

## GESTION DE LA RESSOURCE EN EAU. LE PROBLÈME DE L'ÉROSION DES TERRES

### WATER RESOURCE MANAGEMENT. THE SOIL EROSION PROBLEM

par Roger Fauck (\*)

#### RÉSUMÉ

La situation de l'érosion par ruissellement en France. Les facteurs de l'érosion par ruissellement à partir du devenir d'une averse exceptionnelle. Le ruissellement refus à l'infiltration et la modification par l'homme des conditions de l'infiltration, puis des écoulements. Faits récents d'érosion en France sur terres cultivées par grandes régions naturelles. Les modifications en cours des conditions de ruissellement liées à la dégradation de la stabilité des sols. Recommandations pour une meilleure gestion des ressources en eau pluviale.

**Mots clés :** érosion hydrique, facteur lié au site, zone méditerranéenne, région d'altitude, terre en pente, pratique culturale, France.

#### SUMMARY

*Presentation of soil erosion problems in France. Since about forty years more and more run-off erosion data have been recorded on the slope of hills and on plains. A geographical distribution of cases of soil erosion and an analysis of factors and process show the prominent situation of men's activities, agriculture and rural development. At first run-off is a non-infiltration of rainfalls into soils. Man alters the soil structure and the rate of permeability, in particular by heavy mechanization, then disturbs the surface waterways by modifications of land tenure, or by extension of bare fallows. An increase of the rate of run-offs on lands, a generalization of floodings in the lower parts of watersheds, inducing or not erosion problems, but at least increasing the erosion hazard in case of exceptionally heavy rains are the main results. Recommendations concern the management of atmospheric water resources by farmers and state developers.*

**Key words :** water erosion, site factors, mediterranean zone, highlands, sloping land, cultivation, France.

### 1. LES MÉCANISMES DE L'ÉROSION PAR RUISSÈLEMENT

L'érosion des terres par le ruissellement joue un rôle essentiel dans l'élaboration des modelés et de leur topographie. Il s'agit de l'érosion "normale", phénomène naturel à l'échelle de temps géologique. Dans certaines conditions, les ruissellements peuvent provoquer des érosions dites "accélérées". Ce fut le cas en 1935 aux États-Unis, où des dégâts catastrophiques par des ravinements sur des pentes inférieures à 10 % ont été interprétés comme la conséquence du développement anarchique d'une agriculture de plus en plus mécanisée.

(\*) Correspondant de l'Académie. Inspecteur général honoraire de l'ORSTOM, 1, quai Anatole-France, E 514, 27200 Vernon.  
C. R. Acad. Agric. Fr., 1994, 80, n° 4, pp. 3-14. Séance du 1<sup>er</sup> juin 1994.

ORSTOM Fonds Documentaire

N° 41.205 2x1

Cote : B M P

22 MARS 1995

Les ruissellements sont alimentés par les précipitations atmosphériques, pluie et neige, caractérisées par leur quantité annuelle et leur répartition dans le temps. Les eaux d'origine pluviale rejoignent les cours d'eau soit directement, soit avec retard, par des écoulements de surface, les ruissellements, et par des écoulements hypodermiques sur des couches imperméables à faible profondeur. Le reste de la ressource en eau recharge les réserves hydriques des sols et alimente soit l'évapotranspiration, soit les nappes profondes quand elles existent. Les ruissellements peuvent provoquer de l'érosion, normale ou accélérée, tandis que, de leur côté, les écoulements hypodermiques peuvent induire des glissements de terrain et créer des mouillères.

L'exemple suivant de J. **Jacquet** illustre le devenir d'une averse exceptionnelle, en octobre 1958, sur un bassin versant de 630 km<sup>2</sup>, situé dans le Gard, et ayant provoqué une crue exceptionnelle (17) :

Pluie totale en 12 heures :	153 mm	100 %
Écoulement à l'exutoire (crue et décrue) :	88 mm	57,6 %
Alimentation de la nappe (sources) :	21 mm	13,7 %
Recharge des réserves en eau des sols (ETP) :	44 mm	28,7 %

On constate que, dans ces conditions pluviométriques exceptionnelles, le taux du ruissellement a dû atteindre 57 % des précipitations, et même dépasser ce chiffre si l'on considère qu'une partie de l'eau d'infiltration a ruisselé un certain temps avant de pénétrer dans des horizons supérieurs des sols. En effet, tout ruissellement est la conséquence d'un refus à l'infiltration dans les sols et il y a refus quand l'intensité de la pluie dépasse, temporairement tout au moins, la vitesse de percolation dans les horizons supérieurs des profils. C'est le cas également quand les sols sont saturés par une succession de pluies ou quand ils sont gelés temporairement. Pour comprendre le devenir des averses tombant sur les surfaces de réception, il faut donc prendre en compte, outre les hauteurs de chute et la répartition dans le temps, le nombre de jours successifs de pluie et les intensités maximales exprimées en millimètres par minute. Les possibilités et les vitesses de la percolation dans les sols sont conditionnées par la différenciation en horizons, par les textures, par l'état poral et par la stabilité structurale des horizons de surface. Ces deux derniers critères sont susceptibles d'être affectés plus ou moins rapidement par les pratiques culturales. Ainsi, les labours et les passages d'engins de plus en plus lourds peuvent modifier énormément par tassement la porosité et la vitesse de l'infiltration, et donc induire du ruissellement ou l'accroître.

