



5

Le programme Hapex-Sahel

M. HOEPFFNER⁽¹⁾, J.P. GOUTORBE⁽²⁾, P. SELLERS⁽³⁾, A. TINGA⁽⁴⁾

⁽¹⁾ ORSTOM, BP 5045, 34032 Montpellier Cedex, France

⁽²⁾ CNRM, 42, Avenue G. Coriolis, 31057 Toulouse, France

⁽³⁾ NASA/GSFC, Greenbelt, MD 20 États-Unis

⁽⁴⁾ Université de Niamey, BP 10662, Niamey, Niger

Les interactions entre les surfaces continentales et l'atmosphère déterminent pour une part très importante les échanges d'énergie et d'eau qui constituent l'alimentation du système climatique. A l'heure actuelle, il est reconnu que les modèles mathématiques décrivant la circulation générale de l'atmosphère sont des outils essentiels pour étudier ces interactions. Les modèles les plus récents incluent une prise en compte du sol continental et de la végétation, permettant des échanges de vapeur d'eau, et d'autres constituants, avec l'atmosphère. Une description de ces échanges qui soit précise et détaillée ouvrira de nouvelles perspectives pour l'étude de nombreux problèmes climatiques, en particulier de ceux liés à d'éventuelles modifications de la couverture végétale du globe.

Un élément essentiel d'une telle stratégie globale passe donc par une amélioration et un test détaillé de la description des échanges à l'interface sol-atmosphère. Une validation directe à l'échelle globale est pratiquement impossible, par suite de la non-disponibilité de données globales, autres que celles issues de la télédétection spatiale, cette dernière technique ne donnant pas accès direct aux quantités et paramètres nécessaires.

Une étape intermédiaire s'avère donc nécessaire, qui consiste à réaliser des études expérimentales sur le terrain pour collecter l'ensemble des données nécessaires. De telles études expérimentales doivent prendre en compte les inhomogénéités naturelles des surfaces, et être organisées avec des emprises spatiales et des durées compatibles avec la taille de maille des modèles climatiques (c'est-à-dire environ 100 km) et le cycle saisonnier. Le Comité Scientifique Mixte du Programme Mondial de Recherche sur le Climat (*World Climate Research*

Programme, WCRP) a recommandé d'organiser de telles études expérimentales, et a forgé pour elles l'appellation HAPEX (*Hydrologic-Atmospheric Pilot Experiment*). De tels programmes incluent nécessairement d'importantes opérations de télédétection aéroportée et spatiale puisque, d'une part, la télédétection peut alors bénéficier de l'ensemble des données collectées comme « vérité-sol », et que, d'autre part, la télédétection est l'outil privilégié pour l'interpolation à l'intérieur de la zone d'étude et pour l'extrapolation des résultats à d'autres zones géographiques et climatiques.

De tels programmes doivent aussi prendre en compte les phénomènes liés à la végétation, en particulier au Sahel où le développement de la végétation et le bilan en eau disponible sont très étroitement couplés. HAPEX-SAHEL inclura donc de nombreuses études des processus liés à la végétation, et est ainsi une contribution au Programme International Géosphère-Biosphère (IGBP, ou *Global Change*).

Le concept expérimental a fait l'objet d'une première validation à l'occasion du programme HAPEX-MOBILHY (Modélisation du Bylan Hydrique), organisé en 1986 pour les conditions climatiques tempérées du sud-ouest de la France. Ce premier programme a fourni de nombreux enseignements, utiles en particulier pour l'organisation de futures opérations HAPEX. Il a aussi permis de rassembler une banque de données très complète pour l'étude des interactions sol-atmosphère en zones forestière et agricole aux latitudes tempérées, et a conduit à de notables améliorations des schémas paramétriques utilisés pour la description de ces interactions.

L'intérêt se porte donc maintenant vers les régions arides et semi-arides, très importantes pour l'étude du climat global, telles que la bande sahélienne.

HAPEX-Sahel, objectifs scientifiques

Le premier objectif de HAPEX-Sahel est de collecter une banque de données très complète, incluant des mesures des flux à l'interface sol-atmosphère (flux de quantité de mouvement, de rayonnement, de chaleur sensible et latente, de gaz carbonique), de même que l'ensemble des paramètres nécessaires pour représenter ces flux de façon paramétrique (paramètres de surface et du sol superficiel et plus profond, forçage atmosphérique). La particularité et la difficulté de cette étude sont liées aux échelles spatiales à prendre en considération, en liaison avec l'étendue de la gamme des échelles temporelles, allant de l'heure à la saison. De tels objectifs ne peuvent être atteints qu'en associant de nombreuses techniques expérimentales complémentaires.

