

COMMUNAUTÉ ÉCONOMIQUE
EUROPÉENNE

EUROPEAN
ECONOMIC COMMUNITY



COMMISSION DE COOPÉRATION TECHNIQUE
EN AFRIQUE

COMMISSION FOR TECHNICAL COOPERATION
IN AFRICA

CARTE DU DANGER D'ÉROSION
EN AFRIQUE AU SUD DU SAHARA
fondé sur l'agressivité climatique et la topographie

NOTICE EXPLICATIVE

par

F. FOURNIER

Directeur de Bureau Interafricain des Sols

MAP OF EROSION DANGER
IN AFRICA SOUTH OF THE SAHARA
based on aggressiveness of climate and topography

EXPLANATORY NOTE

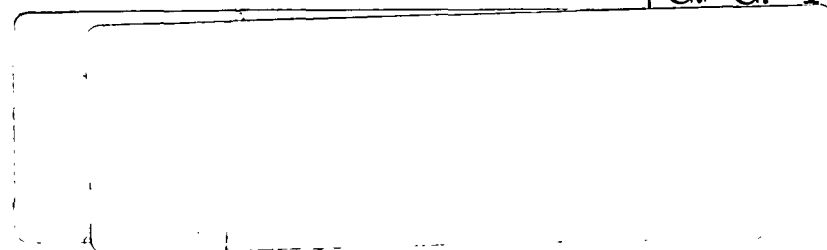
by

F. FOURNIER

Director of the Inter-African Bureau for Soils

C. E. E.

C. C. T. A.



2
2

1777-1811

54164. — Imprimerie LAHURE, Paris.

LE milieu tropical est l'un des milieux du globe où l'érosion du sol par l'eau atteint un développement et une intensité des plus élevés. Ce phénomène varie cependant dans l'espace : l'urgence de la mise en œuvre des moyens de le combattre, comme l'intérêt économique de cette lutte, ne sont pas partout les mêmes. Aussi, est-il essentiel de disposer de documents indiquant cette variation. Cette considération a conduit la Communauté Economique Européenne et la Commission de Coopération Technique en Afrique à publier conjointement, pour la plus grande partie de l'Afrique, une carte du danger d'érosion.

Pour cela, il fallait disposer d'une méthode de comparaison générale pour prévoir l'importance relative de l'érosion hydrique du sol.

La mesure directe du phénomène, effectuée partout par une même méthode, celle des parcelles expérimentales, constitue certainement la méthode de comparaison la plus sûre. Il est malheureusement impossible de la prendre en considération.

Lorsqu'on mesure en effet le résultat de l'action de la pluie et du ruissellement sur un champ de quelques centaines de mètres, on étudie le phénomène d'érosion du sol sur une petite surface seulement. Or, sur une petite surface, le milieu naturel ne varie pas. Les éléments qui le composent, inclinaison de la pente, nature du sol, végétation, etc., ont un caractère très précis. Ils possèdent, de ce fait, une capacité d'intervention bien déterminée dans le phénomène d'érosion du sol. Ils deviennent alors des facteurs locaux capables de perturber à un haut degré l'effet de facteurs plus généraux. Ce sont eux qui régissent le phénomène d'une manière prépondérante et c'est le résultat de l'influence précise qu'ils exercent, combinée à celle de la pluie, que reflètent les mesures effectuées.

Dans ces conditions, des relations générales significatives entre l'érosion du sol et ses différents facteurs ne peuvent être trouvées qu'à l'aide d'innombrables mesures. Il faudrait, pour dégager les relations sur lesquelles une comparaison générale pourrait être fondée, multiplier les parcelles expérimentales et répéter, sous des régimes pluviaux très différents, de nombreux milieux combinant le plus complètement possible, non seulement tous les facteurs de l'érosion du sol, mais aussi tous les caractères que ceux-ci peuvent prendre.

Malheureusement, rien de tel n'a été entrepris jusqu'alors en Afrique.

Il a fallu faire appel à une autre méthode de comparaison pour établir la carte désirée par la C.E.E. et la C.C.T.A. Elle a été trouvée dans les travaux de F. FOURNIER sur la relation entre le climat et l'érosion hydrique du sol. Ces travaux ont montré l'existence de corrélations entre climat, topographie et érosion au niveau des bassins fluviaux et ont permis de coordonner les observations faites dans les différentes parties du globe.

