

Poster Conférence Internationale: Hydrologie des régions arides méditerranéennes et semi-arides,  
Montpellier avril 2003

## **Erreur sur la mesure de la pluie de l'échelle locale à l'échelle régionale en zone sahélienne**

JEAN-DENIS TAUPIN

IRD (Institut de Recherche pour le Développement), Whymper 442 y Coruña, Quito, Ecuador,

e-mail : [jdtaupin@inamhi.gov.ec](mailto:jdtaupin@inamhi.gov.ec)

**Résumé** L'erreur sur la mesure de la pluie en région sahélienne peut être importante en raison du type de système précipitant dominant, convection principalement, qui va générer spatialement une très forte variabilité de la quantité de pluie qui ne peut pas être prise en compte par le réseau existant (souvent 5 à 10 postes pour 10 000 km<sup>2</sup>). Le réseau EPSAT-Niger, mis en place par l'IRD à la fin des années 80, a tenté de modéliser cette variabilité, à l'aide d'un réseau dense de pluviographes pour la variabilité spatiale et avec un dispositif combiné de capteur au sol pour la variabilité locale. Concernant la variabilité locale, la hauteur du capteur au-dessus du sol est normalement un important facteur d'erreur sur la mesure de la pluie, mais contrairement à ce que l'on pouvait s'attendre, la différence sur la mesure reste en général faible et le bilan pluviométrique à l'échelle locale n'a pas besoin d'être corrigé. Concernant la variabilité spatiale, on a calculé par krigeage à différentes échelles de temps (de la saison à la décade) des moyennes pluviométriques spatiales sur un degré carré, et dans ce contexte il est proposé des abaques opérationnels de l'erreur d'estimation à partir de la hauteur pluviométrique moyenne mesurée et de la densité du réseau.

**Mots-clefs** Niger, Précipitation, Estimation

## **INTRODUCTION**

La région d'étude appartient à la zone sahélienne (climat semi-aride - saison des pluies de mai à octobre), et se situe au Niger occidental dans la région de Niamey ( $P = 524$  mm sur la période 68-99, période sèche après la rupture climatique de la fin des années 60).

L'expérience EPSAT-NIGER (Estimation des Pluies par SATellite au NIGER 1989-2000 - (Lebel et al., 1997), a eu pour objectif l'étude spatiale et temporelle des champs de pluie en zone sahélienne à partir d'un réseau régulier de pluviographes à mémoire statique "oedipe" (36 à 109 postes à bague de  $400 \text{ cm}^2$ ) disposés sur une surface d'environ  $16\,000 \text{ km}^2$ . Lors de cette expérience, on a étudié particulièrement les erreurs d'estimations faites :

- sur les mesures surfaciques ( $10\,000 \text{ km}^2$ ) à partir de réseaux dégradés (1 à 12 stations) en utilisant la méthode du krigeage,
- sur la mesure ponctuelle, erreurs induites par les phénomènes de turbulence de l'air engendrés par le capteur qui sous estime plus ou moins la pluie quand on la mesure à une certaine distance du sol, avec une amplification du phénomène lors d'événements très turbulents (plus de 20 % d'erreur, Neff, 1977 ; Chevallier et Lapetite, 1986), ce qui est souvent le cas au Sahel (80 % de pluies convectives).

## **RESULTATS**

### **Estimation spatiale**

Pour le calcul de moyennes pluviométriques surfaciques, on a utilisé la méthode du krigeage qui apparaît particulièrement bien adaptée (minimisation de la variance et affranchissement de la connaissance de la vraie moyenne, Delhomme, 1978). Cette méthode considère le champ pluvieux comme une variable régionalisée  $z(x)$ , réalisation d'une fonction aléatoire  $Z(x)$ . Si cette fonction aléatoire est stationnaire d'ordre 2, ou intrinsèque, une fonction variogramme peut être alors définie par l'équation suivante :

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1, N(h)} \{(Z(x_i + h) - Z(x_i))\}^2 = 1/2 E\{[Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2\}$$

où  $\gamma(h)$  est le demi-accroissement quadratique moyen entre les valeurs mesurées en deux points distants de  $h$ ,  $N(h)$  est le nombre de points dans la classe de distance  $h$ .

