

VARIABILITÉ SPATIALE DES MESURES MÉTÉOROLOGIQUES DE SURFACE PENDANT LA PÉRIODE D'OBSERVATIONS INTENSIVES D'HAPEX-SAHEL

J.P. GOUTORBE¹, P. PERIS¹, P. BESSEMOLIN¹, J.L. CHAMPEAUX¹, D. PUECH¹

RÉSUMÉ

Au cours de l'expérience Hapex-Sahel un réseau de 12 stations automatiques météorologiques a été installé. Quelques comparaisons sont présentées avec les mesures faites par l'Orstom. La variabilité des paramètres météorologiques est ensuite étudiée pour l'ensemble de la période intensive, ce qui permet de réaliser un zonage du degré carré. La période des 25 et 26 septembre est ensuite examinée. Les cycles diurnes des paramètres météorologiques présentent des différences significatives et informatives d'un site à l'autre.

¹Météo-France-CNRM 42, Avenue Coriolis - 31057 Toulouse cedex.

INTRODUCTION

Le réseau de stations automatiques du CNRM a été déployé au Niger pendant la période intensive d'Hapex-Sahel dans le but de densifier le réseau permanent de la météorologie du Niger. Cette opération avait les objectifs suivants :

- fournir un encadrement aux mesures de turbulence, en particulier aéroportées ;
- préciser la variabilité spatiale des paramètres météorologiques en particulier l'existence et l'importance du gradient Sud-Nord ;
- estimer à échelle régionale le bilan radiatif et l'évapotranspiration potentielle ;
- fournir les paramètres d'environnement nécessaires aux télédétecteurs ;
- fournir des données d'entrée et de validation aux modèles mesoéchelle.

Les données ont été livrées à la base de données Hapex-Sahel après validation de premier niveau. Un atlas présentant les caractéristiques du réseau et les données a été publié (CHAMPEAUX *et al*, 1993). Ce court article en illustre les potentialités et indique dans quelle mesure les objectifs fixés sont en voie d'être atteints.

LOCALISATION DES STATIONS

Les stations ont été disposées de manière assez régulière à l'intérieur du carré (figure 1). Le réseau de surface doit être complété au moyen de la station permanente de l'aéroport de Niamey. Ainsi qu'indiqué sur le tableau 1 les stations se trouvent sur des surfaces assez variées, allant du sol nu à une couverture végétale dense. Elles ne sont pas positionnées de manière systématique par rapport au relief sans que les différences d'altitude dépassent 50 mètres. Peu d'informations sont disponibles sur l'environnement des stations situées en dehors des supersites. Les emplacements des stations ont été reportés sur la carte de végétation Orstom de 1988 (figure 1). En dehors des numéros 1 et 4 les stations sont situées dans des secteurs relativement fournis en végétation. Il serait nécessaire de décrire rigoureusement l'environnement des stations en utilisant des critères objectifs : position par rapport à la toposéquence, classe d'occupation des sols. Les renseignements disponibles sont résumés dans le tableau 1.

Tableau 1
Surface des stations observées sur le carré

Numéro station	Type de végétation
Samha 1	Sol nu avec un peu d'herbe
Samha 2	Milépars
Samha 3	Herbe
Samha 4	Sol nu avec un peu d'herbe
Samha 5	Herbe
Samha 6	Savane arbustive (jachère)
Samha 7	Sol nu

Samha 8	Sol nu avec un peu d'herbe
Samha 9	Herbe
Samha 10	Herbe
Samha 11	Herbe
Samha 12	Herbe

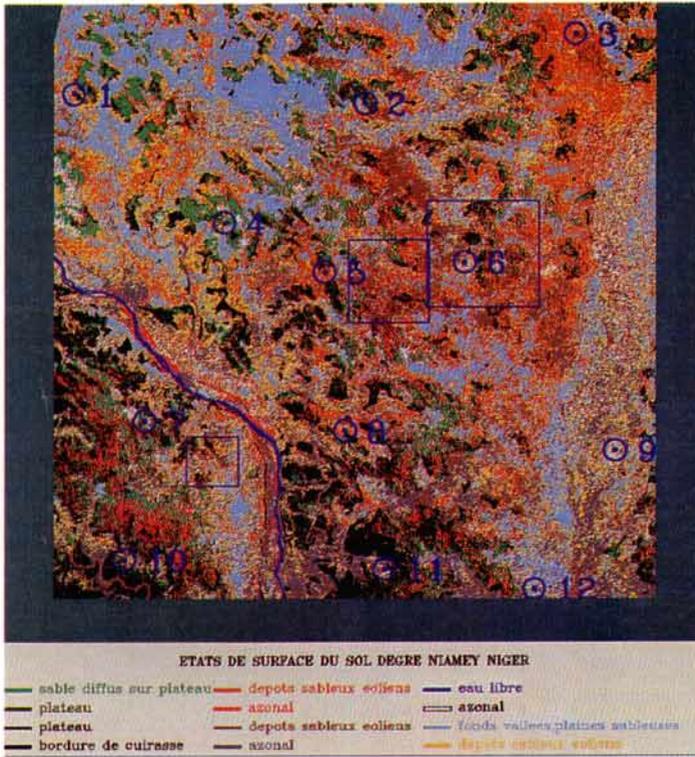


Figure 1 :

Localisation du réseau de stations automatiques sur la spatiocarte du degré carré.

