

Par Olivier PLANCHON et Jean-Louis JANEAU
(Centre ORSTOM d'Adiopodoumé BP V51, Cote d'Ivoire).

INTRODUCTION.

L'équipe HYPERBAV, (programme hydro-pédologique de recherche sur bassin versant) a commencé en 1984 la mise au point d'un simulateur de ruissellement (JANEAU J.L. 1984) dans le but de mener des expérimentations à la même échelle que la simulation de pluie : le mètre carré. Les premières simulations ont été menées en utilisant les mêmes installations que le simulateur de pluie: mêmes cadres de parcelles en tôle et même limnigraphe. Les premiers résultats obtenus (PLANCHON O. 1985) ont montré l'intérêt de la méthode mais aussi les limites du matériel employé, peu adaptés à l'évacuation et à la mesure des débits importants du ruisselleur. Tout en conservant l'échelle de mesure (les parcelles font maintenant 2 mètres de long), nous avons donc élaboré un nouveau protocole qui ne fait plus appel à un cadre métallique pour délimiter la parcelle et qui permet en outre de mesurer la vitesse du ruissellement. C'est ce protocole que nous présentons ici.

I LE RUISSELLATEUR

Le ruisselleur est un appareil permettant de distribuer au sol sur un mètre de large une lame d'eau régulière ayant une énergie cinétique initiale très faible. Le débit de l'appareil peut être modifié en cours d'utilisation. Il a déjà été décrit en détail par JANEAU et PLANCHON (1985); son fonctionnement est illustré par la figure 1, rappelons-en rapidement le principe.

L'eau est amenée sous pression constante et contrôlée à une rampe de dix gicleurs calibrés. Trois jeux de gicleurs sont disponibles. Une fois le ruisselleur équipé de l'un d'entre eux le débit est fonction du seul nombre de gicleurs en service. Le débit est contrôlé par :

- * Un compteur d'eau (1)
- * Une vanne de commande générale (2)
- * Un régulateur de pression (3)
- * Un manomètre (4)

La hauteur de la rampe de gicleurs (5) est réglée en fonction du nombre de gicleurs en service.

L'énergie cinétique du jet est absorbée par une nappe de gravillons (6) collés sur de la laine de verre (7).

L'ensemble du dispositif présenté a permis d'expérimenter des débits de 0.03 à 1 l/s.

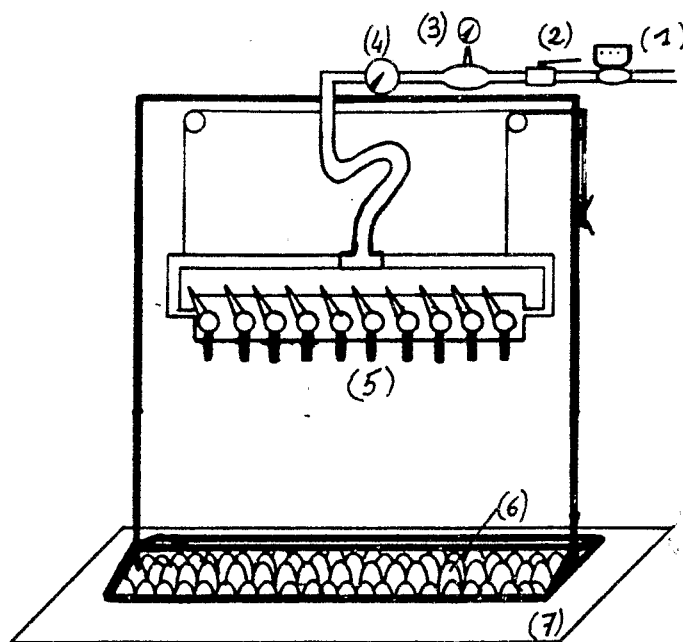


Figure 1 : Schéma du ruisselleur

II. LA PREPARATION DE LA PARCELLE.

La préparation d'une parcelle de ruissellement dans le but d'y effectuer des mesures de débits solides est délicate. Deux écueils doivent être évités : la création de "points durs" dans les chenaux de ruissellement et la modification du niveau de base à l'exutoire de la parcelle au cours de son aménagement. Les parcelles du type infiltromètre, qui utilisent un cadre métallique ajouré sur sa face aval et planté dans le sol, sont bien adaptées aux débits fournis par le simulateur de pluie mais n'ont pas donné satisfaction pour des débits supérieurs (PLANCHON 1984). Un système radicalement différent a donc été adopté.

Le principe retenu est une rigole creusée perpendiculairement à la pente. Le fond de la rigole est cimenté tandis qu'une bande de 25 cm à l'amont de la rigole est solidifiée en place et sans modification de sa surface ni de son volume, grâce à une imprégnation à la résine.

