



Gembloux Agro-Bio Tech
Université de Liège

GISER

Efficacité et dimensionnement des bandes enherbées

Le problème du dimensionnement d'une bande enherbée se pose régulièrement aux membres de la cellule d'expertise GISER lors des propositions de plans d'aménagement sur les bassins versants à risque d'érosion. Les experts MAE sont également confrontés à ce problème lors de la remise des avis techniques. La première partie du document porte donc sur la mise au point d'un outil d'aide à la décision pour le dimensionnement des bandes enherbées afin d'aider les experts dans leur démarche. Cet outil permet de déterminer l'efficacité de rétention en sédiments sur base de variables explicatives simples. La seconde partie du document porte sur la détermination de l'efficacité anti-érosive des tournières enherbées en place en Wallonie. En 2011, près de 12000 tournières enherbées étaient recensées. Bien que ces éléments ne soient pas nécessairement mis en place dans une perspective de lutte contre l'érosion, elles peuvent selon leur position dans le paysage contribuer à piéger une part substantielle des sédiments produits en amont.

Convention GISER, UCL-ELIe et ULg-Gx ABT, financée par le SWP-DGO3-DDR.

Rapport « standalone » mars 2015.

Résumé non technique disponible sur www.giser.be.

Table des matières

Liste des abréviations	1
Objectifs et historique	2
Résultats	4
1. Approche générale et utilisation du modèle VFSmod	4
1.1. Variables et gammes de valeurs à tester	5
1.1.1. Hyétogramme de pluie	5
1.1.2. Hydrogramme de ruissellement	5
1.2. Automatisation de la procédure pour la création des fichiers d'entrée et les runs du modèle VFSSMOD	12
1.3. Création de métamodèles	13
2. Mise au point d'un outil d'aide à la décision pour le dimensionnement des bandes enherbées	22
2.1. Objectif poursuivi	22
2.2. Conception de l'outil d'aide au dimensionnement des bandes enherbées	22
2.2.1. Détermination de la concentration en sédiment entrant	22
2.2.2. Détermination de l'efficacité de rétention en sédiments	25
2.3. Présentation de l'interface de l'outil d'aide au dimensionnement des bandes enherbées	26
2.3.1. Cadre « Données parcelle »	27
2.3.2. Cadre « Largeur de la bande enherbée à tester »	27
2.3.3. Cadre « Résultats intermédiaires	28
2.3.4. Cadre « Efficacité de la bande enherbée »	28
2.4. Test de l'outil	29
3. Détermination de l'efficacité anti-érosive des bandes enherbées en place en Wallonie	30
3.1. Objectif poursuivi	30
3.2. Méthodologie	30
3.2.1. Rappel de la méthodologie GISER 2009-2011	30
3.2.2. Application et adaptation de la méthodologie GISER 2009-2011 à l'échelle de la Wallonie	31
3.3. Résultats	36
Conclusions	37

Bibliographie	38
----------------------	-----------

Annexes	40
----------------	-----------

Annexe 1 : Curve Number pour les zones agricoles, 1 ^{ère} partie (Chow, 1964)	41
Annexe 2 : Curve Number pour les zones agricoles, 2 ^{ème} partie (Chow, 1964)	42
Annexe 3 : Curve Number pour les zones urbaines (Chow, 1964)	43
Annexe 4 : Métamodèle de l'efficacité de rétention en sédiments d'une bande enherbée pour un Curve Number de 72.....	44
Annexe 5 : Métamodèle de l'efficacité de rétention en sédiments d'une bande enherbée pour un Curve Number de 76.....	45
Annexe 6 : Métamodèle de l'efficacité de rétention en sédiments d'une bande enherbée pour un Curve Number de 81	46
Annexe 7 : Métamodèle de l'efficacité de rétention en sédiments d'une bande enherbée pour un Curve Number de 84.....	47
Annexe 8 : Métamodèle de l'efficacité de rétention en sédiments d'une bande enherbée pour un Curve Number de 88.....	48
Annexe 9 : Manuel d'utilisation de l'outil d'aide au dimensionnement des bandes enherbées	49

Liste des abréviations

a	Paramètre du métamodèle fonction de la concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée
AC	Aire contributive [m ²]
b	Paramètre du métamodèle fonction de la longueur de la bande enherbée
c	Paramètre du métamodèle fonction de la longueur de la bande enherbée
C	Facteur cultural [adimensionnel, [0-1]]
CN	Curve Number
H	Lame d'eau ruisselée [m]
K	Erodibilité du sol [t h mm ⁻¹ MJ ⁻¹]
LBE	Longueur de bande enherbée [m]
LS	Facteur topographique [adimensionnel]
LT	Longueur de thalweg [m]
n	Coefficient de Manning [adimensionnel]
p	Pente [m m ⁻¹]
P	Facteur "mesures anti-érosives" [adimensionnel, [0-1]]
PI	Hauteur de précipitation [mm]
Q	Volume de ruissellement [m ³]
q _p	Débit de pointe [m ³ s ⁻¹]
RS	Efficacité de rétention en sédiments [g g ⁻¹ , [0-1]]
s	Rétention potentielle [mm]
Sed	Concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée [g cm ⁻³]
T _{cs}	Temps de concentration du versant [min]
Y	Rendement en sédiments [t]
β	Pente [rad]
λ	Longueur de pente [m]

Objectifs et historique.

Les objectifs poursuivis ici sont multiples puisqu'il s'agit de déterminer l'efficacité de rétention en sédiment des bandes enherbées implantées en Wallonie et de mettre au point un outil d'aide à la décision pour le dimensionnement des bandes enherbées lors des recommandations effectuées par la cellule GISER ou par d'autres conseillers tels que les conseillers MAE.

