

LES FORMES ET TYPES D'ÉROSION DU SOL PAR L'EAU
EN AFRIQUE OCCIDENTALE FRANÇAISE

par F. Fouraier (1)

(Note présentée par M. Aubert)

Dans une précédente communication (2) ont été étudiés les facteurs de l'érosion du sol par l'eau en A. O. F. Leur action crée des phénomènes d'érosion qui s'extériorisent sous deux formes essentielles :

A) Le détachement et l'entraînement des particules constitutives du sol.

B) Le déplacement du sol en masse.

L'existence de ces deux formes résulte de l'existence de deux modes d'action de l'eau différents.

Dans le premier cas, elle agit uniquement sur la partie externe, c'est-à-dire superficielle du sol. Dans le second cas, son action s'étend à sa partie interne.

A) LE DÉTACHEMENT
ET L'ENTRAÎNEMENT DES PARTICULES CONSTITUTIVES DU SOL

Sous tous les climats du globe s'effectuent, lorsque la pluie tombe puis s'écoule, une attaque de la partie superficielle du sol et un transport d'éléments terreux, à plus ou moins grande distance. Cette forme d'érosion en revêtant divers aspects sévit avec vigueur en A. O. F. en zones non couvertes par la forêt dense.

1° *L'érosion par battage du sol.* — Le fait de transport est un caractère essentiel du phénomène d'érosion. Cependant la puissance d'attaque des précipitations atmosphériques en A. O. F., jointe à la susceptibilité élevée du milieu, provoque tout d'abord, en certaines conditions agronomiques, pédologiques et topographiques, le développement d'un processus dans lequel le fait de transport et d'ablation d'éléments terreux n'est pas prépondérant : l'érosion par battage du sol. Le transport des éléments fins est assez important pour que ce phénomène soit à classer parmi les types d'érosion. Il consiste en un détachement et une dispersion de particules du sol, suivis d'une ségrégation et d'un triage sur place de celles-ci. Les plus grosses (les sables) subsistent sur le lieu même de leur détachement

O. R. S. T. O. M. — Recherches de l'O. R. S. T. O. M.
(2) F. FOURAIER. — Les facteurs de l'érosion du sol par l'eau en Afrique occidentale française. C. R. Ac. Agr. Fr., 23 novembre 1955.

parce que non tractées. Les plus fines (éléments colloïdaux) ne sont déplacées qu'à très faible distance par le rebondissement des gouttes d'eau : l'absence d'un écoulement organisé ou l'arrêt par un « micro-relief » provoquent leur sédimentation presque immédiate.

La surface du sol prend alors l'aspect d'une marqueterie de plages de quelques dizaines à quelques centaines de centimètres carrés, les unes sableuses, les autres moins sableuses ou même argileuses.

Ce phénomène peut, à la longue, engendrer une certaine diminution de la fertilité du sol.

Les facteurs qui contribuent à son existence sont :

— des précipitations suffisamment intenses pour qu'elles créent un phénomène de détachement et de dispersion de particules terreuses mais insuffisamment volumineuses pour créer un ruissellement organisé;

— une faible résistance du sol. Elle peut-être due à une grande instabilité de la structure ou à une pulvérisation des horizons supérieurs du sol en culture mécanisée. C'est d'ailleurs en cette méthode culturale que s'observe fréquemment l'érosion par battage du sol;

— une subsistance d'une certaine perméabilité du sol, allant à l'encontre d'un ruissellement organisé;

— une pente topographique nulle ou très faible, défavorisant également le ruissellement;

— un micro-relief provoquant un arrêt presque immédiat des éléments déplacés. Ce dernier point revêt ici une importance particulière. Il est intéressant de noter en effet que l'érosion par battage du sol est particulièrement visible lors de cultures en billons ou en buttes. A Sefa (station de la C. G. O. T. en Casamance) ou Niangoloko (Station I. R. H. O. en Haute-Volta), il est fréquent d'observer en champs cultivés en billons placés sensiblement selon les courbes de niveau et parfois fermés, un aplanissement des billons avec remplissage des sillons intercalaires sans entraînement hors de ceux-ci. Ailleurs, au Dahomey par exemple, la culture en buttes sur topographie horizontale est considérée comme mesure conservatrice car les éléments terreux simplement déplacés et triés au pied des buttes sont récupérés chaque année lorsqu'on réforme celles-ci.

