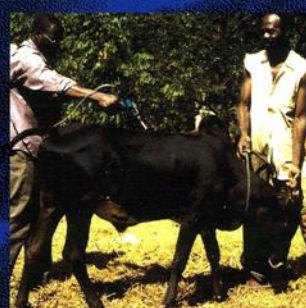
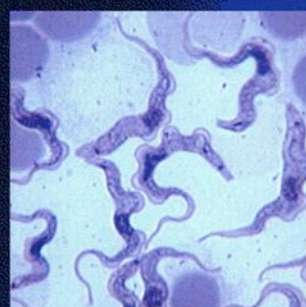


Du satellite au microsattellite

Le risque trypanosomien

Une approche globale
pour une décision locale

S. de La Rocque
J.F. Michel
D. Cuisance
G. De Wispelaere
P. Solano
X. Augusseau
M. Arnaud
S. Guillobez



CIRAD

Du satellite au microsattellite

Le risque trypanosomien

Une approche globale
pour une décision locale

Stéphane de LA ROCQUE, Jean-François MICHEL, Dominique CUISANCE,
Gérard DE WISPELAERE, Xavier AUGUSSEAU, Philippe SOLANO,
Serge GUILLOBEZ & Michel ARNAUD

Cirad-emvt

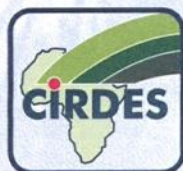
Action thématique programmée « Santé-Environnement »

Mission productions animales

Programme écosystèmes naturels et pastoraux

Avec la participation de :

Z. Bengaly (Cirades-épi), F. Borne (Cirad-amis), G. Cuny (Ird),
M. Desquesnes (Cirad-emvt), S. Dray (Univ. Lyon 1), C. Gauthier
(Cirad-emvt), V. Freycon (Cirad-forêt), B. Geoffroy (Ird),
L. Guerrini (Cirad-emvt), I. Kaboré (Cirades-ulv),
A. Lalba (Inera-grn.sp), T. Lefrançois (Cirades-épi),
M. Lesnoff (Cirad-emvt), M. Lounis (Cirad-tera),
C. Meallet (Cirad-emvt), N. Meftah (Cirad-tera),
V. Michel (Cirad-emvt), S. Ouédraogo (Inera-grn.sp),
M. Passouant (Cirad-Tera), L. Petiteau (Cirad-amis),
I. Sidibé (Cirades-épi), I. Touré (Cirad-emvt),
I. de Zborowski (Cirad-emvt).



©Cirad 2001
ISBN : 2-87614-469-7

Du satellite au microsatellite

Le risque trypanosomien

Une approche globale
pour une décision locale

*« En ce temps-là, le Seigneur
sifflera les mouches qui sont au
bord des fleuves d'Égypte... »*

*Elles viendront s'abattre
en masse dans les ravins
escarpés, dans les creux
des rochers, sur tous
les buissons et sur
tous les pâturages. »*

(Isaïe, 7, 18-19)

*« L'Almamy se méfie
des pièges que lui tendent
les terres où meurent
les chevaux »...*

(Person Y. 1900, au sujet de l'Almamy
Samori Touré)

*En hommage respectueux
à nos maîtres des Ecoles nationales vétérinaires
et de l'Institut d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux.*

Sommaire

<i>Organismes participants</i>	7
<i>Auteurs</i>	8
<i>Remerciements</i>	9
<i>Résumé/Abstract</i>	11
<i>Préface</i>	17
PRÉAMBULE	19
Importance médicale et économique des trypanosomoses africaines transmises par les tsé-tsé	22
Un problème croissant de santé publique	22
Trypanosomoses africaines : maladies débilitantes à évolution souvent mortelle chez l'homme et chez les animaux domestiques	23
Une entrave au développement	25
Les évolutions récentes	26
Les nouvelles données	26
L'évolution des stratégies	27
De nouveaux outils entre les mains des entomologistes	27
Replacer le système pathogène dans son environnement	28
Le concept de santé-environnement	28
La rencontre des métiers pour une approche pluridisciplinaire	29
L'espace au cœur de la démarche	30
DES PARASITES, DES VECTEURS... ET DES VICTIMES	33
La zone agropastorale de Sidéradougou, site de l'étude	35
Présentation de la zone	35
Historique entomologique de cette zone	36
Pourquoi un nouveau projet ?	37
LE SYSTÈME PARASITAIRE	39
Les glossines	41
Les glossines présentes dans la zone de Sidéradougou	41
Distribution des glossines dans la zone de Sidéradougou	44
Les communications entre les populations	47
La localisation des gîtes de pontes et le déplacement des adultes	47
Préférences trophiques des glossines	49
Les bovins	51
Les trypanosomes	53
Les trypanosomes chez les glossines	53
Les trypanosomes chez les bovins	58
Le fonctionnement du système épidémiologique	64
Importance des interfaces spatiales et temporelles entre les glossines et les bovins	64
Une approche multidisciplinaire pour évaluer le risque trypanosomien	67
LE SYSTÈME AGROÉCOLOGIQUE	69
Les formations naturelles	71
Caractérisation des formations ripicoles par enquête terrestre	71
Caractérisation de la végétation riveraine par télédétection	73

