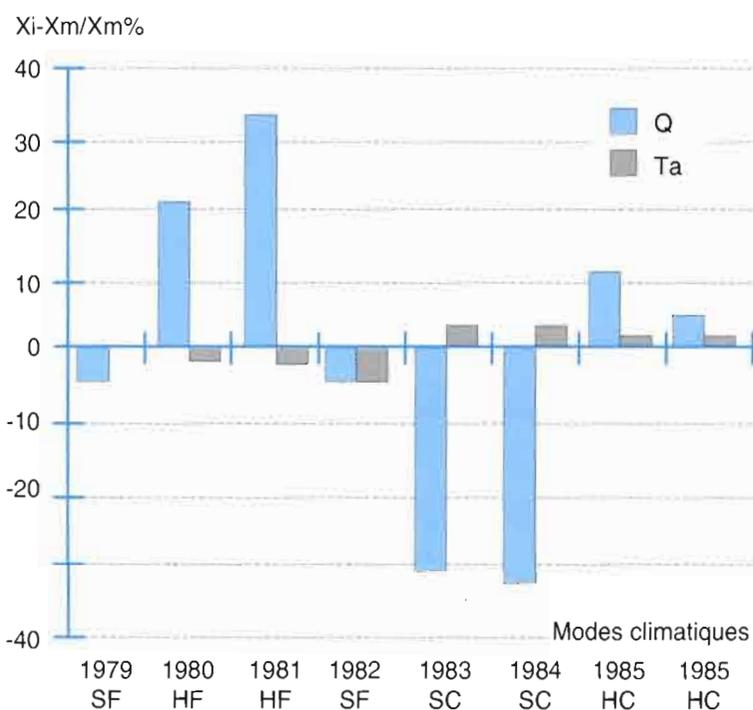
# L'érosion chimique sur le bassin amont du fleuve Sénégal

## Hydroclimatologie

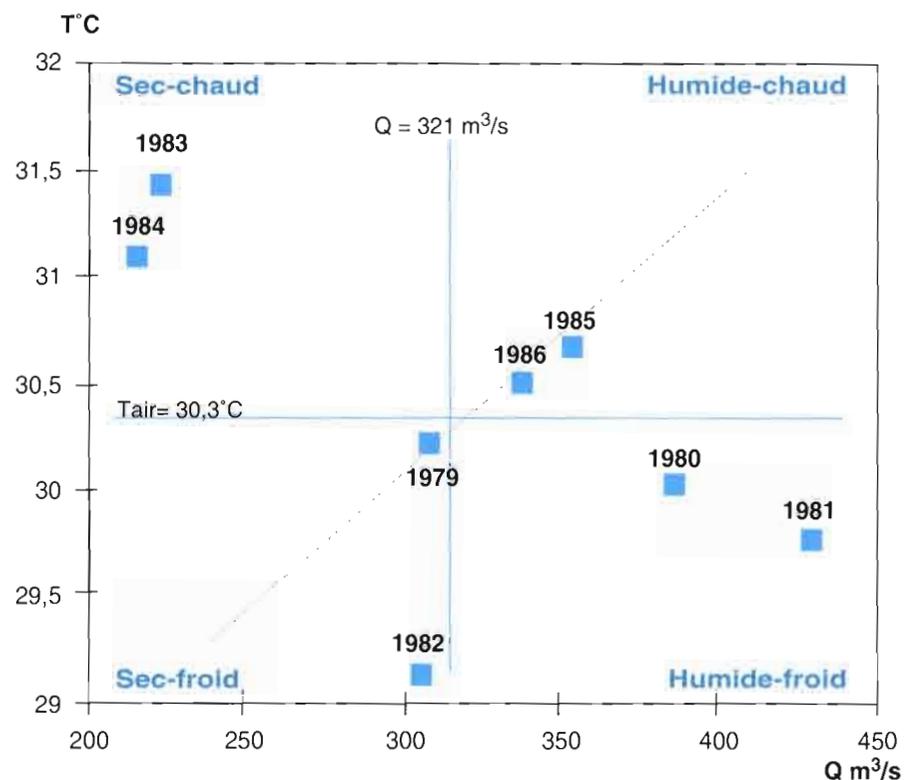
Dans ces régions tropicales, la pluviosité est le facteur principal de régulation des écoulements de surface.

Le débit est une mesure qui intègre toute la surface du bassin versant : or on a vu que la pluie est particulièrement variable à petite échelle. La température est par contre une donnée plus homogène.

Une nouvelle démarche a été mise au point pour étudier les modes climatiques et la dynamique des paysages. Elle s'appuie sur les paramètres de débit et de pluviosité, mais aussi de température de l'eau et de l'air.



Écarts annuels à la moyenne du débit (Q) et de la température de l'air (Ta) à Bakel.



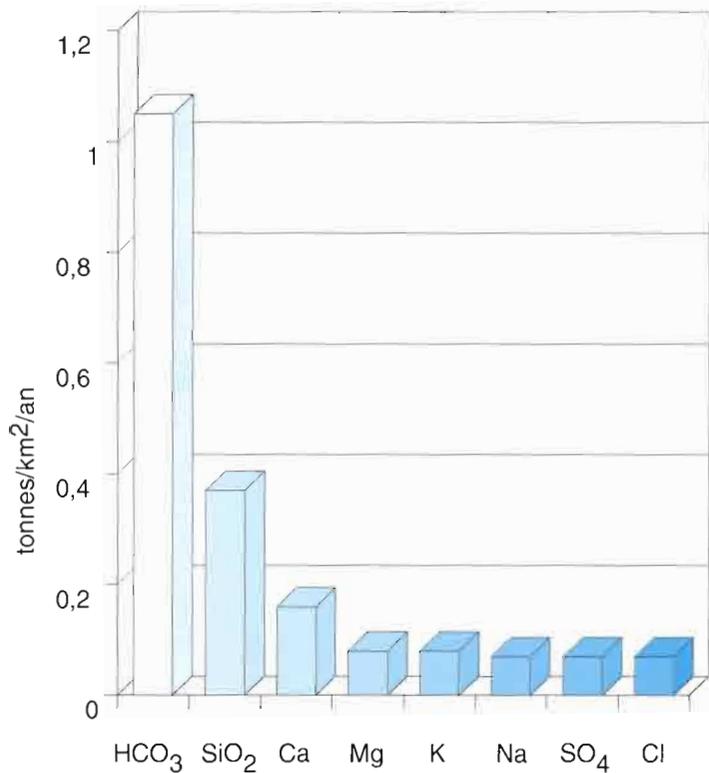
On a pu classer les années étudiées en 4 modes climatiques plus ou moins fréquents.

## Géochimie des eaux fluviales

L'évolution de la composition chimique des eaux du fleuve Sénégal permet de connaître l'origine des éléments qu'elles transportent. Certains éléments comme les bicarbonates ( $\text{HCO}_3$ ), le magnésium (Mg), le calcium (Ca) et le sodium (Na) sont présents de façon constante. La baisse de leur concentration est seulement le reflet de leur dilution par la crue. D'autres, comme la silice ( $\text{SiO}_2$ ) proviennent de processus biogéochimiques. Le potassium (K) est constant. D'autres encore, comme le chlore (Cl) et les sulfates ( $\text{SO}_4$ ), évoluent en dents de scie, ce qui témoigne de leur origine atmosphérique.

## Respiration de la savane : flux de gaz carbonique atmosphérique consommé par l'altération des roches

### Dynamique de l'érosion chimique



**Flux d'éléments dissous exportés par le fleuve**

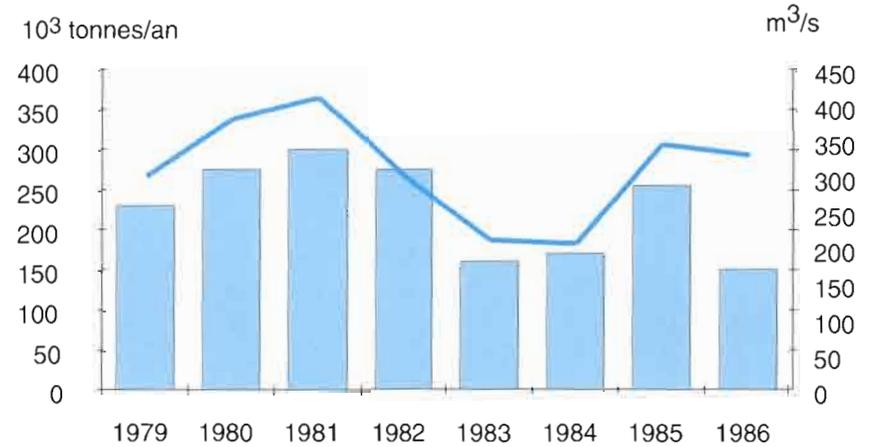
La dynamique actuelle de l'altération chimique sur le haut bassin du fleuve se traduit par la formation de sol à kaolinite.

L'altération des sols livre essentiellement des bicarbonates et de la silice.

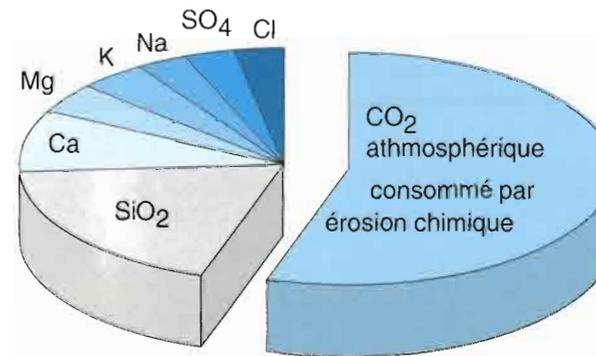
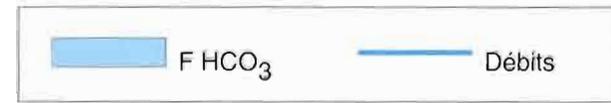
La transformation des roches en sols à kaolinite consomme du gaz carbonique d'origine atmosphérique.

Plus la teneur en bicarbonate est forte plus le bassin versant consomme de gaz carbonique.

Cette consommation de gaz carbonique peut être connue par l'évaluation des teneurs en CO<sub>2</sub> dans l'eau.



**Évolution interannuelle des flux de bicarbonates et des écoulements**



**Contribution des flux de gaz carbonique atmosphérique dans la charge dissoute des eaux fluviales**

Ainsi, les bicarbonates présents dans l'eau sont les "marqueurs" de l'érosion chimique.



# Le lac de Guiers

Collaboration : Ucad



Le lac de Guiers et la région du delta du Sénégal

Le lac de Guiers est alimenté par le fleuve Sénégal. D'un volume de 600 millions de m<sup>3</sup>, il approvisionne les cultures irriguées voisines et assure 20% des besoins de la ville de Dakar.

Ce programme de recherche mené au lac de Guiers a pour objet :

- \* d'étudier les effets du barrage de Diama (1985) sur l'hydrologie du lac et la qualité de ses eaux ;
- \* de développer deux modèles de gestion des eaux, quantitatif et qualitatif.

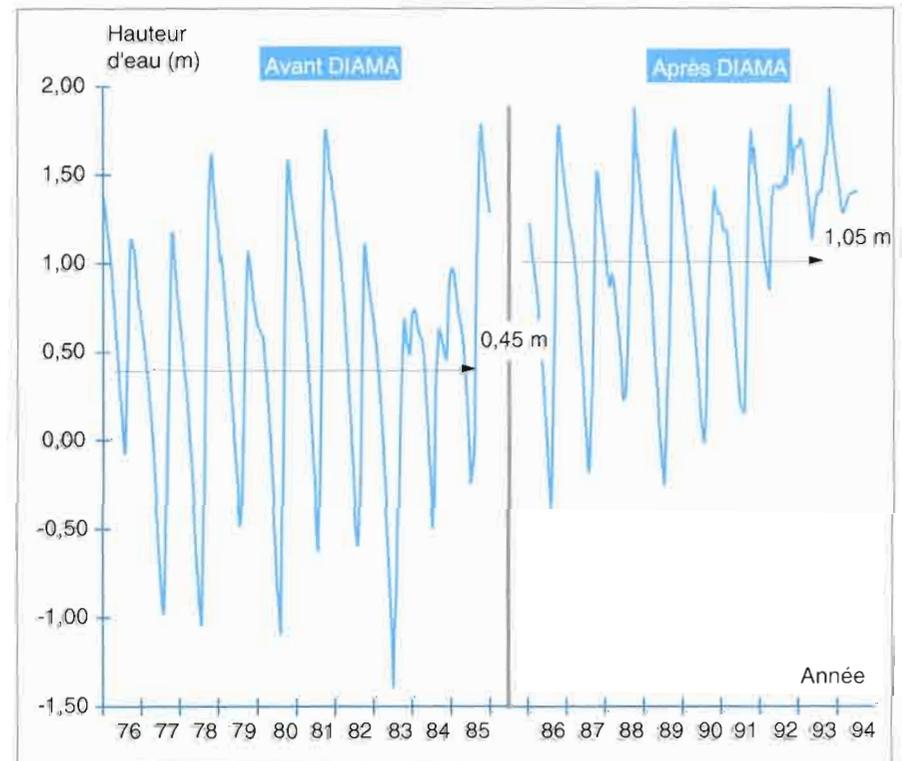
## Les effets du barrage de Diama

Depuis 1986, les niveaux moyens annuels des eaux du lac sont plus élevés et les variations de hauteur d'eau bien moindres.

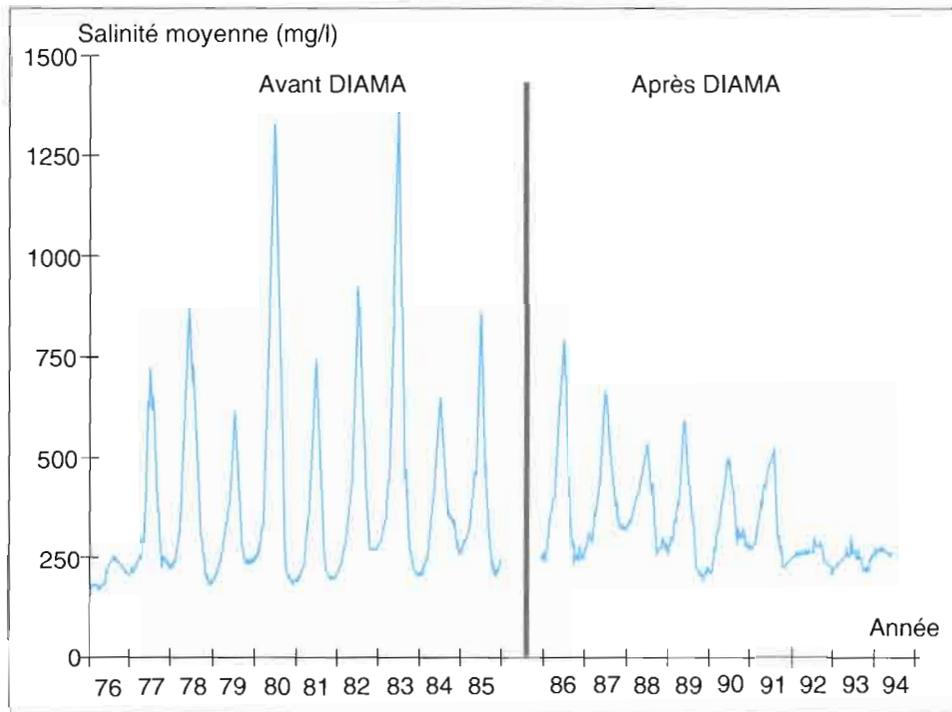
La régularisation des débits fluviaux empêchera désormais l'assèchement quasi complet du lac, comme cela s'est produit en 1981 et 1983.

La culture traditionnelle de décrue a été progressivement abandonnée depuis 1988, à cause de la stabilisation du niveau des eaux. L'adaptation des riverains à la culture irriguée est parfois problématique et fait souvent obstacle au développement agricole.

Avant 1986, l'assèchement périodique du rivage freinait le développement de la végétation aquatique. Ce n'est plus le cas aujourd'hui. *Typha australis* et *Pistia stratiotes*, en pleine expansion, posent des problèmes : frein au déplacement de l'eau et à la pratique de la pêche, prolifération d'insectes vecteurs de maladies, refuges pour les oiseaux ravageurs de cultures.



Évolution du niveau d'eau du lac depuis 1976



Évolution de la salinité des eaux

Cliché François-Xavier Cogels



*Pistia stratiotes*

Depuis 1986, les nouvelles conditions hydrologiques du lac ont fortement atténué les variations annuelles de salinité de ses eaux.

Par contre, leur salinité moyenne a peu diminué à cause des rejets des eaux de drainage des cultures irriguées.

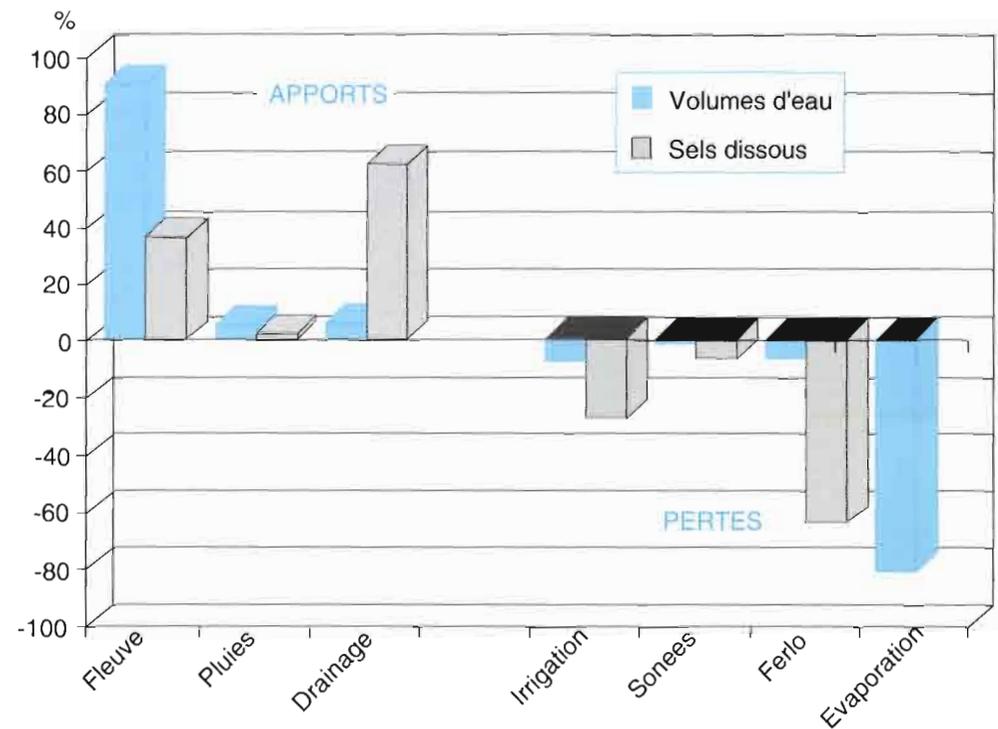
Les conditions plus favorables de salinité et la stabilisation des niveaux favorisent la prolifération très rapide d'espèces végétales aquatiques.

Le fleuve assure 90% du total des apports au lac.

L'évaporation provoque 82% des pertes, soit 2,25 m par an, ou 12 m<sup>3</sup>/s ou encore près de quatre fois la consommation d'eau de Dakar. Une gestion rationnelle et économe des eaux nécessite de limiter la surface évaporante du lac en gérant ses niveaux d'eau en cours d'année.

Les eaux de drainage des cultures irriguées apportent 62% des sels dissous. Les lâchers vers la vallée du Ferlo totalisent 65% des pertes en sels.

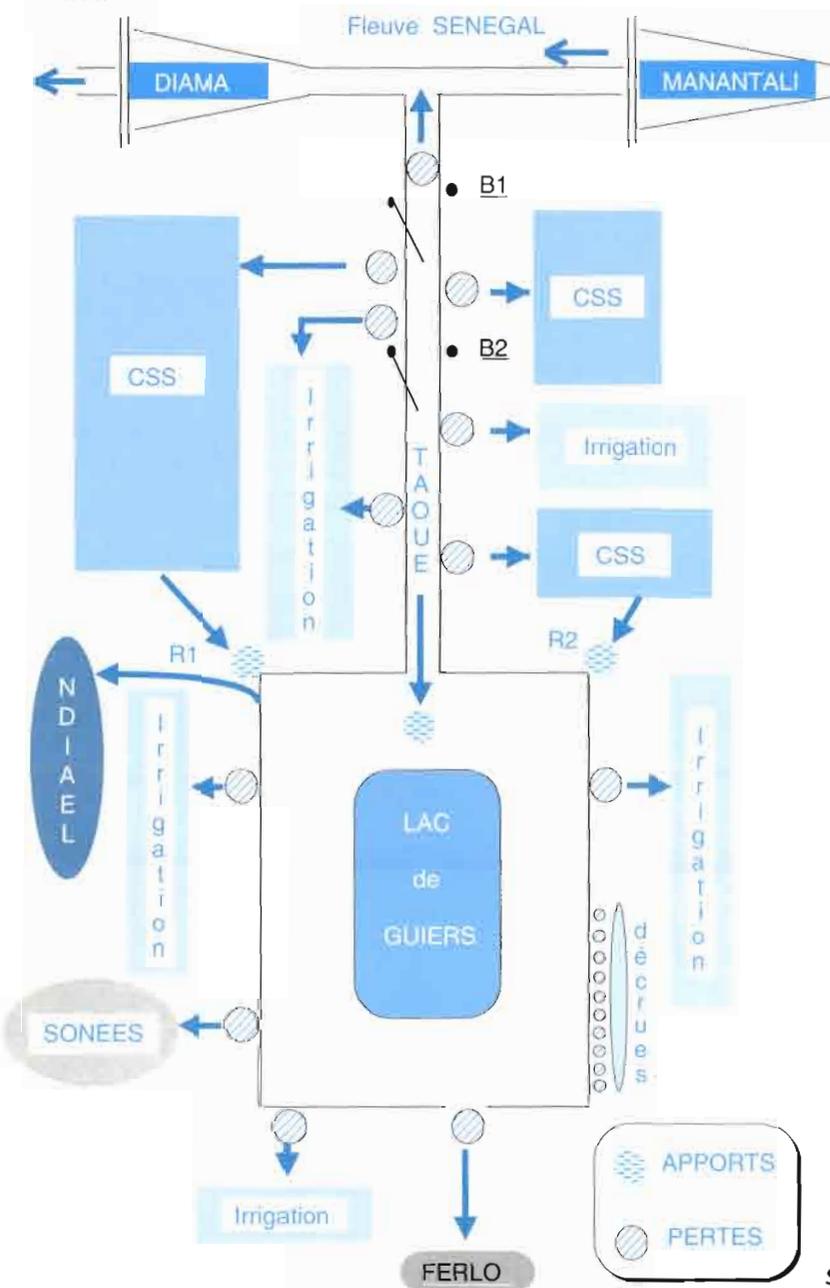
L'effet qualitatif respectif des différents paramètres entrées-sorties d'eau a été précisé grâce à l'utilisation d'un modèle mathématique adapté.



Bilan des entrées et sorties d'eau et sels dissous



## Gestion quantitative



La multiplicité des utilisateurs des eaux du lac rend sa gestion assez complexe. La mise en service possible du canal de Cayor nécessitera une gestion précise du réservoir pour satisfaire les besoins de ses utilisateurs en fonction des disponibilités d'eau dans le fleuve.

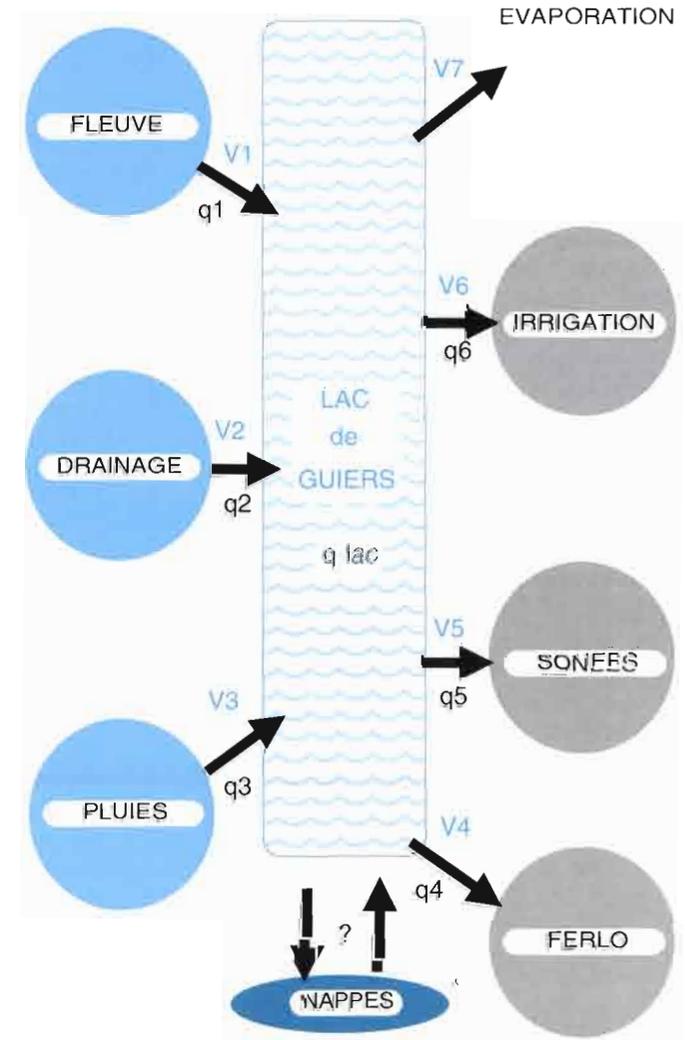
Le modèle de gestion quantitative des eaux simule l'évolution des hauteurs d'eau du lac en cours d'année en fonction des différents termes d'entrées et de sorties du bilan hydrologique.

Il calcule aussi les apports du fleuve nécessaires pour imposer au lac une évolution annuelle de son niveau qui peut être adaptée au calendrier cultural des terres de décrue.

Cette gestion pourrait combiner les avantages d'une variation annuelle du niveau suffisante tout en limitant la surface évaporante du plan d'eau.

Schéma des utilisateurs des eaux du lac

## Gestion qualitative



Modèle de gestion globale des eaux

L'évolution annuelle de la qualité des eaux du lac de Guiers (q lac) est complexe vu le grand nombre de paramètres entrant en jeu : qualité chimique (q) et volume (V) des différents paramètres d'entrées et de sorties d'eau. L'évaporation joue de plus un rôle très important dans la concentration des sels dissous.

La gestion qualitative des eaux nécessite l'emploi d'un modèle pour préciser l'impact de divers paramètres hydrologiques sur la salinité du lac : l'augmentation des pompages, le type de gestion des hauteurs d'eau ou la diminution des rejets d'eau de drainage.

Actuellement, l'évolution de la salinité des eaux du lac est conditionnée surtout par :

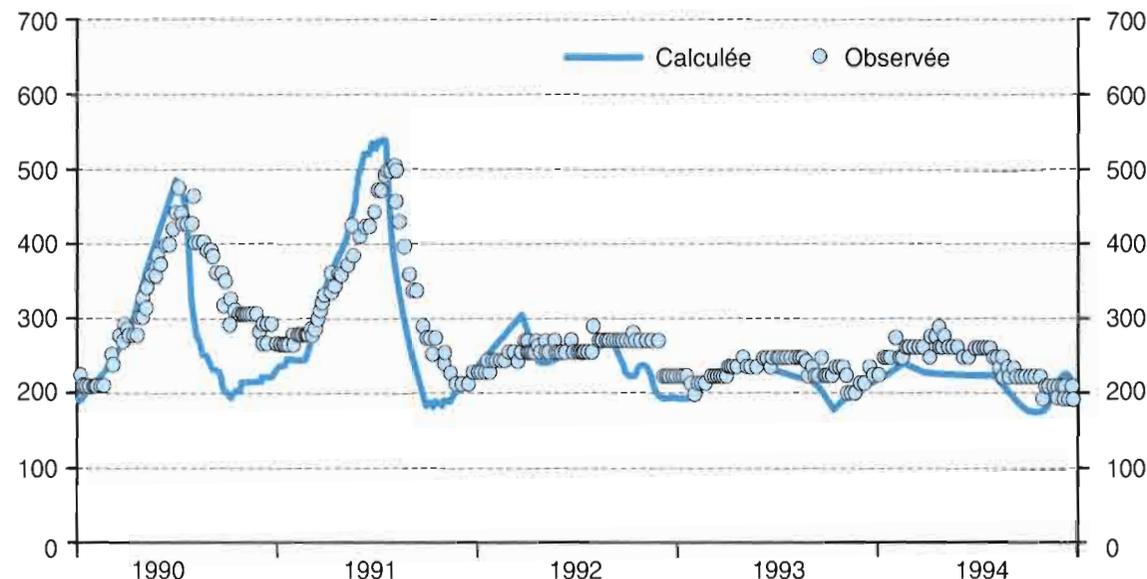
- \* les rejets dans sa zone nord des eaux de drainage très minéralisées de la Compagnie sucrière sénégalaise (CSS) ;

- \* les lâchers d'eau vers la vallée du Ferlo à partir de son extrémité sud, effectifs depuis 1989.

L'utilisation combinée des modèles qualitatif et quantitatif doit permettre une gestion intégrée optimale des eaux du lac.

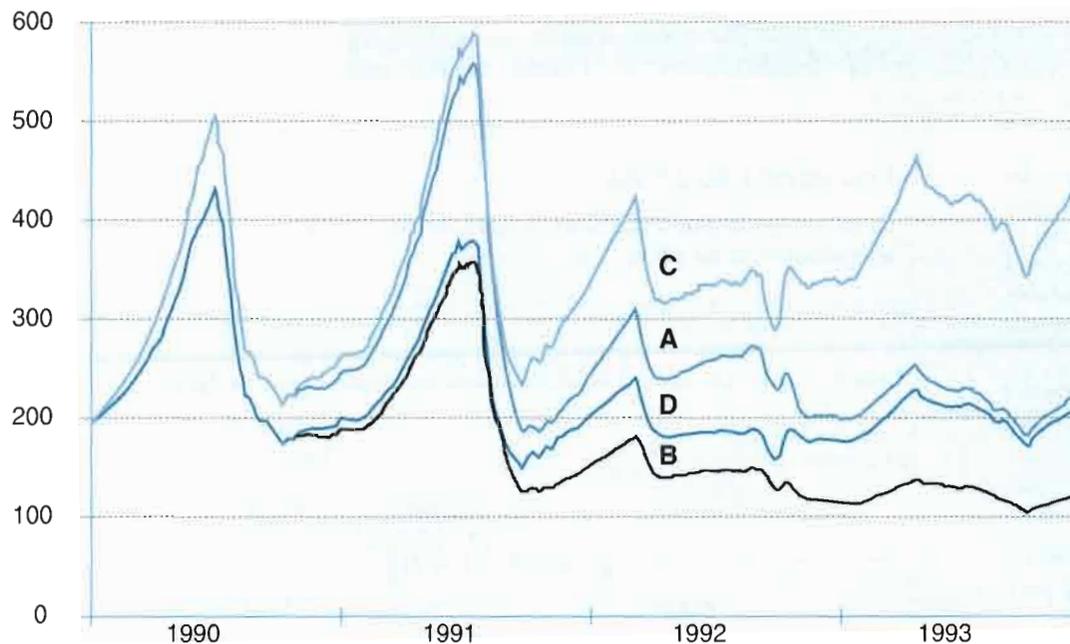
Le modèle de gestion qualitative des eaux permet aussi de prédire les effets des modifications du fonctionnement hydrologique du lac.

Salinité (mg/l)



Comparaison de l'évolution de la salinité des eaux mesurée dans le lac à celle calculée par le modèle.

Salinité moyenne (mg/l)



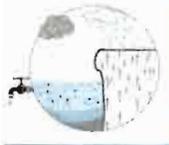
Simulation par le modèle de quatre évolutions différentes de la salinité des eaux durant la période 1990-1993, en fonction de 4 options de gestion hydrologique :

- \* simulation A : conditions réelles de la période 1990-1993 ;

- \* simulation B : suppression des rejets de la CSS dans le lac (baisse rapide de la salinité) ;

- \* simulation C : suppression des lâchers vers la vallée du Ferlo (augmentation rapide de la salinité) ;

- \* simulation D : suppression simultanée des rejets et lâchers.



Cliché Bernard Mougenot

Vent de sable précédant une tornade au sud de Richard-Toll, le 29/07/1988.

Le phénomène des brumes sèches est devenu un événement climatique majeur au Sénégal. Son extension géographique, son intensité et sa fréquence l'apparentent à une véritable "pollution atmosphérique" qui peut avoir des conséquences néfastes dans divers domaines :

- \* modifications du bilan radiatif (moindre utilisation de l'énergie solaire) et réduction de la visibilité ;
- \* accroissement des sédiments fluvio-lacustres ;
- \* appauvrissement des zones sources ;
- \* fertilisation des sols des régions péri-sahariennes ;
- \* problèmes sanitaires.

### Les zones sources

Le Sahara est la plus importante source de poussières atmosphériques du globe.

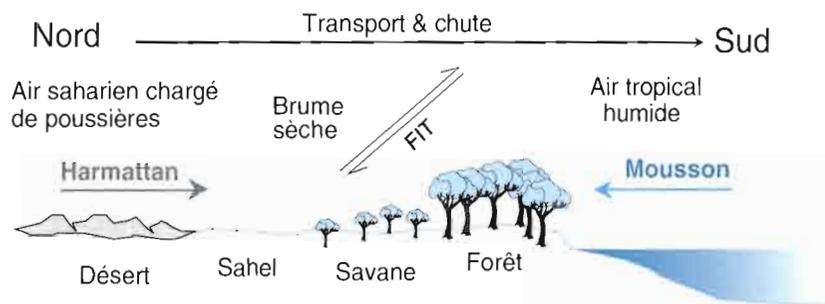


Schéma de circulation des poussières atmosphériques

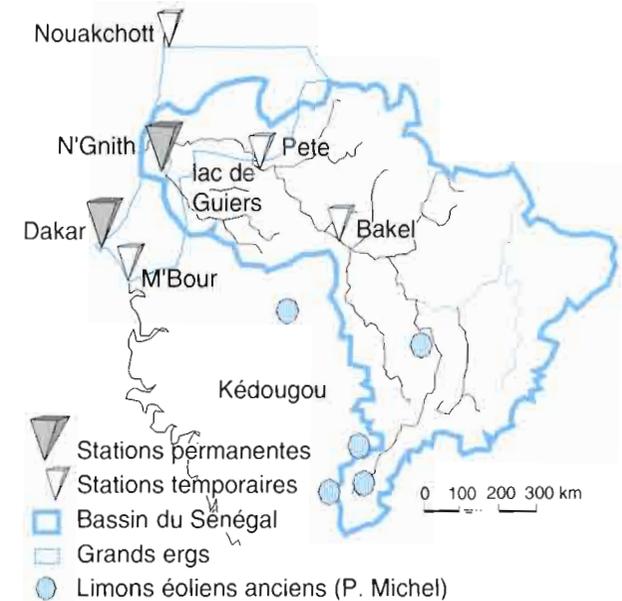
## Brumes sèches et poussières éoliennes

### Les méthodes de mesure

Le capteur d'aérosols utilisé au laboratoire de l'Orstom de Dakar, placé à 5 mètres au-dessus du sol, consiste en une cuve pyramidale renversée en plexiglass, de 40 cm de hauteur, avec une base carrée de 0,25m<sup>2</sup>. La cavité réceptrice est lavée à l'eau distillée, chaque jour vers 07 h 0 TU. Les poussières sont ensuite recueillies au laboratoire sur filtre millipore de 0,45 µm de porosité, puis séchées à 70°C et pesées. Les données sont exprimées en g/m<sup>2</sup>/jour.



Cliché Jean-Yves Gac



Sites d'échantillonnage des poussières éoliennes

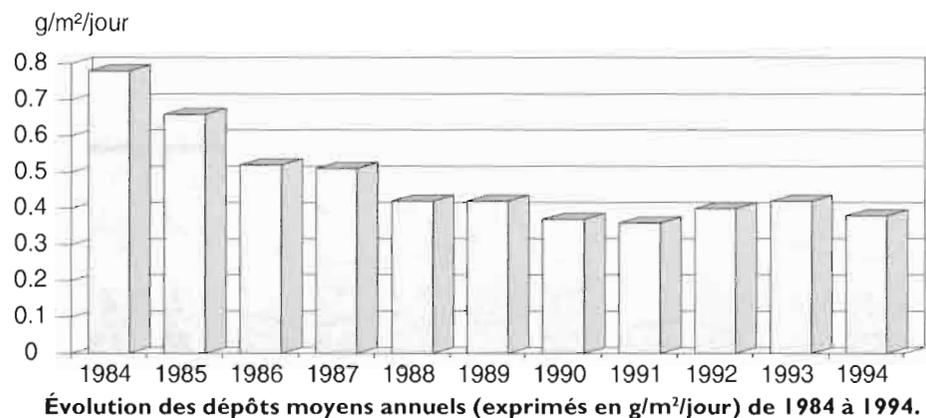
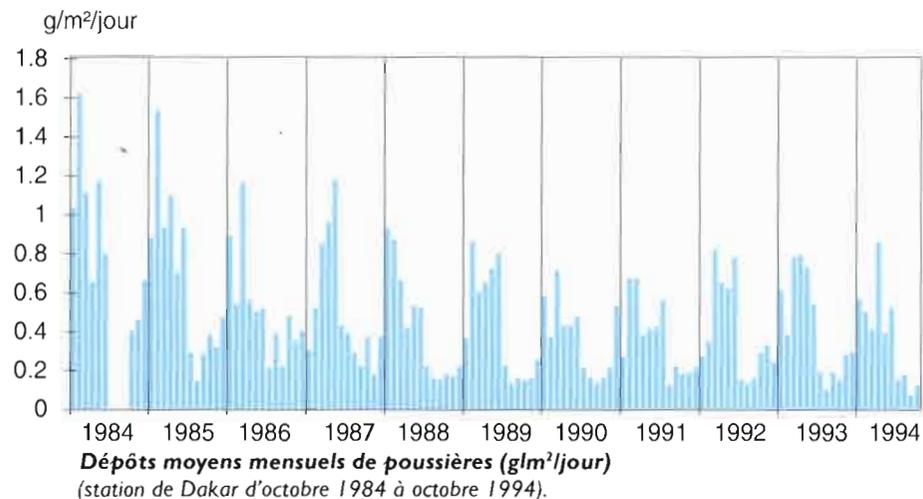
## Les mécanismes météorologiques

Le soulèvement des sables serait associé, par ordre d'importance quantitative :

- \* à des perturbations d'origine tempérée de type invasion polaire ou descentes froides, pendant l'hiver boréal ;
- \* à la migration de la Zone inter-tropicale de convergence (ZITC)<sup>(1)</sup> pendant l'été boréal.

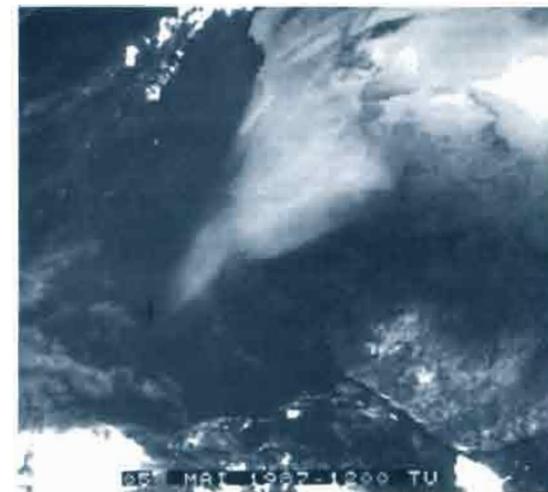
## Sédimentologie

La participation des poussières éoliennes à la sédimentation dans le lac de Guiers est du même ordre de grandeur que l'apport de sédiments par le fleuve en crue.



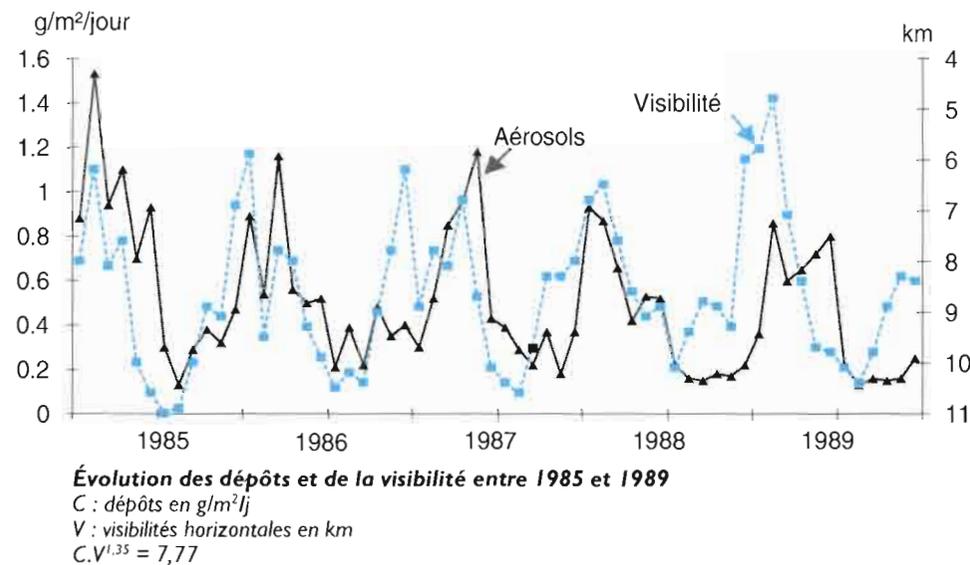
**Panache de poussières sur le Sénégal - 5 mai 1987 ;** dépôts enregistrés au sol :  $5 \text{ g/m}^2$  (plus de 1.000 tonnes de sable en une seule journée sur la presque-île du Cap-Vert).

La vérité sol ne correspond pas toujours à l'importance du panache détecté par le satellite.



## Poussières et visibilité

On a constaté que la visibilité horizontale et les dépôts de poussière suivent le même rythme annuel. L'analyse statistique de 760 couples de mesures quotidiennes a permis d'établir une relation d'interdépendance entre les deux paramètres.

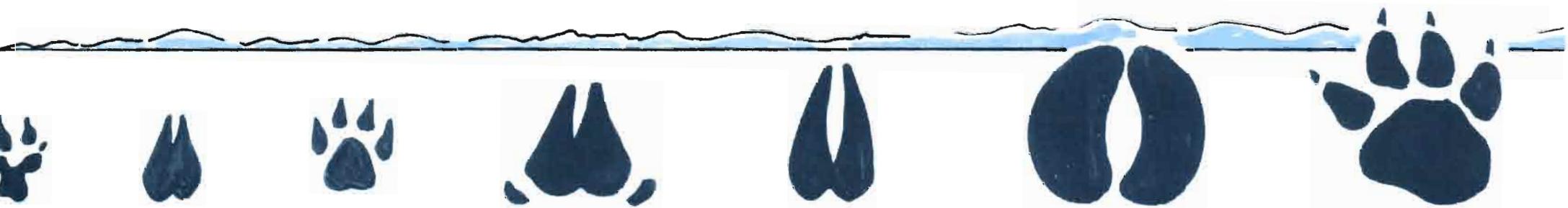


On a ainsi pu estimer les quantités de poussières déposées depuis 1962 en effectuant des mesures de visibilité à l'aéroport de Dakar-Yoff.

<sup>(1)</sup>Voir aussi : Les ressources en eau ; Connaître la ressource ; La pluie, p. 94  
Les outils de la recherche ; Utis..., p. 236

# La faune,

## l'homme et leur milieu





Peinture : Aboubacar Yaya Zachary Cliché : Difco photo Dakar



L'écologie animale est l'étude des animaux en relation avec le milieu dans lequel ils vivent et se reproduisent. Au Sénégal, les recherches sont centrées particulièrement sur les rongeurs, les oiseaux, les primates, les nématodes.

Ces recherches ont plusieurs objectifs :

- \* comprendre le fonctionnement des écosystèmes, ou unités écologiques de base formées par le milieu et les organismes animaux et végétaux qui y vivent ;
- \* protéger et conserver la biodiversité ;
- \* gérer les équilibres naturels : par exemple aide à la création et à la gestion de parcs nationaux (Niokolo Koba, Djoudj), avec la participation des populations locales ;
- \* formuler des recommandations aux projets d'aménagements ;
- \* permettre l'utilisation durable des ressources naturelles ;
- \* étudier les animaux nuisibles à l'agriculture : rongeurs, oiseaux, nématodes, insectes ;
- \* comprendre l'origine et les mécanismes de transmission de certaines maladies à l'homme ou à ses animaux domestiques et rechercher des moyens de lutte efficaces et économiques.

Les recensements effectués ont permis de pratiquer des inventaires faunistiques et taxonomiques détaillés (identification, dénombrement). Les premiers inventaires ont été effectués à partir des années 50 pour les oiseaux et de la fin des années 80 pour la grande faune, particulièrement dans les parcs nationaux.

Par la suite, des travaux sur la dynamique des populations (natalité, mortalité, reproduction, mobilité, alimentation) ont soulevé les problèmes d'adaptation des animaux à l'évolution du milieu et souligné les modifications de comportements, de régime alimentaire, de l'organisation sociale. Ils ont abouti à la compréhension de la fragilité du milieu naturel et des multiples facteurs intervenants.

Des modèles prévisionnels anticipant les pullulations sont établis à partir de cycles d'évolution des différentes espèces.

L'écologie animale a consacré une grande partie de ses recherches à la protection des cultures par l'élaboration de moyens de lutte efficaces.

## La recherche en écologie animale

- Gestion rationnelle et durable des ressources naturelles
- Cycle d'évolution du milieu



## Les rongeurs



## L'ornithologie



## Recensements d'oiseaux



## Recensements de faune en milieu terrestre



## La primatologie



## La nématologie





# La recherche en écologie animale



Gestion rationnelle et durable  
des ressources naturelles

## Thématiques de la recherche

- \* Protection des cultures
- \* Santé
- \* Conservation de la faune

## Observer

- \* Inventaires, recensements
- \* Milieux fréquentés
- \* Comportements alimentaires
- \* Reproduction
- \* Évaluation des dégâts, identification des espèces responsables

## Transférer

- \* Suivi de la gestion
- \* Formation, conseil
- \* Valorisation

## Comprendre

- \* Compréhension du déterminisme des phénomènes
- \* Modélisation, plan de gestion

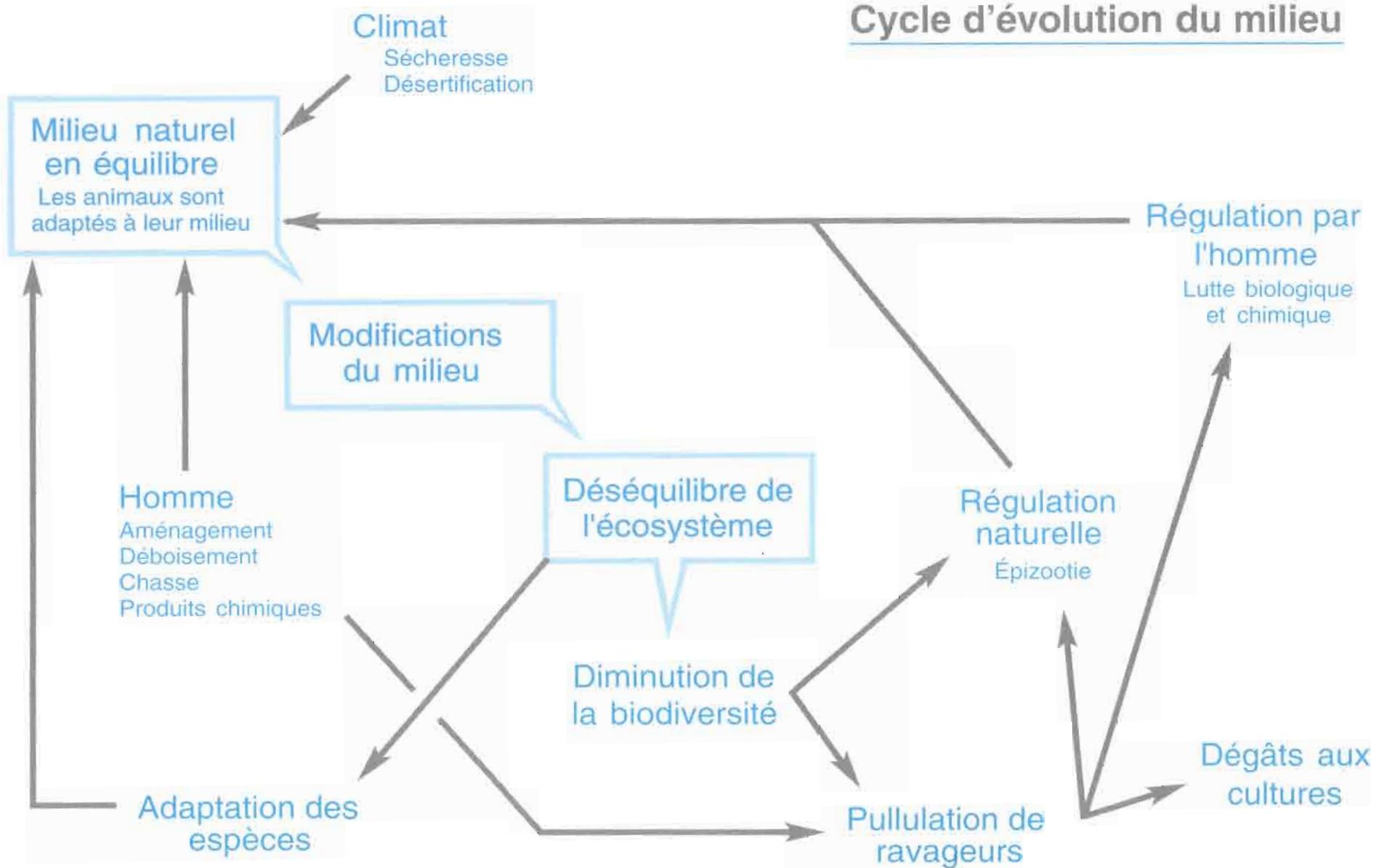
## Décrire

Étude des mécanismes de dynamique des populations (natalité, mortalité, mobilité, alimentation, cycles annuels et pluriannuels d'abondance)

Détermination des facteurs limitants :

- \* pour la conservation des espèces menacées
- \* pour la lutte contre les prédateurs

## Cycle d'évolution du milieu





# Les rongeurs

Collaborations : Institut Pasteur de Dakar, Ucad, Isra, Université de Montpellier

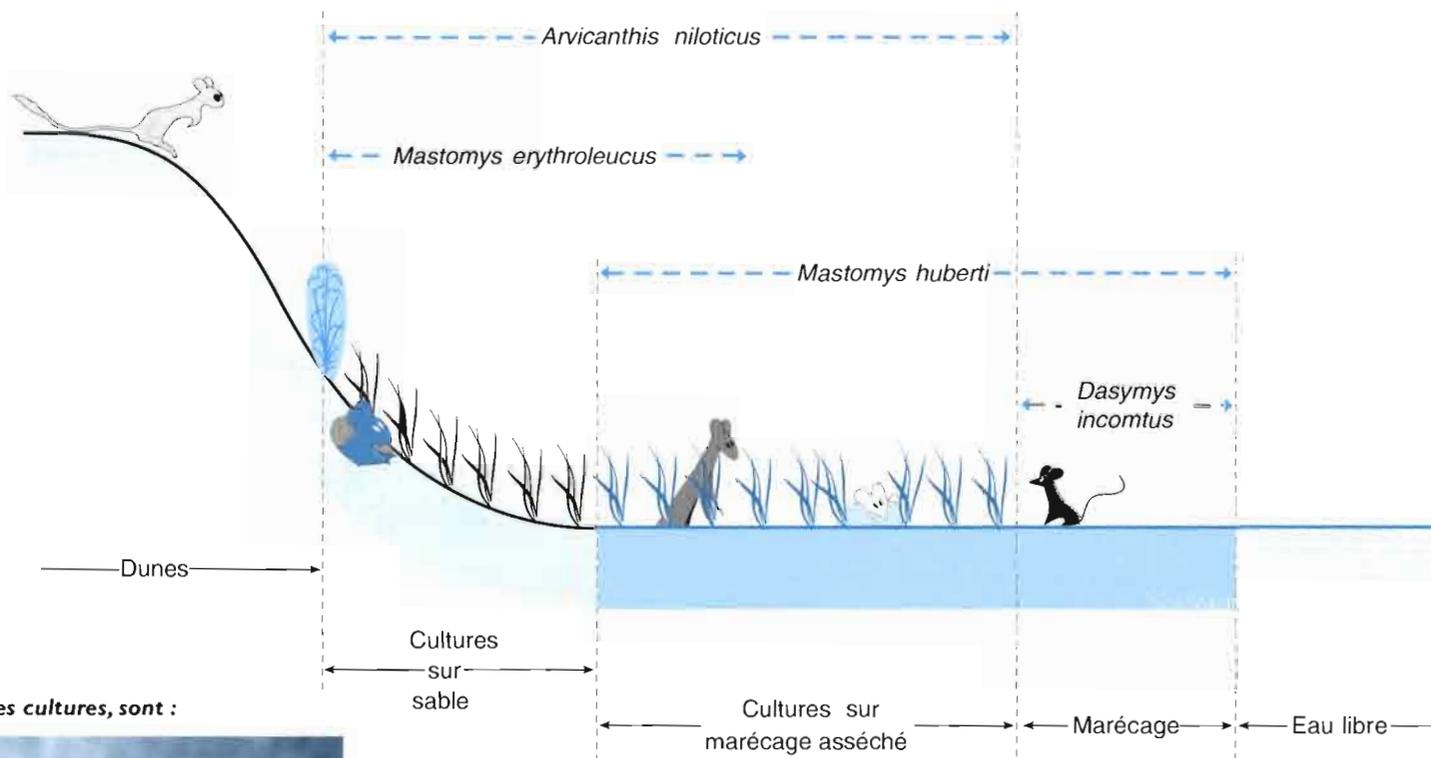
----- Gerbillidés ----->

Dans le monde entier, les rongeurs sont considérés comme d'importants ravageurs de cultures. Leurs pullulations ont des conséquences particulièrement catastrophiques pour le développement agricole des pays de la zone tropicale.

A la fin des années 50, à la demande de plusieurs états ouest-africains, l'Orstom entreprend des recherches sur certaines espèces responsables des ravages dans les plantations de ces pays.

Les recherches ont commencé par un inventaire général des rongeurs en fonction de leur milieu.

Dans les années 70-80, d'importants programmes sont lancés sur les rongeurs de la zone sahélo-soudanaise. Les cultures irriguées et les aménagements hydro-agricoles favorisent le haut niveau de densité de rongeurs.



Les deux espèces les plus importantes, du point de vue des cultures, sont :



Cliché Laurent Granjon/MNHN

*Mastomys huberti*



Cliché Francis Petter/MNHN

*Arvicanthis niloticus*

Coupe d'une niaye (zone de cultures maraîchères) avec répartition des principales espèces selon un gradient de l'eau à la dune.

Les études ont porté sur :

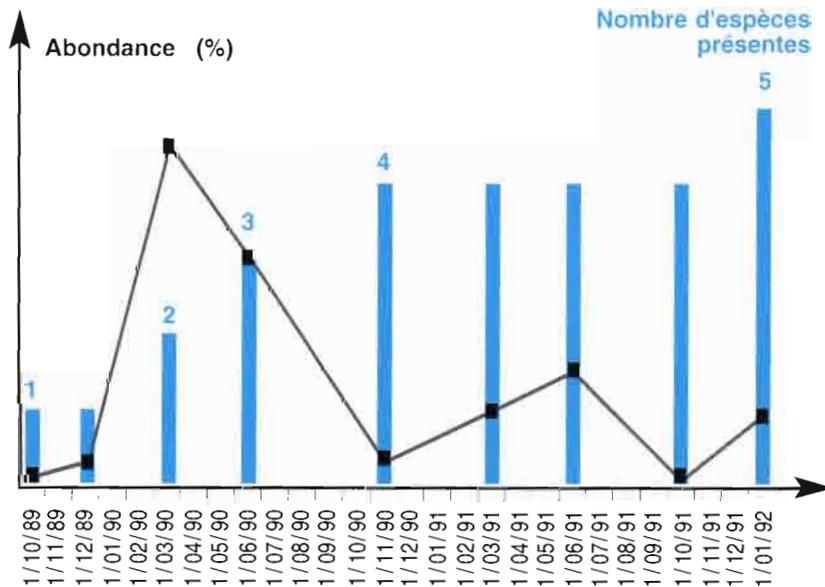
- \* la dynamique de la population : reproduction, alimentation, prédation, cycle d'abondance. Ces recherches ont abouti à une bonne connaissance des cycles naturels des rongeurs, à la compréhension des phénomènes de pullulation et ont permis l'élaboration de modèles prévisionnels simples utilisés dans la lutte agricole ;
- \* la génétique et la systématique des espèces, afin d'évaluer la capacité d'adaptation des rongeurs à leur milieu.

Un programme de recherche sur le rôle joué par les rongeurs dans le cycle naturel de la bilharziose a également été réalisé<sup>(1)</sup>.

(1) Voir aussi : Santé et nutrition des populations ; Les maladies transmises par des vecteurs : la bilharziose, p. 202

## Adaptation des rongeurs aux modifications du milieu

Les modifications du milieu naturel ont des conséquences importantes sur les comportements des rongeurs et leur répartition spatiale.

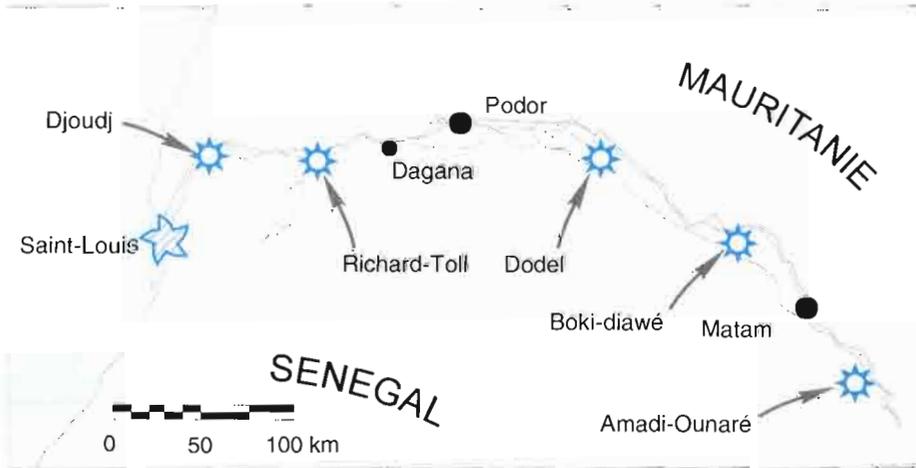


**Évolution de l'abondance des rongeurs (en % du rendement de piégeage) et du nombre d'espèces présentes sur un périmètre irrigué à Diomandou, durant trois ans à partir de sa mise en culture.**

Lors des semis, la présence de rongeurs sur le périmètre est presque nulle, une seule espèce est capturée (*Arvicanthis niloticus*). Après la première récolte de riz, une deuxième espèce apparaît (*Mastomys erythroleucus*) et les abondances augmentent considérablement (de 1% à 22% en trois mois). Par la suite, les abondances diminuent et deviennent fluctuantes. Le nombre d'espèces passe de un à quatre en un an, une cinquième espèce apparaît deux ans plus tard.



- Aire de répartition de *Mastomys huberti* jusqu'en 1986
- Extension de cette aire de répartition à la fin des années 80



- Disparition du Loir africain, *Graphiurus hueti*
- Apparition de trois espèces : *Gerbillus henleyi* et *Gerbillus pyramidum* (gerbilles), ainsi que *Jaculus jaculus* (gerboise)

**La sécheresse et la déforestation** dans la vallée ont entraîné la disparition d'une espèce arboricole : le loir africain (*Graphiurus hueti*). A la fin des années 80, on note l'apparition d'espèces désertiques auparavant inconnues au Sénégal : les gerbilles (*Gerbillus henleyi*, *Gerbillus pyramidum*) et les gerboises (*Jaculus jaculus*).

