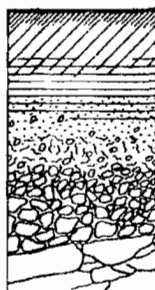


**PROBLEMES METHODOLOGIQUES DE LA
SIMULATION DE PLUIES**

**(Projet de Communication au colloque sur "l'Erosion
Agricole des Sols en Milieu Tempéré non Méditerranéen"
Strasbourg et Colmar 20 - 23 septembre 1978.)**



Pédologie Expérimentale

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE - MER

CENTRE D'ADIPODOUNÉ - CÔTE D'IVOIRE

B.P.V 51 - ABIDJAN



Juillet 1978

PROBLÈMES MÉTHODOLOGIQUES DE LA SIMULATION DE PLUIES

APPLICATION A L'ETUDE DE L'ERODIBILITE DES SOLS.

par

C. VALENTIN

RESUME

L'étude de l'érosion hydrique sous pluies simulées permet une analyse fine des phénomènes de splash et de cisaillement en fixant le maximum de paramètres. La mise au point et l'utilisation de deux types de simulateurs de pluies par les pédologues et les hydrologues de l'ORSTOM ont montré que cette technique réclame certaines conditions. Les caractéristiques des pluies artificielles (taille, vitesse d'impact au sol des gouttes etc...) doivent être aussi proches que possible que celles des pluies naturelles.

La durée de chaque pluie doit être suffisante pour permettre l'obtention du régime permanent de ruissellement de la région concernée.

Il existe une longueur minimale de parcelle en dessous de laquelle le ruissellement n'acquiert pas une force érosive suffisante.

Les variations saisonnières de l'érodibilité n'étant pas négligeables, les mesures d'érosion sous pluies simulées ne doivent pas être limitées à une courte période de l'année.

Ces conditions étant réunies, il est possible d'obtenir des valeurs de K et de C, comparables à celles obtenues sous pluies naturelles pendant de très longues périodes (10-15 ans).

ABSTRACT

An accurate analysis of splash and shearing stress is allowed by rainfall simulation as many factors can be controled. The design and the use of two types of rainfall simulators by soil scientists and hydrologists of ORSTOM have shown some conditions that are required :

- the main physical properties of simulated rainfalls must be as near to the natural ones as possible for the area concerned ; the duration of rainfall must correspond with the maximum rate of run-off, gully erosion cannot appear below a small length of plots.

As soil erosion also results in the variations of soil characteristics during the year, rainfall simulation must not occur during a single season. As these conditions are respected, soil erodibility and crop management factors can be obtained, in the same manner that natural conditions work produce after a long (10-15 years) period of time.

INTRODUCTION

L'étude classique de l'érosion hydrique en parcelles expérimentales (ROOSE, 1977) nécessite de nombreuses années de mesures pendant lesquelles le chercheur ne joue qu'un rôle d'observateur : la maîtrise des précipitations lui échappe. La simulation de pluies constitue un réel progrès en assurant le contrôle de nombreux paramètres (durée et hauteur des précipitations...) et un gain de temps considérable. Elle pose cependant un certain nombre de problèmes méthodologiques tant au niveau de la mise au point des appareils que des protocoles expérimentaux. La construction et l'utilisation de deux types de simulateurs permet de fournir diverses indications dans ce domaine.

I. Construction et mise au point des simulateurs de pluies :

1.1. Les appareils :

L'obtention d'une intensité de pluie constante et déterminée constitue l'un des premiers problèmes rencontrés par le constructeur d'un simulateur de pluies. Mais cette intensité s'avère ne pas être la seule caractéristique importante à prendre en compte : une même intensité peut être obtenue à partir de gouttes dont les tailles et les vitesses d'impact au sol développent des énergies cinétiques très différentes. Or l'énergie cinétique détermine, pour une grande part, le niveau d'érosion.

Il existe deux grandes familles de simulateurs (MUTCHLER et HERMSMEIER, 1965, HALL, 1970) : certains utilisent des dispositifs producteurs de gouttes (embouts calibrés, lames dentées etc...). Compte tenu des impératifs de maniabilité de ces appareils, la hauteur de chute n'est jamais suffisante pour permettre l'accession des gouttes à leur vitesse limite dans l'air. Pour remédier à ce défaut, d'autres simulateurs sont munis de gicleurs débitant de l'eau sous pression. Grâce à cette vitesse initiale, les gouttes acquièrent, pour une moindre hauteur, une énergie voisine de celle des pluies naturelles.

