

Infiltrabilité de dispositifs enherbés du Pays de Caux, premiers résultats

Jean-Baptiste RICHEL[†], Jean-Joël GRIL[‡], Jean-François OUVRY[†]

22 mai 2006

Depuis longtemps déjà, les dispositifs enherbés sont utilisés pour lutter contre l'érosion linéaire en rigole et en ravine, telle qu'on peut la trouver sur certains bouts de champs¹ et certains fonds de talwegs (chenaux enherbés). L'enherbement limite l'érosion, et permet la sédimentation d'une partie des matières en suspension du ruissellement qui le traverse. Sur les limons battants du Pays de Caux, terres très sensibles à l'érosion, ces dispositifs sont de plus en plus utilisés, toujours sur des emplacements stratégiques pour la maîtrise de l'arrachement des particules par les eaux de ruissellement (OUVRY 1989, CORPEN 1997).

Au delà de cette vocation anti-érosive, est posée la question de l'aptitude de ces dispositifs à réduire l'intensité des débits de ruissellement dans les bassins versants et, en conséquence, leur intérêt spécifique dans la gestion des crues. Par ailleurs, la localisation de ces dispositifs sur ces secteurs d'écoulements concentrés permet de profiter également de leur aptitude à réduire la contamination des eaux par les pesticides transportés par ces écoulements (CORPEN 1997, GRIL et LACAS 2004).

Toutefois, comme cela a été montré par de nombreux auteurs (LACAS *et al.*, 2005), ce pouvoir épurateur des surfaces en herbe est dû, en priorité, à leur capacité à infiltrer les eaux de ruissellement interceptées – et, plus secondairement, à leurs autres propriétés : décantation des particules, adsorption. Or, les fourrières, par vocation, et les chenaux enherbés, par commodité, servent au trafic des engins agricoles : ils sont donc soumis à un tassement important, et donc à une réduction de leur capacité d'infiltration. Or, s'il existe des références sur la perméabilité des zones tampons enherbées, elles concernent toutes les conditions optimales de fonctionnement, incluant l'absence de tassement.

Il paraît donc nécessaire d'évaluer la perméabilité de ces dispositifs dans ces conditions de tassement, pour en tirer les conséquences en matière de gestion des eaux et de l'érosion sur un territoire comme celui du Pays de Caux, où ils ont largement été mis en œuvre.

C'est pourquoi l'AREAS, qui a pour mission la lutte contre l'érosion et les inondations en Haute-Normandie, et le Cemagref, qui s'intéresse au fonctionnement des zones tampons, ont organisé une expérimentation commune sur trois dispositifs enherbés plus ou moins tassés en Pays de Caux, à l'aide du simulateur de ruissellement.

mots clés : tournière enherbée, chenal enherbé, zone tampon, tassement, infiltration, rugosité hydraulique, Pays de Caux, limons battants.

I. La perméabilité des zones tampons : quelques rappels

LACAS *et al.* (2005) ainsi que GRIL et LACAS (2004) ont décrit précisément les capacités d'infiltration des zones tampons enherbées. On se contentera ici de rappeler quelques

[†] AREAS, 2 avenue Foch, F-76460 Saint Valery en Caux

[‡] Cemagref, 3 bis quai Chauveau, CP 220, F-69336 LYON cedex 09

¹ zones où les engins agricoles effectuent leurs demi-tours au cours des travaux, aussi appelés *tournières*, et localement *fourrières*.

résultats issus de la bibliographie, de façon à situer les résultats obtenus lors des essais qui vont être présentés.

Les expérimentations de simulation de ruissellement conduisent à mesurer des perméabilités variant entre 20 et 580 mm/h (SOULLER *et al.* 2002) ou 150 et 300 mm/h (WATANABE et GRISMER, 2001). Les suivis en conditions naturelles disponibles ne permettent pas une telle mesure, mais confirment la forte perméabilité de ces dispositifs (généralement plus de 90 % du flux amont intercepté). Globalement, la perméabilité ainsi mesurée est généralement supérieure à 100 mm/h, hormis en présence de saturation hydrique.

Le développement du système racinaire herbacé, la richesse en matière organique et l'activité biologique (vers de terre, notamment) contribuent ensemble à expliquer cette caractéristique d'une surface en herbe, ainsi que sa stabilité (BENOIT *et al.* 1999, MADRIGAL *et al.* 2002, BEVEN et GERMANN 1982).

Ces résultats concernent la perméabilité de la surface des zones tampons enherbée, et ne préjugent pas de celle des horizons situés sous la zone racinaire. Des mesures comparatives (SOULLER *et al.* 2002) ont mis en évidence une rupture de perméabilité significative. La conséquence est l'apparition d'un écoulement hypodermique latéral lors d'épisodes de ruissellement intenses, dont l'importance dépendra à la fois du débit intercepté et de la perméabilité sous-jacente. Cet écoulement est en général préférable au ruissellement :

- vis à vis de l'érosion, car la zone racinaire a une forte cohésion ;
- vis à vis de l'interception du ruissellement, du fait du ralentissement de l'écoulement et de la capacité de stockage de cet horizon ;
- vis à vis de la rétention des pesticides, enfin, car on se situe ainsi dans des conditions optimales pour l'adsorption des molécules sur l'humus du sol.

En Pays de Caux, des mesures du ruissellement ont été menées sous pluie naturelle avant et après une bande de 6 m de ray-grass située à l'aval de 54 m de blé (LECOMTE 1999). En ramenant la diminution du débit à l'ensemble de surface de la bande enherbée, la capacité maximum d'infiltration instantanée a été évaluée entre 50 et 60 mm/h pour l'ensemble de la bande enherbée.

II. Matériel et méthode

A. le dispositif expérimental

Nous avons utilisé le simulateur de ruissellement du CEMAGREF (SOULLER *et al.*, 2002). Le principe en est le suivant : une placette est délimitée dans le sens de la pente, on y verse à l'amont de l'eau avec un débit connu, et on mesure le débit du ruissellement recueilli à l'aval. En régime stable, l'infiltration est la différence entre débit amont et débit aval.

Les placettes avaient une largeur de 1 m et une longueur de 4 m à 6 m. Le schéma de la Figure 1 présente ce dispositif. Il est à noter que les courbes de tarage des deux canaux à déversoir en V qui nous ont servi à mesurer les débits ont été établies lors des essais. Ces canaux sont équipés d'échelles limnimétriques avec une graduation millimétrique, la précision de lecture est donc de plus ou moins un demi millimètre. Sur l'ensemble de la gamme de hauteurs d'eau possibles, l'erreur de lecture entraîne une erreur maximale sur les débits de 2 %.

