

Les causes de l'érosion et les modes de prévention sur l'amont des bassins versants

Exemple de la région Nord de la France

François-Xavier MASSON¹, Henri-Bertrand LEFER^{1,2}, Bruno KERLOC'H³

1. Centre de recherche et de développement en science du sol, économie, environnement, aménagement (CRDSEA), Lille - crdsea@orange.fr; fx.masson@gmail.fr

2. Institut des mers du Nord, université du Littoral, Côte d'Opale, Dunkerque - hb.lefer@hotmail.com

3. Centre d'étude technique de l'équipement Nord-Picardie, Lille - Bruno.Kerloch@developpement-durable.gouv.fr

Pour toute correspondance : fx.masson@gmail.fr

Résumé

La lutte contre le ruissellement et l'érosion constitue un enjeu économique important pour la gestion des écoulements, la prévention des inondations et des risques d'envasement des ouvrages situés à l'aval des bassins versants.

Le transfert des matières en suspension par les eaux de ruissellement provenant des bassins versants ruraux amont participe à la turbidité des eaux. Les mécanismes qui contrôlent les apports de sédiments peuvent être estimés ou quantifiés. La connaissance de ces mécanismes permet d'envisager des méthodes de prévention limitant partiellement les transferts solides vers l'aval.

Mots clés : érosion, matières en suspension, sédiments, ruissellement, aménagement anti-érosion, aménagement hydraulique.

Introduction

L'envasement des cours d'eau et des grands ouvrages (canaux, bassins, ports...) nécessite des travaux importants de curage pour garantir les possibilités de navigation et la gestion des écoulements lors des événements pluviométriques remarquables. Dans les bas pays du Nord de la France, où les exemples sont repris, le problème des sédiments est accru par la faiblesse du relief favorisant les dépôts de particules arrachées sur l'amont des bassins versants.

Les mécanismes participant à la mise en suspension des particules dans les eaux de ruissellement sur les bassins versants peuvent être observés et quantifiés. La connaissance et la maîtrise de ces mécanismes permettent de déterminer des méthodes de prévention limitant les possibilités de transfert vers l'aval des bassins versants ainsi que l'envasement des ouvrages.

I. Le contexte de la région du Nord-Pas-de-Calais

La région du Nord-Pas-de-Calais de la France présente un relief de faible amplitude, d'altitude basse, atteignant rarement 200 mètres. On distingue au nord-est le Bas-Pays,

zone dépressionnaire d'altitude basse, et au sud-est le Haut-Pays, d'altitude supérieure à 80 mètres. Les sols sont formés d'une couverture de limons éoliens de la période pléistocène reposant sur les dépôts antéquatarnaires (SOMMÉ, 1977).

L'espace rural est voué à l'agriculture intensive (blé, escourgeon, betterave, pomme de terre, colza, cultures légumières, etc.) Les prairies et les bois sont souvent minoritaires.

Les travaux des champs avec des engins mécaniques puissants ont tendance à affiner et tasser excessivement les terrains, provoquant parfois une imperméabilisation relative. Les déficits d'entretiens calciques et d'apports de matière organique peuvent conduire également à une moindre perméabilité du sol. Les nécessités de la mécanisation ont conduit bien souvent à l'agrandissement du parcellaire et à la suppression du réseau hydraulique tertiaire (fossés des champs).

Cette situation conduit à l'apparition de ruissellements et d'écoulements non gérés, souvent incontrôlés et chargés de matières en suspension (MASSON, 1992, 1987), (MASSON et al., 1982).

2. Origine et facteurs supposés du transfert des sédiments

— L'effet « splash » est mis en avant de manière classique. Il s'agit du choc des gouttes d'eau sur les sols, capable de décrocher des particules et matières de sol qui seront mises en mouvement et entraînées par les eaux de ruissellement. Cet effet est d'autant plus prépondérant que les pluies seront intenses et agressives, c'est-à-dire que l'énergie appliquée au sol sera grande.

— L'importance quantitative du ruissellement

Le ruissellement est l'agent de transport des matières en suspension. L'augmentation ou la diminution du débit de ruissellement font varier les quantités de sédiments transportés.

