

HAPEX-SAHEL

VERS UNE MEILLEURE COMPREHENSION DES MECANISMES DU CLIMAT

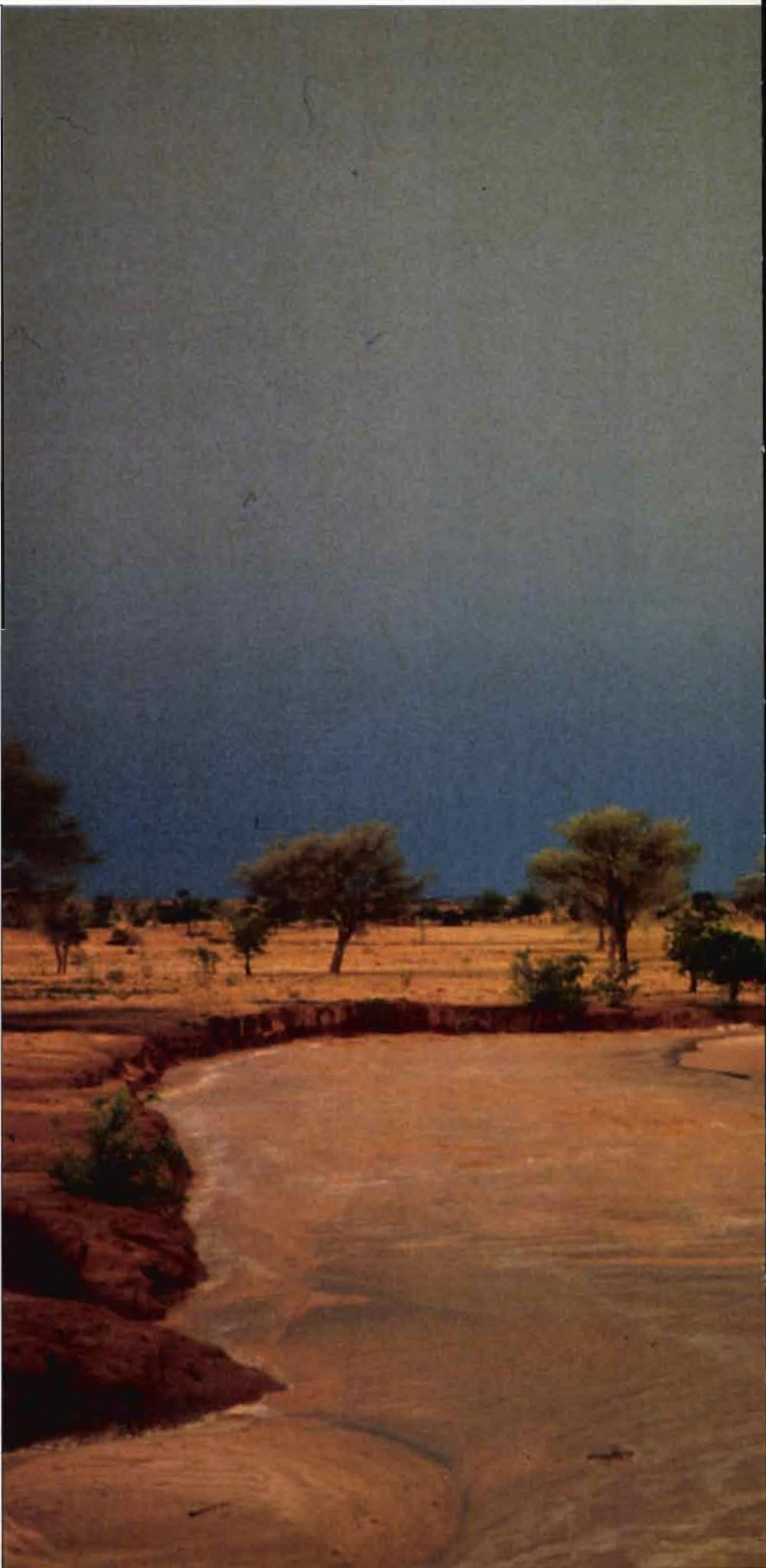


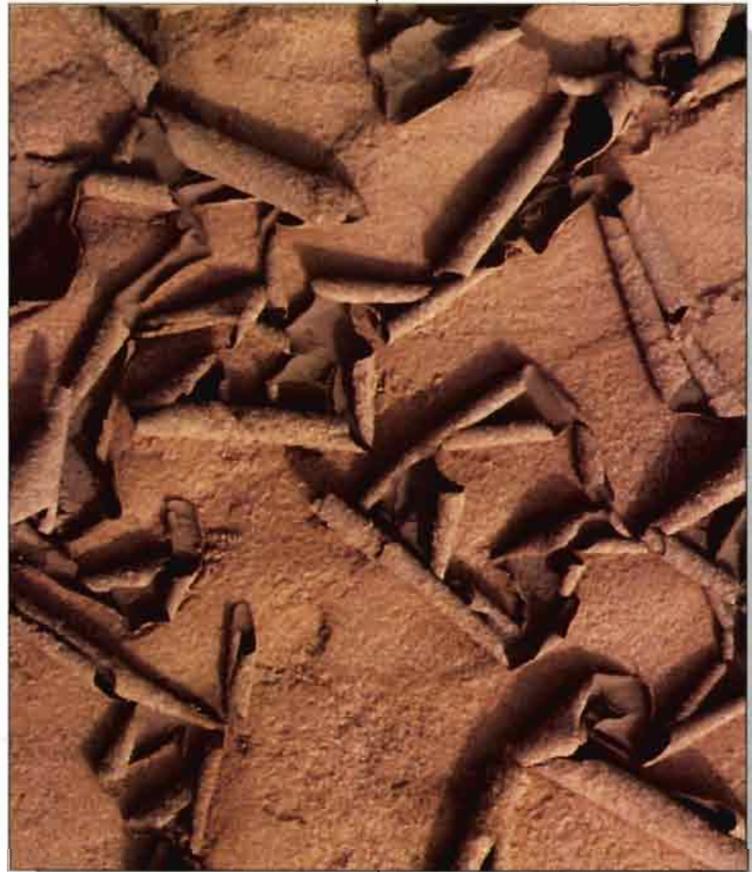
La compréhension des mécanismes du climat à l'échelle mondiale et leur modélisation à des fins de prévision météorologique ou climatique se heurtent à une connaissance insuffisante des processus qui contrôlent les échanges entre surfaces continentales et atmosphère. Cette méconnaissance est particulièrement marquée pour les régions tropicales qui constituent pourtant la source d'énergie principale du moteur de la circulation atmosphérique générale. Pour tenter d'apporter des éléments de réponse, une expérimentation lourde, Hapex-Sahel, a été conçue dans le cadre du Programme Mondial de Recherche sur le Climat. Le but d'Hapex-Sahel est d'acquérir, sur une surface représentative d'environ 10 000 km² en zone tropicale sèche, l'ensemble des paramètres contrôlant les échanges continent-atmosphère. Plus de 200 chercheurs, de 7 pays différents, ont participé au cours de l'été 1992 dans la région de Niamey au Niger, à une "Période d'Observation Intensive" (POI) de 8 semaines coordonnée par les chercheurs de l'Orstom et leurs partenaires nigériens. Cette POI, point d'orgue de l'expérimentation, est sans conteste une réussite opérationnelle ; il reste toutefois à en analyser les résultats scientifiques.

Instrumentation de la couche limite à partir de mâts de mesures micro-météorologiques.
Photo : T. Lebel

Le projet Hapex-Sahel (Hydrological and Atmospheric Pilot EXperiment in the Sahel) qui a été lancé aux alentours de Niamey (Niger) où la végétation régresse, regroupe des chercheurs d'une dizaine de pays. Ce programme s'intègre dans les actions menées sous l'égide du Programme Mondial de Recherche sur le Climat (PMRC) visant à améliorer la paramétrisation des conditions de surface et des processus hydrologiques dans les modèles climatiques. Il existe en effet des rétroactions fondamentales pour la stabilité des climats entre le "forçage" atmosphérique auquel sont soumises les surfaces continentales (rayonnement solaire, pluies et advection) et les variations des caractéristiques de ces surfaces. Une théorie, très discutée, soutient par exemple le principe d'une rétroaction progressive entre la modification des états de surface au Sahel, due au surpâturage et la baisse de la pluviométrie : la végétation se raréfie, entraînant une augmentation de l'albédo des sols (pouvoir réfléchissant), et donc un déficit du bilan radiatif favorisant une subsidence des masses d'air qui bloque la formation des précipitations, renforçant par là même la dégradation des couverts végétaux.