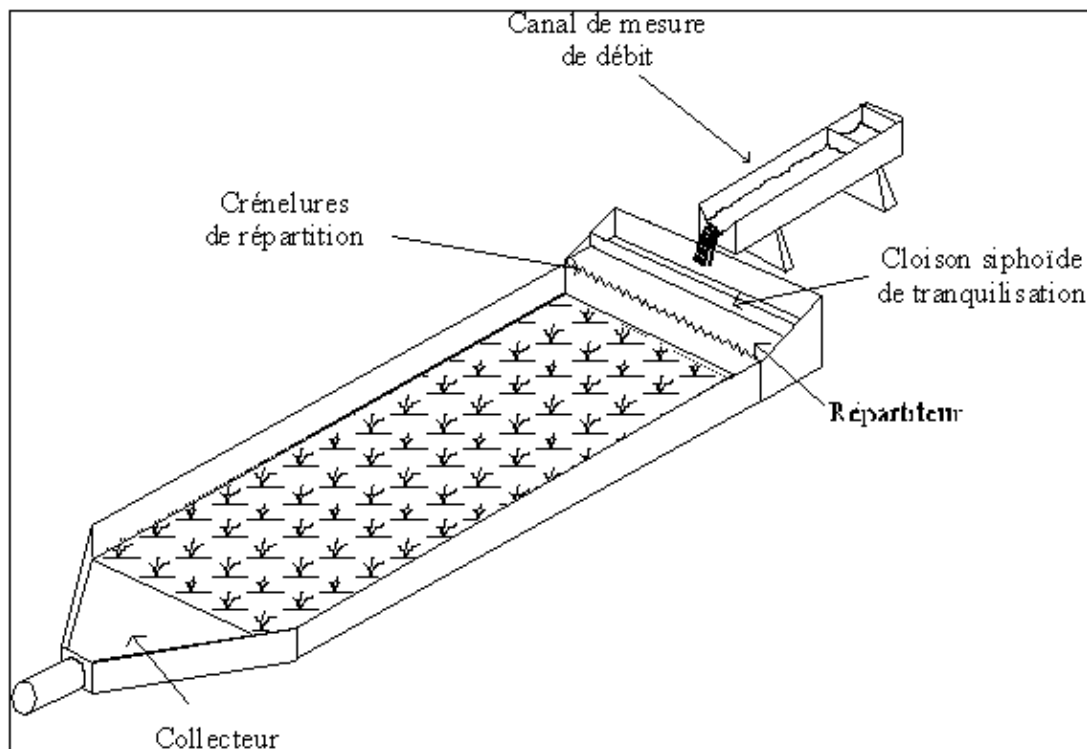


Figure 1 : schéma du simulateur de ruissellement du Cemagref

B. protocole expérimental

Pour chacune des installations, nous avons humidifié la placette préalablement aux mesures, de façon à toujours se placer en conditions humides : un écoulement continu d'au moins 15 minutes suivi d'au moins une heure sans ruissellement avant le début de la simulation. Au cours des essais, le débit est uniformément réparti sur les 100 cm de large des essais grâce aux crénelles du répartiteur (Figure 1). Les mesures d'infiltration ont été faites avec au moins trois débits d'entrée différents, compris entre 0,37 et 1,75 L/s. Nous avons ainsi pu observer le comportement des placettes sous différentes hauteurs d'eau. Pour chaque débit, nous avons maintenu le débit d'entrée constant suffisamment longtemps pour atteindre un régime stable. L'humidité pondérale a été mesurée sur un profil de 50 cm de profondeur.

Ces mesures d'infiltration ont été complétées par des mesures de profils d'eau perpendiculaires au flux. Ainsi la section d'écoulement et le périmètre mouillé étant connus, la pente étant mesurée, nous avons pu estimer des coefficients de Strickler. Pour chaque débit, trois profils ont été établis, répartis sur la longueur de la placette, chaque profil étant connu par 9 mesures de profondeur réparties sur la largeur.

C. essais réalisés

Quatre placettes ont été installées, pour trois modalités :

- bout de champs enherbé tassé par les engins agricoles (deux essais),
- bout de champs enherbé non tassé (un seul essai),
- chenal enherbé tassé par les engins agricoles (un essai).

Les essais ont été faits entre le 9 et le 12 mai 2005 par temps beau et sec, à proximité de Fauville-en-Caux, en Seine-Maritime. C'est une région de grande culture sur des limons battants.

1. bout de champs enherbé tassé par le passage des engins

La première modalité, sur laquelle nous avons réalisé deux essais de 6 m de long, est un bout de champs enherbé protégeant une mare. La jachère date de 1994, et n'a jamais été sous-solée. L'herbe y est broyée une fois par an. La culture en place à l'amont était un blé, la dernière compaction par les passages des engins agricoles datait donc de l'automne 2004, puisque nous nous sommes placés en dehors des passages du pulvérisateur. La Figure 2 montre une vue d'ensemble de la première répétition. On y voit que les brins d'herbe mesurent entre 10 et 30 cm.



Figure 2 : vue d'ensemble de la première répétition de la modalité *bout de champs enherbé tassé* en cours d'expérimentation (largeur : 1 m, longueur : 6 m)

La topographie des placettes est présentée sur les deux figures suivantes. La pente moyenne est de 2,2 % (2,3 % pour le premier essai Figure 3, et 2,1 % pour le second Figure 4). La Figure 5 montre le profil pédologique de cette modalité. Le sol présente des traces d'hydromorphie, a une odeur de vase : il s'agit d'un horizon à pseudo-gley. Le mat racinaire a une épaisseur de 5 à 8 cm. En son sein, le sol est sous forme de polyèdres, non sous forme de grumeaux, indice supplémentaire de compaction.

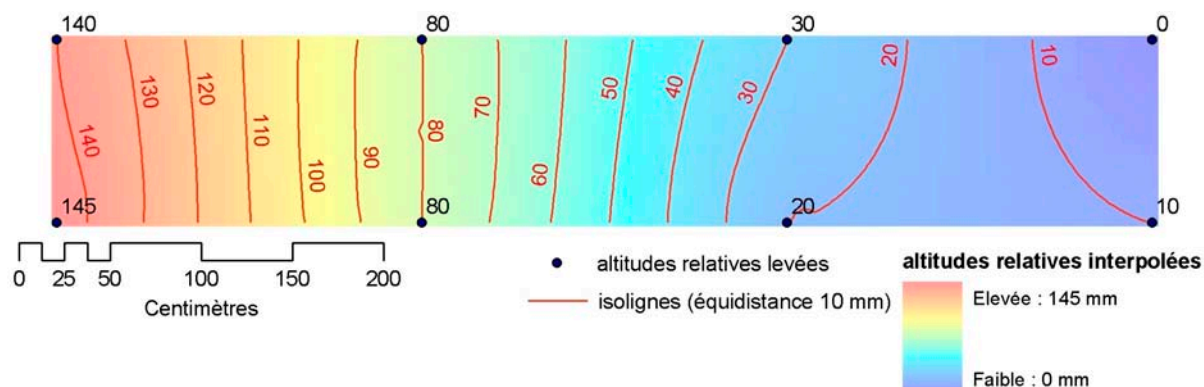


Figure 3 : topographie de la première répétition de la modalité *bout de champs enherbé tassé*

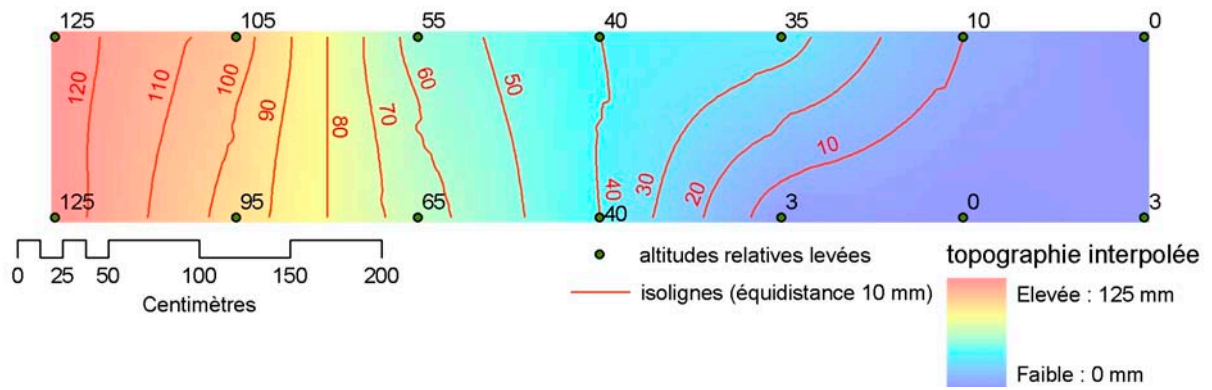


Figure 4 : topographie de la seconde répétition de la modalité *bout de champs enherbé tassé*



Figure 5 : profil pédologique de la seconde répétition de la modalité *bout de champs enherbé tassé*

2. bout de champs enherbé non tassé

Il s'agit d'une zone enherbée non compactée de la même jachère (Figure 6). Un seul essai a été réalisé sur cette modalité. La présence de touradons² et le sol peu régulier nous ont contraints à limiter l'essai à une longueur de 4,07 m de long. L'herbe est beaucoup plus haute que sur la modalité précédente : 15 à 40 cm, avec une formation herbacée plus dense, notamment due aux touradons de dactyles. La pente moyenne est de 3,0 %, comme le montre la Figure 7. Le profil pédologique montre, sous un mat racinaire de 13 cm au sol grumeleux, un sol sain, sans aucune trace d'hydromorphie ni de compaction.

² touradon : désigne une grosse touffe (jusqu'à 1 mètre de hauteur) qui résulte de la persistance, au cours des années, de la souche et des feuilles basales sèches de certaines plantes herbacées cespitueuses (exemple : molinie). Ici, les dactyles présentaient des touradons d'environ 50 cm de hauteur.



