

Femelle d'*Anopheles gambiae*, le principal vecteur du paludisme, en train de se gorger de sang (Cliché J.P. HÉRVY).

LE PALUDISME COMPOSANTE DE L'ENVIRONNEMENT AFRICAIN

PAR
JEAN MOUCHET & PIERRE CARNEVALE



010026416

Les auteurs remercient Marinette Teppaz pour son concours à la réalisation de cet article.

La paludisme et les rapports Afrique-Europe

Bien que le paludisme ait été éliminé de nombreux pays, il touche encore un milliard de personnes soit le quart de la population du globe. Il reste un des problèmes prédominants de santé publique pour les pays en développement et en particulier pour ceux d'Afrique.

ORSTOM-Actualités N° 20 Janvier-Février 1988

Fonds Documentaire IRD

Cote : Bx 26416 Ex : 1

En 1972 le Sierra Léone battait médaille en l'honneur de l'Anophèle, le meilleur agent anticolonialiste. D'aucuns sourirent mais tous ceux qui s'étaient penchés sur le problème du paludisme ne manquèrent pas d'être frappés par la justesse de ce slogan. Il donnait l'explication de l'image de l'Afrique, terre de fièvres, hostile à l'homme blanc, qui était couramment admise en Europe. Moins de 10 % des Européens qui s'aventuraient à l'intérieur survivaient plus de trois mois¹. En effet, l'Afrique tropicale, du sud du Sahara jusqu'au Kalahari, est un immense foyer de paludisme, maladie transmise par des moustiques, précisément les anophèles. Chaque individu, de sa naissance à sa mort, est infecté plusieurs fois par an, jusqu'à 1 000 fois au Congo, et nul n'échappe à cette affection. Si 300 millions de personnes sur le continent africain peuvent cohabiter avec le paludisme, c'est grâce au développement dès la prime enfance d'une prémunition, sorte de paix armée entre l'agent pathogène et l'homme. Les non-immuns qui pénètrent dans ce milieu, notamment les Européens, sont en danger de mort s'ils n'assurent pas leur protection par des médicaments ou en évitant les piqûres de moustiques. La quinine, isolée en 1820 par des pharmaciens parisiens, Pelletier & Caventou, à partir de l'écorce de quinquina (*Cinchona ledgeriana*), fût le premier médicament antipaludique ; elle devint disponible à bas prix à partir de 1870 lorsque les quinquinas furent cultivés en Malaisie et en Indonésie. Les Européens jusqu'alors décimés par les "fièvres africaines" et cantonnés aux comptoirs côtiers allaient pouvoir pénétrer au cœur du continent ; l'expansion coloniale allait s'accélérer.

Le paludisme : un cycle complexe

Il y a plus de 2 000 ans que les Chinois et les Grecs ont décrit les manifestations cliniques du paludisme. On pensait que la maladie était due à des miasmes émanant des marais, et on l'avait dénommée "malaria" en italien, et "zhang chi" en chinois, deux termes qui signifient "mauvais air". Il fallut attendre 1880 pour que le médecin Français Laveran, à Constantine, découvre le parasite responsable, un protozoaire, qui se développe pendant une partie de sa vie dans les globules rouges du sang, d'où son nom d'hématozoaire. Quelques années plus tard Bastianelli, Bignani et Grassi en Italie ainsi que Ross en Inde montraient le rôle des anophèles dans sa transmission à l'homme.

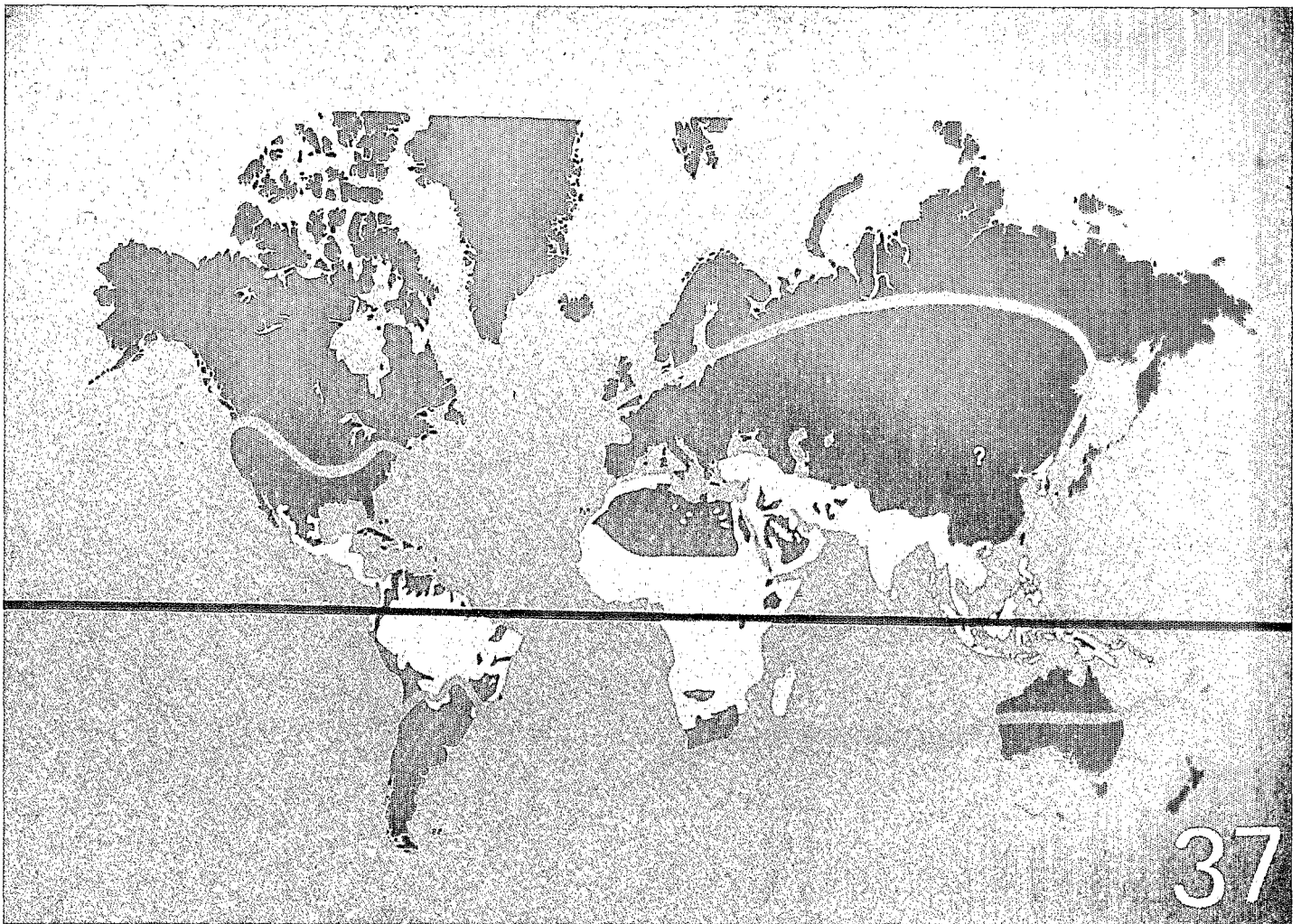
Le parasite ou *Plasmodium*, a un cycle complexe (voir schéma p. IV) dont une partie se déroule chez l'homme et l'autre chez le moustique²⁻³. Au moment de la piqûre l'anophèle inocule à l'homme le parasite qui, sous forme de sporozoïtes, bâtonnets de 10 microns de long, était contenu dans ses glandes salivaires. Ce sporozoïte reste moins d'une heure dans le sang périphérique et gagne rapidement le foie où il se multiplie dans les cellules hépatiques, ou hépatocytes, pour donner des "schizon-

tes" contenant plusieurs milliers de noyaux. Ce cycle hépatique dure une dizaine de jours pour l'espèce tropicale *P. falciparum* mais d'autres espèces comme *P. vivax* peuvent persister pendant plusieurs mois dans le foie sous forme de cellules dormantes, les hypnozoïtes. Puis les schizontes éclatent libérant dans le torrent circulatoire des "merozoïtes" qui pénètrent rapidement dans les globules rouges où ils se transforment en "trophozoïtes". Ceux-ci grossissent puis se divisent et, au bout de 40 à 70 heures, suivant les espèces, font éclater l'hématie libérant à nouveau des merozoïtes qui entrent à leur tour dans de nouveaux globules rouges et continuent le même cycle de reproduction asexuée dit cycle schizogonique. C'est cette libération brutale et synchrone des parasites qui provoque l'accès palustre, caractérisé par des frissons, une fièvre élevée, des vomissements. Cet accès peut se compliquer et se traduire par des atteintes cérébrales, d'évolution souvent fatale si elles ne sont pas rapidement soignées. Après quelques cycles, de cette évolution asexuée, certains parasites produisent des formes sexuées, les gamétocytes qui n'évoluent plus chez l'homme.

Le cycle serait alors interrompu si n'intervenait l'anophèle, qui absorbe ces gamétocytes lors de son repas sanguin ; ceux-ci se transforment dans l'estomac de l'insecte en gamètes mâles et femelles qui se conjuguent pour former un œuf. Celui-ci franchit la paroi stomacale du moustique et donne un oocyte dont le noyau se segmente et se transforme morphologiquement pour donner, 14 à 30 jours plus tard, des formes infectantes, les sporozoïtes, qui gagnent les glandes salivaires ; elles seront inoculées à un nouvel hôte humain lors d'un repas de sang ultérieur. Le cycle pourra alors recommencer chez un autre humain. On ne saurait trop insister sur le fait que l'anophèle est un élément essentiel de ce cycle et que sans lui le parasite ne pourrait se propager.

La biologie des anophèles se caractérise par une phase aquatique (œufs, larves, nymphes) et une phase aérienne (adultes mâles et femelles). Leur développement exige donc la présence d'eau. Il y a plus de 300 espèces d'anophèles dans le monde mais toutes, heureusement, ne transmettent pas le paludisme. Seules celles qui sont anthropophiles, c'est-à-dire qui se nourrissent sur l'homme sont aptes à le faire. De plus le moustique doit vivre au moins 14 jours, à partir du moment où il a piqué un sujet porteur de gamétocytes, pour que puisse s'accomplir le cycle exogène du parasite ; beaucoup d'entre eux n'ont pas une telle longévité.

L'Afrique tropicale possède quatre espèces d'Anophèles qui sont parmi les meilleurs vecteurs du monde : *Anopheles gambiae* sensu lato (complexe de six espèces jumelles), *An. funestus*, *An. nili* et *An. moucheti* (rien à voir avec l'auteur). Leur taux d'infection varie suivant les régions et les saisons de 1 à 10 %. Chaque espèce a des exigences écolo-



Distribution du paludisme dans le monde : avant 1940 (à l'intérieur du trait vert), actuelle (dans la partie jaune).

37

giques bien particulières. C'est ainsi que *An. gambiae* se développe dans les eaux claires souvent temporaires, ensoleillées, sans végétation ; *An. funestus* dans des marais à végétation dressée abondante ; *An. nili* sur les bords des rivières rapides ; *An. moucheti* dans les fleuves à courant lent et à végétation abondante du bloc forestier d'Afrique centrale⁴. L'une, ou plusieurs de ces espèces sont présentes dans toute l'Afrique tropicale, partout où il y a de l'eau, ce qui explique l'ubiquité de la maladie, à l'exception des zones montagneuses et des déserts.

Quatre espèces de *Plasmodium* parasitent l'homme. *P. falciparum*, représente plus de 90 % des cas en Afrique ; c'est le parasite qui tue, essentiellement par des attaques cérébrales. *P. vivax* autrefois très répandu en Europe est absent de l'Afrique tropicale, les Africains étant naturellement réfractaires à ce parasite pour des raisons génétiques (absence du caractère Duffy). Les deux autres espèces *P. malariae* et *P. ovale* sont relativement moins fréquentes²⁻³.

