

Peir.

L'érosion hydrique et le climat

par F. Fournier, Inspecteur Général de Recherches à l'Orstom

Le terme « érosion » provient du verbe latin « erodere » qui signifie ronger. Il évoque l'usure de la surface terrestre sous l'action des éléments météorologiques. Ce phénomène existe de façon permanente ; il débute dès que les roches émergent et se trouvent en contact avec l'atmosphère.

Les roches en effet se décomposent sous l'action d'agents atmosphériques : la température et la pluie. Les variations de température et d'humidité provoquent en elles des dilatations et des contractions, dues à des alternances de gel et de dégel ou à des variations de la teneur en eau. Elles déterminent ainsi leur désagrégation mécanique. L'eau de pluie, plus ou moins chargée de gaz carbonique et d'autres éléments en traversant l'atmosphère et la partie superficielle du sol, dissout une partie de leurs éléments minéraux et déclenche une série de phénomènes chimiques. Elle provoque alors l'altération chimique des roches. Par ces deux phénomènes les éléments rocheux se morcellent et sont réduits de volume jusqu'à la taille des sables, limons ou argiles.

De la matière organique, issue de la décomposition des végétaux, vient se mêler aux produits nés de la décomposition des roches. L'action de micro-organis-

mes s'exercent en eux. Ainsi naît le sol, couche la plus externe de l'écorce terrestre, située entre la roche non altérée et l'atmosphère et l'on constate immédiatement que le climat est à l'origine même de sa naissance.

Mais, tout en se formant, le sol s'expose inévitablement à l'action des agents atmosphériques. Or ceux-ci sont doués d'un pouvoir érosif : l'énergie cinétique des gouttes d'eau qui tombent confère aux pluies une capacité de détachement de particules terreuses ; le vent, selon un mécanisme complexe, met en mouvement des particules du sol. L'eau, lorsqu'elle ruisselle après sa chute, et le vent, dans son déplacement, entraînent les particules détachées et assurent leur transport à des distances plus ou moins grandes. Parmi les facteurs de l'érosion du sol, les facteurs climatiques constituent donc la cause du phénomène, au sens fondamental du terme, la nature du sol, la végétation et le relief venant seulement le conditionner. Il n'est pas étonnant, dans ces conditions, que le climat compose la base essentielle de comparaison de l'érosion du sol de régions à régions, alors que les autres facteurs interviennent beaucoup plus à un niveau local.

Le facteur causal de l'érosion du sol par l'eau : les précipitations atmosphériques

En tous lieux du globe où l'érosion du sol par l'eau se manifeste, les précipitations atmosphériques constituent l'agent causal et le facteur prépondérant de ce phénomène. L'étude de leur action nécessite celle des relations entre leurs caractères (hauteur, intensité, fréquence), le ruissellement et l'érosion.

I. — INFLUENCE DE LA HAUTEUR DES PLUIES

Les différentes régions du globe présentent une gamme de pluviosités extrêmement étendue et l'on peut s'interroger sur l'existence de liaisons entre la hauteur des pluies et l'érosion. Toutes les recherches effectuées ont démontré qu'elles sont très fréquemment inexistantes ou, tout au moins, que la hauteur des pluies, considérée isolément, ne constitue pas le caractère qui explique l'érosivité pluviale.

HUDSON l'a démontré à l'échelle annuelle à la Station de recherches de Mazoe (Rhodésie). Il n'existe aucune relation entre les valeurs annuelles de hauteur

de pluie, d'érosion et de ruissellement, aussi bien exprimé en % qu'en hauteur d'eau.

TABLEAU 1

Pluviosités, ruissellements et érosions enregistrés pendant 5 ans sous culture de maïs et « napier » en pente de 3 % ; 4,5 % ; 6 % : valeurs moyennes pour 6 parcelles

Saison des pluies	P mm	Erosion t/ha	Ruissellement	
			mm	%
1953-54 ...	917,2	5,12	91,18	9,94
1954-55 ...	1 129,8	1,23	56,86	5,03
1955-56 ...	907,8	3,44	49,53	5,46
1956-57 ...	962,2	5,72	71,37	7,42
1957-58 ...	696,5	3,36	51,56	7,41

O. R. S. T. O. M.

27 JAN. 1970

Collection de Référence
no 3696

La hauteur des pluies individuelles étant un facteur ruissellement, on peut supposer, en l'absence de de la saturation du sol, donc de la naissance du relations pour de longues périodes, l'existence de relations à ce niveau.