Lors de la convention GISER 2009-2011, une méthodologie pour la détermination de l'efficacité des bandes enherbées avait été mise au point et testée pour un contexte spécifique, à savoir pour une pluie de projet avec une période de retour de 5 ans, pour les Régions Limoneuse et Sablo-Limoneuse et pour une rotation Froment-Betterave (Biielders et al., 2011). La méthodologie mise au point fait intervenir des courbes d'efficacité de rétention en sédiments pour des bandes de 12 m déterminées sur base du modèle VFSSMOD dans le cadre de la convention ELIPSOL (Cordonnier et Biielders, 2007 et 2008). Le modèle VFSSMOD avait préalablement été calibré sur base de données expérimentales obtenues par l'Université de Gand à Nukerke pour des bandes de 5 et 10 m de longueur¹. Les parcelles d'essai avaient une longueur standard de 100 m et une largeur de 2 m et les concentrations en sédiment entrant étaient comprises entre 1.7 et 17.5 kg/m³ pour des volumes de ruissellement compris entre 0.745 et 1.937 m³. La Figure 1 et la Figure 2 montrent les comparaisons entre les valeurs de ruissellement et d'érosion mesurées et simulées suite à la calibration du modèle VFSSmod. La Figure 3 reprend les valeurs des paramètres résultant de la calibration (Cordonnier et Biielders, 2007). Les détails concernant ces données sont disponibles dans le rapport final des conventions ALURE et ELIPSOL (Cordonnier et Biielders, 2007 et 2008).

Pour pouvoir procéder à la détermination de l'efficacité des bandes enherbées sur l'ensemble du territoire wallon et dans le but de mettre au point un outil d'aide au dimensionnement des bandes enherbées dans un but anti-érosif, il est nécessaire d'estimer l'efficacité de rétention en sédiments au moyen du modèle VFSSMOD pour des contextes topographiques et de concentration en sédiments aussi variées que possibles, ainsi que pour des longueurs de bandes enherbées et des types d'occupation du sol variables.

¹ Comme dans les rapports précédents (Cordonnier et Biielders, 2007 et 2008), la longueur fait ici référence à la distance effective parcourue par l'eau lors de sa traversée de la bande enherbée. Elle est donc mesurée dans le sens de la pente.

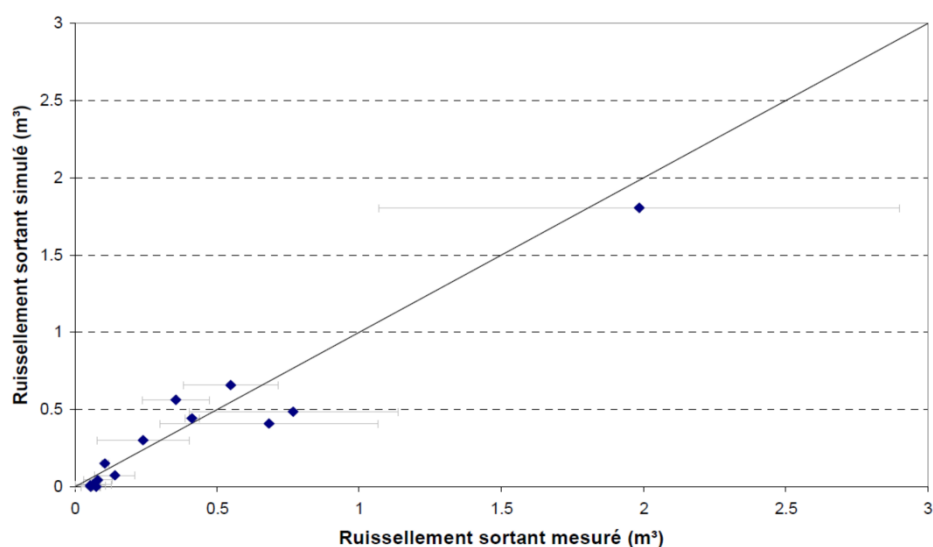


Figure 1 : Comparaison entre les valeurs de ruissellement sortant mesurées et les valeurs simulées sur les bandes enherbées de 5 m et 10 m de long suite à la calibration du modèle VFSmod sur les données expérimentales du site de l'Université de Gand à Nukerke. La droite est la droite 1 :1. (Cordonnier et Bielders, 2007).

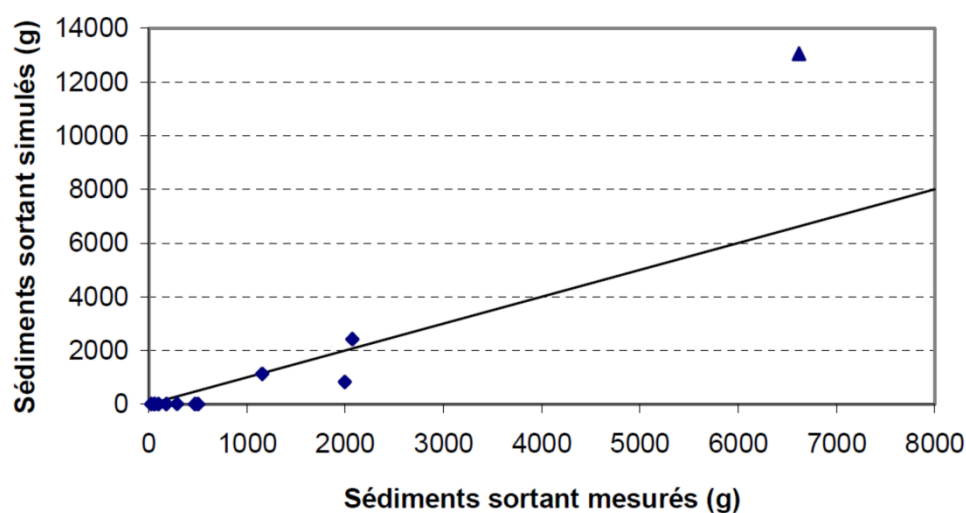


Figure 2 : Comparaison entre les valeurs de sédiments sortant mesurées et les valeurs simulées sur les bandes enherbées de 5 m et 10 m de long suite à la calibration du modèle VFSmod sur les données expérimentales du site de l'Université de Gand à Nukerke. La droite est la droite 1 :1. (Cordonnier et Bielders 2007).