Figure 6 : vue d'ensemble de la modalité *bout de champs enherbé non tasse* (largeur : 1 m, longueur : 4,1 m)

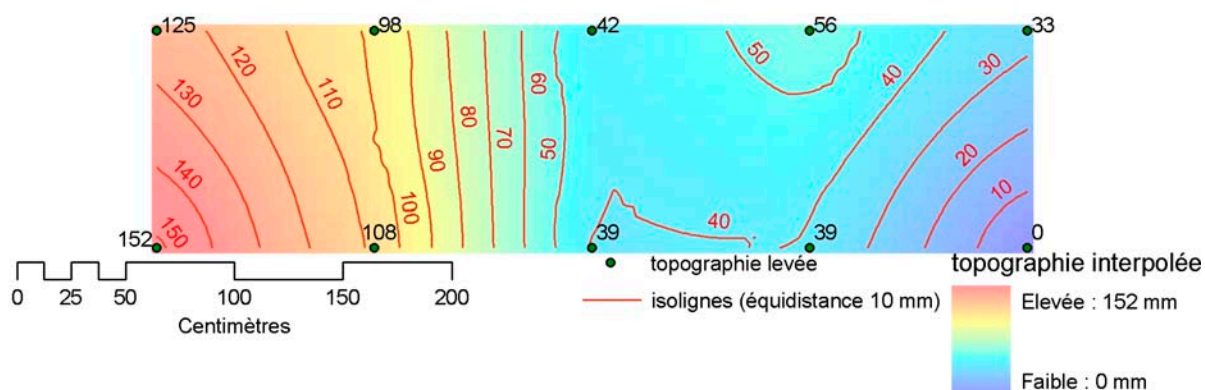


Figure 7 : topographie de modalité *bout de champs enherbé non tassé*

3. chenal enherbé tassé

Dans le cadre d'un remembrement, un chenal enherbé a été installée en fond de talweg entre une mare et la route départementale 400 m en aval. C'est sur ce chenal enherbé que l'essai a été conduit. L'herbe a été implantée en 1992 après un sousolage. Un second sousolage a été effectué en 1995. L'herbe était pâturée, mais depuis 2003 elle est fauchée et enrubannée. Le sol y est tassé, car il est fréquemment parcouru par des engins agricoles. La placette a été installée sur l'axe du talweg, qui est profilé en V très ouvert (Figure 8). La pente longitudinale y est très faible : 1,4 % pour notre essai (Figure 9), mais le levé topographique a été insuffisant pour établir un modèle numérique de terrain vraisemblable. Le profil pédologique est proche de celui du bout de champs enherbé tassé, mais l'hydromorphie est moins marquée.

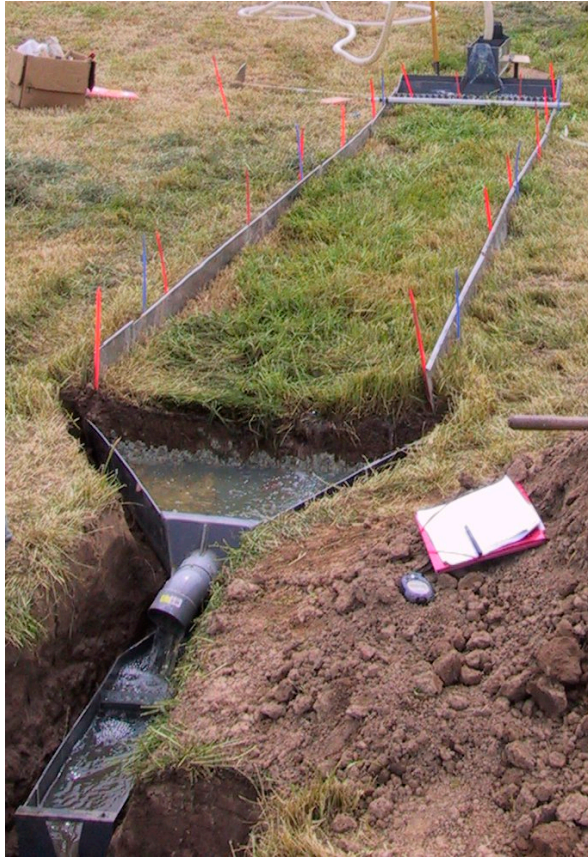
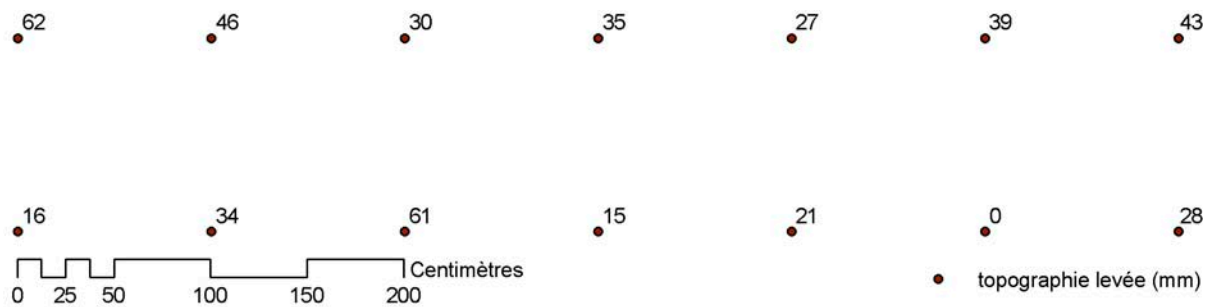


Figure 8 : vue d'ensemble de la modalité *chenal enherbé* (largeur : 1 m, longueur : 6 m)

A noter la présence d'une galerie de petit rongeur commençant en milieu de placette et se prolongeant en subsurface jusqu'à l'exutoire de la placette. Lorsque le débit d'entrée était de 0,45 L/s, nous avons estimé que cette galerie collectait 0,18 L/s de l'écoulement. Le débit qui passe par cette galerie est bien récupéré par le dispositif et mesuré en sortie, mais le périmètre mouillé s'en trouve augmenté. Cependant, les valeurs d'infiltration mesurées restent faibles. On ne peut donc pas dire que cette galerie ait notablement influencé l'infiltration dans la placette.



NB : la topographie du fond en V n'ayant pas été levée, la placette n'est pas assez bien connue pour interpoler sa topographie.

Figure 9 : levé topographique partiel de la modalité *chenal enherbé*

III. Résultats

A. infiltrations

Les résultats des mesures d'infiltration à saturation pour chaque débit testé de chaque essai se retrouvent sur le graphique de la Figure 10. Chaque point est encadré par un intervalle de confiance qui prend uniquement en compte les erreurs sur les débits dues aux possibles

erreurs de lectures ($\pm 0,5$ mm). Toutes les valeurs sont obtenues par moyenne de tous les points mesurés pendant chaque régime stable. Elles sont données en annexe. Le Tableau 1 donne les valeurs moyennes et les écarts types de toutes les mesures en régime stable de chaque essai.