Le réseau sol a été situé sur une image thermique NOAA/AVHRR de 15 h 23 TU le 27 septembre 1992 (figure 2). La situation présentée est éloignée du dernier épisode pluvieux qui a eu lieu les 14 et 15 septembre. Cette date suit les deux journées intensives des 25 et 26 septembre. Cette image indique que les stations se trouvent sur des surfaces de températures variées sans que les extrêmes soient couverts. La dynamique des températures de surface sur cette image est de 8 degrés environ entre les points les plus froids situés dans la vallée du Niger et la zone la plus chaude au nord ouest de la station 4. Le quart nord ouest du domaine, tout entier apparaît d'ailleurs comme sensiblement plus chaud.

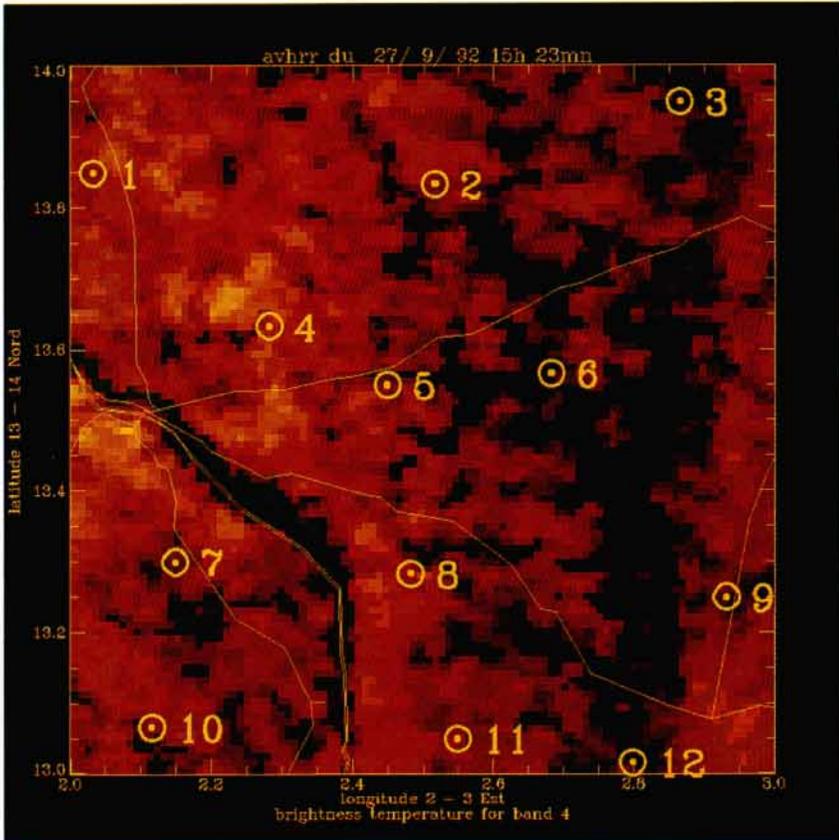


Figure 2 :

Localisation du réseau sur une carte des températures de brillance NOAA/AVHRR le 27 septembre 1992 à 15 h 23 TU.

ASPECTS MÉTÉOROLOGIQUES

PLUVIOMÉTRIE

Les mesures du réseau Samha ont été comparées à celles du réseau Epsat puisque la plupart des stations automatiques étaient installées sur des sites Epsat. La figure 3 présente un exemple de comparaison par forte pluie. Les différences observées sont en général faibles, mais peuvent, dans certains cas particuliers atteindre des valeurs importantes. C'est le cas par exemple pour l'épisode du 30/8/92 au site central est où la station Samha a mesuré 33.8 millimètres et la station Epsat correspondante 15.6 millimètres.

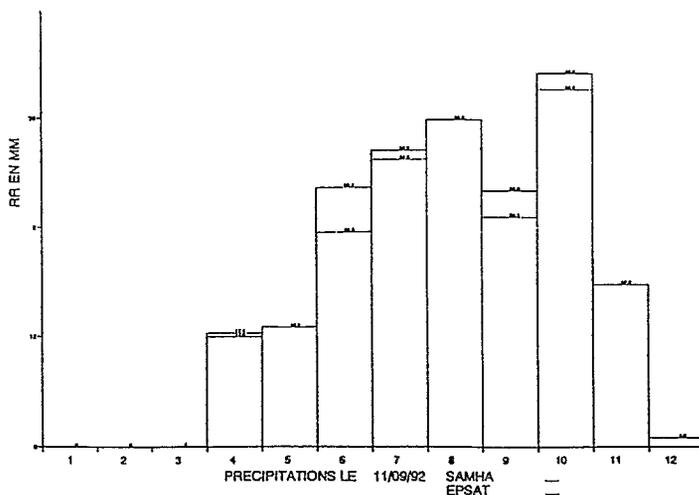


Figure 3 :

Comparaison des précipitations avec les stations Epsat pour l'épisode du 11/09/1992.

RAYONNEMENT

La station Samha mesure le rayonnement total somme du visible et de l'infrarouge. La station est équipée de deux capteurs qui mesurent l'un le rayonnement issu de la surface, l'autre le rayonnement descendant. Il n'est donc pas possible de présenter des bilans radiatifs détaillés. Des moyennes ont été calculées sur la période 25/9 au 10/10/1992 correspondant à la fin de la période intensive et pour l'essentiel à des journées claires (JEANJEAN, 1993). Deux stations numéros 3 et 4 situées dans la partie nord du domaine présentent un bilan radiatif nettement plus faible que les autres. À 12 Tu la différence approche en moyenne 100 w/m^2 . Les particularités connues des sites ne permettent pas d'expliquer ce fort écart. Une explication pourrait être la présence plus importante de poussières dans cette zone. Des problèmes de calibration ne sont pas à exclure.