Les deux appareils utilisés à l'ORSTOM (Abidjan) appartiennent à ce deuxième type de simulateurs. Une description sommaire souligne ici leurs différents objectifs.

Le plus grand, construit d'après les plans de SWANSON (1965), est pourvu de dix bras tournant à 3.50 m au-dessus du sol autour d'un axe fixe. Ces bras supportent 30 gicleurs dont le réglage, associé au choix de la pression de l'eau, permet de sélectionner quatre intensités : 30, 60, 90 et 120 mm/h. Ce simulateur

de pluies arrose uniformément une surface de 200 m² contenant deux parcelles rectangulaires de 50 m². Le ruissellement est enregistré à l'aval de chaque parcelle à l'aide d'un limnigraphe à mouvement rapide. L'érosion est déterminée par prise d'échantillons des eaux ruissellées au cours des pluies et la pesée des terres de canal. Les besoins en eau étant importants (de 3.6 à 24 m³/heure) il est nécessaire d'alimenter, à l'aide d'un camion citerne (8 m³), deux réservoirs démontables de 30 m³ chacun. Cette description sommaire indique l'importance des travaux de mise en oeuvre, présentés plus longuement par COLLINET, LAFFORGUE et ASSELINE (1975).

La construction d'un appareil plus petit et plus maniable s'est révélée intéressante pour les opérations à faible budget. Un certain nombre de modifications ont été apportées à l'infiltromètre de BERTRAND et PAAR (1960), couramment utilisé aux Etats-Unis pour l'expérimentation des techniques agricoles (ROOSE 1968). Contrairement aux autres techniques infiltrométriques (MUNTZ), étudiant l'infiltration sous lame d'eau, cet appareil utilise la simulation de pluies et permet ainsi une approche des phénomènes de ruissellement et d'érosion.

L'originalité de ce nouvel infiltromètre à aspersion (ASSELINE et VALENTIN 1977) par rapport à son modèle, réside dans la possibilité de faire varier l'intensité au cours de la pluie en réglant l'angle de balancement du gicleur. Celui-ci, animé d'un mouvement oscillant par un moteur électrique, arrose une parcelle d'1 m² située au centre d'une surface de garde variant de 3.50 à 14 m² suivant les intensités*. Un dispositif permet de maintenir l'axe d'oscillation du gicleur au-dessus du centre de cette parcelle quelle que soit la pente du sol étudié. L'ensemble est supporté par une tour démontable de 3.70 m de haut susceptible de recevoir une bâche pour la protection contre le vent. Un réservoir de 600 l, facilement transportable dans un véhicule léger (Peugeot 404 bâchée, par exemple) permet de contenir l'eau nécessaire à un essai d'une heure et demie.

1.2. Energie cinétique des pluies simulées :

L'érosion est en corrélation étroite avec l'énergie cinétique des pluies, et encore davantage avec un indice d'agressivité climatique établi par WISCHMEIER et SMITH (1960) suivant la formule :