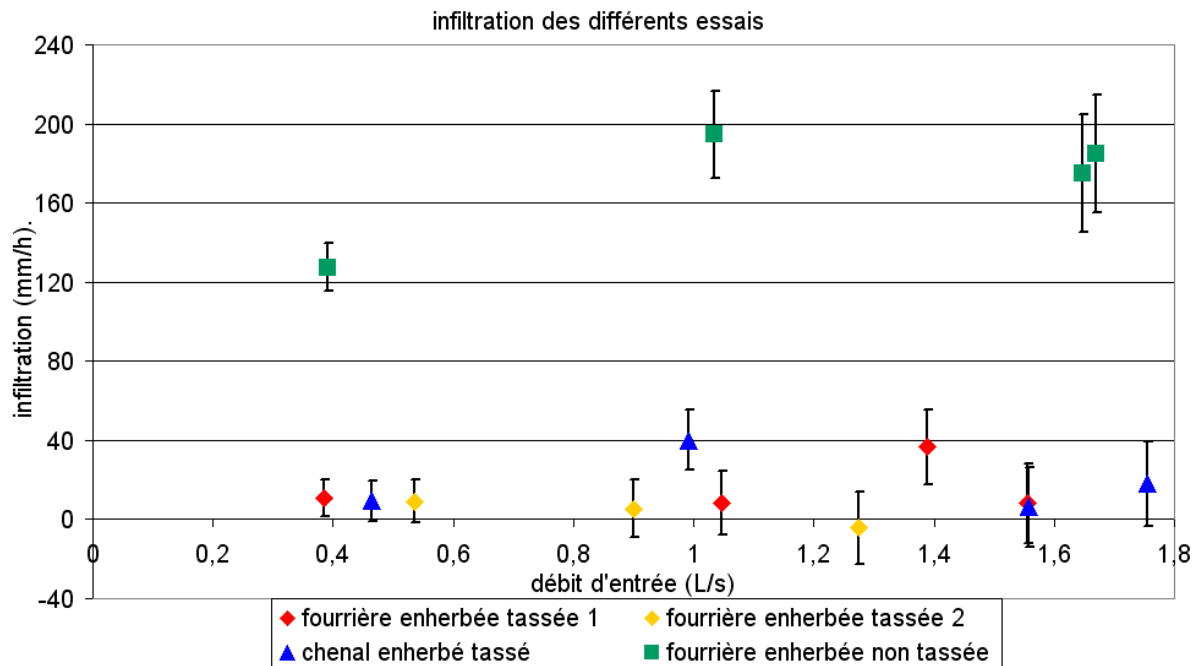


Figure 10 : infiltration à saturation des différents essais selon le débit d'entrée

Tableau 1 : moyenne et écart type des infiltrations par essai

<i>essai</i>	<i>infiltration moyenne (mm/h)</i>	<i>écart type (mm/h)</i>
bout de champs enherbé tassé 1	15,05	12,70
bout de champs enherbé tassé 2	0,37	9,62
chenal enherbé tassé	20,77	14,97
bout de champs enherbé non tassé	172,18	28,13

Les observations au cours de ces essais ont montré que les écoulements étaient toujours strictement surfaciques, que le sol ait été compacté par le passage des engins agricoles ou pas, comme le montre la photo de la Figure 11. Ceci confirme les résultats de LECOMTE (1999) sous pluie artificielle : aucun écoulement sub-surfacique de la surface jusqu'au fond de la semelle de labour.



Figure 11 : modalité *bout de champs enherbé non tassé*. Sous la feuille plastique appliquée à la base du mat racinaire contre la section de sortie, aucun écoulement n'est observé.

B. humidité du sol

Quelques profils d'humidité ont été effectués. Deux profils concernent le premier essai de la modalité *bout de champs enherbé tassé*, les échantillons ayant été récoltés après l'essai de ruissellement. Les deux autres ont été prélevés avant le ruissellement, et correspondent donc aux humidités initiales. La matière organique n'a pas été soustraite des prélèvements.

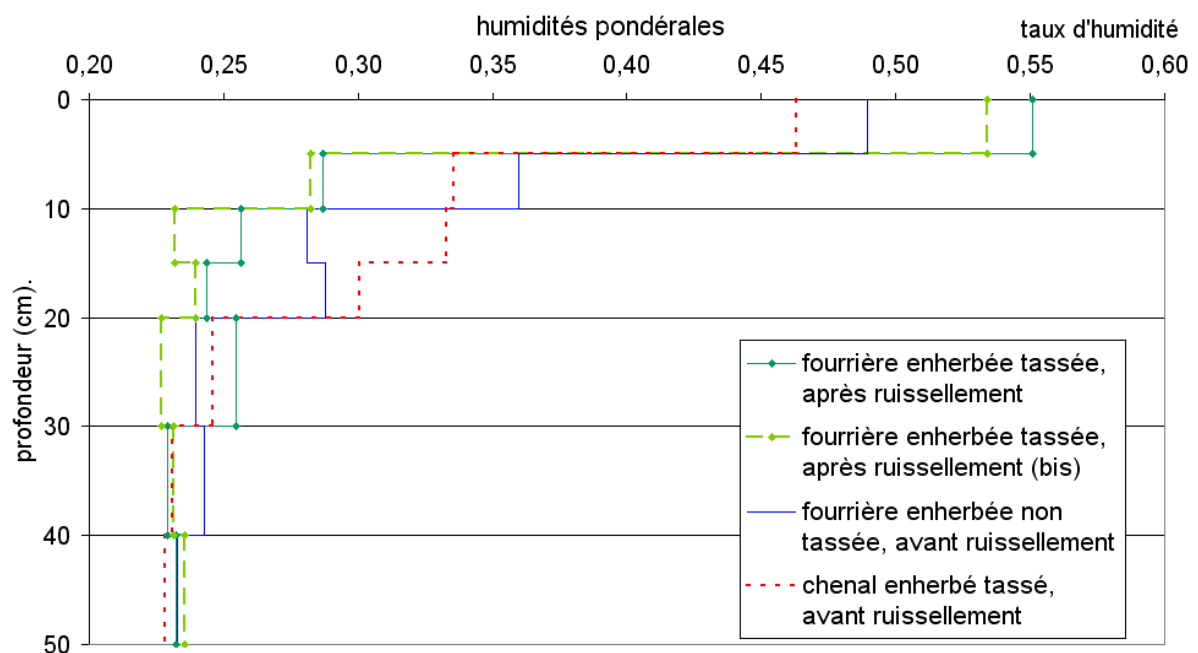


Figure 12 : humidités pondérales sur les profils échantillonnés

C. rugosité hydraulique

De façon générale, connaître la rugosité hydraulique d'une surface permet de prévoir la vitesse des écoulements qui passeront dessus, et ainsi d'estimer l'évolution dynamique d'une onde de crue sur cette surface. Au cours de ces travaux, nous avons cherché à évaluer la

rugosité hydraulique des dispositifs enherbés testés sur la gamme de débits que permet le matériel. Pour ces débits, la végétation n'était jamais submergée.

Cette évaluation a été faite en suivant le formalisme proposé par la formule de Manning-Strickler. Selon cette formule, la vitesse d'un écoulement est donnée comme

$$V = K_s \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{i},$$

avec V : vitesse (m²/s),

K_s : coefficient de Strickler (sans dimension),

i : pente (m/m),

R : rayon hydraulique (m) tel que $R = \frac{\text{surface mouillée}}{\text{périmètre mouillé}}$.

Dans cette formule, c'est le *coefficient de Strickler* qui rend compte de la rugosité hydraulique³. Ce coefficient peut être calculé comme

$$K_s = \frac{V}{R^{2/3} \cdot \sqrt{i}} = \frac{Q}{S \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{i}}, \text{ avec } S \text{ la surface mouillée (m}^2\text{)}.$$

Pour calculer ces coefficients, il nous a fallu quantifier Q, S et R, ainsi que la pente i :

- les débits pour chaque transect sont estimés à partir des débits d'entrée et de sortie mesurés, en faisant l'hypothèse d'une décroissance linéaire du débit tout au long de la placette ;
- la section et le périmètre mouillé ont été calculés comme suit : nous avons mesuré la hauteur d'eau le long de trois transects perpendiculaires au débit, puis nous avons considéré la section comme rectangulaire, avec une hauteur d'eau égale à la moyenne des hauteurs mesurées ;
- la pente est donnée par le modèle numérique de terrain.

Les tableaux suivants donnent les résultats. La valeur de transect est la distance du transect considéré à l'amont de la placette. La Figure 13 est une illustration graphique de ces résultats.

Tableau 2 : coefficients de Strickler calculés à partir des données du premier essai sur *bout de champs enherbé tassé* (longueur 6,0 m, largeur 1,0 m).

débit	transect (m)	0,5	3,0	5,5
	pente locale (m/m)	1,7E-02	1,6E-02	5,5E-03
fort	débit (l/s)	1,390	1,358	1,325
	profondeur moyenne (cm)	3,189	3,544	3,511
	Ks calculé	3,50	2,96	4,97
moyen	débit (l/s)	1,045	1,039	1,033
	profondeur moyenne (cm)	2,722	2,933	2,622
	Ks calculé	3,41	3,08	6,23
faible	débit (l/s)	0,3888	0,3875	0,3863
	profondeur moyenne (cm)	1,156	1,133	1,400
	Ks calculé	5,19	5,47	6,52

³ en toute rigueur, la rugosité hydraulique est donnée par le coefficient de Manning, qui est l'inverse du coefficient de Strickler.

