

3<sup>ème</sup> CONFÉRENCE INTERAFRICAINNE DES SOLS

DALABA \_ 2 au 12 Novembre

ÉTUDE DU RUISSELLEMENT ET DE L'ÉROSION  
sur les sols noirs de la région de BAFOUSSAM

\_ CAMEROUN OCCIDENTAL \_

par M<sup>C</sup>. ROCHETTE

Ingénieur hydrologue à l'Électricité de France

Chef du service hydrologique de l'Institut de Recherches du Cameroun

MAI 1959

3ème CONFERENCE INTERAFRICAINNE des SOLS

---

DALABA (2 au 12 Novembre)

ETUDE du RUISSELLEMENT et de l'EROSION  
sur les SOLS NOIRS de la REGION de BAFOUSSAM  
(Cameroun Occidental)

---

par M. Claude ROCHETTE  
Ingénieur Hydrologue d'Electricité de France  
Chef du Service Hydrologique de  
l'Institut de Recherches du CAMEROUN

Mai 1959

Deux parcelles, pour l'étude expérimentale du ruissellement et de l'érosion, ont été installées en Juillet 1958 en pays BAMILEKE, par la Section Hydrologique de l'Institut de Recherches du CAMEROUN (I.R.C.A.M.) sur les sols noirs d'origine volcanique, situés à l'Est de BAFOUSSA (latitude 5° 30' N - longitude 10° 33' E).

Cette étude s'applique à un sol de nature bien particulière, ne représentant en superficie qu'une fraction assez faible des sols BAMILEKE. Elle n'en présente pas moins un intérêt que l'on peut qualifier de vital pour cette région, si l'on considère la valeur exceptionnelle du sol et les dégradations auxquelles une culture intensive et un mode cultural irrationnel l'exposent actuellement.

- CARACTERE PHYSIQUE du SOL :

Ce sol est formé, à l'origine, par une couche de cendres volcaniques récentes, recouvrant un substratum d'argile latéritique provenant de la décomposition des gneiss. L'analyse physique des différents horizons conduit aux résultats suivants : (analyse de la Section Pédologique de l'I.R.C.A.M.) :

	Argile %	Limon %	Sable fin %	Sable grossier %
Horizon humifère	14,5	26,2	35,0	25,2
Cendres	1,5	26,75	42,0	30,5
Argile rouge	53,2	20,0	19,5	7,2

L'horizon supérieur est caractérisé par une très faible cohésion et une perméabilité élevée. L'épaisseur de l'ensemble formé par cet horizon et les cendres est d'environ 50 cm.

L'horizon inférieur, bien que plus argileux, présente une perméabilité encore élevée. C'est certainement la raison pour laquelle il ne se produit pas de glissements des couches supérieures, au contact de l'argile, même sur les pentes cultivées et au cours des plus fortes précipitations.

Ce sol offre d'excellentes possibilités d'utilisation. Il convient parfaitement au caféier "Arabica" qui, en saison sèche, trouve une humidité suffisante dans l'horizon inférieur.

Les cultures vivrières sont nombreuses et couvrent des collines entières où les pentes dépassent couramment 30 %.

#### - DISPOSITIF EXPERIMENTAL :

Le dispositif expérimental a été mis en place durant la deuxième quinzaine de Juillet 1958. Il comportait deux parcelles de 10 sur 5 mètres, installées sur une pente de 25 % environ dont :

- une parcelle en friche (savane) jouant le rôle de parcelle témoin et
- une parcelle nue portant des billons tracés suivant la ligne de plus grande pente.

Cette dernière parcelle correspond au mode cultural traditionnel en usage chez les BAMILEKES. Ce cas était extrêmement intéressant à étudier, étant donné qu'il correspond aux conditions les plus défavorables du point de vue de l'érosion.

Les parcelles étaient limitées par une murette de 20 cm de haut. A la base des parcelles, le système récepteur comportait une rigole en ciment et un canal collecteur débouchant directement dans des cuves placées sous abri, où s'effectuaient les lectures de niveau. L'emploi de partiteur n'a pas été nécessaire étant donné que le volume ruisselé n'a jamais été considérable. Eau et terre entraînée ont été recueillies en totalité pour chaque tornade.