L'hétérogénéité du paludisme et l'immunité

Les chercheurs de l'ORSTOM, en collaboration avec les structures nationales et plusieurs Universités et Instituts Français et étrangers et avec l'appui du ministère de la Recherche ont développé depuis

1978 un programme interdisciplinaire et multicentrique sur l'épidémiologie du paludisme. Leur objectif, en grande partie réalisé, était de définir le poids du paludisme en termes de santé publique (morbidité, mortalité) dans les différentes régions écoclimatiques d'Afrique en fonction de l'importance de la transmission, liée aux facteurs écologiques, et des réponses immunes des habitants. Ce programme s'est déroulé à partir du Congo⁵, du Burkina-Faso et du Bénin, puis plus récemment du Sénégal et du Cameroun.

On peut ainsi distinguer en Afrique continentale :

La strate équatoriale où la transmission a lieu toute l'année du fait de l'étalement et de l'abondance des pluies qui procurent aux larves d'anophèles des gîtes pendant la plus grande partie de l'année ;

La strate tropicale où la transmission, intense, a surtout lieu en saison des pluies dans les savanes humides ;

La strate sahélienne avec une période de transmission courte, aléatoire sur le bord du Sahara, car certaines années les pluies sont insuffisantes pour créer des gîtes ;

La strate "australe" au sud du Zambèze où la transmission est limitée à la saison estivale du fait des températures trop basses en hiver ;

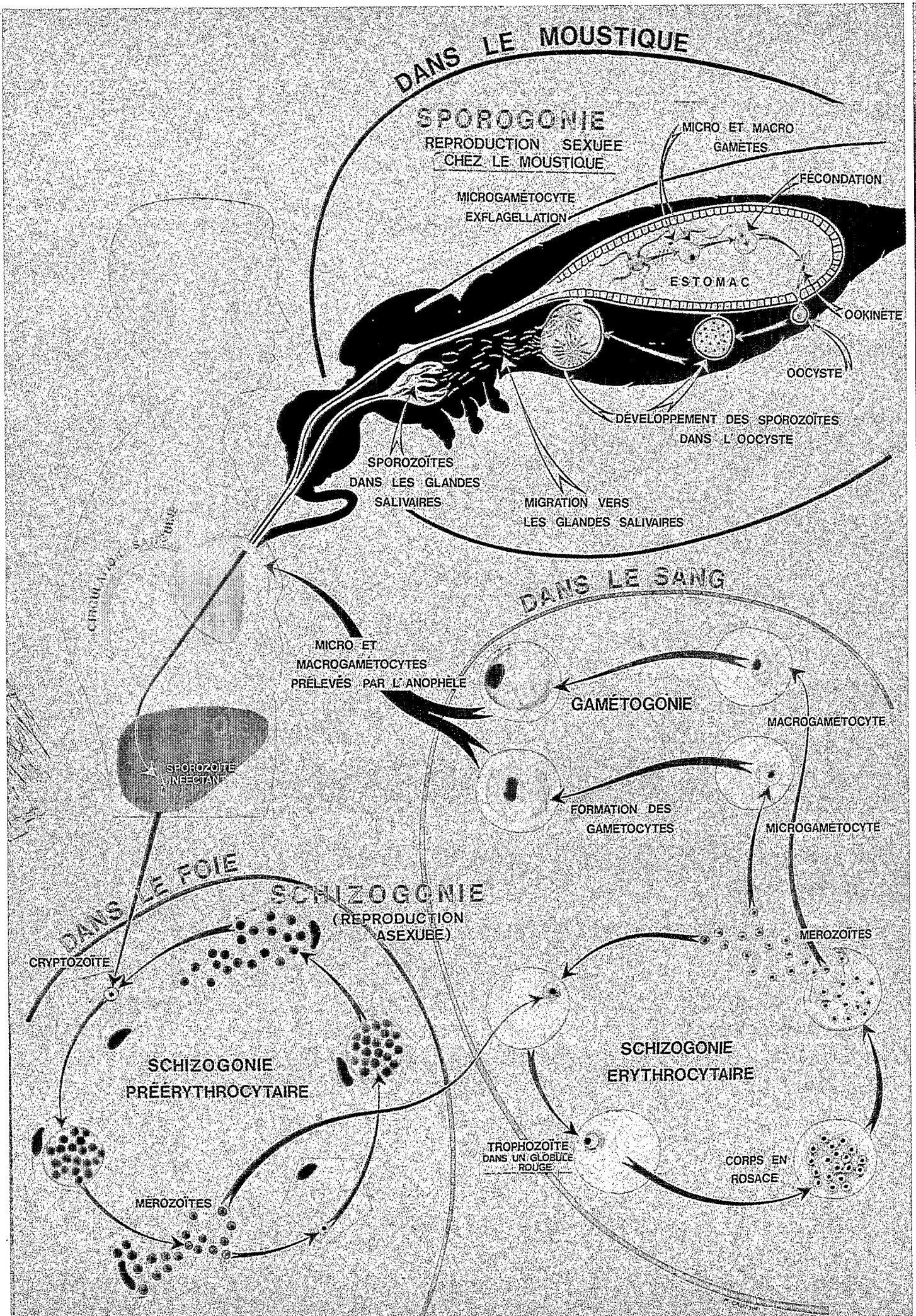
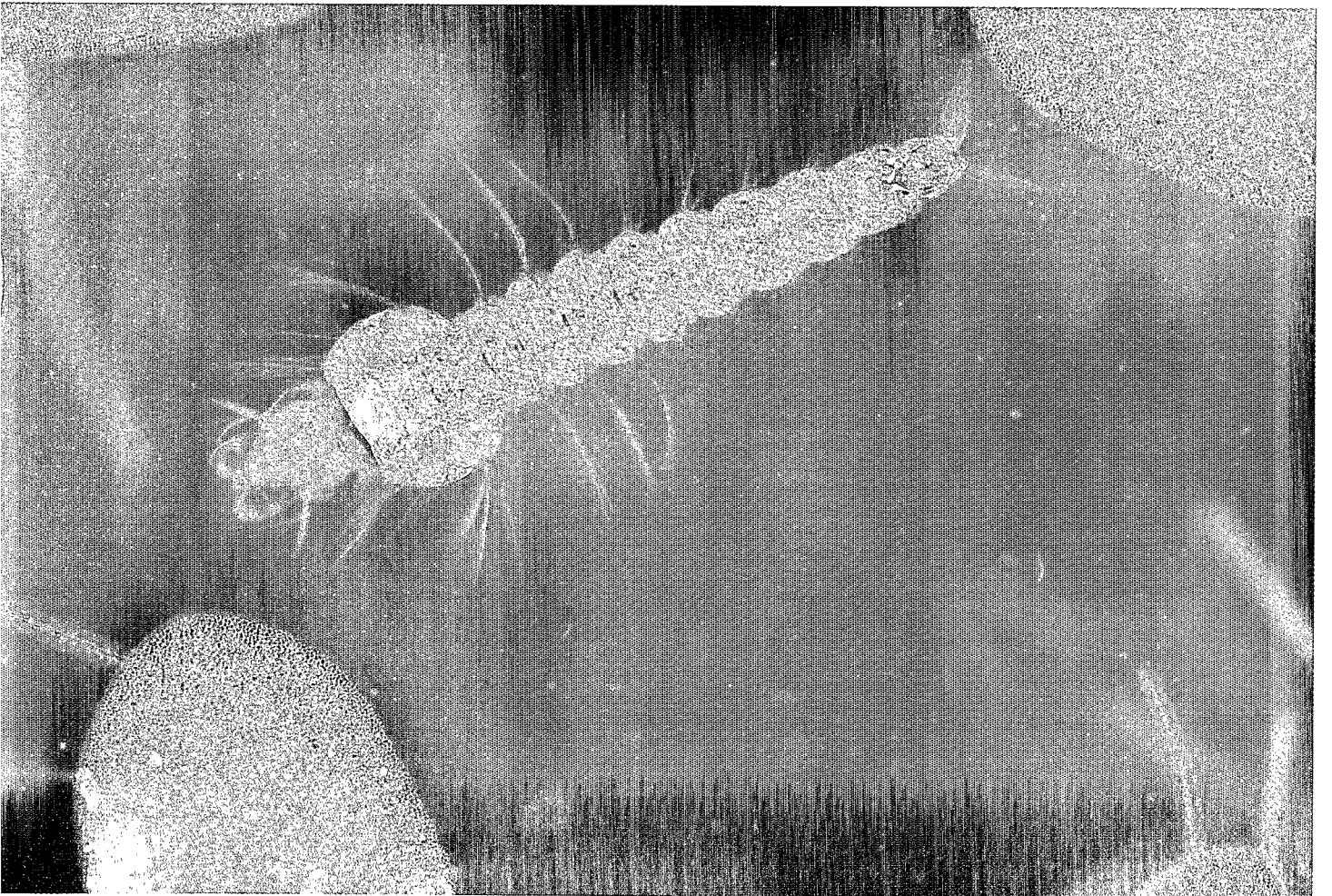


Schéma du cycle du paludisme chez l'homme et chez l'anophèle vecteur.



En Mauritanie, les bovins qui viennent s'abreuver aux points d'eau, créent de nombreux gîtes à *An. gambiae* dans les empreintes de leurs sabots (Cliché J. MOUCHET).

Anopheles gambiae (Cliché J.P. HERVY).



La strate lagunaire où l'anophèle presque exclusif, *An. melas* est un très mauvais vecteur ;

La strate montagnarde où les vecteurs se concentrent dans les vallées et disparaissent en altitude où, d'ailleurs, la transmission ne pourrait s'accomplir en raison de la température ;

Enfin **la strate urbaine** où la transmission régresse de la périphérie au centre de la ville, qui n'est pas favorable au développement des anophèles africains.

A l'intérieur de chaque strate, s'observent des variations considérables liées à des particularités écologiques naturelles ou créées par l'homme ; la présence de lacs de retenue, de barrages, de rizières, de fleuves pérennes les gîtes larvaires, et en conséquence étale et augmente la transmission.

Celle-ci n'est pas une notion abstraite mais se mesure par le nombre de piqûres infectées (c'est-à-dire, contenant les parasites), que reçoit chaque individu en une nuit, un mois, un an. Près de Brazzaville on a relevé plus de 1 000 piqûres infectantes par homme et par an, soit 3 par nuit⁶. Dans le Sahel ce nombre peut descendre au-dessous de 30 par an, concentrées sur 2 mois⁷. Au centre des villes la transmission devient souvent très faible⁸. Mais quel que soit le faciès épidémiologique tous les habitants de l'Afrique tropicale sont infectés chaque année, plusieurs fois par an et sont soumis toute leur vie aux infections plasmodiales.

Le paludisme infection parasitaire et maladie infectieuse

On pourrait penser que le paludisme est d'autant plus meurtrier que la transmission est plus élevée. Or il n'en est rien grâce à l'intervention de mécanismes immunitaires encore incomplètement connus. En zone de forte transmission l'enfant hérite à sa naissance des anticorps de sa mère qui le protègent jusqu'à l'âge de 6 mois. Ensuite il développe ses propres défenses, et ceci d'autant plus rapidement que son système immunitaire est plus régulièrement sollicité par les piqûres infectées des anophèles. A partir de 5, 10 ou 15 ans, suivant les faciès épidémiologiques, il devient immun et n'extériorise plus guère de manifestations cliniques graves sauf en cas de maladies intercurrentes. C'est pendant cette période d'acquisition de l'immunité que l'enfant est vulnérable et présente des accès "simples" ou "pernicieux" ; soumis à de multiples infections plasmodiales il présente de nombreux parasites dans son sang, souvent sans signes cliniques ; c'est un porteur asymptomatique. C'est seulement lorsque le nombre des parasites dépasse un certain seuil que l'enfant présente des signes pathologiques pouvant aller jusqu'à l'accès pernicieux. Le niveau de ce seuil parasitaire critique varie selon les individus et les conditions épidémiologiques. Étant donné que tous les enfants sont infectés on ignore pourquoi certains

présentent de fréquentes manifestations cliniques alors que d'autres ne sont presque jamais malades. Cette immunité de type prémunition est liée à la présence du parasite et tend à disparaître lorsque les sujets ne sont plus soumis aux piqûres infectées. C'est ainsi que dans les régions très sèches à transmission sporadique, la prémunition est peu élevée et diminue pendant la saison sèche sans moustique. A la reprise des pluies les habitants sont redevenus vulnérables et peuvent donc présenter des accès palustres nombreux et graves. Paradoxalement on observe souvent, autant sinon plus d'accès palustres graves dans les régions à transmission faible et saisonnière que dans les régions à haute transmission pérenne.