Une expérience conduite au Centre de Recherches ORSTOM d'Adiopodoumé (Côte d'Ivoire) a démontré le contraire.

TABLEAU 2

Pertes en terre et ruissellements enregistrés pour une même classe de pluies en 1956 à Adiopodoumé, Centre ORSTOM (Côte d'Ivoire)

Date	P mm	p1		p2		p3		p4		p5		p6	
		E kg/ha	R %	E kg/ha	R %	E kg/ha	R %	E kg/ha	R %	E kg/ha	R %	E kg/ha	R %
12/6	33	789	36,5	1 188	31,7	940	35,8	808	26,9	168	20,9	14	2,2
23/6	32,1	2 197	44,9	3 751	47,9	4 189	44,2	1 782	41,2	890	35,1	33	1,6
3/7	33,6	448	33,4	1 022	32,8	927	38,1	552	31,7	200	26,4	19	3,8
5/7	33,1	411	8,4	458	7,9	437	7,9	169	6,8	137	5,6	6	1,7
23/10	35,9	1	0	118	9,9	332	9,3	33	0	2	0	2	0
6/12	32,8	3	0	182	29,5	3 694	40,3	20	0	73	0	22	0

p1 = semis de *Crotalaria usaramoensis*, à plat, le 7 mai.
 p2 = repiquage de manioc sur buttes, le 7 mai.
 p3 = parcelle maintenue dénudée par désherbage.
 p4 = semis de *Flemingia congesta*, à plat, le 7 mai.
 p5 = culture d'ananas en lignes isohypses, à plat.
 p6 = forêt secondaire.

Pour une même classe de pluies individuelles : 32 à 36 mm, en 6 conditions de milieu naturel, les pertes en terre sont extrêmement variables. Les parcelles p3 et p6 révèlent en particulier une absence totale de corrélation alors que les milieux ne varient pas au cours de l'année. Un autre caractère des précipitations doit donc intervenir pour expliquer l'érosion hydrique du sol.

II. — INFLUENCE DE L'INTENSITE DES PLUIES

1. Action des gouttes de pluie : le battage du sol.

Lorsqu'on considère le mécanisme de l'érosion hydrique, on constate que l'une des actions essentielles exercées par les précipitations atmosphériques consiste en la formation des éléments fins qui seront susceptibles d'être entraînés par l'eau. Les agrégats du sol en effet sont en général de dimensions trop grandes pour être facilement entraînés par le ruissellement, mais les gouttes de pluie, parce qu'elles sont douées d'une énergie cinétique, exercent, à leur point d'impact sur ces agrégats préalablement humectés, un effet mécanique. Elles détachent des particules fines de la surface des agrégats et les entraînent en

suspension en rebondissant après un choc élastique et en se fragmentant en multiples gouttelettes.

De remarquables photographies de ce phénomène existent, mais il a fallu près de 20 ans pour faire admettre communément qu'il constitue de loin la principale source en éléments terreux fins qui sont ensuite transportés par le ruissellement au cours du phénomène d'érosion.

HUDSON a fort bien démontré (Henderson Research Institute, Mazoe) le résultat de l'action des gouttes de pluie en comparant la réaction de trois milieux différents et contigus à l'action pluviale. Deux parcelles expérimentales ont été maintenues constamment dénudées par un désherbage à la main. Mais, à 10 cm au-dessus de l'une d'elle, une gaze a été tendue. Elle avait pour rôle d'absorber l'énergie cinétique des gouttes de pluie sans rien changer aux échanges hydriques entre l'atmosphère et le sol. En particulier, elle donnait au sol toute l'eau fournie par les pluies, mais déchargée de son énergie cinétique. Le troisième milieu était constitué d'une prairie dense de *Digitaria swazilandensis*.

Le tableau 3 fournit le résultat des mesures de ruissellement et d'érosion faites au cours de cette expérience.

TABLEAU 3

Etude du battage du sol, Henderson Research Institute, Rhodésie du Sud, 1953-56

Année	P mm	Mesures	Terre nue	Terre nue + gaze	Prairie dense de <i>Digitaria</i>
1953-54	917,2	E t/acre	61,5	0	2,9
1954-55	1 129,2	R % E t/acre	48 225,8	6 0,9	8 0,3
1955-56	907,8	R % E t/acre	41 60,1	1 2	2 0,1
Moyenne 1953-56	984,9	E t/acre	115,8	0,96	1,1

Ce tableau révèle combien le battage du sol par la pluie peut provoquer, en certaines conditions texturales, une obturation de la porosité en surface et, de ce fait, un accroissement de la hauteur d'eau ruisselée. La présence d'une gaze supprimant le battage, donc la transformation de l'état de surface, a réduit, dans l'expérience, le ruissellement de 8 à 40 fois par maintien de la perméabilité originelle. Parallèlement, le détachement de particules fines n'étant pas survenu sous gaze, l'érosion est devenue très minime par rapport à celle enregistrée sur terre nue.