Dans cette étude, qui a porté sur les années 1991 à 1996, on a modélisé chaque champ pluvieux annuel, mensuel et décadaire, à partir du nombre maximum de stations disponibles pour chaque année.

La modélisation du variogramme permet de calculer des moyennes surfaciques et un écart-type d'estimation associé (ECTE) ou ESE -Erreur Standardisée d'Estimation- qui représente l'ECTE divisée par l'estimation de la moyenne.

On a choisi un réseau commun de 12 stations que l'on a dégradé soit 4095 réseaux. Vu le nombre de résultats acquis, on raisonnera en terme de moyenne c'est-à-dire que l'ensemble des ECTE calculés pour un nombre de station donné sera représenté par sa moyenne.

Aux trois échelles de temps, l'erreur d'estimation croît exponentiellement en fonction de la diminution du nombre de station. Plus le pas de temps est petit plus l'erreur d'estimation est grande. A l'échelle saisonnière (figure 1a), on a peu de variation d'une année sur l'autre, on remarque surtout que l'ensemble des courbes est encadré par les saisons 1994, la plus excédentaire (plus faibles valeurs d'ESE), et 1993, la plus déficitaire (plus fortes valeurs d'ESE). Pour la surface considérée (degré carré), la faible variation de l'ESE montre qu'un réseau de 5 stations suffit pour estimer la moyenne surfacique avec une erreur d'estimation inférieure à 7 %. Au pas de temps mensuel (figure 1b), on note un contraste important entre d'une part le début et la fin de la saison des pluies et d'autre part le cœur de cette saison. Mai, septembre et octobre montrent une variation importante de l'ESE d'une année sur l'autre et regroupent les plus fortes valeurs de l'ESE. Pour les autres mois, les courbes sont bien groupées et l'ESE reste inférieure à 45 %, ces caractéristiques étant dues à l'homogénéité de la structure du champ pluvieux pendant cette période. Le mois d'août (50 % du cumul saisonnier des pluies) a la plus faible variation de l'ESE. Pour un seuil de tolérance

de l'estimation de 20 %, on remarque que pour la plupart des années, l'erreur d'estimation des mois de mai et octobre est le plus souvent au-dessus de ce seuil quel que soit le nombre de poste. Néanmoins pour juin, juillet, août et septembre qui représentent 91 % du total saisonnier, un réseau de cinq stations est suffisant pour le calcul de la moyenne surfacique en restant sous le seuil d'estimation de 20 %. A l'échelle décadaire, la capacité d'avoir des estimations fiables est importante car c'est l'échelle de temps de référence des agronomes pour le suivi des cultures. On note une très forte dispersion des courbes pour tous les mois, à part juillet et août, avec une divergence de l'erreur d'estimation importante quand le nombre de station est inférieur à cinq. Sur quelques décades de juillet, on peut noter des erreurs d'estimation plus importantes, liées à la présence d'une sécheresse intra-saisonnière observée systématiquement au cours des six années d'étude.

L'utilisation de telles courbes comme abaques est bien sûr fastidieuse. On peut essayer de regrouper les différents critères qui vont influencer l'erreur d'estimation telle la hauteur de pluie et le nombre de station. On obtient ainsi des courbes au pas de temps annuel, mensuel et décadaire qui apparaissent d'un emploi plus pratique pour déterminer directement une erreur d'estimation moyenne en fonction du nombre de postes disponible et de la hauteur moyenne pluviométrique recueillie sur ces différents postes (figure 2). Ainsi, à l'échelle mensuelle, pour une erreur maximale de 20 %, 12 stations permettent d'évaluer les champs de pluies supérieurs à 8 mm, 9 stations les champs supérieurs à 15 mm, 6 stations les champs supérieurs à 30 mm. Cette étude intéressant seulement la région de Niamey, il est difficile d'extrapoler spatialement la validité de ces abaques, néanmoins la climatologie sur la bande 300-600 mm, entre le Mali et le Tchad, étant homogène on peut raisonnablement étendre les résultats à cette zone.

