

CENTRE - O.R.S.T.O.M.

FORT-LAMY

DOCUMENTATION
ANALYSE 1479

M

87

I- TUDE DU RUISSELLEMENT SUR
PETITES PARCELLES

RIOU.CH.

ORSTOM
HYDROLOGIE
DOCUMENTATION

~~70543~~

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

N° : 33241

Cote : B

//O M M A I R E

=====

Introduction -

- 1^o/ - Description des appareils
- 2^o/ - Evolution du ruissellement dans le temps : retenue et décharge.
- 3^o/ - Pluie utile. Influence sur le ruissellement. Rôle de la saturation
- 4^o/ - Pluie efficace. Taux moyen d'infiltration pendant la pluie efficace. Taux de ruissellement et intensité de la pluie.
- 5^o/ - Infiltration sous ruissellement et sans ruissellement. Comparaison avec les résultats des infiltromètres.
- 6^o/ - Evaluation du ruissellement résiduel.
- Conclusion.

---ooOoo---

Introduction -

Les expériences entreprises en 1964, avaient pour but d'étudier à l'échelle de petites parcelles, la réaction d'un sol à une averse. La taille de la parcelle carrée avait été fixée à 2,25 m². Sur une telle surface, les phénomènes devaient pouvoir apparaître à une échelle de temps suffisante pour éviter la déformation des hydrogrammes. Parallèlement à cette étude, des mesures d'humidité du sol et d'évaporation du sol nu étaient entreprises. L'implantation de ces parcelles s'est faite sur le bassin du BAM BAM, à BIDJIR, où un petit bassin expérimental de 81 km² était suivi. Si l'objectif lointain de ces expériences était de comprendre mieux et éventuellement d'interpréter les réactions d'un bassin versant, il apparaissait néanmoins que l'échelle de l'étude était telle qu'il fallait abandonner tout espoir d'application directe.

Un certain nombre de notions classiques en Hydrologie a cependant été utilisée, pour mieux marquer l'orientation de cette étude.

I^o/ - Description des appareils

La parcelle de ruissellement a la forme d'un carré de 1,5 m sur 1,5 m. Elle est limitée par un cadre de 10 cm de haut, enfoncé dans le sol d'1 cm ou 2. L'eau de ruissellement gagne un collecteur triangulaire adapté au bas de la parcelle et dont l'orifice de sortie est relié à un réservoir à 700 cm² de section. 1 mm ruisselé correspondant donc à une variation de niveau de 3,2 cm. Ce réservoir est équipé d'un limnigraphe. Deux parcelles ont été installées toutes les deux sur le même type de sol où la végétation avait été supprimée. Les deux limnigraphes dont l'échelle était le 1/5^e avaient une révolution de 12 et 24 H.

Le problème de l'écoulement parasite, le long des parois où la limite du collecteur s'est résolu sans difficulté, par le tassement naturel du sol.

Le sol était sablo-argileux, recouvert d'un sable résultant de la dégradation des rochers de granite, s'enrichissant progressivement en argile en profondeur. Les parcelles avaient pour pente 2 et 2,2 %. Un pluviographe installé à côté des parcelles permettait de suivre l'intensité de la pluie.

Les mesures d'infiltration ont été faites au moyen d'un infiltromètre à double anneau, l'anneau intérieur à un diamètre de 35,6 cm (surface de 1000 cm²) l'autre de 80 cm. Ces deux anneaux concentriques de 5 cm de haut étaient enfoncés dans le sol de 1 cm. Un réservoir gradué muni d'un dispositif "Vase de Mariotte" permettait le maintien d'une charge de 1 cm sur le sol, dans l'anneau intérieur. La charge d'eau était ajustée manuellement au même niveau dans l'anneau ~~Extérieur~~.

Résultats -

Les résultats sont groupés dans le tableau I. P est la pluie totale, RI et R2 les quantités ruisselées des parcelles I et 2. tc est le nombre de jour écoulé depuis la dernière averse notable.

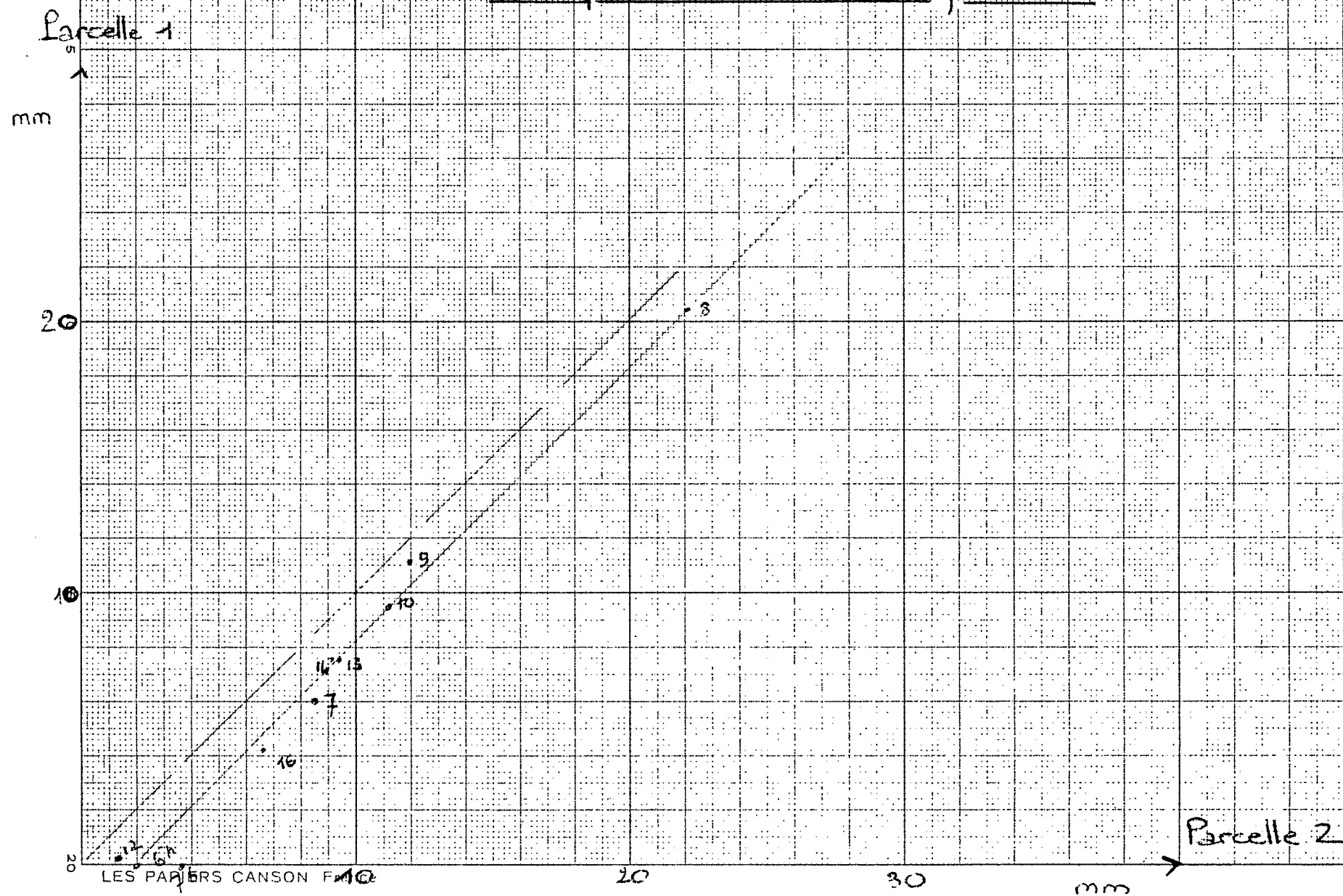
Deux parcelles avaient été choisies, pour avoir une idée de la dispersion des résultats. En fait, il y a une étroite correspondance entre les 2 séries. La parcelle I donne un ruissellement légèrement inférieur. La courbe de correspondance est une droite parallèle à la première bissectrice. L'analyse des résultats a donc porté exclusivement sur la parcelle I pour laquelle nous avons davantage de données.