L'ensemble des modèles climatiques s'accordent pour prévoir une augmentation des précipitations aux hautes et moyennes latitudes comme première conséquence de la hausse de la teneur en CO_2 atmosphérique. En revanche ils divergent profondément sur le signe et la localisation des modifications aux basses latitudes. De plus une augmentation des précipitations en zone tropicale s'accompagne inévitablement d'une amplification de l'évapotranspiration réelle, puisque ces régions sont caractérisées par un fort déficit hydrique (sur l'année, l'évapotranspiration potentielle est globalement trois à quatre fois supérieure à l'évapotranspiration réelle). Comme la répartition de l'eau disponible pour la reprise par évapotranspiration résulte avant tout des processus hydrologiques de surface (répartition des précipitations, ruissellement) et souterrains (infiltration, stockage dans les sols et drainage profond), ce sont en fin de compte ces processus qui gouverneront le bilan final au sol (augmentation de la ressource en eau ou dessèchement) et pour l'atmosphère (contrôle du bilan radiatif et hydrique à travers l'évaporation). L'étude globale du cycle de l'eau continentale et de son couplage avec la circulation atmosphérique apparaît ainsi pour l'hydrologie comme un axe de recherche incontournable, qui devrait favoriser l'élargissement et le redéploiement de cette discipline.





Les eaux de ruissellement entraînent les particules d'argile qui se déposent et tapissent le fond des mares, contribuant à leur imperméabilisation. Lorsque l'eau a disparu, la pellicule d'argile ainsi formée se rétracte en séchant. Photo : T. Lebel.

AU COEUR DU SAHEL

La difficulté majeure à laquelle se heurte actuellement la modélisation météorologique et climatique est le fossé qui sépare l'échelle de variabilité des conditions de surface (parfois quelques m² et dans tous les cas moins d'un km²) de l'échelle d'intégration des modèles (découpage en mailles de quelques dizaines de milliers de km²). Pour combler ce fossé, au moins en partie, la composante expérimentale de Hapex-Sahel a eu pour objectif d'acquérir l'ensemble des paramètres conditionnant les échanges entre l'atmosphère et la surface terrestre, et ce sur toutes les échelles spatiales pertinentes allant de la parcelle à la maille de base des modèles climatiques. Pour ce faire, on a eu recours à une combinaison d'instrumentation au sol, aéroportée et satellitaire.

La zone choisie couvre un degré en longitude et un degré en latitude, soit 12 000 km². Elle se situe dans les environs immédiats de Niamey, au coeur du Sahel,

Les écoulements en cours d'eau sont éphémères. Au Sahel, les petits ruisseaux ne forment que rarement de grandes rivières. Photo : J.C. Desconnets.

qui constitue l'ensemble semi-aride le plus vaste de notre planète. Ce choix a été guidé à la fois par un souci de représentativité (pas de particularités locales marquées, peu de relief et pas d'influence océanique) et par des considérations logistiques.

Le programme comprend trois phases :

- une phase préparatoire qui s'est déroulée de 1988 à 1991, incluant la mise en place d'un dispositif au sol de suivi à long terme;
- une période d'observation intensive de 8 semaines en 1992 ; l'essentiel du dispositif au sol étant, lui, en place durant toute la saison des pluies ;
- une phase regroupant la fin du suivi à long terme (1993), la mise en place d'une banque de données et son exploitation.

Quatre grands thèmes scientifiques ont été identifiés :

- météorologie, couche limite (le milieu atmosphérique);
- flux et conditions de surface (échanges sol-atmosphère);
- hydrologie - humidité des sols (redistribution de l'eau par le milieu continental);
- télédétection (extension des résultats obtenus à l'ensemble de la région).

