

S. GIRARD
IRD Ouagadougou,
sabine.girard@hydro.ird.bf

J. E. PATUREL
IRD Ouagadougou,
jean-emmanuel.paturel@hydro.ird.bf

G. MAHE,
IRD Ouagadougou,
gil.mahe@hydro.ird.bf

F. OUATTARA
Météorologie Nationale
Burkina Faso

A. CRES
Oxford University
Royaume Uni

Spatialisation des pluies au Burkina Faso : impact de la méthode et de la source de données

Résumé

Nous avons utilisé trois sources de données pour décrire la pluviométrie mensuelle depuis 80 ans au Burkina Faso : une base de données gérée par le CRU (Climatic Research Unit de l'Université d'East Anglia), une autre gérée par l'IRD (Institut de Recherche pour le Développement) et celle de la Météorologie Nationale Burkinabé. En vue d'une modélisation pluie - débit au pas de temps mensuel, ces données pluviométriques ont été interpolées pour construire des grilles de pluie avec un maillage régulier de $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$.

Nous nous sommes attachés à mettre en évidence et expliquer les écarts observés entre quatre grilles de pluie construites à partir de ces différentes sources et de procédés divers, pour la période 1922-1998. Les résultats montrent que la valeur absolue de la pluviométrie influe sur les différences observées : plus la pluviométrie est élevée moins les différences sont grandes.

Par ailleurs, la densité du réseau de stations pluviométriques et la méthode d'interpolation ont une influence que l'on peut chiffrer à, respectivement, 4 à 8 %, et 3 à 4 %. Ainsi pour une maille de grille, la différence maximale peut donc dépasser les 10%. Ces biais devront être considérés dans l'analyse des résultats de la modélisation.

Mots clefs : précipitations, Burkina Faso, spatialisation, interpolation, base de données

SPATIALIZATION OF ANNUAL RAINFALL IN BURKINA FASO ; IMPACT OF THE METHODS AND OF SOURCES OF DATA.

Three sources of data have been used to describe the annual rainfall over a period of 80 years in Burkina Faso : a data base realized by the CRU (Climatic Research Unit of the University of East Anglia of Norwich), a second realized by the IRD (Institute of Research for Development) (base Sierem) and the database of the National Meteorology of Burkina Faso.

Aiming at river flow modelling, these data have been interpolated to build maps of monthly and annual rainfall based on grid cells of $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$. We tried to explain the observed differences between four grids built from these 3 data sources according to different processes, over the period 1922-1998. Results show that the absolute value of the rainfall influences the observed differences : the higher the annual rainfall is, the smaller the differences are. The density of the raingauge network might be related to a difference of about 4 to 8 % and the interpolation method might be related to a difference of about 3 to 4 %. Thus, for the same grid point, the highest difference can exceed 10 %.

This should be considered in the analysis of the results of the river modelling.

Key words : Annual rainfall, spatializing, interpolation, Burkina Faso

INTRODUCTION

En vue d'étudier les variations climatiques et leurs répercussions sur la variabilité hydrologique en Afrique de l'Ouest, Ouedraogo (2001) propose une modélisation spatialisée pluie - débit au pas de temps mensuel. Celle-ci permet de régionaliser les lames d'eau écoulées mensuelles et annuelles (c'est à dire de les estimer en tout point de l'espace) à partir de données de pluie, d'évapotranspiration et de capacité en eau du sol.

La pluie est une variable particulièrement importante pour modéliser l'état des ressources en eau et il importe de connaître les biais liés à l'acquisition de cette donnée avant son entrée dans le modèle.

Les données d'entrée pluviométriques de cette modélisation ont été discrétisées sous forme de grilles de maillage $0.5^\circ * 0.5^\circ$. Le protocole global consiste dans un premier temps en une sélection des stations et des séries pluviométriques au regard de différents critères (nombre de lacunes, durée de la série, qualité des données...) et dans un deuxième temps en une interpolation (par krigeage ou spline). A partir de trois sources de données, quatre grilles de pluies ont été construites sur le Burkina Faso selon différentes méthodes. Nous nous proposons de les comparer sur la période 1922-1998, afin de qualifier et quantifier l'influence de la source de données et des différents protocoles de discrétisation sur les valeurs de pluie des grilles résultantes.