L'implantation de la rigole est déterminée empiriquement en observant un filet d'eau s'écouler le long de la pente. La rigole est alors creusée 2 mètres en aval du ruisselateur, perpendiculairement au filet d'eau et de telle sorte que le fond ait une pente régulière de 10% environ. Elle débouche sur une fosse de 1,50m de profondeur au fond de laquelle se trouve un fût qui recueillera l'eau de ruissellement. Le fond de la rigole est cimenté puis lissé avec une gouttière de toiture en PVC. La gouttière est ensuite utilisée comme déversoir vers le fût (figure 2).

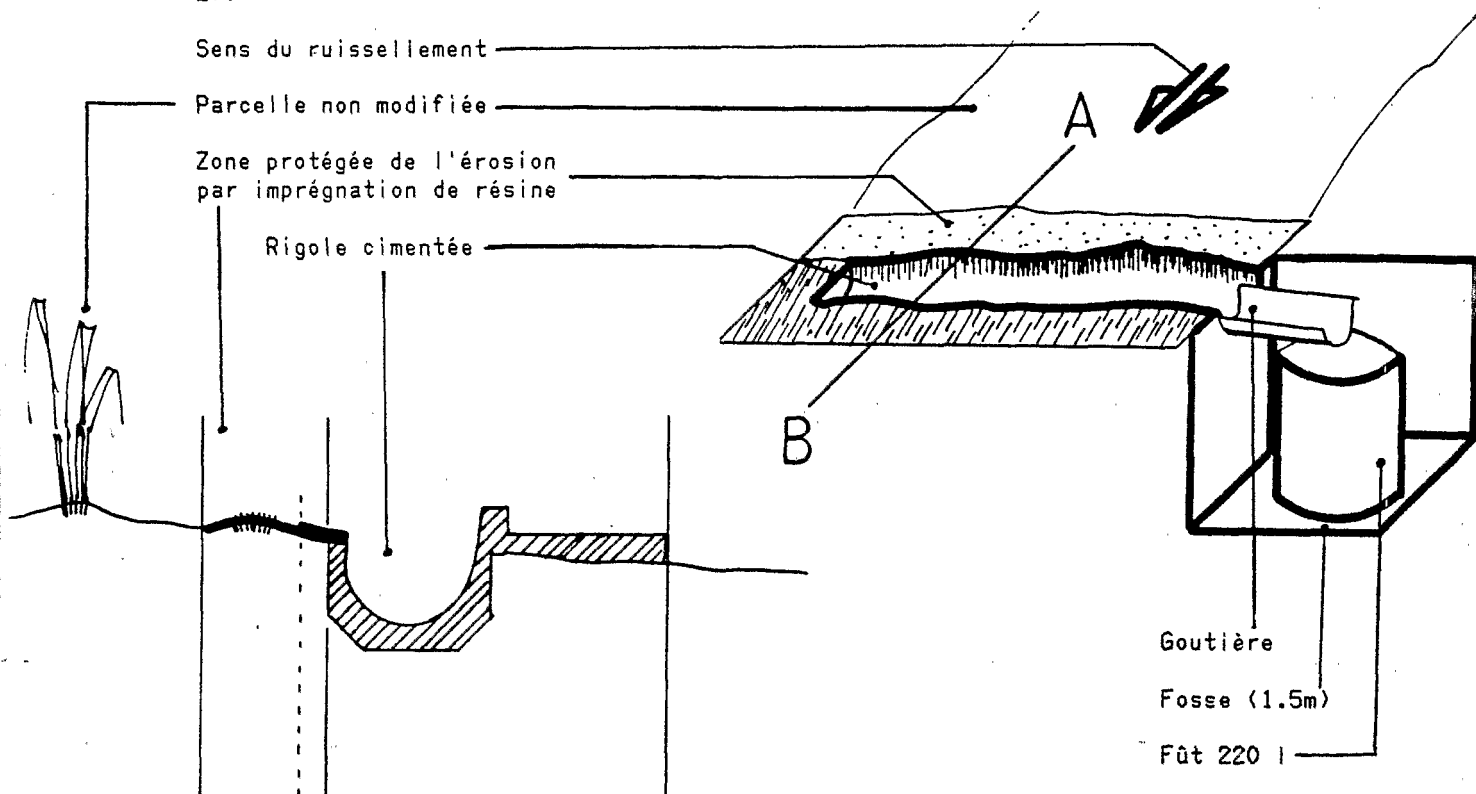


Figure 2 : Préparation d'une parcelle de ruissellement

Sur une bande de 25cm de large au dessus de la rigole, la végétation est soigneusement découpée au raz du sol et la surface nettoyée au pinceau. Sur cette surface propre mais intacte, on répand de la résine diluée de 10% d'acétone et prévue pour catalyser en une heure. La résine fluidifiée par l'acétone imprègne le sol sur 5 à 10mm d'épaisseur, formant après catalyse une masse résistante mais non cassante, susceptible de supporter des contraintes d'humectation-dessiccation pendant plusieurs mois sans se détériorer.

III. MESURE DE LA VITESSE DU RUISSELLEMENT.

III.1 Choix de la méthode.

Passons rapidement en revue les différentes méthodes existantes.

* Le micro-moulinet.