TABLEAU I

- Date	n°	P	2	RI	R2	tc
Juillet		mm		mm	mm	j
22	I	17,0		7,18		2,25
24	2	31,0 [*]		16,5		
28	3	8,5		1,87		4
28-29	4	12,0		1,10		0,7
Août						
4	5	13,0		9,40		0,5
5	6	15,5		9,50		0,7
11	7	14,0		5,94	8,5	1,4
13	8	25,5		20,30	22,1	1,4
15	9	14,5	13°	11,10	11,9	1,4
	10	15,0	13°	9,70	11,2	0,3

Russellement

Correspondance entre les 2 parcelles



Date	n°	P	RI	R2	tc
Août		mm	mm	mm	j
18	II	66,5 [*]	>25		
20	I2	6	0,5	1,2	1,6
	I3	12	7,65	9,4	0,16
	I4	15	7,65	9,1	0,4
21	I5	29,5 [*]	>8,6		
25	I6	9,0	4,2	6,7	0,5
26	I7	51 [*]	>24		

* Pluie ayant donné un ruissellement trop fort pour être totalement enregistré.

Evolution du ruissellement dans le temps

Les résultats ont fait apparaître une déformation de l'hydrogramme. Un phénomène bien connu intervient en effet pour modifier le ruissellement. Au moment des fortes intensités de l'averse, une partie de l'eau de ruissellement est "stockée" (surface dé-tention) sur la parcelle, réduisant le ruissellement apparent, pour être ensuite libérée quand le ruissellement véritable cesse. C'est la "décharge" (Discharge). Ce phénomène peut être analysé et corrigé, quand on utilise un simulateur de pluie, maintenant une intensité de pluie constante et un taux de ruissellement régulier; dans le cas d'une averse, il est beaucoup plus complexe. La déformation de l'hydrogramme ne permet plus de faire correspondre point par point la courbe de ruissellement et celle de la pluie, on ne peut donc obtenir la courbe d'infiltration par une simple analyse des 2 courbes pluie et ruissellement.

Pluie utile -

L'analyse des pluviogrammes permet pour chaque averse de sélectionner une partie de celle-ci, qui peut entraîner du ruissellement. Cette notion de pluie utile, Pu intuitive et apparemment un peu floue, se dégage pourtant rapidement de l'analyse des résultats. Une simple estimation au vu des pluviogrammes a conduit pratiquement au même résultat qu'une sélection rigoureuse des pluies utiles. Nous nous sommes aperçu en effet que la partie des averses

mm/min

3

22-7-64

1

2

P

Russ.

1

0,8

0,6

0,4

0,2

0

5

10

15

20

25

Temps min.

LES PAPIERS CANSON FRANCE

mm/min.

1

3

2

1

Pluie

15-8-64

9

$P_0 = 13 \text{ mm (14.5)'$

25

5

10

20

15

20

25

Temps

min.

5

15

10

5

Ruissellement

15-8-64

9

mm./min

2

1

0

5

10

15

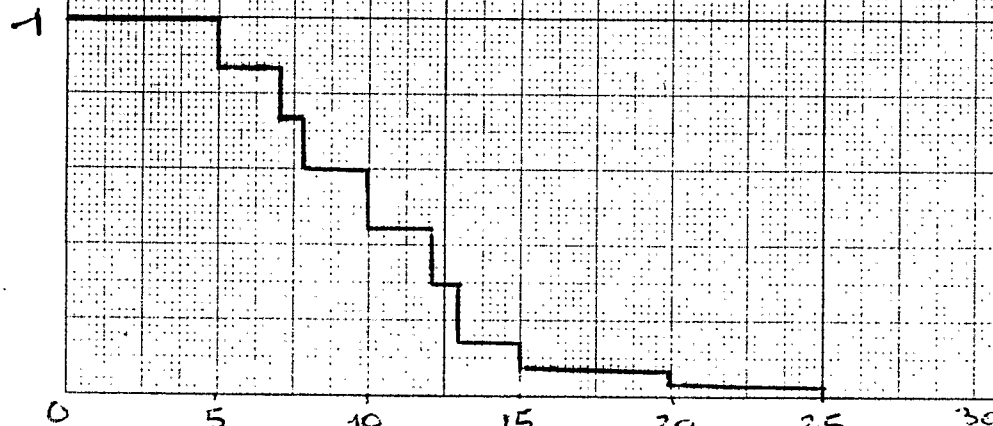
20

25

30

Temps min.

2 PAPIERS CANSON FRANCE



mm/min
↑

Plje

15. 8. 64 (2)