Différents chercheurs ont essayé de mesurer au champ l'effet du battage du sol et le détachement des particules terreuses. Leurs résultats varient largement. Pour ELLISON (U.S.A.) une averse de 100 mm peut faire rejaillir plus de 300 tonnes de particules par hectare. Pour FREE (U.S.A.) une averse de 25 mm provoque le déplacement d'une quinzaine de tonnes par hectare. A la station IRHO de Niangoloko, en Haute Volta, 17 000 tonnes de terre par km² auraient été déplacés au cours de l'année 1957.

Quelle que soit leur valeur, ces résultats indiquent le sens du phénomène et toute l'importance de la masse d'éléments fins mis à la disposition du ruissellement par battage du sol.

2. Influence de l'intensité des pluies

Il est bien évident que, compte tenu de la détachabilité du sol, le détachement sera d'autant plus considérable que l'énergie cinétique des gouttes de pluie sera elle-même plus élevée. Celle-ci dépend de la taille et de la vitesse de chute des gouttes. Or cette taille et cette vitesse sont d'autant plus grandes que les pluies sont plus intenses. L'intensité des précipitations doit donc constituer un facteur de l'érosion plus important que leur hauteur.

Cette affirmation s'est confirmée partout où des recherches ont été entreprises à ce sujet et un exemple classique des résultats obtenus aux Etats-Unis est fourni par le tableau 4.

TABLEAU 4.

Influence de l'intensité des pluies sur l'érosion du sol. Classification de 183 pluies érosives en fonction de leur intensité pluviale (Zanesville, Ohio, 1934-42, sol nu)

Classes d'intensité pluviale (mm/h pendant les 5 minutes recevant le plus d'eau)	Nombre de pluies	Erosion moyenne par pluie (t/km ²)
0 - 25,4	40	375
25,4- 50,8	61	595
50,8- 76,2	40	1 178
76,2-101,6	19	1 144
101,6-127	13	3 424
127 -152,4	4	3 632
152,4-177,8	5	3 872
228,6-254	1	4 793

L'intensité pluviale ne règle pas seulement l'érosion. Elle règle également le ruissellement. Celui-ci se déclenche en effet lorsque le sol cesse d'absorber la totalité de la pluie. Or pour un sol donné (granulométrie, état structural, stabilité de la structure), la vitesse d'infiltration est en relation directe avec l'intensité de la pluie : il existe pour lui une intensité maxima admissible qui correspond à sa plus grande capacité d'absorption ou capacité limite. La pluie en excès est alors disponible pour le ruissellement.

3. Analyse de l'érosivité des pluies

Plusieurs chercheurs ont poussé plus loin l'analyse des phénomènes et l'étude de l'intensité pluviale et de ses effets. Tous ont rappelé que l'énergie cinétique des gouttes d'eau constitue le fondement de l'érosivité des pluies.

Une goutte d'eau de masse m et de vitesse v est douée d'une énergie cinétique s'exprimant par $1/2 mv^2$.

La masse est évaluée à partir du diamètre d'une goutte assimilée à une sphère. La dimension maxima est de l'ordre de 9 mm. Une goutte plus grosse éclate d'elle-même car la tension superficielle de l'eau est insuffisante pour la maintenir. Dans une atmosphère turbulente, le diamètre maximum ne dépasse généralement pas 5 à 6 mm.

La vitesse de chute d'une goutte dépend de sa masse, donc de son diamètre. Elle n'est pas constante pendant toute la chute : elle augmente pour atteindre une vitesse limite ou « vitesse terminale ».

Celle-ci est atteinte lorsque la distance parcourue dépasse 20 mètres. C'est donc le cas des pluies naturelles.

Etant donné ce qui vient d'être indiqué, l'énergie cinétique d'une pluie peut être calculée par la connaissance de la taille des gouttes d'eau, de leur quantité et de leur distribution par classes de taille dans la pluie.

Il a été observé que la répartition des gouttes de pluie par dimensions est variable selon les pluies et est liée à l'intensité pluviale.

