

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER  
CENTRE D'ADIOPODOUME

---

Laboratoire de Pédologie

Application de l'équation de prévision de l'érosion  
de Wischmeier et Smith en Afrique de l'Ouest

par ROOSE (E.J.)  
Maître de Recherches en Pédologie à l'ORSTOM

Communication au Colloque sur la Conservation et l'Aménagement  
du sol dans les tropiques humides.

I.I.T.A. - Ibadan, 30/6 au 4/7/75.

OFFICE DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE OUTRE-MER  
CENTRE D'ADIOPODOUME

---

Laboratoire de Pédologie

Application de l'équation de prévision de l'érosion  
de Wischmeier et Smith en Afrique de l'Ouest

par ROOSE (E.J.)  
Maître de Recherches en Pédologie à l'ORSTOM

Communication au Colloque sur la Conservation et l'Aménagement  
du sol dans les tropiques humides.

I.I.T.A. - Ibadan, 30/6 au 4/7/75.

## RESUME

S'appuyant sur plus de 400 résultats annuels de mesures en parcelles d'érosion provenant de 9 stations dispersées dans 5 pays d'Afrique de l'Ouest, l'auteur cherche à appliquer et à critiquer l'équation de prévision de l'érosion.

Grâce à l'existence d'une relation simple liant l'index d'érosivité climatique annuel (R) et la hauteur de pluie annuelle (moyenne sur plus de 20 ans), il présente une première esquisse de la répartition de cet indice en Afrique de l'Ouest et du Centre : l'érosivité croît du Sahel (R = 100) aux zones tropicales les plus humides (R = 1000 à 2000).

Le couvert végétal est le facteur conditionnel de loin le plus important : s'il est continu, l'érosion et le ruissellement sont médiocres quels que soient l'agressivité climatique, la pente et le sol. Cependant, les techniques culturales peuvent intervenir puissamment lorsque le sol est peu couvert.

Les sols ferrallitiques (K = 0,05 à 0,18) et dans une moindre mesure les sols ferrugineux tropicaux (K = 0,2 à 0,3) sont plus résistants à l'érosion que bon nombre de sols lessivés des régions tempérées. La résistance du sol peut être évaluée à l'aide du nomographe de Wischmeier à condition d'y ajouter un coefficient modérateur tenant compte des teneurs du sol en débris de roches et gravillons.

Le facteur topographique (SL) est commode mais demanderait des études plus approfondies.

Les techniques antiérosives (P) du type terrassement sont souvent trop onéreuses et moins efficaces que les méthodes biologiques qui visent à croître la couverture végétale (semis dense et précoce, labour correct, fertilisation équilibrée, paillage, rotations et bandes d'arrêt).

En conclusion, l'équation permet de mieux définir l'influence relative des facteurs qui conditionnent l'érosion : elle semble bien adaptée à la majorité des terrains cultivés en Afrique de l'Ouest. Elle n'est cependant pas universelle puisqu'elle ne s'applique pas aux cas où domine l'érosion linéaire comme les zones montagneuses, les régions méditerranéennes et sahariennes où les sols riches en argiles gonflantes (vertisols, etc...).

## 1. Introduction

L'érosion est un phénomène naturel vieux comme le monde : rares sont les civilisations qui ne l'ont pas subi sur la route de leur développement. Chaque génération a tenté d'y remédier à sa façon en érigeant des terrasses en pierres sèches que l'on peut admirer autour du bassin méditerranéen, à Madagascar aussi bien qu'à Ceylan et Bali, ou encore en récupérant le ruissellement dans des citernes (Tunisie, Israël et Afrique de l'Est) ou tout simplement en organisant de longues jachères et une agriculture itinérante telle qu'elle est pratiquée dans les régions tropicales humides et sèches.

En vue de limiter le caractère empirique du choix des méthodes antiérosives plusieurs auteurs (RAMSER ; SACCARDI ; HENIN ; MUSGRAVE, etc...) ont tenté de lier l'érosion aux causes et aux facteurs qui modifient les transports solides qu'on peut mesurer sur parcelles ou petits bassins versants.

Parmi ces tentatives diversement heureuses, l'équation dite universelle de prévision de l'érosion proposée par Wischmeier et Smith au 7<sup>o</sup> Congrès de Sciences du Sol à Madison (1960) est de loin la plus connue, la plus élaborée et la plus utilisée aux U.S.A. où elle sert de base à l'aménagement de l'espace rural. Fondée sur l'analyse statistique de plus de 10.000 résultats annuels provenant de diverses stations de la Grande Plaine américaine où l'érosion en nappe et en rigole est étudiée sur parcelles (100 à 200 m<sup>2</sup>) et petits bassins versants, cette équation empirique cherche à relier les transports solides mesurés à l'importance relative des différents facteurs mesurables.

Elle est de la forme :  $E = R \cdot K \cdot SL \cdot C \cdot P$  (1), dans laquelle E est l'érosion mesurée ou prévisible ;

R : indice d'agressivité climatique tenant compte de l'intensité max. des pluies en 30 minutes et de leur énergie cinétique ;

K : indice de résistance du sol à l'érosion en nappe et rigole ;

SL : indice topographique couvrant à la fois l'inclinaison et la longueur de la pente ;

C : facteur biologique exprimant les interactions entre la couverture végétale et les techniques culturales utilisées ;

P : indice tenant compte de l'efficacité des aménagements anti-érosifs.

Connaissant l'agressivité climatique d'une région, l'érodibilité du sol et la topographie des terrains à mettre en valeur, on peut déterminer scientifiquement quelles sont les techniques antiérosives à mettre en oeuvre si on décide d'y introduire un système de cultures pour ne pas dépasser un taux d'érosion tolérable (2 à 12 t/ha/an en fonction de la qualité et de l'épaisseur des terres arables).

Le but de cette note est de voir, à la lumière des résultats obtenus par l'Office de la Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (O R S T O M) et les Instituts Français de Recherches Appliquées, si cette équation est applicable en Afrique de l'Ouest et quelles en sont ses limites.

2. Dispositifs

Les résultats mentionnés dans cette note proviennent principalement de neuf stations de mesure de l'érosion sur des parcelles de 100 à 5.000 m<sup>2</sup> situées en cinq pays de l'Afrique de l'Ouest.

	Nombre parcelles	Pente %	Durée études	Milieu
<u>Côte d'Ivoire</u>				
. Adiopodoumé ORSTOM	9	4-7-22	1956-74	Forêt dense humide : Pluie = 2100 mm en 4 saisons
. Bouaké ORSTOM puis IRAT	5	4	1960-74	Savane arbustive guinéenne : P = 1200 mm en 4 saisons
. Korhogo ORSTOM	3	3	1967-75	Savane arbustive dégradée : P = 1400 mm en 2 saisons
<u>Haute-Volta</u>				
. Gampela CTFT	4	0,7	1966-71	Savane arborée cultivée P = 800 mm en 2 saisons
. Gonsé ORSTOM x CTFT	1	0,5	1968-74	Savane arborée Soudano-sahélienne : P = 800 mm/2 saisons
. SARIA ORSTOM x IRAT	4	0,7	1971-74	Savane arborée cultivée P = 830 mm/ 2 saisons
<u>Dahomey</u>				
. Agonkamey ORSTOM	4	4	1965-71	Fourré dégradé cultivé P = 1200 mm / 4 saisons
<u>Sénégal</u>				
. Séfa ORSTOM x IRAT	10	1 à 2	1954-68	Forêt claire P = 1400 mm / 2 saisons
<u>Niger</u>				
. Allokoto	4	3	1966-71	Savane arbustive sahélienne P = 500 mm / 2 saisons

### 3. Résultats

Les plus significatifs d'entre eux ont été analysés ici en vue de tirer des conclusions sur l'intérêt et les limites de cette équation de prévision de l'érosion.