Paramètres		Valeurs	
Conductivité hydraulique à saturation	Ks	35	mm.h ⁻¹
Teneur en eau initiale du sol	θ _i	0.45	
Succion au front d'infiltration	sav	0.3	m
Coefficient de manning	man	0.3	s.m ^{-1/3}
Diamètre des particules érodées	dp	2.5	µm
Densité apparente des particules érodées	da	1.45	g.cm ⁻³
Espacement entre les tiges de la végétation	ss	0.2	cm

Figure 3 : Paramètres obtenus suite à la calibration du modèle VFSmod sur les données expérimentales du site de l'Université de Gand à Nukerke (Cordonnier et Bielders, 2007).

Résultats.

1. Approche générale et utilisation du modèle VFSmod

Le modèle VFSmod² (Muñoz-Carpena et al., 1999) permet, entre autres, de déterminer l'efficacité de rétention en sédiment des bandes enherbées sur base de 4 caractéristiques (Figure 4, encadrés jaunes) :

- un hyétogramme de pluie ;
- un hydrogramme de ruissellement entrant dans la bande enherbée ;
- une concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée ;
- les propriétés de la bande enherbée (densité de végétation, capacité d'infiltration, etc.).

Chacune de ces caractéristiques est liée à une ou plusieurs variables environnementales qui reflètent les spécificités du milieu (Figure 4, encadrés bleus) : le Curve Number lié au type de culture en place et aux caractéristiques hydrologiques du sol, l'aire contributive et la longueur de thalweg aboutissant à la bande, la pente, le facteur cultural, l'érodibilité du sol et la pluie.

L'objectif poursuivi est de calculer au moyen du modèle VFSmod l'efficacité de rétention en sédiment des bandes enherbées de différentes longueurs pour différentes combinaisons de Curve Number, aire contributive, longueur de thalweg, pente et concentration en sédiments, et une pluie de projet donnée. Pour cela, il convient dans un premier temps de déterminer les gammes de valeurs réalistes pour chacun de ces facteurs. Celles-ci sont déterminées sur base des caractéristiques de l'ensemble des pixels du parcellaire agricole wallon où une bande enherbée pourrait potentiellement être implantée. Ensuite, pour les différentes combinaisons des facteurs, l'efficacité de rétention en sédiment est simulée au moyen du modèle VFSMOD. A partir de ces résultats de simulation, un ou plusieurs métamodèles³ permettant de déterminer l'efficacité de rétention en sédiments sur base de la ou des variables les plus utiles seront créés.

Ces métamodèles permettront d'estimer l'efficacité de rétention en sédiments sur base d'une équation reposant directement sur les variables explicatives exposées ci-

²<http://abe.ufl.edu/carpena/vfsmod/>

³Un métamodèle signifie littéralement 'modèle du modèle'. Il s'agit généralement de représenter, au travers de relations statistiquement significatives les relations complexes existant entre une variable dépendante (ici, l'efficacité de rétention en sédiment) et des variables explicatives (ici, le Curve Number, l'aire contributive, etc.), ces relations complexes étant préalablement établies au moyen d'un modèle déterministe (à base physique). (Pineros Garcet et al., 2006).

dessus et permettra de s'affranchir de la lourdeur liée à la mise en œuvre du modèle VFSmod. Ces métamodèles pourront être implémentés dans un module lié à un Système d'information géographique afin de calculer l'efficacité des bandes enherbées existantes en Wallonie et de simuler l'efficacité potentielle de bandes enherbées dans le cas de propositions d'aménagement.

Pour rappel, la méthodologie proposée dans la convention GISER 2009-2011 pour l'évaluation des bandes enherbées sur base des informations du parcellaire agricole considère l'efficacité globale d'une bande enherbée est définie en comparant la somme des quantités de sédiments sortant de chacun des pixels de la bande par rapport à la somme des quantités de sédiments entrant dans chacun des pixels de la bande (Biielders et al., 2011).

1.1. Variables et gammes de valeurs à tester

1.1.1. Hyétogramme de pluie

Pour le calcul de l'efficacité des bandes enherbées, une pluie avec une période de retour de 5 ans a été retenue (ELIPSOL, Cordonnier et Biielders, 2008). Les bandes enherbées n'étant intrinsèquement pas conçues pour lutter contre les événements exceptionnels, une période de retour assez courte a donc été retenue. Par ailleurs, nous nous sommes focalisés sur une pluie de type orageux, donc de courte durée (30 minutes), ce type d'événement conduisant plus souvent à des dégâts en aval qu'un événement de même période de retour mais de plus longue durée. Sur base des courbes IDF de Uccle, cela correspond à une pluie de 17.4 mm en 30 minutes. Nous avons opté pour une représentation de la pluie en double triangle (Figure 5), soit une pluie de 29 mm en 2h30 avec une période intense de 17.4 mm en 30 minutes.

1.1.2. Hydrogramme de ruissellement

La détermination de l'hydrogramme de ruissellement fait intervenir 4 variables : la pente, la longueur de thalweg, la surface de l'aire contributive et le Curve Number lié au type de culture en place et aux caractéristiques hydrologiques du sol. Pour pouvoir déterminer les hydrogrammes de ruissellement liés aux multiples combinaisons Curve Number-aire contributive-longueur de thalweg-pente qui peuvent exister en Wallonie, il convient de déterminer la gamme de valeurs de chacune de ces variables. Les informations pour déterminer le Curve Number sont issues des tables de Chow (1964), en considérant le groupe hydrologique du sol tel que celui fourni par la carte des classes d'infiltrabilité des sols ERRUISSOL (Demarcin et al., 2011) (Annexes 1 à 3).

