

Réflexions sur l'érosion hydrique en conditions climatiques et topographiques modérées : Cas des systèmes de grande culture de l'Europe de l'Ouest

G. MONNIER (1), J. BOIFFIN (2) et F. PAPY (3)

Institut National de la Recherche Agronomique

(1) Station de Science du Sol, Centre de Recherche Agronomique B.P. 91 — 84140 Montfavet, France — (2) Laboratoire d'Agronomie, INA-PG Centre de Paris, 16, rue Claude Bernard — 75231 Paris Cedex 05 — (3) Unité SAD, INA-PG Centre de Grignon 78850 Thiverval — Grignon.

RÉSUMÉ

On s'intéresse ici aux phénomènes de ruissellement et d'érosion susceptibles d'intervenir en Europe du Nord et de l'Ouest, sur pentes faibles et en conditions climatiques modérées. Ces phénomènes se caractérisent par la disjonction dans l'espace :

— de la formation d'un ruissellement diffus, non nécessairement érosif, lié à des processus de dégradation structurale de la surface du sol.

— de la concentration du ruissellement provenant d'un vaste impluvium sur des cheminements localisés où peut alors intervenir une érosion sévère.

Après avoir proposé une description du processus général de formation locale du ruissellement, les auteurs analysent l'influence du système de culture. Celui-ci peut intervenir à plusieurs niveaux :

— à court terme, d'abord par la modification de l'état du sol par les techniques culturales et ses conséquences sur l'infiltrabilité, la dégradation superficielle, les modalités de concentration du ruissellement et la sensibilité du terrain au ruissellement concentré. Ensuite, par le calendrier et la vitesse de recouvrement du sol par la culture.

— à plus long terme, le système de culture peut modifier les propriétés du sol qui participent à la sensibilité, à la dégradation superficielle et notamment à la stabilité structurale. L'évolution du statut organique dans ces différentes composantes peut être, dans certaines circonstances, un facteur de risque important.

Il apparaît, en définitive, que les processus de dégradation considérés ne sont redevables, ni des outils de prédiction, ni des moyens de lutte classiques.

MOTS-CLÉS : Erosion — Systèmes de culture — Battance — Ruissellement.

ABSTRACT

REFLECTIONS ON WATER EROSION UNDER MODERATE CLIMATIC AND TOPOGRAPHIC CONDITIONS: CASE OF THE INTENSIVE CROPPING SYSTEMS OF NORTHWESTERN EUROPE

The following paper is focussed on runoff and erosion as they occur in large areas of Northwestern Europe, i.e. on gentle slopes and under moderate climatic conditions. These two phenomena can be characterized by a marked spatial separation between :

— the generation of a non-erosive overland flow, related to structural degradation of the soil surface ;

— the concentration of run-off from large catchment areas to restricted channels where severe rilling and gullyng can occur even with very low slope angles.

After a description of the general process leading to overland flow, we examine the main ways by which the cropping system can interfere with erosion risks :

— In the short term, (a) by modifying the structural state of the soil surface and its evolution, which determine infiltrability, run-off concentration and soil sensitiveness to rill formation ; (b) through the chronology and rate of soil covering by the crop canopy.

— in the long term, by modifying the physical properties of the soil which control the soil susceptibility to structural degradation, and especially aggregate stability.

Under given circumstances, the evolution of different aspects of the organic status can lead to a significant increase in erosion risks.

Considering the processes which control erosion of cultivated soils under moderate climatic and topographic conditions, it appears that some classical approaches are not relevant to predict and control erosion risks in the North-western European context.

KEY WORDS : Erosion — Cropping systems — Soil crusting — run-off.

POSITION DU PROBLÈME

Les conditions climatiques, topographiques et d'occupation des sols rendent compte de la gravité des phénomènes d'érosion hydrique dans les régions méditerranéennes de l'Europe occidentale ainsi que, plus occasionnellement, dans les vignobles, vergers ou même cultures annuelles, implantés sur de fortes pentes sous des climats a priori moins agressifs. De telles conditions sont redevables des moyens classiques de prédiction de perte en terre et de lutte contre l'érosion.

A côté de ces situations, on assiste à une montée des préoccupations relatives à l'érosion dans de vastes régions du Nord-Ouest de l'Europe qui ne sont caractérisées ni par de fortes pentes ni par la fréquence élevée de pluies intenses : une pluie journalière de 40 mm a un temps de retour de 5 à 10 ans dans l'Ouest de la France et de 2 à 3 mois dans le Midi méditerranéen.

Un rapide survol des zones concernées (cf. Soil Erosion, 1982) suggère que de telles situations résultent en général de la conjonction de 3 séries de critères :

— des critères géomorphologiques : substrats géologiques tendres (craie, sables tertiaires,...) entraînant un modelé mollement ondulé avec des pentes à la fois faibles et longues qui n'introduisent aucune contrainte à la mécanisation ou à l'agrandissement des parcelles cultivées.

— des critères portant sur les propriétés hydrologiques de surface de la couverture pédologique, le plus souvent, en pareil cas, à dominante limoneuse.

