

LA CARTOGRAPHIE DE L'ÉROSION EN ÉQUATEUR : INTÉRÊT DE L'APPROCHE DANS UN PROGRAMME DE CONSERVATION DES SOLS

Georges De Noni et Marc Viennot
ORSTOM-LCSC, Montpellier (France)

Résumé : ce texte relate l'apport de la cartographie de l'érosion dans un programme de conservation des sols, mettant en scène un petit pays de la frange pacifique de l'Amérique du Sud, l'Équateur, qui se distingue par la présence de fortes contraintes naturelles (cordillère des Andes) et par une croissance démographique forte depuis le début du siècle. Pendant très longtemps, la recherche a priorisé l'analyse fine des processus de fonctionnement du ruissellement et de l'érosion (m², parcelle, bassin-versant) au détriment de la dynamique spatiale à l'échelle du paysage ou du terroir, de la région voire du pays ce qui induit un certain nombre de problèmes concernant, en particulier, la représentativité géographique des situations étudiées ou le transfert des données à des échelles plus englobantes. Grâce aux méthodes modernes fournies par l'informatique à l'interprétation des images satellites et à la constitution de SIG, on redécouvre progressivement l'intérêt offert par la spatialisation, ou plus simplement par la cartographie pour caractériser le degré d'évolution des paysages. Bien que dans le cas de l'Équateur, le recours à ces méthodes soit resté localisé, la démarche employée est de même nature et démontre l'intérêt d'une telle approche, qu'elle soit totalement ou que partiellement automatique. Il a été ainsi possible sur la base d'une appréciation essentiellement qualitative des paysages érodés, où sont pris en compte des critères tels que les sols, les pentes, la végétation naturelle et cultivée, d'élaborer une carte à petite échelle des manifestations actuelles et potentielles (zones à risques) de l'érosion. Grâce à cette carte, il a été possible de classer les manifestations de l'érosion par grands types de paysages où ont été installés des sites pilotes expérimentaux ayant pour but d'évaluer et de tester des mesures anti-érosives significatives des problèmes locaux.

Mots-clés : érosion, ruissellement, lutte anti-érosive, cartographie, spatialisation, Équateur, Andes.

L'Equateur est situé sur la façade pacifique du continent sud-américain et couvre une superficie de 270.670 km², soit la moitié à peine du territoire français. Il s'étend de part et d'autre de la ligne équatoriale sur 1°25' de latitude au nord et sur 5° de latitude au sud.

Actuellement, et ce malgré les initiatives de l'état pour diversifier l'activité économique en l'orientant vers des secteurs tels que le tourisme, l'aquaculture ou la transformation des produits pétroliers, le pays reste néanmoins très dépendant des ressources issues de l'agriculture. Cette dépendance est encore plus présente aujourd'hui qu'hier du fait d'une croissance démographique rapide qui entretient une demande alimentaire forte. Depuis le début du siècle (INEC, 1991), la population de l'Equateur a été multipliée par dix et dépasse actuellement 10 millions d'habitants. Par exemple, dans la partie montagneuse et andine du pays, sur des versants compris entre 20 et 70 % de pente et peu humanisés il y a encore une trentaine d'années, on compte désormais des densités humaines de l'ordre de 80 à 200 habitants au km² (Delaunay, 1989).

Une situation évolutive de ce type impose de reconsidérer les relations "homme-milieu" et de s'interroger sur les modifications ou les dysfonctionnements qu'elle peut introduire dans la dynamique des processus qui régissent le fonctionnement de l'unité de paysage ou de terroir. Parmi les processus susceptibles de se développer ou de s'accélérer et de mettre en péril la durabilité de la ressource en sol, l'érosion constitue l'une des manifestations perturbantes majeures. C'est la raison pour laquelle l'ORSTOM a développé, à l'occasion d'un programme de coopération avec le Ministère de l'Agriculture de la république d'Equateur, une recherche sur l'érosion des sols. Ce programme a montré l'intérêt de pouvoir disposer, aux différents stades de l'étude, d'un support cartographique récapitulatif, à l'échelle du pays, les principales manifestations érosives actuelles ainsi que les zones où les risques d'extension des phénomènes sont élevés (De Noni, Viennot, Trujillo, 1986 et 1990)