Agriculture, occupation du sol et évolution	76
État actuel de l'emprise agricole	76
Évolution de l'emprise agricole depuis 20 ans	78
Physiographie et milieu naturel	80
Les unités physiographiques	81
Physiographie et emprise agricole	82
Points d'eau et abreuvement du bétail	82
Répartition des points d'abreuvement	83
Fréquentation des points d'abreuvement	84
LE SYSTÈME SOCIOÉCONOMIQUE	85
Les populations humaines	87
Caractéristiques socio-ethniques	87
Évolution de l'implantation humaine	88
Les systèmes de production : analyse et typologie	89
Analyse simple des systèmes d'élevage	90
Typologie des systèmes de production	92
LE SIG : MISE EN RELATION DES INFORMATIONS SPATIALES	97
Les modèles de mise en relation des données	99
Le modèle conceptuel des données	99
Le modèle spatial des données	100
Les glossines et le milieu naturel	102
Recherche des facteurs les plus discriminants	102
Relations entre types de biotopes et densités de glossines	103
Les habitats les plus favorables aux glossines	103
Étude diachronique des populations de glossines (1982-1996)	104
Évolution des populations de glossines	104
Relation entre les densités de glossines et le parcellaire agricole	106
Le bétail et le milieu naturel	109
Liaison des cours et des points d'abreuvement	109
Représentation des zones d'influence des bovins	110
Fréquentation de l'espace par les bovins	111
Indicateurs de la présence des bovins	112
Relations glossines-bétail-trypanosomes :	
mise en évidence des points épidémiologiquement dangereux	114
La méthode de modélisation	114
Identification des zones à risque	115
Validité des résultats	115
De la cartographie des vecteurs à l'évaluation du risque parasitaire :	
50 ans d'évolution dans les concepts	120
La télédétection et la prévision de la répartition des glossines	120
Évolution des concepts d'appréciation du risque	121
Les glossines, les hommes et l'environnement	122
L'importance future des glossines	123
CONCLUSION	127
Sur le plan de la recherche	129
Sur le plan du développement	130
RÉFÉRENCES	131

Organismes participants

CIRAD

Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement
Campus international de Baillarguet, TA 30/F, 34398 Montpellier Cedex 5, France

Cirad-emvt : Département d'élevage et de médecine vétérinaire (Programme écosystèmes naturels et pastoraux) – **Cirad-tera** : Département territoires, environnement et acteurs (Programme espaces et ressources) – **Cirad-forêt** : Département des forêts (Programme forêts naturelles) – **Cirad-amis** : Département d'amélioration des méthodes pour l'innovation scientifique

CNRS

Centre national de la recherche scientifique
1, Place Aristide Briand 92195 Meudon Cedex, France

PIREVS : Programme interdisciplinaire de recherche thématique « Environnement, vie et sociétés »

CIRDES

Centre international de recherche-développement sur l'élevage en zone subhumide
01 BP 454, Bobo-Dioulasso 01, Burkina Faso

Unité de lutte contre les maladies et leurs vecteurs
 Unité d'épidémiologie et d'application de nouvelles technologies

INERA

Institut de l'environnement et de recherches agricoles
03 BP 7192 Ouagadougou 03, Burkina Faso

Programme de recherches sur la gestion des ressources naturelles et des systèmes de production

IRD

Institut de recherche pour le développement
BP 5045, 34032 Montpellier Cedex 01, France

Programme maladies à vecteurs / Laboratoire de taxonomie des vecteurs

Auteurs

DE LA ROCQUE Stéphane – *Dr Vétérinaire, Dr es Sciences, épidémiologiste des maladies à vecteurs*