— des critères liés à l'utilisation agricole des terrains concernés et à son évolution : remembrement du parcellaire et régression des prairies sont des tendances marquantes — sur lesquelles nous ne reviendrons pas — dans ces zones où prédominent des systèmes de pro-

duction à base de céréales et cultures industrielles ou d'élevage intensif.

Les dégâts se manifestent par l'apparition désormais régulière de rigoles ou ravines, principalement localisées dans des thalwegs même peu accentués traversant les parcelles et dans les zones de fourrière ; enfin, et seulement dans les cas les plus graves, de manière plus diffuse dans les empreintes laissées en surface par les passages d'engins agricoles. La gêne apportée aux opérations culturales et les nuisances enregistrées en aval dans les zones d'habitation sont des facteurs de sensibilisation aussi, voire plus, importants, que les pertes en terre proprement dites.

Ainsi, l'examen des principaux facteurs de répartition des zones concernées, et des formes qu'y prend l'érosion, montre que deux processus jouent un rôle essentiel :

— l'apparition d'un excès d'eau superficiel, même avec des pluies d'intensité faible ; le ruissellement qui peut en résulter reste diffus et non érosif sur la majeure partie de l'impluvium ;

— la concentration de ce ruissellement correspondant à des surfaces d'impluvium particulièrement importantes ce qui permet d'atteindre des débits unitaires érosifs dans ces zones de concentration.

Ces processus peuvent intervenir de façon nettement disjointe et à relativement grande distance au sein de l'impluvium.

Notre objectif est ici, en nous plaçant a priori dans un contexte répondant à ces considérations, de proposer quelques éléments de réflexion centrés sur :

— la formation et l'importance du ruissellement ;
— l'influence exercée par les systèmes de culture dans leurs différentes composantes sur le fonctionnement de l'impluvium.

PROCESSUS LOCAL DE FORMATION DU RUISSELLEMENT

Principaux déterminants du régime d'infiltration et de son évolution

Rappelons que la répartition de l'eau de pluie entre infiltration et excès d'eau superficiel (détenu dans des flaques ou ruisselé) dépend à chaque instant de l'intensité pluviométrique et du fonctionnement hydrodynamique du sol qui dépend lui-même de son état physique (hydrique et structural).

Dans le cas des sols cultivés, les conditions d'homogénéité et de stabilité de l'état structural ne sont, en pratique, jamais réalisées que sur de courtes périodes.

D'une part, la succession des opérations culturales de toute nature induit de très fortes discontinuités dans l'évolution chronologique de la porosité des couches de surface, la formation d'hétérogénéités verticales et(ou) latérales et notamment de couches plus ou moins continues à faible perméabilité.

D'autre part, la dégradation par la pluie, plus ou moins rapide et poussée, de la structure fragmentaire superficielle résultant du travail du sol aboutit à une diminution de la porosité dans l'ensemble des couches travaillées mais surtout à la formation de croûtes superficielles, dont nous verrons que la présence diminue fortement l'infiltrabilité du sol.

Dans le premier cas, un calcul d'ordre de grandeur fait apparaître que, dans les conditions climatiques modérées envisagées ici, les épisodes pluvieux d'une hauteur cumulée suffisante pour saturer le compartiment susjacent aux couches imperméables et provoquer un ruissellement superficiel sont peu fréquents. En effet, pour des conditions initiales probables d'humidité volumique d'une couche superficielle travaillée, la hauteur d'eau nécessaire pour provoquer la saturation est d'environ 4 à 5 mm par cm d'épaisseur de la couche concernée soit, pour une épaisseur de 5 cm correspondant à un lit de semence, une hauteur minimale de pluie de l'ordre de 20 à 25 mm tombée dans un temps suffisamment court pour que l'on puisse négliger les transferts vers les couches sous-jacentes et l'évaporation.

Or l'utilisation de la formule de Montana (PINGUET, 1985) à la moitié nord-ouest de la France sur un pas de temps de 2 h fournit, avec une précision convenable ($P = 0,95$), des temps de retour de 2 ans pour 20 mm à 10 ans pour 30 mm/2 h.

Sans exclure l'occurrence accidentelle d'un tel processus de formation du ruissellement, on doit constater que ce dernier — ou la formation de flaques en terrain plat — sont susceptibles d'intervenir à l'occasion de pluies d'une hauteur très inférieures, voire dès le début d'un épisode pluvieux.

Il faut admettre que l'infiltration est alors dépendante des transformations morphologiques de l'extrême sur-

face du sol intervenues sous l'action physique ou mécanique de pluies antérieures (croûtes) ou sous l'effet des passages de roues dont les empreintes restent en surface et ne sont pas retravaillées.

Processus général de dégradation structurale de la surface du sol

BOIFFIN (1984, 1985) s'appuyant sur l'étude expérimentale du comportement in situ de sols limoneux a proposé une analyse du processus de transformation morphologique des couches superficielles en conditions climatiques naturelles. En bref, il a montré que dans une première phase dont la durée peut être très variable, la surface du sol, initialement motteuse et « ouverte » est progressivement occupée par une croûte structurale de quelques mm d'épaisseur et à compacité élevée et que son infiltrabilité diminue. Lorsque l'intensité des pluies dépasse l'infiltrabilité ainsi réduite pendant une durée suffisante pour que l'excès d'eau atteigne quelques mm, le flaquage ou le ruissellement interviennent : c'est le début d'une deuxième phase au cours de laquelle se forment des croûtes de dépôts.