Cette immunité est un capital considérable qui permet aux Africains de survivre dans un milieu qui est un véritable "bain de paludisme". Elle est acquise au prix d'une mortalité qu'il est encore difficile de chiffrer de façon spécifique. En effet, de plus en plus, et fort heureusement, davantage de personnes bénéficient des soins des formations médicales ou pratiquent une automédication simple, par la chloroquine, qui évite les issues fatales.

La lutte contre le paludisme

La lutte antipaludique se fonde à la fois sur le médicament pour détruire le parasite et sur la lutte contre les anophèles vecteurs pour empêcher sa transmission. Les premiers essais de lutte de masse furent entrepris dans les années 1950 en Afrique, dans le cadre du programme global d'éradication du paludisme. Le traitement des maisons avec du DDT donna des résultats spectaculaires dans les régions forestières du sud Cameroun mais s'avéra peu satisfaisant dans les zones de savanes⁹. Ces opérations ne dépassèrent pas le stade des zones pilotes d'autant que vers les années 1970 elles se heurtèrent à la résistance d'*A. gambiae* au DDT alors que la plupart des États n'avaient pas les moyens budgétaires d'acheter des produits organophosphorés plus onéreux. La lutte antipaludique, en Afrique surtout, ne peut pas et ne doit pas être limitée dans le temps ni dans l'espace même si localement l'on obtient de bons résultats. En effet lorsque l'effort est relâché la situation a tendance à revenir à son niveau initial, quelquefois même elle peut être pire du fait de la perte d'immunité des individus. C'est ce qui se produit pendant la période où la transmission est interrompue naturellement par des raisons climatiques ou artificiellement par des campagnes de lutte.

En matière de santé publique il est désormais admis, et conseillé par l'OMS que la priorité doit être accordée au traitement présomptif des cas fébriles (c'est-à-dire sans attendre le résultat de l'examen microscopique souvent impossible) dans le cadre des soins de santé primaire. Cette prévention de la mortalité et des accidents graves ne constitue évidemment qu'un minimum indispensable¹⁰.



C'est au moment du repiquage du riz que le plan d'eau très ensoleillé offre les meilleures conditions de développement pour *Anopheles gambiae* (Cliché J.P. HERVY).

Cette intervention d'urgence se complète par la chimioprophylaxie (c'est-à-dire la prise de médicaments préventifs) des groupes à haut risque c'est-à-dire des femmes enceintes et des enfants de moins de deux ans. Le rapide développement de la résistance de *P. falciparum* à la chloroquine rend la situation du paludisme en Afrique très préoccupante. Il existe certes d'autres médicaments actifs mais leur emploi est moins facile que celui de la chloroquine et n'est pas dénué d'effets secondaires.

On se tourne alors de nouveau vers la lutte contre les vecteurs. La lutte contre les larves de moustiques, apparemment une panacée, est en fait difficile, onéreuse et peu efficace dans la majorité des contextes épidémiologiques africains. Depuis quelques années des essais très prometteurs de moustiquaires imprégnées d'insecticides (deltaméthrine ou perméthrine) ont été exécutés par l'ORSTOM à Bobo-Dioulasso. Ils replacent la prévention du paludisme sous la responsabilité des populations victimes et non plus seulement de structures extérieures. Le faible coût de revient de l'imprégnation (moins de 100 FCFA ou 2 Francs français) et la facilité d'exécution met la méthode à la portée de toutes les familles à condition qu'elles aient une moustiquaire et qu'elles acceptent de dormir dessous¹¹.

Pour remplacer le DDT devenu inefficace pour le traitement des maisons dans de nombreux pays en

raison de la résistance des vecteurs, les insecticides organo-phosphorés, notamment le fénitrothion ou des pyréthrinoïdes comme la deltaméthrine donnent de bons résultats.

Il existe donc des moyens de protection, mais aura-t-on les moyens de les utiliser ? Comme dans beaucoup de problèmes des pays en développement l'utilisation des méthodes performantes existantes est peut-être plus urgente que la découverte de nouveaux outils¹².

A ce propos, on fonde beaucoup d'espoir sur le(s) vaccin(s) contre le paludisme. Pour l'instant il n'existe pas et il n'est pas prouvé que le vaccin actuellement envisagé, à savoir contre les sporozoïtes, apporte une solution satisfaisante aux problèmes africains compte tenu du contexte épidémiologique.

Nous adressant aux chercheurs, coopérants et autres voyageurs nous voulons leur signaler que les expatriés ne sont en général pas immuns et peuvent recevoir de plein fouet l'infection palustre. Pour eux une seule piqûre infectante peut causer une crise de paludisme qui peut leur être fatale. Ils doivent donc impérativement prendre des mesures de protection individuelle, médicamenteuses ou contre les vecteurs. Nous nous proposons de traiter de ce sujet dans un numéro ultérieur si nos lecteurs le souhaitent.

La participation de l'ORSTOM

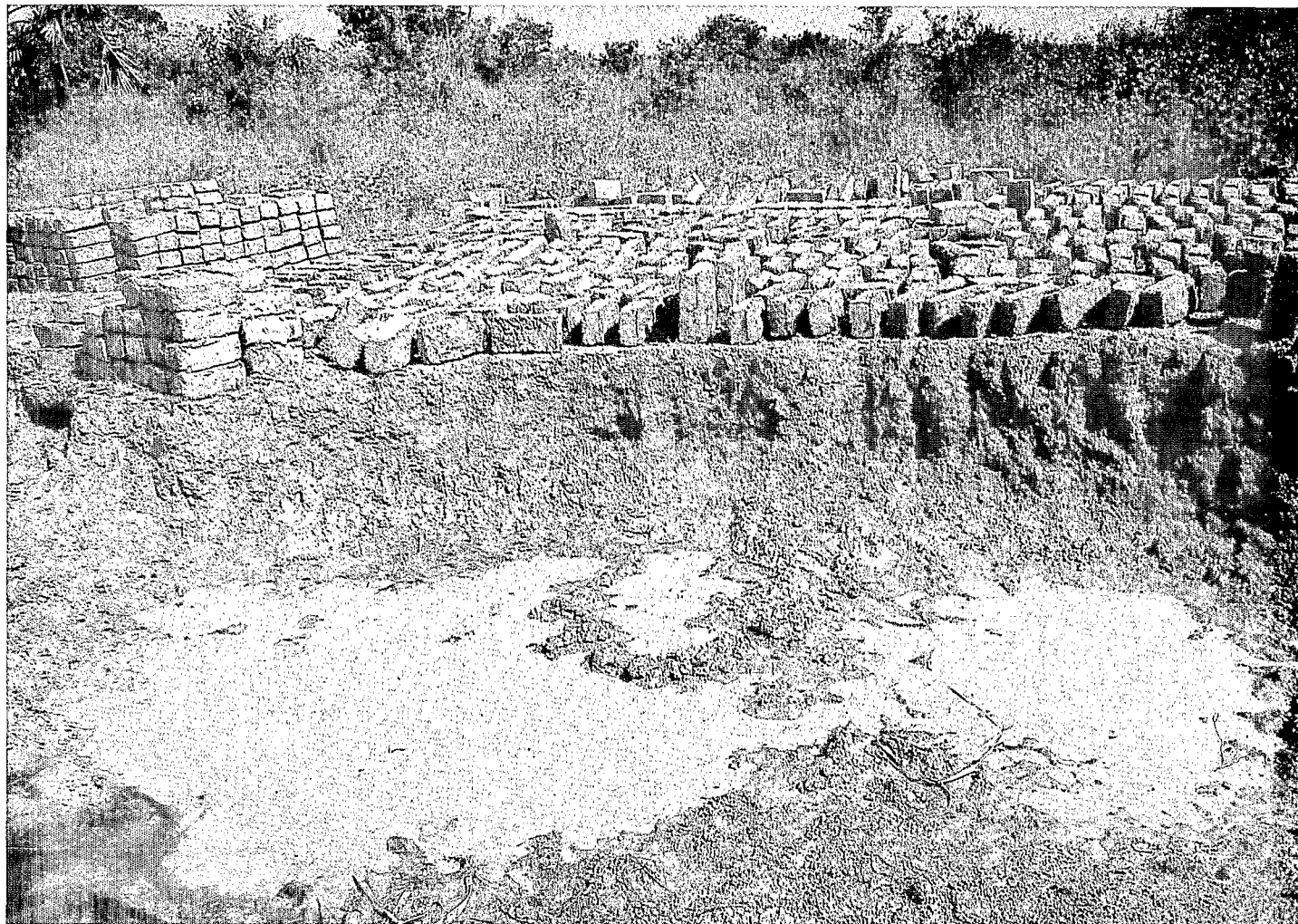
L'ORSTOM depuis 1950 a activement participé à toutes les recherches sur le paludisme menées en Afrique et les Entomologistes médicaux ont été associés à tous les projets pilotes d'Afrique de l'Ouest et du Centre ainsi que de Madagascar dans les années 50 à 60. Dans le cadre de l'OCCGE, à Bobo-Dioulasso (Burkina-Faso) ils ont créé un centre d'évaluation des nouveaux insecticides dont les travaux ont été préliminaires au développement des moustiquaires imprégnées. Depuis 1978, les chercheurs de l'ORSTOM exécutent le grand programme multicentrique et pluridisciplinaire, déjà mentionné, qui a permis d'élaborer et d'évaluer les stratégies nouvelles pour une lutte contre des parasites et des vecteurs qui débordent constamment les remparts qu'on leur oppose. Résistance aux médicaments, résistance aux insecticides obligent en effet à une révision constante de tactiques dont l'exécution se heurte aux problèmes socio-économiques.

Le paludisme est toujours une composante de l'environnement africain et non un épiphénomène que l'on peut supprimer par quelques interventions de commandos élaborées de l'extérieur. C'est un problème majeur qui doit entraîner une mobilisation des services de santé et qui doit s'intégrer dans toutes les opérations de développement.

BIBLIOGRAPHIE

1. Carlson, D.G. - African Fever, Science History Pub. USA, 1984 : 108 pp.
2. Gentilini et al. - Médecine tropicale, Flammarion ed. ; PP. 81-108
3. Ambroise-Thomas P., Carnevale P., Félix H. et Mouchet J. - Le paludisme. Encyclopédie médico-chirurgicale. Maladies infectieuses, 8089 AIO - 1984 : 26 pp.
4. Mouchet J. et Gariou J. - Répartition géographique et écologique des Anophèles au Cameroun. Bull. Soc. exot. 54, 1961 : 870-75.
5. Mouchet J., Carnevale et al. - Le paludisme en zone rurale au Congo. Colloque Tropiques et Santé 1982, CEGET Bordeaux ed. ; 109-119.
6. Carnevale P., Bosseno M.-F., Zoulani A., Michel R. et Molez J.-F. - La dynamique de la transmission du paludisme humain en zone de savane herbeuse et de forêt dégradée des environs nord et sud de Brazzaville, République Populaire du Congo. Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. Parasitol. 23 (2) 1985 : 95-117.
7. Vercruyse J. - Étude entomologique sur la transmission du paludisme humain dans le bassin du fleuve Sénégal (Sénégal). Ann. Soc. Belge Méd. Trop., 65, suppl. 2, 1985 : 171-179.
8. Robert V., Gazin P., Ouedraogo V. et Carnevale P. - Le paludisme urbain à Bobo-Dioulasso, Burkina-Faso - I - Étude entomologique de la transmission. Cah. ORSTOM, sér. Ent. méd. Parasitol. 24 (2), 1986 : 121-129.
9. Hamon J., Mouchet J., Chauvet G. et Lumaret R. - Bilan de quatorze années de lutte antipaludique dans les pays francophones d'Afrique et de Madagascar. Bull. Soc. Path. Exot., 1963, 56 (5) : 933-971.
10. Carnevale P. et Mouchet J. - Prospects for malaria control. Proceed 6th Int. Congress, Parasitology, ICOPA VI, Brisbane 1986 : 181-187.
11. Mouchet J., Charmot P. et Coulaud J.P. - La prévention du paludisme, La Revue du praticien (sous presse - sortie en juin).
12. Mouchet J. - De l'ADN au piège à mouche in Santé et Médecine - l'état des connaissances et de la recherche - 640 p. Co. édition La Découverte - Inserm - ORSTOM. Paris, 1988.