#### 3.1. La pluie, facteur causal de l'érosion : indice R.

Tout transport nécessite une énergie. Celle des gouttes de pluie déclenche les processus de destruction des agrégats du sol sur les versants de pente faible à moyenne, tandis que le ruissellement n'assure que le transport des particules détachées. Cependant lorsque la pente augmente, le ruissellement devient lui-même abrasif et son énergie dépasse celle de la pluie lorsque la pente dépasse 15 % (ZINGG ; 1940). Dans le cas de la Plaine américaine et du vieux continent africain où les pentes sont faibles, c'est donc bien l'énergie des gouttes de pluie qui est l'agent causal principal de l'érosion.

En étudiant les régressions liant la pluie au ruissellement et aux pertes en terre sur petites parcelles nues à Adiopodoumé (ROOSE, 1973), on a constaté que la hauteur des pluies explique mal, à elle seule, les phénomènes d'érosion ; il faut faire intervenir en même temps l'humidité du sol avant la pluie et l'intensité de la pluie pendant un laps de temps relativement long. Les relations entre pluie et érosion<sup>ne</sup> deviennent hautement significatives que lorsque les intensités maximales sont mesurées sur plus de 20 minutes pour l'érosion et 10 minutes pour le ruissellement.

Contrairement à ce qu'on observe en zone méditerranéenne (HEUSCH, 1970 ; ROOSE, 1971, 1975) et saharienne où la pluie exceptionnelle décennale ou centennale transforme radicalement le paysage, mais en accord avec Wischmeier et Smith (1958, 1960) travaillant dans la Plaine américaine, on constate que ce n'est pas la pluie exceptionnelle qui détermine le niveau de l'érosion en milieu tropical sec ou humide mais bien la somme des 10 ou 20 plus fortes pluies de l'année.

Dans leur indice d'agressivité du climat (journalier, mensuel ou annuel) Wischmeier et Smith (1958, 1960) ont bien tenu compte des effets conjugués de la hauteur, de l'intensité max. et de la durée des précipitations individuelles. La méthode de dépouillement des pluviogrammes (CTFT, 1966) est fastidieuse et très longue. Les résultats montrent qu'il existe de fortes<sup>variations</sup> de l'indice R pour les pluies d'une même hauteur et que la variation augmente rapidement avec la hauteur de pluie (voir tableau 1). Par contre les moyennes des classes de hauteur pour de nombreuses pluies (plus de 30) varient peu d'une station à l'autre (depuis la basse Côte d'Ivoire jusqu'au Niger).

Tabl. 1 : Variabilité de l'indice R en fonction de la hauteur de la pluie en Afrique de l'Ouest.

Pluie hauteur en mm.	Abidjan		Divo		Bouaké		Korhogo		Saria/Gonsé		Allokoto	
	Var.	moy	Var.	moy.	Var.	moy	Var.	moy	Var.	moy.	Var.	moy
h = 15	0,5 à 8	5	1 à 7	4,5	0,5 à 7	3,7	1,5 à 7	5	2,3 à 6,5	4,7	1,5 à 8	5
h = 30	6 à 24	18	7 à 30	17,6	4 à 22	16	4 à 26	17	16 à 31	18	6 à 20	18
h = 50	12 à 66	44	20 à 90	48	15 à 80	40	19 à 80	50	30 à 65	48	30 à 65	50
h = 70	32 à 90	78	49 à 108	84	25 à 100	73	31 à 120	83	84 à 104	86	-	-

Plusieurs auteurs (CHARREAU : 1969 ; GALABERT, MILLOGO, 1972 ; CTFT, 1974) ont établi d'excellentes régressions linéaires entre l'énergie cinétique des pluies et leur hauteur. Par contre, s'il existe une régression entre l'intensité maximale en 30 minutes et la hauteur des précipitations (CHARREAU, 1969) celle-ci est curvilinéaire et beaucoup plus lâche. Il est donc normal de constater (ROOSE, BERTRAND, 1972) que cette dernière relation se traduit par une gerbe curvilinéaire de points qui va en s'évasant à mesure que la hauteur de pluie augmente. En effet, l'indice R est une fonction de l'énergie cinétique ( $E_c = f(h)$ ) et de  $I_{30 \text{ max}}$ . ( $I_{30 \text{ max}} = f(h)$ ) : par conséquent les erreurs se multiplient.

En cherchant à simplifier le dépouillement, GALABERT, MILLOGO (1972), PIOT (voir CTFT, 1974) et DELWAULLE (1973) ont trouvé une régression (2) permettant d'estimer R en fonction de la hauteur de pluie (H) et de son intensité max. en 30 minutes ( $I_{30}$ ). Elle s'applique aussi bien en Haute-Volta qu'au Niger (et probablement à toute l'Afrique de l'Ouest).

$$R = 0,01572 H \times I_{30} - 1,179. \quad (2)$$

Mais si on étudie la répartition spatiale de cet indice R en Afrique, une difficulté surgit qui tient au petit nombre de postes météorologiques équipés d'un pluviographe à mouvement journalier et à la courte période durant laquelle ils ont fonctionné. Par contre, on dispose en Afrique de l'Ouest d'un réseau relativement serré de postes d'observations de la hauteur des pluies journalières depuis 20 à 50 ans, ce qui permet de calculer des moyennes représentatives.

On a donc été amené à étudier en détail les liaisons existant entre la hauteur de pluie journalière (mesurée à 8h. du matin) et l'indice d'agressivité climatique et on a constaté que :



1. Dans la zone côtière de la basse Côte d'Ivoire (sur 40 km) il existe une régression rectilinéaire ( $R = 0,577 h - 5,766$ ) entre cet indice (R) et la hauteur de pluie (h) pour les averses du type "mousson" des mois de juin à septembre et une régression curvilinéaire pour les pluies orageuses du reste de l'année.

2. Cette régression curvilinéaire  $\log.R = f(\log.h)$  est extrêmement voisine pour tous les postes étudiés bien qu'ils soient très éloignés (Abidjan, Azaguié, Divo, Bouaké, Korhogo en Côte d'Ivoire, Niangoloko, Koudougou et Ouagadougou en Haute-Volta).

3. En transformant jour après jour les hauteurs des précipitations journalières des postes étudiés d'après cette régression, on a constaté que l'écart moyen sur 5 ans par rapport à l'indice moyen annuel mesuré ne dépassait pas 5 %. On peut donc transformer les longues séries d'observations de pluies journalières (20 à 50 ans) pour trouver des moyennes mensuelles et annuelles satisfaisantes des indices d'agressivité climatique et tenter de cartographier leur répartition (ROOSE, 1973 ; ROOSE, ARRIVETS, POULAIN, 1974).

4. Ce faisant, on a constaté qu'il existait une relation simple entre l'indice annuel moyen ( $R_{am}$ ) sur une période suffisamment longue (5 à 10 ans) et la hauteur de pluie annuelle moyenne ( $H_{am}$ ) durant la même période (voir tabl. 2).