En utilisant une variabilité provoquée expérimentalement et(ou) liée à la diversité des séquences climatiques naturelles intervenues au cours des différentes périodes d'étude, cet auteur a pu mettre en évidence :

— d'une part la généralité de ce processus de dégradation en deux phases dont la monotonie n'est interrompue que par des événements « accidentels » d'origine climatiques (phase de dessiccations, gel), culturales (interventions mécaniques) ou biologiques (faune du sol) ;

— d'autre part, le rôle de différents paramètres caractérisant l'état initial du sol et les pluies sur la cinétique et l'intensité de réalisation du processus de dégradation.

Ainsi, dans l'une et l'autre phase, les vitesses d'extension et d'épaississement des croûtes sont contrôlées par la morphologie de la surface et par la quantité de particules de sol déplacées par la pluie.

BOIFFIN propose un modèle de remplissage interstitiel pour représenter de façon simplifiée l'évolution de l'état de surface au cours de la première phase. Ce modèle introduit un indicateur morphologique du stade de dégradation : la taille limite (D_{lim}) séparant les mottes qui sont déjà — ou pas encore — incorporées aux croûtes structurales.

Selon le modèle, ce paramètre est relié d'une part à l'aire et à l'épaisseur des croûtes, d'autre part à la quantité cumulée de particules déplacées. De plus, l'accroissement de la valeur de D_{lim} au cours de la progression de la formation de la croûte structurale est étroitement corrélé :

— avec la diminution de l'infiltrabilité ;

— avec l'énergie cinétique de la pluie cumulée par classe d'intensité (indices KE).

Les coefficients de cette dernière relation expriment la

détachabilité du sol en fonction de la stabilité structurale, de l'aptitude à la fissuration et de l'histoire hydrique de la surface des mottes.

Principaux paramètres de la dégradation structurale superficielle

A l'aide des outils morphologiques mis en place et en utilisant une variabilité expérimentale provoquée, on peut mettre en évidence l'influence des facteurs liés au sol (état initial, détachabilité) et au climat (énergie cinétique des pluies, succession des états hydriques de la surface du sol).

ETAT STRUCTURAL INITIAL

Il peut être décrit par la distribution dimensionnelle des mottes.

La comparaison entre les courbes (1) (structure initiale fine) et (2) (structure initiale grossière) de la figure 1 montre la très forte influence de l'état initial sur l'extension des plaques structurales, exprimée ici en fonction de la hauteur de pluie cumulée. La courbe (2) fait, de plus, apparaître une accélération de la désagrégation en présence d'un obstacle à la circulation de l'eau situé à faible profondeur.

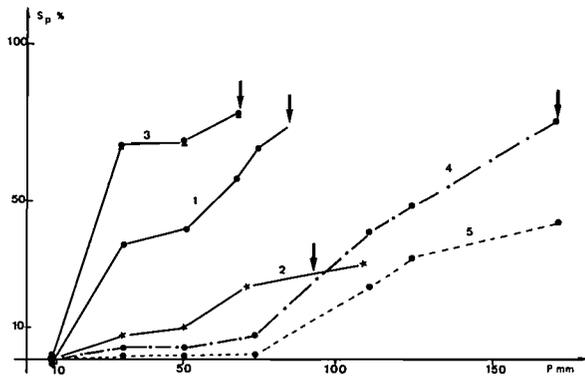


Fig.1. — Evolution du taux de recouvrement de la surface par des plaques structurales (S_p) en fonction des hauteurs de pluies cumulées.

(1) structure initiale fine, (2) structure initiale motteuse, (3) structure initiale fine avec obstacle au drainage interne, (4) structure initiale fine avec interception de 70 % de l'énergie de la pluie, (5) structure initiale fine avec interception de 80 % de l'énergie de la pluie.

Les flèches indiquent l'apparition des croûtes de dépôt.

FACTEURS DE DÉTACHABILITÉ DU SOL

La mobilisation de particules solides préalable à leur déplacement par rejaillissement (effet de « splash ») peut être obtenue par différents processus :

— *La désagrégation des assemblages* par éclatement. Ce processus intervient principalement sur sol sec au cours d'une humectation avec de l'eau libre ou à faible poten-

tiel. Son intensité est commandée d'une part par la stabilité structurale intrinsèque du matériau terreux à travers ses composantes principales de cohésion à l'état humide et de mouillabilité (HÉNIN et MONNIER, 1956 ; MONNIER, 1965), d'autre part par l'état initial hydrique et structural (BOIFFIN, 1984). Il apparaît donc que l'intensité du processus de désagrégation dépend à la fois de facteurs stables liés à la constitution du sol et des facteurs techniques et climatiques qui commandent son état physique au début de la pluie, l'énergie cinétique des gouttes de pluies n'étant pas la seule, voire même la principale condition d'agressivité.