Par contre, rigole et canal récepteur ont été couverts en Août, soit 15 jours après la fin de l'installation, de façon à supprimer les corrections intervenant dans le calcul du volume réel ruisselé, corrections qui, dans le

cas présent d'un faible ruissellement, sont relativement importantes:

Les opérations sur le terrain ont consisté à enregistrer directement, lors de chaque averse :

- d'une part, la hauteur de pluie,
- d'autre part, les volumes ruisselés, cumulés à chaque parcelle.

Toutes les averses ayant donné lieu à un ruissellement ont été observées du 1er Août au 8 Novembre, à l'exception de celles des 10 Août, 8 et 9 Septembre, pour lesquelles le ruissellement n'a pas été enregistré à la parcelle nue.

- ETUDE du RUISSELLEMENT :

I/- PARCELLE NUE :

Les observations ont conduit, pour chaque averse intéressante, à l'établissement du hyétogramme (diagramme de l'intensité des précipitations en fonction du temps) et du diagramme de ruissellement.

Par confrontation de ces deux diagrammes, on a déterminé :

- d'une part, la ou les parties de la précipitation ayant produit le ruissellement :

Les parties correspondantes du hyétogramme constituent ce qu'il est convenu d'appeler les "pluies efficaces", dont on a calculé les diverses caractéristiques hauteur, durée, intensités efficaces, désignées respectivement par :

$$P_E, T_E \text{ et } I_E = \frac{P_E}{T_E}$$

- d'autre part, les caractéristiques relatives au ruissellement, à savoir :

- la pluie excédentaire  $P_R$  , ou lame d'eau équivalente au volume ruisselé ;

- l'intensité excédentaire :

$$I_R = \frac{P_R}{T_E}$$

- la capacité d'absorption :

$$C_{am} = I_E - I_R$$

- le coefficient de ruissellement :  
(coefficient de ruissellement efficace)

$$R_E \% = \frac{P_R}{P_E} = \frac{I_R}{I_E}$$

Les résultats sont consignés dans le tableau n° I où les précipitations et les pluies efficaces correspondantes sont classées dans l'ordre chronologique.

La méthode la plus courante pour étudier le ruissellement consiste à choisir, comme grandeur caractéristique, la capacité d'absorption qui, dans le cas présent, n'est autre que la vitesse d'infiltration, et d'étudier ses variations en fonction de l'intensité efficace.

L'intérêt de cette étude sera de mesurer l'influence d'un deuxième facteur du ruissellement, à savoir : l'état de saturation du sol, dont la détermination directe est considérée comme impossible. Toutefois, on a utilisé, comme paramètre susceptible de représenter l'état de saturation du sol correspondant aux diverses pluies efficaces observées au cours d'une même précipitation, une quantité égale arbitrairement à la hauteur absorbée  $H_a$  entre le début de la précipitation et le centre de la pluie efficace considérée. Cet instant marque bien le moment où la saturation est atteinte, par définition de la pluie efficace. Ceci dans le seul but de tenir compte des variations, dont le sens est, en principe, croissant, de la saturation au cours d'une averse et d'expliquer les variations correspondantes de la capacité d'absorption, au cours de cette même averse.

Il va sans dire que l'indice de saturation ainsi défini ne permet pas de déterminer le déficit de saturation

du sol avant chaque averse puisqu'il varie, en fait, avec l'allure du hyétogramme, un début d'averse à très faible intensité conduisant obligatoirement à une valeur plus élevée de  $H_a$  qu'un début brutal.

L'étude de la capacité d'absorption conduit à la représentation graphique ci-jointe (graphique I) dans laquelle nous avons porté en abscisses les intensités efficaces de chaque hyétogramme et, si nécessaire, de chaque pointe élémentaire d'un même hyétogramme ayant donné lieu à ruissellement et, en ordonnées, les capacités d'absorption correspondantes. Les désignations des points efficaces sont exactement les mêmes que celles du tableau précédent : le premier numéro est celui de l'averse, le second est le numéro d'ordre de la pointe efficace de cette averse. Les averses n'ayant donné lieu qu'à une seule pointe efficace ne portent, bien entendu, qu'un seul numéro.