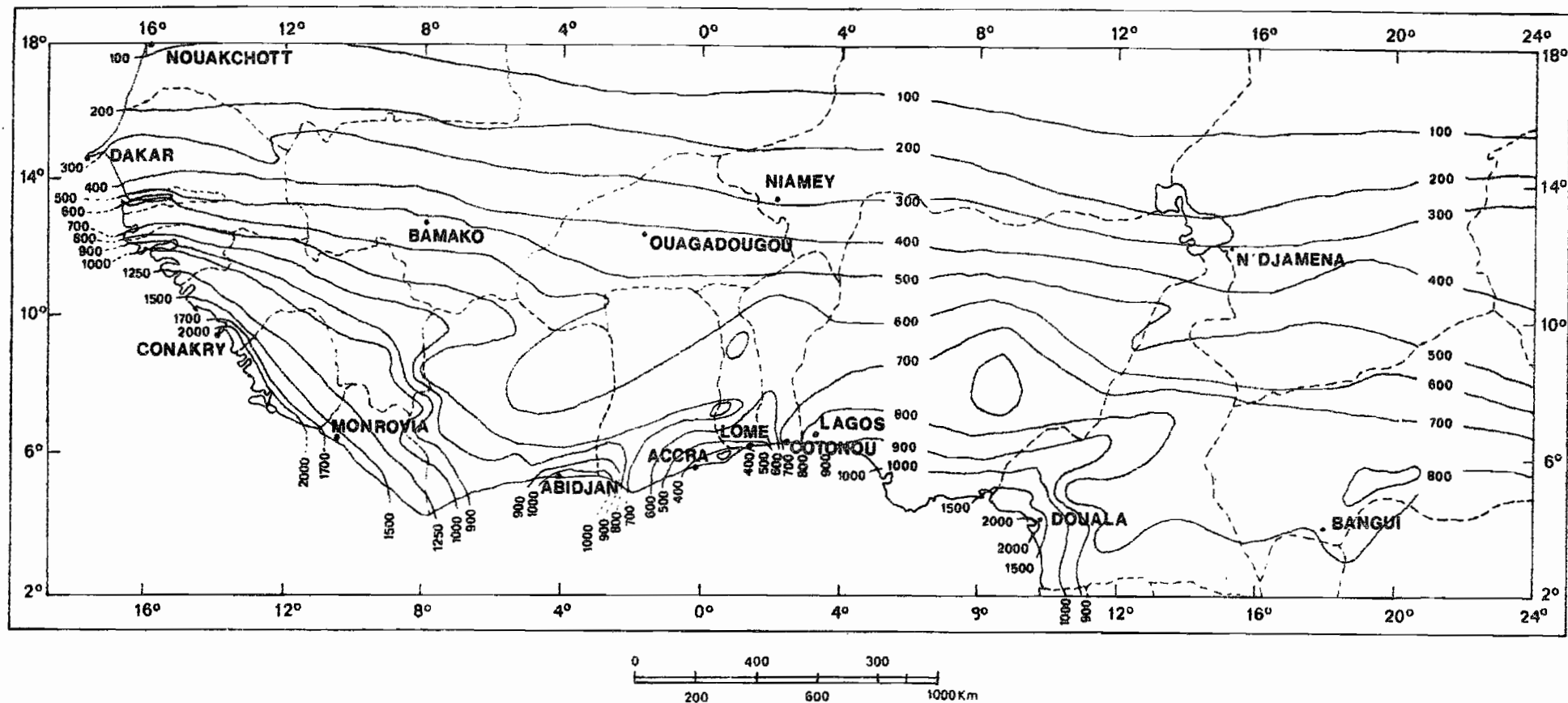
$$R_{am} / H_{am} = 0,50 \pm 0,05 \quad (3)$$

Ce rapport s'est avéré particulièrement constant en une vingtaine de points situés en Côte d'Ivoire, Haute-Volta, Sénégal, Niger, Tchad, Cameroun et Madagascar à l'exception des postes météo situés sur ou alentour des montagnes (Dschang et Befandriana), à Bouaké (climat tropical de transition entre 1 et 2 saisons des pluies) ainsi qu'en bordure immédiate de la mer.

Mises à part ces exceptions, le rapport  $R_{am} / H_{am}$  varie autour 0,5 d'une façon qui paraît aléatoire d'une année à l'autre et d'un poste à l'autre ; si bien qu'en l'absence de données nouvelles sur des séries suffisamment longues d'observation (plus de 22 ans d'après Wischmeier pour la Plaine américaine) il semble raisonnable de préférer le rapport théorique ( $R_{am} / H_{am} = 0,50$ ) au rapport mesuré sur 4 à 10 ans.

Cette relation nous a permis de dresser une première esquisse de la répartition de cet indice en Côte d'Ivoire (ROOSE, 1973) et en Haute-Volta (ROOSE, ARRIVETS, POULAIN, 1974).

# ESQUISSE DE LA REPARTITION DE L'INDICE D'AGRESSIVITE CLIMATIQUE ANNUEL MOYEN ( RUSA DE WISCHMEIER ) EN AFRIQUE DE L'OUEST ET DU CENTRE



D'après les données pluviométriques rassemblées par le Service Hydrologique de l'ORSTOM et arrêtées en 1975.

Dressée par ROOSE (E.J)  
Maître de Recherche en Pédologie - ORSTOM - B.P 20 Abidjan

Tableau 2. Indices d'agressivité climatique de WISCHMEIER et de FOURNIER dans quelques stations d'Afrique.

	Dépouillement sur courtes périodes				SOURCES	Moyennes sur longues périodes				Indice FOURNIER $P^2/P$
	Période	Pluie Ha (mm)	Index $R_a$	$R_a/H_a$		Nombre années	Hauteur pluie annuelle	$R_a/H_a$ retenu	$R_{USA}$ annuel moyen	
<b>Côte-d'Ivoire</b>										
Abidjan (ORSTOM)	1966-73	1422	910	0,53	Roose, inédit 1975	27	2 100	0,60	12 60	2 33
Azagué (IFAC-ORSTOM)	68-73	1640	800	0,49	Roose, inédit, 75	41	1 770	0,50	8 85	81
Divo (IFCC-ORSTOM)	68-74	1400	741	0,53	Roose, Jadin, 68, 75	29	1 680	0,50	8 40	50
Bouké (IRAT-ORSTOM)	60-72	1232	512	0,42	Roose, Bertrand, 72	60	1 160	0,45	5 20	38
Korhogo (ORSTOM)	64-74	1296	673	0,52	Roose, inédit, 75	47	1 440	0,50	7 20	68
<b>Haute-volta</b>										
Niangeloko (IRHO)	1968-72	1265	656	0,52	Galabert, Millogo, 1973	23	1 340	0,50	6 70	86
Gooua (ASECNA)	66-72	1124	538	0,48	" " "	53	1 240	0,50	6 20	63
Bobo-Dioulasso (ASECNA)	66-72	1142	554	0,48	" " "	58	1 150	0,50	5 75	84
Farako-Ba (IRAT)	67-72	1083	485	0,45	" " "	-	-	-	-	-
Ouagadougou (ASECNA)	67-72	861	466	0,54	" " "	21	880	0,50	4 40	68
Goné (CTFT-ORSTOM)	68-73	709	345	0,49	Roose, inédit, 1975	-	-	-	-	-
Saria (IRAT-ORSTOM)	71-74	694	392	0,56	" " "	30	840	0,50	4 20	75
Saria ( " METEO)	68-72	826	357	0,45	Galabert, Millogo 73	30	840	0,50	4 20	75
Moptedo (IRAT)	68-72	754	378	0,50	" " "	-	-	-	-	-
Fada N'Gourma (ASECNA)	66-72	857	428	0,50	" " "	48	890	0,50	4 45	75
Ouahigouya (ASECNA)	67-72	600	301	0,50	" " "	49	700	0,50	3 50	76
Dori (ASECNA)	66-72	511	261	0,51	" " "	47	540	0,50	2 70	62
<b>Sénégal</b>										
(Séfa (IRAT)	1964-68	1234	681	0,55	Charreau, Nicou, 1971	54	1 310	0,50	6 55	148
(Bambey (IRAT)	60-68	590	292	0,50	" " "	47	650	0,50	3 25	92
<b>Niger</b>										
: Allokoto (CTFT)	66-71	437	199	0,46	Delwaille, 1973	25	500	0,50	2 50	78
<b>Tchad</b>										
: Deli (ORSTOM)	65-72	976	514	0,53	Audry, inédit, 1974	22	1 100	0,50	5 50	82
<b>Caméroun</b>										
: Dschang (IRAT)	68-71	1 970	625	0,32	Seguy, 1971	-	-	-	-	-
<b>Madagascar</b>										
: Befandriana (CTFT)	69-70	2 030	1 375	0,68	CTFT ; 1971	-	-	-	-	-