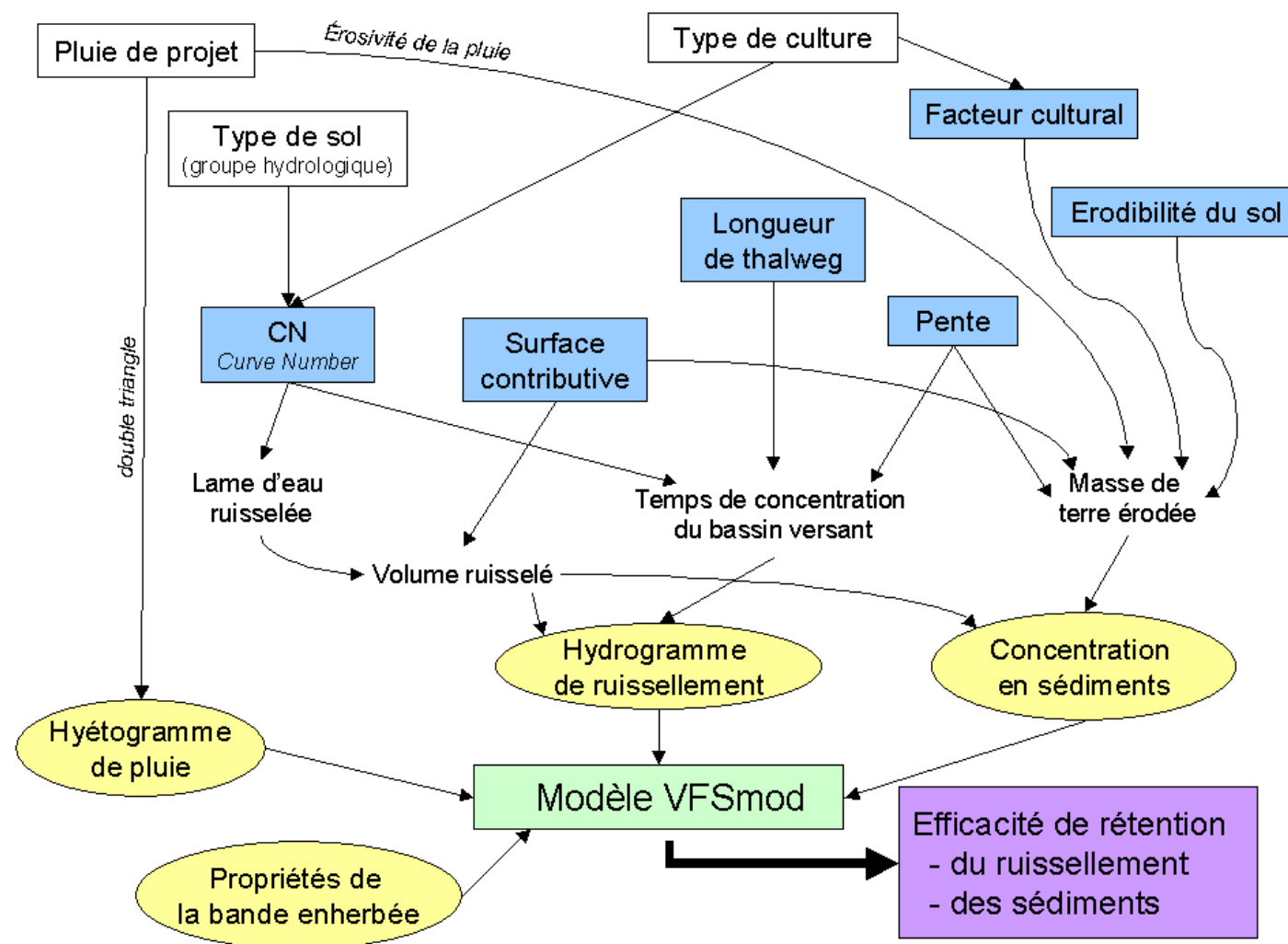


Figure 4 : Approche de calcul de l'efficacité de rétention des bandes enherbées, centrée sur l'utilisation du modèle VFSmod. En jaune, les inputs calculés à partir des variables indiquées en bleu (Cordonnier et Bielders, 2008).

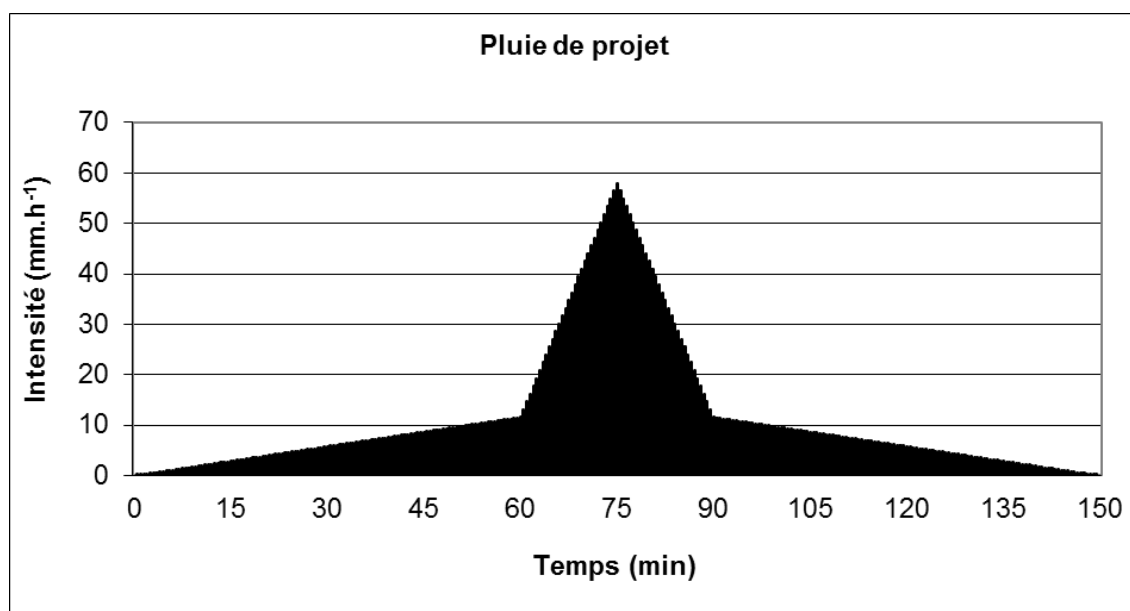


Figure 5: Hyétogramme de la pluie de projet (29 mm en 2h30) utilisée pour évaluer l'efficacité de rétention en sédiment de bandes enherbées (ELIPSOL, Cordonnier et Bièdiers, 2008).