10

0,5

0,1

0

0

5

10

20

30

40

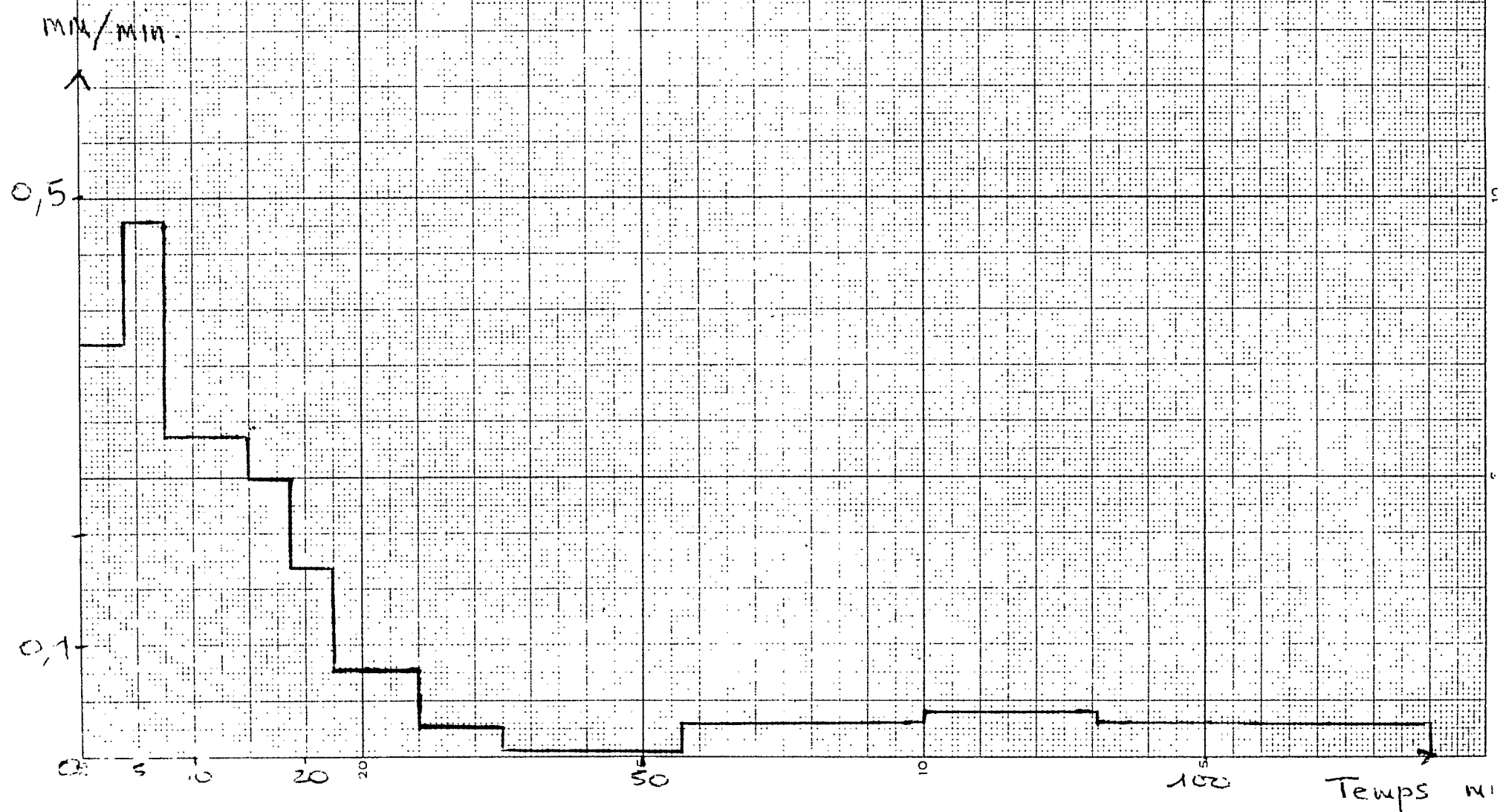
50

$P_u = 8,0 \text{ mm} \cdot (9)!$

100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000

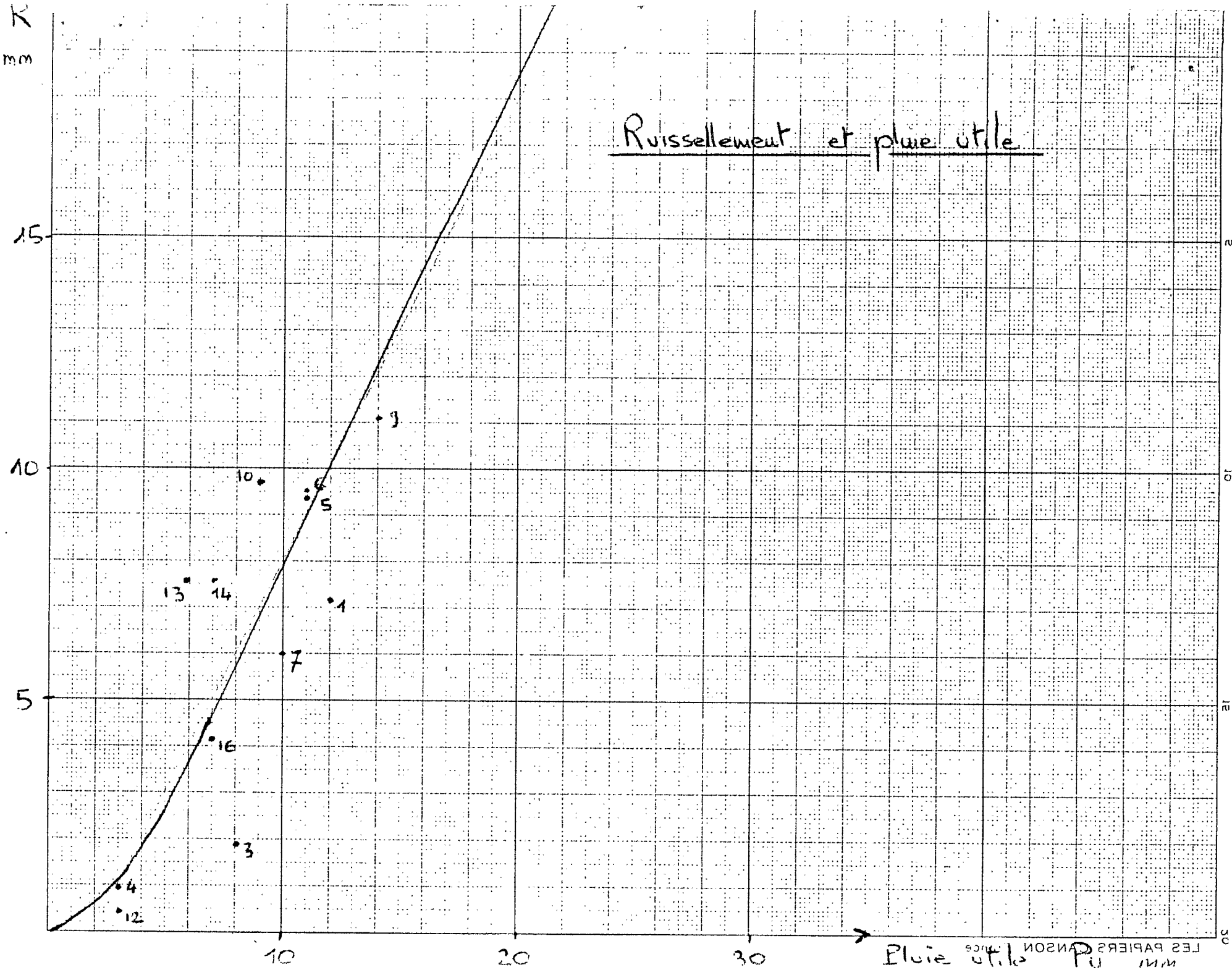
mm

Ruissellement
15. 8. 64 (2)
10



K
mm

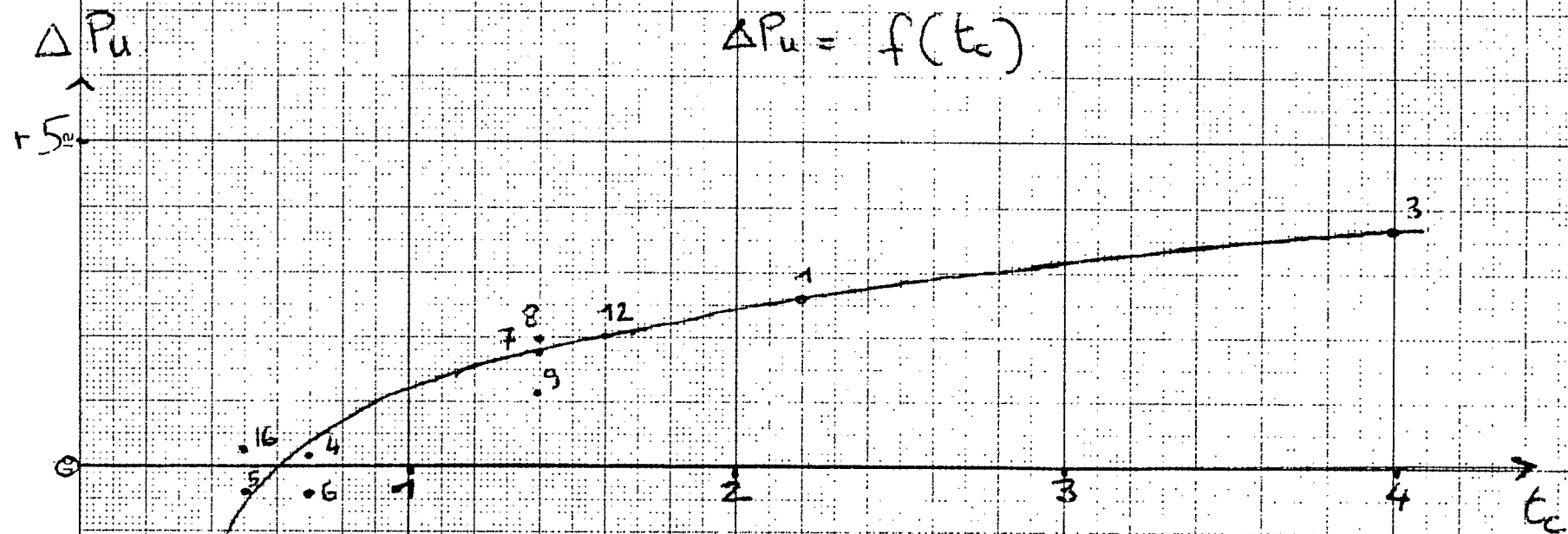
Ruissellement et pluie utile



LES PAPIERS ANSON
Pu mm
Pluie utile

Influence de t_c Courbe des corrections

$$\Delta P_u = f(t_c)$$



retenues correspondait aux intensités supérieures à 0,2 mm/mn. Il paraît plus logique de chercher une corrélation entre cette pluie et le ruissellement, plutôt qu'en gardant la totalité de l'averse avec ses très faibles intensités au début et ~~la~~ longue traine.

Le diagramme $R = f(P_u)$ montre une corrélation plus ou moins lâche, et l'on peut tracer une courbe sans difficulté. La dispersion des points est évidemment due à plusieurs facteurs en dehors du hasard. Le facteur auquel nous avons attribué le rôle secondaire est l'état d'humidité du sol. Nous nous sommes aperçu que le meilleur indice de cet état était le nombre de jour écoulé depuis la dernière averse en négligeant les pluies inférieures à 5 mm: tc. La méthode des déviations résiduelles a alors conduit à une courbe de correction qui apparaît nettement avec un bon groupement des points. On peut donc arrêter l'analyse au niveau de ce facteur. Cette courbe montre la grande influence des pluies très rapprochées, les pluies éloignées (plus d'un jour) entraînant des corrections assez voisines.