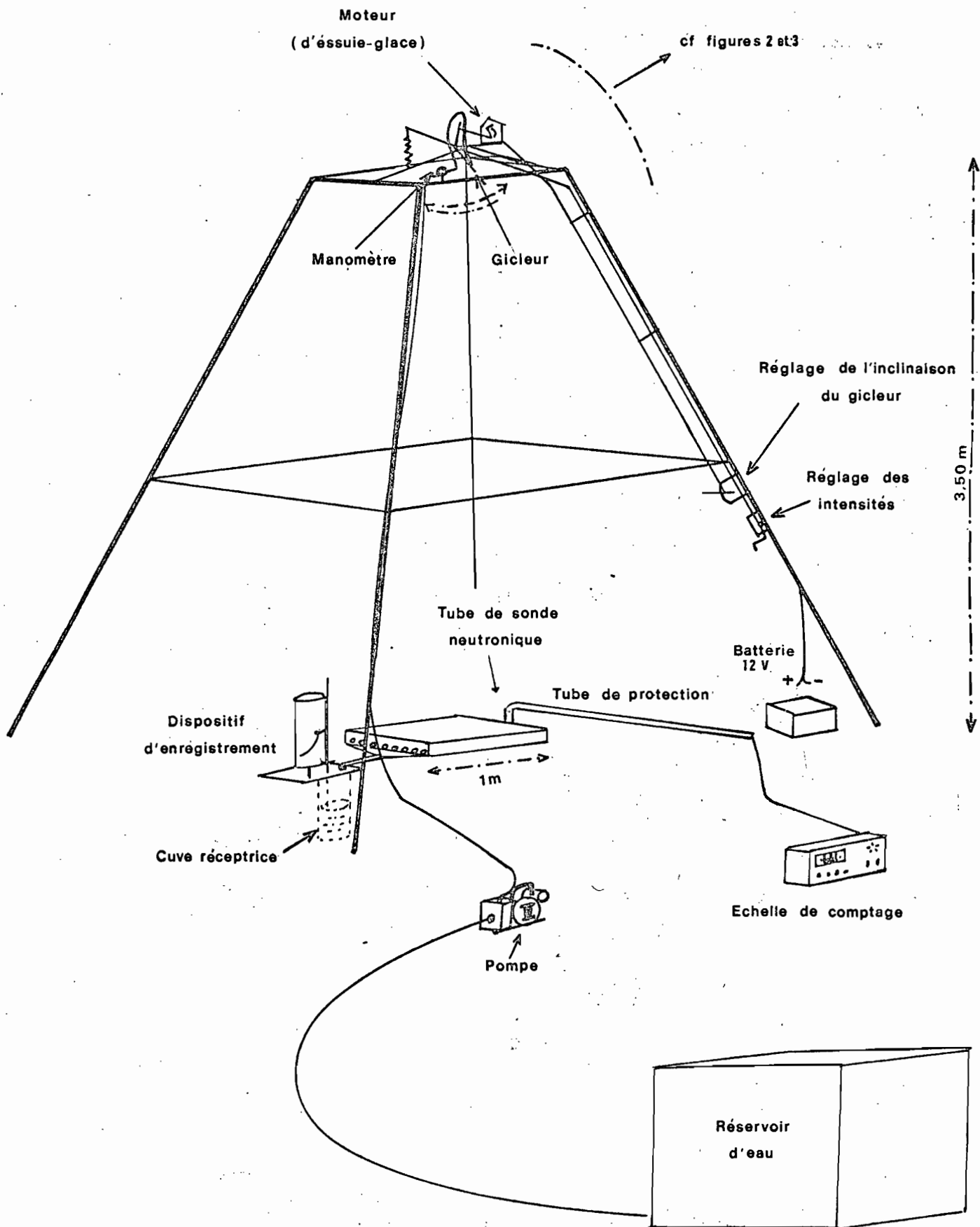
$$R = E_c \times I$$

I étant l'intensité de l'averse et E_c l'énergie cinétique correspondante.

* (de 37 à 140 mm/h).

FIG. A

SCHEMA DE L'INFILTROMETRE A ASPERSION



Une attention toute particulière doit donc être portée sur la conformité de l'énergie cinétique des pluies simulées à celles des pluies naturelles. Or cette énergie dépend à la fois de la masse des gouttes (et donc de leur taille) et de leur vitesse d'impact. Il importe, par conséquent, de déterminer ces caractéristiques de pluies lors de la mise au point de tout simulateur.

1.1. a : taille des gouttes :