Après avoir modifié les conditions de l'infiltration au niveau des parcelles, l'homme peut également perturber les modalités des ruissellements induits, cette fois à l'échelle des bassins versants. C'est le cas lors de modifications du parcellaire, de l'élimination des haies par remembrement, de l'installation de couvertures végétales ou plus ouvertes ou plus fermées, du passage de la polyculture à la monoculture, de la diminution des surfaces en herbages. En augmentant les superficies imperméabilisées par des routes et par des constructions, l'homme modifie également la répartition des écoulements de surface dont il facilite la concentration.

Une fois installé, tout ruissellement va prendre de la vitesse en fonction du pourcentage et de la longueur des pentes, en fonction de l'existence ou non de causes de freinage, de l'état de la rugosité des sols, travaillés ou non, de la qualité du couvert végétal, de la présence de travaux antiérosifs. Il existe une vitesse, dite "érosive", où le ruissellement provoque le détachement des particules de terre, variable selon les types de sols (érodibilité). La disparition du couvert végétal à certaines périodes de l'année facilite l'effet de destruction des agrégats par l'impact mécanique des gouttes de pluie et libère donc des particules de terre disponibles pour un entraînement éventuel. La charge solide des eaux croît alors et la force d'ablation en est accrue exponentiellement, provoquant le passage à des ravinements.

Au bilan, les facteurs du risque d'érosion accélérée par ruissellement sont les pluies (l'érosivité), les types de sols (l'érodibilité), la topographie, le type de couvert végétal et, enfin, l'homme. Ce dernier peut perturber rapidement les équilibres naturels du cycle de l'eau pluviale, en modifiant le rapport infiltration/ruissellement et les modalités des écoulements.

## 2. LES FAITS D'ÉROSION PAR RUISSÈLEMENT EN MÉTROPOLE

En France, les risques théoriques d'érosion accélérée semblent faibles par comparaison avec la situation dans les régions tropicales. L'érosivité, c'est-à-dire l'agressivité climatique liée à l'intensité des pluies, est basse sauf certaines années orageuses dans le sud-est méditerranéen. L'érodibilité, les types de sols étant en majorité bien saturés en calcium, est généralement faible. Les topographies sont variées, mais, si on classe les modelés en trois catégories, plaines et plateaux, collines, reliefs montagneux, seuls ces derniers présentent de fortes pentes vulnérables au ruissellement. Malgré cela, on est surpris de recenser, depuis deux ou trois décennies, de plus en plus de cas d'érosion de terres cultivées sur les plaines et les plateaux et dans les régions collinaires (7, 9, 24, 40). Ce qui précède fait de suite penser à une modification des équilibres naturels par des activités humaines récentes.

### 2.1. Historique

L'action érosive des torrents a fait l'objet d'études dans les Alpes dès le début du dix-neuvième siècle, en vue de prendre des mesures contre les inondations et de protéger les ouvrages d'art. Les études et les travaux se sont surtout développés après 1860 sous la responsabilité de l'ingénieur **Surrell**. Aussi, en 1882, les besoins de la lutte contre l'érosion torrentielle ont conduit le législateur à créer le programme RCTM, restauration et conservation des terres en montagne. Le programme, arrêté en 1913, a consisté en actions de restauration dans des périmètres de l'État, d'où le nouveau nom de RTM. Il s'agissait, sous la responsabilité des services forestiers, d'actions de végétalisation, de corrections tor-

rentielles, parfois de limitation de la charge des pâturages. Environ 18 % des actions ont été réalisées en Haute-Provence sous climat méditerranéen. En fait, le RTM a eu surtout pour objectif le contrôle de l'érosion "normale", dite géologique, en vue de la protection des vallées. Les travaux se sont poursuivis après 1919, essentiellement dans le cadre de la régulation de la torrentialité.

L'existence d'une érosion sous cultures hors des montagnes avait été évoquée par des agronomes dès avant le dix-huitième siècle, mais il s'agissait de phénomènes ponctuels. À partir de 1764, des dégâts importants dans des cultures et de graves inondations sont signalés régulièrement en Limagne (4). Ils sont vite mis en liaison avec des défrichements de collines liés à la surpopulation et avec la forte augmentation des surfaces viticoles.