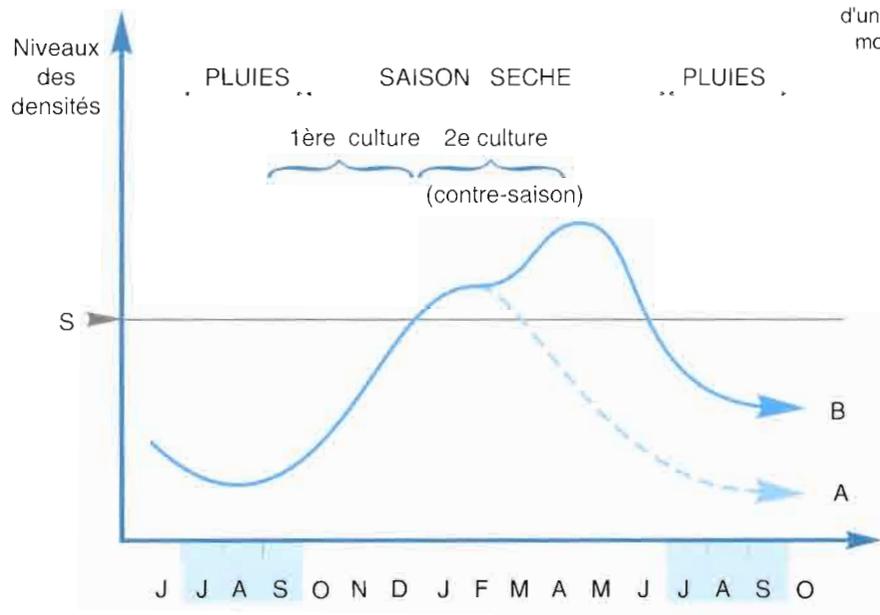
L'augmentation des surfaces de périmètres irrigués le long de la vallée du fleuve Sénégal a induit une augmentation de l'aire de répartition d'une espèce caractéristique des milieux humides : *Mastomys huberti*.



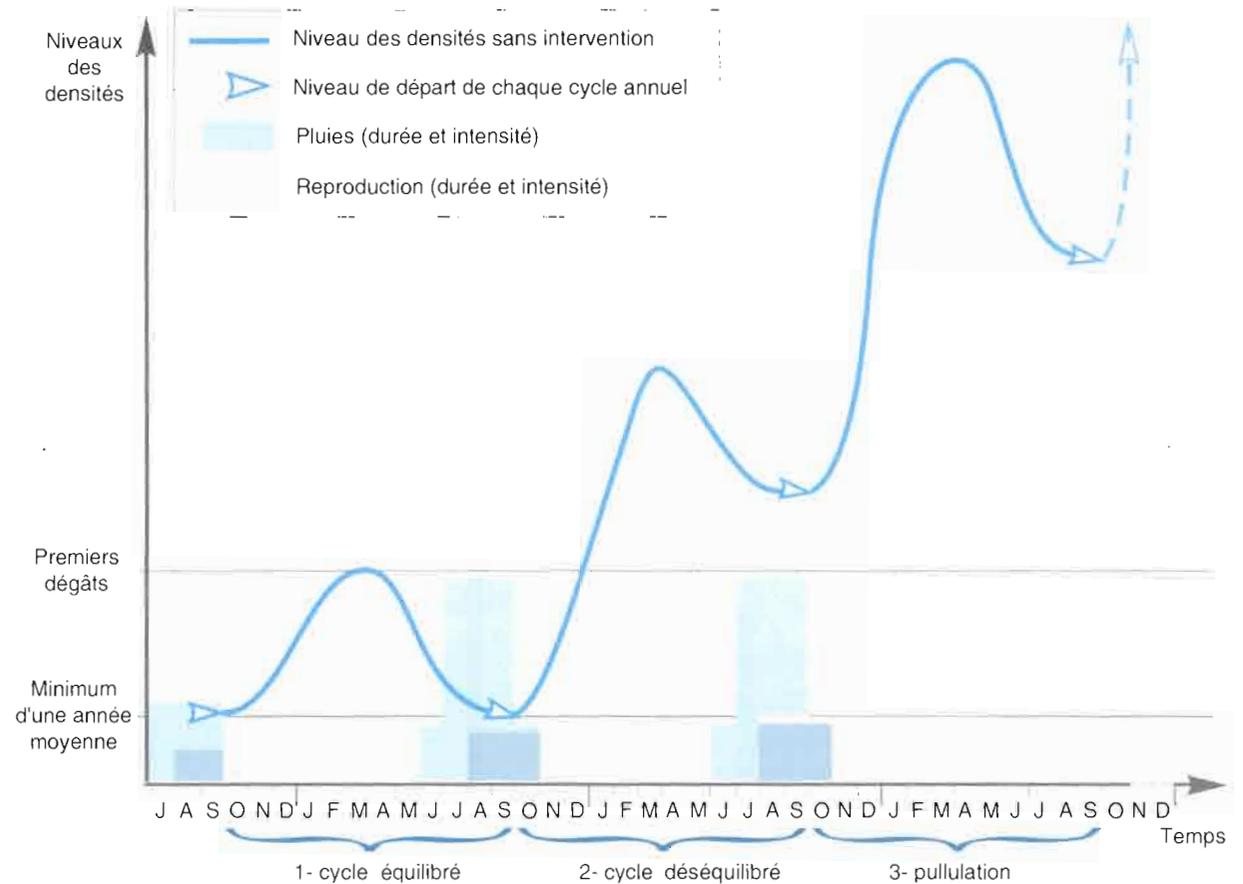
## Les pullulations de rongeurs

En Afrique intertropicale, la période de reproduction des rongeurs commence au début de la saison des pluies, lorsque la nourriture est plus abondante, et se maintient plus ou moins longtemps au cours de la saison sèche, en fonction des conditions climatiques.

Les cultures de contre-saison permettent aux rongeurs de vivre et de se reproduire plus longtemps. La saison de reproduction de l'année suivante débute donc avec des effectifs plus élevés, ce qui entraîne une augmentation globale de la population.



Cycle annuel d'abondance des rongeurs au Sahel



### Mécanisme de déclenchement d'une pullulation de rongeurs :

#### Cycle équilibré :

La reproduction commence avec la saison des pluies et s'arrête en décembre. Le maximum annuel est atteint peu après (février-mars) puis la population diminue jusqu'à la saison des pluies suivantes ;

#### Cycle déséquilibré :

Si les pluies sont plus abondantes que la moyenne et si la saison des pluies dure plus longtemps, la reproduction se poursuivra jusqu'en février-mars. Le maximum annuel est plus élevé que la normale, la diminution de population intervient plus tard et est moins importante. Le cycle annuel se termine alors à un niveau de densité beaucoup plus élevé ;

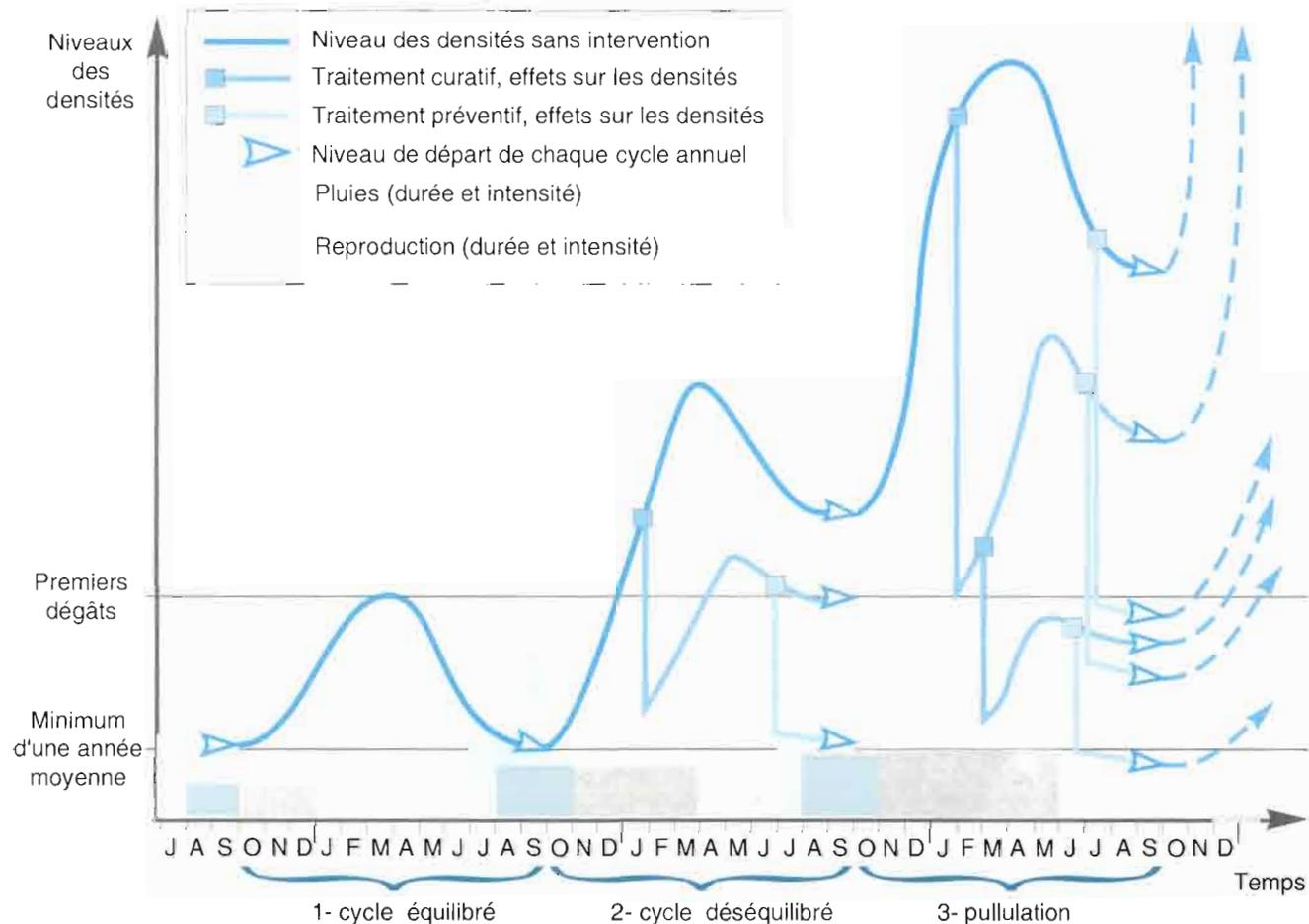
#### Pullulation :

Si deux ou plusieurs saisons des pluies exceptionnelles en intensité et en durée se succèdent, il y a un risque de pullulation. Le cycle annuel est toujours le même, mais avec des effectifs en début de saison de reproduction supérieurs à la normale, le phénomène est amplifié. Les petits rongeurs sont adultes entre 2,5 et 3 mois et les femelles peuvent mettre bas une portée toutes les trois semaines : la croissance de la population devient exponentielle.

## Protection des cultures

Les rongeurs des cultures ne révèlent leur présence que lorsqu'ils se livrent à des attaques spectaculaires ; en fait ils sont présents en permanence et prélèvent une part non négligeable des récoltes.

Pour qu'il y ait des dégâts sur une culture, il faut qu'un stade sensible de la végétation coïncide avec une augmentation des densités de prédateurs.



**Exemple des modifications des densités de populations** de petits rongeurs pour différentes actions de lutte menées par l'homme, dans le cas d'une pullulation.

Cliché Jean-Marc Duplantier



**La Compagnie sucrière sénégalaise (CSS), à Richard-Toll, et les périmètres irrigués aménagés pour la culture de la canne à sucre.**

De la connaissance approfondie des rongeurs et des modalités de la dynamique de leurs populations, découle l'élaboration des principes généraux d'une lutte efficace.

Il est possible d'agir :

- \* indirectement : lutte préventive pour préserver les cultures de l'année suivante, par des mesures appliquées aux cultures (brûlage et aménagements des calendriers culturaux en fonction des cycles de reproduction des prédateurs). On évite ainsi de fournir aux rongeurs des biotopes favorables pendant une durée permettant aux populations de s'accroître trop fortement ;

- \* directement : lutte curative par gaz toxiques ou différents types de pesticides et raticides, pour protéger les récoltes ou les stocks.

Il est aussi nécessaire de préserver les prédateurs naturels des rongeurs : chacal, chat, renard, mangouste, rapaces, échassiers, reptiles...

Participation scientifique : Jean-Marc Duplantier



# L'ornithologie

## Étudier les oiseaux dans leur milieu

Les différents programmes d'étude ont été conduits pour l'essentiel à partir de la station de Richard-Toll.

Les travaux initiaux d'inventaire général ont été réalisés par des amateurs d'après les observations de Michel Adanson (1757), puis par des professionnels de l'Ifan (à partir de 1945). Ils se sont enrichis dès 1953 d'études écologiques (migrations, régimes alimentaires, influence du milieu sur les pontes, facteurs de pullulation) sur des oiseaux granivores tels que les Colombidés, le Mange-mil (*Quelea quelea*) ou encore le Moineau doré.

Plus récemment, une attention particulière a été accordée aux canards ravageurs de rizières ainsi qu'à la conservation de l'avifaune. Les données recueillies ont apporté des informations sur les différentes espèces et ont permis la constitution d'une précieuse collection d'oiseaux naturalisés (3.000 peaux), aujourd'hui conservée à la station de Mbour.



Cliché Bernard Tréca

Le Parc national des oiseaux du Djoudj, l'un des plus beaux au monde pour les oiseaux d'eau

**Collaborations :** Ifan, Direction des eaux et forêts chasse et conservation des sols, DPN, Saed, Isra, DPV, Muséum national d'histoire naturelle de Paris, Cipo, ONC-CIC, Bureau international de recherches sur les oiseaux d'eau, IWRB, UICN

## Méthodes d'étude

- \* les recensements des populations et les inventaires des espèces sont souvent complétés par les dates de présence des oiseaux migrateurs, leurs nombres, les dates de reproduction des oiseaux résidents. La collection de peaux permet l'amélioration de la classification d'espèces ou de sous-espèces, la comparaison d'oiseaux de différents pays ou régions, la biométrie ;
- \* l'étude des régimes alimentaires des oiseaux et de leurs besoins énergétiques, permet de connaître leur place dans l'écosystème et les facteurs qui limitent les populations. La connaissance de ces facteurs limitants est indispensable pour lutter contre une pullulation d'oiseaux déprédateurs, ou pour la conservation d'espèces menacées ;
- \* l'étude de la dynamique des populations et son contrôle ;
- \* la compétition interspécifique (partage de ressources alimentaires entre les oiseaux résidents et migrateurs) et intraspécifique ;
- \* le suivi des migrations par le baguage des oiseaux (évolution des populations migratrices) ;
- \* l'étude de l'impact des oiseaux sur le milieu (apport local de fertilisants, dissémination des graines d'arbres) ;
- \* la détermination d'espèces indicatrices de l'état de santé des écosystèmes.

Cliché Bernard Tréca



**Bien que grands consommateurs de riz**, les Chevaliers combattants ne provoquent pas de dégâts sur les rizières déjà récoltées.

La grue couronnée est de plus en plus menacée en Afrique de l'Ouest



Les modifications du milieu naturel (aménagement, déforestation...) créent des conditions de vie qui ne lui sont plus favorables

Actuellement, on cherche à déterminer les facteurs nécessaires à sa conservation

Les études portent sur le recensement des populations, l'observation des comportements et le suivi de la reproduction

Sa présence nous renseigne sur l'état de santé de l'ensemble de l'écosystème :  
C'est un "indicateur biologique"

## But des études ornithologiques

- \* le maintien ou le rétablissement d'un équilibre de l'écosystème ;
- \* la protection des cultures ;
- \* la conservation de la faune, particulièrement dans les parcs et réserves (par exemple le Parc national des oiseaux du Djoudj) mais aussi sur tout le territoire du Sénégal : études d'impact d'aménagements hydro-agricoles (barrages anti-sel de Casamance, Isra-USAID), importance des petites aires protégées pour la biodiversité.

Cliché Bernard Tréca



Hérons noirs et Ibis tantales, en Casamance



Cliché Bernard Tréca



Rizières aménagées

## Adaptations des oiseaux aux modifications du milieu

Les modifications du milieu peuvent avoir différentes origines :

- \* le climat (sécheresse, désertification) ;
- \* les bouleversements apportés par l'homme : chasse, déforestation, aménagements des cours d'eau (barrages, rizières), changements des pratiques agricoles (façons culturales, lutte contre les déprédateurs).

Par son action sur le milieu, l'homme crée des déséquilibres. Il s'ensuit une perte de la biodiversité. Les espèces qui survivent sont celles qui sont capables de s'adapter aux modifications du milieu.

Deux exemples montrent l'évolution extrême des comportements des oiseaux face aux aménagements hydro-agricoles (rizières et cultures de contre-saison) :

### • Le Travailleur à bec rouge ou "Mange-mil", *Quelea quelea*

Grand déprédateur des cultures, il se nourrit habituellement de graines de plantes herbacées qui fructifient pendant et en fin de saison des pluies. À la fin de la saison sèche, il lui est plus difficile de trouver de la nourriture.

L'aménagement des champs de mil et de riz (produisant en abondance de grosses graines faciles à récolter), la mise en place des cultures de contre-saison (cultures de saison sèche), sont profitables aux oiseaux : l'augmentation de la quantité de nourriture disponible entraîne la diminution de leur mortalité naturelle et une amélioration de leur état physiologique. L'explosion démographique qui en découle peut causer des dégâts importants aux cultures.

Cliché Bernard Tréca

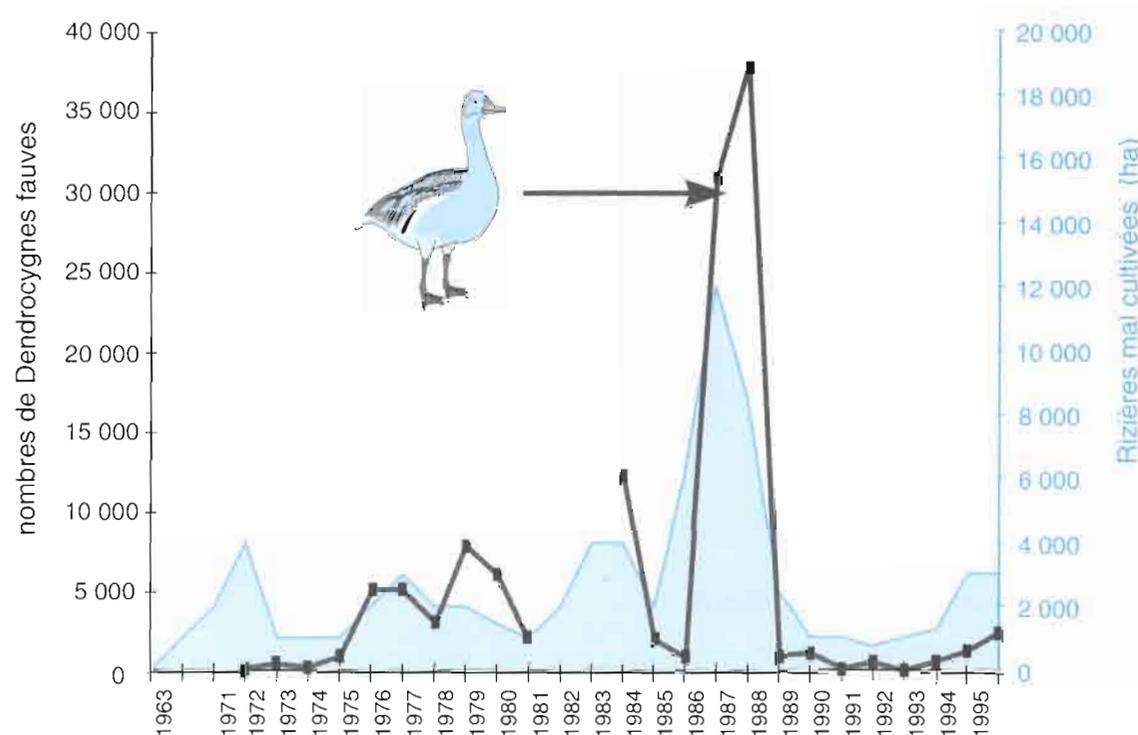


Vol de Travailleurs à bec rouge dans les rizières

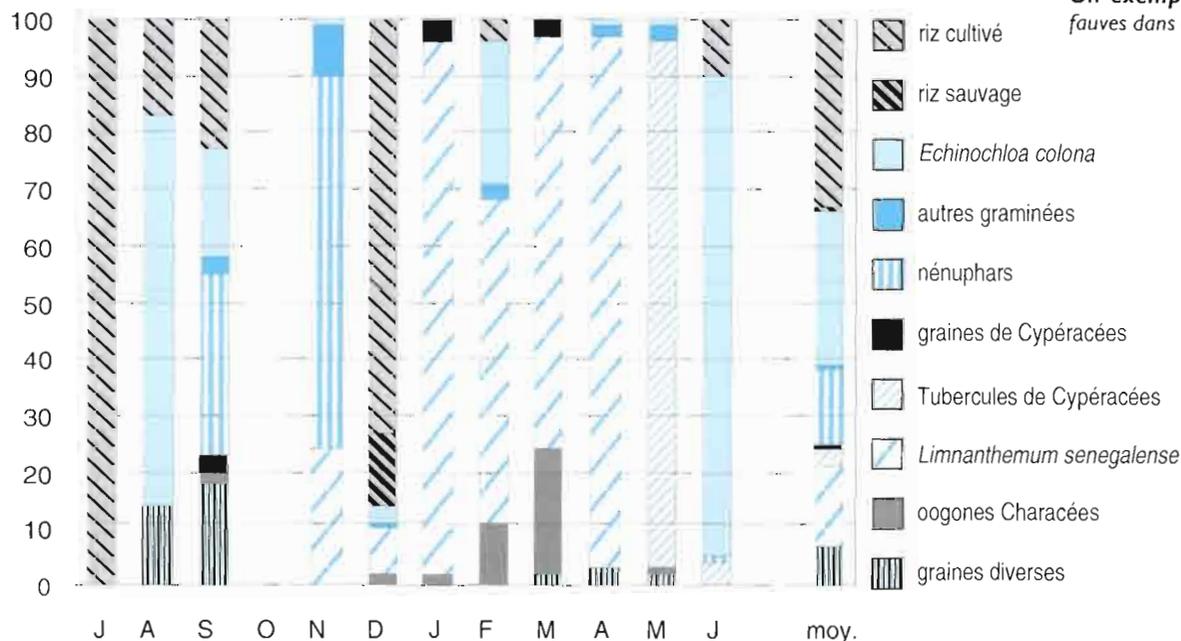
### • Le Dendrocygne fauve

L'amélioration des pratiques culturales a réduit les zones d'eau libre et d'herbes adventices des rizières qui fournissaient lieux de repos et de nourriture à certains canards, favorisant ainsi leur multiplication. Ces aménagements risquent de compromettre leur survie, particulièrement en ce qui concerne les Dendrocygnes fauves.

Les recherches doivent aboutir à l'élaboration de plans de gestion des zones humides garantissant un certain équilibre entre la protection des cultures et la conservation de la faune.



Un exemple d'adaptation aux rizières : évolution des populations de Dendrocygnes fauves dans le delta du Sénégal parallèlement au développement des rizières.



Régime alimentaire des Dendrocygnes fauves dans le delta du Sénégal.

### La lutte contre les oiseaux ravageurs de cultures

Plusieurs méthodes peuvent être adoptées pour lutter contre les pullulations d'oiseaux :

\* l'amélioration des pratiques culturales (bon planage, maîtrise de l'eau, désherbage soigné) ;

\* les traitements avicides aériens ou terrestres pour contrôler les populations, tout en tenant compte :

- des connaissances acquises sur l'espèce en cause et son écologie,
- des dates, lieux et moyens de lutte auxquels les ravageurs sont les plus sensibles,
- de l'environnement par traitement de superficies aussi réduites que possible avec des doses minimales de produits sélectifs.



# Recensements d'oiseaux

Collaborations : Ifan, Direction des eaux et forêts chasse et conservation des sols, Direction des parcs nationaux, Saed, Isra, DPV, Muséum national d'histoire naturelle de Paris, Cipo, IWRB, ONC-CIC, Bureau international de recherches sur les oiseaux d'eau, UICN

Depuis 1958, des comptages d'oiseaux d'eau sont effectués dans le delta du fleuve Sénégal : comptages aériens, terrestres, en bateau. Ils permettent de déterminer les tendances de la dynamique des populations d'oiseaux et sont utilisés pour :

- \* la préservation des espèces ;
- \* la protection des cultures ;
- \* le tourisme ;
- \* la chasse.

## Comment compter les oiseaux ?

Les méthodes de comptage diffèrent en fonction des espèces d'oiseaux à recenser et des conditions de terrain :

- \* cartographie des territoires, pour certaines espèces territoriales ;
- \* comptage des nids d'une colonie ou comptage des jeunes à l'envol (suivi des populations d'année en année) ;
- \* capture-marquage-recapture : le pourcentage de reprises d'oiseaux marqués permet le calcul du nombre total d'individus ;
- \* comptage au sol, sur un trajet de longueur connue. La largeur de la bande d'observation varie en fonction des espèces ciblées et de la densité de la couverture végétale ;
- \* point d'écoute, où les oiseaux sont identifiés par leur chant (par exemple en forêt dense où la visibilité est restreinte) ;
- \* comptage total, lorsque la végétation est peu abondante et pour les espèces ayant une répartition "en taches", comme les canards. Les oiseaux se déplacent facilement, il faut donc que toute la zone soit recensée dans un minimum de temps pour éviter les oublis ou les doubles comptages.

### • Comptage à la passée

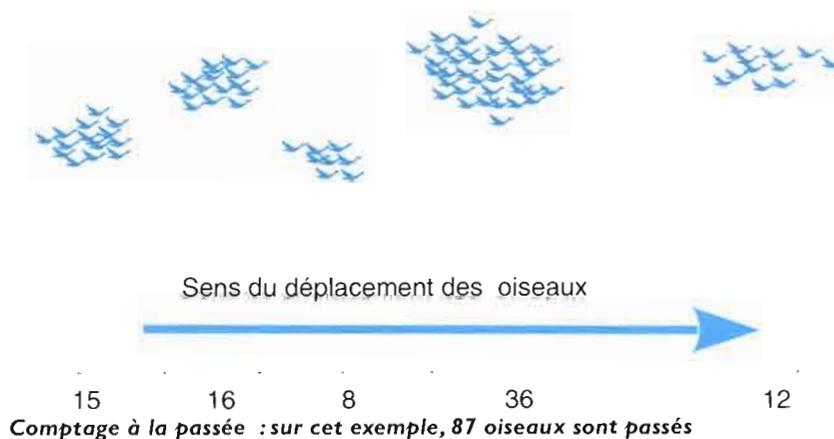
Certains oiseaux, par exemple les canards, quittent leur dortoir à la tombée de la nuit pour aller se nourrir. Ils se déplacent alors tous en même temps et dans la même direction, par bandes plus ou moins importantes. C'est à ce moment qu'il est le plus facile de les compter.

L'observateur doit être bien positionné pour éviter que certaines bandes ne soient masquées par la végétation.

Cliché Bernard Tréca



Un exemple de comptage "à la passée"





Cliché Bernard Tréca

Vol de Flamands roses vu d'avion

#### • Comptage par avion

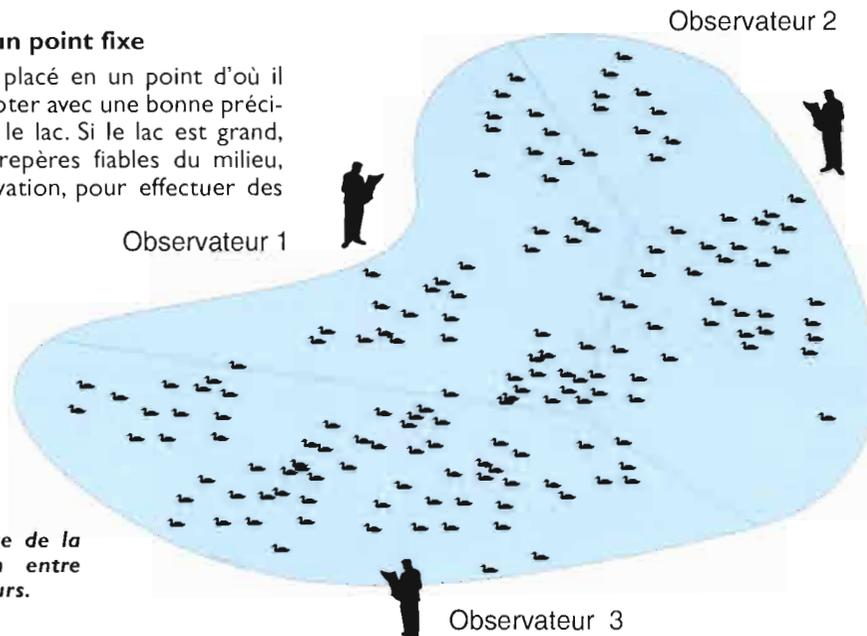
La zone à recenser est survolée à basse altitude. Au passage de l'avion, les oiseaux posés sur l'eau s'envolent pour se reposer un peu plus loin. Ils sont alors plus faciles à compter.

Cette méthode est rapide et permet d'atteindre des zones inaccessibles par d'autres moyens. Cependant, à cause de la vitesse de l'avion, les observateurs doivent être très entraînés à la reconnaissance et à l'estimation rapide de grands nombres d'oiseaux.

#### • Comptage sur un lac à partir d'un point fixe

Un observateur muni de jumelles et placé en un point d'où il pourra voir la totalité du lac peut compter avec une bonne précision les bandes d'oiseaux posées sur le lac. Si le lac est grand, plusieurs observateurs, utilisant des repères fiables du milieu, peuvent se partager la zone d'observation, pour effectuer des comptages simultanés.

Les oiseaux répartis en groupes très denses sont cependant difficiles à distinguer, et il faut parfois attendre leur envol pour une bonne précision.



Exemple de partage de la zone d'observation entre plusieurs observateurs.



Cliché Bernard Tréca

Recensement de l'avifaune concentrée sur un point d'eau (Parc national des oiseaux du Djoudj) : Flaming rose, Canard casqué, Oie d'Égypte, Dendrocygne fauve, Dendrocygne veuf, Canard pilet, Sarcelle d'été, Sterne caspienne, Cormoran, Spatule.



# Recensements de faune en milieu terrestre

Collaborations : Direction des parcs nationaux  
Contribution financière du Canada



## Le Parc national du Niokolo Koba

La vocation des parcs nationaux est la sauvegarde des écosystèmes naturels, de la diversité de leur flore et de leur faune.

Depuis 1990, dans cet esprit de conservation, la DPN et l'Orstom effectuent chaque année un recensement de la grande et moyenne faune du Parc national du Niokolo Koba.

Cette évaluation régulière est destinée à permettre la mise en place de projets de gestion de la faune sauvage, à partir des estimations des effectifs d'animaux présents dans le milieu et de la prévision de leur évolution dans le futur.

Le Parc national du Niokolo Koba a 40 ans. Il a été érigé en "Réserve de la biosphère" et classé "Patrimoine mondial de l'humanité" en 1981.

A ce jour, la DPN a pu mener à bien sa mission de conservation de la biodiversité : Élans de Derby, éléphants, chimpanzés, Colobes bais et autres espèces rares ont été sauvegardés.



Cliché Anh Galat-Luong

**Hippotrague ou "Koba"** (environ 6.000 individus en 1991), l'emblème du Niokolo Koba.



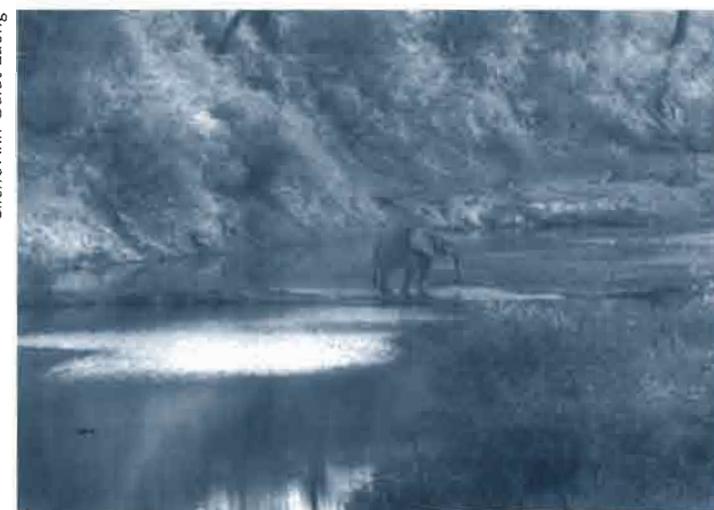
Cliché Anh Galat-Luong

**Le Céphalophe à flancs roux** (ainsi que le Phacochère) est plus abondant au Niokolo Koba (40.000 individus en 1991) qu'ailleurs en Afrique de l'Ouest.



Cliché Anh Galat-Luong

**Les lions ne sont pas rares et sont les plus grands d'Afrique**



Cliché Anh Galat-Luong

**Éléphant traversant le fleuve au "Point de vue sur la Gambie".**

## Les méthodes de décompte

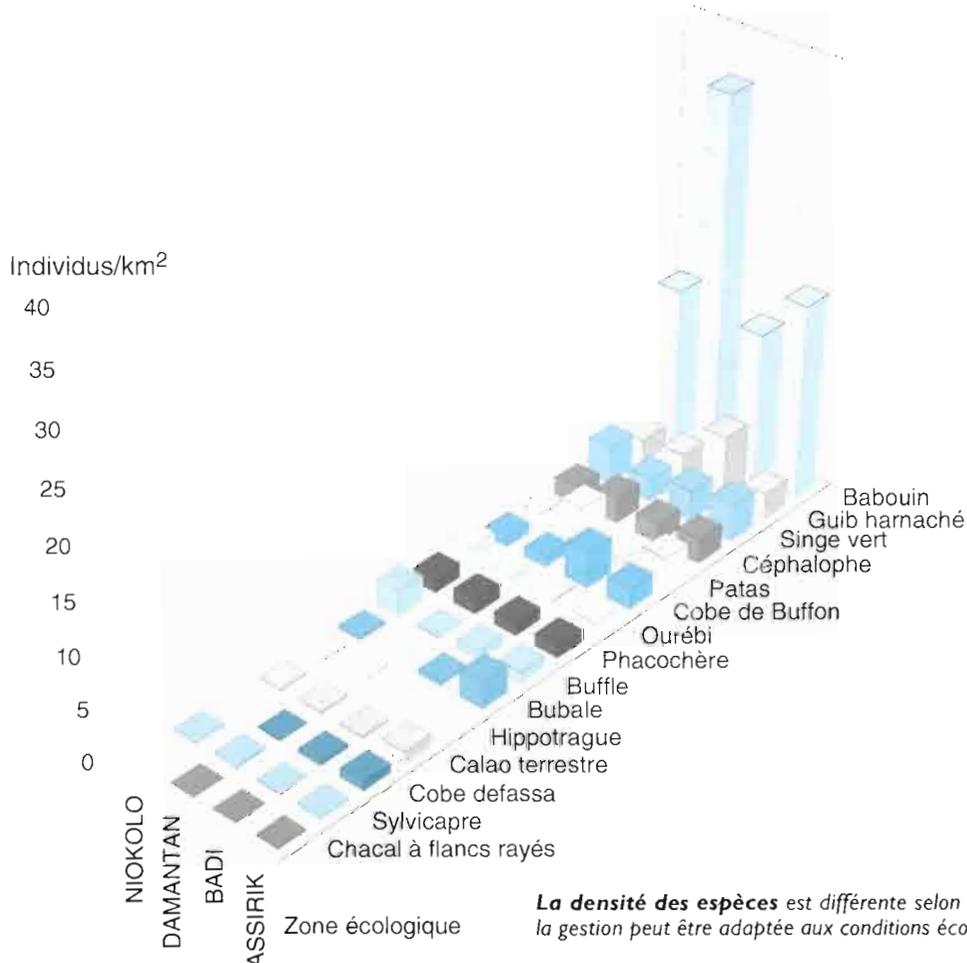
La méthode des "transects-lignes" est la mieux adaptée aux savanes boisées du Niokolo Koba. Elle consiste à compter les animaux observés le long d'une piste parcourue à pied ou à bord d'un véhicule.

Dès la détection et l'identification d'un animal, l'observateur effectue une série de mesures : azimut de l'animal, celui de la piste, distance de l'animal (ou du centre du troupeau) à l'observateur.

Ces mesures servent ensuite au calcul de la distance de l'animal à la piste puis à l'estimation de la densité de chaque espèce.

Les résultats présentés pour les années 1990 et 1991 sont fondés sur 17.351 observations d'animaux, relevées au cours de 2.272 contacts.

L'analyse des résultats de cinq années (1990 à 1994) est en cours. Elle portera sur plus de 50.000 observations d'animaux et permettra d'évaluer la dynamique des populations des espèces les plus nombreuses.



Cliché Anh Galat-Luong



Le Guib harnaché (environ 50.000 individus en 1991) est une espèce typique du milieu du Niokolo Koba.

Cliché Anh Galat-Luong



Le Babouin (190.000 individus en 1991) est l'espèce la plus abondante.



# La primatologie

**Collaborations :** Direction des parcs nationaux du Sénégal, Ucad, Institut d'écologie tropicale de Côte-d'Ivoire, Projet Taii/Mab/Unesco, UICN, Fondation pour la conservation des forêts en Afrique, Institut de zoologie de l'université de Würzburg, Institut für weltforstwirtschaft und Ekologie, Bundesforschungsanstalt für forst und holzwirtschaft, GTZ.



Cliché Anh Galat-Luong

## Les études au Sénégal

Au milieu des années 1960, de fortes épidémies de fièvre jaune ont touché les populations humaines. Les recherches alors entreprises sur les primates ont permis de comprendre le cycle de transmission de la maladie, et le rôle d'amplification de l'épidémie joué par les singes.

Des travaux en écologie et en éthologie (étude du comportement), portant sur l'adaptation aux milieux extrêmes ont été menés sur les Colobes bairds et les Singes verts dans les années 1970.

A partir de 1988, les recherches concernent l'épidémiologie, chez les singes vivant dans leur milieu naturel, des rétrovirus SIV proches des HIV (responsables du Sida chez l'homme).

Cliché Anh Galat-Luong



**Deux Singes verts dans la forêt classée de Ndioum Walo (région du fleuve Sénégal), en 1974**  
On remarque la forte densité de grands arbres. Environ 400 Singes verts vivaient sur le site d'étude.

## Adaptation des singes aux modifications du milieu

### • Singes verts et désertisation en milieu sahélien

Le Singe vert et les autres cercopithèques du groupe *aethiops* sont répartis dans les zones soudanienne et soudano-guinéenne de toute l'Afrique. Ils vivent en petites bandes (environ 24) territoriales sur de petits domaines vitaux (moins de 50 ha). Ils sont omnivores à dominante frugivore insectivore.

Les Singes verts de la vallée du Sénégal sont uniques en Afrique par leurs adaptations aux conditions extrêmes du milieu sahélien. Ils vivent en grandes bandes (environ 60, jusqu'à 174) non territoriales sur de grands domaines vitaux (plus de 150 ha). En cas de disette, en plus des insectes, ils peuvent consommer mammifères et oiseaux. Le déboisement lié à la mise en valeur de la vallée du fleuve Sénégal a fait régresser les forêts d'*Acacia nilotica* dont ils dépendent et menace les Singes verts de disparition.

Mangabé muni d'un émetteur de radio-pistage



Cliché Gérard Galat

**La forêt classée de Ndioum Walo en 1988**  
Il ne reste plus que 15% des arbres et 15% des singes.



Cliché Gérard Galat

**Colobes bais au sol** dans la savane boisée de la forêt de Fathala (Sine-Saloum).



Cliché Anh Galat-Luong

**Singe vert mangeant une tourterelle** en période de disette.

#### • Colobes bais et dégradation de la forêt

La population de Colobes bais vivant dans la forêt (Parc national du delta du Saloum) risque de disparaître. Entre 1974 et 1994, les trois quarts des galeries forestières, fournissant la nourriture de base de ces singes, ont disparu.

Partout ailleurs en Afrique, les Colobes bais passent plus de 90% de leur vie dans les hautes strates de la forêt. Ils sont adaptés aux déplacements dans les arbres (grande queue, longs doigts, régression du pouce).

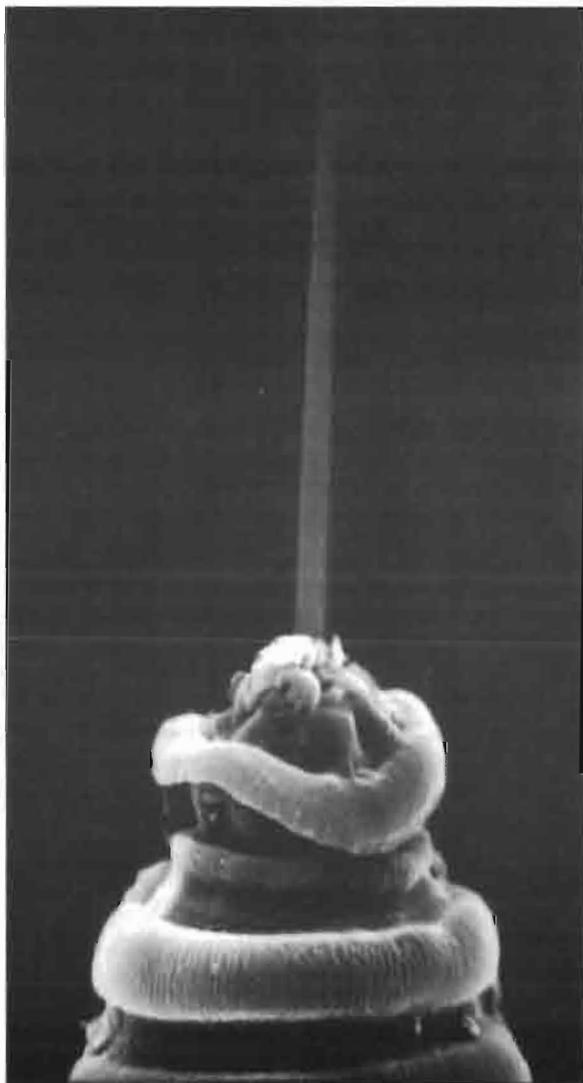
Le déplacement au sol, observé en Sénégal, est une adaptation majeure, récente, anatomiquement contradictoire et liée à la déforestation.



# La nématologie

Collaborations : Ucad, Isra, Ensa de Thiès, Ensut, DPV

## Qu'est ce qu'un nématode ?



Tête de nématode (*criconeematide*) avec son stylet, au microscope électronique.

Cliché Esther Van Den Berg & Patrice Cadet

Un nématode est un ver rond, filiforme, non segmenté, mesurant entre 0,3 et 2 mm de long et entre 15 et 50  $\mu\text{m}$  de section.

Les nématodes phytoparasites, c'est-à-dire ceux qui attaquent les plantes, se distinguent des autres nématodes par l'existence d'un stylet, sorte de seringue buccale, qui leur permet de pénétrer dans les racines des plantes et de perforer les cellules végétales pour se nourrir.

On trouve les nématodes phytoparasites absolument partout où pousse une plante aux dépens de laquelle ils peuvent se nourrir, dans des milieux et sous des climats très divers.

Ils sont extrêmement fréquents et abondants sur les plantes cultivées.

## Comment vivent les nématodes ?

Ils parasitent les plantes en s'attaquant :

- \* aux parties aériennes comme les tiges (cocotier), les feuilles (fraisier) ou les bulbes (oignon, ail) ;
- \* aux parties souterraines comme les racines de la plupart des végétaux, les tubercules (pomme de terre, manioc) ou les rhizomes. Ils réalisent alors tout ou partie de leur cycle de développement dans le sol.

Les nématodes parasites des racines sont classés en trois catégories :

- \* les ectoparasites perforent les racines de leur stylet, leur corps restant à l'extérieur. Tout leur cycle de développement est tellurique ;
- \* les semi-endoparasites introduisent la partie antérieure de leur corps dans les racines. Tout leur cycle de développement est tellurique ;
- \* les endoparasites pénètrent entièrement dans les racines. Leur cycle de développement peut être intraracinaire et tellurique.

Cliché Thierry Mateille



Nématodes endoparasites dans des tissus racinaires



Nématode ectoparasite

Cliché Thierry Mateille

## Quels dégâts font-ils ?

A l'échelle du champ, on peut observer des taches de mauvaise croissance ou de jaunissement des plants.

Les plantes peuvent paraître flétries (trouble du métabolisme hydrique), jaunies (dérèglement de la photosynthèse), déformées, rabougries. Leur production peut être diminuée.

L'intégrité des tissus végétaux parasités est atteinte et se traduit toujours par des nécroses plus ou moins étendues.

Mais ces symptômes ne sont pas typiques des nématodes, car ils peuvent également provenir d'attaques d'insectes, de champignons, de virus ou de bactéries parasites ; ils ne permettent pas, à eux seuls, de diagnostiquer la présence des nématodes phytoparasites sur une plante malade.

Les nématodes du genre *Meloidogyne* font exception car ils induisent la formation de renflements sur les racines, appelés galls, caractéristiques de ces parasites. Ces espèces sont donc facilement détectables.



Cliché Patrice Cadet

**Zone de mauvaise croissance** dans une parcelle d'essai sur canne à sucre infestée de nématodes. (à gauche zone infestée, à droite zone saine)



Cliché Orstom

Galles sur une pomme de terre due à *Meloidogyne* spp



Cliché Robin Duponnois

Effet de *Meloidogyne* sur *Acacia holosericea*



Cliché Patrice Cadet

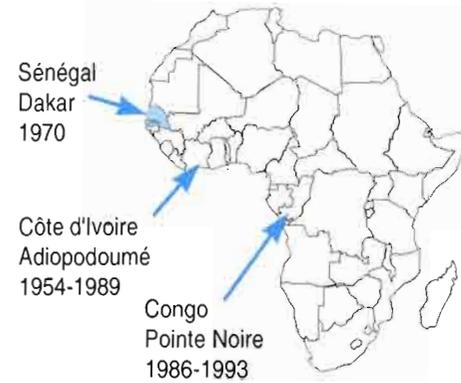
Galles de *Meloidogyne* sur une plante sensible



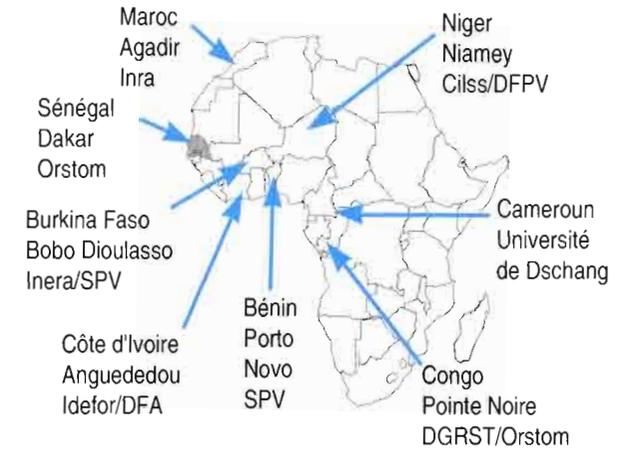
## Les études en nématologie

Les travaux menés en Côte-d'Ivoire depuis 1954 ont montré l'importance des problèmes posés par les nématodes et leur incidence sur les cultures en zone tropicale.

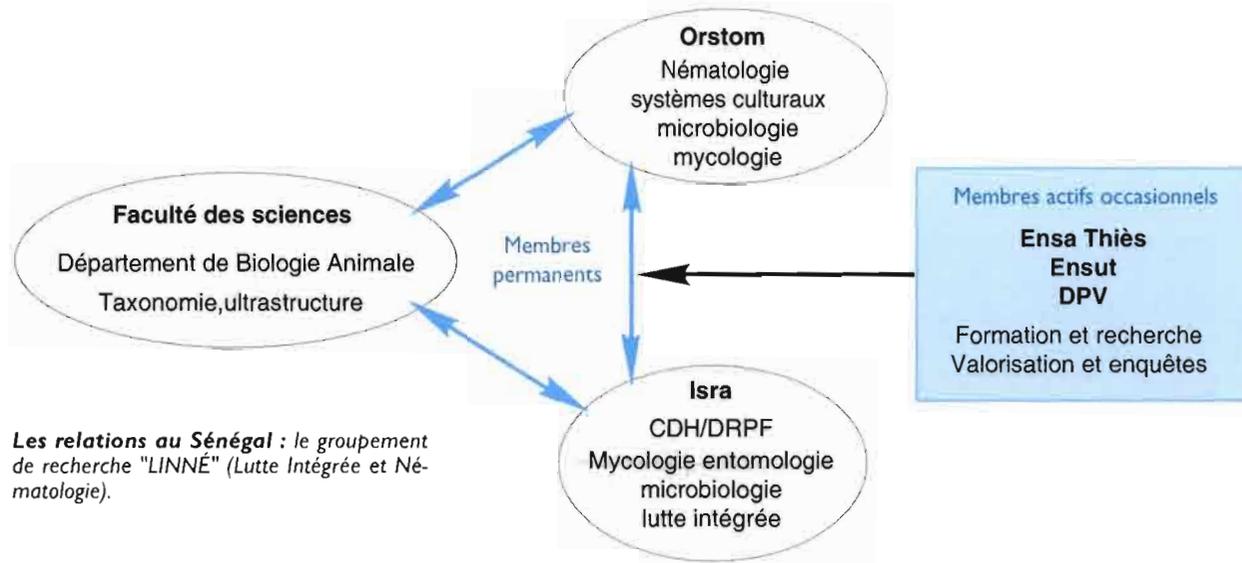
Au Sénégal, la nématologie est regroupée au laboratoire de Biologie des sols du centre Orstom/Isra de Bel-Air depuis 1970. L'exploration nématologique de la zone soudano-sahélienne a conduit à la description de nombreuses espèces nouvelles. Environ 70 espèces phytoparasites ont été observées au Sénégal, parmi lesquelles 20 y sont décrites pour la première fois. Actuellement, les travaux de taxonomie sont effectués par le laboratoire de Biologie animale de l'Ucad.



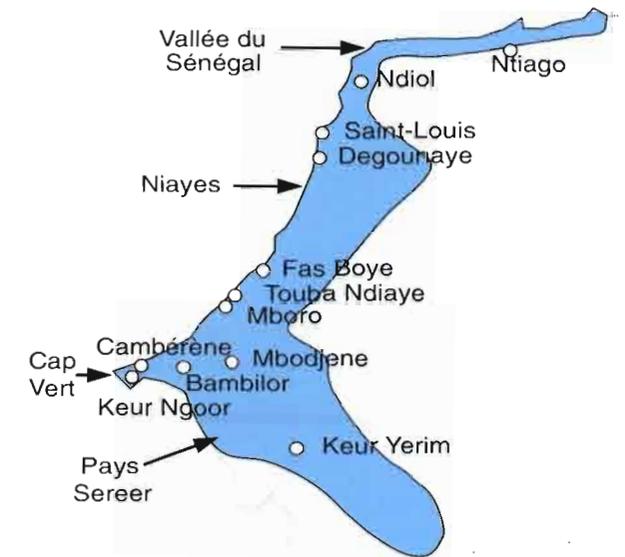
La nématologie Orstom en Afrique de l'Ouest



La nématologie à l'Ouest de l'Afrique en 1994



Les relations au Sénégal : le groupement de recherche "LINNE" (Lutte Intégrée et Nématologie).



■ Régions maraîchères

○ Zone infestée par *Meloidogyne mayaguensis*

Répartition géographique de *Meloidogyne mayaguensis* au Sénégal.

A la suite d'un inventaire rapide des problèmes posés par les nématodes aux cultures, les recherches se sont concentrées sur deux genres principaux :

\* *Meloidogyne* qui est le parasite des cultures maraîchères le plus dangereux au niveau mondial. Le Sénégal est le seul pays à être infesté du nord au sud par l'espèce la plus virulente de ce genre : *Meloidogyne mayaguensis* ;

\* *Scutellonema cavenessi* qui est un parasite majeur des cultures céréalières du bassin arachidier. Son aptitude à résister à la sécheresse sous forme anhydrobiotique à l'état adulte lui permet d'être actif dès la première pluie utile, lorsque les plantes, en cours de germination, sont particulièrement fragiles.

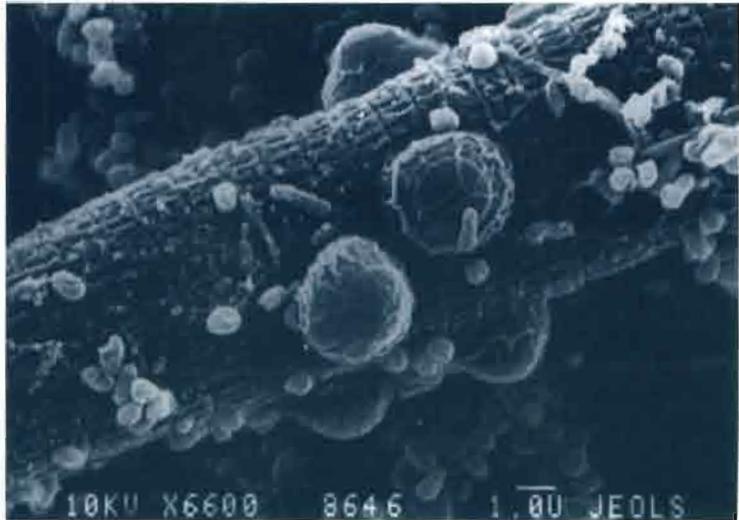
## Protection des cultures

Après la prise de conscience écologique et l'émergence du concept d'agriculture durable à faible apport d'intrants, la recherche de méthodes de lutte chimique a été abandonnée au profit de la lutte intégrée qui fait une large part à la lutte biologique.

Les recherches entreprises actuellement visent à valoriser le potentiel biologique local plutôt que d'introduire des organismes antagonistes exotiques, mal adaptés à l'agrosystème sénégalais.

Les principaux organismes parasites et antagonistes étudiés au laboratoire sont :

\* *Pasteuria penetrans*, organisme apparenté à une bactérie qui se fixe sur le nématode et le tue en se multipliant à l'intérieur du ver. Au Sénégal, ils sont très fréquents dans les cultures maraîchères, mais pas suffisamment abondants pour contrôler la prolifération de *Meloidogyne* ;



**Meloidogyne parasité par des spores de *Pasteuria penetrans*** (les plus petits granules sont des bactéries).  
Microscopie électronique, grossissement : 6.600.

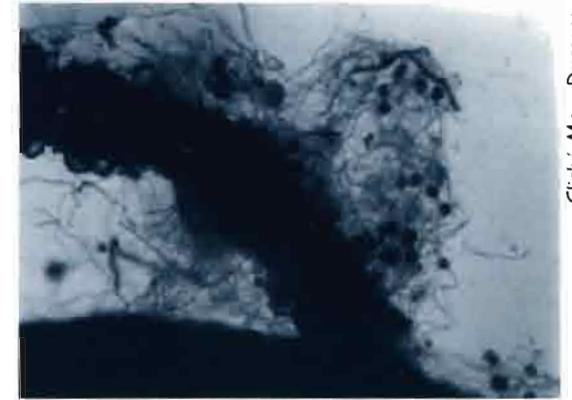
Cliché Robin Duponnois, Danamou Mounport

\* les mycorhizes, des champignons qui se développent autour et dans les racines superficielles. Ces organismes pourraient permettre de protéger les acacias contre les attaques de nématodes auxquels ils sont très sensibles ;



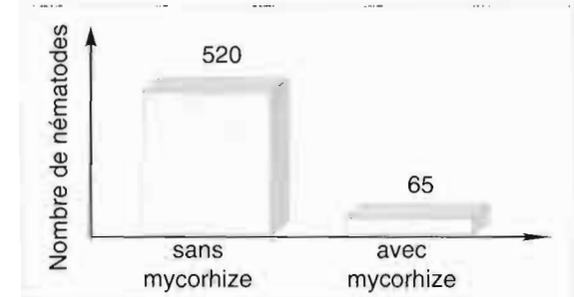
**Ectomycorhize (ECM)** entre *Eucalyptus camaldulensis* et *Pisolithus sp.*

Cliché Robin Duponnois



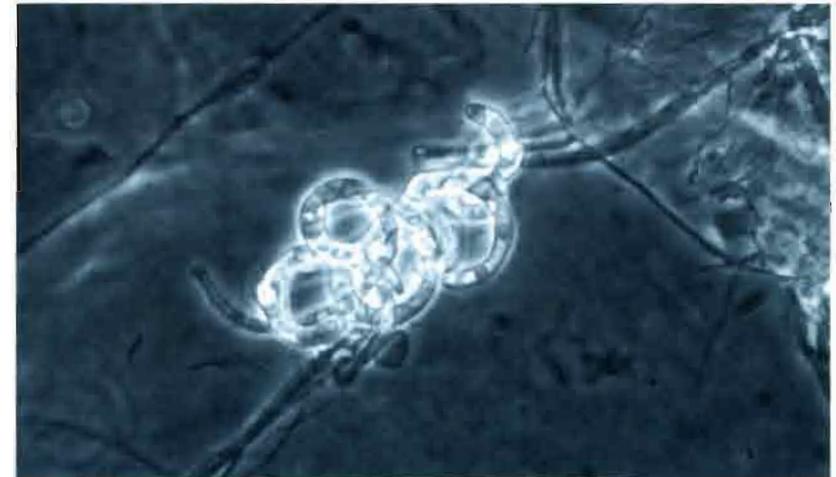
Cliché Marc Ducouso

**Endomycorhizes à vésicules et arbuscules (MVA)** dans les cellules corticales d'une racine d'*Acacia holosericea*.



**Comparaison de l'infestation en nématodes** des racines mycorhizées d'un *Acacia seyal*.

\* les champignons prédateurs : ils forment des anneaux dans le sol qui piègent les nématodes lorsque ceux-ci passent à travers. Des souches de champignons très efficaces ont déjà été isolées à partir d'échantillons collectés dans les niayes (zones de cultures maraîchères) et ont été étudiés en laboratoire. L'Isra/CDH a pris en charge les essais de pré-vulgarisation aux champs.



Cliché Robin Duponnois

**Juvenile de *Meloidogyne javanica*** piégé par le champignon nématophage *Arthrobotrys oligospora*.

# La plante,

## l'homme et leur milieu





Peinture : Aboubacar Yaya Zachary Cliché : Diffo photo Dakar



L'écologie végétale étudie les relations entre les plantes et leur milieu.

Cette discipline a pour objectifs :

- l'analyse de la diversité des composantes de l'écosystème ;
- l'identification des processus de fonctionnement des organismes ;
- la caractérisation du réseau d'interactions complexes et dynamiques qui se manifestent au sein de l'écosystème ;
- la saisie des relations entre l'homme et son milieu.

Les lois et modèles qui découlent de ces études permettent de proposer des scénarios d'aménagement, d'évaluer les actions de développement, de réunir les bases écologiques d'un développement durable.

### Évolution des approches au Sénégal

Dès 1946, les recherches réalisées au Sénégal ont porté sur un inventaire floristique, accompagné de travaux phytogéographiques et cartographiques décrivant notamment certaines relations végétation-milieu et situant les unités de végétation dans l'espace géographique.

Cette approche qualitative et descriptive a, par la suite, fait place à une approche plus quantitative dans le cadre du Programme biologique international (PBI) (Savanes sahéliennes du Ferlo), initié en 1971.

Ces investigations sont complétées par une approche expérimentale développée actuellement dans le cadre de programmes conjoints (Isra-DRPF, Ucad), à caractère régional (Coraf nord-sud Sahara) et soutenus par l'Union européenne. Ces programmes sont orientés vers l'identification des processus intervenant dans la dynamique des systèmes écologiques et leur aménagement (Réhabilitation des terres dégradées au nord et au sud du Sahara, Jachères).

### Les thèmes privilégiés

En fonction des domaines de compétence des équipes, des priorités liées aux conditions écologiques (aridité, faible niveau de fertilité des sols) et aux systèmes de production (élevage extensif, systèmes de cultures), les principaux thèmes sont :

- l'eau et son rôle sur la production végétale ;
- les méthodes d'étude de l'eau dans le système sol-plante ;
- l'influence de l'arbre sur le cycle de la matière organique et de l'azote ;
- le programme régional Jachère.

### Les résultats et les applications

Les apports de cette discipline sont perceptibles à trois niveaux :

- un niveau de résultats bruts - herbiers, collections et banques de semences ;
- un deuxième niveau d'information scientifique et technique - publications, ouvrages et cartes de végétation ;
- enfin un niveau d'application au développement par la formation et l'expertise.

## L'eau et la production végétale



## Méthodes d'étude de l'eau dans le système sol-plante



## L'arbre et l'herbe au Sahel



## La jachère en Afrique tropicale





# L'eau et la production végétale

Le rôle de l'eau sur la production végétale a été étudié à différents niveaux d'organisation :

- \* au niveau des individus d'espèces (Réponses adaptatives des espèces à la sécheresse) ;
- \* à celui des populations (Influence de la sécheresse de 1972 sur la strate ligneuse) ;
- \* et enfin celui des peuplements (Pâturages et cultures fourragères).

## Bilan hydrique et production des pâturages



Cliché Michel Grouzis

L'extrême variabilité des précipitations dans les zones arides pose le problème de la représentativité des mesures du bilan hydrique des sols, réalisé sur des périodes nécessairement courtes.