— *La fragmentation par fissuration*. Elle intervient au cours des phases d'humectation et de dessiccation. Ce processus qui peut conduire à l'apparition de fragments de taille inframillimétrique est contrôlé par le gonflement potentiel des matériaux. Dans les terres argileuses, riches en smectite, par ailleurs stables vis-à-vis de la désagrégation, il est le seul processus de division reconnu. Pour les sols moins argileux, il peut précéder et dans ce cas accélérer le processus de désagrégation.

On voit donc que le type de particules mobilisées et donc leur masse dépendent à la fois de propriétés intrinsèques aux matériaux et du régime hydrique auquel ils ont été soumis avant la pluie responsable directe de la dégradation.

CRITÈRES D'EFFICACITÉ DES PLUIES VIS-À-VIS DE LA DÉGRADATION SUPERFICIELLE

La figure 1 montre que pour des états initiaux à structure fine, l'extension des plaques structurales peut atteindre près de 75 % de la surface totale pour des pluies cumulées ne dépassant pas quelques dizaines de mm. La comparaison des courbes (4) et (5) avec la courbe (1) montre clairement, par ailleurs, l'influence de l'énergie cinétique des gouttes. Cette influence est précisée par les caractéristiques des régressions linéaires reliant l'indicateur morphologique D_{lim} aux indices KE_x d'érosivité (tabl.1).

On peut observer à cet égard que la prise en compte de pluies de faible intensité, fréquentes dans les conditions géographiques envisagées ici, est satisfaisante et ceci d'autant plus que le sol considéré est plus instable. Par ailleurs, pour un même prédicteur, ici KE_5 , la pente de la régression est significativement plus élevée dans le cas du sol le plus instable.

Conséquences de la dégradation structurale sur l'infiltrabilité

Les croûtes structurales résultent du réarrangement dans les interstices entre mottes des particules détachées et du compactage dynamique de ce matériau par la pluie. Aussi bien les mesures de densité sur fragments que l'observation micromorphologique montrent qu'il s'agit d'une fine couche à organisation très compacte.

TABLEAU I
Relations entre l'indicateur D_{lim} (cm) et les indices KE_x (1) d'érosivité ($J. m^{-2}$)

Site	Prédicteur	Régressions linéaires			Nombre de résultats
		Ordonnée à l'origine	Pente	r^2	
P Limon argileux instable	KE_5	-0,15	0,0028	0,725	106
	KE_{10}	-0,14	0,0110	0,752	106
M limoneux très instable	KE_5	-0,17	0,0052	0,647	119
	KE_{10}	0,93	0,0048	0,312	119

(1) Seuil d'intensité ($mm h^{-1}$) au-dessus duquel l'énergie des pluies est cumulée, de l'exposition des sols jusqu'à la détermination de D_{lim} .

La décroissance enregistrée au cours de la totalité du processus est de plus d'un ordre de grandeur : à partir d'infiltrabilités initiales de l'ordre de 20 à 50 mm/h, on atteint finalement, en présence de croûtes sédimentaires bien développées, des valeurs de l'ordre de 1 mm/h.

Cette influence de l'altération morphologique au cours

de la phase I sur l'infiltrabilité peut être précisée en recherchant les relations entre l'infiltrabilité directement mesurée à différents stades de la dégradation par la méthode des taches saturées (BOIFFIN et MONNIER, 1985) et des indicateurs morphologiques (Sp et D_{lim}) relevés aux mêmes périodes (tabl.2).

TABLEAU II
Relations statistiques entre l'infiltrabilité mesurée I ($mm h^{-1}$) et des critères morphologiques.

Sites	Critères Morphologiques	
	Sp (%)	D_{lim} (cm)
Palaiseau (P) 20 % d'argile	$I = 10,0 \exp(-0,029 Sp)$ $n = 11$ $r^2 = 0,78$	$I = 10,1 \exp(-1,20 D_{lim})$ $n = 11$ $r^2 = 0,89$
Montluel (M) 10 % d'argile	$I = 44,9 \exp(-0,019 Sp)$ $n = 12$ $r^2 = 0,78$	$I = 42,0 \exp(-0,64 D_{lim})$ $n = 12$ $r^2 = 0,90$

On peut constater que les coefficients r^2 sont très élevés surtout dans le cas de D_{lim} qui est, rappelons-le, relié non seulement à l'extension des plaques mais aussi à leur épaisseur.

Par ailleurs, on observe que pour un même état de surface (par exemple, 100 % de la surface occupée par une croûte structurale), l'infiltrabilité calculée est très inférieure dans le cas du sol limono-argileux P (0,6 mm/h) que dans celui du sol limoneux M (6,6 mm/h). Ce fait peut être rapproché des densités sèches de croûte (1,75 et 1,58 respectivement) liées aux différences texturales (FIES et STENGEL, 1981).

La baisse d'infiltrabilité enregistrée est donc suffisante dans des conditions fréquentes de sol et de climat

pour entraîner, dès le début de pluies d'intensité faible l'apparition d'excès d'eau superficiels. La répartition de ces excès d'eau entre flaques et ruissellement dépend outre la durée de la pluie et la pente générale du terrain, du modelé microtopographique local.