Le deuxième objectif est l'obtention d'un jeu de données sur les écoulements de surface en zone aride. En effet les modèles de circulation générale prennent en compte les écoulements superficiels de façons très différentes, et les formulations utilisées restent à valider.

Le troisième objectif concerne l'interprétation des données issues de la télédétection spatiale, qui sont les indicateurs de l'évolution des phénomènes, et qui, correctement calibrées, pourront ensuite permettre de construire les jeux de données globaux nécessaires. Un autre objectif, plus technique, est l'étude des

corrections atmosphériques, particulièrement importantes et délicates dans ces régions.

La mesure des flux de vapeur d'eau et de gaz carbonique est un objectif central D'HAPEX-Sahel. Bien que les processus liés à la végétation doivent aussi faire l'objet d'études à plus longues échelles de temps, la combinaison d'une grande extension spatiale et d'une relativement courte échelle de temps fait D'HAPEX-Sahel un cadre intéressant pour nombre d'études d'intégration spatiale des processus biologiques.

La non-linéarité de la plupart des phénomènes à l'interface sol-atmosphère rend théoriquement impossible, en présence d'inhomogénéités, l'utilisation à grande échelle des lois établies à l'échelle locale. Le passage de l'échelle locale à plus grande échelle est donc une difficulté majeure, bien connue en modélisation climatique et en télédétection. L'étude de cette « intégration d'échelles », déjà abordée dans HAPEX-MOBILHY, reste un objectif important d'HAPEX-Sahel.

Schéma expérimental

Le site

La zone retenue est comprise entre les méridiens 2° E et 3° E et les parallèles 13° N et 14° N. Niamey, capitale de la République du Niger, est située sur la bordure occidentale de ce carré. Le climat, la pédologie et les infrastructures de cette zone ont fait l'objet de nombreuses études et documentations antérieures. Cette région particulière a été sélectionnée car elle permet d'atteindre les objectifs scientifiques du programme tout en présentant d'importants avantages :

- elle est typique d'une grande bande de latitude du Sahel, qui est par ailleurs une zone importante pour le climat global. Cette région est menacée par la désertification, à la fois par des causes naturelles et humaines;
- le climat y est caractérisé par une saison des pluies bien marquée, le « stress » hydrique faisant rapidement son apparition à la fin de la saison des pluies. Des conditions de stress intense y sont fréquentes, pour lesquelles la formulation de l'évapotranspiration présente des difficultés particulières;
- un fort gradient nord-sud des précipitations y induit une variation intéressante des conditions hydriques;
- elle est très bien adaptée pour la télédétection, le relief étant particulièrement peu marqué et la végétation relativement simple, avec seulement quatre types de couverture : mil, jachère, savanne, et brousse dégradée;
- le bilan hydrique et le développement de la végétation y sont très fortement couplés, même à courte échelle de temps (deux semaines);
- le forçage atmosphérique y est relativement simple, par suite de la bonne stationnarité du régime météorologique. Les régions côtières et montagneuses en sont éloignées et, au contraire de ce qui peut être rencontré en Europe, peu de phénomènes complexes de moyenne échelle s'y développent, à l'exception des lignes de grains;
- son régime hydrologique complexe, avec forte infiltration, écoulement de surface et importantes concentrations d'eaux, stagnantes dans certaines