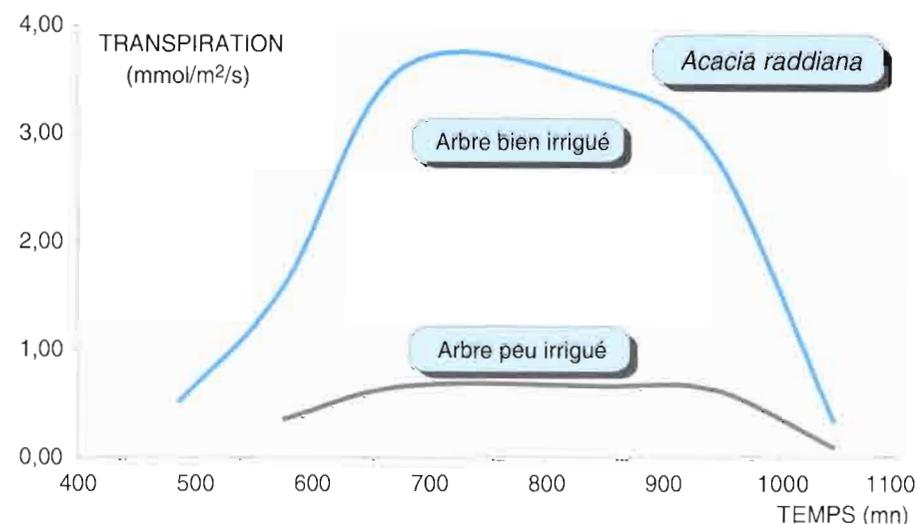
La modélisation simple du bilan hydrique du sol permettrait sa simulation à partir d'éléments climatiques (de longues séries d'observations météorologiques sont disponibles) et des caractéristiques du sol.

La production est étroitement liée, entre autres facteurs, à la disponibilité en eau.

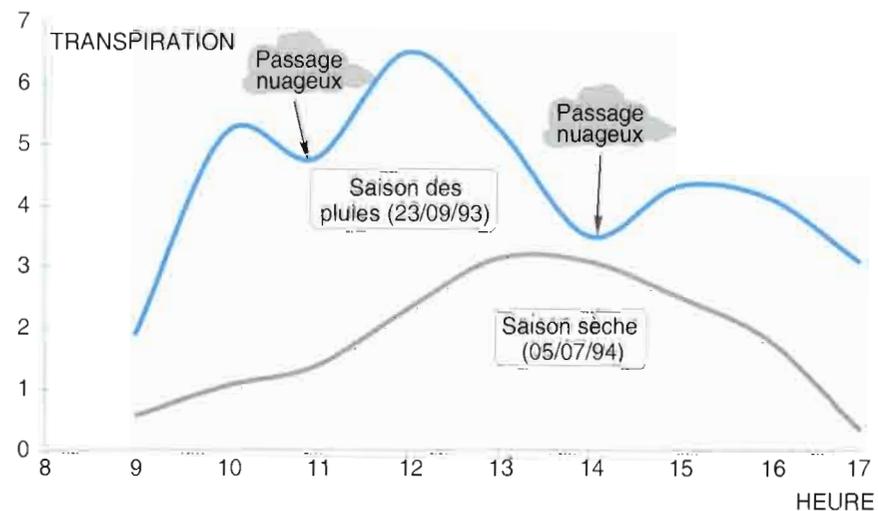
Il est donc possible de proposer un modèle simple de production de biomasse à partir des éléments du bilan hydrique et de quelques paramètres propres aux unités de végétation.

Le but est de déterminer des fréquences de production, qui constituent une information importante pour la mise en valeur des pâturages sahéliens.

## Adaptation à la sécheresse



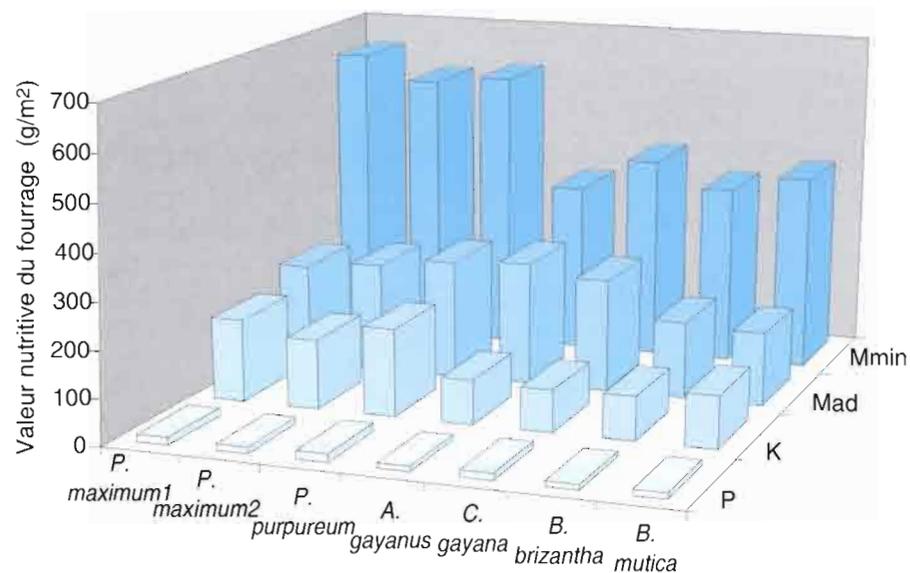
**En conditions semi-contrôlées** (cases lysimétriques) la transpiration de l'arbre bien alimenté en eau est nettement plus élevée que celle de l'arbre soumis à un déficit en eau.



**Dans les conditions naturelles**, la transpiration d'*Acacia raddiana* en saison des pluies est largement supérieure à celle de saison sèche, en raison des variations des conditions de sol et de climat.

Une réduction du rayonnement solaire pendant les passages nuageux induit une baisse de la transpiration par fermeture partielle et momentanée des stomates.

## Productivité de quelques graminées fourragères

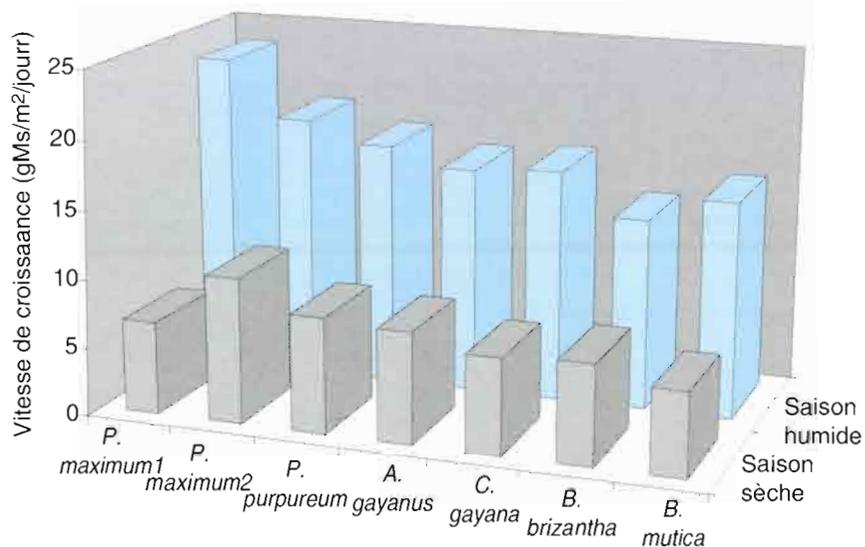


### Valeur fourragère de 7 espèces cultivées à Sangalkam

Quantités annuelles d'éléments en g.m<sup>-2</sup> de surface cultivée

Mad : Matières azotées digestibles P : Phosphore

Mmin : Matières minérales K : Potassium



**Vitesse de croissance pour 7 graminées fourragères** soumises à l'irrigation pendant une année (gramme de matière sèche par m2 et par jour). Le choix doit porter sur des espèces à croissance rapide.

## Influence de la sécheresse de 1972 sur la strate ligneuse du Ferlo

La sécheresse de l'année 1972 a provoqué d'importantes perturbations sur la phénologie des espèces (retard dans l'apparition des

Cliché Michel Grouzis



1972

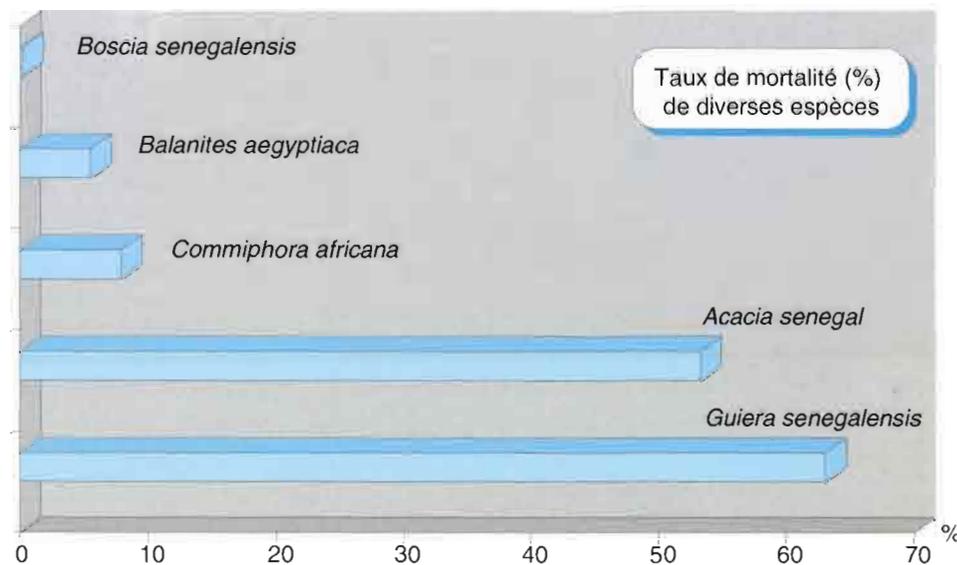
La sécheresse de 1972 : un même site avant et après

Cliché Michel Grouzis



1975

cycles, arrêt précoce, réduction de la période de vie active, absence de floraison, de fructification).



Les différentes espèces caractéristiques ont accusé très différemment les effets de la sécheresse.

Participation scientifique : Michel Grouzis

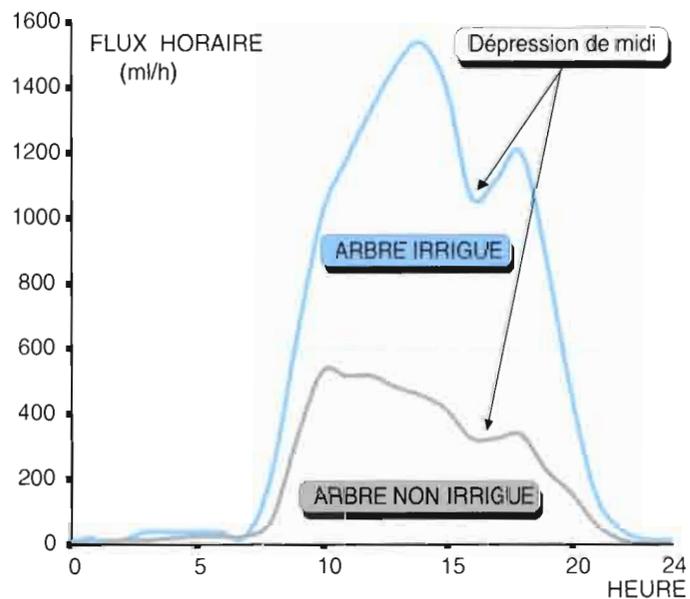


# Méthodes d'étude de l'eau dans le système sol - plante

Les méthodes d'étude de l'eau dans le système sol-plante ont beaucoup évolué et s'automatisent de plus en plus.

Elles sont actuellement mises en oeuvre dans le Programme régional "Réhabilitation des terres dégradées au nord et au sud du Sahara" impliquant des instituts de recherches sénégalais (Isra), tunisiens (Ira), italiens (Université de Viterbo) et français (CNRS/Orstom). L'objectif recherché est le rétablissement de formations végétales pluristrates par l'utilisation de légumineuses pérennes et des micro-organismes associés.

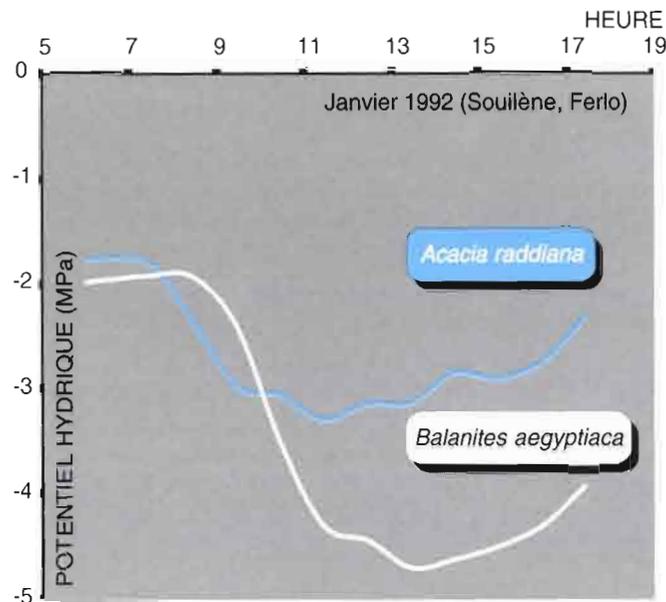
## Flux de sève



Lorsque la feuille transpire à régime constant, la quantité d'eau transpirée est égale à la quantité de sève traversant les vaisseaux du bois. La mesure thermique des flux de sève permet de caractériser l'état hydrique des arbres résultant de la disponibilité en eau du sol, de déterminer l'apparition de contraintes hydriques et éventuellement les besoins d'irrigation.

Le flux de sève de l'arbre bien alimenté en eau est nettement plus important que celui de l'arbre subissant un déficit hydrique.

Le flux diminue pendant les heures chaudes de la journée en raison d'une baisse de la transpiration (régulation stomatique).



## Potentiel hydrique

Le potentiel hydrique d'un organe (feuille, rameau) est mesuré par la chambre à pression. Cette grandeur qui définit l'état énergétique de l'eau est le meilleur indicateur de l'état hydrique de la plante.

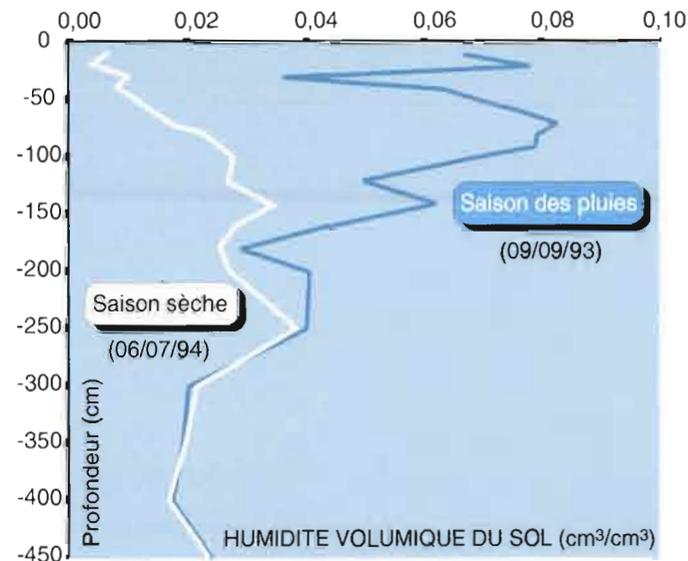
Les variations du potentiel hydrique de deux espèces caractéristiques de la végétation du Fero, montrent que *Balanites aegyptiaca* subit au cours de la journée une contrainte hydrique plus forte qu'*Acacia raddiana*.

## Humidité du sol

La réserve en eau du sol peut être quantifiée par la méthode gravimétrique (pesée) ou neutronique (sonde à neutrons).

Les variations de l'humidité du sol en fonction de la profondeur soulignent les états hydriques contrastés entre saison sèche et saison humide.

A partir de 250 cm de profondeur, les fluctuations saisonnières sont négligeables.



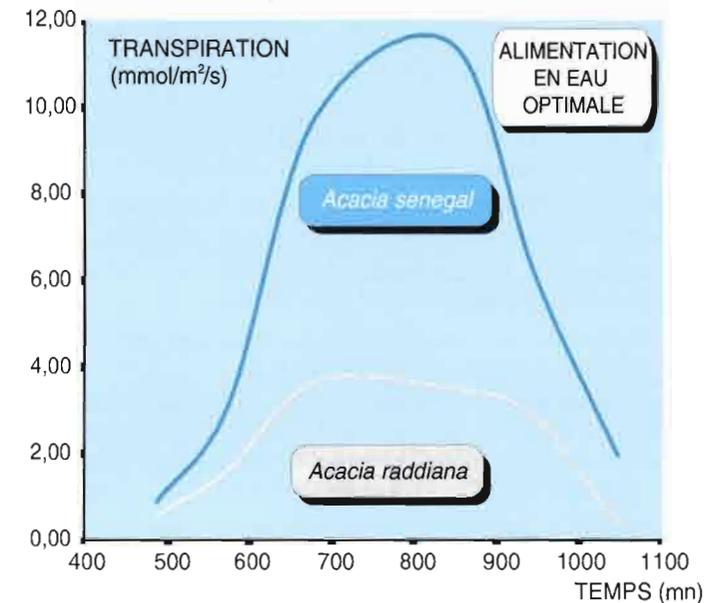


Participation scientifique : Michel Grouzis, Macoumba Diouf, Alain Rocheteau

## Conductance stomatique

Outre l'enregistrement des conditions microclimatiques qui président au déroulement des phénomènes physiologiques, le poromètre à diffusion permet de mesurer la conductance stomatique et la transpiration.

Une diminution de la conductance stomatique traduit généralement un dessèchement relatif des feuilles et conduit à une réduction de la transpiration des végétaux.

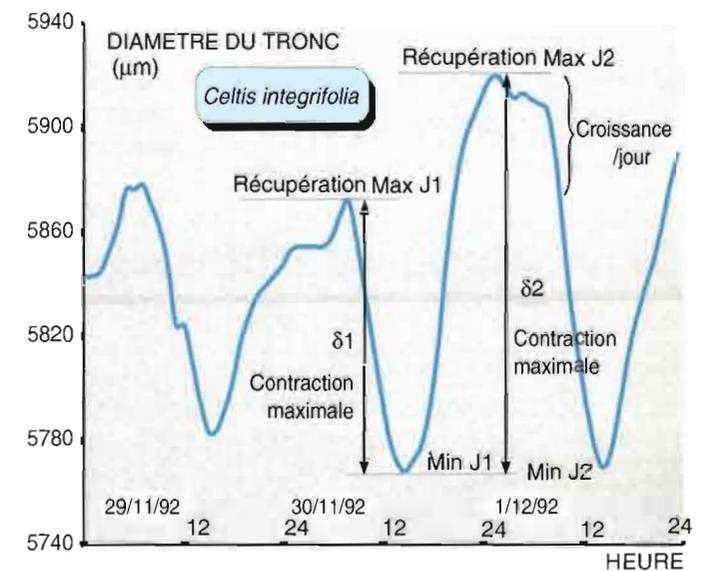


En conditions expérimentales d'alimentation en eau optimale, la quantité d'eau transpirée par unité de surface foliaire d'*Acacia senegal* est largement supérieure à celle d'*Acacia raddiana*.

## Variation du diamètre du tronc

La variation du diamètre des tiges est mesurée par des capteurs de déplacement linéaire.

Cette méthode permet de caractériser la réponse du végétal à une pluie, et ses réactions à des perturbations naturelles (chute de feuilles au cours du cycle) ou accidentelles (défoliation due à des criquets).



Le rythme nyctéméral (rythme jour-nuit) de contraction et de dilatation du tronc de *Celtis integrifolia* traduit l'évolution de la transpiration.

La contraction maximale journalière ( $\delta$ ) peut varier d'un jour à l'autre : par exemple, elle est plus importante le 1er décembre que le 30 novembre.



# L'arbre et l'herbe au Sahel

Collaborations : Ucad/Département de biologie végétale

L'utilisation des espèces ligneuses adaptées dans les opérations de réhabilitation nécessite :

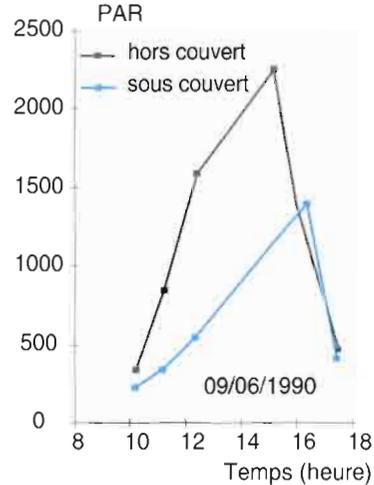
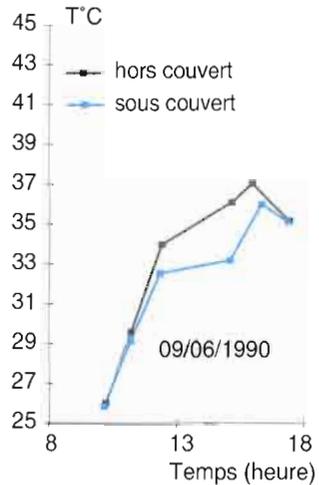
- \* d'étudier les relations de compétition ou de complémentarité entre les composantes ligneuses et herbacées des savanes ;
- \* de caractériser la stratification (répartition dans l'espace et dans le temps) des ressources du milieu (eau, éléments nutritifs) ;
- \* de déterminer les mécanismes mis en jeu par les plantes pour l'utilisation de ces ressources.

La connaissance de ces interactions est à la base de la compréhension de la structure et du fonctionnement des savanes et permet donc d'identifier les moyens techniques à mettre en oeuvre pour réhabiliter les milieux dégradés et/ou améliorer les systèmes agro-forestiers traditionnels.

L'influence de l'arbre sur le cycle de la matière organique et de l'azote, décrite dans les années 1980, est actuellement étudiée sur le bilan d'eau, les paramètres micro climatiques et la végétation herbacée.

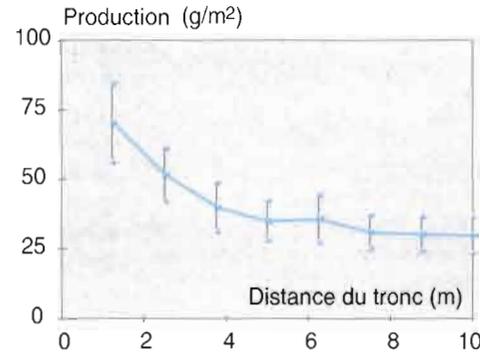
## Conditions climatiques

L'arbre réduit l'évapotranspiration en agissant sur les paramètres micro climatiques (température, humidité, rayonnement, vitesse du vent...).

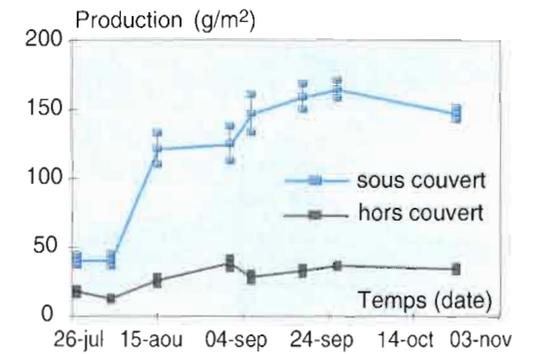


Variations journalières de la température (T°C) et du rayonnement photosynthétique actif (PAR :  $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{j}^{-1}$ ) mesurées au niveau de la strate herbacée (50 cm) sous un couvert d'*Acacia tortilis* ssp *raddiana* et hors couvert (Souilène, Ferlo, Sénégal).

## Production herbacée

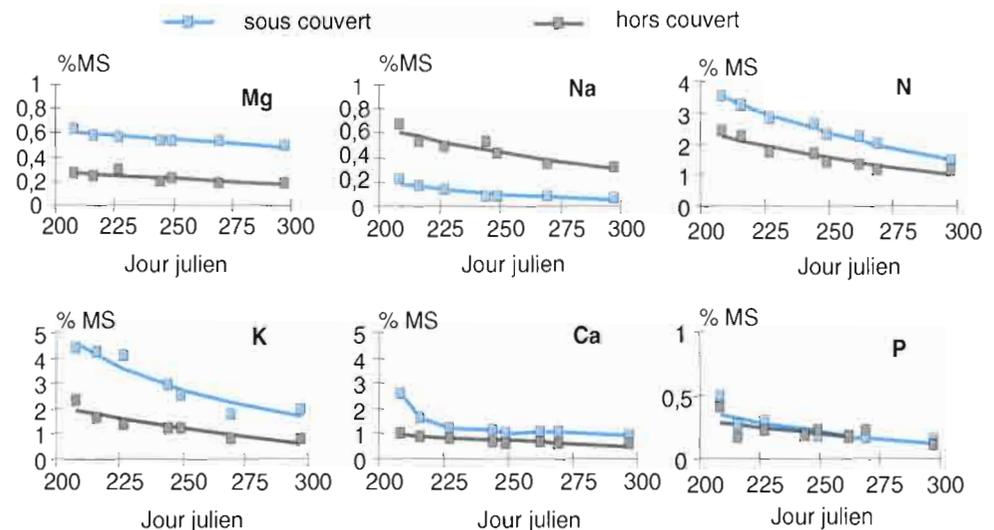


La production diminue en fonction de la distance à l'arbre.

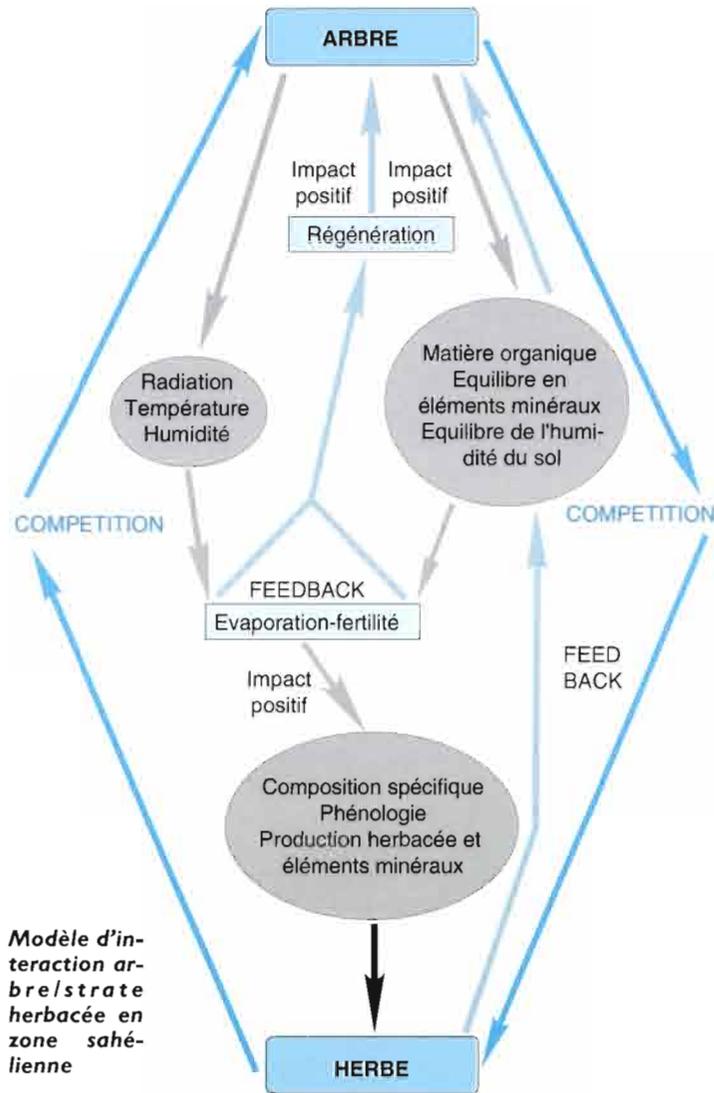


La production de la strate herbacée sous ombrage est fortement augmentée.

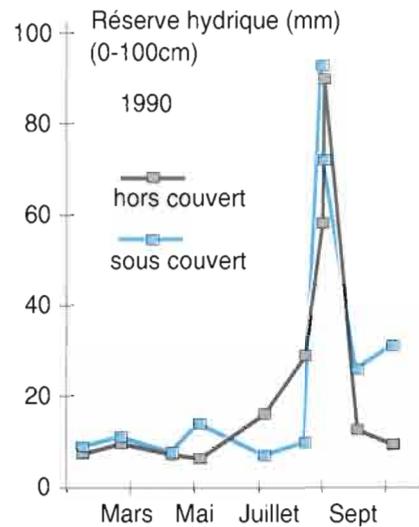
## Teneur en éléments minéraux



L'arbre améliore sensiblement la valeur nutritive des herbages.



### Sols



*L'arbre améliore la fertilité et le bilan hydrique du sol.*

Au Sahel, les relations arbre-herbe doivent être vues plus en terme de complémentarité que de concurrence.

En favorisant le développement de la strate herbacée (diversité, biomasse, valeur nutritive), les arbres permettent d'augmenter la production potentielle de la zone à long terme et d'améliorer ainsi les conditions d'élevage.



# La jachère en Afrique tropicale

## Le cycle culture - jachère



*Jachère-clairière en zone forestière humide (zone guinéenne)*

En Afrique tropicale, un système traditionnel de l'utilisation des sols consiste en une phase de culture qui dure de 5 à 15 ans, suivie d'un abandon cultural (jachère) dès qu'une baisse de rendement se fait sentir (baisse de fertilité, envahissement par des mauvaises herbes ou des parasites).

La phase de jachère qui suit la culture permet la remontée de la fertilité grâce à un retour à la savane arbustive ou arborée. Cela peut prendre de 10 à 30 ans, selon le climat.

Par exemple, en zone forestière humide, la phase de culture était en général très courte (1 à 2 ans), suivie d'une période de reconstitution de la forêt d'au moins 20 ans. Actuellement, cette période de reconstitution est trop courte, arbres pionniers et ligneux disparaissent.

Cliché Christian Floret

## Rôles de la jachère

La jachère est source de bois ; elle produit des petits fruits et sert de pâturage.

Elle protège les sols de l'érosion et permet la reprise de l'activité de la faune du sol après culture.

Elle permet la régénération des sols, par la réaugmentation des stocks de matière organique et des éléments nutritifs.

Elle a un rôle dans la lutte contre les mauvaises herbes et les parasites.

Elle joue aussi un rôle dans la gestion sociale des terres.

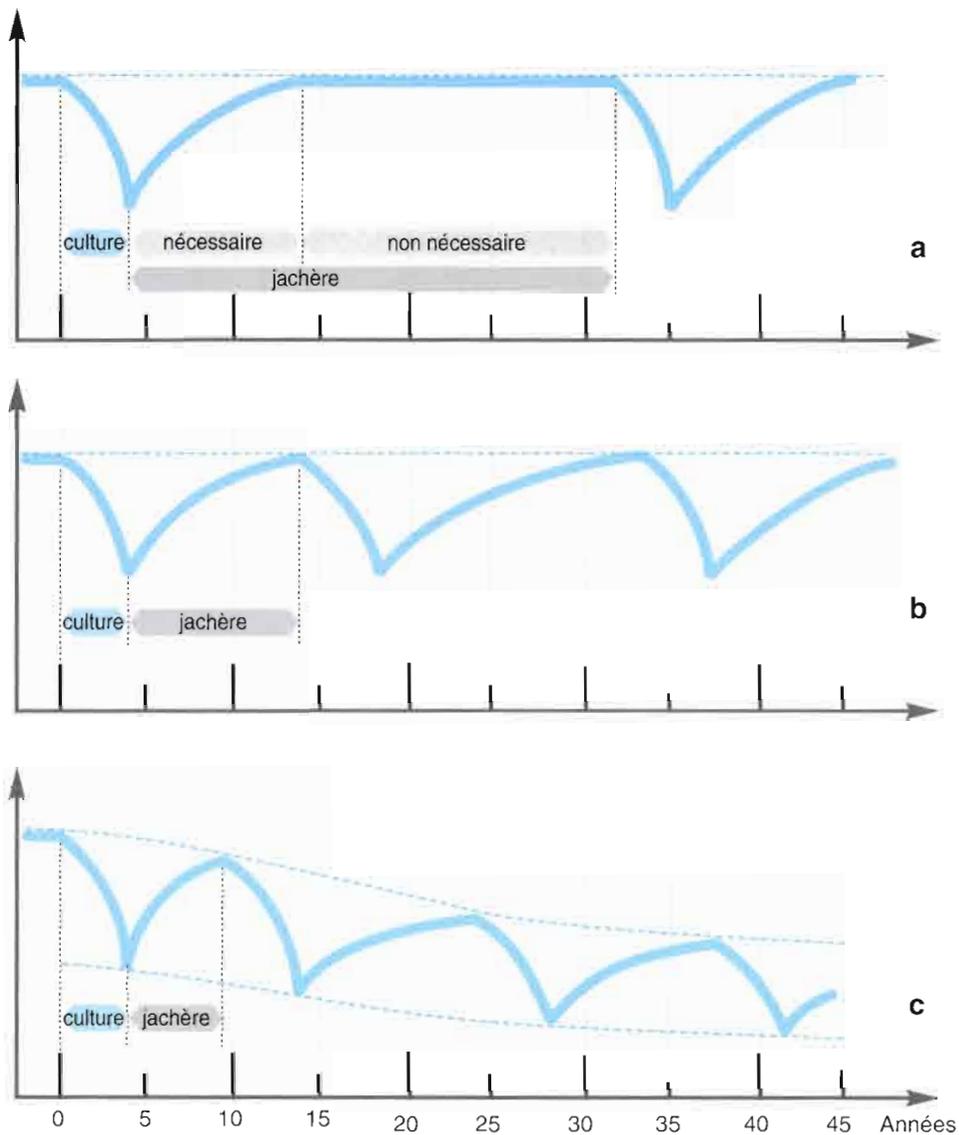
## Déstabilisation du cycle

Le système de culture itinérante a bien fonctionné jusqu'à une date récente. Actuellement, l'augmentation de la population, la tendance à la sédentarisation et la sécheresse, ont conduit à une forte augmentation des surfaces cultivées. Les temps de jachère se sont considérablement raccourcis, les prélèvements de bois et d'herbacées de pâture se sont accrus ; le feu contrarie également la remontée biologique par régénération naturelle, qui devient plus lente. L'évaporation et l'érosion prennent de l'importance (dégradation des sols).

Cliché Christian Floret



*Jachère à Guiera senegalensis : coupe avant la remise en culture (zone soudano-sahélienne)*



### Cycle de culture - jachère (d'après Guillemin, 1956)

La baisse de fertilité durant la phase de culture est suivie de son amélioration durant la phase d'abandon cultural :

a : culture itinérante ;

b : système jachère optimal ;

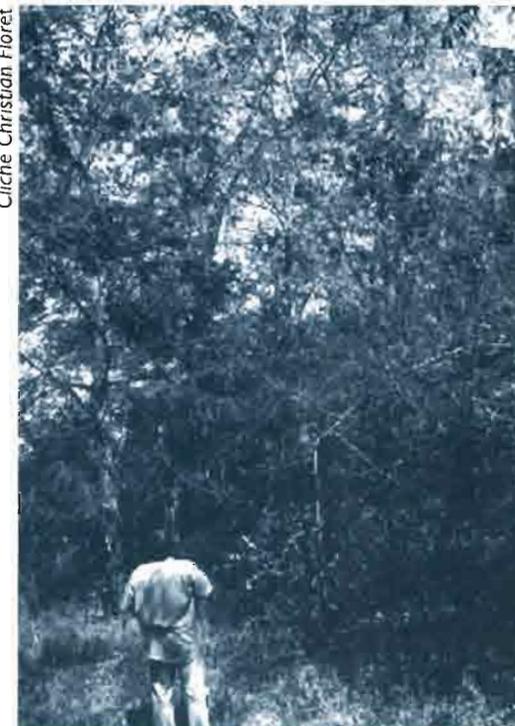
c : diminution globale de la fertilité due à des temps de jachère trop courts.

Cliché Christian Floret



Une jachère trop courte conduit à une forte perte de la biodiversité.

Cliché Christian Floret



Même type de milieu en zone protégée : la biodiversité est plus importante.

On a souvent cherché à compenser la baisse de fertilité des sols par des apports d'engrais et de matières organiques. Beaucoup de résultats montrent, à terme, un épuisement des sols, une acidification et une baisse des rendements malgré ces apports. De plus, la disponibilité en fumier et en engrais reste très limitée.

Il est donc devenu nécessaire de mettre au point une gestion adaptée de la jachère ou des méthodes de substitution, pour assurer le maintien durable de l'activité agricole en Afrique tropicale.



## Programme coopératif de recherche et de développement sur la jachère en Afrique tropicale (1994 - 1998)

### Recherche sur l'amélioration et la gestion de la jachère en Afrique de l'Ouest (Burkina Faso, Côte-d'Ivoire, Mali, Niger, Sénégal)

- \* Place et rôle des jachères dans les systèmes agraires ;
- \* introduction des techniques d'amélioration de la jachère en milieu paysan ; techniques alternatives à la jachère ;
- \* expérimentation in situ de nouvelles techniques ;
- \* recherche d'indicateurs "multicritères" d'état de dégradation ou de régénération du milieu.



*Jachères conjoncturelles en zone sahélienne : champs cultivés durant les années pluvieuses*

Cliché Christian Floret



Cliché Christian Floret

#### Résultat d'un dessouchage mécanisé.

*Au premier plan, une jachère de plus de 20 ans. Le défrichage avait été effectué par des engins mécaniques et les souches de ligneux presque toutes extirpées. Vingt ans après, les ligneux n'ont pas encore pu se réintroduire. La formation ligneuse à l'arrière plan est une jachère dont le défrichage avait été manuel*

### Raccourcissement du temps de jachère, biodiversité et développement durable en Afrique Centrale (Cameroun) et en Afrique de l'Ouest (Mali, Sénégal)

- \* jachère et caractéristiques physico-chimiques des sols (matière organique, structure, fertilité) ;
- \* cycles de jachères et biodiversité ;
- \* végétation post-culturelle ; rôles de l'arbre dans la jachère ; rôle du feu ;
- \* jachère et activité biologique du milieu (vers de terre, termites, nématodes, microflore).

Le principe de ces programmes repose sur le transfert entre pays, de techniques ayant fait leurs preuves. Un volet expérimental est entrepris pour les techniques les moins sûres. Une recherche d'accompagnement est animée par de nombreuses équipes. Des cadres scientifiques et techniques sont formés dans les pays concernés.

## Pays - institutions concernés

- \* Burkina Faso (CNRST)
- \* Cameroun (Ira)
- \* Côte d'Ivoire (Idefor)
- \* Mali (IER)
- \* Niger (Faculté d'agronomie)
- \* Sénégal (Isra)

- \* Nombreuses autres institutions sous-contractantes
- Des organismes européens interviennent par des consultations :
- \* France (CNRS, Cirad)
  - \* Grande Bretagne (NRI)
  - \* Unesco
- Partenaire financier : Union européenne



Jachère jeune à *Terminalia macroptera*, en haute Casamance

L'Orstom est l'initiateur de ce programme. Il a une mission d'animation et d'assistance technique et scientifique. Le projet a le label Coraf.



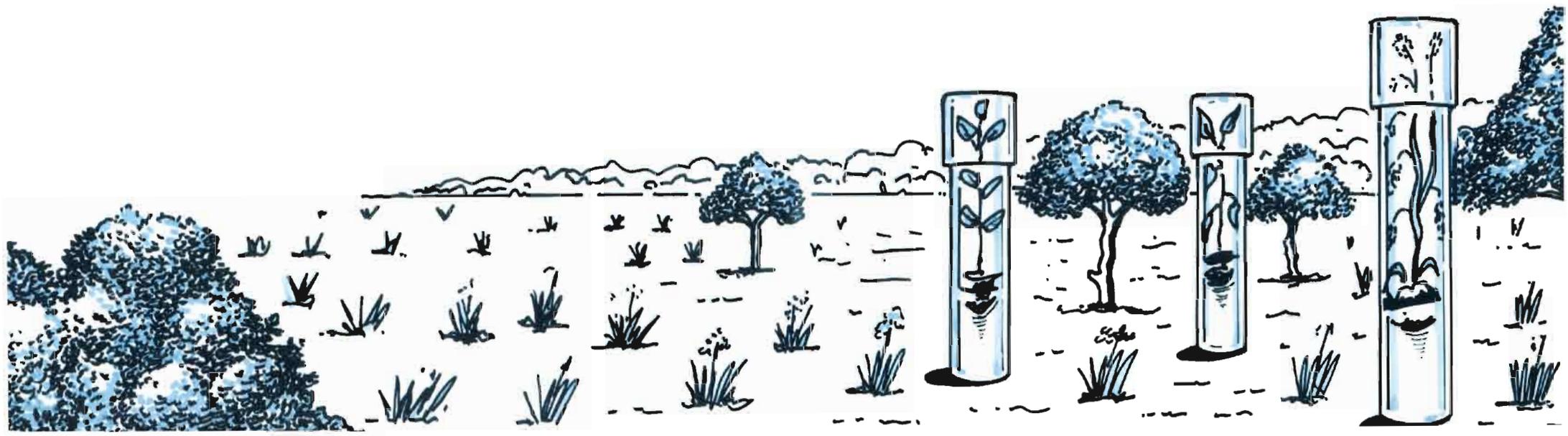
Jachère plantée éclaircie pour une mise en culture (Idefor, Côte d'Ivoire)

Participation scientifique : Christian Floret, Dominique Masse

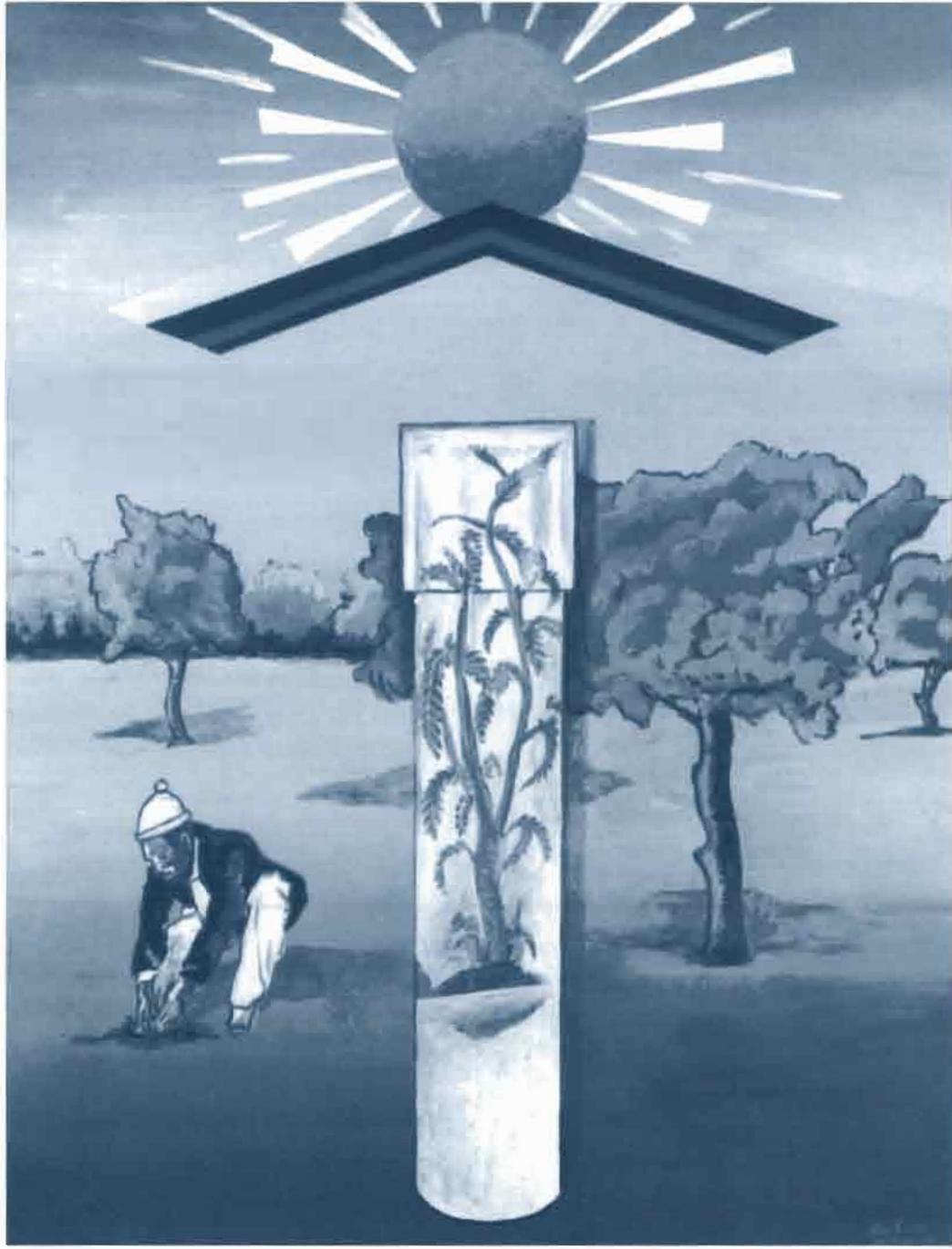
# Les biotechnologies

et la production végétale





Peinture : Aboubacar Yaya Zachary Cliché : Diffo photo Dakar



Les biotechnologies sont présentes dans deux domaines principaux, la microbiologie des sols et l'amélioration des plantes. Les objectifs recherchés sont :

- la mise en valeur des sols pour une meilleure agriculture ;
- la reforestation des régions sahéniennes.

Dès les années 50, l'évaluation de la fertilité des sols et leur mise en valeur ont fait l'objet de nombreuses études en agronomie, hydrologie, pédologie et microbiologie. Le Laboratoire de biologie des sols, créé en 1970, a permis d'approfondir ces recherches en collaboration avec l'Isra. Les scientifiques ont mis en évidence plusieurs types d'association de végétaux avec des bactéries capables de fixer l'azote atmosphérique : recherches sur la légumineuse *Sesbania rostrata* utilisée comme engrais biologique, sur *Azolla*, une fougère aquatique fertilisant les rizières, sur l'arbre *Casuarina* (le filao) qui retient le sol par son puissant système racinaire et sur l'*Acacia albida*.

Dans ces différents programmes, les travaux sur l'amélioration de la fixation biologique de l'azote et de la fertilité des sols se poursuivent en utilisant les technologies les plus modernes comme les techniques de biologie moléculaire (hybridations, séquençage, PCR, RFLP, RAPD).

Parallèlement à ces études, des programmes de génétique et d'amélioration des plantes ont été menés à la Station de Bambey en collaboration avec l'EMVT, l'Irat et l'Isra. Trois thèmes majeurs sont abordés :

- l'étude de la variabilité des espèces ;
- l'analyse des problèmes de croissance et de modification architecturale par croisement contrôlé ;
- l'étude des systèmes de reproduction.

Ces études ont été partiellement transférées à Niamey en collaboration avec l'Icrisat. Les programmes actuellement développés au Sénégal concernent essentiellement les ligneux et notamment certains ligneux fixateurs d'azote comme les acacias sahéniens.

Ces recherches s'appuient sur la manipulation de :

- marqueurs moléculaires pour l'étude de la variabilité des systèmes ;
- culture *in vitro* pour la multiplication conforme de génotypes sélectionnés.

L'utilisation de la culture *in vitro* permet de développer des techniques de multiplication végétatives classiques adaptées aux ligneux fruitiers ou forestiers. Cette technologie est développée dans l'Unité de recherche commune en culture *in vitro* (Urci), inaugurée en mars 1992, fruit d'une étroite collaboration entre l'Orstom et l'Isra.

## Microbiologie

- La fixation biologique de l'azote
- Les micro-organismes des rizières
- Les bactéries de l'extrême



## Diversité génétique et amélioration des plantes

- Étude de la diversité génétique par les marqueurs moléculaires
- Les mils sahéniens (*Pennisetum typhoides*)



## Urci : Unité de recherche commune Isra-Orstom en culture *in-vitro*





# Microbiologie

Collaborations : Isra, Ucad, Direction des eaux et forêts, Université de Rabat-Maroc, Ira-Tunisie, ENS-Mali, Irbet-Burkina Faso

## Les légumineuses

### Sesbania

Aspect fondamental	En 1979, les chercheurs de Dakar ont découvert que les excroissances (nodules) présentes sur les tiges de <i>Sesbania rostrata</i> renfermaient des bactéries capables de fixer l'azote atmosphérique. La caractérisation taxonomique de ces bactéries a abouti à la création d'un nouveau genre contenant une espèce : <i>Azorhizobium caulinodans</i> .
Aspect appliqué	La présence de nodules sur les tiges et les racines de <i>Sesbania rostrata</i> confère à cette plante un potentiel fixateur d'azote important. Elle peut ainsi être utilisée comme engrais vert. Testée en Casamance dès 1980, l'utilisation de <i>Sesbania rostrata</i> permet de doubler les rendements en grains de riz, les faisant passer de deux à quatre tonnes l'hectare, ce qui correspondrait à un apport en engrais chimique de soixante à quatre-vingts kilos.

## La fixation biologique de l'azote

De nombreux sols tropicaux sont pauvres en azote, notamment ceux du Sahel érodés par la sécheresse ou une agriculture intensive. Le recours à une utilisation massive d'engrais constitue un facteur de pollution important et dont le coût est prohibitif. Le Laboratoire de microbiologie des sols de Dakar a lancé en 1977 un programme de recherches sur des végétaux (principalement les légumineuses) qui ont la propriété de fixer l'azote de l'air, en association avec des bactéries, grâce à la formation de nodules le plus souvent racinaires. L'azote fixé par ces végétaux est ensuite restitué aux sols. Ceci revêt un intérêt tout particulier pour la fertilisation, la régénération et la fixation des sols.

Cliché Bernard Dreyfus



Nodules sur tige de *Sesbania rostrata*

Cliché Philippe de Lajudie



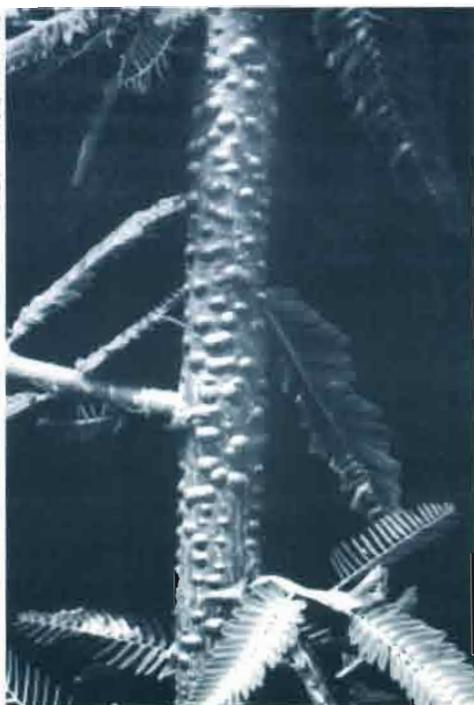
Utilisation de *Sesbania rostrata* comme engrais vert

## Aeschynomene

De nombreuses bactéries nodulant *Aeschynomene* sont photosynthétiques et présentent une pigmentation orange ou rose. Leur caractérisation taxonomique montre qu'elles appartiennent au genre *Bradyrhizobium*.

Plusieurs espèces d'*Aeschynomene* présentent des nodules caulinaires. Elles sont aussi utilisées comme engrais vert. De plus, les souches isolées des nodules synthétisent des pigments caroténoïdiens qui ont un intérêt commercial (agro-alimentaire, cosmétologie).

Cliché : Didier Alazard



Nodules sur tige d'*Aeschynomene*

## Acacia

La sélection et la caractérisation de souches bactériennes symbiotiquement performantes peut améliorer la fixation de l'azote chez différents acacias. Les études ont abouti à la proposition d'un nouveau genre, *Sinorhizobium* contenant deux nouvelles espèces : *S. saheli* et *S. terangae* et à la caractérisation de nouveaux groupes génomiques dans le genre *Bradyrhizobium*.

Différentes espèces d'acacias sont utilisées pour la régénération, la stabilisation des sols et pour leurs propriétés agro-sylvo-pastorales.



Cliché Nicolas Dupuy

Nodule racinaire d'acacia



Cliché Nicolas Dupuy

*Acacia albida* en saison humide





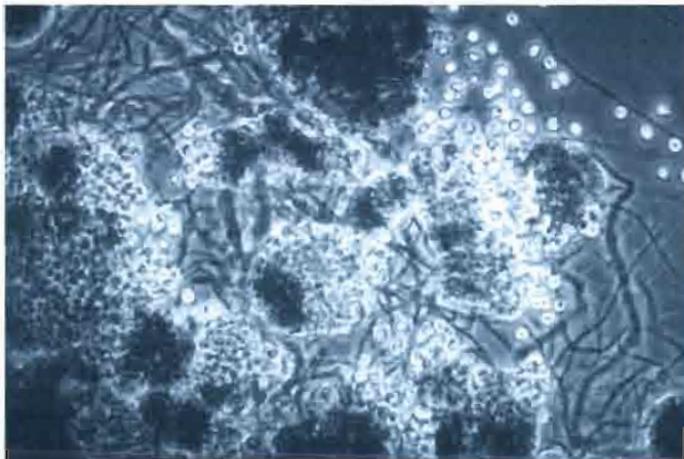
## Les non-légumineuses

### *Casuarina* (filao)

Des bactéries filamenteuses ou actinomycètes du genre *Frankia* sont également capables d'induire la formation de nodules sur les racines de filaos. De nombreuses souches de *Frankia* ont été isolées et caractérisées au Sénégal.

Le filao présente le double avantage de fixer l'azote en association avec la bactérie *Frankia* et de fixer les dunes mobiles ou les pentes dénudées grâce à son puissant système racinaire. Les souches de *Frankia* les plus performantes sont utilisées comme inoculum en pépinières : les jeunes plants de filao fixateurs d'azote sont ensuite transférés sur le terrain.

Cliché Bassirou Sougoufara



Culture de *Frankia*



Cliché Bassirou Sougoufara

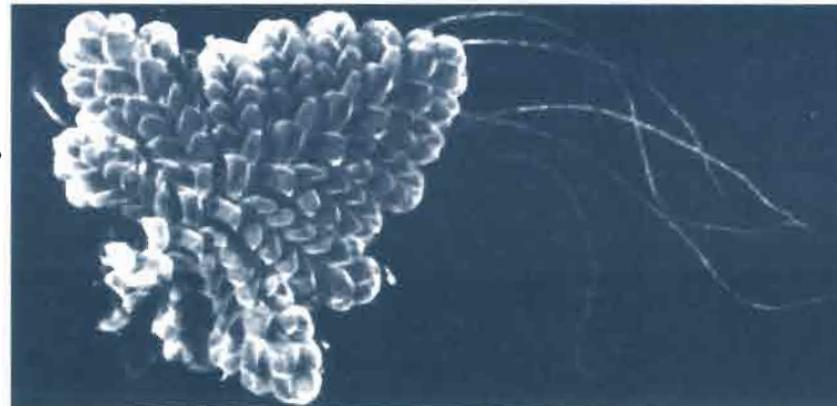
Vue aérienne de la barrière verte au lac Retba (Lac rose, Sénégal)

### *Azolla*

La fougère aquatique *Azolla* abrite la cyanobactérie du genre *Anabaena*, capable de fixer l'azote. Des recherches fondamentales ont été conduites, étudiant les gènes de la plante et les particularités génétiques du micro-organisme. Ces études visaient à conserver les souches d'*Azolla* et à les produire en masse.

La présence d'*Azolla* dans les rizières permet l'apport de composés organiques et azotés et contribue ainsi à la fertilisation des sols. Agronomiquement, la présence d'*Azolla* entraîne une augmentation des bénéfices d'environ 50% sur deux cycles culturaux par rapport aux cultures traditionnelles.

Cliché Claudine Franche-Bogusz



Morphologie des frondes d'*Azolla pinnata* var. *africana*



Cliché Pierre Reynaud

Basins de production d'inoculum d'*Azolla* à Affiniam (Casamance, Sénégal). L'ombrage de palmes a été enlevé pour montrer le développement d'*Azolla* après 15 jours de culture.

# Les micro-organismes des rizières

La submersion des rizières conduit à la formation de macro et micro-environnements permettant à de nouveaux groupes de micro-organismes de se développer. En 1970, le Laboratoire de microbiologie de l'Orstom au Sénégal se consacre à l'étude des sols de rizières et à ses populations bactériennes indigènes.

## Les cyanobactéries

Les estimations de la fixation de l'azote par les cyanobactéries s'échelonnent entre 8 et 80kg N/ha. Le pourcentage de l'azote des cyanobactéries retrouvé dans la plante varie entre 13 et 50% (30% en moyenne).

## Les bactéries fixatrices d'azote libre

Les effets bénéfiques de l'inoculation bactérienne par *Azotobacter* ou *Azospirillum* peuvent être attribués à quatre processus :

- \* fixation de nitrate en gaz accrue dans la rhizosphère ;
- \* production de régulateurs de croissance qui améliorent la croissance du riz ;
- \* disponibilité accrue d'éléments nutritifs due à leur solubilisation par les bactéries ;
- \* compétition entre les bactéries inoculées et les pathogènes dans la rhizosphère.

## Les bactéries dénitrifiantes

- \* la dénitrification aboutit à une perte de l'azote présent dans le sol ou apporté sous forme d'engrais ;
  - \* les conditions de la dénitrification en rizière ont été étudiées *in situ*. L'enfouissement des engrais azotés a été proposé par les chercheurs de l'Orstom pour les pertes d'azote dans le biotope de rizières ;
  - \* une étude microbiologique a permis d'isoler de nombreuses bactéries dénitrifiantes, parmi lesquelles une nouvelle population sporulée appartenant au genre *Bacillus*, tolérant des concentrations élevées des nitrites.
- Certains caractères nouveaux et originaux ont pu être décelés pour ces souches : fermentation des sucres, utilisation de l'oxyde nitrique pour la croissance, fixation de l'azote.

## Les bactéries sulfatoréductrices et du cycle du fer

Des résultats de terrain ont permis de faire le point sur les symptômes et les facteurs de colonisation du système racinaire du riz inondé par des bactéries réductrices de fer ferrique ou de sulfates. Celles-ci sont à l'origine de l'accumulation d'ions toxiques pour le riz. La seule lutte possible consiste en un choix de variétés résistantes et à l'application de pratiques culturales adaptées (engrais P et K).

Participation scientifique : Nicolas Dupuy, Bernard Dreyfus

# Les bactéries de l'extrême

## La thermophilie

*Clostridium thermopalmarium* et *Bacillus thermoamylovorans*, deux bactéries fermentaires ont été isolées à partir de vins de palme.

## L'halophilie

Des études sur le lac Retba et en Casamance ont permis d'isoler et caractériser des bactéries halophiles (*Methanohalophilus portucalensis*), sulfatoréductrices (*Desulfohalubium retbaense*) et fermentaires (*Haloicola saccharolytica* subsp. *senegalensis*) pouvant croître en présence de 150 g de sel par litre.

### Liste des bactéries isolées, décrites et nommées au Sénégal

#### \* Bactéries fixatrices d'azote

<i>Azorhizobium caulinodans</i>	sur <i>Sesbania rostrata</i>
<i>Sinorhizobium saheli</i>	sur <i>Acacia</i> spp
<i>Sinorhizobium terangaie</i>	sur <i>Acacia</i> sp. et <i>Sesbania</i> sp.
<i>Azospirillum</i> sp.	sur riz
<i>Bradyrhizobium</i> sp	sur <i>Aeschynomene</i>
<i>Bradyrhizobium</i> sp.	sur <i>Acacia albida</i>
<i>Rhizobium</i> sp.	sol Dior

#### \* Cyanobactéries (sols de rizières)

*Calothrix* sp.  
*Fischerella* sp.  
*Nostoc* sp.

#### \* Bactéries dénitrifiantes (sols de rizières)

*Bacillus* spp.  
*Bacillus stearothermophilus*  
*Pseudomonas pickettii*  
*Pseudomonas stutzeri*  
*Thiobacillus denitrificans*

#### \* Bactéries sulfatoréductrices

<i>Desulfohalobium retbaense</i>	sédiments du lac Retba
<i>Desulfovibrio desulfuricans</i>	sols de rizières
<i>Desulfovibrio vulgaris</i>	sols de rizières

#### \* Bactéries de l'extrême

<i>Bacillus thermoamylovorans</i>	vin de palme
<i>Clostridium thermopalmarium</i>	vin de palme
<i>Haloanaerophilus lacusrosae</i>	sédiments du lac Retba
<i>Haloicola saccharolytica</i> subsp. <i>senegalensis</i>	sédiments du lac Retba



# Diversité génétique et amélioration des plantes

Collaborations : Isra, Ucad, Cirad

## Étude de la diversité génétique par les marqueurs moléculaires

Confronté au problème de l'amélioration d'un type de plante, le généticien doit en premier lieu connaître la richesse génétique naturelle de l'espèce étudiée.

En effet, en se focalisant sur la création de la variabilité génétique par mutation artificielle, les généticiens ont créé très souvent des variétés instables vis à vis des aléas du milieu. C'est pourquoi, depuis les années 1970, ils s'interrogent sur la diversité des espèces dans leurs aires de répartition, qui est généralement associée à une bonne adaptation au milieu.

Dans les études menées par le laboratoire de l'Orstom à Dakar, la priorité est donnée à l'amélioration des ligneux fixateurs d'azote, notamment les acacias sahéliens.

Au départ, la variabilité génétique de ces espèces n'est pas connue. L'étude des arbres sur le terrain montre qu'il en existe de plus ou moins vigoureux.

Le problème est de pouvoir apprécier leur diversité, sachant que leur apparence (phénotype) dépend autant de leurs qualités génétiques (génotype) que de l'effet du milieu dans lequel ils croissent (disponibilité en eau, caractéristiques du sol).