Les fosses d'emprunt pour prélever l'argile qui servira à la construction des maisons, constituent, en saison des pluies, de très bons gîtes à anophèles (Cliché J.P. HERVY).





Le Fonds Femmes

Tandis que s'achevait la décennie de la femme, il semblait plus que jamais nécessaire de diffuser les multiples informations et les réalisations concrètes qui avaient vu le jour pendant cette période, si l'on voulait éviter que toute cette aventure ne demeure simple rêve.

Les informations devaient être accessibles à tous pour que les recherches en cours, les nouvelles connaissances, les projets et programmes déjà mis en œuvre puissent être connus de ceux qui voulaient intégrer les femmes au développement.

En juin 1985, un premier pas est franchi par le Ministère des Relations Extérieures - coopération et développement -, avec la publication d'un répertoire avec clés d'accès multiples intitulé : "Femmes et développement. Quelle place ? Quel rôle ? Quel poids ?"

Il fournit des informations concernant les femmes dans le Tiers Monde et des listes de centres de documentation et de formation en France et à l'étranger, des bibliographies et des bases de données que l'on peut trouver en France. Cette initiative devait se prolonger avec la création d'un lieu où l'on pourrait facilement consulter des documents scientifiques

centrés sur les femmes et le développement. Parmi les objectifs précis on relève :

- la poursuite de la collecte de documents publiés en France et à l'étranger ;
- l'accès en consultation à Paris des documents ;
- la localisation des documents impossibles à trouver sur place ;
- la diffusion des informations vers les pays du Tiers Monde ;
- la promotion et le soutien aux recherches.

Le CEDID, Centre de Documentation et d'Information Scientifique pour le Développement, ouvert depuis 1985 à l'ORSTOM, semblait répondre pleinement à ces exigences. C'est ainsi qu'une opération financée par le FAC pouvait débuter au printemps 1987, riche dès le départ des documents rassemblés pendant plusieurs années par un chercheur de l'ORSTOM, Jeanne BISILLIAT.

L'opération prévoit 2 volets :

1 - L'analyse des documents pour la base de données. Le repérage des organisations et des personnes ressources.

2 - Des publications comprenant :

- une liste des documents que l'on peut trouver dans les centres de documentation (IBISCUS et CEDID en particulier) ;
- des notes de synthèse sur les différentes recherches, décisions en cours ;
- quelques citations tirées

des documents les plus significatifs ou soulevant des problèmes nouveaux ;

- quelques bibliographies avec résumés ;
- un répertoire des organismes.

Ce que l'on appelle désormais le "Fonds Femmes" est coordonné avec IBISCUS, base de données de la Coopération sur les pays en développement. Cette documentation est destinée à informer les personnes qui s'intéressent au développement (ingénieurs, techniciens, chercheurs, professeurs, étudiants...), mais aussi à favoriser la coopération avec les pays en développement.

Par son "Fonds femmes", le CEDID est également en relation avec plusieurs centres ou bibliothèques travaillant sur les femmes :

- la documentation de la Délégation à la condition féminine ;
- le CNIDF, Centre National d'Information sur les Droits de la Femme ;
- la bibliothèque Marguerite DURAND ;
- le CIE, Centre International de l'Enfance ;
- l'IREMAM, l'Institut de Recherches et d'Études sur le Monde Arabe et Musulman, etc.

Nous préparons avec ces centres un vocabulaire commun en français qui doit permettre la connexion de tous ces centres avec le Centre International d'Information sur les Femmes, qui se met en place à Vienne sous l'égide de l'ONU. Le CEDID était présent à la conférence internationale qui s'est tenue à Vienne fin janvier pour le démarrage de la coordination de cette base informatisée.

Sur un autre plan le CEDID a également des relations avec le réseau Femmes et Développement dont l'un des buts est d'intégrer les femmes au développement c'est-à-dire de reconnaître leur rôle économique fondamental dans

l'agriculture, la reproduction biologique et économique, l'éducation des enfants, etc. Le réseau prévoit la création de structures d'échange, de groupes de pression ; déjà un groupe d'experts femmes travaille à l'OCDE et des séminaires de recherches ont lieu chaque mois à l'ORSTOM.

Pour ce qui est du travail documentaire proprement dit ? Le CEDID a, fin février, analysé, résumé et rentré dans sa base environ 400 documents qui seront ultérieurement téléchargés sur IBISCUS. Tous les continents sont couverts avec une dominante sur l'Afrique et l'Asie. Et c'est plus particulièrement au Sénégal, en Côte d'Ivoire, au Cameroun, au Mali, en Afrique du Sud, Égypte, Algérie, Tunisie, Tanzanie, Inde, Chine, Indonésie, Malaisie, et Philippines que l'on trouve pour le moment au CEDID le plus d'analyses sur le rôle des femmes.

Les thèmes portent essentiellement sur le type de travail que les femmes accomplissent en milieu rural et urbain : cultures vivrières et commerciales, transformations, conservation et commercialisation des produits agricoles et d'élevage, assemblage sur les chaînes de l'industrie électronique et textile. Mais aussi sur l'évolution de leur statut socio-économique, la sous-nutrition, le manque de soins médicaux, d'éducation, de formation professionnelle qui caractérisent les conditions de vie et de travail de ces femmes. Les deux tiers des documents sont en anglais. Le "Fonds femme" continue à s'enrichir par des dons et des achats en France et à l'étranger.

Déjà de nombreux consultants peuvent apprécier la richesse de ce fonds qui devrait contribuer à faire reconnaître le rôle et les besoins des femmes du Tiers Monde.

Colette GALLAND

FIXATION DE L'AZOTE

Un séminaire international sur "*Sesbania rostrata*, Recherches fondamentales et Applications à l'Agriculture" s'est tenu à Dakar du 5 au 8 janvier 1988 à l'initiative de l'ORSTOM et de l'Institut Sénégalais de Recherche Agricole (ISRA) avec le concours du Centre Technique de Coopération Agricole et Rurale (CTA) et l'Université de Gand (Belgique). Il a réuni une cinquantaine de chercheurs, fundamentalistes et agronomes, en provenance d'une trentaine de pays, pour confronter les résultats de leurs travaux et identifier les problèmes posés par l'intégration de *Sesbania rostrata*, et autres légumineuses à nodules de tige, dans les systèmes culturaux africains et asiatiques.

Sesbania rostrata est une légumineuse spontanée qui se rencontre fréquemment dans la Vallée du fleuve Sénégal ainsi que dans toute la zone sahélienne. Bien que connue depuis très longtemps, cette plante n'avait fait l'objet d'aucune étude approfondie avant 1979, époque à laquelle Bernard DREYFUS, chercheur à l'ORSTOM, a découvert le rôle fixateur d'azote des nodules aériens sur les tiges. Cette découverte a été, dans une vingtaine de laboratoires, le point de départ de recherches fondamentales sur la physiologie et la génétique du microorganisme symbiotique. En effet, ces nodules sont élaborés par la plante en présence d'un microorganisme nouveau, possédant à la fois les propriétés d'une bactérie fixatrice d'azote libre (type *Klebsiella*) et d'une bactérie symbiotique (type *Rhizobium*). C'est précisément au cours de ce séminaire que cette nouvelle bactérie a reçu officiellement le nom

d'*Azorhizobium caulino-*
dans.

Parallèlement à ces recherches fondamentales, des chercheurs agronomes, dans une vingtaine de pays d'Afrique et d'Asie, ont commencé à examiner la possibilité d'exploiter ce nouveau système hautement fixateur d'azote soit en culture irriguée (riz) soit en culture pluviale (cultures en couloir notamment).

Sur le plan fondamental, le séminaire a été l'occasion de présenter les dernières découvertes de la symbiose *Sesbania rostrata* - *Azorhizobium caulino-*
dans qui apparaît de plus en plus comme un modèle expérimental de tout premier plan. Ces découvertes concernent :

1) **La génétique d'*Azorhizobium***. Ont été en particulier identifiées les substances (de type flavonoïde) induisant les gènes de la nodulation chez *Azorhizobium* (il s'agit là du premier échange d'information entre la plante-hôte et la bactérie). On a identifié également le gène régulateur des gènes *nod* communs (gène commun à tous les *Rhizobium* et codant pour les événements précoces de la nodulation). On a en outre mis en évidence de nouveaux gènes *nif* de *Azorhizobium* ainsi que les promoteurs correspondant. Les mécanismes de régulation des gènes impliqués dans la fixation d'azote chez *Azorhizobium* (*ex-planta*) sont voisins des mécanismes mis en œuvre chez le fixateur d'azote libre *Klebsiella pneumoniae*.

2) **L'interaction *Sesbania* - *Azorhizobium* au niveau cellulaire**. Pour la première fois chez une légumineuse, on a obtenu des nodules *in vitro* à partir de l'infection de protoplastes de *Sesbania rostrata* par *Azorhizobium*. De tels nodules permettront sans doute de faire progresser rapidement nos connaissances sur les interactions

au niveau cellulaire entre les deux organismes.

3) **La plante-hôte**. L'obtention récente d'un mutant de plante ne possédant plus de sites de nodulation ouvre la voie à l'identification de gènes codant pour cette caractéristique remarquable des légumineuses à nodules de tige, donc éventuellement de leur transplantation dans d'autres organismes.

Le système *Sesbania rostrata* - *Azorhizobium* a été comparé à des systèmes plus classiques, donc bien mieux connus, impliquant des *Rhizobium*, ce qui permet de déceler la généralité de certains caractères de la symbiose et l'originalité de certains points dans le cas de la nodulation caulinaire.

D'autre part le séminaire a été l'occasion de faire le point sur les techniques de biologie moléculaire les plus récentes permettant l'obtention de plantes transgéniques en vue de conférer aux plantes des possibilités de résistance aux virus, insectes ou aux herbicides.

En faisant appel aux méthodes isotopiques, les chercheurs ont confirmé des observations préliminaires qui suggéraient que *Sesbania rostrata* avait un potentiel fixateur d'azote considérable. Cette activité exceptionnelle de la symbiose de *Sesbania rostrata* - *Azorhizobium* explique le succès de l'utilisation de cette légumineuse comme engrais vert puisque sur certains sols cette pratique permet de doubler le rendement du riz irrigué. Dans le cas des cultures en couloir, sa contribution à la nutrition azotée des plantes cultivées est encore substantielle.

De nouveaux usages de *Sesbania rostrata* ont été présentés. Cette plante contribue en effet non seulement à améliorer le sol mais elle peut fournir directement des produits tels

que le fourrage, combustible, pâte à papier. Au Sénégal on a même découvert que les feuilles pouvaient être utilisées dans l'alimentation humaine.

La plante n'a pas que des atouts cependant. Au nombre de ses faiblesses, on note la sensibilité à la photopériode, la floraison nécessitant des jours courts, ce qui limite l'extension aux basses latitudes ; la sensibilité aux attaques des nematodes ; une grande exigence en eau.