1) INTERET D'UNE APPROCHE CARTOGRAPHIQUE DE L'EROSION DES SOLS

1.1) Remarques préliminaires

Le problème de l'érosion est aussi ancien que l'humanité. De tous temps, les sociétés se sont intéressées à ce phénomène qui peut provoquer des dégâts économiques importants voire des pertes humaines, en particulier en milieu agricole. Sans remonter aux premières recherches, on constate au cours des années passées l'évolution suivante au niveau des approches:

la décennie des années 60

Les hydrologues sont les premiers à s'intéresser aux flux d'eau et de matière et à mettre au point des méthodes de mesures qui sont menées sur des bassins-versants représentatifs et expérimentaux. En général, ces flux sont évalués par des prélèvements effectués à l'exutoire des bassins et englobent, sans distinguer l'origine des apports (milieu naturel ou milieu cultivé), l'ensemble des processus intervenant sur la zone d'impluvium.

la décennie des années 70

A la suite des études menées aux USA par Wischmeier et Smith (1978), pédologues et agro-pédologues s'investissent à leur tour sur cette thématique et proposent des approches localisées à l'échelle de la parcelle. On assiste alors au développement de réseaux de parcelles de ruissellement, de surfaces variables comprises entre 50 à 1000 m². (Roose, 1981 et 1994). L'accent est mis sur l'action érosive de la pluie (érosivité) et sur le comportement du sol à ce phénomène, dans des situations proches des conditions rencontrées sur le terrain soit en milieu naturel (érodibilité), soit en milieu cultivé (érodabilité).

la décennie des années 80

Au cours de cette décennie, le recours à la simulation de pluies se développe progressivement compte tenu que le suivi de l'érosion sur parcelles de ruissellement impose la mise en place d'un dispositif lourd en matériel, et nécessite plusieurs années d'observations pour apprécier les valeurs moyennes de la pluie. Cette technique apporte donc un gain de temps énorme en permettant de faire varier « à volonté », tout en les contrôlant, les paramètres majeurs de la pluie (hauteur, durée et intensité). Après quelques essais effectués avec de grands simulateurs ('par exemple simulateur de type "Swanson" qui couvre une surface de 200 m²), la tendance s'oriente vers la mise au point d'appareils plus

petits qui arrosent une mini-parcelle de 1 m^2 où sont effectuées toutes les mesures (Asseline, Valentin, 1978 et Roose, 1994).

De ces 3 périodes, il ressort que les approches, tout en restant focalisées sur la problématique des bilans de flux d'eau et de matière à l'interface sol-atmosphère, se sont orientées vers des échelles d'observations de plus en plus précises et ponctuelles. En effet, on est passé en quelques années de l'échelle kilométrique du bassin-versant à la micro-parcelle de 1 m^2 . En d'autres termes, la recherche a priorisé l'analyse fine des processus de fonctionnement au détriment de la dynamique spatiale à l'échelle du paysage ou du terroir, de la région voire du pays ce qui induit un certain nombre de problèmes concernant, par exemple, la représentativité des situations étudiées ou le transfert des données du m^2 à d'autres échelles.

Grâce aux moyens fournis par les logiciels informatiques, on redécouvre progressivement l'intérêt offert par la spatialisation, ou plus simplement la cartographie, pour appréhender une dynamique à des échelles plus englobantes. L'utilisation de ce support revient donc d'actualité et s'affirme comme une approche complémentaire et utile pour situer les études menées aux échelles fines dans un cadre géographique.