L'esquisse que nous présentons ici sur l'ensemble de l'Afrique de l'Ouest doit être considérée comme un document de travail en attendant l'accumulation et le dépouillement de longues séries annuelles de pluies en un nombre suffisant de postes. En dehors des zones côtières et des zones montagneuses, la précision de cet indice climatique estimé est de  $\pm 5 \%$ , ce qui est largement suffisant pour l'utilisation de l'équation de prévision de l'érosion de Wischmeier et Smith.

Il en découle que l'agressivité climatique est très élevée en région tropicale humide et décroît presque parallèlement aux isohyètes entre Abidjan ( $H_{am} = 2100 \text{ mm}$  ;  $R_{am} = 1260$ ) et Ouagadougou ( $H_{am} = 830 \text{ mm}$  ;  $R_{am} = 430$ ). Ceci s'explique par le parallélisme existant entre les courbes "intensité x durée", la hauteur des pluies décennales et les précipitations annuelles moyennes dans cette région (BRUNET-MORET, 1963 et 67) : en d'autres termes, les pluies sont de même type dans toute cette zone, à l'exception des régions côtières et montagneuses. Il n'est donc plus indispensable de faire intervenir un indice tenant compte de l'intensité des pluies en plus de leur hauteur comme cela avait été proposé par Wischmeier aux U.S.A., Masson en Tunisie (1971) et Kalman au Maroc (1967).

A titre de comparaison, signalons que l'indice d'agressivité climatique annuel moyen ( $R_{usa}$ ) varie de

- 150 à 650 aux U.S.A. (Wischmeier, 1962),
- 60 à 300 en Tunisie (Masson, 1971),
- 50 à 300 au Maroc (Kalman, 1967),
- 60 à 340 dans le midi de la France (Masson, Kalms, 1971),
- 500 à 1400 en Côte d'Ivoire (Roose, 1973),
- 200 à 650 en Haute-Volta (Roose, Arrivets, Poulain, 1974).

### 3.2. Le couvert végétal et les techniques culturales : facteur C.

C'est de loin le facteur conditionnel le plus important. Lorsque le couvert végétal est continu, qu'il s'agisse de forêts, de fourrés, de savanes ou d'un simple paillis, l'érosion et le ruissellement sont médiocres malgré l'agressivité des pluies et l'inclinaison de la pente (voir tabl. 3). La mise à feu de la savane, surtout si elle est tardive, augmente très sensiblement le ruissellement et sa charge solide (ROOSE, 1974). Mais lorsque le sol est totalement dénudé, les phénomènes d'érosion deviennent catastrophiques : les pertes en terre sont multipliées par mille et le ruissellement par 20 à 50.

TABLEAU 3

Erosion (t/ha/an) et ruissellement (% des précipitations annuelles)  
sous diverses couvertures végétales en Afrique de l'Ouest

Station	Pente	Erosion tonne/ha/an			Ruissellement % des pluies annuelle			Sources
		milieu naturel	sol nu	culture	milieu naturel	sol nu	culture	
Adiopodoumé (1954/1973) (ORSTOM)	4,5	—	60	—	—	35 (99)	—	Roose 1973
Forêt secondaire sempervirente	7 %	0,03	138	0,1 à 90	0,14	33 (95)	0,5 à 30 (87)	
2 100 mm : 4 saisons	20 %	0,2	570	—	0,7 (12)(*)	24 (76)	—	
	65 %	1,0	—	—	0,7	—	—	
Divo (1967-1970) (IFCC-ORSTOM) forêt semi-décidue 1 750 mm : 4 saisons	9 %	0,5	—	—	1	—	—	Roose Jadin 1969
Bouaké (1960-1970) (IRAT-ORSTOM) Savane arbustive dense 1 200 mm : 4 saisons	4 %	b. 0,20 n.b. 0,01	18 à 30	0,1 à 26	b. 0,3 (1,6) n.b. 0,03	15 à 30	0,1 à 26	Roose Bertrand 1972 Bertrand 1967
Korhogo (1967-1970) (ORSTOM) Savane arbustive claire 1 400 mm : 2 saisons	4 %	b. 0,1 à 0,2	3 à 9	—	b. 5 (50)	35	—	Roose 1975
Ouagadougou (1967-1973) (CTFT-ORSTOM-IRAT) Savane arborée claire 850 mm : 2 saisons	0,5 %	b. 0,15 n.b. 0,01	10 à 20	0,6 à 8	b. 10 (50) n.b. 2,5 (10)	40 à 60 (70)	2 à 32 (60)	CTFT 1974 Roose 1974
Séfa (Sénégal) (1954-1963) (ORSTOM-IRAT) Forêt claire 1 300 mm : en 2 saisons	1 à 2 %	b. 0,02 à 0,50 n.b. 0,02 à 0,20	30 à 55	2 à 20	b. 0,3 à 1,5 n.b. 0,1 à 1,2	25 à 55	8 à 40	Roose 1967 Charreau
Cotonou (Dahomy) (1964-1968) (ORSTOM) Fourré dense 1 300 mm : 4 saisons	4 %	0,3 à 1,2	17 à 27,5 après défrichement	10 à 85	0,1 à 0,9 (2,5)	17 (69)	20 à 35 (70)	Verney Volkoff Willaime 1967 Roose 1973

Note : Les chiffres ( ) représentent des coefficients max. de ruissellement pendant une pluie unitaire de fréquence décennale.  
Les indications b. et n. b. signifient « brûlé » ou « non brûlé ».

TABLEAU 6

Evolution de l'érosion et du ruissellement (en % des précipitations) en fonction de la pente sur un sol ferrallitique sableux et un sol ferrugineux tropical.

Adiopodoumé (Côte-d'Ivoire) Sol nu. de 1968 à 72 - Sol ferrallitique très désaturé sur sables tertiaires	pente 4,5 %	7 %	20 %
Erosion moyenne (t/ha/an)	60	138	570
Ruiss. moyen annuel (%)	35	33	24
Ruiss. max. (%)	74	74	68
Ruiss. max. exceptionnel (%)	98	95	76
Séfa (Sénégal). Cultures sarclées de 1955 à 62 Sol ferrugineux tropical lessivé à taches et concrétions	pente 1,25	1,50 %	2 %
Erosion moyenne (t/ha/an)	5	8,6	12
Ruiss. moyen annuel (%)	16	22	30

Sous culture, ces phénomènes sont intermédiaires et varient dans une très large mesure en fonction du type de plante, de la vitesse avec laquelle elle recouvre le sol et des techniques culturales mises en oeuvre pour aider sa croissance. La densité, la précocité de la plantation, le labour, une fertilisation bien adaptée et éventuellement un paillage d'appoint, jouent un rôle prépondérant.