Il y a ici lutte contre le transport et la perte de terre, mais avec subsistance d'une érosion qui transforme *in situ* l'état superficiel du sol.

2° *L'érosion en nappes.* — Ce type d'érosion, classique, est observé en A. O. F., en zone non couverte par la forêt dense.

Il résulte d'un détachement, par la pluie et le ruissellement, d'éléments constitutifs du sol, particulièrement de ses éléments les plus fins, et d'un écoulement superficiel, relativement homogène dans l'espace, de l'eau tenant en suspension ou tractant les éléments terreux arrachés.

Le mélange d'eau et de terre s'écoule le long des pentes comme une nappe, et le sol se trouve décapé par couches successives.

Les facteurs de ce phénomène sont naturellement la grande intensité des précipitations et la faible résistance du sol. Sans insister sur eux, rappelons que l'intensité des précipitations atteint fréquemment des valeurs de l'ordre de 40 à 60 millimètres par heure. Elle peut dépasser 100 millimètres par heure. Les précipitations sont alors nanties d'une capacité de détachement élevée.

Le fait qui contribue à rendre l'érosion en nappes particulièrement ample en A. O. F. a été étudié dans notre précédente communication (1). Rappelons qu'il consiste en une obturation de la porosité du sol et un engorgement rapide de celui-ci provoquant une augmentation accentuée

(1) *Op. cit.*

du ruissellement qui, jointe à la forte intensité des précipitations, déclenche une érosion très élevée.

Ce phénomène est particulièrement remarquable à Séfa, en Casamance, en culture mécanisée. Il n'est pas rare d'y voir, en saison des pluies, la surface des champs disparaître sous une lame d'eau continue. On peut observer, après l'écroulement de celle-ci, le glaçage de surface qui a annihilé toute pénétration d'eau en profondeur. Cette érosion en nappes a été mesurée en ce lieu. Elle a atteint en 1955 les valeurs suivantes :

CULTURE	PENTE EN %	ÉROSION EN TONNES DE TERRE PAR KM ² ET PAR AN
Arachide.	1,3	1.494
Riz	1,3	610
Riz	2	2.712
Engrais vert	1,3	700
Engrais vert	1,6	1.429
Jachère	1,6	977

Il est visible qu'elle est évidemment influencée par la végétation : sur une même pente, il y a moins d'érosion sous jachère que sous engrais vert, sous riz que sous arachide. Ceci permet des conclusions quant à la conservation du sol.

Il est visible également que cette érosion se produit dès les pentes les plus faibles et ceci est un fait général en A. O. F. Elle atteint même en ces pentes, des valeurs catastrophiques. Cette dernière affirmation se vérifie par une comparaison avec le résultat de mesures faites en un lieu des États-Unis, ayant quelques similitudes climatiques et pédologiques avec Séfa, et où l'érosion est cataloguée comme grave (Watkinsville, État de Georgie). L'érosion sous arachide continue en pente de 3 p. 100 s'y chiffre annuellement par une perte en terre de 1.321 tonnes par kilomètre carré. Or Séfa dépasse cette valeur pour une pente moitié moins forte : 1.429 tonnes par kilomètre carré par an en pente de 1,3 p. 100.

Il faut, d'autre part, atteindre des pentes de 7 à 11 p. 100 pour voir à Watkinsville, l'érosion sous engrais vert se chiffrer par une perte en terre de 707 tonnes par kilomètre carré par an, valeur atteinte à Séfa (700 t/km /an) dès 1,3 p. 100 de pente. En pente de 3 p. 100, elle n'est plus, à Watkinsville que de 245 tonnes par kilomètre carré par an.

Cette simple comparaison montre l'ampleur du phénomène en A. O. F.