Comme d'ordinaire en terrain perméable, ces points sont assez dispersés. Cette dispersion est due surtout aux différences de conditions de saturation rencontrées par les différentes pointes d'intensité. Les capacités d'absorption croissent de façon générale en fonction des intensités efficaces. Or, on a observé, en terrain imperméable, que, mises à part les pluies de faible intensité, la capacité d'absorption varie peu (si nous faisons abstraction des effets de la végétation).

Pour un terrain de perméabilité moyenne, si l'on compare des averses ayant toutes rencontré les mêmes conditions d'imbibition préalables, on constate que la capacité d'absorption croît jusqu'à une certaine limite pour  $I_e = 50$  mm/h par exemple, puis tend à devenir constante.

Or, au Mayo BALENG, même pour des pluies d'Octobre, il semble que la capacité d'absorption persiste à croître pour des intensités largement supérieures à 100 mm/h, ce qui dénote un terrain particulièrement perméable.

Pour un degré d'imbibition préalable donné du terrain, il semble que les points représentatifs viendraient se placer au voisinage d'une droite (ou d'une courbe assez proche d'une droite), descendant de la droite du graphique vers la gauche. La position de cette droite,

fonction du degré d'imbibition préalable, se rapproche d'autant plus de la ligne des abscisses que le terrain est plus saturé. La droite  $y = x$  correspond aux points de ruissellement nul puisque la capacité d'absorption  $y$  est égale à l'intensité.

En pratique, si l'on part de cette droite vers l'axe des abscisses, on rencontre les averses sensiblement dans l'ordre chronologique, ce qui prouve que la saturation du sol croît de façon à peu près régulière, au cours de la saison des pluies. On note, par exemple, qu'il existe une ligne de partage assez nette entre les points, suivant que les précipitations auxquelles ils correspondent sont antérieures ou postérieures à la date du 4 Octobre. Toutefois, cet accroissement de la saturation n'est pas absolument régulier pendant la totalité de la saison des pluies. Ainsi, on enregistre, pour la période de faible pluviométrie séparant les précipitations du 24 Septembre et du 2 Octobre (notées respectivement 7 et 8), une inversion du déplacement des points représentatifs vers l'axe des abscisses, donc une décroissance de la saturation correspondant à un ressuyage du sol.

En définitive, en dépit d'écarts possibles dans les deux sens, le sens de variation de la saturation est, dans l'ensemble, croissant en fonction du temps.

Par ailleurs, on observe que les points relatifs aux précipitations se produisant du 24 au 29 Octobre, se situent sans exception au-dessous des précédents et se trouvent pratiquement alignés.

On en déduit que les conditions de saturation correspondant à ces points sont très voisines des conditions de saturation maximum et que la droite qu'ils définissent constitue probablement la limite inférieure de la capacité d'absorption. Notons que cette droite a une pente voisine de 0,5 et que l'intensité limite correspondante, c'est-à-dire la plus faible valeur de l'intensité efficace à partir de laquelle débute le ruissellement, est de l'ordre de 15 mm/h, ce qui est énorme. Nous vérifions également qu'il n'y a encore aucun signe de fléchissement de cette droite limite vers 125 mm/h.

Il est important de constater que les conditions de saturation maximum ne sont pratiquement atteintes qu'en Octobre (encore s'agit-il d'une saturation toute relative).

En dehors de cette période, même dans le cas d'une forte précipitation, comme celle du 19 Septembre (n° 6), l'examen des points correspondants montre qu'on atteint difficilement la saturation maximum. En effet, seul le point 6 - 6 remplit ces conditions, encore faut-il observer qu'il se détache assez nettement du groupe et qu'étant donné la faible intensité efficace qui lui correspond, ce point n'a pas une grande signification.