L'incertitude sur les mesures de rayonnement net se reflète dans l'estimation de l'évapotranspiration potentielle. L'examen des courbes d'évolution de l'ETP au cours de la période 25/9 au 10/10 utilisée par JEANJEAN (1993) fournit un résultat logique : l'ETP moyenne est la plus élevée pour la station 1 (6,5 millimètres en moyenne) qui est dans l'environnement le plus aride. Par contre, et cela reste à expliquer, l'ETP est la plus faible pour la station 3 (4,7 millimètres en moyenne). La faible valeur de l'ETP pour la station 3 est principalement due

au premier membre de la formule de Penman (celui qui intervient le rayonnement). En conséquence, la structure du champ de l'ETP moyenne sur la période paraît difficile à interpréter.

Compte tenu de ce qui précède un travail complémentaire est à réaliser pour connaître la réalité expérimentale des mesures aux sites 3 et 4. Il est en particulier nécessaire de connaître les sites (albedo, couverture végétale) pour savoir si les sites 3 et 4 sont vraiment singuliers. Même si les mesures s'avèrent défaillantes le réseau restant est suffisant pour faire une bonne évaluation du rayonnement net à l'échelle du carré.

COMPARAISON AVEC LE PARC À INSTRUMENTS DE L'ORSTOM.

La station Orstom a été comparée à la station Samha la plus proche qui est la station 6. La comparaison (figure 4) est présentée sous forme de graphique de la variation diurne pour la journée intensive du 25 septembre 1992.

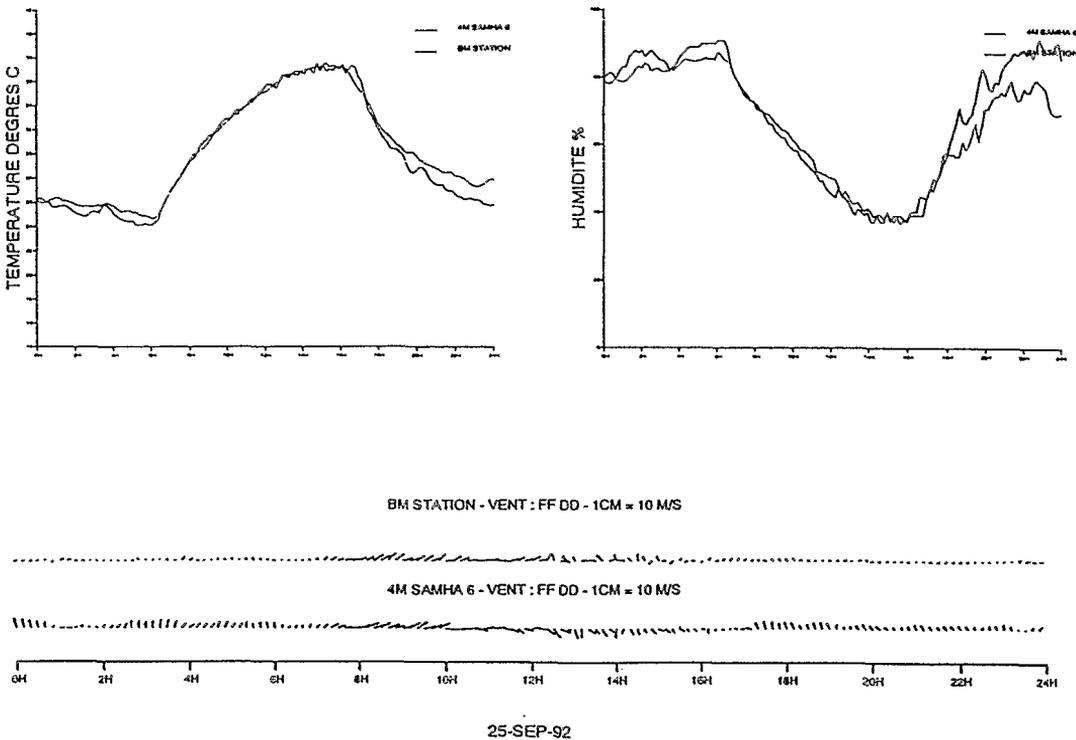


Figure 4 :

Comparaison des températures sous abri, des humidités relatives et des vents pour la station Orstom du site central est et la station Samha numéro 6.

En cours de journée une excellente concordance s'établit pour la température sous abri et l'humidité relative. De nuit, une différence plus grande apparaît mais reste inférieure à 2°C pour la température. La comparaison des vents n'est pas significative puisque le vent au parc à instrument de l'Orstom est mesuré à 2 mètres, alors qu'il est mesuré à 10 mètres aux stations Samha. On remarquera le net intérêt des mesures à 10 mètres puisqu'à 2 mètres toute l'information est perdue en phase nocturne. Le même type de comparaison, effectué sur d'autres journées a donné lieu aux mêmes conclusions si bien que le raccord entre les données du parc Orstom, qui a tourné pendant 3 ans et les données de la station Samha numéro 6 ne présente pas de difficultés particulières.

ANALYSE DE LA PÉRIODE D'OBSERVATIONS INTENSIVES

PRINCIPALES PHASES

Les principales étapes de la période intensive sont facilement repérées au moyen du réseau. Flux de sud ouest relativement établi en début de période et précipitations importantes jusqu'au 15 septembre. Par la suite les vents sont mal établis en surface, les précipitations sporadiques puis absentes. Il en résulte d'importantes variations de la température sous abri qui baissent jusqu'au 28 août avant de remonter progressivement jusqu'au 15 octobre. Correspondent des variations très fortes de l'humidité relative (figure 5). La présentation de la figure ne permet pas d'étudier en détail les épisodes pluvieux. Notons toutefois que certains épisodes tels que celui des 14 et 15 septembre présentent une signature quasiment identique sur tout le domaine.

