

Année Nationale d'Hydraulique Villageoise

Thème II - Ressources en eau

Une nouvelle technique d'estimation des crues décennales des
petits bassins versants : Les études sous pluies simulées.

J. ALBERGEL - A. CASENAVE

Résumé

Après avoir rappelé l'importance de l'estimation de la crue
décennale dans de nombreux projets de développement et fait
un bref historique des études sous pluies simulées, les
auteurs montrent par les résultats obtenus, tant en Côte-
d'Ivoire qu'en Haute-Volta, tout l'intérêt de cette nouvelle
technique qui permet de résoudre de façon beaucoup plus rapide
et nettement moins onéreuse que les études classiques de bassins
versants ce problème de l'estimation des crues décennales.

Article CIET Réunion de ministres
à YAOUNDÉ 1983 ou 84

O.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire

N° : 33279, ex 1

Cote : B

M

PFA

I - Introduction

Un grand nombre de projets de développement (routes, petits barrages, aménagement en vue de cultures irriguées etc...) nécessitent l'estimation de la crue décennale. La méthode classique, utilisée par les hydrologues de l'ORSTOM, basée sur l'étude d'un bassin versant représentatif de la zone à aménager, afin d'y déterminer les relations pluies-débits, nécessite des investissements onéreux et plusieurs années de mesures avant d'obtenir un résultat fiable. Depuis quelques années se développent à l'ORSTOM de nouvelles techniques devant permettre une réduction du coût et de la durée des études. L'utilisation de la simulation de pluie, couplée à une étude sommaire des caractéristiques morphostructurales du milieu, paraît être, à l'heure actuelle, l'une des voies de recherches les plus prometteuse.

II - Historique de l'étude

Lors de la rédaction, en 1965, de la note pour le CIEH sur "l'estimation des crues décennales pour les bassins versants de superficie inférieure à 200 km² en Afrique Occidentale", les auteurs ont constaté que les coefficients de ruissellement des treize bassins forestiers déjà étudiés variaient, dans des proportions telles, sans qu'on puisse en déterminer exactement les causes, qu'il était impossible de donner un mode de calcul précis de la crue décennale pour ces zones forestières. Depuis cette époque, d'autres études ont été menées par l'ORSTOM, sur des bassins forestiers, sans apporter d'amélioration sensible à cette détermination des coefficients de ruissellement. Les travaux d'aménagement se multipliant en Afrique dans ces zones forestières, cette lacune devait être comblée. En 1977, à l'instigation du CIEH, une nouvelle étude était entreprise par l'ORSTOM afin de résoudre ce problème. L'utilisation de la technique des pluies simulées pour déterminer les caractéristiques hydrodynamiques des sols, permettait d'aboutir à un résultat si satisfaisant que l'ORSTOM décidait d'étendre cette nouvelle technique à d'autres zones géographiques en commençant par la Haute-Volta où deux petits bassins en zone sahélienne (Oursi) étaient étudiés dès 1980.

La poursuite des études dans ce pays a pour but de tester de nouveaux bassins représentatifs des différentes zones pluviométriques : bassins de Binndé et Kazanga (région de Manga), bassins du Kuo et de Kaya (région de N'dorola), bassin de Koghnéré (région de Boulssa). fig. 1.

III - Rappel du principe de l'appareil

Le mini-simulateur est constitué d'un système d'arrosage fixé au sommet d'une tour en forme de tronc de pyramide, de 4,0 mètres de haut (fig. 2). Cette tour permet la fixation d'une bâche destinée à isoler la parcelle de l'action du vent. Le système d'arrosage est constitué d'un gicleur calibré, monté sur un bras mobile et alimenté en eau à débit constant par une moto-pompe. Un mouvement de balancement est imprimé au gicleur par un moteur. Un système de bras de levier réglable permet en faisant varier l'angle de balancement de modifier la surface arrosée au sol et par là l'intensité sur la parcelle de un mètre carré étudiée, dans une gamme comprise entre 30 et 150 mm/h. L'ensemble du mécanisme de balancement est monté sur un axe permettant de centrer le gicleur sur l'axe de la parcelle. Un manomètre, installé au sommet de la tour, permet de contrôler la pression d'admission de l'eau au gicleur et donc la constance du débit.