### **Estimation ponctuelle**

Pour étudier les erreurs sur la mesure pluviométrique à l'échelle locale, entre 1990 et 1996, une à quatre stations du réseau Epsat ont été doublées par un dispositif de pluviographe au sol (figure 1),

Kollo, 13°22'45 N-02°14'66 E (1990-1995), Banizoumbou, 13°31' 97 N-02°39' 62 E (1991-1995), Gorou Goussa 13°50' 75 N-02°02' 13 E (1995-1996), Debere Gati 13°03' 66 N- 02°06' 86 E (1995-1996). Le pluviographe au sol est de type Snowdon situé à environ 4 m du pluviographe standard (1,50 m du sol). La présence de stations climatologiques à Banizoumbou et à Kollo ont permis en complément d'avoir accès aux vitesses de vent à des pas de temps inférieurs aux épisodes pluvieux (de 10 min à 60 min). Les sites qui sont situés dans des champs cultivés en mil (Kollo et Debere Gati) ont été entretenus de telle façon que l'on ait une bande sans végétation d'au moins 10 m autour du site. Pour éviter l'accumulation de feuilles ou de papiers qui auraient pu boucher l'entonnoir du pluviographe au sol, on l'a entouré par deux bandes grillagées de 10 cm de hauteur disposées à 2 m et 4 m du centre du dispositif.

A l'échelle de la saison, l'écart entre les pluviographes au sol et à 1,5 m d'une même station sur le cumul saisonnier disponible varie de 0,7 % à 14,8 % (tableau 1). Pour les stations de Kollo et Banizoumbou les écarts restent faibles d'une année sur l'autre et sur l'ensemble des années étudiées la différence est inférieure à 1 %. Sur le site de Debere Gati, les 2 années sont très contrastées, 1994 n'apparaît pas représentative en raison de perte de données importante recouvrant près de 30 % du cumul total, 1995 avec une différence de 0,2 % se rapproche des deux premiers sites, ce qui apparaît cohérent puisque sur les trois sites ont un environnement végétal important (mil ou jachère). Seul le site de Gorou Goussa montre sur les 2 années un écart net entre les 2 capteurs, la différence étant plus marquée pour les pluies supérieures à 10 mm. La correction de la pluviométrie n'apparaît pas nécessaire sauf pour les zones de plateaux, zone les plus hautes, où les conditions de balayage du sol sont extrêmes, renforcées aussi par l'absence de végétation.

A l'échelle de l'événement, pour tous les sites de mesures, on obtient des relations parfaitement linéaires entre les différents capteurs que l'on peut représenter par la relation :

$$P_{\text{sol}} = A * P_{\text{standard}} + B$$

Les différences sont extrêmement minimales sur les sites fortement végétalisés, Banizoumbou, Kollo et Debere gati. Sur le **tableau 1** toutes stations confondues, on peut remarquer que la pente varie

entre 0,95 et 1,03 et cela pour les différentes années. On ne note pas non plus d'écart significatif lié à la hauteur d'eau, en effet la prise en compte seulement des pluies supérieures ou égales à 10 mm n'a que peu d'influence sur la pente de la droite par rapport aux pluies inférieures à ce seuil.

A l'aide des données climatologiques, on a essayé d'apprécier l'impact de la vitesse du vent sur les événements où l'on observe les plus grands écarts. Pour éviter les erreurs importantes que l'on peut faire sur les petites valeurs de pluie, l'échantillon choisi concerne les pluies supérieures ou égales à 10 mm et dont l'écart entre le pluviographe au sol et le pluviographe standard est supérieur à 5 % en valeur absolue. Même si on peut noter une tendance à l'augmentation de l'écart avec la vitesse du vent, les corrélations que l'on peut obtenir sont très mauvaises ( $r^2 < 0,3$ ) que cela soit en prenant la vitesse moyenne du vent sur l'événement ou la vitesse maximale. On a aussi croisé ces différents paramètres avec l'intensité maximale obtenue en 5 min, 10 min, 15 min, 30 min pour chaque événement mais l'on constate là aussi l'indépendance des variables.