Il se décèle à la longue par la constatation d'une accumulation de particules fines au bas des pentes, comme à Séfa (Casamance); et surtout par l'augmentation du taux d'éléments grossiers à la surface du sol (accumulation de pierres) puisque ce sont surtout les éléments colloïdaux qui sont entraînés. Il est frappant à ce sujet de voir, en parcourant le Fouta-Djalon, le grand nombre de champs abandonnés parce que complètement dégradés par l'érosion en nappes et que l'on reconnaît parce qu'ils sont parsemés de tas de cailloux, cailloux entassés par les indigènes au fur et à mesure qu'ils semblaient envahir les champs.

Avant de passer à l'examen du type d'érosion suivant il nous semble indiqué de signaler ici l'attaque que peut subir la surface d'une cuirasse ferrugineuse mise à nu car elle se traduit également par un déplacement superficiel d'éléments. Mais les facteurs de celui-ci sont tout à fait autres que ceux de l'érosion en nappes classique. La température élevée de l'eau séjournant sur les bowé en saison des pluies, la décomposition de produits organiques donnant naissance à des acides humiques et une action bactérienne se conjuguent pour provoquer une réduction du ciment ferrugineux liant les gravillons. Celui-ci est alors plus facilement mis en solution.

Les gravillons libérés sont tractés par le ruissellement et s'accumulent en un autre point. Il peut se produire en outre un micro-abrupt au lieu de déchaussement des gravillons. La nappe d'eau, en ruisselant, peut l'attaquer par mouvements tourbillonnaires.

Ces phénomènes contribuent à une dégradation superficielle de la cuirasse ferrugineuse, mais très lente, car, dès que le phénomène d'oxydation renaît, les éléments déplacés se recimentent.

3° *L'érosion en nappes ravinantes.* — A l'érosion en nappes est fréquemment associé, en A. O. F., un type d'érosion de même ordre, mais cependant suffisamment caractérisé pour qu'il soit nécessaire de l'étudier séparément. C'est l'érosion en nappes ravinantes. Elle survient essentiellement en topographie peu marquée dans le sens latéral et dans des conditions d'imperméabilité du sol, selon le processus suivant :

Lorsqu'au cours de l'érosion en nappes, une lame d'eau s'écoule à la surface du sol, elle se dirige vers les moindres petites dépressions. Elle se rassemble dans les talwegs, aussi peu marqués soient-ils. Si une très faible perméabilité du sol ne permet pas l'infiltration de l'eau en ces points bas, celle-ci s'étale, en cas de pentes très peu marquées, en une nappe peu profonde — quelques centimètres — mais souvent large. Cette nappe s'écoule vers l'aval de la dépression et continue de s'écouler encore pendant quelques temps, alors que le ruissellement s'amenuise sur les versants. Elle s'incruste rapidement dans la surface topographique limitée latéralement par deux petits abrupts hauts de quelques centimètres : des « microversants ». Elle attaque alors latéralement la partie superficielle du sol. Le frottement des filets d'eau sur les parois latérales rugueuses de la nappe engendre en celle-ci des mouvements tourbillonnaires à puissance érosive certaine. On peut observer dans ce cas la naissance de « micromarmites » et une ablation de terre qui s'inscrit sur le sol par un festonnement des « microversants ». Il se produit d'autre part un phénomène beaucoup plus ample. Au cours de l'écoulement de la nappe, on peut observer un sapement à la base des « microversants ». A certains moments se produit un déséquilibre des éléments en surplomb. Une longue fente se produit alors dans le sol à 4 ou 5 centimètres du bord de la nappe et toute la partie comprise entre celle-ci et la fente s'effondre pour être immédiatement entraînée. Les « microversants » reculent et la nappe s'étend en largeur, largeur pouvant atteindre plusieurs mètres. Elle érode donc le sol par mouvement d'extension latérale. La partie superficielle du sol est littéralement tranchée sur une surface forcément limitée mais sur une hauteur de quelques centimètres.