— Le relief

L'accentuation de la pente accélère la vitesse de l'eau et augmente les possibilités de transport et produit le creusement du lit d'écoulement, d'où le phénomène de ravinement ou d'érosion régressive. A l'inverse, la diminution de la pente provoque des phénomènes d'atterrissement ou de sédimentation.

— **La cohésion du sol**

Suivant la granulométrie du sol, l'importance des matières colloïdales (argile et matière organique), la présence d'agent flocculant (calcium actif), les agrégats du sol seront plus ou moins cohérents et les particules fines seront plus ou moins facilement libérées et emportées par les eaux de ruissellement.

— **La protection du sol par la végétation**

L'enracinement des végétaux assure pour partie la cohésion du sol. Les parties aériennes des plantes protègent le sol contre l'impact des gouttes d'eau et la fermeture superficielle. Elles ont aussi pour fonction de filtrer l'eau.

— **Les éléments résiduels trop difficiles à emporter (pierre, matériaux cohérents...)**

Dans les zones d'érosion, les éléments plus grossiers peuvent rester en place et former un écran protecteur contre l'ablation des particules fines.

— **Les travaux du sol par l'agriculteur**

Les travaux du sol consécutifs à la mise en culture par les agriculteurs (labour, hersage...) ont tendance à affiner le sol et le tasser; ce qui conduit à une mauvaise perméabilité. Suivant les techniques utilisées, l'agriculteur influera sur le volume ruisselé mais aussi sur la quantité de particules dissociées des agrégats et emportées par les eaux (ROOSE et al., 1983).

3. Éléments déterminant le ruissellement

Le ruissellement est fonction de deux éléments essentiels : la pluie, d'une part, et le milieu récepteur, d'autre part. L'eau précipitée sera pour partie emmagasinée dans le sol et pour une autre part ruissellera à la surface avec pour corollaire l'entraînement plus ou moins important de particules.

Nous avons donc schématiquement le dispositif suivant :

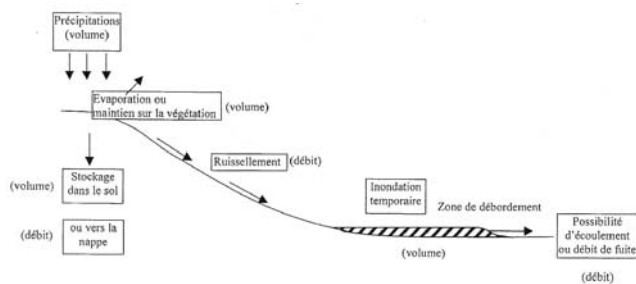


Figure 1 : Répartition du volume d'une pluie déterminée

Le volume de la pluie se répartira de la manière suivante :

- évaporation,
- stockage dans le sol,
- transition vers la nappe,
- ruissellement qui se subdivise éventuellement en écoulement dans le lit des rivières et éventuellement en volume temporaire d'inondation.

A partir de ce schéma, il est possible d'agir à deux niveaux :

- diminuer les volumes ruisselés en jouant sur l'amélioration du stockage dans le sol ;
- diminuer la vitesse d'écoulement et de transfert :
 - réaménagement d'un réseau tertiaire enherbé diminuant éventuellement la pente ;
 - retenues temporaires et stockage sur le lit majeur (zone d'expansion des crues) pour éviter des inondations trop brutales et trop rapides (protection des zones habitées).

4. Éléments de quantification

4.1. La pluie

La pluie constitue le premier facteur quantitatif du ruissellement.

Nous pouvons avoir un aperçu des pluies, de leur répartition et de leur intensité à partir des relevés de Météo France. La formule de Montana nous permet de recalculer les pluies selon leur retour et leur intensité.

Si la pluie décennale était couramment utilisée dans les périodes précédentes, actuellement, les élus, devant l'inflation de leurs responsabilités, ont tendance à retenir le risque inhérent à un temps de retour de 25 ans.