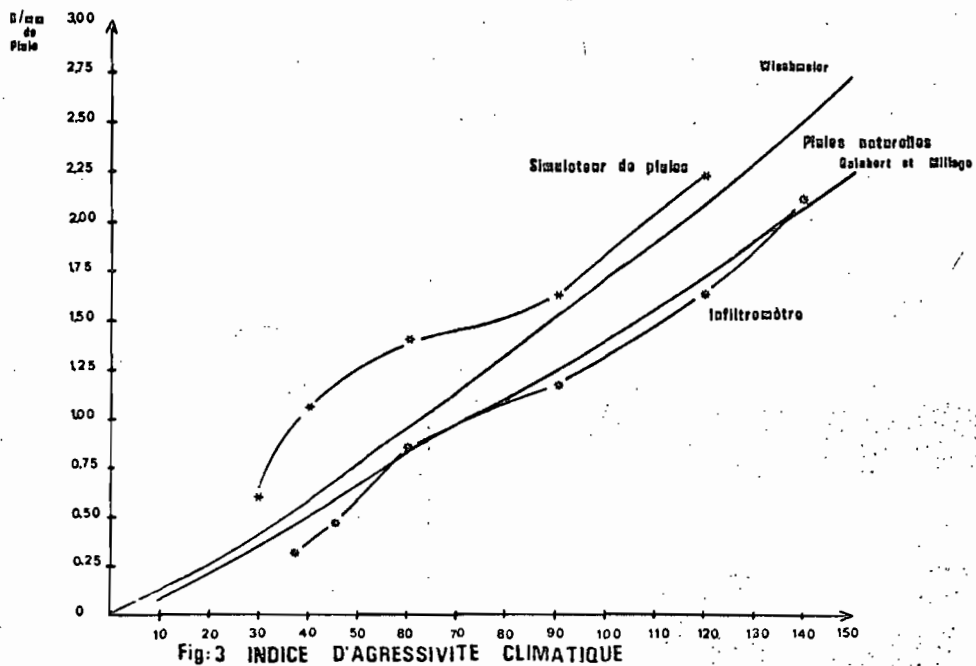
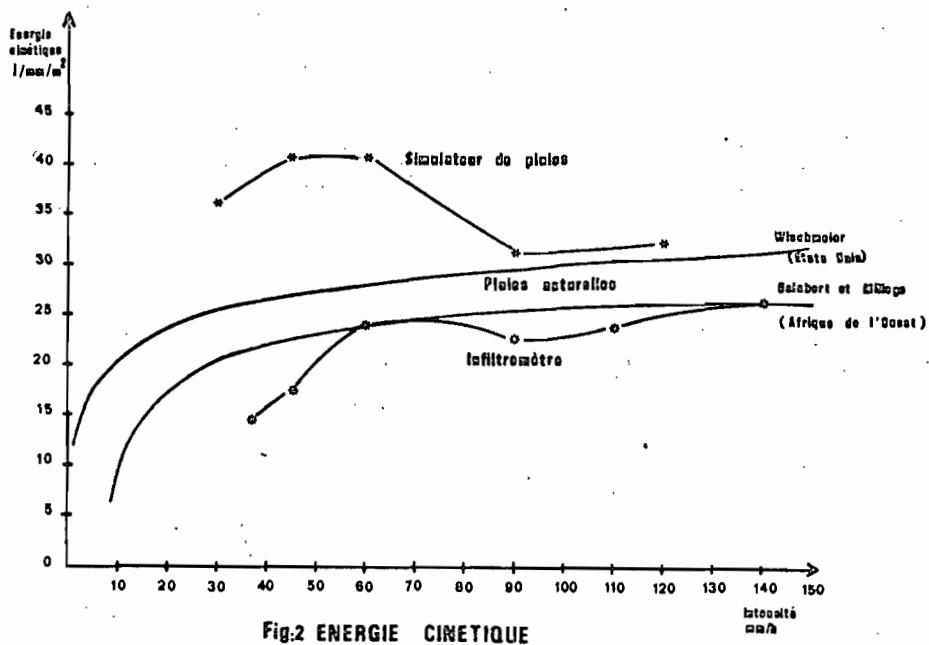
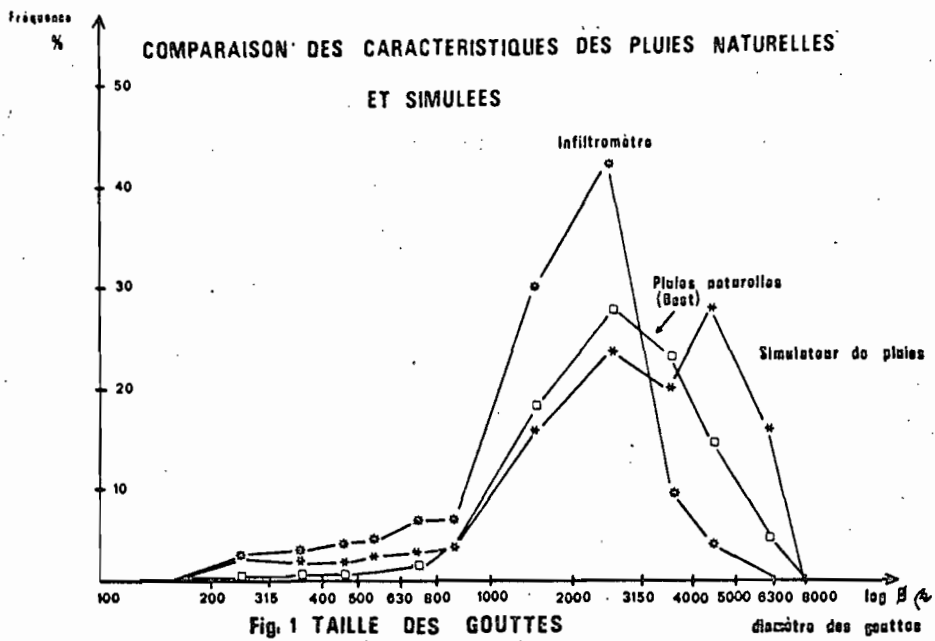
Plusieurs méthodes existent pour déterminer la taille des gouttes de pluies, naturelles ou simulées. La plus simple et la plus largement utilisée (HUDSON, 1964) consiste à recueillir les gouttes dans un bac de farine. Les agrégats formés sont passés à l'étuve puis à travers une batterie de tamis. Une relation simple, obtenue à partir de gouttes calibrées permet de connaître la distribution de la taille des gouttes à partir de celle des agrégats de farine. Après avoir regroupé les résultats de travaux menés sous divers climats, BEST (1950) a proposé une formule reliant la distribution de la taille des gouttes sous les pluies naturelles à leur intensité. Il apparaît ainsi (figure N° 1) qu'il existe des différences importantes entre la taille des gouttes mesurées sous les deux appareils et celle des pluies naturelles de même intensité : les gouttes sont trop fines sous l'infiltromètre et trop grosses sous le simulateur (Tableau N° 1).