1.2) Le cas de l'Equateur

Malgré une superficie modeste par rapport à la plupart des grands états qui composent le continent latino-américain, l'Equateur se caractérise par une grande diversité d'unités morpho-structurales et de domaines morpho-climatiques due, en grande partie, à la présence de la cordillère des Andes. En effet, le pays est traversé dans sa totalité, du nord au sud, par la cordillère des Andes sur une distance de l'ordre de 600 km. Cette montagne, qui n'excède pas 100-120 km de largeur, a imposé, de par sa position au centre du pays, une division naturelle de l'espace en trois grandes régions :

- une façade côtière ("Costa") bordée par l'océan Pacifique, incluant, 1000 km plus au large, les îles Galápagos. La région se caractérise par une division méridienne de l'espace où l'on distingue 2 grands types de paysages : la grande plaine alluviale du Guayas flanquée contre la cordillère des Andes et à l'ouest de celle-ci, un ensemble de reliefs sédimentaires (collines et plateaux) où se sont développés des vertisols

dans les parties centre et sud, et des sols ferrallitiques au nord où le climat est très humide;

- à l'est, adossé également à la montagne, un vaste espace forestier appartenant au bassin amazonien ("Oriente"). Hormis la présence de quelques structures sédimentaires, faillées et plissées au contact des Andes, l'espace est dominé par un relief monotone de collines en forme de demie-orange. Sous un climat tropical humide typique, le substrat est très altéré et a évolué vers des sols ferrallitiques riches en kaolinite. Cette région, bien que représentant près de 50 % de la superficie du pays, est peu humanisée ;

- et entre ces deux ensembles, la région andine proprement dite ("Sierra") divisée en deux cordillères parallèles par une dépression méridienne. Cette région se distingue par la présence de hauts volcans qui ont émis de puissants dépôts pyroclastiques. Selon les zones affectées par ces dépôts, on distingue la Sierra pyroclastique, qui couvre le centre et le nord de la région et la Sierra volcano-sédimentaire qui englobe les paysages du Sud. Hormis cette partie méridionale qui n'a pas été atteinte par les cendres volcaniques et où prédominent les sols ferrallitiques d'altitude associés localement à des sols fersiallitiques et à des vertisols, l'ensemble de la Sierra est dominé par des andosols caractérisés par des stades d'évolution des minéraux allophaniques plus ou moins avancés en fonction de l'altitude et de l'âge des dépôts.

Considérant les caractéristiques physiques et humaines de ces trois régions, il était admis, au moment où se posait la question sur les conséquences de l'emprise de l'homme sur l'érosion des sols, qu'elles ne présentaient pas les mêmes degrés de sensibilité aux risques d'érosion des sols. Comparée à la Costa et à l'Oriente, la Sierra semblait offrir l'environnement le plus propice au développement d'une dynamique érosive active, du fait :

- d'une part de l'existence d'une composante naturelle, intrinsèque aux origines géologiques de la cordillère des Andes qui dresse au-dessus des deux autres régions bordières un immense bâti de haute montagne où le versant constitue l'unité de base des paysages,

- d'autre part du développement dans cette région d'une situation humaine particulière qui traduit les profondes transformations sociales qu'a connu le pays au cours de son histoire. La réforme agraire des années 60, poussée par une croissance démographique forte, est à

l'origine de cette évolution. Elle a provoqué, au cours des décennies qui suivent, un processus rapide d'extension d'une petite structure paysanne ("minifundio") sur les versants et les hautes terres andines.

Dans ce contexte, la tendance générale plaidait pour une intervention rapide dans la Sierra, axée sur quelques sites pilotes. Selon les avis, on évoquait, en fonction des grands types d'approches en vigueur, soit la mise en place d'appareils pour mesurer les phénomènes à l'échelle du bassin-versant ou de la parcelle soit alors directement la construction d'ouvrages conservatoires en milieu paysan. Une nouvelle fois, on passait à côté de l'évaluation globale du phénomène, risquant ainsi d'aller au devant de problèmes de représentativité des sites et de transfert d'échelles, scénario d'autant plus inéluctable en Equateur où la connaissance de la situation érosive du pays était très fragmentaire. Compte tenu de ces appréciations et des contraintes qu'elles soulignaient, il fut décidé, finalement, d'adopter une démarche progressive qui partirait du « général » (évaluation spatiale de l'érosion) pour aller au « particulier » (fonctionnement des processus à l'échelle de la parcelle). En conséquence, l'évaluation spatiale précéderait l'intervention au niveau parcelle et avait pour objectif de répondre aux questions suivantes :