INFLUENCE DU SYSTÈME DE CULTURE

Le système de culture peut être défini comme l'ensemble constitué par la succession des cultures sur une parcelle et les techniques culturales qui leur sont appliquées.

Dans la conception classique de l'équation universelle de perte en terre, (WISCHMEIER, 1960, WISCHMEIER et

SMITH, 1965), l'influence du système de culture est exprimée par l'intermédiaire des facteurs K (« érodibilité » qui prend en compte notamment l'influence de la teneur en matière organique du sol et des principales discontinuités structurales au sein du profil) et C (« cropping management » dont les variations sont essentiellement déterminées par le calendrier de recouvrement du sol et le mode de gestion des résidus de récolte). Si l'on se réfère aux conditions particulières que nous nous sommes définies, on remarquera que l'application de l'équation universelle de perte en terre devient assez malaisée car elle prend en compte des caractéristiques du système de culture (comme d'ailleurs du sol et de la pluie) sans distinction explicite entre les processus et caractères qui influent respectivement sur la naissance du ruissellement, sur les modalités de sa concentration et sur l'érosivité des écoulements concentrés.

A partir de l'analyse présentée au paragraphe « processus local de formation du ruissellement », nous nous proposons donc d'examiner l'influence des différentes composantes du système de culture sur les processus de dégradation structurale et ses conséquences hydrologiques ; et ceci en nous appuyant principalement sur l'exemple de la grande culture pratiquée dans le nord-ouest de la France (BOIFFIN *et al.*, non publié).

Modification de l'état du sol par les techniques culturales

Toute opération culturale induit une modification, plus ou moins localisée, voulue ou non, de l'état structural du sol. Vis-à-vis du fonctionnement de l'impluvium, les conséquences se ramènent aux éventualités suivantes :

ACCROISSEMENT INSTANTANÉ DE L'INFILTRABILITÉ PAR AMEUBLISSEMENT SUPERFICIEL. Les techniques concernées sont principalement celles du travail du sol visant à l'implantation des cultures (labour, façons superficielles), mais aussi celles décidées en fonction de la lutte contre les adventices (déchaumages, binages, nouveau labour).

Compte tenu des calculs d'ordre de grandeur précédemment effectués, l'effet de compactage éventuel à la base du lit de semence engendré par un nombre excessif de façons superficielles nous paraît moins déterminant vis-à-vis de l'infiltrabilité que vis-à-vis des risques d'entraînement de la couche susjacente par le ruissellement lui-même.

DIMINUTION BRUTALE DE L'INFILTRABILITÉ lors des passages de roues dont les empreintes restent en surface. La gravité des conséquences de ces passages dépend de la proportion des surfaces affectées, des conditions

hydriques dans lesquelles elles s'effectuent et des pressions et charges mises en jeu. Les principales opérations en cause sont celles effectuées après la dernière opération de travail du sol précédant l'implantation, c'est-à-dire :

- les semis par eux-mêmes, sauf si un outil de travail du sol est attelé entre le tracteur et le semoir ce qui est une solution de plus en plus fréquente pour les semis en ligne à forte densité (céréales, colza, lin, ...). Dans les autres cas, les proportions de surface affectées dépendent de la largeur du semoir ainsi que des caractéristiques et des voies relatives du tracteur et du semoir ;
- les traitements phytosanitaires et la fertilisation appliqués en couverture après le semis ;
- les chantiers de récolte parmi lesquels les plus agressifs sont ceux effectués à l'automne (betterave, pomme de terre, maïs-ensilage) en raison des surfaces affectées, du poids des matériels et de l'humidité du sol ;
- les épandages d'amendements organiques (fumiers, lisiers, boues...) qui interviennent entre deux cultures et sont également très dégradants sauf si le sol est gelé.

INTERFÉRENCE DÉFAVORABLE (accélération) OU FAVORABLE (ralentissement) AVEC LA DÉGRADATION SUPERFICIELLE DUE AUX PLUIES. L'accélération est principalement le fait d'un affinement trop poussé de l'état de surface lors de l'ameublissement ou du passage d'un rouleau qui réduit en outre la rugosité et donc la détention en surface de l'excès d'eau (BURWEIL & LARSON, 1969). Le ralentissement peut être obtenu, notamment, par le maintien d'une couverture de résidus organiques en surface (semis direct, déchaumage très superficiel).

ACTION SUR LES MODALITÉS DE CONCENTRATION DU RUISSÈLEMENT. De nombreux auteurs (par ex : LAFLÉN & COLVIN, 1981) ont montré que le maintien des résidus en surface pendant les périodes d'intercultures, ou le couvert végétal lui-même, contribuent à diviser, ralentir et étaler les écoulements. C'est un des effets bénéfiques du non-labour vis-à-vis de l'érosion.

INFLUENCE SUR LA SENSIBILITÉ DU TERRAIN AU RUISSÈLEMENT CONCENTRÉ. Celle-ci est beaucoup plus élevée pour un terrain ameubli surtout si cet ameublissement est superficiel et repose sur une couche compacte. Ainsi, le rôle des techniques de travail du sol (binage par exemple) peut être apprécié de façon très différente selon que l'on se situe en amont ou au niveau des zones de concentration du ruissellement.