Tableau N° 1 : Diamètres moyens des gouttes sous pluies naturelles et simulées - (mm)

Intensités (mm/h)	30	37	45	60	90	120	140
Simulateur de pluies	3.50	-	3.30	2.90	2.05	1.40	-
Infiltromètre	-	0.84	1.06	1.49	1.34	1.35	1.67
Pluies naturelles (BEST)	2.43	2.55	2.67	2.86	3.14	3.35	3.48

1.1. b : Vitesse d'impact au sol :

De nombreux paramètres, propres à chaque appareil, doivent être déterminés pour obtenir les vitesses d'impact au sol correspondant aux différentes classes de gouttes ; un dispositif simple (VALENTIN 1978) permet de mesurer les vitesses à la sortie des gicleurs. Tenant compte également de la résistance de l'air, de la hauteur de chute, des vitesses de rotation ou d'oscillation des gicleurs, il est possible de définir les vitesses d'impact aux différentes intensités. Sous les deux appareils, ces vitesses sont voisines de celles observées sous pluies naturelles (WISCHMEIER et SMITH ; 1958), particulièrement pour les gouttes de moyens et forts diamètres qui interviennent le plus dans la constitution de l'énergie cinétique (figure N° 2).



1.1. c : Energie cinétique :

Connaissant le diamètre des gouttes et leur vitesse d'impact, il est facile de déduire l'énergie cinétique correspondant à une intensité donnée : le cumul des énergies de chaque classe de gouttes permet d'obtenir l'énergie cinétique développée par millimètre de pluie sur un mètre carré (tableau N° 2). Les mêmes calculs menés sous pluies naturelles aux Etats-Unis (WISCHMEIER et SMITH, 1958) et en Afrique de l'Ouest (GALABERT et MILLOGO 1973) montrent (figure N° 2) que les énergies cinétiques sous pluies simulées sont, pour les deux appareils, voisines de celles des pluies naturelles pour les intensités supérieures ou égales à 90 mm/h.

Tableau N° 2 : Energies cinétiques pour différentes intensités de pluies simulées (J/m²)

Intensités (mm/h)	INFILTROMETRE						SIMULATEUR				
	37	45	60	90	120	140	30	45	60	90	120
Classe de diamètre (mm)											
0.200-0.315	0.255	0.212	0.063	0.107	0.077	0.251	0.079	0.099	0.015	0.031	0.100
0.315-0.400	0.266	0.211	0.076	0.110	0.086	0.063	0.028	0.051	0.013	0.026	0.069
0.400-0.500	0.425	0.336	0.122	0.206	0.137	0.126	0.032	0.048	0.016	0.044	0.105
0.500-0.630	0.708	0.336	0.183	0.318	1.032	0.184	0.043	0.091	0.027	0.111	0.127
0.630-0.800	0.903	0.514	0.466	0.507	0.262	0.432	0.079	0.107	0.025	0.194	0.338
0.800-1.000	0.908	0.162	0.488	0.433	2.530	0.422	0.099	0.149	0.096	0.376	0.567
1.000-2.000	6.341	6.479	5.066	5.837	3.072	4.396	1.365	2.034	2.745	4.562	5.460
2.000-3.150	2.993	7.267	13.258	9.632	10.158	11.043	3.050	3.742	7.070	7.577	6.961
3.150-4.000	0.439	1.252	3.141	3.241	6.359	7.257	9.979	10.636	7.972	7.802	6.549
4.000-5.000	1.321	-	1.381	2.061	-	2.406	8.601	7.828	15.549	7.000	4.775
5.000 et plus	-	-	-	-	-	-	15.518	15.865	7.332	3.695	2.975
Energie cinétique (J/mm/m ²)	14.6	17.5	24.2	22.5	23.7	26.2	36.1	40.7	40.9	31.4	32.4

1.1. d : Indice d'agressivité climatique :

Compte tenu des intensités et des énergies cinétiques correspondantes, il est possible de calculer les indices d'agressivité climatiques définis par WISCHMEIER et SMITH (1960). La comparaison avec les pluies naturelles (figure N° 3) indique que les pluies simulées sous infiltromètre sont plus proches des conditions locales que sous le simulateur de pluies tel qu'il est réglé actuellement.