CIRAD, Département d'élevage et de médecine vétérinaire

Programme écosystèmes naturels et pastoraux

Projet Santé-Environnement

CIRDES

01 BP 454 01 Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)

MICHEL Jean-François – *Dr Vétérinaire, spécialiste en modélisation des risques et prévention sanitaire*

CIRAD, Département d'élevage et de médecine vétérinaire

Programme productions animales

CIRDES

01 BP 454 01 Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)

CUISANCE Dominique – *Dr Vétérinaire, spécialiste des tsé-tsé et des trypanosomoses animales*

CIRAD, Département d'élevage et de médecine vétérinaire

Programme écosystèmes naturels et pastoraux

Projet Santé-Environnement

TA 30/F, Campus international de Baillarguet

34398 Montpellier Cedex 5 (France)

DE WISPELAERE Gérard – *Ingénieur CNAM, spécialiste en écologie, télédétection, SIG*

CIRAD, Département d'élevage et de médecine vétérinaire

Programme écosystèmes naturels et pastoraux

Maison de la télédétection

500, rue Jean-François Breton

34093 Montpellier Cedex 5 (France)

AUGUSSEAU Xavier – *Ingénieur agronome, spécialiste en analyse et traitement d'images*

CIRAD, Département territoires, environnement et acteurs

Programme espaces et ressources

CIRDES

01 BP 454 01 Bobo-Dioulasso (Burkina Faso)

SOLANO Philippe – *Dr es Sciences, épidémiologiste moléculaire des trypanosomoses*

IRD, Département sociétés et santé, UR-035

Institut Pierre Richet

01 BP 1500, Bouaké 01 (Côte d'Ivoire)

GUILLOBEZ Serge – *Ingénieur agronome, spécialiste en sciences du sol et en agronomie*

CIRAD, Département territoires, environnement et acteurs

Programme espaces et ressources

TA 60/15, Campus international de Baillarguet

34938 Montpellier Cedex 5 (France)

ARNAUD Michel – *Mathématicien, biométricien spécialiste du traitement des données spatialisées*

CIRAD, Département territoires, environnement et acteurs

Programme espaces et ressources

TA 60/15, Campus international de Baillarguet

34938 Montpellier Cedex 5 (France)

Remerciements

Cette étude a reposé sur deux appuis financiers majeurs et déterminants :

- un financement du Cirad, Action thématique programmée de la Direction scientifique
- un financement CNRS, Programme interdisciplinaire de recherche thématique « Environnement, vie et sociétés » (PIREVS)

Elle n'aurait pu se réaliser dans un délai court sans également l'aide du Ministère de la Coopération et de diverses équipes ou personnalités des pays du Nord et du Sud.

Pour leurs conseils, leurs encouragements et leur soutien, qu'ils trouvent ici les remerciements et la reconnaissance de tous ceux qui en ont bénéficié.

CIRAD

Dr P.C. Lefèvre et Dr J. Domenech (Directeurs du Cirad-emvt) – Dr A. Martin et Dr. H. Guérin (Directeurs adjoints du Cirad-emvt) – Dr P. Lhoste (Responsable de la Délégation productions animales) – Dr G. Matheron (Président du Centre Cirad de Montpellier) – Dr D. Richard (Directeur scientifique du Cirad-emvt) – Dr F. Monicat (Chef du programme écosystèmes naturels et pastoraux du Cirad-emvt) – Dr B. Faye (Chef du programme productions animales du Cirad-emvt) – Dr J.J. Tulasne et Dr E. Camus (Chefs du Programme santé animale du Cirad-emvt) – Dr F. Forest (Chef du programme écosystèmes cultivés du département du Cirad-ca) – Dr J.P. Pichot (Directeur du département du Cirad-tera) – Dr A. Bégué (Cirad-amis/Maison de la télédétection) – Dr D. Lo Seen (Cirad-amis/Maison de la télédétection) – Dr J.F. Duranton (Cirad-amis) – Dr P. Morant (Cirad-tera) – Mr G. Lacombe (Service d'appui à la gestion du Cirad-emvt)

CNRS

Pr A. Pavé (Directeur du PIREVS)

OMS

Dr R. Le Berre (Directeur honoraire, Programme filarioses)

CIRDES

Dr S.M. Touré (Directeur) – Dr B. Bauër (chef de l'unité ULV)

INERA

Mr V. Hien (Directeur) – Mr D. Ilboudou et Mr V. Bado (Chefs de programme GNR/SP)