Le facteur C de l'équation de Wischmeier est le rapport entre l'érosion mesurée sous une culture bien précise et celle que l'on observe sur la parcelle nue standard. Il exprime l'interaction entre la plante et les techniques culturales. Il se calcule par périodes caractéristiques de la culture (5 aux U.S.A. et jusqu'à 8 en zone tropicale humide à 2 cycles culturaux). En ne tenant compte que d'une valeur globale par année on a obtenu les valeurs suivantes en Afrique de l'Ouest (ROOSE, 1973).

Tabl. 4 : Erosion en fonction du couvert végétal.

	C annuel moyen
- sol nu,	1
- forêt dense ou culture paillée abondamment,	0,001
- savane et prairie en bon état,	0,01
- plantes de couvertures : plantation tardive ou développement lent	
1ère année,	0,3 à 0,8
2ème année,	0,1
- plantes de couvertures à développement rapide et/ou plantation hâtive,	0,1
- maïs, sorgho, mil (en fonction du rendement),	0,3 à 0,9
- riz (culture intensive, 2° cycle),	0,1 à 0,2
- coton, tabac (2° cycle),	0,5
- arachide (fonction date de plantation),	0,4 à 0,8
- igname, manioc (1° année),	0,2 à 0,8
- palmier, café, cacao, avec plantes de couverture,	0,1 à 0,3

L'utilisation du facteur C est susceptible d'aider à la définition des techniques culturales les mieux adaptées à chaque culture et des rotations à mettre en place pour tenir compte des conditions écologiques régionales.

### 3.3. La résistance des sols à l'érosion : facteur K.

Les tests de laboratoire sont insuffisants pour définir la susceptibilité du sol à l'érosion hydrique. Wischmeier a donc proposé de l'étudier sur une parcelle nue standard d'une centaine de m<sup>2</sup> qui sert de référence en tous points du globe. Il s'agit d'une parcelle de 72,6 pieds de long, 9 % de pente et traitée comme une jachère nue, travaillée superficiellement pour éviter la formation d'une pellicule de battance (qui limiterait la détachabilité) et sans apport de matières organiques depuis trois ans. Nous avons adapté ce protocole en choisissant des pentes caractéristiques des types de sols et du paysage et en corrigeant les résultats à l'aide du facteur topographique (S.L.). On calcule l'indice d'érodibilité du sol (K) à partir de la formule (4).

$$K = \frac{E}{R \times SL \times 2,24} \quad (4)$$

où E est l'érosion en tonne métrique/hectare/an, R est l'indice d'agressivité climatique, SL le facteur topographique et 2,24 le coefficient nécessaire pour passer des unités décimales (tonne métrique/ha) aux unités anglaises (ton/acre).

Aux U.S.A., l'indice d'érodibilité K augmente de 0,03 à 0,60 pour des sols de plus en plus sensibles (Wischmeier, Johnson et Cross ; 1971). En Afrique de l'Ouest les rares résultats expérimentaux existants sont résumés au tableau 5.

Tabl. 5	Type de sols	K mesuré			Nombre mesures	Source
		Max.	Min.	Retenu		
diopodoumé	Ferrallitique très désaturé sur sables Tertiaires	0,17	0,05	0,10	24	ROOSE, 1973
gonkamé	"-"	0,11	0,03	0,10	4	VERNEY et coll. ROOSE, 73
ouaké	Ferrallitique remanié rajeuni sur granite	0,16	0,02	0,12	4	BERTRAND 67 KALMS, 1975
orhogo	Ferrallitique remanié appauvri sur granite	0,02	0,01	0,02	6	ROOSE, 1975
ampela	Ferrugineux tropical sur carapace à 20 cm	0,32	0,05	0,25	5	CTFT, 1973
aria	"-" à 50 cm	0,20	0,06	0,20	3	ROOSE et coll. 74
efa	Ferrugineux tropical lessivé à taches	0,17	0,05	?	2	CHARREAU, 69

Le nomographe de Wischmeier, Johnson et Cross (1971) permet d'évaluer la susceptibilité des sols à l'érosion (K) à  $\pm 0,02$  près, à partir des teneurs en limons et sables très fins (2 à 100 microns), en sables (100 à 2.000 microns) et en matières organiques, de la structure et de la perméabilité. Son application a donné les résultats suivants (ROOSE, 1972).

		K estimé
- <u>sols ferrallitiques divers</u>	- issus de sables tertiaires	0,05 - 0,10
	- issus de granites	0,10 - 0,15
	- issus de chistes	0,15 - 0,18
- <u>sols ferrugineux tropicaux divers</u>	- issus de granite	0,20 - 0,30

De ces résultats on peut tirer plusieurs conclusions.

1. La variabilité des valeurs obtenues au cours des mois et des années entraîne la nécessité de procéder à des répétitions dans l'espace et surtout dans le temps à cause de l'effet résiduel des matières organiques et de l'organisation des séquences pluvieuses en fonction du travail du sol. En pratique, la mesure de K devrait se faire sur des champs cultivés depuis au moins 3 ou 4 ans, les résidus de culture étant exportés : le travail du sol sera réduit au labour et 2 ou 3 interventions superficielles par an pour briser la pellicule de glaçage. Un désherbage chimique s'impose pour maintenir propre le sol sans le tasser ni le travailler.
2. Les sols ferrallitiques sont très résistants à l'érosion et les sols ferrugineux tropicaux le sont un peu moins après 2 ou 3 années de culture ; ceci peut s'expliquer par la faible perméabilité de ces derniers, leur tendance à la battance, leur teneur relativement forte en limons et sables très fins et leur teneur faible en matières organiques. De toute façon, les sols ferrallitiques et ferrugineux sont nettement plus résistants que bon nombre de sols lessivés tempérés et la légende de la singulière fragilité des sols tropicaux ne résiste pas à l'expérimentation. Ce sont les pluies particulièrement agressives qui expliquent les phénomènes catastrophiques d'érosion en Afrique et non la prétendue fragilité des sols.
3. Les valeurs d'érodibilité estimées à l'aide du nomographe, ou mesurées, sont voisines pour les sols étudiés sauf pour les sols gravillonnaires ; le nomographe en effet ne tient pas compte du pourcentage de la surface du sol couverte par les graviers, gravillons et débris de roche qui jouent un rôle de mulch protecteur très important en région tropicale (DUMAS, 65 ; SEGNER, MORIN, SHAKORI, s.d.) et méditerranéenne. A Korhogo, par exemple non seulement le facteur K est très faible (0,02) mais il diminue à mesure que les gravillons se concentrent dans l'horizon superficiel.



Si l'équation de prévision de l'érosion semble s'appliquer correctement à ces sols à argile dominante kaolinitique, les plus répandus et les plus cultivés en Afrique de l'Ouest, il faut être très prudent en ce qui concerne les sols à argiles gonflantes (sols bruns, vertisols, etc...). Les travaux de l'équipe de Heusch (1971) au Maroc montrent que les vertisols sur les marnes du Rif réagissent très différemment.

### 3.4. Le facteur topographique : SL.

Tous les auteurs s'accordent pour reconnaître le rôle important que joue la pente dans le développement de l'érosion encore que celle-ci puisse démarrer sur des pentes inférieures à 2 % (FOURNIER, 1967). DULEY et HAYS (1932) ; NEAL (1938) ; BORST et WOODBURN (1949) et ZINGG (1940) ont montré que les pertes en terre croissent de façon exponentielle avec l'inclinaison de la pente (exposant  $\pm 1,4$ ); WISCHMEIER et SMITH (1960) ont trouvé qu'une équation du second degré s'ajuste mieux qu'une fonction logarithmique.