Ce processus doit provoquer localement une érosion des plus élevées. Malheureusement nous n'en possédons encore aucune mesure. On peut cependant se rendre compte de l'étendue des dégâts qu'elle provoque par le simple calcul suivant. Supposons à Séfa, en Casamance, une nappe ravinante de 100 mètres de longueur, franchant le sol sur 2 centimètres d'épaisseur et sur 1 mètre de largeur à la suite de deux ou trois tornades répétées en une semaine : ceci signifie l'ablation de 2 centimètres de terre sur une superficie de 100 mètres carrés en une semaine. En faisant cette supposition nous sommes probablement d'ailleurs en-dessous de la vérité. Si l'on attribue d'autre part, à la terre enlevée par érosion en nappes en ce même lieu une densité de 1,6 l'ablation mesurée de 1494 tonnes par kilomètre carré par an sous arachide se traduit par la disparition annuelle de 0,9 millimètre de terre. Il faudra donc vingt-deux ans à l'érosion en nappes pour provoquer sur 100 mètres carrés le même effet que celui produit en une semaine par l'érosion en nappes ravinantes.

On comprend mieux en considérant le type d'érosion objet de ce paragraphe, comment un champ expérimental à Foulaya (Guinée) a pu perdre 70 centimètres de terre en sept ans.

L'existence de l'érosion en nappes ravinantes dépend, nous l'avons déjà dit, d'une topographie fort peu accentuée dans le sens latéral et

d'une imperméabilité du sol. Ce dernier point nous permet de définir trois milieux pédologiques africains où s'observe plus fréquemment ce type d'érosion :

— les régions où se réalisent une saturation du sol en surface et une oblitération de la porosité donc où se produit une diminution rapide de la perméabilité pendant les précipitations;

— les régions fortement érodées où un horizon inférieur du sol très argileux, est proche de la surface topographique;

— les régions cuirassées et érodées, où la cuirasse est également proche de la surface topographique.

En ces deux derniers cas, si l'horizon imperméable n'est pas entamé, l'eau s'étend en nappes ravinantes. Ceci particulièrement, est visible en régions cuirassées de Guinée française.

4° *L'érosion en rigoles.* — Les trois précédents types d'érosion cités sont souvent qualifiés de « pernicieuses » car difficiles à déceler avant qu'ils ne laissent sur le sol des traces manifestes de leur existence. Or, à ce moment, ils ont déjà accompli une œuvre destructrice importante.

Il n'en est pas de même des deux types d'érosion dont il va être maintenant question : érosion en rigoles et érosion en ravins.

L'érosion en rigoles consiste en un entraînement par l'eau des particules du sol, suivant de petits sillons qui s'inscrivent sur la surface topographique.

Souvent visible en nos régions à la suite d'une érosion en nappes, ce stade de l'érosion est extrêmement fugace en Afrique.

D'une part, la violence des précipitations qui surviennent après une saison sèche crée très rapidement une forme de ravin si le sol est entamé.

En région de savane ou pseudo-steppe, l'absence fréquente de pentes et les conditions pédologiques favorisent d'autre part souvent la subsistance continue d'une érosion en nappes ou nappes ravinantes.

L'érosion en rigoles ne semble exister en A. O. F. que :

— en région de fortes pentes. Nous l'avons observée à Dalaba en Guinée, sur une pente de 45°. Là, la prédominance, sur un mouvement d'enfoncement, d'un mouvement latéral de filets d'eau de volume et de vitesse aptes à les doter d'un pouvoir érosif, avait engendré un réseau de rigoles;

— à la faveur souvent, d'un obstacle, telle une pierre ou une touffe végétale. Cet obstacle, divisant un courant d'eau, peut provoquer la naissance d'un filet capable d'engendrer une rigole. Ce fait s'observe en savane, au début de la saison des pluies, autour des touffes d'imperata par exemple.

Mais si le sol est entaillé en A. O. F., il l'est beaucoup plus fréquemment par un ravin.