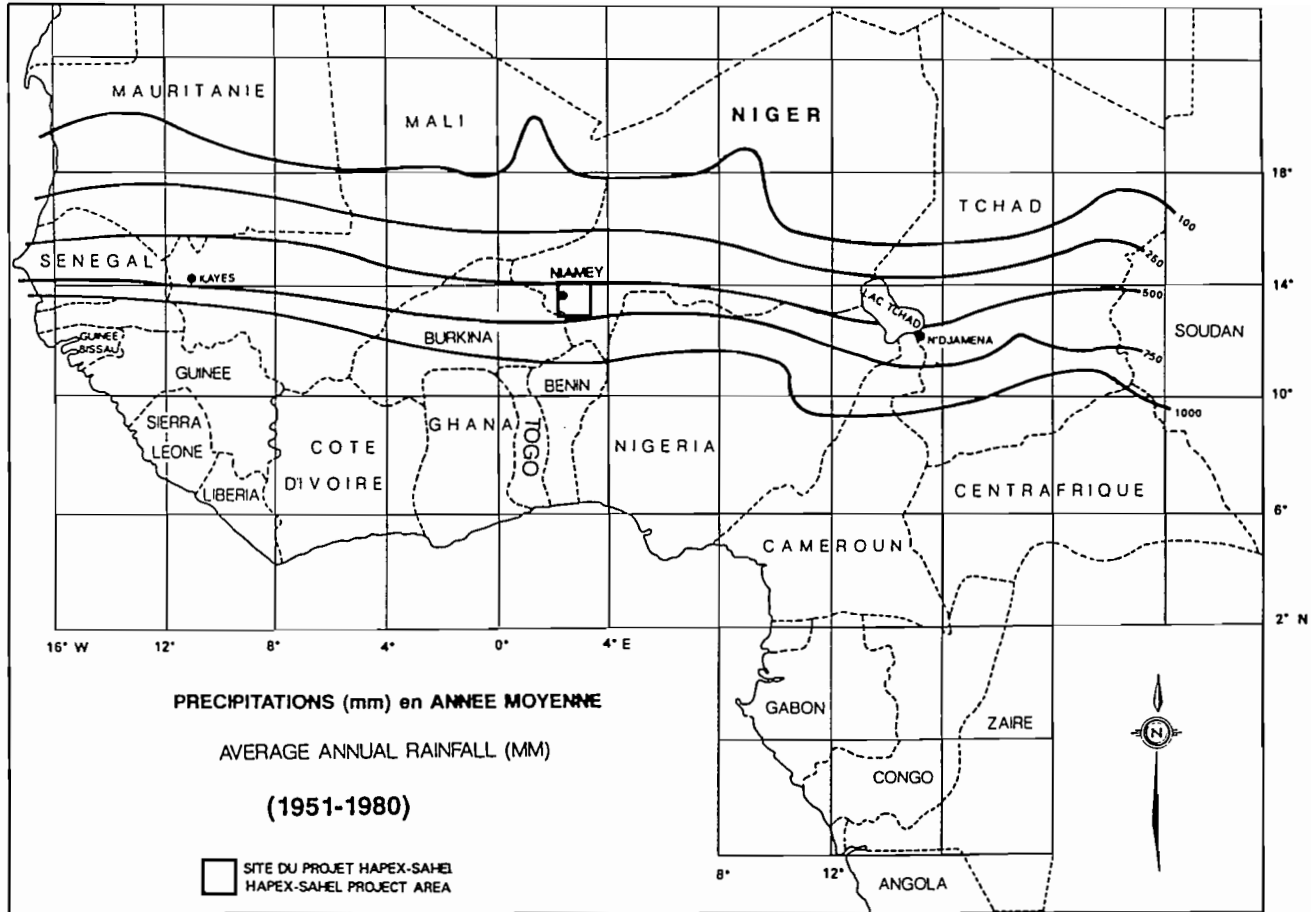


Figure 1.

parties, est caractéristique de l'ensemble du Sahel. La partition des précipitations entre évapotranspiration et drainage profond est un problème clé pour l'ensemble des régions sahéliennes.

Les caractéristiques décrites ci-dessus sont communes pour la plupart à l'ensemble de la zone sahélienne. Les arguments plus spécifiques ayant conduit au choix de cette zone particulière sont :

- l'existence d'organismes de recherche nigériens et internationaux à Niamey;
- la poursuite d'études telles que le projet EPSAT, pour lequel 60 pluviomètres à mémoire statique sont actuellement en fonctionnement, fournissant une partie de l'équipement nécessaire pour HAPEX-Sahel, et permettant la constitution d'une intéressante banque de données sur les précipitations;
- la réalisation d'études antérieures dans cette même zone, l'une par l'Institut d'Hydrologie du Royaume-Uni (*Institute of Hydrology*), l'autre conjointement par l'Institut National de Recherches Agronomiques, l'Institut de Recherche en Agronomie Tropicale et l'Université de Copenhague (Danemark);
- la disponibilité d'infrastructures et de moyens de transport.

Les équipements

Les moyens de mesure de base seront constitués par le réseau pluviométrique EPSAT complété par le radar hydrologique de l'aéroport de Niamey, par la station de radiosondage de Niamey et par l'ensemble des stations météorologiques de la zone. La couche de surface atmosphérique sera documentée grâce à un ensemble de stations météorologiques automatiques. Trois sites particuliers seront tout spécialement instrumentés pour les études des processus liés à la végétation, à l'évapotranspiration et à l'humidité des sols, ainsi que pour fournir les données de « vérité-sol » pour les études de télédétection.

