

ANALYSE DE LA DYNAMIQUE DES SAVANES D'AFRIQUE DE L'OUEST: MECANISMES SOUS-JACENTS ET SPATIALISATION DES PROCESSUS (PROJET SALT: LES SAVANES A LONG TERME)

MENAUT J.C., PODAIRE A.

RESUME

Le projet SALT a pour objectifs de comprendre les mécanismes qui régissent la dynamique des savanes, d'identifier, de quantifier, de modéliser et de prédire les modifications de ces mécanismes sous l'effet de perturbations naturelles et humaines. Sur des sites disposés sur un gradient d'aridité croissante, les recherches intégreront travaux de terrain et perception satellitaire. Ils porteront sur: 1) l'analyse de la réponse des écosystèmes aux perturbations; 2) la détermination des seuils de perturbation au-delà desquels les écosystèmes sont irréversiblement modifiés; 3) l'étude des échanges d'énergie, d'eau, de CO₂ et de gaz-traces (rétroactions écosystèmes-climat); 4) la spatialisation des processus à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest. Le projet possède une forte vocation interdisciplinaire et s'appuie sur de nombreuses spécialités de l'écologie s.l. Il est mené en étroite collaboration avec des recherches atmosphériques (chimie, physique et météorologie).

Les savanes d'Afrique de l'Ouest (3 M km²) jouent un rôle important sur la circulation atmosphérique (flux d'eau, de gaz carbonique, d'oxydes d'azote et d'hydrocarbures). En retour, tout changement climatique entraîne une forte modification du fonctionnement des écosystèmes et des surfaces relatives occupées par les divers types de couverture végétale, naturels ou exploités. Plus importants encore seront les changements à venir dans le court terme, du fait de l'expansion démographique et de l'amélioration des modes de culture.

Les objectifs du projet sont de:

Identifier et analyser la réponse des savanes aux perturbations d'origines naturelle et anthropique: modification des processus et de la nature des systèmes;

Spatialiser l'ensemble des processus à l'échelle de l'Afrique de l'Ouest: variation de l'intensité des processus et de la surface relative des différents types de couverts végétaux; incidence sur le climat régional et rétroaction sur les écosystèmes;

Déterminer le rôle des savanes dans les échanges hydriques et gazeux (CO_2 , NO_x , C_xH_y) avec l'atmosphère.

Les savanes forment une entité fonctionnelle liée à l'équilibre herbes/arbres. La variabilité spatio-temporelle des conditions du milieu et la forte emprise humaine induisent une grande hétérogénéité des structures observées. Il importe donc d'utiliser: une approche comparative, expérimentale et modélisatrice :

Analyse détaillée des processus en cause: variations temporelles; rôle fondamental de la variance des phénomènes.

Prise en compte de l'ensemble des échelles spatiales (du site à la région): le passage à chaque niveau d'intégration écologique, les propriétés émergentes de chaque niveau.

Principe de non-linéarité de la réaction des systèmes écologiques sur le long terme.

Nécessité des études à long terme: processus lents, variables, subtils ou complexes; rôle déterminant des phénomènes épisodiques; importance de la prise en compte du passé.

ANALYSE DES PROCESSUS ECOSYSTEMIQUES

L'influence de la variabilité climatique sera analysée sur un gradient d'aridité croissante des savanes guinéennes au Sahel. Chaque site fera l'objet de recherches particulières liées aux caractéristiques édaphiques et végétales, et aux modes d'exploitation locaux (systèmes "naturels" vs. systèmes fortement anthropisés). Les paramètres-clefs des processus seront étudiés comparativement sur les 8 autres sites.

Gradient d'aridité croissante:

Lamto (Côte-d'Ivoire): savanes guinéennes; dynamique des flux de matière et des communautés végétales: des processus de base à la structuration du paysage

Ouango Fitini (RCI): savanes sud-soudaniennes; impact du feu, des jachères et du pâturage; l'hétérogénéité à l'échelle du paysage

Ouarkoye (Burkina Faso): savanes soudaniennes

Bidi (BF): savanes soudano-sahéliennes

Relations agro-sylvo-pastorales; analyse de l'hétérogénéité locale, de l'écosystème à la région

Banh (BF): savanes sahéliennes; agropastoralisme

Gourma (Mali): savanes sahéliennes; impact du pâturage; désertification

Bourem (Mali): savanes saharo-sahéliennes; désertification

Modifications longitudinales des effets climatiques:

Souilène (Sénégal): savanes sahéliennes intensément pâturées

Bidi, Banh (BF; savanes soudano-sahéliennes)

Niamey (Niger): savanes sahélo-soudaniennes, fortement anthropisées; relations agropastorales

PROCESSUS ETUDIÉS

Echanges sol-végétation-atmosphère

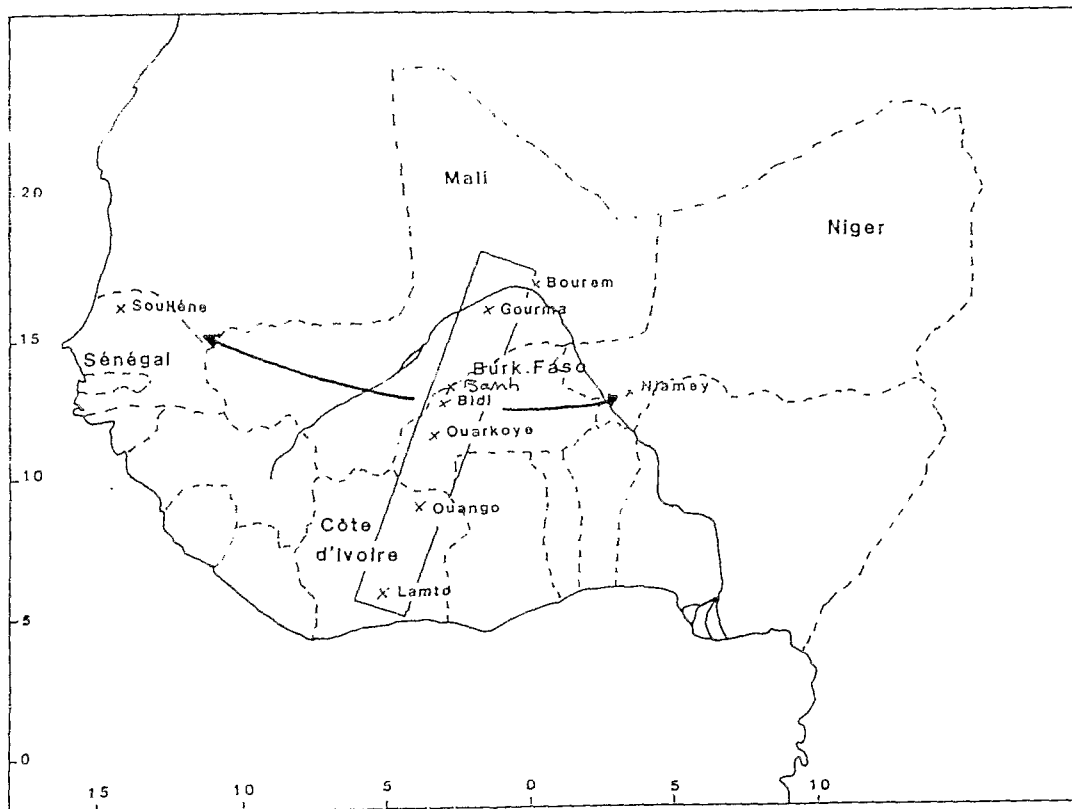
Décomposition et constitution de la matière organique des sols: dynamique de l'équilibre minéralisation-humification; cycle de l'azote.

Etat hydrique du sol; états de surface et érosion pluviale.

Processus de la production primaire épigée et hypogée par groupe fonctionnel de plantes.

Echanges CO_2 - H_2O aux niveaux du sol et de la végétation.

- Stocks et flux de carbone dans la végétation et le sol
- Bilans énergétiques, hydriques et radiatifs



Spatialisation des processus

Dynamique des populations végétales: équilibres annuelles-pérennes, herbes-arbres;

Structure des peuplements ligneux;

- Processus de structuration du paysage

Effets des perturbations (le feu, en particulier) *in natura* et expérimentales sur l'ensemble des processus précédents;

Création de la mosaïque végétale à l'échelle de la région: dynamique des systèmes naturels et exploités par l'homme (pâturages, défrichements et jachères)

Variation du fonctionnement de la mosaïque et de ses éléments en fonction du climat.