Les informations concernant les variables topographiques (aire contributive, longueur de thalweg, pente) ont été extraites en chaque pixel de bord de parcelle sur base du parcellaire agricole du SIGEC 2009, c'est-à-dire là où potentiellement une bande enherbée de bord de parcelle pouvait être implantée cette année-là. Cette information n'étant utilisée que pour préciser la gamme de valeurs à utiliser dans le modèle, il n'y a aucune restriction quant à leur utilisation pour des bandes enherbées de milieu de parcelle ou en cas de changements dans les limites du parcellaire.

Curve Number

Le Tableau 1 reprend les valeurs de Curve Number pour les céréales et les cultures sarclées en fonction des différents groupes hydrologiques de sol et pour des conditions hydrologiques « mauvaises », c'est-à-dire la situation la plus défavorable en termes de ruissellement. Les superficies relatives de chacun des groupes hydrologiques de sol au sein du parcellaire du SIGEC 2009 sont également renseignées.

Tableau 1 : Curve Number pour les occupations du sol de type céréales, cultures sarclées et sols nus pour des conditions hydrologiques mauvaises (Chow, 1964), et superficie relative de chacun des groupes hydrologiques du sol sur base du parcellaire du SIGEC 2009.

	Groupe hydrologique du sol			
	A	B	C	D
<i>Sol nu</i>	77	86	91	94
<i>Cultures sarclées</i>	72	81	88	91
<i>Céréales</i>	65	76	84	88
<i>Superficie relative</i>	27,84%	55,94%	16,22%	0,01%

Compte tenu de la très faible représentation du groupe hydrologique D (Tableau 1), seules les situations sur des sols appartenant aux groupes hydrologiques A, B et C ont été retenues. Au total, 9 combinaisons différentes ont donc été distinguées en termes d'occupation du sol et de groupe hydrologique de sol pour établir les hydrogrammes de crue

Aire contributive

Les aires contributives des pixels en limite de parcelle ont été extraites sur base de la couche du Flow Accumulation d'ERRUISSOL. Les valeurs de Flow Accumulation renseignées varient de 0 à 26865 et environ 95 % des pixels de limite de parcelle ont une valeur de Flow Accumulation comprise entre 1 et 300 si l'on ne tient pas compte des pixels de valeur nulle.

La Figure 6 montre la relation entre l'efficacité de rétention en sédiments et la taille de l'aire contributive définie lors de la convention ELIPSOL pour des bandes enherbées de 12 m (Cordonnier et Bièdiers, 2008). Cette figure montre qu'au-delà de 3 ha d'aire contributive, l'efficacité de rétention devient très faible (< 10% en moyenne) et donc l'utilisation d'une bande enherbée ne se justifie pas. Sur base de l'allure générale de cette relation, il a été décidé de définir 7 classes de valeurs entre 0.01 et 3 ha pour la détermination des hydrogrammes de ruissellement. Le nombre de classes est plus élevé pour les faibles valeurs d'aire contributive (Tableau 2), c'est-à-dire là où la pente de la relation est la plus importante (Figure 6).

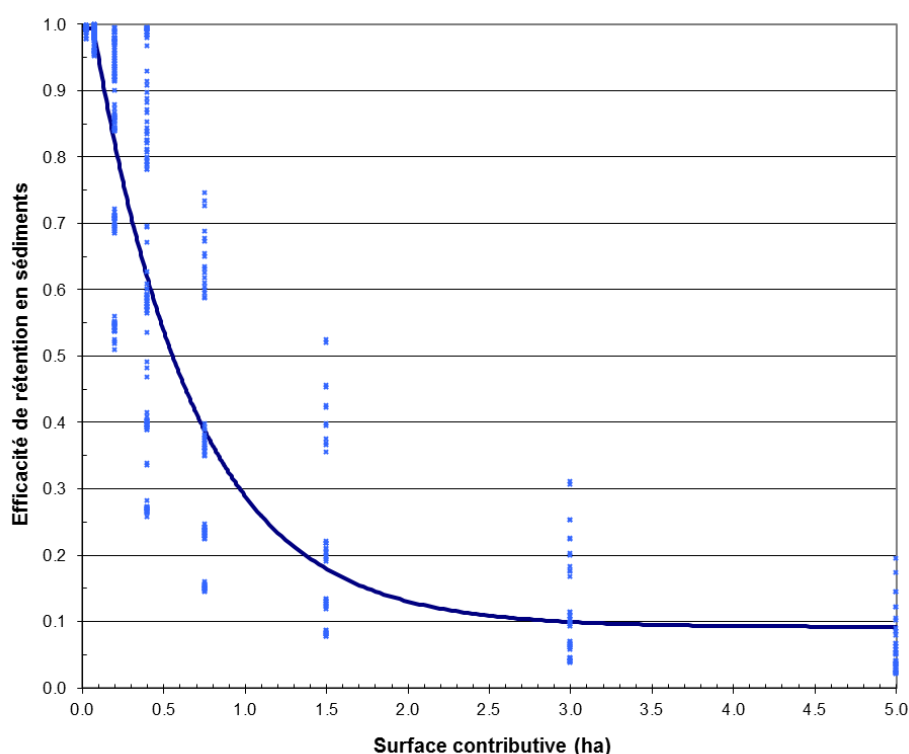


Figure 6: Relation entre l'efficacité de rétention en sédiments et la taille de l'aire contributive pour des bandes enherbées de 12 m (ELIPSOL, Cordonnier et Bièdiers, 2008)

Longueur de thalweg

La longueur de thalweg a été déterminée pour chacun des pixels de limite de parcelle sur base de la fonction Flow Length de l'extension Spatial Analyst d'ArcGis. Pour chaque valeur d'aire contributive, une valeur moyenne de longueur de Thalweg a été calculée. La Figure 7 montre comme attendu une corrélation importante entre la valeur moyenne de longueur de thalweg et la valeur de l'aire contributive. Une valeur de longueur de thalweg a été attribuée à chacune des 7 classes d'aire contributive (Tableau 2) selon la relation représentée à la Figure 7. Les hydrogrammes de ruissellement seront donc définis pour ces 7 combinaisons Aire contributive-Longueur de thalweg.