Un premier site sera situé sur la rive ouest du fleuve Niger, près de Sadoré, et un autre vers le milieu de la zone, ce qui permettra de prendre en compte les différences de structures géologiques et hydrogéologiques entre les deux rives du fleuve. Le troisième site sera situé au nord, à proximité de Ouallam. Chaque site comprendra en outre, pour chacun des deux ou trois types dominants de végétation, des mesures du bilan énergétique de surface, de l'humidité des sols, des paramètres de la végétation, de la température de brillance et de la réflectivité bidirectionnelle. La plupart des mesures de flux turbulents seront effectuées par la techniques des corrélations, et les flux de gaz carbonique seront mesurés en quelques-uns des sites. Chacun de ces sites principaux sera géré de telle sorte qu'il conduise à l'estimation des flux à l'échelle de quelques kilomètres. Chaque site comprendra aussi un bassin versant instrumenté.

Le site central disposera d'une observation continue depuis le sous-sol jusqu'à l'atmosphère. Le dispositif expérimental inclura en plus des équipements mentionnés plus haut, un radiosondage pour le suivi des propriétés de la couche limite et le calcul des corrections atmosphériques et, si possible, un profileur de vent.

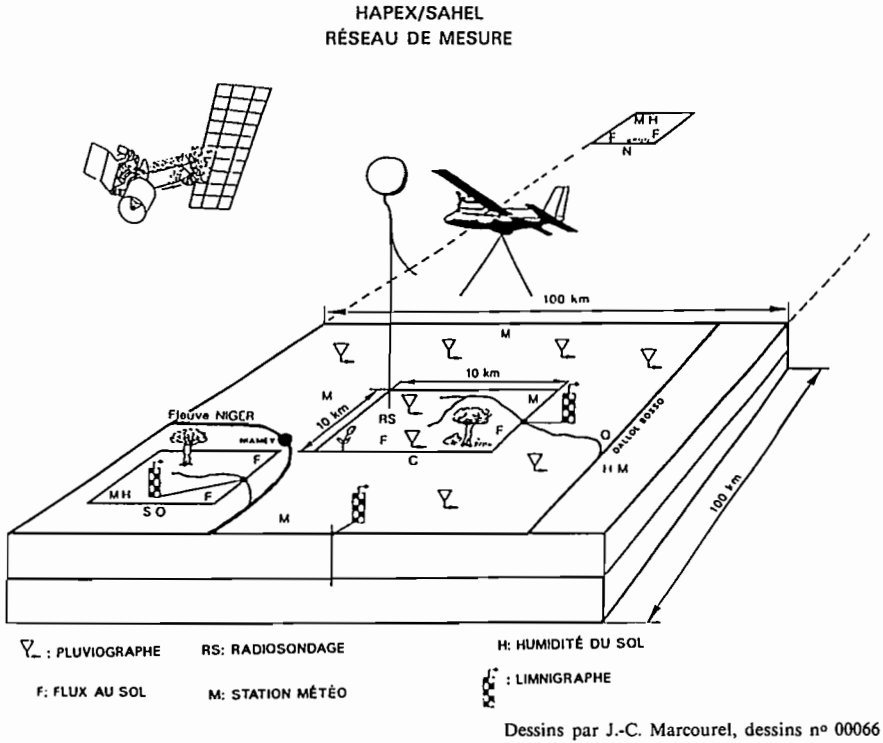


Figure 2.

La télédétection

On prévoit la participation de l'avion C-130 de la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*, Etats-Unis), son équipement de télédétection incluant un radiomètre multispectral opérant dans l'infra-rouge thermique (appareil dit « TIMS »), et un radiomètre hyper-fréquence. L'avion devra cartographier le gradient nord-sud des conditions de surface. La combinaison des informations temporelles aux trois sites, qui donnent aussi accès à ce gradient, et des données de l'avion de télédétection fournira la base expérimentale pour l'intégration d'échelles des flux. Des éléments complémentaires proviendront de la télédétection spatiale. Il est en effet prévu de cartographier l'albédo et la température de surface à partir des satellites géostationnaire METEOSAT et défilant de la NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*, Etats-Unis). Les données du capteur AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) des satellites de la NOAA seront utilisées pour cartographier l'indice de végétation. Des informations plus précises sur la couverture végétale et les conditions de surface seront obtenues à partir des satellites SPOT et LANDSAT (instrument dit « Thematic Mapper »). La

Programme Hapex-Sahel

méthode d'intégration d'échelles sera ensuite testée par comparaison avec des mesures aéroportées directes des flux turbulents, provenant de l'un ou de l'autre des deux avions français équipés pour ces mesures, soit le Foker-27 de l'INSU-IGN (Institut National des Sciences de l'Univers, Institut Géographique National), soit le Merlin de la Direction de la Météorologie Nationale (DMN).