Tableau 3 : coefficients de Strickler calculés à partir des données du second essai sur *bout de champs enherbé tassé* (longueur 6,1 m, largeur 1,0 m).

débit	transect (m)	0,5	3,0	5,6
	pente locale (m/m)	2,3E-02	2,0E-02	3,7E-03
fort	débit (l/s)	1,255	1,255	1,255
	profondeur moyenne (cm)	3,089	4,311	3,067
	Ks calculé	2,81	1,76	7,14
moyen	débit (l/s)	0,9029	0,8975	0,8919
	profondeur moyenne (cm)	2,656	3,467	2,422
	Ks calculé	2,58	1,80	7,46
faible	débit (l/s)	0,5337	0,5270	0,5201
	profondeur moyenne (cm)	2,156	2,911	1,867
	Ks calculé	2,15	1,40	6,67

Tableau 4 : coefficients de Strickler calculés à partir des mesures sur *bout de champs enherbé non tassé* (longueur 4,1 m, largeur 1,0 m).

débit	transect (m)	0,5	2,0	3,5
	pente locale (m/m)	3,6E-02	2,7E-02	3,5E-02
fort	débit (l/s)	1,661	1,611	1,561
	profondeur moyenne (cm)	8,422	7,833	5,711
	Ks calculé	0,60	0,75	1,06
moyen	débit (l/s)	1,016	9,610E-04	9,063E-04
	profondeur moyenne (cm)	6,633	6,156	4,533
	Ks calculé	0,54	0,65	0,89
faible	débit (l/s)	0,3,790	0,3430	0,3070
	profondeur moyenne (cm)	4,456	3,889	2,711
	Ks calculé	0,38	0,49	0,70

Pour l'essai sur *chenal enherbé*, la forme en V et le levé topographique insuffisant ont rendu ces calculs trop incertains pour être significatifs.

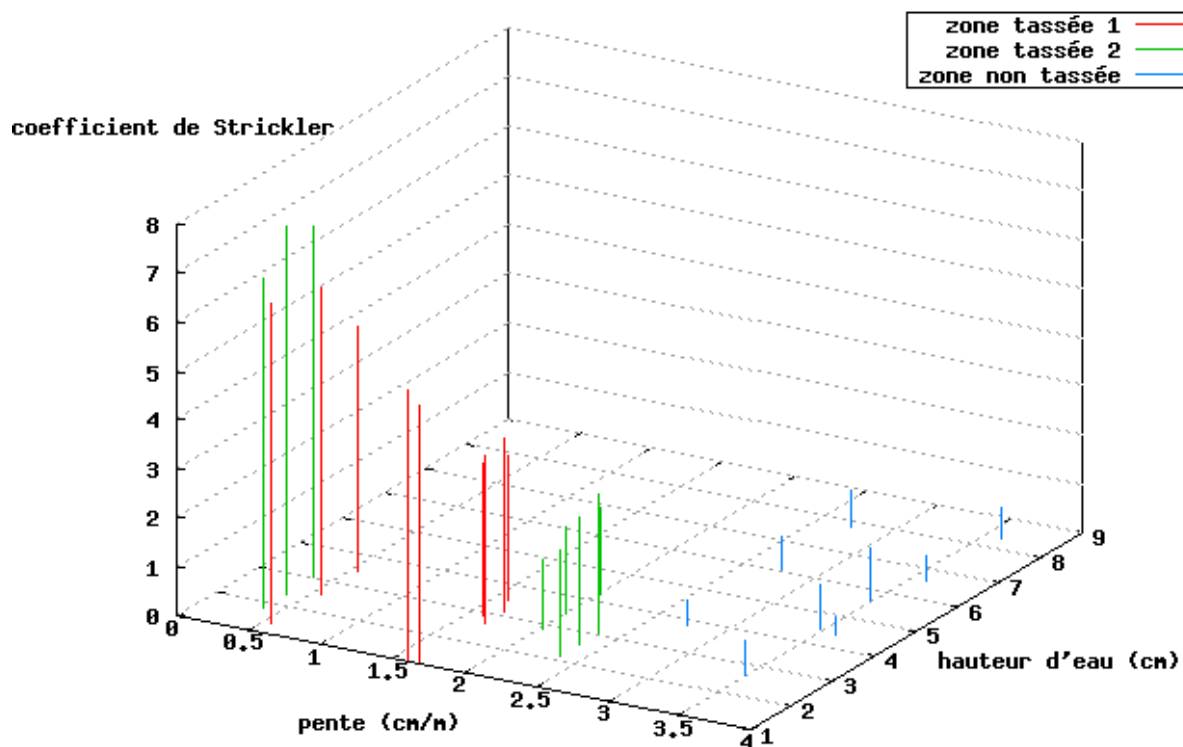


Figure 13 : coefficients de Strickler en fonction de la pente et de la hauteur d'eau

IV. Analyse et commentaires

A. qualité des mesures

1. métrologie

Aucun incident de fonctionnement n'a été à déplorer au cours des essais : la précision des résultats ne dépend que de la précision des instruments utilisés. Mais puisque nous avons travaillé sur des surfaces présentant de faibles infiltrations, l'incertitude relative est significative autour de ces valeurs. Le cas le plus flagrant est celui du second essai de la modalité *bout de champs enherbé tassé*, lorsque le débit entrant était de 1,275 L/s : l'infiltration a été mesurée négative à -4,2 mm/h⁴, avec un intervalle d'incertitude de [-22,4 ; 13,8] mm/h. Seul un système de mesure plus précis permettrait de meilleurs résultats.

2. effets de bords

Une objection de principe peut être formulée à l'encontre du dispositif expérimental : rien n'est fait pour empêcher les effets de bords, en dehors de l'humectation des placettes avant les mesures. S'ils existent, ils entraînent une surestimation de l'infiltration. Néanmoins, pour cette étude, il ne nous est pas possible de les estimer.

B. infiltrations

Les valeurs d'infiltration à saturation mesurées présentent une gamme très large : de 0 à 200 mm/h. Deux groupes se dessinent, selon la compaction du sol sur lequel l'herbe est implantée. D'après ces premières mesures, les dispositifs enherbés des limons battants du pays de Caux ont des infiltrabilités moyennes de 0 à 21 mm/h lorsqu'ils sont compactés, tandis que les sols sains ont des infiltrabilités moyennes de 172 mm/h. Bien que le nombre d'essais soit limité, les différences sont suffisamment nettes pour pouvoir distinguer ces deux groupes. De plus, l'infiltration mesurée hors tassement se situe bien dans la fourchette des perméabilités trouvées dans la littérature (SOULLER *et al.* 2002, WATANABE et GRISMER, 2001), et les valeurs d'infiltration en zone tassée sont proches des mesures de perméabilité effectuée sur une prairie pâturée de fond de vallon en pays de Caux, toutes inférieures à 3 mm/h (NEDELEC 1998).

Les profils d'humidité appuient ces observations. Les mesures de la modalité *bout de champs enherbé tassé* ont été réalisées sur des échantillons prélevés après près de 3 heures de ruissellement. Pourtant, dès 5 cm de profondeur, le sol y présente des humidités plus faibles que les deux autres profils, réalisés avant tout ruissellement. La faible circulation verticale de l'eau dans la *bout de champs enherbé tassé* est bien visible.

C. rugosité hydraulique

Les coefficients de Strickler K_s calculés sont compris entre 0,4 et 7,5. Rappelons que les hauteurs d'eau étaient toujours inférieures à la hauteur de la végétation. Les valeurs de K_s les plus faibles (0,4 à 1,1) sont observées sur la *bout de champs enherbé non tassé*, qui présentait une végétation plus haute et plus dense que les autres essais. Sur la zone tassée de la fourrière, où la végétation était moins dense et moins haute, les valeurs sont comprises entre 1,4 et 7,5.

⁴ ce qui est physiquement impossible dans un système hortonien : en l'absence de résurgence, une infiltration est nécessairement positive ou nulle.

Ces valeurs sont largement inférieures aux valeurs classiques recommandées pour ce genre de surfaces, généralement données entre 10 et 30. Mais il s'agit de valeurs utilisées pour des chenaux où la hauteur d'eau est importante par rapport à la hauteur de l'herbe. Dans le cas de sols faiblement couverts, MORGAN annonce des coefficients de Manning compris entre 0,2 et 1,7, soit des Strickler allant de 5 à 0,6 (KIRKBY et MORGAN, 1980).