Il a l'avantage de donner une mesure directe et surtout ponctuelle de la vitesse mais les lames d'eau d'une dizaine de mm au maximum que l'on obtient avec les débits expérimentaux le rendent inutilisable.

* Les flotteurs.

Là encore les chenaux ne sont pas suffisamment bien définis pour que cette technique soit applicable. En effet, même petits, les flotteurs sont systématiquement freinés par la végétation, le sol sous la surface de l'eau et par les changements de direction des chenaux de ruissellement.

* Le marquage de l'eau.

Il est généralement utilisé avec des colorants : fluorescéine (Kalman 1976) ou rhodamine. Le colorant est injecté sous forme d'une impulsion instantanée à l'amont et le temps de passage du pic de coloration est chronométré à l'aval. Ce chronométrage manuel est soumis à différents types d'erreurs :

- L'appréciation correcte du maximum de coloration est rendu difficile dans notre protocole par la présence de végétation sur la parcelle.

- Le maximum de coloration avance toujours plus vite que le courant. C'est sur les petites distances et à vitesse faible que l'erreur relative due à la diffusion laminaire du nuage est la plus importante. Une application numérique du modèle présenté plus loin prévoit une erreur de 20% dans l'évaluation de la vitesse pour des valeurs couramment rencontrées dans nos expérimentations (distance 1.5 m, vitesse 5 cm/s, diffusion 0.005 m²/s).

Nous avons donc dû adapter cette méthode à nos conditions expérimentales :

1°- En injectant simultanément mais à deux endroits différents deux pics de marqueur et en mesurant à l'aval le temps de passage entre les deux pics. Le calcul montre que l'on augmente ainsi sensiblement le domaine (vitesse, coefficient de diffusion) dans lequel la vitesse peut être calculée à partir du temps de passage entre les deux pics.

2°- Un enregistreur suivant en continu le passage des deux pics remplace avantageusement le chronomètre : la précision de la mesure est augmentée et on dispose en plus d'un enregistrement à partir duquel on peut retrouver les coefficients de diffusion. Ceci est rendu possible par le choix d'un marqueur adapté : le KCl, que l'on suit par l'intermédiaire de la conductivité de l'eau.

Un nouvel avantage important découle de ce choix : La cellule de conductivité peut être placée où l'on veut dans la partie aval de la parcelle, soit dans un chenal particulier, le plus rapide par exemple, soit au fond de la rigole collectrice pour mesurer une vitesse moyenne ; dans tous les cas, le calcul donnera la vitesse moyenne entre les deux points d'injection.

III.3 REALISATION DE LA MESURE.

L'ensemble du montage est décrit figure 3. Un bâti métallique matérialise l'élément de parcelle sur lequel sont effectuées les mesures de vitesse. Deux godets sont montés à chaque extrémité du bâti et sont accouplés de façon à basculer simultanément, deux raies de KCl sont alors injectées sur la parcelle.

