

NOTE SUR LES ECARTS DE MESURE OBSERVES ENTRE LES PLUVIOMETRES  
STANDARDS ET LES PLUVIOMETRES AU SOL  
EN AFRIQUE DE L'OUEST

Pierre CHEVALLIER

Jean-Marc LAPETITE

Unité de Recherche B 12  
Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, B.P. V 51, ABIDJAN, Côte d'Ivoire

Résumé

En Afrique de l'Ouest, huit sites de mesures étagés de la forêt équatoriale au domaine subsaharien ont permis d'étudier l'écart que l'on observe entre les hauteurs de précipitations interceptées par les pluviomètres standards (bague réceptrice à 1 m au dessus du sol) et celles arrivant à la surface du sol mesurées à l'aide d'un dispositif éliminant l'influence du vent. Le rapport entre les deux mesures passe de 1 à 2, lorsque l'on se déplace de la forêt dense vers les zones désertiques. Une analyse plus fine de ce phénomène tente d'expliquer cet écart pour chaque évènement pluvieux. Comme dans le cas de précédentes études réalisées en Europe, aucun facteur explicatif statistiquement satisfaisant n'a pu être dégagé.

Abstract

Rainfall measurements may differ depending upon the raingage which is used, either the standard type with the intercepting ring located 1 m above ground level, or other devices at ground level excluding wind influence. Such discrepancy was studied on 8 West African sites ranging from the Rain Forest to the subdesert region. The ratio between the two measurements varied from 1 to 2 when shifting from the Rain Forest to the desert. For each rainfall event a detailed analysis of the phenomenon was attempted. But, as for previous similar studies in Europe, no statistically satisfactory explanation could be drawn out.

## Sommaire

Avant-propos  
Introduction  
Matériel de mesure  
Localisation des mesures  
Résultats  
Discussion  
Critique  
Etude fine  
Conclusion  
Références bibliographiques

## Avant-propos

Certains des résultats présentés dans cette note ont déjà été publiés, d'autres sont inédits. Ils proviennent non seulement de mesures que nous avons effectuées nous-mêmes, mais aussi d'observations faites sur différents bassins représentatifs de l'ORSTOM sous la responsabilité d'autres hydrologues. Nous voulons les remercier ici pour l'aide qu'ils nous ont apportée.

Alain GIODA et Jacky ETIENNE nous ont communiqué les résultats du bassin de Waraniéné-Korhogo (Côte d'Ivoire) ; le Centre de Recherche Hydrologique de Yaoundé, ceux de Mouda (Cameroun), obtenus dans le cadre d'un programme commun avec l'ORSTOM (Paul CARRE et Bernard THEBE) ; Jean ALBERGEL, Alain BERNARD, Jean-Marie LAMACHERE et André MAHIEUX, ceux de Binnde et d'Oursi (Burkina Faso) ; Bernard POUYAUD, ceux de la station de Saint-Paul au bord du Lac de Bam (Burkina Faso) ; Bernard BILLON et Robert GALLAIRE, ceux d'Azé (Niger).

## Introduction

On sait depuis fort longtemps que c'est le vent qui est la principale cause d'erreur dans la mesure de la pluviométrie (TOEBES, OURYVAEV et coll., 1970). Et NEFF (1977) indique que dès 1769, HEBERDEN pensait que le volume intercepté par un pluviomètre était fonction de sa hauteur au dessus de la surface du sol. Le même NEFF précise encore qu'un certain nombre d'auteurs ont signalé vers le milieu du siècle dernier que le volume intercepté par un pluviomètre diminuait avec l'augmentation de la vitesse du vent.

De nombreuses études ont été réalisées pour essayer de réduire l'erreur commise en utilisant les pluviomètres exposés au vent. Diverses propositions ont été faites, mais il semble que deux types de solutions seulement aient été retenues : d'une part l'utilisation d'écrans pour détourner le vent ; d'autre part l'installation des pluviomètres dans des fosses de telle sorte que la surface réceptrice soit au niveau du sol, un dispositif spécial limitant le rejaillissement des gouttes de pluie à l'intérieur du seau. Tous les auteurs sont d'accord pour dire que ces dispositifs sont peu efficaces pour les précipitations neigeuses dont la sensibilité au vent est particulièrement aiguë.