À partir de 1940, les forestiers français sont confrontés à des phénomènes d'érosion affectant cette fois de grandes superficies de terres cultivées. Il s'agit de l'Afrique du Nord, pays sous un climat méditerranéen à pluies d'hiver de forte intensité, aux pentes moyennes à fortes, aux sols fragiles souvent développés sur marnes. La forte occupation des terres conduit les forestiers à mettre au point une technique de banquettes, dites "algériennes", qui a fait partiellement ses preuves en freinant et en dérivant les ruissellements. Le programme, dit de DRS, Défense et Restauration des Sols, n'a pas eu d'équivalent en métropole où les conditions sont différentes, sauf dans les régions à climat méditerranéen, mais où il existait de bons réseaux de terrasses, dites "méditerranéennes", réalisées manuellement par une population nombreuse. De plus, la pression démographique y était en décroissance rapide, conséquence du dépeuplement des campagnes qui se poursuit encore de nos jours. Il faut noter que cet abandon des terres a conduit au non-entretien des terrasses et surtout de leurs fossés d'écoulement, et que, paradoxalement, il y a maintenant des cas d'érosion par éboulement sur des versants abandonnés par les hommes et surtout par le bétail.

En 1949, par circulaire adressée aux services départementaux, le ministère de l'Agriculture inventorie les cas d'érosion en métropole, puis évalue à quatre millions d'hectares, soit 10 % du total, les terres soumises au risque érosif. En 1950, **Hénin** et ses collaborateurs publient une note sur l'importance du risque érosif en France et, dès 1952, ils attirent l'attention sur des cas d'érosion dans les vignobles du Mâconnais et du Beaujolais (14, 15, 16). En 1954 débute l'étude des risques d'ensablement du barrage de Serre-Ponçon, avec établissement d'une typologie des terrains à risques (12). On a constaté que 30 % des dégâts provenaient d'une surface de 2 000 hectares seulement. En 1958, **Lefèvre** signale des problèmes d'érosion agricole en Picardie (22). En 1960, **F. Fournier** développe ses recherches sur l'agressivité climatique, en particulier en analysant les données de transport solide des réseaux hydrographiques et il établit des formules de prédiction toujours valables (11). En 1960 sort la première carte de l'érosion en France à petite échelle. Elle intéressera surtout les chercheurs. La recherche agronomique a donc pris conscience, dès 1950, du risque érosif sur les terres cultivées hors des

régions montagneuses. À partir de 1960, des recherches sont entreprises sur le terrain, d'abord par l'INRA, puis par le CNRS et l'ORSTOM, par des organismes divers, principalement le CEMAGREF, enfin par des géomorphologues universitaires (31, 32, 33, 35, 38). Ces recherches sont suffisamment avancées pour permettre l'établissement d'un état actuel des lieux selon trois groupes de régions relativement homogènes sur les plans de l'érosivité, de l'érodibilité et de l'état des pentes.

## **2.2. Régions de montagnes et régions de climat méditerranéen**

Si l'on met à part les travaux classiques de contrôle de la torrencialité dans les montagnes, deux régions font actuellement l'objet d'études de terrain à la suite de graves dégâts dus à des ruissellements exceptionnels. Il s'agit des Cévennes (mont Lozère) et des Pyrénées-Orientales (Haut Vallespir) (6, 8). Les chercheurs ont pu y mettre en évidence les effets des modifications récentes de l'occupation des milieux, en particulier de l'abandon des cultures et des pâturages. Dans les Hautes-Alpes, où les pluies sont souvent intenses, les sols sur marnes, matériaux fragiles, sont également à haut risque érosif. C'est le cas de la région du Bûech où les dégâts ont été spectaculaires et où la recherche a mis en place des bassins versants expérimentaux (26). Ils sont en cours d'étude, mais il est déjà sûr que les versants ont également été récemment déséquilibrés par des actions anthropiques. On peut ajouter à la liste précédente plusieurs régions où des dégâts spectaculaires récents pourraient être mis en rapport avec l'augmentation probable des surfaces non ou peu perméables dans les secteurs amont des bassins versants. Ce serait le cas de Vaison la Romaine, en particulier. Enfin, on doit mentionner les conséquences des feux de forêt d'origine anthropique en région méditerranéenne (2).

## **2.3. Régions de collines et versants**

Ce sont des écosystèmes où dominent les vignobles et les vergers. Nombreux sont les viticulteurs qui ont récemment pris conscience du danger de l'érosion par ruissellement au point de prendre des mesures coûteuses (38, 39). Citons, par exemple, les vignobles alsaciens où une recherche active a bien défini les processus érosifs (36), ceux des Côtes de Provence (37), de la Champagne (3), du Beaujolais et du Mâconnais (15). En Provence, il est maintenant admis que l'abandon du travail du sol pour des techniques de désherbage chimique s'est traduit par une augmentation des volumes d'eau ruisselés. Ils ont provoqué, sinon dans les cultures elles-mêmes, du moins en bas des pentes, mais aussi dans certains villages, de graves dégâts par dépôt de coulées boueuses. On a pu constater que les sols étaient encroûtés en surface et que leur porosité avait diminué. En Champagne, les dégâts constatés sont imputés à l'occupation générale des terres par la vigne quelle que soit la déclivité des terrains, également à la culture systématique suivant la plus grande pente. L'utilisation récente de composts d'origine urbaine a pu freiner les ruissellements érosifs. Des dégâts plus ponctuels ont été également

signalés dans des vignobles de Savoie, de la vallée de la Loire, dans certaines régions du sud-ouest, enfin dans des vergers du Moyen Vivarais (30).

