

Contribution du ruissellement concentré à l'érosion des sols sableux cultivés de l'ouest du Bassin parisien : l'exemple des bassins du Dué et du Narais.

Jean-Pierre Larue

Comme les plateaux limoneux du Bassin parisien (Auzet et al, 1993 ; Le Ber, 1989 ; Veyret et Wicherek ; 1992 ; Wicherek, 1994), les régions sableuses de la bordure ouest de ce bassin subissent une recrudescence de l'érosion hydrique des sols cultivés à la suite des restructurations des paysages ruraux et des transformations des façons culturales (Gravier et al, 1989 ; Delahaye, 1992 ; Larue, 1991 et 1992 ; Monnier, 1992 ; Victor, 1990). A l'est du Mans, cette érosion résulte à la fois du ruissellement diffus et du ruissellement concentré (encadré 1). Du fait de systèmes de pentes complexes associant des versants courts à forte déclivité et de longs vallons secs, on rencontre aussi bien l'érosion de versants que l'érosion de talwegs (Boiffin et al, 1986 et 1988 ; Papy et Douyer, 1988 ; Larue, 1992).

Ce travail vise à évaluer la contribution du ruissellement concentré dans l'érosion des sols sableux. Le suivi de petits bassins-versants permet d'observer la genèse des incisions au cours d'épisodes pluvieux, de cartographier et de mesurer ces formes et ainsi d'évaluer les pertes de terre provoquées par le ruissellement concentré. De 1988 à 1995, l'érosion a revêtu ses deux rythmes : l'érosion chronique a été relayée par l'érosion catastrophique à deux reprises, en mai 1988 et en mai 1990. Cette évolution a des impacts géomorphologiques importants sur les versants, dans les vallons et même dans les vallées.

Encadré 1

Du ruissellement à l'érosion.

Le ruissellement se produit quand l'intensité des précipitations dépasse l'infiltration et la capacité de rétention de la surface du sol.

– Le *ruissellement diffus* est un écoulement superficiel pelliculaire ou en filets instables qui, par érosion latérale, exporte les particules fines, déchausse les plants et met en relief les cailloux.

– Le *ruissellement concentré* donne des écoulements linéaires, plus épais et turbulents, capables de générer des incisions linéaires.

L'érosion résulte du détachement et du transport de particules sous l'action combinée de la pluie et du ruissellement. Elle revêt deux formes :

– l'*érosion chronique*, qui dure et se répète selon la définition du dictionnaire Larousse, caractérise l'ablation produite tous les ans par les précipitations suffisantes pour générer du ruissellement ;

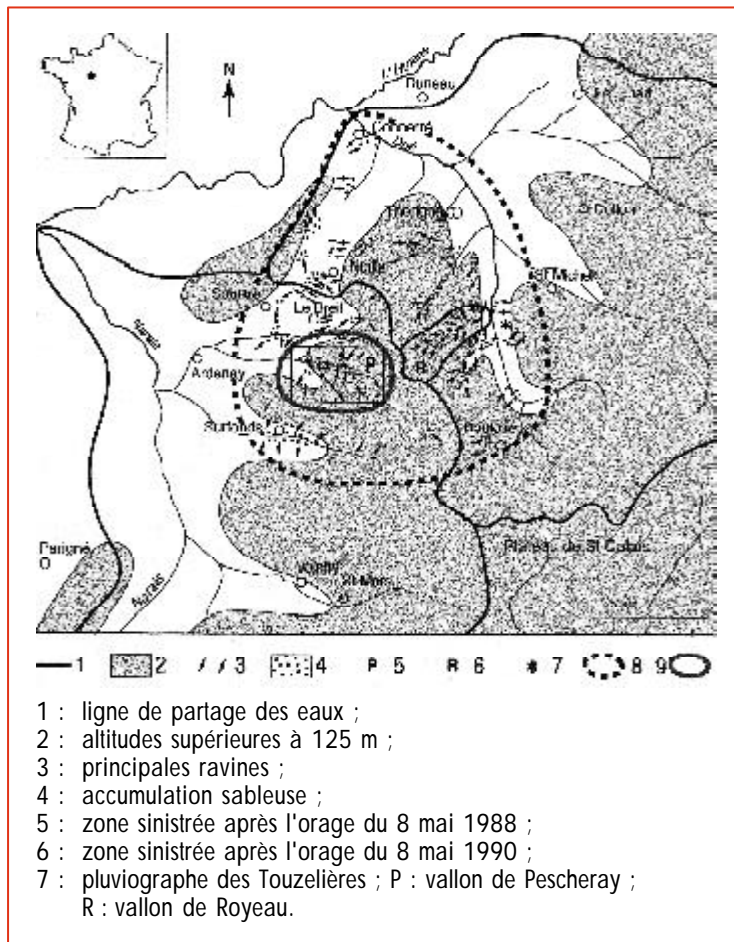
– l'*érosion catastrophique* ne se produit que lors de précipitations exceptionnelles, de fréquence au moins décennale.

Menée en concertation avec les agriculteurs et les techniciens de la DDAF et de la Chambre d'Agriculture de la Sarthe, cette étude débouche sur l'application de mesures préventives.

Cadre de l'étude

Dans le bassin de la Sarthe, à l'est du Mans, la bordure nord-ouest du vaste plateau de Saint-Calais, qui ne dépasse guère 150 m d'altitude, est

Jean Pierre
LARUE
Géodynamique des
milieux naturels et
de l'environnement
Université de Paris
XII-Val de Marne
94010 Créteil
cedex



▲ Figure 1. – Carte de localisation.

modélisée en croupes étroites par les affluents de rive gauche de l'Huisne : le Narais et le Dué (figure 1). Sur le plan morphométrique, les bassins versants se caractérisent par :

- une forte densité de talwegs ($1,16 \text{ km/km}^2$ en moyenne pour le bassin-versant de la Tortue, mais jusqu'à $3,23 \text{ km/km}^2$ pour les sous-bassins situés sur la rive gauche de la Tortue), nettement supérieure à celle de la plupart des autres plateaux du Bassin Parisien ($0,74 \text{ km/km}^2$ en Picardie par exemple) ;
- la prédominance des vallons secs qui totalisent entre 50 et 88% de la longueur des talwegs ;
- des pentes très variables : si la pente longitudinale moyenne du fond des talwegs dépend principalement de leur longueur, celle des têtes de vallons secs et surtout des versants enregistre des valeurs plus fortes, 3 à 4% pour les premières et

toujours plus de 10% dans les sections convexes des seconds. Il convient de noter la présence de plusieurs paliers dans les profils longitudinaux ainsi que celle de ressauts plus ou moins marqués sur les versants ;

– une dissymétrie générale des versants : celui qui regarde vers le nord-ouest est toujours plus abrupt que son vis-à-vis tourné vers le sud-est ;

– une topographie irrégulière des fonds de vallons juxtaposant une surface plane sans entaille marquée pour l'écoulement et des cônes de matériaux détritiques situés à la base du versant et avançant plus ou moins loin vers l'axe du talweg.