L'influence de la longueur de la pente est beaucoup moins nette. WISCHMEIER (1958) après avoir examiné 532 résultats annuels sur les parcelles d'érosion en conclut que les relations entre l'érosion et la longueur de pente varient plus d'une année à l'autre que d'un endroit à un autre : l'importance de l'exposant (0,1 à 0,9) est fort influencé par l'évolution du sol, la couverture végétale, l'utilisation des résidus de culture, etc... Finalement en 1956 un groupe de travail de l'Université de Purdue a décidé d'adopter pour l'usage courant sur le terrain l'exposant 0,5 pour exprimer l'influence de la longueur de la pente sur les pertes en terre.

L'équation (5) liant l'érosion à la pente s'écrit :

$$\text{facteur SL} = \frac{\sqrt{L}}{100} (0,76 + 0,53 S + 0,076 S^2) \quad (5)$$

où L est la longueur de la pente en pieds et S le % de la pente. Si on choisit une parcelle de 9 % de pente et de 72,6 pieds de long le facteur topographique SL est réduit à 1 .

A Adiopodoumé sur sol nu et en moyenne sur 5 ans, on a trouvé des résultats voisins de ceux de la courbe théorique de Wischmeier et Smith mais très variables d'une année à l'autre (ROOSE, 1973). Or il semble que de très faibles variations de pente (0,5 %) suffisent à entraîner des variations notables d'érosion et quelquefois de ruissellement. (voir tableau 6) (ROOSE, 1967, 1974).

Du point de vue scientifique c'est sûrement le point faible de cette équation de prévision de l'érosion car il est évident que l'érosion (et le ruissellement) évoluent de façon différente sur sols sableux et argileux, en fonction de la couverture végétale et peut-être du type de climat. Mais ce problème ne pourra être abordé qu'à l'aide de simulateur de pluie. En attendant d'avoir suffisamment de données on peut s'appuyer sur cette équation (5) qui donne satisfaction dans la plupart des cas pratiques.

Indiquons en passant que l'influence incertaine de la longueur de la pente sur les phénomènes d'érosion remet en question l'efficacité des techniques antiérosives du type des terrasses, banquettes et fossés de diversion (ROOSE, 1974), qui sont appliquées de façon aveugle sous des climats très variés.

### 3.5. Les techniques antiérosives : facteur P.

Les techniques antiérosives font partie des techniques agricoles modernes au même titre que la fertilisation, l'irrigation ou le travail du sol dans le cadre d'une agriculture intensive.

Seules les méthodes des bandes antiérosives et du mulching naturel ou artificiel ont pu faire l'objet d'études en parcelles : elles peuvent aider à résoudre certains problèmes de conservation du sol, de l'eau et des éléments nutritifs.

En alternant le long d'une pente, des bandes isohypses cultivées (20 à 50 m. de large) avec des bandes étroites (2 à 4m.) enherbées en permanence, on transforme rapidement le paysage en une succession de champs à faible pente séparés par des talus enherbés. Grâce au chevelu racinaire et aux nombreuses tiges des graminées, les bandes antiérosives épongent une bonne partie du ruissellement (10 à 60 % à Adiopodoumé) et provoquent le dépôt des terres érodées dans le champ situé en amont (70 à 90 % à Adiopodoumé) (ROOSE, BERTRAND ; 1971). Ainsi, on a pu observer en plusieurs points de Côte d'Ivoire des talus de 50 cm construits naturellement en 5 ans à la suite des atterrissements au niveau des bandes d'arrêt. En zone sahélienne où les graminées ont du mal à protéger le sol des premières pluies, DELWAULLE (1973) a montré sur grandes parcelles (4.000 m<sup>2</sup>) que des bourrelets de terre armés et des murettes en pierres sèches étaient légèrement plus efficaces que les bandes antiérosives.

Un mulch de paille de quelques centimètres d'épaisseur est aussi efficace qu'une forêt dense secondarisée de 30 m. de haut (ROOSE, 1974) pour absorber l'énergie cinétique des pluies et maintenir l'érosion (0,03 t/ha/an) et le ruissellement (0,5 %) dans des limites très acceptables. Etant donné la difficulté de se procurer les énormes masses végétales nécessaires pour couvrir les grandes plantations industrielles, on peut envisager soit de laisser le maximum de résidus de culture à la surface du sol soit d'utiliser les conditionneurs de sol.

En pulvérisant un mince film perméable d'un acétate de polyvinyl (Curasol chez Hoechst) à la dose de 60 gr/l/m<sup>2</sup> après le labour, on a réduit les pertes en terre de 40 à 90 % et le ruissellement de 25 à 55 % par rapport aux témoins. La pulvérisation de ce type de plastique perméable mêlée à des graines de graminées et des engrais complets est une technique d'avenir pour la protection antiérosive des zones industrielles décapées, des talus de route et des canaux. Cependant elle est trop chère encore pour l'agriculture ordinaire.

Tabl. 7 : Techniques antiérosives

<u>U.S.A.</u> (Wischmeier et Smith, 1965)	P
- labour isohypse	0,75
- labour et billonnage isohypse	0,50
- labour et bandes enherbées isohypse	0,25
<u>Afrique de l'Ouest</u> (Roose, 1973 ; Delwaulle, 1973)	
- billonnage isohypse cloisonné	0,20 à 0,10
- bandes antiérosives de 2 à 4m. de large	0,30 à 0,10
- mulch de paille	0,01
- Mulch Curasol (60 gr/l/m <sup>2</sup> )	0,50 à 0,20
- prairie temporaire	0,5 à 0,1
- bourrelets armés ou murettes en pierres sèches (dénivellées : 80 cm) + labour et binage isohypse et fertilisation équilibrée	0,1

Notons que les techniques biologiques (couverture maximum du sol grâce au semis hâtif et dense, usage d'engrais, travail correct du sol, mulch, plantes de couverture, rotation, etc...) sont bien plus efficaces que les techniques mécaniques (terrassement, divers) qui sont coûteuses à implanter et difficiles à entretenir : ces dernières sont cependant les plus développées dans les manuels de conservation du sol et préconisées la plupart du temps sans étude préalable d'adaptation (ROOSE, 71, 72, 73, 1974) .

#### 4. Conclusions

Un nombre relativement important de mesures de l'érosion en parcelles expérimentales ont été réalisées en Afrique de l'Ouest qui nous permettent aujourd'hui de critiquer et de mettre en pratique l'équation de prévision de l'érosion proposée par Wischmeier et Smith (1960).

Il convient de rappeler tout d'abord qu'elle vise la prévision de l'érosion en nappe et en rigole dans les zones de plaine à l'exclusion des zones montagneuses où domine l'énergie du ruissellement et l'érosion linéaire (ravine et rivière) et où les pluies ont des caractéristiques très différentes : elle n'aborde pas le problème du ruissellement ni celui des transports en solution.

En second lieu, cette équation empirique étant basée sur l'analyse statistique d'un grand nombre de résultats, il importe de disposer de nombreuses répétitions dans l'espace et surtout dans le temps (forte variabilité climatique) pour estimer localement la valeur des différents coefficients à utiliser.

Enfin, les données provenant de parcelles ou de bassins versants de surface très limitée, il peut se poser des problèmes d'échelle lorsqu'il s'agit de prévoir des valeurs régionales d'érosion ou encore de transports solides sur de vastes bassins versants concernés par des aménagements hydrauliques ou par l'envasement des barrages. De plus, l'équation néglige l'aspect qualitatif des matériaux érodés : or la richesse de bon nombre de sols tropicaux se trouve stockée dans les vingt premiers centimètres (surtout sous forêt) et l'érosion en nappe arrache sélectivement les colloïdes organiques et minéraux ainsi que les éléments nutritifs qui assurent la réserve chimique et hydrique du sol (ROOSE, 1967, 1968, 1973).