Cette approche du problème qui aboutit à de bons résultats semble indiquer que l'état du sol intervient comme terme correctif sur la pluie utile, P_u . Cette pluie corrigée P_u entraînant alors un ruissellement qui lui est étroitement lié. La forme de la courbe $R \approx P_u - 2$ semble suggérer qu'une fraction à peu près constante de P_u s'infiltre. Tout se passe donc comme si on avait une infiltration totale de la pluie, pour une intensité inférieure à 0,2 mm/mn et ensuite une quantité d'eau infiltrée à peu près constante pour une humidité du sol donnée.

Cette analyse ne permet cependant pas une étude du processus de l'infiltration.

Pluie efficace. Taux moyen d'infiltration pendant la pluie. Taux de ruissellement et intensité de la pluie.

Une approche du problème plus intéressante consiste à supposer que tout le ruissellement se produit au moment des fortes intensités. Ignorant la forme de la courbe d'infiltration, on suppose alors celle-ci constante ou linéaire on détermine son intensité de telle sorte que la surface limitée supérieurement par cette intensité sur le hyétogramme corresponde au ruissellement. On obtient ainsi le taux moyen d'infiltration pendant le ruissellement. La durée $2T$ du ruissellement étant connue, il lui correspond une partie de l'averse α : pluie efficace P_e ; on obtient également l'intensité moyenne de l'averse pendant cette durée $\frac{P_e}{2T} = \bar{p}_e$ et l'intensité moyenne du ruissellement $\frac{R}{2T} = \bar{r}$.

TABLERAU 2

Nº	\bar{i} mm/mn	$2T$ min	P_e mm	\bar{p}_e mm/mn	\bar{r} mm/mn
I	0,62	8	11,5	1,44	0,82
3	0,34	15	7,0	0,47	0,13
4	0,19	18	5,0	0,28	0,09
5	0,18	20	11,0	0,55	0,37
6	0,11	45	14,5	0,32	0,21
7	0,10	30	9,5	0,32	0,22
8	0,12	32	25,0	0,78	0,66
9	0,20	12	14,0	1,17	0,97
10	0,05	115	15	0,13	0,08
12	0,17	15	3	0,20	0,03
13	0,06	40	9,5	0,24	0,18
14	0,04	120	13,0	0,11	0,07
16	0,18	15	7,0	0,47	0,29

Ruissellement et pluie efficace

R
mm.

20

15

10

5

25

5

10

15

20

25

30

mm.