A l'affleurement, les sables prédominent. Étudiées par Juignet (1974), les formations cénomaniennes apparaissent sous les dépôts quaternaires de fond de vallon ainsi que dans les sections inférieures des versants. Leur subdivision en sables du Mans (Cénomaniens inférieur et moyen) épais de 40 à 50 m et sables du Perche (Cénomaniens supérieur) de 20 à 30 m d'épaisseur est facilitée par le fait que ces derniers sont encadrés par des niveaux de grès qui engendrent les ressauts signalés précédemment. Ces bancs gréseux d'épaisseur métrique sont des "hard grounds", selon Juignet (1974). Le haut des versants est modelé dans les marnes à huîtres du Cénomaniens supérieur (moins de 10 m d'épaisseur), puis dans la craie glauconieuse et la craie à silex turoniennes (environ 15 m d'épaisseur), fréquemment recouvertes par l'argile à silex. Enfin, le sommet des croupes est couronné par des terrains éocènes à dominante sableuse. Affectés d'un léger pendage vers le sud-est, les terrains sédimentaires secondaires et tertiaires sont presque toujours masqués par des dépôts quaternaires détritiques, essentiellement sableux.

Excepté sur la craie et l'argile à silex où l'on rencontre des sols à bonne stabilité structurale, partout ailleurs, les sols lessivés, particuliers, instables, manquent d'argile et de matière organique nécessaires à la constitution d'agrégats résistants. Ils sont sensibles à la battance et à la formation d'organisations pelliculaires de surface (OPS), définies par Boiffin (1984) et Valentin (1985) (encadré 2).

Soumise à un climat océanique légèrement dégradé par la continentalité, la région connaît un risque non négligeable de fortes averses (Gravier et al, 1989). Ainsi la station de Bouloire, située

5 km plus au sud, reçoit en moyenne 628 mm de précipitations (maximum 904 mm en 1984, minimum 419 mm en 1976) qui tombent en 170 jours, soit une moyenne de 3,7 mm par jour de pluie. Mais certaines journées sont copieusement arrosées : en 30 ans (1959-1988), 234 jours ont reçu plus de 15 mm de précipitations. Des averses orageuses d'intensité supérieure à 30 mm/h se produisent fréquemment en mai, en août et durant l'automne, c'est-à-dire pendant les périodes de faible couverture végétale pour les parcelles cultivées en maïs, tournesol et blé.

Nous allons analyser tour à tour les conséquences de l'érosion chronique et de l'érosion catastrophique.

Les formes d'incision dues à l'érosion chronique

■ Formes caractéristiques

Sur les parcelles cultivées, le ruissellement concentré donne naissance à des formes de taille modeste : griffes, rills, rigoles et ravineaux, qui ne sont pas comblées par les agriculteurs avant la récolte (encadré 3). Les griffes sont des micro-formes éphémères qui entaillent les micro-reliefs formés par les lignes de semis : leur profondeur est inférieure au lit de semence, leur largeur n'excède guère 10 cm et leur longueur ne dépasse le mètre que lorsqu'elles s'allongent parallèlement aux rangs et interrangs. Au contraire, les rills sont des formes stables, rectilignes, parallèles les unes aux autres dans le sens de la pente et qui présentent des profils en long identiques à celui du versant. Dessinant un profil transversal en berceau, ces incisions situées en interrangs ont une profondeur qui s'adapte au volume d'eau à écouler, sans toutefois dépasser 10 cm. Toujours plus larges (5 à 70 cm) que profondes (3 à 10 cm), les rigoles ont des tracés sinueux souvent hiérarchisés qui recourent les rangs et les interrangs au gré de la pente. Elles sont prolongées à l'aval par des ravineaux dont la profondeur atteint la semelle de labour, leur tracé s'adapte à la topographie et le profil transversal présente une forme en U dans les sables.

■ Les transferts observés

Le suivi d'octobre 1989 à avril 1990 de plusieurs parcelles semées en blé dans le bassin du Royeau

Encadré 2

Les organisations pelliculaires de surface (OPS).

Elles résultent de la dégradation de la surface du sol sous l'action mécanique des gouttes de pluie, le *splash*. En brisant les agrégats, le splash provoque des rejaillissements de particules fines qui comblent les pores du sol et forme un glaçage peu perméable ou *croûte de battance* qui limite l'infiltration et augmente le ruissellement. Selon Boiffin (1984), la dégradation passe par deux stades successifs :

- la *croûte structurale*, constituée lorsque les particules fines ont bouché les pores du sol, réduit l'infiltration entre 6 et 2 mm/h ;
- la *croûte sédimentaire*, qui survient lorsque la surface est lissée par la sédimentation des particules fines dans les flaques, limite l'infiltration à 1 mm/h.

a permis d'étudier le développement de ces incisions et d'évaluer par leur cubage les pertes de terre subies. En outre, les sorties du bassin-versant sont estimées à partir de prélèvements d'eau réalisés à l'exutoire du bassin, dans le ruisseau de Royeau.

En avril 1990, le cubage des incisions visibles sur le terrain (Victor, 1990) aboutit à des pertes de terre qui varient de 1 t/ha à plus de 4 t/ha, pour environ 6 mois et pour des parcelles de 2 à 8 ha situées sur des versants dont la pente oscille entre 5 et 12 %. Ces valeurs sont peu différentes de celles fournies par Ouvry (1992) sur les terres limoneuses du Pays de Caux. A l'exutoire du bassin, la mesure des charges transportées par le ruisseau de Royeau, effectuée par Victor (1990) durant l'hiver 1989-90 qui n'a pas enregistré d'épisode catastrophique, montre la part prépondérante des éléments dissous. Avec une charge

Encadré 3

Les formes d'incision dues à l'érosion chronique.

formes	tracé	longueur	largeur	profondeur
griffe	sinueux	< 1 m	< 10 cm	5-6 cm
rill	rectiligne	centaine de m	10-20 cm	5-10 cm
rigole	sinueux	dizaine de m	5 à 70 cm	3 à 10 cm
ravineau	peu sinueux	centaine de m	50 cm à 1 m	30-40 cm

moyenne de 0,44 g/l, on peut évaluer la dégradation spécifique à environ 57 t/km²/an ou 0,57 t/ha pour le bassin versant de Royeau, ce qui représente une ablation théorique de 2,7 cm par millénaire, proche des valeurs fournies par Goudie (1995) pour les zones tempérées.