Dans le cadre de l'étude des ligneux, les généticiens n'ont souvent que peu de caractères morphologiques simples disponibles (couleur des fleurs, couleur et morphologie des fruits, apparence des feuilles) pour apprécier la diversité génétique.

Il leur est donc nécessaire d'utiliser des marqueurs moléculaires. L'analyse la plus courante est celle des enzymes, dont la révélation est faite par électrophorèse : chez les individus diploïdes (ayant 2 fois n chromosomes, homologues 2 à 2), les chromosomes sont apportés moitié par le père, moitié par la mère. Ce sont ces chromosomes qui portent les gènes. La séquence de trois nucléotides (constituants de l'ADN) parmi quatre au total, correspond à un acide aminé dont l'association en chaînes polymériques forme des protéines. Une mutation sur un nucléotide peut entraîner des modifications des acides aminés. La charge électrique de la protéine est à son tour modifiée.

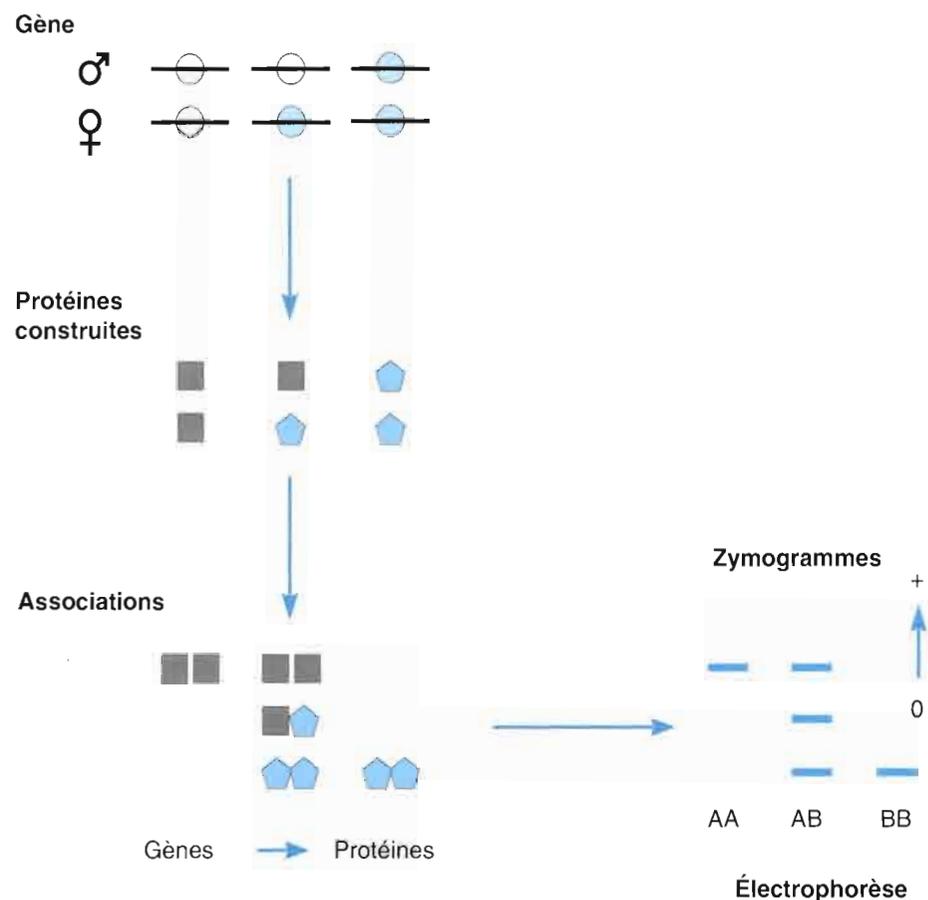
L'électrophorèse consiste à faire un extrait (broyât) de matière vivante (feuilles, racines, cotylédons) et, après centrifugation et filtration, de soumettre le surnageant à un champ électrique. Les protéines de la plante contenues dans le broyât migrent dans un champ électrique de façon différente, en fonction de leur ionisation.

Comme chaque protéine a une charge spécifique, la moindre mutation du génome (ensemble des gènes) a une répercussion sur la séquence ou même la structure de la protéine, qui modifie sa vitesse de migration. Il est alors possible de les distinguer les unes des autres.

Toutes les révélations sur les enzymes sont réalisées de manière spécifique : seule l'enzyme étudiée peut être révélée.

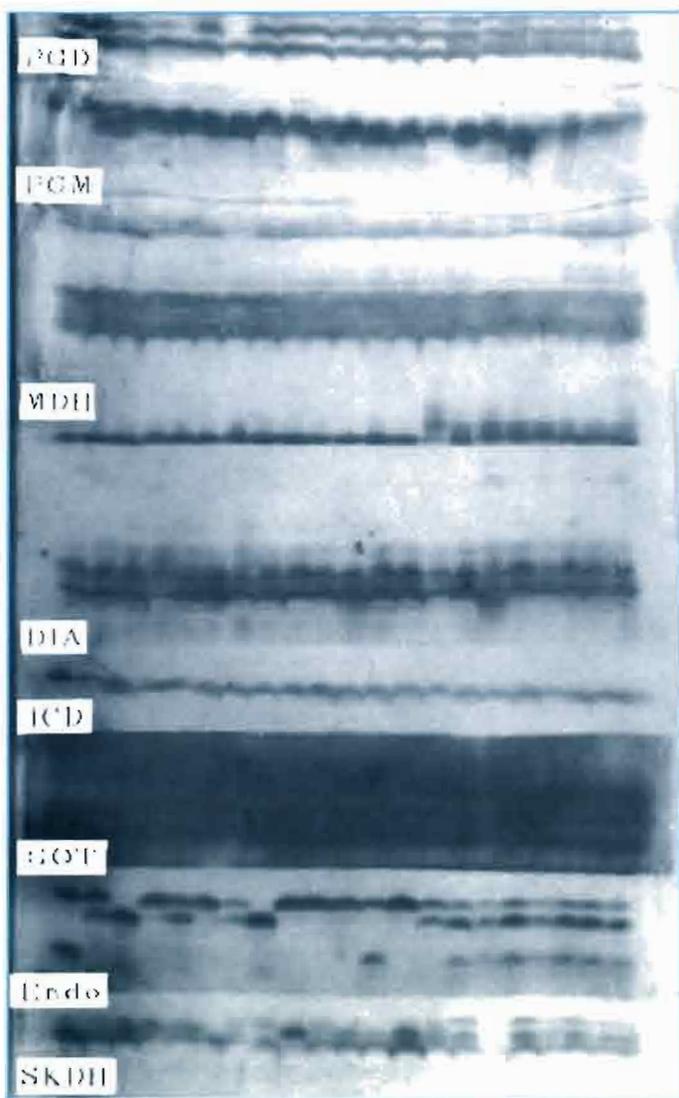
Le zymogramme est le résultat de l'électrophorèse : au bout d'un temps déterminé, les différentes protéines ont migré plus ou moins rapidement dans un support soumis au champ électrique. Chaque ligne colorée correspond à une protéine différente.

Il est facile de discerner les trois types d'association, notamment les structures hybrides. Les relations de dominance n'apparaissent que très rarement en électrophorèse. D'autre part, il est maintenant prouvé que ces caractères enzymatiques sont indépendants de la pression humaine, au contraire des caractères morphologiques : en effet, l'homme fait une sélection sur les jeunes plants par exemple, en éliminant les individus qui ne lui conviennent pas.



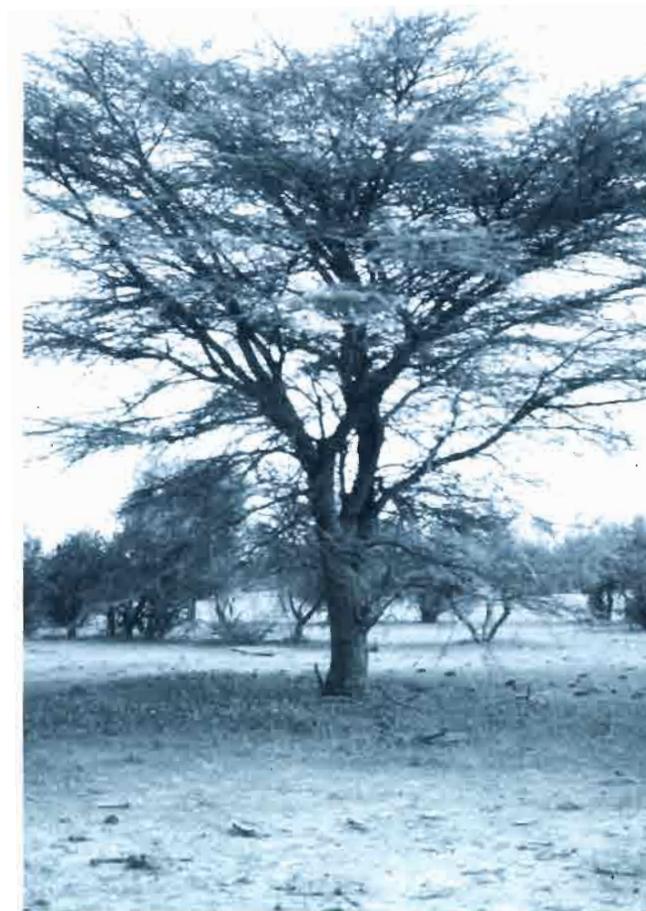
Influence d'une mutation allélique sur la migration d'une enzyme dimérique chez un individu diploïde

## Un exemple : la variabilité de l'*Acacia raddiana* au Sénégal



Résultat de la migration de 20 descendances d'*Acacia senegal* dont nous avons pu révéler huit protéines enzymatiques différentes, soit de haut en bas, les **PGD** (phosphoglucose déshydrogénase), les **PGM** (phosphoglucomutase), les **MDH** (malate déshydrogénase), les **DIA** (diaphorase), les **ICD** (Isocitrate déshydrogénase), les **GOT** (glutamate oxalo transaminase), les **Endo** (endopeptidase) et les **SKDH** (shikimate déshydrogénase).

On constate dans ce cas, que cette espèce est peu variable, mis à part les zymogrammes d'**Endo** (à l'inverse de l'*Acacia raddiana*), ce qui n'est pas sans intérêt dans les comparaisons au champ de cette espèce et dans la mobilisation par culture *in-vitro* de la variabilité génétique.



*Acacia raddiana*

Une étude réalisée sur *Acacia raddiana* a montré une très grande diversité génétique de cet arbre sahélien. Cela peut être dû à son état de tétraploïde (4 n chromosomes). Ce polymorphisme génétique lui permet peut-être de mieux résister aux aléas climatiques, comparé à l'*Acacia senegal*, qui est diploïde. Ce point mérite d'être étudié de manière plus approfondie.

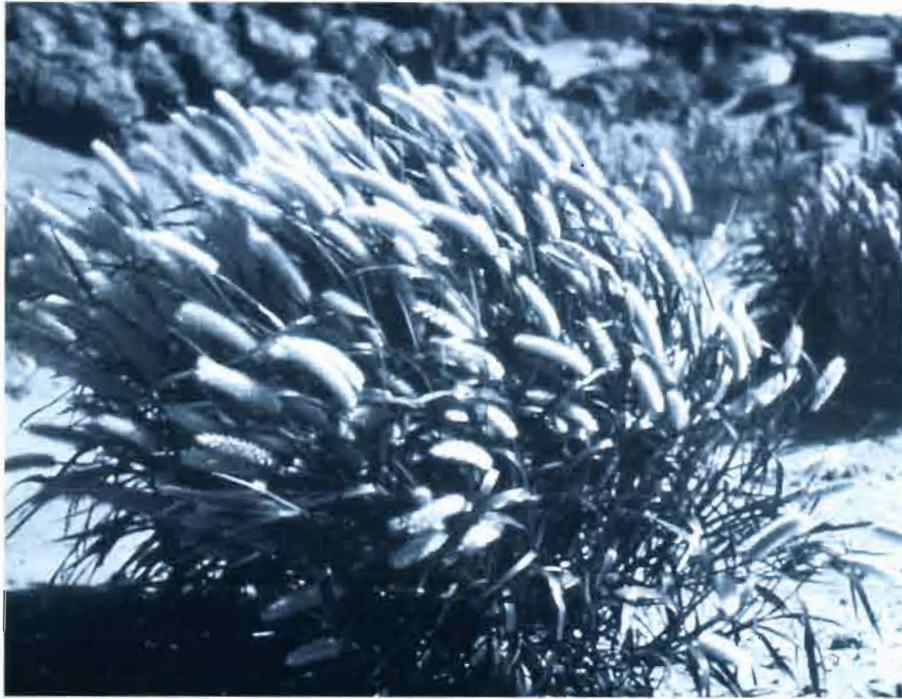
Cliché : Laboratoire de microbiologie des sols, Orstom Dakar



## Les mils sahéliens (*Pennisetum typhoides*)

Collaborations : Irat, Isra, Icrisat

Le mil (petit mil ou "Candle like") est une céréale communément cultivée au Sénégal. Elle ne doit pas être confondue avec le sorgho. Les variétés les plus fréquemment rencontrées au Sénégal s'appellent *souna* et *sanio*. Le *souna* est un mil précoce (90 jours), cultivé principalement dans le pays Sereer. Le *sanio* est un mil tardif, plus productif et cultivé en général en basse-Casamance.



Cliché Serge Tostain

Forme spontanée de *Pennisetum glaucum*, ou mil sauvage, en cours de maturation, en zone non cultivée

Le mil cultivé en Afrique est une plante allogame (une fleur doit être fécondée par un autre plant) et anémophile (le pollen est transporté essentiellement par le vent), à l'inverse du riz et du sorgho par exemple, qui sont des espèces autogames.

Le mil est une plante diploïde (ayant deux séries de  $n$  chromosomes homologues, venant chacune de l'un des parents), au nombre de chromosomes restreints, soit  $2n = 14$ . En Afrique, le mil cultivé pousse souvent en association avec son ancêtre sauvage (*Pennisetum mollissimum*) avec lequel il peut se croiser, ce qui rend difficile la fixation des sélections.



Cliché Serge Tostain

Épis de mils sauvages

Certaines plantes sont issues d'une même zone géographique connue : un **centre de diversification** (maïs : Mexique, blé : Iran, Afghanistan, par exemple). D'après les résultats obtenus à ce jour, il semblerait qu'au contraire, le mil soit issu d'un **non-centre de diversification**, étendu du Soudan au Sénégal. On retrouve également cette céréale cultivée en Inde, d'où l'implantation originelle de l'Icrisat (International crop research in semi arid tropics) à Hyderabad en Inde.



Cliché Alain Borgeat

Épis de mil sauvage

L'importance du mil en zone sahélienne a très tôt été une préoccupation des généticiens de l'Orstom, qui, en association avec des chercheurs de l'Irat (Institut intégré depuis au Cirad) et de l'Isra, ont développé un programme de sélection des mils sahéliens dès les années 60-70 à Bambey.

Leurs premières études concernaient la modification architecturale de cette plante, dont l'aspect était jusqu'alors de type fourrager (plantes ayant des feuilles abondantes, au détriment des grains).



Épis de mil après la récolte

Cliché Serge Tostain

Dans un premier temps, les chercheurs ont tenté des croisements associant un mil nain issu du Ghana, mais amélioré à Tifton (USA) appelé 23 DB, avec une variété cultivée de mil originaire du Niger, appelée Zongo, dont les longues chandelles étaient prometteuses.

Le résultat en contre saison fut plus que positif, mais la variété 23 DB avait perdu certains gènes de résistance lors des cycles de sélection aux États-Unis : les essais en culture d'hivernage ont mis en évidence une sensibilité très forte de cet hybride à une maladie liée au mildiou (*Sclerospora graminicola*).

Malgré un rendement de récolte faible, du fait de l'attaque de ce phytopathogène en saison des pluies, le programme avait prouvé qu'il était possible de modifier l'architecture du mil de façon positive. Il fut hélas suspendu pendant un certain temps. L'Icrisat ayant néanmoins compris l'intérêt de ces travaux récupéra les différents hybrides, connus aujourd'hui sous le nom de mil "Gam".

Par la suite, l'Orstom, grâce à son expérience sur cette céréale, contribua à la collecte dans plus de dix pays de l'ouest africain des variétés cultivées locales sous la responsabilité de l'IBPGR, pour la constitution d'une banque mondiale des mils africains. Ces semences sont conservées à court terme (cinq ans) par l'Orstom et à long terme par le Canada à Ottawa.

L'Icrisat a créé un centre de recherche sur le mil à Niamey. L'Orstom s'y est associé en mettant en place au Niger des équipes travaillant en collaboration avec cet institut international. Les travaux qui y sont menés actuellement concernent essentiellement les relations génétiques entre les mils cultivés et les mils sauvages.

Cliché Serge Tostain



Mil cultivé



# Unité de recherche commune Isra-Orstom en culture *in-vitro* (Urci)

Collaborations : Isra, Ucad, Direction des eaux et forêts

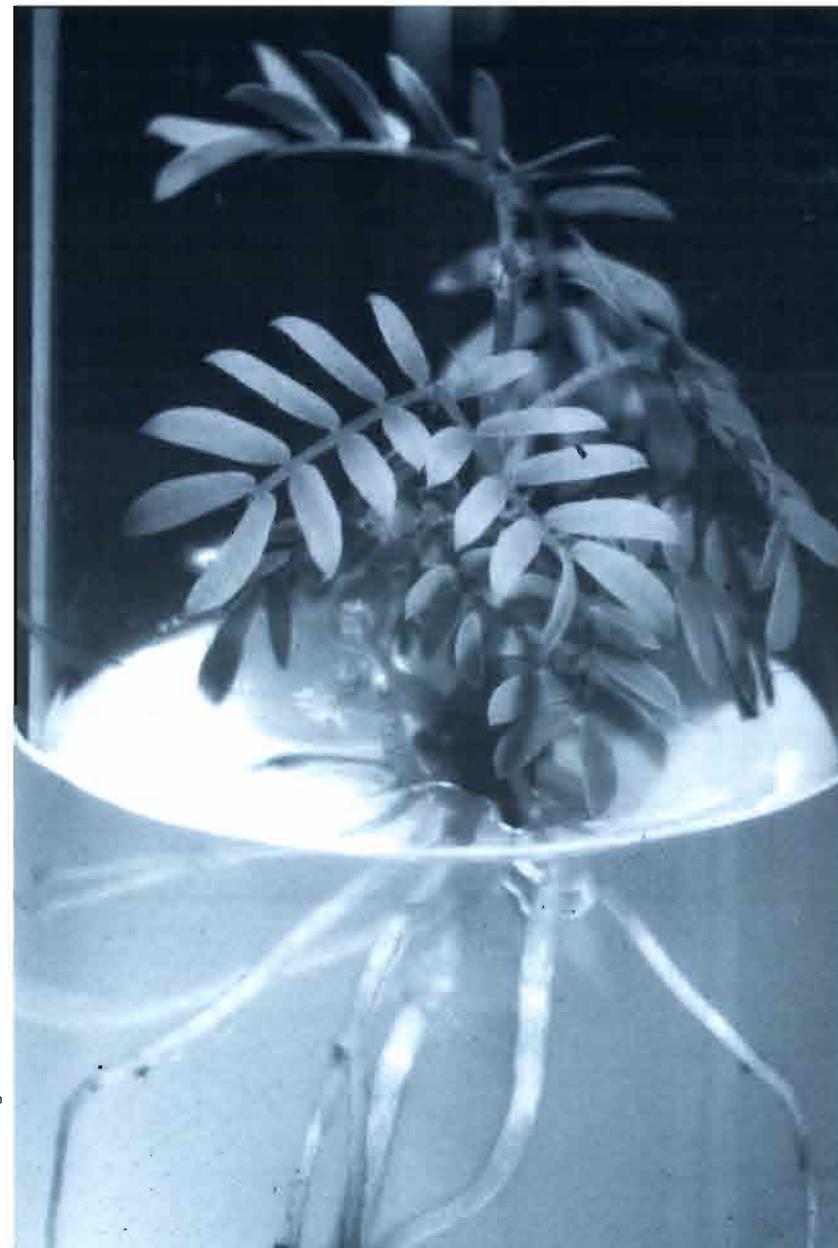
La satisfaction des besoins alimentaires, la lutte contre la désertification, la promotion des espèces d'intérêt économique ou écologique, la préservation des ressources génétiques naturelles dans les milieux tropicaux fragiles ont motivé une réflexion méthodologique conjointe qui a abouti à la création d'une unité de recherche en culture *in vitro*.

Cette technique permet d'obtenir des plants de même génotype qu'il sera possible de tester dans des conditions écologiques variées.



Cliché Michel Dukhan

L'équipe de l'Urci



Cliché Alain Borgel

*Acacia albida* : microbouture enracinée



Cliché Michel Dukhan

## Le laboratoire

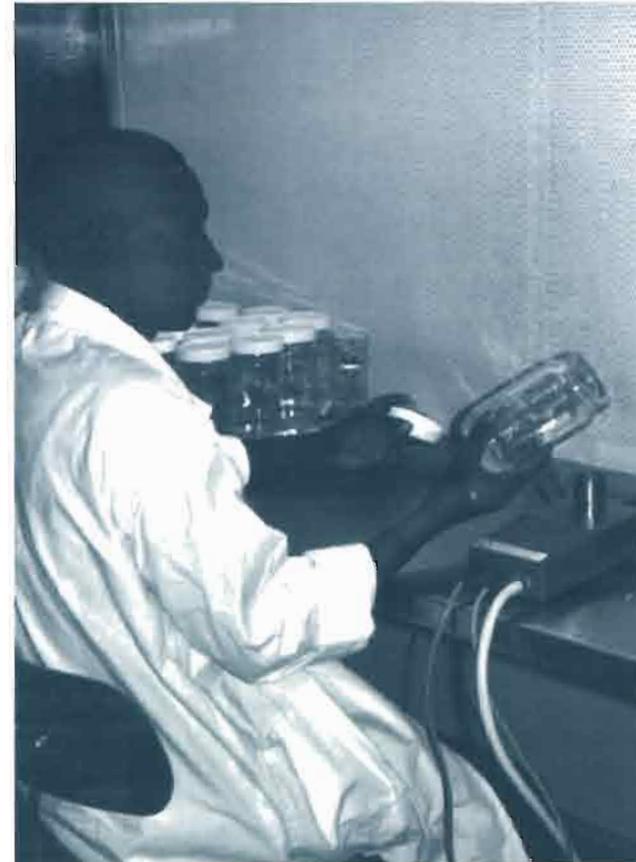
Construit sur le site de Bel-Air et inauguré le 20 mars 1992, il est géré par un comité exécutif paritaire Orstom-Isra. D'une surface de 512 m<sup>2</sup> dont 353 m<sup>2</sup> en laboratoires propres, il comporte :

- \* une grande salle commune de préparation de milieux et d'observations ;
- \* deux salles de laboratoire d'appui (histologie, biochimie) ;
- \* deux salles de repiquage autorisant huit postes de travail simultané ;
- \* quatre modules de culture *in-vitro* à climat contrôlé et programmable, regroupés dans une zone en surpression d'air filtré de 326 m<sup>3</sup>. Les 4 modules indépendants permettent de réaliser 6 conditions climatiques et ont une capacité totale de 70.000 vitroplants en tubes. Les photopériodes diurnes/nocturnes y sont programmables. L'éclairage de 6.000 lux est apporté par des tubes fluorescents spéciaux. L'hygrométrie est également programmable, du niveau naturel à saturation, quelle que soit la température.

\* cinq salles techniques (autoclaves, laverie, stocks, chambre froide, transferts des vitroplants en conditions horticoles) ;

\* quatre bureaux et une salle de réunion pour 25 personnes.

Le laboratoire collabore avec l'Ucad et la Direction des eaux et forêts notamment pour la formation en troisième cycle de biologie végétale et pour la formation continue de chercheurs africains de la sous-région. Il doit aussi jouer un rôle pilote régional en accueillant des chercheurs étrangers en séjours de longue durée sur leur propre thématique.



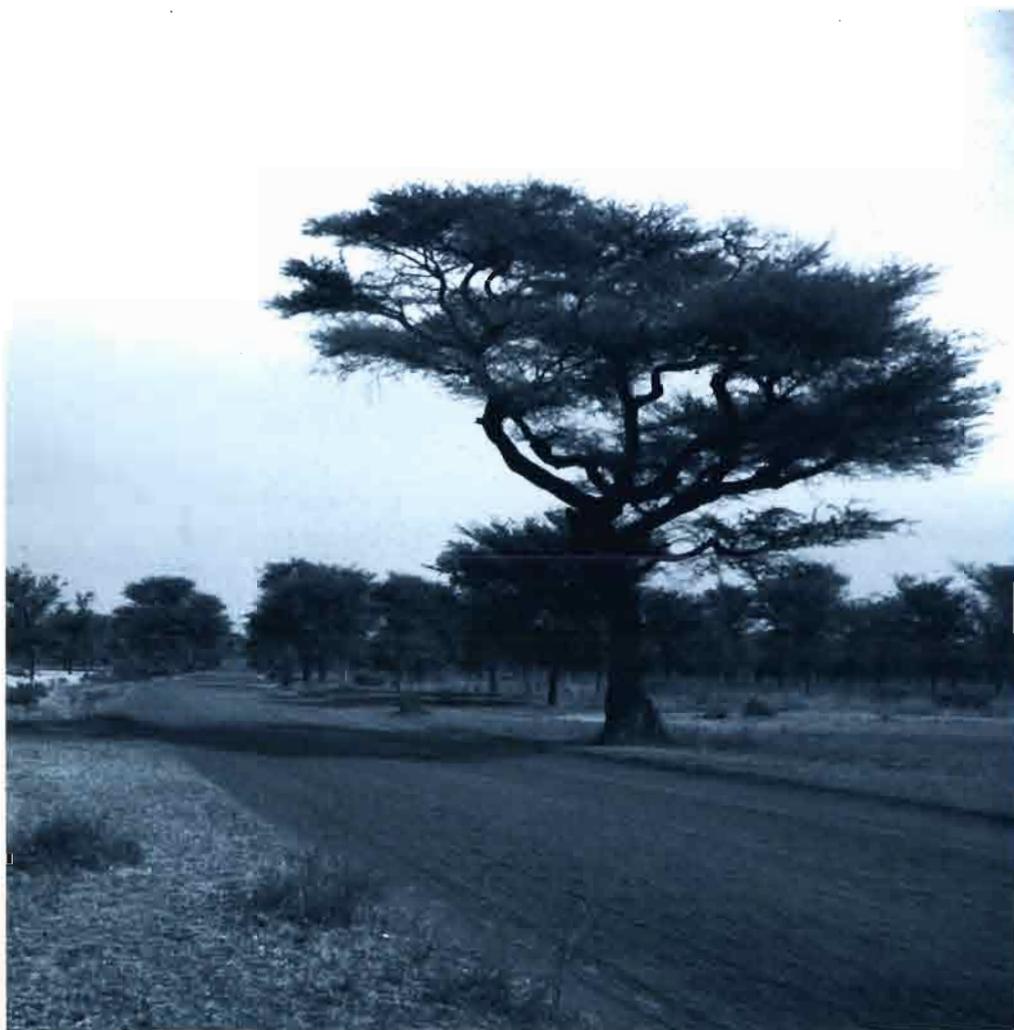
Cliché Michel Dukhan



## Axes de recherche et applications

L'axe principal des programmes de l'Urci est la production de clones (individus génétiquement identiques) d'arbres sélectionnés. Il comporte cinq étapes essentielles dont les modalités varient selon l'espèce choisie :

- \* la sélection en milieu naturel et la mobilisation en pépinière des individus à cloner ;
- \* le rajeunissement des sujets adultes par des méthodes de multiplication végétative horticoles (bouturage ou greffage en cascade) et/ou *in-vitro* (culture de méristème, microgreffage) ;



**Acacia albida**

Cliché Alain Borgel

Cliché Alain Borgel



**Acacia senegal** : premier stade

- \* la propagation végétative par micropropagation (multiplication en tubes stériles) en vue de constituer rapidement des populations homogènes importantes que l'on pourra tester dans différentes situations écologiques pour leur aptitude à la plasticité vis-à-vis du milieu ;
- \* l'acclimatation des vitroplants ainsi obtenus, en vue de leur implantation sur le terrain ;
- \* les individus ainsi clonés auront, selon les espèces et les objectifs poursuivis, des destinées différentes :
  - constitution de vergers à graines, formés de clones sélectionnés, produisant des semences améliorées par brassage génétique pour le reboisement. La variabilité génétique ainsi obtenue est un gage de stabilité vis-à-vis du milieu,
  - outils de recherche sur les interactions entre les espèces étudiées et les facteurs de l'environnement (adaptabilité) ou avec les organismes symbiotiques associés (tests clonaux),
  - diffusion limitée de variétés clonales, envisagée pour les fruitiers.

L'Urci peut aussi mettre en oeuvre des actions de recherche d'accompagnement (biologie cellulaire ou biochimie).

En outre, deux objectifs ont d'ores et déjà été mis en application :

- \* l'étude de la diversité et des processus évolutifs des espèces végétales (application aux acacias sahéliens principalement) et apport des biotechnologies en tant que voies complémentaires de l'amélioration et de la diffusion de ces espèces forestières ;
- \* l'amélioration des plantes d'une manière plus générale : espèces maraîchères, grandes cultures.

## Amélioration des plantes - analyse de la variabilité et culture *in-vitro*



Cliché Michel Dukhan

### État d'avancement

- \* mise au point de techniques de bouturage pour *Acacia senegal*, ce qui permet la mobilisation du matériel et également l'obtention de jeunes feuilles pour la détermination par électrophorèse des génotypes identifiés sur le terrain ;
- \* mise au point de techniques de culture *in vitro* sur jeunes plants d'*Acacia raddiana* permettant d'ores et déjà de proposer du matériel homogène pour les études de physiologie de l'arbre et de microbiologie ;
- \* études des conditions de micropropagation à partir d'arbres adultes rajeunis.

### Objectifs

- \* fixation de cette variabilité par technique de culture *in-vitro* (ou autofécondation si possible) afin de disposer en nombre suffisant d'individus de génotypes (ensemble des gènes) différents, à tester sur le terrain ;
- \* étude des potentialités agromonomiques ;
- \* sélection des génotypes les plus adaptés aux zones sahéliennes, notamment au niveau de leur plasticité.



*Acacia sieberiana* : clone

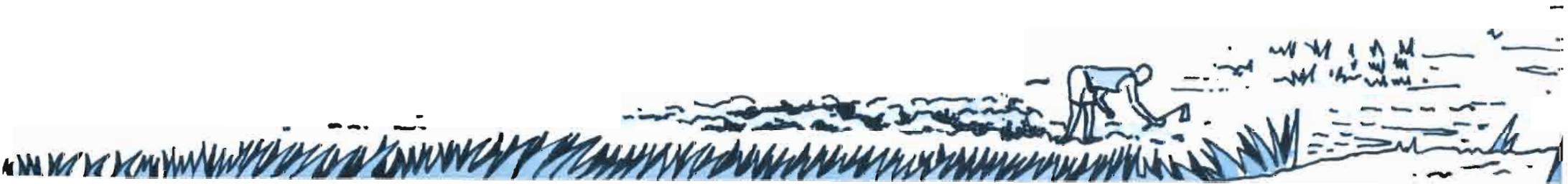
Cliché Alain Borgel

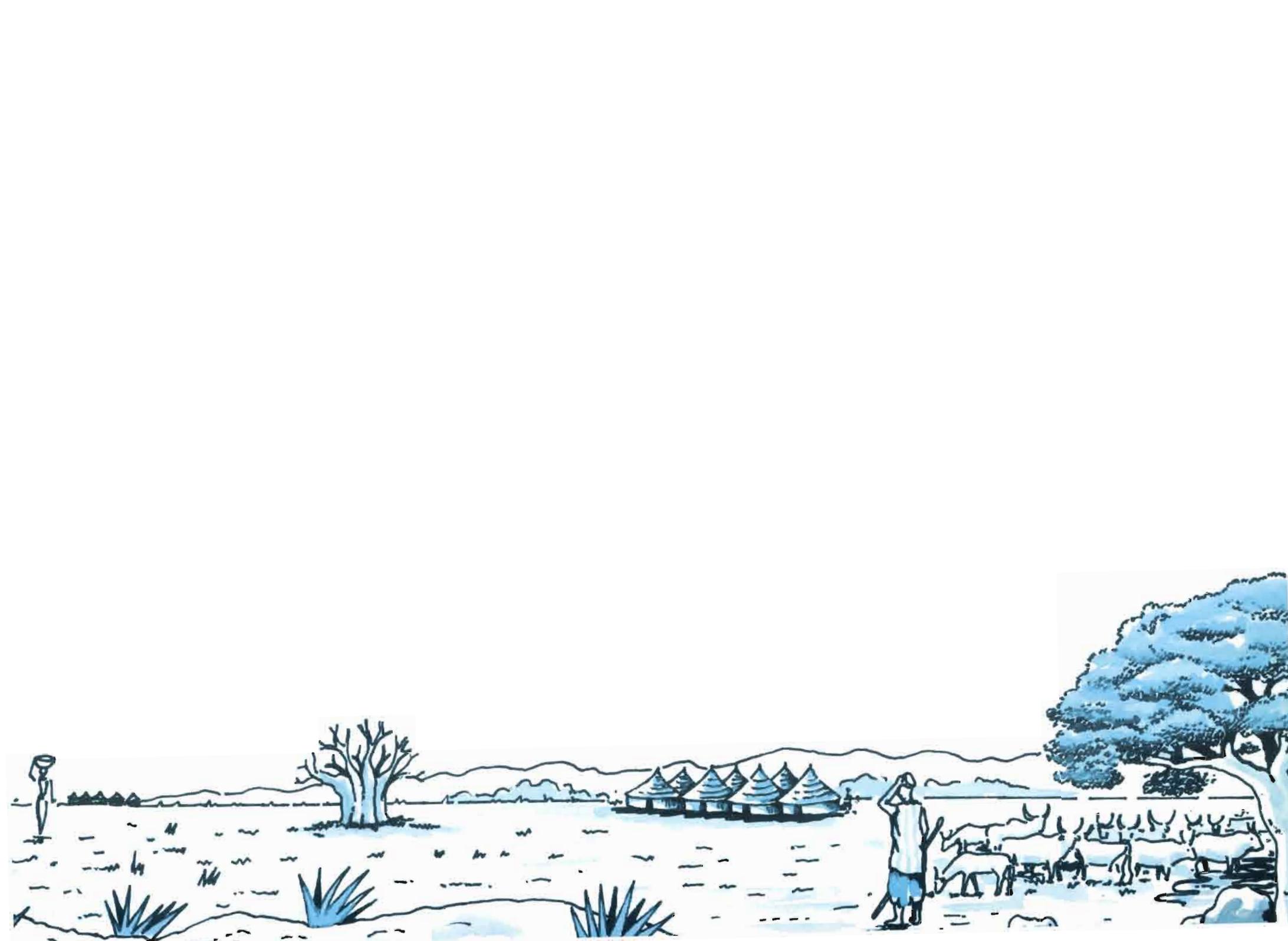


*Acacia albida* : microbouture

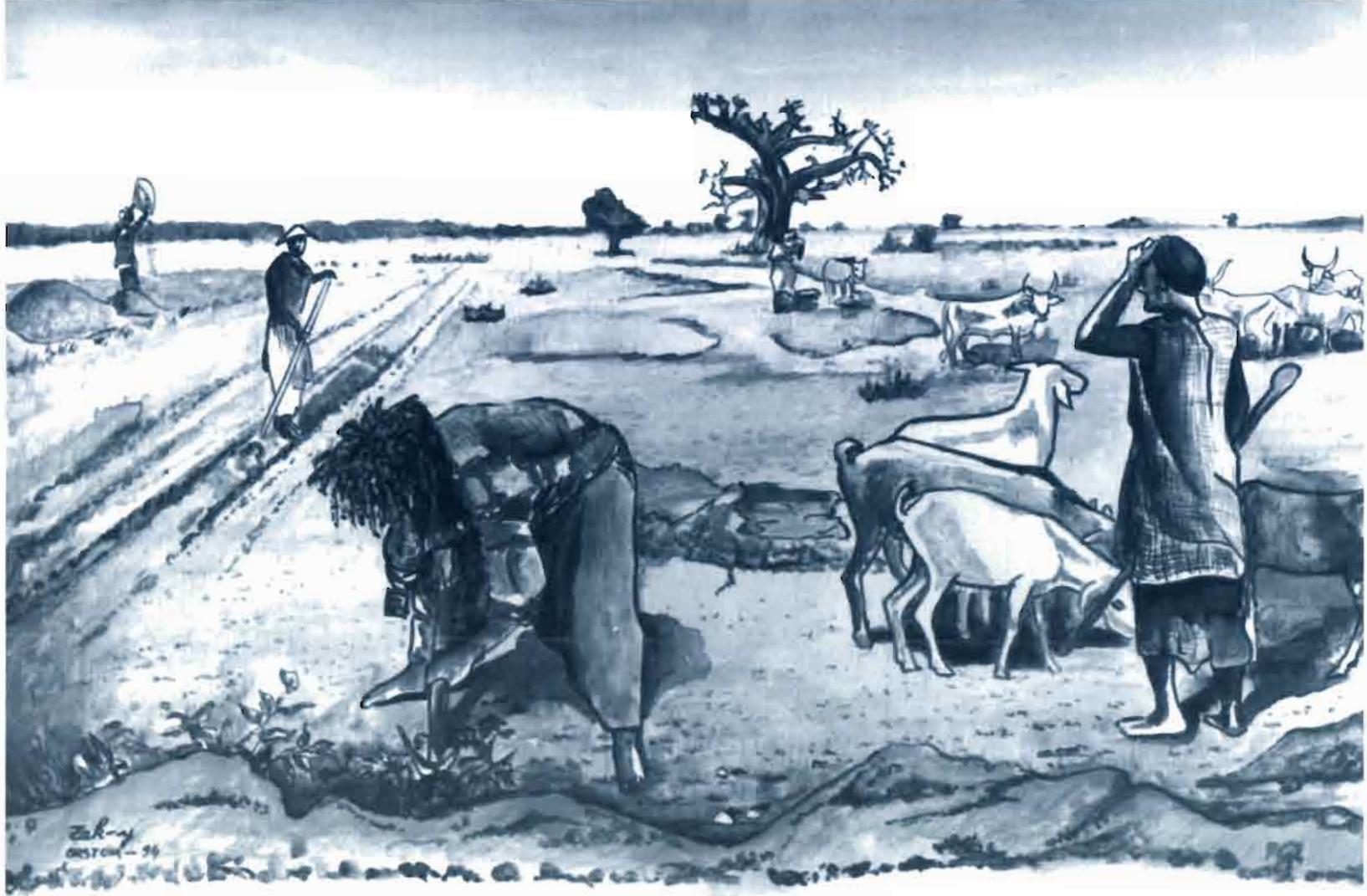
Cliché Alain Borgel

# Les sociétés rurales





Peinture : Aboubacar Yaya Zachary Cliché : Difco photo Dakar



Les recherches sur le thème des mutations du milieu rural ont débuté dans les années 50.

Elles se sont intéressées :

- à l'histoire des sociétés rurales ;
- aux spécificités des milieux qu'elles contrôlent, aménagent et exploitent ;
- aux pratiques agricoles et pastorales mises en oeuvre et aux résultats obtenus ;
- aux unités domestiques, aux entités collectives et aux réseaux sociaux ;
- à l'action des "développeurs" et aux changements des politiques agricoles.

Certaines recherches ont traité des aspects sectoriels de l'activité agricole, mais des programmes plus originaux et ambitieux ont tenté de rendre compte de l'évolution des systèmes ruraux ou de l'économie régionale dans sa totalité. Généralement conduits en équipes, ces programmes associent la démographie, la géographie rurale, l'anthropologie économique, l'agronomie et l'histoire.

Le champ scientifique est alors très vaste :

- il recouvre et met en relation la dynamique du peuplement, la gestion des terroirs, les techniques et les rapports sociaux de production ;
- il évalue les performances et la viabilité des systèmes de culture et d'élevage ;
- il saisit les dynamiques locales dans leur environnement économique et institutionnel ;
- il s'ouvre sur l'extérieur par l'analyse des migrations et des relations villes-campagnes.

Géographiquement, les recherches ont eu lieu principalement dans la vallée du fleuve Sénégal, dans le bassin arachidier, au Sénégal Oriental et en Casamance.

## Études en milieu rural dans la vallée du fleuve Sénégal



## Dynamique de l'élevage dans les systèmes de production de la vallée du fleuve Sénégal



## Études en milieu rural dans le bassin arachidier





# Études en milieu rural dans la vallée du fleuve Sénégal

Collaborations : Pnud, FAO, Isra, OMVS



Zébus dans un champ de mil

Cliché Jean-Brice Wackermann

## Années 50 : les inventaires

Les populations riveraines et leurs déplacements saisonniers sont cartographiés en relation avec les pratiques d'élevage et les transhumances.

Les sols de la vallée alluviale, leur spécificité et leurs potentialités sont analysés dans la perspective de l'aménagement et de l'introduction de nouvelles cultures (dans le cadre de la Mas : Mission d'aménagement du fleuve Sénégal).

L'Orstom participe également à l'étude régionale, fondée sur une enquête statistique lourde, dont les résultats publiés en 1962 dans l'ouvrage "La moyenne vallée du Sénégal" (étude socio-économique), demeurent la référence pour la situation précédant la période de sécheresse et les travaux d'aménagement de la moyenne vallée du Sénégal.

## Années 70 : l'étude des systèmes socio-économiques ruraux

Les recherches dressent un état des lieux dans le contexte de la sécheresse, en termes de systèmes de production et de peuplement, alors que les projets Pnud-FAO planifient la mise en valeur de la vallée en inventoriant les sols, en testant les performances des variétés à cultiver, et en comparant les types d'aménagements et d'équipements.

L'inventaire cartographique régional rend compte de l'utilisation des terroirs de décrue. Les études locales échelonnées le long de la vallée mettent en relation les dynamiques migratoires et la stagnation des systèmes agro-pastoraux.



Cliché Jean-Brice Wackermann

Les mutations profondes des sociétés et de l'espace riverain sont analysées dès la fin des années 70, tandis que l'agriculture irriguée fait l'objet d'un suivi, en coopération avec l'Isra. Les chercheurs apportent alors une forte contribution à "l'Étude socio-économique" réalisée par l'OMVS, qui dresse un bilan complet de la situation de la vallée en 1980.



Cliché Moctar Ba

## Années 90 : l'analyse de l'adaptation des systèmes socio-économiques ruraux au nouvel environnement aménagé

Avec une activité paysanne recentrée sur la culture irriguée multiforme, des questions nouvelles se posent sur l'emploi et l'organisation de la population active, sur l'accès à la terre et au crédit, sur la diversité et la maîtrise des techniques, sur le maintien des activités anciennes (notamment l'élevage), sur le fonctionnement des filières, finalement sur la viabilité des systèmes de production en terme de gestion des ressources naturelles et d'économies familiales.

Cliché Jean-Brice Wackermann



Cliché Jean-Brice Wackermann

Battage du riz

Cliché Claire Tarrrière-Diop



Participation scientifique : André Lericollais



# Dynamique de l'élevage dans les systèmes

Collaboration : Isra

Cliché Moctar Ba



Pasteur peul

Au cours de leur histoire, les sociétés pastorales n'ont cessé d'évoluer sous l'effet de contraintes climatiques, économiques ou politiques. Au Sahel, les sécheresses ont depuis toujours constitué un facteur majeur de transformation. Aujourd'hui, s'y ajoutent un très fort accroissement démographique, une saturation foncière et une extension des terres cultivées aux dépens des parcours pastoraux.

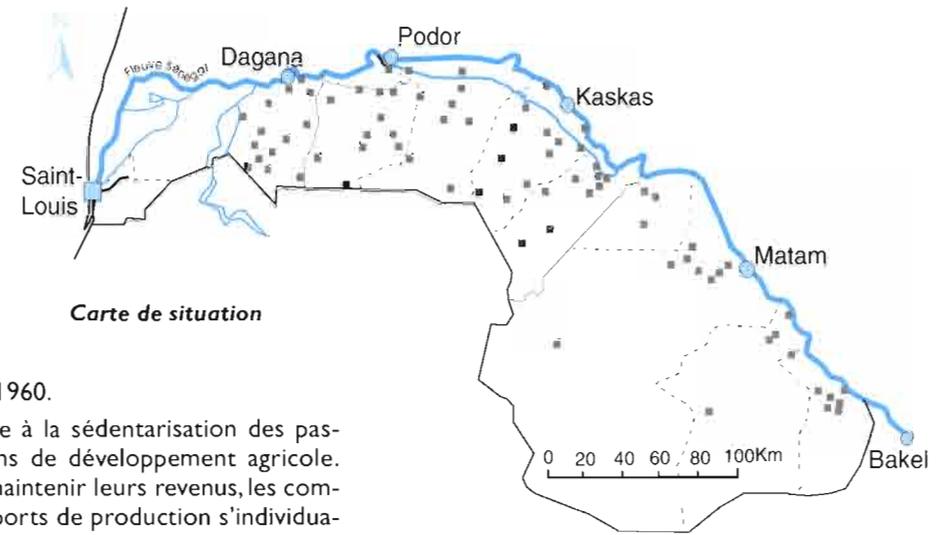
Dès 1945, des recherches sont entreprises sur l'élevage et la transhumance au Sénégal et en

Mauritanie. De nombreuses informations sont recueillies sur les composantes démographiques et ethniques des sociétés pastorales, les itinéraires et les déplacements saisonniers des éleveurs, la densité et la composition de leur cheptel, l'emplacement des puits, l'utilisation des pâturages, les techniques d'élevage et le commerce du bétail.

A partir de 1969, l'objectif des études entreprises était de mesurer les transformations de l'élevage consécutives aux aménagements hydrauliques (forages), et surtout, à la sécheresse qui a frappé le Sahel à la fin des années 1960.

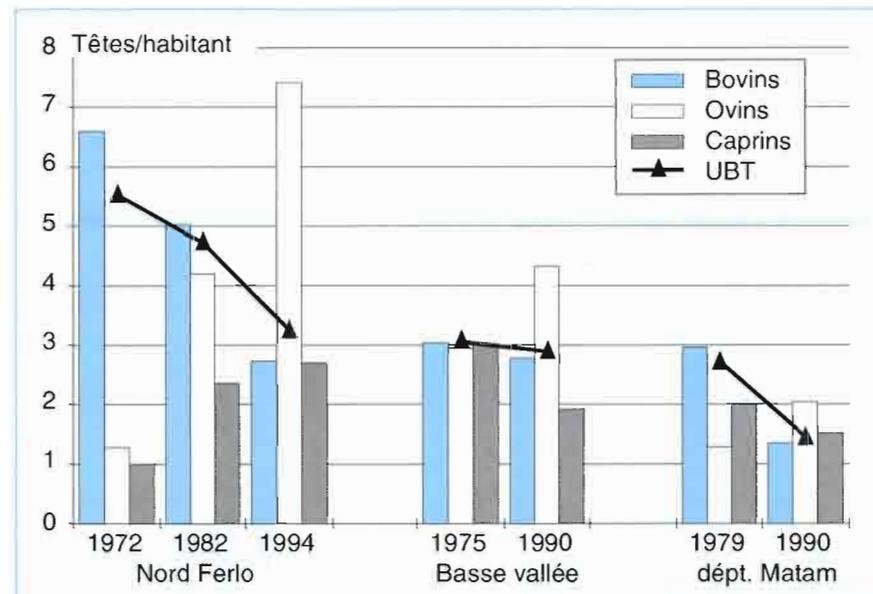
Aujourd'hui les études révèlent une tendance à la sédentarisation des pasteurs, souvent encouragée par des opérations de développement agricole. Les pasteurs diversifient leurs activités pour maintenir leurs revenus, les communautés familiales se désagrègent, et les rapports de production s'individualisent.

Enquête élevage (1990-1993)



Carte de situation

■ Village/campement étudié



Évolution du cheptel entre 1972 et 1994

## Objectifs

Depuis une vingtaine d'années, sous l'effet de la sécheresse, puis du développement consécutif de l'agriculture irriguée, l'élevage pratiqué par les pasteurs peuls et les paysans de la vallée du fleuve Sénégal a subi une évolution négative. L'effet le plus apparent est une diminution du cheptel, par mortalité ou migration, qui touche non seulement les départements rive-rains, mais aussi toute la moitié nord du pays.

# de production de la vallée du fleuve Sénégal

Un programme pluridisciplinaire Orstom-Isra plus large vise à faire le point sur les multiples transformations en cours.

L'étude sur l'élevage, commencée en 1990 sur la rive gauche du fleuve (à l'exception du delta), essaie de répondre à plusieurs questions :

- \* comment les systèmes agro-pastoraux traditionnels ont-ils réagi face à la sécheresse et à l'aménagement hydro-agricole des terres de la vallée ?
- \* quels sont actuellement les systèmes d'élevage pratiqués dans la vallée ?
- \* quelles tendances se dégagent de l'évolution des systèmes d'élevage face au recentrage des activités sur la culture irriguée ?

## Méthodes

Les études réalisées en 1974-1979 par l'Orstom sur les systèmes d'élevage peuls de la vallée servent de base de départ. Le nouveau dispositif d'enquête s'appuie sur un réseau d'observation constitué de 92 villages et campements. L'analyse se situe au niveau de la plus petite unité de production, le *foyre*, (4465 en tout), au sein de laquelle est étudiée la dynamique de l'élevage en relation avec les autres activités pratiquées, dont la combinaison, variable dans le temps et l'espace, constitue de véritables systèmes.



Un puits dans le Ferlo

Cliché Moctar Ba

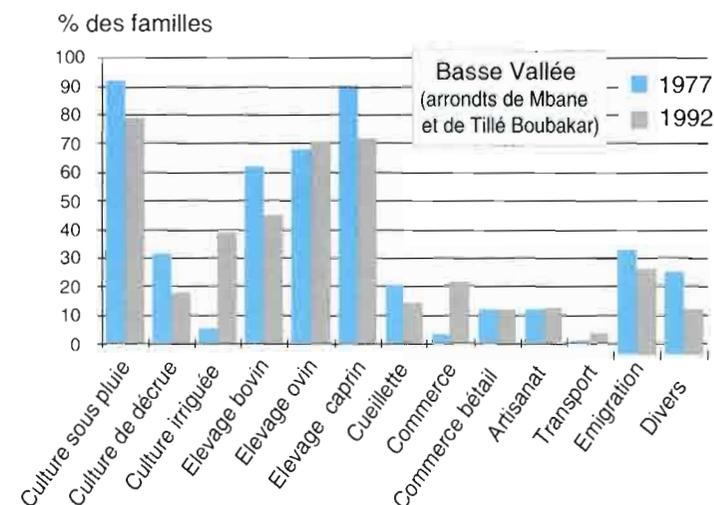
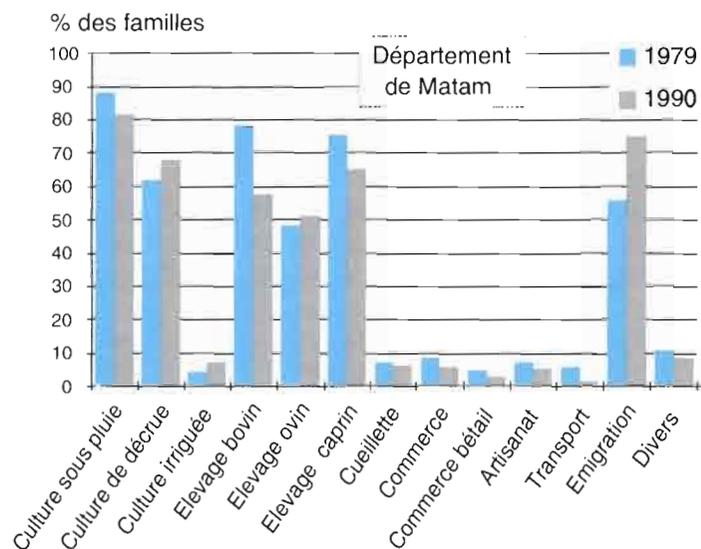
## Résultats

Les **premiers** résultats de la recherche en milieu peul font apparaître que :

- \* les systèmes de production restent centrés sur l'agriculture et l'élevage ;
- \* l'élevage bovin recule au profit de l'élevage ovin ;
- \* la persistance de la culture sous pluie s'explique plus par des stratégies foncières que par l'intérêt de sa production, très aléatoire ;
- \* les activités extra-agricoles (petit commerce ou travail en ville) prennent une importance grandissante dans les stratégies familiales, alors que toutes les autres activités traditionnelles stagnent ou déclinent.

Les résultats **attendus** sont :

- \* l'acquisition d'une meilleure connaissance de l'activité pastorale basée sur une typologie fonctionnelle des systèmes d'élevage intégrant notamment les activités complémentaires ou concurrentes ;
- \* l'identification des stratégies de gestion du cheptel adoptées par les agro-pasteurs impliqués dans la culture irriguée ;
- \* la définition des conditions d'une intégration fonctionnelle des activités pastorales à la culture irriguée.



Les systèmes d'activités des éleveurs de la vallée du fleuve Sénégal

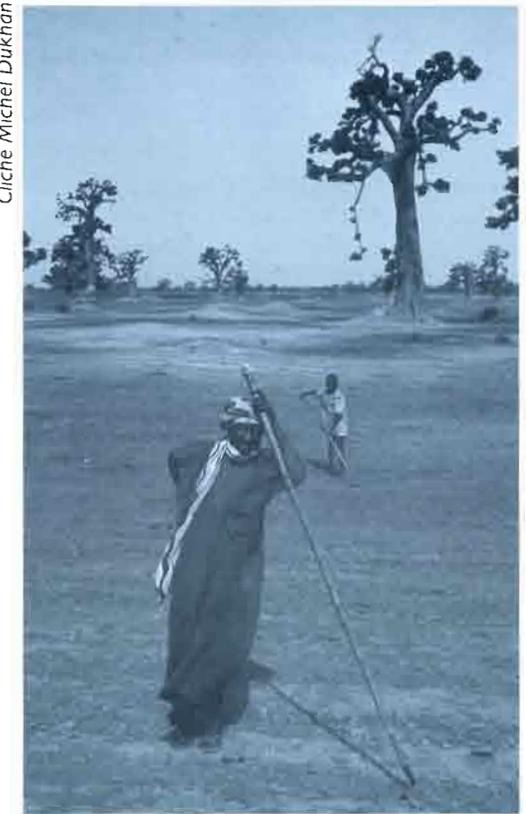


# Études en milieu rural

Collaborations : CNRA Bambey, Satec, Sodeva, Isra, Ucad, Banque mondiale



Cliché Pierre Milleville



Cliché Michel Dukhan

Vannage de l'arachide, Terres-Neuves

## Années 60 : terroirs et dynamiques sociales

Les recherches conduites à la fin des années 1960 ont eu pour thèmes majeurs :

- \* la gestion des terroirs ;
- \* les dynamiques sociales.

L'acquisition des premières données de base est synthétisée dans un ouvrage de référence "Les paysans du Sénégal", dû à Paul Péliissier. Les connaissances sont ensuite précisées à des échelles plus réduites, en pays Serer, en pays Mouride wolof, sur le front pionnier et appliquées lors d'opérations de développement de grande ampleur (Satec, Sodeva, CNRA de Bambey).

À ces recherches, on peut rattacher le suivi de l'opération de colonisation des "Terres-Neuves" du Sénégal Oriental, réalisée avec l'appui de la Banque mondiale, et des études conduites par les agronomes en moyenne Casamance, en pays Manding.

Cliché Pierre Milleville



Sarclage de l'arachide dans le Sine

# dans le bassin arachidier

## Années 90 : l'étude des mutations socio-économiques

C'est par le retour sur les anciens terrains de recherche en pays Serer et dans les Terres-Neuves, qu'une équipe pluridisciplinaire (Orstom, Isra et Ucad), analyse l'ampleur des changements dus à la sécheresse, à l'accroissement de la population, au désengagement de l'État et à l'évolution des prix au producteur.



Récolte du coton, Terres-Neuves

Cliché Pierre Milleville

Cliché Pierre Milleville



Récolte du coton, Terres-Neuves

Les questions traitées se sont renouvelées, mais les thèmes des recherches ont eu en permanence pour toile de fond les spécificités du milieu naturel tel qu'il est perçu, mis en valeur et exploité par les habitants, et la dynamique de la force de travail en relation avec l'émigration. Les questions de l'accès à la terre, de la transformation des techniques de production et de la gestion des ressources renouvelables sont demeurées fondamentales. Mais les bilans dressés au niveau des économies et des projets familiaux ont révélé des changements structurels importants. Si le problème de la couverture des besoins alimentaires demeure lancinant et fondamental, il ne se résout plus sur la seule base de la "sécurisation" des ressources agricoles locales, mais fait appel au jeu complexe et fluctuant de la pluri-activité et des relations à distance.

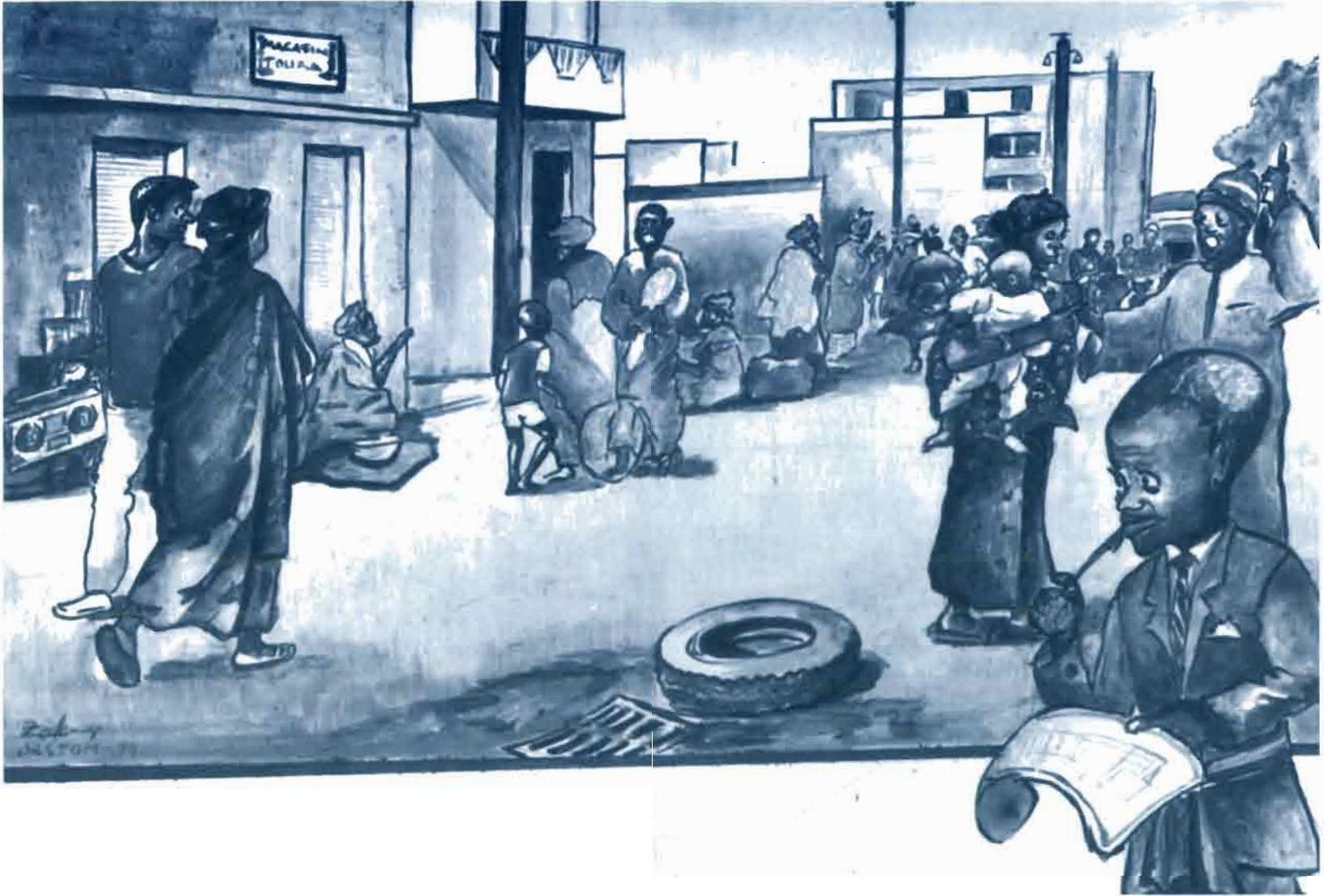
Participation scientifique : André Lericollais

# Les sociétés urbaines





Peinture : Aboubacar Yaya Zachary Cliché : Difco photo Dakar



Dans les pays en développement, où près d'un habitant sur deux est citadin, les villes souffrent de dysfonctionnements notoires, dus en partie à une croissance démographique rapide.

Les premières études urbaines furent esquissées au profit des travaux sur les sociétés et les économies rurales.

Ainsi dès les années 50, les sociologues et les démographes entreprennent des enquêtes sur certains problèmes urbains : l'exode rural, la croissance de quartiers périphériques, le chômage, les conditions d'habitat.