WEISS et WILSON (1958) ont réalisé une étude bibliographique très complète sur les pluviomètres à écrans et donnent des résultats comparatifs ainsi qu'un certain nombre de facteurs correctifs. Ces dispositifs sont surtout utilisés pour les précipitations neigeuses et ne semblent guère commodes pour une exploitation systématique en Afrique.

RODDA (1968) et NEFF (1977) préconisent plutôt l'utilisation de pluviomètres au sol enterrés avec une grille anti-rebond et encouragent l'implantation de tels appareils pour toutes les études de bassin versant.

Un certain nombre d'observations ont pu être réalisées dans l'Ouest Africain ces dernières années et il nous a paru utile de présenter quelques résultats qui peuvent remettre en cause certaines idées sur les volumes réels de précipitation, en particulier dans les régions soumises à une sécheresse persistante depuis 1970.

Deux approches sont possibles :

- une analyse "a posteriori" à partir des données existantes qui se limitent généralement à des observations de pluies journalières et parfois de vitesses moyennes de vent ;
- une analyse "a priori" nécessitant un dispositif de mesure précis décrivant parfaitement les paramètres explicatifs dans l'espace et dans le temps.

Nous nous intéresserons plus particulièrement à la première analyse et présenterons des résultats généraux. Ce sont en effet ces informations qui sont accessibles et souhaitées par les utilisateurs (projeteurs, analystes, experts, économistes...). La deuxième approche (analyse fine) sera abordée succinctement à la fin de cette note.

#### Matériel de mesure

Le "pluviomètre standard" utilisé presque uniformément en Afrique de l'Ouest francophone est le pluviomètre de type "Association" ou plus récemment le pluviomètre dit "à lecture directe", tout deux diffusés à l'origine par le Service de la Météorologie Nationale Française et acceptés par les normes de l'Organisation Météorologique Mondiale. La bague de réception couvre une surface de 400 cm<sup>2</sup> et elle est placée à exactement 1 m au dessus de la surface du sol (on trouve encore parfois des bagues à 1,50 m, ce qui correspond à une norme abandonnée).

On appellera de la même façon "pluviomètre standard", le pluviographe journalier que l'on trouve communément dans les stations climatologiques d'Afrique de l'Ouest. Il s'agit d'appareils à augets basculeurs installés dans des guérites avec une bague de 400 cm<sup>2</sup> à 1 m au dessus du sol. Il existe plusieurs formes de guérites qui s'apparentent plus ou moins à un cylindre. Plus récemment sont apparues des guérites tronç-coniques, mais elles sont encore peu répandues et ont le désavantage de ne pas permettre le contrôle au seau de la précipitation.

Pour la mesure de la pluie au sol, le pluviomètre est du type "Snowdon" légèrement modifié par l'ORSTOM. Le seau est un "Association" installé dans une fosse carrée de telle sorte que la bague soit exactement au niveau de la surface du sol. Une grille faite de lames métalliques entrecroisées affleure également au niveau du sol en encadrant le seau (fig. n° 1). La fosse est en général bétonnée sur les côtés pour éviter les effondrements et son fond est garni de matériau filtrant permettant une évacuation rapide des eaux de pluie et de ruissellement (il faut éviter que le seau ne "flotte").

Ce pluviomètre au sol est toujours associé à un pluviomètre standard situé à proximité immédiate. Dans certains cas on dispose également d'un anémographe pour contrôler vitesse et direction du vent.