UN DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL ADAPTÉ

La stratégie expérimentale associe une période de suivi à long terme et une période d'observation intensive. L'idée directrice est d'étudier les processus d'échange pour chaque grande unité hydro-écologique composant la région, puis d'intégrer les flux correspondants sur l'ensemble de la zone, en prenant en compte l'importance de chacune de ces unités. Dans la pratique, ces unités ne sont pas uniformes et parfois imparfaitement délimitables, les observations aériennes permettant de discriminer les échelles de variabilité critiques afin de considérer une unité donnée comme homogène vue de l'atmosphère.

SUIVI À LONG TERME

La période de suivi à long terme (1991-1993) permet de caractériser les grandes unités de la zone expérimentale, de surveiller leur évolution temporelle, d'échantillonner la variabilité interannuelle, à travers l'étude des systèmes hydrologiques (mares, petits bassins versants), de la végétation, des sols, et de la micro-météorologie. Ce suivi concerne d'une part l'ensemble de la zone (pluviométrie, végétation, aquifères), d'autre part un site de 600 km², au centre du degré carré, (études des mares, renforcement de l'échantillonnage de la végétation et des pluies, micrométéorologie).

OBSERVATIONS INTENSIVES

Elles ont été regroupées sur la saison des pluies 1992, avec un temps fort (la POI, cf. encadré) au cours duquel les mesures sol étaient complétées par les mesures avion. Le dispositif au sol tient compte des particularités essentielles du milieu sahélien :

- la succession d'une saison sèche et d'une saison des pluies ;
- le gradient pluviométrique nord-sud ;
- la différenciation majeure entre zones de plateaux et de bas-fonds sableux ;
- l'existence de trois couverts végétaux principaux : les brousses arbustives de plateau (souvent organisées en "brousses tigrées"), les cultures de mil et les jachères des versants et bas-fonds ;
- la dégradation des réseaux hydrologiques, qui entraîne la prédominance des zones endoréiques de quelques hectares à quelques km². Celles-ci fonctionnent généralement de façon autonome, et communiquent entre elles en période de ruissellement exceptionnel ;
- la forte concentration d'aérosols (poussières en suspension, vents de sable) en saison sèche, influant sur le bilan radiatif et perturbant les mesures satellitaires (mise au point d'algorithmes adaptés au Sahel).



En conséquence, du point de vue temporel, l'accent est mis sur l'étude de la transition saison des pluies vers saison sèche, période au cours de laquelle la prédominance des flux de chaleur latente est progressivement remplacée par celle des flux de chaleur sensible. On définit des "supersites" de quelques centaines de km², répartis selon un gradient nord-sud, sur l'ensemble desquels on suit en détail la végétation et la pluviométrie ; ces supersites bénéficient d'une couverture aérienne régulière et systématique durant la période d'observation intensive. On choisit sur chaque supersite des zones de végétation homogènes étendues (au moins 1 km² dans la mesure du possible) pour obtenir des mesures de flux pertinentes et représentatives de ces surfaces. On utilise également ces zones pour effectuer des études fines des états de surface et des mesures radiométriques au sol destinées à valider localement l'imagerie satellitaire. Les mâts de mesures micrométéorologiques installés à l'intérieur de ces zones homogènes définissent des WABs, néologisme désignant la surface entourant le mât et influençant les paramètres qui y sont mesurés (de l'ordre de quelques ha). Sur ces WABs un suivi intensif de l'évolution du stock hydrique des sols est jumelé aux mesures micrométéorologiques. Le programme hydrologique se focalise sur l'étude des mares en tant que systèmes de concentration des eaux, stockage superficiel favorisant un retour rapide vers l'atmosphère, et, dans certains cas, lieux privilégiés d'infiltration. En ce qui concerne la télédétection, une attention particulière est portée au problème des aérosols (missions avion par temps de brumes sèches) et à celui du faible recouvrement végétal (réflectance différente des sols nus). L'intégration spatiale sur l'ensemble de la zone d'étude repose sur le dispositif de suivi à long terme, complété pendant la POI par des survols aériens sur des grands transects et par un réseau de 12 stations météorologiques automatiques couvrant le degré carré.