A l'issue du premier séminaire international sur cette plante, les scientifiques ont pris des résolutions : collecter des plants de *Sesbania* à la disposition des chercheurs ; étudier la physiologie de la plante en mettant l'accent sur son activité photosynthétique et sur ses exigences nutritionnelles. Ces études devront s'intéresser aux méthodes les plus efficaces notamment l'inoculation en vue d'un meilleur apport cultural. La détermination des valeurs nutritionnelles de cette plante devrait pouvoir justifier son utilisation comme fourrage particulièrement dans les zones arides et semi-arides. La biologie moléculaire devra s'atteler à l'amélioration sur le plan génétique des deux partenaires de la symbiose : *Azorhizobium* (bactérie) et *Sesbania* (plante-hôte de cette bactérie). On cherche la possibilité d'insérer *Sesbania* dans divers systèmes agricoles, en tenant compte des aspects socio-économiques et des pratiques agronomiques.

Enfin, le colloque a souhaité la création d'un réseau international sur *Sesbania* et les autres légumineuses ; il s'agira de collecter la documentation et disséminer l'information scientifique et le matériel végétal. La coordination de ce réseau a été confiée au Sénégal.

Contact : Yves GILLON.
Tél. : 48.03.76.45.

PUBLICATIONS DES ÉDITIONS DE L'ORSTOM

Décembre à février 1988

Connaissance du milieu amazonien. Actes du séminaire. 15 et 16 octobre 1985. Paris. 319 p. (Coll. & Sém.). Présenté par J.P. LESCURE.

Langues et cultures dans le bassin du lac Tchad. Journées d'études les 4 et 5 septembre 1984. ORSTOM (Paris). 216 p. (Coll. & Sém.). Présenté par D. BARRETEAU.

Paléolacs et paléoclimats en Amérique latine et en Afrique (20 000 ans B.P.-Actuel). Résumés des communications. Séminaire ORSTOM, Bondy, 29-30 janvier 1987 (Géodynamique, volume 2 n° 2-1987). Présenté par M. SERVANT.

Programme Français Océan et Climat Atlantique Équatorial (FOCAL). Vol. 2 (PIRAL) : Observations physico-chimiques et biomasse végétale dans l'océan Atlantique équatorial. Programme PIRAL (juillet 1982 - août 1984). Prés. par C. OUDOT. 215 p. (Trav. et Doc., 209).

Terrains et perspectives. Actes du Colloque international sur l'anthropologie face aux transformations des sociétés rurales, aux politiques et aux idéologies du développement. Textes réunis et présentés par P. GESCHIERE et B. SCHLEMMER. ORSTOM (ASC. 453 p. (Coll. & Sém.).

AFFOU YAPI S. : Les planteurs absents de Côte d'Ivoire. 95 p. (Trav. et Doc., 210).

BOULVERT Y. : Carte orohydrographique de la République centrafricaine (feuille Ouest - feuille Est) à 1:1 000 000. 118 p., 2 cartes h. texte (notice explicative, 106).

BOUTRAIS J. : Des Peul en savanes humides. Développement pastoral dans l'ouest centrafricain. 392 p., 1 carte ann. (Études et Thèses).

CHABANNE J. : Le peuplement des fonds durs et sableux du plateau continental sénégalais. Étude de sa pêche chalutière. Biologie et dynamique d'une espèce caractéristique : le Rouget (*Pseudoperca prayensis*). 355 p. (Études et Thèses).

DUREAU F. : Migration et urbanisation. Le cas de la Côte d'Ivoire. 654 p. (Études et Thèses).

FRANQUEVILLE A. : Une Afrique entre le village et la ville. Les migrations dans le sud du Cameroun. 646 p. (Mémoires, 109).

GAILLARD J. : Les chercheurs des pays en développement. Origines, formations et pratiques de la recherche. 183 p. (Études et Thèses).

KALOGA B. : Le manteau kaolinique des plaines du Centre-Sud de la Haute-Volta. Dynamique et relation avec le manteau smectitique. 344 p. (Études et Thèses).

MOYAL P. : Les foreurs du maïs en zone des savanes en Côte d'Ivoire. Données morphologiques, biologiques, écologiques. Essais de lutte et relation plante-insecte. 367 p. (Études et Thèses).

ORTLIEB L. : Néotectonique et variations du niveau marin au Quaternaire dans la région du Golfe de Californie, Mexique. Vol. I : Texte. Vol. II : Annexes. 779 + 257 p., 4 microfiches (Études et Thèses).

REMILLET M. : Catalogue des insectes ravageurs des cultures en Guyane française. 235 p. (Études et Thèses).

SCHWARTZ D. : Histoire d'un paysage : le Lousséké. Paléoenvironnements quaternaires et podzolisation sur sables batéké. Quarante derniers millénaires, région de Brazzaville, R.P. du Congo. 285 p. (Études et Thèses).

Nouveautés audiovisuelles

Alep-Syrie. Improvisations au luth par Muhamad Qadri Dalal. Enregistrements, photographies, texte et transcriptions : P. BOIS. Sous album, livret 12 p., 1 disque 33 t./30 cm. (Tradition orale. CETO 808).

Mongolie. Musique et chants de l'Altaï. Enregistrements, texte et photographies : A. DESJACQUES. Sous album, livret 20 p., 1 disque 33 t./30 cm. (Tradition orale. CETO 811).

Nos auteurs ont également publié...

ANTOINE Ph., DUBRESON A., MANOU-SAVINA A. : Abidjan "côté cours". 274 p. (Hommes et Sociétés). Coéd. Karthala/ORSTOM. Diffusion : Karthala.

LAURE J. : Les paysans et la crise. Étude de communautés rurales de Bolivie. 320 p. Coéd. I.N.A.N./ORSTOM.

INFORMATION

AUDIOVISUEL

Le grand prix international du disque 1988 décerné à l'ORSTOM

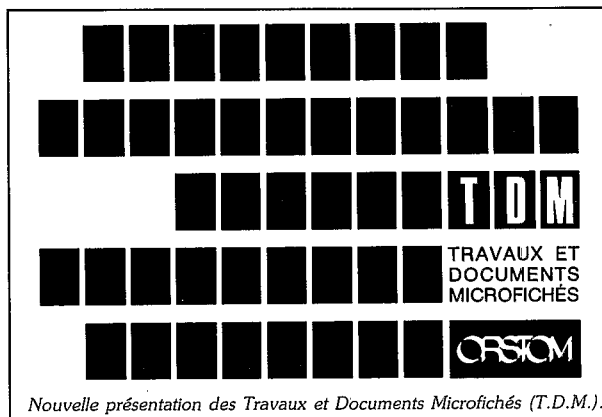
L'Académie Charles Cros a décerné le 9 mars le GRAND PRIX INTERNATIONAL DU DISQUE 1988 - Prix André-Schaefner - au disque-album "ALEP SYRIE - IMPROVISATIONS AU LUTH".

Ces pièces musicales du luthiste Muhamad Qadri Dalal, présentées par Pierre Bois avec le soutien du Centre Culturel Français de Damas, composent le nouveau titre paru récemment dans la Collection "Tradition Orale" éditée par l'ORSTOM avec le concours de la SELAF et conduite par l'Unité "Audiovisuel". Cette éminente distinction vient ainsi honorer une collection qui s'attache avec succès, depuis sa création en 1974, à la valorisation des patrimoines culturels.

Jean-Paul GONZALEZ, chercheur à l'ORSTOM, vient d'être nommé chevalier dans l'ordre de la Reconnaissance Centrafricaine pour ses travaux de recherche dans le domaine de la santé.

MM. DOMMERGUES et DUHOUX (laboratoire de biotechnologie des systèmes forestiers tropicaux - laboratoire commun ORSTOM-CTFT-CNRS - Nogent) ont reçu le **prix de reconnaissance** lors de la remise du prix de la recherche et de l'innovation du Conseil Général du Val-de-Marne pour "la mise au point de technologies nouvelles pour améliorer la productivité forestière des pays en voie de développement".

CILLAUREN Espérance (allocataire pendant 10 mois) - 17 décembre 1987 - Thèse de 3^e cycle en océanographie - Université



Nouvelle présentation des Travaux et Documents Microfichés (T.D.M.).

de Bretagne Occidentale - "La pêche à la traîne autour des DCP mouillés à Vanuatu : un exemple dans le Pacifique Sud-Ouest".

De LAJUDIE Philippe - 8 mars 1988 - Thèse de Docteur ès sciences naturelles - Université Paris XI Orsay - "Contribution à l'étude de deux symbioses fixatrices d'azote : *Medicago sativa*, légumineuse tempérée, *Sesbania rostrata*, légumineuse tropicale".

Signature le 3 mars 1988 de l'accord de création de l'Institut International de Recherche Scientifique pour le Développement entre la République Française et la République de Côte d'Ivoire. Situé à Adiopodoumé (Côte d'Ivoire) cet institut servira de cadre à une coopération internationale en vue de promouvoir les recherches appropriées particulièrement dans les domaines de l'agronomie et de la santé.

Arlette Goupy -
RADIOS - TV

RFI - "Questions d'Afrique" - 21 janvier 1988 - Une émission d'Anne Blancard - Interview de Philippe TENNESON, directeur général.

RFO - radio et télévision. Du Salon de l'Agriculture le 9 mars 1988 - Interview de Philippe TENNESON, directeur général, sur les activités de l'ORSTOM dans le domaine des Milieux et Activités agricoles dans les DOM-TOM.

CONFÉRENCE

Le 3 mars 1988, Jean GUFFROY, chercheur à l'ORSTOM a présenté une conférence à la Maison de l'Amérique Latine sur les importantes découvertes archéologiques faites sur le site du Cerro Nananique dans la région du Haut Piura en 1986.

L'ORSTOM AU SALON INTERNATIONAL DE L'AGRICULTURE 6-13 mars 1988

Le 6 mars, Monsieur Philippe TENNESON, Directeur Général a inauguré le stand de l'ORSTOM présenté dans le cadre du 25^e Salon International de l'Agriculture, Parc des Expositions de la Porte de Versailles à Paris.

"Insectes et agriculture en régions tropicales" en était le thème. On sait en effet que l'homme est depuis toujours confronté au monde des insectes qui, s'ils ont parfois un rôle bénéfique, s'attaquent le plus souvent aux plantes qu'il cultive, tout particulièrement en milieu tropical où les conditions écologiques favorisent à la fois la diversité de leurs espèces et leur pouvoir de multiplication.

Ils étaient bien petits ces insectes comparés au "ROI TAUREAU" de 1 990 kilos sur le stand des animaux ! Pour le très nombreux public qui tout au long de la semaine s'est pressé sur le stand de l'ORSTOM, ces insectes sont apparus divers, fascinants et inquiétants. On pouvait les voir "en vrai" soit bien vivants peuplant les vivariums, soit remarquablement exposés dans les boîtes de collection préparées au laboratoire d'entomologie agricole de Bondy par Jean PIART et Guy COUTURIER.

Présentés par l'article de Yves GILLON "Que cherchent et que trouvent les entomologistes agricoles de l'ORSTOM ?", 9 panneaux accompagnés de leurs fiches "Pour en savoir plus" abordent quelques uns des thèmes de recherche des entomologistes de l'ORSTOM :

- Insectes et Agriculture en régions tropicales - J. PIART - Centre de Bondy.
- Virus d'insectes et lutte biologique - G. FEDIERE - Centre d'Adiopodoumé.



Photo : C. LEDUC.

- Lutte biologique contre les foreurs de canne - P. COCHEREAU - Centre de Recherches Agronomiques Antilles-Guyane.

- Résistance des insectes et acariens aux pesticides - L.O. BRUN - Centre de Nouméa.

- Les acariens phytophages et leurs prédateurs dans la zone intertropicale - J. GUTIERREZ - Centre de Montpellier.

- Insectes et mises en valeur des forêts tropicales humides - G. COUTURIER - Centre de Bondy.