La parcelle étudiée (1 m^2) est limitée par un cadre métallique enfoncé dans le sol d'environ 5 cm. La face aval du cadre est percée de trous au ras du sol et est munie d'un canal collecteur qui recueille le ruissellement. Ce canal débouche dans une cuve calibrée de façon à donner une élévation de 1 cm d'eau dans la cuve pour une lame ruisselée de 1 mm. Cette cuve est surmontée d'un limnigraphe à grande vitesse d'avancement permettant d'enregistrer les volumes ruisselés avec une excellente précision, puisqu'il est possible d'apprécier les temps à 10 secondes près et les lames ruisselées à 0,1 mm près.

Un tube pour mesures neutroniques de l'humidité du sol est généralement implanté à environ 10 cm à l'amont de la parcelle. Un tube de protection coudé permet de faire des mesures, non seulement avant et après, mais également au cours de la pluie.

Ces mesures neutroniques sont doublées de mesures gravimétriques (prélèvements à la tarière). A plusieurs reprises un dispositif de mesure de l'humidité par chocs thermiques a été également utilisé, soit pour pallier les déficiences de la méthode neutronique dans les sols gravillonnaires où l'implantation d'un tube est très difficile, soit comme relais des mesures de sonde à neutrons dans les vingt premiers centimètres du sol.

Bien que dans le cadre des études de ruissellement le problème de l'énergie cinétique des gouttes de pluie soit moins crucial que pour les études d'érosion, il importe cependant de ne pas le négliger, particulièrement en zone de savane où cette énergie a pour conséquence la formation de pellicules de battance dont l'influence sur le ruissellement est considérable. Il importe donc que le gicleur choisi permette la constitution de gouttes de pluie dont l'énergie cinétique soit voisine de celle des pluies naturelles. C. Valentin a fait l'étude détaillée de ce problème, et a montré que l'énergie cinétique des pluies du mini-simulateur est tout à fait semblable à celle des pluies naturelles (fig. 3).

IV - Dispositif expérimental et protocole des mesures

On considère généralement que les principaux facteurs influençant le ruissellement, outre l'intensité et la durée de l'averse sont : la nature du sol en zone forestière ou l'état de surface en zone soudano-sahélienne, l'état d'humectation initial du sol et la pente. Les mesures effectuées sous pluies simulées ont permis de montrer que, sur des parcelles de 1 m de long, la pente n'avait pas d'influence sensible sur le ruissellement, mais qu'il était, par contre, nécessaire de prendre en compte le facteur hétérogénéité du sol. Le dispositif expérimental et le protocole des mesures doivent permettre de caractériser, avec le minimum de pluies, le rôle de chacun de ces facteurs susceptibles d'influencer le ruissellement.

L'influence de l'hétérogénéité du sol est chiffrée en faisant une même série de pluies sur 3 ou 4 parcelles implantées sur un site représentatif d'un type de sol donné. L'étude de l'influence de l'état d'humectation initial du sol, résulte d'une série d'averses identiques sur chaque parcelle, séparées par des temps de ressuyage plus ou moins longs.

La comparaison des résultats moyens des différents sites permet de déterminer le rôle de la nature du sol ou de l'état de surface sur le ruissellement.

Les averses simulées comportant une série de 5 à 6 intensités différentes, elles permettent la mise en évidence de l'importance de l'intensité de la pluie sur le ruissellement et ceci pour chaque état d'humectation du sol et chaque type de sol étudié.

Afin de suivre au mieux les conditions climatiques de la région, la forme et la taille des pluies simulées doivent répondre aux conditions suivantes :

- averse à pointe d'intensité unique
- la taille de chaque pluie simulée est limitée afin de ne pas dépasser la hauteur de pluie journalière de fréquence annuelle ou de fréquence décennale.
- le total des pluies sur une parcelle ne doit pas excéder la valeur de la pluviométrie moyenne interannuelle.
- les composantes intensité-durée-fréquence-doivent respecter celles communément admises pour la région.