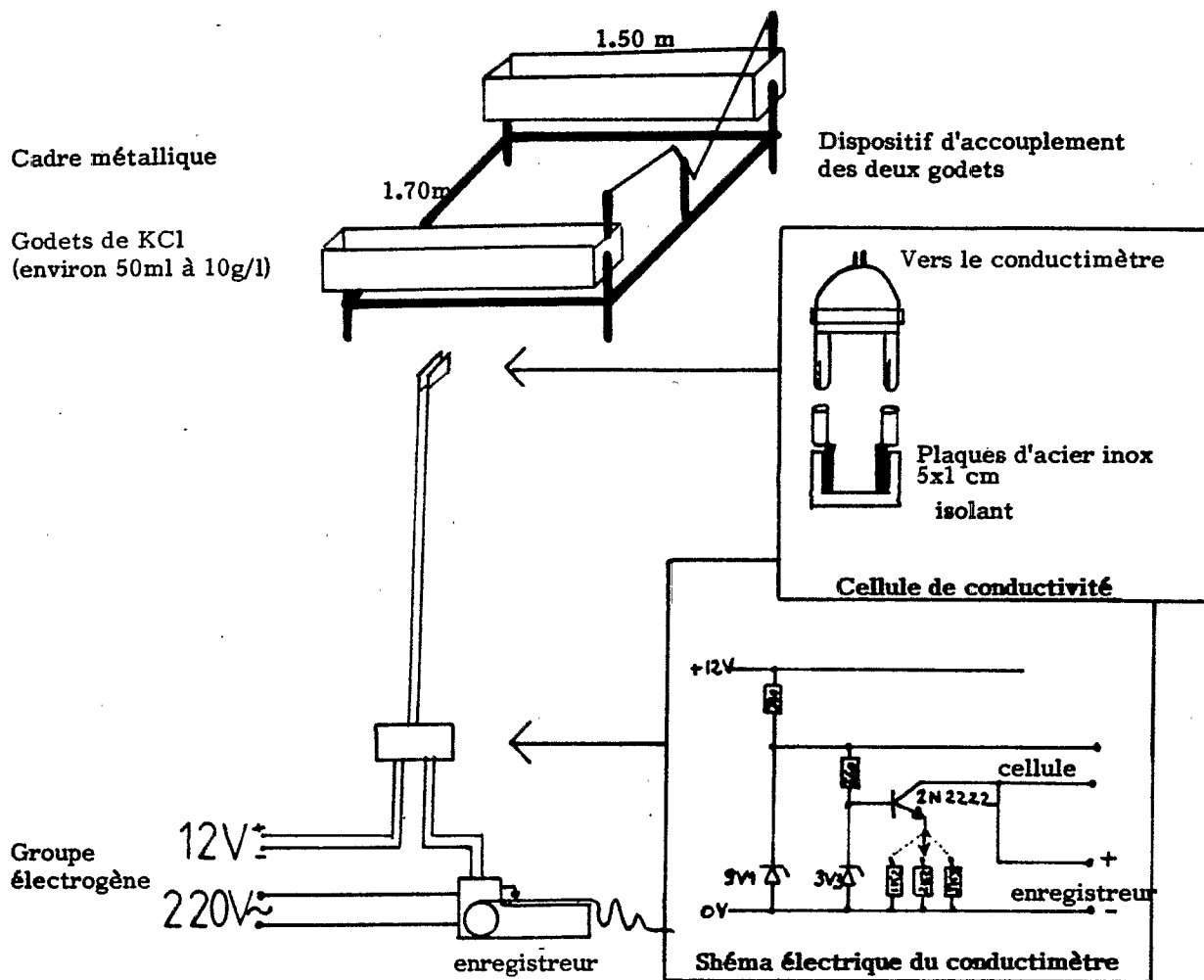


Figure 3 : Schéma descriptif des mesures de vitesse

III.4. DEPOUILLEMENT DES RESULTATS.

III.4.1 COURBE D'ETALONNAGE

Les données sont exprimées en volts, qu'il convient d'abord de convertir en concentration pour pouvoir appliquer les modèles de diffusion. La courbe d'étalonnage de l'ensemble conductimètre + cellule est donnée figure 4 en coordonnées semi-logarithmiques et nous permet d'établir les relations suivantes :

$$[KCl] < 0.3 \text{ mg/l} : ddp = 8.0595 + 1.2 \cdot \log([KCl])$$

$$[KCl] > 0.3 \text{ mg/l} : ddp = 6.7963 + 0.2619 \cdot \log([KCl])$$

avec :

ddp = tension en Volts aux bornes du conductimètre,

[KCl] = Concentration en KCl en mg/l.

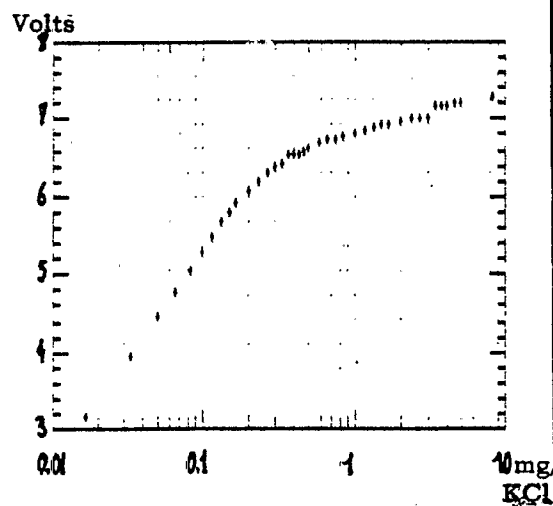


Figure 4 : Courbe d'étalonnage du système de mesure

III.4.2. CONSTRUCTION DU MODELE MATHEMATIQUE.

Nous nous plaçons dans l'hypothèse d'un écoulement monodimensionnel, c'est-à-dire que l'on suppose que tous les filets d'eau circulent parallèlement les uns aux autres et qu'il n'y a pas de diffusion latérale. Cette condition est peu éloignée de la réalité lorsque l'on place la cellule dans un chenal rapide. En revanche, lorsque la cellule est placée au fond de la rigole collectrice pour mesurer une vitesse moyenne sur toute la largeur de la parcelle, les filets d'eau ne sont pas tous

parallèles : anastomoses, tourbillons à l'amont des touffes d'herbes, traversées de flaques allongent le trajet de certains filets d'eau au point que, dans les cas extrêmes de ruissellement très anastomosé sur parcelle peu pentue, l'ajustement du modèle monodimensionnel peut perdre toute signification physique. En acceptant ces limites, l'équation de la diffusion s'écrit alors :

$$V \frac{dC}{dX} + \frac{dC}{dt} - D \frac{d^2C}{dX^2} = 0 \quad (1)$$

C= concentration
X= distance au point d'injection
V= vitesse de l'écoulement
D= coefficient de diffusion
t= temps.

Dans notre cas, la condition initiale s'écrit : $C(0,t) = \frac{M}{Q} \delta(t)$ (2)

$\delta(t)$ = Distribution de Dirac (expression mathématique d'un pic instantané volume 1)

M = Masse totale injectée

Q = débit.