Action sur la couverture du sol et sur la vitesse de recouvrement par la culture

Chaque culture se caractérise — et se distingue des autres — par le calendrier d'occupation et de recouvre-

ment du sol et, donc, de protection vis-à-vis des impacts de gouttes de pluie. En outre, la vitesse de recouvrement du sol par le couvert végétal est, pour une culture donnée, principalement contrôlée par :

- la date de semis et le régime thermique qui en résulte ; le retard des dates de semis est de ce point de vue un facteur d'accélération au printemps et de ralentissement à l'automne ;
- la densité de semis qui a tendance à fortement augmenter pour les céréales ces dernières années.

La fertilisation et le choix de la variété peuvent également jouer un rôle (GUMBS & LINDSAY, 1982).

En fait, le problème est de savoir si la couverture du sol joue, dans les conditions que nous nous sommes fixées, un rôle aussi important qu'il est admis classiquement. BOLLINE (1982) a montré que l'ajustement des périodes de recouvrement du sol et des pluies d'orages de juin rendait compte, dans des conditions de climat océanique et de sol limoneux, de quantités de « splash » annuelles beaucoup plus importantes sous betteraves que sous céréales d'hiver. Mais dans les conditions où c'est la genèse du ruissellement qui est le problème clé, on est amené à relativiser l'effet bénéfique de la couverture du sol.

Lorsque l'infiltrabilité du sol est devenue très faible un recouvrement de 100 % ne peut empêcher la formation d'un excès d'eau superficiel même s'il contribue à le réduire en stockant et canalisant une partie de la

pluie vers le lieu d'infiltration privilégiée qu'est le collet (De PLOEY, 1982). Il est vrai qu'un couvert végétal qui s'établit très rapidement après le semis peut effectivement protéger la surface du sol de la dégradation, mais cette situation est probablement assez rare, compte tenu des vitesses de déroulement des phases de croûtes observées et des vitesses d'établissement des couverts végétaux les plus courants ; toutefois, le colza à l'automne et le lin au printemps peuvent jouer ce rôle protecteur.

Calendrier cultural et chronologie des événements érosifs

Outre son calendrier d'occupation des sols, chaque culture se distingue des autres, avec une certaine variabilité selon les agriculteurs et les parcelles, par la nature et la répartition dans le temps des opérations culturales. De la succession des cultures sur une même parcelle et des modalités de gestion des intercultures (lutte contre les adventices, gestion des résidus, maintien ou non de surfaces portantes pour les épandages d'engrais et amendements) résulte ainsi l'évolution chronologique de l'infiltrabilité. Cette évolution hydrologique comporte :

- des variations instantanées dans un sens ou l'autre liées aux opérations culturales ;
- des phases de décroissances progressives liées à la dégradation structurale due aux pluies, les plus longues étant celles qui démarrent au semis puisque sauf

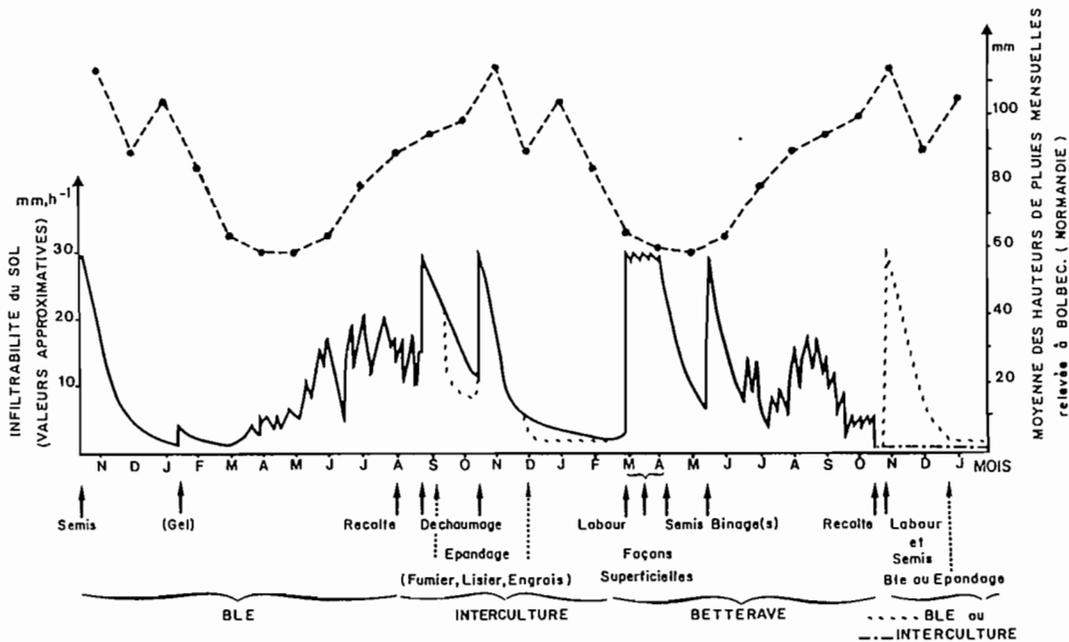


Fig.2. — Allure de variation de l'infiltrabilité et des hauteurs de pluies au cours de 2 cycles culturaux dans le nord-ouest de la France. (Sol limoneux, succession blé-betterave.)

exception (betterave, pomme de terre) il n'y a plus d'opération de travail du sol jusqu'après la récolte ; — des phases de réaугmentation provoquées par la dessiccation du profil sous l'effet de l'évapotranspiration.