Le but recherché était précisément la création d'une méthode de comparaison générale pour prévoir l'importance relative de l'érosion hydrique et juger de l'urgence d'une conservation du sol.

L'examen critique des mesures d'érosion actuellement possédées a montré que les valeurs de dégradation spécifique des bassins fluviaux (transports solides effectués en suspension par les cours d'eau, exprimés en tonnes de terre entraînées par km² de bassin et par an) étaient les seules mesures du phénomène répondant aux nécessités de la recherche entreprise. Cette dégradation spécifique ne représente qu'une partie des éléments terreux entraînés par l'eau, puisqu'elle ne tient compte, ni du charriage, ni des éléments simplement déplacés et n'atteignant pas le lit des cours d'eau. On peut cependant admettre qu'il existe une certaine proportionnalité entre dégradation spécifique et poids total de terre arraché par l'érosion.

Parmi les données climatiques des éléments ont été trouvés, permettant l'interpolation des valeurs mesurant l'érosion. Après toute une série d'essais, l'existence de corrélations linéaires entre la dégradation spécifique de grands bassins fluviaux (superficie supérieure à 2.000 km²)

et le coefficient $C = \frac{p^2}{P}$ a été constatée. Dans ce coefficient, p représente la hauteur d'eau reçue par un bassin fluvial pendant le mois le plus arrosé de l'année, et P, la hauteur des précipitations annuelles reçues par le bassin fluvial, p et P étant calculés en fonction de la période de mesure du débit solide. Si les précipitations sont également réparties sur les 12 mois de l'année, $C = \frac{P}{144}$. Si, au contraire, toutes les précipitations de l'année tombent en un seul mois, $C = P$. En considérant la répartition des pluies dans l'année, on peut donc affecter le facteur P d'un coefficient variant de 1 à 1/144, ce coefficient constituant un indice d'intensité des précipitations.

Les corrélations obtenues se traduisent par quatre droites. Si l'on étudie la distribution des points expérimentaux autour de ces droites, on constate qu'elle est liée non seulement au climat mais aussi au relief des bassins fluviaux. Le modelé de celui-ci peut être évalué par le coefficient orographique $\frac{H^2}{S}$, H étant la hauteur moyenne du relief, exprimée en mètres, et $\frac{H}{S}$ son coefficient de massivité, S étant la surface projetée du bassin en km². Les valeurs de ce coefficient permettent de définir les types orographiques de bassins qui s'alignent autour de chaque droite de corrélation.

years by Soils Services working in Africa. This choice was motivated simply by the desire to aid Soil Scientists in their interpretation. Present knowledge of soil physics does not permit the establishment of a reliable scale of susceptibility of soils to erosion. Such a scale would enable conclusions to be drawn for specific localities.

Our project was conceivable at regional scale only, at the scale of the map presented, the identity of behaviour of each environment resulting above all from the climate by which it is characterized. If differences of susceptibility to erosion exist between environments at this scale, they may be due to differences of vegetation or soil, but these latter factors are themselves linked with differences of climate.

Thus the characteristics of climate and relief suffice to give an account of normal erosion.

The logical response to this question would be : by calculating $\frac{p^2}{P}$ and $\frac{H^2}{S}$ for the totality of the river catchments of the African Continent and by estimating corresponding soil losses. But this represents a considerable task comprising many hazards at the present time as an adequate meteorological network is still lacking in many regions.

Given the circumstances, another solution had to be found. As it happens, an easily applied method of interpolation exists. It is based on the following hypothesis :

$\frac{p^2}{P}$ is calculated after determining p and P from isohyet maps using a planometer. Specific degradation is then estimated by applying the four equations established, thereby taking into account the effect of topography. Now it is very probable that a similar result will be obtained :

1) by calculating $\frac{p^2}{P}$ for a great number of separate stations situated in different geographical environments, more precisely : in environments of little accentuated relief, in environments of accentuated relief, in humid or sub-humid environments, in semi-arid or arid environments;

2) by estimating, using the four equations, the amount of earth carried away annually per square kilometre at each point;

3) by drawing curves linking points of equal carrying away of soil. These curves mark the areas for which soil loss lies between two limit values.

This is the solution which has been adopted. The map of erosion danger in Africa South of the Sahara, published jointly by the E.E.C. and the C.C.T.A. therefore shows *the variation of normal erosion intensity throughout Africa* estimated as a function of its preponderant factors : amount of rainfall, distribution of rainfall, average altitude and massiveness of relief. Erosion is expressed in tons of earth swept away on the average per square kilometre per year.