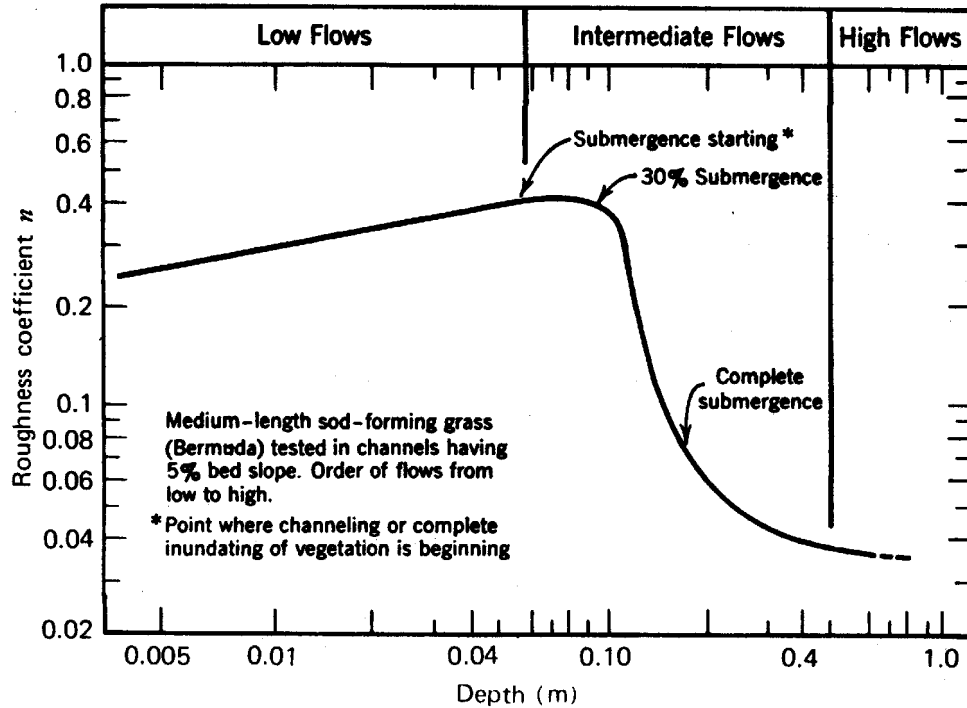


Figure 14 : évolution du coefficient de Manning n dans un chenal couvert de chiendent en fonction de la hauteur d'eau dans le chenal (d'après REE, 1949)

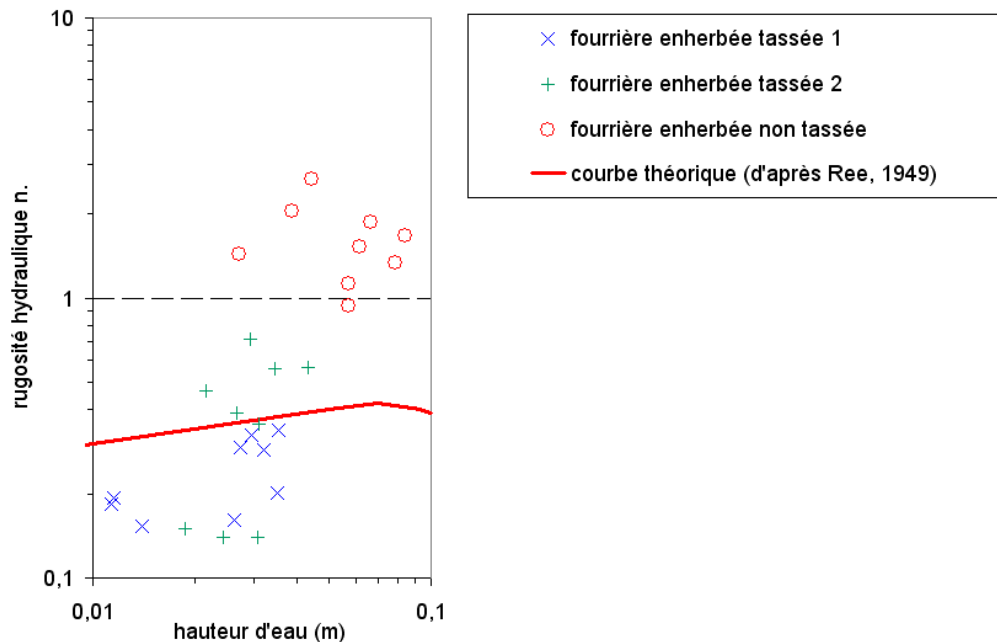


Figure 15 : coefficients de Manning en fonction de la hauteur d'eau pour nos points expérimentaux, en regard avec les résultats de REE.

REE (1949) a montré l'évolution de la rugosité hydraulique dans un chenal enherbé avec la hauteur d'eau, mettant en évidence le fort frein hydraulique de la végétation tant que

la hauteur d'eau est inférieure à la hauteur de l'herbe. La Figure 14 montre cette relation dans le cas d'un chenal avec une pente de 5 %, couvert de chiendent⁵ haut de 5 à 15 cm. La végétation et la pente de cette étude sont proches de celles de nos conditions expérimentales, mais les couverts sur lesquels nous avons travaillé étaient un peu plus hauts (10 à 30 cm pour la fourrière tassée, 15 à 40 cm dans la zone non tassée). Nous avons reporté nos points expérimentaux sur cette courbe, sur la Figure 15.

Étant donné les différences de conditions expérimentales, il semble que nos résultats concordent avec les valeurs présentes dans la littérature.

V. Conclusions

Ces premiers résultats nous renseignent sur les ordres de grandeur d'infiltrabilité des chenaux enherbés anti-érosifs en Haute-Normandie. Ils révèlent une grande variabilité, qui est notamment liée au tassement des sols. Ce tassement est déterminé par le mode de gestion et d'utilisation de ces surfaces, dans lequel la fréquence et les conditions de passage de matériel agricole sont déterminants. En particulier, le passage d'engins agricoles à des périodes où ces surfaces restent humides sont parmi les événements les plus tassants qu'un chenal enherbé peut être amené à subir.

Pour le bout de champ enherbé qui ne supporte qu'un passage d'outil pour le broyage à une époque où le sol est bien ressuyé (mai ou juin), le profile pédologique est sain, sans trace de tassement, et l'infiltration est forte : les valeurs mesurées sont comprises entre 127 mm/h et 195 mm/h.

Pour le bout de champ enherbé situé à l'aval d'une longue parcelle labourée, sa gestion est très propice au tassement : les ruissellements issus de la parcelle cultivée à l'amont induisent une humidité régulière, tandis que les passages d'engin sont plus nombreux (labour, semis, broyage, traitements, récolte), et peuvent avoir lieu en conditions humides (récolte du maïs ensilage en octobre, récolte des betteraves à sucre jusqu'en novembre, traitements d'automne des céréales), sans qu'aucun sousolage n'ait eu lieu depuis 10 ans. Ces conditions induisent la formation d'un pseudo-gley dans l'ancien horizon labouré sous le mat racinaire. L'infiltration y est très faible pour les deux séries de mesures effectuées : entre 0 mm/h et 37 mm/h.

Le chenal enherbé de fond de talweg est aussi régulièrement traversé par des engins agricoles que le bout de champ enherbé qui sert de tournière, ce qui conduit à un profile pédologique comparable à celui du bout de champ enherbé et compacté. L'infiltration y est faible, entre 6 mm/h et 40 mm/h.

Ces premiers résultats semblent confirmer les observations visuelles faites ces dernières années sur le terrain, et les mesures de Yves Nédélec. Ils montrent aussi la variabilité possible à l'échelle d'un bassin versant.

Sur le plan de l'arrachement de particules dans les processus d'érosion linéaire, l'enherbement s'est avéré depuis de longues années comme totalement efficace, et les mesures de rugosité hydrauliques réalisées pour cette étude le confirment. Mais vis-à-vis de la réinfiltration des ruissellements, ces premières données montrent qu'il y a lieu d'être prudent, car elle n'est pas toujours très élevée. La connaissance du mode de gestion de ces surfaces est vraisemblablement une information essentielle pour estimer leur infiltrabilité.