Dans les années 60, dans un contexte de migrations en masse de populations rurales vers les villes et de restructuration des campagnes sous l'effet du développement de centres urbains, les géographes, les sociologues et les économistes s'intéressent aux modèles d'intégration des migrants dans les villes et aux changements socio-économiques (structures familiales, marché du travail, accès à la propriété) provoqués par une urbanisation rapide des grandes cités.

Ce n'est qu'à partir de 1970 que les sociétés urbaines sont analysées en tant qu'espace spécifique :

- organisation du cadre de vie urbain (habitat, structures foncières et immobilières, réseaux) ;
- composantes démographiques (fécondité, emploi, migrations) ;
- dynamique socio-économique (stratégie d'insertion des immigrants, développement du secteur informel, industrialisation) ;
- exode rural, migrations induites par les villes, armature urbaine des espaces ruraux et effets de la polarisation économique exercée par certaines grandes cités.

Dans les années 80, les thèmes de recherche s'orientent vers les études pluridisciplinaires :

- rôle de l'environnement urbain sur la santé des populations, les politiques d'urbanisme, l'histoire sociale et le patrimoine architectural de cités africaines.

Aujourd'hui, l'accent est mis sur :

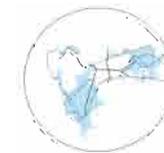
- l'environnement urbain, ses dysfonctionnements et les politiques d'aménagement mises en oeuvre pour y remédier ;
- les changements économiques et sociaux provoqués par les flux migratoires nord-sud et sud-sud ;
- des études comparatives sur l'insertion urbaine à Dakar et à Bamako (Mali).

L'usage de techniques modernes et notamment de la télédétection offre aux chercheurs de nouveaux moyens d'analyse des mutations très rapides qui transforment le paysage urbain des villes du tiers monde.

## L'insertion des migrants dans la ville



## Urbanisation et santé : l'atlas urbain de Pikine



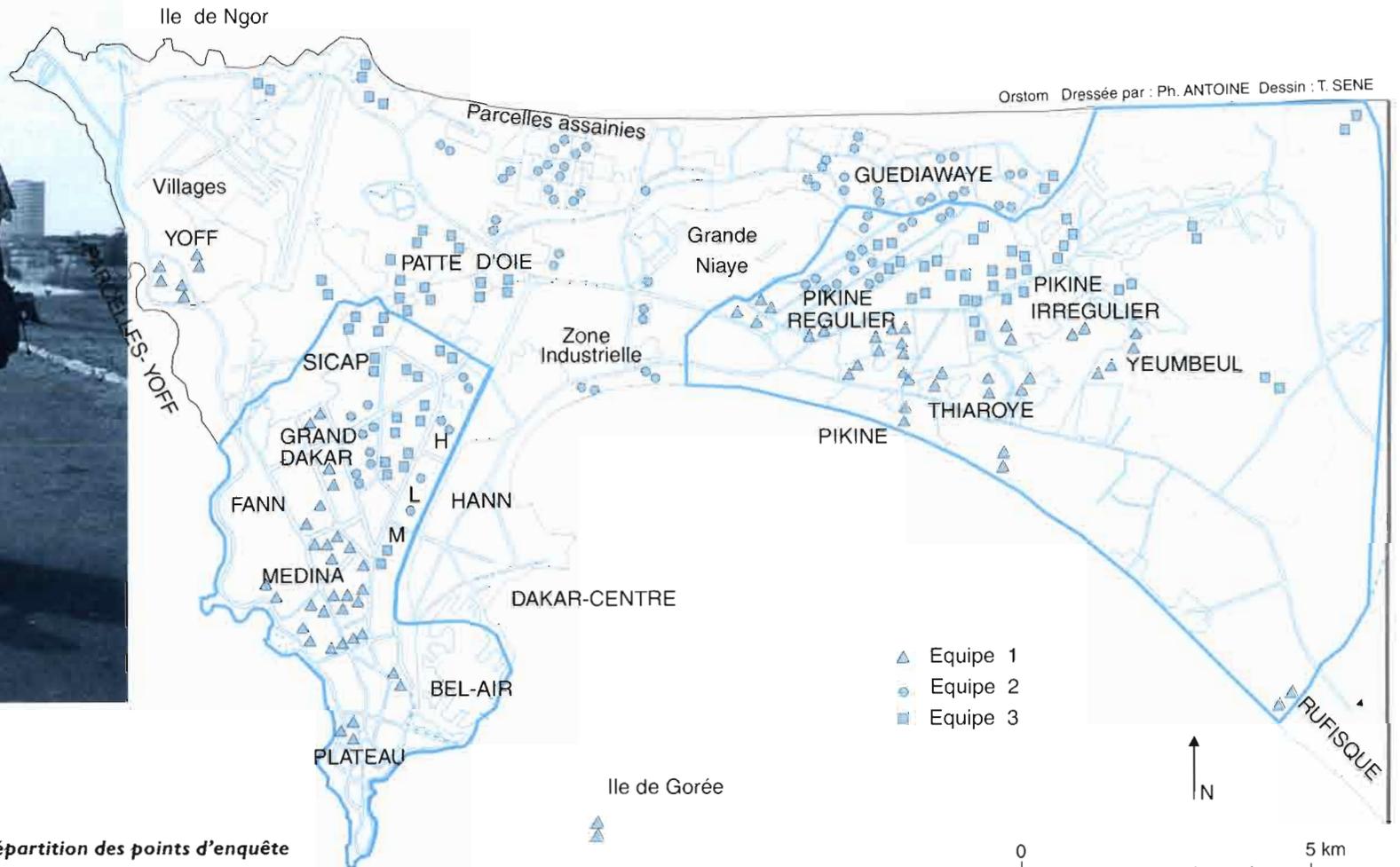


# L'insertion des migrants dans la ville

Collaboration : Ifan

L'objectif de cette étude multidisciplinaire entreprise à Dakar est de comprendre, dans un contexte d'aggravation de crise économique, l'évolution des conditions et des modalités de l'insertion urbaine.

L'analyse s'appuie sur un recueil détaillé des itinéraires résidentiels, professionnels et matrimoniaux, à l'aide d'un questionnaire biographique effectué auprès d'un échantillon de 1 500 personnes appartenant à un échantillon stratifié par sexe et par groupe d'âge.



Carte de répartition des points d'enquête

## Organisation du cadre de vie urbain

### Une densification de l'habitat

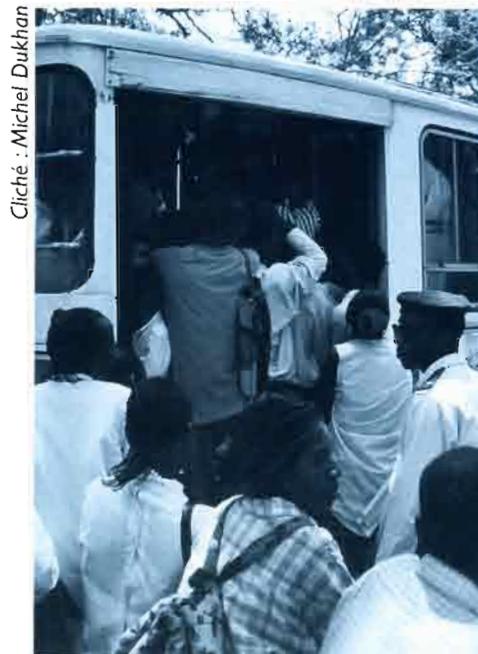
La situation de l'habitat s'est nettement améliorée au cours des années 70, suite à une politique volontaire de logement planifié (HLM, Sicap). De plus en plus de ménages bénéficient de l'eau, de l'électricité, et l'habitat de bidonville s'est en partie résorbé.

Année d'observation	1955	1989
Taille moyenne des ménages	4	8,2
Proportion de chefs de ménage ayant plus de 50 ans	25%	37,5%
Proportion de ménages ayant l'eau	10%	50%
Proportion de ménages ayant l'électricité	20%	65%
Proportion d'habitat sommaire	69%	8%

Cependant le parc immobilier vieillit, les habitations et le cadre de vie se dégradent, les logements se densifient. L'accès des jeunes à un logement indépendant se ralentit et le marché locatif semble de moins en moins adapté à la structure des ménages. À l'âge de 35 ans plus de 75% des hommes sont encore hébergés par un parent.



Cliché : El Hadj Aziz Diop



Cliché : Michel Dukhan



Cliché : Michel Dukhan

### Les réseaux sociaux

Face à la crise, de nouvelles structurations sociales apparaissent. L'acteur urbain est un faiseur de réseaux et il puise dans divers registres sociaux pour faciliter son accès aux ressources urbaines. À côté des réseaux d'origine, se constituent de nouvelles formes de sociabilité : les réseaux de voisinage, les tontines, les réseaux religieux, politiques, familiaux.

Chaque acteur a un ou des protégés et il a aussi son protecteur. Cette réciprocité n'annule pas l'inégalité dans la reproduction sociale. L'ascension sociale est ainsi médiatisée par le groupe.



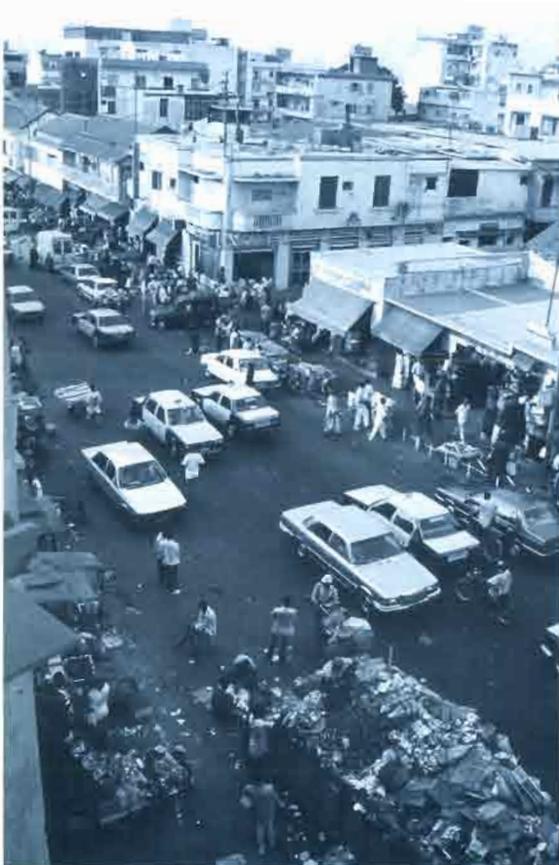
Cliché : El Hadj Aziz Diop



## Les composantes démographiques

### Un Sénégalais sur cinq vit à Dakar

Dakar, l'une des premières métropoles africaines d'envergure, a vu sa population passer de 40.000 habitants en 1926 à 132.000 en 1945. L'agglomération comptait 1.310.000 habitants en 1988 (dont environ 50% dans sa banlieue Pikine), soit 19% de la population totale du pays et près de 50% de la population urbaine du Sénégal. Dakar accueille la moitié des migrants internes du Sénégal en provenance principalement des régions de Thiès, Saint-Louis et Ziguinchor.



Cliché : Michel Dukhan



Cliché : El Hadj Aziz Diop



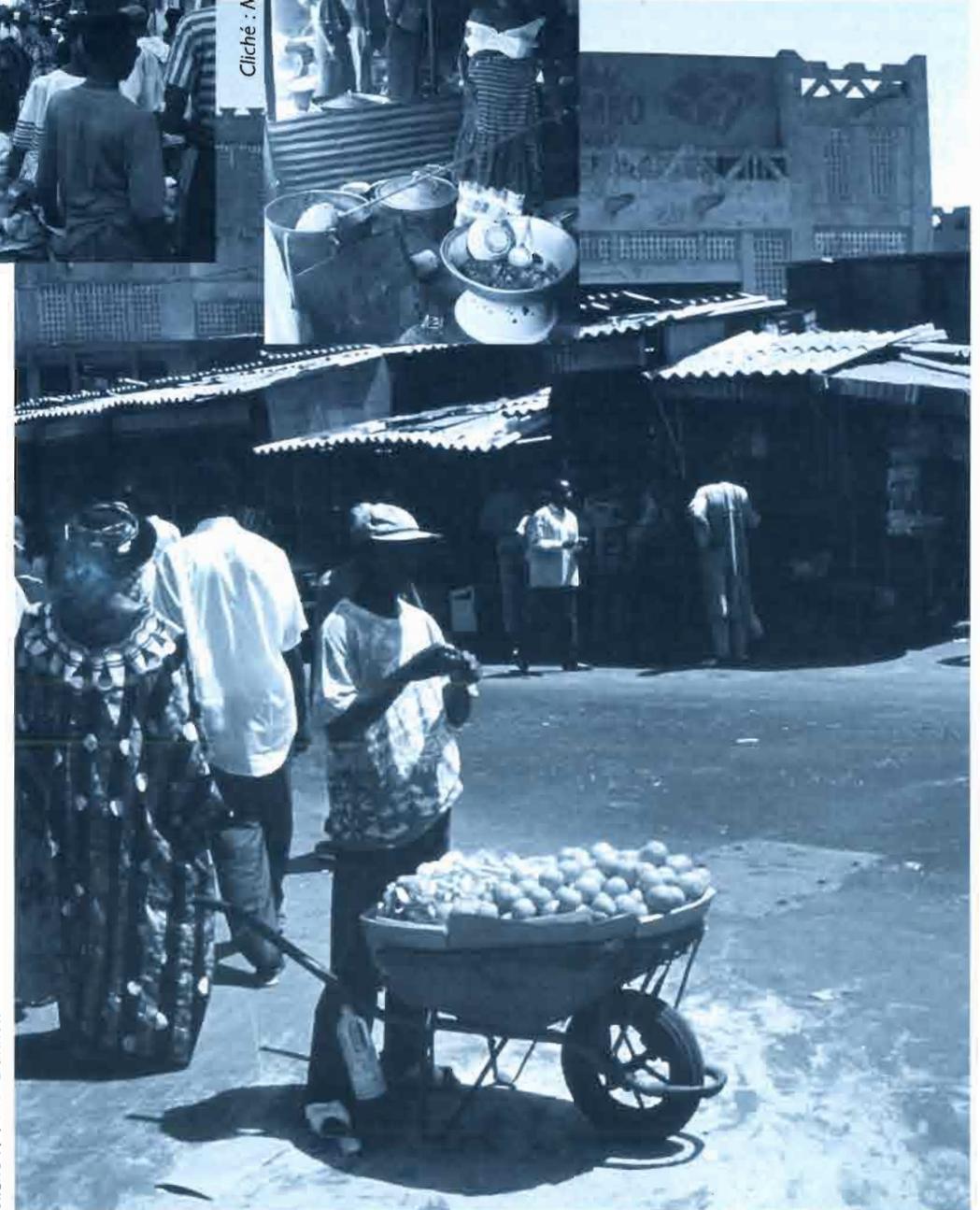
Cliché : Michel Dukhan

### L'emploi salarié se raréfie

Les emplois ne suivent pas le rythme de la croissance démographique : plus de la moitié des actifs exercent dans le secteur informel et le taux de chômage était estimé à 18,6% de la population active en 1989.

La crise a affecté les entreprises modernes qui ont cessé de devenir un débouché pour les jeunes alors que le secteur informel n'a pas les capacités suffisantes pour accueillir les chômeurs et qu'il n'existe pas d'opportunités de reconversion dans l'agriculture. Les migrants accèdent plus facilement au premier emploi que les jeunes dakarois.

Cliché : Michel Dukhan





Cliché : Michel Dukhan

### Les jeunes vivent la crise, les aînés la supportent

Dans ce contexte de raréfaction de l'emploi et donc de faiblesse des ressources, la charge des chefs de ménage âgés s'accroît. La crise conforte la dépendance des plus jeunes envers les aînés. La génération des 45-59 ans est peut-être celle qui, déjà dans les années 60, faisait vivre ses parents. La crise ne permet plus le transfert d'une génération à l'autre.

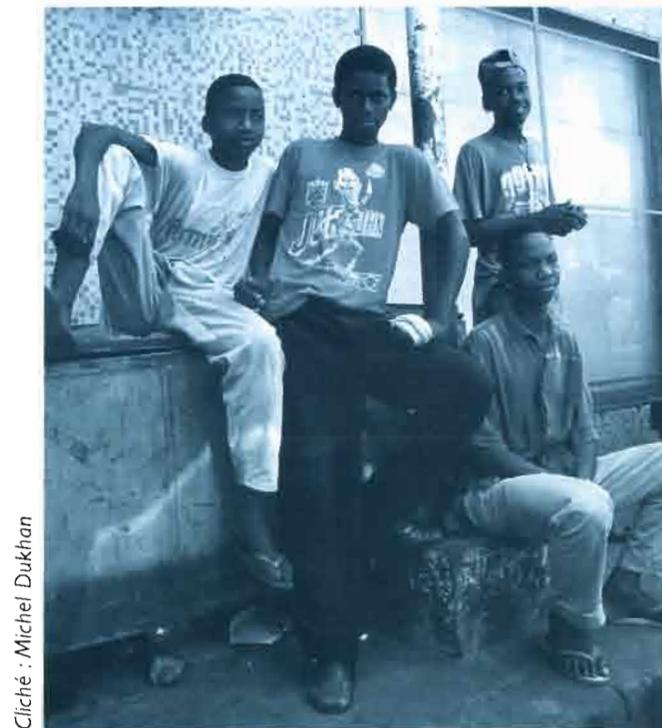
### Un mariage de plus en plus tardif

Génération	homme	femme
1930-44	26 ans	16 ans
1945-54	28 ans	19 ans
1955-64	(33 ans)	23 ans

Âge médian au premier mariage selon la génération de naissance

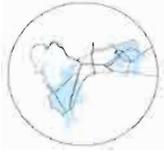
Entre la génération la plus âgée et la génération la plus jeune, on relève un recul de 7 ans de l'âge médian au premier mariage. Ce recul concerne surtout la population urbaine née ou socialisée à Dakar et ce sont principalement des facteurs économiques (le chômage en particulier) qui interviennent. La situation économique a donc préséance sur le cycle de vie.

Cliché : Michel Dukhan



Cliché : Michel Dukhan

Participation scientifique : Philippe Antoine, Abdou Salam Fall



# Urbanisation et santé : l'atlas urbain de Pikine

**Collaborations : Ucad, Ministère de la santé et de l'action sociale (projet "Soins de santé primaire à Pikine")**

## L'exemple du paludisme <sup>(1)</sup>

Des études géographiques, entomologiques et épidémiologiques sur le paludisme ont été menées sur la ville de Pikine :

\* la géographie du "risque anophélien" a été établie grâce à la cartographie des collections d'eaux, à l'étude des faunes matinales résiduelles et celle de la morbidité palustre dans la population ;

\* afin de hiérarchiser les espaces à risques de la ville, les gradients de densités d'anophèles calculés et appliqués à la zone de Pikine Ancien ont été croisés avec les densités de population.

Le phénomène d'urbanisation de la planète constitue un événement démographique, géographique, social, culturel et politique majeur de cette fin de millénaire.

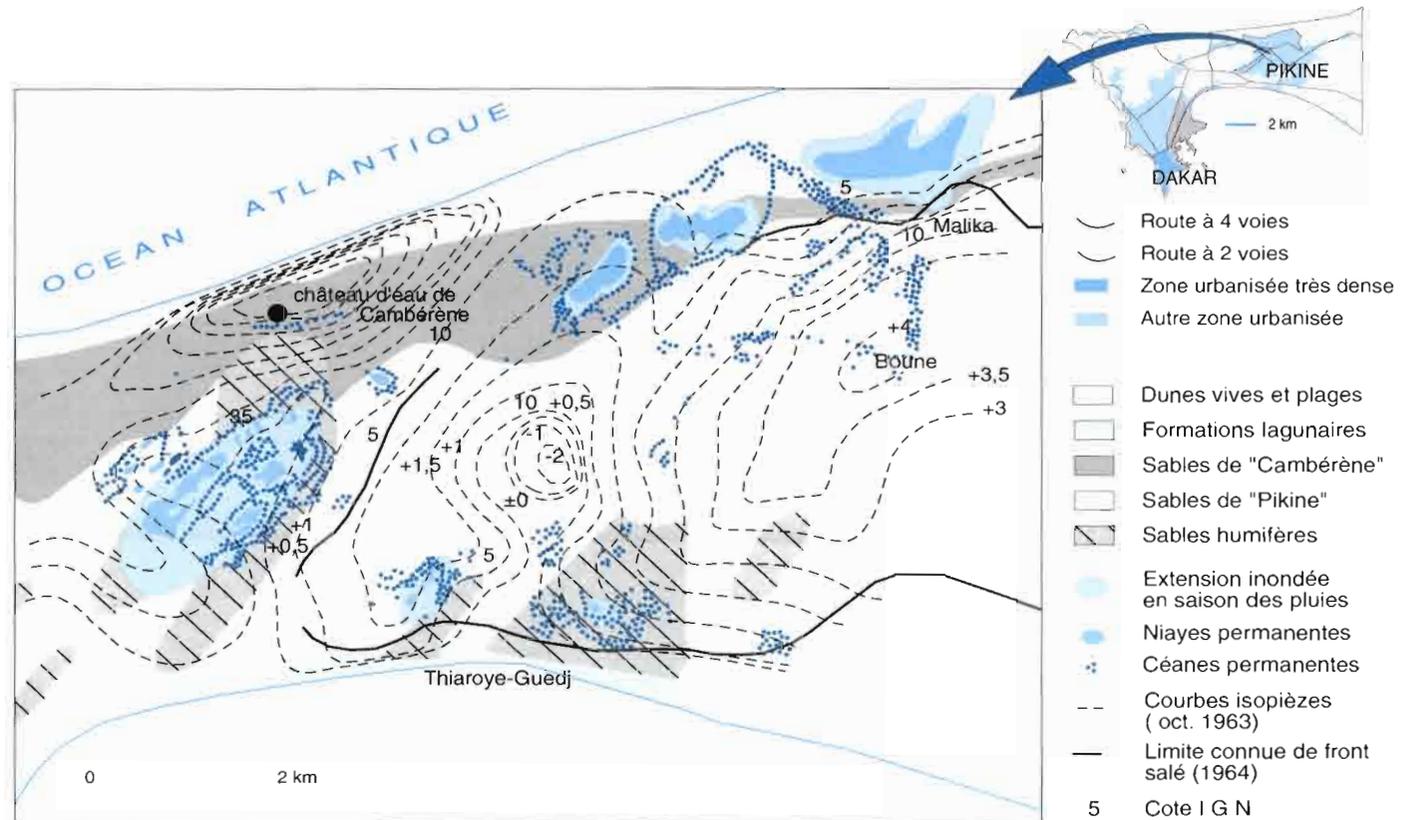
Cette évolution rapide, souvent incontrôlée, crée des environnements hétérogènes au sein de la ville.

Cependant, les études épidémiologiques et de géographie de la santé montrent qu'il n'y a pas de correspondance univoque entre état de santé et pauvreté : en ville se cumulent les classiques pathologies infectieuses et parasitaires des pays pauvres avec les pathologies dites de pays riches (hypertension, obésité, diabète).

À milieu hétérogène, problèmes hétérogènes, auxquels les responsables de santé publique devront répondre sans grands moyens : comment concevoir un système de soins qui réponde à une telle variété de problèmes ?

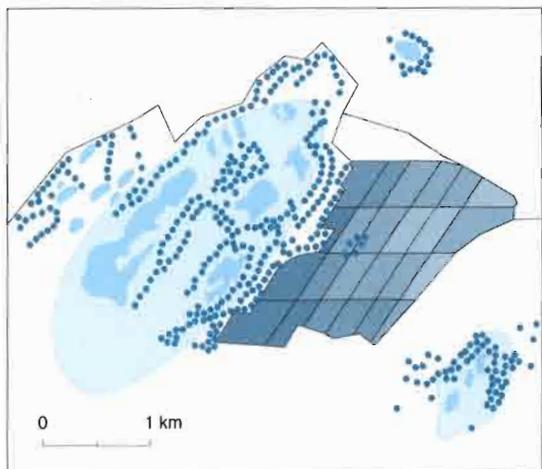
L'apport réel de la géographie à la connaissance des relations urbanisation/santé réside dans sa capacité à appréhender globalement la ville en définissant et comparant la géographie propre des faits de santé étudiés, dans la perspective d'une connaissance des sociétés. C'est par cette démarche propre qu'elle contribue le plus efficacement à la définition de "l'environnement urbain".

Pour répondre à ce projet, un atlas de Pikine a été créé : la cartographie des différents paramètres de l'environnement urbain et des faits de santé permet un recoupement et une mise en relation des données, faisant apparaître les risques sanitaires.

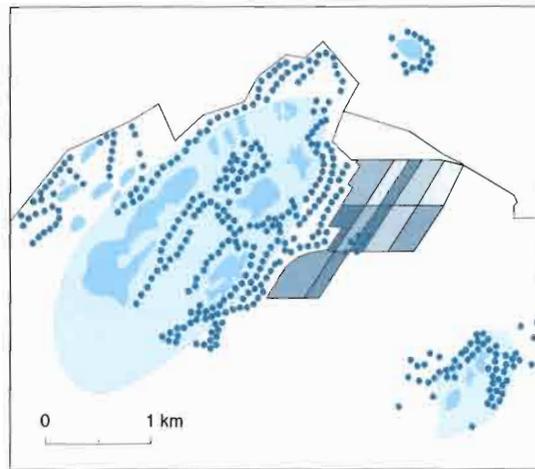


La presqu'île du Cap-Vert et le site de Pikine en 1986

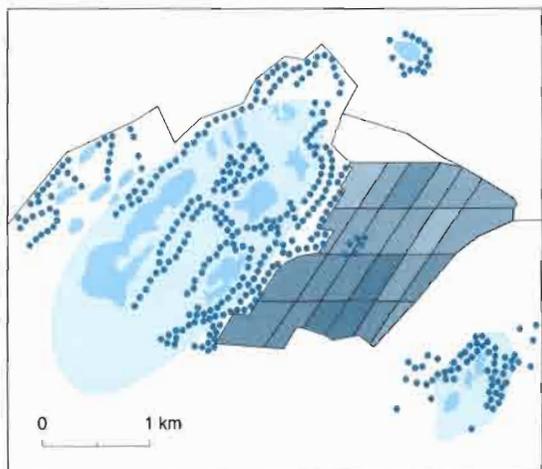
<sup>(1)</sup> Voir aussi : Santé et nutrition des populations : Le paludisme à Dakar, p. 210



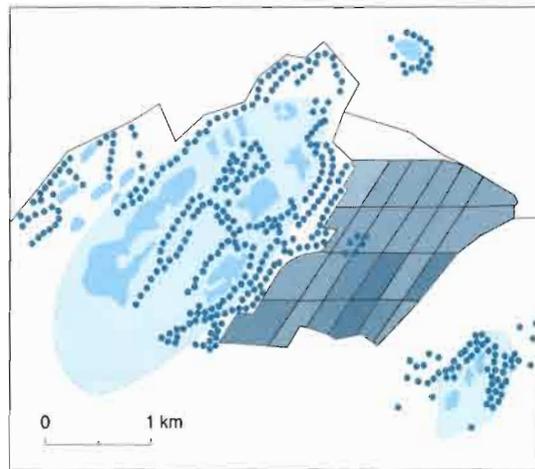
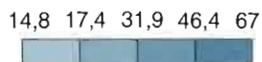
Densités moyennes annuelles d'*Anopheles gambiae s.l.* par parcelle



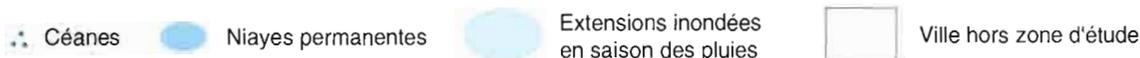
Prévalence de gouttes épaisses positives en saison sèche (écologues de Pikine ancien)



Densités moyennes annuelles de moustiques femelles par parcelle



Densités moyennes annuelles de moustiques hors anophèles par parcelle



**Superficies et populations exposées au "risque anophélien" à Pikine en 1986**

Les résultats de cette étude ont été généralisés à l'ensemble de la ville.

Le "risque anophélien" est déterminé par la proximité des collections d'eaux permanentes. Il est la traduction directe des modes d'occupations de l'espace : le noyau originel de la ville de déguerpis (Pikine Ancien) reste une zone exposée en raison de sa proximité de la grande niaye (niaye : zone de culture maraîchère) et les limites spatiales successives des fronts d'urbanisation marquent les limites de "risque anophélien" maximal.

On observe simultanément :

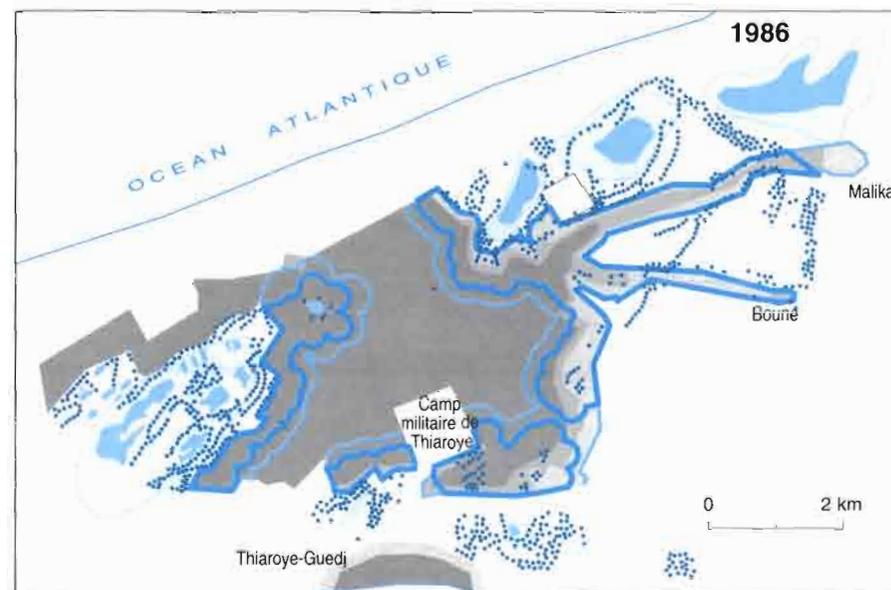
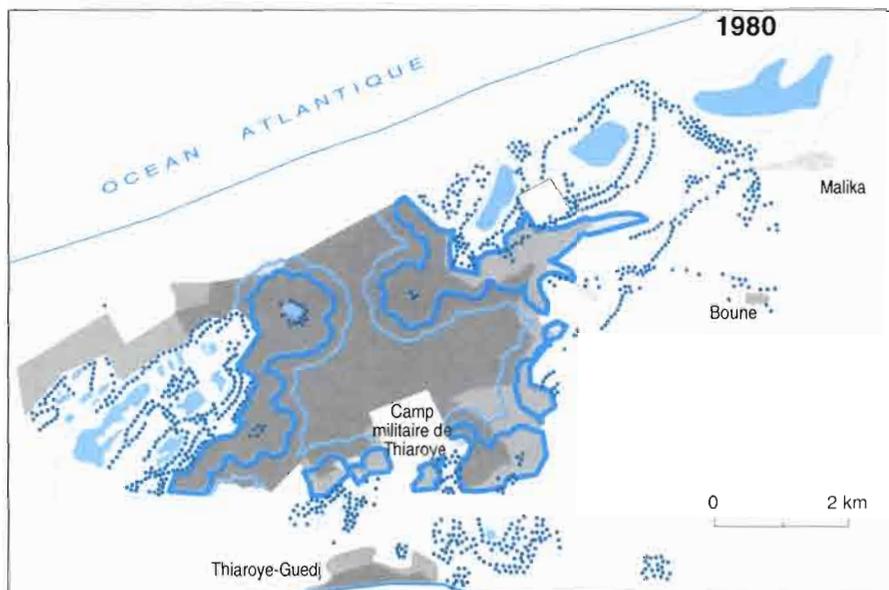
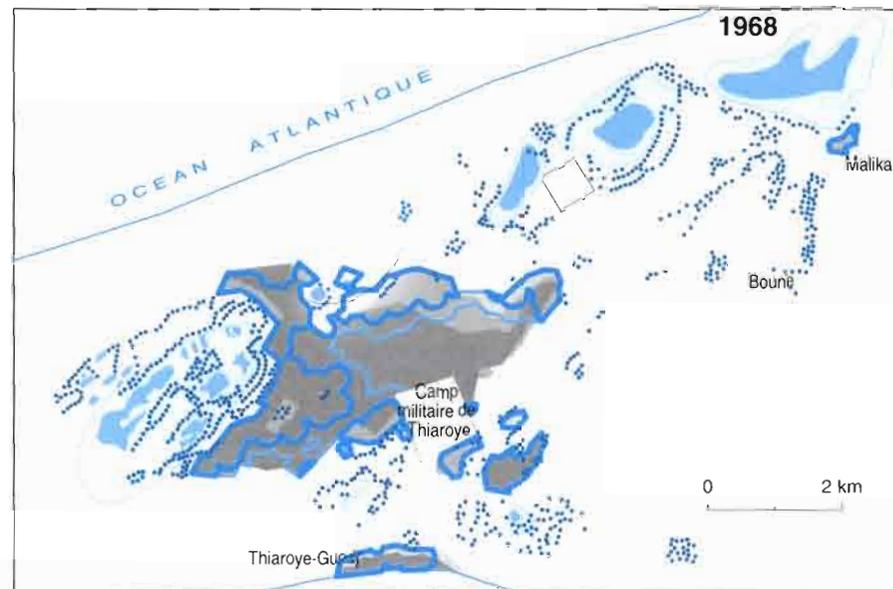
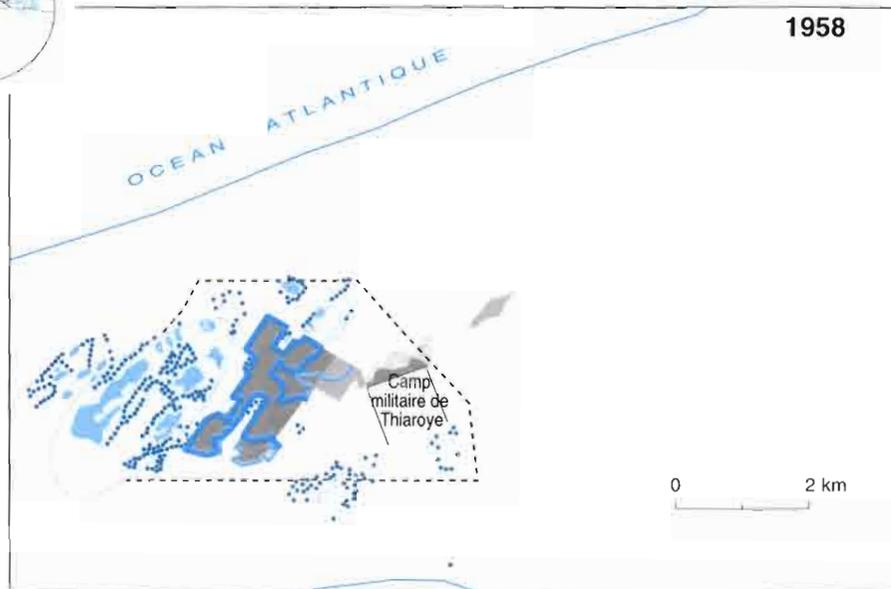
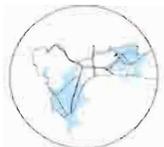
- \* une croissance des zones urbanisées sur d'anciens terrains de cultures, avec comblement progressif des niayes et céanes (points d'eau), qui expose les populations peu denses installées en périphérie à un risque important de piqûres d'anophèles ;
- \* l'augmentation du nombre de céanes nécessaires aux cultures péri-urbaines, suite à la demande toujours croissante de produits maraîchers ;
- \* une diminution de la fraction de la population pikinoise exposée à un risque anophélien par rapport à la population totale (80% en 1958, 42% en 1986) ;
- \* une augmentation des effectifs absolus de population et des superficies impaludées avec la croissance de la ville (40 000 en 1958, 250 000 en 1986).

Apparaissent trois types d'espaces urbains :

- \* la zone de Pikine Ancien jouxtant la grande niaye : fortes densités de population et proximité des gîtes à moustiques ;
- \* la zone centrale de Pikine : fortes densités de populations et faibles proximités des gîtes à moustiques ;
- \* les zones périphériques orientales : faibles densités de population et proximité étroite des gîtes permanents.

Cette étude montre que :

- \* la recherche de "situations moyennes" sur les villes africaines n'a pas de sens ;
- \* les découpages d'un ensemble urbain s'opèrent selon les facteurs de risques d'un problème de santé particulier ;
- \* la multiplicité des facteurs impose une réflexion sur les échelles d'étude, un même facteur pouvant jouer de façon différente selon l'environnement dans lequel il s'inscrit.



**Mode d'occupation de l'espace et "risques anophéliens" à Pikine entre 1958 et 1986**

∴ Céanes permanentes      ● Niayes permanentes

Extensions inondées en saison des pluies

■ Habitat dense

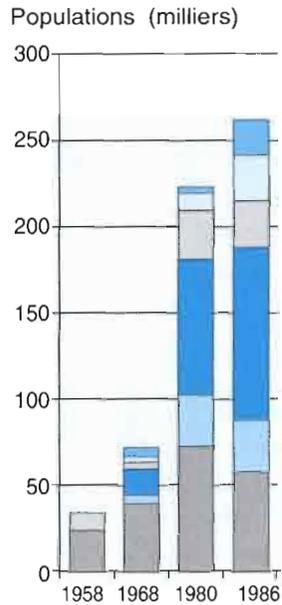
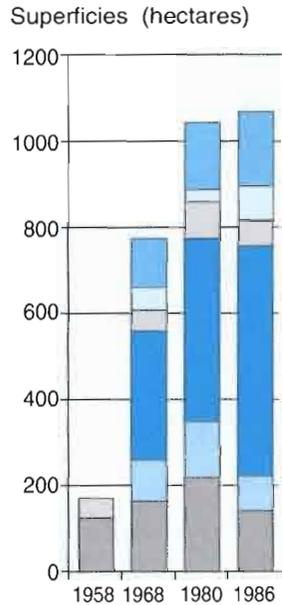
■ Habitat peu dense

■ Semi urbain

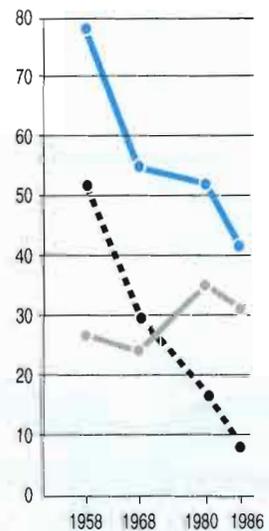
— Limite urbaine de risque maximal (400 m)

— Limite urbaine de risque second (600 m)

### Anophèles et paludisme à Pikine en 1987



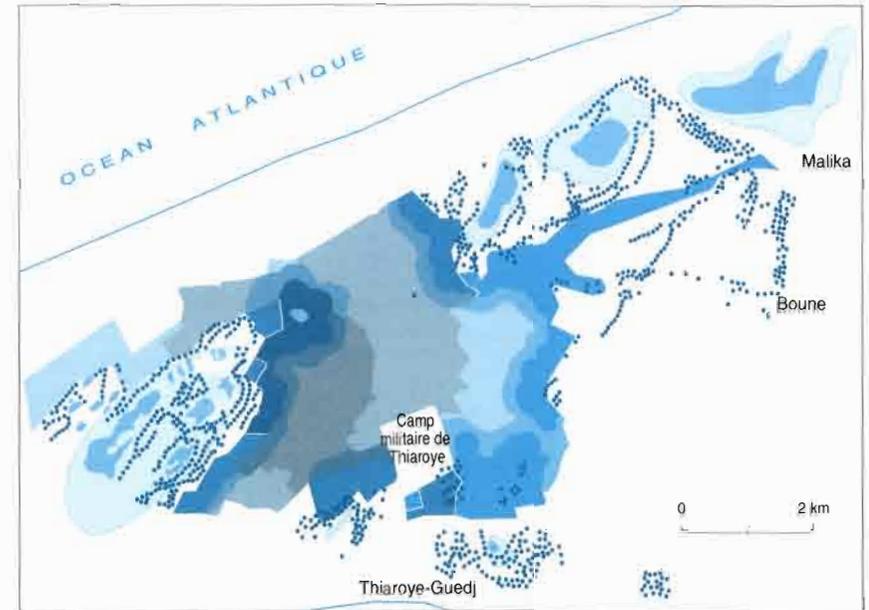
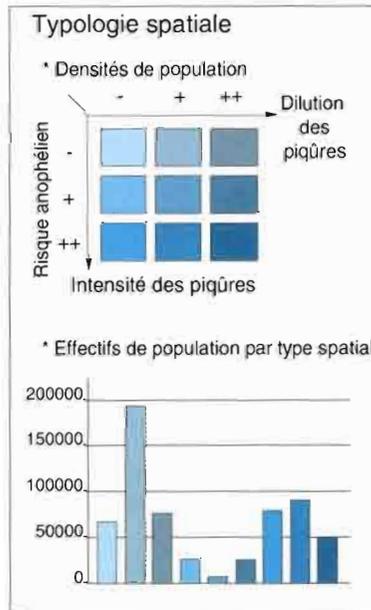
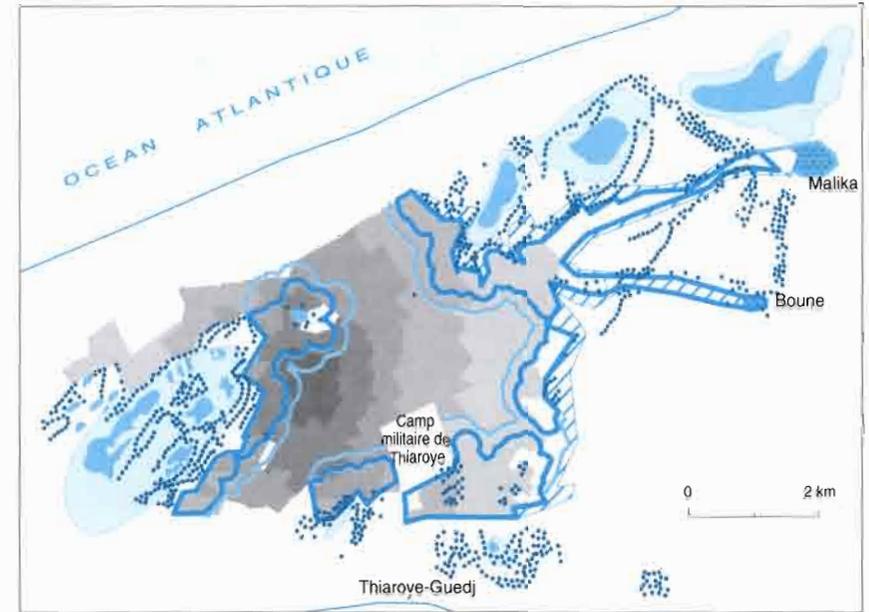
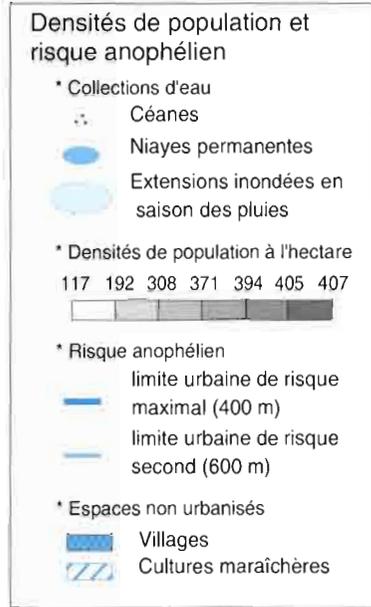
Population à risque par rapport à la population totale (%)



Zones	Pikine ancien	Pikine extension guedj-waye	Pikine irrégulier
1	[Grey box]	[Light blue box]	[Dark blue box]
2	[Grey box]	[Light blue box]	[Dark blue box]

- Population de risque 1 et 2
- -●- - Population de risque 1
- Population de risque 2

### Les risques anophéliens en 1986



Ces cartes sont tirées de l'article "L'espace urbain et risque anophélien à Pikine (Sénégal)" in *Cahiers Santé*, 1994, 4, p. 347-357

Participation scientifique : Gérard Salem

**Santé**

**et nutrition  
des populations**





Peinture : Aboubacar Yaya Zachary Cliché : Difco photo Dakar.



Ces études ont pour objectif de contribuer à l'amélioration de la santé dans les pays tropicaux et subtropicaux.

Les recherches s'inscrivent dans une approche pluridisciplinaire des problèmes de santé, prenant en compte l'individu, ses modes de vie et son environnement. Elles mettent en relation des spécialités différentes telles que la démographie, la géographie de la santé, l'anthropologie, la nutrition, l'épidémiologie, la virologie, la parasitologie, l'entomologie médicale, la rodentologie, la primatologie.

Les grands axes de recherche sont :

- Population et santé ;
- Eau et santé dans les contextes de développement ;
- Urbanisation et santé ;
- Conditions d'amélioration des situations nutritionnelles ;
- Sida ;
- Maladies infectieuses et parasitaires.

Au Sénégal, les recherches ont porté sur :

- les bilharzioses animales et humaines ; un foyer de bilharziose, mis en évidence en 1988 à Richard-Toll, fait l'objet de nombreuses recherches. Un atlas informatisé permet de comprendre comment l'organisation de la ville détermine la transmission de la maladie. Un logiciel d'aide à la décision dans la lutte contre le parasite a été créé ;
- les arboviroses (fièvre jaune, fièvre hémorragique de Crimée-Congo, dengue) et la leishmaniose sont transmises par les moustiques, les phlébotomes ou autres diptères piqueurs, ou les tiques. Les entomologistes médicaux et les primatologues ont approfondi, en collaboration avec l'Institut Pasteur, les connaissances des cycles de transmission des principaux arbovirus pathogènes pour l'homme ;
- la borréliose, maladie bactérienne transmise par une tique vivant dans les terriers de rongeurs. Les recherches ont montré que cette maladie méconnue est l'une des principales causes de morbidité des populations rurales vivant en zone sahélienne et soudano-sahélienne ;
- le paludisme : les travaux menés au Sénégal visent à comprendre les mécanismes de tolérance chez les populations infectées et à définir les stratégies de lutte les plus efficaces selon les niveaux de transmission et de chimio-résistance ;
- le Sida, pour lequel les recherches portent sur l'épidémiologie des rétrovirus simiens *in natura* ;
- le projet "Santé et démographie d'une population rurale à Niakhar" dans le Sine-Saloum intègre des campagnes de vaccination et des études sur les maladies infectieuses, le paludisme, la malnutrition et la fluorose ;
- la dénutrition, la surveillance nutritionnelle des populations en milieu urbain et rural et la renutrition en milieu hospitalier.

## Les maladies transmises par des vecteurs :

### - la bilharziose

- Implication des rongeurs dans la transmission de la bilharziose
- Richard-Toll : émergence d'un foyer de bilharziose
- Sibihl, logiciel d'aide à la décision dans la lutte contre *Schistosoma mansoni*



### - le paludisme

- Les méthodes d'étude
- Le paludisme à Dakar
- Paludisme infection - Paludisme maladie



### - les arboviroses

- Une arbovirose transmise par les tiques : la fièvre hémorragique de Crimée-Congo (virus CCHF)
- Une arbovirose transmise par les moustiques : la fièvre jaune



## Le Sida

- Épidémiologie des rétrovirus chez les primates
- Sivsiv, modèle de simulation de la circulation du virus SIV *in natura*



## Amélioration des systèmes de soins :

- Analyse cartographique de la desserte médicale et des recours aux soins dans l'arrondissement de Ross-Bethio



## Santé et démographie d'une population rurale : le projet Niakhar

- Historique et situation
- Surveillance démographique
- La rougeole
- La coqueluche
- Le paludisme
- La fluorose



## Nutrition, malnutrition

- Les méthodes de mesure de l'état nutritionnel
- Étude de supplémentation de nourrissons
- Les effets à moyen et long termes de la malnutrition chez l'enfant
- Prise en charge de la malnutrition et de la diarrhée





## Les maladies transmises par des vecteurs : la bilharziose

La bilharziose intestinale est provoquée par *Schistosoma mansoni*, un ver parasite, trématode, qui affecte le système veineux de l'homme et plus rarement celui de certains mammifères. Il existe d'autres bilharzioses qui affectent l'homme (bilharziose urinaire principalement) et le bétail.

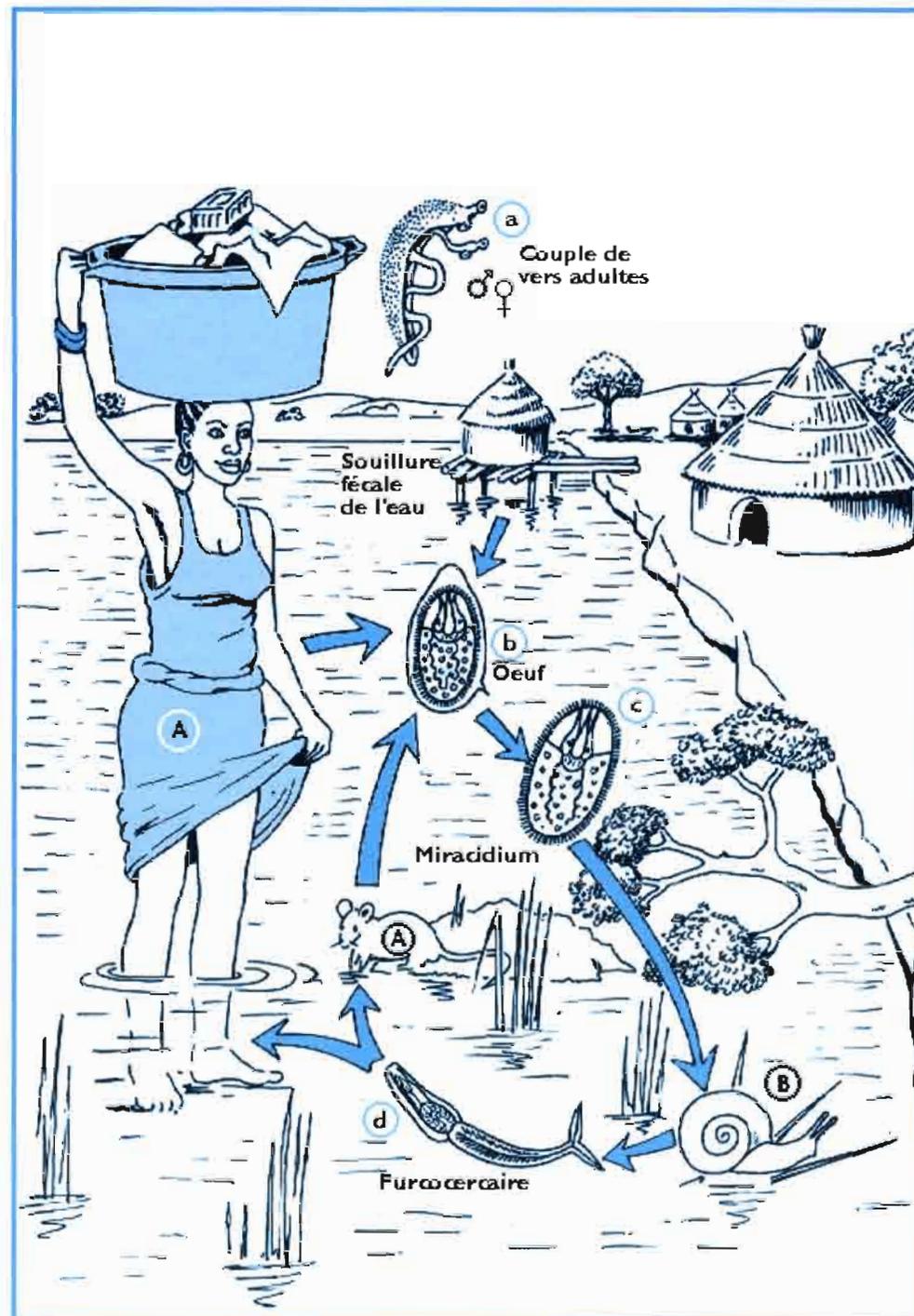
Le développement des hôtes intermédiaires et des parasites est soumis à des conditions écologiques précises.

Ainsi, l'oeuf de *Schistosoma mansoni* ne peut éclore que s'il aboutit dans une eau douce au pH voisin de la neutralité, bien ensoleillée mais avec une température comprise entre 25 et 30°C et non stagnante. Une fois éclos, le miracidium meurt en moins de 48 heures s'il ne trouve pas d'hôte intermédiaire. Ce dernier a lui aussi des exigences quant aux conditions du milieu dans lequel il peut se développer. Température, pH, salinité, turbidité, courant, végétation des berges sont autant de facteurs qui influencent sa répartition et sa dynamique de population. Résistant très mal à la dessiccation, il exige des eaux pérennes.

Ces contingences constituent autant de limites à l'aire d'extension de la maladie humaine qui se trouve habituellement cantonnée au sud du 12<sup>e</sup> parallèle en Afrique de l'Ouest.

### Cycle évolutif de *Schistosoma mansoni*.

Les oeufs embryonnés (b) de *Schistosoma mansoni* (a) sont excrétés par un hôte parasité (A). Au contact de l'eau, ils libèrent une larve au stade miracidium (c) qui doit pénétrer dans un mollusque, hôte intermédiaire, pour poursuivre son développement. En Afrique de l'Ouest, ce mollusque est la planorbe *Biomphalaria pfeifferi* (B). Après avoir subi un certain nombre de transformations, le parasite sort du mollusque sous forme de cercaire (d) et nage à la recherche de son hôte définitif, homme ou animal (A). Lorsqu'elle le rencontre, elle pénètre activement à travers la peau et s'installe dans la circulation lymphatico-sanguine. Après fécondation, la femelle pond chaque jour des milliers d'oeufs (a) rapidement embryonnés dans les capillaires péri-intestinaux de l'hôte. Ils parviennent ensuite dans la lumière intestinale en traversant la paroi, avant d'être éliminés dans les selles. Et le cycle recommence.



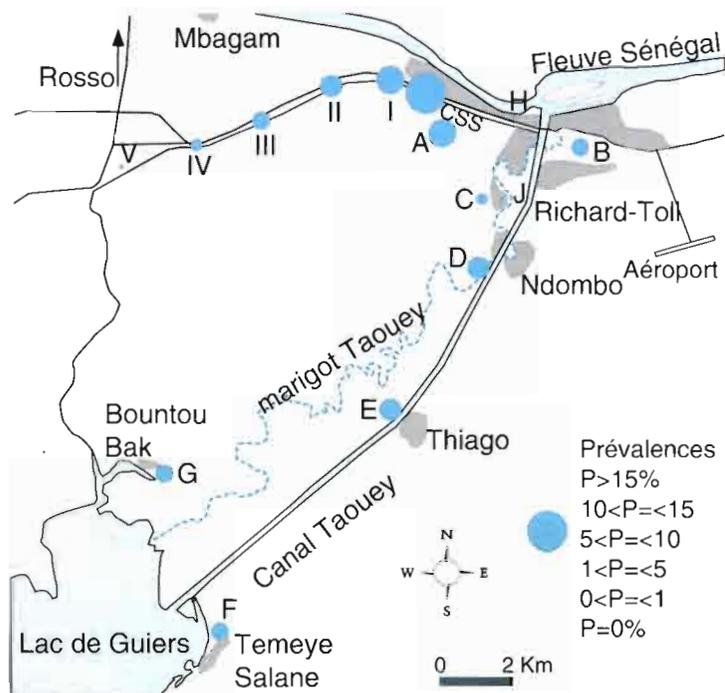
# Implication des rongeurs dans la transmission de la bilharziose

Collaborations : Ucad, Isra, Cee (Programme Espoir)

Financement : Programme TDR (OMS, Banque Mondiale, Pnud)

Certains rongeurs, hôtes définitifs du parasite au même titre que l'homme, peuvent entretenir un cycle parasitaire sauvage. Ils constituent alors un réservoir potentiel présentant à plus long terme un risque de réinfestation des populations humaines.

Des études ont été menées sur les rongeurs dans la région de Richard-Toll : elles ont consisté en des séries de piégeages selon des transects s'éloignant de la ville vers l'ouest et vers le sud. Outre la structure des populations de rongeurs, on a déterminé les prévalences (pourcentage d'individus parasités sur le nombre total d'individus analysés) et les charges parasitaires (nombre de parasites par rongeur infesté).



Carte de prévalence des rongeurs parasités par *Schistosoma mansoni* aux environs de Richard Toll.

Cette étude constitue l'un des volets de l'atlas informatisé de Richard Toll



*Mastomys huberti*

Cliché Jean-Marc Duplantier



*Arvicanthis niloticus*

Cliché Jean-Marc Duplantier

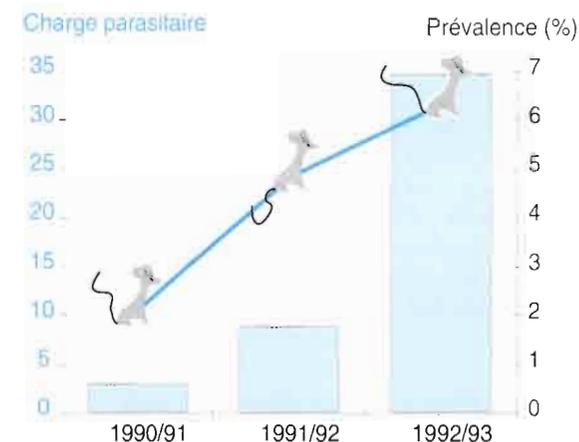
Un suivi bimestriel de juillet 1990 à juillet 1993 a permis d'analyser 2.280 rongeurs appartenant à cinq espèces différentes. Deux espèces, *Arvicanthis niloticus* et *Mastomys huberti*, ont été trouvées naturellement parasitées par *Schistosoma mansoni*. La souris domestique (*Mus musculus*), qui vit exclusivement dans les maisons, et les gerbillidés du genre *Taterillus* vivant dans les milieux arides, ne sont pas parasités.

La prévalence et la charge parasitaire augmentent avec l'âge des rongeurs :

- \* les jeunes ne peuvent pratiquement pas être infestés avant le sevrage et la sortie du nid (trois semaines environ) ; après une infestation par les larves de *Schistosoma mansoni*, la maturation des vers adultes nécessite au moins huit semaines ;

- \* le nombre de contacts avec l'eau (donc de possibilités d'infestation) augmente tout au long de la vie d'un individu.

Des infestations multiples sont même possibles, comme le montrent les vers de tailles différentes trouvées chez un même rongeur.



Évolution de la prévalence et de la charge parasitaire chez les rongeurs, au cours des trois années de suivi.

À l'ouest, le long du canal principal où les stations sont régulièrement espacées de 2 km (station 0 à V), on observe une diminution régulière de la prévalence et de la charge parasitaire dès que l'on s'éloigne de la ville.

Cela montre que l'infestation des rongeurs est liée à celle de l'homme. À ce titre, ils peuvent servir d'indicateurs de l'évolution de la maladie dans le temps et dans l'espace.

Ainsi, au cours des trois années de suivi on observe une augmentation de la prévalence et de la charge parasitaire. La charge parasitaire moyenne annuelle a été multipliée par trois, puis par quatre d'une année à l'autre.

L'évolution est aussi marquée par une extension spatiale (des rongeurs parasités sont capturés de plus en plus loin de la ville) et par l'apparition, la troisième année, de signes pathologiques liés à la morbidité (hépatomégalie, nodules intestinaux).

Enfin la double infestation à *Schistosoma mansoni* et *Schistosoma bovis* (normalement parasite du bétail) chez un *Arvicanthis niloticus* pose le problème du rôle éventuel des rongeurs dans les schistosomoses du bétail.

Participation scientifique : Jean-Marc Duplantier, Mariama Sène



# Richard-Toll : émergence d'un foyer de bilharziose

Couverture photographique aérienne : Forces françaises du Cap-Vert

Collaborations : OMS, Ministère français de l'enseignement supérieur et de la recherche, Ministère sénégalais de la santé et de l'action sociale, Isra, Ucad

Les travaux du programme "Eau et santé" se sont concentrés sur le site de Richard-Toll, où a débuté une épidémie de bilharziose intestinale sans précédent au sud du Sahara. Les premiers cas ont été mis en évidence en janvier 1988 par l'équipe municipale de santé.