- les modifications introduites par l'homme sur le milieu se traduisent-elles concrètement sur le terrain par une érosion significative ? Si oui, quelle est son importance spatiale et quelle est la part prise par la Sierra dans cette situation ? ;
- Quelles sont les manifestations d'érosion et parmi celles-ci quelles sont les manifestations prédominantes ?
- quelles sont, en fonction du poids respectif des facteurs naturels et des facteurs humains dans cette dynamique, les zones où les risques érosifs sont élevés ?
- enfin, quelle est la typologie et la hiérarchie des paysages dans une échelle de gravité des phénomènes ?

Pour effectuer une évaluation de la situation érosive et pouvoir ainsi répondre à ces questions , il fut décidé d'avoir recours à l'outil de spatialisation et d'établir à cet effet une cartographie de l'érosion en Equateur (De Noni, Viennot, 1990).

2) LA CARTOGRAPHIE DE L'ÉROSION DES SOLS EN EQUATEUR

2.1) Les critères retenus

La cartographie a donc porté sur les manifestations prédominantes de l'érosion, à l'échelle de tout le pays. Les échelles d'origine furent le 1/500.000 et le 1/1000.000, les résultats sont présentés ici à l'échelle de 1/4.000.000 ce qui a permis d'inclure l'ensemble des zones cartographiées dans un format A4, tout en préservant le contenu des informations essentielles.

A petite échelle, au niveau de la région ou de la nation, il existe peu de références bibliographiques pouvant servir de base cartographique pour l'établissement d'une légende concernant l'érosion des sols. Globalement, deux grands types de données sont utilisés :

- des données qualitatives fondées sur une appréciation géographique des paysages érodés où sont pris en compte des critères tels que les sols, les pentes ou la végétation. On trouve à ce sujet quelques références utiles dans le cahier ORSTOM des Sciences Humaines de 1972 (en particulier les articles de Avenard, Bonvallot et de La Souchère) ainsi que dans les essais de cartographie proposés par J. Ricquet (1982), l'équipe de J. Tricart (1962, 1978), la F.A.O. (1980) et le laboratoire de géomorphologie expérimentale de De Ploey (1989) ;

- des données quantitatives qui se réfèrent dans la plupart des cas à des paramètres de caractérisation de la pluie, en particulier son intensité, et qui doivent être suffisamment abondantes pour permettre le tracé d'isolignes. C'est la cas, par exemple, de la carte des risques d'érosion de l'Afrique de l'Ouest dressée par E. Roose (1977) en utilisant l'indice d'agressivité climatique calculé d'après la formule de Wischmeier et Smith (1978, 81).

Cette seconde possibilité n'a pas été retenue par manque de données quantitatives fiables et significatives en Equateur. A ce propos, R. Lal (1988) souligne la difficulté d'utiliser des formules ou des modèles de prévision de l'érosion dans des régions où la liste des données disponibles est incomplète et où en outre, les conditions du milieu sont très diversifiées comme en Equateur. Lal donne, en exemple, une cartographie de l'érosion en Amérique latine obtenue en utilisant trois formules de prédiction de l'érosion proposées respectivement par :

l'UNESCO, Fournier et Strakhov. En procédant de la sorte, Lal aboutit à la réalisation de trois cartes différentes qui illustrent les difficultés de spatialiser par ce biais l'intensité des manifestations de l'érosion.