Les pertes de terre mesurées par les incisions sur les versants sont donc très supérieures aux sorties du bassin-versant, ce qui prouve l'existence de relais d'ailleurs plus importants que la différence de valeurs ne le suggère, car le cubage des incisions ne tient pas compte de l'érosion diffuse. Cette dernière, qui varie entre 2 et 5 t/ha/an sur les versants (Larue et al, 1999), égale et même dépasse celle résultant du ruissellement concentré.

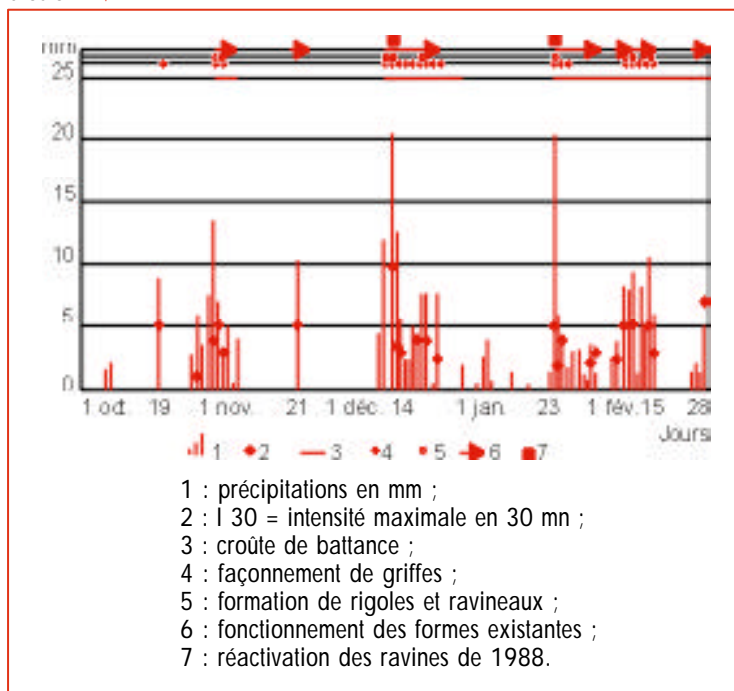
La figure 2 donne les précipitations journalières d'octobre 1989 à mars 1990 et leur intensité maximale pendant 30 min (I 30) calculée à partir des données du pluviographe des Touzelières. Des griffes et des rills se développent le 19 octobre au cours d'un épisode pluvieux de 9,3 mm caractérisé par de fortes intensités : 5 mm/h pour I 30. Les ravineaux se creusent à partir du 1^{er} novembre lors d'une séquence pluvieuse continue entre le 27 octobre et le 7 novembre. Ils progressent et fonctionnent lors des séquences pluvieuses impor-

tantes du 11 au 25 décembre, puis du 22 janvier au 2 février et du 9 au 16 février. De plus, les averses dépassant 20 mm les 14 décembre et 23 janvier provoquent la réactivation des ravines façonnées le 8 mai 1988.

L'incision du sol se produit quand la force tractive du ruissellement dépasse une valeur critique (Biro, 1981 ; Govers, 1991 ; Gilley et al, 1993) qui varie selon la résistance du sol (Quansah, 1985 ; Le Bissonais et al, 1993). Sur sol sableux, le ruissellement ne se développe que dans deux cas : lorsque l'infiltration est fortement limitée par le développement de croûtes de battance sous l'impact des pluies et plus rarement lorsque le sol est complètement saturé, comme en janvier 1995. Si la vitesse ne dépasse que de peu la valeur critique, qu'on peut évaluer d'après la courbe de Hjulström (1935) à 20 cm/s pour les sols à texture sableuse, le ruissellement concentré ne creuse que des griffes et des rills, comme le 19 octobre 1989, par contre si la vitesse est nettement supérieure, les rigoles et les ravineaux se développent. La vitesse dépend essentiellement de la longueur de pente sans obstacles et de l'épaisseur de la lame ruisselée (De Ploey, 1983 ; Bryan et Poesen, 1989). L'agrandissement des parcelles de culture et la formation de croûtes de battance sont les facteurs déterminants de l'incision. Sur les hauts de versants convexes, 150 m sans obstacles sont nécessaires pour qu'un système rigoles-ravineaux puisse démarrer, ceci dans une gamme de pentes de 5 à 10%.

La localisation des formes d'érosion et d'accumulation ne se fait pas de manière aléatoire. En Belgique centrale, Vandaele et al (1996) montrent que la localisation des ravins temporaires dépend de la surface de l'impluvium en amont de la tête de ravin et de la pente critique représentant l'érosivité du ruissellement concentré. En Sarthe, les ravinements sont toujours situés sur les parcelles à faible couverture végétale : maïs et tournesol au printemps, blé, orge, voire chaume de maïs en automne et en hiver. On ne rencontre jamais de ravineaux sur les prairies, par contre, les atterrissements débordent fréquemment sur ces dernières et mêmes dans les parcelles boisées. Les dommages importants ne concernent que les secteurs pentus, mais c'est plus la micro-topographie que les fortes pentes qui conditionne les dégâts. Ainsi, les incisions se localisent dans les enselle-

Figure 2. - Précipitations journalières et érosion. ▼



ments favorables à la concentration du ruissellement. Le profil transversal des incisions dépend beaucoup de la lithologie : il dessine un V dans les argiles à silex, un U dans les sables dont les bordures s'effondrent facilement.