	CRU_UK	CRU_Ouaga	Météo	Sier_mét
Nb maximal de stations sur le BF	34	65	160	156
Nb moy de stations pour ch. année	21	28	70	80
Nb moy. d'années pour ch. station	49	33	34	37
Nb d'années-stations sur 1922-98	1633	2157	5454	5903
Nb d'années-station à l'ouest du méridien $2^\circ W$	1357	1881	2786	3120
Nb d'années-station à l'est du méridien $2^\circ W$	276	276	2668	2883

Tableau 1. Récapitulatif des caractéristiques des réseaux pluviométriques des différentes grilles sur la période 1922-98

ELEMENTS METHODOLOGIQUES

Sources de données et construction des grilles

Les trois bases de données utilisées pour décrire la pluviométrie mensuelle entre les années 1922 et 1998 au Burkina Faso sont :

- la base du CRU (Climatic Research Unit of East Anglia) : base contenant des données provenant de la Direction de la Météorologie Nationale Burkinabè, du National Climatic Data Center (NCDC) et d'autres sources publiées (New et al., 1999a) ;
- la base de l'IRD : base SIEREM, contenant des données issues de la

Direction de la Météorologie Nationale Burkinabè critiquées ; - la base de la Direction de la Météorologie Nationale Burkinabè.

La figure 1 présente les caractéristiques des quatre grilles construites à partir des ces différentes sources de données.

Les données de la Météorologie Nationale n'ont reçu aucune critique. Par contre, la base Sierem comprend des données critiquées et publiées jusqu'en 1980 (Mahé et al., 2001). Pour les années suivantes, les données ont subi une critique préliminaire pour supprimer les erreurs les plus

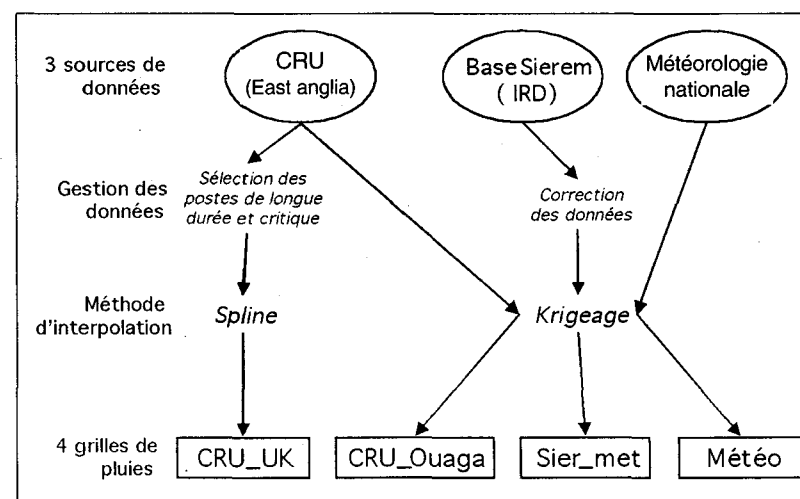


Figure 1 : Schéma de construction des différentes grilles de pluies

$$\% \text{ diff (val_gr1 ; val_gr2) } = 100 * \text{ABS (val_gr1 - val_gr2) } / [(val_gr1 + val_gr2) / 2]$$

(1)

été construite en complétant la base Sierem par des données de la Météo critiquées. La grille *CRU_UK* a reçu des contrôles de qualité (pertinence des données mensuelles, valeurs limites, tests sur les moyennes, minimum, maximum) et seules les stations de longue durée d'observation (c'est à dire pour lesquelles plus de vingt années de mesures sont disponibles) ont été conservées. La grille *CRU_Ouaga* utilise les mêmes stations que celle *CRU_UK* ainsi qu'une trentaine de poste de courte durée (données fournies par l'IRD).

L'interpolation des grilles *CRU_Ouaga* (CO), *Sier_met* (SM) et Météo (M) a été effectuée par la méthode du krigeage sous le logiciel Surfer, en utilisant le variogramme linéaire, recommandé par les auteurs du logiciel (Barnes,1991). Cette méthode permet d'interpoler dans

l'espace et de façon optimale, une variable connue par mesures ponctuelles (Delhomme,1976). Par contre, l'interpolation de la grille *CRU_UK* (CU) a été réalisée avec la méthode Spline (Wahba, 1990). Cette technique est plus robuste quand les données sont irrégulièrement réparties dans l'espace, mais bien que formulée différemment, se rapproche du krigeage.

MÉTHODE DE COMPARAISON

Nous avons analysé la répartition spatiale et temporelle des cumuls annuels pour chacune des 86 mailles des grilles situées sur le territoire burkinabé, sur la période 1922-1998. Pour ce faire, nous avons calculé, maille par maille et année par année, des écarts absolus entre grille selon l'équation (1).

Nous nous sommes ensuite intéressés :

- aux moyennes des différences entre grilles sur l'ensemble du pays et sur toute la période ;
- à l'évolution annuelle des moyennes des différences entre grilles sur l'ensemble du pays entre 1922 et 1988 ;
- à la répartition spatiale des moyennes des différences entre grilles par maille.

De plus, nous avons effectué sur chaque maille le test statistique de Student au seuil de confiance de 90%, qui permet de juger si les différences entre les grilles sont significatives.