L'approche qualitative a donc été retenue, d'autant plus qu'il existait en Equateur des cartes thématiques sur l'environnement physique et humain du pays dont les informations constituaient, à priori, un apport appréciable pour la réalisation d'un document de ce type. En effet, une première équipe ORSTOM avait réalisé entre 1974 et 1982, en partenariat également avec le Ministère équatorien de l'Agriculture, un inventaire cartographique des ressources naturelles de tout le pays. Il existait donc :

- des cartes pédologiques et d'occupation des sols de la région andine (respectivement Colmet-Daage-Zebrowski et Gondard, 1975-83) réalisées aux échelles de 1/50.000 et 1/200.000,
- sur les mêmes thèmes, des cartes, à l'échelle de 1/200.000, des paysages de la région côtière (Winckell, Zebrowski, 1975-1983),
- enfin, des cartes morpho-pédologiques à 1/500.000 de la région amazonienne (Custode, Sourdat, 1975-1983 et De Noni, 1980).

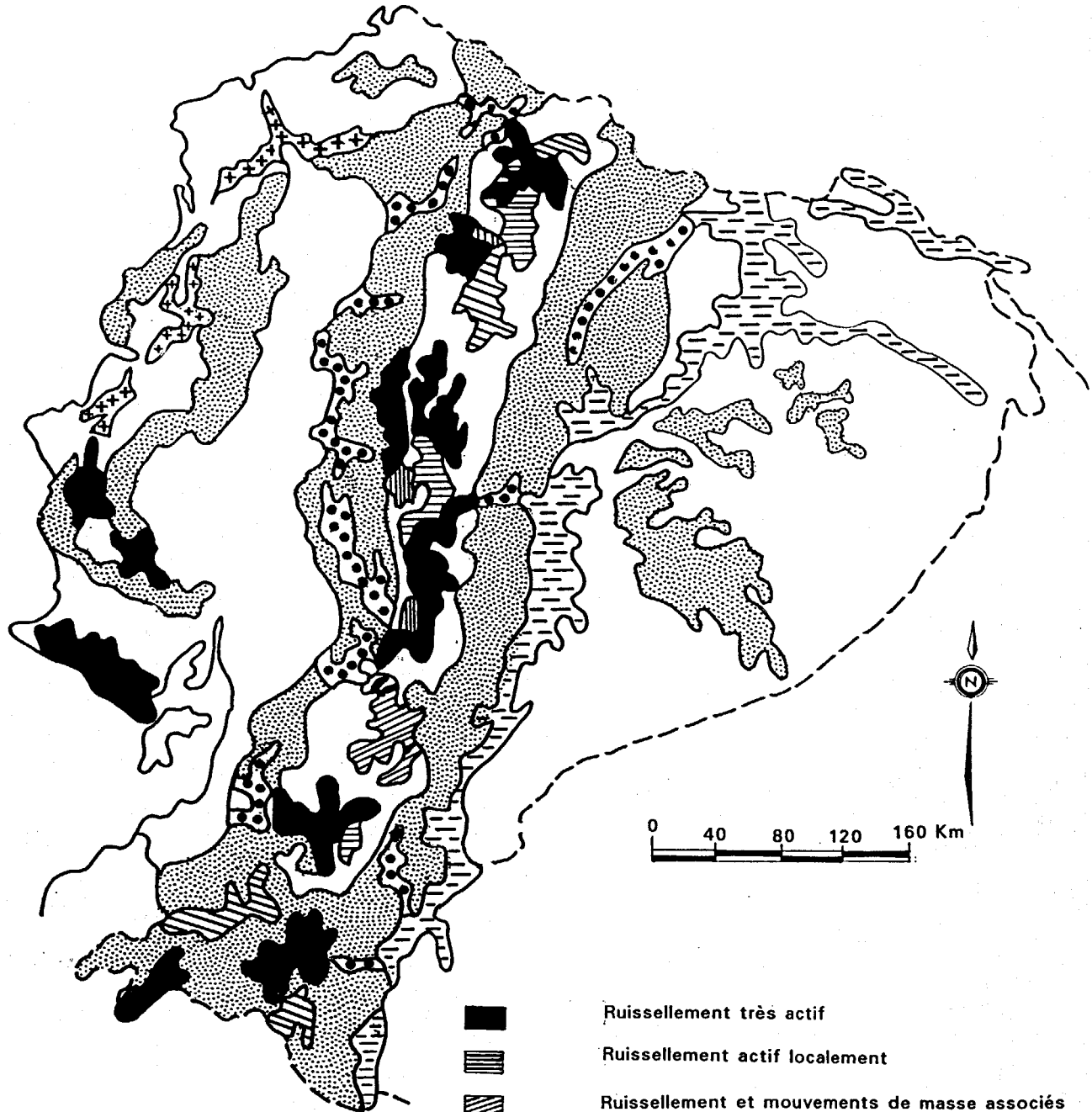
Il a été ainsi possible, en conjuguant reconnaissances de terrain et travaux de compilation cartographique, d'effectuer un zonage de l'espace en unités homogènes (Almeida, De Noni et al., 1984 et De Noni, Nouvelot, 1983). Dans la plupart des cas, les limites des cartes existantes ont été reprises et adaptées par rapport à la thématique érosion : par exemple, on a associé et regroupé dans une même unité les reliefs dont les pentes sont supérieures à 25% et les zones cultivées. Par la suite, toutes les unités accessibles par routes et par pistes ont été visitées ce qui a permis de vérifier cette première sélection et de préciser les manifestations de l'érosion. Pour une unité significative, on a choisi quelques parcelles types et réalisé un carroyage à larges mailles (5 x 5 m ou 10 x 10 m selon les cas) ce qui a permis d'identifier le type de manifestation et son importance spatiale.