Les formes d'incision dues à l'érosion catastrophique

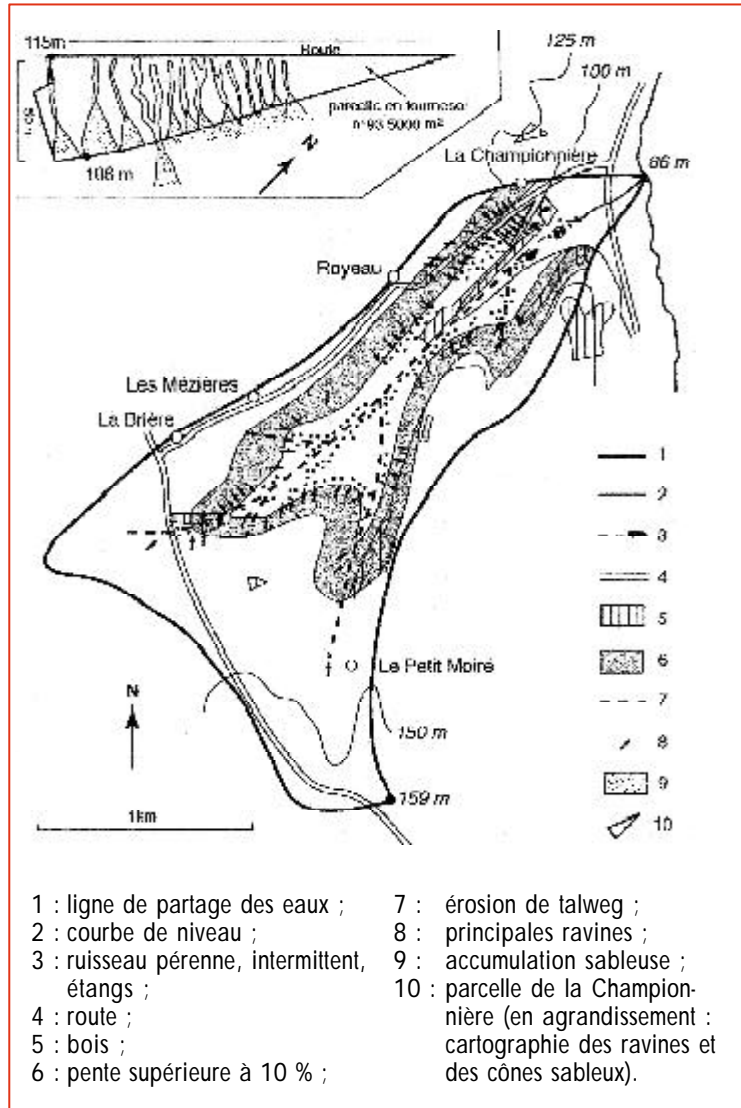
■ Formes caractéristiques

L'érosion catastrophique résulte de précipitations exceptionnelles qui ont de longues périodes de retour, ce qui n'exclut pas des événements rapprochés comme le démontrent les orages diluviens des 8 mai 1988 et 8 mai 1990 dans les bassins du Dué et du Narais. La figure 1 montre que l'extension des zones sinistrées a été très différente d'un événement à l'autre. Le 8 mai 1988, il est tombé environ 60 mm en 2 h, avec des intensités maximales de 60 mm/h, sur un espace d'environ 200 km² ; la période de retour est estimée à 80 ans (Dufour et al. 1990). Le 8 mai 1990, un orage plus court (30 mn) a déversé 45 mm d'eau accompagnée de grêle avec des intensités maximales de 90 mm/h sur un espace beaucoup plus réduit (10 km²), centré sur le vallon de Pescheray.

Aux rills, rigoles et ravineaux s'ajoutent des ravines ou gullies qui se localisent dans les parties moyenne et inférieure des versants à la faveur de micro-talwegs ou d'ensellements canalisant des flots turbulents, mais aussi en fond de vallon (figure 3). Leur profondeur dépasse la semelle de labour et atteint souvent 1,50 m, quant à la largeur, elle peut dépasser localement la dizaine de mètres. Les façons culturales influencent la morphologie des incisions. Le lit de semence et la semelle de labour forment des niveaux d'arrêt pour l'infiltration mais aussi, tout au moins momentanément, pour l'érosion. L'écoulement hypodermique qu'ils engendrent provoque l'éboulement des bords abrupts des ravines et favorise le développement de l'érosion latérale. Souvent les ravineaux présentent un ou plusieurs replats correspondant aux différents niveaux d'arrêt.

■ Cartographie et cubages réalisés

Après l'événement catastrophique du 8 mai 1988, la cartographie (figure 3) et le cubage des formes d'incision ont été effectués dans les zones sinistrées (Gravier et al. 1989). Dans le bassin de



Royeau (275 ha), les incisions totalisent 4063 m³, soit une dégradation spécifique d'environ 30 t/ha, ce qui dépasse largement le seuil de 11 t/ha fixé par le Soil Conservation Service au delà duquel la situation devient critique pour le maintien de la ressource sol. Dans l'axe des talwegs du fond de vallon, les ravines discontinues mesurent 2100 m de longueur et 1470 m³ de volume, l'incision maximale est située immédiatement à l'aval d'un petit bois qui en retenant la charge sableuse du flot a rendu ce dernier plus érosif. Dans le secteur concave des bas de versants, on a dénombré 80 ravines de plus de 60 cm de profondeur, totalisant 4800 m de longueur pour un cubage de 2590 m³. La plus forte densité d'in-

▲ Figure 3. – Les formes d'érosion catastrophique dans le vallon de Royeau après l'orage du 8 mai 1988.



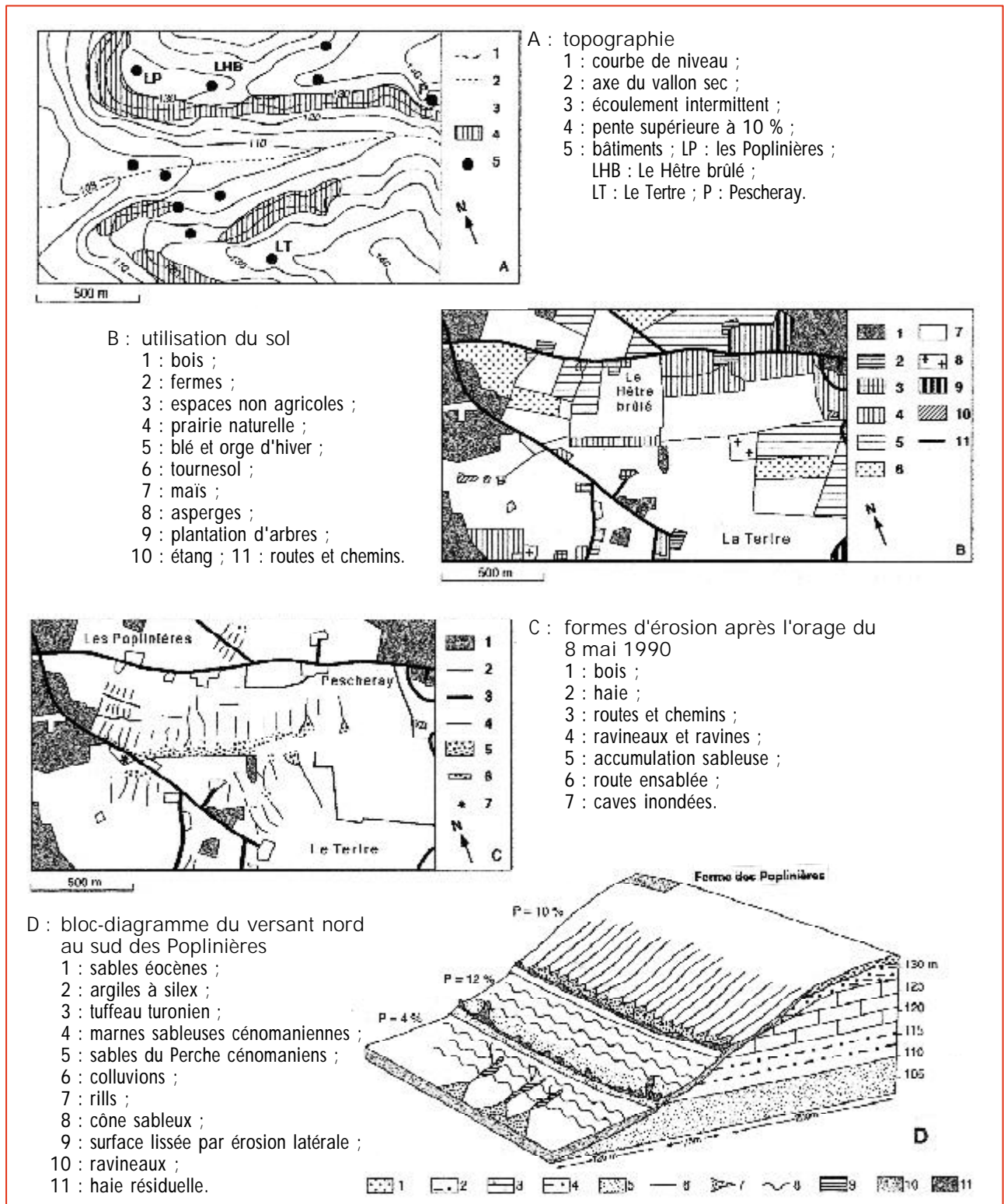
▲ Photos 1 et 2 : Vues d'une parcelle cultivée en tournesol lors de l'orage du 8 mai 1988 (sud de La Championnière). En haut, ravine à fond plat et bords abrupts, de 90 cm de profondeur. En bas : ravines parallèles et sinueuses rendant la parcelle inutilisable pour l'agriculture.

