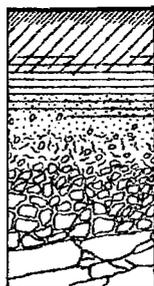


J. ASSELINE

C. VALENTIN

**CONSTRUCTION ET MISE AU POINT
D'UN INFILTROMETRE A ASPERSION**



PEDOLOGIE EXPERIMENTALE

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER

CENTRE D'ADIOPODOUME - COTE D'IVOIRE

B.P.V 51 - ABIDJAN



Novembre 1977

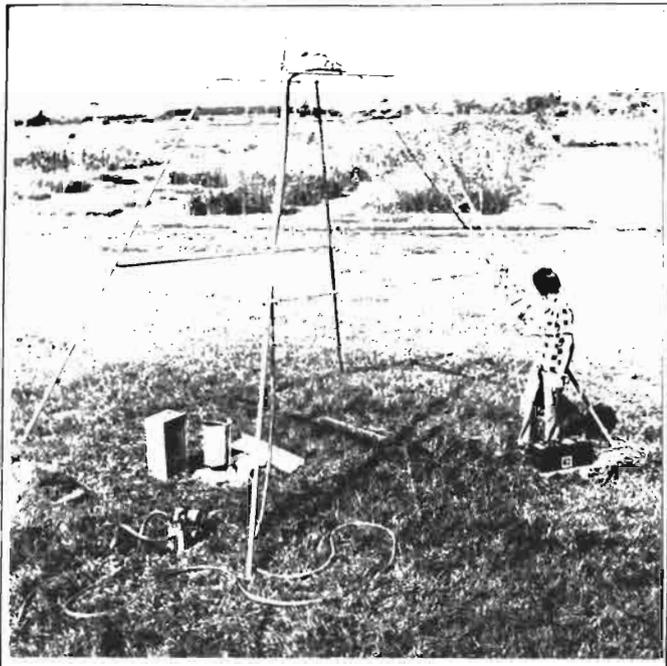
OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER
CENTRE D'ADIOPODOUME (Côte d'Ivoire)

Laboratoire de Pédologie Expérimentale

CONSTRUCTION ET MISE AU POINT
D'UN INFILTROMÈTRE À ASPERSION

par

J. ASSELINE *et* C. VALENTIN



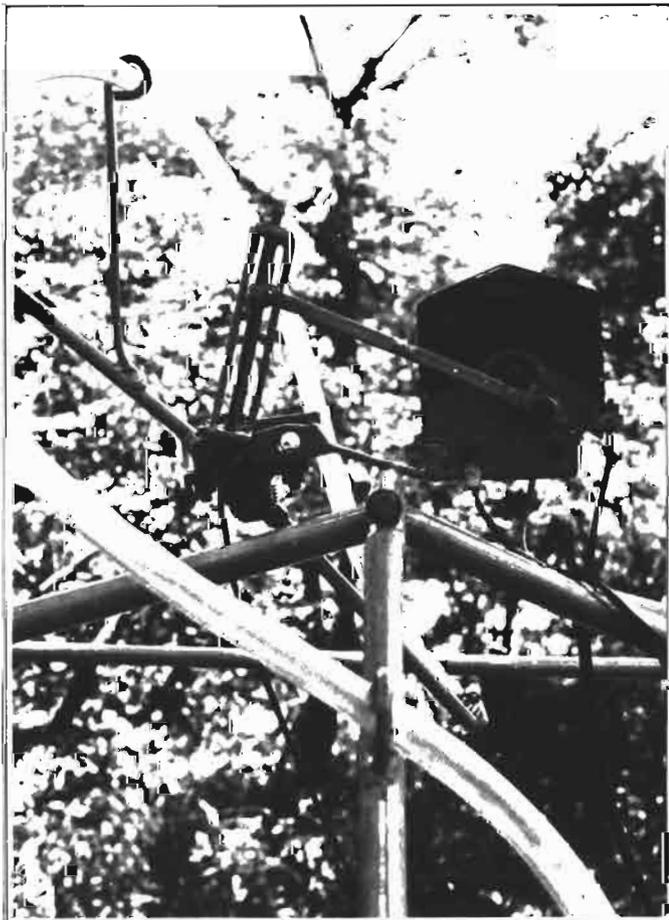
Cliché ORSTOM - G PETIOT

← Vue générale

Parcelle et dispositif d'enregistrement →



Cliché : ORSTOM - G PETIOT



← Gicleur et mécanisme
de balancement

Cliché ORSTOM - J ASSELINE

SOMMAIRE

	Pages
Résumé	1
Abstract	2
INTRODUCTION	3
1. Objectifs de l'infiltromètre - Critiques des principales méthodes existantes	4
11. Objectifs	4
12. Méthodes existantes	4
121. Sous lame d'eau	4
122. Sous pluie simulée	6
2. Présentation et construction de l'infiltromètre	6
21. Principe de l'appareil	6
22. Construction	7
3. Caractéristiques d'utilisation	11
31. Choix de la pression	11
311. Consommation en eau	11
312. Surface de garde	11
313. Régularité de l'intensité	11
32. Réglage des intensités	11
33. Mise en place de la parcelle d'essais	12
34. Alimentation en eau	13
35. Discussion, critiques et améliorations à apporter	13
351. Solidité et fiabilité de l'appareil	13
352. Facilité d'emploi	13
353. Performances	13
4. Energie cinétique des pluies simulées	14
41. Présentation de l'étude	14
42. Taille des gouttes	14
421. Méthodes existantes	14
422. Prise et traitement des échantillons	15
423. Calibrage des gouttes	15
424. Résultats	17
425. Comparaison avec les pluies naturelles	18
43. Vitesse d'impact au sol	18
431. Présentation du problème	18
432. Vitesse tangentielle	20
433. Vitesse radiale	20
434. Vitesses limites	22
435. Vitesse d'impact au sol	23
436. Comparaison avec les pluies naturelles	24
44. Energie cinétique	24
441. Calculs et résultats	24
442. Comparaison avec les pluies naturelles	26

	Pages
5. Utilisation de l'infiltromètre	27
51. Pédologie Expérimentale	27
511. Présentation de l'étude	27
512. Résultats et premières hypothèses.....	27
513. Mesures annexes	29
52. Hydrologie	29
53. Autres domaines intéressés	30
CONCLUSION	30
BIBLIOGRAPHIE	31
ANNEXE : Matériel employé et coût en 1977 à Abidjan	33

RESUME

Les auteurs ont cherché à mettre au point un appareil peu coûteux, très maniable, capable d'apporter des résultats rigoureux sur les intensités d'infiltration dans les sols. Ils ont écarté les méthodes utilisant une charge d'eau pour choisir la simulation de pluies, à leurs yeux plus proche des conditions naturelles.

L'intensité d'averse, sur une parcelle d'1 m² (surface de garde de 2,5 à 13 m²) est réglable à tout moment, d'une manière progressive et continue de 30 mm/h à 140 mm/h. L'amélioration du système de balancement du gicleur pourrait abaisser l'intensité minimale à 15 mm/h. L'appareil consomme environ 410 litres d'eau à l'heure. Le transport de l'ensemble du matériel peut être assuré par un véhicule léger (Land Rover, Peugeot 404 bâchée).

Les auteurs ont procédé à une série de mesures visant à rechercher la taille des gouttes et leur distribution suivant 6 intensités : 37, 45, 60, 90, 120 et 140 mm/h. Tenant compte des vitesses de balancement du gicleur, des vitesses initiales et des vitesses limites dues à la résistance de l'air, ils ont calculé les énergies cinétiques des gouttes lors de l'impact sur le sol. Ces énergies sont très voisines de celles obtenues par divers auteurs sous les pluies naturelles en milieu tropical.

Des possibilités d'utilisation de l'appareil sont indiquées dans plusieurs domaines :

- pédologie expérimentale (présentation de quelques résultats)
- hydrologie
- agronomie.

Cet infiltromètre peut être utilisé par tous ceux qui sont concernés par les problèmes de relation Eau - Sol - Plante.

ABSTRACT

The authors purposed to build an unsophisticated, cheap and handy device that can furnish scientific results on infiltration of water into soils. They discarded the methods using flooding and preferred the rainfall simulation much more similar to the natural conditions.

The intensities of the artificial storms, on a runoff plot of 1 m², can be ruled at any moment from 30 mm/h to 140 mm/h without changing nozzle or pression. An improved appliance, concerning the swinging of the nozzle, could reduce the lowest intensity to 15 mm/h. The infiltrometer needs 410 l of water/hour, and a Land Rover or Peugeot 404 can convey the whole implement.

The authors undertook several tests on the raindrop size distribution at 6 intensities : 37, 45, 60, 90, 120 and 140 mm/h. Studying the swinging of the nozzle, zero and terminal velocities (air resistance), they computed the kinetic energies of water drops : these are very close to the energies of natural rainfalls.

This infiltrometer is used in several branches yet :

- soil science (infiltration, soil crusting...)
- hydrology (runoff, water conservation...)

This device can help many investigators working at water - soil - plant relationships.

INTRODUCTION.

Les problèmes concernant l'économie de l'eau deviennent de jour en jour plus cruciaux. Aussi demande-t-on de plus en plus aux pédologues comme aux hydrologues des données sûres pouvant être utilisées lors de la mise en valeur d'une région. En effet, il est nécessaire de déterminer avec précision la part de l'eau de pluie perdue par ruissellement, et susceptible de provoquer de l'érosion, et celle qui s'infiltré effectivement et peut être stockée par les sols.

Or pour mener de telles études, les méthodes employées jusqu'ici (Müntz, Pioger...) sont très éloignées des conditions naturelles ; elles donnent, pour cette raison, des résultats limités et peu exploitables. Les simulateurs de pluies utilisés pour l'étude de l'érosion fournissent des données très intéressantes mais nécessitent une importante mise en oeuvre. Seuls les infiltromètres du type Bertrand et Parr (2)* semblent présenter à la fois les qualités qu'imposent la rigueur scientifique et les contraintes économiques.

Lors de la mise au point d'un tel appareil, il a paru intéressant d'y apporter un certain nombre d'améliorations :

- extension de la gamme d'intensités
- mise au point d'un mécanisme permettant les variations d'intensité au cours des pluies simulées
- choix d'un gicleur et d'une pression produisant une énergie de gouttes de pluies plus proches de celles des pluies naturelles de même intensité.

Si d'autres perfectionnements sont encore souhaitables, cet infiltromètre à aspersion rend dès maintenant des services importants dans les programmes concernant l'étude des caractéristiques hydriques des sols en vue de leur mise en valeur, ainsi que l'étude fondamentale du ruissellement. Il est probable que cet instrument peut être utilisé dans d'autres domaines : dynamique actuelle des sols, évolution de l'état structural des surfaces cultivées, etc....

* numéro de renvoi bibliographique.

1. OBJECTIFS DE L'INFILTROMETRE - CRITIQUES DES PRINCIPALES METHODES EXISTANTES.

11. Objectifs.

L'appareil doit répondre, à plusieurs objectifs visant essentiellement à améliorer les techniques déjà existantes :

- étudier les caractéristiques du ruissellement et de l'infiltration dans les conditions les plus proches possibles des conditions naturelles ;

- recueillir suffisamment de données fiables susceptibles d'être utilisées dans de nombreux domaines :
 - . pédologie expérimentale (test d'érodibilité et d'instabilité structurale...)
 - . hydrologie (étude du ruissellement : durée de la pluie d'imbibition et intensité limite à partir de laquelle se déclenche le ruissellement...)
 - . agronomie (évolution de la surface du sol aux différentes intensités de pluies, comparaison de techniques culturales, intensité optimale d'irrigation par aspersion...)

- nécessiter peu de frais de construction et de fonctionnement (matériel facilement transportable et de maniement aisé).

12. Méthodes existantes.

Il existe actuellement de nombreuses méthodes permettant de mesurer les intensités d'infiltration. On peut distinguer deux principes différents : l'intensité d'infiltration est mesurée soit sous lame d'eau, soit sous pluie simulée.

121. Sous lame d'eau.

Ces méthodes ne respectent pas les conditions naturelles. En effet, elles ne mesurent pas l'infiltration du mélange biphasique air + eau, mais de l'eau seule. Or, en début de pluie, alors que le ruissellement n'est pas encore déclenché, on assiste, sous pluies naturelles, à des phénomènes de dégazages et d'emprisonnement d'air, phénomènes modifiés par l'apport brutal d'une charge d'eau.

Le choc des gouttes modifie l'état structural de la surface du sol, favorisant, suivant les types de sols, l'apparition plus ou moins rapide d'une pellicule dont la perméabilité est très inférieure à celle du sol avant la pluie. La formation de cette pellicule ou de cette croûte est donc un facteur fondamental dans l'étude du régime d'infiltration. Or sous charge d'eau les conditions sont évidemment très différentes : les modifications structurales sont dues à la dilution et non au choc des gouttes de pluies. Pour se placer dans des conditions voisines de celles des pluies naturelles, il faut par conséquent non seulement choisir l'aspersion plutôt que la submersion mais encore former des gouttes dont l'énergie cinétique est voisine de celle des pluies naturelles d'intensité correspondante.

En outre, il est presque certain que la charge d'eau intervient sur l'intensité d'infiltration. Notons que la méthode Pioger (Audry et al., 1) préconise une charge de 100 mm d'eau (soit une pression de 10 g/cm²), ce qui s'avère être environ 100 fois la détention superficielle observée communément sous une pluie naturelle ! Il n'est donc pas étonnant d'obtenir, à partir de telles méthodes, des intensités d'infiltration d'un ordre différent de celles que l'on observe dans la nature.

Les surfaces testées, de plus, sont très faibles (Müntz et Pioger : 100 cm²) ce qui nécessite un très grand nombre de répétitions et en rend l'interprétation mal aisée. Certaines restrictions d'utilisation sont très gênantes : la méthode Pioger ne peut pas être employée par exemple sur des sols humides (on ne peut alors opérer qu'en saison sèche) ou sur des sols très filtrants.

Si les critiques précédentes sont le plus souvent admises par les utilisateurs de ces méthodes, ceux-ci affirment qu'elles ont valeur de tests comparatifs et peuvent donner un ordre de grandeur acceptable (Audry et al., 1). Il est probable que ces deux hypothèses sont vérifiées dans le cas, rare, des sols submergés (bas-fonds, rizières,...) à condition que la lame d'eau expérimentale soit d'un même ordre que la hauteur d'eau naturelle ou artificielle (irrigation par submersion) et que le sol soit saturé (Pioger exclus). Par contre, il semblerait que ces méthodes ne soient d'aucun secours pour l'évaluation des intensités d'infiltration sous pluies naturelles.

En effet, A. Lafforgue (communication orale, juin 1977) a procédé à une série de mesures cherchant à comparer les intensités d'infiltration minimale (F_N) obtenues sur les sols filtrants d'Adiopodoumé (Côte d'Ivoire) à l'aide du simulateur de pluies, type Swanson d'une part utilisé déjà précédemment (A. Lafforgue et B. Naah, 13) et l'appareil de Müntz d'autre part, cf. tableau 1.

Tableau 1 : Comparaison des intensités minimales d'infiltration (F_N) mesurées au Müntz et au simulateur Swanson.

		Sous végétation naturelle	Sol labouré
Nombre de mesures Müntz		25	50
F_N sous charge constante (Müntz)	Moyenne	250 mm/h	500 mm/h
	Médiane	210 mm/h	430 mm/h
F_N sous averse simulée de 150 mm/h (sur sol très humide)		90 mm/h	20 mm/h

Ainsi les données obtenues à partir de l'appareil de Müntz ne seraient ni du même ordre que celles trouvées sous pluies simulées, ni même comparatives....

Les différences semblent encore plus importantes sous Pioger : nous avons trouvé sur un sol de forêt (Yapo, Côte d'Ivoire) une intensité d'infiltration de 1.500 mm/h mesurée sous Pioger (médiane de 5 répétitions) tandis que N. Guiguen n'obtient sur ce même sol une valeur de 60 mm/h comme intensité d'infiltration minimale mesurée sous infiltromètre.