- Dynamique du système savane en réponse aux modes d'exploitation, aux perturbations et aux changements climatiques

METHODES ET TECHNIQUES UTILISEES: LES PROBLEMES D'ECHELLE

Extension temporelle: intégration journalière, décadaire, mensuelle et annuelle des mesures

Extension spatiale:

- Etablissement de relations entre les types de végétation (composition, structure, biomasse) et les caractéristiques du sol: physico-chimie, matière organique (quantité, stabilité);
- Utilisation des méthodes de la géostatistique: moyennes pondérées, distributions de fréquence, relations multivariées, variogrammes et dimensions fractales;
- Etablissement de relations entre le complexe sol-végétation et les caractéristiques géomorphologiques et climatiques.

Variations spatiales et temporelles exprimées sous formes de modèles corrélatifs et mécanistes:

- le long du gradient (calage sur les 7 sites et sur quelques relevés-tests intermédiaires),

- sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest (les 2 autres sites et les données publiées).

On adaptera aux conditions de la savane les modèles disponibles sur:

- simulation du régime hydrique du sol;
- simulation du cycle de la production primaire en fonction de l'eau disponible;
- simulation de la décomposition, de la constitution et du renouvellement de la matière organique;
- simulation de la dynamique spatiale des ligneux (couplée à celle de la production herbacée);
- simulation de la succession végétale

Intégration dans un modèle générique de fonctionnement et de dynamique des savanes

APPROCHE SATELLITAIRE DE LA SPATIALISATION

Les indices de végétation différentiels normalisés (NDVI) peuvent être corrélés à la capacité d'interception du rayonnement photosynthétiquement absorbé (PAR) par les couverts végétaux, ce qui permet d'estimer la production primaire saisonnière et d'avoir un accès aux flux de CO_2 . Il y a donc possibilité de lier les NDVI, l'albédo et la température de surface accessibles par des données spatiales et d'en déduire des comportements-type en fonction des contraintes climatiques à l'échelle globale. Le projet imbriquera étroitement:

- les mesures de terrain: établissement de relations entre les caractéristiques du sol (état de surface) et du couvert végétal (structure, indice foliaire, biomasse) et les mesures radiométriques au sol;
- les images à haute résolution (relations radiométriques et superficie des différents milieux).

L'analyse stratifiée des images en fonction des classes retenues permettra:

- l'estimation à l'échelle régionale de la production primaire nette et son suivi saisonnier et interannuel;
- la validation des données spatiales.

L'approche globale (NOAA/AVHRR) sera couplée aux instruments plus fins que sont SAR, TM et SPOT (sur sites et dates échantillons) afin d'étudier la signification de paramètres locaux à une plus vaste échelle. La spatialisation se fera donc à deux niveaux:

- intégration de l'hétérogénéité locale dans une image de synthèse,
- extrapolation à l'échelle de la région et de l'Afrique de l'Ouest.

L'objectif est d'utiliser les données spatiales pour:

- réaliser des cartes de la production primaire terrestre aux échelles locales et régionales (Afrique de l'Ouest);
- estimer les flux de CO₂ échangés entre le sol et l'atmosphère, en particulier sa fixation par la végétation et sa libération par les feux de brousse;
- réaliser des cartes de l'évolution du mode d'occupation des terres (zones pâturées, cultivées, en jachère ou inexploitées).

RESULTATS ATTENDUS

Grâce à l'analyse comparée des effets de la variabilité climatique et des perturbations sur chaque site, le projet devrait contribuer à une meilleure compréhension des modalités du fonctionnement global des savanes d'Afrique de l'Ouest et de leurs échanges avec l'atmosphère. Il devrait également fournir une série de scénarios de l'évolution de ces savanes sous l'effet des changements à venir

- Modèle générique de fonctionnement des savanes
- Cartographie régionale de variables-clefs à différentes échelles d'espace et de temps:
 - indices de végétation,
 - flux de carbone (+ CO₂ et gaz trace)
 - évapotranspiration,
 - albédo et bilan radiatif,
 - rugosité de surface (sol, végétation, cultures).