L'ensemble de cette évolution doit être confrontée à la répartition chronologique des pluies. A partir d'ordres de grandeur connus, nous avons représenté sur le schéma de la figure 2, deux cas fictifs mais vraisemblables correspondant à deux successions culturales couramment rencontrées dans la Somme et le Pays de Caux. Cette représentation fait apparaître entre autres : (a) les dangers liés au maintien prolongé de croûtes sédimentaires sous céréales d'hiver et ce, alors même que le sol est couvert ; (b) l'importance déterminante de la position chronologique des opérations de travail du sol pendant les intercultures ; en sols limoneux, les labours sont généralement tardifs du fait de l'instabilité structurale ce qui donne une grande importance aux techniques de déchaumage.

En définitive, on serait tenté de caractériser globalement les risques à court terme liés à un système de culture sous un climat donné par la proportion probable de pluies qui tombent sur des terrains présentant une structure continue dès la surface du sol.

Conséquences à moyen et long terme du système de culture sur les propriétés du sol

Les processus de dégradation structurale superficielle par la pluie ou par des actions mécaniques dépendent d'une part des conditions dans lesquelles le matériau exposé est soumis à l'action de l'eau (contexte climatique et cultural) d'autre part de propriétés intrinsèques d'ordre mécanique ou structural du matériau.

Ces dernières découlent de la constitution minérale (granulométrie-minéralogie) ionique du sol, mais aussi de son statut organique : stock total et répartition des teneurs dans le profil, nature des constituants et localisation par rapport aux systèmes minéraux organisés, situation du stock et de ses différents compartiments sur une cinétique d'évolution à court, moyen et long terme.

De nombreux travaux ont montré l'influence du système de culture sur ce statut et l'on a pu en déduire à l'aide de relations généralement empiriques les répercussions sur certaines des propriétés intrinsèques citées et notamment sur la stabilité structurale.

C'est ainsi qu'il a été montré d'une façon très générale et quelle que soit la méthode d'évaluation de la stabilité structurale utilisée que cette dernière augmentait, pour un matériau donné, avec la teneur en matière organique. Par ailleurs, des études moins nombreuses mais plus spécifiques ont mis en évidence le rôle particulier et les mécanismes d'action de tel ou tel groupe

de constituants ou compartiments d'évolution ainsi que les interactions existant avec la constitution minérale (teneur en argile principalement).

Les valeurs de teneur en matières organiques et d'indicateurs spécifiques de stabilité structurale sur des séries chronologiques suivant la mise en culture annuelle de parcelles après retournement de prairies permanentes illustrent l'évolution que l'on peut attendre d'un tel changement de système de culture (BOIFFIN et FLEURY, 1974). Par ailleurs, la simulation à l'aide du modèle de HENIN et DUPUIS (1945) de l'évolution des teneurs en matières organiques dans les systèmes de cultures fourragères (GUÉRIF et MONNIER, 1982) ou en fonction du type de travail du sol et du mode d'utilisation des résidus de récolte en rotations céréalières (MONNIER *et al.*, 1981) précise l'influence relative de différentes composantes du système de culture.

Les conséquences sur la stabilité, clairement établies au niveau des tests de laboratoire (MONNIER, 1965 ; MONNIER et STENGEL, 1982) doivent être nuancées au niveau des comportements structuraux observables in situ (BOIFFIN et MONNIER, 1982) dans lesquels interfèrent, nous l'avons indiqué plus haut, les modalités d'exposition du sol à la pluie.

Dans les faits, l'influence des matières organiques n'apparaît vraiment spectaculaire au niveau du comportement « in situ » que lorsque sont réunies les conditions de teneur, de localisation, de nature et d'histoire hydrique conduisant à une efficacité physique maximale de ces constituants. C'est souvent le cas après un antécédent prairial. Par contre, dans la gamme de variation des teneurs à l'équilibre au sein de laquelle s'établit la marge d'action réelle des agriculteurs pratiquant des systèmes de grandes cultures, on peut douter que des effets sensibles de protection puissent être atteints ; la prudence oblige à poursuivre les investigations.

CONCLUSION

Au début de cette note, nous avons souligné les particularités des problèmes d'érosion hydrique qui se posent dans un contexte géomorphologique, climatique et pédologique très répandu dans le nord-ouest de l'Europe. Nous nous sommes ensuite délibérément situés dans une perspective schématique (et sans doute exagérée) où le système de culture intervient surtout sur l'origine et la formation du ruissellement, la concentration et l'effet érosif de celui-ci étant principalement déterminés par une conjonction de caractéristiques héritées du parcellaire et de la géomorphologie.

Dans ce cadre, de nombreux éléments du système de culture peuvent influencer sur la dégradation structurale préalable.