Cet indice d'agressivité climatique R intervient dans l'équation de prévision de l'érosion (WISCHMEIER et SMITH, 1960). C'est lui qui permet d'obtenir, pour divers simulateurs, des valeurs d'érodibilité comparables. La détermination de l'indice R est donc l'un des points essentiels de la mise au point d'un simulateur de pluies.

2. Application à l'étude des facteurs d'érosion :

2.1. Comparaison de trois types d'études :

L'équation de WISCHMEIER et SMITH (1960) permet de déterminer l'importance relative des différents facteurs intervenant sur l'érosion (longueur de pente, techniques culturales etc...). Comme le souligne WISCHMEIER (1976), elle n'est utilisable que dans des conditions précises. Les résultats acquis, pour un même sol, sous pluies naturelles et sous pluies simulées permettent de préciser certaines de ces conditions. Nous désignerons par K l'indice d'érodibilité du sol défini par WISCHMEIER et SMITH (1960) et par κ l'indice correspondant, calculé dans des conditions non conformes à l'équation.

2.1. a : Pluies naturelles :

La valeur de l'érodibilité K moyenne annuelle varie considérablement d'une année à l'autre (elle passe, par exemple, de 0.146 en 1967, à 0.054 en 1968 - ROOSE ; 1972 ; 1973). Les fluctuations de κ mensuel sont encore plus importantes : pour une même parcelle cet indice égal à 0.280 en janvier 1970 n'est plus que de 0.002 en janvier 1971 (ROOSE ; 1972). L'extrême variabilité de ce paramètre rend nécessaire les expérimentations de très longue durée (20 ans - ROOSE 1977). La valeur de l'érodibilité moyenne ainsi obtenue ($K = 0.10$ ROOSE ; 1977) n'a guère plus de signification qu'une moyenne climatique annuelle.

2.1. b : Pluies simulées :

Simulateur de pluies :

La simulation de douze pluies réparties sur deux mois, et correspondant à un indice d'agressivité ($R = 1156$) très proche de l'indice annuel moyen ($R = 1260$ - ROOSE 1977) a permis de déterminer une érodibilité $\kappa = 0.030$, située dans l'intervalle des valeurs obtenues sous pluies naturelles. L'étude de l'érosion sur des parcelles de longueurs différentes : 1, 2, 5 et 10 mètres montre que les pertes en terre augmentent moins vite, pour ce type de sol, que

la racine carrée de la longueur de pente : $E = f(L^{0.30})$ au lieu de $E = f(L^{0.50})$. La valeur de κ est la même pour toutes les parcelles de plus d'un mètre de long ; pour la plus petite, κ est légèrement supérieur ($\kappa = 0.033$).

Infiltromètre :

La valeur de $\kappa = 0.016$ déterminée sous l'infiltromètre se situe également dans l'intervalle des indices d'érodibilité obtenue sous pluies naturelles ; elle s'éloigne cependant de la valeur moyenne de K . Il faut voir dans cet écart, moins un effet de la pente trop courte (sous le simulateur de pluies, κ reste sensiblement le même quelle que soit la longueur de pente) que celui du nombre trop réduit de pluies ($R = 1/7$ du R annuel moyen).

2.2. Conséquences sur les protocoles expérimentaux :

2.2. a : Les parcelles d'essais :

Outre le problème de la représentativité des parcelles, se pose également celui de leur taille. Si les résultats obtenus sous simulation de pluies semblent encourager l'étude de l'érosion sur petites parcelles, l'extrapolation de ces données à des longueurs supérieures à 10 mètres réclame la plus grande prudence : les vitesses de ruissellement diminuent le long de la pente (LAFFORGUE et NAAH, 1976) favorisant ainsi le dépôt des sédiments sur le versant. De plus, il existe, pour chaque type de sol et de pente, une longueur minimale à partir de laquelle la quantité d'eau collectée par le micro réseau hydrographique devient suffisante pour provoquer la formation de ravines. Or cette longueur dépasse le plus souvent 10 mètres. Il est donc nécessaire de compléter les mesures sous pluies simulées par des études sur petits bassins versants ou des relevés minutieux (enquêtes) de l'évolution de la surface du sol le long des toposéquences.