V - Données de base obtenues sous pluies simulées

Les mesures directes de l'humidité des sols n'ayant pas toujours donné les résultats escomptés, cet état d'humectation est représenté par un indice pluviométrique intégrant la hauteur des pluies et les temps d'arrêt séparant les averses successives. Cet indice est défini de la façon suivante :

$$I_{kn} = (I_{k_{n-1}} + P_{n-1}) e^{-xt}$$

où I_{kn} = Valeur de l'indice avant la pluie n

$I_{k_{n-1}}$ = Valeur de l'indice avant la pluie n-1

P_{n-1} = hauteur de la pluie n-1

t = temps en fraction de jours séparant la fin de la pluie n-1 du début de la pluie n

x = coefficient d'ajustement = 0,5

Les résultats d'une série de pluies simulées sur un type de sol ou un état de surface donné sont synthétisés par deux familles de courbes $L_r (P_u, I_k)$ et $R_x (I, I_k)$ représentant d'une part les variations de la lame ruisselée en fonction de la hauteur de pluie et de l'état d'humectation du sol et d'autre part les variations de l'intensité maximale de ruissellement en fonction de l'intensité de la pluie et de l'état d'humectation du sol (fig. 4). Ce sont ces courbes qui servent de base à toute l'interprétation. Chaque parcelle est caractérisée par deux relations de forme :

$$L_r = a P_u I_k + b I_k + c P_u + d$$

et

$$R_x = a I - b I_k - c$$

VI - Transposition des résultats des pluies simulées aux bassins

Le passage de la relation pluie simulée - lame ruisselée sur la parcelle, à la relation Pluie naturelle - lame ruisselée du bassin se fait en deux étapes :

- 1) Calcul des lames ruisselées engendrées sur chaque parcelle par les pluies naturelles.

A partir d'une série pluviométrique d'un poste de référence proche du bassin, on calcule les indices I_k correspondant à chaque pluie journalière. Pour chacune de ces pluies, les relations $L_r (P_u, I_k)$ permettent de calculer la hauteur de la lame ruisselée L_{ri} sur la parcelle i .

Si on dispose d'une série pluviographique, la reconstitution est plus fine. Après élimination de la fraction de l'averse correspondant à la pluie d'imbibition ou aux intensités inférieures à l'intensité limite de ruissellement, on calcule pour chaque intensité du hyétogramme, l'intensité de ruissellement à l'aide des relations $R_x (I, I_k)$ puis les lames ruisselées correspondantes $L_{rj} = R_x \cdot t$ dont la somme est égale à la lame ruisselée L_{ri} de la parcelle i .

2) Passage des lames ruisselées sur parcelles à la lame ruisselée du bassin.

Une cartographie des surfaces occupées par les différents types de sol ou d'état de surface représentés par chacune des parcelles est faite sur l'ensemble du bassin. Pour une pluie donnée on calcule une lame ruisselée L_{rc} égale à la somme des lames ruisselées L_{ri} déterminées sur les parcelles après pondération par un facteur c_i égal au pourcentage de la surface du bassin représenté par le type de sol ou d'état de surface correspondant à la parcelle i : $L_{rc} = \sum c_i L_{ri}$

Si les parcelles avaient un comportement identique à celui du bassin, L_{rc} représenterait la lame ruisselée du bassin. En réalité, le problème d'échelle entre des parcelles de 1 m^2 et le bassin de plusieurs km^2 , oblige à passer par l'intermédiaire d'une fonction de calage pour reconstituer les lames ruisselées du bassin. Cette fonction de calage est obtenue en corrélant les lames ruisselées calculées à l'aide des mesures sous pluies simulées et celles réellement observées sur le bassin, ce qui oblige à faire des observations hydropluviométriques classiques sur le bassin pendant au moins une saison des pluies. En zone forestière, où les bassins déjà étudiés sont suffisamment nombreux, il a déjà été possible de déterminer une fonction de calage unique valable pour tous les bassins. Nous espérons qu'il en sera de même en zone soudano-sahélienne lorsque les études seront plus avancées.

VII - Reconstitution des crues décennales

Les résultats des pluies simulées permettent de reconstituer les lames ruisselées correspondant aux crues décennales, soit directement en appliquant les relations $L_r(P_u, I_k)$ à une pluie décennale tombant dans des conditions d'humectation des sols moyennes après calage sur les résultats réels du bassin, soit indirectement en générant à partir d'une série pluviométrique de longue durée et des relations $L_r(P_u, I_k)$ une série de crues à laquelle on ajuste une loi statistique.

Les résultats obtenus au cours des différentes campagnes de mesure sous pluies simulées en Côte-d'Ivoire et Haute-Volta sont synthétisés dans la figure 5 pour la zone forestière et le tableau 1 pour la zone soudano-sahélienne.