En résumé le réseau de stations automatiques du CNRM met en évidence le forçage climatique important qui s'est exercé sur tout le carré, sans différenciation importante. Sauf examen plus poussé, il apparaît que les diverses phases de la fin de la saison des pluies s'établissent au même moment à l'intérieur de cet espace limité qu'est le degré carré. La figure 5 indique également que l'erreur ne serait pas très considérable de prendre un forçage atmosphérique moyen en un point du milieu du carré, comme la station 6 ou le parc à instrument Orstom.

Au niveau des épisodes qui suivent une pluie importante, la séquence qui entoure les 14 et 15 septembre semble particulièrement nette.

VARIABILITÉ SPATIALE DE LA TEMPÉRATURE SOUS ABRI PENDANT LA PÉRIODE INTENSIVE

Ce paragraphe a pour but de déterminer l'ampleur des variations de la température sous abri à travers le carré et de déterminer l'importance du gradient sud-nord.

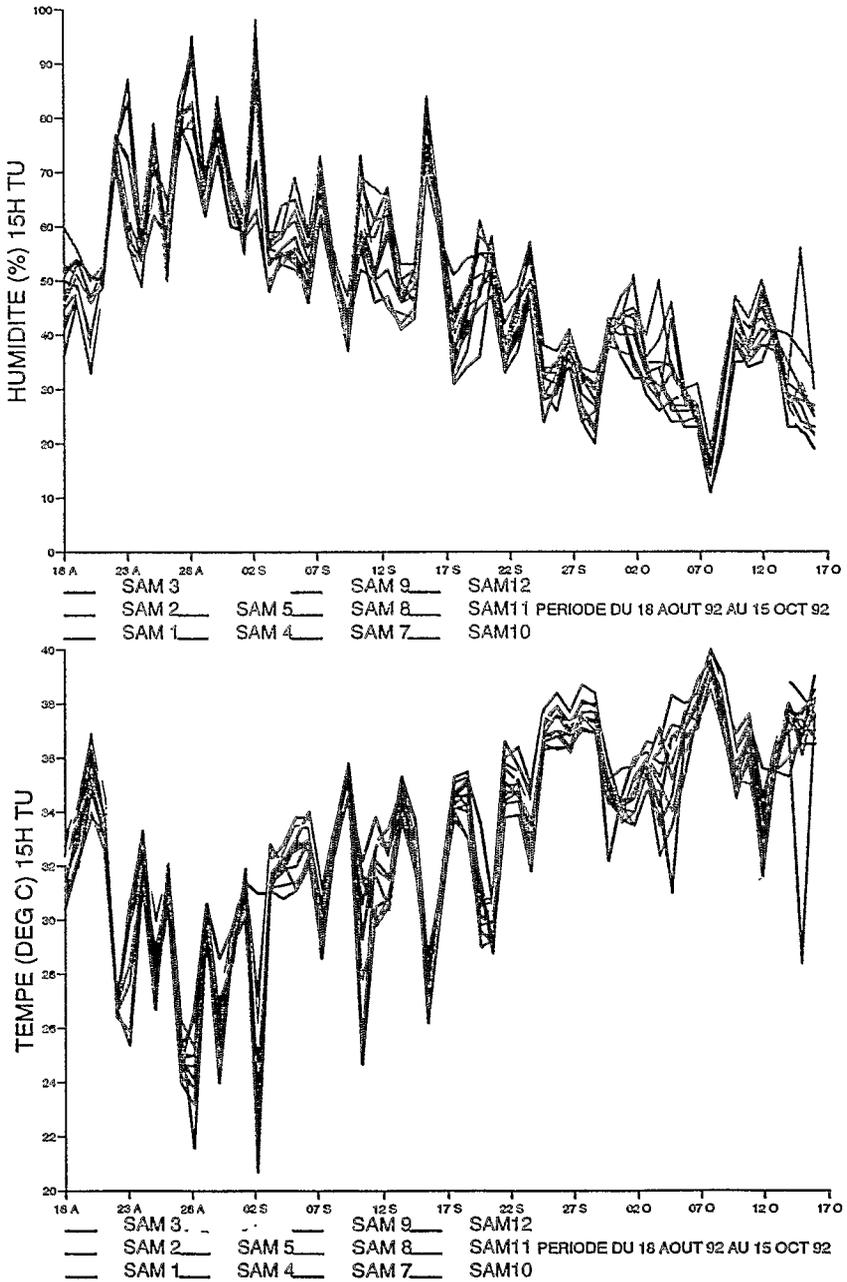


Figure 5 :
 Historique de la période intensive pour la température sous abri et l'humidité relative.

Des moyennes des températures sous abri sont calculées sur la période du 18 août au 15 octobre entre 6 h et 18 h. Pour les 3 stations situées les plus au sud les moyennes sont extrêmement voisines : 29,6, 29,6, 29,7°C pour les stations 11, 12 et 10 respectivement. Pour l'ensemble du réseau un gradient de températures s'établit.

La croissance de la température moyenne est régulière avec la colatitude dans le demi-degré inférieur. Pour le demi-degré supérieur la distribution est plus complexe la station numéro 4 située au niveau des supersites centraux est plus chaude.

Tableau 2

Températures moyennes sur la période du 18 août au 15 octobre 1992

Tmoy	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
	30,6	30,3	30,8	30,8	30,2	30,5	29,8	30,0	30,2	29,7	29,6	29,6

Ces écarts très peu importants ne tiennent pas compte des différences d'altitudes entre les stations.

La station climatologique de l'Orstom, installée au site central est également intégrée à cette comparaison. Sa moyenne se situe à 30,4°C proche donc des 30,5°C de la station Samha n°6 du site central est.