ÉLÉMENTS DESCRIPTIFS DE LA PLUVIOMÉTRIE AU BURKINA FASO

Données pluviométriques

La pluviométrie au Burkina Faso présente un gradient nord-sud marqué, de 400 à 1400 mm (fig. 2), ainsi qu'une décroissance globale sur la période d'étude, notamment après 1970. Les auteurs s'accordent à parler de situation déficitaire à partir de cette décennie. Sircoulon et Olivry (1986) montre que cette sécheresse a entraîné une migration vers le sud des isohyètes 300, 400 et 500 mm sur près de 100 à 200km par rapport à la normale 1931-1960.

Réseaux de stations pluviométriques

Afin de comparer les grilles entre elles, il importe de connaître l'évolution spatiale et temporelle des réseaux de mesures. Pour

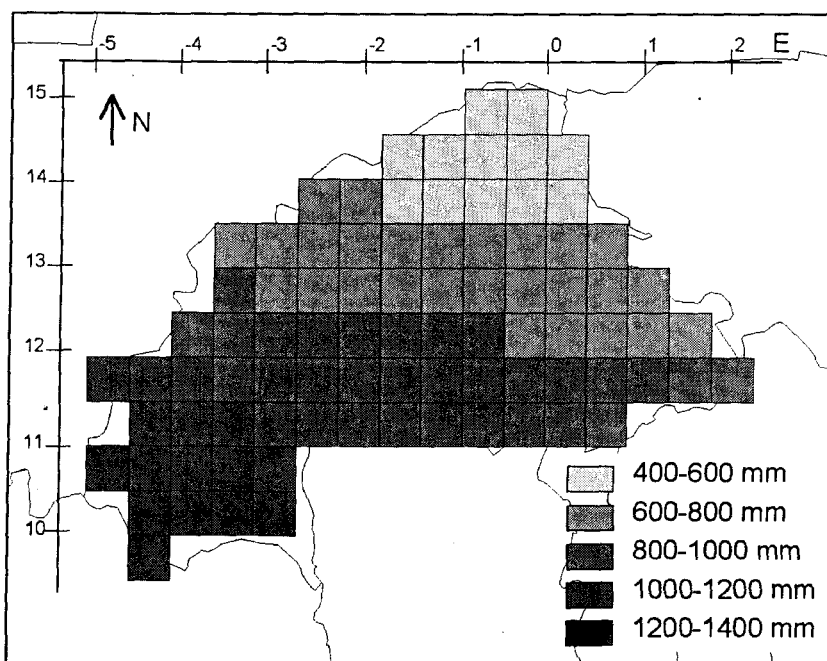
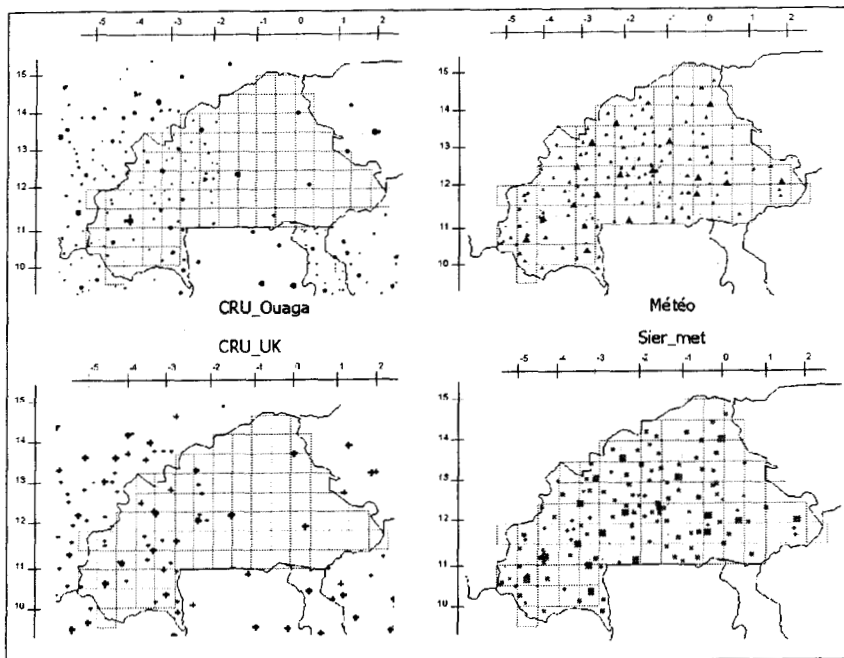