Tableau 1

Bassins	Korhogo (RCI)	Jalafanka (Oursi)	Polaka (Oursi)	Binndé (Manga)
Lame ruisselée décennale résultant de l'étude du bassin en mm	29,0	60,4*	23,2*	32,1
Lame ruisselée décennale calculée à l'aide des me- sures sous pluies simulées en mm	30,1	45,6	23,9	35,0

* valeurs provisoires la synthèse de l'étude n'étant pas terminée

VIII - Conclusion

Théoriquement la seule méthode correcte de calcul de la crue décennale, consiste à ajuster un modèle pluie débit à un échantillon observé de fortes et très fortes crues, à reconstituer, à l'aide de ce modèle, les crues à partir d'une série pluviométrique journalière de longue durée, puis de faire l'analyse statistique de l'échantillon de crues ainsi obtenu. Cette méthode impose des mesures de terrain longues et onéreuses, pour obtenir un échantillon de crues statistiquement significatif. Les décideurs des projets d'aménagement n'ont, le plus souvent, ni les moyens financiers requis ni surtout le temps d'attendre les résultats d'une telle étude. Jusqu'à présent, en Afrique, au sud du Sahara, une seule méthode de prédiction de la crue décennale facile d'emploi leur était proposée : celle établie par RODIER - AUVRAY (1965) pour le CIEH, qui résulte de la synthèse des observations faites par l'ORSTOM sur des bassins versants représentatifs disséminés dans tous les pays de la zone intertropicale.

Dans cette méthode on transpose les résultats obtenus sur des bassins connus à celui qu'on étudie par une série d'abaques qui permettent de classer le bassin étudié dans un groupe en fonction de ses différents caractères morphologiques et climatiques. Un certain nombre de ces caractères sont facilement quantifiables (pluie décennale, surface, indice de forme, de pente etc...) mais l'un d'eux restait uniquement subjectif : la perméabilité globale du bassin. Or ce paramètre a une énorme importance dans la détermination du coefficient de ruissellement et donc la taille de la crue. Les mesures sous pluies simulées permettent dorénavant de quantifier facilement ce paramètre et par là améliorent très sensiblement la détermination des débits de crue décennale. Il ne nous semble pas irréaliste d'espérer arriver à déterminer, dans un avenir assez proche, la crue décennale d'un bassin n'ayant fait l'objet d'aucune mesure, uniquement à partir d'une campagne de pluies simulées et d'une carte des différenciations morphostructurales du bassin, ce qui permettrait de répondre rapidement aux multiples demandes des maîtres d'oeuvre de la plupart des projets de développement.