cisions a été observée sur la parcelle en tournesol de 0,50 ha au sud de la Championnière (figure 3 et photos 1 et 2) : là, 300 m de ravines ont rendu la parcelle inutilisable pour l'agriculture (elle a été boisée en conifères en 1991), 162 m³ de terre ont été enlevés, ce qui représente une dégradation spécifique de 648 t/ha et une ablation moyenne de 3,2 cm en moins d'une journée. La totalité de ces ravines est façonnée dans des colluvions à dominante sableuse, matériaux très favorables à leur genèse selon Stocking (1980). Leur fond plat s'arrête localement sur le sommet de l'horizon B un

peu plus argileux du sol lessivé développé sur ces colluvions.

Dans le vallon de Pescheray (figure 4) qui a subi deux épisodes catastrophiques à 2 ans d'intervalle, l'emplacement des ravines est rigoureusement identique sur les parcelles emblavées les deux fois en maïs et en tournesol. En revanche, on peut constater l'absence de ravinements lorsqu'une couverture végétale fermée protège le sol : par exemple, le versant situé au nord de la ferme du Tertre, érodé en 1990, ne l'avait pas été en 1988 alors qu'il était occupé par du blé d'hiver. L'absence d'incision dans le fond du vallon en 1990 peut s'expliquer par un volume d'eau écoulee moins important qu'en 1988, mais surtout par la présence d'une bande de raygrass qui a ralenti le flot et favorisé l'accumulation de la charge solide (figure 4). La longueur de pente sans obstacles au ruissellement détermine le type de formes de ravinement. Par exemple, au sud des Poplinières, le versant long de 400 m présente une déclivité moyenne de 7% mais il est morcelé en trois secteurs par deux talus perpendiculaires à la pente et engendrant des ressauts d'1,50 m de commandement (D, figure 4). Bien qu'ils n'aient pas arrêté le ruissellement, ces deux obstacles l'ont freiné et étalé, empêchant ainsi sa concentration locale et la genèse de ravines de taille identique à celles façonnées plus à l'est, au sud de la ferme du Hêtre brûlé, dans une parcelle d'un seul tenant. Épargné par l'incision, le secteur central, en pente forte (12% sur 75 m), cultivé en tournesol, a subi un ruissellement en nappe qui a comblé les interrangs et façonné une surface lisse. Seuls, quelques ravineaux ont pu naître sur la parcelle inférieure en pente plus faible, 4%, mais sur une plus grande longueur, 125 m. Au total, le volume des formes d'incision a été évalué à environ 1300 m³ en 1988 et 1000 m³ en 1990, ce qui représente une dégradation spécifique respective de 23 t/ha et de 16 t/ha. La moindre importance de l'érosion de talweg dans le vallon de Pescheray explique ces valeurs, inférieures à celles obtenues dans le bassin de Royeau.

A la différence des incisions dues à l'érosion chronique, les formes larges et profondes de l'érosion catastrophique sont en général rapidement comblées par les agriculteurs qui ont dû recommencer leur semis dans les zones sinistrées. Ces remaniements empêchent l'étude de l'évolution de ces



▲ Figure 4. – Le vallon de Pescheray.

formes. Par ailleurs, les sorties des bassins-versants lors de ces épisodes catastrophiques n'ont pas pu être mesurées précisément.

Les impacts géomorphologiques de l'érosion des sols

Dans le bassin-versant, le système d'érosion fonctionne sur une distance plus ou moins longue selon les conditions bioclimatiques qui varient au cours de l'année.

■ *A l'échelle de la parcelle, un système discontinu*

L'été, en l'absence d'orages, l'érosion ne se développe que dans le secteur aval des vallons : l'écoulement pérenne s'explique principalement par le soutien hydrologique opéré par la nappe phréatique cénomanienne, seuls des éléments dissous sont alors véhiculés.

Lors des pluies <10 mm et de faible intensité, le système n'est actif qu'aux deux extrémités avec une interruption centrale : sur les parcelles faiblement couvertes, l'impact des gouttes de pluie, en fragmentant les agrégats, provoque un déplacement des matériaux fins du rang vers l'interrang, puis l'eau s'infiltre et après un parcours hypodermique donne naissance à un écoulement dans l'axe du talweg, qui transporte des éléments en solution et en suspension.

Pour des précipitations plus intenses et plus longues, le ruissellement atteint l'échelle de la parcelle sans pour autant parcourir l'ensemble du versant : des matériaux grossiers sont déplacés de l'amont vers l'aval des parcelles mal protégées par la végétation, mais sans continuité à l'échelle du versant ; le ruisseau de fond de vallon charrie quelques sables en plus des transports en solution et en suspension. Le ruissellement, diffus et localement concentré à la faveur de la microtopographie, laisse des empreintes peu marquées : griffures, ravineaux et atterrissements sableux sur les replats structuraux et les banquettes de culture.