La modélisation

Le programme HAPEX-Sahel inclura aussi de nombreuses activités de modélisation numérique.

- modélisation au sein de la végétation;
- modélisation unidimensionnelle verticale du complexe sol-végétation-atmosphère;
- modélisation atmosphérique de processus importants tels ceux associés aux contrastes d'humidité des sols dus à l'inhomogénéité spatiale des précipitations.

Cette partie du programme bénéficiera largement de l'expérience acquise durant HAPEX-MOBILHY.

Calendrier

Une proposition de plan expérimental détaillé sera disponible en mars 1990, et discutée lors de la réunion du groupe de coordination HAPEX-Sahel prévue pour les 19 et 20 juin 1990.

Une base de données historiques concernant la climatologie, l'hydrologie et la végétation sera élaborée courant 1990. Des scènes SPOT et LANDSAT seront acquises et traitées au cours de cette même année.

En 1991, les équipements et le dispositif des trois sites expérimentaux seront testés au cours de l'expérience « EFEDA » organisée en Espagne (région de Cuenca, La Mancha), sous l'égide du programme EPOCH de la Commission des Communautés européennes.

L'expérience proprement dite aura lieu en 1992, avec une période intensive d'observations programmée pour le début de la période d'assèchement, soit en septembre et octobre.

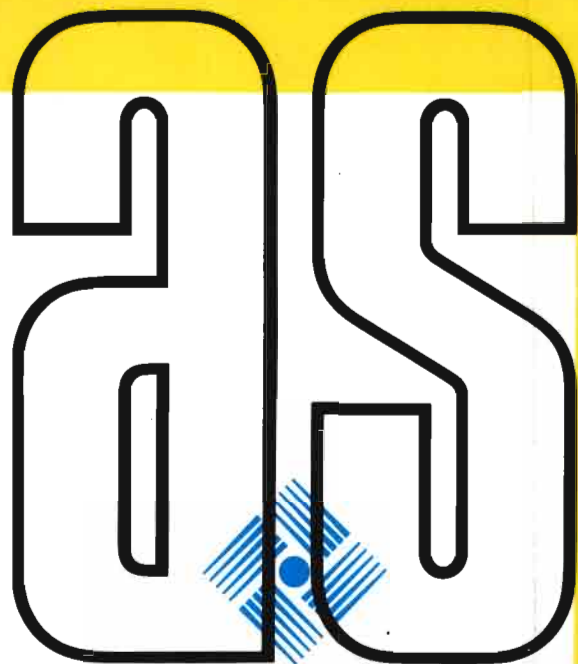
Organisation

Le programme est l'œuvre de scientifiques africains, européens et américains. Le Comité de Pilotage est dirigé par M. Hoepffner (ORSTOM) est composé de J.-P. Goutorbe (DMN/CNRM), P. Sellers (Université du Maryland) et A. Tinga (Université de Niamey). Des coordinateurs sont responsables pour chacune des parties du programme, avec à chaque fois un correspondant nigérien.

André Kergreis
Jacques Claude

**UTILISATION
RATIONNELLE**
de L'EAU
des
**PETITS
BASSINS
VERSANTS**
en **ZONE
ARIDE**

AUPELF



actualité scientifique

British Library Cataloguing in Publication Data

Kergreis, André

Utilisation rationnelle de l'eau des petits
bassins versants en zone aride.

1. Hydrology

I. Title

551.49

ISBN 0-86196-315-6

Editions John Libbey Eurotext

6, rue Blanche, 92120 Montrouge,
France

Tél : (1) 47 35 85 52

John Libbey and Company Ltd

13 Smith Yard, Summerley Street,
London SW18 4HR, England

Tél : (81) 947 27 77

John Libbey CIC

Via Spallanzani 11,
00161, Rome, Italy

Tél : (06) 862.289

© 1991, Paris

Il est interdit de reproduire intégralement ou partiellement le présent ouvrage — loi du 11 mars 1957 — sans autorisation de l'éditeur ou du Centre Français du Copyright, 6 bis, rue Gabriel-Laumain, 75010 Paris, France.

UTILISATION RATIONNELLE DE L'EAU DES PETITS BASSINS VERSANTS EN ZONE ARIDE

Journées scientifiques du Réseau
« Génie Para-Sécheresse » de l'UREF
organisées avec la collaboration
du Réseau Recherche Résistance à la Sécheresse (R3S)
et de l'Ecole Inter Etats d'Ingénieurs de l'Equipement
Rural (EIER)
EIER, Ouagadougou, 12-15 mars 1990

COORDINATION

André Kergreis

Jacques Claude