2.2) Les résultats

On a pu ainsi élaborer un document (voir carte) qui permet d'apprécier :

- d'une part, l'extension et la localisation des zones affectées par l'érosion où on distingue 3 niveaux d'intensité des phénomènes : érosion actuelle active, zones potentiellement sensibles à l'érosion

Spatialisation des principaux processus d'érosion affectant l'Équateur.



-  Ruissellement très actif
-  Ruissellement actif localement
-  Ruissellement et mouvements de masse associés
-  Ruissellement et mouvements de masse associés actifs localement
-  Érosion éolienne
-  Mouvements de masse et gravité
-  Dégradation physico-chimique
-  Zones sensibles à l'érosion si la couverture végétale disparaît (processus indifférenciés)
-  Zones où progresse l'érosion en liaison avec l'extension des fronts de colonisation (processus indifférenciés)
-  Érosion faible ou absente

Source : Almeida, De Noni et al. 1984

(notion de risques) si la couverture végétale disparaît et zones sans érosion significative.

- et d'autre part, les types de manifestations érosives qui correspondent à ces niveaux d'intensité. Dans le cas de l'érosion actuelle active, plusieurs classes de manifestations érosives ont été identifiées et selon les cas, les classes retenues font intervenir soit un type de manifestation dominante soit une association de manifestations. On a ainsi établi la typologie suivante :

- ruissellement diffus et concentré,
- ruissellement et mouvements de masse associés.
- ruissellement et érosion éolienne associés,
- érosion éolienne,
- mouvements de masse,
- processus indifférenciés,
- dégradation physico-chimique.

Pour l'érosion potentielle, on n'a pas fait correspondre de subdivisions particulières. Les zones concernées se caractérisent par des conditions morpho-climatiques aux limites de l'équilibre morpho-dynamique. L'érosion est pour l'instant discrète, néanmoins, les défrichements de végétation, s'ils ne s'accompagnent pas d'une gestion adaptée des terres, pourraient provoquer une accélération rapide de l'érosion telle qu'elle se propage, localement, le long des fronts pionniers de colonisation (voir carte).

De l'examen de la carte et de sa légende, il ressort qu'on peut estimer, en cumulant les unités se référant à l'érosion actuelle active et celles concernant l'érosion potentielle, à un pourcentage de l'ordre de 60 % de la superficie de l'Equateur les zones affectées par ce problème. Une grande partie de celles-ci, les 2/3 environ, se situe dans la Sierra ce qui confirme bien la situation particulière de cette région par rapport à l'érosion. La superposition de la carte avec les cartes de pente, de densité de population et d'occupation des sols mentionnées au chapitre précédent, démontre sans ambiguïté les correspondances des zones les unes avec les autres. L'existence de surfaces appréciables de cangahua, qui est une formation volcanique indurée n'affleurant qu'après le décapage des horizons sus-jacents, est un indicateur de la dynamique actuelle des phénomènes dans cette région.