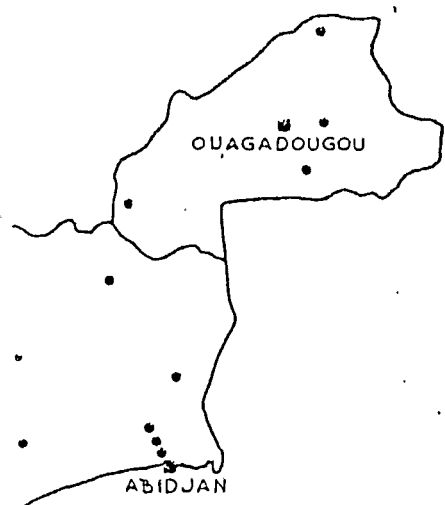


Fig. 1 Carte de Situation des bassins étudiés

• Bassin étudié

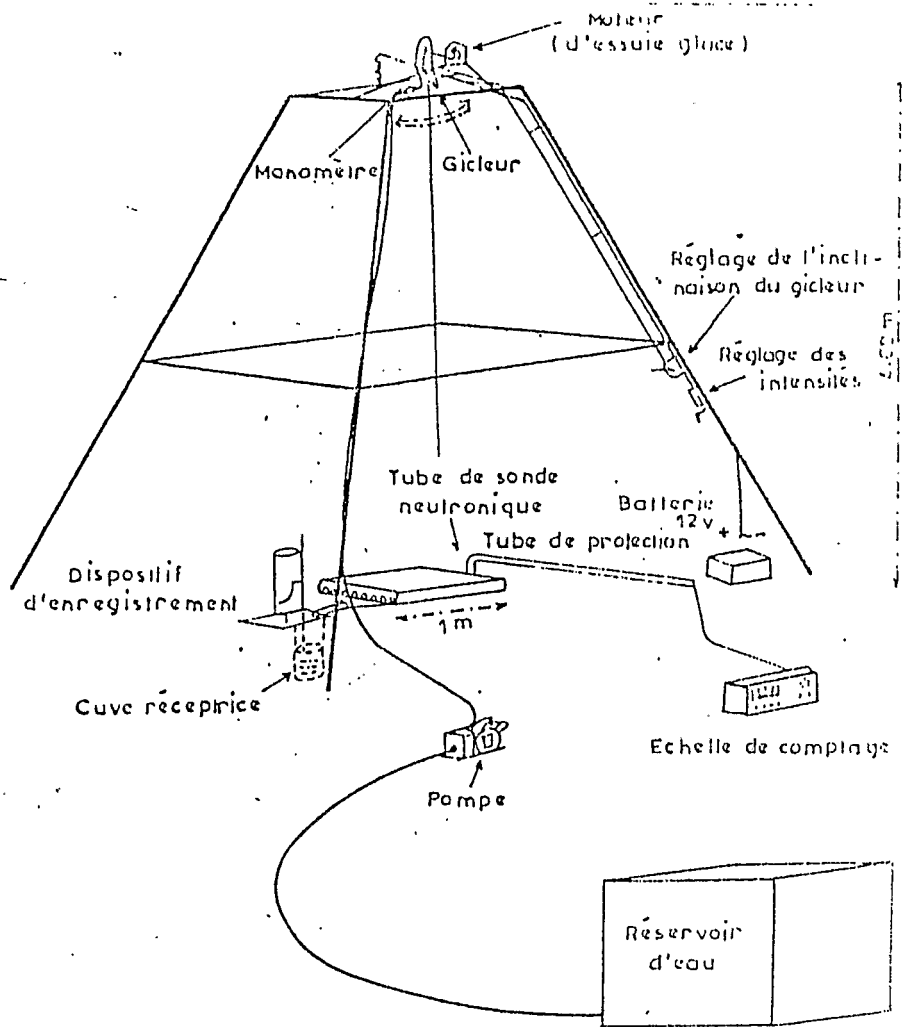


Fig. 2 Schéma du mini-simulateur

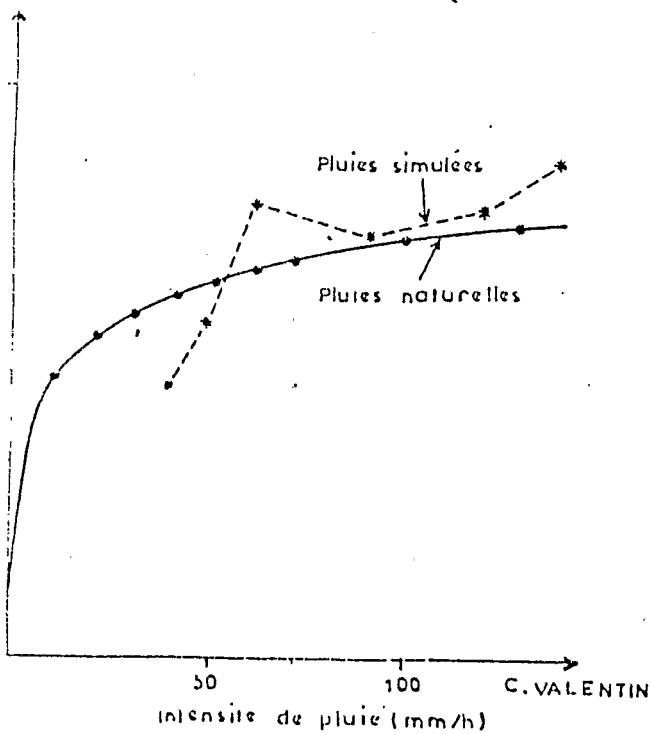