To establish this map, 650 stations, for which mean rainfall data for ten years and over were available, were plotted on the outline map adopted by the C.C.T.A. for its cartographical projects (Africa drawn by equivalent zenithal meridian projection).

The reader may be surprised to find that vegetation and soil are not included among the factors affecting normal erosion. This is explained by the fact that the climatic coefficient used $\frac{p^2}{P}$ combines not only the erosive effect of rainfall but also its effect on vegetal cover and, perhaps, even on soil.

It was nevertheless chosen to reproduce the Soils Map of Africa on the present map. The Soils Map was established by Dr. J. D'HOORE, Director of the Inter-African Pedological Service of the C.C.T.A., using a great variety of documents kindly sent to him during the past ten

Le résultat final obtenu se traduit mathématiquement par les quatre équations suivantes

$$\left(D.S. = \text{dégradation spécifique en t/km}^2/\text{an}; C = \frac{p^2}{P} \right) :$$

$$D.S. = 6,14 C - 49,78.$$

Cette équation s'applique au milieu à relief peu accentué $\left(\frac{H^2}{S} < 6 \right)$ lorsque C est inférieur à 20. Elle est valable pour $C > 8,1$.

$$D.S. = 27,12 C - 475,4.$$

Cette équation s'applique au milieu à relief peu accentué $\left(\frac{H^2}{S} < 6 \right)$ lorsque C est supérieur à 20. Elle est valable pour $C > 17,5$.

$$D.S. = 52,49 C - 513,21.$$

Cette équation s'applique aux régions à relief accentué $\left(\frac{H^2}{S} > 6 \right)$ situées sous tout climat, sauf sous climat semi-aride. Elle est valable pour $C > 9,7$.

$$D.S. = 91,78 C - 737,62.$$

Cette équation s'applique aux régions à relief accentué $\left(\frac{H^2}{S} > 6 \right)$ situées sous climat semi-aride. Elle est valable pour $C > 8$.

Les quatre corrélations sont très hautement significatives.

Tous ces résultats ont été obtenus à partir de l'étude de grands bassins fluviaux. On a constaté que les corrélations établies restaient valables à l'échelle de petits bassins mais à la condition que le milieu naturel les composant permette l'entrée en jeu des facteurs généraux de l'érosion.

Une condition essentielle semble être la présence d'un manteau superficiel épais et continu de sols.

L'examen de champs expérimentaux a même permis de supposer qu'à cette échelle, le coefficient climatique établi pouvait encore rendre compte de la perte en terre, mais selon des modalités plus complexes.

La portée finale du résultat obtenu découle du type de donnée adopté comme mesure de l'érosion. En adoptant la dégradation spécifique des bassins fluviaux pour rechercher les relations possibles entre l'érosion hydrique du sol et ses facteurs prépondérants, c'est la perte en terre définitive de régions étendues qui a été prise en considération. Cette perte est la conséquence finale de la somme des actions qui se sont exercées sur ces régions. Il s'est produit, à coup sûr, des érosions accélérées en certains points, des atterrissements en d'autres points, mais finalement une certaine quantité de terre a été entraînée inéluctablement. Aussi y a-t-il de très grandes chances que les corrélations établies concernent *l'érosion normale* du globe. Cette hypothèse se confirme lorsqu'on constate que les données issues de parcelles expérimentales portant une végétation naturelle herbacée, donc éminemment protectrice, confirment les corrélations établies.

Etant donné la nature de l'instrument de comparaison disponible, comment établir une carte du danger d'érosion en Afrique ?

La réponse logique à cette question résidait dans le calcul de $\frac{p^2}{P}$ et $\frac{H^2}{S}$ pour la totalité des bassins fluviaux du continent africain et dans l'estimation des pertes en terre correspondantes. Or, ceci constitue un travail considérable et actuellement plein d'aléas car un réseau météorologique serré manque encore en bien des régions.