## 2.4. Régions de plaines et de plateaux

Il s'agit des grandes plaines de l'ouest de l'Europe où les sols sont généralement loessiques. Le climat est de type tempéré océanique et la topographie constituée de vallons à pentes faibles ou moyennes. Cependant, on y recense de plus en plus des faits d'érosion par ruissellement, en particulier dans le pays de Caux, entre Seine et Somme, dans le département de l'Oise, dans le Pas-de-Calais, également dans la vallée du Rhin supérieur (5, 7, 9, 10, 13, 19, 23, 25, 27, 40).

Prenons l'exemple de l'Oise. Lors des pluies de longue durée, on constate que les écoulements, normalement temporaires, lents et avec peu de transport de sédiments, sont de plus en plus abondants et chargés de boues. Par ailleurs, on observe un développement de croûtes de battance typiques sur les terres cultivées. Ce sont elles qui provoquent, par refus à l'infiltration, l'augmentation observée des volumes ruisselés. Les eaux se concentrent par la suite en aval dans les thalwegs qui étaient autrefois enherbés, mais qui sont de plus en plus cultivés. Elles y suivent les points bas et les fourrières, y prennent de la vitesse, et, à partir d'un certain stade, il apparaît sur les terrains des griffes, puis des ravines, qui se développent et s'approfondissent rapidement. On passe ainsi d'un ruissellement peu agressif en nappe à de l'érosion linéaire. Les écoulements débouchent finalement en aval dans des communes rurales, y provoquant des dégâts variables selon l'importance des sédiments transportés. Des phénomènes identiques sont notés en de nombreuses autres régions, généralement signalés par des incisions localisées dans le secteur aval des champs de céréales. Des problèmes comparables sont cités sur des terres riches en limons, mais aussi en argiles, les "terreforts" toulousains (34).

## 3. LES CAUSES ET LES CONSÉQUENCES

L'intérêt des chercheurs pour le sujet "érosion" n'a pas résulté d'une mode quelconque, mais de la constatation d'un net accroissement de dégâts résultant de ruissellements non contrôlés sur les terres cultivées, en particulier dans les plaines (1, 20, 29, 30, 35). On doit s'interroger sur les causes de cette évolution. Une "péjoration" temporaire des climats ne peut être incriminée, car il y a toujours eu des cycles comportant, comme ce fut le cas récemment, des périodes de sécheresse anormale suivies de pluies torrentielles. Par ailleurs, les aléas climatiques recensés ne peuvent pas expliquer les cas les plus récents d'érosion sur les loess dans les régions nordiques ou même dans les vignobles de Champagne. L'impact exceptionnel des vicissitudes climatiques, en particulier la recrudescence des inondations constatée ces dernières années, doit plutôt être interprété comme le "révélateur" d'une fragilité accrue de nombreux agrosystèmes (18). Cette fragilité s'explique par une augmentation générale des taux moyens du ruissellement sur les terres cultivées, résultant de la dégra-

dation des possibilités d'infiltration dans les sols. Les chercheurs incriminent, soit les modifications des structures agraires, soit l'évolution des techniques agricoles (1, 3, 5, 19, 24, 27, 28, 30, 32, 37, 40) :

- tassements des sols dus à l'utilisation d'engins de plus en plus lourds ;
- préparation de lits de semence avant les pluies d'automne et d'hiver, qui affine trop les sols et facilite l'effet désagrégeant des gouttes de pluie. La détachabilité est également augmentée par les effets du gel. Au printemps et au début de l'été, les orages s'abattent sur des sols qui se sont encroûtés et les taux de ruissellement sont alors élevés ;
- accroissement des superficies en semis d'automne aux dépens des prairies et disparition des herbages dans les thalwegs ;
- conséquences sur le parcellaire de certains remembrements, avec élimination des haies vives et accroissement des superficies des parcelles pentues ;
- accroissement des superficies en jachère mal couverte ;
- modification des techniques des labours d'ameublissement et utilisation des désherbants ;
- diminution ou abandon des apports de matière organique liée à l'évolution de l'élevage ;
- non-entretien de certains fossés, souvent par disparition des canonniers.