2.2. b : Le régime des pluies :

La valeur de l'érodibilité d'un sol dépend pour une large part de son régime d'infiltration. Or celui-ci résulte de nombreux paramètres variant au cours de l'année : morphologie de la surface, humidité, structure etc... Il est donc nécessaire d'appliquer la simulation de pluies pour des états hydriques initiaux différents. La meilleure solution consiste à opérer au cours de deux saisons opposées (été, hiver) afin de tenir compte des variations maximales des divers facteurs.

Les différents essais ont montré également qu'un nombre minimum de pluies s'avère nécessaire pour approcher la valeur de l'érodibilité annuelle moyenne ($\Sigma R \sim R$ annuel moyen).

Il paraît intéressant, de plus, de disposer d'une large gamme d'intensités de pluies correspondant à celle de la région concernée. Il est ainsi plus facile de comparer l'évolution de la surface du sol sous pluies naturelles et sous pluies simulées.

Enfin, la durée de chaque pluie doit être suffisante pour permettre l'apparition du régime permanent de ruissellement auquel correspond généralement une turbidité constante indépendante de l'intensité.

CONCLUSION

Les différentes méthodes d'étude de l'érosion correspondent chacune à des objectifs précis. Les gros simulateurs (type Swanson) permettent la détermination d'indices (K, C, P, WISCHMEIER et SMITH 1960) voisins de ceux obtenus sous pluies naturelles au cours d'une expérimentation de longue durée. Les petits simulateurs, plus économiques et plus maniables peuvent être utilisés dans des conditions particulières : sous forêt (CASENAVE et GUIGUEN, 1978), comme en laboratoire (SINGER 1976 - BOLI BABOULE 1976). Ils permettent d'obtenir, en un minimum de temps, des données qualitatives et comparatives (De MEESTER, IMESON et JUNGERIUS 1977) souvent suffisantes dans la pratique agricole.

Les nombreux travaux menés sous pluies naturelles ont essentiellement porté sur la recherche d'indices statistiques qui éliminent les effets de facteurs très variables. Or, la simulation de pluies permet le contrôle d'un nombre élevé de ces paramètres, ouvrant ainsi la voie de l'analyse de l'érosion, pluie par pluie. Une nouvelle approche méthodologique devient donc nécessaire et passe en premier lieu par l'étude approfondie des phénomènes de ruissellement (LAFFORGUE 1977), et notamment de l'influence de l'humidité avant l'averse (DANGLER et al; 1976 - SINGER et al; 1978). L'examen attentif des turbidigrammes donne lieu à l'élaboration d'une typologie (COLLINET ; 1978) et des tentatives de modélisation (VALENTIN ; 1978). Comme le soulignait MECH (1965) les mécanismes intimes de l'érosion sont encore mal connus, seule une méthodologie adéquate permettra leur étude.

BIBLIOGRAPHIE

ASSELINE (J.) et VALENTIN (C.), 1977 - Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion - Abidjan, Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, 34 p., 12 tabl., 16 fig., 3 photos, multigr.

BERTRAND (A.R.) et PAAR (J.F.), 1960 - Development of a portable sprinkling infiltrometer - 7th Intern. Congr. of Soil Sc., 6, 4, 433-440.

BEST (A.C.), 1950 - The size distributions of raindrops. Quart. Journ. of the Roy. Met. Soc., 76, 327, 16-36.

BOLI BABOULE (Z.), 1976 - Mise au point d'un simulateur de pluies de laboratoire. Essai d'application à l'étude de l'érodibilité des sols.. D.E.A. de Pédologie de l'Aménagement des sols. Paris VII, ORSTOM 17 p.

CASENAVE (A.) et GUIGUEN (N.), 1978 - Détermination des caractéristiques hydrodynamiques de sols forestiers. Campagne 1977. Etudes des crues décennales des petits bassins forestiers en Afrique tropicale. C.I.E.H., Abidjan, Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, 60 p., 32 fig., multigr.

COLLINET (J.), ASSELINE (J.) et LAFFORGUE (A.), 1975 - Compte rendu d'une mission en Haute-Volta (3 mars - 3 juin 1975) - Centres ORSTOM de Ouagadougou et d'Adiopodoumé, 27 p., multigr.

COLLINET (J.) et LAFFORGUE (A.), 1978 - Mesures de ruissellement et d'érosion sous pluies simulées pour quelques types de sols de Haute-Volta. - Abidjan, Centre ORSTOM d'Adiopodoumé, à paraître.