Ces constatations sont corroborées par la technique de classification automatique. Une classification hiérarchique ascendante a été établie en utilisant toutes les mesures de jour. La partition obtenue sépare les stations du nord de celles du sud regroupant (S7, S8, S9, S10, S11, S12) d'une part et d'autre (S1, S2, S3, S4, S5, S6). Au tour précédant la partition sépare les stations en 4 groupes : la rive droite du Niger (stations 10 et 7). La partie rive gauche du demi-degré carré inférieur (S8, S9, S11, S12). Viennent ensuite les stations du nord situées sur une végétation relativement fournie (stations S2, S3, S5, S6) et enfin les deux stations S1 et S4. Cette première classification sommaire demande bien sur à être confirmée par des données d'autres origines.

En résumé, pour la période intensive d'Hapex-Sahel la température moyenne diurne augmente en moyenne de 1,2°C du sud au nord du degré carré. Une classification du carré apparaît assez nettement, même si elle ne repose pas sur des différences de température importantes en valeur absolue.

LE CYCLE DIURNE

EXEMPLE DES 25 ET 26 SEPTEMBRE 1992

Ces deux journées de mesures intensives sont étudiées en priorité et modélisées au CNRM et au LTHE. Cette période correspond à la fin de l'augmentation rapide des températures et de l'assèchement de l'air (figure 5). Les dernières pluies significatives remontent au 14 et 15 septembre.

Pour les températures sous abri les remarques faites à propos des moyennes s'appliquent à ce cas particulier. Les écarts des maxima sous abri atteignent $2,0^{\circ}\text{C}$ du sud vers le nord. Les cycles diurnes de la température sous abri, du rapport de mélange et du vent sont représentés (figure 6) pour la journée du 25 septembre et pour les 3 stations situées à la latitude des sites centraux est et ouest c'est-à-dire les stations 4, 5 et 6. Des différences considérables apparaissent dans l'évolution diurne de la température. Les maxima de température sont décalés et se produisent vers 14 h TU pour la station 4 et une heure après pour les stations 5 et 6. Ces différences importantes qui se reproduisent les jours suivants sont l'indication de bilans d'énergie contrastés entre les parcelles concernées. Notons à l'usage des télédéTECTEURS que les températures sous abri sont assez uniformes le matin à l'heure de passage de Landsat, mais déjà très différentes vers 15-16 h TU heure de passage de NOAA.

L'évolution du rapport de mélange de la vapeur d'eau est gouverné par les transferts verticaux et par les transferts horizontaux de vapeur d'eau (l'« advection »). Le second effet, faible pour la température est marqué pour le rapport de mélange dont l'évolution diffère d'un site à l'autre. À titre d'exemple reprenons le cas de la figure 6. Comme pour la température sous abri les cycles diurnes du rapport de mélange entre le 25 septembre et le 26 sont largement reproductibles. Les différences de rapport de mélange qui atteignent 6g/kg sont assez grandes pour tirer quelques conclusions indépendantes des erreurs instrumentales. À partir de 9 heures TU la couche de surface s'appauvrit en vapeur d'eau car celle-ci est pompée dans la couche limite. Cet effet est peu marqué jusque vers 15 heures. Ensuite l'évolution aux 3 stations est différente. La couche de surface est nettement plus humide au site 6. Pour la journée du 26 septembre les cycles diurnes sont, à quelques détails près, la copie de ceux du 25. D'un jour sur l'autre les températures maximales baissent légèrement et le rapport de mélange augmente. Considérons maintenant l'ensemble des cycles diurnes du rapport de mélange pour l'ensemble des 12 stations et pour le 25 septembre (figure 7). Le rapport de mélange varie peu à l'intérieur du carré et marque une légère décroissance vers le nord. Les 3 stations du sud se comportent de la même manière et l'appauvrissement par pompage dans la couche limite reste limité. Une réhumidification brutale de la couche limite se produit à partir de 18 h quand le vent revient au sud. Pour les 3 stations situées au nord la décroissance du rapport de mélange est plus rapide et plus sensible.