Ce document permet d'apprécier, en outre, que les manifestations dues au ruissellement occupent la surface la plus importante des terres agricoles de la Sierra. Elles affectent tous les types de sols, indifféremment de la présence ou non de dépôts pyroclastiques. Elles sont présentes tout au long de la Sierra, dans l'étage du maïs et des pâturages (1500-3000m) ainsi que sur les versants internes et les hautes terres, dans l'étage de la trilogie culturelle (orge, fève, pomme de terre). Enfin, on remarque qu'elles agissent en association, localement, avec des manifestations faisant intervenir le vent ou de petits mouvements de masse.

En conclusion, les résultats fournis par ce document se sont avérés très utiles dans la phase postérieure des recherches qui constituaient le point fort du programme. Celles-ci avaient pour but d'appréhender, à l'échelle de la parcelle et du terroir paysan, l'influence des pratiques culturelles sur la dynamique de l'eau et le comportement physique des sols, en conditions témoins et améliorées. Grâce à cette carte, il a été possible de classer les manifestations du ruissellement par types de paysages de la manière suivante :

- les paysages du bassin interandin, incluant Sierra pyroclastique et Sierra volcano-sédimentaire, où le maïs est la culture de référence et où les pentes ne dépassent pas 40 % de déclivité.
- les paysages des versants internes au bassin et des hautes terres où le milieu, indépendamment également de la présence ou de l'absence de dépôts volcaniques, est caractérisé par des pentes plus fortes (> à 40 %) et des agrosystèmes dominés par la trilogie culturelle, orge-fève-pomme de terre, associée à un élevage très extensif ;
- enfin les paysages des versants externes de la Sierra qui sont de tous les milieux les plus sensibles à l'érosion, mais aussi ce sont ceux qui offrent le moins de possibilités d'extension à l'agriculture du fait des difficultés d'exploitation des sols (fortes pentes et précipitations élevées). Les risques actuels sont surtout centrés le long des axes de communication qui traversent la chaîne, en particulier sur les zones de piémont qui sont les plus accessibles.

Des sites pilotes et expérimentaux ont pu ainsi être installés en fonction de ces types de paysage et leur représentativité justifiée grâce à l'existence de cette carte.

BIBLIOGRAPHIE

Almeida (G.), De Noni (G.), Nouvelot (J.F.), Trujillo (G.), Winckell (A.), 1984.- Los principales procesos erosivos en Ecuador, PRONAREG - PRONACOS - ORSTOM, Quito, 31p., avec une carte du pays (2 couleurs) à l'échelle de 1/1000.000.

Asseline (J.), Valentin (C.), 1978. - Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion, Cah. ORSTOM, sér. Hydrol., vol. XV, n°4, pp. 321-349.

Avenard (J.M.), 1972. Approche cartographique des formations superficielles dans la zone du contact forêt-savane en côte d'Ivoire, Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum., Vol. IX, n°2, Paris, pp. 137-140.

Bonvallet (J.), 1972. - Utilisation des courbes granulométriques pour la cartographie des phénomènes de dynamique actuelle, Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum., Vol. IX, n°2, Paris, pp. 141-146.

Colmet-Daage (F.) et al., 1979 et 1980. - Mapas de suelos de la Sierra ecuatoriana, 1/50 000, ozalid, 20 hojas norte, 20 hojas centro-norte, 20 hojas centro, 20 hojas centro-sur, 20 hojas sur, 13 hojas extremo sur, 13 p. leyenda, Quito, MAG-ORSTOM.