122. Sous pluie simulée.

Un certain nombre d'appareils permettant des simulations de pluies ont déjà été mis au point dans différents pays. Nous ne nous étendrons pas sur tous les avantages qu'ils présentent par rapport aux précédents (Müntz, Pioger). La plupart d'entre eux permettent non seulement l'étude de l'infiltration (par mesure du ruissellement et par différence avec l'intensité de la pluie simulée) mais celle aussi des pertes en terre (par prises d'échantillons de la turbidité des eaux de ruissellement et de l'érosion pour diverses intensités de pluies que l'on peut choisir et maintenir constantes. Ceci représente un grand avantage sur les parcelles d'érosion classiques soumises aux pluies naturelles. Plusieurs pédologues et hydrologues ont déjà utilisé le simulateur type Swanson mis au point sur le Centre d'Adiopodoumé (Collinet, Aasseline et Lafforgue, 5).

Cependant de tels appareils sont coûteux et d'un transport difficile.

L'infiltromètre de Bertrand et Parr, (2), comme celui de Dixon et Peterson (6) couramment utilisé aux Etats-Unis, présente l'avantage d'être économique, facile à construire et à transporter. C'est lui qui correspond le plus aux objectifs. Cependant il nous a semblé utile d'y apporter quelques perfectionnements, exposés lors de la description de l'appareil.

2. PRESENTATION ET CONSTRUCTION DE L'INFILTROMETRE.

(cf. planche de photographies).

21. Principe de l'appareil.

Cet appareil se distingue essentiellement des modèles existants par le fait que l'intensité de l'averse mesurée sur un m² est réglable à tout moment, sans interruption, d'une manière progressive et continue, dans une gamme allant de 30 à 140 mm/h (le modèle de Bertrand et Parr ne fonctionne qu'à 64-83 et 117 mm/h).

Pour cela, en faisant varier l'angle de balancement du gicleur, on augmente ou diminue la surface arrosée alors que la quantité d'eau utilisée reste constante. La parcelle d'un m² reçoit plus ou moins d'eau alors que la surface de garde varie entre 2,5 et 13 m² (limitée à 6,5 m² lors de l'emploi d'une bêche).

Intensité sur le m ²	Angle balancement gicleur	Surface approximative mouillée au sol sans bêche
37 mm/h	150 grades	14 m ²
45 "	126 "	11,5 "
60 "	96 "	10 "
90 "	64 "	7 "
120 "	50 "	5 "
140 "	42 "	3,5 "

Tableau 2 : Angles de balancement et surface de garde en fonction des intensités.

Lorsque l'on immobilise le gicleur situé à 3,50 m du sol, l'eau se répartit sur une ligne d'environ 25 cm d'épaisseur et sur une largeur qui est fonction de la pression (cf. figure N° 5). Cette largeur et l'amplitude de balancement du gicleur déterminent la surface arrosée.

22. Construction.

A partir des figures 1, 2 et 3, nous donnons les schémas de construction.

Description des figures 1 et 2

- A - Tige filetée montée sur 2 roulements. Sa rotation (imprimée par l'intermédiaire du flexible K) permet d'allonger ou de raccourcir l'entre-axe B - F, ce qui augmente ou diminue l'angle de balancement du levier C et par transmission celui du bras supportant le gicleur.
- . Tige de laiton de 6 mm de diamètre et 145 mm de long
 - . 2 roulements, diamètres 6/19 mm.
- B - Axe en acier de 4 mm de diamètre, soudé sur deux écrous.
- C - Bâti supportant les deux roulements, muni à la base d'un orifice lui permettant de s'adapter sur l'axe F.
- . 3 tiges d'acier \varnothing 6 x 115 mm de long.
 - . 2 plaques 25 x 30 x 40 mm de fer plat avec logement de 3 mm x 19 mm de diamètre pour les roulements.
 - . 30 mm d'acier carré de 20 mm, travaillé, perforé aux diamètres de 8 et 12 mm avec une fente et une vis de 6 mm permettant le serrage sur l'axe.
- D - Bielle provenant d'un mouvement d'essuie-glace (Renault 4) 3 x 10 x 190 mm (170 mm d'axe en axe).
- E - Calandre de protection pour le moteur (12 V SEV MARCHAL) aérée pour éviter l'échauffement, en tôle galvanisée 10/10 \bar{e} 10 x 10 x 10 cm.
- F - Deux engrenages permettant d'amplifier le mouvement de balancier obtenu au levier C.
- . 1 roue de 52 dents \varnothing 43 mm, montée sur un axe de 43 mm \varnothing 12 mm.

- . 1 roue de 35 dents \emptyset 29 mm montée au centre d'un axe de 75 mm, d'un diamètre de 12 mm d'un côté et de 8 de l'autre.
- G - Armature support de l'ensemble. Elle est divisée en deux parties, avec chacune une bague en bronze faisant office de palier, ce qui permet de positionner au mieux le contact entre les engrenages.
 1. Sur la partie supérieure en fer plat de 4 x 20 mm, composée de 6 pièces soudées, 2 de 75 mm, 2 de 10 mm, 1 de 65 mm, 1 de 9 mm, sont soudés :
 - 1 tige reliée à un ressort de rappel (200 mm de fer à béton de 10) ;
 - 1 tige supportant l'alimentation en eau (220 mm de fer à béton de 6) ;
 - 1 tige servant d'axe d'inclinaison à l'ensemble (250 mm de fer à béton de 12) ;
 - 1 plaque supportant le moteur et sa calandre de protection, l'accrochage du câble d'inclinaison (tôle galvanisée 20/10 \times 110 x 100 mm) ;
 - 2 filetages pour la fixation de la seconde partie.
 2. La partie inférieure a pour seule fonction de maintenir le palier H du petit engrenage. Monobloc en aluminium, il provient de récupération mais peut aisément se fabriquer en tôle épaisse. Longueur 70 mm, hauteur 35 mm, épaisseur 20.
- H - Deux bagues en bronze servent de paliers aux axes supportant les engrenages. \emptyset 12/19 mm x 20 de long.
- I - Tige imprimant le balancement au gicleur qu'elle supporte.
 - . fer carré de 12 x 12 x 40 mm, percé de 2 trous \emptyset 8 mm, fendu sur un plan avec vis de serrage 8 mm.
 - . fer à béton 10 mm x 180 mm.
 - . fer plat 4 x 20 x 50 percé d'un orifice \emptyset 11,5 mm recevant le gicleur, fendu dans l'épaisseur avec vis de serrage 6 mm.
- J - Gicleur TEEJET SS 60 monté sur certains appareils de traitements phytosanitaires vendus par TECHNOMA (Epernay, France).
- K - Flexible permettant le réglage de l'amplitude de balancement du gicleur (récupéré sur 404 Peugeot où il anime le tachymètre).
- L - Tuyau d'alimentation en eau, relie le manomètre (BOURDON-Paris \emptyset 18 cm, 0 à 1 Kg/cm²) au gicleur. Tuyau souple transparent de 10 mm de diamètre intérieur, 1,50 m de longueur.
- M - Gaine et câble permettant le réglage de l'inclinaison (récupéré sur le frein à main d'une 404 Peugeot).
- N - Câble électrique, 20 m de long, 2 fois 2,5 mm².
- O - Cadre en tube galvanisé de 20 - 27 mm formant un carré de 120 cm de côté avec, soudés à chaque angle à 125 grades d'inclinaison, 4 manchons en tube noir carré 3 x 3 x 20 cm dans lesquels s'ajustent les pieds.

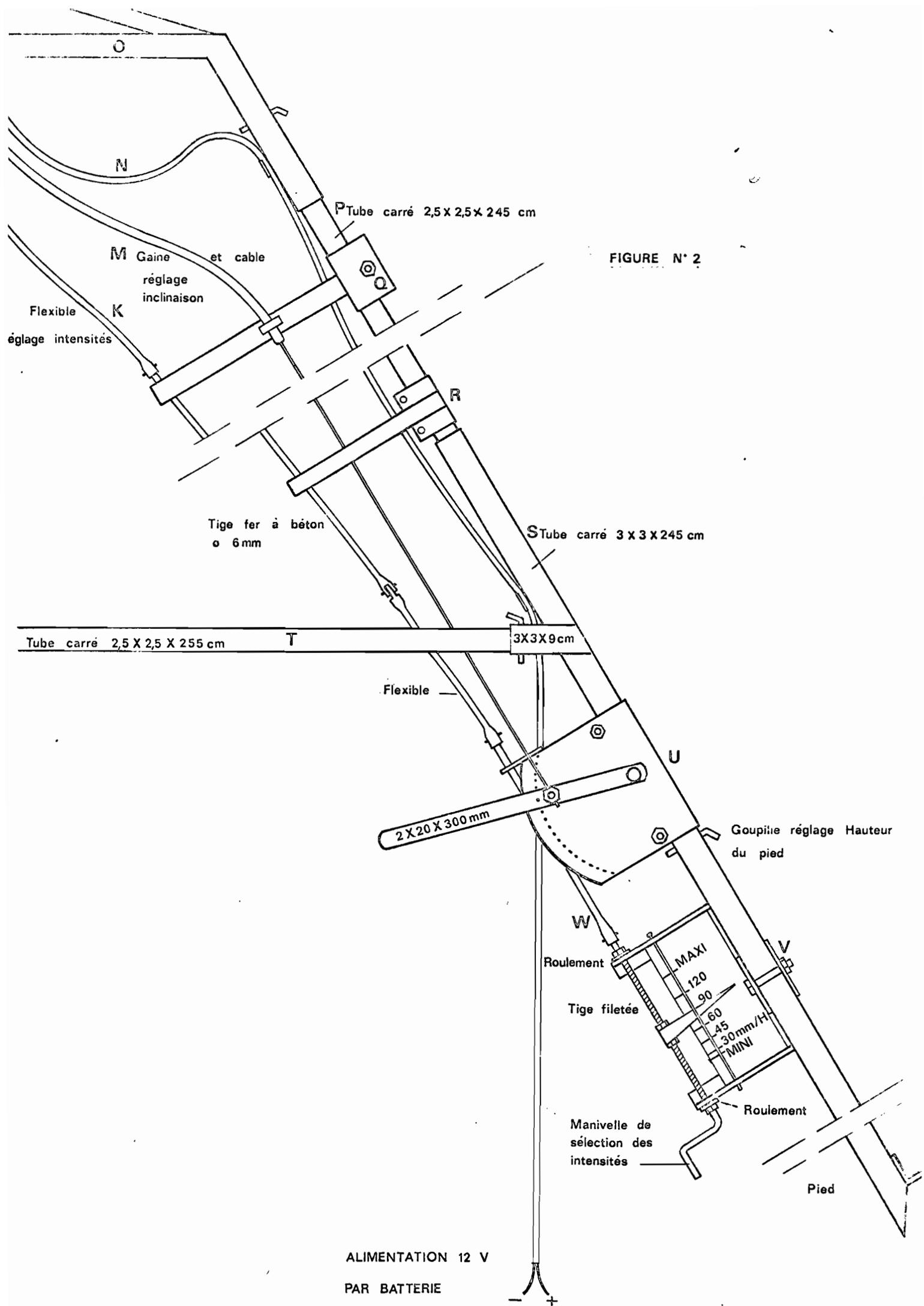


FIGURE N° 2

ALIMENTATION 12 V
 PAR BATTERIE

- P - 4 tubes noirs carrés de 2,5 x 2,5 x 245 cm.
- Q - R - 2 supports et guides de la tringlerie de réglage
- . Tube carré 2,5 x 2,5 x 20 plus tôle galvanisée 20/10 \bar{e} 8 x 14 cm pliée s'ajustant sur le pied, maintenue serrée par un boulon 8 x 35 mm.
- S - 4 tubes carrés de 3 x 3 x 245 cm, fermés en biseau à l'extrémité reposant sur le sol, munis de deux manchons 3 x 3 x 9 cm. Un de ces 4 pieds supporte également les guides Q et R les commandes de réglage U et V.
- T - 4 tubes carrés de 2,5 x 2,5 x 255 cm relient les pieds entre eux.
- U - Poignée de réglage de l'inclinaison.
- . Fer plat de 2 x 20 x 300 mm pivotant sur un axe contre une tôle galvanisée de 20/10 \bar{e} percée d'une ligne de trous \varnothing 5 mm et repliée avec 2 boulons de serrage (8 x 40 mm) sur un des pieds. Une petite plaque 2 x 20 x 50 mm perforée à 8 mm sert également de guide pour la tringlerie W.
- V - Commande de réglage des intensités.
- . 2 supports en cornière de 30 x 30 x 120 mm avec logement pour roulement \varnothing 19mm
 - . 1 support en cornière de 30 x 30 x 180 mm reliant les 2 précédents
 - . plaque de lecture des intensités, tôle galvanisée 10/10 \bar{e}
 - . tôle galvanisée repliée avec vis de serrage 8 x 40 mm sur un pied
 - . tige filetée en laiton \varnothing 6 mm ; 20 cm de long
 - . aiguille de lecture, tôle galvanisée 10/10 \bar{e} 80 x 25 mm soudée sur deux écrous de 6 mm ;
 - . fer à béton \varnothing 6 x 170 mm (Manivelle)
 - . deux roulements 6 x 19 mm.
- W - Tringlerie de sélection des intensités.
- . 2 fer à béton de 6 mm x 620 mm
 - . 1 fer à béton de 6 mm x 410 mm
 - . 1 flexible de 40 cm.

Ces différentes sections se raccordent par un manchon avec clavette, fer à béton de \varnothing 10 mm x 30 mm perforé dans sa longueur au \varnothing de 7 mm et dans le travers \varnothing 4 mm.

FIGURE N° 3 (cadres et limnigraphe)

-
- 1 - Bac pluviométrique. Il permet, à l'aide de trois tuyaux qui le relie au limnigraphe, de contrôler les intensités avant ou après l'expérience en le plaçant au-dessus du cadre n°2. Tôle galvanisée 10/10è, 1 m² avec bordures de 5 cm de hauteur.
 - 2 - Cadre permettant l'enfoncement par battage de la bordure en tôle n°4.
 - . Extérieur en fer cornière égale de 50 x 50 mm formant un carré de 102 cm de côté ;
 - . A l'intérieur, renforcé par un second cadre de 99,5 cm de côté en cornière de 35 x 35 mm.
 - 3 - Tôle de protection venant couvrir le canal de ruissellement et une partie de la goulotte. Tôle galvanisée de 6/10è mesurant déployée 99,8 cm x 24 cm ; elle est pliée dans la largeur en bande de 12,4,4 et 4 cm.
 - 4 - Cadre délimitant le périmètre de mesure de l'infiltration. Il est muni sur un côté d'une ligne de trous et au-dessous d'une gouttière collectant les eaux de ruissellement. Construit en tôle galvanisée 20/10è, il forme un carré de 100 x 100 cm intérieur et 18 cm de hauteur. Sur les côtés, une cornière de 40 x 40 mm rend l'ensemble rigide et limite l'enfoncement dans le sol à 80 mm, la base de la ligne de trous (\varnothing 10 mm, tous les 20 mm) est également à 80 mm du bord inférieur. Une double pente de 3% guide l'écoulement au centre de la gouttière (tôle galvanisée 6/10è).
 - 5 - Les eaux sont évacuées par une goulotte (tôle galvanisée 6/10è, 5 x 5 x 25 cm) et se déversent dans la cuve du limnigraphe. Une tôle 20 x 25 cm incurvée ou une feuille de plastique suffit à l'isoler de la pluie.
 - 6 - Limnigraphe de laboratoire A. OTT modèle VIII fixé sur un socle muni de 4 pieds (tôle galvanisée de 10/10è et cornière de 30 x 30 mm).

Equipé de roues E avec 48 dents au tambour et 64 à la commande, on obtient une rotation du tambour en 96 minutes avec une avance du papier (A. OTT n° 460 RK 35) de 6 mm à la minute (code LAGAG).

Le flotteur agit directement sur une tringle, le rapport est de 1/1 et permet d'enregistrer une hauteur de 35 cm.

L'ensemble est protégé par un couvercle en tôle galvanisée 10/10è, 22 x 30 x 55 cm, muni d'une vitre en plexiglas de 22 x 41 cm.
 - 7 - Cuve cylindrique du limnigraphe.