ECOLES NATIONALES VÉTÉRINAIRES

Pr. honoraire G. Jolivet (ENV Alfort) – Pr. honoraire J. Euzéby (ENV Lyon) – Pr. J. Chantal (ENV Toulouse) – Pr. P. Dorchie (ENV Toulouse)

INSTITUT PASTEUR DE PARIS

Pr F. Rodhain (Unité d'écologie des systèmes vectoriels)

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER

Pr G. Duvallet (Laboratoire de zoogéographie/Montpellier III) – Pr honoraire J.A. Rioux (Montpellier I) –
Pr honoraire A. Raibaut (Montpellier II)

UNIVERSITÉ DE LYON

Dr D. Chessel (Laboratoire de biométrie, biologie évolutive/Lyon I)

IRD

Dr J.L. Frézil (Directeur de recherche honoraire)

UNIVERSITÉ PARIS X - NANTERRE

Pr G. Salem (Laboratoire Espace, Santé, Territoire)

Résumé

En Afrique sub-saharienne, les trypanosomoses (« maladie du sommeil » chez l'homme et « Nagana » chez le bétail) demeurent des contraintes majeures pour la santé humaine et animale. Dans la zone soudanienne ouest-africaine, particulièrement infestée par deux glossines riveraines (*Glossina tachinoides* et *Glossina palpalis gambiensis*), le cycle parasitaire peut être interrompu par une lutte contre ces vecteurs en utilisant des pièges mécaniques ou/et des pièges vivants (bétail imprégné d'insecticides). Afin de la rendre compatible avec les capacités techniques et financières des populations rurales, elle doit être spatialement la plus ciblée possible. Cet objectif a guidé la démarche présentée.

Sur 1 300 km² d'une zone agropastorale du Burkina Faso, l'étude vise à comprendre le fonctionnement du système parasitaire (trypanosomes/glossines/hôtes) en liaison avec son environnement en vue d'identifier les zones à risques.

Les relations santé/environnement sont alors abordées par le recueil de couches d'informations thématiques géoréférencées sur les systèmes parasitaire, agroécologique et socioéconomique, qui seront « interrogés » à travers un Système d'information géographique (SIG).

Système parasitaire

- Une prospection entomologique minutieuse (1 piège/100 m, 3 600 glossines) sur 120 km de galeries forestières a permis de dresser la carte de répartition actuelle des glossines, comparée à celle obtenue 14 années auparavant. La structuration génétique révélée à partir de marqueurs moléculaires microsatellites a indiqué des situations différentes d'échanges génétiques intrapopulationnels, sous-tendant des faciès épidémiologiques contrastés.
- Un recensement terrestre et exhaustif du cheptel bovin a été réalisé (801 concessions, 16 500 bovins).
- La dissection fine des glossines renforcée par les outils moléculaires (PCR) sur les organes trouvés infectés a permis de dresser la carte de distribution des glossines selon leur espèce, le sexe, l'âge, le niveau et la nature des infections (trypanosomes pathogènes ou non pathogènes).
- Chez les bovins, une enquête parasitologique et sérologique transversale (échantillon de 1 035 bovins) a confirmé la situation enzootique de la trypanosomose (11,5 % d'infections actives, 81,7 % de « cicatrices » sérologiques). De plus, un suivi longitudinal de troupeaux sentinelles a indiqué des interfaces spatiales et saisonnières très diverses entre glossines et bovins selon les typologies des producteurs et leurs pratiques pastorales.

Système agroécologique

- Les formations végétales riveraines, habitats de ces glossines, ont été décrites à travers 70 paramètres relevés au sol tous les 100 m pour aboutir à 5 classes d'architectures végétales et 8 classes d'architectures de cours d'eau. De plus, à partir d'une carte de l'occupation du sol obtenue par classification dirigée de l'image satellitale SPOT (1996), une approche paysagère intégrant la galerie dans sa vallée (tampon de 600 m), a abouti à une cartographie avec 8 unités de paysages (logiciel d'analyse de textures PAPRI).
- La même démarche appliquée à l'emprise agricole de la zone a permis de visualiser 3 zones d'occupation de l'espace différente. Une série temporelle d'images satellitales (LANDSAT 1976 – SPOT 1996) a montré l'évolution historique de l'occupation agricole et donc les modes de gestion de l'espace.
- En outre, l'étude physiographique (en particulier les « terrasses jaunes ») a expliqué la localisation plus ou moins proche du parcellaire cultivé par rapport au lit de certaines rivières avec des conséquences sur les densités de glossines.
- Une typologie des points d'eau (250 points d'abreuvement du bétail) a été mise en relation avec leur niveau de fréquentation par les bovins.