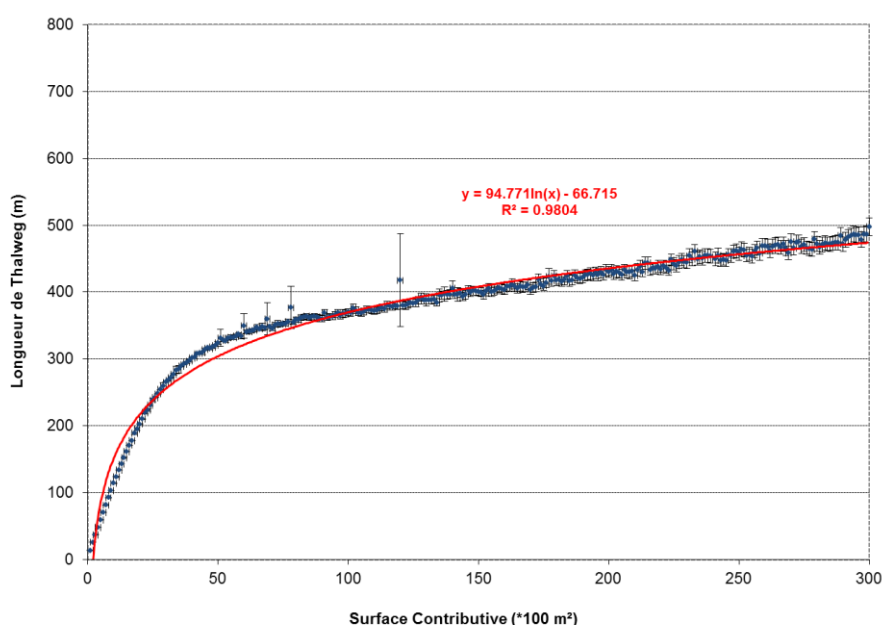


Figure 7 : Valeur moyenne de Flow Length pour les valeurs de flow accumulation comprises entre 1 et 300, par pas de 1.

Tableau 2: Classes d'aire contributive et de Longueur de thalweg moyenne retenues pour le calcul des hydrogrammes et de l'efficacité de rétention en sédiment.

Aire contributive (ha)	Valeur médiane de la classe (ha)	Longueur de thalweg moyenne (m)	Ecart Type sur la longueur de thalweg moyenne (m)
0,01 - 0,02	0,015	19,8	8,6
0,02 - 0,05	0,035	48,2	11,2
0,05 - 0,1	0,075	92,5	17,2
0,1 - 0,2	0,15	165,0	26,7
0,2 - 0,5	0,35	279,5	33,5
0,5 - 1	0,75	352,6	12,9
1 - 3	2	428,7	33,5

Pente

Il s'agit de la pente moyenne des aires contributives aboutissant à chacun des pixels de bord de parcelle. Cependant, la délimitation de ces aires contributives à l'échelle de la Wallonie via la fonction Watershed d'ArcGis appliquée aux points en limites de parcelle fournit dans certains cas des résultats invraisemblables. Pour approcher la distribution de cette variable, il a été décidé d'établir la distribution des pentes moyennes du parcellaire agricole sur base du SIGEC 2009. Il en ressort que près de 99 % des parcelles du SIGEC 2009 ont une pente moyenne inférieure à 25% et que 97% une pente moyenne inférieure à 20%. Les données ELIPSOL ne montrent aucune relation nette entre l'efficacité de la rétention en sédiments et la valeur de la pente. Sur base de ces observations, 6 classes de pente ont été définies (Tableau 3).

Tableau 3 : Classes de pente pour la détermination des hydrogrammes de ruissellement.

Pente (%)	Valeur médiane de la classe (%)
0 - 3	1,5
3 - 6	4,5
6- 9	7,5
9 - 12	10,5
12-15	13,5
15-20	17,5

Concentration en sédiments

Les concentrations en sédiments retrouvées dans la littérature pour de l'érosion diffuse en Région Limoneuse dépassent rarement les 200 g/L (Steegeen et al., 2000) (Figure 8). D'autres mesures de concentration en sédiments effectuées dans le cadre du projet PROSENSOLS (Maugnard et Biielders, 2009) fournissent des valeurs maximales de 227 g/L en culture de pommes de terre pour une pluie avec une période de retour de 50 ans. Les données de la convention ELIPSOL montrent une relation décroissante entre l'efficacité de rétention en sédiments et la concentration en sédiments entrante pour une taille d'aire contributive donnée (Figure 9). La forme de cette relation varie de convexe pour les faibles valeurs d'aire contributive à concave pour les fortes valeurs d'aire contributive, en passant par une relation linéaire pour les valeurs intermédiaires. Il a donc été décidé de définir 5 classes de concentration en sédiments avec un intervalle régulier telles que présentée au Tableau 4.