Les pluies peuvent être très variables d'une région à l'autre. La pluie horaire décennale calculée dans le Bas-Pays est de l'ordre de 24 mm, mais elle sera de l'ordre de 50 mm sur le pourtour méditerranéen. Il est donc indispensable d'analyser le risque et de choisir les aléas dont on désire se protéger.

4.2. Le stockage dans le sol

Le deuxième facteur est la réaction du sol à la pluie. Le transfert de l'eau dans le sol sera plus ou moins rapide selon le type de sol, son état structural, l'occupation par des végétaux de différentes variétés, les techniques de culture, la saison et les aléas climatiques.

De ce stockage plus ou moins conséquent dépendront les possibilités de ruissellement.

Dans les modèles hydrologiques, les pertes au ruissellement sont traduites par les pertes initiales (pi) — liées au stockage dans les dépressions et à la macroporosité du sol, à l'évaporation et à la rétention par la végétation — et par les pertes continues (pc) représentant l'infiltration en régime permanent vers les couches profondes du sol.

Le stockage dans le sol peut être évalué à partir des résultats obtenus par des mesures sur site de simulations de pluie (ASSELINE et al., 1979 ; MASSON et al., 1979 ; BENKHELIL et al., 2002). Sans rentrer dans le détail des manipulations, des précautions d'emploi et d'interprétation, on utilisera l'équation suivante :

$$\text{pluie} - \text{ruissellement} = \text{stockage dans le sol}$$

L'analyse fine des résultats permet de déterminer pi et pc.

A titre d'exemple, dans les zones de petites collines en secteurs de limon brun faiblement lessivé (cultures et prairies), la fourchette de stockage dans les sols en période de printemps est de 3 à 30,3 mm.

Le tableau suivant donne quelques exemples :

Occupation du sol	Stockage dans le sol en une heure (pi + pc)
Prairie	27 mm
Blé d'hiver	25 mm
Sol ouvert (labour)	23 mm
Sol fin et fermé (lit de semence)	11 mm
Sol glacé avec croûte de battance	3 mm

D'après MASSON, 1992 et MASSON, PELLETIER, 1979.

4.3. La charge de matières en suspension des eaux de ruissellement au départ du champ

Lors des essais de simulation de pluie, il est possible de mesurer la quantité de particules mises en suspension et entraînées par les eaux de ruissellement dès le départ de la parcelle (MASSON et al., 1979). La quantité est fonction de l'effet « splash », mais aussi de la cohésion du sol, de la protection végétale et, en zone cultivée, de l'impact des travaux du sol créant plus ou moins de poussières désolidarisées préalablement des agrégats.

La figure suivante montre l'importance de la protection du sol par le couvert végétal correspondant à différentes situations de cultures ou de prairies.

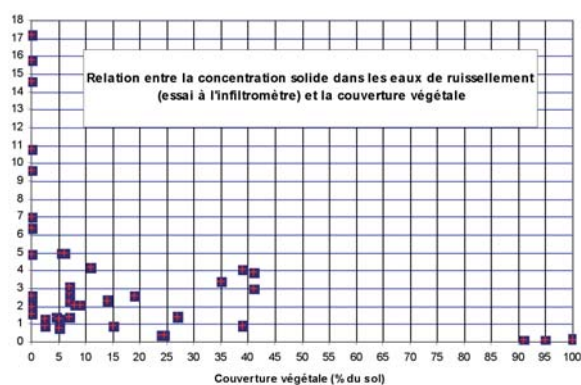


Figure 2 : Teneur en MES et pourcentage de la surface couverte par les végétaux cultivés

D'après MASSON, PELLETIER, 1979 et DOUAY, MASSON, 1980

On notera que les écarts importants de MES observés pour une valeur de couvert végétal nulle correspondent à un broyage plus ou moins poussé des agrégats du sol : plus le sol est affiné, plus le transport des particules est important.

4.4. La teneur en MES à l'aval des petits bassins versants

Suivant la densité plus ou moins importante et continue de la couverture végétale sur les terrains agricoles, les teneurs en MES observées à l'aval des petits bassins versants ruraux varient fortement.