## CONCLUSIONS

Cette étude de l'erreur d'estimation des précipitations sahéliennes a montré que pour calculer des moyennes spatiales fiables, la densité du réseau pluviométrique national est insuffisante, même pour des surfaces très grandes. A partir de la méthode d'interpolation du krigeage et du réseau Epsat-Niger, des courbes d'erreur d'estimation ont pu être établies en fonction du nombre de stations et en corollaire on a pu établir des abaques d'erreurs d'estimation, fonction de la hauteur moyenne de pluie, pouvant permettre d'optimiser le réseau pluviographique en fonction des objectifs fixés (suivi agricole, étude hydrologique...) . A l'échelle locale, contrairement à ce que l'on pouvait attendre dans des conditions de fortes turbulences, les données obtenues au sol ou à 1,50 m, sont assez homogènes au différents pas de temps étudiés en zone végétalisée et plus faibles que prévus en zone dénudée ce qui permet de s'affranchir dans la plupart des cas d'une correction de la mesure standardisée de la pluie.

**REFERENCES**

- Chevallier P. & Lapetite, J.M. (1986) Note sur les écarts de mesure observés entre les pluviomètres standards et les pluviomètres au sol en Afrique de l'Ouest. *Hydrologie continentale*, vol I, n 2. 111-119.
- Delhomme J.P. (1978) Application de la théorie des variables régionalisées dans les sciences de l'eau. *Bull. BRGM*, III, 4 (1978) 341-375.
- Lebel T., Taupin, J.D. & D'Amato, N. (1997) Rainfall monitoring during HAPEX-Sahel. -1- General rainfall conditions and climatology, *J. Hydrol.*, vol. 188-189, 74-96.
- Neff E.L. (1977) How much rain does a raingage gage ? *J. Hydrol.*, 35, 213-220.

**FIGURES**

**Fig. 1** a) ESE moyen en fonction de la densité du réseau (saison 1991-1996), a) échelle saisonnière ; b) échelle mensuelle.

**Fig. 2** Abaques annuelles, mensuelles et décadaires de l'erreur d'estimation en fonction de la hauteur moyenne de pluie sur le degré carré.

**Tableau 1** Comparaison des relations pluviographe à 1,5 m et au sol obtenues sur les sites de Kollo, Banizoumbou, Debere Gati et Gorou Goussa entre 1990 et 1995, au pas journalier et écart saisonnier.

	1990	1991	1992	1993	1994	1995	total années P	total années P<10	total années P>10
<b>Kollo</b>									
Nb évts	23	23	38	39	55	40	191	122	69
a	0,981	1,017	1,004	0,946	1,012	1,031	0,995	0,999	0,996
b	-0,171	-0,306	0,119	0,463	0,18	0,153	0,12	0,125	0,073
r2	0,995	0,985	0,994	0,992	0,998	0,996	0,993	0,975	0,984
Ecart saison	5,5	-1,9	2,2	1,2	-2,7	-4,3	-0,4	-3,4	0,1
<b>Banizou.</b>									
Nb évts		16	28	33	51	28	156	88	68
a		0,996	0,982	1	0,947	0,979	0,989	1,006	0,986
b		0,356	0,198	-0,186	0,382	0,263	0,062	-0,016	0,149
r2		0,999	0,995	0,996	0,995	0,993	0,991	0,974	0,981
Ecart saison		-4,8	1,2	0,8	2,4	1,3	0,7	-0,1	0,8
<b>Debere</b>									
Nb évts					38	33	71	41	30
a					1,062	0,978	1,033	1,076	1,006
b					-0,269	0,263	0,14	-0,027	1,029
r2					0,994	0,99	0,99	0,95	0,985
Ecart saison					-8,2	-0,2	-4,5	-2,5	-5,5
<b>Gorou G.</b>									
Nb évts					32	31	63	43	20
a					1,141	1,131	1,14	1,066	1,111
b					0,235	0,22	-0,078	0,076	0,741
r2					0,994	0,993	0,993	0,961	0,979
Ecart saison					-9,9	-14,8	-13,1	-9,0	-14,4