L'augmentation des taux du ruissellement, qu'il faudrait chiffrer, a plusieurs conséquences. En premier lieu, elle représente une élévation du "risque théorique érosif" en cas de fortes précipitations. En effet, tout ruissellement ne veut pas forcément dire érosion, c'est-à-dire ablation et transport de terre, si les sols sont peu érodibles, si le couvert végétal est dense, et tant que les écoulements restent lents. Mais, lorsque les conditions climatiques deviennent temporairement plus agressives, comme dans l'exemple cité plus haut, il peut se déclencher localement des ruissellements érosifs qui ne se produisaient pas dans le passé dans les mêmes conditions climatiques. En second lieu, il y a augmentation de l'érosion dite de "fertilité", que l'on sous-estime souvent. Elle résulte de l'entraînement de produits plus ou moins solubles, engrais azotés, engrais phosphatés qui créeront de l'eutrophisation dans les lacs, produits phytosanitaires souvent polluants, métaux lourds en provenance de dépôts industriels ou de stations d'épuration. Enfin, l'augmentation générale des taux de ruissellement se traduit par une diminution des réserves en "eau utile" des profils et donc par une diminution corrélative de la productivité potentielle. On y pallie souvent en développant l'irrigation, même dans les régions les plus septentrionales, irrigation qui peut alimenter par la suite certains ruissellements. Par contre, une augmentation mal contrôlée de l'infiltration peut parfois se traduire par des lessivages, en particulier d'azote, et par des pollutions de nappe.

Au bilan, l'augmentation des taux moyens de ruissellement peut donc avoir de graves conséquences pour l'environnement, même dans un contexte de pertes en terre quantitativement faibles, et inférieures au seuil théorique tolérable.

#### 4. CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

L'augmentation constatée du risque érosif sur les terres de culture en France, liée au déséquilibre croissant du rapport ruissellement/infiltration, suggère que le problème prioritaire actuellement n'est pas la conservation des sols en tant que telle, mais celle des ressources en eau d'origine pluviale. Cette conclusion justifie les recommandations suivantes :

- la gestion du ruissellement doit être organisée dans le cadre des bassins versants et non dans celui des exploitations (cf. les schémas d'aménagement de l'eau et les études légales d'impact) (21) ;

- les commissions locales de l'eau qui gèrent les SAGE devraient prendre en compte les conséquences, sur le régime des eaux de surface, de la réorganisation des paysages agricoles ainsi que du développement de méthodes culturales modifiant les caractéristiques structurales des sols. Un non-labour peut limiter la détachabilité, mais accroître les volumes des écoulements en aval. Il faudrait également qu'elles évaluent l'augmentation des surfaces imperméabilisées dans les bassins versants, en particulier pour orienter les opérations d'aménagement foncier. Une mise en culture sur pentes faibles suivant les courbes de niveau serait idéale, mais elle est pratiquement irréalisable compte tenu des réseaux de routes et des parcellaires ;

- les conséquences du gel des terres dans le cadre de la PAC sont à étudier, en particulier dans le domaine du cycle de l'eau, mais il est évident que des jachères nues sont à proscrire, même en situation de plaine. Par contre, un choix raisonné des emplacements des jachères couvertes pourrait aider au freinage des ruissellements, outre un rôle dans le contrôle des processus d'absorption des nitrates ;

- la recherche devrait mettre l'accent plus sur les modalités et la quantification du ruissellement à l'échelle des bassins versants unitaires que sur l'évaluation des pertes en terre à l'échelle des parcelles. Le ruissellement étant d'abord un refus à l'infiltration, il serait utile de mieux connaître les réponses des agrosystèmes aux événements météorologiques, de poursuivre l'évaluation des effets des méthodes culturales sur la porosité et sur la production de ruissellement, d'étudier la question des assolements comportant des périodes d'interculture avec des sols nus. Enfin, l'établissement de nouvelles cartes d'aptitudes culturales, fournissant, en particulier, des données sur l'infiltrabilité des sols, est souhaitable.