La solution de l'équation 1 qui correspond à la condition initiale 2 s'écrit :

$$C(X,t) = \frac{M X}{Q t \sqrt{4 D t}} \exp\left(-\frac{X-Vt}{2\sqrt{Dt}}\right)^2 \quad (3)$$

Différentes applications de cette solution sont présentées figure 5. Nous l'adopterons en formulant deux hypothèses :

1° Les deux pics injectés simultanément l'un à l'amont de la parcelle et l'autre à l'aval restent toujours suffisamment distincts pour que l'on puisse négliger toute interférence d'un pic sur l'autre. La concentration enregistrée à la cellule s'écrit alors :

$$KCI(t) = C(X,t) + C(X+L,t) \quad (4)$$

X = distance entre le point d'injection aval et la cellule

L = distance entre les deux points d'injection (=1.70 m).

2° La disparition du produit le long de la pente (infiltration, adsorption dans le sol, disparitions latérales) est proportionnelle à la concentration. Cette hypothèse permet d'effectuer tous les calculs comme si la masse injectée était égale à la seule masse recueillie à la cellule, et la disparition de produit nulle.

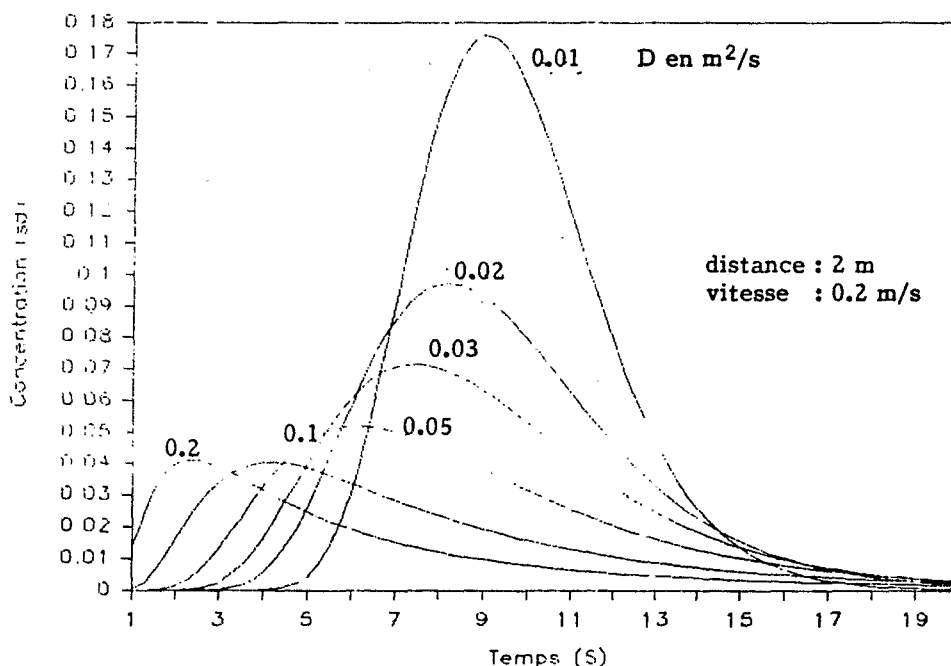


Figure 5 : Exemples d'application du modèle de diffusion monodimensionnel pour différentes valeurs de diffusion.

III.4.3. APPLICATION

Sur les enregistrements, nous observons uniquement le passage de deux pics : tous les paramètres du modèle mathématique de l'équation 4 nous sont inconnus. Nous devons donc rechercher la valeur de tous les paramètres suivants :

t_0 : date exacte de l'injection

X : Distance entre le point d'injection aval et la cellule

M1 et M2 : valeurs M/Q de l'équation 3 correspondant au volume injecté.

V et D : vitesse et coefficient de diffusion.

Les exemples ci-dessous (figure 6) ont été ajustés en programmant le modèle mathématique de l'équation 4 sur Lotus (tableur permettant la visualisation graphique immédiate des données) et en ajustant les paramètres par tâtonnement. Un programme de régression non linéaire a également pu être utilisé avec succès malgré le grand nombre de paramètres à optimiser car une estimation suffisamment fine de chacun d'eux est possible.

L'exemple 1 a été enregistré en posant la cellule sur la parcelle, au milieu du chenal le plus rapide. Les deux pics ne se chevauchent pas : c'est le cas idéal d'application du modèle. L'exemple 2 a été enregistré en posant la cellule au fond de la rigole collectrice. Les pics se chevauchent légèrement et l'enregistrement est irrégulier. La moindre qualité de l'ajustement tient au fait que l'on prend en compte le ruissellement sur l'ensemble de la parcelle et que le modèle de diffusion à une seule dimension est alors insuffisant. Il permet simplement d'affiner le calcul de la vitesse moyenne de ruissellement mais le coefficient de diffusion obtenu doit être considéré avec prudence.