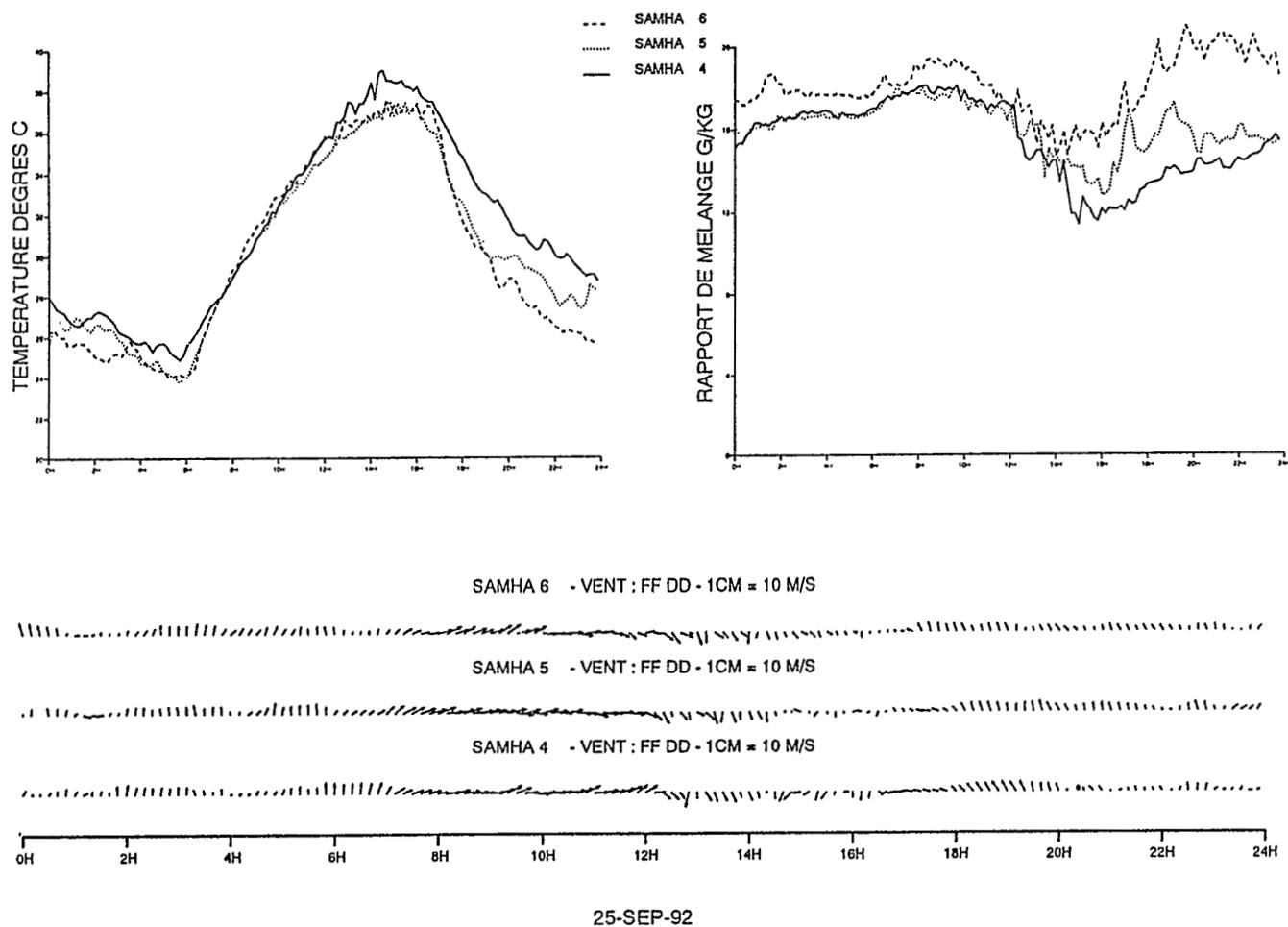


Figure 6 :
Extrait de l'atlas des données Samha pour le 25/9/92.

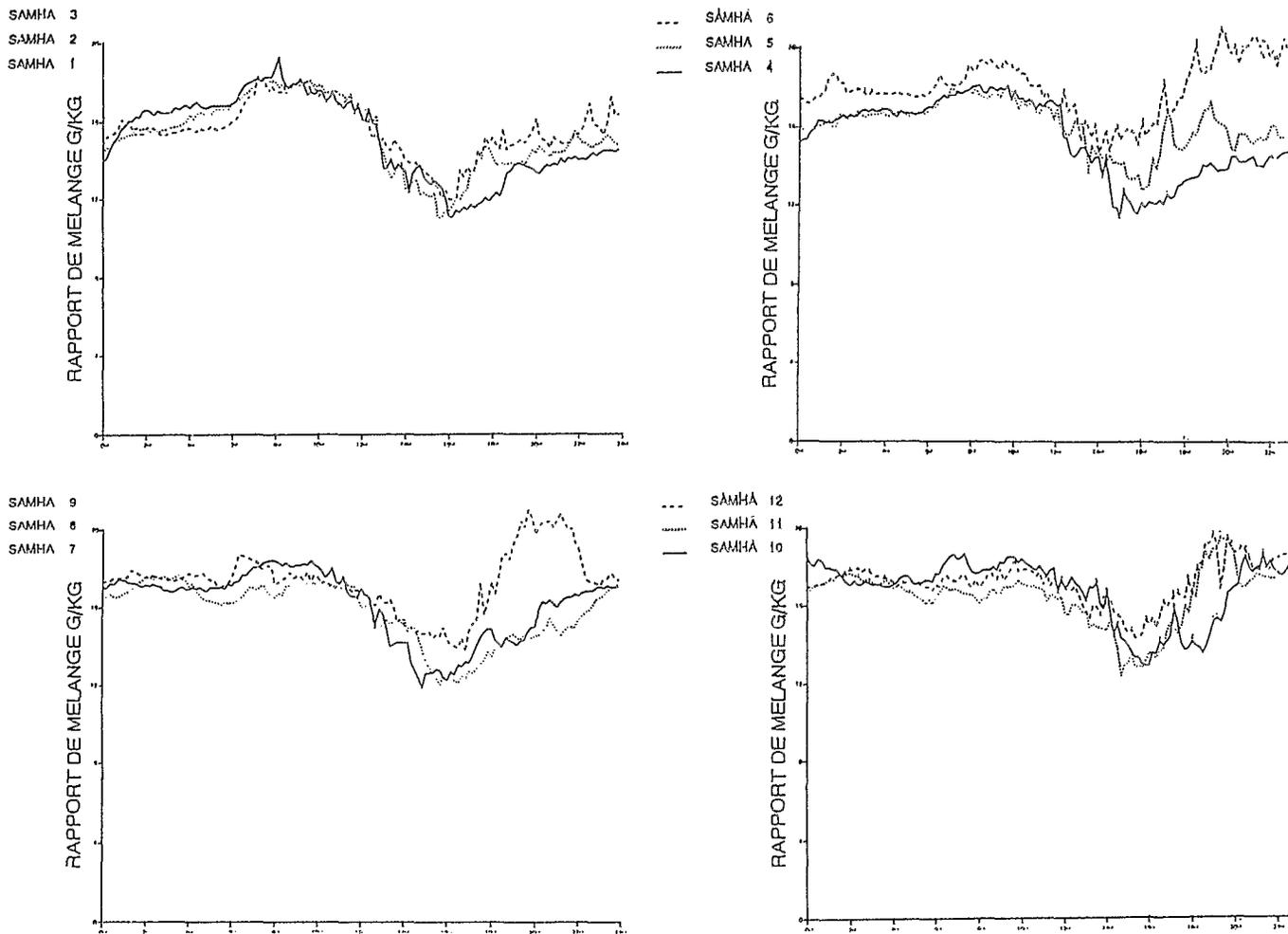


Figure 7 :
 Cycle diurne du rapport de mélange aux 12 stations pour le 25/9/92.