En définitive, moyennant quelques restrictions, principalement en ce qui concerne les précipitations 7 et 8, les points expérimentaux se répartissent, suivant leur époque, dans des zones distinctes assez bien définies, si l'on considère comme périodes pluviométriques respectives, les mois d'Août, Septembre et Octobre.

Les limites entre ces zones s'avèrent être des droites sensiblement parallèles à celle qui représente les conditions de saturation maximum.

Ce partage n'a rien d'absolument rigoureux ; chaque zone correspond, en fait, à des conditions moyennes de ruissellement. Il est bien évident que, d'une année à l'autre, les dates correspondant aux limites trouvées peuvent varier.

Les valeurs des intensités à partir desquelles on observe du ruissellement s'établissent approximativement comme suit :

- En Août	:	$I_E$	$\triangleright$	50 mm/h
- En Septembre	:	$I_E$	$\triangleright$	33 mm/h
- En Octobre	:	$I_E$	$\triangleright$	15 mm/h

Les valeurs du coefficient de ruissellement pris par rapport à la pluie efficace sont faciles à déterminer sur le graphique, les courbes d'égal coefficient de ruissellement étant des droites passant par l'origine. Ces dernières n'ont pas été représentées afin de ne pas surcharger le graphique.

On vérifie que pour des intensités efficaces comprises entre 40 et 100 mm/h, soit les plus fréquemment observées, le coefficient de ruissellement a pour limites supérieures :

- En Août	:	23	%
- En Septembre	:	33	%
- En Octobre	:	45	%

Si l'on considère le coefficient de ruissellement pris par rapport à la pluie totale, on arrive à des chiffres très nettement inférieurs en général :

- 1,5 à 5 % en Août,
- 30 % est certainement une limite supérieure pour Octobre.

## II/- PARCELLE en FRICHE de SAVANE :

Les résultats sont présentés de la même manière que pour la parcelle nue (voir tableau n° II des pluies efficaces), sauf en ce qui concerne la représentation graphique qui, pour cette parcelle, ne présente pas d'intérêt particulier.

On note que 4 averses seulement ont donné lieu à un ruissellement appréciable, contre 17 pour la parcelle nue.

Contrairement au cas précédent, on n'observe pas d'accroissement relatif du ruissellement au cours de la saison des pluies. Le ruissellement semble se produire dans des conditions pratiquement immuables. C'est en Août que les conditions de ruissellement se rapprochent le plus de celles de la parcelle nue, sans doute à cause de la végétation moins dense.

Exception faite de l'averse du 19 Septembre, on constate que les pluies de Septembre et Octobre ne donnent lieu qu'à des ruissellements du même ordre et faibles.  $R_E$  est toujours inférieur à 10 % et n'atteint 12-13 % que lorsque  $I_E$  est de l'ordre de 150 mm/h.

En ce qui concerne la capacité d'absorption, il apparaît que, durant toute la saison des pluies, l'intensité susceptible de donner lieu à un ruissellement appréciable, est supérieure à 100 mm/h et ne descend au-dessous de cette valeur que dans le cas de pluies intenses et prolongées (cas du 19 Septembre où  $I_E = 157,3$  mm/h pendant 13 minutes).

Cet exemple montre le rôle prépondérant joué par la couverture végétale sur ce type de sol. Il est probable que la croissance de la végétation qui tend à réduire le ruissellement compense la saturation progressive du sol. La tranche ruisselée en 3 mois est seulement de 12 mm alors qu'elle atteint 74 mm dans le cas de la parcelle nue, soit un coefficient de ruissellement de 1,35 %.

- ETUDE de l'ÉROSION :

I/- PARCELLE NUE :

Les chiffres sont encore plus éloquents en ce qui concerne l'érosion.

Les résultats sont consignés dans le tableau n° III où sont portés par précipitation :

- le poids de terre érodée, ramené à 1 ha ;
- la concentration en g de terre par litre ruisselé ;
- l'intensité excédentaire moyenne de la précipitation.

Les quantités de terre érodée varient dans de larges proportions, suivant les précipitations observées. Elles atteignent, au total, 122 t/ha pour l'ensemble des 3 mois d'observations, ce qui représente une hauteur de terre répartie sur la parcelle de 12 mm environ. L'averse du 19 Septembre produit à elle seule une dégradation spécifique de 50 t à l'hectare.