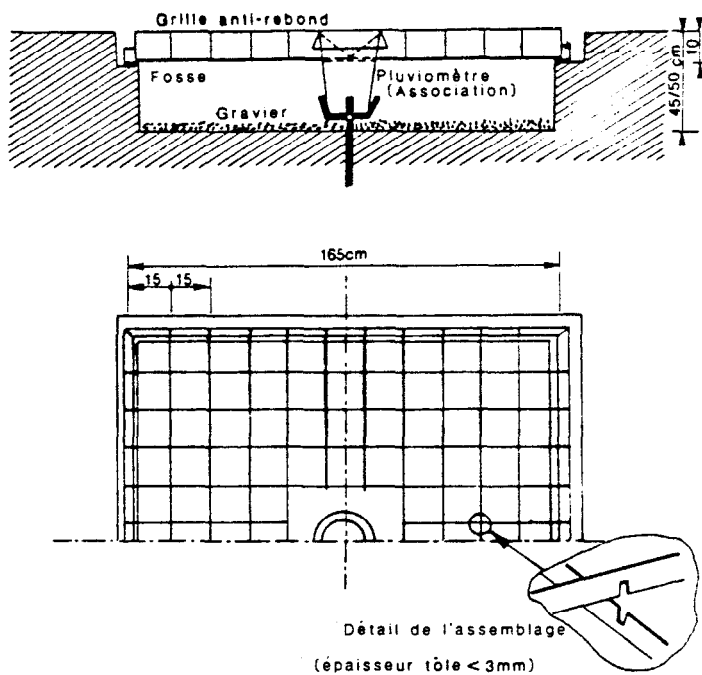
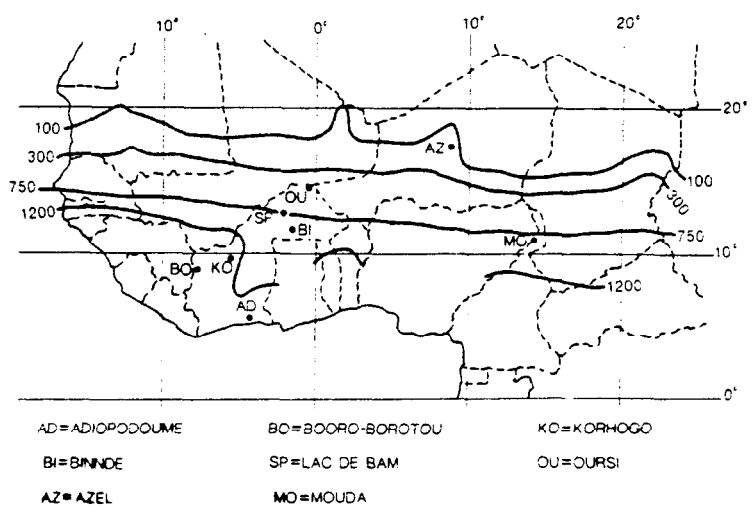


Fig-1 PLUVIOMETRE AU SOL UTILISE PAR L'ORSTOM EN AFRIQUE DE L'OUEST

Fig-2 LOCALISATION DES POINTS DE MESURE ET COURBES ISOHYETES INTERANNUELLES (SIRCOULON, 1976)



### Localisation des sites de mesure

Les mesures dont nous présentons les résultats ont été faites sur des sites correspondant à des études de bassins versants représentatifs menées par l'ORSTOM depuis 1974 dans différents pays d'Afrique de l'Ouest. Ces sites s'étagent entre le domaine climatique tropical humide du sud de la Côte d'Ivoire et le domaine subaride du nord du Niger. Les durées d'observations ne sont pas identiques et l'équipement varie d'un site à l'autre, mais nous verrons que les résultats sont suffisamment significatifs pour que ces différences n'interviennent pas dans l'analyse finale.

La carte de la figure n° 2 situe les points d'observation dont les caractéristiques sont rassemblées dans le tableau n° 1.

Tableau n°1 : Localisation des sites de mesure

nom	code	coordonnées	pér. obs.	P1	PG	an
Adiopodoumé (Côte d'Ivoire)	AD	5°19' N 4°03' W	1983-1986	*	*	*
Booro Borotou (Côte d'Ivoire)	P01 BC	8°29' N 7°33' W	1984-1986	*	*	*
	P12 BB			*	*	
	P24 BM			*		
	P26 BH			*		
Korhogo (Côte d'Ivoire)	KO	9°25' N 5°39' W	1983-1984		*	
Mouda (Cameroun)	MO	10°23' N 14°14' E	1985	*		
Binnde (Burkina Faso)	BI	11°44' N 1°05' W	1982-1983	*		
Lac de Bam (Burkina Faso)	SP	13°20' N 1°30' W	1974-1976	*	*	*
Oursi (B.F.)	Jalafanka OJ	14°40' N 0°30' W	1976-1985	*	*	*
	Kolèl OK		1980		*	
	Gountoure OG		1980		*	
	Outardes UO		1980		*	
	Tchalol OT		1980		*	
Azel (Niger)	AZ	17°03' N 8°02' E	1983-1985	*	*	

P1 : pluviomètre à 1 m      PG : pluviographe      an : anémographe

### Résultats

En première analyse l'étude porte sur les pluies journalières relevées par les observateurs des postes. C'est en effet la seule donnée que l'on trouve systématiquement en Afrique, les réseaux pluviométriques étant en général

relativement denses. Si des corrections systématiques doivent être opérées, elles ne peuvent porter que sur ces valeurs.