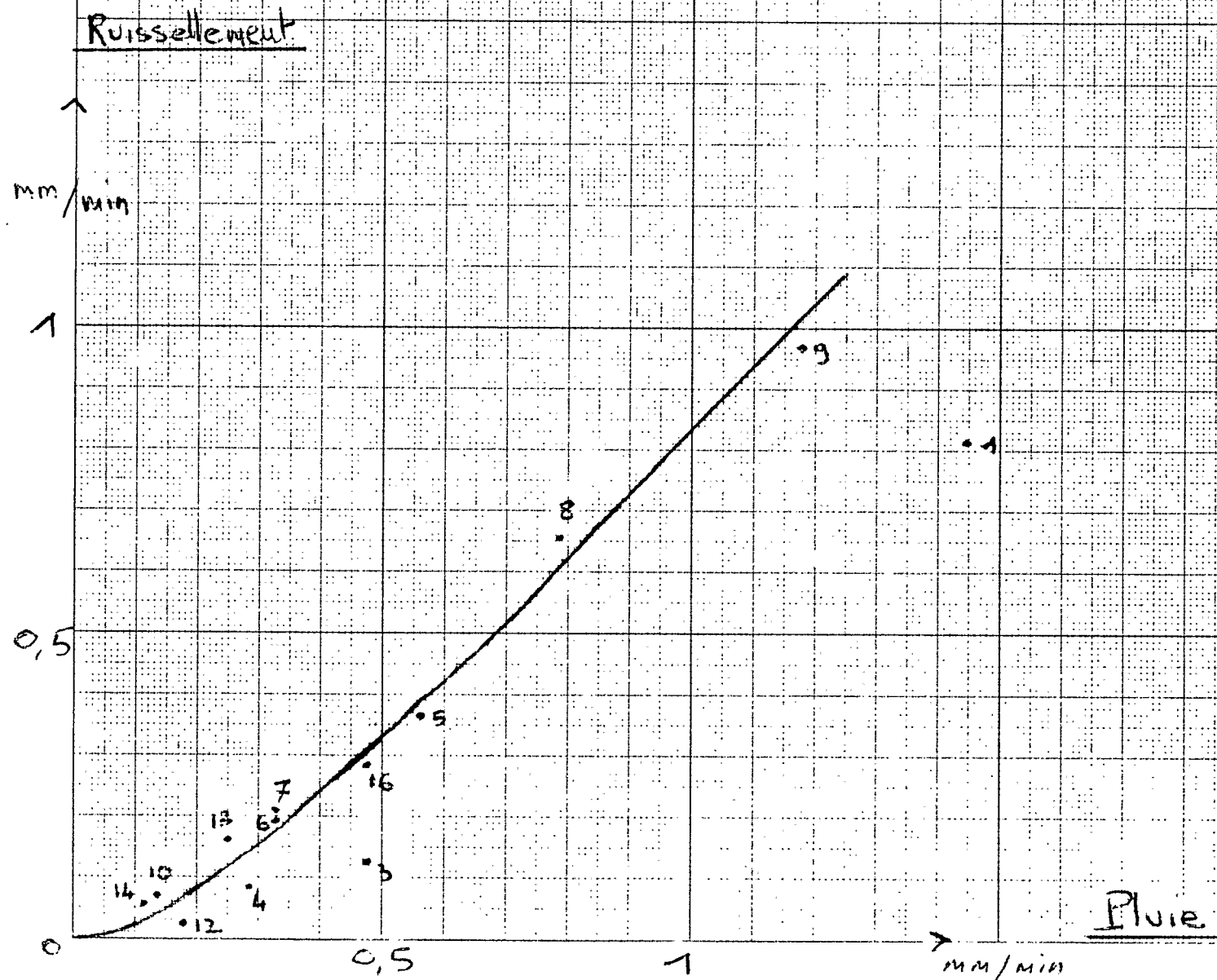
P_e

15

10

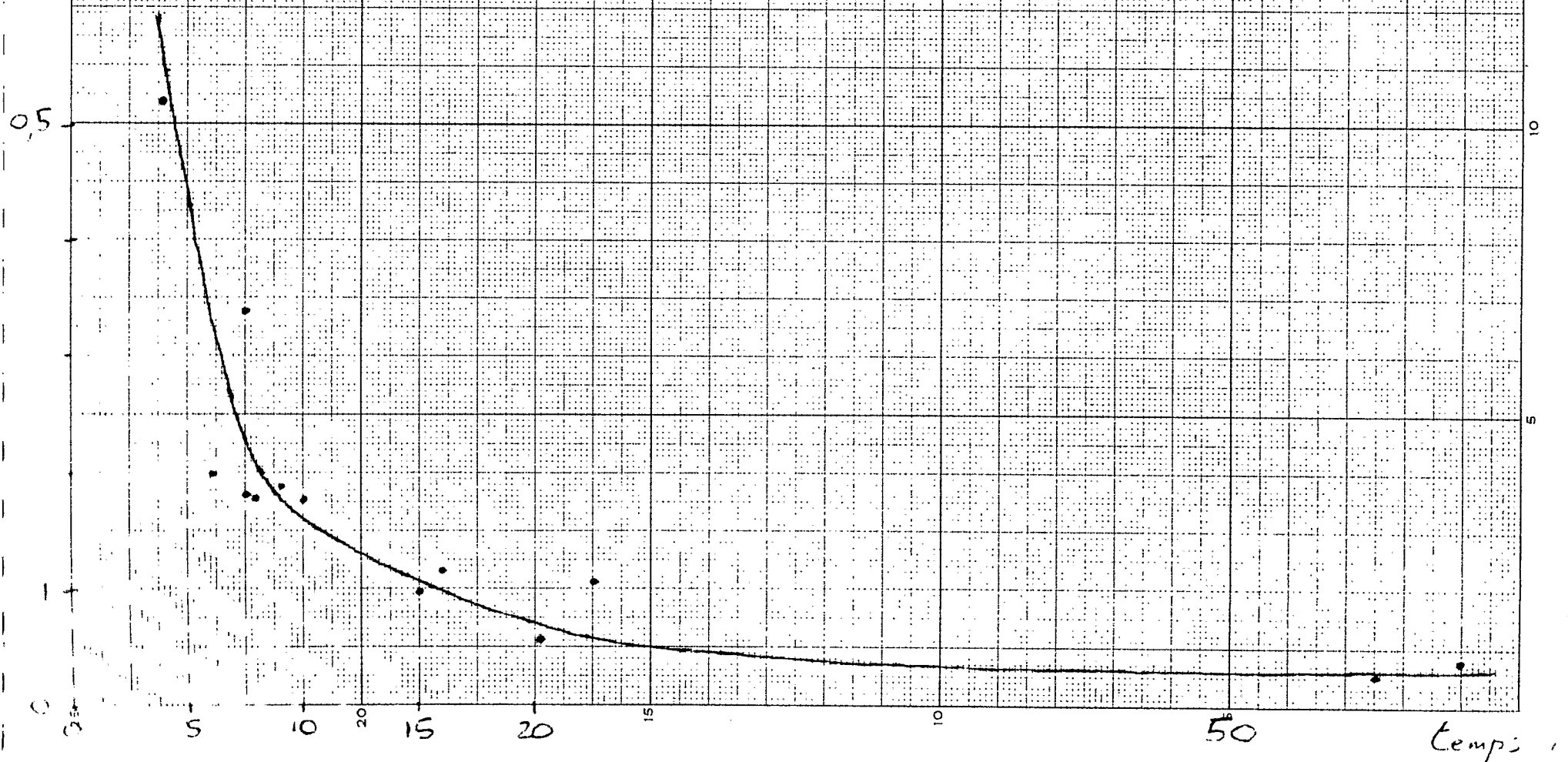
5

Comparaison des taux de pluie et de ruissellement.



toux moyen d'infiltration et
durée du ruissellement.