Système socioéconomique

- Les 14 ethnies présentes ont été classées en 3 groupes (autochtones, allochtones, Peuhls), avec prise en compte de leur ancienneté, de la détention de bovins et de l'emprise agricole, confirmant la pertinence du découpage agroécologique précédent et montrant un front pionnier très actif d'installation Mossi à l'est.
- L'analyse des systèmes d'élevage par questionnaire a montré une grande disparité de taille des troupeaux bovins (gros troupeaux Peuhls, nombreux petits troupeaux autochtones et Mossi) avec une densité maximale de bœufs de traction dans le front Mossi.
- Le traitement statistique par analyses multivariées des systèmes de production (identification et caractérisation) a permis d'identifier trois populations (Peuhls, Mossi, autochtones) avec des sous-groupes (analyses intra-classes), qui tendent tous vers une activité d'agroélevage, dont une représentation spatiale a été établie.

Mise en relation des informations spatiales par SIG

- Le contrôle de la cohérence de toutes ces informations d'origines et de domaines différents a été entrepris grâce à un modèle conceptuel de données (MCD) permettant une représentation des données du système d'information et une définition des dépendances fonctionnelles entre elles. Dix bases de données thématiques ont été reliées à une base maîtresse, à partir de laquelle les requêtes (interrogations) ont été effectuées.
- Les relations entre les 3 grands systèmes décrits ont été alors établies à travers un SIG pour décrire, analyser et prédire le fonctionnement du système pathogène par rapport à son environnement global.
- À partir des nombreuses variables environnementales relevées au sol, une recherche a été faite des facteurs discriminants de présence des deux espèces de glossines pour aboutir à une typologie des biotopes en relation avec les densités de glossines et enfin aux habitats les plus favorables.
- Ces données de terrain, mises en relation avec les paysages riverains identifiés par analyse de l'imagerie SPOT, ont permis une segmentation originale du réseau hydrographique en 8 classes de fréquentation par les deux espèces de glossines à une échelle fine.
- L'étude diachronique (1982-1996) des pressions anthropiques sur les « paysages agricoles » et sur les « paysages à glossines » a été reliée à la distribution et aux densités relatives des deux espèces de glossines. En particulier, la distance cultures-galeries, elle-même dépendante des profils morphopédologiques, s'est révélée positivement corrélée aux densités de glossines.
- A travers les relations entre lieux de stabulation et lieux d'abreuvement des bovins, une représentation inédite des « zones d'influence » (emprise spatiale des bovins) a été établie. Les densités de bovins relevées par enquête au sol, associées à cette modélisation des déplacements des troupeaux et à l'emprise agricole, ont confirmé les corrélations élevées entre fortes densités de culture et fortes densités de bovins.
- Enfin, une modélisation des zones à risque sur le réseau hydrographique (lieux de croisement entre « l'espace des glossines » et « l'espace des bovins ») a été abordée à partir d'une grille de combinaisons les plus favorables à la transmission. Le croisement de ces indicateurs a permis de visualiser les segments de réseau en fonction de l'intensité de rencontre bovins/glossines (« rendez-vous à risque »). Les résultats de la démarche ont été validés par confrontation avec les prévalences trypanosomiennes trouvées chez les glossines et chez les bovins de ces zones dangereuses.
- Chez les bovins de ces lieux, l'inversion du modèle a permis de représenter les prévalences parasitologiques et sérologiques de l'ensemble des troupeaux de la zone en fonction de leur occupation spatiale : l'espace trypanosomien apparaît structuré en fonction du réseau hydrographique et de l'occupation du sol (organisation « linéaire » parasitologique et diffusion « radiaire » sérologique).

- Un premier bilan d'indicateurs simples et accessibles a été dressé avec leurs limites et l'espoir de leur intégration dans des indicateurs synthétiques. La démarche montre déjà qu'il n'y a que 18 % (zones dangereuses) de réseau à traiter, ce qui autorise une lutte « ciblée ».
- Enfin, une revue synoptique de l'approche du risque trypanosomien montre l'évolution des concepts, des outils et des méthodes.