■ *A l'échelle du bassin versant*

La continuité de l'amont à l'aval n'est réalisée que pendant de brèves périodes correspondant à des précipitations catastrophiques comme en mai 1988 et en mai 1990. Lors de ces événements ca-

tastrophiques, les couples érosion-sédimentation, qui se juxtaposent de l'amont à l'aval, finissent par se télescoper en raison de l'érosion régressive, entraînant un début d'incision pour les cônes d'accumulation sableuse. Le ruissellement concentré engendre des ravinements dépassant 1 m de profondeur dans les banquettes de culture, dans la concavité de bas de versant et dans l'axe des vallons secs. La compétence du flot boueux permet le transport d'éléments grossiers jusqu'au ruisseau qui exporte alors une partie des sables vers la rivière principale. Ces transports longitudinaux modifient la dynamique fluviale des cours d'eau qui deviennent à fond mobile.

Cette accumulation est présente sur les ressauts naturels comme sur les banquettes de culture qui irrégularisent la pente des versants, mais aussi en fond de vallon. L'épaisseur des colluvions en bas de versants et en fond de vallon témoigne de cette dynamique qui apparaît générale à l'échelle historique (Larue et al, 1996). Par exemple, l'accumulation sableuse dans l'axe du vallon de Royeau a fait reculer vers l'aval l'écoulement pérenne du ruisseau d'une cinquantaine de mètres depuis 1950. Les exportations à l'exutoire du bassin versant ne concernent que les argiles et les limons.

Des variations spatiales considérables

Dans le bassin-versant, les variations spatiales sont tellement importantes que les données à l'hectare ne signifient pas grand chose. En fonction de la couverture végétale du moment, de la topographie et de la résistance des sols, l'ablation varie dans des proportions considérables. Pour le bassin de Royeau, les sorties à l'exutoire se limitent à 8 m³/an et l'érosion chronique aboutit à des transferts d'environ 3000 m³/an des hauts de versants vers les bas de versants et l'axe du vallon. Les surfaces où l'ablation l'emporte représentent environ 140 sur les 275 hectares du bassin et les secteurs d'accumulation dominante seulement une cinquantaine d'hectares : la vitesse moyenne d'ablation est de 20 mm en 100 ans sur les premières et celle d'accumulation de 56 mm en 100 ans sur les secondes.

En revanche, l'érosion catastrophique, en incisant les colluvions, permet des sorties de matériel grossier, ainsi que le montrent les bancs de sables qui progressent sur les vases des cours d'eau principaux : Tortue, Dué et Narais. Il serait utile de pouvoir chiffrer ces sorties qui peuvent toutefois

être estimées à un tiers du volume des incisions (en déduisant le volume des atterrissements sableux conservés). Sur les versants, les incisions, bien que comblées par les agriculteurs, accentuent les creux et ébauchent de mini-réseaux hydrographiques : chaque impluvium alimente un talweg principal dans l'axe duquel se développe une ravine lors de précipitations importantes. L'érosion catastrophique favorise ainsi le ruissellement concentré au détriment du ruissellement diffus.

L'influence des structures parcellaires et des pratiques culturales

La restructuration rapide du parcellaire, en détruisant les structures linéaires (haies, talus et fossés associés), expose à l'érosion des pentes très irrégulières, accidentées par les banquettes de culture qui se sont constituées à l'amont des anciennes haies et par les replats structuraux dus aux niveaux gréseux. Les pratiques culturales actuelles, en favorisant le ruissellement de surface induit par le développement de croûtes de battance, entraîne la migration des matériaux meubles qui ne sont plus retenus par les haies. Le remblaiement de sables et de silex des têtes de vallons avance peu à peu vers l'aval, recouvre les sols hydromorphes de la partie moyenne des vallons et réduit d'autant la longueur de l'écoulement pérenne. Lors d'épisodes pluvieux exceptionnels, le ruissellement direct atteint les cours d'eau. Les flots turbulents entaillent profondément les banquettes de culture et les apports de sables plus ou moins grossiers retardent l'incision des drains principaux. Les sables enlevés aux portions de versants soumises à l'écoulement concentré atteignent les cours d'eau qui, plus chargés, accumulent au fond de leur lit et commencent à saper leurs berges. La tendance au creusement vertical des cours principaux apparaît bloquée. Du fait de la répétition des crises érosives, les ravinements atteignent fréquemment la roche-mère : argile à silex, colluvions périglaciaires et sables du Perche.

Une tendance à l'accélération de l'érosion

Sur les versants soumis à l'érosion chronique et à l'érosion catastrophique (1988, 1990), la morphogenèse est devenue plus rapide que la pédogenèse : on atteint le stade de "morphogenèse accélérée" (Neboît-Guilhot, 1999). Selon Buol et al (1973), la vitesse de formation des sols varie entre 0,01 et 7,7 mm/an, alors que la vitesse moyenne de l'érosion se situe aux alentours de 0,1 mm/an pour

Zachar (1982). Les mesures effectuées permettent d'estimer l'ablation sur les sables les plus instables à environ 10 mm /an, soit plus de trois fois la vitesse de formation des sols de la région. Cette crise érosive semble assez générale dans les régions du globe à agriculture intensive ; par exemple, Walling et Quine (1991), en utilisant la méthode ¹³⁷Cs, indiquent que le rythme de l'érosion s'est accru depuis 30-35 ans au Royaume Uni.

La mise en place de mesures préventives

La lutte contre l'érosion des sols a pu commencer dès lors que les collectivités locales et les agriculteurs ont pris conscience des risques de cette morphogenèse accélérée. Les crises érosives et les inondations boueuses de 1988 et 1990 ont causé des dommages importants aux cultures, mais aussi aux habitations et aux infrastructures (Gravier et al, 1989 ; Larue, 1991). Pourtant, seul le premier événement a fait l'objet d'une déclaration de "catastrophe naturelle" permettant l'indemnisation des communes sinistrées. En précisant que l'indemnisation n'a lieu que "lorsque les mesures habituelles à prendre pour prévenir les dommages n'ont pu empêcher leur survenance ou n'ont pu être prises", la loi du 13 juillet 1982 encourage donc fortement l'application de mesures préventives.

C'est dans le cadre du bassin-versant élémentaire, qui contrôle le ruissellement, que deux types de mesures peuvent être préconisées : *les actions agronomiques et des aménagements*.

■ Les actions agronomiques

visent à réduire l'action directe de la pluie, à rendre le sol plus perméable et plus résistant à l'ablation et à ralentir le ruissellement dès l'amont. Pour cela, il convient d'améliorer la stabilité de la structure des sols sableux trop particuliers en leur apportant de la chaux et de la matière organique, de maintenir la rugosité de la surface du sol cultivé, ainsi qu'un maximum de couverture végétale et de réorganiser les parcelles culturales dans le bassin-versant.