L'apparition, le développement épidémique et l'endémisation probable de cette pathologie est en discordance complète avec son aire de répartition habituelle. Ce n'est pas le fruit du hasard. Certaines conditions ont favorisé ce phénomène :

- \* un essor démographique exceptionnel, suite à l'installation de la Compagnie sucrière sénégalaise (CSS), en 1970 ;
- \* les lacunes excessives en matière d'assainissement, en particulier l'accès à l'eau potable, ont poussé la population à utiliser les eaux de surface ;

\* l'urbanisme non ou mal contrôlé, les intérêts contradictoires des groupes économiques et sociaux qui ont engendré des environnements divers pouvant induire des disparités dans la répartition de la maladie ;

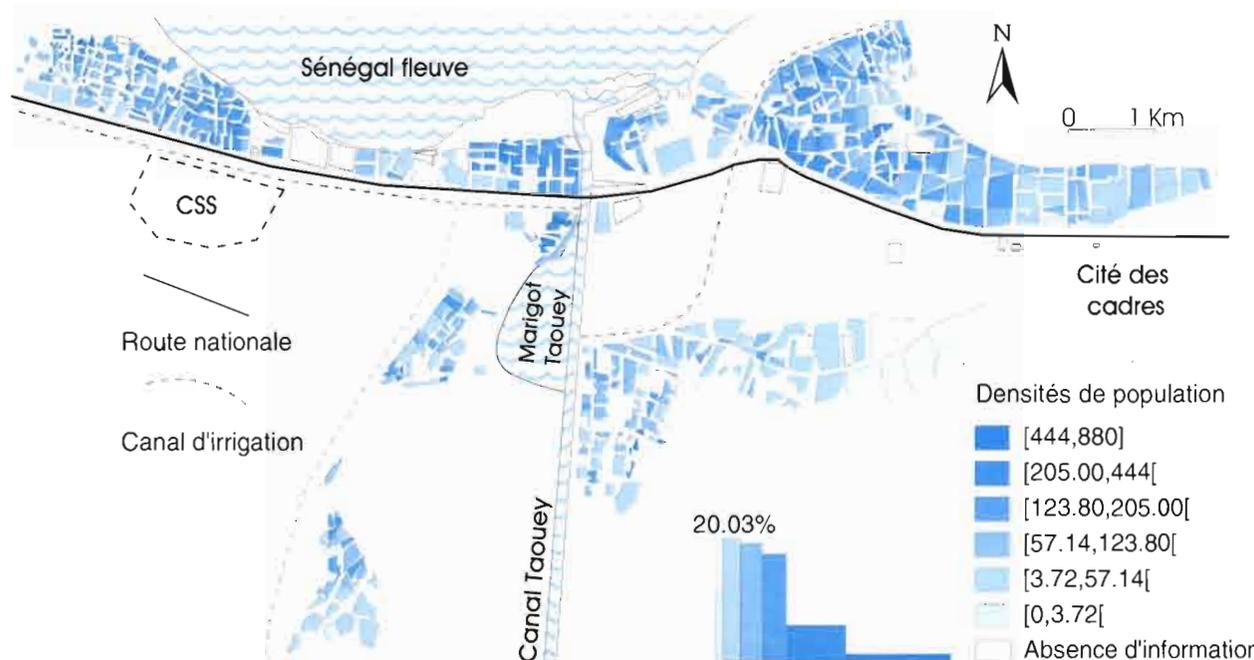
\* la modification des conditions hydrologiques consécutive à la fermeture des grands barrages construits sur le fleuve Sénégal (en 1986 : barrage anti-sel de Diama, dans le delta ; en 1988 : barrage hydroélectrique et de régulation des crues de Manantali, dans le haut-bassin). Ces aménagements ont créé un contexte favorable au développement de la planorbe *Biomphalaria pfeifferi*, hôte intermédiaire de *Schistosoma mansoni*, rendant possible l'infestation d'une population en contact permanent avec l'eau de surface. Le parasite, probablement importé par des personnes originaires d'autres régions, s'est rapidement propagé.

## Un outil : l'atlas informatisé de Richard-Toll

Dans le cadre de la lutte contre la maladie, un atlas informatisé de Richard-Toll a été créé. Il doit permettre de comprendre l'organisation interne de la ville et ses éventuelles répercussions sur la transmission de la maladie.

L'élaboration de cet atlas a nécessité successivement :

- \* une collecte de données à l'échelle de la concession (unité de résidence) et des individus ;
- \* la réalisation d'une cartographie de la ville à l'échelle de la concession à l'aide de photographies aériennes et de relevés au sol ;
- \* une enquête destinée à cerner les disparités environnementales : caractérisation des grands ensembles urbains, le niveau socio-économique et le mode de vie des résidents. Cette enquête a démarré en janvier 1992 et a porté sur un échantillonnage aléatoire et systématique de 20% des concessions ;
- \* une enquête individuelle destinée à cerner le mode de vie et donc les potentialités de contamination. Environ 870 concessions et 4.500 individus ont été questionnés, soit un échantillon systématique de 10% de la population ;
- \* une enquête parasitologique sur la base de l'échantillon individuel, entreprise durant l'hivernage 1992 (analyses de selles) ;
- \* un suivi de la dynamique de population des mollusques et de leur degré d'infestation, depuis 1989.

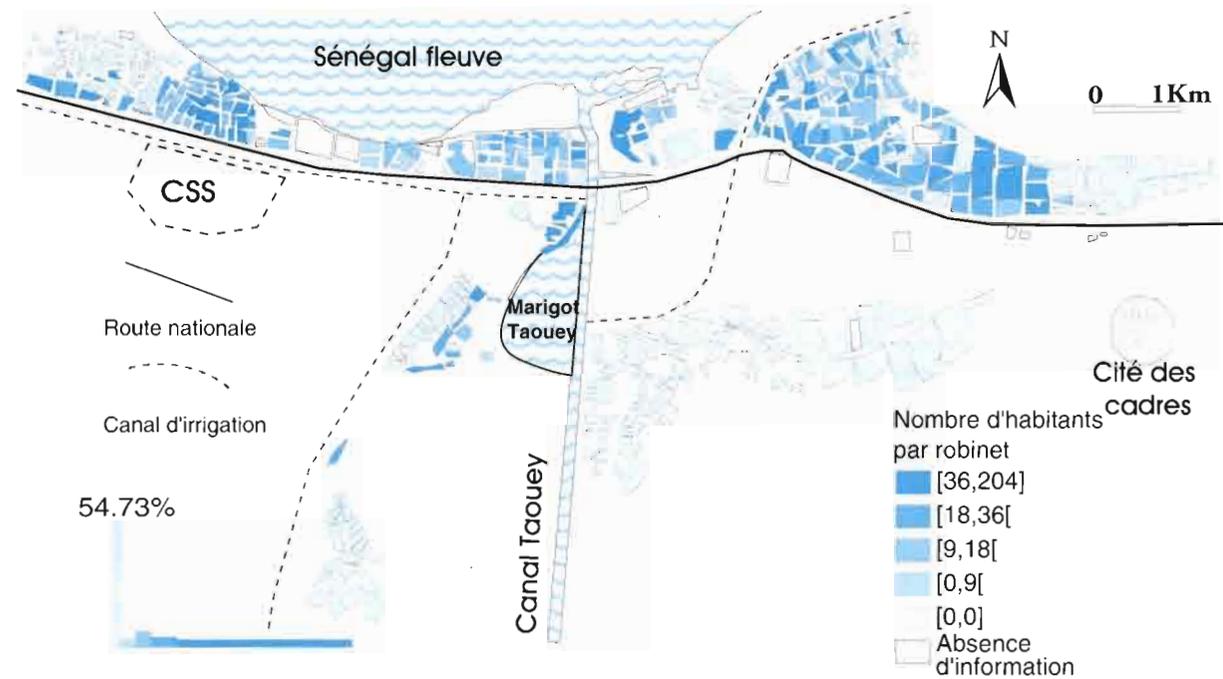


**Densité de la population.** Les densités de population traduisent le desserrement progressif des concessions en raison d'une disponibilité accrue de l'espace libre. L'arrivée de nouveaux immigrants a tendance à combler les espaces intercalaires augmentant progressivement les densités de population.

L'atlas informatisé de Richard-Toll est un instrument de spatialisation de l'information sanitaire (système Isis) qui doit permettre de déceler quasiment en temps réel l'apparition de foyers de maladie dans la ville en liaison avec les caractéristiques de l'environnement urbain.

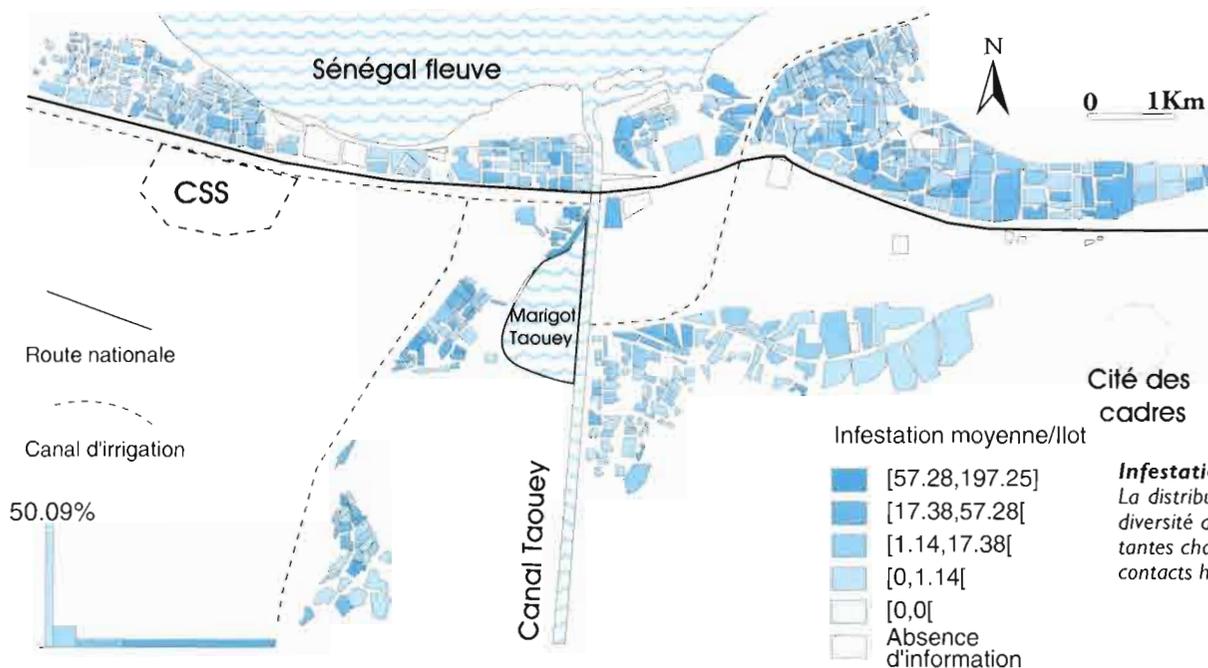
Par ailleurs, en combinant les efforts de chercheurs de disciplines diverses et d'acteurs d'aménagement, il est possible de découvrir les maillons faibles de la chaîne de transmission afin de prévenir la maladie à défaut de la guérir.

Le volet socio-économique a été développé autour de la dimension systémique de ce problème de santé publique par le programme "Espoir" (European special program for operational and integrated research).



#### Nombre d'habitants par robinet d'adduction d'eau

Actuellement, la Sonees (Société nationale d'exploitation des eaux du Sénégal) pratique une politique d'incitation aux branchements au réseau en réduisant les coûts d'installation. Cependant, une adduction d'eau privée n'est pas obligatoirement synonyme d'abondance et de qualité de l'eau. Les coupures sont fréquentes, obligeant les habitants à avoir recours aux eaux des puits voire à celle des canaux, du fleuve ou du marigot. En rapportant le nombre de robinets à l'effectif moyen d'une famille de Richard-Toll (7 personnes), certains espaces qui semblaient bien équipés montrent une pression à l'eau du réseau Sonees telle qu'elle interdit en pratique l'utilisation des robinets à la majorité de la population.



#### Infestation moyenne par îlot (1992)

La distribution spatiale des charges parasitaires moyennes met en évidence la très grande diversité des situations. Outre la localisation, il importe de rechercher les causes des importantes charges parasitaires dans un certain nombre de facteurs de risques conditionnant les contacts homme-eau.



Collaborations : Institut national de recherche en santé publique. Mali, École nationale de médecine et de pharmacie. Mali, Programme Espoir, Institut Pasteur de Lille

Un **modèle** est une représentation mathématique de la réalité. On l'utilise pour simuler l'évolution d'un phénomène. Ainsi, l'évolution réelle peut être anticipée et les moyens d'action adaptés au fur et à mesure de sa progression.

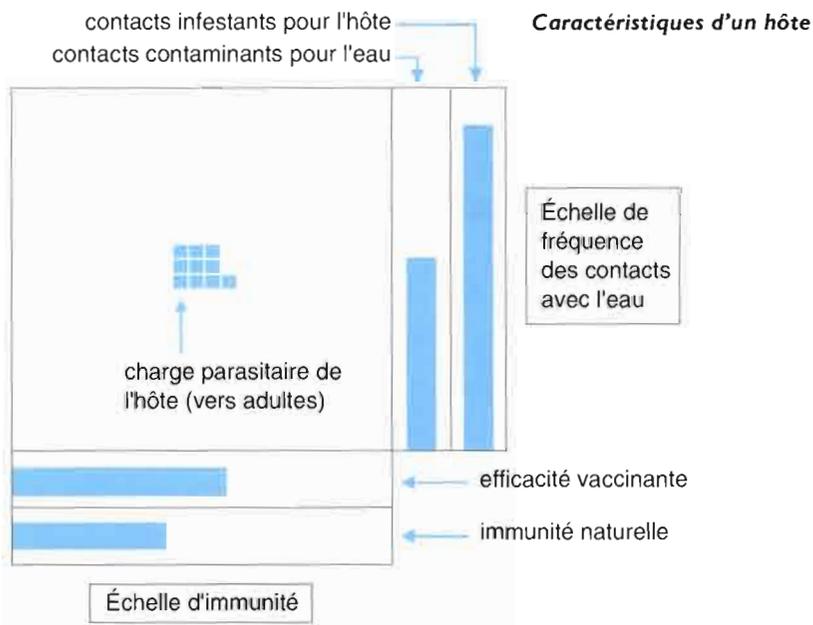
Dans le cas de la bilharziose intestinale, "Sibilh 1" est un modèle qui explore l'effet de différentes actions sur l'évolution d'un foyer endémique.

Il est aussi destiné à évaluer l'impact de la vaccination sur la transmission de la maladie.

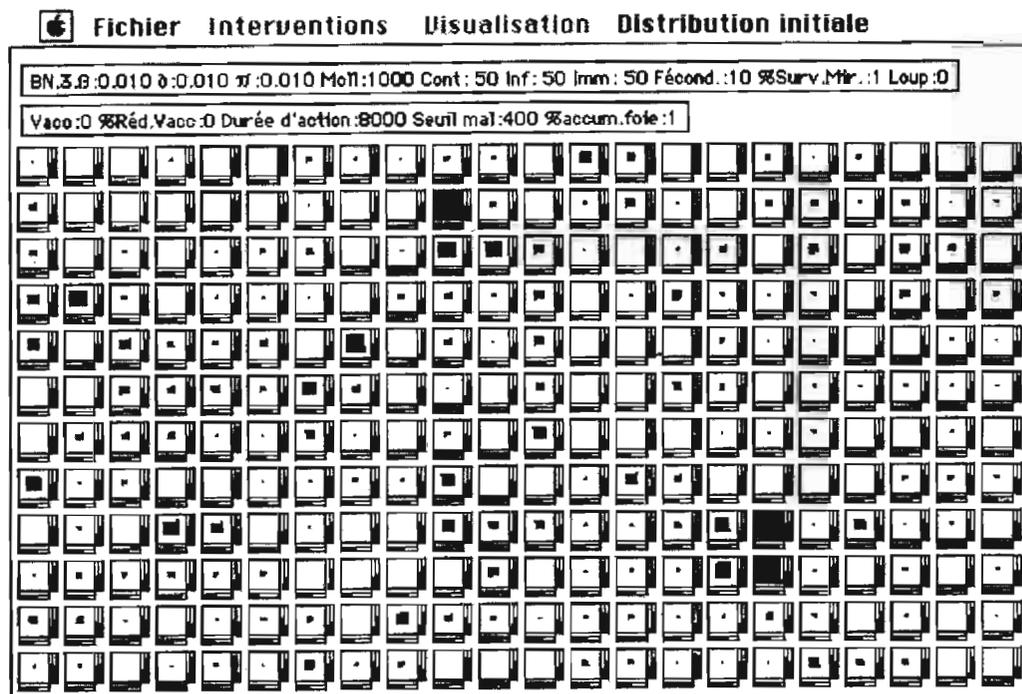
## Les interventions possibles

Il est possible d'intervenir à différents niveaux du cycle de reproduction du parasite :

- \* le **Praziquantel** est un médicament qui agit essentiellement en tuant les vers adultes, qui ne sont pas pathogènes par eux-mêmes ;
- \* le **vaccin** (en phase d'expérimentation) intervient en détruisant les oeufs, qui provoquent les signes cliniques, en particulier en s'accumulant dans le foie ;
- \* les **aménagements sanitaires**, (en particulier la construction de latrines) et l'éducation sanitaire sont destinés à empêcher la contamination de l'eau par les oeufs ;



# Sibilh1, logiciel d'aide à la décision



Copie d'écran : situation en début de simulation

Bien que l'intervention des rongeurs, qui peuvent aussi héberger des parasites, ne soit pas spécifiquement évoquée dans ce prototype, il convient de placer sous cette rubrique la **lutte anti-rongeurs** :

\* la **lutte contre les mollusques** (molluscicides, destruction des supports, modification du milieu,...) empêcherait la multiplication des parasites infestants ;

\* enfin, l'**éducation sanitaire** vise à modifier les comportements de contact de l'homme avec des eaux contaminées pour empêcher l'infestation.

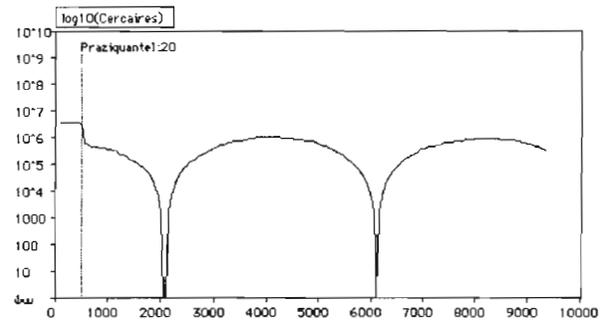
# dans la lutte contre *Schistosoma mansoni*

## Principaux aspects du modèle

La particularité de ce modèle est de prendre en compte chaque individu d'un foyer, et de suivre l'évolution de sa charge parasitaire (c'est à dire le nombre de couples de vers). L'augmentation (par infestation de nouveaux vers) et la diminution (par mortalité des vers adultes) de la charge parasitaire, dépendent, chez chaque hôte, de la charge parasitaire elle-même : on dit qu'elles sont "densité-dépendantes". Il est aussi tenu compte chez chaque hôte des phénomènes immunitaires, qui sont aussi densité-dépendants. Enfin chaque sujet est caractérisé par ses habitudes de contact avec l'eau.

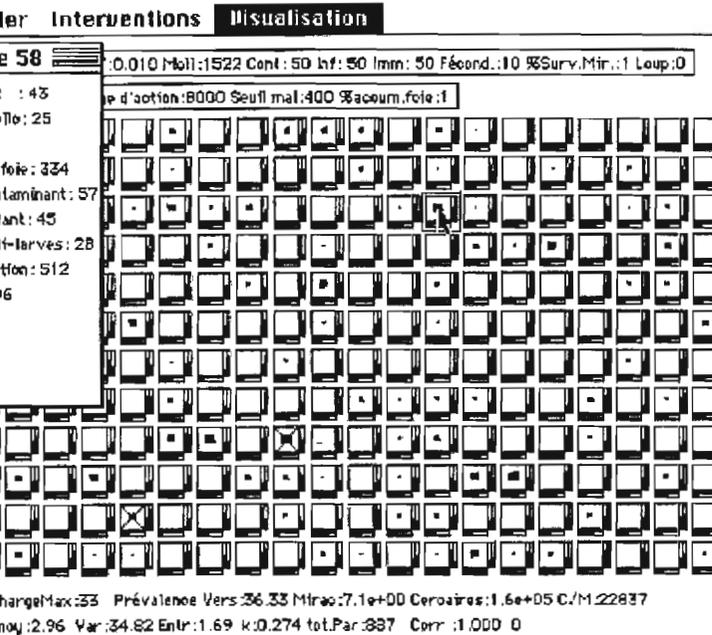
Pour un même nombre absolu d'hôtes et de parasites, une espèce parasitaire est caractérisée par "l'injustice" plus ou moins grande avec laquelle elle frappe ses hôtes. D'après les données recueillies au Mali, on constate que *Schistosoma mansoni* est un parasite particulièrement "injuste" : la plus grande quantité de pa-

## Exemple de simulation : action du Praziquantel

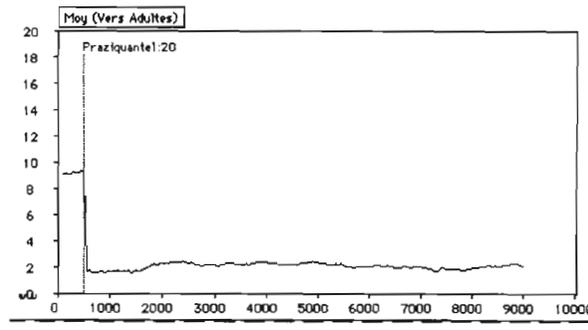


Hôtes:300 ChargeMax:97 Prévalence Vers:13.67 Mirao:3.6e+01 Cercaires:3.0e+05 C/M:0.1900  
gén:09300 moy:2.35 Var:120.11 Entr:0.78 k:0.047 tot.Par:706 Corr.:0.295

Évolution de la libération de cercaires

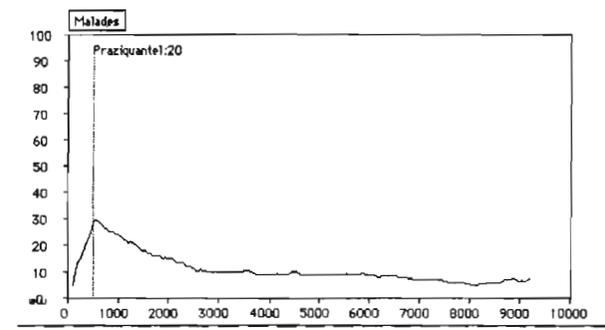


Aperçu de l'endémie en cours de simulation. On peut voir la situation parasitaire de chaque hôte et son histoire. Noter les sujets malades (croix bleues).



Hôtes:300 ChargeMax:98 Prévalence Vers:15.00 Mirao:3.5e+01 Cercaires:5.7e+05 C/M:1.6176  
gén:08962 moy:2.28 Var:119.12 Entr:0.85 k:0.044 tot.Par:685 Corr.:0.292

Charge moyenne en vers adultes



Hôtes:300 ChargeMax:94 Prévalence Vers:15.00 Mirao:3.5e+01 Cercaires:4.1e+05 C/M:1.1498  
gén:09151 moy:2.28 Var:111.60 Entr:0.77 k:0.047 tot.Par:683 Corr.:0.317

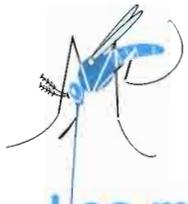
Évolution du nombre de sujets malades

rasites est concentrée dans un petit nombre d'hôtes, et la plupart des hôtes n'ont que peu de parasites ou n'en ont pas du tout. Le modèle est donc "réglé" sur ce type de relation hôte-parasite.

Il est aussi tenu compte du rendement parasitaire, de la périodicité journalière des cercaires et de leur possible synchronisme avec les habitudes de contact avec l'eau de certains hôtes.

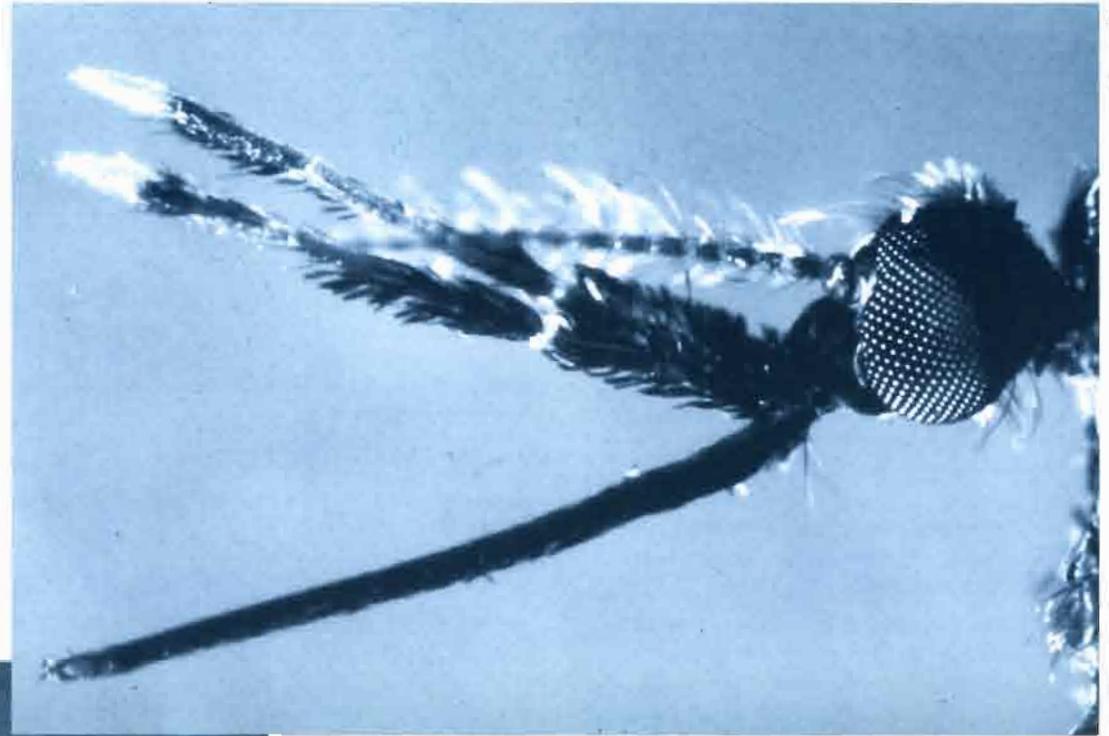
Le modèle sert à simuler les effets que l'on peut attendre de chaque type d'intervention, ou de la combinaison de plusieurs d'entre-elles.

Notons que ce modèle est une aide à la décision. Le décideur devra aussi prendre en considération d'autres facteurs comme la toxicité ou les contre-indications de certains médicaments, le coût de chaque intervention et en particulier ses répercussions sur l'environnement.



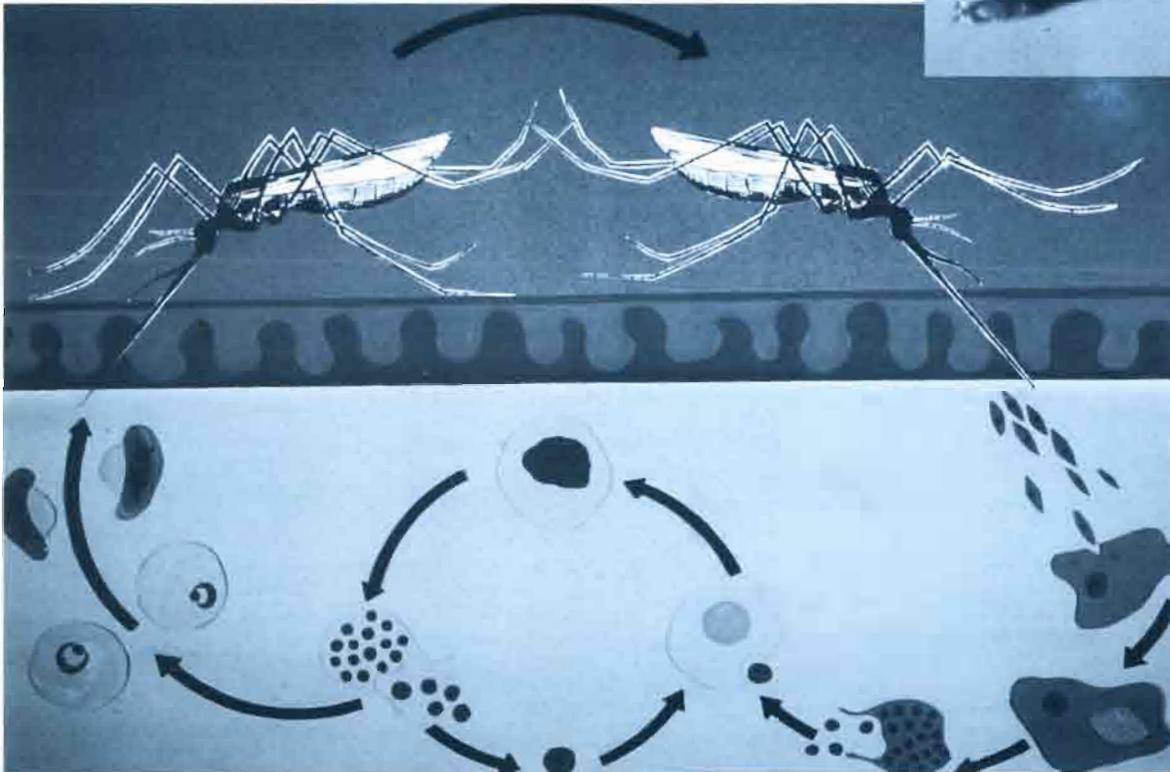
Collaborations : Ucad, Institut Pasteur

## Les maladies transmises par des vecteurs : le paludisme



© OMS

Tête de femelle d'anophèle



© Institut Pasteur

Le paludisme est une maladie parasitaire dont les agents sont des protozoaires du genre *Plasmodium*. Sa transmission est assurée par la piqûre des moustiques femelles du genre *Anopheles*.

Le paludisme reste un problème majeur de santé publique dans beaucoup de régions tropicales, en particulier en Afrique où il présente son plus haut niveau d'endémie. En effet, plus de 90% des cas cliniques surviennent en Afrique intertropicale qui représente seulement 8% de la population mondiale. Cela s'explique par la présence de bons vecteurs en grand nombre. Les estimations de la mortalité due au paludisme en Afrique vont de un à trois millions de morts par an.

Le cycle du *Plasmodium*

## Les méthodes d'étude

Actuellement en Afrique intertropicale, la lutte antipaludique, à défaut d'éradiquer le paludisme, vise à réduire la morbidité et la mortalité. Elle s'organise autour de la prémunition des habitants dans les zones endémiques.

La prémunition est un état d'équilibre instable qui s'instaure au fil des ans entre l'hôte et son parasite, quand cet hôte est infecté plusieurs fois par an, ce qui est fréquent en zone rurale.

La situation s'est aggravée ces dernières années du fait de l'apparition et de la multiplication de souches du parasite résistantes à la chloroquine. Les recherches en cours sur les mécanismes de l'acquisition de la prémunition pourront servir à l'élaboration d'un vaccin antipaludique.

Pour déterminer le niveau d'endémie du paludisme d'une population, c'est-à-dire son degré d'intimité avec le parasite, on étudie classiquement trois domaines :

### \* les vecteurs et la transmission du paludisme : étude entomologique en trois étapes

- les anophèles sont recherchés puis classés par espèce, quantifiés et leur nombre est rapporté au nombre de piqûres reçues par un homme,
- la recherche de la présence du parasite dans les vecteurs potentiels est destinée à évaluer un indice d'infection des vecteurs,
- un taux d'inoculation entomologique est calculé en nombre de piqûres d'anophèles infectés reçues par personne et par unité de temps (nuitée, mois, année).



Cliché Jean-François Trape

Recherche de la présence du parasite dans le sang : test de la goutte épaisse

© OMS



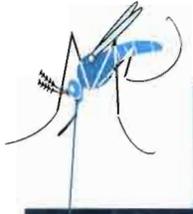
Captureurs de moustiques au travail

### \* le parasite dans le sang : étude parasitologique

On recherche et on quantifie les *Plasmodium* dans les globules rouges du sang. Cette recherche microscopique est effectuée à partir d'une goutte épaisse et permet de déterminer laquelle des quatre espèces de *Plasmodium* est rencontrée. Les variations en fonction de l'âge sont interprétées selon le degré de prémunition.

### \* l'accès palustre : étude clinique

Parmi la population malade, la part de la pathologie due au paludisme est évaluée. Le diagnostic en zone d'endémie ne saurait reposer uniquement sur la présence de parasites dans le sang puisque des personnes bien portantes hébergent habituellement ces parasites. Selon l'état d'immunité et probablement certains facteurs génétiques, les accès évoluent différemment : accès simple dont la guérison spontanée est la règle, accès pernicieux, décès. Le nombre d'accès palustres par homme et par unité de temps (année, vie) peut être évalué dans les populations les mieux suivies.



Cliché Jean-François Trape

Vue générale du quartier de Pikine choisi pour l'étude en transect du paludisme.

Collaborations : Ucad, Institut Pasteur  
Financement : Ministère français de la coopération

L'essentiel de la transmission du paludisme survient en périphérie immédiate des niayes (dépressions marécageuses) où se reproduit toute l'année le moustique *Anopheles arabiensis*, le seul vecteur du paludisme dans cette zone. Dans les autres quartiers, 95% à 100% des moustiques rencontrés sont des *Culex* ou des *Aedes*, espèces incapables de transmettre le paludisme. La transmission est maximale de septembre à décembre. Elle est par contre presque totalement interrompue à partir de janvier : les températures sont en effet trop basses pour assurer une vitesse de développement suffisante du parasite chez les anophèles. La transmission ne reprend que très lentement pendant la saison chaude et humide car peu de personnes sont porteuses chroniques de gamétocytes, seule forme du parasite capable d'infecter les anophèles et d'assurer ainsi le cycle de transmission.

## Le paludisme à Dakar (1)

Le paludisme est endémique dans l'agglomération de Dakar où réside près du quart de la population du Sénégal. Un programme de recherches épidémiologiques a été entrepris, dont les objectifs sont :

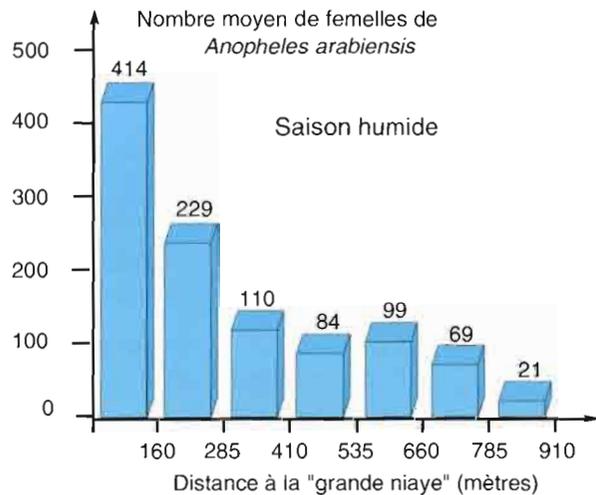
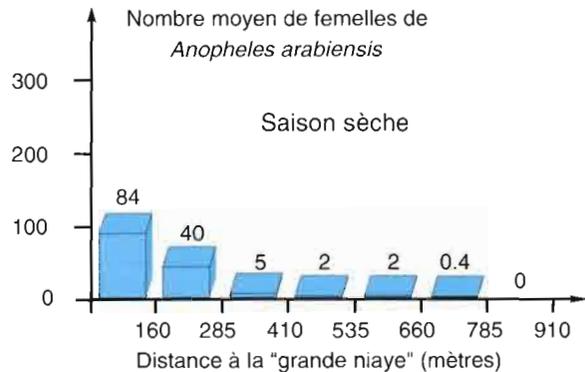
- \* la cartographie des gîtes larvaires des anophèles, moustiques vecteurs du paludisme ;
- \* la mesure du taux d'incidence (nombre de nouveaux cas par an) de la maladie selon les quartiers de la ville et en fonction de différents paramètres éco-épidémiologiques et socio-économiques ;
- \* la détermination précise des niveaux de sensibilité des parasites aux médicaments antipaludiques anciens et nouveaux ;
- \* la détermination des stratégies de lutte ayant le meilleur rapport coût-efficacité compte tenu des spécificités épidémiologiques du paludisme dans cette zone.

Variations mensuelles de la proportion de cas de paludisme parmi les sujets fébriles, dans un dispensaire de Pikine.



## Hétérogénéité de la transmission

Une étude effectuée sur un transect de 900 mètres dans un quartier de Pikine riverain de la "grande niaye" montre que le risque de piqûre par un anophèle varie beaucoup en fonction de la distance aux gîtes larvaires. Aussi bien en saison des pluies qu'en saison sèche, la densité d'anophèles capturés varie selon un gradient, en fonction de la distance à la "grande niaye".



Nombre moyen de femelles d'anophèles pour 100 pièces d'habitation en fonction de la distance à la "grande niaye".

En revanche, la densité des autres espèces de moustiques -dont les gîtes larvaires sont principalement constitués par les puisards et fosses septiques des habitations- est indépendante de la distance à la "grande niaye".

Le risque de contracter le paludisme diminue donc rapidement lorsque la distance entre le domicile et les gîtes larvaires augmente : l'absence d'anticorps témoins d'infections palustres récentes n'est observée que chez 17% des enfants résidant en bordure immédiate de la "grande niaye" ; la proportion est de 73% chez les enfants résidant à 900 mètres de celle-ci.

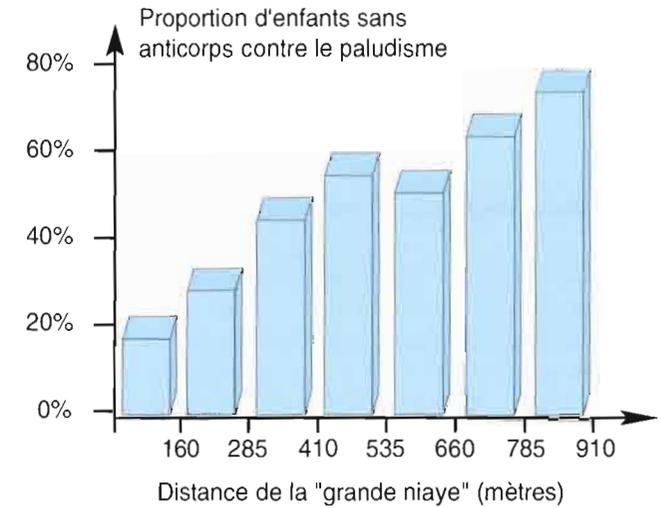
Plus précisément, la surveillance étroite pendant une année d'un groupe d'écoliers de Pikine a montré que le taux d'incidence des accès palustres est d'environ :

- \* un accès par an chez les écoliers résidant en bordure immédiate de la "grande niaye" ;

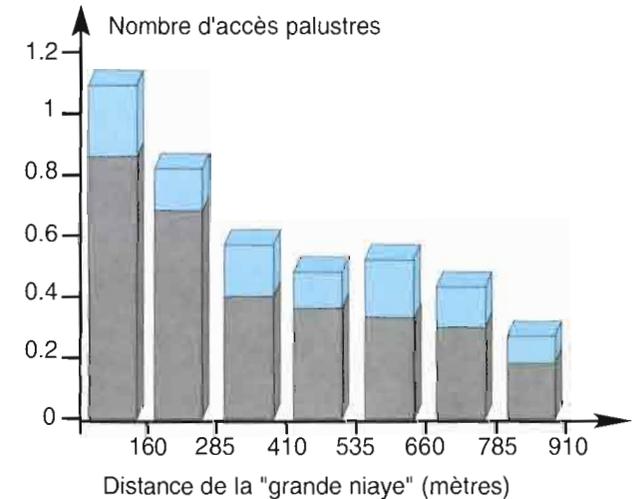
- \* seulement un accès tous les cinq ans chez ceux résidant à 900 mètres de la "grande niaye".

Dans les quartiers centraux de Dakar, les anophèles sont presque totalement absents. Chaque habitant contracte localement la maladie moins d'une fois tous les cinquante ans.

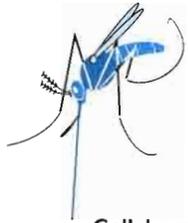
Ainsi, la localisation géographique du domicile constitue le plus important facteur de risque pour le paludisme chez les habitants de Dakar.



Proportion d'enfants sans anticorps contre le paludisme en fonction de la distance entre le domicile et la "grande niaye".



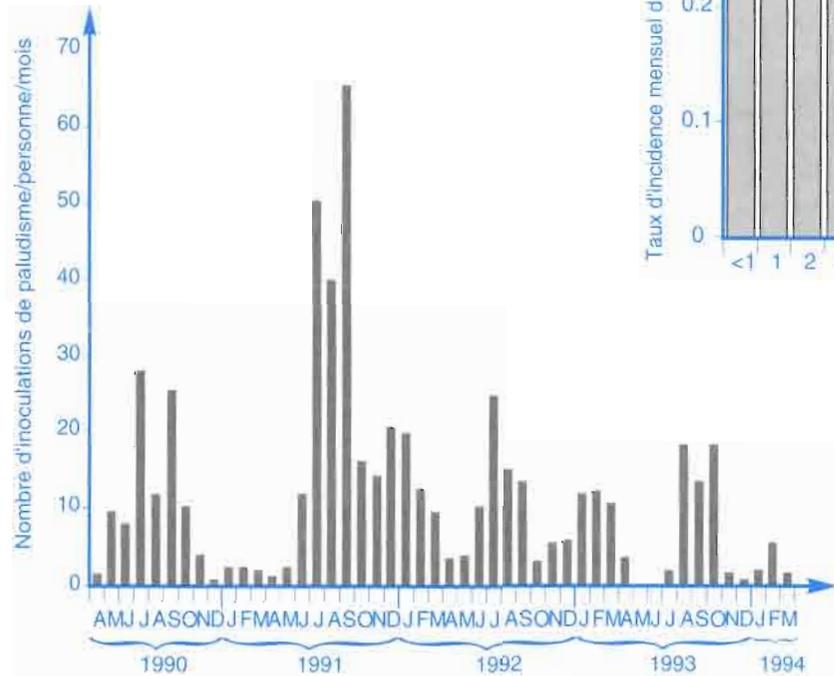
Nombre annuel moyen d'accès palustres par écolier (estimation du minimum et du maximum), en fonction de la distance entre le domicile et la "grande niaye".



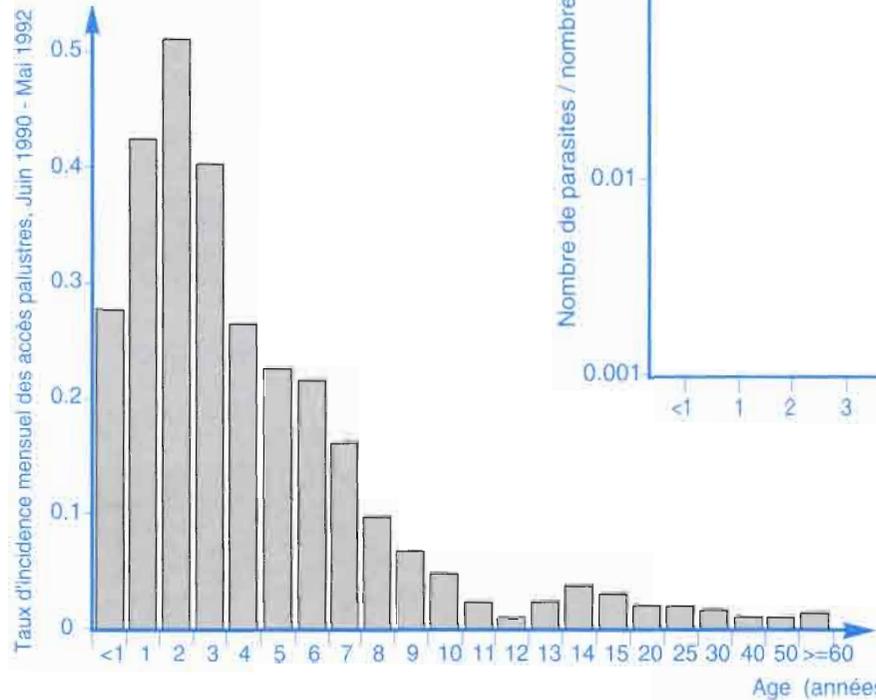
# Paludisme infection- Paludisme maladie

Collaborations : Ucad, Institut Pasteur

Dans la plupart des régions rurales d'Afrique tropicale, le niveau d'endémie du paludisme est très élevé : du fait de l'abondance des anophèles et de la proportion élevée - jusqu'à 5% - de ceux qui hébergent le parasite, chaque personne est réinfectée plusieurs dizaines de fois, souvent même plusieurs centaines de fois par an en savane soudanienne et en zone forestière.



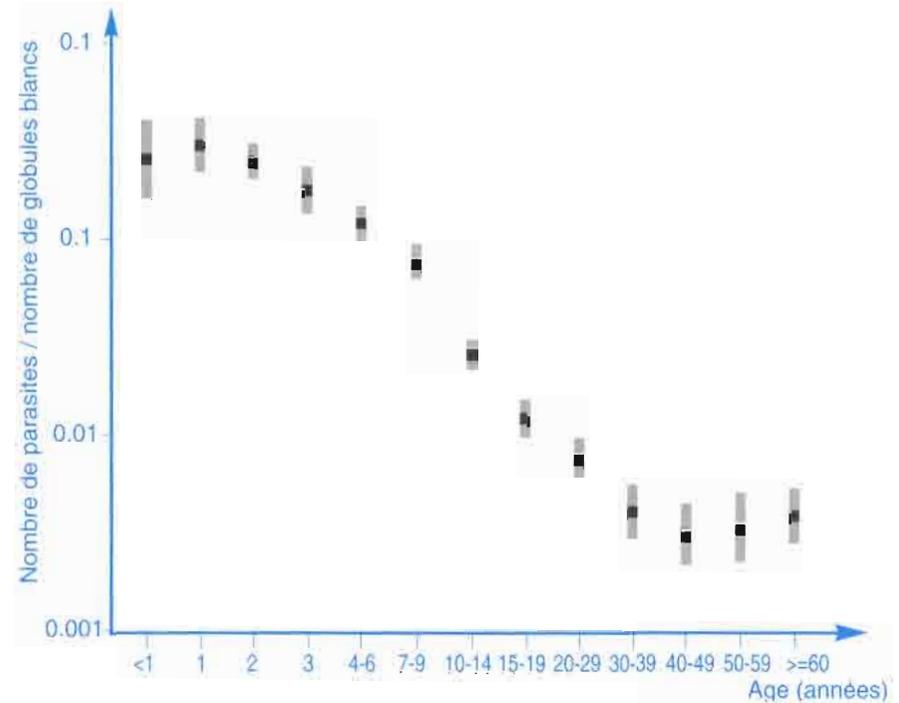
Nombre mensuel moyen par personne d'inoculations du paludisme par des anophèles, chez les habitants de Dielmo, village du Sine-Saloum situé en bordure d'une petite rivière permanente.



### Variations en fonction de l'âge, du taux d'incidence mensuel moyen des accès palustres

Alors qu'un enfant de Dielmo âgé de deux ans souffre en moyenne d'une crise de paludisme tous les deux mois, les adultes ne présentent des accès palustres que tous les sept ans. Ils résistent ainsi à 99,9% des infections transmises.

Dans ces régions, l'examen de la goutte épaisse et une méthode nouvelle d'amplification génétique (PCR) montrent que la présence de parasites dans le sang des habitants est presque permanente quel que soit l'âge. Une surveillance médicale étroite et prolongée pendant plusieurs années montre que ces infections sont pour la plupart parfaitement tolérées. Pourtant cet équilibre



### Variations en fonction de l'âge, de la parasitémie moyenne en l'absence de troubles cliniques chez les habitants de Dielmo

La parasitémie est exprimée sous forme du rapport nombre de parasites/nombre de globules blancs dans le sang capillaire.

hôte-parasite est fragile et un accès palustre peut survenir à tout moment, avec un risque élevé de complications mortelles chez les jeunes enfants.

Comprendre les mécanismes qui permettent aux personnes résidant en zone de forte transmission de tolérer la plupart des infections palustres sans présenter le moindre symptôme et identifier les déterminants des accès palustres chez ces mêmes personnes pourraient avoir des applications majeures pour la prévention de la maladie et la mise au point d'un vaccin.



## Dielmo, un village sous microscope

Cliché Jean-François Trape



Vue du village



Cliché Jean-François Trape

Vue générale, en saison des pluies, de la station de recherche implantée dans le village de Dielmo par l'Orstom et l'Institut Pasteur.

Cliché Jean-François Trape



Prélèvement veineux pour l'étude de la réponse immunitaire à des antigènes "candidats-vaccins".

Pour prévenir la maladie palustre et tenter de mettre au point un vaccin une équipe de médecins, biologistes, infirmiers, techniciens de laboratoire et enquêteurs réside en permanence depuis juin 1990 à Dielmo, un petit village de 250 habitants dans le Sine-Saloum.

Leur mission : suivre jour et nuit l'état de santé de chaque villageois, permettre des analyses biologiques approfondies avant, pendant et après chaque accès palustre, recueillir parallèlement tous les jours un grand nombre d'informations épidémiologiques.

En aval, plus de trente chercheurs dans six pays collaborent régulièrement aux recherches et à l'analyse intégrée des données de sept disciplines : entomologie, parasitologie, clinique, épidémiologie, immunologie humorale, immunologie cellulaire, biologie moléculaire.

Participation scientifique : Jean-François Trape, Vincent Robert



## Les maladies transmises par des vecteurs :

# les arboviroses

Collaborations : Instituts Pasteur  
de Dakar, Bangui et Abidjan

Un virus est un micro-organisme infectieux utilisant le matériel cellulaire de son hôte pour se reproduire.

Un arbovirus (Arthropod borne virus) est un virus transmis aux vertébrés, dont l'homme, par des arthropodes se nourrissant de sang tels que les moustiques, les phlébotomes ou les tiques.

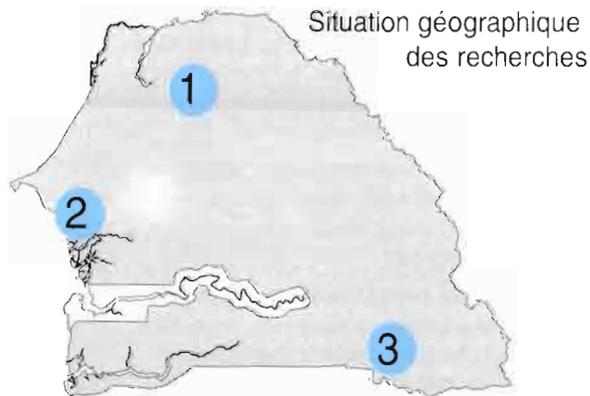
Les arbovirus peuvent se manifester par trois types de syndromes chez l'homme :

- \* une affection fébrile généralisée (au Sénégal : dengues, West-Nile, Bunyamwera) ;

- \* un syndrome méningo-encéphalitique ;

- \* un syndrome hémorragique (au Sénégal : fièvre jaune, fièvre de la vallée du Rift).

Sur les 550 arbovirus décrits environ 130 sont pathogènes pour l'homme (les virus de la fièvre jaune et des dengues). D'autres sont pathogènes pour le bétail comme le virus de la fièvre de la vallée du Rift qui a provoqué une large épizootie en 1987, suivie d'une épidémie dans la région de Rosso.



1 la région du Ferlo en zone sahélienne

2 la région de Bandia en zone soudano-sahélienne

3 la région de Kédougou en zone soudanienne

En 1965, lors de l'épidémie de fièvre jaune de Diourbel, responsable de plusieurs centaines de morts, un entomologiste est affecté à l'Institut Pasteur de Dakar. Des mesures d'urgence sont prises pour limiter l'extension de l'épidémie.

Les travaux sur l'épidémiologie de cette virose comportent un volet entomologique (étude des insectes) et un volet virologique assumé conventionnellement par les chercheurs de l'Institut Pasteur.

En une vingtaine d'années, ces travaux ont abouti à l'élaboration d'une théorie générale de l'épidémiologie de la fièvre jaune en Afrique Centrale et Occidentale.

Des notions nouvelles et majeures sont définies :

- \* zones d'émergence de la fièvre jaune dans la ceinture de savanes semi-humides ;

- \* classification des épidémies de fièvre jaune en trois types : type urbain (moustique *Aedes aegypti*), type rural (entre les singes et divers moustiques *Aedes*) dans lequel l'infection humaine est accidentelle, et type mixte.

La réalité du phénomène de la transmission transovarienne des arbovirus chez les moustiques vecteurs (virus Koutango chez le moustique *Aedes aegypti*) est confirmée expérimentalement.

Dès 1987, grâce à un financement des services de santé de l'armée américaine, le laboratoire de zoologie médicale et les services d'écologie virale ont mené une série de travaux sur l'épidémiologie de la fièvre hémorragique de Crimée-Congo (CCHF).

Ces travaux ont permis la reconnaissance du vecteur à l'homme (la tique *Hyalomma truncatum*). Ils ont aussi mis en évidence l'importance d'un oiseau (le petit calao à bec rouge, *Tockus erythrorhynchus*) dans la circulation et l'amplification virale avec *Hyalomma truncatum marginatum rufipes* comme vecteur-réservoir, ainsi que l'existence des transmissions transovarienne et sexuelle (du mâle à la femelle par spermatophore infecté) chez *Hyalomma truncatum*, en plus de la transmission par repas simultané.

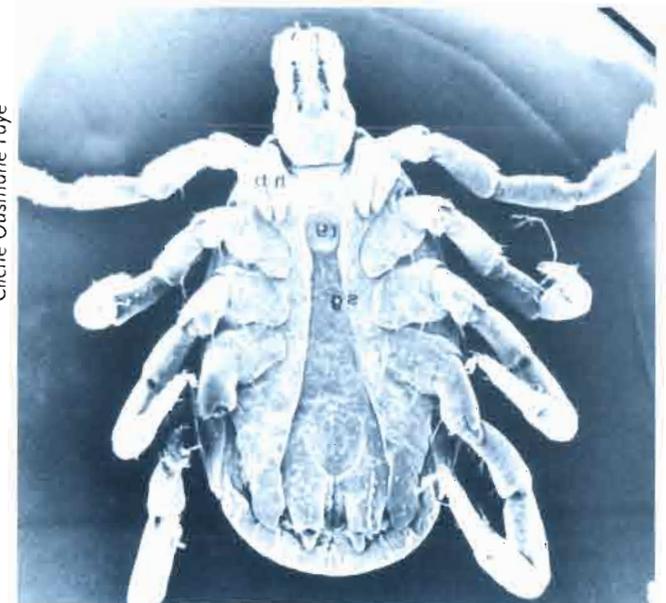
Cliché Ousmane Foye



La tique *Hyalomma truncatum*, porteuse du virus CCHF

Face dorsale

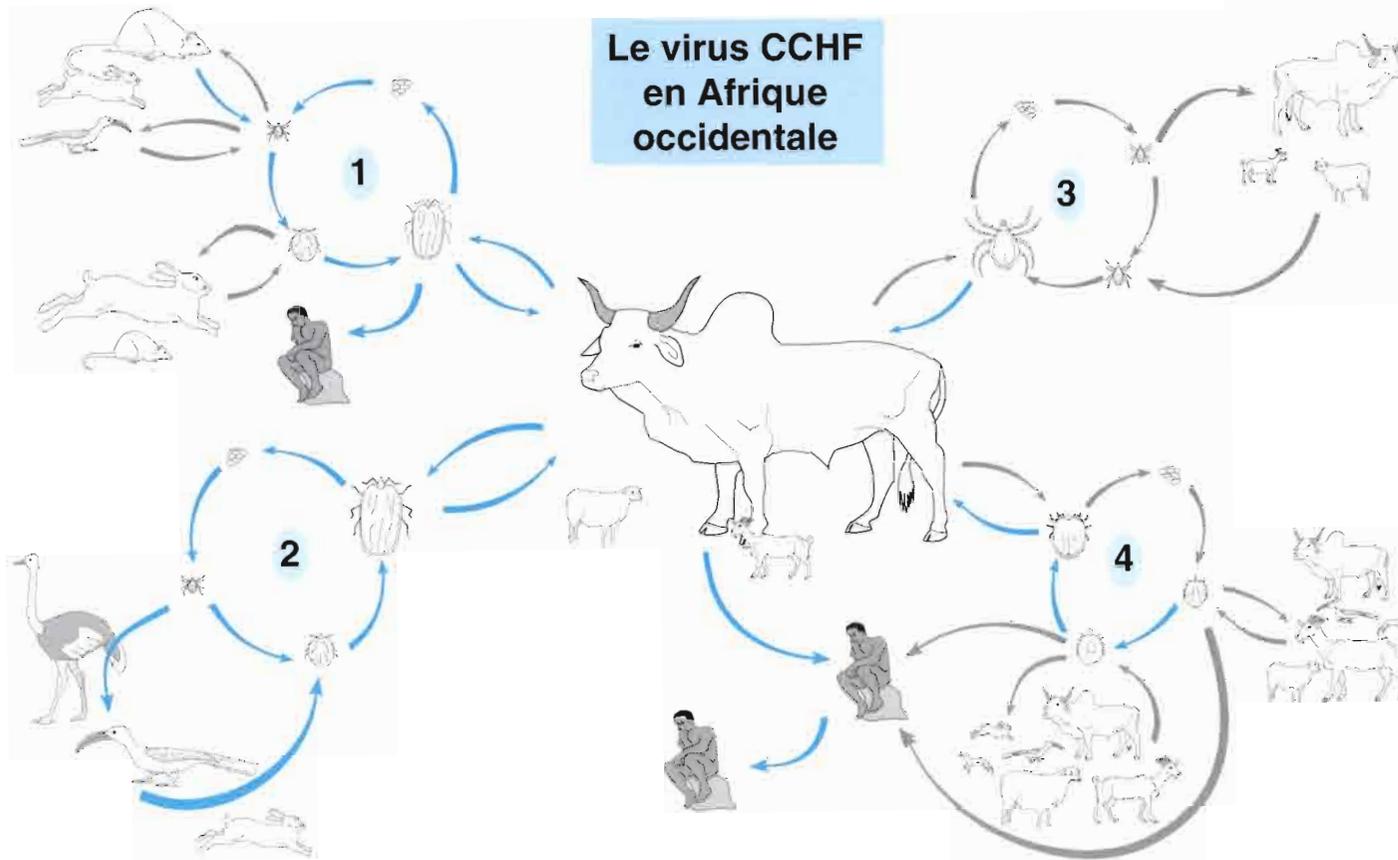
Cliché Ousmane Foye



Face ventrale

# Une arbovirose transmise par les tiques : la fièvre hémorragique de Crimée-Congo (virus CCHF)

## Le virus CCHF en Afrique occidentale



Dessin : François Adam

Schéma des voies de circulation du virus CCHF en Afrique Occidentale

1- Passage par *Hyalomma truncatum* dont le mâle ou la femelle peut transmettre le virus à l'homme par piqûre (cycle des petits rongeurs)

2- Passage par *Hyalomma marginatum rufipes* (cycle des oiseaux)

3- Passage par *Rhipicephalus evertsi evertsi* (cycle des ovins et des bovins)

4- Passage par *Amblyomma variegatum* (cycle de tous les vertébrés)

\* Les modes de circulation prouvés du virus sont indiqués par les flèches bleues

\* Les modes probables sont représentés par des flèches grises

\* Sur les figures, la taille des vertébrés hôtes du virus est proportionnelle à leur importance épidémiologique

La vaste répartition des vecteurs potentiels de cette grave maladie, qui se manifeste sous une forme hémorragique, a conduit, depuis 1986, à une étude de l'écologie du virus.

Isolé pour la première fois au Zaïre en 1956 chez un jeune enfant ayant présenté un syndrome fébrile, ce n'est qu'en 1981, en Afrique du Sud, que la fièvre hémorragique est diagnostiquée pour la première fois chez un enfant, décédé par la suite.

En 1984, six autres cas ont été diagnostiqués dont deux fatals : l'un avait contracté la maladie en dépeçant un boeuf mort, l'autre par piqûre de tique.

D'autres observations ont pu être faites au Burkina Faso en 1983 puis en Mauritanie en 1988, d'où le virus a pu être isolé d'un cas humain mortel.

Au Sénégal, le virus, endémique, se manifeste par foyers. De 1987 à nos jours, 70 souches du virus CCHF ont été isolées à partir de tiques récoltées principalement sur les bovins, ovins et caprins, mais aucun cas humain n'a été diagnostiqué à ce jour.