Les valeurs élevées, trouvées pour les quantités de terre érodée par litre ruisselé, mettent en valeur la très faible cohésion du sol. En les comparant aux intensités excédentaires des précipitations correspondantes, on vérifie qu'à intensité excédentaire égale, les concentrations sont plus élevées au début qu'à la fin de la saison des pluies, ce qui a déjà été constaté dans d'autres territoires (TCHAD, MADAGASCAR). Il n'y a pas lieu de s'en étonner car on a constaté que le ruissellement ne s'observe au début de la saison des pluies que pour des précipitations intenses pour lesquelles l'effet de "splash" s'ajoute à celui du ruissellement et accroît l'érosion.

II/ - PARCELLE en FRICHE de SAVANE :

Les quantités de terre érodée, comme le montre le tableau IV, sont négligeables.

L'érosion, pendant la période d'observation, n'atteint, au total, que 0,2 t à l'hectare, soit une valeur 600 fois plus faible que pour la parcelle nue. On comprend ainsi pourquoi les turbidités de grands cours d'eau africains sont si faibles : des valeurs de 200 g/m<sup>3</sup>, soit 1.000 fois moins que pour la parcelle nue, sont courantes : ceci tient au fait que sur un grand bassin africain la proportion de terre nue est faible par rapport aux terres en friche et que, par ailleurs, la pente moyenne est très inférieure à 25 %. En outre, une partie des matières emportées sur les pentes supérieures est déposée dans les plaines d'inondation bien avant d'avoir atteint le fleuve principal.

- CONCLUSION :

L'érosion, telle qu'elle a été mesurée sur la parcelle nue, ne se produit, dans la pratique, que pendant les périodes correspondant au défrichement et à la mise en culture, c'est-à-dire en Avril et en Septembre. Donc, en fait, pour une pente de 25 % et pour la même période Août à Novembre, l'érosion subie par les sols sera inférieure à celle qui a été mesurée. Par contre, il faut tenir compte du fait qu'une proportion importante des surfaces cultivées correspond à des pentes supérieures à 25 %.

Bien que l'érosion constatée soit très importante, le problème qu'elle pose ne présente pas de graves difficultés, car on dispose d'un élément favorable, celui d'une capacité d'absorption relativement élevée.

Les solutions proposées consistent soit à remplacer les billons verticaux par des billons horizontaux, soit à barrer par des levées de terre, à intervalle suffisamment rapproché, l'espace compris entre les billons verticaux. L'expérience montre que, dans ce dernier cas, et lors des pluies les plus intenses, ce procédé suffit à

supprimer le ruissellement. Sans ces précautions, les pertes subies par le sol seront telles qu'on peut prévoir sa destruction dans un délai de 10 à 20 ans, pour les régions les plus exposées.