IV. DISCUSSION METHODOLOGIQUE.

Le protocole que nous venons de décrire permet de créer en un endroit donné une lame d'eau circulant à vitesse et débit stabilisé, et d'intercepter cette lame d'eau en limitant les artéfacts de mesure au minimum. En discutant une à une les différentes mesures effectuées nous pourrions définir précisément le champ d'application de ce nouveau protocole.

IV.1. LA VITESSE DE RUISELLEMENT.

La vitesse mesurée correspond à la vitesse moyenne de l'ensemble des filets d'eau circulant à des vitesses voisines. Deux cas de figure peuvent compromettre la signification de ce résultat:

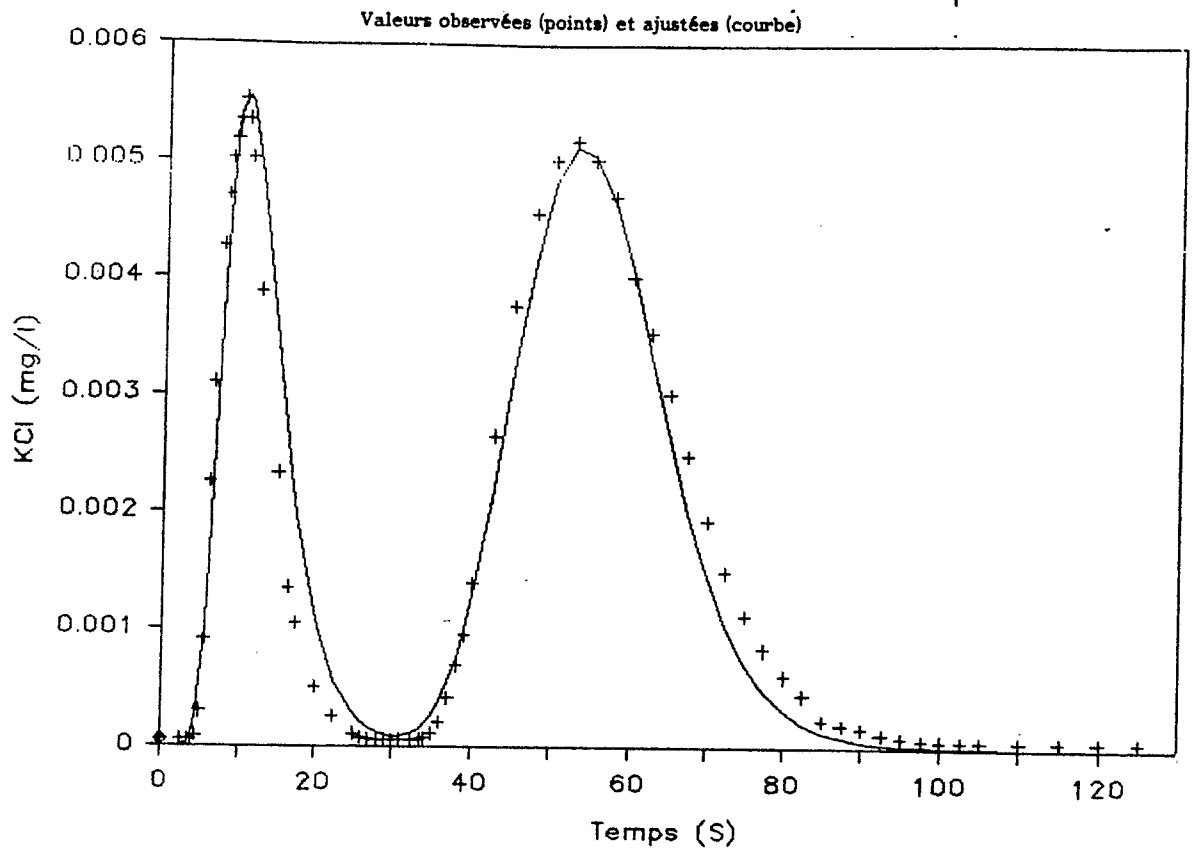
* L'existence de flaques de part et d'autre de la parcelle ou sur la parcelle même. L'enregistrement fait alors apparaître une traine importante qu'il est impossible d'ajuster avec le modèle proposé. On tourne facilement cette difficulté en négligeant l'ajustement de la traine. La part de marqueur diffusant vers les flaques est alors considérée par le modèle comme définitivement sortie du système, au même titre que l'eau d'infiltration et on se ramène à la modélisation de l'écoulement dans les seuls chenaux circulant réellement.

* L'existence de deux chenaux distincts et circulant à des vitesses différentes. Les deux pics se dédoublent alors plus ou moins selon la différence entre les deux vitesses. Dans le cas extrême, rarement observé, l'estimation d'une vitesse moyenne perd son intérêt et on gagne à utiliser la souplesse du système de mesure en déplaçant la cellule de conductivité pour effectuer la mesure dans l'un ou l'autre des chenaux.