Le tableau n° 2 présente les résultats des observations faites aux différents postes étudiés et donne les coefficients de la régression :

$$P_{sol} = A \times P_{standard} + B$$

Seules les précipitations dont le cumul journalier est supérieur à 1 mm au pluviomètre standard ont été retenues.

Un certain nombre de paramètres caractéristiques ont été rajoutés :

- PA : pluviométrie interannuelle ;
- PJ : hauteur de précipitation journalière de période de retour annuelle ;
- VA : vitesse moyenne annuelle du vent à 2 m ;
- VP : vitesse moyenne du vent à 2 m pendant les quatre mois les plus arrosés.

Tableau n°2 : Résultat des observations sur les pluies journalières

nom	nbre obs.	régression		coef. régr.	PA mm	PJ mm	VA m/s	VP m/s	
		A	B						
AD	337	0.99	0	1.00	2059	138	1.37	1.30	
BC	198	1.01	0	1.00	1359	73.4	1.05	0.95	+1
BB	167	0.98	+0.7	1.00					
BM	178	1.02	-0.1	1.00					
BH	178	0.99	0	1.00					
KO	174	1.03	+0.3	0.99	1326	72.7	2.68	2.58	+2
MO	45	1.04	+0.6	1.00	877	65.0	2.61	2.01	+3
BI	109	1.23	0	0.99	909	52.6	2.05	1.50	+4
SP	210	1.23	+0.2	0.98	691	54.6	1.58	1.81	
OJ	229	1.48	-2.0	0.98	462	47.2	2.99	3.40	+5
OK	41	1.25	+1.0	0.99					
OG	45	1.18	+0.3	0.99					
OO	50	1.38	+1.0	0.96					
OT	46	1.36	+1.1	0.99					
AZ	15	1.97	0	0.96	146	26.0	3.79	3.23	+6

Remarques:

- +1 : pluviométrie calculée au poste de Touba (25 km).
- +2 : vent relevé au sommet d'un pylone de 12 m (aéroport de Korhogo).
- +3 : pluviométrie calculée au poste de Maroua-Salak (9 km) et vent relevé à l'aéroport de Maroua-Salak.
- +4 : pluviométrie calculée au poste de Manga (20 km) et vent relevé à la station synoptique de Po (40 km).
- +5 : pluviométrie calculée au poste de Gorom-Gorom (40 km).
- +6 : pluviométrie calculée au poste d'Agadez (10 km) et vent relevé à l'aéroport d'Agadez.

## Discussion

Dans un premier temps nous ne prendrons en compte que les huit postes principaux laissant de côté les postes secondaires des bassins versants de Booro-Borotou et d'Oursi.

Pour comparer les valeurs observées aux différents postes indépendamment du nombre d'observations et de leur situation géographique nous avons proposé dans un travail antérieur (CHEVALLIER et al., 1985) d'utiliser une variable X calculée selon :

$$X = (A + PJ + B) / PJ$$

où PJ est la hauteur de pluviométrie journalière de fréquence annuelle ; A et B les valeurs des constantes de la régression au poste considéré.

Cette nouvelle variable X sera baptisée "écart" entre la pluie au sol et la pluie à 1 m pour la précipitation PJ.

Le tableau suivant présente les valeurs obtenues, en rappelant les principales variables explicatives (LAT correspond à la latitude ramenée à une valeur décimale) :

Tableau n°3 : Ecart et variables explicatives

nom	X	LAT	PA	PJ	VA	VP
AD	0.99	5.32	2059	138	1.37	1.30
BC	1.01	8.48	1359	73.4	1.05	0.95
KO	1.03	9.42	1326	72.7	2.68	2.58
MO	1.05	10.38	877	65.0	2.61	2.01
BI	1.23	11.73	909	52.6	2.05	1.50
SP	1.23	13.33	691	54.6	1.58	1.81
OJ	1.44	14.67	462	47.2	2.99	3.40
AZ	1.97	17.05	146	26.0	3.79	3.23

La première constatation est qu'il n'existe pas de liaison directe entre l'écart X et les vitesses moyennes de vent qu'elles soient calculées sur l'ensemble de l'année ou sur l'ensemble plus restreint des mois de saison des pluies. Cela est du sans doute à une absence de corrélation entre la vitesse instantanée du vent qui intervient sur le pluviomètre au cours de l'averse et la vitesse moyenne calculée sur une période plus longue.