TABLEAU III - ÉROSION - PARCELLE NUE -

Date	hauteur 24 h	precipitation observée	volume réel ruisselle litres	R	R <sub>E</sub>	R <sub>E</sub> max	terre érodée kg/ha	concentration g/litres	I R
2-8	2,5		0						
3-8	1,0								
4-8	43,5	43,5	60,0	2,8	8,6		542	45,2	
5-8	3,5		0						
6-8	11,5	21,0	20,0	1,9			113	28,3	
7-8	9,5								
8-8	14,5	13,0	3,0	0,45			5	8,7	
9-8	17,5	16,5	4,0	0,5					
10-8	28,5	28,5	49,0	3,5	15,4		2166	221,0	
11 au 15-8	16,0		0						
16-8	14,0	19,8	8,0	0,8			66	41,2	
17-8	5,8								
18-8	14,9	14,9	25,2	3,4	6,4		451	89,4	
21-8	9,8	9,8	3,8	0,8			1	1,6	
23-8	16,3	16,3	14,2	1,7			25	8,9	
25-8	6,3								
26-8	11,4	11,4	9,0	1,6			31	17,3	
28-8	7,2		0						
29-8	14,1	9,7	2,8	0,6			1	1,8	
30-8	2,1		0						
31-8	2,7		0						
<b>Total pour Août</b>	<b>252,6</b>		<b>199,0</b>				<b>3401,0</b>		
1-9	4,4		0						
2-9	13,9	9,7	8,9	1,8			15	8,7	
4-9	30,2	18,9	84,8	9,0			3105	183,0	
5-9	10,4	9,9	4,8	1,0			18	18,7	
7-9	13,9	12,7	9,7	1,5			48	24,8	
8-9	42,5	42,5	239,0	11,2			12543	262,5	
11-9	26,3	23,1	228,0	20,2			17984	395	
12-9	26,4	22,0	90,0	8,2	14,0	15,3	2040	113,3	9,5
14-9	29,4	27,3	102,0	7,5	8,6	11,9	1171	57,3	6,0
17-9	16,3	15,4	7,8	1,0			4	2,4	
18-9	5,0		0						
19-9	95,6	95,6	1129,0	23,6	28,7	33,9	49464	219,0	23,0
20 au 23-9	21,1		0						
24-9	25,5	20,0	223	22,3	30,7	40,4	4724	105,8	17,3
26 au 28-9	5,6								
<b>Total Septem</b>	<b>366,5</b>		<b>2127,0</b>				<b>91116</b>		
1-10	2,6		0						
2-10	51,4	51,4	226,7	8,8	17,7	26,3	1135	25,0	8,0
4-10	14,8	14,8	52,0	7,0	11,8	15,6	267	25,6	4,0
5-10	15,8	15,8	85,6	10,8	37,2	37,2	4432	259,0	32,0
7-10	17,2	13,3	5,3	0,8					
9-10	8,1	8,1	23,2	5,7			178	38,4	
10-10	26,5	26,5	345,8	26,1	34,8	42,2	7091	102,5	21,4
11 au 14-10	6,3		0						
15-10	9,2	9,2	73,4	16,0			726	49,4	
16 au 22-10	25,8		0						
24-10	18,3	12,4	142,3	23,0	34,4	34,4	2457	86,3	20,0
26-10	22,5	15,7	43,7	5,6	18,1	19,5	56	6,5	3,9
		6,8	13,0	3,8			16	6,1	
29-10	45,7	14,5	132,8	18,3	40,0	40,0	1797		
		13,6	221,4	32,5	39,0	46,0	9414	105,2	50,0
13,9	226,0	32,5	41,0	43,6					
<b>Total Octobre</b>	<b>264,2</b>		<b>1591,2</b>				<b>27569</b>		

CAM 8644

ED

LE JUILLET 57

DES METAYER

VISA

TUBE N°

AO

ELECTRICITE DE FRANCE - SERVICE DES ETUDES D'OUTRE-MER

TABLEAU IV - ÉROSION - PARCELLE EN FRICHE

Date	hauteur 24 h	Précipitation observée	Volume ruisselé litres	R %	R <sub>E</sub> %	R <sub>E</sub> max	terre érodée kg/ha	concentration g/litres
4-8	43,5	43,5	46,0	2,1	6,6	6,6	11,4	1,24
10-8	28,5	28,0	24,0	1,7	6,15	6,15	11,9	2,48
4-9	30,2	18,9	11,0	1,2	3,9	3,9	2,2	1,02
8-9	42,5	42,5	50,0	2,4	6,2	11,7	26,8	2,68
11-9	26,3	23,1	74,5	6,5	13,4	13,4	43,6	2,93
12-9	26,4	22,0	5,3	0,5			0,3	0,3
14-9	29,4	27,3	7,0	0,5			0	0
19-9	95,6	95,6	336,0	7,0	12,9	18,2	68,8	1,02
24-9	25,5	20,0	14,5	1,5	4,4	4,4	24,8	8,5
2-10	51,4	51,4	~ 0	0				
5-10	15,8	15,8	3,4	0,4				
10-10	26,5	26,5	11,2	0,9	3,3	13,3	2,0	0,9
29-10	45,7	13,6	4,3	0,6				
TOTAL A_S_0			587,2				195,4	