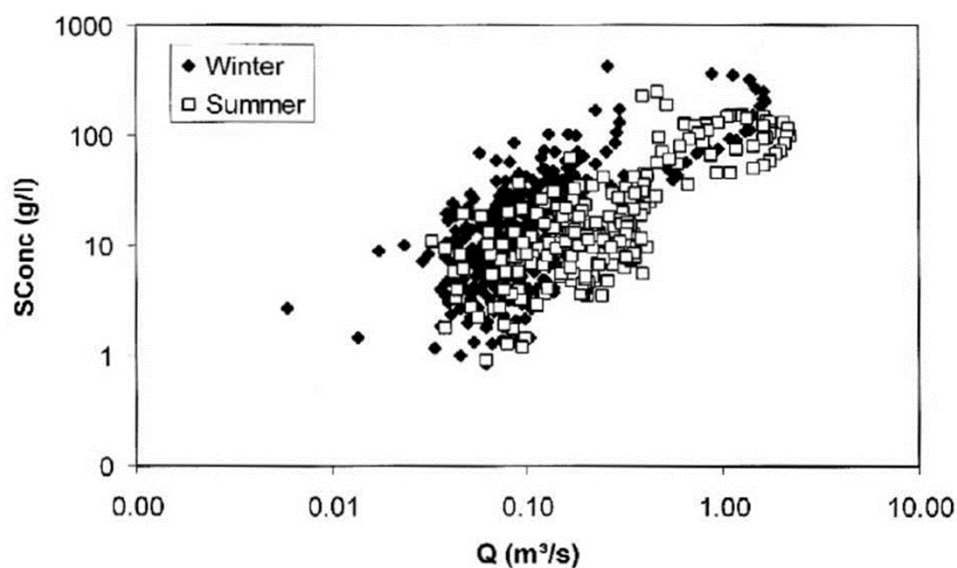


Figure 8: Concentrations en sédiments à l'exutoire d'un bassin versant de la Région Limoneuse durant l'été et l'hiver (Steegen et al., 2000). Sur base de ces éléments, et compte tenu du fait que les bandes enherbées ne sont pas conçues pour retenir les sédiments en cas d'écoulements concentrés, il a été décidé de limiter la concentration en sédiments à 250 g/L comme donnée d'entrée pour le modèle VFSmod.

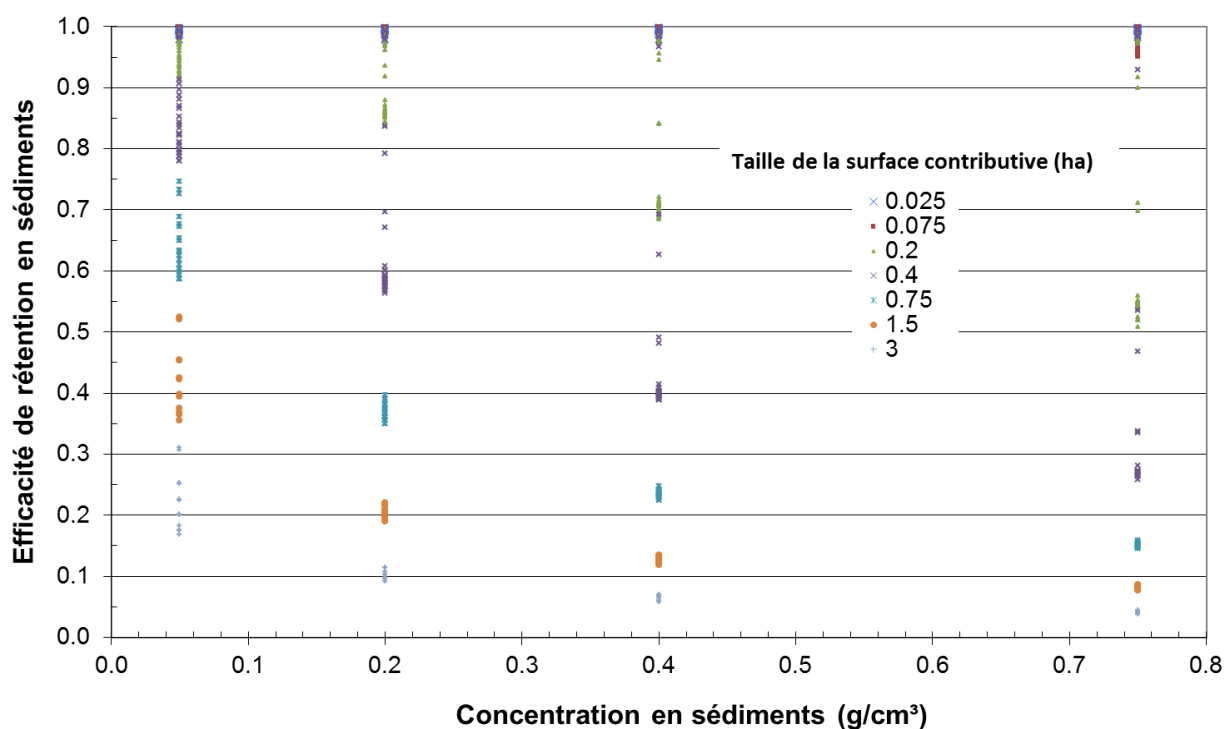


Figure 9: Relation efficacité de rétention en sédiments – concentration en sédiments entrante pour différentes tailles d'aire contributive. Graphique établi sur base des données ELIPSOL (Cordonnier et Bièdiers, 2008).

Tableau 4 : Classes de concentration en sédiments retenues pour le calcul de l'efficacité de rétention en sédiments.

Concentration en sédiments (g/cm³)	Valeur médiane de la classe (g/cm³)
0 - 0,05	0,025
0,05 - 0,10	0,075
0,10 - 0,15	0,125
0,15 - 0,20	0,175
0,20 - 0,25	0,225

Propriétés de la bande enherbée

Les propriétés de la bande enherbée en termes de hauteur de végétation, d'espacement entre les plants et de coefficient de rugosité liés à la végétation constituent un jeu de données unique déterminé lors de la convention ALLURE (Figure 3 ; Cordonnier et Bièdiers, 2007). Seule la longueur de la bande enherbée sera variable. Les bandes enherbées peuvent être subsidiées en Wallonie via les MAE pour des longueurs comprises entre 12 et 21 m avec une incrémentation de 3 m. Dans le cadre de la conditionnalité, les agriculteurs peuvent être amenés à mettre en place des bandes enherbées de 6 m de longueur. Cinq classes ont donc été retenues : 6 m, 12m, 15m, 18m et 21 m ont été retenues.

Combinaisons à tester

Au total les différentes classes définies pour les variables liées à l'occupation du sol et au groupe hydrologique du sol (Curve Number), à l'aire contributive, à la longueur de thalweg, à la pente, à la concentration en sédiments et à la longueur de bande enherbée induisent 7560 combinaisons (Tableau 5).