5° *L'érosion en ravins.* — L'érosion en ravins est une forme culminante des processus de destruction du sol. Elle résulte du creusement par l'eau dans le sol de chenaux d'écoulement. Ils ne sont fonctionnels que par intermittence mais alors leurs versants reculent, les talwegs tendent à s'abaisser, il peut même s'y produire un phénomène d'érosion remontante. Ils évoluent donc comme de véritables petites vallées. Il est complexe de lutter contre leur évolution.

Cette forme d'érosion est suffisamment connue pour qu'il soit inutile d'y insister plus longuement. Nous avons tenu simplement à noter son existence un peu partout en A. O. F. causée par la violence des précipitations et par l'apport brusque au sol puis par l'écoulement de volumes d'eau élevés.

B) LE DÉPLACEMENT DU SOL EN MASSE

A côté des types d'érosion relevant du détachement et de l'entraînement des particules terreuses par l'eau, il existe en A. O. F. des types

d'érosion qui se manifestent par un déplacement en masse du sol ou plus précisément d'une partie du sol.

Ils découlent de l'existence de milieux particuliers qui font que l'eau exerce son action autant, sinon plus, sur la partie interne du sol que sur sa surface. Cette action peut consister soit en un fait mécanique : elle est, dans ce cas, à l'origine des éboulements et de l'érosion par chenaux souterrains; soit en un fait de saturation : elle provoque alors une coulée boueuse ou une reptation du sol.

1° *Éboulements.* — Le premier des milieux où surviennent des mouvements de masse est celui caractérisé par la présence d'une cuirasse ferrugineuse à la surface du sol ou à faible profondeur. Nous avons signalé précédemment son attaque superficielle en saison des pluies. Il en est une autre plus proche d'un processus de morphogénèse.

Sans pouvoir nous étendre sur le problème de la formation des cuirasses, disons cependant qu'elles se plaquent sur les surfaces horizontales ou subhorizontales (pentes inférieures à 7 ou 8 %) d'un relief préexistant, surfaces favorables à leur mise en place. Elles se terminent donc latéralement à la partie supérieure des versants, surmontant en règle générale un horizon sous-jacent plus tendre. Ce dernier subit plus facilement, du fait de sa moindre résistance, l'érosion par la pluie et le ruissellement. Il est plus rapidement déblayé, laissant la cuirasse en surplomb. Il se produit alors un déséquilibre : la cuirasse se fragmente, par soutirage au vide, en gros blocs qui s'éboulent le long du versant.

Ce phénomène d'éboulement est général en Afrique, aussi bien sous forêt qu'ailleurs. C'est le processus normal de recul des versants couronnés d'un horizon durci surmontant des horizons plus facilement affouillables par l'eau. Par lui, la cuirasse ferrugineuse est attaquée en sa partie périphérique.

2° *Érosion par chenaux souterrains.* — Ce type d'érosion, très particulier, s'observe en A. O. F., uniquement en milieu cuirassé mais il existe dans d'autres milieux en d'autres régions du globe (certaines alluvions aux U. S. A. par exemple).

La mise en place des cuirasses est intimement liée au drainage du sol et plus précisément au mouvement latéral de la nappe phréatique.

On observe donc, en règle générale, un épaississement des cuirasses en bordure des zones planes sur lesquelles elles se sont formées. Au centre de ces zones elles sont beaucoup moins épaisses et indurées : il existe là un milieu saturé d'eau où s'effectue une forte altération de la roche.

Il se produit le phénomène suivant :

Dans la zone centrale des surfaces cuirassées existe un mouvement vertical descendant de l'eau. Elle tend à s'accumuler au-dessus de la roche saine, celle-ci étant, relativement, moins perméable que le sol. Elle s'écoule alors latéralement. Ce faisant, elle circule dans l'horizon de départ.

La cuirasse, lorsqu'elle s'épaissit et se durcit nettement, joue le rôle d'un toit peu perméable.

Il semble que, dans ces conditions, l'eau vraisemblablement en fonction de la topographie, emprunte une voie souterraine de circulation préférentielle où elle se rassemble et est capable d'établir un courant d'eau puis un cours d'eau par entraînement et déblayement d'une partie inférieure du sol. Ce petit cours d'eau va déboucher dans une vallée dont il devient tributaire.