Figure 2. Pluviométrie moyenne sur le Burkina Faso entre 1922 et 1998

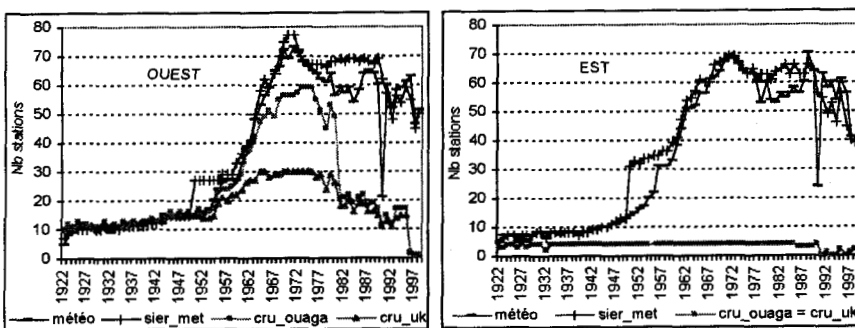
(source : Météorologie Nationale du Burkina Faso)

OUEST					EST				
Grilles	Cru_UK	Cru_Ouaga	Météo	Sier_met	Grilles	Cru_UK	Cru_Ouaga	Météo	Sier_Met
	0	4,83	6,63	6,60		0	5,03	11,48	11,18
Cru_UK		0	4,33	4,29	Cru_UK		0	11,18	10,75
Cru_Ouaga			0	1,06	Cru_Ouaga			0	2,06
Météo				0	Météo				0
Sier_met					Sier_met				

Tableau 2. Moyennes des différences (en %) entre les grilles sur la partie Ouest et Est



on observe sur la figure 3 une répartition inégale du réseau sur l'espace du Burkina, la partie est (1 station pour environ 10 mailles) étant bien moins couverte que la partie ouest (1 station pour environ 2 mailles). C'est pourquoi une distinction entre l'Ouest et l'Est du pays a été faite à la longitude 2°O pour représenter l'évolution du nombre de stations sans lacunes de chacun des réseaux en fonction du temps (fig. 4).



Le réseau *CRU_UK* est constitué d'un nombre réduit de stations de longue durée d'observation (une trentaine de postes à plus de 50 années sans lacunes sur la période). Le réseau *CRU_Ouaga* contient le réseau *CRU_UK* et comprend en plus, une trentaine de postes à courte période d'observations, tous situés sur la partie ouest. Les réseaux *Sier_met* et *Météo* contiennent le réseau *CRU* et comprennent également un grand nombre de postes de courte durée, assez bien répartis sur l'ensemble du territoire burkinabé, sauf à l'extrême est et sud-est, moins bien couverts.

ce faire, nous avons comptabilisé pour chaque source et pour chaque année, les stations sans données mensuelles manquantes (tab.1). Sur le Burkina Faso, qui couvre une superficie de 274 000 km², le réseau *Sier_met* est le plus complet et fournit une densité variant de 1 station pour 13 000 km² à 1 station pour 1800 km² selon les années. Ces chiffres sont à comparer avec les recom-

mandations de l'Organisation Météorologique Mondiale (Diello *et al.*, 2002) en région tropicale et plane. Les auteurs préconisent une superficie maximale de 600 à 900 km² par station pour éviter de sérieuses carences dans la gestion des ressources en eau. La couverture du pays est donc plutôt faible.

Pour la base de données du CRU,

Leur différence se réduit à quelques postes pour quelques années de mesure entre 1970 et 1990.

Les principales sources d'erreurs dans la construction de grilles de pluie sont liées à la qualité des

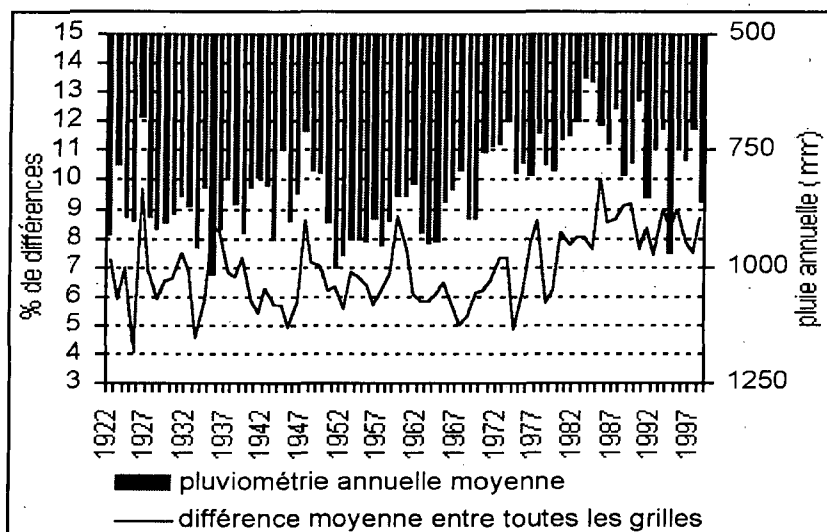


Figure 5. Evolution annuelle des moyennes des différences entre grilles sur le Burkina Faso

données (erreurs instrumentales et de gestion de l'information dans les bases de données), à la méthode d'interpolation et à la couverture du réseau de stations (New et al., 1999a, 1999b). Lebel et Amani (1998) mentionne l'influence du nombre de postes et de la géométrie du réseau de stations sur l'erreur commise dans l'estimation de la pluviométrie. Voyons comment nous pouvons qualifier et quantifier l'impact de ces biais à travers la comparaison de nos quatre grilles.