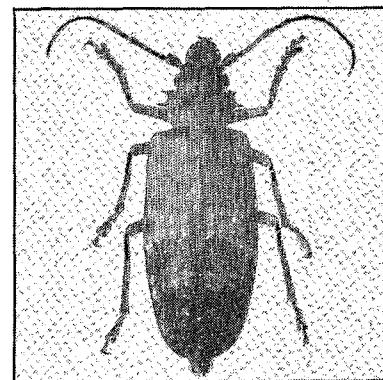
- Dispositif d'avertissement des attaques de chenilles en prairies - J.F. SILVAIN - Station de recherche de lutte biologique de la Minière.

- Les insectes granivores en Afrique tropicale humide - A. DELOBEL - Centre de Brazzaville.

- Les foreurs du Maïs des savanes en Côte d'Ivoire - P. MOYAL - Centre d'Adiopodoumé.

Parus à la date du Salon dans la collection Études et Thèses, 2 nouveaux ouvrages figuraient en bonne place dans la partie du stand réservée à la présentation des publications. Il s'agit du "Catalogue des insectes ravageurs des cultures en Guyane française" de Michel REMILLET et de "Les foreurs du maïs en zone de savanes en Côte

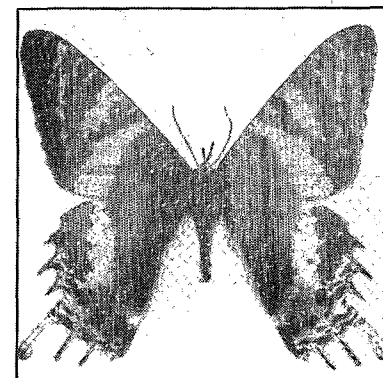
d'Ivoire" de Pascal MOYAL. De nombreuses commandes d'ouvrages ont été enregistrées à cette occasion.



Nous remercions très vivement tous ceux qui, par leur réflexion, le prêt de diapositives et leurs écrits ont contribué à la réussite de cette exposition.

Suzanne LACROIX
Responsable des Expositions

* Les fiches correspondantes peuvent être demandées à Madame Lacroix à la MIST - Rue La Fayette.



ORSTOM audiovisuel

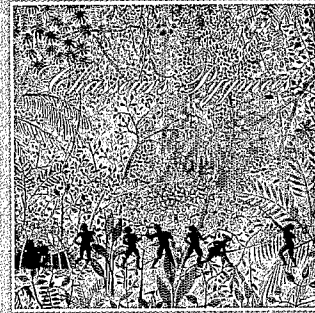
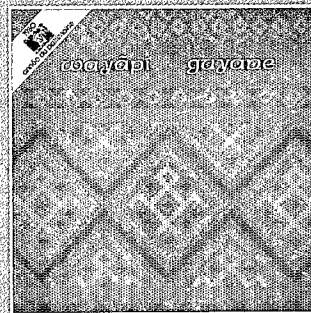
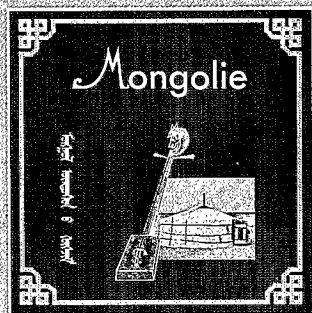
GRAND PRIX INTERNATIONAL DU DISQUE 1988 ACADÉMIE CHARLES CROS PRIX ANDRÉ SCHAEFFNER

Les improvisations présentées dans ce disque sont le reflet d'une tendance nouvelle en Syrie dont le luthiste Muhamad Qadri Dalal est l'un des principaux représentants. Ce courant musical tente d'élargir son champ sonore et expressif en faisant éclater le carcan de règles d'un système musical essoufflé pour revenir aux sources de la théorie musicale arabe. Le luth arabe - à l'origine du luth occidental - se prête merveilleusement par sa souplesse et ses sonorités riches à cette évolution. Présentation Pierre Bois avec la participation du Centre Culturel Français de Damas.



COLLECTION TRADITION ORALE

Dirigée par Bernard SURUGUE,
éditée par l'ORSTOM avec le concours de la SELAF



- MONGOLIE
Musique et chants de l'Altai*
- RONDLES ET JEUX CHANTÉS
BANDA-LINDA
République Centrafricaine*
- BAMILÉKÉ-CAMEROUN**
- IRAN-BAXTYARI
Nomades de la Montagne*

- WAYAPI-GUYANE*
- Sama de Sitangkai
PHILIPPINES : ARCHIPEL DE
SULU*
- KENYA
Musique de mariage à Lamu*
- BASSARI-SÉNÉGAL
Masques musiciens d'hivernage

- NARENDRA BATAJU
Sitar Raga Kirvani/Surbahar Raga
Gunkali
- MAURITANIE
Voie noire - Voie blanche
- ILES MARQUISES ET TUAMOTU
Chants et musique*
- Chants et poésies des Sames
LAPONIE*

- CHASSEURS PYGMÉES*

Contact :
ORSTOM
70, route d'Aulnay
93140 Bondy - France
Tél. : (1) 48.47.31.95 -
Télex : 215203 F

Points de vente : ORSTOM-Librairie 213, rue Lafayette 75010 Paris - Tél. : (1) 48.03.75.62, et FNAC, disquaires...

* Disques-albums également disponibles en cassettes • Disques-albums en cours de réédition

ORSTOM

INSTITUT FRANÇAIS
DE RECHERCHES SCIENTIFIQUES
POUR LE DÉVELOPPEMENT
EN COOPÉRATION

Actualités

Le Paludisme dans
l'environnement africain



HÉMOGLOBINE ET FIXATION D'AZOTE PAR DES LÉGUMINEUSES OU INVERSEMENT ?

Un grand saut qualitatif dans l'histoire des sciences biologiques, fut réalisé à l'apparition des hypothèses transformistes. La plus universellement admise, étant, du nom de son auteur, le darwinisme. Cette théorie sur l'origine des espèces et leur transformation (évolution) implique une incessante lutte pour la vie.

Depuis lors les modalités d'application de cette théorie se sont diversifiées : la confortant tout en la nuanciant. L'adage "manger ou être mangé" ne permettant pas d'expliquer toute la richesse des peuplements multispécifiques sympatriques.

Cet approfondissement de la connaissance des relations entre espèces est réalisé par deux voies complémentaires, au niveau global et au niveau moléculaire :

Au niveau d'un écosystème on observe une complémentarité entre espèces, depuis les autotrophes, qui, par photosynthèse, piègent le gaz carbonique de l'atmosphère et le polymérisent en molécules biologiques utilisables par les consommateurs, jusqu'aux décomposeurs, qui fragmentent les macro-molécules de la biomasse en petites molécules, directement assimilables par les racines des plantes, et restituent le gaz carbonique par fermentation. La plupart de ces décomposeurs sont des microorganismes, dont certains ajoutent à une capacité de dégrader les macro-molécules organiques, celle de prélever directement l'azote atmosphérique, capacité parfois jointe aux possibilités de la fixation de CO₂ par photosynthèse.

Au cours de l'évolution, deux espèces à compétences complémentaires peuvent s'être associées assez étroitement pour constituer des êtres composites, dont les lichens, mélanges d'algues et de champignons, sont parmi les formes les plus achevées.

Les recherches présentées ici par D. Bogusz sur les hémoglobines des plantes et par C. Franche sur la symbiose chez *Azolla-Anabaena* sont à inscrire, au niveau moléculaire, dans cette perspective évolutive. Les petites fougères aquatiques du genre *Azolla* sont associées si étroitement à leurs Cyanobactéries symbiotiques, fixatrices d'azote, que des différences systématiques apparaissent avec les Cyanobactéries libres, elles aussi fixatrices d'azote.

Dans la riche famille des Légumineuses l'observation ancienne des nodules sur les racines a mis en évi-

dence leur rôle dans l'hébergement de bactéries symbiotiques (du genre *Rhizobium*). Hébergement associé à une nutrition organique (produits de la photosynthèse) et à tout un jeu de communications entre les gènes complémentaires (nif, pour la fixation de l'azote, et nod, pour la nodulation). On connaît maintenant des exemples équivalents dans au moins six autres familles végétales, dont les Casuarinacées australiennes où l'association entre un Actinomycète du genre *Frankia* et le "filao" (*Casuarina equisetifolia*), étudiée par Y. Dommergues, implique aussi la présence d'hémoglobine.

On connaît de plus en plus de cas équivalents, avec en particulier nombre de symbioses mycorrhiziennes (ecto et endo-mycorrhizes) sur quantités de plantes supérieures.

Échappant dans le domaine édaphique et aquatique on a mis en évidence maintenant dans le monde aérien des symbiotes épiphyllés, et récemment, grâce aux observations de B. Dreyfus, dans les tiges aériennes nodulées de quelques légumineuses (*Aeschynomene* spp., *Sesbania rostrata*).

Bogusz et ses collaborateurs relancent l'interprétation évolutive des phénomènes observés par la découverte d'hémoglobine dans les racines d'une plante non symbiotique du genre *Trema* (Ulmacées). Est-ce le témoin d'un passé symbiotique dont les autres éléments auraient disparu (le genre voisin *Parasponia* présente une symbiose racinaire fonctionnelle) ou est-ce le signe d'une grande diffusion du gène codant pour l'hémoglobine dans le règne végétal et animal à partir d'un énigmatique ancêtre commun ?

La détermination par D. Bogusz des séquences de nucléotides du gène impliqué dans la synthèse de l'hémoglobine chez différentes plantes, donne un fil conducteur pour restituer ces liens de parentés. Les recherches de C. Franche exposées ci dessous montrent que l'approche moléculaire permet aussi de comprendre, avec l'espoir de les utiliser, les mécanismes régissant la symbiose, et donc la fixation de l'azote atmosphérique. Lorsque la recherche est explicative, les oppositions manichéennes entre fondamental et appliqué perdent beaucoup de pertinence.

Y. GILLON

DIRECTEUR DE
LA PUBLICATION :
Philippe TENNESON
RÉDACTRICE EN CHEF :
Catherine LEDUC-LEBALLEUR
ORSTOM 213, rue La Fayette
75010 PARIS - Tél. : 48.03.77.77
ISSN 0758 833 X - Commission
paritaire N° 1864 ADEP
CONCEPTION RÉALISATION
Copyright LOG'IMAGES
46.63.69.01
MAQUETTES
© B. BARROMES, P. PYTKOWICZ
PHOTOCOPIATION
S.M. Tél. 47.35.05.52
IMPRIMERIE
Offset Arcueil 46.64.01.02

Sommaire

P. VII à XIV centrale "paludisme composante de l'environnement africain"

P. 15 INFORMATIONS

- Au CEDID, le tiers-monde au féminin

P. 16 Séminaire fixation de l'azote

P. 17 Séminaire Zones humides

Relance de la coopération scientifique dans le domaine des études de population

P. 18 Publications des Éditions de l'ORSTOM

P. 19 Salon de l'Agriculture

P. 20 Grand Prix International de l'Académie Charles Cros

Prix André SCHAEFFNER

Photo de couverture : la rizière, symbole du développement agricole au Burkina Faso, est aussi un site privilégié pour la pullulation des anophèles vecteurs du paludisme.

Depuis l'Antiquité, la fertilité d'une grande partie des sols cultivés en Asie est maintenue grâce au recyclage des déchets organiques et à l'utilisation des engrais verts. Ce serait au 11^e siècle au Vietnam, et vers le 14^e siècle en Chine qu'aurait débuté l'utilisation d'*Azolla*, une petite fougère aquatique (division des ptéridophytes, ordre des salviniales) comme engrais vert dans les rizières. Le nombre de légendes qui entourent la découverte d'*Azolla*, ainsi que l'existence de temples bâtis il y a plusieurs siècles en l'honneur du "Dieu" qui fit don aux êtres humains d'*Azolla* suffisent à souligner l'importance accordée à cet engrais vert en Asie. Il est estimé qu'*Azolla* est actuellement utilisée dans 40 % des rizières du Nord-Vietnam. Dans les provinces du Sud-Est de la Chine, *Azolla* est l'une des plus importantes sources de matière azotée pour la culture du riz et 1,4 millions

d'hectares de rizières sont couverts par la fougère. *Azolla* se rencontre non seulement en Asie, mais aussi sur toutes les eaux calmes des régions à climat tempéré ou tropical.