Dans le cas de ces pathologies à transmission vectorielle, il apparaît clairement que l'évaluation du risque nécessite une vision globale du processus épidémiologique et impose de s'intéresser à des thèmes qui dépassent le contexte bioécologique classiquement décrit. Le « système éco-sociopathogène » est ici abordé à différentes échelles, qui vont du « satellite au microsatellite » et avec la gamme des outils classiques et celle des outils les plus récents.

Les moyens modernes d'acquisition et de traitement des informations offrent un champ nouveau pour l'étude de ces maladies à vecteurs, mais aussi pour d'autres systèmes à transmission indirecte ou directe et pour d'autres thématiques.

Abstract

In sub-Saharan Africa, trypanosomoses (“sleeping sickness” in man and “Nagana” in livestock) continue to be a major threat to human and animal health. In the Sudan zone of West Africa, which is predominantly infested by two species of riverine tsetse flies (*Glossina tachinoides* and *Glossina palpalis gambiensis*), the parasite cycle can be interrupted by controlling these vectors using mechanical traps and/or live baits (livestock impregnated with insecticides). To ensure that control is compatible with the technical and financial capacities of rural populations, it has to be targeted as accurately as possible in spatial terms. This consideration has guided the approach presented here.

On 1300 km² of an agro-pastoral zone of Burkina Faso, the study set out to explain how the parasite system (trypanosomes/tsetse flies/hosts) functioned relative to its environment, in order to identify high-risk areas.

Health/Environment relations were studied by collecting georeferenced information on parasitic, agro-ecological and socio-economic systems; these were examined with a Geographic Information System (GIS).

Parasitological system

- A very detailed entomological survey (one trap/100 m; 3600 tsetse flies) covering 120 km of gallery forest was used to produce a map of current tsetse fly distribution, relative to the pattern obtained 14 years previously. The genetic structure of the populations, identified from microsatellite molecular markers, indicated different situations of genetic exchange within-populations, underlying contrasting epidemiological situations.
- An exhaustive ground-based survey of the cattle herd was conducted (801 concessions; 16,500 head).
- A detailed dissection of tsetse flies, combined with molecular studies (PCR) of organs found to be infected, was used to produce a map of tsetse fly distribution categorised by species, sex, age, and degree and type of infections (pathogenic or non-pathogenic trypanosomes).
- In cattle, a cross-sectional serological and parasitological survey (sample of 1035 head) confirmed the enzootic situation of trypanosomosis (11.5% active infections; 81.7% serological “signatures”). Moreover, longitudinal monitoring of sentinel herds suggested very diverse spatial and seasonal interfaces between tsetse flies and cattle, depending on the typology and grazing practices of the producers.

Agro-ecological system

- The riverine vegetation in which such tsetse flies live was described through 70 parameters recorded from the ground every 100 m, resulting in five vegetation structures and eight watercourse structural types. In addition, based on a land cover map obtained by supervised classification of a SPOT satellite image (1996), a landscape-based approach integrating the gallery forest into the valley (600 m buffer) resulted in a map with eight vegetation landscape units (PAPRI texture analysis software).
- The same approach was applied to the impact of agriculture on the zone, enabling the delineation of three different land use zones. A time series of satellite images (LANDSAT 1976 – SPOT 1996) demonstrated the historical changes in agricultural land use, and hence in land management methods.
- In addition, a physiographic study (particularly of “yellow terrace” areas) explained why cultivated plots were more or less close to the bed of certain rivers, with consequences for tsetse fly population density.
- A typology of drinking places (250 livestock drinking places) was linked to the frequency of visits by cattle.

Socio-economic system

- The 14 ethnic groups in the area were divided into three groups (natives, immigrants, Fula), taking into account how long they had been in the area, whether they owned cattle, and their agricultural impact. This confirmed the relevance of the above agro-ecological classification and revealed a very active pioneer front of Mossi settlers in the East.
- An analysis of animal production systems using a questionnaire revealed a wide range of cattle herd sizes (large Fula herds, numerous small native and Mossi herds), with maximum draught cattle density along the Mossi pioneer front.
- Multivariate statistical analysis of the production systems (identification and characterization) revealed three populations (Fula, Mossi, natives) with sub-groups (within-class analyses); they all tended to combine agriculture with animal production. A map of the spatial distribution of these groups was established.