POSITION INTERNATIONALE DU PROJET

Le projet s'inscrit dans la problématique de trois grands programmes internationaux qui ont choisi les savanes d'Afrique de l'Ouest comme une région-test d'application:

I. RESPONSES OF SAVANNAS TO STRESS AND DISTURBANCE (IUBS-UNESCO/MAB)

II. PRIMARY PRODUCTION AND ORGANIC MATTER CYCLING (SCOPE)

III. INTERNATIONAL GEOSPHERE-BIOSPHERE PROGRAMME (ICSU)

Ce projet sera également mené en collaboration avec divers groupes internationaux:

- Conservatoire et Jardin botaniques de Genève, Suisse
- Max Planck Institut für Chemie, Mainz, RFA
- GIMMS du NASA/GSFC, Greenbelt, USA
- Dept. Environ. Sci., Univ. Virginia, Charlottesville, USA
- Natural Resources Lab., Univ. Colorado, Fort Collins, USA
- Dept. of Wildlife & Ecology, CSIRO, Canberra, Australie
- Res. Sch. Biol. Sci., Austr. Nat. Univ., Canberra, Australie

LISTE DES LABORATOIRES PARTICIPANTS (contact)

Laboratoires français

- Lab. d'Ecologie, E.N.S., Paris (J.C. Menaut)
- L.E.R.T.S., CNES, Toulouse (A. Podaire)
- Lab. Biogéoch. Isotopes Stables, Univ. Paris VI, (A. Mariotti)
- Lab. IMAGEO (GDR 103), Paris (F. Cuq)
- Lab. d'Ecologie Végétale, Univ. Paris XI, Orsay (B. Saugier)
- I.E.M.V.T., Maisons-Alfort (J. César)
- Lab. de Zoologie, Univ. Paris XII, Créteil (C. Rouland)
- ORSTOM, Lab. de Pédologie, Bondy (C. Valentin)
- ORSTOM, Lab. de Télédétection, Bondy (M. Pouget)
- CEREG, Univ. Louis Pasteur, Strasbourg (J.P. Blanck)
- Lab. Ecophysiol. Plantes Four., INRA, Lusignan (G. Lemaire)
- Lab. Ecol. Microbienne, Univ. Lyon I, Villeurbanne (R. Lensi)
- CEFE-CNRS, Montpellier (sol: P. Bottner, modèles: S. Rambal)
- ENGREF, Montpellier (P. Couteron)
- ORSTOM, Montpellier (J.M. d'Herbes, G. Serpantié)
- IARE, Montpellier (A. Gerbe)
- ORSTOM, Centre de Dakar, Sénégal. (M. Grouzis)
- ORSTOM, Centre de Niamey, Niger (B. Monteny)

Programmes français menés en collaboration

Ces programmes sont étroitement complémentaires du projet proposé (voir annexes). Une coopération sera établie avec eux sur le terrain dès qu'ils seront opérationnels

Aérosols désertiques (G. Bergametti)
DECAFE (J. Fontan) (collaboration établie, cf annexe II.2)
HAPEX - Niger (M. Hoepffner)
Modèle de circulation générale (K. Laval)
Paléoécologie (R. Bonnefille)

Institutions et laboratoires africains

Tous les travaux de terrain et d'interprétation des données seront menés en étroite collaboration avec les équipes africaines intéressées. Dans la première phase de développement du projet, une collaboration bilatérale est déjà en place sur la base des conventions établies entre équipes africaines et françaises pour les différents sites d'études (travaux en cours). Par sa vocation régionale et par ses liens probables avec l'Observatoire du Sahara et du Sahel, le programme SALT devrait intéresser de nouvelles équipes nationales avec lesquelles des contacts sont en cours d'établissement.

ANNEXES

ANNEXE I. Mise au point d'une méthodologie d'estimation de la biomasse passée des diverses formations de savane

On connaît les grands traits de l'histoire climatique et végétale de l'Afrique de l'Ouest. Des travaux plus approfondis devraient permettre d'obtenir une meilleure connaissance de l'évolution spatiale et temporelle des limites Forêt-Savane-Désert, ainsi que de la surface occupée par le biome savane au cours du dernier grand cycle climatique.

Les techniques palynologiques classiques ne permettent cependant pas de définir les limites internes des diverses formations de savane, de reconstituer leur structure et donc de fournir une estimation, même approximative, de leur biomasse. Une méthodologie nouvelle, alliant aux méthodes de la palynologie celles de l'écologie, doit être développée:

- Calibration végétation - pollens - matière organique. Calage des structures présentes sur les spectres polliniques actuels;

mise en relation avec la biomasse et la matière organique en place.