Comet-Daage, Zebrowski et al. y departamentos de edafología de PRONAREG 1983, 1985. - Mapas de suelos de la Sierra ecuatoriana, color, 1/200 000 : Tulcán, Ibarra, Quito, Latacunga-Ambato, Riobamba, Cañar, Cuenca, Loja, Zamora, Macará, Quito, MAG-ORSTOM

de la Souchère (P.), 1972. - Note sur les méthodes de photo-interprétation utilisées dans la cartographie pédologiques en Côte d'Ivoire, Cah. ORSTOM, sér. Sci. Hum., Vol. IX, n°2, Paris, pp. 147-159.

De Noni (G.), Guevara , 1980. - Reconocimiento cartográfico de la región amazónica ecuatoriana : Provincia del Pastaza, Département de

Géomorphologie et de Télédétection de PRONAREG - ORSTOM, Quito, 36 p. + une carte couleur à 1/500.000.

De Noni (G.), Nouvelot (J.F.), 1983. - Los principales procesos erosivos en Ecuador, Séminaire sur "Políticas sobre conservación de los recursos naturales renovables, en particular del recurso suelo", MAG - UNESCO, Quito, p. 48-59.

De Noni (G.), Viennot (M.), Trujillo (G.), 1986. - L'érosion et la conservation des sols en Equateur, cah. ORSTOM, sér. Pédologie, vol.XXII, n°2, Paris, p.235-245.

De Noni. (G.), 1986. - Breve historia de la erosión en el Ecuador, Documentos de investigación n°6, CEDIG-ORSTOM, Quito, p.15-23.

De Noni (G.), Viennot (M.), Trujillo (G.), 1990. - Mesures de l'érosion dans les Andes de Equateur, cah. ORSTOM, sér. Pédologie, vol.XXV, n° 1-2, Paris, p.183-196.

De Noni (G.), Viennot (M.). - 1990 - De l'approximation cartographique aux réalisations de terrain : la lutte contre l'érosion agricole dans les Andes équatoriennes. *in* "Les sociétés rurales de montagne (Andes et Himalaya)". Université de Grenoble - CNRS, p. 61-65 .

Delaunay. (D.), 1989. - Espacios demográficos y redes migratorias, Collection "Etudes de Géographie", Corporación Editora Nacional - Colegio de Geógrafos del Ecuador, Quito, p.71-98.

F.A.O., 1980. - Méthode provisoire pour l'évaluation de la dégradation des sols, ed. F.A.O., Rome, 88 p.

Gondard (P.) et al., 1975-1983. - Cartes d'utilisation actuelle des sols et des paysages végétaux de la Sierra, échelles 1/50.000 et 1/200.000, Département de Géographie de PRONAREG - ORSTOM, Quito.

INEC, 1991 : Recensement de population. Document préliminaire, Quito.

Lal (R.), Editor, 1988. - Soil erosion research methods, Soil and Water conservation Society (Ankeny,Iowa-USA) et Soil Conservation and Environment International Society of Soil Science (Wageningen, Pays-bas), 244 p.

Roose (E.), 1981. - Dynamique actuelle des sols ferrallitiques et ferrugineux tropicaux d'Afrique occidentale, Travaux et documents de l'ORSTOM, Paris, 569 p.

Roose (E.), 1994. - Introduction à la GCES, Bull. pédologique de la F.A.O, n°70, Rome, 420 p.

Sourdat (M.) y Custode (E.), 1983. - Mapa edafológico, escala 1/500 000 : Provincias del Napo, de Pastaza, de Morona-Santiago norte, de Morona-Santiago sur y Zamora Chinchipe, 4 hojas de colores. Quito, MAG-ORSTOM e I.G.M.

Tricart (J.), 1962. - L'épiderme de la terre. Esquisse d'une géomorphologie appliquée, Masson, Paris, 167 p.

Tricart (J.), 1978. - Géomorphologie applicable, Masson, Paris, 204 p.

Winckell (A.), Zebrowski (C.) et al., 1975-1983. - Cartes morpho-pédologiques et d'Aptitudes Agricoles de la Côte, 1/200.000, Département de Géomorphologie et de Télédétection de PRONAREG - ORSTOM, Quito.

Wischmeier (W.H.), Smith (D.D.), 1978. - Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning, Agriculture Handbook n° 537, Washington D.C., 58p.