Au cours de la période, les vents restent faibles, ne dépassant pas 5 ms⁻¹. Un cycle diurne se superpose à un faible courant de sud ouest. Les vents aux 3 stations 4, 5, 6, évoluent de façon similaire. La figure 8 tirée du travail de JEANJEAN (1993), illustre les hodographes du vent pour le 25 septembre, le vent tourne dans le sens des aiguilles d'une montre. La variation diurne du vent est régulière d'un jour sur l'autre, une pointe de vent se produit régulièrement le matin vers 10 h et s'observe non seulement sur les journées individuelles mais également sur la composition de toutes les journées non perturbées. Elle semble associée à l'onde semi-diurne de la pression et également au développement de la couche convective. La brève période de vents calmes ou de vents de nord faibles se produit autour de 14 h pour 4 heures environ.

En conclusion les cycles diurnes sont contrastés suivant les sites et peu différents d'un jour sur l'autre, si bien que les données peuvent être composées pour une période. Le cycle du rapport de mélange semble très informatif pour ce qui est du bilan d'énergie de la surface et peut-être même pour comprendre les différences d'entraînement entre le sud et le nord.

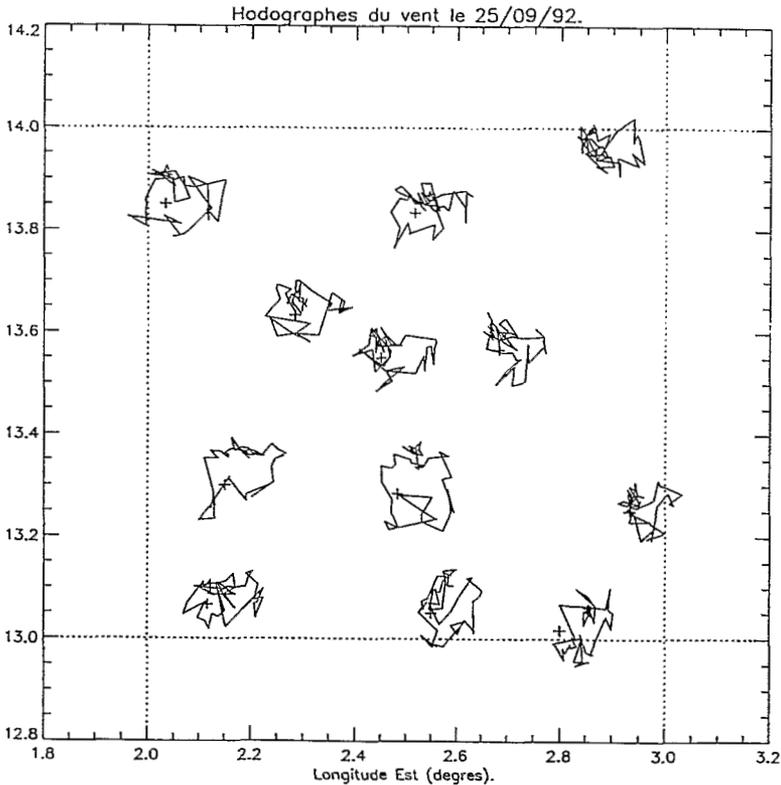


Figure 8 :
Hodographe du vent à 10 m pour le 25/9/92.

COMPARAISONS AVEC LES ANALYSES DU CENTRE EUROPÉEN DE PRÉVISION À MOYEN TERME.

Le réseau est déployé sur un degré carré, surface véritablement minuscule par rapport à celle considérée en analyse météo. Quelques comparaisons ont toutefois été faites à partir des fichiers disponibles dans la base de données Hapex-Sahel. Les résultats du 25 septembre sont seuls présentés ici car ceux du 26 sont peu différents.

Pour ce qui est des températures (figure 9) le niveau moyen se compare assez bien à 12 h TU. La température au niveau 1 000 hpa est de 38,5°C. La moyenne pour le réseau, ramenée à ce niveau est de 36,2°C. Par contre, il n'y a pratiquement pas de gradient de température sur le réseau à 12 h (figure 9) alors que l'analyse indique un gradient de 2,5°C. À 18 h TU la température sous abri est également surestimée par l'analyse de 2°C environ. Les vents, compte tenu de l'énorme différence de résolution, sont correctement représentés à 12 h TU. La situation de 18 h, non montrée, est plus complexe et il n'est pas du tout certain que l'interpolation du champ de vent à partir du réseau de 12 stations soit justifiée.

Les cartes d'humidité relative à 12 h TU sont également très différentes puisque cette dernière varie peu autour de 50 % à l'intérieur du carré d'après la mesure alors que l'analyse indique une décroissance de 36 % à 25 % du sud au nord, uniforme avec la latitude. De cette brève étude il ressort qu'au moins pour les champs au sol les analyses grandes échelle sont d'un faible secours.