\bar{I}
mm/min



$$\underline{P_u - P_e = f(t_c)}$$

$P_u - P_e$

15

0

-5

25

20

15

10

5

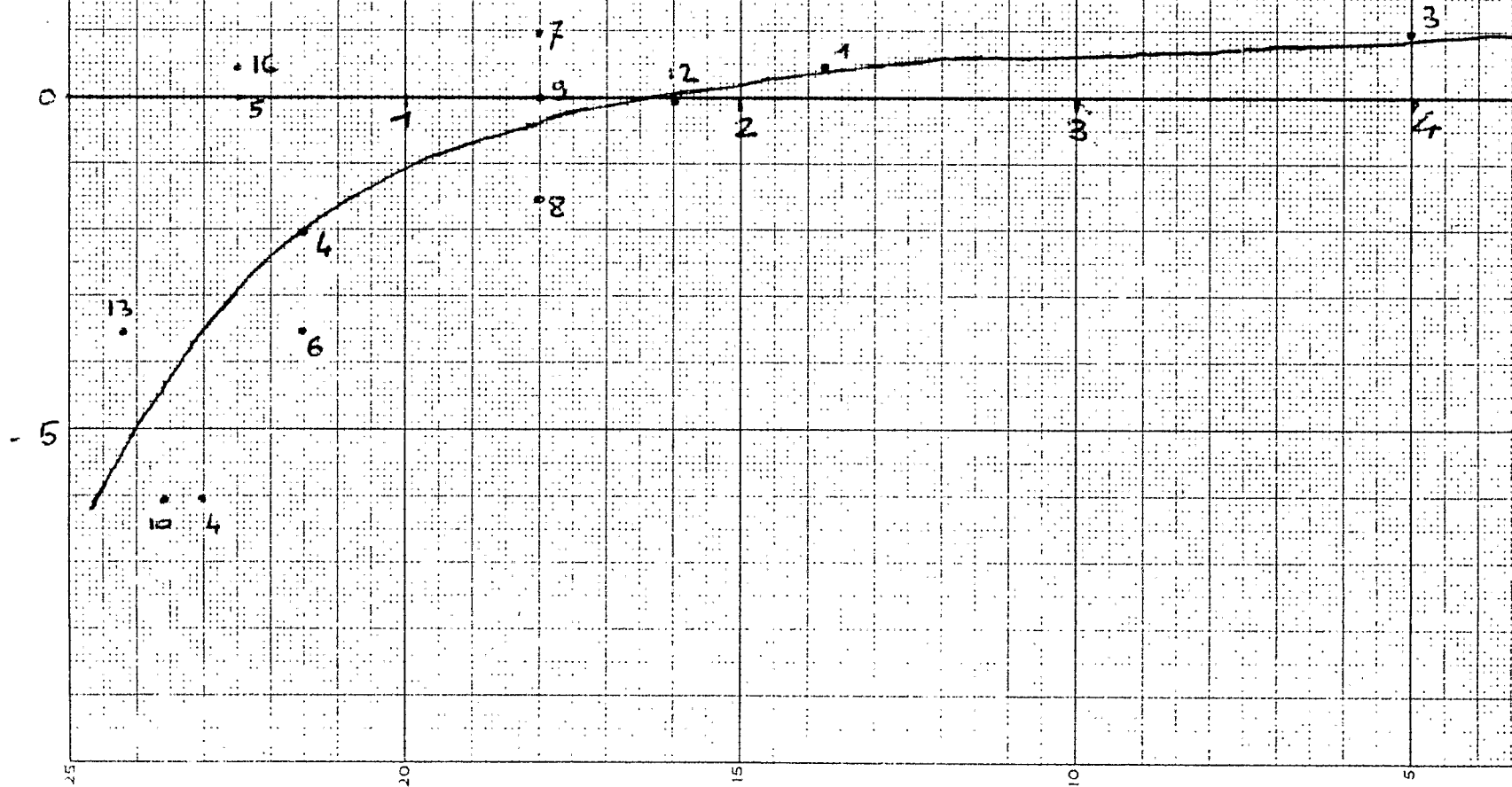
5

10

15

20

t_c



Cette analyse utilisée notamment par LINSLEY, KOHLER permet de serrer de plus près le problème de l'infiltration. Les résultats (tableau 2) qu'on en tire aboutissent à certaines conclusions :

On trouve :

1^o/ - Une corrélation assez serrée entre R et P_e de la forme $R \approx P_{\text{eff}} - 4$.

2^o/ - Une bonne correspondance entre l'intensité moyenne du ruissellement $\frac{R}{2T}$ et l'intensité moyenne de la pluie efficace $\frac{P_e}{2T}$. Deux points s'écartent de la courbe, ils correspondent aux premières averses arrivant sur un sol relativement sec.

3^o/ - On obtient enfin, des valeurs du taux moyen d'infiltration \bar{I} . Ces valeurs semblent en liaison étroite avec la durée de l'infiltration 2T. La courbe $\bar{I} = f(T)$ est de la forme $\bar{I} = \frac{2,3}{T^{1,25}}$.

L'état du sol ne semble pas intervenir dans cette analyse. En fait, il apparaît indirectement : plus le sol est sec, plus l'intensité de la pluie amenant du ruissellement est élevée, et plus 2T est court. La courbe $\bar{I} = f(T)$ traduit donc indirectement l'influence de l'état du sol. Cette influence peut se traduire également en comparant P_u et P_c. L'écart P_u - P_c varie avec t_c.

Infiltration sous ruissellement et sans ruissellement. Comparaison avec les résultats des infiltromètres.

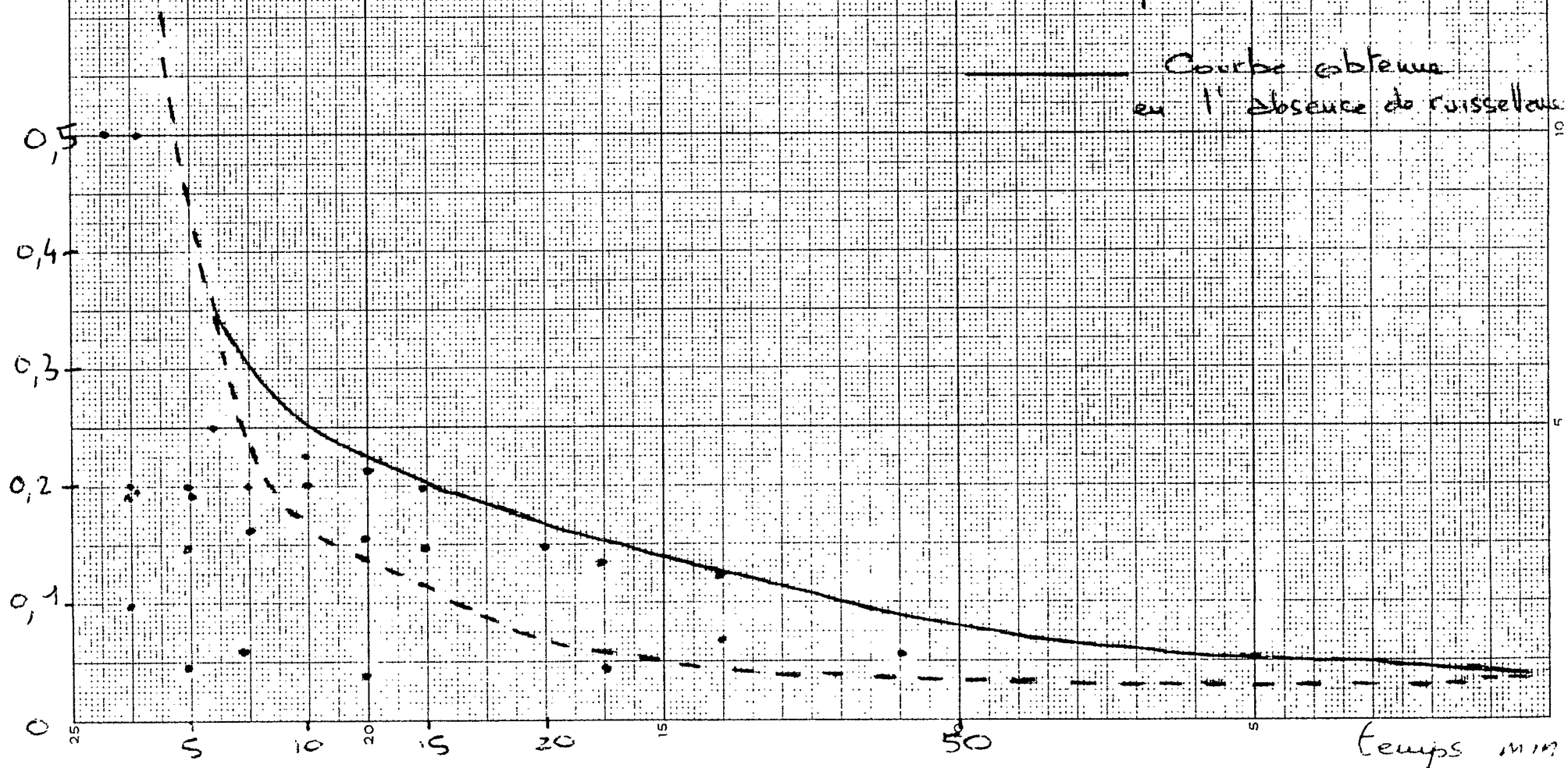
Un certain nombre d'averses n'ont pas donné de ruissellement. Pour ces averses on peut donc suivre l'évolution de \bar{I} en fonction de T (\bar{I} = intensité moyenne de la pluie). Tous les points ainsi déterminés et groupés sur un diagramme $\bar{I} = f(T)$ doivent donc se trouver sous la courbe d'infiltration. En fait les deux courbes $\bar{I} = f(T)$ pendant et sans le ruissellement, se confondent pour les petites valeurs et les grandes valeurs de T; entre les 2, la courbe obtenue en l'absence de ruissellement se trouve au dessus de l'autre, ce qui suggère une baisse de l'infiltration entraînée par le ruissellement lui-même.