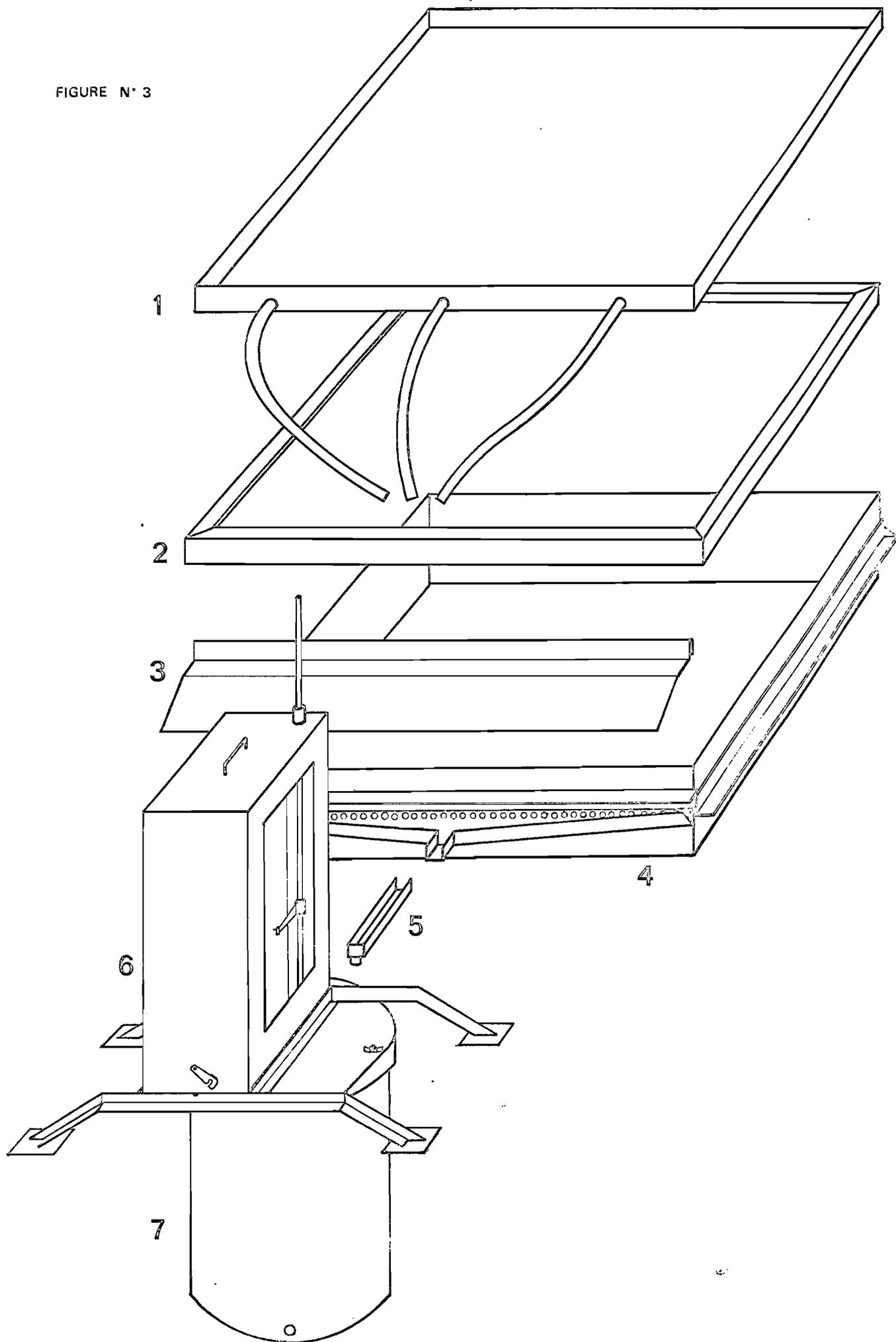
Cette cuve a été construite afin d'obtenir une élévation de 10 mm du flotteur pour un litre d'eau écoulée, soit 1 mm de pluie sur le bac pluviométrique d'un m².

Tôle galvanisée de 10/10è, diamètre intérieur 356,8 mm hauteur 45 cm dont 35 utiles. La différence est employée par le flotteur.

A la base de la cuve, est soudé un tube muni d'une vanne 20 x 27 permettant de vidanger rapidement.

INFILTROMETRE : DISPOSITIF DE RECUEILLEMENT ET D'ENREGISTREMENT DES EAUX DE RUISSELLEMENT

FIGURE N° 3



3. CARACTERISTIQUES D'UTILISATION.

31. Choix de la pression.

Le choix de la pression utilisée est lié à plusieurs facteurs :

311. Consommation en eau.

Afin de conserver à cet appareil un caractère de légèreté, de facilité de transport et d'emploi, il est nécessaire de consommer le moins d'eau possible, mais un certain volume s'impose : une parcelle et sa garde, réduites au minimum à 3 m², recevant 140 mm pendant une heure, nécessite 420 l. d'eau.

A 250 g/cm ² de pression, le gicleur utilise	380 l. d'eau à l'heure.
300 " " "	410 "
350 " " "	470 "
400 " " "	510 "
450 " " "	545 "

Tableau n°3 : Consommation en eau et Pression utilisée.

Au vue de ce tableau, nous nous placerons entre 300 et 350 g. (surface de garde suffisante).

312. Surface de garde.

Pour un ensemble surface de garde + parcelle d'au moins 3 m², la pression ne doit pas être inférieure à 300 g/cm² (cf. figure N° 5).

313 Régularité de l'intensité.

Le gicleur a été testé à l'arrêt à 3,50 m du sol à différentes pressions ; il ressort de ces essais que de 250 à 600 g/cm² l'intensité recueillie sur une largeur d'un mètre centré sous le jet est strictement la même alors qu'elle a tendance à varier en dessous de 250 g/cm².

32. Réglage des intensités.

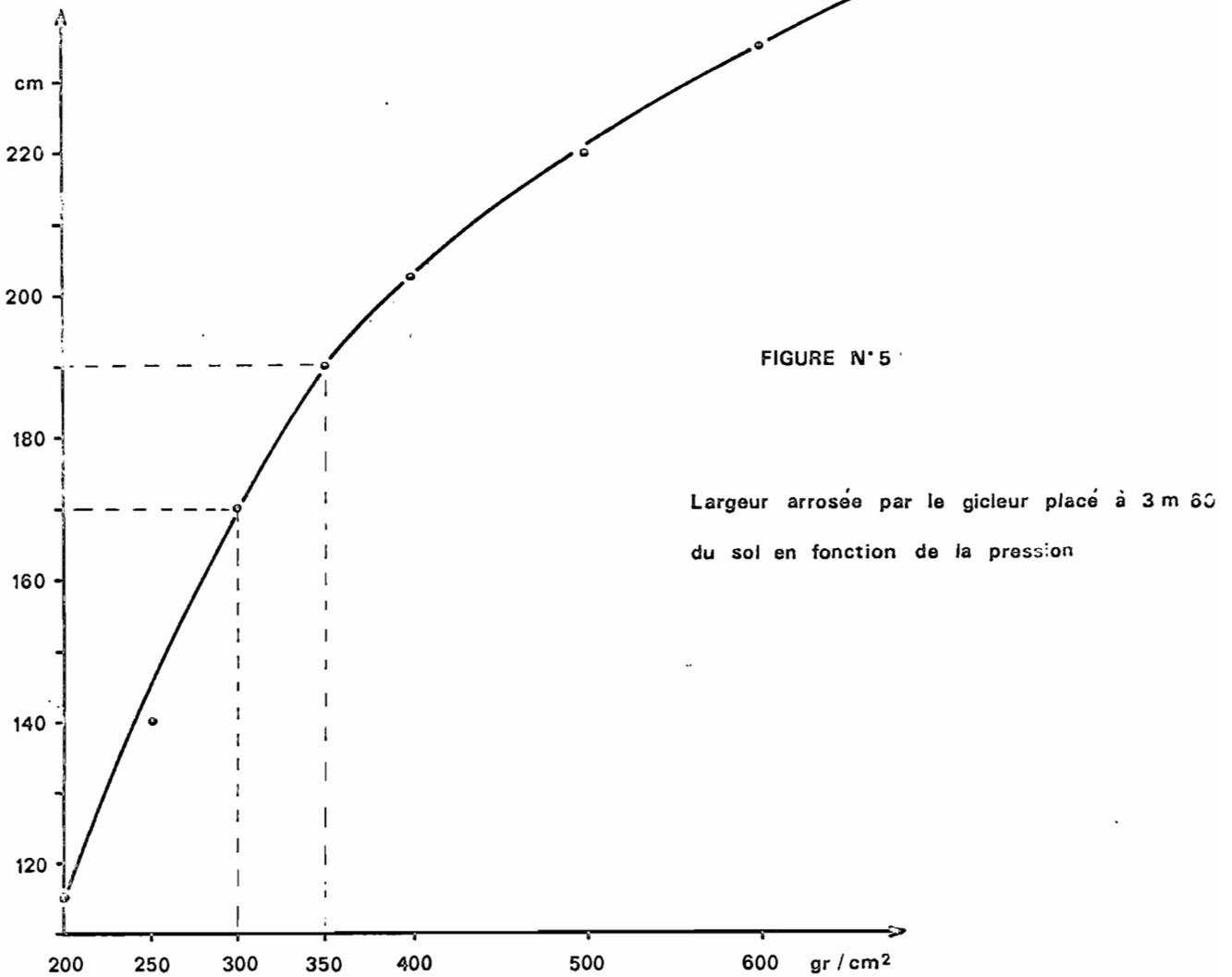
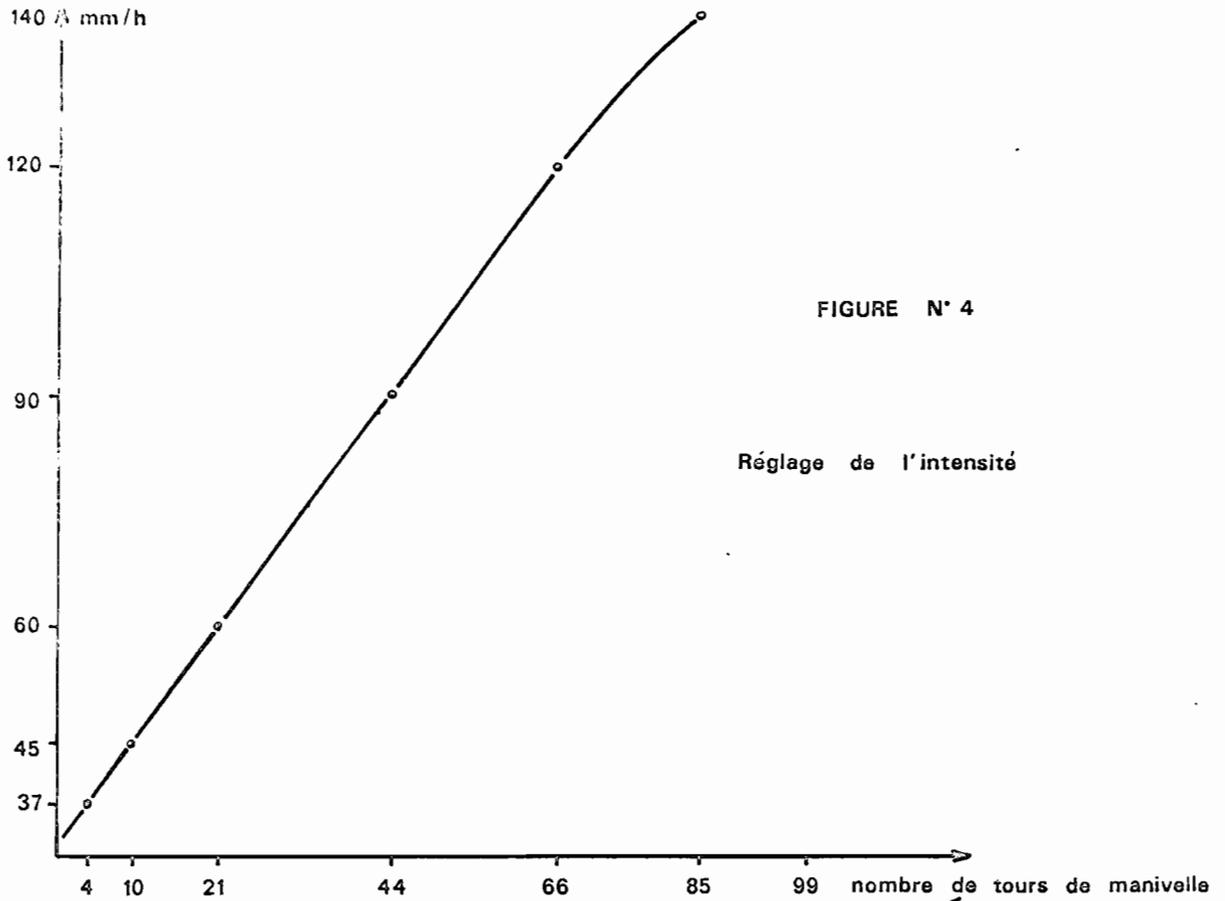
L'appareil a été étalonné ; une aiguille permet de repérer le nombre de tours imprimés à la tige filetée par l'intermédiaire d'une petite manivelle (voir figure n° 4).

Lors du montage, on place l'axe b (figure N° 1) en butée inférieure ainsi que l'aiguille.

Dans cette position, on obtient le balancement maximum du bras portant le gicleur. L'intensité au sol est donc alors minimum, soit environ 30 mm/heure.

Il faut noter que l'appareil, dans sa conception actuelle, ne fonctionne pas d'une façon satisfaisante à cette intensité. En effet, le cadre supérieur 0 est atteint par le jet d'eau (figures N° 1 et 2), ce qui provoque des retombées d'eau dans la parcelle et augmente ainsi l'intensité.

CARACTERISTIQUES DE L'INFILTROMETRE



La bâche recouvrant l'ensemble de l'appareil a dû être reculée à plus d'un mètre de part et d'autre du gicleur pour les mêmes raisons.

Aux autres réglages, il n'y a pas ce problème.

4	tours de manivelle depuis la butée	donnent	37	mm/h.
10	"	"	60	"
44	"	"	90	"
66	"	"	120	"
85	"	"	140	"

(cf. figure N° 4).

33. Mise en place de la parcelle d'essais.

1. Le cadre d'un m² (N°4, figure N° 3) ne pose guère de problèmes pour sa mise en place, le sens de la pente du sol doit être déterminé de façon assez précise afin de placer le côté muni d'ouvertures rigoureusement en aval.

L'emploi d'un niveau à bulle de maçon placé sur la bordure en cornière est suffisant. Avec le cadre renforcé N°2, la tôle est enfoncée à l'aide d'une masse de manière à mettre la cornière et la ligne de trous en contact avec la surface du sol, une petite rigole de 3 à 5 cm de profondeur doit être aménagée sous la gouttière. Il est évident que l'on évite de piétiner la surface qui servira d'étude et de garde. A l'aide d'une règle d'un mètre, du niveau et d'un double-décimètre, il est facile de connaître avec précision la pente du terrain ainsi délimité.

N. GUIGUEN a observé des infiltrations plus importantes sur parcelles nouvellement installées ; il est souhaitable dans la mesure du possible de mettre en place le cadre suffisamment longtemps avant d'effectuer les mesures.

Lors de l'enfoncement la bordure de tôle perturbe le sol et crée une zone d'infiltration privilégiée, après une première pluie (ou un arrosage) cet effet disparaît. Vu le faible prix de revient d'un cadre, une solution consiste à en construire un grand nombre et à les laisser en place lors d'études devant se prolonger.

2. La pose du limnigraphe est plus longue car le ruissellement est acheminé par gravité, ce qui nécessite de creuser une petite fosse de 50 cm environ et de 40 cm de diamètre pour y placer la cuve de réception. Les pieds de l'appareil reposent sur un replat aménagé à 12 cm de la surface du sol autour de la cavité creusée pour la cuve. Il est important que le limnigraphe soit placé sur une base horizontale.

La cuve permet d'enregistrer 35 mm d'eau ruisselée, ce qui oblige dans certains cas à effectuer une ou plusieurs vidanges. Une vanne au fond de la cuve permet de laisser l'eau s'écouler rapidement par gravité, dans ce cas l'on doit prévoir une tranchée pour son évacuation, cela n'est pas pratique sur faible pente.

Il est également possible d'employer une petite pompe centrifuge alimentée par la batterie 12 volts, reliée à la sortie de la vanne, que l'on actionne seulement le temps de la vidange. Nous utilisons une pompe de cale pour embarcation légère ; débit 4500 l/h, soit à peine 30 secondes de vidange. L'emploi d'une seconde motopompe à cet effet s'avère aussi très efficace (la vidange ne dure que de 30 à 40 secondes).