Par contre, les figures n°3 et 4 présentent les relations entre X et la latitude et entre X et la précipitation journalière de fréquence annuelle PJ.

L'ajustement entre X et LAT sur une loi polynomiale est excellent :

$$X = 10,7 \cdot 10^{-6} \text{ LAT}^4 + 0,95 \quad \text{avec } R = 0,99$$

Mais il faut bien sûr se garder d'extrapoler ce genre de formule au delà du début de la zone désertique (18-20° Nord) et considérer qu'en deçà de 6-8° Nord, X est sensiblement égal à 1.

Plus intéressant est l'ajustement entre X et la pluie de fréquence annuelle qui tient un peu mieux compte des particularités régionales et dont l'extension à l'ensemble ouest-africain est sûrement plus significatif. La figure n°4 présente cet ajustement sous forme de deux droites avec une cassure qui se place pour une pluie journalière de fréquence annuelle de 62 mm :

$$\begin{aligned} \text{PJ} < 62 \text{ mm} & \quad X = -0,026 \text{ PJ} + 2,63 \\ \text{PJ} > 62 \text{ mm} & \quad X = -0,0007 \text{ PJ} + 1,08 \end{aligned}$$

Cette limite de 62 mm correspond assez généralement au passage de régions dites "humides" (forêt ou savane) à des régions "sèches" (savane ou steppe aride à désertique).

Les mesures secondaires réalisées à Booro-Borotou et Oursi montrent cependant qu'il faut nuancer ces coefficients. En effet il apparaît que l'environnement immédiat de l'appareillage influence de façon très significative l'écart entre la pluviométrie "standard" et la pluviométrie au sol.

Si l'on admet généralement que les stations climatologiques doivent être installées dans des zones très dégagées avec une exposition maximale (ce qui correspond aux postes principaux analysés jusqu'ici), il n'en est pas de même des postes pluviométriques de couverture des bassins versants représentatifs où seuls les alentours immédiats du pluviomètre sont dégagés.

A Oursi, en plus du poste de la station de Jalafanka, quatre autres postes associant un pluviomètre au sol et un pluviomètre à 1 mètre ont été suivis pendant une année. Les écarts varient selon le tableau n°4 en fonction de l'environnement.

Tableau n°4

nom	X	Description de l'environnement
OK	1.27	plateforme encaissée entre versants pentus
OG	1.19	bas-fond avec proximité végétation assez dense
OO	1.40	glacis découvert, arbres voisins
OT	1.38	glacis découvert, relief proche

La station de Jalafanka qui présente l'écart maximal est installée sur un plateau dénué de végétation qui offre une exposition optimale. On note par comparaison avec les postes plus ou moins protégés l'influence prépondérante de la végétation ou du relief.