En cette condition, il était nécessaire de choisir une autre solution. Or, il existe une méthode d'interpolation facile à appliquer, fondée sur l'hypothèse suivante :

Le calcul de $\frac{p^2}{P}$ s'effectue en déterminant p et P par planimétrage de cartes d'isohyètes. L'estimation de la dégradation spécifique se fait ensuite par application des quatre équations établies, l'effet du relief étant alors pris en considération. Or, il est très probable qu'un résultat similaire soit atteint :

1° en calculant $\frac{p^2}{P}$ pour un grand nombre de stations individuelles placées en diverses situations géographiques, plus précisément : en milieu à relief peu accentué, en milieu à relief accentué, en milieu humide ou subhumide, en milieu semi-aride ou aride;

2° en estimant, à l'aide des quatre équations, le tonnage de terre entraîné par km² et par an en chaque point;

3° en traçant les courbes d'égal tonnage de terre entraîné. Elles délimitent des surfaces pour lesquelles l'entraînement de la terre se trouve compris entre deux valeurs extrêmes.

Cette solution est celle que nous avons adoptée. La carte du danger d'érosion en Afrique au Sud du Sahara, publiée conjointement par la C.E.E. et la C.C.T.A. présente donc *la variation, à travers le continent africain, de l'intensité de l'érosion normale*, telle qu'elle peut être estimée en fonction de ses facteurs prépondérants : hauteur des pluies, distribution des pluies, hauteur moyenne du relief, massivité du relief. L'érosion est exprimée en tonnes de terre arrachées en moyenne par km² de surface et par an.

Pour réaliser la carte, 650 stations, pour lesquelles on possédait des données pluviométriques moyennes portant sur dix années et plus, ont été placées sur le fond adopté par la C.C.T.A. pour ses travaux cartographiques (Afrique en projection zénithale méridienne équivalente).

On peut être surpris de ne pas voir figurer les facteurs végétation et sols parmi les facteurs rendant compte de l'érosion normale. Cela provient de ce que le coefficient climatique utilisé, $\frac{p^2}{P}$, intègre non seulement l'effet érosif des précipitations, mais aussi l'influence de celles-ci sur le couvert végétal et peut-être même sur les sols.

The final result obtained is mathematically expressed by the four following equations (D.S. = specific degradation in tons per square kilometre per year; $C = \frac{p^2}{P}$):

$$D.S. = 6.14 C - 49.78.$$

This equation is applied to environments of little accentuated relief ($\frac{H^2}{S} < 6$) when C is less than 20. It is valid for $C > 8.1$.

$$D.S. = 27.12 C - 475.4.$$

This equation is applied to environments of little accentuated relief ($\frac{H^2}{S} < 6$) when C is more than 20. It is valid for $C > 17.5$.

$$D.S. = 52.49 C - 513.21.$$

This equation is applied to regions of accentuated relief ($\frac{H^2}{S} > 6$) with any climate other than semi-arid. It is valid for $C > 9.7$.

$$D.S. = 91.78 C - 737.62.$$

This equation is applied to regions of accentuated relief ($\frac{H^2}{S} > 6$) with a semi-arid climate. It is valid for $C > 8$.

The four correlations are very highly significant.

All these results were obtained from a study of large river catchments. It was found that the correlations established remained valid at small catchment scale provided that the natural environment is such that the general factors of erosion come into play. An essential condition to their entry into play seems to be the presence of a thick continuous coating of soil.

A study of experimental plots even justifies the supposition that the climatic coefficient established will give soil loss at plot scale though this would involve a more complex method of calculation.

The final significance of the results obtained derives from the type of datum chosen as a measurement of erosion. In adopting specific degradation of river catchments as a means to finding the possible relationships between water erosion and its preponderant factors, it is definitive soil loss from extensive areas which has been considered. This loss is the final consequence of the sum of actions which have been exercised on the catchment areas. Doubtless, accelerated erosion will have taken place at certain points, and alluviation at others but, finally, a certain quantity of soil has been ineluctably carried away. Thus there is a great likelihood that the correlations established involve *normal erosion* at the Earth's surface. This hypothesis is corroborated by the fact that data obtained from experimental plots under natural herbaceous, and therefore highly protective, vegetation confirm the correlations established.

Given the nature of the available means of comparison, how is a map of erosion danger in Africa to be established ?

Thus another method of comparison had to be found in order to establish the map desired by the E.E.C. and the C.C.T.A. Such a method was found in F. FOURNIER's works on the relationship between climate and water erosion. These works demonstrate the existence of a correlation between climate, topography and erosion at river catchment scale and have enabled coordination of observations made in various parts of the world.

As it happens, these works sought to establish a general method of comparison in order to estimate the relative importance of water erosion and judge the urgency of soil conservation measures.