On peut aussi discuter de la nécessité de caler le modèle de diffusion pour obtenir la vitesse moyenne plutôt que de l'estimer à partir du simple temps de passage entre les deux pics. Avec le protocole décrit précédemment (figure 3), en plaçant la cellule à 20cm du point d'injection aval, l'erreur sur le calcul de la vitesse est toujours inférieure à 5% si celle-ci est supérieure à 13cm/s. L'erreur augmente si le rapport vitesse/diffusion diminue et si la cellule se rapproche du point d'injection. En tout état de cause, il est parfois possible d'utiliser le calcul approché mais ce raccourci devra toujours être justifié par une première modélisation et une estimation de l'erreur effectuée.

En conclusion ce protocole permet une mesure précise et fiable de la "vitesse moyenne des filets d'eau dans le chenal le plus rapide" au cours d'une simulation de

Pic de diffusion : Exemple 1



Pic de diffusion : Exemple 2

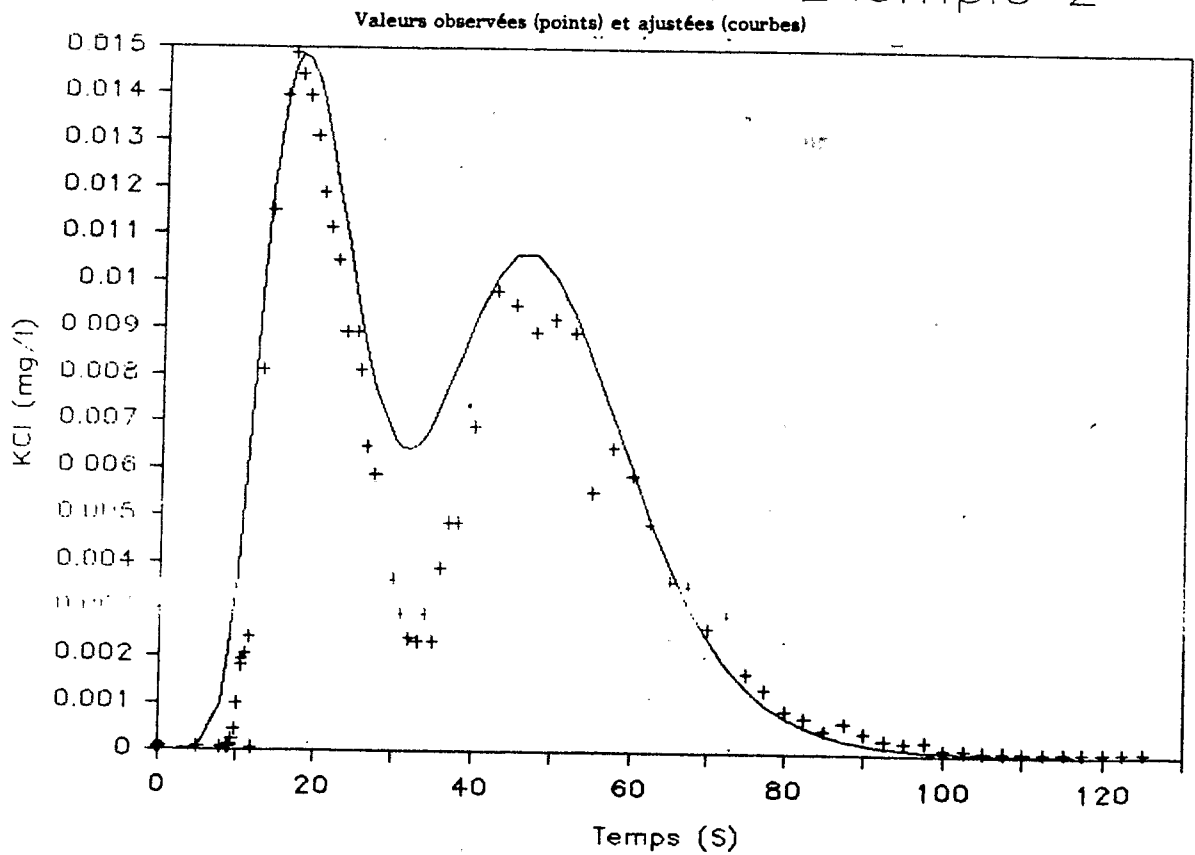


Figure 6 : Deux exemples de mesure de vitesse de renouvellement

ruissellement.

IV.2. LE DEBIT D'APPORT

La conception même du ruisselateur permet de contrôler le débit d'apport précision: utilisation de gicleurs calibrés et montage d'un compteur d'eau pour effectuer des contrôles. Mais le fait de ne pas limiter la parcelle permet le développement de flaques d'eau, tout autour du ruisselateur et parfois sur les côtés de la parcelle. L'existence de ces flaques, et d'une façon plus générale l'absence de contrôle au niveau de la surface exacte de la parcelle, rendent difficile l'étude de l'infiltration sous la lame ruisselante.