34. L'alimentation en eau.

Une petite motopompe TAS Motor QCP12 animée par un moteur 2 temps consommant environ 0,5 l à l'heure de mélange est utilisée pour fournir l'eau sous pression. Le moteur est employé à faible rendement, sa capacité pouvant aller jusqu'à 7000 l. à l'heure.

La même moto-pompe est utilisée pour remplir au point d'eau le plus proche un réservoir de 600 l. aménagé afin d'être facilement transportable dans un véhicule léger (Land Rover, 404 bâchée). Quelques fûts de 200 l. peuvent être employés si l'on désire une plus grande réserve d'eau.

35. Discussion, critiques, améliorations à porter.

Après plusieurs missions effectuées sur le terrain avec le prototype d'infiltromètre précédemment décrit, il apparaît que le principe de fonctionnement de l'appareil est excellent ; il mérite cependant qu'on lui apporte un certain nombre d'améliorations :

351. Solidité et fiabilité de l'appareil.

Ces deux caractères sont liés car toute torsion ou usure entraîne du jeu dans les organes mobiles et influe sur le réglage des intensités.

C'est pourquoi il est souhaitable de monter les axes des engrenages (F, figure n° 1) sur roulements à billes. La tige filetée A devra être choisie d'un diamètre supérieur (8 mm par exemple). Le moteur pourrait être un peu plus puissant, il a tendance à chauffer à faible intensité (balancement maximum) (moteurs d'essuie-glace de camion).

352. Facilité d'emploi.

Un second manomètre serait utile près des organes de commandes pour faciliter la surveillance de la pression.

Afin de déplacer l'appareil plus aisément sur le terrain, les pieds devraient être inversés, la partie inférieure (S, figure N° 2) coulissant à l'intérieur de l'autre (P) et les manchons maintenant les traverses (T) soudés à la base du tube supérieur. Cela permettrait d'abaisser l'appareil de plus de 2 m lors des déplacements sous forêt sans avoir à démonter les traverses T, d'où un gain de temps et le réglage individuel de chaque pied possible.

353. Performances.

En abaissant l'axe d'inclinaison par rapport au cadre 0 et en montant 2 engrenages ayant un rapport en nombre de dents voisin d'1 sur 2 au lieu d'1 sur 1,48, le seuil de faible intensité pourrait être largement abaissé en dessous de 30 mm/h.

Bien que pré-réglé, il est opportun de vérifier de temps à autre l'intensité à l'aide d'un bac d'un m². La construction d'une gouttière étroite sur le périmètre de la parcelle reliée à un pluviographe est à l'étude. L'enregistrement précis et parallèle de l'intensité serait d'une grande utilité ; il permettrait des dépouillements plus précis.

4. ENERGIE CINETIQUE DES PLUIES SIMULEES.

41. Présentation de l'étude.

L'infiltration dépend de l'intensité des pluies naturelles. Nous venons de voir les avantages d'obtenir des intensités connues et constantes pour l'étude de ce phénomène. Mais il serait hasardeux de se contenter d'étudier l'intensité comme seule caractéristique des pluies simulées. En effet une même intensité peut être obtenue avec des tailles de gouttes et des vitesses d'impact au sol extrêmement variées. Des simulateurs de pluies simples (RIOU, BOLI BABOULE -4-) utilisent des dispositifs formant des gouttes de même diamètre ; les simulateurs, munis de gicleurs sélectionnés, visent à obtenir une répartition des gouttes plus proches de celle des pluies naturelles de même intensité. De même, les vitesses d'impact au sol diffèrent généralement d'un appareil à l'autre. Or ces deux paramètres : tailles des gouttes et vitesse d'impact au sol sont les principales composantes de l'énergie des gouttes de pluie. Si la connaissance de cette énergie cinétique est capitale pour l'analyse de l'érosion, elle ne doit pas être négligée, comme elle l'a souvent été, pour l'étude de l'infiltration. En effet c'est elle la principale responsable des modifications morphologiques de la surface du sol (formation d'une pellicule de battance très peu perméable par exemple). Aussi est-il nécessaire de s'assurer, lors de la mise au point d'un simulateur de pluies que les énergies cinétiques obtenues pour les différentes intensités sont bien du même ordre que celles des pluies naturelles correspondantes.

42. Tailles des gouttes.

421. Méthodes existantes.

De nombreuses études ont été entreprises pour déterminer le diamètre des gouttes, sous pluies naturelles comme sous pluies simulées (LAWS -14- ; MEYER -15- ; HUDSON -8-).

On peut par exemple les photographier lors de leur chute, ou une fois recueillies dans un bain d'huile.

Certains auteurs ont utilisé des papiers filtres colorés par du bleu de méthylène ; les gouttes tombant dessus y laissent des auréoles dont les surfaces sont proportionnelles aux sections des gouttes.

D'autres chercheurs, plus nombreux, ont employé une technique plus rapide : on recueille les gouttes dans un bac de farine. Les agrégats ainsi formés, sont passés au four puis récoltés sur une batterie de tamis. Il existe une relation simple entre le diamètre de ces agrégats et celui des gouttes. Cette méthode, que nous avons utilisée, permet un gain de temps considérable par rapport à la précédente : les pesées des différentes fractions granulométriques demandent moins de temps que les mesures des diamètres de toutes les taches. Cette technique a permis d'obtenir des résultats semblables de la part de nombreux auteurs travaillant sur la taille des gouttes sous pluies naturelles ; elle paraît suffisamment fiable pour déterminer les caractéristiques de pluies simulées.

422. Prise et traitement des échantillons.

On soumet à l'aspersion un parallépipède de farine (30 x 20 x 2,5 cm) contenu dans un bac pouvant être couvert ou découvert très rapidement. La durée de l'exposition dépend de l'intensité ; elle est de l'ordre de une à trois secondes, afin de permettre la formation d'une masse suffisante d'agrégats (environ 3 g à sec) tout en laissant une probabilité faible pour plusieurs gouttes de tomber en un même point.

Les échantillons sont ensuite placés dans une étuve à une température de 105°C pendant 24 heures. On fait traverser alors à l'ensemble, farine + agrégats, une batterie de onze tamis : 200, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 2000, 3150, 4000 et 5000 μ . La fraction inférieure à 200 μ , retenue par aucun tamis, et trop difficilement discernable de la farine, n'est pas prise en compte (son influence est infime sur l'énergie cinétique, (cf. plus loin). Les autres fractions sont pesées séparément. Une seule fraction concerne les agrégats dont le diamètre dépasse 5 mm. Mais nous verrons par la suite que cette taille n'est jamais atteinte sous les pluies simulées par l'infiltromètre.

423. Calibrage des gouttes.

Il est nécessaire de connaître la relation permettant d'obtenir le diamètre des gouttes en fonction de la masse des agrégats ou en fonction de leur diamètre. Pour cela, on soumet les mêmes bacs de farine à l'impact de gouttes de masses et de diamètres connus.

Ces gouttes sont obtenues à partir de microseringues (type Hamilton) aimablement prêtées par le laboratoire de Physiologie Végétale. Elles sont conçues pour former des gouttes de volume constant (2,5, 5,0 et 10,0 mm³). Pour les gouttes plus grosses, nous avons utilisé des pipettes de précision graduées de 10 en 10 mm³. Il n'a pas été possible de produire des gouttes de diamètre inférieur à 1.680 mm (masse = 2,5 mg), mais les résultats de Meyer (15) tendent à montrer que la relation reste la même quelle que soit la taille des gouttes, y compris pour les plus petites.

Les essais ont été réalisés à 3,50 m du sol (hauteur correspondant à celle du gicleur) mais aussi à un mètre. HUDSON (9) a signalé que la vitesse d'impact influait sur la taille des agrégats formés, mais cette action est faible : entre 30 et 80% de la vitesse d'impact d'une goutte de pluie naturelle, le rapport masse de la goutte/masse de l'agrégat ne varie que de 4%. Nous avons trouvé un écart de 1% sur les diamètres d'agrégats formés après des chutes de 3,50m et 1,0 m. Bien que travaillant ainsi à des vitesses d'impact inférieures aux vitesses limites, nous considérons que cette méthode permet une approximation suffisante pour le niveau de précision souhaité.

De même le nombre de diamètres testés est faible (7). En effet les études antérieures (BLANCHARD -3-, MEYER -15-) montrent une étroite corrélation entre les masses d'agrégats et celles des gouttes testées quelles que soient leur taille.

Lors de chaque essai, de 25 à 30 gouttes calibrées tombent sur la farine. La masse d'agrégats obtenue après séchage, et divisée par leur nombre donne la masse moyenne d'agrégat, correspondant à la taille de goutte testée.

Connaissant le volume de cette goutte, on en déduit son diamètre :

$$D(\text{mm}) = \frac{(6 V(\text{mm}^3))^{1/3}}{\pi}$$

En portant sur une feuille loglog les masses d'agrégats en fonction des diamètres de gouttes, on obtient une courbe s'ajustant sur la droite :

$$Y = 34x + 1,12 \quad \text{avec } r = 0,99 \text{ (coefficient de regression)} \\ \text{et } n = 7 \quad \text{(cf. figure N° 6).}$$

On en déduit immédiatement la relation :

$$De = 13,18 Mf^{0,34} \quad \text{avec } De = \text{diamètre de la goutte (mm)} \\ \text{et } Mf = \text{masse de l'agrégat (mg)}$$

Cette relation est proche de celle établie par BLANCHARD (3) : et celle de MEYER (15) :

$$De = 14,56 Mf^{0,354}$$

Les différences obtenues entre ces auteurs provient vraisemblablement du type de farine utilisée. (Pour ces essais nous avons employé la farine de force "PS-15 type U.S." des Grands Moulins d'Abidjan).

Nous avons déterminé sa densité apparente afin de calculer le diamètre des agrégats :

$$Df = \frac{(6 Mf)}{\pi b}^{1/3} \quad \text{avec } Df \text{ (mm)} : \text{diamètre de l'agrégat} \\ Mf \text{ (mg)} : \text{masse de l'agrégat} \\ \text{et } b : \text{densité de la farine}$$

$$b = 0,93$$

Il est ainsi possible de connaître le diamètre des gouttes en fonction de celui des agrégats :

$$\frac{De}{\text{mm}} = 0,985 \frac{Df}{\text{mm}}^{1,02}$$

Pour chaque classe de diamètre d'agrégats correspondant aux différents tamis, on peut ainsi évaluer le diamètre moyen de gouttes. Il est supposé, comme le fait remarquer HUDSON (10) qu'un nombre infime d'agrégats ont un diamètre supérieur à 6 mm sous pluies naturelles. Le diamètre moyen d'agrégats, pour la fraction supérieure à 5,5 mm.

Classes de tamis	0	200	315	400	500	630	800	1000	2000	3150	4000	5000
μ	200	315	400	500	630	800	1000	2000	3150	4000	5000	et +
Diamètres moyens d'agrégats μ	100	258	358	450	565	715	900	1500	2575	3575	4500	5500
Rayons moyens des gouttes μ	49	124	173	218	275	350	442	745	1293	1807	2285	2805

Tableau N° 4 : Rayons des gouttes et diamètre des agrégats.

CALIBRAGE DES GOUTTES

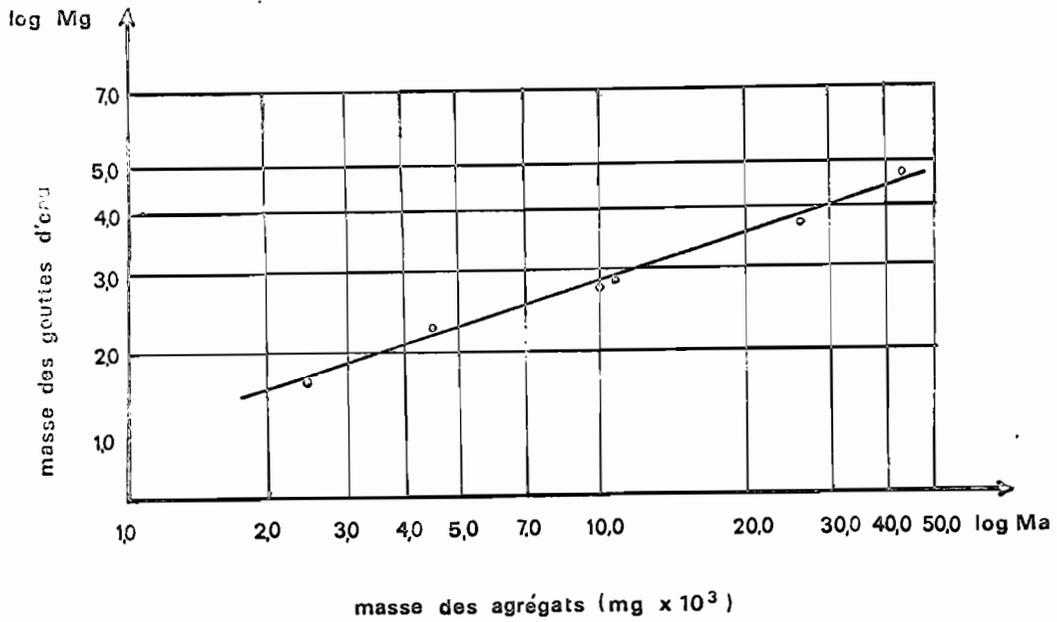


FIGURE N°6

RELATION ENTRE LE DIAMÈTRE MOYEN DES GOUTTES ET L'INTENSITE

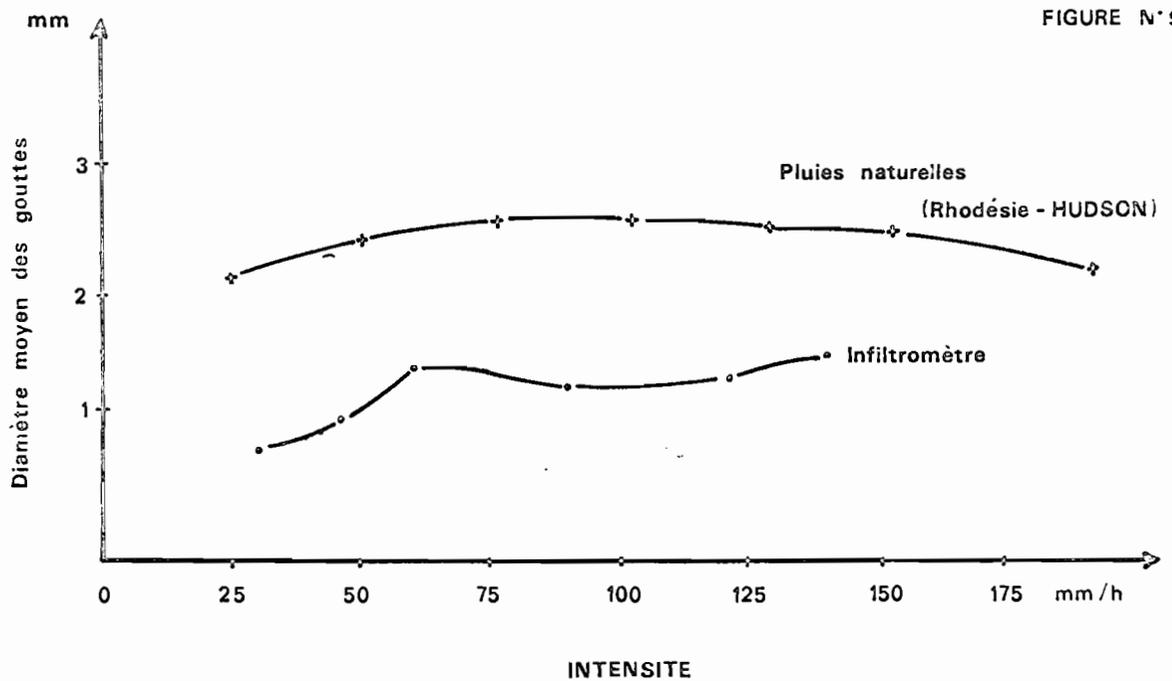


FIGURE N°9

424. Résultats.

Les résultats sont présentés au tableau N° 5 et les figures N°s 7 et 8.

Les courbes granulométriques cumulatives ont été tracées pour différentes intensités de pluies simulées, en portant en abscisses les diamètres des agrégats et en ordonnées les masses des différentes fractions granulométriques (exprimées en pourcentages cumulés de la masse totale). Les diamètres d'agrégats D_{25} , D_{50} et D_{75} correspondent à 25%, 50% et 75% de la masse totale des agrégats. La relations obtenue

$$D_e = 0,985 D_f^{1,02}$$

(mm) (mm)

permet ainsi de connaître les diamètres de gouttes correspondants. D_{50} , "diamètre moyen" est la valeur centrale caractérisant la taille des gouttes, D_{25} et D_{75} donnent une idée de leur répartition.