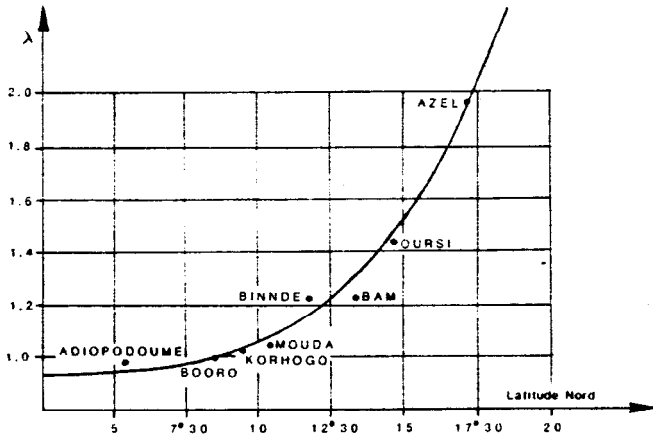


Fig-3 ECART  $\lambda$  EN FONCTION DE LA LATITUDE

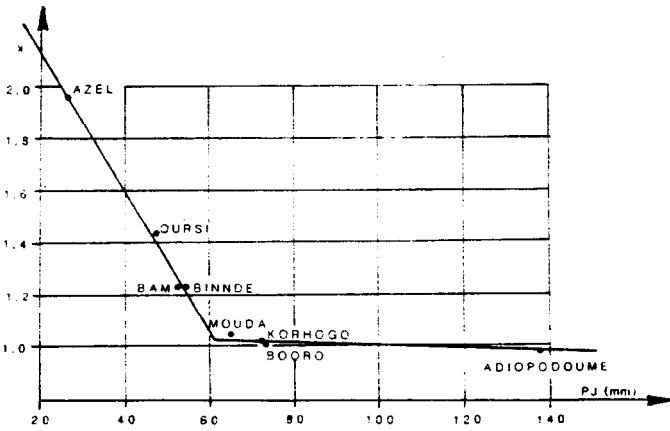


Fig-4 ECART x EN FONCTION DE LA PLUIE JOURNALIERE DE FREQUENCE ANNUELLE

A Booro-Borotou les écarts entre pluies au sol et pluies à 1 mètre sont pratiquement insignifiants. Mais forts de l'expérience d'Oursi, nous avons installé trois ensembles de mesures sur une toposéquence avec un poste en haut de pente (BH), un poste en milieu de pente (BM) et un poste proche du bas fond (BB). Ce dispositif correspond à une organisation de la végétation très générale dans l'environnement de savane humide du nord-ouest de la Côte d'Ivoire : galerie forestière de bas-fond, savane éclaircie ou jachères de mi-pente, forêt claire sur les interfluves.

On trouve respectivement du bas vers le haut les valeurs suivantes de X : 0,99, 1,02 et 0,99. Là encore l'environnement plus clair du milieu de pente se distingue par un écart sensiblement plus important.

### Critique

L'ajustement de l'écart X à la latitude d'une part et à la pluie journalière de récurrence annuelle d'autre part, ainsi que les observations secondaires de la variabilité de X en fonction de la végétation pour une situation géographique donnée ne mettent en évidence qu'un seul paramètre explicatif de l'écart entre pluie au sol et pluie standard. Mais ce paramètre est la notion très qualitative de "rugosité" de paysage. En effet les zones situées en deçà de 8° nord correspondent à des zones de couvert végétal dense, couvert induit lui-même par une pluviométrie abondante. Et l'effet contraire se produit si l'on se place dans les régions semi-désertiques situées vers 18° nord et au delà.

Cette "rugosité" est difficile à appréhender de façon simple sur le terrain dans des zones très bien connues et décrites, à plus forte raison pour un utilisateur de la donnée "pluviométrie" en Afrique dont la connaissance du terrain est très imprécise, voire nulle.

Cependant la latitude ou la pluie journalière de fréquence annuelle représentent de bons indicateurs de cette "rugosité" et permettent à partir de données facilement accessibles d'avoir une information plausible sur l'écart à prendre en compte entre la pluviométrie au sol et la pluviométrie donnée par les services météorologiques locaux. C'est pourquoi, même si cela paraît choquant d'utiliser de tels paramètres explicatifs, ils peuvent rester des paramètres de référence.

### Analyse fine

RODDA (1968) présente des résultats obtenus à Wallingford (Royaume-Uni) et tente une analyse plus fine en essayant de lier les écarts entre pluie au sol et pluie au pluviomètre étalon aux vitesses du vent enregistrées pendant les pluies à proximité de cet étalon. Il ne parvient pas à définir de liaison significative. NEFF (1977) aboutit à des résultats semblables. ALBERGEL (1982) sur un échantillon très réduit (28 valeurs, année 1982) obtenu au poste de Jalafanka-Mare d'Oursi (Burkina Faso) dégage une double régression entre l'écart pluie au sol / pluie à 1 m, l'intensité maximale de l'averse et la vitesse du vent pendant l'averse :

$$E = -1,79 + 0,26 V + 0,70 I \quad (R=0,708)$$

avec E, écart entre les deux mesures (en %)

V, vitesse du vent (en km/h)

I, intensité moyenne de l'averse (en mm/h)

On note tout de même que le coefficient de corrélation est assez mauvais.