De leur examen, il ressort que, dans une large mesure, les risques et leur répartition dans le temps sont liés à des décisions d'ordre stratégique vis-à-vis desquelles la marge de manœuvre de l'agriculteur est faible : choix des cultures, organisation du calendrier cultural. Des actions sont cependant possibles et, le plus souvent, il y a coïncidence entre les objectifs agronomiques et ceux qui concernent la protection du sol.

On doit, par ailleurs, souligner qu'en l'état actuel des moyens d'analyse et de prévision, il est difficile de transposer à ces situations tout l'arsenal des références accumulées dans des zones à érosion plus massive.

Il s'agit là d'un champ d'étude, en partie au moins, spécifique qui nous semble devoir être abordé en collaboration étroite entre des équipes de géomorphologie, de pédologie, de physique du sol et d'agronomie.

BIBLIOGRAPHIE

- BOIFFIN (J.), 1984. — La dégradation structurale des couches superficielles des sols sous l'action des pluies. Thèse Docteur Ingénieur, Paris INA-P.G., 320 p. + annexes.
- BOIFFIN (J.), 1985. — Stages and time dependency of soil crusting in situ. Intern. Symp. on the assessment of soil surface sealing and crusting, Gand, Belgique (sous presse).
- BOIFFIN (J.) et FLEURY (A.), 1974. — Quelques conséquences agronomiques du retournement des prairies permanentes. *Ann. agron.* 25(4) : 555-573.
- BOIFFIN (J.) et MONNIER (G.), 1982. — Etats, propriétés, comportements des sols : Recherche et utilisation de critères de fertilité physique. *Bull. Tech. Inf.* (370-372) : 401-407.
- BOIFFIN (J.) et MONNIER (G.), 1985. — Infiltration rate as affected by soil surface crusting caused by rainfall. Intern. Symp. on the assessment of soil surface sealing and crusting, Gand, Belgique, (sous presse).
- BOIFFIN (J.), PAPY (F.), PEYRE (Y.), 1986. — Système de production, système de culture et risques d'érosion en Pays de Caux. (en préparation).
- BOLLINNE (A.), 1982. — Etude et prévision de l'érosion des sols limoneux en moyenne Belgique. Thèse de Sciences Géographiques, Université de Liège, 356 p. + annexes.
- BURWELL (R.E.) et LARSON (W.E.), 1969. — Infiltration as influenced by tillage induced random roughness and pore space. *Soil Sc. Soc. of America Proceedings* (33) : 449-452.
- DE PLOEY (J.), 1982. — A stemflow equation for grasses and similar vegetation. *Catena* (9) : 139-152.
- FIES (J.C.), STENGEL (P.), 1981. — Densité texturale des sols naturels ; éléments d'interprétation. *Agronomie*, 1 (8) : 659-666.
- GUÉRIF (J.) et MONNIER (G.), 1982. — Evolution de la fertilité physique des sols dans les systèmes de culture fourragers de l'ouest de la France. C.R. Forum Fourrage de l'Ouest, Paris, I.T.C.F. : 113-129.
- GUMBS (F.A.) et LINDSAY (J.I.), 1982. — Runoff and soil loss in Trinidad under different crop and soil management. *Soil Sc. Soc. of Am. Journal* (46) : 1264-1266.
- HENIN (S.) et DUPUIS (M.), 1945. — Essai de bilan de la Matière organique du sol. *Ann. agron.* 15, p.17.
- HENIN (S.) et MONNIER (G.), 1956. — Evaluation de la stabilité structurale des sols. C.R. VI Congrès AISS, Vol.B, 49-52, Paris.
- LAFLEN (J.M.) et COLVIN (T.S.), 1981. — Effect of crop residues on soil loss from continuous row cropping. *Trans. of the ASAE* 24(3) : 605-609.
- MONNIER (G.), 1965. — Action des matières organiques sur la stabilité structurale des sols. Thèse Docteur Ingénieur, Fac. Sc. Université de Paris.
- MONNIER (G.), STENGEL (P.) et GUÉRIF (J.), 1981. — Recherche de critères de la fertilité physique du sol et de son évolution en fonction du système de culture. C.R. Coll. Agrimed CEE « Evolution du niveau de fertilité des sols », Bari 28-29/09/81.
- MONNIER (G.) et STENGEL (P.), 1982. — La composition granulométrique des sols : un moyen de prévoir leur fertilité. *Bull. Techn. d'Inf.* (FRA). (370-372) : 503-512.
- PINGUET (A.), 1985. — Aperçu sur la pluviométrie en Pays de Caux. Doct. interne, Bioclimatologie, INRA Avignon.
- Soil erosion, 1982. — Proceeding of the Workshop on soil erosion and conservation in EEC countries, Florence, Italy, 19-21/10/1982.
- WISCHMEIER (W.H.), 1960. — Cropping management factors evaluation for a USLE. *Soil Sc. Soc. of Amer. Proceedings* (24) : 322-326.
- WISCHMEIER (W.H.) et SMITH (D.D.), 1965. — Predicting rainfall erosion losses from cropland east of Rocky Mountains. *Agricultural Handbook* n° 282, USDA.