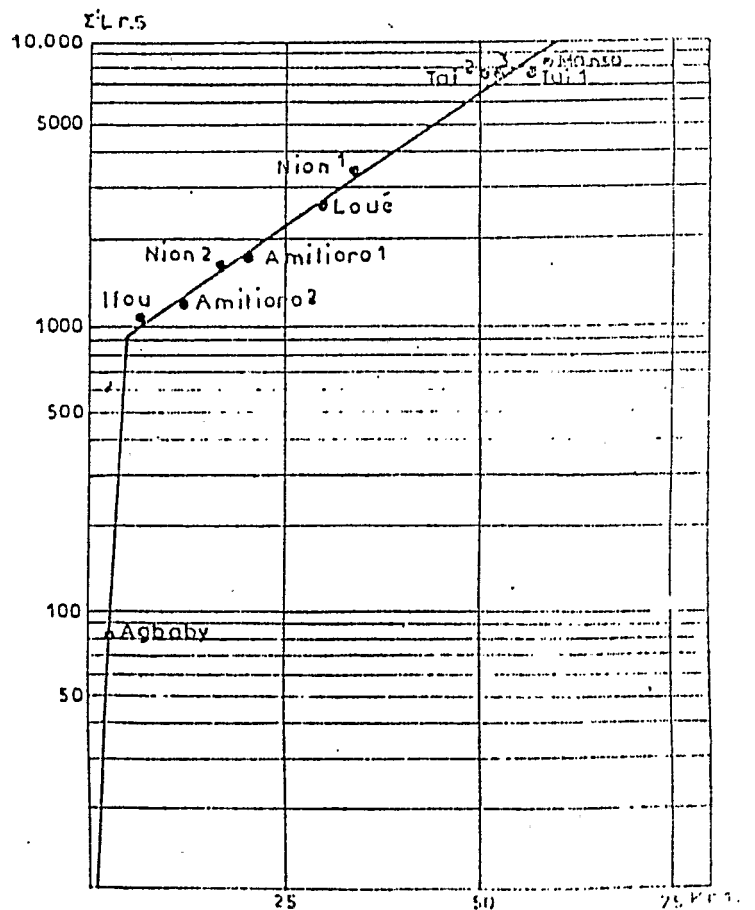
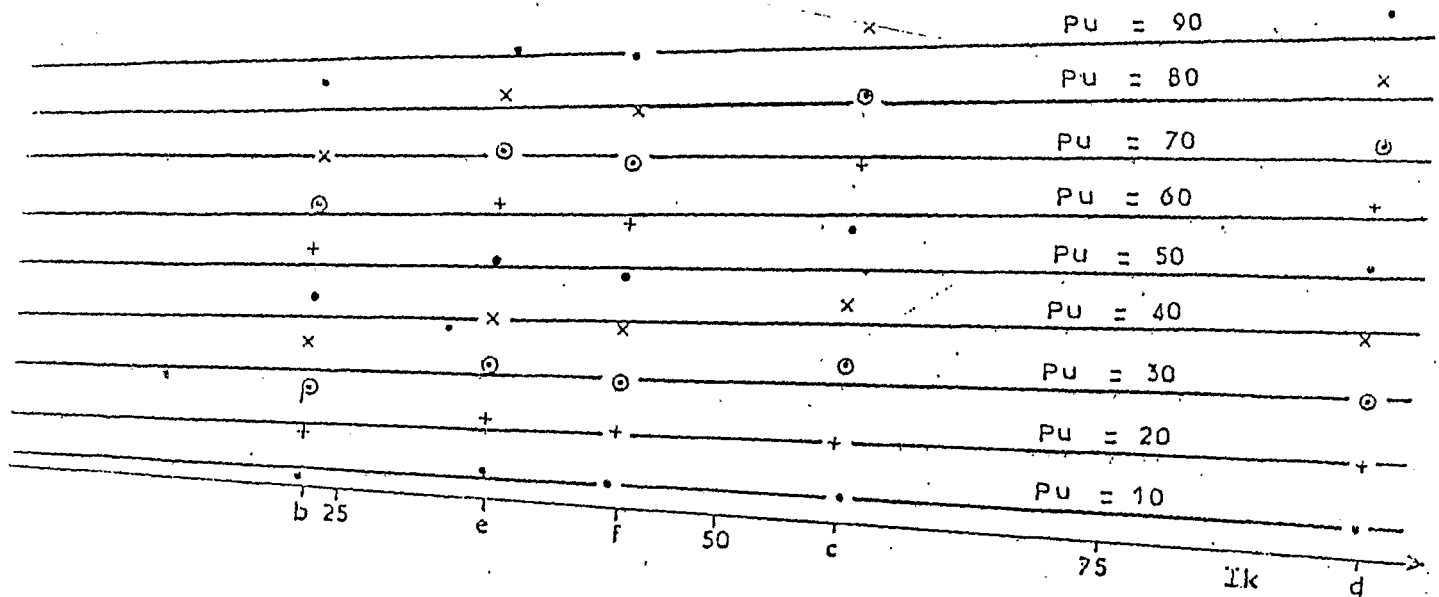


Fig. 3 Comparaison des énergies cinétiques des pluies naturelles (Abidjan) et simulées



Parcelle 1 - BASSIN BINNDE



Parcelle 13 - BASSIN DE KAZANGA