Quand au pouvoir de filtration et de piégeage de particules de pollution, ces résultats montrent qu'on ne peut pas toujours tabler sur l'effet indirect de l'infiltration. Si cette dernière

⁵ *Panicum dactylon* (L.) en l'occurrence

est faible, ces surfaces enherbées ne se montreront efficaces que lorsque la hauteur de l'écoulement reste inférieure à la hauteur de l'herbe, ce qui suppose que les chenaux doivent être peu profonds et assez large pour permettre à l'écoulement d'être étalé.

bibliographie

- BENOIT, P., BARRIUSO, E., VIDON, P. et RÉAL, B., *Isoproturon sorption and degradation in a soil from grassed buffer strip*, Journal of Environmental Quality 28 (1999) 1-9.
- BEVEN, K. et GERMANN, P., *Macropores and water flow in soils*, Water resources research 18 (1982) 1311-1325.
- CORPEN. *Produits phytosanitaires et dispositifs enherbés*, (1997), 88 p.
- GRIL J.-J., LACAS J.G. 2004. *Intérêt des zones tampons enherbées et boisées pour limiter le transfert diffus des produits phytosanitaires vers les milieux aquatiques ; de l'état des connaissances aux recommandations pratiques*. Étude réalisée pour les ministères chargés de l'Agriculture et de l'Écologie. 37 p.
- LACAS J.G., VOLTZ M., GOUY, V., CARLUER, N., GRIL, J.-J. *Using grassed strips to limit pesticide transfer to surface water: a review*. Agron. Sustain. Dev. (2005) (25) 1-14.
- LECOMTE V., *Transfert de produits phytosanitaires par le ruissellement et l'érosion de la parcelle au bassin versant. Processus, déterminisme et modélisation spatiale*, 1999, thèse de doctorat de l'ENGREF.
- MADRIGAL, I., BENOIT, P., BARRIUSO, E., ETIEVANT, V., SOUILLER, C., REAL, B. et DUTERTRE, A., *Capacité de stockage et d'épuration des sols de dispositifs enherbés vis-à-vis des produits phytosanitaires*, Étude et gestion des sols 9 (2002) 287-302.
- MORGAN, R. P. C., *Field studies in sediment transport by overland flow*, sous presse à la parution de l'ouvrage, cité page 281 dans *Soil erosion*, 1980, sous la direction de KIRKBY, M. J. et MORGAN, R. P. C., éditions Wiley.
- NEDELEC, Y., BOUYE, J. M., MANAJLOVIC, J., VINCENT, B., OUVRY, J.-F., COLLANGE, B., *Retenue d'infiltration sur la commune de Névilles*, 1998, rapport d'étude pour le pôle de compétence « sol et eau en Haute-Normandie », page 14
- OUVRY, J.-F., *Effet des techniques culturales sur la susceptibilité des terrains à l'érosion par ruissellement concentré – Expérience du Pays de Caux (France)*, 1989, Cah. ORSTOM, Sér. Pédol., vol. XXV, n^{os} 1-2, 1989-90 :157-169
- REE, W. O. *Hydraulic characteristics of vegetation for vegetated water-ways*, Agr. Eng. 41, 636-642. cité page 139 dans *Soil and water conservation engineering (fourth edition)*, 1993, SCHWAB G. O. et al., éditions Wiley.
- SOUILLER, C., COQUET, Y., POT, V., BENOIT, P., REAL, B., MARGOUM, C., LAILLET, B., LABAT, C., VACHIER, P. DUTERTRE, A., *Capacités de stockage et d'épuration des sol de dispositifs enherbés vis-à-vis des produits phytosanitaires*, Étude et gestion des sols 9 (2002) 269-285.
- WATANABE, H. et GRISMER, M. E., *Diazinon transport through inter-row vegetative filter strips: micro-ecosystem modeling*, Journal of Hydrology 247 (2001) 183-199.

Annexes

Suivent les débits enregistrés au cours de nos différents essais, et les calculs associés. En notant δh l'erreur de lecture sur les hauteurs d'eau dans le canal et S la surface de la placette, la valeur « infiltration sup » (pour « infiltration supérieure ») est l'infiltration calculée comme $\frac{1}{S} \cdot [Q_{entrée}(h_{entrée} + \delta h) - Q_{sortie}(h_{sortie} - \delta h)]$. La valeur « infiltration inf » (pour « infiltration inférieure ») est l'infiltration calculée comme $\frac{1}{S} \cdot [Q_{entrée}(h_{entrée} - \delta h) - Q_{sortie}(h_{sortie} + \delta h)]$. Les périodes de régime stable sont sur fond jaune. Ce sont sur ces périodes que portent les moyennes (sur fond bleu) qui ont permis d'établir le graphique de la Figure 10, page 8.

Tableau 5 : enregistrements de la première répétition de la modalité bout de champs enherbé tassé par les engins

temps (min)	entrée (l/s)	sortie (l/s)	Infiltration (l/s)	Infiltration (mm/h)	infiltration sup (mm/h)	infiltration inf (mm/h)
12,0	1,428	1,289	0,139	83,18	101,83	64,53
15,0	1,428	1,289	0,139	83,18	101,83	64,53
22,0	1,396	1,319	0,076	45,87	64,53	27,21
26,0	1,365	1,319	0,045	27,10	45,64	8,55
29,0	1,396	1,319	0,076	45,87	64,53	27,21
32,0	1,396	1,350	0,046	27,32	46,10	8,53
moyenne	1,388	1,327	0,061	36,54	55,20	17,88
34,0	0,916	1,171	-0,255	-152,83	-136,73	-168,94
36,0	0,891	0,904	-0,012	-7,45	7,36	-22,26
44,0	1,046	1,006	0,040	23,97	39,92	8,01
48,0	1,046	1,032	0,013	8,06	24,14	-8,01
50,0	1,046	1,032	0,013	8,06	24,14	-8,01
62,0	1,046	1,032	0,013	8,06	24,14	-8,01
moyenne	1,046	1,032	0,013	8,062	24,136	-8,014
70,0	0,421	0,402	0,020	11,82	21,40	2,25
78,0	0,405	0,402	0,004	2,12	11,60	-7,35
90,0	0,389	0,386	0,003	1,88	11,15	-7,39
92,0	0,389	0,371	0,018	10,92	20,09	1,76
98,0	0,389	0,371	0,018	10,92	20,09	1,76
100,0	0,389	0,371	0,018	10,92	20,09	1,76
103,0	0,374	0,357	0,017	10,48	19,44	1,52
moyenne	0,386	0,368	0,018	10,811	19,925	1,698
115,0	1,558	1,478	0,080	48,00	67,86	28,14
116,5	1,558	1,511	0,047	28,22	48,20	8,23
118,0	1,558	1,545	0,014	8,18	28,29	-11,93
120,0	1,525	1,511	0,014	8,27	28,14	-11,60
122,5	1,558	1,545	0,014	8,18	28,29	-11,93
124,0	1,558	1,545	0,014	8,18	28,29	-11,93
126,5	1,575	1,561	0,014	8,12	28,36	-12,11
129,0	1,558	1,545	0,014	8,18	28,29	-11,93
131,0	1,558	1,545	0,014	8,18	28,29	-11,93
moyenne	1,556	1,542	0,014	8,184	28,276	-11,912