I
mm/min

Infiltration en l'absence de ruissellement

--- Courbe obtenue
pendant le ruissellement

— Courbe obtenue
en l'absence de ruissellement



mm/min

Infiltration

Anneau unique

Sol. sec

17.8.64

6

5

4

3

2

1

mm Temps

LES PAPIERS CANSON France

5

10

15

20

25

30

Infiltration

double anneau

Sol nature

29-8-64

mm/min

3

2

1

25

10

5

15

20

25

temps min

0

5

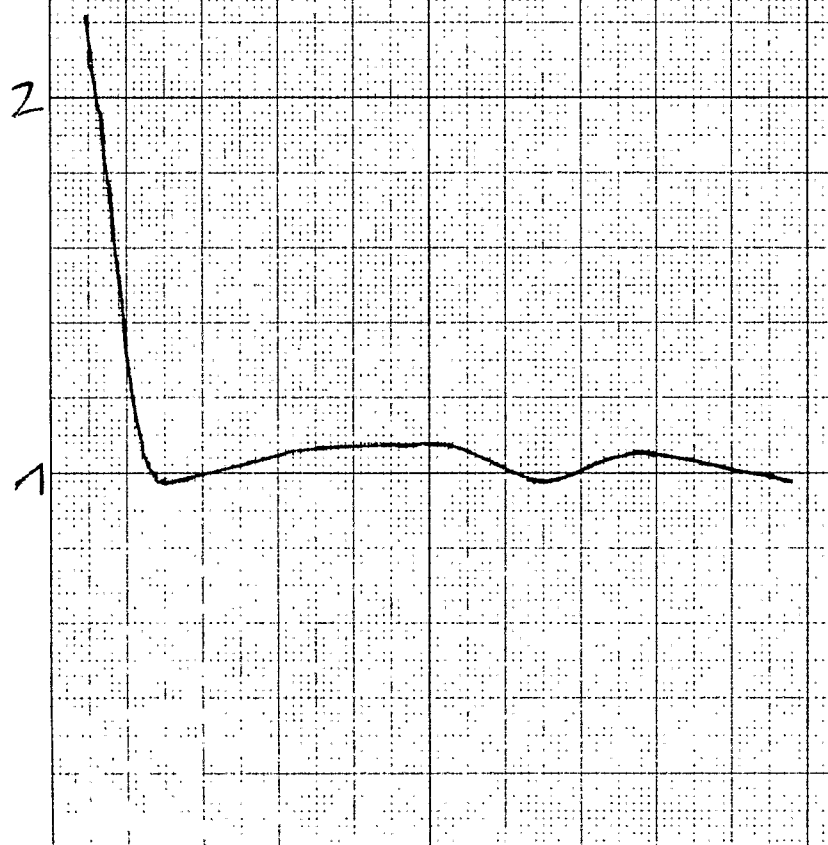
15

10

5

↑

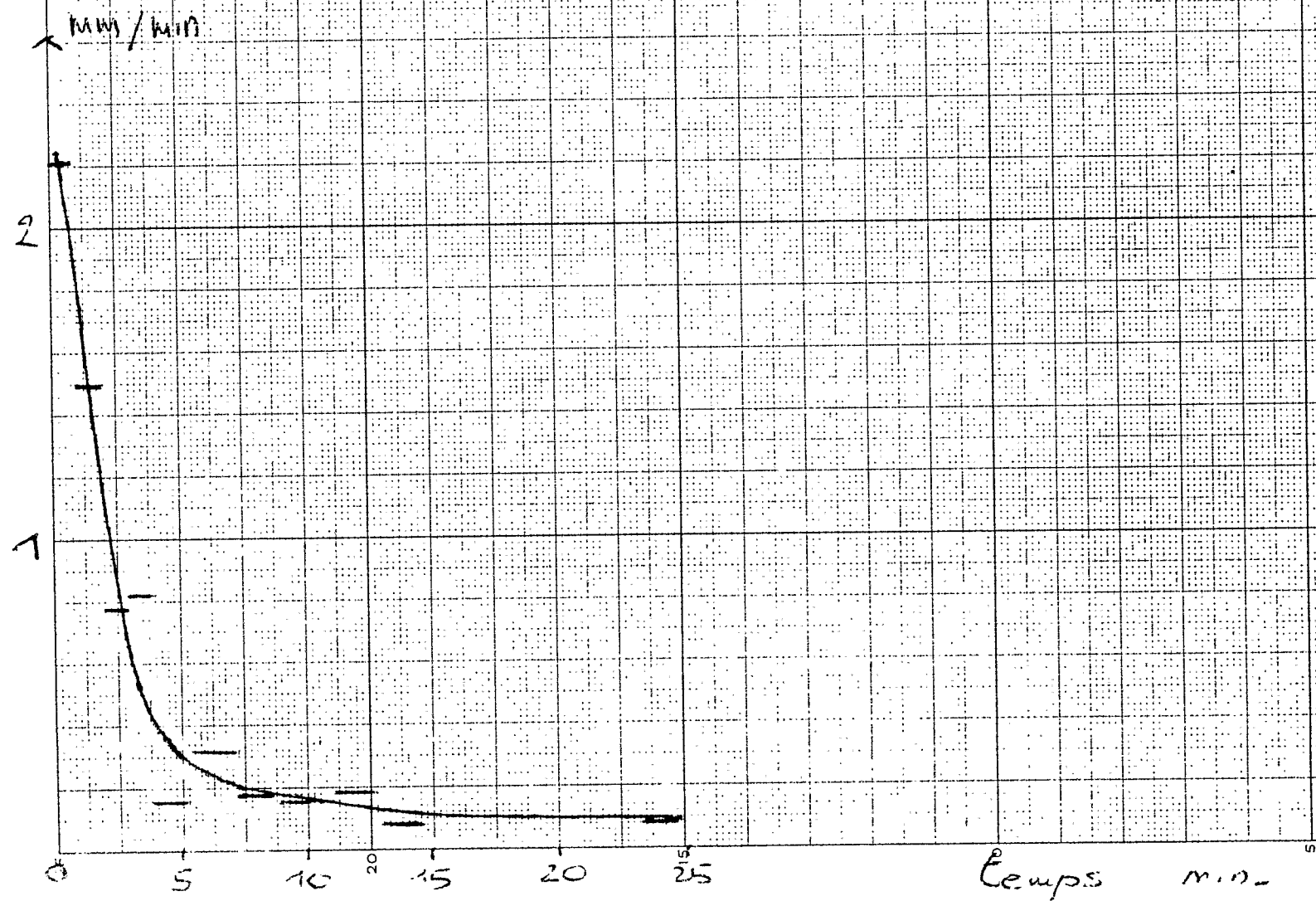
→

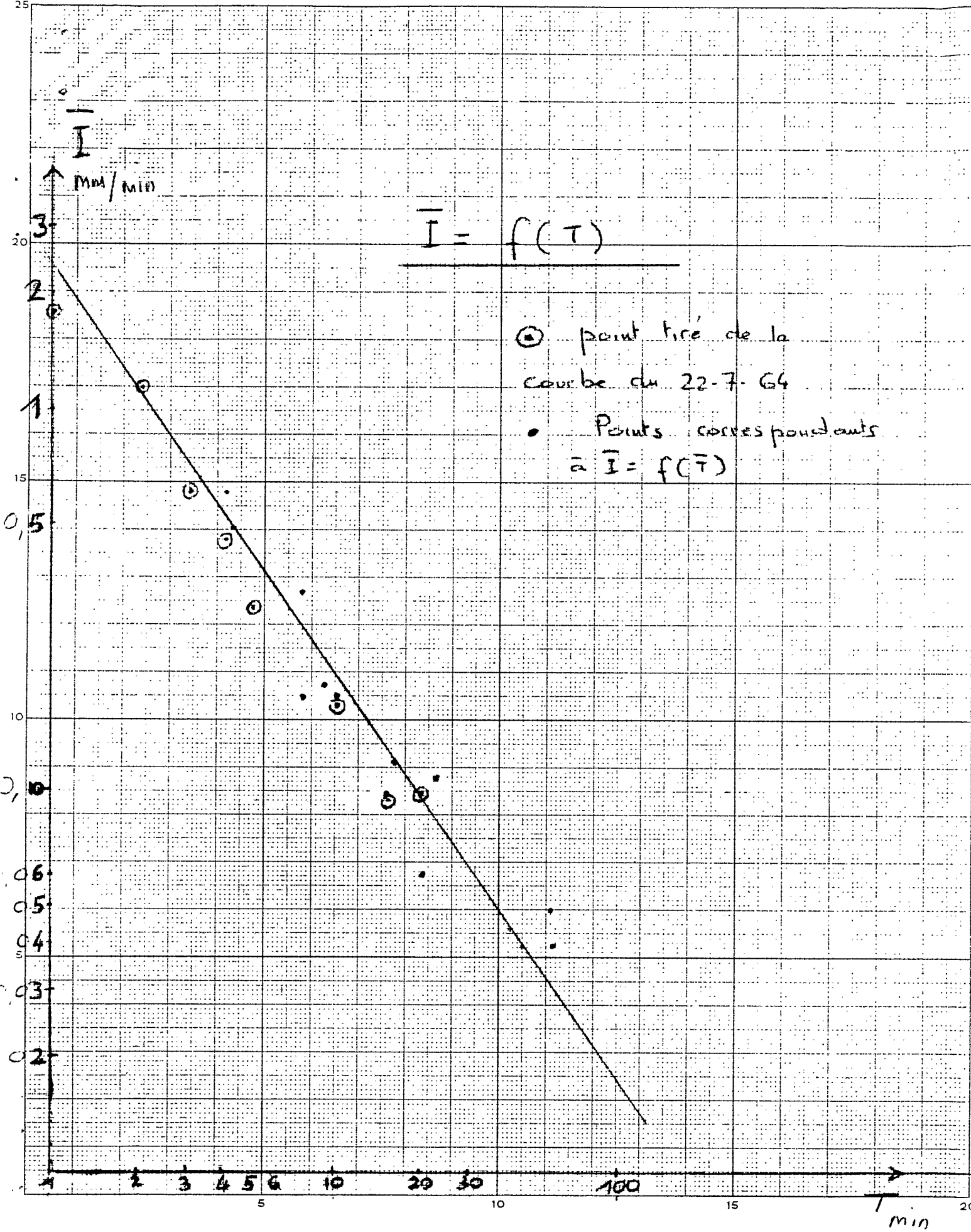


Courbe d'infiltration

obtenue le 22-7-64

1





Les courbes d'infiltration obtenues par l'infiltromètre correspondent à deux cas extrêmes :

1^{re}/ - Infiltromètre avec un anneau unique, sur un sol relativement peu humide.

2^e/ - Infiltromètre à double anneau sur un sol ayant reçu une forte pluie peu de temps auparavant. Ces deuxième cas qui correspondent à des conditions optima d'humidité du sol, montre cependant que les valeurs de la vitesse d'infiltration restent nettement supérieures à celles déduites de l'analyse. En particulier, la vitesse d'infiltration semble se stabiliser autour d'une valeur relativement forte 1 mm/mn. On a donc à faire à deux processus d'infiltration très différents, l'un faisant intervenir la descente d'une lame d'eau en profondeur, l'autre influencé avant tout par l'état de la surface.

On pourrait objecter que les deux courbes ne représentent pas les mêmes paramètres, l'une faisant intervenir la vitesse d'infiltration moyenne pendant un temps donné. En fait, dans le cas de l'averse 1, on peut tirer directement parti de l'analyse de la pluie et du ruissellement, en négligeant la déformation de l'hydrogramme. On obtient alors une courbe d'infiltration donnant les valeurs successives de la vitesse. Cette courbe est en fait pratiquement la même que celle donnant \bar{I} en fonction de T . Il est donc tout à fait évident que les mesures à l'infiltromètre ne rendent pas compte de la pénétration de l'eau pendant l'averse.

Evaluation du ruissellement résiduel -