- Histoire des flores

- Histoire de la matière organique (C14, T δ C13) et du sol (processus pédogénétiques)

- Utilisation des modèles mis au point sur l'actuel pour tenter une reconstitution des biomasses passées

• R. Bonnefille, Laboratoire de Géologie du Quaternaire, CNRS, Marseille

• J.C. Menaut, Laboratoire d'Ecologie, ENS, Paris

ANNEXE II. Etudes atmosphériques

II. 1. Aérosols de savane

Le programme vise à étudier les modalités de l'érosion éolienne dans les régions de savanes sèches et à analyser la composition chimique et granulométrique des sols et des aérosols. Le transport et la déposition des particules seront modélisés et validés sur le terrain le long du transect utilisé pour les études écologiques. Ce programme complète très utilement les travaux sur le bilan des éléments minéraux en savane puisqu'il a été montré que, dans les savanes les plus éloignées des sites majeurs d'érosion éolienne, les eaux de pluies apportaient environ 20 kg d'azote par hectare et par an, dont 15 sous forme organique.

• G. Bergametti, Laboratoire de Physico-Chimie de l'Atmosphère, Université de Paris VII

II. 2. Programme DECAFE

Le volet savane de ce programme d'étude de la chimie de l'atmosphère en région intertropicale débute sur la station de Lamto (janvier 1991), avec une extension ultérieure vers le Nord. Une collaboration étroite a été mise en place tant pour l'analyse des effets des feux de brousse que pour l'étude des sources biogéniques de gaz-traces (composés de l'azote, du carbone et du soufre). Certaines mesures au niveau du sol et du couvert végétal seront menées en commun. Les analyses faites dans l'atmosphère (à différents niveaux) permettront une intégration spatiale des résultats de terrain.

- J. Fontan. Lab. Aérologie, Univ. Paul Sabatier, Toulouse (responsable DECAFE)
- J.P. Lacaux. Centre de Recherches Atmosphériques, Lannemezan (responsable DECAFE - Feux de savane)

II. 3. Programme HAPEX-Niger

Analyse des bilans hydriques, radiatifs et énergétiques sur une surface de 100x100 kms, composée de savanes naturelles et cultivées. Une étroite collaboration est prévue entre les deux programmes. Le site HAPEX-Niger fait l'objet d'une étude écologique (sol, végétation, bilans d'eau et de CO₂ au niveau du couvert végétal) menée, entre autres, par des participants au programme SALT. La complémentarité des deux programmes devrait dans une certaine mesure permettre une extension des résultats HAPEX à l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest, pour sa partie sèche tout au moins.

- M. Hoepffner, Dept. d'Hydrologie, ORSTOM, Montpellier

II. 4. Modèle de circulation générale

L'ensemble du programme (écosystèmes terrestres et atmosphère) couvre une vaste région qui, au-delà d'une forte hétérogénéité locale, présente une indéniable homogénéité fonctionnelle. Il se prête donc tout particulièrement à une articulation avec des travaux de climatologie régionale. Un modèle de circulation générale pour l'Afrique de l'Ouest, établi en liaison avec l'étude écologique des savanes et l'analyse chimique de l'atmosphère, serait une contribution majeure de la recherche française au programme IGBP.

- K. Laval. Lab. de Météorologie Dynamique, E.N.S., Paris

ANNEXE III. L'OBSERVATOIRE DU SAHARA ET DU SAHEL

Programme conjoint des Ministères des Affaires Etrangères et de la Coopération, "Observatoire du Sahara et du Sahel" a pour but d'analyser les phénomènes de dégradation des terres et d'y proposer des remèdes. Pour l'Afrique de l'Ouest tropicale, il s'appliquera à l'ensemble des savanes soudanaises et sahéniennes. Certains objectifs SALT correspondent à ceux en cours de définition de l'OSS.

- M. Bied-Charreton, Min. Affaires Etrangères, Paris

CONTRIBUTION AU PROGRAMME IGBP

La figure ci-après montre les liens qu'entretient le programme SALT, d'essence écologique, avec des projets d'étude de l'atmosphère. L'ensemble de ces travaux devrait permettre de mieux saisir la contribution de cette vaste région au bilan carboné (source vs. puits) et au climat du globe.