A critical study of presently available erosion measurements has shown that the values obtained for specific degradation of river catchments (solid load carried in suspension by streams and rivers and expressed in tons of earth washed away per square kilometre per year) are the only erosion measurements meeting the requirements of the research undertaken. This specific degradation only represents part of the soil elements carried away by water, as neither transportation along stream beds nor elements simply transported without attaining a stream bed are taken into account. Nevertheless, it can be taken for granted that a certain proportionality exists between specific degradation (as defined above) and total amount of earth swept away by erosion.

Among climatic data, some elements have been found which enable the interpolation of values for measuring erosion. After a whole series of experiments, the existence of linear correlations between the specific degradation of large river catchments (more than 2000 square kilometres in area) and the coefficient $C = \frac{P^2}{P}$ were observed. In this coefficient, p represents the amount of rain falling on a catchment during the wettest month of the year and P represents the annual rainfall of the catchment area, p and P being calculated in relation to the period of measurement of solid load. If rainfall is evenly distributed throughout the 12 months of the year, $C = \frac{P}{144}$. If, on the contrary, total annual rainfall falls in one month, $C = P$. Depending on rainfall distribution throughout the year, the factor P may be allotted a coefficient varying from 1 to 1/144. This coefficient constitutes an index of rainfall intensity.

The correlations obtained represent four straight lines. If the distribution of the experimental points around these straight lines is studied, it is found to be linked not only with the climate but also with the topography of the catchment area. The topography of the catchment is evaluated by the orographic coefficient $\frac{H^2}{S}$, H being the average height of surface relief in metres and $\frac{H}{S}$ its coefficient of massiveness, whilst S is the projected area of the catchment in square kilometres. The values of this coefficient enable definition of the orographic type of the catchments falling around each straight line of correlation.

Nous avons cependant choisi de placer en fond de carte la carte pédologique d'Afrique. Celle-ci a été établie par le docteur J. D'HOORE, directeur du Service Pédologique Interafricain de la C.C.T.A., à l'aide des documents de tous ordres que les Services des Sols œuvrant en Afrique ont bien voulu lui adresser au cours des dix dernières années. Ce choix ne vise simplement qu'à aider les pédologues dans leurs interprétations. L'état actuel des connaissances en physique des sols ne permet pas d'établir une échelle sûre de susceptibilité des sols à l'érosion, échelle qui aurait permis de tirer des conclusions au niveau local.

Nous ne pouvions raisonner qu'à l'échelle régionale et, à l'échelle de la carte présentée, l'identité du comportement de chaque milieu résulte avant tout du climat qui le caractérise. Si des différences de susceptibilité à l'érosion existent entre les milieux à cette échelle, elles peuvent être dues à des différences dans la végétation ou les sols, mais ces dernières sont alors liées elles-mêmes à des différences climatiques.

Les caractères du climat et du relief suffisent donc pour rendre compte de l'érosion normale.

AMONGST the earth's environments that of the tropics is one in which water erosion attains a very high degree of development and intensity. Nevertheless, the phenomenon varies in space : the urgency of implementing erosion control measures and the economic advantage to be gained from them are not everywhere the same. It is therefore essential to dispose of documents indicating the extent of such variation, and this consideration led the European Economic Community and the Commission for Technical Cooperation in Africa to publish jointly a map showing erosion danger for the greater part of Africa.

For this purpose, a general method of comparison was necessary in order to forecast the relative gravity of water erosion.

Direct measurement of erosion, effected everywhere by the same method, that of experimental plots, is certainly the best means of comparison. Unfortunately, it is out of the question in the present case.

When the result of the action of rainfall and run-off is measured on a field of some few hundred square metres, the phenomenon of erosion is studied for a small area only. Now, natural environment does not vary over a small area. The elements constituting a natural environment : degree of slope, type of soil, vegetation, etc., present very precise characteristics. For this reason, the extent of their intervention in the phenomenon of erosion can be precisely defined. They are local factors capable of affecting more general factors to a very considerable extent. In erosion, the influence of these local factors predominates, and the measurements obtained reflect the precise extent of their influence combined with that of rainfall.

Under these circumstances, significant general relationships between degree of erosion and the various factors of erosion can be established only after innumerable measurements have been taken. In order to find relationships providing a basis for general comparisons it would be necessary to multiply, under very different rainfall regimes, the number of experimental plots and the number of replications of numerous environments combining, as nearly as possible, not only all the factors of erosion but all the characteristics which these factors may present as well.

Unfortunately, such a task has not yet been undertaken in Africa.