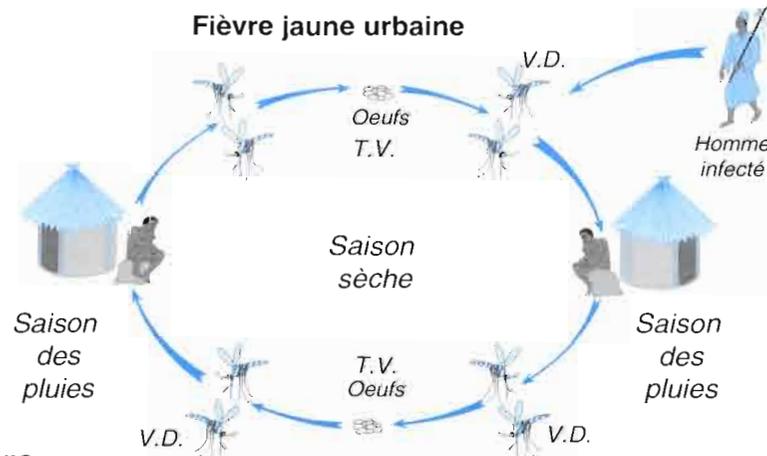
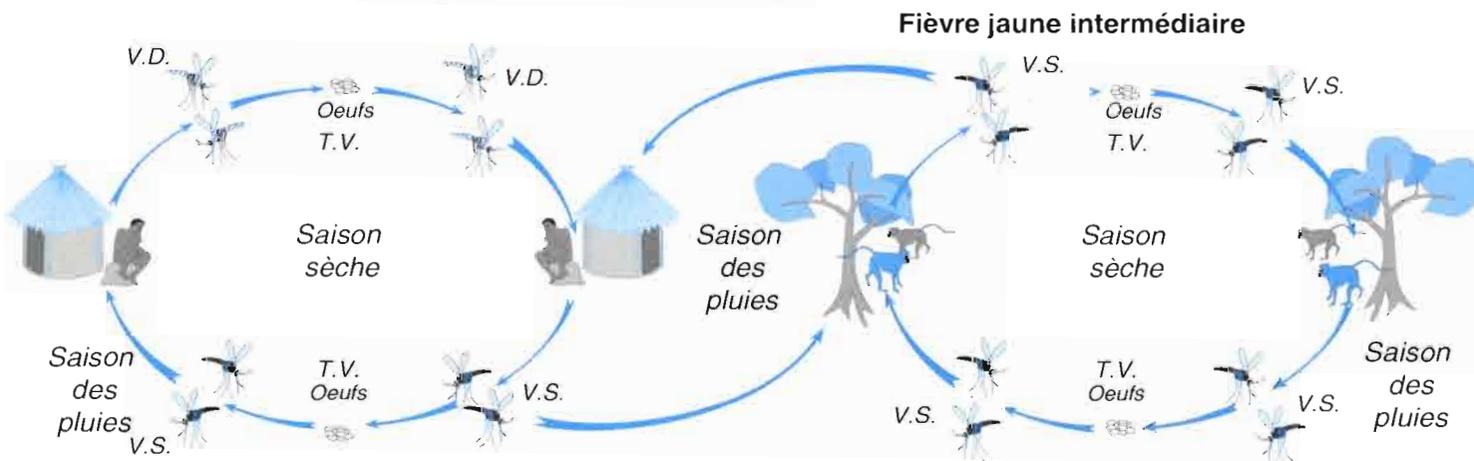
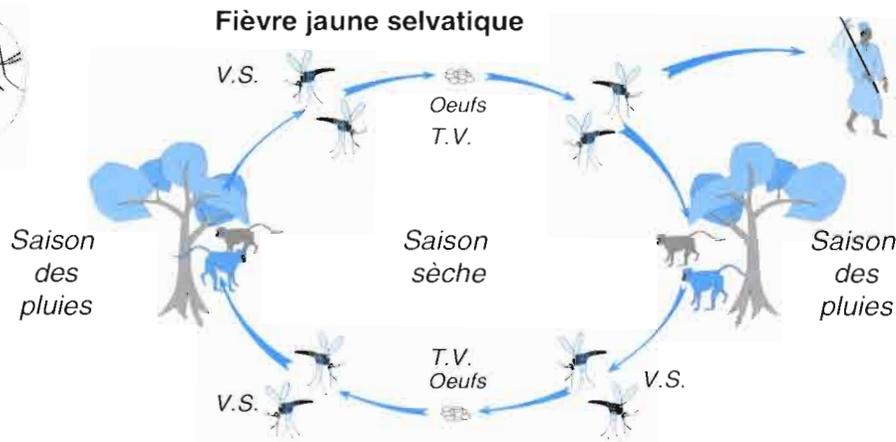
Participation scientifique : Didier Fontenille, Jean-Paul Cornet, Jean-Louis Camicas



# Une arbovirose transmise par les moustiques : la fièvre jaune

Collaborations : Instituts Pasteur de Dakar et de Côte-d'Ivoire, Institut d'écologie tropicale de Côte-d'Ivoire, Projet TailMab/Unesco

La fièvre jaune s'exprime, dans les cas les plus graves, par une jaunisse hémorragique traduisant une profonde atteinte du foie. Dans les évolutions bénignes, les plus nombreuses, l'affection peut se borner aux aspects d'une grippe, suivie ou non des signes d'une hépatite. Le malade guérit sans séquelles et conserve alors, à l'égard de la fièvre jaune, une immunité définitive.



V.S. = Vecteurs sauvages  
V.D. = Vecteurs domestiques  
T.V. = Transmission verticale

Dessin : François Adam

En forêt primaire, le cycle selvatique naturel de la fièvre jaune ne concerne que les singes et les moustiques. Il est circonscrit aux étages supérieurs de la forêt et l'homme n'est pas impliqué.

Les moustiques (*Aedes africanus*), réservoirs et vecteurs du virus amaril, l'inoculent aux singes. Ceux-ci, relais et amplificateurs, multiplient le virus pendant la phase de virémie et le transmettent aux moustiques qui les piquent et infecteront d'autres singes, qui infectés sont ensuite immunisés.

Il en est souvent de même pour les hommes vivant en forêt depuis de nombreuses générations.

Hôte-primate, vecteur-moustique et virus-parasite sont en équilibre. Les hommes venant d'autres régions ne sont pas résistants à ce virus, nouveau pour eux. La fièvre jaune ne pourra réapparaître au même endroit que lorsque la population de singes jeunes, non immunisés, sera redevenue suffisamment nombreuse.

En forêt secondaire, savane et zone désertique, le cycle de la fièvre jaune peut atteindre l'homme.

Quand l'homme modifie le milieu naturel en défrichant par le feu ou en morcelant la forêt pour ses cultures, l'équilibre naturel est rompu : les singes de forêts disparaissent.

Dans les galeries forestières prolongeant la forêt primaire, les moustiques peuvent infecter des singes de savane. Le cycle descend aux étages inférieurs de la forêt et les moustiques peuvent piquer l'homme.

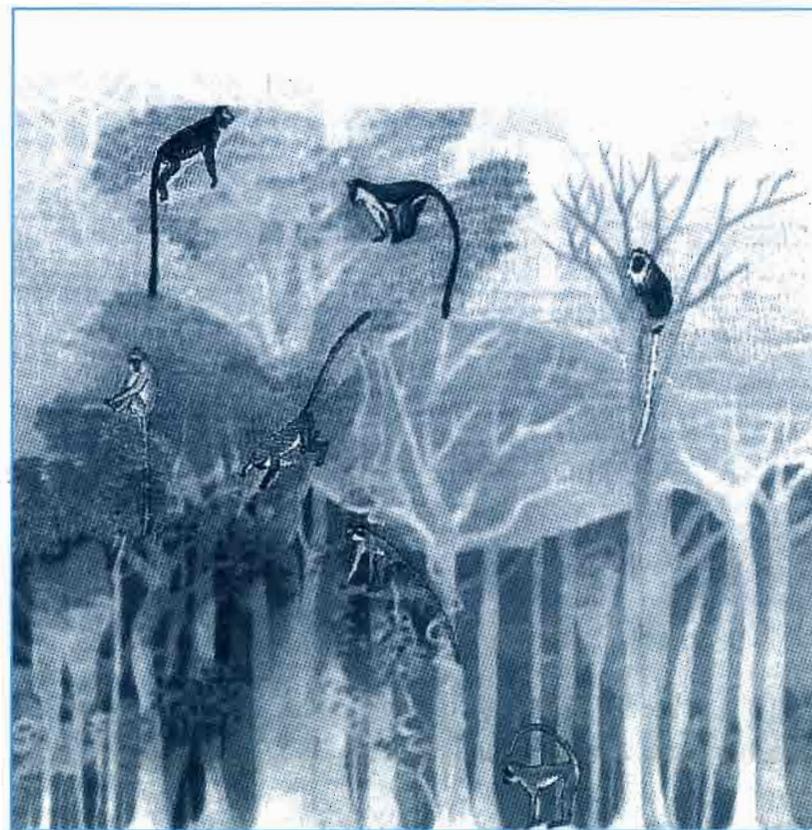


La Mone survit à la dégradation de la forêt près des villages.

Ainsi c'est dans la zone de contact forêt-savane qu'apparaissent les cas d'émergence de fièvre jaune.

De retour des champs, le cultivateur, infecté par un moustique lors de son passage dans la galerie forestière, rentre au village et véhicule l'arbovirus.

Le risque d'épidémie urbaine est fonction de la densité de la population, du taux de vaccination et de l'abondance de *Aedes aegypti*, vecteur assurant la transmission inter-humaine. La connaissance de la densité, de la dynamique des populations de singes et de leur comportement, en relation avec celle de l'écologie des virus et des moustiques, a ainsi permis de prévoir les dates de risque de réapparition de l'épidémie, résultat immédiatement appliqué à sa prévention.



Dessin Minh Luong, extrait de Galat-Luong (1988)

#### Stratification verticale des singes dans la forêt tropicale dense humide d'Afrique de l'Ouest

Les espèces vivant dans les plus hautes strates (des plus hautes aux plus basses : le Colobe bai, *Colobus badius*, la Diane, *Cercopithecus diana*, et le Colobe magistrat, *Colobus polykomos*) disparaissent en premier au contact de l'homme. Celles vivant dans les strates inférieures (le Colobe de Van Beneden, *Colobus verus*, la Mone, *Cercopithecus campbelli*, le Pétauriste, *Cercopithecus petaurista*, et le Mangabé, *Cercocebus atys*) s'adaptent aux forêts anthropisées et peuvent être trouvées dans les galeries forestières.



Les Singes verts vivent dans les galeries forestières en zone d'émergence.



# Le Sida

## Épidémiologie des rétrovirus chez les primates

Le Syndrome d'immuno-déficience acquise (Sida) est provoqué, chez l'homme par un type particulier de virus : le rétrovirus HIV, dont deux souches principales (HIV1 et HIV2) ont été isolées.

Le rétrovirus HIV2 a été mis en évidence en Afrique de l'Ouest grâce à sa grande similitude avec les rétrovirus des singes (SIV).

Dès 1988, l'Orstom créait un grand programme "Sida" au sein duquel l'un des premiers thèmes de recherche fut axé sur les rétrovirus simiens.

Le rétrovirus du Singe vert (*Cercopithecus aethiops*), SIVagm, est particulièrement intéressant : en effet, le HIV2 est plus proche du SIVagm que du HIV1. De plus, il ne provoque pas de maladie chez le singe :

- \* soit le SIVagm est non pathogène ;
- \* soit le Singe vert est résistant au virus.

L'hypothèse de la non-pathogénicité semble la plus vraisemblable. Aussi, en étudiant les SIV, on espère isoler une souche de SIVagm qui aurait un pouvoir immunisant pour l'homme contre le Sida, tout en restant non pathogène pour lui, comme elle l'est pour le Singe vert.

### Bande de Singes verts dans la mangrove.

Certains individus, de statut immunologique connu, sont porteurs de colliers d'identification ou de radio-émetteurs.



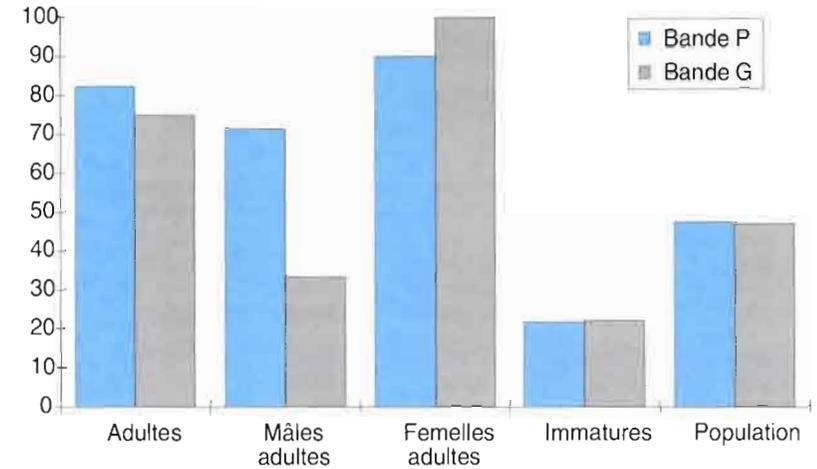
Femelle adulte  
Séropositive

Mâle juvénile  
Séronegatif

Femelle adulte  
Séropositive

Cliché Anh Galat-Luong

Collaborations : Laboratoire de bactériologie virologie du CHU Le Dantec, African Aids researchers network, DPN du Sénégal, Département d'immunologie de l'EIESMV, Institut Pasteur de Dakar



Séroprévalences SIV (%) des bandes G et P de Singes verts de la forêt de Fathala (Parc national du delta du Saloum).

### Méthodes

La variabilité des gènes du virus est recherchée chez les singes et comparée :

- \* entre espèces ;
- \* entre populations d'une même espèce ;
- \* entre différentes bandes d'une même population ;
- \* entre individus d'une même bande ;
- \* entre prélèvements successifs sur un même individu.

Dans la région du Saloum, à l'ouest du Sénégal, plus d'une centaine de singes identifiés, au statut immunologique connu, sont suivis *in natura* sur les plans :

- \* éthologique (comportements sexuels, contacts sociaux, modes de transmission) ;
- \* socio-écologique (organisation sociale, stratégie de choix des partenaires sexuels, relations intergroupes) ;
- \* immunologique (séroprévalence) et virologique (caractérisation des souches).

## Épidémiologie et socio-écologie

Une étude épidémiologique de la séroprévalence (proportion de séropositifs) SIV des singes dans leur milieu naturel a été menée.

La séroprévalence des adultes est supérieure à celle des jeunes. Les rapports hétérosexuels constituent donc le principal mode de transmission du virus. Cependant l'importance de la séroprévalence chez les immatures implique l'existence d'autres voies de transmission (mère-enfant, toilettage de la région génitale, soins des plaies, morsures). Transmissions par voie sexuelle et par morsure ont été mises en évidence en captivité.

Chez le Singe vert, la séroprévalence du SIV varie, comme chez l'homme, d'une région à l'autre.

La séroprévalence SIV est également différente selon l'espèce : 6% pour le Patas (*Erythrocebus patas*) et 46% pour le Singe vert. L'approche socio-écologique lie cette variabilité aux différences d'organisation sociale :

\* chez les Patas, le type d'organisation sociale le plus fréquent est le "harem". Un seul mâle adulte contrôle un groupe d'une vingtaine de femelles adultes et d'immatures. Les femelles n'ont accès qu'à l'unique mâle adulte de leur bande. La transmission du virus est réduite ;

Cliché Anh Galat-Luong



*Le Patas vit en "harem", organisation sociale défavorable à la transmission du SIV.*



*Singe soignant la plaie d'un congénère*

Cliché Anh Galat-Luong

Cliché Anh Galat-Luong



*Comportement interspécifique à risque : au cours d'une phase d'épouillage, une femelle Patas ingère des fluides génitaux prélevés sur une femelle Singe vert.*

Participation scientifique : Anh Galat-Luong, Gérard Galat



# Sivsim, modèle de simulation de la circulation du virus SIV *in natura*

Collaborations : Réseau Africain de Recherche sur le SIDA, Centre de Référence sur le Sida en Afrique de l'Ouest, Ucad, Hôpital Le Dantec, Dakar, EIESMV de Dakar, Institut Pasteur de Dakar, DPN du Sénégal

Le SIV est, chez le singe, un virus étroitement apparenté au virus HIV, agent du Sida chez l'homme.

L'observation des comportements animaux en milieu naturel n'est pas toujours suffisante pour expliquer certains phénomènes rares.

Faute de pouvoir observer davantage de "réalités vraies", il faut avoir recours à des "réalités simulées". Ainsi, le logiciel Sivsim de simulation "orientée objet" permet d'étudier les modalités de pathogénicité et de dispersion du virus SIV au sein d'une bande de singes, ou de sa transmission d'une bande à l'autre.

## Problématique

- Chez les Singes verts en conditions naturelles, 80% des adultes sont porteurs du virus. Cependant aucune maladie de type Sida n'a pu être décrite. Il se peut que la maladie existe mais qu'elle soit rare et difficile à observer : un animal malade est rapidement victime des prédateurs.
- En captivité, on a pu observer qu'un Singe vert infecté par le SIV n'est pas affecté physiologiquement. Par contre, son comportement social se modifie, ce qui, dans la nature, peut le faire exclure de sa bande. Son seul recours, pour survivre, est alors d'être adopté par une autre bande. La propagation du virus est ainsi favorisée. Cela, par exemple, pourrait expliquer la vaste répartition du SIV au Sénégal.

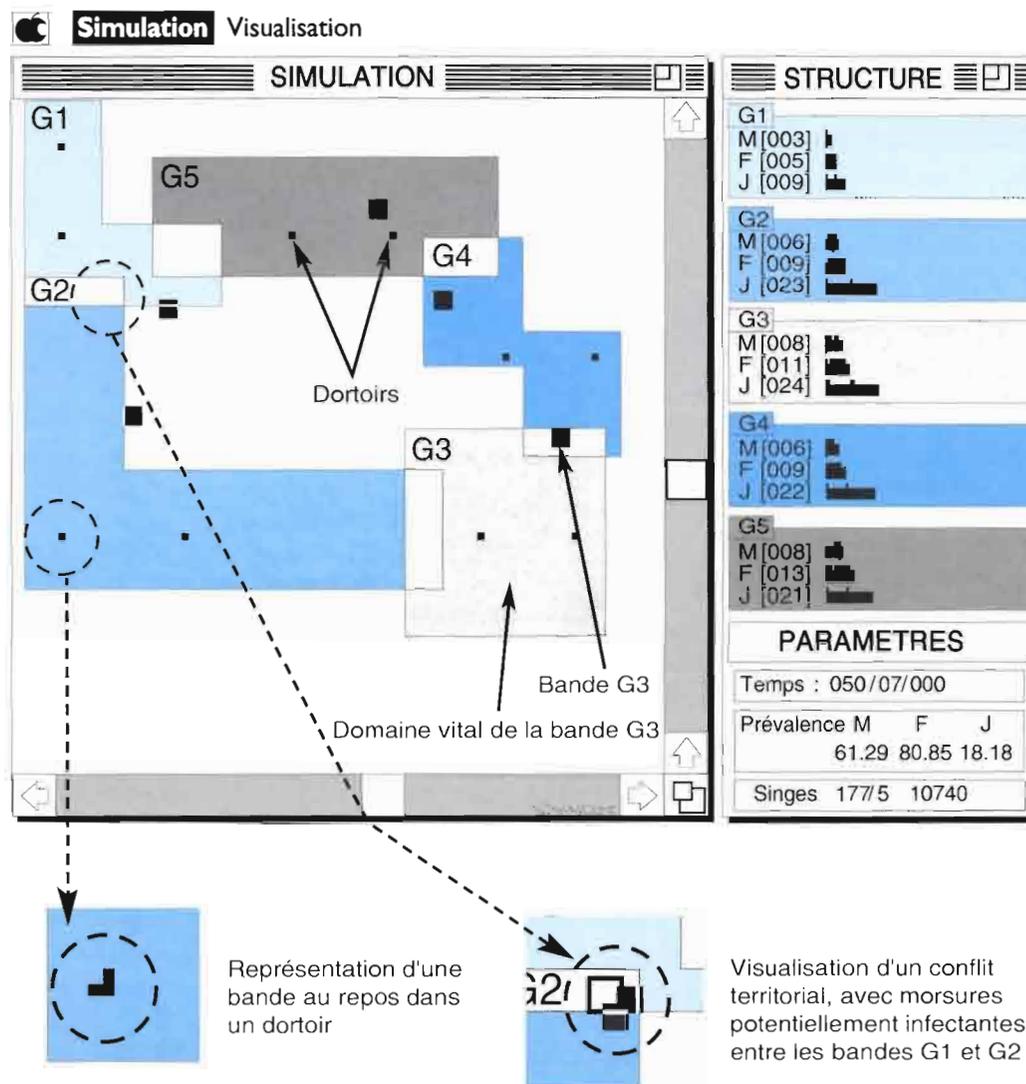
## Les simulations

Le logiciel Sivsim met en oeuvre deux "objets" : **le singe et la bande de singes**. Chaque objet a des caractéristiques bien définies, fondées sur des résultats d'observations comportementales et socio-écologiques des animaux en milieu naturel. Ils sont ainsi aussi proches que possible de la réalité.

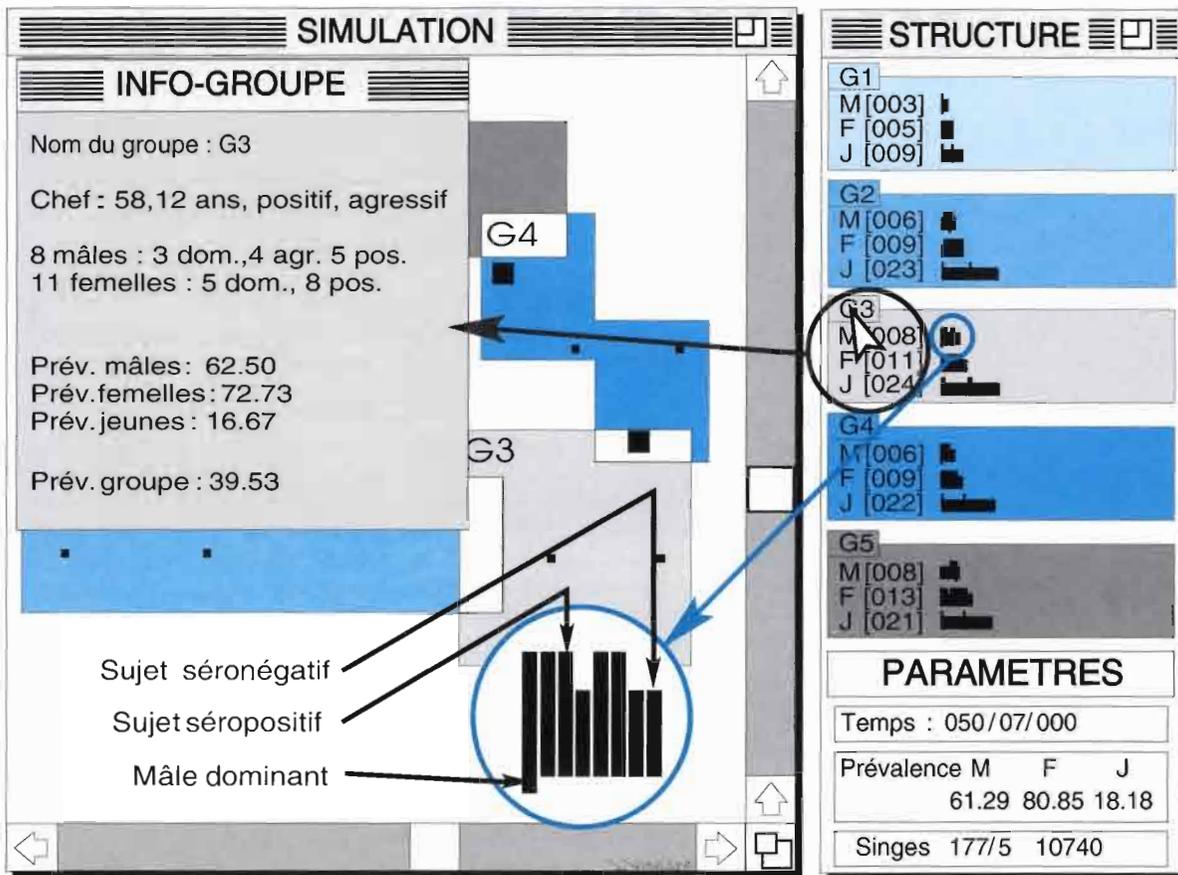
Pratiquement indépendamment du programmeur, les divers objets peuvent se reproduire, mourir, interagir avec le milieu ou entre eux, en particulier en se transmettant le virus. Il est possible de visualiser à petite ou à grande échelle les déplacements des bandes, les conflits intra-bandes et inter-bandes, les exclusions.

En une heure, le programme permet de simuler 16 ans de la vie des singes.

La structure démographique de chaque bande et le nombre d'individus séropositifs, en fonction du sexe ou de l'âge, sont suivis tout au long de chaque simulation. Il est également possible de faire varier certaines caractéristiques du virus : potentiel d'infection, pathogénicité.



Copie d'écran : visualisation des bandes de Singes verts se déplaçant dans leurs domaines vitaux.



Fenêtre "Structure" : démographie de chaque bande et sujets infectés. La fenêtre "Paramètres" indique le temps simulé, la seconde ligne, les prévalences.

En cliquant sur la bande voulue (ici G3), on fait apparaître la fiche détaillée de la composition de cette bande.

## Résultats préliminaires

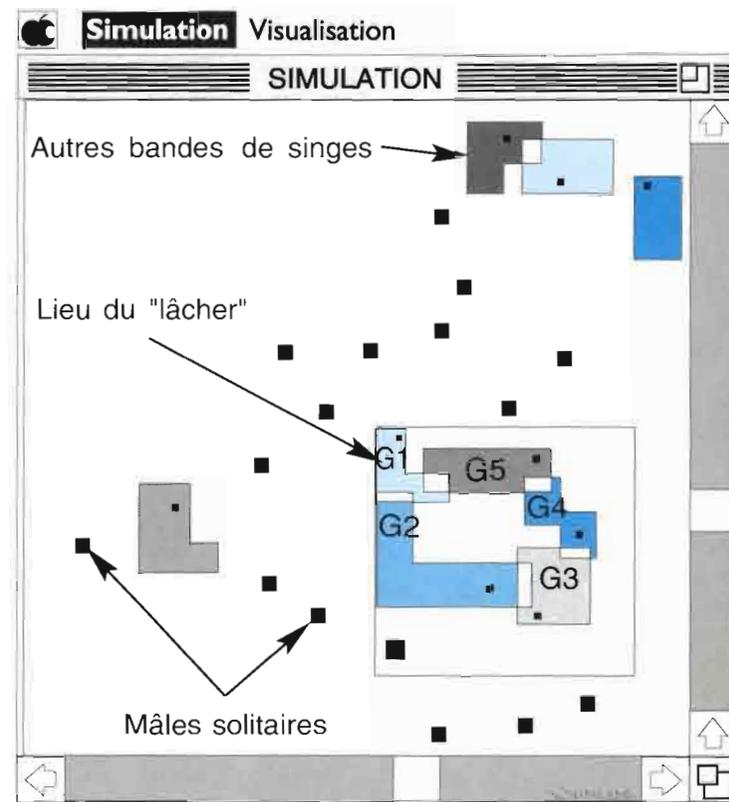
En résumé, ce logiciel est un outil qui permet, en amplifiant des observations très rares et difficiles à reproduire en vraie grandeur, de vérifier par leur répercussion épidémiologique la vraisemblance de certaines hypothèses.

• Exemple 1 : hypothèse d'une faible mortalité due au SIV.

Si on suppose que le SIV réduit de seulement 5% l'espérance de vie des singes séropositifs, ce qui serait indétectable dans la nature, le modèle montre que l'on devrait observer au bout de 8 ans une diminution de l'ordre de 10% de la prévalence chez les adultes. Cette variation serait alors détectable et l'observation pourrait confirmer ou invalider l'hypothèse de départ.

• Exemple 2 : les modifications comportementales des singes, provoquées par le virus, pourraient favoriser la dissémination de celui-ci.

Le modèle montre que cela ne peut se réaliser que si les femelles de la bande adoptante ont une préférence pour les nouveaux venus. Ce phénomène a effectivement été constaté sur le terrain. L'hypothèse est donc confirmée.



Pour connaître les chances de transmission du virus d'une bande de singes à l'autre, on simule un "lâcher", à partir de la bande G1, de plusieurs mâles solitaires à la recherche de bandes adoptantes.



# Amélioration des systèmes de soins :

## analyse cartographique de la desserte médicale et des recours aux soins dans l'arrondissement de Ross-Béthio

Collaborations : Ucad, District médical de Richard-Toll

La géographie des soins est l'étude globale et spatiale de la distribution et de la fréquentation des services de santé, de leur accessibilité et de la consommation médicale.

Les données médicales sont traitées par une méthode cartographique qui montre les disparités spatiales et temporelles du système de soins en un lieu donné.

La répartition de l'offre de soins, les comportements thérapeutiques des populations et la fréquentation des postes de santé, permettent d'estimer les modalités du recours aux soins et l'efficacité du système de soins.

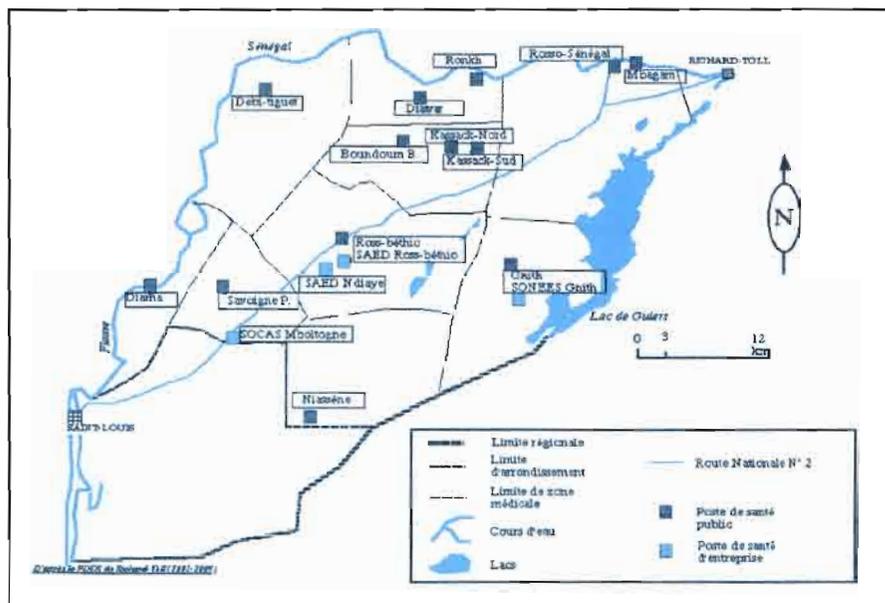
Les résultats obtenus par cette méthode d'étude peuvent fournir aux pouvoirs publics des critères objectifs d'aide à la décision, en particulier dans le domaine de l'allocation des ressources sanitaires et de l'application des politiques de santé.

L'arrondissement de Ross-Béthio comprend deux unités morphologiques : le waalo ou vallée alluviale du fleuve Sénégal où se concentrent la majorité des aménagements hydro-agricoles, et le diéri, espace sahélien.

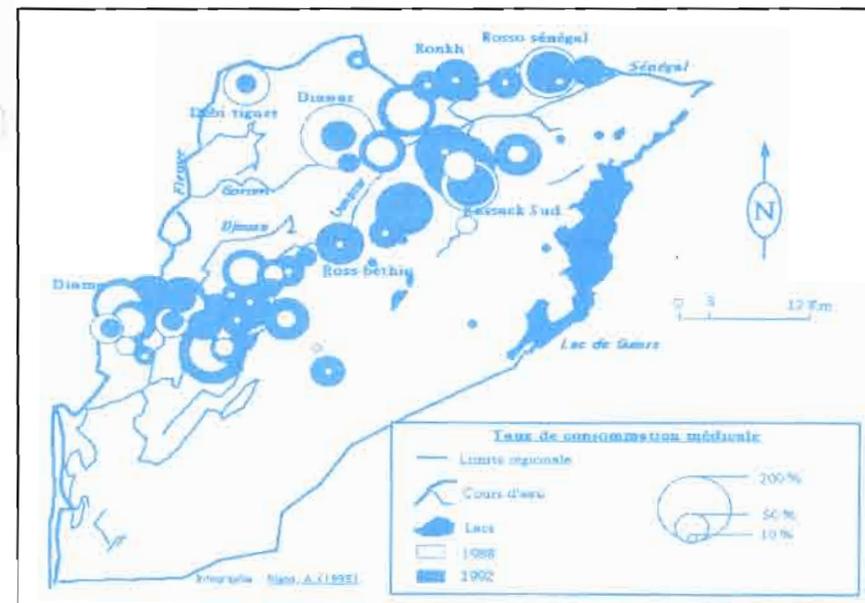
Des disparités spatiales de la desserte et de la consommation médicale ont été décelées. Elles ont permis d'établir une liaison entre le recours aux soins et certains facteurs physiques, humains ou politiques, qui en conditionnent la genèse et l'évolution.

### Évolution de la desserte médicale

Au niveau de l'arrondissement de Ross-Béthio, la desserte médicale (un poste de santé pour 3.107 habitants en 1988 et 1 poste de santé pour 2.688 habitants en 1992) est satisfaisante par rapport aux normes de l'OMS (un poste pour 5.000 personnes) ; l'augmentation de l'offre de soins est en adéquation avec celle de la population. Cependant elle montre des disparités spatiales nord-ouest/sud-est liées aux inégalités de l'occupation de l'espace et de la répartition de la population.



Répartition des dispensaires en 1992



Évolution du taux de fréquentation par village entre 1988 et 1992

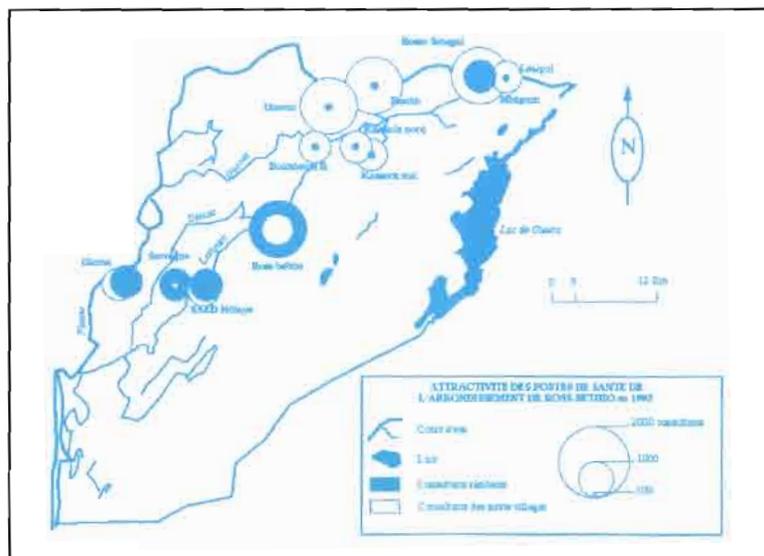
## Consommation médicale

Le taux de fréquentation par village traduit le niveau de recours aux soins de la population. Elle équivaut au rapport du nombre de consultants déclarés d'un village sur sa population totale. La norme fixée par l'OMS pour un recours acceptable est de 70% (0,7 contact/individu/village).

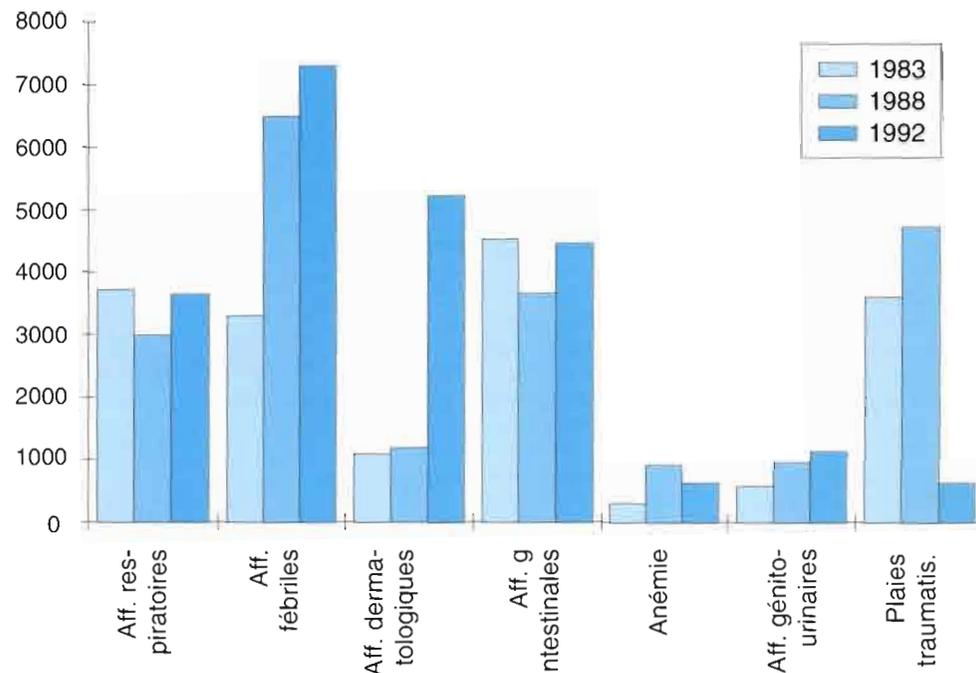
Les villages à forte consommation médicale sont ceux qui disposent d'un poste de santé ou qui n'en sont pas très éloignés : la distance constitue un facteur déterminant, modulé par des facteurs socio-économiques et/ou culturels, ainsi que par les facilités de déplacement (distance-temps). La concentration de services en un lieu donné peut également conditionner une forte attractivité de ce site.

Divers facteurs peuvent intervenir, par exemple :

- \* une épidémie ou la recrudescence d'une maladie dans un village, provoquant un recours aux soins particulier (les consultations pour syndromes fébriles et certaines maladies liées à l'eau, ont connu une certaine recrudescence dans la période de "l'après-barrage", dans les villages de Diama, Rosso-Sénégal, Savoigne, Ross-Béthio) ;
- \* la création d'un nouveau poste de santé dans un village proche (c'est le cas de Rosso-Sénégal après la création du poste de Mbagam).



Répartition des consultants selon leur origine en 1992.



Évolution de la morbidité entre 1983 et 1992

## Évolution de la morbidité

On observe une augmentation générale des consultations pour les syndromes fébriles et les maladies liées à l'eau (diarrhées, bilharziose, paludisme). En effet, les aménagements hydro-agricoles conduisent à une augmentation des surfaces d'eau pérennes, gîtes favorables aux moustiques et parasites. On peut cependant se poser la question de savoir s'il y a effectivement augmentation du nombre de cas ou si ces résultats sont le reflet d'une sensibilisation accrue de la population dans une zone en plein développement.

## Répartition des consultants selon leur origine

Le rapport entre population extérieure et population résidente permet de définir l'attractivité d'un poste de santé. Celle-ci varie en fonction de la densité de la population dans la zone à couvrir et de l'éloignement de cette population par rapport au dispensaire.



# Santé et démographie d'une population rurale : le projet Niakhar

**Collaborations :** Ucad, Ministère de la santé publique du Sénégal, Direction de la statistique (Sénégal), Bureau national du recensement (Sénégal), Medical research council (Gambie), Pasteur-Mérieux sérums et vaccins (France), Institut Pasteur de Paris, Université Johns Hopkins (USA), Ined (France), Centers for disease control (USA), Statens seruminstitut (Danemark), Task force for child survival and development (USA), Programme élargi de vaccination de l'OMS (Suisse), Union européenne, Population council (USA)

Un projet pluridisciplinaire de suivi longitudinal d'une population a été mis en place à Niakhar, à 150 km à l'est de Dakar, au coeur du bassin arachidier. La population étudiée compte 27 000 personnes, essentiellement d'ethnie sereer, réparties dans trente villages, sur une superficie de 230 km<sup>2</sup>.



Les données recueillies concernent :

- \* les événements démographiques (naissances, migrations, mariages) ;
- \* le suivi épidémiologique (rougeole et coqueluche) ;
- \* l'état nutritionnel des mères et des enfants ;
- \* les causes de décès ;
- \* la couverture vaccinale.

Les programmes de recherche portent principalement sur :

- \* la rougeole ;
- \* la coqueluche ;
- \* la surveillance de la croissance des enfants ;
- \* l'analyse du mouvement démographique.

D'autres thèmes ont été abordés tels que le tétanos néonatal, la fluorose, les facteurs de risque du Sida. Le projet inclut une composante d'action en santé publique, en collaboration avec l'infrastructure sanitaire locale.

De 1983 à 1986, les informations démographiques et épidémiologiques ont été collectées une ou deux fois par an. Depuis 1987, la collecte s'effectue de manière hebdomadaire de même que le suivi de la rougeole et de la coqueluche, effectué par des médecins. Des séances mensuelles de vaccination sont organisées dans le cadre d'études sur de nouveaux vaccins contre la rougeole et la coqueluche, par l'équipe de l'Orstom assimilée à une équipe mobile du Programme élargi de vaccination (PEV).

## Historique et situation

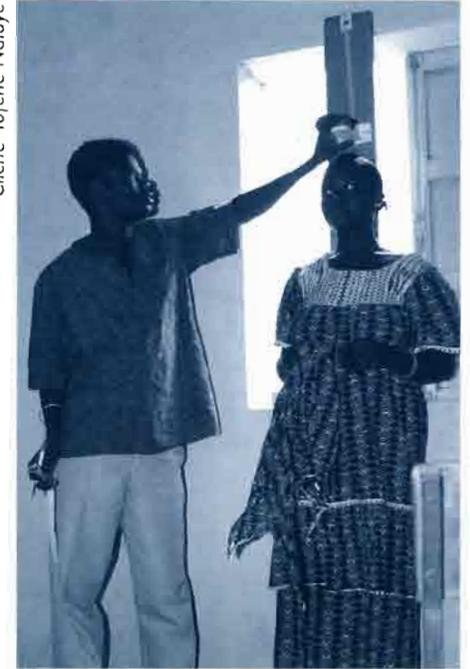
L'Orstom a entamé de 1962 à 1964 en suivant deux populations, l'étude des relations entre la population et la santé. L'une était établie dans tout l'arrondissement de Niakhar (région du Sine), densément peuplé et caractérisé par une forte émigration. L'autre se trouvait dans la moitié de l'arrondissement de Paos Koto (Saloum), où la densité était relativement faible et le taux d'immigration assez important. Ces deux populations ont été suivies en partie jusqu'en 1982.

Cliché Tofene Ndiaye



Ramassage pour une séance de vaccination

Cliché Tofene Ndiaye



Anthropométrie des mères

L'actuelle zone d'étude, circonscrite en 1983, comprend des localités de l'arrondissement de Niakhar et de Tataguine.

La zone d'observation a fait l'objet de plusieurs études démographiques et épidémiologiques. Des études anthropologiques, géographiques et économiques ont complété ces travaux et permis de mieux comprendre la situation démographique et sanitaire.

Les programmes actuels sont centrés sur la démographie et l'épidémiologie.

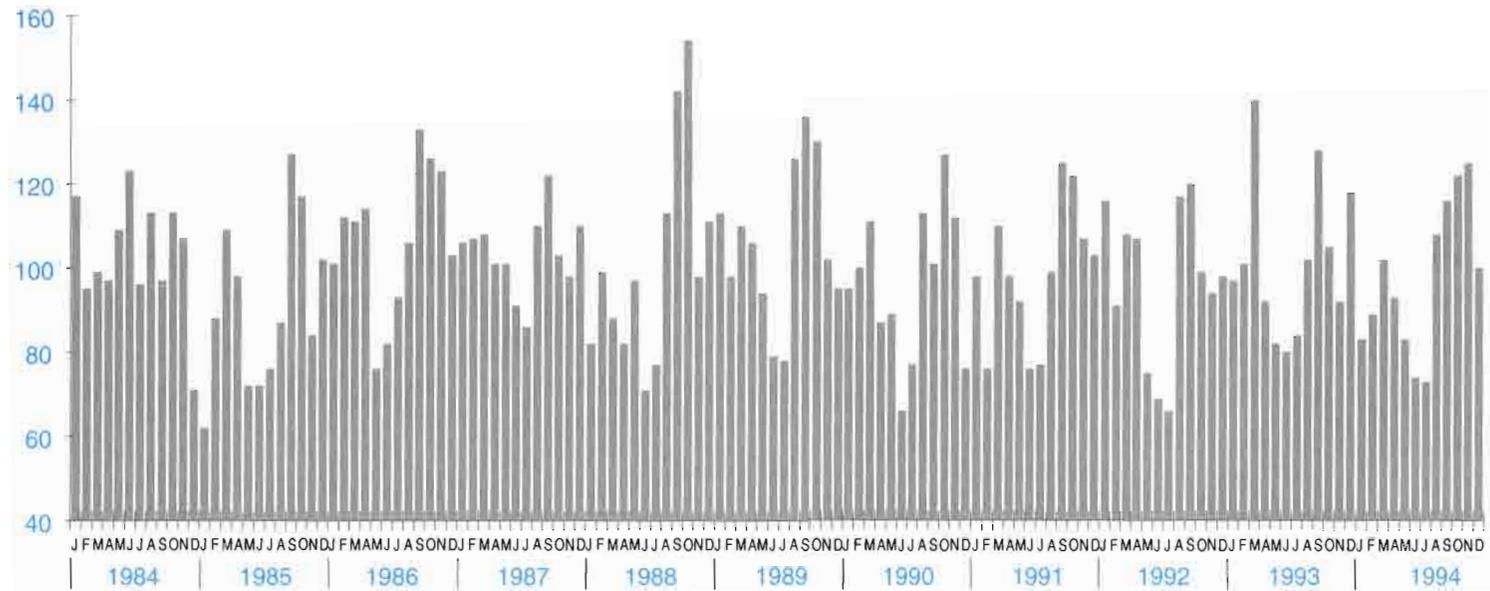
Les avantages d'un suivi longitudinal de population sont multiples :

- \* la collecte continue des données par une équipe unique d'enquêteurs favorise la recherche multidisciplinaire sur une population commune ;

- \* les études démographiques ou épidémiologiques sont plus précises ;

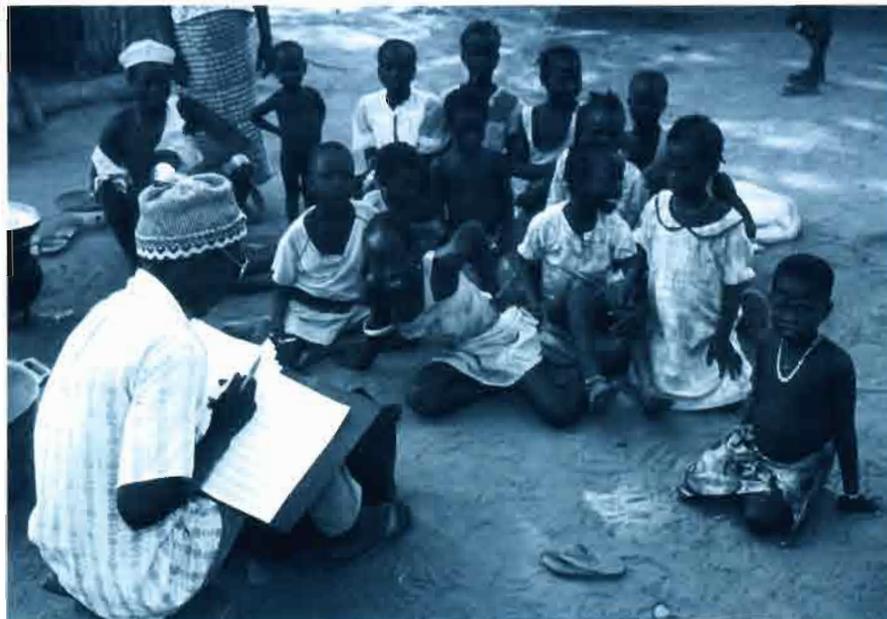
- \* toute étude approfondie peut se référer à une base d'échantillonnage fiable ;

- \* la connaissance exceptionnelle de la zone acquise par le personnel tant scientifique que technique, a permis le dépistage de problèmes divers tels que la fluorose (intoxication au fluor).



Nombre mensuel de naissances de 1984 à 1994

Cliché Anouch Chahmazarian



Enquêtes de suivi démographique

## Surveillance démographique

L'objectif de cette surveillance est l'analyse de la dynamique de la population (niveaux de fécondité, mortalité, solde migratoire et croissance démographique). La croissance accélérée en Afrique, conséquence de la diminution de la mortalité sans déclin de la fécondité fait l'objet de l'attention des décideurs politiques autant que des scientifiques.

Tous les événements démographiques sont enregistrés de façon hebdomadaire : grossesses, naissances, décès, migrations, changements d'adresse ou d'état matrimonial. Un recensement annuel renseigne sur la structure de la population.

Les recherches portent plus particulièrement sur :

- \* les facteurs favorisant une fécondité basse ;
- \* les conséquences d'une fécondité et d'une croissance élevées ;
- \* les contributions des programmes de santé à la baisse de la mortalité des enfants ;
- \* les conditions de réduction de la mortalité maternelle ;
- \* les investissements nécessaires en matière de santé publique.



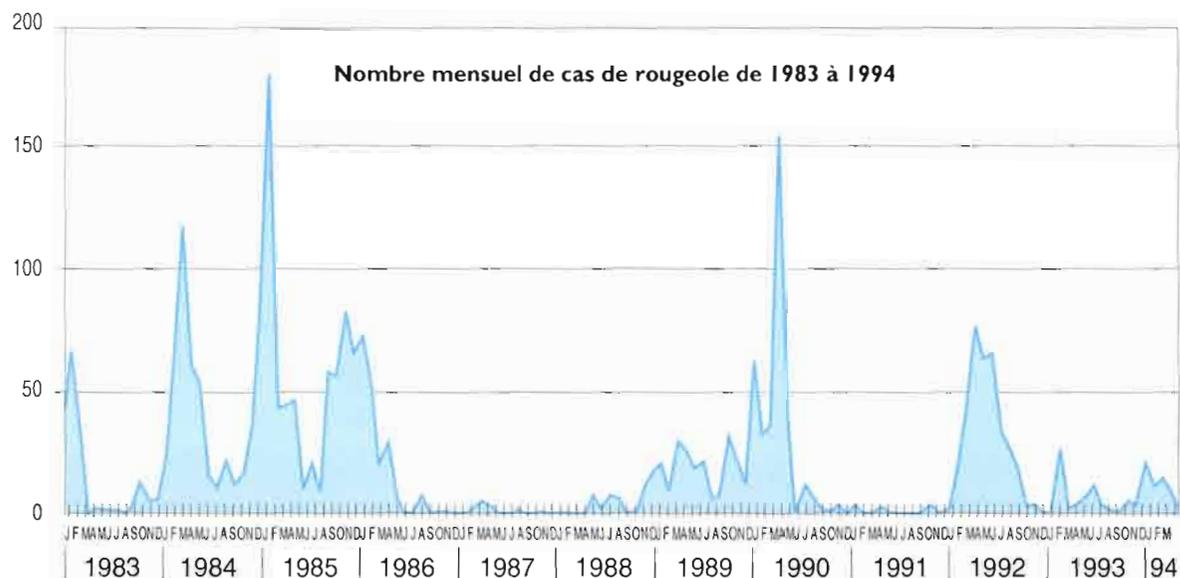
## La rougeole

Depuis 1963, les cas de rougeole sont recensés, identifiés tout d'abord d'après les déclarations des parents, puis, depuis 1987, à partir du diagnostic du médecin traitant.

Plusieurs épidémies sont survenues dans la zone d'étude. Le plus fort taux de mortalité est observé en 1983 lors de la première épidémie. Un déclin significatif est noté à partir de 1986, période qui suit la phase d'accélération du PEV national du Sénégal en 1986-1987.

La mise en application de la vaccination contre la rougeole, dans le cadre du PEV objective la nécessité de disposer d'un vaccin autorisant une vaccination précoce. En effet, si la rougeole est exceptionnelle avant l'âge de 4 mois, le risque de mortalité est important entre 5 et 9 mois, âge à partir duquel les vaccins classiques deviennent efficaces. Les vaccins à haut titre, administrés dès l'âge de 5 mois ont été étudiés à Niakhar.

Grâce au suivi démographique, on a observé des différences de mortalité en relation avec l'administration de différents vaccins contre la rougeole à différents âges. Des études immunologiques et nutritionnelles sont en cours pour analyser ce phénomène.



Cliché Marie-Pierre Preziosi



Prélèvements coqueluche

## La coqueluche

\* De 1983 à 1987, les cas de coqueluche sont enregistrés tous les ans d'après les déclarations des mères, validées ensuite par des enquêtes *ad hoc* ;

\* depuis 1988, les cas sont détectés de façon hebdomadaire, un médecin assurant le suivi et le soin des enfants malades.

Trois grandes épidémies ont été observées en 1986, 1990 et 1993 soit une périodicité de trois à quatre années, comme cela est classiquement décrit pour la coqueluche dans d'autres parties du monde.

Après l'introduction de la maladie, l'épidémie se propage lors des contacts de voisinage (dans le hameau ou à l'école) ou lors des cérémonies occasionnant de grands rassemblements (baptêmes, circoncisions, mariages, funérailles).

Si la presque totalité des cas survient chez des enfants de moins de 15 ans, le pourcentage des cas âgés de moins de 5 ans diminue au cours des années. Il s'agit probablement de l'effet de la vaccination qui entraîne une baisse de la fréquence et de la sévérité de la coqueluche.

Depuis 1987, les nourrissons sont vaccinés chaque mois par l'équipe de l'Orstom, dans les trois dispensaires de la zone. La couverture vaccinale (diphtérie, tétanos, coqueluche, polio) est actuellement de l'ordre de 85%.





# Nutrition, malnutrition

Collaborations : Orana, Centre de réhabilitation nutritionnelle de "Terres des hommes", Ucad

Les nutritionnistes, présents au Sénégal depuis plus de 20 ans, ont collaboré à l'élaboration de tables des valeurs nutritionnelles des aliments de l'Afrique de l'Ouest. Ces travaux forment encore la base de la table FAO en usage. À partir de 1976, l'affectation permanente d'une équipe auprès de l'Orana allait orienter la recherche vers la biologie humaine.

Deux axes sont développés :

- \* les recherches de base : les indicateurs biochimiques de la malnutrition, la caractérisation des états de carence en vitamines et nutriments, les anémies, les relations infections-malnutritions (notamment les diarrhées) ;

- \* les recherches finalisées : des enquêtes épidémiologiques sur la situation nutritionnelle des populations et leurs modèles de consommation alimentaire.

Ces enquêtes, réalisées au Mali, au Bénin, au Burkina Faso, en Mauritanie et au Sénégal, avaient pour but la constitution d'une base de données sur l'alimentation et la nutrition pour orienter les politiques de ces États.

Actuellement, les chercheurs ont entrepris une surveillance nutritionnelle dans la région de Podor afin de déterminer les effets des aménagements rizicoles en cours (suite à la mise en service des grands barrages du fleuve Sénégal), sur la santé et l'état nutritionnel de la population. Ils poursuivent également des travaux sur les causes et les conséquences des retards de croissance d'origine nutritionnelle.

Cliché Patrice Ferré



Mesure de la longueur genou-talon par knémométrie

## Les méthodes de mesure de l'état nutritionnel

L'état nutritionnel d'un enfant est estimé à partir de son poids et de sa taille : les indices obtenus permettent de savoir si l'enfant est maigre et si sa croissance en taille a été normale, compte tenu de son âge.

De nouvelles méthodes sont à l'étude pour mesurer soit la croissance des nourrissons, soit leur état nutritionnel, au moyen d'un matériel portable et résistant, utilisable en milieu rural, sans prise de sang pour être bien accepté par la population :

- \* la knémométrie permet de mesurer avec une grande précision (0,1 mm) la croissance d'un os long tel que le tibia (distance genou-talon) ;

- \* la bio-impédance-métrie donne une estimation de la composition corporelle (la proportion de graisse par rapport aux muscles et à l'eau contenue dans le corps), elle mesure la résistance électrique du corps au moyen de deux électrodes collées sur la peau.

Cliché Kirsten Simondon



Préparation du supplément par une enquêtrice

Cliché Yves Paris



Mesures anthropométriques dans les villages

Cliché Kirsten Simondon



Application d'électrodes sur la jambe d'un enfant pour la mesure de la bio-impédance.

## Étude de supplémentation de nourrissons

Une mauvaise alimentation est une cause majeure de maigreur et de retard de croissance chez l'enfant.

L'allaitement maternel a un effet bénéfique sur l'état nutritionnel, mais à partir d'un certain âge, il doit être associé à d'autres aliments. L'OMS recommande l'introduction de suppléments au lait maternel entre 4 et 6 mois ; certains spécialistes pensent qu'il faut attendre l'âge de 6 mois.

Depuis 1993, une étude est menée en milieu rural dans le but de comparer les croissances respectives (i) d'enfants recevant une bouillie de type "moderne" en plus du lait maternel, 2 fois par jour entre 4 et 7 mois (ii) d'enfants nourris au sein et recevant des aliments locaux.

La bouillie est préparée par des enquêtrices qui mesurent avec précision la quantité consommée. L'alimentation locale et l'état de santé des enfants sont suivis parallèlement à leur croissance.

Cette étude est en cours de réalisation dans trois autres pays en développement.



Cliché Éric Bénéfice

Test de motricité fine : enfilage de perles

## Les effets à moyen et long terme de la malnutrition chez l'enfant

Depuis 1988, des recherches sont effectuées pour mesurer les effets de la malnutrition sur le développement de l'habileté motrice et de l'aptitude physique de l'enfant.

En milieu rural, les enfants ont des retards moteurs importants par rapport à leur âge, qui sont dus à leur déficit en poids et en taille. En milieu urbain, même après un traitement réussi, les enfants présentent un retard moteur par rapport aux enfants de milieu comparable, mais ayant bénéficié d'un cadre sanitaire et éducatif approprié.

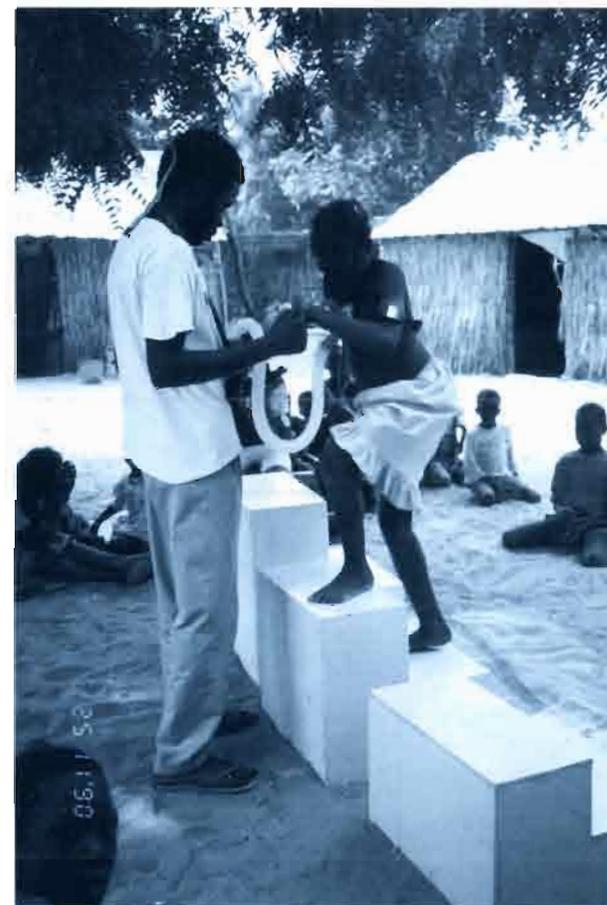
Ces études attirent l'attention sur le caractère chronique de la malnutrition et son effet négatif sur le développement des potentialités de l'enfant. La lutte ne saurait se limiter à une augmentation des disponibilités alimentaires. Elle doit aussi intégrer des actions d'éducation, de nutrition et de soutien affectif. Ces actions simples et peu coûteuses peuvent être mises en oeuvre localement.

## Prise en charge de la malnutrition et de la diarrhée

*Collaboration : Enda Tiers-Monde*

Dans les pays du Tiers-Monde, diarrhée et malnutrition vont souvent de pair et pèsent lourdement sur la mortalité infantile enregistrée dans les hôpitaux.

Une expérience a été réalisée dans un dispensaire de Pikine-Guédiawaye, vaste agglomération de plus de 500 000 habitants, où un centre de réhydratation et de réhabilitation nutritionnelle a été créé en 1984.



Cliché Éric Bénéfice

**Mesure de la consommation d'oxygène**  
pour l'estimation de la dépense énergétique lors d'un test d'effort.

## L'histoire de Mamadou

Mamadou a 30 mois. Depuis son sevrage, à 20 mois, il ne reçoit pour se nourrir qu'une part du plat familial et une ou deux bouillies de mil par jour. Après une succession d'épisodes de diarrhée, il contracte la rougeole, faute d'avoir été vacciné.

À son arrivée au centre, il présente une diarrhée évoluant depuis trois jours, avec des signes de déshydratation modérée. Il ne pèse que six kilos.

Mamadou est alors pris en charge par une auxiliaire de santé spécialement formée aux techniques de réhydratation par voie orale (RVO) et de réhabilitation nutritionnelle. Une fiche est établie pour le suivi de son poids et de sa température. Il doit venir chaque jour au centre avec sa mère, de 8h à 18h.



cliché Yves Paris

*Consultation des enfants malnutris : mesure du tour de bras*

Pour le réhydrater, on lui fait boire par petites doses, un mélange d'eau, de sel et de sucre (méthode RVO).

La réhabilitation nutritionnelle démarre dès le premier jour. La recette est simple et peu coûteuse (150 francs CFA par enfant et par jour) :

- \* 3 volumes de lait écrémé en poudre
- \* 1 volume de sucre
- \* 1 volume d'huile

Un volume de la pâte ainsi obtenue est ensuite additionné de quatre volumes d'eau et d'un verre de lait caillé.