La gestion conservatoire des ressources en eau pluviale dans le cadre des bassins versants doit être l'objectif conjoint des agriculteurs, des aménageurs du territoire, des environnementalistes. La maîtrise du risque érosif en sera le sous-produit principal.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) AUZET V., 1987. - L'érosion des sols par l'eau dans les régions de grande culture. Aspects agronomiques. Centre d'études et de recherches éco-géographiques, Min. Env., Min. Agri, 39 p.
- (2) BALLAIS J.L., 1992. - L'érosion consécutive à l'incendie d'août 1989 sur la montagne Sainte-Victoire : trois années d'observation. Poitiers, bull. réseau érosion, n° 13, 1993, p. 165.
- (3) BALLIF J.L., 1989. - Érosion dans le vignoble champenois, influences des techniques culturales. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., XXV, 151-156.
- (4) BARATHON J.J. et VALLEIX J.F., 1991. - Les processus érosifs en Limagne Clermontoise ; aspect historique et contemporain d'un phénomène social, Poitiers, bull. réseau érosion, n° 13, p. 180.
- (5) BOIFFIN J., PAPY F. et PEYRE F., 1986. - Systèmes de production, systèmes de culture et risques d'érosion dans le pays de Caux. Min. Agri. (DIAME), INAPG, INRA, 154 p.
- (6) BROCHOT S., 1991. - Érodibilité des terres en montagne : exemple du Haut Vallespir. VIII réunion réseau érosion, bulletin n° 13, Ronéo, ORSTOM.
- (7) CEMAGREF, 1986, 1986 et 1989. - Les dégâts causés par les pluies intenses dans le bassin du Croult (Val d'Oise), Con. Gén., Min. Envir., 3 rapports, 236 p.
- (8) COSANDEY C., BOUDZEMLINE D., ROOSE E. et LELONG F., 1990. - Étude expérimentale du ruissellement sur des sols à végétation contrastée du Mont Lozère ; Z. Géom. NF, 57 p.
- (9) DOUAY F., MASSON F. et PELLETIER J.L., 1980. - Érosion des terres agricoles du Nord-Pas-de-Calais, Univ. de Lille, ronéo.
- (10) EIMBERCK M., 1990. - Facteurs d'érodibilité des sols limoneux ; réflexions à partir du pays de Caux. Cah. ORSTOM pédol., XXV, 81-84.
- (11) FOURNIER F., 1960. - Climat et érosion, Paris, PUF., 201 p.
- (12) FOURNIER F., 1993. - Les travaux sur l'érosion, in Mélanges HÉNIN, Édit ORSTOM.
- (13) GRIL J.J. et DUVOUX B., 1991. - Maîtrise du ruissellement et de l'érosion, processus morphogénétiques. Applications au N.O. de la France. CEMAGREF, ronéo.
- (14) HÉNIN S., 1950. - L'érosion et son importance. L'érosion en France ; le mécanisme de l'érosion par l'eau. Bull. Tech. Ing. Serv. Agri., 62 p.
- (15) HÉNIN S., MICHEL A. et RIVOIRE A., 1952. - Sur quelques cas d'érosion dans les vignobles du Mâconnais et du Beaujolais, Ann. Agro.
- (16) HÉNIN S. et FOURNIER F., 1982. - La transformation des terres. Bases méthodologiques, exemples français. SCOPE.
- (17) JACQUET J., 1959. - Éléments d'hydrologie appliquée, in REMENIERAS G., Collection Armand Colin, Paris, p. 143.
- (18) JAMAGNE M., 1993. - Connaissance des sols et fragilité écologique. C. R. Acad. Agric. Fr., 79, 5, 77-88.
- (19) KING D. et LE BISSONNAIS Y., 1992. - Rôle des sols et des pratiques culturales dans l'infiltration et l'écoulement des eaux. Exemple du ruissellement et de l'érosion sur les plateaux limoneux du nord de l'Europe. C. R. Acad. Agric. Fr., 78, 6, 91-105.
- (20) LE BISSONNAIS Y., 1988. - Analyse des mécanismes de mobilisation et de déplacement des particules à la surface des sols sous l'action des pluies. Thèse Doc. Univ. Orléans, 225 p.
- (21) LEYNAUD G., 1992. - Cohérence générale de la gestion de l'eau à l'échelle du bassin versant. C. R. Acad. Agric. Fr., 78, 6, 79-90.
- (22) LEFÈVRE P., 1958. - Quelques phénomènes d'érosion en Picardie. Ann. Agro. 9 (1), 91-129.
- (23) LUDWIG B., 1992. - L'érosion par ruissellement concentré des terres cultivées du nord du Bassin Parisien : analyse de la variabilité des symptômes d'érosion à l'échelle du bassin versant élémentaire. Thèse.
- (24) MONNIER G., BOIFFIN J. et PAPY F., 1986. - Réflexions sur l'érosion hydrique en conditions climatiques et topographiques modérées : cas des systèmes de grande culture de l'Europe de l'ouest ; Cah. ORSTOM séro. Pédol., 22, 2, 123-131.
- (25) MORAND F. et WICHEREK S., 1987. - Douze parcelles de mesure de l'érosion sur un versant de la France des plaines. L'exemple de Cessières (1977-1983). Éd. CNRS, 271-290.
- (26) OLIVRY J.C. et HOORELBECK J., 1989. - Érodibilité des terres noires de la vallée du Bûch, France, Alpes du sud, Cah. ORSTOM Pédol., XXV, 1-2, 95-110.
- (27) OUVRY J.F., 1990. - Effets des techniques culturales sur la susceptibilité des terrains à l'érosion par ruissellement concentré. Expérience du pays de Caux. Cah. ORSTOM Pédol. Érosion, XXV, 1-2, 157-170.
- (28) PAPY F. et BOIFFIN J., 1988. - Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré. Évaluation des possibilités de maîtrise du phénomène dans les exploitations agricoles. Agronomie, 1989, 745-756.
- (29) PAPY F., POUJADE C. et SOUCHÈRE V., 1991. - Maîtrise du ruissellement et de l'érosion sur un territoire agricole. INRA, in "Gestion de l'espace rural et systèmes d'information géographique", éd. P. BUSH, 167-176.
- (30) PAPY F., 1992. - Effets de structures agraires sur l'érosion hydrique et le ruissellement, in "Influence des modifications des structures agraires sur l'érosion des terres", Éd. Wicherech Bull, Assoc. géo. Fr., vol. 2, 115-125.
- (31) PETIT F., COSANDEY C. et MUXART T., 1987. - Défrichement des terres agricoles et risque érosif. Un exemple dans le sud du Massif Central, Alès, ronéo Paris VII.
- (32) PEYRE Y. et MICHELIN J., 1990. - Remembrement et lutte contre l'érosion dans le département de l'Oise. Ronéo, ADEPRINA, Paris, 47 p.
- (33) PIHAN J., 1982. - Risques climatiques d'érosion hydrique des sols de France. Colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen. Univ. L. Pasteur Strasbourg, INRA, 264 p.
- (34) REVEL J.C., COSTE W., CAVALIE J. et COSTES J.L., 1989. - Premiers résultats expérimentaux sur l'entraînement mécanique des terres par le travail du sol dans le terrefort toulousain. Cah. ORSTOM Pédol., XXV, Érosion, 111-118.
- (35) ROOSE E., 1990, 1991, 1992. - Publications du réseau érosion, ronéo, ORSTOM, Montpellier.
- (36) SCHWING J.F., 1979. - Évaluation du poids économique de l'érosion dans le vignoble alsacien. in : colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré. Strasbourg. C.R. publiés par H. et T. VOGT, CEREG, 275 p. : 175-182.
- (37) VIGNIER J.M., 1991. - L'érosion des vignobles des Côtes de Provence. Influence du sol et des pratiques culturales, VII<sup>e</sup> réunion réseau érosion, Bulletin ronéo n° 11, 221-236.
- (38) VOGT J., 1979. - Actes du colloque sur l'érosion agricole des sols en milieu tempéré non méditerranéen. Strasbourg, Colmar, 264 p.
- (39) WALCH et al., 1986. - Maîtrise du ruissellement et de l'érosion en vignoble de coteau. CEMAGREF, ronéo.
- (40) WICHEREK S., 1990. - Paysages agraires, couverts végétaux et problèmes d'érosion en milieu tempéré de plaine de l'Europe de l'ouest, Soil Technology, 3, 199-208.