Il se produit alors un soutirage au vide de la cuirasse, toit du cours d'eau qui s'effondre d'abord localement puis totalement avec le temps et la complexité d'éboulements à partir des points mis à jour. Le cours d'eau, auparavant souterrain, apparaît en surface. Il évolue ensuite par recul de ses versants selon le processus décrit pour le type d'érosion précédent.

Le phénomène cité ici s'observe très nettement sur les hauts plateaux

du Fouta-Djalou, où il contribue dans une large mesure au démentellement de la cuirasse et à la formation du relief.

3° *Coulées boueuses*. — Avec la coulée boueuse apparaît le fait de pénétration et de subsistance de l'eau dans une épaisseur de sol plus ou moins grande. C'est lorsque ce fait se produit en zones non couvertes par la forêt dense, et en pente, que survient le type d'érosion dont il est question ici.

Ces facteurs sont essentiellement la saturation du sol sur une certaine hauteur, au-dessus d'un horizon imperméable dont le plan supérieur devient comme lubrifié. Une masse de terre rendue moins cohérente par l'eau glisse alors en masse le long de la pente.

La preuve de ce phénomène peut être trouvée dans l'aspect de certains profils pédologiques dans lesquels on observe un mélange d'éléments de toutes tailles et non ordonnés, éléments étrangers au lieu de formation du profil étudié.

4° *Reptation du sol*. — Tout autre est le phénomène de reptation, bien qu'il ait également comme facteurs l'humidité du sol et une pente topographique accentuée. Il consiste en un déplacement en masse d'éléments terreux, mais par saccades. Il n'affecte qu'un horizon superficiel et généralement peu épais du sol.

Plus que le degré d'humidité, les variations de celle-ci semblent jouer ici un rôle prépondérant. Le processus de ce type d'érosion, bien que mal connu encore, paraît être le suivant.

Lorsque l'humidité varie à l'intérieur d'un horizon de sol, elle provoque des variations de volume de la masse terreuse : expansion lorsqu'elle augmente, rétraction lorsqu'elle diminue. Ces deux mouvements inverses amènent une élévation et un abaissement des éléments composant le sol. Or il a été observé que si le premier de ces deux mouvements est vertical, le second se fait en direction de l'aval de la pente topographique. Un déplacement s'effectue donc.

D'autre part il est probable que, pendant le déroulement de ce processus, les particules les plus fines subissent le plus aisément le mouvement de surrection. Les éléments grossiers cailloux, gravillons, etc... s'élèveront moins facilement. Il s'effectue ainsi, en même temps qu'un déplacement, un triage des éléments présents dans l'horizon affecté, les plus fins, après leurs mouvements ascendants puis descendants, s'entassant finalement sur les plus gros, beaucoup moins déplacés.

Ce phénomène est, peut-être, à l'origine de la formation de certaines lignes de pierres de direction parallèle à la topographie, visibles à l'intérieur de profils pédologiques en Afrique

Sa zone d'existence est, en A. O. F., surtout celle de la forêt dense. Celle-ci réalise en effet, par freinage du ruissellement et rétention de l'eau au sol, et parce qu'elle est située sur un relief plus accentué que celui sur lequel se trouvent la savane et la pseudo-steppe, les conditions favorables à une manifestation de l'érosion du sol sous forme de reptation.

Telles sont les formes et types d'érosion du sol en A. O. F. Leur répartition spatiale est commandée par l'existence de milieux naturels très différents, créant chacun des conditions plus propres à la manifestation de l'érosion sous l'un ou plusieurs des aspects étudiés ici.

Le détachement et l'entraînement par l'eau des particules constitutives du sol se produit surtout en zones de savane ou de pseudo-steppe. En celles-ci si un mouvement de masse se produit, il sera plus fréquemment coulée boueuse. Le milieu cuirassé est le lieu de prédilection des éboulements et de l'érosion par chenaux souterrains; le milieu de la forêt dense, celui des mouvements de masse, particulièrement celui de la reptation du sol.