A Booro-Borotou et à Adiopodoumé, nous avons également tenté de trouver une explication aux écarts observés à l'échelle de l'averse en les liant, d'une part aux intensités maximales en 5 minutes pendant les averses, et d'autre part à la vitesse moyenne du vent pendant l'averse.

A Booro-Borotou, sur un échantillon de 61 averses supérieures à 1 mm (année 1984), le rapport pluie au sol sur pluie à 1 m varie entre 0,910 et 1,100 pour une valeur moyenne de 1,009. La régression multiple avec l'intensité et le vent donne un coefficient de corrélation de 0,161, significatif de l'indépendance totale des variables.

Un essai d'analyse en composantes principales des trois variables auxquelles on a rajouté la pluie à 1 m ne dégage qu'une conclusion : la liaison entre la pluie à 1 m et l'intensité de l'averse !

A Adiopodoumé la fourchette des écarts sur un échantillon de 115 valeurs supérieures à 1 mm est plus large (de 0,700 à 1,272). Mais si l'on prend les valeurs supérieures à 5 mm, cet écart est fortement réduit (de 0,920 à 1,083). En considérant que l'erreur due à la mesure est nettement plus sensible sur les faibles averses (de 2 à 10% pour les averses comprises entre 1 et 5 mm, si l'on admet une erreur absolue de 0,1 mm), il est difficile d'expliquer les variations des écarts par autre chose qu'un simple "bruit".

Reconnaissons cependant que les deux exemples présentés ici sont peu démonstratifs puisque situés dans des zones où l'écart n'est pas significativement différent de 1. Il est souhaitable qu'une étude approfondie puisse être entreprise sur des données par exemple de savane sèche ou de steppe sahélienne et sur une durée la plus longue possible.

### Conclusion

Cette étude, si elle ne propose pas de recette, ni ne présente de résultats définitifs, attire cependant l'attention sur un phénomène connu depuis longtemps mais dont l'ampleur n'avait pas été nettement mise en évidence dans le contexte ouest-africain.

Les écarts moyens varient du simple au double et cet écart croit rapidement dans les zones sèches où le problème des ressources en eau se pose de façon particulièrement aigu. Les valeurs utilisées par les projeteurs pour la pluviométrie en zone sèche sous-estiment dans des proportions qui peuvent être très larges les volumes réels d'eau disponibles lors des précipitations.

Faute d'une étude plus détaillée permettant d'extrapoler de façon précise la valeur de l'écart à utiliser dans une application particulière, il nous paraît indispensable d'associer à la mesure de pluviométrie standard un dispositif de mesure au sol durant une période (même courte) qui permettra de confirmer une valeur moyenne estimée à partir de la pluie journalière de fréquence annuelle et de la figure n°4 de cette note.

### Références bibliographiques

ALBERGEL J., BERNARD A., 1982. Observations climatologiques à la station de Jalafanka et observations hydrologiques à Kolé, Jalafanka et Mare d'Oursi. ORSTOM, Ouagadougou, multigr.

CHEVALLIER P., CLAUDE J., POUYAUD B., BERNARD A., 1985. Pluies et crues au Sahel. Hydrologie de la Mare d'Oursi (Burkina Faso). 1976-1981. Travaux et Documents de l'ORSTOM n°190. ORSTOM, Paris.

NEFF, E.L., 1977. How much rain does a rain gage gage?. J. Hydrol., 35: 213-220.

RODDA J.C., 1968. The rainfall measurement problem. AIHS/IASH n°78, Ass. Gén. de Berne (25 sept.- 7 oct. 1967), 215-231.

SIRCOULON J., 1976. Les données hydropluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale. Comparaison avec les sécheresses "1913" et "1940". Numéro spécial sécheresse. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol XIII, n°2, 1976.

TOEBES C., OURYVAEV V. et coll., 1970. Les bassins représentatifs et expérimentaux. 4.2.1.3.3. Erreurs affectant les mesures pluviométriques. UNESCO. Etudes et rapports d'hydrologie n°4, 88-89.

WEISS L.L., WILSON W.T., 1958. Precipitation gage shields. AIHS/IASH, Ass. Gén. de Toronto (3-14 sept. 1957), vol.1, 462-484.