(Reçu le 9 mars 1994, accepté le 4 mai 1994)

**M. Boulaine (\*)**. — Qui est compétent pour étudier et gérer le problème global de l'érosion en France ?

**M. Fauck**. — À ma connaissance, officiellement personne. Mais nombreux sont ceux qui sont directement impliqués dans les problèmes du ruissellement, et en particulier les ministères de l'Agriculture et de l'Environnement ainsi que plusieurs grands organismes.

**M. Groussard (\*\*)**. — J'ai écouté avec beaucoup d'intérêt votre communication. Elle me conduit à faire deux remarques.

Le problème de l'érosion ne devrait-il pas être un souci permanent de l'agriculteur ? L'agriculteur a comme mission, chacun le sait, de cultiver la terre en "bon père de famille".

Mais l'opinion publique doit être aussi sensibilisée, notamment au moment où l'emploi des techniques et des modes de gestion industriels se généralisent en agriculture, avec les conséquences que l'on sait. Mais pour cela faut-il encore que ce dossier soit "accessible" aux décideurs politiques. Ce dossier devrait être précis, accompagné d'exemples chiffrés et d'une réflexion à propos des conséquences sur le maintien du patrimoine et donc de la mise en valeur de ce dernier.

**M. Fauck**. — Soyez sûr que les agriculteurs sont généralement conscients du danger de l'érosion par ruissellement, bien qu'ils en sous-estiment parfois les conséquences. Un dossier technique peut être préparé assez facilement, mais, comme je l'ai déjà dit, on manque encore d'exemples chiffrés convaincants. Les pertes en terre sont évaluées au niveau de parcelles expérimentales, et il est difficile d'extrapoler les données à l'échelle des bassins versants. Quantifier les conséquences et le coût de l'érosion est délicat, car il faut prendre en compte les pertes en terre, mais aussi certaines pertes en eau, et évaluer non seulement les dégâts mais aussi les manques à gagner.

**M. Robert (\*\*\*)**. — Un commentaire pour renforcer l'idée exprimée par **M. Fauck** : le risque principal de l'érosion est environnemental et concerne directement la qualité des eaux. En effet, les sols accumulent un certain nombre d'éléments en surface : phosphates, métaux lourds, pesticides. Si la surface du sol est entraînée, il en résulte une pollution immédiate des eaux superficielles. Le risque le plus grand concerne les sols de vignoble où il y a conjonction de sols souvent pollués, de pentes importantes et de sols nus. En Champagne, un sol nu peut perdre 10 t/ha/an avec les polluants associés. Si on couvre le sol (compost, écorces), on supprime toute érosion et donc le flux horizontal de pollution.

Actuellement, différents organismes (CEMAGREF, INRA, CNRS-ZIEN) suivent ces phénomènes sur plus de dix bassins versants en France.

**Mme Mériaux. (\*\*\*\*)**. — Il est difficile d'obtenir des données chiffrées sur les pertes de terre occasionnées par l'érosion en régions tempérées. Les chercheurs qui travaillent sur ce thème, comme par exemple l'équipe de **M. Papy** en Pays de Caux, quantifient le phénomène par l'intensité de sa manifestation : griffes discontinues et peu profondes, griffes et rigoles connectées superficielles, rigoles profondes, rigoles très profondes.