Ceci étant admis, il faut reconnaître non seulement l'utilité pratique de cette équation sur le terrain pour rationaliser l'aménagement de l'espace rural, mais aussi un intérêt scientifique certain pour définir l'influence relative de chacun des facteurs en cause. Cette équation répond donc bien à sa vocation qui est de fixer les techniques antiérosives à mettre en oeuvre dans chaque cas particulier de l'aménagement du territoire.

Sur le vieux continent africain, son utilisation nous semble parfaitement souhaitable et justifiée par une masse de résultats se rapportant aux sols et aux pentes les plus couramment cultivés en Afrique de l'Ouest.

L'indice d'agressivité tient fort bien compte des interactions de la hauteur, de l'intensité et de la durée des pluies sur les transports solides ; il pourrait cependant lui être ajouté un indice d'humidité du sol exprimant l'état de ce dernier avant la pluie. Le dépouillement fastidieux de milliers de pluviogrammes nous a permis de présenter une première esquisse de la répartition spatiale de l'indice d'agressivité annuel moyen et de constater qu'en dehors de la frange côtière et des zones montagneuses les pluies ont des caractéristiques (hauteur x intensité x fréquence) voisines sur des vastes régions de l'Afrique de l'Ouest. Cependant, il faut se poser la question de savoir s'il convient de fonder la lutte antiérosive sur l'agressivité moyenne des pluies ou sur les risques décennaux ou centennaux découlant des averses exceptionnelles.

La couverture du sol assurée par les végétaux (et les cailloux) a une importance qui l'emporte sur celle de tous les autres facteurs conditionnant l'érosion. L'architecture des plantes ainsi que les techniques culturales ne jouent qu'un rôle secondaire une fois que le sol est couvert à 90 % ; cependant les techniques culturales peuvent intervenir durant la phase de croissance des végétaux. L'indice C permet par ailleurs de sélectionner les techniques et les plantes les mieux adaptées aux conditions écologiques locales.

Contrairement à une opinion largement répandue parmi les agronomes, les sols ferrallitiques et dans une moindre mesure les sols ferrugineux tropicaux, surtout s'ils sont gravillonnaires, semblent moins fragiles que bon nombre des sols lessivés des régions tempérées ; c'est l'agressivité particulière des pluies tropicales qui entraîne les dégâts impressionnants que l'on observe en zone tropicale. Le nomographe proposé en 1971 par Wischmeier et all. permettant d'estimer rapidement l'indice de résistance des sols à l'érosion semble applicable à condition toutefois de lui ajouter un coefficient modérateur tenant compte des gravillons ou débris de roches présents dans l'horizon labouré.

Enfin, il semble qu'il faille porter une attention particulière aux sols riches en argiles gonflantes tels les vertisols et sols bruns tropicaux qui ont un comportement très spécifique.

Le facteur topographique et en particulier la longueur de la pente constitue certainement le point faible de cette équation puisqu'il devrait varier avec le type de sol, de texture et de couverture végétale. Mais en attendant de rassembler suffisamment de données sous pluie naturelle ou simulée, il peut être utilisé dans la plupart des

cas pratiques. Notons cependant l'importance de cette réserve pour le choix des techniques antiérosives qui font souvent appel à la limitation de la longueur de la pente.

En conséquence, les techniques antiérosives du type biologique, c'est-à-dire favorisant la couverture du sol, sont à la fois les plus efficaces, les moins onéreuses et les mieux adaptées aux conditions des plaines et plateaux largement ondulés du vieux continent africain.

En conclusion, on ne peut attribuer le terme d'universel à l'équation de Wischmeier et Smith puisqu'elle ne s'applique ni aux sols à argiles gonflantes, ni aux régions montagneuses à relief jeune où l'érosion linéaire et ravinante domine, ni aux zones sahariennes et méditerranéennes où la pluie exceptionnelle a une importance décisive. Cependant cette équation de prévision de l'érosion nous semble bien adaptée à la majorité des terrains cultivés en Afrique de l'Ouest et en particulier aux pentes moyennes à faibles, sur sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux.

BIBLIOGRAPHIE

1. Atlas International de l'Ouest Africain.  
O.U.A., 42 planches, 11 pages + 15 p. + 23 p. + 10 p. + 1 p. + 5 p.
2. BERTRAND (R.) 1967 - Etude de l'érosion hydrique et de la conservation des eaux et du sol en pays Baoulé.  
Coll. sur la Fertilité des sols tropicaux. Tananarive 19-25/11/67.  
n° 106, p. 1281-1295, 9 réf. .
3. BIROT (Y.), GALABERT (J.), ROOSE (E.J.), ARRIVETS (J.) 1968 -  
Deuxième campagne d'observations sur la station de mesure de  
l'érosion de Gampela : 1968.  
Rapport multigr., C.T.F.T., 40 p. ; 27 tabl. ; 26 fig. .
4. BRUNET-MORET (Y.) 1963 - Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale : République de Haute-Volta.  
Rapport multigr., O.R.S.T.O.M., Comité Inter-Etats d'Etudes Hydrauliques ; 23 p., 16 graph., 2 tabl. .
5. BRUNET-MORET (Y.) - 1967 - Etude générale des averses exceptionnelles en Afrique Occidentale. République de Côte d'Ivoire.  
Rapport O.R.S.T.O.M. - Comité Interafricain d'Etudes Hydrauliques, multigr., juin 1967, 20 p., 11 graph. .
6. CHARREAU (C.) - 1969 - Influence des techniques culturales sur le développement du ruissellement et de l'érosion en Casamance.  
VII<sup>e</sup> Congrès International du Génie Rural. C.N.R.A., Bambey, 13 p., 10 réf. .
7. CHARREAU (C.), NICOU (R.) - 1970 - L'amélioration du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest-Africaine et ses incidences agronomiques.  
I.R.A.T., Bambey, 339 p.
8. CORMARY (Y.), MASSON (J.) - 1964 - Etude de conservation des eaux et du sol au Centre du Génie Rural de Tunisie.  
Application à un projet type de la formule de perte de sols de Wischmeier.  
Cah. ORSTOM, série Pédol. vol.2 n°3, p. 3-26.

9. C.T.F.T. - 1971 - Erosion, ruissellement et bilan de l'eau à Befandriana-Nord.  
C.T.F.T., Madagascar, multigr., 58 p. + annexes.
10. C.T.F.T./Haute-Volta - 1973 - Rapport de synthèse 1972.  
C.T.F.T./Ministère de l'Agriculture de Haute-Volta, Ouagadougou, 46 p. multigr., tabl., fig. .
11. DELWAULLE (J.C.) - 1973 - Résultats de six années d'observations sur l'érosion au Niger.  
Bois et Forêts des Tropiques, 150, pp 15-37.
12. DUMAS (J.) - 1965 - Relation entre l'érodibilité des sols et leurs caractéristiques analytiques.  
Cah. ORSTOM, sér. Pédol., 3, 4, pp 307-333.
13. FOURNIER (F.) - 1962 - Carte du danger d'érosion en Afrique au Sud du Sahara fondé sur l'agressivité climatique et la topographie.  
Notice explicative.  
CEE - CCTA, Paris, avril 1962, 11 p.
14. FOURNIER (F.) - 1967 - La recherche en érosion et conservation des sols sur le continent Africain.  
Sols africains, 12, 1, p. 5-53.
15. GALABERT (J.), MILLOGO (E.) - 1973 - Indice d'érosion de la pluie en Haute-Volta.  
C.T.F.T., Ouagadougou, 34 p. + annexes.
16. GERDAT - 1975 - Intensification de l'agrosystème en cultures associées dans le Centre de la Côte d'Ivoire.  
Bilan des résultats de la recherche.  
Rapport GERDAT (IEMVT - IRAT - IRCT), 55 p. multigr.
17. GOUJON (P.) - 1968 - Conservation des sols en Afrique et à Madagascar : 1ère Partie : les facteurs de l'érosion et l'équation universelle de Wischmeier.  
Bois et Forêts des Tropiques, n° 118, pp. 3-17.
18. HEUSCH, (B.) - 1970 - L'érosion du pré-Rif. Une étude quantitative de l'érosion hydraulique dans les collines marneuses du Pré-Rif occidental.  
(in : Annales de la Recherche Forestière au Maroc, Numéro spécial, Etudes sur l'érosion, 1970, t. 12, Rabat, pp. 9-176, 6 cartes, 21 fig., bibliogr.).