IV.3. LE DEBIT A LA RIGOLE

Le paragraphe précédent nous amène à considérer le débit à la rigole comme la seule mesure de débit intéressante, il est déterminé (seau et chronomètre) à chaque mesure de vitesse et à chaque prélèvement de turbidité. Ce débit est rapporté à la largeur de la rigole et nous considérerons qu'il varie peu sur la longueur de pente où est effectuée la mesure de vitesse.

V. CONCLUSION

Ce protocole s'éloigne donc sensiblement de l'étude classique d'une parcelle expérimentale où on applique dans un milieu clos un phénomène entièrement connu et contrôlé et où il est possible de mesurer le devenir de tous les éléments apportés (pluie utile, lame ruisselée, lame infiltrée ...). Ici il n'a pas paru souhaitable de clore la parcelle, on simule donc un phénomène naturel sur un milieu OUVERT. Les artéfacts dus aux limites matérielles de la parcelle, non négligeables, en particulier dans les mesures de débit solides, sont pratiquement supprimés.

En contre-partie, la connaissance de la surface exacte de la parcelle nous échappe. Ceci n'est pas un handicap car nous n'étudions pas ici la PRODUCTION de ruissellement par une surface élémentaire mais les modalités du TRANSFERT de ce ruissellement à travers une LIGNE localisée en un endroit précis du versant. Les débits mesurés doivent donc être rapportés à la largeur de la rigole et non à la surface de la parcelle.

Ces modalités sont sous l'influence des caractéristiques de la surface élémentaire située à l'amont de la rigole. Ainsi, les simulateurs de pluie et de ruissellement restent complémentaires en conservant pour objet d'étude les surfaces élémentaires. Le premier étudie la production du ruissellement et les phénomènes qui y sont liés, le second étudiant le transfert du ruissellement, qu'il soit produit sur la parcelle ou issu de l'amont.

--<♦>-<♦>--
<♦>

BIBLIOGRAPHIE

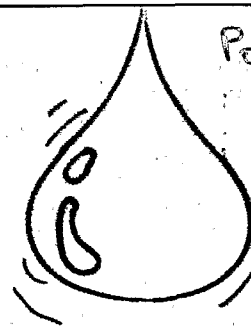
JANEAU J.L. 1984 : Construction d'un simulateur de ruissellement.
Notice technique, Cahiers ORSTOM de pédologie, vol. XX, N°4 pp 361-364.

JANEAU J.L., PLANCHON O. 1985 : La simulation de ruissellement. Interêt pour les études de réorganisation superficielles et d'érosion.
In Eau et développement agricole. MENRS ORSTOM Côte d'Ivoire : 40-42.

PLANCHON O. 1985 : Utilisation de la simulation de ruissellement pour l'étude expérimentale de l'érosion. Multigr ORSTOM Adiopodoumé. 15p.



GOUTTES
et
SPLASH



Page 1



© MOEDILLO

Bulletin du Groupe Méthodologique de Simulation de Pluie

(N° 1 a 1000)

volume 4: n°1
mai 1987

SOMMAIRE

Intérêt de campagnes de mesure de ruissellement sous pluies simulées pour la mise au point d'un modèle de ruissellement urbain (C.BOUVIER)	B 24642 ex. 1	1
La simulation de ruissellement: un nouveau protocole expérimental (O.PLANCHON et J.L. JANEAU)	B 24642 ex. 1	5
Une méthode de caractérisation, en zone aride et semi-aride, des états des surfaces élémentaires (1 m ²) soumises à des averses contrôlées. (J.ASSELIN, A. M'TIMET, R.PONTANIER, J.CLERY)	B 24644 ex. 1	13

INTERET DE CAMPAGNES DE MESURE DE RUISSALLEMENT SOUS PLUIES SIMULEES POUR LA MISE AU POINT D'UN MODELE DE RUISSALLEMENT URBAIN.

Introduction :

Récemment se sont déroulées à NIAMEY, ABIDJAN, LOME et OUAGADOUGOU quatre campagnes de mesures de ruissellement sous pluies simulées en milieu urbain. Précisons tout de suite que les sites que nous avons expérimentés en milieu urbain sont constitués par l'ensemble des surfaces non revêtues : on nous concèdera que le ruissellement sur goudron ou sur toute surface bâtie voisine 100 % sans en appeler au verdict du simulateur de pluie (ce qui soulagera le matériel !).

En hydrologie urbaine, l'évaluation du débit de pointe de crue se fait la plupart du temps en ne considérant que l'influence des surfaces imperméables du bassin. Or, les spécificités de l'urbanisation africaine n'autorisent généralement pas cette hypothèse, et un modèle de ruissellement urbain adapté aux normes africaines se doit de prendre en compte l'influence des surfaces perméables sur le ruissellement.

Compte tenu de la dualité surfaces imperméables/surfaces non revêtues, il ne saurait être question d'exploiter les mesures de ruissellement sur parcelle afin d'en extrapoler les résultats à l'échelle du bassin.

D.R.S.T.O.M. Fonds Documentaire 83 M
n° : 24642 ex. 1 à 24644 ex. 1
cote : B B