DANGLER (E.W.) et al., 1976 - Erodibility of selected Hawaii soils by rainfall simulation. U.S. Department of Agriculture ARS.W.35, 113 p., multigr.

GALABERT (J.) et MILLOGO (E.), 1973 - Indice d'érosion de la pluie en Haute-Volta. C.T.F.T. Centre de Ouagadougou, 34 p. + annexes, multigr.

- HALL (M.J.), 1970 - A critique of methods of simulating rainfall. Water Resources Research, vol. 6, N° 4, pp. 1104-1114.
- HUDSON (N.W.), 1963 - The flour pellet method for measuring the size of raindrops, Department of Conservation and Extension, Res. Bull., N° 4, Salisbury, 26 p. multigr.
- LAFFORGUE (A.) et NAAH (E.), 1976 - Exemple d'analyse expérimentale des facteurs de ruissellement sous pluies simulées. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. 13, N° 3.
- LAFFORGUE (A.), 1977 - Inventaire et examen des processus élémentaire de ruissellement et d'infiltration sur parcelles. Application à une exploitation méthodique des données obtenues sous pluies simulées. Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. 14, N° 4, pp. 299-344.
- MECH (S.J.), 1965 - Limitations of simulated rainfall as a research tool. Trans. Amer. Soc. Agr. Eng., vol. 8, N° 1, pp. 66-75.
- MEESTER (T. de), IMESON (A.C.) et JUNGRIUS (P.D.), 1977 - Some problems in assessing soil loss from small scale field measurements. Intern. Conf. on "Role of Soil Physical Properties in Maintaining Productivity of Tropical Soils". I.I.T.A., Ibadan, 17 p., à paraître.
- MUTCHLER (C.K.) et HERMSEIER (L.F.), 1965 - A review of rainfall simulators. Trans. Amer. Soc. Agric. Eng., vol. 8, N° 1, pp. 67-68.
- ROOSE (E.), 1968 - Recherche en conservation des sols et des eaux. Rapport technique de mission aux U.S.A. et en France. ORSTOM, Abidjan, 46 p., multigr.
- ROOSE (E.), 1972-1973 - Etude de l'érosion et du ruissellement sur les sables tertiaires de basse Côte d'Ivoire. Campagnes 1967 (21p.) 1968 (25 p.) 1971 (38p.). ORSTOM, Centre d'Adiopodoumé, multigr.

- ROOSE (E.), 1977 - Erosion et ruissellement en Afrique de l'Ouest.
Vingt années de mesures en petites parcelles expérimentales.
Travaux et Documents de l'ORSTOM, n° 78, 108p.
- SINGER (M.J.), HUNTINGTON (G.L.) et SKETCHLEY (H.R.), 1976 - Erosion prediction on California rangeland : research developments and seeds. in : "Soil erosion : Prediction and Control" Ankeny, Soil Conservation Society of America ; pp. 143-151.
- SINGER (M.J.) et al., 1978 - Engineering and pedological properties of soils as they affect soil erodibility. California Water Resources Center. Univ. of California, Davis, Contr. N° 166, 32p., multigr.
- SWANSON (N.P.), 1965 - Rotating boom rainfall simulator.
Trans. Amer. Soc. Agr. Eng., vol. 8, n° 1, pp. 71-72.
- VALENTIN (C.), 1978 - Divers aspects des dynamiques actuelles de quelques sols ferrallitiques de Côte d'Ivoire. Recherches méthodologiques. Résultats et Interprétation agronomiques. ORSTOM, Abidjan, 141 p., 39 tabl., 85 fig., + annexes, multigr.
- WISCHMEIER (W.H.) et SMITH (D.D.), 1958 - Rainfall Energy and its relationship to soil loss. Trans. Amer. Geophys. Un., vol. 39, n° 2, pp. 285-291.
- WISCHMEIER (W.H.) et SMITH (D.D.), 1960 - A universal soil loss estimating equation to guide conservation form planning. 7th Intern. Cong. Soil Sc., 1, pp. 418-425.
- WISCHMEIER (W.H.), 1976 - Use and misuse of the universal soil loss equation. J. of Soil and Water Conservation. Vol. 31, n° 1, pp. 5-9.

O.R.S.T.O.M

Direction Générale

24, rue Bayard PARIS (75008)

Service Central de Documentation

70-74 Route d'Aulnay BONDY (93140)

Centre O.R.S.T.O.M d'Adiopodoumé

B.P. V 51 ABIDJAN (CÔTE D'IVOIRE)

COPYRIGHT ORSTOM 1978