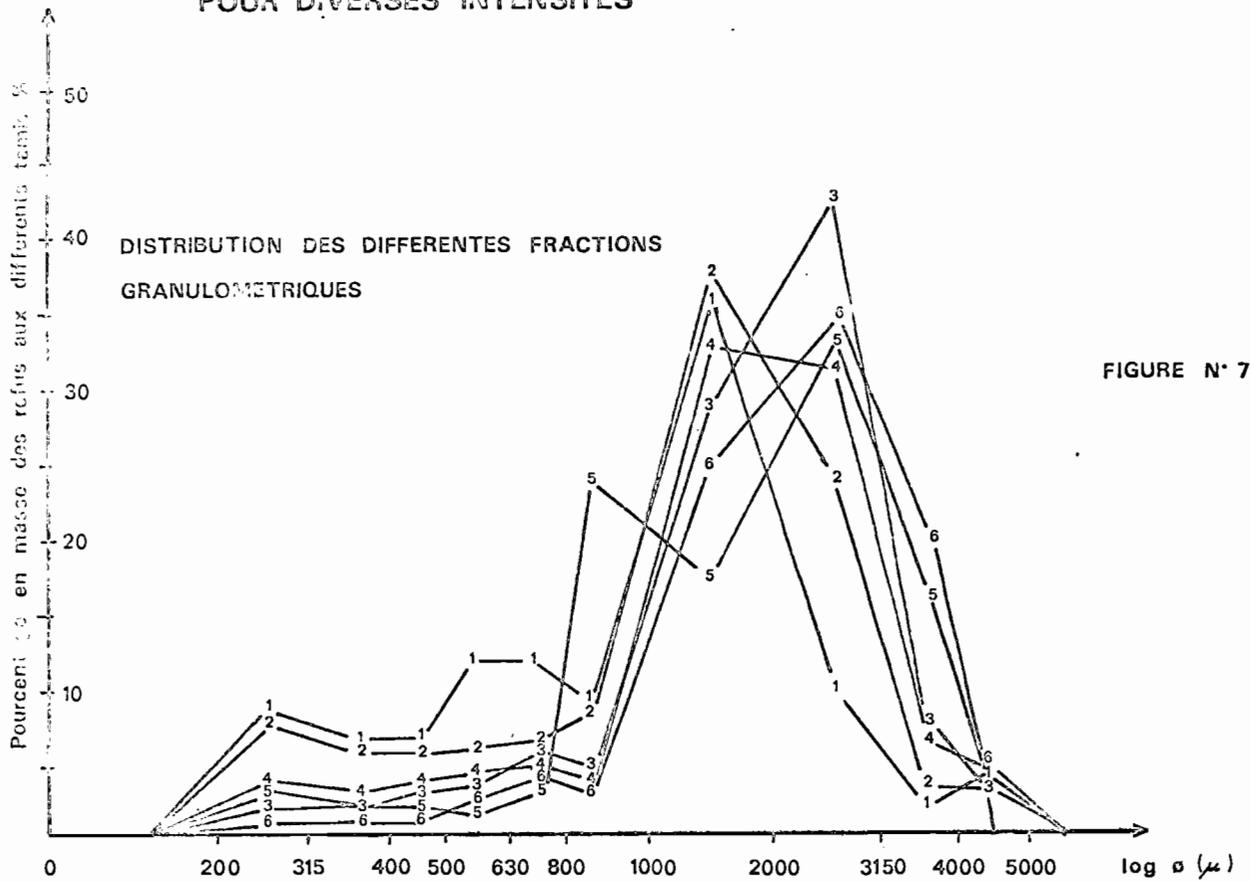
Le tableau N° 5 présente ces différentes valeurs :

Intensités (mm/h)	37	45	60	90	120	140
D_{25} (mm)	0,47	0,61	1,03	0,89	0,79	1,01
D_{50} (mm)	0,84	1,06	1,49	1,34	1,35	1,67
D_{75} (mm)	1,22	1,59	2,10	2,07	2,16	2,47

Tableau N° 5 : Intensités de pluies et Diamètre des gouttes.

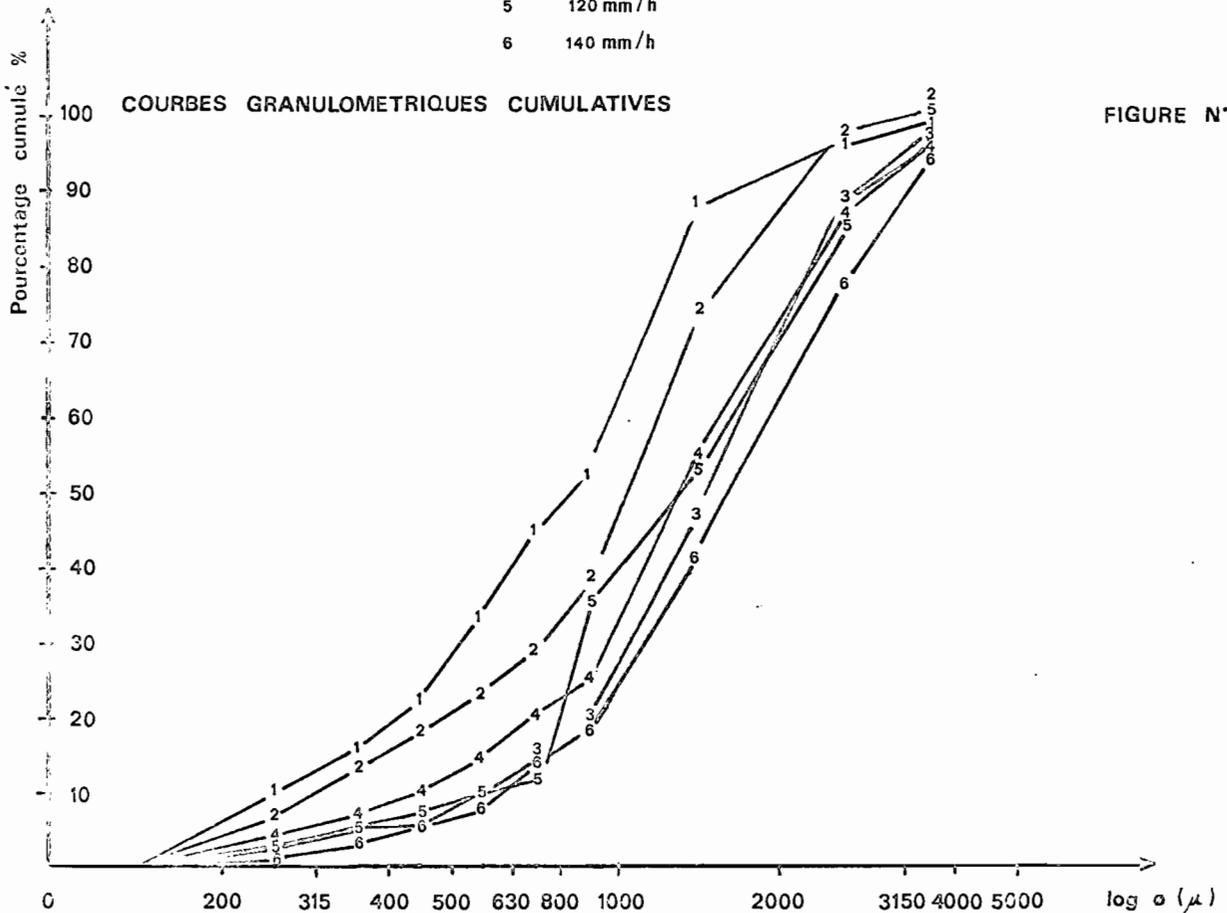
Utilisant une pression constante, la seule source de variation du diamètre des gouttes provient du balancement du gicleur. Il s'opère, en effet, un tri des gouttes : à faible intensité, le balancement est maximal et les grosses gouttes tombent très loin de la parcelle. Au fur et à mesure que le balancement diminue, une proportion plus grande de gouttes de fort diamètre tombe sur la surface étudiée (gouttes de 2000 à 3150 μ d'après la figure N° 7). A partir de 60 mm/h l'équilibre est atteint et la distribution du diamètre des gouttes varie peu en fonction de l'intensité. A partir de 120 mm/h, on assiste à une nouvelle augmentation. La proportion des petites gouttes (de 0 à 400 μ) devient très petite. Du fait du balancement faible aux fortes intensités se produit-il une ventilation moins grande des gouttes ? Le fractionnement des gouttes à la sortie du gicleur serait alors moins facilité par une force centrifuge plus faible, ou bien s'agit-il d'un artefact ? : la densité des gouttes au sol augmente la probabilité pour que plusieurs gouttes tombent en un même point. On compterait alors pour un seul agrégat, de masse importante, l'agglomération de plusieurs.

DIAMETRE DES GOUTTES OBTENUES AU SOL PAR L'INFILTROMETRE POUR DIVERSES INTENSITES



INTENSITES

- 1 37 mm / h
- 2 45 mm / h
- 3 60 mm / h
- 4 90 mm / h
- 5 120 mm / h
- 6 140 mm / h



425. Comparaison avec les pluies naturelles.

La variabilité du diamètre des gouttes pour une même intensité est élevée sous les pluies naturelles. Ne disposant pas encore suffisamment de résultats à Adiopodoumé, nous utilisons, comme références, les données obtenues par HUDSON (10) en Rhodésie.

La comparaison des deux courbes (figure N° 9) montre une nette différence entre les pluies naturelles et les pluies simulées. Le diamètre moyen des gouttes obtenues sous ce gicleur, à la pression de 300 g/cm² ne représente que de 40 à 60% celui trouvé par HUDSON (10) sous les pluies naturelles.

Or il n'est pas possible de corriger ce défaut par variation de pression : une pression plus basse réduirait la surface de garde ; une pression plus élevée provoquerait une diminution de la taille des gouttes par pulvérisation et augmenterait la consommation en eau.

Si ces résultats paraissent faibles par rapport à ceux trouvés par HUDSON (10), nous verrons par la suite qu'ils sont très proches de ceux obtenus par d'autres auteurs sous pluies naturelles.

43. Vitesse d'impact au sol.

431. Présentation du problème.

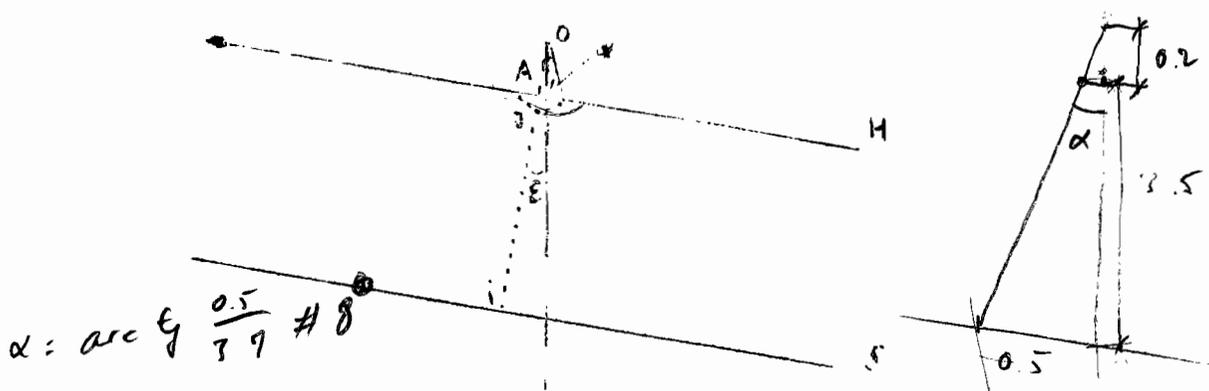
Considérons v_0 la vitesse initiale radiale à la sortie du gicleur et v_t la vitesse tangentielle due à son balancement. La résultante v_i de ces deux vitesses est telle que :

$$v_i^2 = v_0^2 + v_t^2$$

Effectuons deux simplifications :

- nous admettons que toutes les gouttes interceptées par la parcelle d'essai sont toutes animées de la même vitesse initiale v_i et sont issues d'un même plan H, parallèle au plan S du sol celui-ci étant assimilé à une surface plane. Notons que H et S ne sont pas horizontaux mais que le réglage d'inclinaison permet à H de rester parallèle à S ;
- cette simplification nous semble acceptable ; elle sous-entend que la vitesse de balancement du gicleur reste constante pour les positions les plus proches de la verticale et que la variation relative de la hauteur du gicleur reste faible. Le demi-angle α , correspondant à l'aspersion effective de la parcelle est de l'ordre de 20° (avec une variation de 15 à 30° environ suivant les intensités).

Schéma N°1



Soit ϵ l'angle que font H et S avec l'horizontale. Pour une pente de 5% cet angle vaut environ 3° .

$$\overline{OJ} - \overline{OA} = \overline{OJ} (1 - \cos(\alpha + \epsilon))$$

Or $\alpha + \epsilon \neq 23^\circ$

$$\overline{OJ} = 0,20\text{m}$$

d'où :

$$\overline{OJ} - \overline{OA} : 0,016 \text{ m } 0,005$$

Or $\overline{IJ} = 3,50 \text{ m}$

d'où :

$$\frac{\overline{OI} - \overline{OA}}{\overline{IJ}} = 0,46\% \quad 0,15$$

On voit par conséquent que l'erreur ainsi causée par cette simplification est très faible. Elle semble donc justifiée.

Nous assimilerons les gouttes d'eau à des points matériels libres et mobiles dans le champ de la pesanteur, soumis à leur seul poids et non à la résistance de l'air (en un premier temps). Nous considérons que chaque goutte est lancée du plan H avec une vitesse initiale v_i d'orientation variable.

Ecrivons que l'augmentation de l'énergie cinétique est égale à la diminution du potentiel :

$$1/2 (mv_s^2 - mv_i^2) = mgh$$

$$\text{D'où } v_s = \sqrt{v_i^2 + 2gh}$$

avec : h = distance entre les deux plans H et S (hauteur en m)
 v_s = vitesse d'impact sur la parcelle (m/s)
 v_0 = composante radiale de la vitesse initiale v_i (m/s)
 v_t = composante tangentielle de v_i (m/s).

On a ainsi :

$$(1) \quad v_s = \sqrt{v_0^2 + v_t^2 + 2gh}$$

Afin de déterminer la vitesse d'impact au sol, il convient donc de préciser au préalable les composantes de la vitesse initiale :

$$v_0 \text{ et } v_t$$

432. Vitesse tangentielle v_t :

La vitesse de balancement est supposée constante pour les angles d'aspersion effective de la parcelle. Pour déterminer cette vitesse de balancement pour chaque intensité, on a mesuré, dans chaque cas, l'angle balayé α par le gicleur en une période T . Celui-ci étant entraîné par un moteur à mouvement de rotation uniforme, la période T reste constante.

$$\left(T = \frac{53}{60} ; T = 1,13 \text{ seconde} \right)$$

On a :

$$v_t = \omega \cdot R$$

$$(\text{m/s}) \quad (\text{rad./s} \cdot \text{m})$$

$$v_t = \frac{\gamma}{T} \cdot R$$

avec ω = vitesse angulaire de balancement (rad./s)

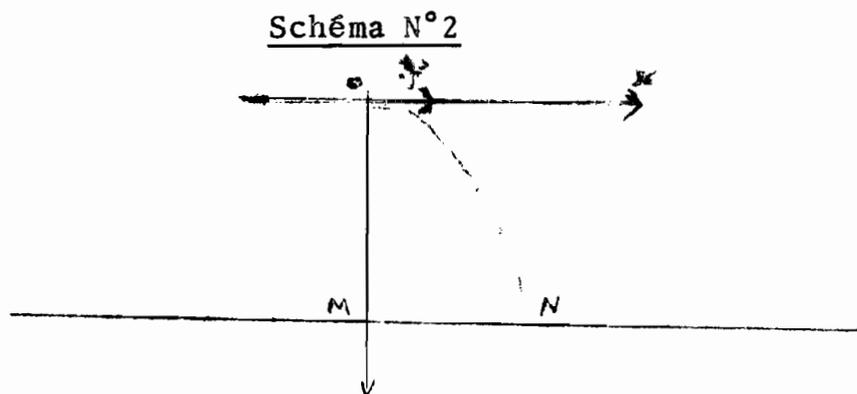
et R = distance du centre de balancement à l'extrémité du gicleur. $R = 0,20 \text{ m}$.