L'ORSTOM DANS HAPEX-SAHEL

L'Orstom et ses partenaires nigériens jouent un rôle clé aussi bien sur le plan opérationnel que sur le plan scientifique. D'une part l'implantation et la coordination des activités expérimentales au Niger sont sous la responsabilité d'un chercheur de l'Orstom, d'autre part l'essentiel du programme hydrologique et du suivi à

Les réseaux hydrographiques ne sont généralement plus fonctionnels au Sahel. Les eaux qui ruissellent en surface lors de pluies brèves mais intenses sont collectées dans des dépressions où elles forment des mares. Certaines sont des points de recharge privilégiés des nappes et s'assèchent en conséquence rapidement. Photo : J.C. Desconnets.

long terme (végétation, pluviométrie, aquifères) sont assurés par des équipes de l'Institut. De même un des trois "supersites" (le site central est) est géré par l'Orstom, ce qui là aussi implique des responsabilités scientifiques (coordination des activités d'une quinzaine d'équipes, dont la moitié est extérieure) et logistiques. Les équipes Orstom sont intervenues massivement dans deux des quatre grands domaines thématiques de Hapex-Sahel :

- hydrologie - humidité des sols (pluviométrie, écoulements, aquifères, hydrodynamique des sols)
- flux - conditions de surface, (caractérisation du milieu et mesures micrométéorologiques). La participation aux études de télédétection a été moins importante, mais a notamment permis d'aboutir à la constitution d'une carte des états de surface à partir des photos SPOT et d'une campagne extensive de validation terrain. Enfin l'Orstom participe au développement de la banque de données "HSIS : Hapex-Sahel Information System" en collaboration avec le LERTS et le CNES. L'ensemble des données de Hapex-Sahel sera disponible sous forme d'un CD-ROM, dont l'Orstom est coéditeur ■



Certaines mares sont des points de recharge privilégiés des nappes et s'assèchent en conséquence rapidement. D'autres au contraire restent en eau durant toute la saison des pluies et disparaissent progressivement durant les premiers mois de la saison sèche, l'évaporation est alors dominante sur l'infiltration. Photo : J.C. Desconnets.

Thierry Lebel
Département "Eaux Continentales" UR
"Etude et gestion des ressources en eau"
Bruno Monteny
Département "Terre, Océan, Atmosphère"
UR "Continent, atmosphère, séries climatiques"
Abdoulaye Tinga
Département de Physique
Université de Niamey.

Climate dynamics in the Sahel

One major obstacle to understanding mechanisms on a world scale and modelling for forecasting purposes is our inadequate knowledge of the processes that control land-atmosphere exchanges. Information is particularly lacking in tropical regions - which are precisely the regions that power the Earth's atmospheric circulation. As part of the World Climate Research Program, therefore, ten countries are involved in Hapex-Sahel, the Hydrological and Atmospheric Pilot Experiment in the Sahel. Such a study is doubly important since there are many questions still to be answered regarding the interactive effects of overgrazing and drought in the region, rising levels of atmospheric CO₂, and the global climate. Hapex-Sahel, in which Orstom and its partners in Niger have been playing a key part, focuses on 12,000 km² around Niamey, an area which is fairly representative of the dry tropics. The experiment seeks to cover all the factors that determine land-atmosphere

exchanges (vegetation, rainfall, surface and ground water etc.) and to do so on different scales, so as to bridge the gap between localized variations in rainfall and vegetation, for example, and the much larger scale of existing climatic models. The four main themes concerned are meteorology, surface conditions and flows, hydrology and remote sensing (extending findings to the whole region). There are three stages to the experiment. The preparatory phase took place in 1988-91: a network of ground-based instruments was installed, and long-term monitoring began in 1991. Then, in 1992, came a period of intensive observation, overlapping between the rains and the dry season and focusing on three smaller areas, chosen to take account of spatial variations in a number of factors. Phase Three includes the end of the long-term monitoring, creation of a data bank and analysis of the data. All the data will be available on a CD-ROM, of which Orstom is a co-publisher.



La saison des pluies 1992 sur le degré carré de Niamey (110x110 km). On remarque les gradients locaux très marqués. Le cumul minimum annuel est de 380 mm et le maximum de 780 mm.