Différences moyennes sur le Burkina Faso pour l'ensemble de la période

Le tableau 2 présente, pour la période 1922-98, les pourcentages moyens de différences entre les grilles sur les parties Est et Ouest du pays, délimitées par la longitude de 2°O. Les grilles *Sier_met* et *Météo* diffèrent peu entre elles : de 1 % à l'ouest à 2 % à l'est. Les deux grilles *CRU* diffèrent des grilles *Météo* et *Sier_met* de 4.3 % et 6.5 % à l'ouest et environ du double à l'est, marquant l'impact de la densité du réseau de mesure. En effet, nous avons vu précédem-

ment la forte dissymétrie des réseaux *CRU* par rapport aux autres sur la partie Est du pays. Les deux grilles *CRU* diffèrent entre elles de 5 %, qu'elles possèdent (à l'est) ou non (à l'ouest) un réseau de mesure identique. Cette différence n'est donc probablement pas liée au réseau de mesure mais plutôt à la méthode d'interpolation. Voyons plus précisément ces résultats en observant l'évolution temporelle puis la répartition spatiale de ces différences.

Evolution annuelle des différences moyennes sur le Burkina Faso

La figure 5 met en évidence l'influence de la pluviométrie. Sur la période 1922-98, la tendance à l'augmentation des différences entre grilles coïncide avec la tendance à la diminution de la pluviométrie ; les différences moyennes entre grilles passent de 6.4% avant 1970 à 7.8% après 1970.

Sur la partie ouest du Burkina Faso, l'évolution temporelle des différences entre les grilles *Cru_Ouaga* et *Sier_Met* (comme celles entre les grilles *CRU_UK* et

Sier_met ou *Météo*) met en évidence l'influence du nombre de stations. La figure 6 permet de comparer l'évolution des différences de densité des réseaux de mesure entre les deux bases de données avec les différences entre les valeurs de pluies des grilles résultantes. On observe que les écarts moyens entre les grilles de pluie restent faibles tant que les deux réseaux de mesure ont un nombre de stations comparables.

Ces écarts augmentent à partir de 1981 lorsque le réseau *Sier_Met* devient plus important, atteignant jusqu'à 50 stations en plus que le réseau du *CRU*. On notera également l'impact du nombre total de stations : entre les années 1960 et 1980 où ce nombre est maximal pour les deux réseaux, les différences entre grilles sont aussi les plus faibles.

A l'est du pays, les écarts entre grilles sont plus importants qu'à l'ouest sur toute la période (jusqu'à 18 % entre *Cru_Ouaga* et *Sier_Met*), ce qui concorde avec l'hypothèse que moins le réseau est dense, plus grandes sont les différences de valeurs de pluies.

Répartition spatiale des moyennes des différences sur la période 1922-1998

Sur la figure 7, on observe la répartition spatiale des différences. Les grilles *CRU* et *Sier_Met* diffèrent fortement (8 à 20 %) sur certaines mailles en bordure. Lors de l'interpolation, des effets de bord peuvent modifier les valeurs aux frontières puisque le réseau de mesure *Sier_Met* se borne aux limites du pays, à l'inverse du réseau *CRU*.