Mamadou ingère environ 100 ml de cette préparation par jour et par kg de poids sous la forme de petits repas fractionnés (6 à 8 par jour). Les quantités sont augmentées par la suite, selon sa faim. Le régime est complété par des bouillies enrichies (mil-lait ou mil-pâte d'arachide). L'allaitement n'est pas interrompu pour les enfants non sevrés, le mélange étant donné en plus.

Dès le premier soir, Mamadou est complètement réhydraté. La diarrhée s'est arrêtée en deux jours et après cinq semaines, il pèse 8,2 kg. Par la suite, il est revu régulièrement pour des pesées. Sa mère reçoit des conseils sur la préparation de la solution de RVO, l'éducation nutritionnelle et l'hygiène individuelle et collective. Il a reçu sa première vaccination. Son état nutritionnel est aujourd'hui satisfaisant.

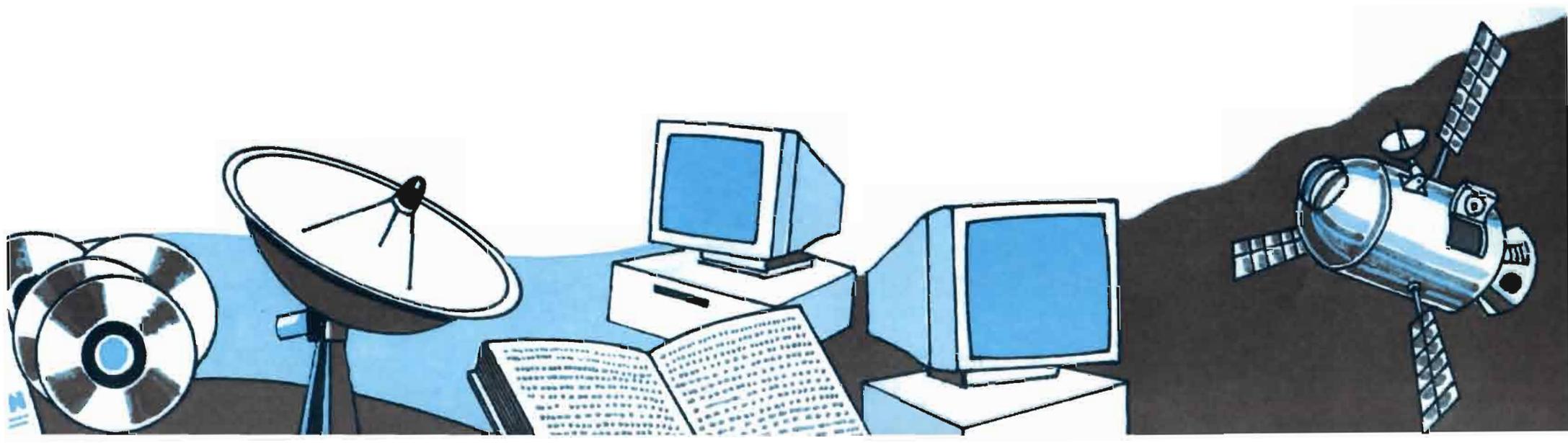
Dans le centre de réhydratation et de réhabilitation nutritionnelle de Pikine-Guédiawaye, 700 enfants ont été traités avec succès et la mortalité est restée inférieure à 4%.

La diffusion de centres de ce type apparaît hautement souhaitable : la prise en charge des enfants y est efficace, peu coûteuse et devrait permettre de soulager les hôpitaux, toujours surchargés en petits malades.

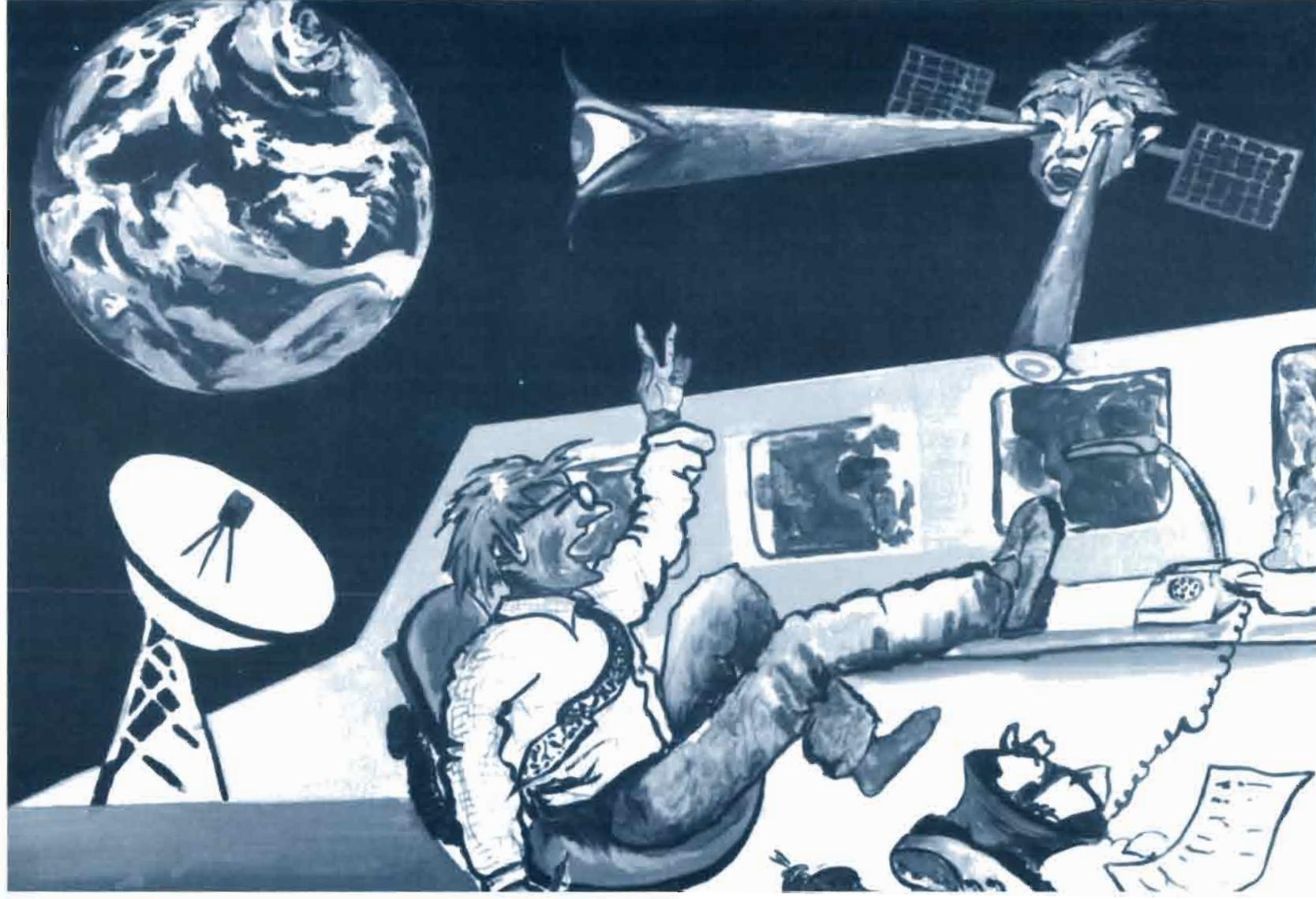
# Les outils

de la  
recherche





Peinture : Aboubacar Yaya Zachary Cliché : Difco photo Dakar



# La télédétection

La télédétection regroupe des connaissances et des techniques utilisées pour l'observation, l'analyse, l'interprétation et la gestion de l'environnement. Elle traite les mesures et les images obtenues à l'aide de plates-formes aéroportées, spatiales, terrestres ou maritimes. Elle suppose l'acquisition d'information à distance, sans contact direct avec l'objet détecté.

En 1984, l'Isra et l'Orstom créent l'Unité de traitement d'images satellitaires (Utis). Domiciliée dans un laboratoire commun, au CRODT, l'Utis permet d'exploiter les données recueillies par le satellite Météosat. Ses activités se rangent dans les thèmes "Océan", "Climat", et "Continent".

- Sur le thème "Océan", la mesure des températures de surface de la mer à partir de données "Météosat" contribue à différentes études liées à l'upwelling côtier sénégalais qui est à l'origine de la principale ressource halieutique du pays.

Une cartographie régulière des températures océaniques de surface intéressant la façade sénégal-mauritanienne et l'Atlantique tropical constitue la base d'une opération de type "Aide à la pêche" auprès d'armements basés à Dakar.

- Sur le thème "Climat", plusieurs études ont été entreprises pour une meilleure connaissance du climat des régions sahéennes auquel appartient le Sénégal (dynamique des précipitations ouest-africaines et origines des différents apports pluviométriques, position de la Zone intertropicale de convergence (ZITC), anticyclones subtropicaux).

L'estimation des pluies par satellites ou programme Epsat/Sénégal couvre le volet "Développement" de ses activités, avec, entre autres applications, en agro-météorologie, la définition des dates de semis en cours d'hivernage pour chaque type de culture.

- Sur le thème "Continent", et à une échelle plus fine, l'exploitation de l'imagerie Spot est réalisée comme appui à des programmes sur l'environnement des vallées des fleuves Casamance, Sénégal et Saloum, ainsi que sur des questions d'érosion dans les zones littorales instables.

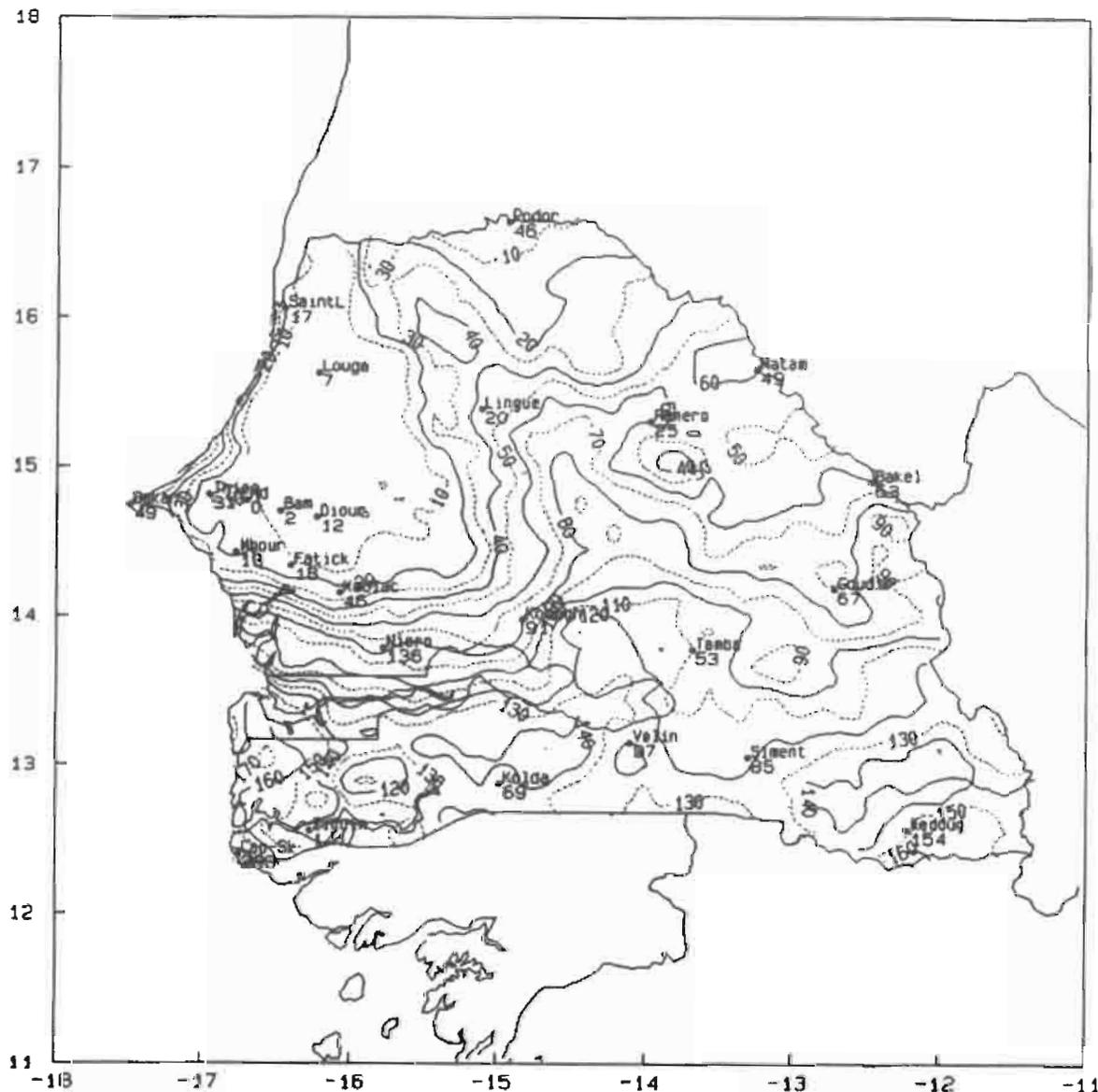
- Utis : Unité de traitement d'images satellitaires (Orstom/Isra)



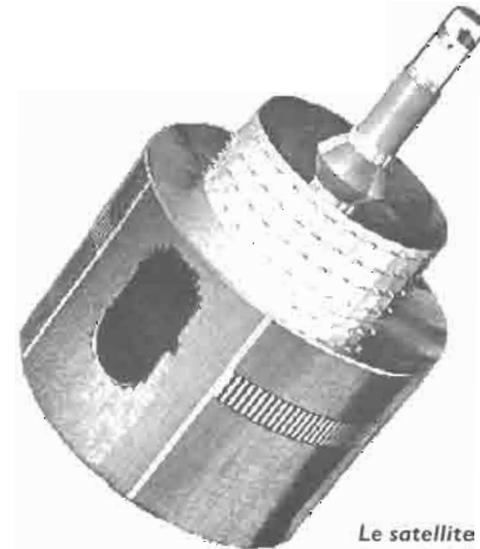


# Utis : Unité de traitement d'images satellitaires (Orstom/Isra)

Collaborations : Isra/CRODT, Ucad, Ensut, Direction de la météorologie nationale  
Utis : Unité de traitement d'images satellitaires (Isra/Orstom)



UTIS/DMN - Pluvio estimee - Decade 30795



Le satellite géostationnaire Météosat (propriété d'Eumetsat)

## L'estimation des pluies

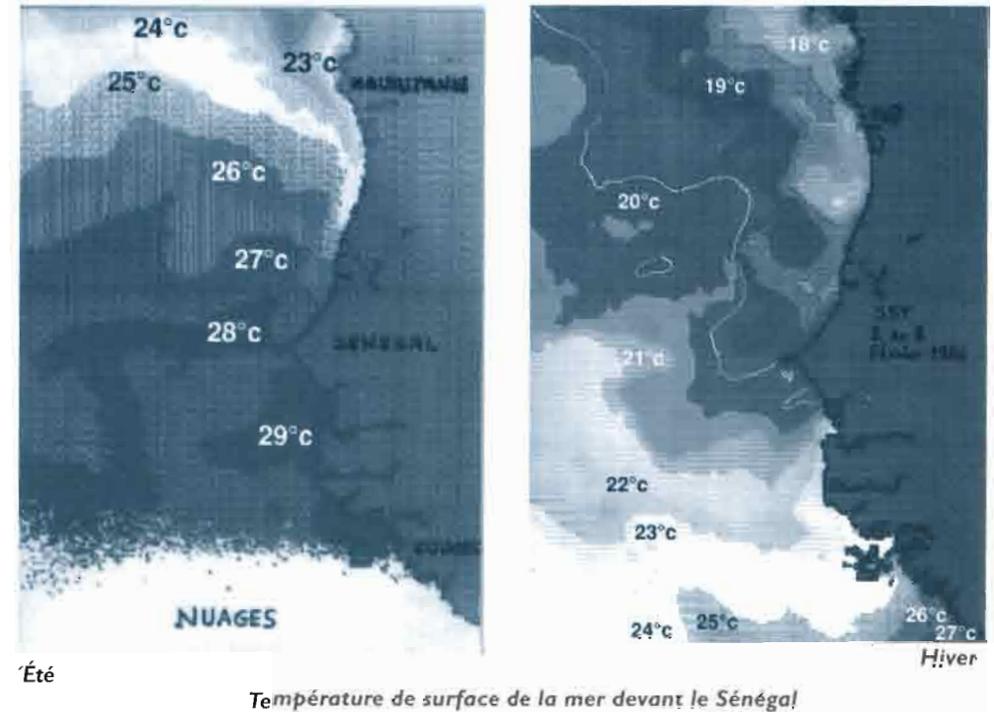
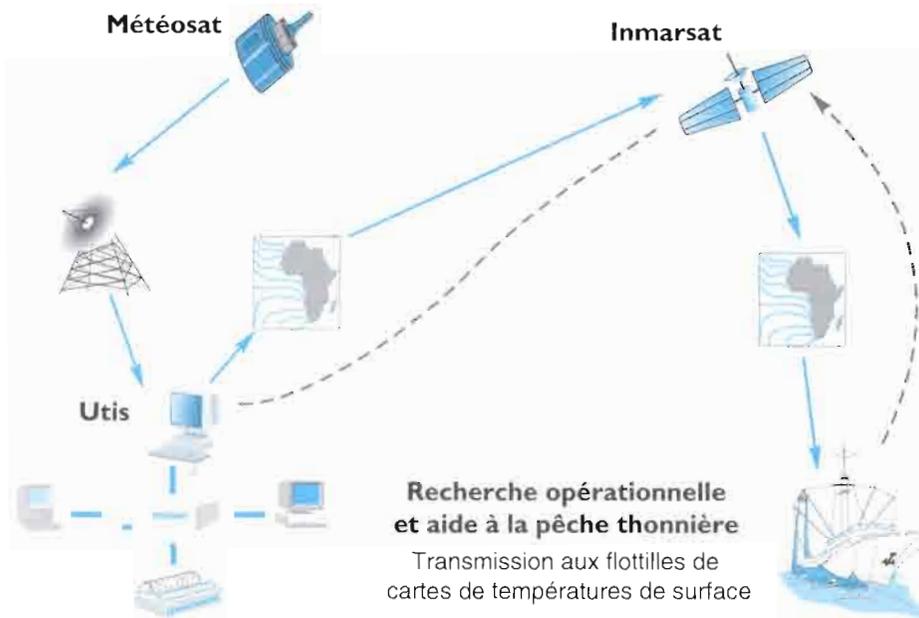
La pluviométrie est estimée par périodes de 10 jours sur l'ensemble du Sénégal, par la combinaison de deux paramètres issus du satellite Météosat :

- \* la présence de nuages élevés contenant de la vapeur d'eau précipitable ;
- \* la température de surface du sol, qui dépend des pluies déjà tombées.

Ces paramètres sont intégrés aux mesures de pluie des stations météorologiques, afin de recalibrer les paramètres mesurés par le satellite.

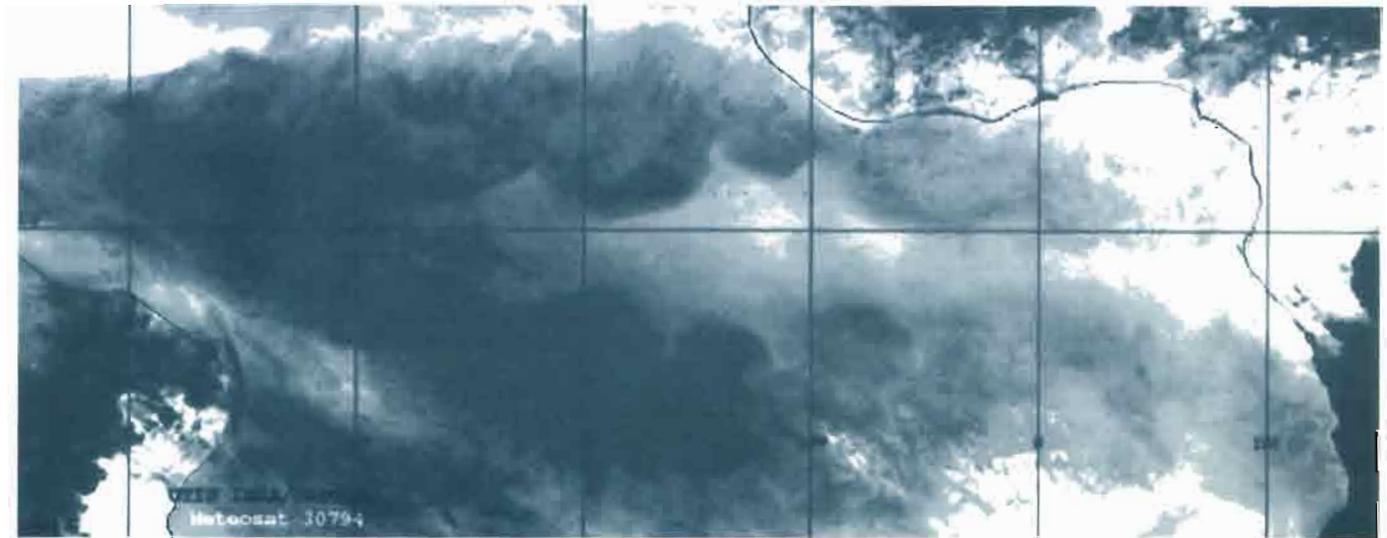
Le satellite permet une estimation rapide et précise de la pluviométrie dans les zones dépourvues de stations météorologiques au sol. Cette information peut être immédiatement intégrée à des modèles agro-météorologiques pour mieux prévoir l'état hydrique des sols et recommander les dates optimales de semis pour les principales cultures.

## L'océanographie spatiale



Par combinaison de ses propres informations avec les données de température recueillies par les navires, le satellite Météosat permet de restituer la température de surface de la mer en zone intertropicale.

Au large de la Mauritanie et du Sénégal, le satellite permet de mesurer précisément le refroidissement des zones côtières soumises au phénomène de remontées d'eaux froides profondes "upwelling" sous l'influence des vents alizés qui soufflent parallèlement à la côte en hiver. En été, la région est progressivement envahie par les eaux chaudes équatoriales.



**Les images Météosat IR permettent la reconnaissance directe des ondes longues équatoriales** (mouvements des eaux chaudes de surface) en été, et plus exceptionnellement en hiver boréal (Situation moyenne du 11 au 15 Juillet 1994).

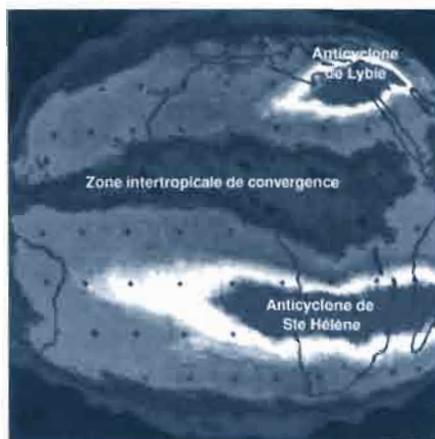


## Les mécanismes du climat en zone sahélienne

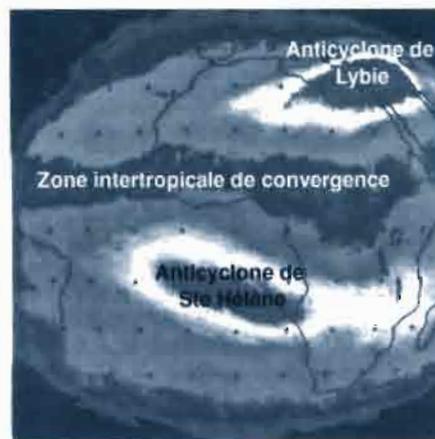
L'humidité de l'atmosphère provient essentiellement des océans, par évaporation, et occupe la partie basse de l'atmosphère. Cette vapeur d'eau est ensuite poussée par le flux des alizés au niveau de la Zone inter tropicale de convergence (ZITC), siège de mouvements verticaux ascendants, et entraînée vers les couches moyennes et supérieures de l'atmosphère.

En altitude, d'autres circulations prennent le relais et ferment la boucle (cellules de Hadley ou de Walker). Au niveau des zones anticycloniques, zones de subsidences (pauvres en vapeur d'eau), l'air replonge vers la surface de la terre.

Le canal "vapeur d'eau" du satellite Météosat capte ces mouvements verticaux dans l'atmosphère et permet d'en obtenir une représentation.



Août 1989 : année humide au Sahel



Août 1990 : saison plus sèche

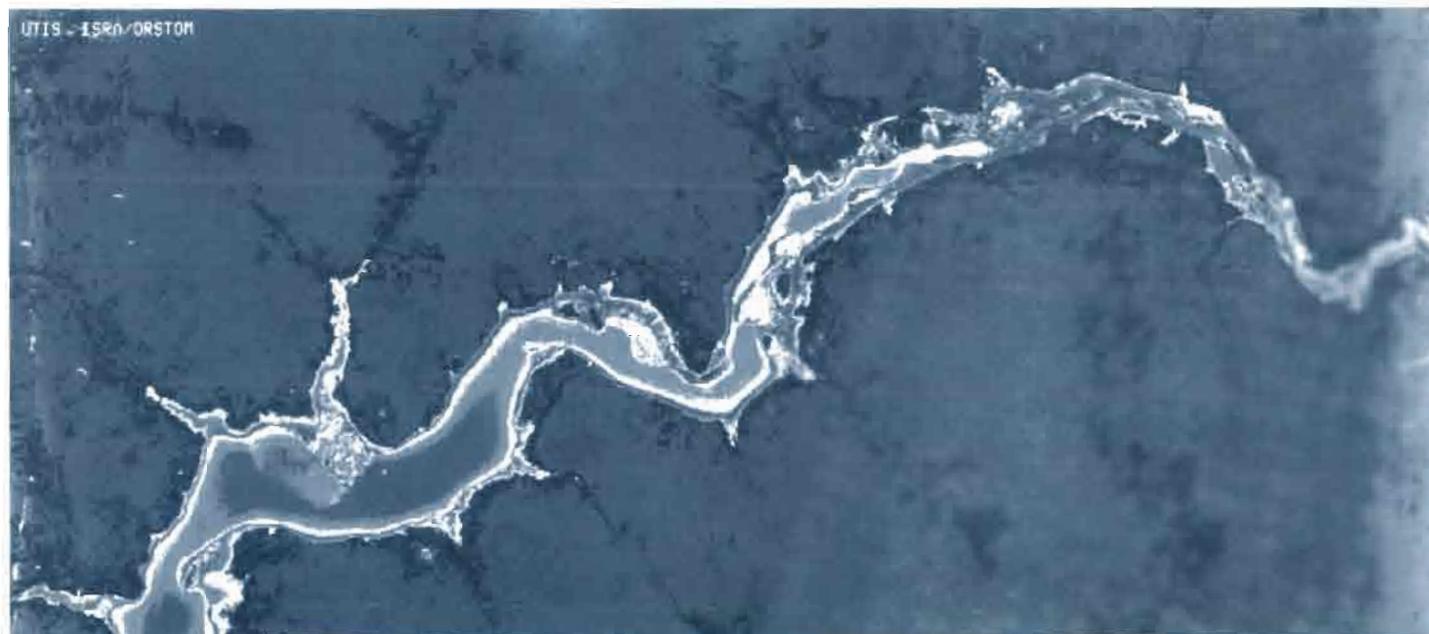
Au Sahel, on observe qu'en année de pluviométrie favorable, la zone de convergence est plus large et l'anticyclone de Sainte Hélène a une position plus orientale. Par contre pour une année de mauvaise pluviométrie, l'anticyclone de Sainte Hélène a une position plus occidentale.

Ces éléments permettent d'aborder quelques éléments de la circulation atmosphérique tropicale et la compréhension du climat d'Afrique de l'Ouest par le biais d'analyses diagnostiques.

## La bathymétrie du fleuve Casamance

La Casamance fonctionne comme un estuaire inverse : l'évaporation excède les apports continentaux. Le bilan évaporatif doit prendre en compte toutes les zones en eau. L'extension des zones de faible profondeur, où l'évaporation est plus importante (réchauffement rapide) est relativement importante.

Leur estimation a été facilitée par l'analyse d'images du satellite européen Spot.



La bathymétrie du fleuve Casamance vue par le satellite Spot



**Le satellite Spot** défile autour de la terre à une altitude moyenne de 830 km. Il permet l'enregistrement d'images de la terre dont la taille du point élémentaire (pixel) atteint 10 mètres.

## L'érosion du littoral

Dans le domaine littoral, les données du satellite Spot ont permis d'estimer les modifications des transferts de sédiments liées à la rupture de la flèche de Sangomar, à l'embouchure du fleuve Saloum, survenue en 1987.

Outre les différences dans l'écoulement du fleuve et dans la redistribution brutale des zones d'érosion et de sédimentation, le satellite permet de suivre régulièrement l'évolution de la situation, comme le montrent les deux images obtenues à seulement six mois d'intervalle. Des modifications sensibles ont concerné l'extrémité sud de la pointe.



Situation de la presqu'île de Sangomar en 1976



Situation de la presqu'île de Sangomar en 1991

voir aussi :

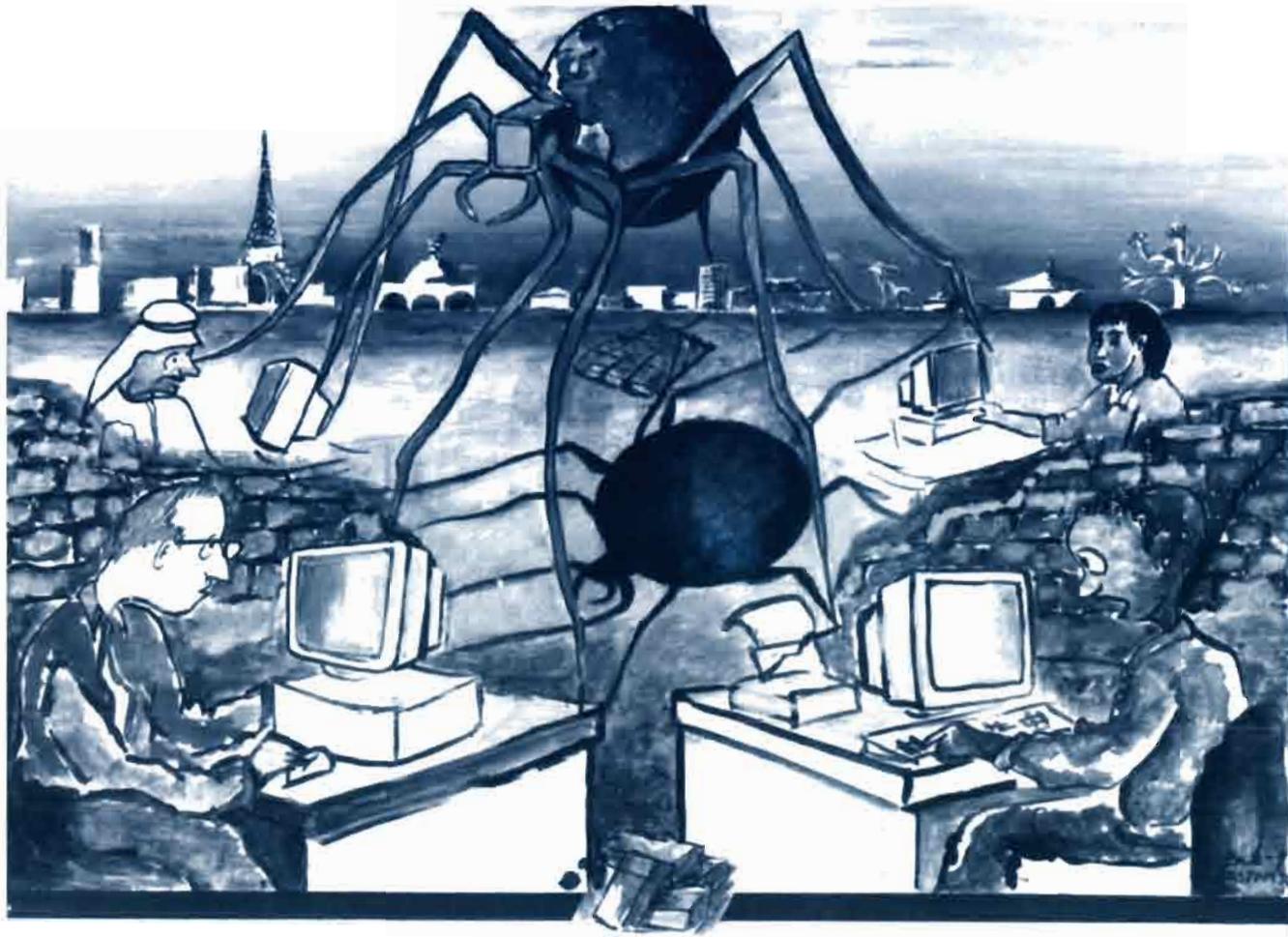
\* *La mer et ses ressources ; Océanographie spatiale, p.50 ;*

\* *Les ressources en eau ; Equesen... ; Epsat..., p. 110 ;*

\* *Les ressources en eau ; Equesen... ; Brumes sèches et poussières éoliennes, p. 120 ;*

Participation scientifique : Hervé Demarcq, Michel Carn, Pape Diallo

Peinture : Aboubacar Yaya Zachary Cliché : Difco photo Dakar



# Une porte d'entrée sur Internet dans les pays du Sud

Les réseaux informatiques permettent à des scientifiques travaillant dans des laboratoires éloignés les uns des autres, de mener des programmes en commun, d'échanger des outils informatiques et de mettre les moyens de calcul puissants des grands laboratoires à la disposition d'équipes moins bien outillées. Parmi ces réseaux, l'Internet a connu ces dernières années un tel développement que la plupart des établissements publics et privés des pays industrialisés y sont maintenant associés.

Pour les pays du Sud, géographiquement éloignés des centres technologiques, ces réseaux offrent un moyen efficace de favoriser le transfert technologique ; ils permettent aux communautés scientifiques locales d'établir des liens continus avec des laboratoires de pointe des pays du Nord.

La relative fragilité de l'infrastructure de télécommunication de ces pays (engorgement des lignes de téléphone, faible nombre de localités reliées par un réseau public X25, absence de ligne TCP/IP) est un facteur qui contribue à l'isolement des équipes scientifiques, et rend à la fois les réseaux informatiques particulièrement utiles et plus difficiles à mettre en oeuvre.

L'Orstom s'est engagé à la fin des années 80, dans la réalisation d'un réseau informatique : le Rio (Réseau intertropical d'ordinateurs). Relié à l'Internet, le Rio s'étend au Sud vers une quinzaine de pays dont sept en Afrique sub-saharienne (Sénégal, Mali, Burkina-Faso, Togo, Niger, Côte-d'Ivoire, Cameroun).

Le Rio utilise les réseaux publics de communication (téléphone et lignes dédiées aux communications informatiques) et se satisfait de lignes relativement bruyantes. Ses noeuds de communication sont constitués de machines "Unix" de coût modeste. Assurant les fonctions de passerelle avec des réseaux locaux de micro-ordinateurs, ils permettent ainsi aux utilisateurs non informaticiens d'accéder aux services du réseau à partir de leurs ordinateurs personnels.

Au Sénégal, les premiers noeuds Rio ont été mis en service en 1989, au CRODT et à l'Orstom. Cinq ans plus tard, une quinzaine d'organismes se sont rattachés à ce réseau. Le Rio au Sénégal compte aujourd'hui environ 400 utilisateurs, il prend une part active dans la mise en place de l'Internet dans ce pays.

Rio : le Réseau intertropical d'ordinateurs





# Rio : le Réseau intertropical d'ordinateurs

## Objectifs :

À travers le développement de l'Internet et des réseaux informatiques :

- permettre la circulation de l'information scientifique et technique
- favoriser le partenariat entre les laboratoires du Nord et du Sud
- encourager l'émergence et la structuration de la communauté scientifique africaine

## Services :

- messagerie électronique (E-mail)
- forums électroniques et serveurs d'informations (ListServ)
- bases de données (ftp, Gopher, WWW)
- annuaire des utilisateurs

## Caractéristiques techniques :

- réseau coopératif distribué
- associé à l'Internet à travers Renater
- protocoles: TCP/IP et UUCP (f ou g)
- épine dorsale constituée de stations Unix
- accès télérel



Chef de projet : Pascal renaud  
renaud@orstom.fr  
Coordination technique internationale : Monique Michaux  
michaux@orstom.fr

## Contacts :

Paris :  
renaud@orstom.fr  
Montpellier :  
michaux@orstom.fr  
Dakar :  
brunchri@orstom.sn  
Ouagadougou :  
zongo@ouaga.orstom.bf  
Bamako :  
diamouta@bamako.orstom.ml  
Abidjan :  
brou@abidjan.orstomp.ci  
Pacifique sud :  
menezo@noumea.orstom.nc

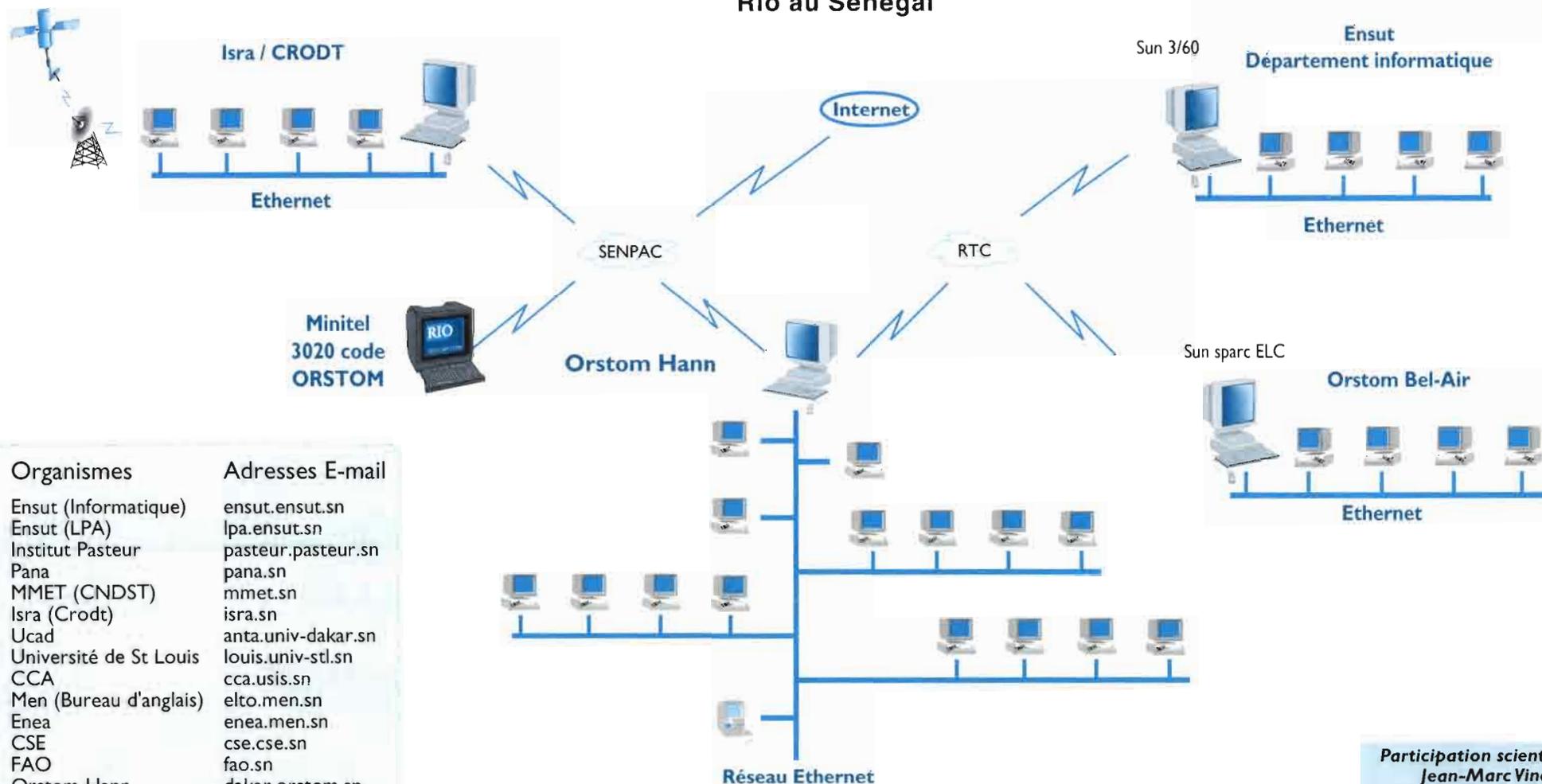
- Pays ayant un accès Internet
- Pays ayant au moins un accès "email" par Rio
- Autres pays ayant un accès "email"

## Parmi les partenaires de Rio en Afrique :

- l'Orstom et le Cirad
- l'Unitar (Institut des nations unies pour la formation et la recherche - Genève), l'OSS (Observatoire du Sahara et du Sahel), le Gret (Groupe de recherche et d'échange technologique - Paris), la FPH (Fondation pour le progrès de l'homme - Paris), la FAO
- l'Ensut
- le CSE (Centre de suivi écologique de Dakar), l'Isra (Institut sénégalais de recherches agricoles) et l'Ucad de Dakar
- l'Esi (Ecole supérieure d'informatique) et l'Université de Ouagadougou
- le Centre de recherche océanographique d'Abidjan
- l'IER (Institut d'économie rurale), l'Isfra (Institut supérieur de formation et de recherche appliquées), l'INRSP (Institut national de recherche en santé publique) de Bamako
- l'Aghrymet et le Cermes à Niamey
- l'Ecole nationale supérieure polytechnique et l'Université de Yaoundé



## Rio au Sénégal



Organismes	Adresses E-mail
Ensut (Informatique)	ensut.ensut.sn
Ensut (LPA)	lpa.ensut.sn
Institut Pasteur	pasteur.pasteur.sn
Pana	pana.sn
MMET (CNDST)	mmet.sn
Isra (Crodts)	isra.sn
Ucad	anta.univ-dakar.sn
Université de St Louis	louis.univ-stl.sn
CCA	cca.usis.sn
Men (Bureau d'anglais)	elto.men.sn
Enea	enea.men.sn
CSE	cse.cse.sn
FAO	fao.sn
Orstom Hann	dakar.orstom.sn
Orstom Bel-Air	belair.orstom.sn
Coraf	senegal.coraf.sn

**Participation scientifique :**  
 Jean-Marc Vinet,  
 Christophe Brun,  
 Hervé Chevillotte,  
 Edem Fianyo

Peinture : Aboubacar Yaya Zachary Cliché : Difco photo Dakar



# Information scientifique et valorisation de la recherche

Les activités d'Information scientifique et technique à l'Orstom sont principalement menées et développées au sein d'une Direction opérationnelle spécialisée, la Dist. L'IST est une partie intégrante et importante de l'activité de recherche scientifique de l'Orstom. Elle revêt trois aspects complémentaires : les éditions, la documentation, la culture scientifique et l'audiovisuel.

La création de cette direction correspond à la volonté de l'Institut de transmettre et de rendre accessible les résultats des travaux scientifiques ou les créations à base technologique, sous diverses formes (films, disques, catalogues, ouvrages de synthèse, périodiques, base de données (Horizon), expositions, plaquettes). Ces produits sont adaptés aux différents interlocuteurs potentiels : scolaires, étudiants, enseignants, scientifiques, grand public, média, aménageurs des pays du Sud. Cette promotion d'une politique globale mais souple de mise en forme et de diffusion adaptée des résultats de la recherche se fait sans pour cela limiter les initiatives des équipes de recherche en cette matière.

La politique de la Dist couvre 2 objectifs majeurs :

- \* offrir ses compétences et ses moyens à la communauté scientifique et lui donner l'opportunité de publier, de se documenter, d'organiser une exposition ou un colloque
- \* restituer des résultats acquis par les moyens et les supports appropriés afin d'aboutir à des produits particuliers attendus par le public : ouvrages de synthèse et/ou de vulgarisation, ouvrages didactiques et d'enseignement supérieur, films, expositions, etc.

Dans le cadre d'une ouverture vers l'extérieur, les trois secteurs de la Dist mettent en oeuvre une politique de coédition et de coproduction : un tiers des produits sont coédités (ouvrages, revues).

Cette politique de la Dist tend vers une meilleure diffusion des connaissances à l'échelle nationale, régionale et internationale en participant et en s'intégrant aux différents réseaux d'information des pays du Nord et du Sud. Les produits Orstom sont maintenant connus et valorisés par d'importantes maisons d'édition, par les grandes centrales de documentation et les banques de données (accessibles via Internet), par des sociétés de production TV et cinéma...

L'IST au Sénégal





## L'IST au Sénégal

Au Sénégal, l'Information scientifique et technique se réalise au niveau de quatre secteurs :

- \* **L'Édition déléguée** a pour mission de mettre en forme et de diffuser la production scientifique réalisée au Sénégal en coédition avec les organismes de recherche partenaires ;
- \* **Le CRDO**, Centre régional de documentation joue un rôle d'appui documentaire dans la gestion et la recherche de l'information destinée aux scientifiques et valorise la production écrite et audiovisuelle de l'Institut ;
- \* **L'Animation IST** est le secteur de l'information le plus proche du grand public, des média, parce que le plus visuel, le plus attractif ;
- \* **L'Atelier audiovisuel** produit localement des documents audiovisuels en coproduction avec les organismes partenaires et valorise ainsi les acquis des programmes de recherche. Ces documentaires sont destinés à illustrer une conférence, une soutenance de thèse...

### L'Édition déléguée

Cette modalité d'édition a été mise en oeuvre pour développer l'édition dans les pays d'accueil de l'Institut en coproduction avec les organismes de recherche partenaires. Ces ouvrages imprimés localement reçoivent une diffusion nationale, régionale et internationale.

En 1995, trois ouvrages ont été édités à Dakar en coédition avec l'Ifan et le Ceped et un avec l'Isra.







## L'Animation IST

C'est le secteur le plus varié car il fait appel à divers supports complémentaires : un bulletin d'information "Échanges", des expositions, des colloques.



# Echanges

Bulletin d'informations scientifiques de l'Orstom au Sénégal

Numéro 3 - 1995

Bulletin trimestriel

Ecologie Végétale

## Editorial

Je suis heureuse de m'exprimer dans ce bulletin. En effet, la Coopération Française a le souci de mettre en œuvre des moyens appropriés pour aider les pays africains dans leur politique de développement économique, social et culturel. Elle attache donc une attention particulière à la recherche scientifique pour le développement.

Cette recherche s'exprime à travers des collaborations fructueuses entre institutions africaines et françaises (Orstom, Cirad, Institut Pasteur, Coopération inter-universitaire, etc.) qui participent au renforcement des systèmes nationaux de recherche tout en fournissant aux politiques de développement d'indispensables bases scientifiques.

La Coopération Française a mis en place des mécanismes qui lui permettent de soutenir cette recherche et de l'aider à se structurer.

Elle attache une importance particulière d'une part, au transfert des connaissances scientifiques sous une forme assimilable aux opérateurs de développement et en dehors du cercle des spécialistes ; d'autre part, à la dimension régionale qui doit être donnée, autant que faire se peut, à la recherche soit dans sa conception et sa pratique, soit par le transfert dans d'autres pays d'expériences réussies. Ce bulletin est un des outils qui contribue à ce transfert. Je souhaite qu'il devienne un véritable cadre de communication pour la coopération scientifique entre le Sénégal et la France, voire sous-régionale, et que chaque acteur de cette coopération se l'approprie et y crée cet espace d'échanges voulu par son promoteur.

Louise Avon,  
Chef de la Mission Française  
de Coopération et d'Action Culturelle au Sénégal



L'Institut français de  
recherche scientifique  
pour le développement  
en coopération

## Le programme jachère en Afrique tropicale

Réalisé avec l'aide de l'Union Européenne, le programme jachère a pour objectif de mettre en place un programme d'étude, d'amélioration et de gestion de la jachère au niveau de terroirs villageois représentatifs en Afrique tropicale. Six pays d'Afrique et leurs institutions scientifiques sont engagés dans ce programme.

En Afrique tropicale, un des systèmes traditionnels de l'utilisation des sols consistait souvent en une phase de culture de 5 à 15 ans, suivie après la baisse des rendements d'un abandon cultural de durée variable. Cette seconde période permettait la remontée de la fertilité grâce à un retour à la savane arbustive ou arborée qui, dans bien des endroits, peut être considérée comme une jachère de longue durée.

Ce système de cycles culture-jachère a bien fonctionné jusqu'à une époque récente. Actuellement, les temps de jachère sont considérablement raccourcis. Parallèlement, les prélèvements de bois et le pâturage des zones abandonnées se sont accrus. La régénération naturelle, devenue plus lente, est également contrariée par le feu. L'évaporation et l'érosion se développent de manière alarmante.

Dans les zones densément cultivées, lorsque l'élément n'a pas disparu, une jachère naturelle limitée à quelques années est incluse dans l'assolement. La perte de fertilité des sols, suite au raccourcissement de la jachère, a été compensée par des apports d'engrais et de matière organique. Mais les études montrent qu'à terme, cette pratique n'empêche pas un épuisement des sols, une acidification et une baisse progressive de rendement. D'autre part, la disponibilité en fumier reste limitée. La jachère apparaît comme la seule technique culturale simple pour inverser cette tendance, et elle offre d'autres avantages aux populations : source de bois de feu

commercialisable, de petits fruits, pâturage pour les animaux locaux et transhumants.

L'objectif du projet est de mettre en place un programme d'étude, d'amélioration et de gestion de la jachère au niveau de terroirs villageois représentatifs dans des pays de l'Afrique tropicale. Il s'agit d'inverser le cycle culture-jachère, ou les modes de substitution à la jachère lorsqu'elle a disparu, dans une stratégie de développement durable.

Après un diagnostic sur les rôles et l'importance de la jachère dans le système de culture d'un terroir déterminé, on essaiera d'introduire des techniques d'amélioration acceptables par le paysan. Il s'agit soit de techniques d'optimisation des jachères naturelles, soit de techniques alternatives à la jachère pour le maintien de la fertilité et le contrôle de l'érosion. Le principe du projet repose sur le transfert entre pays de techniques ayant fait leurs preuves. Un volet expérimental est envisagé pour les techniques moins sûres. Des recherches d'accompagnement s'appuient sur ces pratiques d'aménagement en milieu paysan, sont engagées pour la mise au point d'indicateurs de dégradation ou de régénération du milieu (indice de biodiversité, activité biologique du sol, matière organique et structure du sol, etc.).

Le projet étudie particulièrement l'influence du raccourcissement du temps de jachère et de la surexploitation des ressources durant la phase de jachère en Afrique tropicale, sur un certain nombre d'espèces (Suite p 2)

## Insérer le cycle culture-jachère dans une stratégie de développement durable

## \* Échanges : bulletin d'informations scientifiques de l'Orstom au Sénégal

Ce bulletin trimestriel, tiré à 1000 exemplaires, offre en quatre pages des informations scientifiques sur les recherches menées au Sénégal et plus précisément sur les actions de recherches menées en partenariat, les réunions scientifiques, les activités de formation, le Rio et l'IST. Il est ouvert aux scientifiques d'autres institutions et se veut être un outil convivial de communication et de coopération scientifique.

Cliché Michel Dukhan



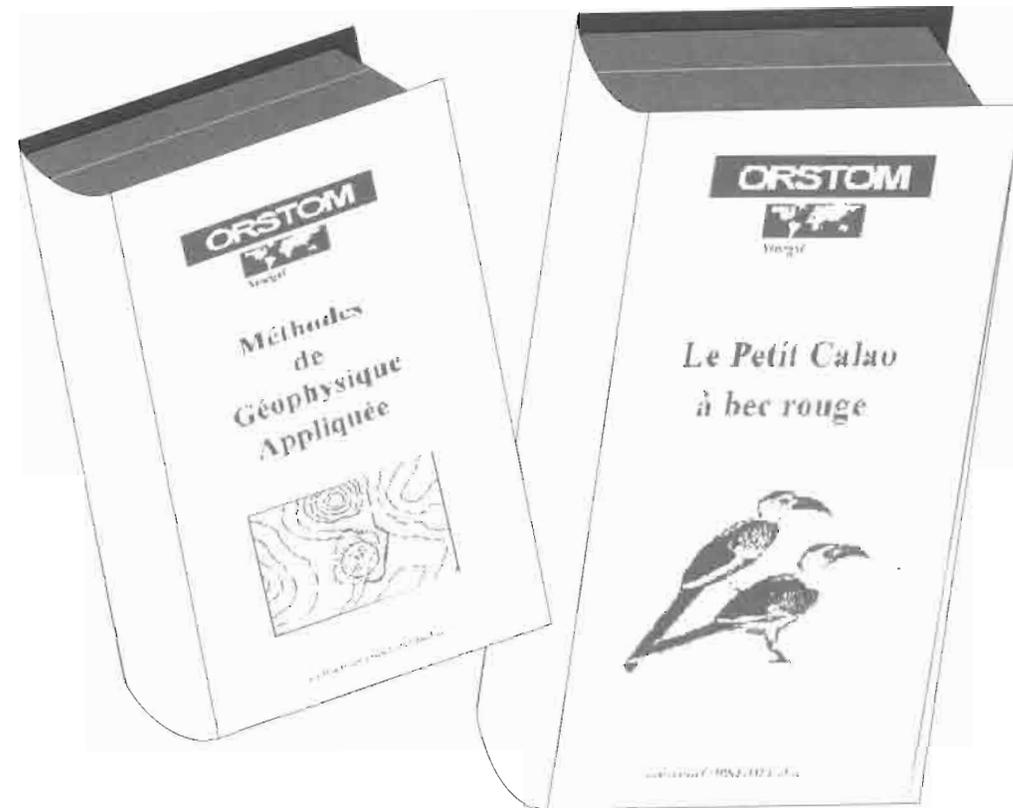
Foire du livre, 1993



Cliché Michel Dukhan



Biennale de la science, 1993



#### \* Des colloques, des conférences débats

La Dist apporte son soutien financier direct à des manifestations choisies, colloques et séminaires, pour lesquelles l'Orstom est maître d'oeuvre. En collaboration avec le Centre culturel français de Dakar, des conférences débats sont organisées et valorisent ainsi auprès d'un grand public les acquis de la recherche.

#### \* Des expositions

Autre forme de communication, l'IST met en forme, organise et participe à de nombreuses manifestations au Sénégal : la Biennale de la Science, la Foire du Livre, la Foire de l'Agriculture.

#### L'Atelier audiovisuel

L'Atelier audiovisuel réalise en coproduction avec les organismes de recherche partenaire des courts métrages (format vidéo) présentant les résultats scientifiques d'un programme ou les activités d'un laboratoire. Ces réalisations audiovisuelles servent à illustrer une conférence, une soutenance de thèse, la présentation d'un programme et l'animation d'exposition et peuvent être retransmises à la télévision nationale.



# Les sigles

# Les sigles

ADN	Acide désoxyribonucléique
Adrao	Association pour le développement de la riziculture en Afrique de l'Ouest
AIEE	Année internationale de l'électrojet équatorial
AMT	Audio-magnéto-tellurique
AOF	Afrique occidentale française
Asecna	Agence pour la sécurité de la navigation aérienne
Biroe	Bureau international de recherches sur les oiseaux d'eau, voir aussi IWRB
CCHF	Crimean Congo haemorrhagic fever
CEA	Centre d'énergie atomique
CEE	Communauté économique européenne, aujourd'hui Union européenne
Centradéru	Centre national de recherche appliquée au développement rural, plus connu sous son sigle malgache Fofifa
Cereeq	Centre expérimental de recherches et d'études pour l'équipement
Cerer	Centre d'études et de recherches sur les énergies renouvelables
CIC	Conseil international de la chasse et de la conservation du gibier
Cidop	Centre d'information et de documentation publicitaire
CIEH	Comité inter-africain d'études hydrauliques
Cipo	Conseil international pour la protection des oiseaux
Cirad	Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
Cirst	Conseil interministériel de la recherche scientifique et technique
Cnet	Centre national d'études des télécommunications
CNRA	Centre national de recherches agronomiques
CNRS	Centre national de la recherche scientifique
CNRST	Centre national de la recherche scientifique et technique
Coraf	Conférence des responsables de recherche agronomique africains
Cral	Centre de recherche agronomique de l'Oudima
CRBL	Centre de recherches biologiques sur la lèpre
CRDO	Centre régional de documentation Orstom
CREA	Centre de recherche économiques appliquées
CRODT	Centre de recherches océanographiques de Dakar Thiaroye
CRZ	Centre de recherche zootechnique
CSS	Compagnie sucrière sénégalaise
CTA	Centre technique de coopération agricole

Dast	Direction des affaires scientifiques et techniques, aujourd'hui Délégation aux affaires scientifiques et techniques
DGRH	Direction générale des recherches hydrauliques
DGRST	Direction générale à la recherche scientifique et technique, aujourd'hui le Ministère de la recherche scientifique et technique
Dist	Direction de l'information scientifique et technique
DPN	Direction des parcs nationaux
DPV	Direction de la protection des végétaux
DRPF	Direction de recherche sur la production forestière
EIESMV	École inter-États des sciences et médecines vétérinaires
Enda	Environnement, développement et action dans le Tiers Monde
ENS	École normale supérieure
Ensa	École nationale supérieure agronomique
Ensut	École nationale supérieure de technologie, aujourd'hui ESP
Epsat	Estimation des pluies par l'imagerie satellitaire
EPST	Établissement public à caractère scientifique et technique
Equesen	Environnement et qualité des eaux du fleuve Sénégal
Espoir	European special program for operational and integrated research
ESP	École supérieure polytechnique
Fac	Fonds d'aide et de coopération
FAO	Food and agricultural organization
Fis	Fondation internationale pour la science
Fofifa	voir Cenraderu, sigle malgache
GTZ	Gesellschaft fur technische zusammenarbeit
HLM	Habitation à loyer modéré
IBPGR	International board for plant genetic resources, aujourd'hui Ipgri
Icrisat	International crops research institute for the semi-arid tropics
IDCDC	Inter divisional commission for developing countries
Idefor	Institut des forêts
IEMVT	Institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux
IER	Institut d'économie rurale
Ifan	Institut français d'Afrique noire, aujourd'hui Institut fondamental d'Afrique noire
IGRF	International geomagnetic reference field
Ined	Institut national d'études démographiques
INGRH	Institut national de gestion des ressources hydriques
Init	Institut national d'investigations technologiques

Inra	Institut national de la recherche agronomique
INRSP	Institut national de recherche en santé publique
IPGP	Institut de physique du globe de Paris
Ipgrl	International plant genetic resources institute
Ira	Institut de la recherche agronomique
Irat	Institut de recherches agronomiques tropicales et de cultures vivrières, aujourd'hui Cirad
Irbet	Institut de recherche en biologie et écologie tropicale
ISE	Institut des sciences de l'environnement
Isesco	Organisation islamique pour l'éducation, la science et la culture
Isra	Institut sénégalais de recherches agricoles
IST	Institut des sciences de la terre
IST	Information scientifique et technique
ITA	Institut de technologie alimentaire
IVRB	International waterfowl research bureau, voir aussi Biroe
Letti	Laboratoire d'étude des transmissions ionosphériques
Mas	Mission d'aménagement du fleuve Sénégal
MNHN	Muséum national d'histoire naturelle
NCAR	National center for atmospheric research
NRI	National research institute
OCCGE	Organisation de coordination et de coopération pour la lutte contre les grandes endémies
OMS	Organisation mondiale de la santé
OMVG	Organisation pour la mise en valeur du fleuve Gambie
OMVS	Organisation pour la mise en valeur du fleuve Sénégal
Onadef	Office national du développement des forêts
ONC	Office national de la chasse
ONDF	Office national des forêts, aujourd'hui Onadef
Orana	Organisme de recherches sur l'alimentation et la nutrition africaines
ORSC	Office de la recherche scientifique coloniale, aujourd'hui Orstom
Orstom	Office de la recherche scientifique et technique outre-mer, aujourd'hui l'Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération
PEV	Programme élargi de vaccination
PCR	Polymorphism chain reaction
PBI	Programme biologique international
Prud	Programme des nations unies pour le développement
RAPD	Random amplified polymorphic DNA
RFLP	Restriction fragment length polymorphism

Rio	Réseau intertropical d'ordinateurs
RVO	Réhydratation par voie orale
Saed	Société d'aménagement et d'exploitation du delta du fleuve Sénégal et des vallées du fleuve et de la Falémé
Satec	Société d'aide technique et de coopération
Sicap	Société immobilière du Cap-Vert
SIG	Système d'information géographique
Sodeva	Société de développement et de vulgarisation agricole
Sonees	Société nationale d'exploitation des eaux du Sénégal
STN	Société nationale des terres neuves
TDEM	Time domain electromagnetism
TSM	Température de surface de la mer
Ucad	Université Cheikh Anta Diop
UICN	Union internationale pour la conservation de la nature
Unesco	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
Unival	Unité d'information et de valorisation
Urci	Unité de recherche en culture <i>in vitro</i>
USAID	United States agency for international development
Utis	Unité de traitement d'imageries satellitaires
VLF	Very low frequency
ZITC	Zone intertropicale de convergence

Achevé d'imprimé  
CIDOP  
2 rue Vincens  
BP 2094 DAKAR  
SÉNÉGAL





Diffusion  
ORSTOM DIFFUSION  
32, avenue Henri Varagnat  
F - 93143 Bondy Cedex  
France

ORSTOM CRDO  
Route des Pères Maristes  
BP1386 - Dakar Hann  
Sénégal