19. HUDSON (N.W.) - 1963 - An historical background of erosion and its control.  
Rhodesia Agric. Journal., Nov/Dec. 1963. Bulletin n° 2226., 4 p., 1 photo, 29 réf. .
20. JACKSON (S.P.) - 1961 - Atlas climatique de l'Afrique.  
CCTA/CSA, Lagos-Nairobi, 55 cartes.
21. KALMAN (R.) - 1967 - Le facteur climatique de l'érosion dans le bassin du SEBOU (Maroc).  
Projet SEBOU, 32 p. multigr. .
22. MASSON (J.M.) - 1971 - L'érosion des sols par l'eau en climat méditerranéen. Méthode expérimentale pour l'étude des quantités de terre érodée à l'échelle du champ.  
Thèse Doct.Ing. Univ. Sciences et Techniques du Languedoc. CNRS n° AO 5445, 213 p. .
23. NEAL (J.G.) - 1938 - The effect of the degree of slope and rainfall characteristics on runoff and soil erosion.  
Missouri Agr. Expt. Sta. Res. Bull. 280.
24. ROOSE (E.J.) - 1967 - Dix années de mesure de l'érosion et du ruissellement au Sénégal.  
Agron. Trop. 22, 2, pp. 123-152, 6 fig., 21 tabl., 28 réf. .
25. ROOSE (E.J.), BERTRAND (R.) - 1971 - Contribution à l'étude de la méthode des bandes d'arrêt pour lutter contre l'érosion hydrique en Afrique de l'Ouest.  
Résultats expérimentaux et observations sur le terrain.  
Agron. Trop. 26, 11, pp 1270-1283.
26. ROOSE (E.J.) - 1971 - Note technique concernant l'érosion hydrique au Maroc.  
Bull. de liaison des Ing. Forestiers du Maroc : n° 6 pp 47-52.
27. ROOSE (E.J.) - 1972 - Comparaison des causes de l'érosion et des principes de lutte antiérosive en région tropicale humide, tropicale sèche et méditerranéenne.  
Communication aux Journées d'Etude du Génie Rural à Florence du 12 au 16/9/72, pp 417-441.

28. ROOSE (E.) - 1972 - Contribution à l'étude de la résistance à l'érosion de quelques sols tropicaux.  
Rapport multigr., ORSTOM, Abidjan, 11 p., 3 tabl., fig., bibliogr.  
Communication au Congrès de Science du Sol de Moscou, 1974.
29. ROOSE (E.)/<sup>BERTRAND (R)</sup> - 1972 - Importance relative de l'érosion, du drainage oblique et vertical dans la pédogenèse actuelle d'un sol ferrallitique de moyenne Côte d'Ivoire.  
Résultats des campagnes 1967 à 1971.  
Rapport ORSTOM-IRAT, Abidjan, 94 p., multigr., tabl., fig., réf. .
30. ROOSE (E.J.) - 1973 - Natural mulch or a chemical soil conditioner for reducing soil erosion in humid tropical areas.  
Symposium "Uses of and experimental methods for Chemical Soil Conditioner" at the annual meeting of the Soil Science Society of America Las Vegas, Nevada, Nov. 11-16, 1973.
31. ROOSE (E.J.) - 1973 - Dix-sept années de mesures expérimentales de l'érosion et du ruissellement sur un sol ferrallitique sableux de basse Côte d'Ivoire. Contribution à l'étude de l'érosion hydrique en milieu intertropical.  
ORSTOM, Abidjan, 125 p., multigr., tabl., fig. 123 réf.. Thèse Doct. Ing., Fac. Sci. Abidjan, 1973, n° 20.
32. ROOSE (E.J.) - 1974 - Conséquences hydrologiques des aménagements antiérosifs.  
in XIII Journées de l'Hydraulique, question 3, rapport 10, 6 p., 2 tabl., 33 réf.
33. ROOSE (E.J.) - 1974 - Contribution à l'étude de l'influence de la sécheresse sur l'évolution actuelle de certains sols ferrugineux tropicaux en zone sahélienne.  
Rapport ORSTOM, Abidjan 18 p., multigr. .
34. ROOSE (E.J.), ARRIVETS (J.) et POULAIN (J.F.) - 1974 - Etude du ruissellement, du drainage et de l'érosion sur deux sols ferrugineux de la région Centre Haute-Volta. Bilan de trois années d'observation à la Station de Saria.  
Rapport ORSTOM/Abidjan - IRAT/Haute-Volta, 83 p., multigr.  
fig., tabl., 29 réf. .
35. SEGNER (I.), MORIN (J.), SHACHORI (A.) - Runoff and erosion studies in a mountainous terra-rossa region in Israël , pp 79-92, 5 tabl., 5 fig., 4 réf.  
Symposium de Bari.

36. SMITH (D.D.) and WISCHMEIER (W.H.) - 1962 - Rainfall erosion. Advances in Agron. 14 : pp. 109-148. Academic Press, Inc. New York, p. 109-148, 3 tabl., 4 fig., 155 réf.
37. VERNEY (R.), VOLKOFF (B.), WILLAIME (P.) - 1967 - Etude de l'érosion sur "Terres de Barre". Comparaison sol nu - jachère arbustive, Année 1965. Rapport ORSTOM, multigr., 14 p. .
38. WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.) - 1958 - Rainfall energy and its relationship to soil loss. Trans. Amer. Geophys. Union 39, pp 285-291.
39. WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.) - 1960 - A universal soil-loss estimating equation to guide conservation farm planning. 7th. Intern. Congr. Soil Science, vol I, pp 418-425.
40. WISCHMEIER (W.H.) - 1962 - Rainfall erosion potential. Geographic and location differences of distribution. Agricultural Engineering N° 43 pp 212-215 .
41. WISCHMEIER (W.H.), SMITH (D.D.) - 1965 - Predicting rainfall - erosion losses from cropland East of the Rocky Mountains. Guide for selection of practices for soil and water conservation. A.R.S. - U.S.D.A. Agriculture handbook N° 282, 47 p., 12 tabl., 21 fig., 28 réf.
42. WISCHMEIER (W.H.), JOHNSON (C.B.), CROSS (B.V.) - 1971 - A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. J. of Soil and Water Conservation, 26, 5 pp 189-192.
43. WOODRUFF (C.M.) - 1948 - Erosion in relation to rainfall, crop cover, and slop on a greenhouse plot. Soil Sci. Proc. N° 12 pp. 475.
44. ZINGG (A.W.) - 1940 - Degree and lenght of land slope as it affect soil loss and runoff. Ag. Eng., 21, pp 59-64.