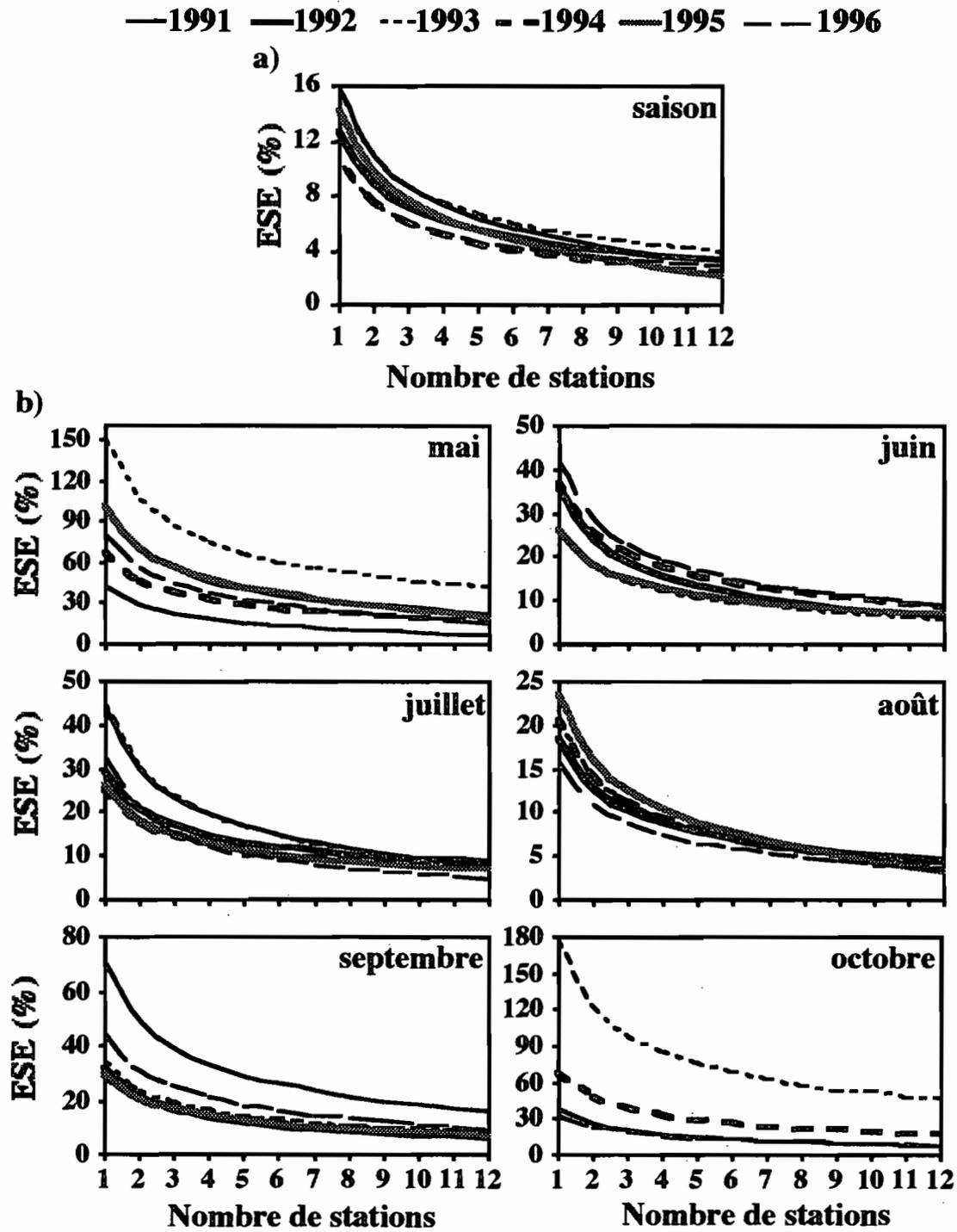
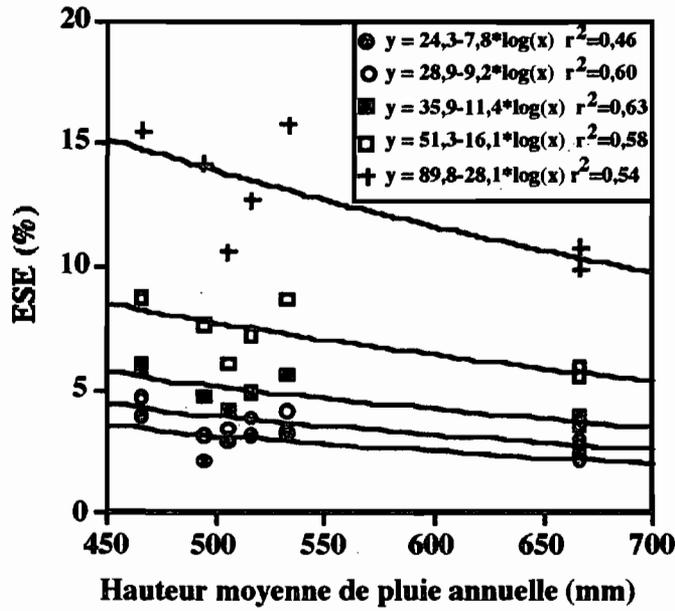