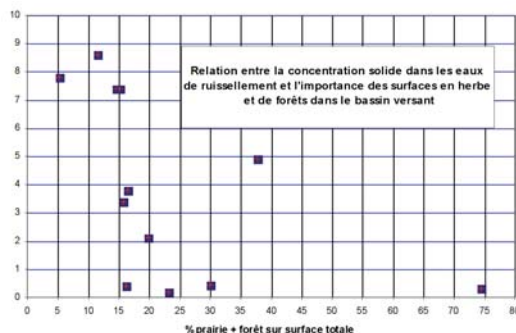


Figure 3 : Teneur en MES en fonction du pourcentage de prairie et forêt dans le bassin versant. D'après MASSON et al., 1979.

4.5. Importance de la continuité de la protection du sol au niveau des écoulements

La disposition dans les parcelles agricoles de bandes enherbées dont l'un des rôles est d'assurer une filtration des eaux chargées de particules n'est pas en elle-même suffisante si ces bandes sont éparées. En effet, n'étant pas encaissées et reliées entre elles, ces bandes ne peuvent servir de réseau de collecte et de traitement du ruissellement. TONDEUR (1954) insiste sur la nécessaire mise en réseau des « terrasses de diversion », zones nivelées en travers de la pente sous forme de noues enherbées et à faible pente, ainsi que sur le besoin d'ouvrages ralentissant les eaux (fascines, micro-retenues), dès lors que la pente augmente sur certaines portions du réseau.

La notion de « capacité » de transport ou « débit solide maximum » (POMEROL et al., 1995) nous permet de comprendre l'intérêt d'un aménagement continu sur le bassin versant. En effet, les eaux ralenties par la végétation (LLAMAS, 1993), filtrées et appauvries en MES sur une partie du réseau, retrouvent une capacité de transport renouvelée dès lors que l'aménagement est interrompu et que les eaux coulent à nouveau sur un sol non protégé.

L'exemple des mesures de MES dans les eaux de ruissellement du bassin versant de Tubersent (MASSON, 1994) confirme cette analyse. Situé dans le Pas-de-Calais, ce bassin versant a été aménagé avec un système de noues et l'implantation d'une station de mesure (débits, concentrations en MES). Sur 34 mesures effectuées du 11 mai 1993 au 28 juillet 1995, deux séries de prélèvements correspondent à des périodes où l'aménagement n'a pu réguler le taux de limon : période de mai 1993 où l'aménagement n'était pas en place, et période de décembre 1994 à février 1995 où l'aménagement a été interrompu par un labour à l'aval de la noue principale.

En période régulée, la moyenne des concentrations de MES dans les eaux de ruissellement est de 2,16 g/l. En période non régulée ou dérégulée, la moyenne est de 6,19 g/l avec des pointes atteignant 19,6 (non régulée), 13,6 et 15 g/l (dérégulée).

La photographie ci-dessous illustre particulièrement ce phénomène de transfert brutal de matériaux dès lors que le profil du sol et la protection enherbée sont altérés.



Figure 4 : Forme d'érosion régressive déterminée par la rupture de la protection du sol (modification de profil du terrain et création d'un talus non protégé pour le passage d'une nouvelle route).

5. Les méthodes de prévention permettant de limiter les possibilités de transfert des sédiments

Les méthodes proposées découlent des observations réalisées sur le milieu et peuvent être résumées de la manière suivante :

- remailler les paysages de champs ouverts par un réseau de chemins d'eau ou noues récupérant les eaux des blocs de culture (MASSON et al., 2004),
- couvrir d'herbe protectrice ces chemins d'écoulement,
- organiser ces noues en réseau hiérarchisé permettant l'évacuation de l'eau vers l'aval,
- ralentir les écoulements par des zones d'expansion de crues situées sur les bassins versants, permettant de gérer les écoulements et d'assurer une sédimentation des MES sur les parcelles inondées,
- proposer aux agriculteurs des techniques de culture améliorant le stockage de l'eau dans le sol (travail en travers de la pente, travail plus grossier du sol, diminution du nombre de passages, mise en place d'une couverture végétale en hiver; apport éventuel de matière organique et de calcium actif, etc.)