Intensités (m/s)	γ		v_t (m/s)
	(grades)	(radians)	
37	300	4,71	0,83
45	252	3,96	0,70
60	192	3,02	0,53
90	128	2,01	0,36
120	100	1,57	0,28
140	82	1,29	0,23

Tableau N°6 : Intensités et vitesses tangentielles.

433. Vitesse radiale v_0 .

Un point libre et mobile lancé avec une vitesse horizontale au-dessus d'un plan S décrit une parabole avant de toucher ce plan :



La composante de la vitesse initiale v étant nulle suivant l'axe Oz , et celle de l'accélération g étant nulle suivant l'axe Ox , on a :

$$v_0 = \frac{dx}{dt}$$

d'où, au temps t :

$$x = \int_0^t v_0 dt$$

et

$$z = \int_0^t g dt$$

quand $t = 0$ x et z sont nuls, d'où

$$x = v_0 t$$

et $z = 1/2 g t^2$, on en déduit :

$$v_0 = x \sqrt{g/2z}$$

En mesurant \overline{MN} (cf. schéma N°2), et connaissant OM la hauteur de chute, on a :

$$v_0 = \overline{MN} \sqrt{\frac{g}{2 \cdot \overline{OM}}}$$

Cette relation ne tient pas compte de la résistance de l'air. En réalité, la distance \overline{MN} mesurée est inférieure à la distance théorique. Cette vitesse initiale v_0 est donc minorée.

Notons que MEYER a utilisé une méthode proche de celle-ci : au lieu de mettre le gicleur à l'horizontale, il l'a pointé vers le haut, à la verticale et a mesuré la hauteur h atteinte par le jet.

On a alors : $v_0 = \sqrt{2gh}$.

Cette méthode ne tient pas compte non plus de la résistance de l'air ; en outre elle est très peu précise : il est en effet très difficile de déterminer la hauteur moyenne atteinte par les gouttes ; cette hauteur dépend de leur taille.

La méthode ici utilisée permet de déterminer de façon précise la distance moyenne \overline{MN} :

on place dans l'axe du gicleur, placé à l'horizontale une batterie de 18 pluviomètres de même surface d'ouverture (400 cm²). On opère, à l'abri du vent pendant 10 minutes. De chaque pluviomètre, on déduit l'intensité reçue à la distance \overline{MN} correspondante. Les figures N°s 10 et 11 donnent la distribution de ces intensités en fonction de la distance \overline{MN} , ainsi que cette distribution en pourcentage cumulé. Ce dernier graphique permet d'apprécier la distance \overline{MN}_{50} telle que 50% de l'eau tombe en deçà et 50% au delà.

DETERMINATION DE LA VITESSE RADIALE MEDIANE

Répartition des Intensités en fonction de la distance au gicleur

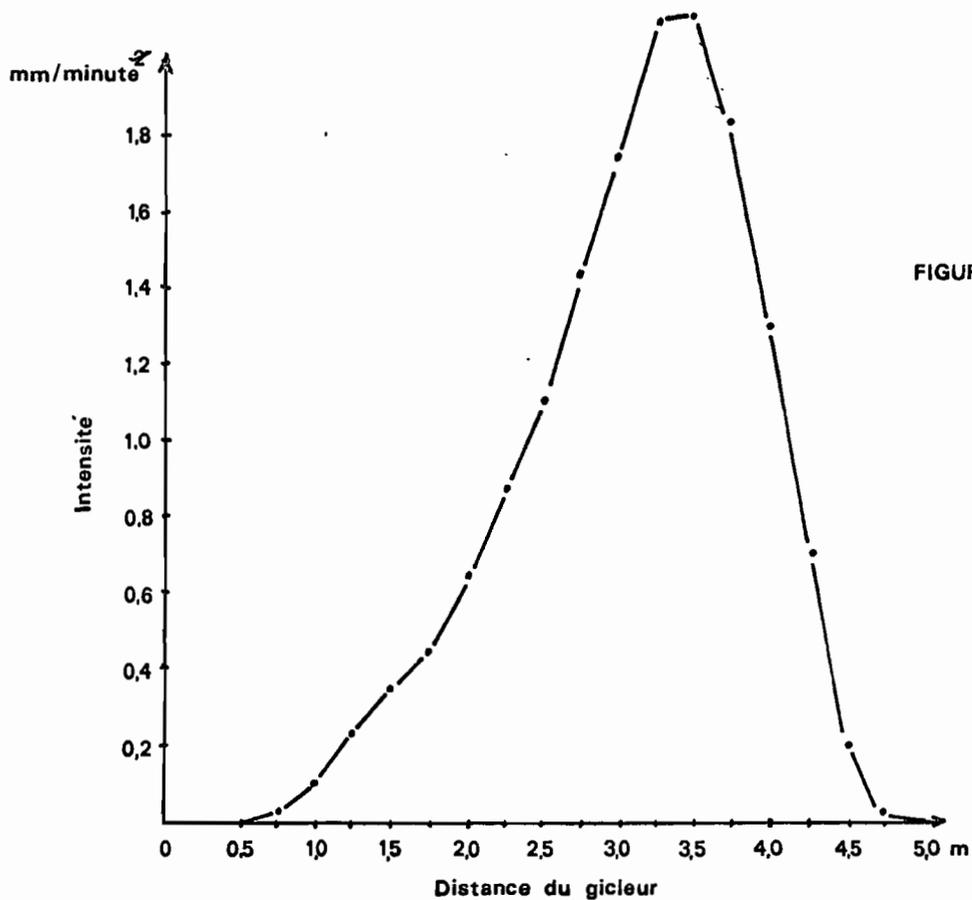


FIGURE N° 10

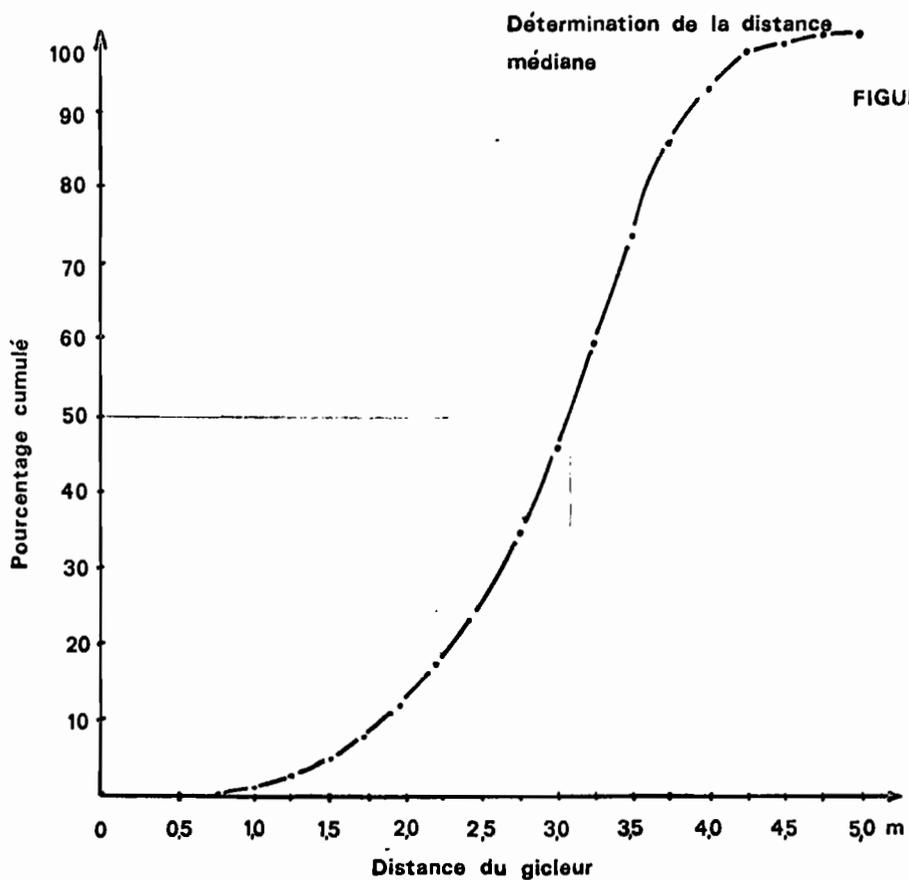


FIGURE N° 11

Pour une hauteur de gicleur de 3,50m, on trouve $\overline{MN}_{50} = 3,10\text{m}$;
on en déduit :

$$v_0 = 3,10 \sqrt{9,81/2 \cdot 3,50}$$

$$v_0 = 3,67 \text{ m/s}$$

$$\text{en prenant } g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

434. Vitesses limites.

Nous n'avons pas tenu compte jusqu'ici de la résistance de l'air. Soit $\phi(v)$ cette force :

$$\phi(v) = k \cdot s \cdot v^2$$

avec k un coefficient dépendant de la forme du projectile, s sa section et v sa vitesse. Lorsque cette résistance atteint la même valeur numérique que son poids, l'accélération devient nulle et sa vitesse reste constante. C'est sa vitesse limite dans l'air. v_1 :

$$k \cdot s \cdot v_1^2 = mg$$

$$\text{d'où } v_1^2 = mg/k \cdot s$$

avec $k = \frac{C\rho}{2}$ $\rho =$ masse spécifique de l'air. $\rho = 0,0012$
 $C = 0,45$ pour les sphères; on assimilera
les gouttes à des sphères de rayon R

ainsi :

$$v_1 = \sqrt{2mg / s \cdot C \cdot \rho}$$

Pour une sphère de densité = 1 :

$$m = 4/3 \pi R^3$$

$$\text{et } s = \pi R^2$$

d'où finalement :

$$v_1 = \left(\frac{2 \cdot R \cdot 4 \cdot g}{3 \cdot C \cdot \rho} \right)^{0.5}$$

$$v_1 = 220.1 (R)^{0.5}$$

Ainsi peut-on calculer la vitesse limite correspondant à chaque classe granulométrique de diamètre de goutte :

Classe de tamis (μ)	0	200	315	400	500	630	800	1000	2000	3150	4000
	200	315	400	500	630	800	1000	2000	3150	4000	5000
Rayon moyen des gouttes (μ)	49	124	173	218	275	350	442	745	1293	1807	2285
Vitesse limite dans l'air (m/s)	1,54	2,45	2,89	3,25	3,65	4,12	4,62	6,01	7,91	9,36	10,52

Tableau N° 7 : Vitesses limites dans l'air.435. Vitesse d'impact au sol .

Calculons pour chaque intensité, les vitesses d'impact au sol, sans tenir compte des vitesses limites, et donc de la résistance de l'air. On applique la formule (1) du paragraphe 431.

Intensités (mm/h)	Vitesses radiales (m/s)	Vitesses tangentiels (m/s)	Vitesses d'impact au sol (m/s)
37	3,67	0,83	9,10
45	3,67	0,70	9,09
60	3,67	0,53	9,08
90	3,67	0,36	9,07
120	3,67	0,28	9,07
140	3,67	0,23	9,07

Tableau N° 8 : Intensités et vitesses d'impact au sol.

Notons que seules les gouttes dont le rayon dépasse 1,3 mm atteignent le sol avec une vitesse égale à la vitesse calculée. Pour les gouttes plus petites, la vitesse d'impact est égale à la vitesse limite correspondant à leur rayon (cf. tableau N° 9).

Rayon des gouttes (μ)	Intensités (mm/h)						V_s sous pluies naturelles
	37	45	60	90	120	140	
49	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	0,25
124	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	2,45	0,72
173	2,89	2,89	2,89	2,89	2,89	2,89	0,98
218	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75	1,60
275	3,65	3,65	3,65	3,65	3,65	3,65	2,80
350	4,12	4,12	4,12	4,12	4,12	4,12	3,30
442	4,62	4,62	4,62	4,62	4,62	4,62	4,10
745	6,01	6,01	6,01	6,01	6,01	6,01	5,40
1293	7,91	7,91	7,91	7,91	7,91	7,91	7,47
1807	9,10	9,09	9,08	9,07	9,07	9,07	8,59
2285	9,10	9,09	9,08	9,07	9,07	9,07	9,14
2805	9,10	9,09	9,08	9,07	9,07	9,07	9,22

Tableau N° 9 : Vitesses d'impact au sol (m/s) en fonction des intensités et des tailles de gouttes.

436. Comparaison avec les pluies naturelles .

Nous avons porté dans la dernière colonne du tableau N° 9 les vitesses d'impact relevées sous pluies naturelles (GUNN et KINZER (7) ; LAMS (14) cités par WISCMEIER et SMITH (18)). Pour les gouttes de faibles et très faibles diamètres, les valeurs obtenues par les auteurs américains sont très nettement inférieures aux vitesses limites calculées ici. En effet, pour les gouttes très fines tombant des nuages, la chute doit suivre une loi complexe du fait des turbulences de l'air (importance du vent, des courants ascendants, etc...). Pour les gouttes de plus fort diamètre, les seules à intervenir effectivement sur l'énergie cinétique (cf. plus loin), les vitesses obtenues empiriquement sous pluies naturelles et celles calculées sous infiltromètres sont du même ordre (écart de 1 à 5 %) (cf. figure N° 13). Notons que les vitesses d'impact sous cet infiltromètre sont beaucoup plus proches des pluies naturelles que celles obtenues par BERTRAND et PARR (de l'ordre de 5 m/s).

44. Energie cinétique.

441. Calculs et Résultats.

Connaissant les diamètres des gouttes et leurs vitesses d'impact au sol, il est possible d'en déduire l'énergie cinétique ($E_c \text{ (J)} = 1/2 M \text{ (KG)} v^2 \text{ (m}^2/\text{s}^2)$).

Pour obtenir l'énergie cinétique correspondant à 1 mm de pluie par m², nous avons cumulé les énergies de chaque classe granulométrique.

Les résultats sont présentés au tableau N° 10.

Il apparaît que seules les gouttes dont le diamètre dépasse 0,9 mm participent vraiment à la constitution de l'énergie cinétique. Dans le cas de l'infiltromètre, ce sont les gouttes dont le diamètre est compris entre 0,9 mm et 3 mm qui interviennent le plus (60 à 80% de l'énergie cinétique totale).

Noton l'intérêt de tenir compte de la taille des gouttes dans l'évaluation de l'énergie cinétique. Si nous avons supposé que toutes les gouttes atteignaient le sol avec la même vitesse, nous aurions eu, pour une intensité de 140 mm/h :

$E_c = 41,13 \text{ J/m}^2/\text{mm}$ au lieu de $26,23 \text{ J/m}^2/\text{mm}$ et pendant une heure :

$E_c = 5758 \text{ J/m}^2/\text{h}$ au lieu de $3671 \text{ J/m}^2/\text{h}$ soit une erreur d'environ 60 % par excès !

Les résultats présentés ici sont obtenus cependant avec une incertitude : la vitesse radiale a été minorée. Mais l'introduction d'une erreur à ce niveau de calcul ne se manifeste que pour les gouttes dont le diamètre excède 3 mm (en-dessous les vitesses d'impact v_s sont égales aux vitesses limites). MEYER (15) n'a pas tenu compte non plus de cette légère sous estimation. Nous considérons, par conséquent, que les résultats donnent une précision suffisante pour être comparée aux énergies cinétiques sous pluies naturelles.