Linkage of spatial information by GIS

- Collation of all this information from various origins and fields was checked with a conceptual data model (CDM) which facilitated the representation of information system data and the definition of functional dependencies among variables. Ten thematic databases were linked to a master base, from which requests (queries) were made.
- The relations between the three main systems described were established using a GIS to describe, analyse and predict the functioning of the pathogen system in relation to its overall environment.
- Based on the numerous environmental variables recorded from the ground, the next step was to identify the discriminating factors governing the presence of the two tsetse fly species, in order to establish a typology of biotopes in relation to tsetse fly population densities, and finally to identify the most favourable habitats.
- These field data, combined with the riverine vegetation landscapes identified by remote sensing analysis (SPOT images), allowed an original division of the hydrographic network into eight classes according to the frequency of occupation by the two tsetse fly species, on a detailed scale.
- A multi-temporal study (1982-1996) of human pressure on “agricultural landscapes” and “tsetse fly landscapes” was linked to the distribution and relative densities of the two tsetse fly species. In particular, the distance between crops and gallery forest, which itself depended on the morpho-pedological profile, proved to be positively correlated with tsetse fly density.
- From relationships between cattle stabling and drinking points, a new representation of “impact zones” (spatial impact of cattle) was established. The cattle densities identified by ground-based surveys, combined with herd movement and agricultural impact models, confirmed the close relationship between high crop densities and high cattle densities.
- Furthermore, the high-risk zones of the hydrographic network (meeting points between the “tsetse fly zone” and the “cattle zone”) were modelled using a grid of the combinations most favourable to transmission. The cross-linking of these indicators allowed visualisation of the segments of the network depending on the extent of cattle/tsetse fly encounters (“high-risk meeting points”). The results of this approach were validated by comparison with the trypanosome prevalence found among tsetse flies and cattle in these danger zones.
- Inversion of the model for cattle in these areas made it possible to represent the parasitological and serological prevalences of all the herds in the zone according to the area where they were found: the trypanosomosis zone appeared to be structured according to the hydrographic network and to land occupation (“linear” parasitological structure and “radial” serological structure).

- An initial assessment of simple, accessible indicators, and their limitations, was drawn up, with a view to integrating them into synthetic indicators. This approach has already shown that only 18% (danger zones) of the network needs to be treated, enabling “targeted” control.
- Lastly, a synoptic review of the approach taken concerning the trypanosome risk demonstrated the evolution of concepts, tools and methods.

In the case of these vector-transmitted pathogens, it is clear that evaluating the risk requires an overall vision of the epidemiological process and necessitates looking at topics beyond the classical bio-ecological context. The “eco-socio-pathogen system” is studied on different scales, ranging from “satellite to microsatellite”, and using the whole range of traditional and modern tools.

Modern data acquisition and processing systems, notably GIS, which can “cross-link” very diverse layers of data, have opened up new possibilities for studying vector-borne diseases, but also for other indirect or direct transmission systems and other topics.

Préface

Les protagonistes de ce travail collectif m'ont fait l'amitié de me demander de préfacier cet ouvrage ; c'est un honneur dont je m'acquitte avec plaisir car la « Mipa » ou Délégation production animale de la Direction scientifique du Cirad a effectivement, pendant plusieurs années, cru en cette initiative de recherche et soutenu les équipes qui ont porté ce travail collectif : quelques crédits incitatifs de la DS, dans le cadre d'une Action thématique programmée (ATP Cirad), ont ainsi pu contribuer à initier et soutenir cette opération ; ce fut fait à bon escient car les travaux de recherche menés sur le terrain en coopération avec différents types d'acteurs, ainsi que le document présenté ici, me semblent illustrer parfaitement le rôle de ce type d'appui qui vise précisément à stimuler de nouvelles démarches de recherche et à favoriser les interactions entre différentes équipes. Nous avons ici, en effet, une parfaite démonstration de l'efficacité de telles mesures incitatives bien ciblées avec, parmi les produits, cet ouvrage qui présente les résultats d'une approche originale, globale et pluridisciplinaire des relations entre l'environnement et une pathologie animale parasitaire à transmission vectorielle, les trypanosomoses animales.

Le projet pluriannuel de recherche qui nous est présenté dans cet ouvrage me paraît en effet exemplaire à plus d'un titre :

- Il concerne un sujet, les trypanosomoses animales, d'importance économique capitale dans certains pays parmi les plus pauvres ;
- Il a été conduit par des équipes du Nord et du Sud dans un cadre de coopération remarquable et très efficace, entre un terrain au Burkina Faso et divers laboratoires et équipes de recherche situés en Afrique et en Europe ;
- Il a concerné des équipes d'institutions diverses et notamment de très nombreux jeunes en formation (thèses, stages, apprentissages de techniques...) ;
- Il intègre des dimensions interdisciplinaires fortes et tout à fait novatrices sur un tel sujet et, à ce titre,
- Il contribue grandement à l'évolution des méthodes de recherche sur le terrain, et ces nouvelles démarches sont transposables à d'autres objets de recherche ;
- Il débouche sur des propositions d'action sur le terrain qui peuvent rendre beaucoup plus efficaces et économiques les interventions sur les maladies à transmission vectorielle, dans l'intérêt des éleveurs et des pays concernés.