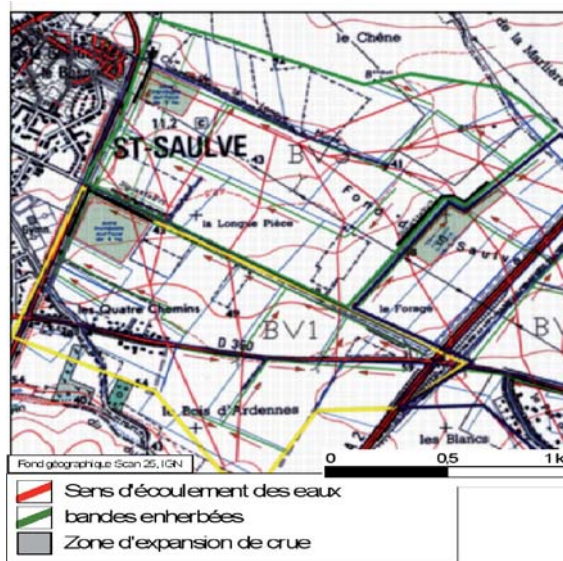
La figure 5 montre un exemple de proposition théorique d'aménagement d'un petit bassin versant qui pourrait être équipé d'un réseau de colature formé de bandes enherbées encaissées et de zones d'expansion de crue. Les bandes enherbées ont tendance à filtrer les eaux et les

zones d'expansion de crue permettent le ralentissement des eaux et la sédimentation des MES.



- ↖ Sens d'écoulement
- ↘ Ecoulement sous voiries via des buses
- Sous bassin 1
- Sous bassin 2
- Sous bassin 3
- Zone d'inondation
- Bande enherbée

D'après Py et al., 2008



D'après Autret et al., 2008

Figure 5 : Proposition théorique d'aménagement pour lutter contre les transferts de sédiments, réguler les débits et montrant la disposition d'un réseau éventuel.

On remarquera dans les schémas que, compte tenu de la platitude du relief de la région, il n'a pas été jugé utile de mettre en place des protections spécifiques telles que le bétonnage du fond d'éléments d'émissaires évitant l'arrachement des particules fines. Dans d'autres régions aux reliefs plus accidentés ou aux précipitations plus violentes, ces aménagements supplémentaires seraient de toute évidence nécessaires.

La régulation des quantités d'eau compatibles avec les possibilités d'écoulement permet de traiter dès l'amont les impacts (ravineurs, inondations boueuses de zones urbanisées situées en aval, engorgement des cours d'eau, qualité des eaux de surface, transfert de MES) et de diminuer ainsi les coûts qui leur sont associés.

Conclusion

Le transfert des matières en suspension par les eaux de ruissellement peut être limité par plusieurs pratiques. La mise en place d'aménagements sous forme de réseaux d'écoulement enherbés favorise la filtration continue des eaux de l'amont jusque l'aval. La modification des pratiques agricoles améliore la protection des sols, favorise l'infiltration et diminue le débit de ruissellement. La mise en place de zones d'expansion de crues permet de réguler les écoulements, de déposer une partie des sédiments sur ces zones et de limiter l'inondation des secteurs urbanisés. Ces pratiques améliorent la qualité des eaux et diminuent l'engorgement des cours d'eau et des ports situés à l'aval. Les modalités tant d'étude que d'aménagement exposées ici ne constituent qu'un exemple parmi d'autres et doivent être réadaptées en fonction du relief, du climat, des sols et de la végétation.

Bibliographie

ASSELIN J., VALENTIN C., (1979) - Construction et mise au point d'un infiltromètre à aspersion. Cah. ORSTOM, Sér. Hydrologie, Paris, 15, 4, 321-350.

AUTRET A.L., FONTANA N., IDRISSE M. (2008) - Etude pédologique en vue de la maîtrise du ruissellement à l'amont d'un projet de lotissement de la commune de Saint-Saulve. Rapport de projet. Université d'Artois, FSA Béthune, Master Hydrosol. 21.