La période d'observation intensive

La période d'observation intensive constitue le cœur de la phase expérimentale de Hapex-Sahel. Elle s'est étendue sur 8 semaines entre le 17 août et le 9 octobre 1992, c'est-à-dire à cheval sur la fin de la saison des pluies et le début de la saison sèche. C'est au cours de cette période que l'on passe d'une situation où les flux de chaleur latente sont dominants (présence d'eau disponible pour l'évaporation) à une situation où l'essentiel du rayonnement atmosphérique reçu est réémis sous forme de chaleur sensible. Le dispositif de mesures au sol étant pour l'essentiel déjà opérationnel fin juillet, la POI est surtout assurée par la présence des avions équipés pour les mesures de flux et de télédétection. Cinq avions ont opéré durant la POI : trois avions lourds spécialisés (d'une part le Fokker 27, "ARAT", de l'INSU-CNES-Météo France et le Merlin IV de Météo France, d'autre part un C130 de la NASA), et deux avions légers,

basés au Niger (le Piper Saratoga de la Sudan Interior Mission, équipé pour des mesures de télédétection par l'équipe de l'Université du Maryland, et le Cessna 185 de la Direction de la Protection des Végétaux, équipé et mis en oeuvre par l'Orstom pour des photos aériennes). La télédétection aéroportée (C130, ARAT avant le 20 septembre, Saratoga) permet de compléter les informations satellitaires. On utilise les mêmes capteurs mais avec une meilleure résolution du fait de l'altitude de vol plus basse, soit des capteurs différents, testés avant d'être embarqués sur les missions satellitaires du futur (c'est le cas en particulier des radiomètres micro-ondes). Dans Hapex-Sahel, les mesures micro-ondes ont été particulièrement riches, le C130 et l'ARAT effectuant des missions conjointes de mise en oeuvre des radiomètres PBMR et PORTOS, couvrant une gamme de longueur d'ondes qui va de 1,4 à 90,5 GHz, selon plusieurs plans de polarisation. Le couplage des vols avion avec les passages du satellite ERS1 et une validation sol intensive, a produit un jeu de données unique à ce jour, qui permettra d'étudier les algorithmes de calibration des mesures ERS1, et fournira des indications précieuses sur la répartition spatiale de l'eau en surface des sols au Sahel.

Avant la saison des pluies, la végétation est rare en raison notamment de la pression anthropique croissante. La rotation des terres s'accélère ce qui réduit la durée de vie des jachères et accroît les déséquilibres entre l'homme et son milieu. Les rétroactions entre cette désertification anthropique et les mécanismes climatiques restent à expliciter, ce qui justifie la mise en oeuvre d'expériences telles que Hapex-Sahel. Photo : T. Lebel

A partir du 20 septembre 1992, l'ARAT a opéré en version flux, effectuant des vols conjoints avec le Merlin. En volant à deux altitudes différentes, et en jumelant ces données aéroportées à celles obtenues par les équipes de micrométéorologie au sol, on obtient les profils verticaux des paramètres météorologiques au sein de la couche de la limite, permettant ainsi un calcul intégré spatialement des flux de chaleur sensible et latente.

Pour en savoir plus

Goutorbe, J.P., Lebel T., Tinga A., Dolman H., Engman E.T., Gash J.H.C., Kabat P., Kerr Y.H., Monteny B., Prince S., Sellers P., Wallace J., Hoepffner M. (1992). Experiment Plan for HAPEX-SAHEL. CNRM, Toulouse..
 Hastenrath S. (1991). Climate dynamics of the tropics. Kluwer Academic Publishers, A Dordrecht, The Netherlands, 488 p.
 Lebel T., Sauvageot H., Hoepffner M., Desbois M., Guillot B., Hubert P. (1992) Rainfall estimation in the Sahel: the EPSAT-NIGER experiment. Hydrol. Sci. J. 37(3), 201-215.

ORSTOM

A C T U A L I T É S

HAPEX-SAHEL

**L'ATLAS
INFOGRAPHIQUE
DE QUITO**

**LE LABORATOIRE
DES SOLS
CULTIVES A
MONTPELLIER**

**LACS COLLINAIRES
EN TUNISIE
SEMI-ARIDE**

N° 39

1993 - 30 F

L'INSTITUT
FRANÇAIS
DE RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
POUR LE
DÉVELOPPEMENT
EN COOPÉRATION