(\*) Membre de l'Académie. Professeur émérite de géologie-pédologie à l'INA Paris-Grignon

(\*\*) Trésorier perpétuel de l'Académie.

(\*\*\*) Correspondant de l'Académie. Directeur de recherches à l'INRA.

(\*\*\*\*) Membre de l'Académie. Directeur de recherches honoraire à l'INRA.

**M. Ombredanne(\*)**. — Le passage d'un pulvérisateur crée des "routes" pour l'eau de surface plus ou moins chargée de pesticides. Je propose d'adapter, derrière les pneus des pulvérisateurs, des dents décompactant le sol pour éviter le ruissellement.

**M. Fauck**. — Cette proposition pourrait faire l'objet d'une recommandation du groupe de travail "eau".

**M. Régamey (\*\*)**. — L'érosion des terres cultivées est souvent aggravée par l'intervention humaine. Je souhaite connaître le sentiment de **M. Fauck** sur l'aggravation de ce risque d'érosion lors d'opérations d'aménagement des terres par remembrement et mise en place d'un nouveau réseau de voirie rurale.

Les auteurs de ces projets peuvent-ils ou doivent-ils tenir compte de ce risque lors de la révision du parcellaire et du réseau de voirie, ainsi que de l'orientation des cultures et du labour ?

**M. Fauck**. — Les responsables du remembrement ont eu pour objectif essentiel, à ma connaissance, la réorganisation du parcellaire agricole en vue de la modernisation de l'agriculture. Ils n'ont donc pas pris en compte le risque d'une augmentation de l'érosion par ruissellement. Mais cela ne doit pas surprendre, car le risque érosif en milieu de plaines sous climat tempéré était considéré comme faible par les spécialistes de la conservation des sols eux-mêmes. Il est maintenant possible de tenir compte de ce risque lors d'une opération de remembrement, d'abord en évaluant les conséquences de la modification des techniques culturales. Je pense que ce sont les SAGE qui devraient agir.

**M. Gac (\*\*\*)**. — Dispose-t-on d'informations sur l'évolution de la pluviométrie durant les siècles passés ? D'autre part, j'ai appris qu'un industriel développait la construction de citernes aptes à collecter proprement l'eau des toits. Cette proposition serait-elle intéressante pour réduire les excès d'eau de pluie, eu égard à l'accroissement considérable des surfaces imperméables ou imperméabilisées.

**M. Fauck**. — Le livre de **M. Leroy-Ladurie** sur l'évolution du climat en France depuis un millénaire présente des données précises sur les variations climatiques, les aléas climatiques, ainsi que sur les conséquences pratiques pour l'agriculture. Il y a toujours eu des cycles, froid, sécheresse, pluies exceptionnelles, auxquels les agriculteurs ont cherché à s'adapter. Les prévisions sont difficiles et les chercheurs ont encore beaucoup de travail à faire dans ce domaine. Quant à la récupération de l'eau de pluie tombant sur des surfaces imperméabilisées, c'est une proposition qui mérite d'être prise en considération compte tenu de la difficulté de plus en plus grande de faire face aux besoins en eau en milieu urbain et en milieu rural. Elle aurait, en plus, l'avantage de freiner le ruissellement générateur d'érosion.

**M. Boulaïne**. — L'histoire montre qu'il y a eu, à plusieurs reprises, des crises d'érosion en France, au néolithique, à la période gallo-romaine, à la fin du Moyen Âge, au dix-neuvième siècle, etc..

(\*) Correspondant de l'Académie. Agriculteur.

(\*\*) Membre étranger de l'Académie. Ingénieur conseil.

(\*\*\*) Membre de l'Académie. Ingénieur général honoraire du Génie rural, des Eaux et des Forêts.

En 1855, des pluies exceptionnelles, à la fin de juin, ont entraîné des inondations catastrophiques. C'est le service des Ponts et Chaussées qui a été chargé de prévenir ce genre de fléau et qui a entrepris l'endiguement des fleuves, la correction des torrents, etc.. Les Eaux et Forêts ont relayé, en montagne, avec les projets d'engazonnement et de reforestation qui ont été réalisés surtout sous la III<sup>e</sup> République. Depuis, les responsabilités se sont diluées.

Des problèmes similaires sont apparus aux États-Unis dans les années vingt. Il est intéressant de savoir que ce sont les agronomes, **Bennett** et surtout **Kellog** et ses élèves de l'Université de Fargo, qui ont montré l'ampleur des dégâts et les solutions possibles. Mais ce sont les politiciens : **Roosevelt**, en 1930, et **Eisenhower**, en 1946, qui ont créé, puis fait fonctionner, le "*soil survey*". La solution de ces problèmes nationaux ne peut venir que de la collaboration dialectique des politiciens et des agronomes.