Tableau 6 : enregistrements de la seconde répétition de la modalité *bout de champs enherbé tassé par les engins*

temps (min)	entrée (l/s)	sortie (l/s)	Infiltration (l/s)	Infiltration (mm/h)	infiltration sup (mm/h)	infiltration inf (mm/h)
2,5	2,065	0,052	2,013	1187,84	1220,81	1194,48
2,9	2,065	1,319	0,746	440,04	468,29	426,45
3,7	2,065	1,827	0,238	140,60	165,74	120,15
8,0	1,334	1,446	-0,112	-66,03	-48,21	-86,05
11,0	1,334	1,289	0,045	26,43	45,17	8,56
15,0	1,288	1,289	-0,001	-0,50	17,62	-18,64
19,0	1,273	1,289	-0,016	-9,36	8,56	-27,59
22,5	1,303	1,274	0,029	17,33	35,75	-0,50
26,0	1,303	1,289	0,014	8,42	26,75	-9,63
28,0	1,273	1,289	-0,016	-9,36	8,56	-27,59
33,5	1,303	1,289	0,014	8,42	26,75	-9,63
36,0	1,303	1,304	-0,001	-0,55	17,69	-18,81
39,0	1,303	1,319	-0,016	-9,59	8,56	-28,06
43,0	1,273	1,289	-0,016	-9,36	8,56	-27,59
46,0	1,258	1,274	-0,016	-9,25	8,55	-27,36
50,0	1,243	1,274	-0,030	-17,99	-0,40	-36,19
52,0	1,243	1,259	-0,015	-9,14	8,54	-27,13
56,0	1,243	1,259	-0,015	-9,14	8,54	-27,13
59,0	1,243	1,259	-0,015	-9,14	8,54	-27,13
moyenne	1,275	1,283	-0,007	-4,228	13,754	-22,354
63,0	0,941	1,006	-0,065	-38,09	-23,22	-54,23
66,0	0,929	1,006	-0,077	-45,55	-30,86	-61,76
70,0	0,904	0,929	-0,025	-14,76	-0,02	-29,99
72,0	0,891	0,891	0,000	-0,05	14,70	-14,81
76,0	0,904	0,891	0,012	7,24	22,17	-7,45
79,0	0,904	0,891	0,012	7,24	22,17	-7,45
82,0	0,904	0,891	0,012	7,24	22,17	-7,45
moyenne	0,901	0,891	0,009	5,419	20,306	-9,290
99,0	0,535	0,538	-0,003	-1,53	9,55	-12,66
102,0	0,535	0,547	-0,012	-6,99	4,06	-18,27
105,0	0,535	0,538	-0,003	-1,53	9,55	-12,66
109,0	0,535	0,519	0,016	9,23	20,38	-1,62
113,0	0,535	0,519	0,016	9,23	20,38	-1,62
118,0	0,535	0,519	0,016	9,23	20,38	-1,62
124,0	0,535	0,519	0,016	9,23	20,38	-1,62
129,0	0,535	0,519	0,016	9,23	20,38	-1,62
moyenne	0,535	0,519	0,016	9,226	20,380	-1,621

Tableau 7 : enregistrements de la modalité *bout de champs enherbé non tassé*

temps (min)	entrée (l/s)	sortie (l/s)	Infiltration (l/s)	Infiltration (mm/h)	infiltration sup (mm/h)	infiltration inf (mm/h)
-22,0	1,875	1,446	0,429	379,87	410,54	349,20
-19,0	1,695	1,413	0,282	249,09	278,70	219,47
-15,0	1,643	1,478	0,165	145,78	175,50	116,07
-13,0	1,695	1,528	0,167	147,95	178,20	117,69
-9,0	1,678	1,561	0,116	102,78	133,13	72,43
-5,0	1,643	1,446	0,197	174,59	204,12	145,05
0,0	1,660	1,478	0,182	161,05	190,85	131,24
3,0	1,695	1,462	0,233	206,29	236,17	176,40
8,0	1,660	1,446	0,215	189,85	219,47	160,23
11,0	1,660	1,446	0,215	189,85	219,47	160,23
21,0	1,678	1,478	0,199	176,40	206,29	146,51
26,0	1,660	1,446	0,215	189,85	219,47	160,23
30,0	1,695	1,478	0,217	191,84	221,82	161,86
<i>moyenne</i>	1,669	1,460	0,209	184,97	214,71	155,22
37,0	1,032	0,785	0,248	219,05	240,95	197,14
40,0	1,032	0,796	0,236	208,91	230,89	186,92
45,0	1,032	0,808	0,225	198,68	220,75	176,61
51,0	1,032	0,820	0,213	188,37	210,52	166,21
53,0	1,032	0,808	0,225	198,68	220,75	176,61
54,0	1,046	0,820	0,226	200,21	222,45	177,97
67,0	1,032	0,820	0,213	188,37	210,52	166,21
72,0	1,032	0,820	0,213	188,37	210,52	166,21
78,0	1,032	0,808	0,225	198,68	220,75	176,61
<i>moyenne</i>	1,034	0,815	0,220	194,479	216,611	172,347
93,0	0,389	0,245	0,145	127,95	140,07	115,83
97,0	0,389	0,239	0,150	133,11	145,16	121,06
101,0	0,397	0,245	0,153	134,91	147,10	122,71
107,0	0,389	0,251	0,139	122,71	134,91	110,53
116,0	0,389	0,251	0,139	122,71	134,91	110,53
129,0	0,389	0,251	0,139	122,71	134,91	110,53
<i>moyenne</i>	0,391	0,247	0,144	127,350	139,507	115,199
135,0	1,643	1,446	0,197	174,59	204,12	145,05
138,0	1,643	1,462	0,181	160,23	189,85	130,61
141,0	1,660	1,446	0,215	189,85	219,47	160,23
144,0	1,643	1,446	0,197	174,59	204,12	145,05
<i>moyenne</i>	1,647	1,450	0,198	174,816	204,391	145,237

Tableau 8 : enregistrements de la modalité *chenal enherbé*

temps (min)	entrée (l/s)	sortie (l/s)	Infiltration (l/s)	Infiltration (mm/h)	infiltration sup (mm/h)	infiltration inf (mm/h)
7,0	1,784	1,682	0,10	60,90	82,29	39,52
9,5	1,784	1,754	0,03	18,06	39,69	-3,58
16,0	1,748	1,718	0,03	18,13	39,52	-3,27
18,5	1,784	1,736	0,05	28,86	50,44	7,29
21,5	1,748	1,718	0,03	18,13	39,52	-3,27
24,0	1,748	1,718	0,03	18,13	39,52	-3,27
27,0	1,748	1,718	0,03	18,13	39,52	-3,27
30,0	1,730	1,718	0,01	7,47	28,81	-13,86
46,0	1,748	1,718	0,03	18,13	39,52	-3,27
<i>moyenne</i>	<i>1,755</i>	<i>1,725</i>	<i>0,03</i>	<i>18,13</i>	<i>39,56</i>	<i>-3,31</i>
56,0	0,993	0,879	0,11	68,18	83,33	53,03
61,0	0,993	0,941	0,05	30,90	46,34	15,47
65,0	0,993	0,929	0,06	38,48	53,85	23,10
69,0	0,993	0,929	0,06	38,48	53,85	23,10
73,0	0,980	0,929	0,05	30,67	45,99	15,34
97,0	0,993	0,904	0,09	53,44	68,71	38,18
104,0	0,993	0,904	0,09	53,44	68,71	38,18
108,0	0,993	0,929	0,06	38,48	53,85	23,10
112,0	0,993	0,929	0,06	38,48	53,85	23,10
122,0	0,993	0,929	0,06	38,48	53,85	23,10
<i>moyenne</i>	<i>0,99</i>	<i>0,92</i>	<i>0,07</i>	<i>40,09</i>	<i>55,45</i>	<i>24,74</i>
131,0	0,481	0,484	0,00	-1,95	8,51	-12,42
135,0	0,481	0,467	0,01	8,34	18,70	-2,02
138,0	0,481	0,467	0,01	8,34	18,70	-2,02
141,0	0,463	0,450	0,01	7,99	18,15	-2,16
145,0	0,463	0,450	0,01	7,99	18,15	-2,16
149,0	0,455	0,442	0,01	7,82	17,87	-2,23
151,0	0,455	0,434	0,02	12,73	22,72	2,73
157,0	0,446	0,425	0,02	12,50	22,39	2,61
<i>moyenne</i>	<i>0,46</i>	<i>0,45</i>	<i>0,02</i>	<i>9,39</i>	<i>19,53</i>	<i>-0,75</i>
161,0	1,525	1,171	0,35	212,40	230,92	193,87
163,0	1,525	1,413	0,11	66,89	86,39	47,40
165,0	1,525	1,462	0,06	37,86	57,54	18,18
168,0	1,558	1,511	0,05	28,22	48,20	8,23
172,0	1,558	1,545	0,01	8,18	28,29	-11,93
174,0	1,558	1,561	0,00	-1,93	18,24	-22,11
179,0	1,575	1,561	0,01	8,12	28,36	-12,11
182,0	1,541	1,528	0,01	8,23	28,22	-11,76
186,0	1,558	1,545	0,01	8,18	28,29	-11,93
<i>moyenne</i>	<i>1,56</i>	<i>1,55</i>	<i>0,01</i>	<i>6,15</i>	<i>26,28</i>	<i>-13,97</i>