POMEROL C., RENARD M. (1995) - Eléments de géologie. Ed A. COLIN, 10e éd., 629.

BENKHELIL H., MASSON F.X., ABRIAK NE., BOULEMIA C., HENRY E. (2002) - Démarche méthodologique pour la conception d'un micro-simulateur de pluie pour les milieux rural et urbain. Séminaire international de gestion des milieux urbains, USTHB Alger.

DOUAY F., MASSON F.X. (1980) - Erosion des terres agricoles du Nord-Pas-de-Calais. Ministère de l'Agriculture - Service régional de l'aménagement des eaux Nord-Pas-de-Calais, Université des sciences et techniques de Lille - UFR des sciences de la terre - Laboratoire de géologie dynamique. 39 + annexes.

LLAMAS J. (1993) - HYDROLOGIE GENERALE. Principes et applications. Ed. G. Morin, 2e éd., 527.

MASSON F.X. (1987) - L'érosion des terres agricoles de la région Nord-Pas-de-Calais, in « Hommes et terres du Nord », 1987 - pp.139 à 145.

MASSON F.X. (1992) - Gestion des sols de la région du Nord (France). Relation sols et formations superficielles. Proposition d'une démarche générale. Thèse d'Etat en sciences saturelles, Université de Lille I, 577 p., 137 fig., 4 annexes.

MASSON F.X. (1994) - Compte rendu d'observation de l'état de surface du bassin versant situé à l'amont de la station de contrôle des flux de matières en suspension de Tubersent, hiver 1993-1994. Doc. Dir. Rég.Ag. Nord-Pas-de-Calais, 6 p., 2 annexes.

MASSON F.X., LEFER H.B. (2005) - PPRI Lille, Inventaire du milieu permettant de définir les coefficients de pertes initiales et continues nécessaires pour le calcul hydraulique. DRAF Nord-Pas-de-Calais, Mission Sol, 16 + 4 cartes.

MASSON F.X., LEFER H.B., KOSZAREK E. (2004) - Schéma d'aménagement des eaux pluviales provenant des zones agricoles. Etude de solutions alternatives et analyse financière dans les secteurs sujets au ruissellement sur la petite région du Hainaut, arrondissement de Valenciennes (sud) et d'Avesnes (nord) . Union des syndicats d'assainissement du Nord. FEOGA programme Objectif I. 55.

MASSON F.X., PELLETIER J.L. (1979) - Etude de l'érosion des terres agricoles dans le val de Canche. Mesures qualitatives et quantitatives permettant d'apprécier les causes et les conséquences du ruissellement. Serv. Reg. Am. Eaux Nord-Pas-de-Calais, Document Com. Aménag. Rur. Canche-Authie, 35 p. 10 annexes.

MASSON F.X., PELLETIER J.L., VERDEVOYE P. (1982) - Etude qualitative des eaux de la Sensée. Syndicat intercommunal de la région d'Arleux. SRAE, 103 p. 16 annexes.

PY I., FALEWEE G., DJANIVENDA L.P. (2008) - Projet de pédologie, Aménagement d'un bassin versant rural. Rapport de projet. Université d'Artois, FSA Béthune, Master Hydrosol. 21.

ROOSE E., MASSON F.X. (1983) - Consequences of heavy mechanization and new rotation on runoff and on loessial soil degradation in northern France. Soil Erosion and conservation. Edited El-Swaify (S.A.) Moldenhauer (W.L.) Andrew Lo. Soil conservation society of America. Proceedings of the ISCO 3 Honolulu-Hawaii, January 16 - 22, 1983, pp. 23-24.

SOMMÉ J. (1977) - Les Plaines du Nord de la France et leur bordure. Etude géomorphologique. Thèse d'Etat, Univ. Paris I, 1975, Paris, Champion Edit., 2 vol. 1 - 810, 185 fig.

TONDEUR G. (1954) - Erosion du sol, spécialement au Congo Belge. Bruxelles. 3e éd., 240.