DE QUOI S'AGIT-IL ?

Pour lutter contre les trypanosomoses animales, maladies parasitaires à transmission vectorielle, on a longtemps privilégié la lutte contre les vecteurs par différentes voies : épandages d'insecticides, lutte « génétique » par stérilisation de mâles, piégeage (écrans, pièges, leurres attractifs...), etc. Ces méthodes ont eu sur le terrain une efficacité variable selon les conditions locales ; la lutte intégrée qui les combine constitue un progrès qui permet théoriquement d'obtenir des résultats écologiquement acceptables pour réduire sensiblement le risque trypanosomien. Les coûts et l'échelle imposée pour de telles interventions posent néanmoins toujours de sérieux problèmes opérationnels pour les pays concernés, en Afrique sub-saharienne notamment. Il fallait donc trouver les moyens d'une lutte efficace qui passe par les populations locales puisque bien souvent les opérateurs institutionnels (services techniques, projets), pour une « éradication » classique, n'existent plus. La lutte devra donc désormais être mieux ciblée, ce qui passera par la mise en œuvre de moyens de contrôle simples, sur le terrain, par les populations rurales elles-mêmes.

L'équipe qui est à l'origine de ce projet a donc eu l'initiative d'une recherche originale pour identifier de façon plus précise les « zones à risque », c'est-à-dire les sites qui présentent les problèmes épidémiologiques les plus importants pour intervenir avec les populations concernées de façon plus ciblée, plus efficace et moins coûteuse, à une échelle locale.

LE CŒUR DE LA DÉMARCHE

Le système pathogène classique des trypanosomoses animales est décrit à partir des interactions entre les trois acteurs principaux :

- les vecteurs : les glossines ou mouches tsé-tsé,
- les parasites sanguins : les trypanosomes, et
- les hôtes : le bétail et la faune.

Pour étudier ce système pathogène dans son environnement, l'équipe a développé une approche interdisciplinaire très ouverte qui mobilise des observations de nature diverse à différentes échelles, « du microsatellite au satellite ».

La spatialisation des données et leur confrontation dans un système d'information géographique (SIG) sont donc centrales dans la démarche. Ces données sont très diverses : elles concernent le milieu naturel (hydrographie, végétation), les activités humaines d'agriculture et d'élevage (occupation du sol par les cultures, peuplements animaux et fréquentation des différents milieux, habitat humain), la présence des vecteurs, des parasites, etc. Ces données combinées dans le SIG permettent de mieux raisonner le risque trypanosomien dans l'environnement et de définir les zones à risques épidémiologiques sur lesquelles intervenir prioritairement.

De plus, le croisement de ces différentes couches d'information permet d'analyser et de mieux comprendre les dynamiques des foyers de maladie ; on réalise donc l'intérêt d'une telle démarche dans le contexte africain ; elle permet en effet d'utiliser de modestes moyens à bon escient pour lutter contre les trypanosomoses animales mais aussi contre la trypanosomose humaine à un moment où cette maladie reprend une actualité inquiétante.

Il faut aussi souligner les qualités didactiques de cette équipe qui nous livre un ouvrage remarquablement illustré, rendant très accessibles des démarches de recherche relativement complexes. La combinaison des différentes thématiques et des différentes échelles, qui est une originalité ici bien maîtrisée, est ainsi parfaitement illustrée.

La portée d'un tel travail est donc d'importance au plan des méthodes, au plan des résultats scientifiques et au plan des actions de développement qui en découlent pour améliorer la santé animale et l'économie des pays concernés.

La démarche proposée est aussi applicable à d'autres maladies chroniques ou émergentes et elle peut même trouver un champ d'application en Europe comme cela a été récemment observé avec des maladies émergentes telles que la *Blue tongue* ou ré-émergentes comme la fièvre de la vallée du Nil, *West Nile Fever*.

À Montpellier, novembre 2000

Philippe Lhoste, ingénieur agronome zootechnicien,
délégué scientifique Productions animales, direction scientifique du Cirad