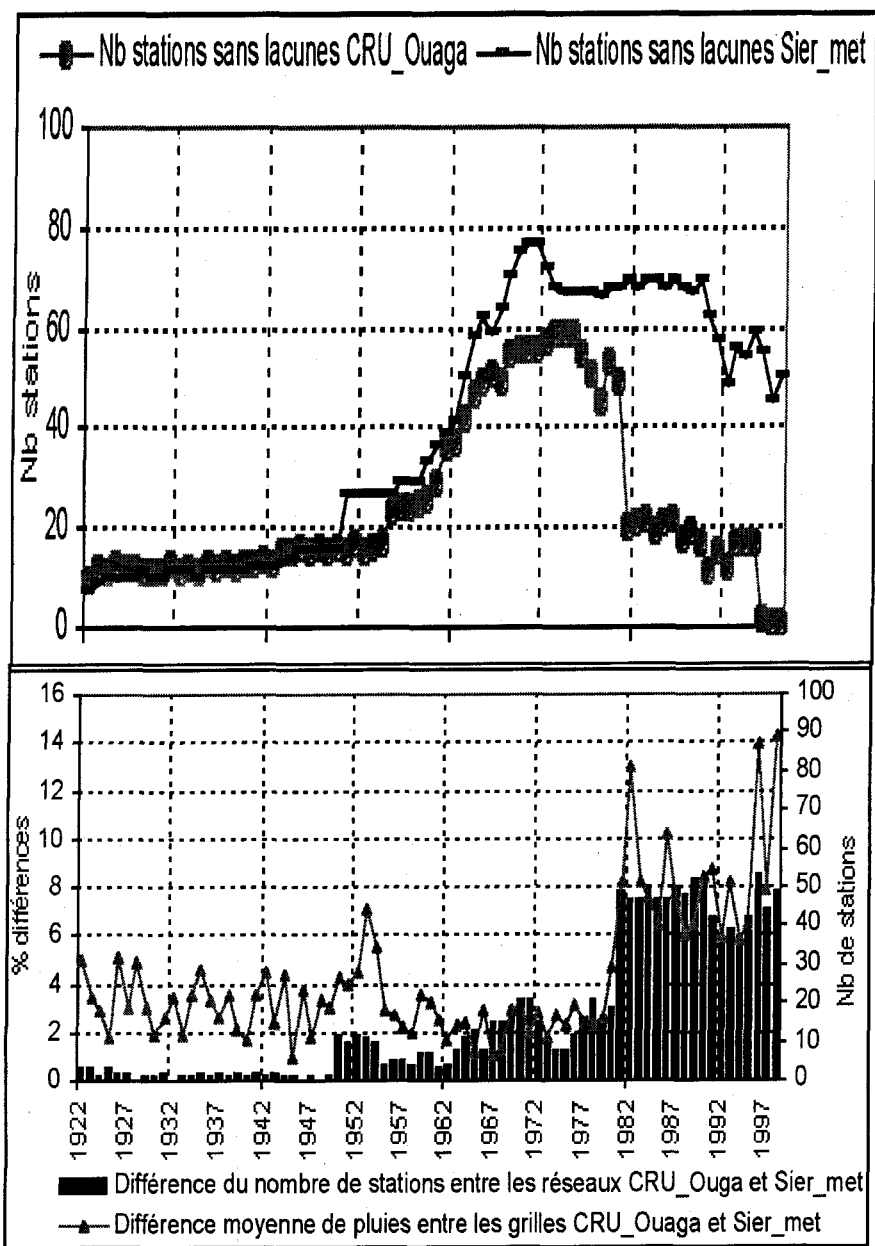


Figure 6. Evolution annuelle des moyennes des différences entre grilles *CRU_Ouaga* et *Sier_met* ; lien avec la densité du réseau de mesure à l'ouest du Burkina Faso

Ces grilles diffèrent également dans la partie est du territoire, où le réseau de stations choisies par le *CRU* est moins dense que les autres. Les deux grilles *CRU_UK* et *CRU_Ouaga* diffèrent entre elles sensiblement (4 à 10 %) sur l'ensemble du territoire, marquant l'influence de la méthode d'interpolation. Les grilles *Sier_met* et *Météo* ne diffèrent entre elles que très peu (moins de 4 %) sauf pour 5 mailles dans le sud-est où le

réseau est moins dense. Ces observations sont confirmées par un test de Student au seuil de confiance de 90 % (fig.8).

SYNTHESE

Les différences entre grilles sont plus importantes quand la pluviométrie annuelle est plus faible. D'autre part, les différences entre les grilles peuvent trouver plusieurs facteurs d'explication :

- la qualité des données (erreurs instrumentales, de relevés, erreurs ponctuelles ou systématiques),
- la densité du réseau de mesure,
- la méthode d'interpolation.

Leurs comparaisons nous donnent une idée de l'influence de ces biais sur la qualité des grilles produites.

Dans notre exemple, l'amélioration de la qualité des données (grille *Sier_Met* par rapport à grille *Météo*) n'a pas significativement d'influence sur la constitution de la grille. On peut quantifier de l'ordre de 3 à 5 % le biais dû à la méthode d'interpolation en comparant les deux grilles *CRU* entre elles que ce soit à l'Est ou à l'Ouest du pays. Le biais lié à la densité des réseaux de mesures est d'environ 4 % à l'Ouest et de 8 % à l'Est. Deux influences peuvent être distinguées :

- le nombre total de stations : plus il est élevé moins les différences sont grandes ;

- la différence de densité entre les réseaux ; plus elle est élevée, plus les différences augmentent.

Ces résultats sont assez proches de ceux de Lebel et al., (1998) sur le sud du Niger : il évalue à 10 -15 % l'erreur moyenne commise sur l'estimation de la pluie mensuelle pour un réseau dégradée de 5 stations sur 10 000 km², par rapport à un réseau homogène de 10 stations.