On a essayé de caractériser la distribution des gouttes par tailles dans une pluie par le « diamètre médian » (désigné par D_{50}). C'est le diamètre pour lequel le volume total des gouttes de taille supérieure égale le volume total des gouttes de taille inférieure. En ce cas encore des relations ont été immédiatement trouvées entre diamètres médians et intensités de pluie.

En conséquence tous les chercheurs se sont finalement orientés vers la recherche de la relation générale existant entre l'intensité pluviale et l'énergie cinétique. C'est ainsi que SMITH et WISCHMEIER ont établi, pour développer leur équation universelle d'érosion, la relation suivante :

$$EC = 916 + 331 \log I$$

EC = énergie cinétique en pieds/tonnes par acre et par inch de pluie.

I = intensité pluviale en inches par heure.

Finalement l'importance primordiale de l'intensité pluviale comme facteur de l'érosion apparaît. Cependant, lorsqu'on effectue l'analyse fine de l'effet des pluies individuelles sur la perte en terre, on constate qu'il faut tenir compte d'un troisième caractère des précipitations : leur fréquence.

III. — INFLUENCE DE LA FREQUENCE DES PLUIES

En zone tropicale comme méditerranéenne, un caractère des précipitations est leur répétition à court terme pendant la saison des pluies : une répétition journalière des pluies est un fait commun.

Intuitivement, on conçoit quels phénomènes vont alors se produire. Le sol n'a pas le temps de se ressuyer entre deux averses, sa saturation est vite atteinte et les dernières pluies, quels que soient leurs caractères, ruissellent beaucoup plus qu'elles ne s'infiltreront. D'autre part le phénomène de détachement des particules fines du sol apparaît lorsque les agrégats sont recouverts d'un film d'eau.

Avec une grande fréquence des pluies, certaines d'entre elles, bien que moins hautes ou moins intenses que d'autres, peuvent donc présider à des ruissellements et à des érosions plus élevés. Le tableau 5 illustre ce phénomène.

TABLEAU 5

Effets de deux pluies successives au Lac Alaotra (Madagascar)

Date	Hauteur de la pluie (mm)	Durée de la pluie (min)	Erosion (t/ha)	Ruissellement (%)
23.12.1959	26	30	1	5,4
24.12.1959	24	90	3,3	39,4

La seconde pluie a ruisselé et érodé plus que la première, malgré son intensité moyenne trois fois moindre, car elle est tombée sur un sol rendu plus susceptible à l'attaque hydrique par la première pluie.

Conclusion

Lorsqu'on étudie les multiples facteurs d'un phénomène du milieu naturel et qu'on cherche à évaluer leurs relations avec lui, il est nécessaire tout d'abord de les considérer séparément les uns des autres et de déterminer l'action de chacun d'eux. Mais il est

bien évident que tous ces facteurs présentent des relations entre eux et qu'ils agissent d'autre part simultanément. On est donc conduit ultérieurement à une étude intégrée du phénomène et de ses facteurs.

C'est ainsi que, s'attachant à l'érosion hydrique des sols et se plaçant à une échelle locale, le Service de la Conservation du Sol des Etats-Unis a réussi à mettre au point une équation universelle dont le principe est applicable partout et qui a la forme :

$$A = R (K.L.S.C.P.).$$

Or, dans cette équation, R, ou index pluie (qui caractérise l'agressivité pluviale) est le seul facteur du second terme de l'équation qui ait une dimension pour le calcul de A, la perte en terre. Tous les autres facteurs (K = sol ; L = longueur de la pente ; S = inclinaison de la pente ; C = culture ; P = méthode de conservation du sol et de l'eau) sont exprimés par des rapports calculés à partir d'un témoin. Ceci montre bien que, toutes choses égales par ailleurs, l'érosion hydrique est proportionnelle à l'index pluie ;

que le climat est le facteur créateur du phénomène et que les autres facteurs ne font que le conditionner.

Par contre, dès qu'on abandonne l'échelle locale pour se placer à l'échelle régionale, l'influence des facteurs locaux de l'érosion disparaît et seule reste apparente l'influence des facteurs généraux. L'influence du climat devient alors largement dominante. Le climat seul, en effet, permet d'expliquer pourquoi, dans certaines régions du globe, est réalisée une conjoncture qui permet à l'érosion hydrique d'apparaître dans un très grand nombre de conditions topographiques, pédologiques ou de couvert végétal. Cette constatation est particulièrement sensible lorsqu'on compare les dégradations spécifiques des grands bassins fluviaux du globe. C'est par le biais des climats qu'ont pu être estimées les érosions subies par les continents de notre planète.