Figure 1 Taupin



$\bullet$  12 stations     $\circ$  9 stations     $\blacksquare$  6 stations     $\square$  3 stations     $+$  1 station

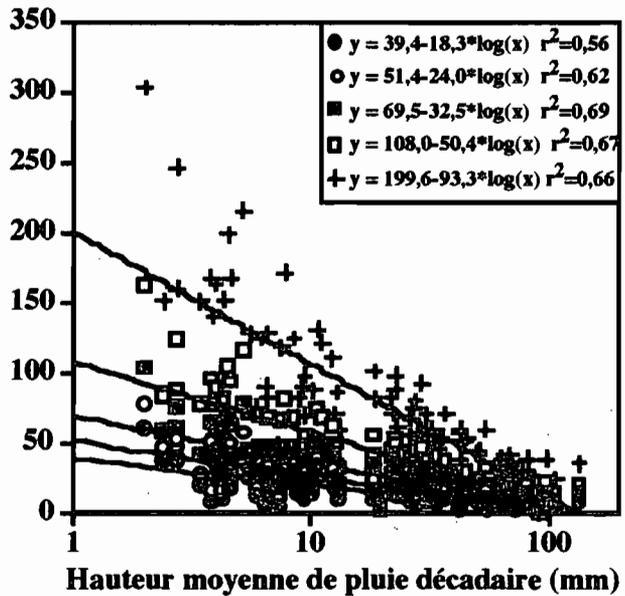
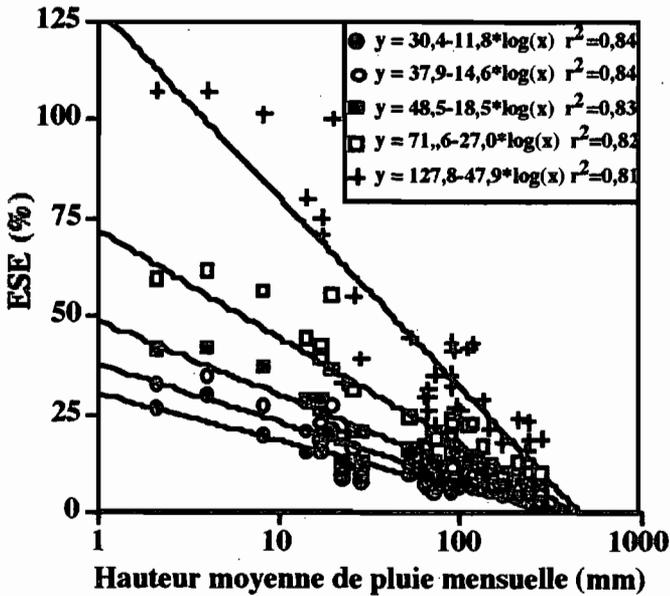


Figure 2 Taupin