Pluies naturelles :

Kelkar : Indes

Hudson : Rhodésie

Ker : Trinidad

Mihara : Japon

(cités par Hudson)

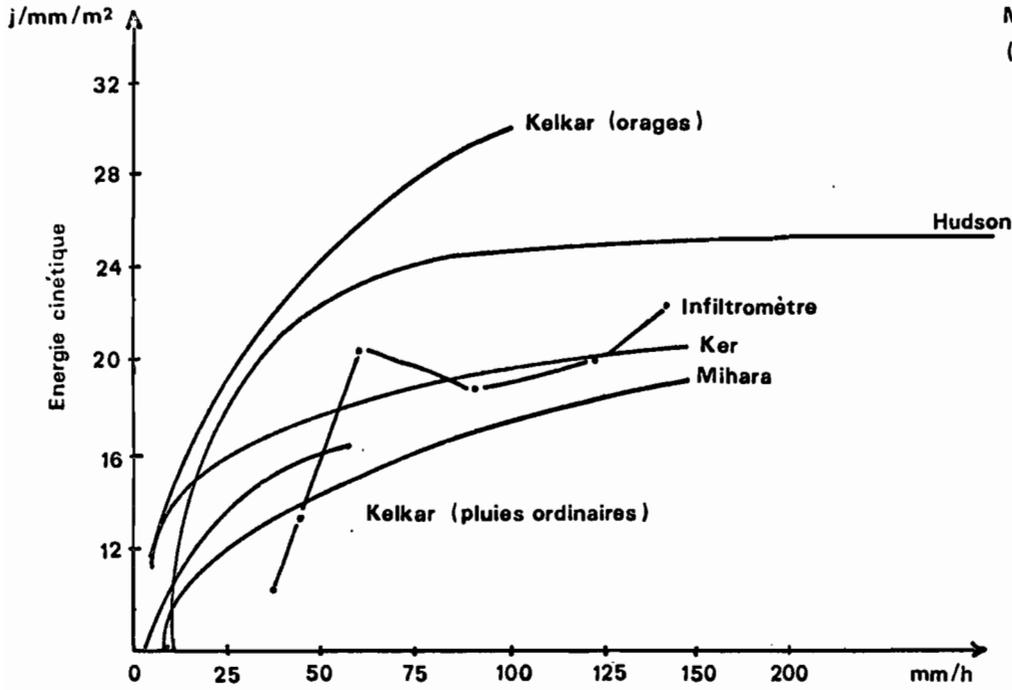


FIGURE N° 12

RELATION ENTRE L'ENERGIE CINETIQUE ET L'INTENSITE DES PLUIES

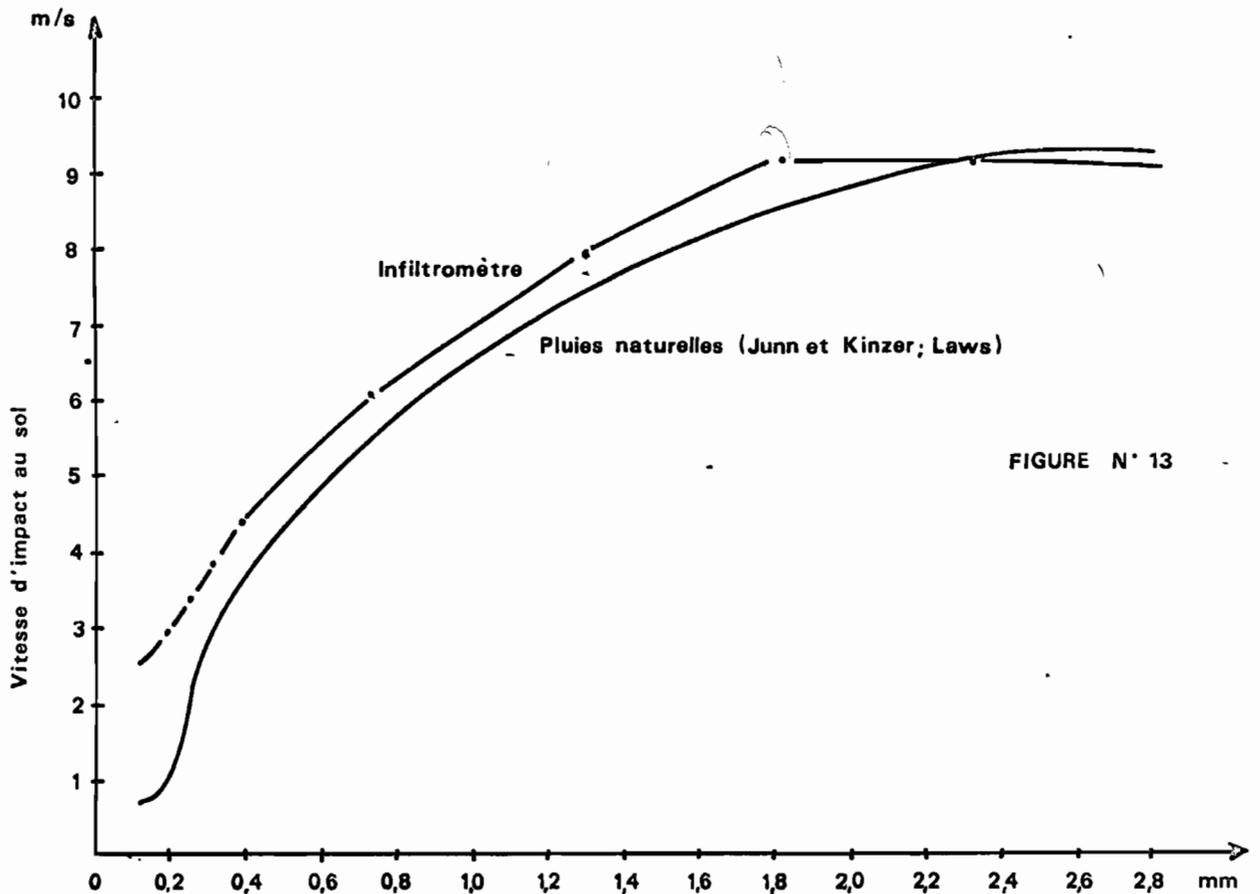


FIGURE N° 13

RELATION ENTRE LES VITESSES D'IMPACT AU SOL ET LE RAYON DES GOUTTES

Classes de diamètres (mm)	Pourcentage en masse (%)						Energie cinétique (Joules/mm de pluie/m ²)					
	37	45	60	90	120	140	37	45	60	90	120	140
0.200-0.3150	8,51	7,07	2,13	3,58	2,58	1,70	0,255	0,212	0,063	0,107	0,077	0,051
0.3150- 0.400	6,38	5,05	1,83	2,63	2,06	1,51	0,266	0,211	0,076	0,110	0,086	0,063
0.400 - 0.500	6,38	5,05	1,83	3,10	2,06	1,89	0,425	0,336	0,122	0,206	0,137	0,126
0.500 - 0.630	10,64	5,05	2,74	4,77	1,55	2,83	0,708	0,336	0,183	0,318	1,032	0,184
0.630 - 0.800	10,64	6,06	5,41	5,97	3,09	5,09	0,903	0,514	0,466	0,507	0,262	0,432
0.800 - 1.000	8,51	8,08	4,57	4,06	23,71	3,96	0,908	0,162	0,488	0,433	2,530	0,422
1.000 - 2.000	35,11	37,37	28,05	32,32	17,01	24,34	6,341	6,749	5,066	5,837	3,072	4,396
2.000 - 3.180	9,57	23,23	42,38	30,79	32,47	34,53	2,993	7,267	13,258	9,632	10,158	11,043
3.150 - 4.000	1,06	3,03	7,62	7,88	15,46	18,30	0,439	1,252	3,141	3,241	6,359	7,257
4.000 - 5.000	3,19	0,00	3,35	5,01	0,00	5,85	1,321	-	1,381	2,061	-	2,406
Energie cinétique par mm de pluie (J/mm/m ²)							14,6	17,5	24,2	22,5	23,7	26,2
Energie cinétique par heure (J/h/m ²)							538,8	786,1	1454,6	2020,7	2845,6	3671,6

Tableau N° 10 : Classes granulométriques, intensités de pluies et Energies cinétiques.

442. Comparaison avec les pluies naturelles;

De nombreux auteurs ont essayé d'évaluer l'énergie cinétique développée sous pluies naturelles. Aucun n'a utilisé de procédé direct. Tous ont dû passer au préalable par la détermination de la taille des gouttes et une évaluation des vitesses d'impact (mesures directes ou calcul des vitesses limites). Or la taille médiane des gouttes, pour une intensité donnée subit d'importantes variations suivant la durée de la pluie (pluies d'orages ou normales). KELKAR (11) distingue ainsi les pluies communes des pluies courtes et violentes. D'après HUDSON (8) les variations sont plus fortes sous faibles intensités que sous les grandes (à partir de 75 mm/h). Mais il reconnaît que le nombre d'échantillons dans ce cas est de toute façon toujours plus limité (faible fréquence des fortes intensités).

Une des difficultés majeures rencontrées dans ce type d'expérimentation réside dans la détermination précise de l'intensité au moment de la prise d'échantillon. Il faut pouvoir disposer d'un pluviographe à mouvement rapide et constant, grâce auquel on peut repérer, d'une manière sûre l'instant où l'on opère.

De plus, il faudrait pouvoir prendre des échantillons à tout moment, y compris lors d'un violent orage la nuit... Cette difficulté a été résolue par HUDSON (8) qui a mis au point un appareil de prélèvement automatique (le procédé utilisé est celui des agrégats de farine).

HUDSON (10) donne un graphique portant les résultats de divers auteurs. Nous y avons reporté la courbe correspondant à l'infiltromètre. Cette courbe recoupe assez bien celle obtenue par KER (12) à Trinidad, à partir de 60 mm/h (cf. figure N° 12).

Parmi les différences observées par les divers auteurs, il est hélas impossible de distinguer ce qui provient des climats sous lesquels les travaux ont été menés et ce qui est dû aux diverses méthodes employées.

Quoiqu'il en soit, il semble possible de pouvoir dire que les énergies cinétiques obtenues par cet infiltromètre sont du même ordre que celles trouvées sous pluies naturelles. Nous avons trouvé des vitesses d'impact proches de celles trouvées par des méthodes photographiques par LAWS (14) sous pluies naturelles. Les tailles de gouttes sont inférieures aux données de HUDSON (10), mais nous ne disposons pas des résultats des autres auteurs. Trouvant des énergies cinétiques et des vitesses d'impact voisines des leur, il est très probable que les tailles de gouttes en diffèrent peu.

Nous présentons ici la comparaison, la plus défavorable, entre les énergies cinétiques sous infiltromètre et sous pluies naturelles en Rhodésie (HUDSON -10-) (cf. tableau N° 11).

Intensités (mm/h)	E_{c_s} sous infiltro- mètre (J/m ² /mm)	E_{c_n} sous pluies naturelles (J/m ² /mm)	E_{c_s}/E_{c_n} %
37	14,5	27,5	57
45	17,5	26,7	66
60	24,2	27,7	87
90	22,4	28,8	78
120	23,7	29,0	82
140	26,2	29,1	90

Tableau N° 11 : Energies cinétiques sous pluies naturelles (Rhodésie) et sous pluies simulées (infiltromètre).

Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par MEYER (16) pour son simulateur de pluies : $E_{cs}/E_{cn} = 77\%$ à 50 mm/h. Ils sont meilleurs que ceux de BÉRTRAND et PARR (2) : $E_{cs}/E_{cn} < 50\%$.

L'infiltromètre produit des énergies cinétiques d'autant plus proches de celles des pluies naturelles que les intensités sont élevées.

Notons enfin qu'une expérimentation vient d'être mise en place à Adiopodoumé (Côte d'Ivoire) pour connaître les énergies cinétiques des pluies de la région d'Abidjan. Le nombre trop limité d'échantillons pour l'instant prélevés interdit d'en tirer des conclusions hâtives. Il semblerait toutefois que l'on obtienne des résultats assez proches de ceux d'HUDSON (10) en Rhodésie.

5. UTILISATION DE L'INFILTROMETRE.

Dès la mise au point de l'appareil, deux sections de l'O.R.S.T.O.M. furent intéressées par son utilisation. En 1977, il est employé pour deux programmes de recherches : l'un en pédologie, l'autre en hydrologie.

51. Pédologie Expérimentale.

511. Présentation de l'étude.

En appui à la cartographie au 1/200.000ème des sols du Nord de la Côte d'Ivoire, R. POSS et C. VALENTIN ont entrepris une étude du comportement de ces sols en ce qui concerne les caractéristiques hydrodynamiques. Lors d'une mission à Katiola, une toposéquence a été étudiée en détails (densité apparente, porosité, résistance à la pénétration, capacité au champ, perméabilité Pioger et Vergière...). Sur trois sols de cette toposéquence (sommet, mi-pente et bas de pente) 24 pluies simulées à l'aide de l'infiltromètre ont été réalisées suivant le protocole suivant : (2 sites par sol)

- végétation naturelle : 1 pluie de 120 mm/h pendant 90 minutes
1 pluie de 120 minutes, d'intensité variant de 120 à 30 mm/h puis de 30 à 120 mm/h
- sol nu après labour superficiel : même régime de pluies.

512. Résultats et premières hypothèses :

Nous donnons ici l'exemple d'un dépouillement d'une pluie en paliers (sol nu après labour, sol de mi-pente, 5,5% de pente) cf. figure N° 14.

Il apparaît, lors du dépouillement que, pour cette pluie, l'intensité d'infiltration minimale (FN) reste du même ordre quelle que soit l'intensité de la pluie. Nous assimilons cette intensité (~~≠~~ 12 mm/h) à l'intensité à partir de laquelle se déclenche le ruissellement).

La précision des résultats est de l'ordre de 5 mm/h. Les irrégularités des courbes proviennent de plusieurs phénomènes dont les principaux sont :

- la durée d'obtention des régimes permanents (après un changement d'intensité, il faut attendre au moins cinq minutes pour que le régime de ruissellement se stabilise) et que l'intensité d'infiltration (F) devienne minimale (F_N) ;
- les erreurs dues aux irrégularités d'intensité : n'utilisant pas encore de bâche protectrice, l'intensité pouvait varier du fait du vent, heureusement peu violent.

Il est à noter que l'on obtient des résultats très voisins pour une même intensité, quelle que soit l'intensité précédente (supérieure ou inférieure).

Ce type de graphique permet de déterminer les intensités d'infiltration en fonction des intensités de pluies, de la pente, du type de sol et de son degré de couverture superficielle.

La figure N° 14 regroupe les différents résultats obtenus lors de ces essais.

Il apparaît que le nombre de sites par sol est insuffisant pour le caractériser avec une grande précision.

La couverture du sol semble le facteur le plus déterminant sur les intensités d'infiltration (on observe une très nette diminution lorsque l'on passe du couvert de graminées - plus ou moins dense des sols A à C - au sol nu et labouré, cette diminution est d'autant plus forte que l'intensité de pluies est élevée et que le couvert de sol était dense). En outre l'infiltration paraît d'autant plus élevée que la pente est faible.

Ces résultats nous amènent à formuler une hypothèse. Sur les courbes présentées aux figures N°s 15 et 16, il serait possible de distinguer, dans certains cas, trois parties :

- aux basses intensités : l'infiltration minimale (F_N) serait une fonction décroissante de I , l'intensité de pluies (formation progressive d'une pellicule ou croûte de moins en moins perméable ?) ;
- aux intensités moyennes : l'intensité d'infiltration minimale F_N atteindrait un palier déterminé par la perméabilité de la pellicule? Celle-ci aurait atteint un équilibre : sa destruction par augmentation du ruissellement serait compensée par l'énergie cinétique croissante des gouttes de pluies ? Ce palier correspondrait à l'intensité de pluie à partir de laquelle se déclencherait le ruissellement, lorsque la pellicule est formée en saison des pluies ;
- aux fortes intensités : F_N serait une fonction croissante de I . A partir d'une certaine valeur du ruissellement R , $R = I - W$, correspondant au seuil de liquidité de la pellicule superficielle, celle-ci se détruirait plus rapidement qu'elle ne constituerait ? F_N dépendrait alors plus du sol lui-même que de la perméabilité de cette pellicule ?

Il apparaît clairement qu'une étude fine (micromorphologie) de l'évolution de la surface du sol soumis aux différentes intensités s'impose pour tenter de vérifier les hypothèses précédentes.

Sur les sols bien protégés de la battance (sols A sous végétation naturelle), dès les basses intensités F_N serait une fonction croissante de I .

L'humidité des sols était presque toujours proche de la capacité au champ (essais en saison des pluies). Des études ultérieures porteront davantage sur l'influence de l'humidité sur les intensités d'infiltration.