Ayant établi la durée de la pluie efficace, on peut tenter d'évaluer la part du ruissellement résiduel c'est à dire la quantité qui continue à ruisseler alors que le processus de ruissellement est arrêté, ~~C'est-à-dire~~ ~~lors de~~ la (pluie efficace arrêtée). En fait, il ne s'agit que d'approximation, puisque nous raisonnons sur un modèle rendant compte du ruissellement et non sur le processus lui-même. Ceci a été tenté sur quelques averses où les phénomènes sont plus nets. Les résultats sont les suivants. (voir graphique).

Ruissellement résiduel
et taux moyen de ruissellement

$\frac{1}{2}$
mm/min.

1

0,5

0,5

1

2

Ruissellement résiduel mm.

13

7

6

8

16

9

11

Nº	Ruissellement résiduel Rr mm	\bar{r} mm/mn
I	I,28	0,82
6	0,60	0,21
7	0,40	0,22
8	0,80	0,66
9	I,I8	0,97
I3	0,20	0,I8
I6	I,0	0,29

On constate que ce ruissellement résiduel augmente en même temps que le ruissellement moyen. La quantité d'eau provisoirement stockée augmente donc également avec le ruissellement. Ceci est conforme aux résultats obtenus sous simulateur de pluie.

Conclusion -

De cette étude on peut tirer quelques enseignements.

1º/ - La déformation de l'hydrogramme ne permet pas une étude directe de l'infiltration. Celle-ci peut par contre être abordée par une analyse telle que celle mise au point par LINSLEY et KOHLER.

2º/ - Les résultats font alors apparaître une réaction du sol fondamentalement différente de celle obtenue en faisant infiltrer une nappe d'eau libre.

3º/ - Les différentes courbes intensité du ruissellement intensité de la pluie, infiltration moyenne, durée de la pluie efficace, influence de l'état du sol permettent de définir le sol vis à vis de la pluie.

4°/ - Le passage à l'étude des bassins versants ou se conjuguent les phénomènes d'apparition du ruissellement et d'écoulement d'une nappe vers l'exutoire, ne peut être envisagé de manière simple. On peut même se demander si les résultats de l'infiltromètre ne sont pas plus proches des résultats obtenus sur bassin versant, qui lors de l'écoulement de l'eau se comporte comme un grand infiltromètre.

5°/ - La parcelle de ruissellement permet seule par contre de comprendre le problème de l'apparition du ruissellement.

---oo0oo---