CONCLUSION

Ce travail a permis de mettre en évidence l'importance non négligée

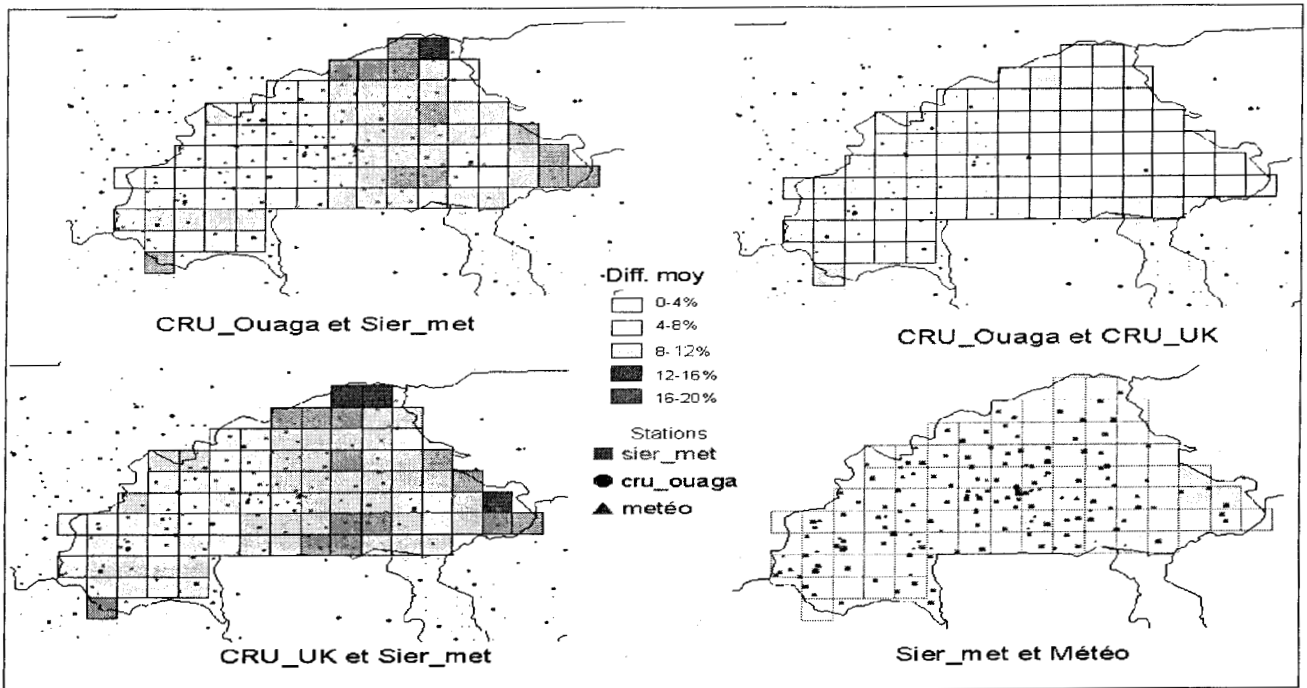


Figure 7. Moyenne des différences par maille entre 4 couples de grilles et représentation des réseaux de mesure