CONCLUSION

Le réseau de stations automatiques du CNRM a fourni des mesures de grande qualité. Si on se réfère aux objectifs définis dans l'introduction il semble que :

- le réseau permet effectivement d'encadrer la mesure avion. En particulier les paramètres directeurs au sens définis par SAID *et al.* (1994) dans ce volume peuvent être estimés à partir de données sol plutôt que par extrapolation vers le bas de la mesure avion ;
- le gradient des paramètres moyens entre le sud et le nord du carré est d'un intérêt limité. Par contre les différences de cycle diurne, en particulier pour le rapport de mélange sont informatifs ;
- l'estimation du bilan radiatif demande encore du travail et l'utilisation de données exogènes pour connaître l'albédo des sites et leur signature dans le thermique ;

- les télédéTECTEURS peuvent évaluer l'apport du réseau en utilisant la note CHAMPEAUX *et al.*, 1993. La figure 5 indique l'erreur commise en considérant la température uniforme sur tout le réseau à 15 h. Suivant les applications il y a lieu de prendre en compte la pointe de vent du matin ;
- le réseau semble bien adapté aux études de modélisation à moyenne échelle. Le point faible est l'absence de données en dehors du degré carré.

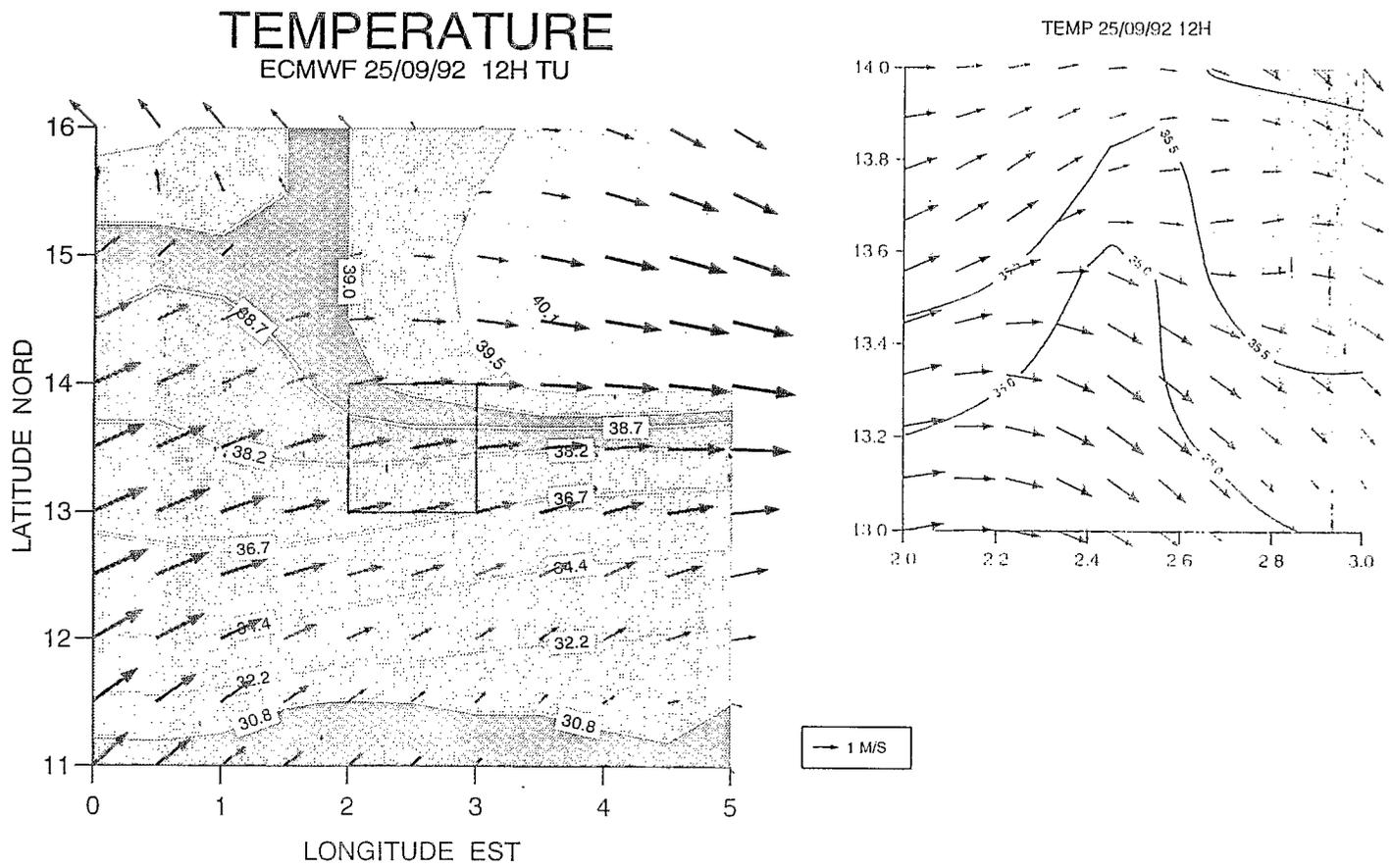


Figure 9 :

Comparaison des champs de température et de vent à 12 h. Figure principale: analyse du Centre européen sur une grille de 5 degrés. En haut à droite : mesures du réseau dans le degré carré de Niamey.

BIBLIOGRAPHIE

- CHAMPEAUX J.L., PERIS P., BONHOURS G., PUECH D., 1993. Atlas des données météorologiques recueillies par le réseau sol 4M du CNRM pendant l'expérience Hapex-Sahel. Note interne GMEI n°9, disponible au CNRM.
- JEANJEAN N., 1993. Le réseau sol de l'expérience Hapex-Sahel 1992. Étude de quelques situations non perturbées. Rapport de Stage, disponible au CNRM.
- SAID F., ATTIE J.L., DRUILHET A., DURAND P., LEBEL T., 1994 : Variabilité des flux turbulents de surface mesurés par avion au cours de deux journées caractéristiques durant Hapex-Sahel. Ce volume.