Plusieurs mesures commencent à être appliquées en Sarthe. Le broyage des résidus de maïs après la récolte donne un paillage efficace qui protège bien le sol lors des pluies d'hiver. L'introduction de

cultures dérobées (seigle ou moutarde) entre le blé et la culture de printemps joue un rôle identique et, en plus, ces engrais verts absorbent les nitrates en excès et enrichissent le sol en matière organique lors de leur enfouissement. Toutefois, cette technique efficace est peu répandue car elle est coûteuse en temps et en argent. Un moindre émiettement du sol lors de la préparation des lits de semence ralentit la formation des croûtes. Le semis direct du maïs est pratiqué sur une parcelle expérimentale par un agriculteur du Breil-sur-Mérize grâce à l'aide de la Chambre d'Agriculture : la baisse minimale du rendement est largement compensée par la réduction des pertes de terre, mais les investissements en matériel ne pourraient être supportés que dans le cadre d'une coopérative. Par contre, le labour selon les courbes de niveau, en général recommandé, est très difficile à réaliser en raison du système complexe des pentes.

Pour limiter le ruissellement, il faut tenir compte de la situation topographique des parcelles dans le bassin-versant, afin d'éviter que des surfaces imperméabilisées ne ruissellent sur des terres fraîchement ameublées. Ainsi la culture de maïs à l'aval d'une parcelle de blé est déconseillée. L'alternance sur un même versant de cultures différentes contribue à limiter les incisions, mais demande une concertation entre agriculteurs.

■ *Les aménagements*

Pour diminuer la longueur des pentes sans obstacles, les haies et les talus ont montré leur efficacité. Si le retour au bocage est impossible à envisager dans la conjoncture européenne pour des raisons de rentabilité, le maintien de quelques haies perpendiculaires à la pente est fortement conseillé pour ralentir le ruissellement concentré : si les travaux de remembrement ont arasé méthodiquement haies et talus sur la commune de Bouloire, les aménagements programmés sur celle de Thorigné-sur-Dué conservent certaines barrières végétales.

Ainsi, les mesures agronomiques bien conduites limitent le ruissellement, l'exportation de terre et les incisions, mais ne peuvent empêcher les inondations en cas de précipitations exceptionnelles : des *aménagements hydrauliques* collectifs sont alors nécessaires.

Pour retenir l'eau de ruissellement, des réservoirs peuvent être construits dans les talwegs susceptibles d'engendrer des inondations boueuses dommageables pour de nombreuses habitations (Papy et Douyer, 1988). Ainsi, un barrage de terre a été édifié dans le vallon des Haies afin de limiter les inondations à Thorigné-sur-Dué et plus en aval à Connerré.

Conclusion

Quelle que soit l'échelle des observations et mesures, il est difficile de séparer l'action du ruissellement diffus de celle du ruissellement concentré. L'action directe de la pluie et le ruissellement diffus, en limitant l'infiltration en général forte dans les sols sableux, préparent la voie au ruissellement concentré qui donne naissance à des incisions là où la vitesse tractrice critique est atteinte. L'ampleur des ravinements dépend essentiellement du volume d'eau écoulé. Les sols particuliers et les colluvions "boulantes" du secteur étudié sont propices à l'incision de ravines lors de précipitations exceptionnelles. Ces épisodes catastrophiques tendent à renforcer l'effet du ruissellement concentré au détriment de celui du ruissellement diffus. L'érosion par ravines constitue une grave menace pour les sols sableux de l'ouest du Bassin parisien.

La compréhension de la dynamique actuelle de petits bassins-versants ruraux nécessite de bien cerner les liens spatiaux sur les versants. Les mesures effectuées à diverses échelles (Le Bissonnais et al, 1996) prouvent que l'érosion est très variable dans l'espace et dans le temps. Le ruissellement et l'ablation sont contrôlés par de nombreux paramètres qui rendent difficile la modélisation : ils varient dans l'espace en fonction de la lithologie, des sols, des pentes, de l'intensité des précipitations, mais aussi des systèmes de culture, du parcellaire et des façons culturales, et également dans le temps, en liaison avec l'évolution du couvert végétal, de la répartition des précipitations et des façons culturales. De toute façon, l'étude du fonctionnement hydrique des bassins-versants est un préalable à la mise en place de mesures de prévention. Elle permet d'évaluer la gravité de la crise morphogénique déclenchée par la transformation brutale des paysages ruraux et des systèmes de culture.

Même s'il est difficile de concilier économie et écologie dans les bassins du Dué et du Narais, des solutions existent pour limiter l'érosion des sols, mais leur financement par les seuls agriculteurs apparaît peu réaliste dans le contexte économique actuel. □

Résumé

Un suivi de petits bassins-versants a été réalisé de 1988 à 1995 sur la bordure occidentale du Bassin parisien, à l'ouest du Mans, pour évaluer la contribution du ruissellement concentré dans l'érosion des sols sableux. Il a permis d'observer la genèse des incisions au cours d'épisodes pluvieux, de cartographier et de mesurer ces formes et ainsi d'évaluer les pertes de terre provoquées par le ruissellement concentré. L'érosion chronique, qui aboutit à des transferts des hauts de versants vers le fond des vallons secs, a été relayée à deux reprises, en mai 1988 et en mai 1990, par l'érosion catastrophique qui incise les accumulations précédentes et exporte une partie des sables jusqu'aux rivières principales, modifiant ainsi leur dynamique fluviale. Cette étude débouche sur la mise en place de mesures préventives.

Abstract

From 1988 to 1995, we have studied several small watersheds located in the western Paris basin, west to Le Mans, in order to assess the concentrated runoff contribution to erosion on sandy soils. During rainfall periods, it has been possible to observe the formation of rills and gullies, to cartography and measure the features due to erosion, and so to assess the soil losses due to concentrated runoff. Chronic erosion, which produces transfers of deposits from upslope to dry dell bottoms, has been relayed in two occasions (in May 1988 and in May 1990) by catastrophic erosion which incises the previous sandy accumulations and exports a part of these deposits towards the main rivers. Those coarsed discharges have modified stream dynamics. Preventive actions are suggested.

Remerciements

Nous remercions le Syndicat du Bassin du Dué qui a financé une partie des travaux, et les relecteurs qui ont contribué à l'amélioration du manuscrit.

Bibliographie

- AUZET, A.V., BOIFFIN, J., PAPY, E., LUDWIG, B., MAUCORPS, J., 1993. *Rill erosion as a function of the characteristics of cultivated catchments in the north of France*. *Catena*, 1/2, p. 41-62.
- BIROT, P., 1981. *Les processus d'érosion à la surface des continents*. Masson, Paris, 607 p.
- BOIFFIN, J., 1984. *La dégradation structurale des couches superficielles du sol sous l'action des pluies*. Thèse Doc. Ing. INAPG, Paris, 320 p. + annexes.
- BOIFFIN, J., PAPY, F., PEYRE, Y., 1986. *Système de production, système de culture et risques d'érosion dans le Pays de Caux*. Ministère de l'Agriculture, Rapport, 154 p.
- BOIFFIN, J., PAPY, F., EIMBERCK, M., 1988. *Influence des systèmes de culture sur les risques d'érosion par ruissellement concentré*. *Agronomie*, 8 : p. 663-673, 9 : p. 745-756.
- BRYAN, R.B., POESEN, J., 1989. *Laboratory experiments on the influence of slope length on runoff, percolation and rill development*. *Earth Surface Processes and Landforms*, 14, p. 211-231.
- BUOL, S.W., HOLE, E.D., MC CRACKEN, R.J., 1973. *Soil genesis and classification*. Iowa State Univ. Press.
- DELAHAYE, D., 1992. *Approches spatialisées et analyses expérimentales des phénomènes de ruissellement et d'érosion des sols*. Thèse Géo., Univ. Caen, 427 p.