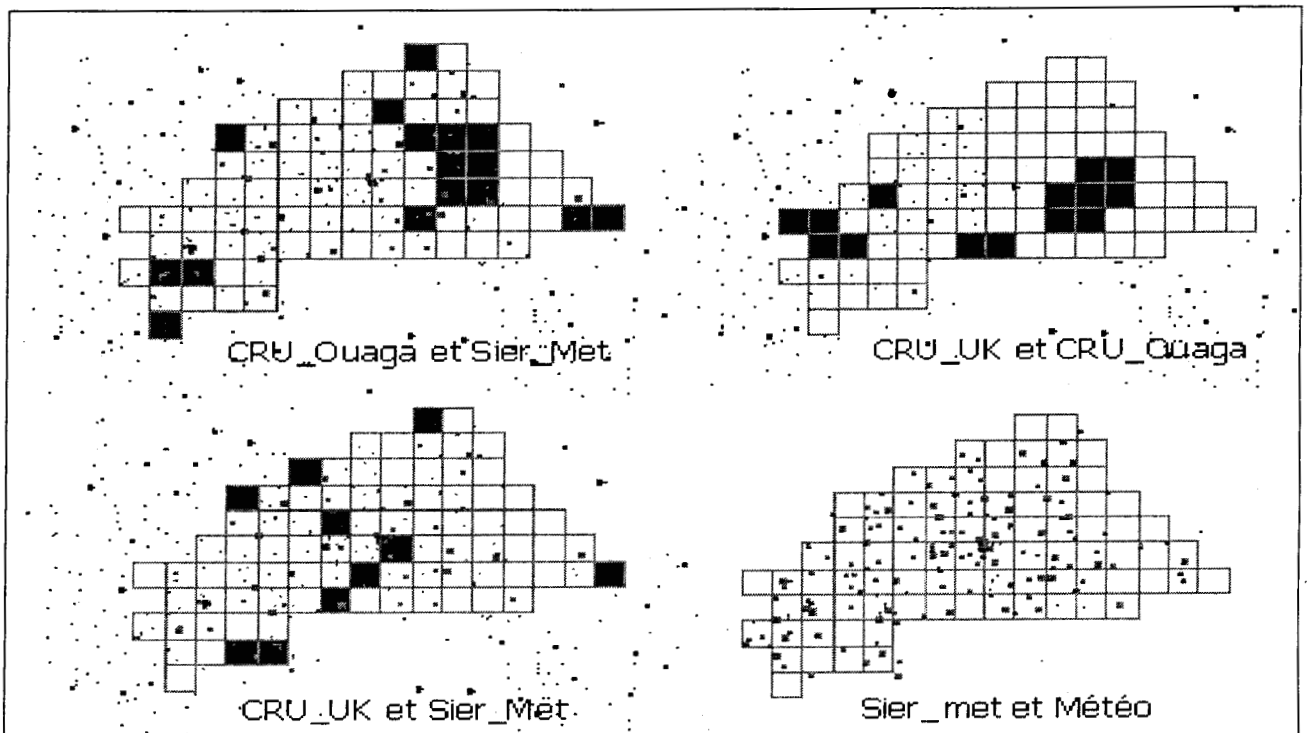


Figure 8. Test de Student au seuil de confiance de 10 % pour la période 1922-98 (en grisé figurent les mailles significativement différentes)

geable de la source de donnée et des méthodes de traitement de l'information sur les valeurs de grilles. La densité du réseau de stations pluviométriques engendre

une différence de 4 à 8 %, et la méthode d'interpolation une différence de 3 à 4 %. D'autres valeurs seraient sans doute obtenues avec des densité de réseaux de

mesures différentes ou d'autres méthodes d'interpolation. Les différences maximales observées entre les grille *CRU_UK* et *Sier_met*, de l'ordre de 11%, sont

conséquentes, équivalent à quelques 60 mm annuel au nord du Burkina Faso et 120 mm au sud.

Cet ordre de grandeur est tel qu'une année peut être classée déficitaire ou excédentaire selon les cas.

Cette imprécision doit être prise en compte dans l'analyse des résultats de la modélisation utilisant ces grilles.

Il serait intéressant de valider ces ordres de grandeurs sur une zone d'étude plus large en Afrique de l'Ouest et Centrale. D'autre part, des études complémentaires seraient nécessaires comme l'étude de la variabilité intraannuelle ou l'étude de la sensibilité du modèle pluie-débit à ces diverses grilles d'entrées, et permettraient de mieux cerner l'impact de ces biais ■

BIBLIOGRAPHIE

Barnes, R. (1991), "The Variogram Sill and the Sample Variance," *Mathematical Geology*, v. 23, n. 4, p. 673-678.

Delhomme, J.P. (1976) Application de la théorie des variables régionalisées dans les sciences de l'eau. Thèse de Docteur Ingénieur, Paris 6, Ecole des Mines de Paris, 130 p.

Diello, P., Paturol, J.E., Mahe, G. (2002) Approche d'identification d'un réseau climatique pour le suivi des modifications du climat au Burkina Faso. 4th International Conference on FRIEND, South Africa 18-22 march 2002

Lebel, T., Amani, A. (1998) Rainfall Estimation in the Sahel : What is the ground truth? *Journal of applied Meteorology*, 38 : 555-568

Mahé, G., L'Hôte, Y., Olivry, J.C., Wotling, G. (2001) Trends and discontinuities in regional rainfall of West and Central Africa : 1951-1989. *Hydrological Sciences*, 46 (2), 211-226.

New, M., Hulme, M., Jones, P. (1999a) Representing twentieth century space-time climate variability. Part I: Development of a 1961-1990 mean monthly terrestrial climatology. *Journal of Climate*, 12, 829-856.

New, M., Hulme, M., Jones, P. (1999b) Representing twentieth century space-time climate variability. Part II : Development of 1901-1990 monthly grids of terrestrial surface climate. *Journal of Climate*, 13, 2217-2238

Ouedraogo, M. (2001) Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité climatique sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest. Analyse des conséquences d'une sécheresse persistante : normes hydrologiques et modélisation régionale. Thèse, Université de Montpellier II, 257 p.

Sircoulon, J., Olivry, J.C., 1986. Caractéristiques de la sécheresse actuelle en Afrique de l'Ouest et Centrale. In

Colloque International sur la révision des normes hydrologiques suite aux incidences de la sécheresse, Ouagadougou, 20-24 mai 1986. CIEH, Série Hydrologie, 20 pp.

Shuttleworth, W.J., 1994. Evaporation. In *Handbook of Hydrology* (ed. by R. D. Maidment), Chapter 4, McGraw-Hill.

Wahba, G. (1990) Spline Models for observational data. *Society and Industrial and Applied Mathematics*, 169pp.