Plusieurs propriétés font d'*Azolla* un engrais vert de choix. La fougère vit en symbiose avec une cyanobactérie, *Anabaena azollae* (Figure 1), fixatrice d'azote, c'est-à-dire capable de transformer l'azote gazeux de l'air en azote assimilable par la fougère pour sa croissance. Les cyanobactéries sont des microorganismes photosynthétiques apparentés aux bactéries, en particulier par l'absence de noyau dans la cellule, mais aussi aux algues eucaryotes par leur photosynthèse de type végétal. *Anabaena azollae* est localisée dans une cavité des lobes dorsaux des feuilles de la fougère ; cette cavité est tapissée de cellules de transfert par lesquelles s'effectuerait, selon un processus encore peu connu, le transfert de l'azote fixé par *Anabaena* vers la plante. Tous les besoins azotés de la plante sont couverts par le microorganisme. En retour, *Azolla* fournit des éléments carbonés, produits par la photosynthèse, au microor-

ganisme. Lorsque les conditions optimales de croissance sont réunies, on peut obtenir au champ un doublement d'*Azolla* en trois jours. *Azolla* possède également un taux de décomposition rapide qui après environ quatre semaines d'enfouissement dans les rizières permet à l'azote accumulé par la plante d'être relâché dans le sol. On estime que 60 kg d'azote par hectare sont fournis par l'incorporation d'*Azolla* dans les rizières.

Si l'utilisation d'*Azolla* comme engrais vert a une longue histoire, c'est seulement vers les années 1970 que les chercheurs accordent un réel intérêt à cette symbiose fixatrice d'azote. Des études visant à apporter une meilleure connaissance de la plante hôte, du microorganisme et des interactions entre les deux partenaires sont alors entreprises. Malheureusement, elles se heurtent rapidement à un obstacle majeur, l'impossibilité d'obtenir une croissance du microorganisme à l'état libre en culture pure en absence de la fougère.

En 1984, a été initié dans la section Microbiologie du Centre ORSTOM de Dakar, en collaboration avec l'Institut Pasteur de Paris, un programme de recherche fondamentale de la cyanobactérie *Anabaena azollae*. Les connaissances et les méthodologies acquises avec les cyanobactéries libres ont été utilisées pour tenter de percer quelques secrets du symbionte. Depuis les années 1980, la biologie moléculaire a en effet permis des progrès considérables dans la connaissance des cyanobactéries libres, et plus d'une centaine de gènes de différentes souches ont été étudiés.

Avec la participation au Sénégal de l'ADRAO (Association pour le Développement Rural en Afri-

que de l'Ouest), aux Philippines de l'IRRI (International Rice Research Institute), en Chine du centre de Recherche sur *Azolla* de Fuzhou et en Australie de l'ACIAR (Australian Center for International Agricultural Research), nous avons constitué une collection d'une trentaine de souches d'*Azolla* originaires de différentes régions du monde. Le génome des symbiontes a été extrait et, grâce à leur homologie avec les gènes des cyanobactéries libres, une étude comparative des gènes impliqués dans la synthèse du complexe nitrogénase (enzyme responsable de la fixation de l'azote), dans la fixation du CO₂ et dans la synthèse des RNA ribosomiaux a été réalisée. Les résultats mettent en évidence que toutes les souches d'*Anabaena azollae*, qu'elles soient originaires d'Amérique, Afrique ou Asie, dérivent d'un ancêtre commun ; il n'y a pas eu au cours de l'évolution des échanges entre la fougère et des cyanobactéries libres dans la nature.

Cette découverte peut certainement expliquer les difficultés à cultiver le symbionte. On distingue deux lignées évolutives légèrement différentes dans les symbiontes ; d'une part les souches originaires du "Nouveau Monde", d'autre part celles extraites des *Azolla* d'Afrique et Asie (Figure 2). Les souches symbiotiques d'*Azolla* sont clairement apparentées non pas aux cyanobactéries libres du genre *Anabaena*, mais aux cyanobactéries libres et symbiotiques du genre *Nostoc* (Figure 3). La nomenclature de ces organismes serait donc à revoir. Pour la majorité des souches étudiées, nous avons également établi une sorte de "carte de visite" ou "d'empreinte digitale" qui permet une identification aisée des symbiontes. Cette technique d'identification doit être prochainement utilisée dans le Centre de

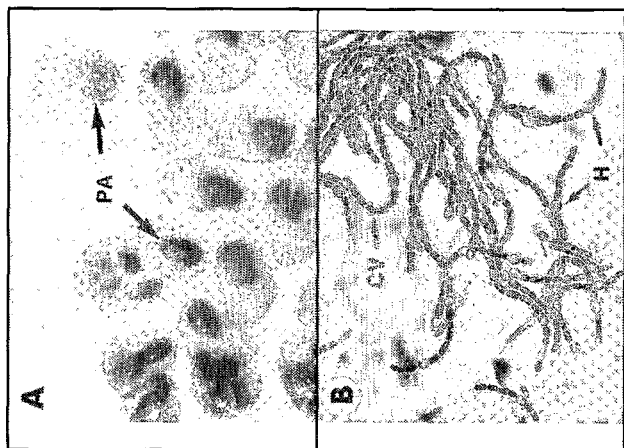


Figure 1 : Lorsque les tissus végétaux de la fougère sont digérés par des enzymes (cellulase et pectinase), on voit apparaître les pelotes algales (PA, Figure A). Ces pelotes contiennent les filaments de la cyanobactérie fixatrice d'azote. Deux types de cellules composent les filaments : des cellules photosynthétiques appelées cellules végétatives (CV) et des cellules à paroi épaisse appelées hétérocystes (H) dans lesquelles s'effectue la fixation de l'azote moléculaire (Cl. Masson-Voisin).

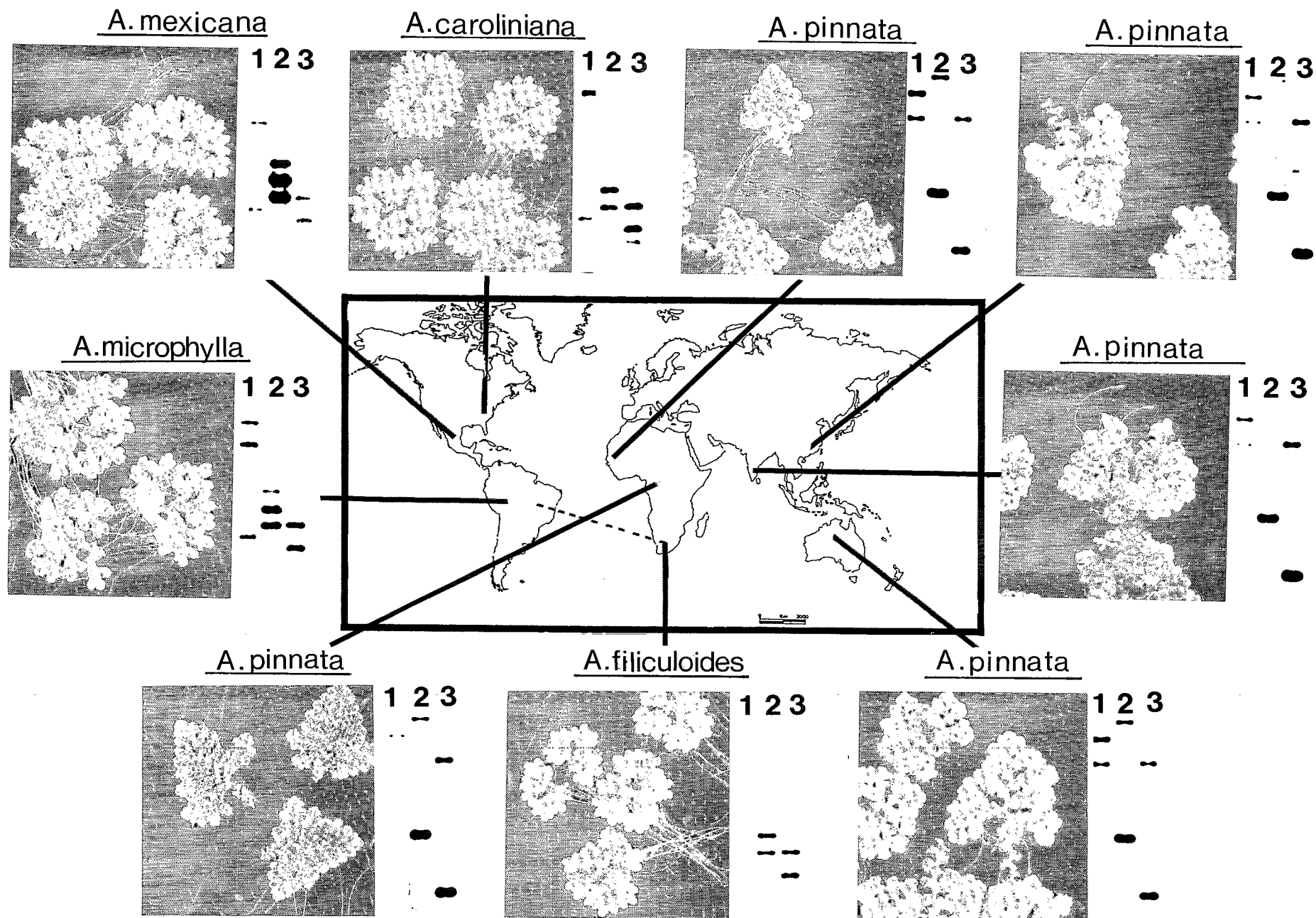


Figure 2 :
 Il existe actuellement six espèces d'*Azolla* : *A. caroliniana*, *A. filiculoides*, *A. mexicana*, *A. microphylla*, *A. pinnata* et *A. nilotica*. L'ADN est extrait des symbiontes, coupé par des enzymes de restriction (1 : *EcoRI*, 2 : *HindIII*, 3 : *EcoRI-Hind III*) et hybridé avec une sonde radioactive de cyanobactérie libre. Des fragments d'ADN de différentes masses moléculaires apparaissent sur les autoradiogrammes, traduisant la parenté plus ou moins grande des souches.

Recherche de Fuzhou qui tente actuellement, en collaboration avec l'IRRI, des expériences de reconstitution de symbiose hétérologue entre différentes souches d'*Azolla* et d'*Anabaena azollae*.

Nous avons d'autre part constitué les deux premières banques de gènes d'*Anabaena azollae* (voir encadré et Figure 4). A partir de ces banques, il est désormais possible d'isoler et d'étudier tous les gènes du symbionte ; les problèmes liés à l'impossibilité de cultiver le symbionte sont donc désormais partiellement résolus. Nous avons focalisé notre étude sur les trois gènes, *nifK*, *nifD* et *nifH* (*nif* : nitrogen fixation), impliqués dans la synthèse du complexe nitrogénase. L'organisation de ces gènes n'était connue jusqu'à présent que dans les souches d'*Anabaena* libres ; *nifK* y est séparé de *nifD*, H par un fragment d'ADN de 11 kilobases. Dans toutes les souches d'*Anabaena azollae*, les gènes *nifK*, D, H sont au contraire contigus et le fragment d'ADN de 11 kilobases n'est plus observé. La question se pose donc désormais de savoir si, du fait de la symbiose, *Anabaena azollae* a perdu des portions de son génome, ou si les souches libres ont gagné des informations génétiques.

Par une meilleure connaissance de l'organisation et des mécanismes d'expression des gènes pouvant jouer un "rôle clé" chez le symbionte, nous devrions dans les prochaines années mieux comprendre les particularités et propriétés d'*Anabaena azollae*. L'essor de la biologie moléculaire végétale ouvre également une voie pleine de promesses pour l'étude de la plante hôte et l'amélioration des performances de la symbiose.