F_N
(mm/h)

RELATION ENTRE LES VITESSES D'INFILTRATION ET LES INTENSITES DE PLUIES SIMULEES

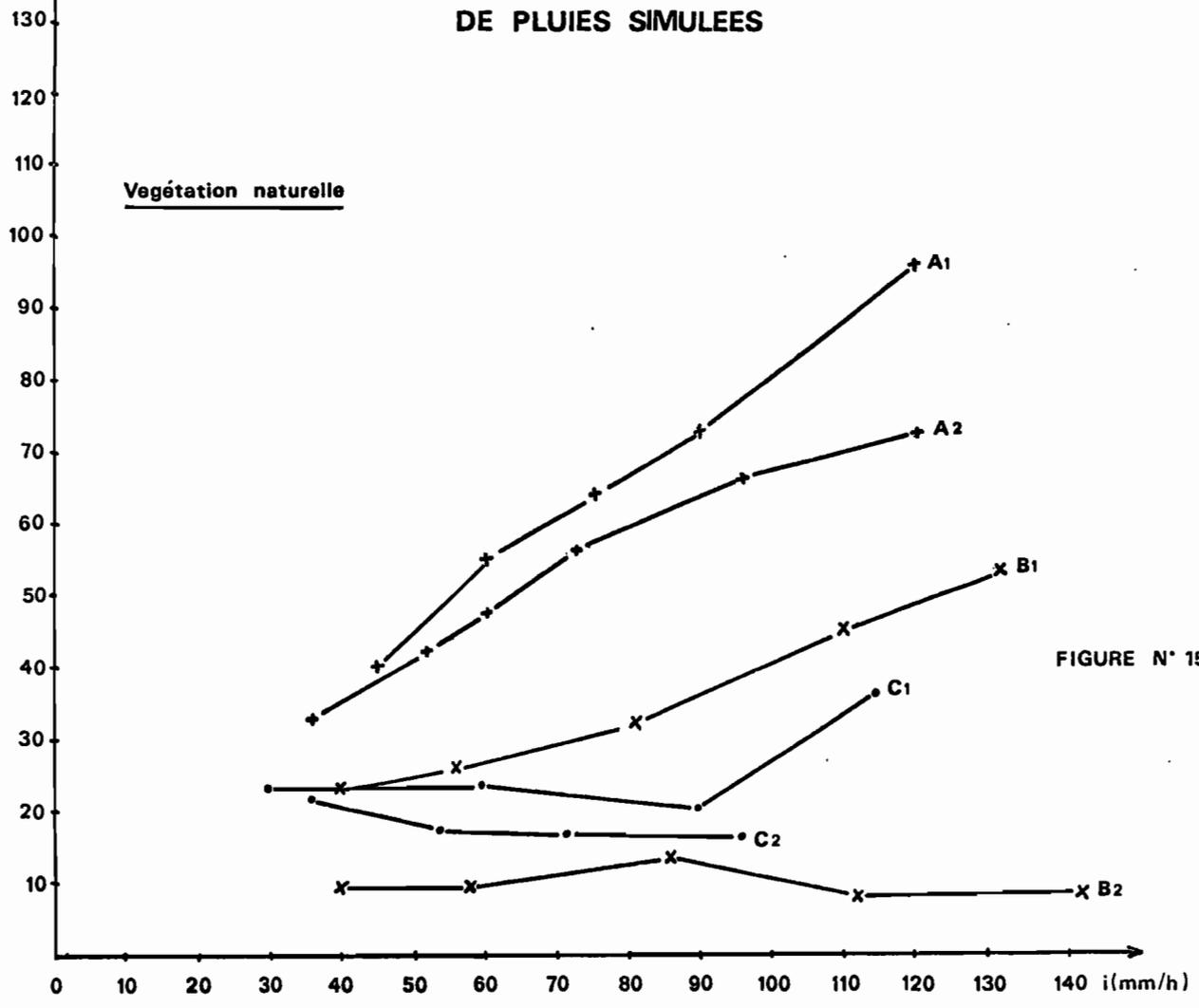


FIGURE N° 15

Sols	Pentes
A1	1.0 %
A2	1.5 %
B1	5.7 %
B2	5.5 %
C1	4.7 %
C2	3.8 %

F_N
(mm/h)

Sol nu après labour

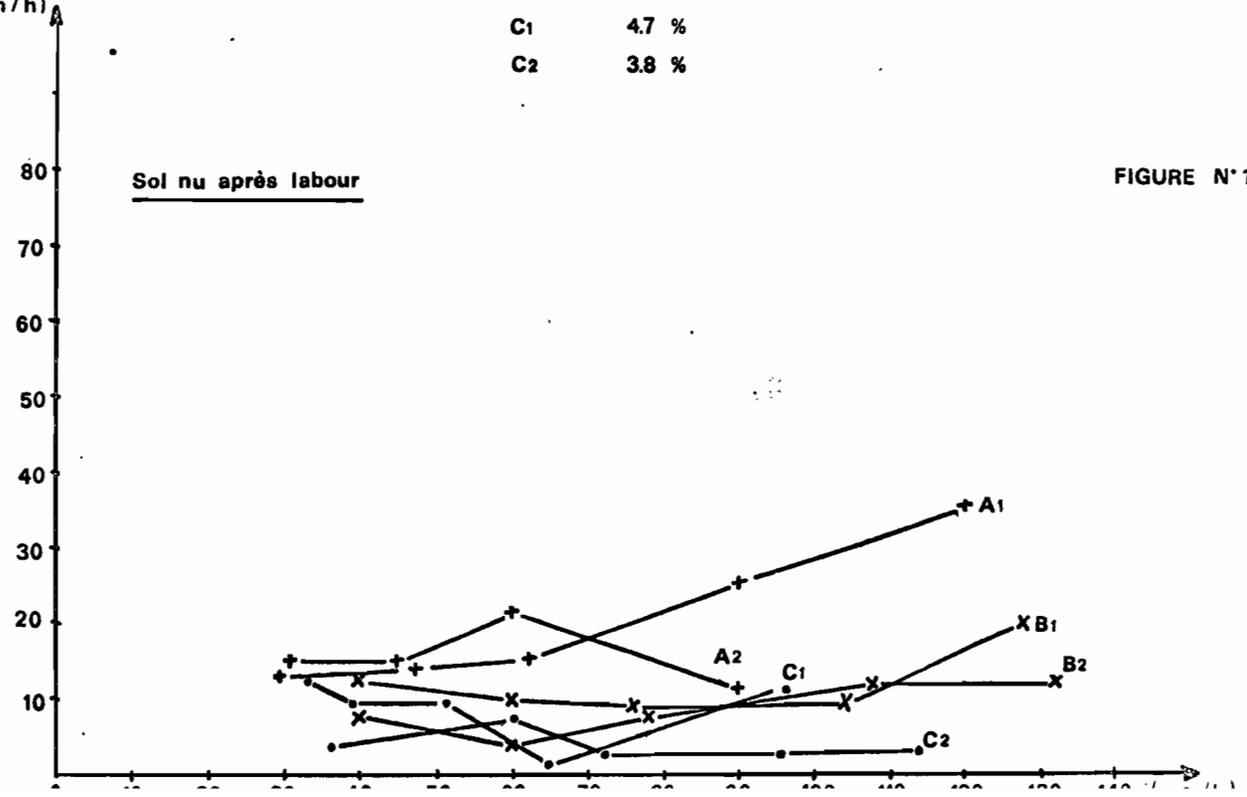


FIGURE N° 16

Notons enfin que les intensités limites de ruissellements évaluées sous infiltromètre semblent proches des intensités limites réelles. Opérant en saison des pluies (les sols sont alors à une humidité proche de la capacité au champ), on a assisté, sous une pluie naturelle ayant une intensité de 19 mm/h (enregistrée sur le bac pluviométrique), à la formation des premières flaques sur le sol C, alors que les intensités limites de ruissellement obtenues sur les parcelles correspondantes sont : 18 mm/h et 22 mm/h.

513. Mesures annexes.

En vue de faciliter l'interprétation des résultats nous avons procédé à des mesures d'humidité à l'aide d'une sonde neutronique, tous les 10 cm, jusqu'à une profondeur de 200 cm, avant, pendant et après chaque pluie simulée (résultats non dépouillés).

Des échantillons de turbidité ont été prélevés, lors des pluies d'intensité constante (120 mm/h), une fois le régime permanent de ruissellement atteint. Cet essai n'a qu'une valeur de test comparatif. En aucun cas les valeurs obtenues ne peuvent être extrapolées à des données quelconques de pertes en terre, la longueur de pente étant trop faible. Cependant ce test met en évidence l'importance bien connue de la couverture du sol quant à sa protection :

Sols	Végétation naturelle	Sol nu après labour
A	-	845
B	43	1337
C	93	1087

Tableau 12 : Turbidités des eaux de ruissellement en fin de pluie (mg/l).

La turbidité obtenue en début de ruissellement sur parcelle labourée est bien plus importante que celle mesurée après formation de la pellicule en fin de pluie. Il serait donc intéressant de suivre l'évolution de la turbidité au cours du temps, et pas seulement en fin de pluie. Un dispositif de prise d'échantillons d'eaux de ruissellement au cours des pluies pourrait être mis en place, à partir du canal récepteur.

52. Hydrologie.

Une convention, prévoyant l'emploi de l'infiltromètre à aspersion, a été signée en 1977, entre la Section d'Hydrologie de l'O.R.S.T.O.M. et le C.I.E.H (Comité Interétats d'Etudes Hydrologiques) en vue d'une étude approfondie du ruissellement sous forêt sempervirente. L'étude porte, pour l'instant, sur une toposéquence de la forêt classée de Yapo, dans le Sud de la Côte d'Ivoire. Menée par A. CASNAVE et N. GUIGUEN, elle doit permettre de comprendre les régimes de ruissellement sur ce bassin versant. L'infiltromètre doit être utilisé aussi dans la forêt de Taï, située au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire (Projet M.A.B.): Man and Biosphere.

53. Autres domaines intéressés.

Cet appareil pourrait rendre d'intéressants services dans d'autres domaines. En agronomie, par exemple, il permettrait une comparaison de différentes techniques culturales, vis-à-vis de leur résistance à la battance, de leur influence sur les coefficients d'infiltration ($K_w = F_N/I$) et sur la mise en réserve d'eau pour les plantes. Dans le cas de l'irrigation par aspersion, il pourrait aider à déterminer l'intensité optimale d'arrosage (infiltration maximale pour un ruissellement nul).

Il est évident que cette liste des utilisations possibles de l'infiltromètre est loin d'être exhaustive...

CONCLUSION.

L'infiltromètre à aspersion construit et mis au point sur le Centre O.R.S.T.O.M. d'Adiopodoumé permet de répondre aux objectifs fixés au préalable. En effet son coût est modique, sa construction, son maniement et son transport faciles. En outre, simulant des pluies dont les caractéristiques sont proches des pluies naturelles, il fournit des données directement applicables. Un deuxième modèle, plus robuste, est d'ores et déjà en construction.

Dans le vaste domaine que couvrent les problèmes concernant les relations EAU-SOL-PLANTE, cet appareil est à même d'être utilisé largement tant par les chercheurs concernés que par les praticiens.

BIBLIOGRAPHIE

1. AUDRY, P, et al., 1973.- Essai sur les études de dynamique actuelle des sols, Bulletin du groupe de travail sur la dynamique actuelle des sols, O.R.S.T.O.M., Paris, n° 2, 126 p. + annexes.
2. BERTRAND, S.R., et PARR, J.R., 1961.- Design and Operation of the Purdue Sprinkling infiltrometer, Purdue Univers. Agric. Research Bulletin N° 723, 16 p., 1 tabl., 11 + 6 fig.
3. BLANCHARD, D.C., 1951.- The distribution of Raindrops in Natural Rain. Occasional Report N° 15, General Electric Research Lab. Project Cirrus.
4. BOLI BABOULE, Z., 1976.- Mise au point d'un simulateur de pluie de laboratoire. Essai d'application à l'étude de l'érodibilité des sols, D.E.A. Université Paris VII, O.R.S.T.O.M., 19 p.
5. COLLINET, J., ASSELINE, J. et LAFFORGUE, A., 1975.- Compte-rendu d'une mission en Haute-Volta (3 mars - 3 juin 1975), O.R.S.T.O.M., Abidjan.
6. DIXON, R.M., et PETERSON, A.E.E., 1964.- Construction and Operation of a modified spray infiltrometer and a flood infiltrometer, Univ. of Wisconsin, Research Report N° 15, 31 p.
7. GUNN, R., et KINZER, G.D., 1949.- The terminal velocity fo fall for water droplets, J. Met., 6, pp. 243-248.
8. HUDSON, N.W., 1963.- Raindrop Size Distribution in high intensity sorms, Rhod. J. Agric. Res. 1, pp. 6-11.
9. HUDSON, N.W., 1964.- The flour pellet method for measuring the size of raindrops, Dept. of Conservation and Extension, Research Bulletin, N° 4, Salisbury, 26 p.
10. HUDSON, N.W., 1973.- Soil Conservation, B.T. Batsford limited, London, 320 p.
11. KELKAR, V.N., 1960.- Size distributions of raindrops, Indian J. Met. Geophys. Part I, 10, 2, 1959, Part II, 11, 4, 323, 1970.
12. KER, A.D.R., 1954.- The measurement of Rainfaill Intensity, Drop Size Distribution and Impactive Force, unpublished thesis for Dip. in Trop. Agric. Trinidad, 26 p.
13. LAFFORGUE, A. et NAAH, E., 1976.- Mesure des phénomènes d'érosion sous pluies simulées aux cases d'érosion d'Adiopodoumé : 1. Analyse des facteurs de ruissellement, O.R.S.T.O.M., Abidjan, 32 p.
14. LAWS, J.O., 1949.- Measurement of fall velocity of water drops and rain drops, Trans. Amer. Geophys. Union, pp. 709-721.
15. MEYER, L.D., 1958.- An investigation of methods for simulating rainfall on standart run-off plots and a study of the Drop Size, Velocity, and Kinetic Energy of selected spray nozzle, Purdue Univers., Special Report N° 81, 42 p.

16. MEYER, L.D., 1965.- Simulation of Rainfall for Soil Erosion Research, Trans. of the A.S.A.E., vol. 8, N° 1, pp. 63-65.
17. MIHARA, Y., 1951.- Raindrops and Soil Erosion, Bulletin of The National Institute of Agricultural Science ; series A, 1.
18. WISCHMEIER, W.H. et SMITH, D.D., 1958.- Rainfall energy and its relationship to soil loss, Trans. Amer. Geophys. Union, 39, 2, pp. 285-291.

ANNEXE

MATERIEL EMPLOYE ET COUT EN 1977 A ABIDJAN

A. Matériau de construction pour l'appareil, le réservoir et l'aménagement du limnigraphe.

1	tube galvanisé 15 x 21 mm	2.790
1	" 20 x 27 mm	3.608
4	tubes noirs carrés 25 x 25	7.410
2	" 30 x 30	4.590
2	fers à béton Ø 6 et 10 mm	1.900
4	roulements SKF Ø 6 x 19 mm	2.200
30	boulons 8 x 50, 8 x 35 x 6 x 26 mm	750
3	m. tuyau plastique souple	510
8	colliers de serrage	400
1	tôle plane galvanisée 100 x 200, 20/10è	7.261
3	" " 15/10è	14.840
1	" " 10/10è	3.338
1	" " 6/10è	2.410
1	barre de fer cornière égale 50 x 50 mm	4.099
1	" " 40 x 40 mm	2.674
1	" "	2.023
1	tige filetée en laiton avec 10 écrous Ø 6 mm	770

Total partiel 61.573 CFA
(250 U.S. DOLLARS)

B. Alimentation de l'infiltromètre et matériel annexe.

20	m. de câble électrique 2 fois 2,5 mm + 2 pinces	4.500
1	batterie d'accumulation 12 V., 178 ampères	63.900
1	pompe de cale GEM BP 1400, 4500 l/h GEM marine Products Box 911 Lake City, USA	19.840
1	moto-pompe TAS Motor QSZZ 7.200 l/h TANAKA KOGYO (Japan)	59.000
1	manomètre 0 à 1 Kgr Ø 18 cm	30.000
2	vannes bronze 20 x 27	5.500
1	bâche EDSANYL environ 45 m2	75.000
2	kg de peinture	2.280

Total partiel 260.000 CFA
(1050 U.S. Dollars)

C. Matériel de récupération.

2	engrenages avec axe
2	paliers bronze
1	moteur essuie-glace
2	flexibles câble de compteur
1	gaine et câble de frein à main.

SOIT UN TOTAL DE 321.600 FCFA (1.300 U.S. Dollars).

A cette liste, l'on doit ajouter :

- Le gicleur Tee jet SS 6560 dont nous ne connaissons pas encore le prix ;
- Le limnigraphe A OTT VIII de laboratoire, utilisé depuis plusieurs années sur d'autres programmes d'études. Il serait nécessaire d'en acquérir un second, son prix actuel doit se situer aux environs de 400.000 F CFA (1.600 U.S. Dollars).