- DE PLOEY, J., 1983. *Runoff and rill generation on sandy and loamy topsoils*. Zeitschrift für Geomorphologie Supplementband, 46, p. 15-23.
- DUFOUR, J., GRAVIER, J., LARUE, J.P., 1990. *Fortes pluies et érosion des sols : l'orage de mai 1988 dans la Sarthe*. Bull. Ass. Géo. Fr., 2, p. 159-170.
- GILLEY, J.E., ELLIOT, W.J., LAFLEN, J.M., SIMANTON, J.R., 1993. *Critical shear stress and critical flow rates for initiation of rilling*. Journal of Hydrology, 142, p. 251-71.
- GOVERS, G., 1991. *Rill erosion on arable land in Central Belgium : rates, controls and predictability*. Catena, 18, p. 133-155.
- GOUDIE, A., 1995. *The changing earth. Rates of geomorphological processes*. Oxford, Blackwell, 302 p.
- GRAVIER, J., LARUE, J.P., VERAGUE, J., 1989. *Erosion des sols et catastrophes naturelles : le cas du bassin du Dué dans l'est du département de la Sarthe*. Rapport G.E.D.E.C. pour le Ministère de l'environnement, 45 p.
- HJULSTRÖM, F., 1935. *Studies of the morphological activity of rivers as illustrated by the river Fyris*. Bulletin of the Geological Institute, University of Uppsala, 25 ; p. 221-527.
- JUIGNET, P., 1974. *La transgression crétacée sur la bordure orientale du Massif Armoricaïn*. Thèse Univ. Caen, 2 t., 810 p.
- LARUE, J.P., 1991. *Erosion des sols cultivés : fatalité ou responsabilité humaine ? L'exemple du vallon de Pescheray*. Norois, 151, p. 299-307.
- LARUE, J.P., 1992. *L'érosion des sols cultivés dans la région de La Flèche (Sarthe, France) : le rôle de l'évolution des paysages ruraux et des façons culturales*. Bull. Ass. Géo. Fr., 2, p. 127-134.
- LARUE, J.P., LEROYER, C., MAHOUE, J.P., 1996. *Les remblaiements de fond de vallons : l'exemple du Royeau dans le bassin de la Sarthe, à l'ouest du Bassin Parisien (France)*. Géomorphologie, 4 : p. 69-88.
- LARUE, J.P., MAHOUE, J.P., MONNIER, J., 1999. *Erosion in cultivated soils and river morphodynamics : the example of the Tortue basin (Sarthe, France)*. Geodinamica Acta, 12, 2 : p. 57-70.
- LE BER, F., 1989. *Essai d'évaluation de la sensibilité à l'érosion dans le nord du Bassin Parisien. Prise en compte des caractéristiques agraires*. DEA INA-PG; Univ. Paris XI, INRA Laon, 34 p.
- LE BISSONNAIS, Y., SINGER, M.J., BRADFORD, J.M., 1993. *Assessment of soil erodability : the relationship between soil properties, erosion processes and susceptibility to erosion*. In : Farm Land Erosion in Temperate Plains Environments and Hills. Wicherek ed., Elsevier, p. 87-96.
- LE BISSONNAIS, Y., BENKHADRA, H., GALLIEN, E., EIMBECK, M., FOX, D., MARTIN, P., DOUYER, C., LIGNEAU, L., OUVRY, J.F., 1996. *Genèse de ruissellement et de l'érosion diffuse des sols limoneux : analyse du transfert d'échelle du m² au bassin-versant élémentaire agricole*. Géomorphologie, 3, p. 51-64.
- MONNIER, J., 1992. *Comportement des sols sous pluies simulées dans le bassin de Royeau (Sarthe)*. Mémoire de maîtrise, Le Mans, 119 p.
- NEBOÏT-GUILHOT, R., 1999. *Autour du concept d'érosion accélérée : l'homme, le temps et la morphogenèse*. Géomorphologie, 2, p. 159-172.
- OUVRY, J.F., 1992. *L'évolution de la grande culture et l'érosion des terres dans le Pays de Caux*. Bull. Ass. Géo. Fr., 2, p. 107-113.
- PAPY, F., DOUYER, C., 1988. *Les déterminants des catastrophes liées au ruissellement des terres agricoles en Pays de Caux*. INRA, 44 p.
- QUANSAH, K., 1985. *The effect of soil types, slope, flow rate and their interactions on detachment by overland flow with and without rain*. Catena Supplement, 6, p. 19-28.
- STOCKING, M.A., 1980. *Examination of the factors controlling gullies growth*. In : Assessment of erosion. Boodt (M.D.), Gabriels (D.), eds, Chichester, Wiley, p. 505-520.
- VALENTIN, C., 1985. *Organisations pelliculaires superficielles de quelques sols de régions subdésertiques*. Etudes et thèses, ORSTOM, Paris.
- VANDAELE, K., POESEN, J., MARQUES DA SILVA, J.R., DESMET, P., 1996. *Rates and predictability of ephemeral gully erosion in two contrasting environments*. Géomorphologie, 2 : p. 83-96.
- VEYRET, Y., WICHEREK, S., 1992. *Réflexion sur la cartographie des risques des terres agricoles*. Bull. Ass. Géo. Fr., 2, p. 169-176.
- VICTOR, F., 1990. *L'érosion des sols du bassin du Dué*. Mémoire de maîtrise, Le Mans, 111 p.
- WALLING, D.E., QUINE, T.A., 1991. *Recent rates of soil loss from areas of arable cultivation in the U.K. In : Sediment and stream water quality in a changing environment*. Proc. symposium, Vienne, ed. Peters (N.E.), Walling (D.E.), p. 123-131.
- WICHEREK, S., 1994. *L'érosion des grandes plaines agricoles*. La Recherche, 25, 268, p. 880-888.
- WILLIAMS, J.R., 1975. *Sediment yield prediction with USLE using runoff energy factor*. In : ARS-S-40. Agr. Res. Serv., USDA ; Washington DC, p. 244-252.
- ZACHAR, D., 1982. *Soil erosion*. Elsevier.