Claudine FRANCHE

L'HISTOIRE D'UNE BANQUE DE GÈNES

Les éléments qui programment la vie d'un organisme sont les gènes, rassemblés sous forme de chromosomes. Ces chromosomes sont formés d'une longue molécule, l'acide désoxyribonucléique (ou ADN), constitué par l'enchaînement d'unités élémentaires, les nucléotides. Chaque chromosome comporte des milliers de gènes à la suite les uns des autres. La banque de gènes permet de couper cette longue molécule en des molécules plus petites facilement manipulables.

La première étape nécessaire à l'obtention de la banque de gènes est l'isolement et la purification de l'ADN du microorganisme (Figure 5). L'ADN est ensuite coupé en longs fragments par des enzymes appelés "enzymes de restriction" qui sectionnent l'ADN en des points précis et connus. Les frag-

ments sont alors "collés" à des morceaux d'ADN d'un virus bactérien (appelé phage) et intégrés dans la tête protéique du phage. La totalité de l'information contenue dans un microorganisme comme *Anabaena azollae* est représentée par environ trois mille de ces phages recombinants.

Pour isoler le gène recherché, la banque est hybridée avec des morceaux d'ADN portant des gènes connus et marqués avec un isotope radioac-

tif, le phosphore 32. Lorsque le fragment d'ADN marqué (appelé sonde) reconnaît dans l'ADN phagique recombinant une séquence homologue, il s'hybride avec celui-ci. Une autoradiographie permet ensuite l'isolement du phage correspondant. L'ADN du phage contenant le gène recherché est ensuite purifié en grande quantité, coupé en fragments plus petits qui seront utilisés pour des études fines.

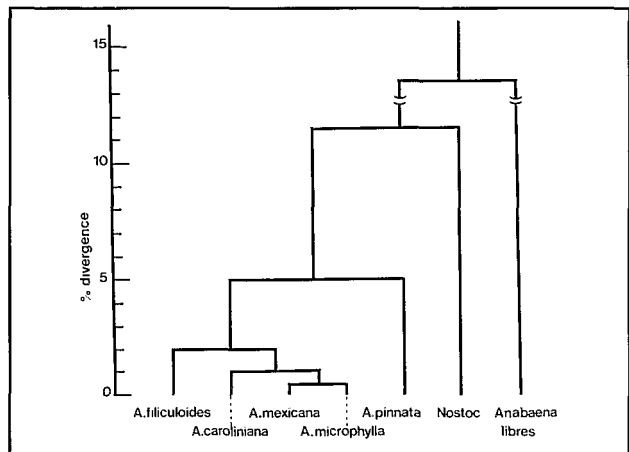
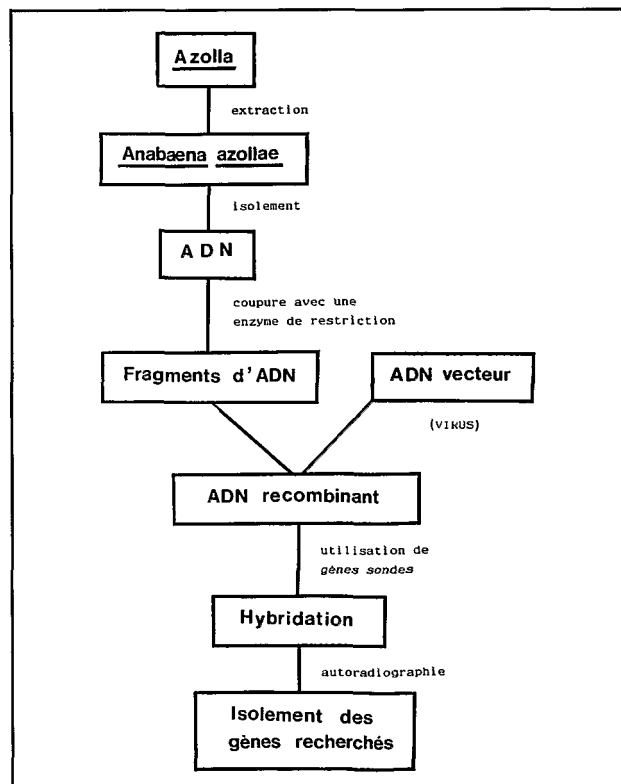


Figure 3 : Arbre phylogénétique des symbiotes d'*Azolla*.



POUR EN SAVOIR PLUS :

– Lumpkin, T.A. et D.L. Plucknett (1982). *Azolla as a green manure : use and management in crop production*. Westview Press, Boulder, Colorado.

– Peters, G.A. et H.E. Calvert (1983). *The Azolla - Anabaena azollae symbiosis*, p. 109-145. Dans : "Algae symbiosis. A continuum of interactions strategies". Goff, L.J. ed. Cambridge University Press.

– Franche, C. et G. Cohen-Bazire (1987). *Evolutionary divergence in the nifH, D, K gene region among nine symbiotic Anabaena azollae and between Anabaena azollae and some free-living heterocystous cyanobacteria*. *Symbiosis*, 3, p. 159-178.

– Reynaud, P.A. et C. Franche (1986). *Azolla pinnata var. africana : "De la biologie moléculaire aux applications agronomiques"*. Plaqueette ORSTOM.

Figure 4 : Stratégie d'isolement d'une banque de gènes.

La fixation symbiotique de l'azote est le résultat d'une interaction complexe entre les bactéries et la plante hôte. Les bactéries, localisées dans des excroissances du tissu racinaire de la plante (appelées nodule), reçoivent les produits carbonés issus de la photosynthèse végétale et fournissent en retour de l'azote à la plante hôte. Les légumineuses (luzerne, soja) sont les seules plantes cultivées d'intérêt agronomique ayant la capacité de former une symbiose fixatrice d'azote.

La régulation de la tension d'oxygène dans les nodules est une étape particulièrement importante pour la fixation d'azote car la nitrogénase, qui est le complexe enzymatique bactérien directement responsable de la fixation, est inactivée par des tensions d'oxygène trop élevées. Cette régulation de la tension d'oxygène est effectuée par de l'hémoglobine (Hb) qui est appelée leghaemoglobine chez les légumineuses. Le rôle biochimique de cette Hb est de fournir suffisamment d'oxygène aux bactéries pour leur permettre de fixer l'azote, sans pour autant affecter l'enzyme nitrogénase. L'Hb des plantes fixatrices d'azote est similaire à celle du sang et des muscles des animaux.

Le petit arbre *Parasponia* occupe une place unique dans le monde végétal. Il possède des nodules racinaires contenant la bactérie *Rhizobium* qui lui fournit l'azote nécessaire à sa croissance. Cette propriété était pensait-on l'exclusivité des légumineuses. *Parasponia* n'est pas une légumineuse et n'est même pas taxonomiquement proche des légumineuses. Chez *Parasponia* et les légumineuses, l'Hb est synthétisée par la plante.

Comment les légumineuses et *Parasponia* ont-ils acquis l'information génétique pour synthétiser l'Hb que l'on pensait caractéristique du monde animal ? Deux théories ont été avancées pour résoudre cette énigme. La première suggère que les plantes ont acquis l'information génétique d'autres organismes (peut-être d'animaux consommateurs). Si tel est le cas le gène qui code pour l'Hb dans *Parasponia* et les légumineuses devrait être similaire à celui des organismes donneurs. Selon l'autre théorie, *Parasponia* et les légumineuses ont hérité le gène de l'Hb et de l'ancêtre commun aux plantes et aux animaux. Le problème posé par cette théorie est qu'elle implique que toutes les plantes possèdent un gène d'Hb.

Mis à part *Parasponia* il existe d'autres non légumineuses qui vivent en symbiose avec des microorganismes fixateurs d'azote, qui cette fois ne sont pas des *Rhizobium*. L'exemple le plus connu est *Casuarina* qui forme une symbiose avec l'actinomycète *Frankia*. Une Hb a également été purifiée à partir des nodules de *Casuarina* et ses propriétés suggèrent qu'elle pourrait avoir le même rôle que dans les nodules de *Parasponia* et des légumineuses. Le gène de l'Hb de *Parasponia* a récemment été isolé et caractérisé. Ses caractéristiques (séquence des nucléotides) ont été comparées avec celles des gènes d'Hb de plusieurs légumineuses, *Casuarina*, mais aussi avec celles connues des gènes d'Hb d'insectes et de vertébrés. Il a donc été possible de déterminer la relation évolutive de ces gènes. Chez la plupart des gènes des animaux et des végétaux la partie du gène qui code pour la protéine est interrompue par des régions non codantes (introns). Les régions codantes qui dirigent la séquence de la protéine

peuvent révéler une origine évolutive commune. En effet, certaines régions restent constantes au cours de l'évolution car elles sont responsables de la structure de la protéine indispensable à sa fonction. Ces régions hautement conservées sont présentes dans toutes les Hb des vertébrés, invertébrés et des plantes. Toutes ces Hb dérivent donc d'un gène ancêtre commun. La position des introns est souvent identique dans les groupes d'organismes de même origine, par exemple le gène d'Hb des vertébrés a deux introns qui sont toujours à la même position. Les gènes d'Hb d'insectes n'ont pas d'intron. Les gènes d'Hb des légumineuses de *Parasponia* et de *Casuarina* possèdent trois introns. Deux des introns des gènes d'Hb de plantes se trouvent dans les mêmes positions que dans le gène des vertébrés. Le troisième intron absent chez les animaux a soit été perdu ou est apparu chez les plantes. Ces découvertes éliminent donc l'hypothèse du transfert via les insectes chez les plantes (si c'était le cas, les gènes de plante ne devraient pas avoir d'intron), et suggèrent fortement que les animaux et les plantes ont acquis les gènes d'un ancêtre commun. Selon cette théorie il est possible qu'un gène d'Hb soit présent chez toutes les plantes y compris celles qui n'ont pas la capacité de s'associer avec les microorganismes fixateurs d'azote. L'implication à long terme de cette théorie est très importante ; en effet, toutes les recherches menées dans le monde sur la fixation de l'azote ont pour finalité de développer des plantes d'intérêt agronomique, comme le blé ou le maïs, capables de fixer leur propre azote en association avec les *Rhizobium*. Si le gène d'Hb est déjà présent dans ces plantes, la création par génie génétique de symbioses artificielles pourrait s'en trouver facilitée.

Nous avons donc entrepris la recherche de la présence d'Hb et du gène correspondant dans les plantes connues pour être incapables de former une association symbiotique avec les microorganismes fixateurs d'azote. En raison des limitations techniques imposées par nos méthodes de détection (hybridation de l'ADN et spécificité anticorps) nous avons concentré nos efforts dans les plantes non symbiotiques proches au niveau taxonomique de *Parasponia* (famille des *Ulmaceae*). En utilisant le gène de l'Hb de *Parasponia* comme sonde moléculaire, il a été possible de mettre en évidence un gène d'Hb dans deux espèces non symbiotiques de la famille des *Ulmaceae* : *Tréma* et *Celtis*. Nous avons isolé (cloné) et caractérisé en détail le gène de *Tréma*, il présente toutes les propriétés d'un gène d'Hb fonctionnel. Il possède les trois introns placés aux mêmes positions que dans les autres gènes d'Hb végétale et les régions hautement conservées communes aux Hb végétales et animales. La fonctionnalité de ce gène de *Tréma* a été démontrée par la détection de la protéine elle-même dans les racines. Il n'a pas été possible de détecter l'Hb dans les feuilles de *Tréma* ce qui suggère une spécificité d'expression du gène et un rôle pour l'Hb dans les fonctions racinaires.

En conclusion cette découverte d'Hb dans les plantes non symbiotiques et la possibilité que toutes les plantes puissent posséder un gène d'Hb, ouvre la perspective d'étendre par manipulation génétique la capacité symbiotique aux plantes d'intérêt agronomique. La fonction de cette Hb racinaire est pour l'instant totalement inconnue. Un champ de recherche nouveau dans le domaine physiologique et biochimique chez les plantes est donc ouvert.