1.2. Automatisation de la procédure pour la création des fichiers d'entrée et les runs du modèle VFSMOD

Pour pouvoir utiliser le modèle VFSmod, il est nécessaire de fournir comme données d'entrée 5 fichiers reprenant respectivement les informations sur les propriétés de la bande, les paramètres pour la résolution de l'équation de ruissellement de surface, le hyétogramme de pluie, l'hydrogramme de ruissellement et les propriétés des sédiments. Pour pouvoir tester les 9450 combinaisons souhaitées, environ 1800 fichiers doivent être générés. Pour ce faire, un script développé en langage Python a été créé. Celui-ci permet de générer les données d'entrées du modèle sous la forme des 5 fichiers requis par VFSmod pour l'ensemble des combinaisons. Ce script permet également de créer les fichiers nécessaires pour lancer en boucle le programme VFSmod.

Les fichiers de sortie contenant les résultats générés par VFSmod sont ensuite traités par ce même script pour pouvoir extraire l'information sur la rétention en sédiments pour chacune des combinaisons testées.

Tableau 5: Classes Retenues pour les différentes variables intervenant dans le calcul de l'efficacité de rétention en sédiment par la modèle VFSmod.

Curve Number	Aire contributive [ha] / Longueur de thalweg [m]	Pente moyenne [%]	Concentration en sédiments (g.cm ⁻³)	Longueur de bande (m)
65	0,01 – 0,02 / 19,8	0 – 3	0 – 0,05	6
72	0,02 – 0,05 / 48,2	3 – 6	0,05 – 0,10	12
76	0,05 – 0,1 / 92,5	6 – 9	0,10 – 0,15	15
77	0,1 – 0,2 / 165,0	9 – 12	0,15 – 0,20	18
81	0,2 – 0,5 / 279,5	12 – 15	0,20 – 0,25	21
84	0,5 – 1 / 352,6	15 – 20		
86	1 – 3 / 428,7			
88				
91				

1.3. Création de métamodèles

Dans le cadre de la convention ELIPSOL, il a été démontré que l'efficacité de rétention en sédiments, pour une bande de 12 m et une concentration donnée de sédiments entrant dans la bande, pouvait être estimée sur base de l'aire contributive selon le modèle suivant :

$$RS = \frac{1}{(1 + a * AC)}$$

Équation 1

avec

RS = Efficacité de rétention en sédiments de 0 à 1 [g g⁻¹]

AC = Aire contributive [m²]

a = paramètre du modèle, fonction de la concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée [m^{-2}]

Plusieurs formulations empiriques, valables pour des bandes enherbées de 12 m, avaient été proposées dans le cadre de cette convention en fonction de la concentration en sédiments entrant dans la bande (Figure 10).

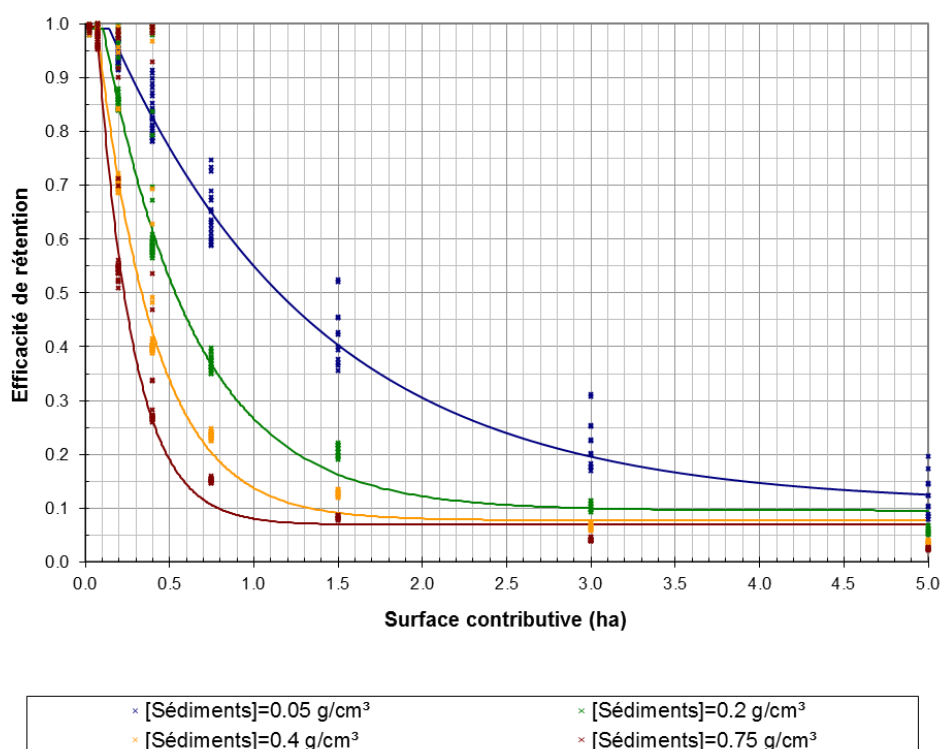


Figure 10 : Prédiction de l'efficacité d'une bande enherbée de 12 m de long en fonction de la taille de l'aire contributive du bassin versant en amont et de la concentration en sédiments du ruissellement entrant (Cordonnier et Bielders, 2008).

Les différentes simulations effectuées dans le présent rapport à l'aide du modèle VFSMOD montrent que nous obtenons effectivement bien une relation décroissante entre l'efficacité de rétention en sédiments et l'aire contributive. Ceci est vrai quel que soit le Curve Number bien que les Curve Number 65 et 72 montrent un comportement particulier (Figure 11). En effet, pour le CN 65, il faut des aires contributives d'au moins 0.75 ha pour que le ruissellement soit suffisant afin d'induire une rétention en sédiments inférieure à 100%. Cependant, les rétentions en sédiments pour les différents scénarii testés ne descendent jamais en dessous de 99.4% (Figure 12). La mise en place de bandes enherbées pour ce type de culture (céréales) et de groupe hydrologique de sol (A - très bonne infiltrabilité) pour les scénarii testés est donc superflue. Concernant le CN 72 (culture sarclée sur sol de groupe hydrologique A), du ruissellement n'est généré en suffisance qu'à partir d'une aire contributive de 0.75 ha pour induire des rétentions en sédiments inférieures à 100% (Figure 13). Plus le Curve Number est élevé, plus la décroissance est rapide et marquée.

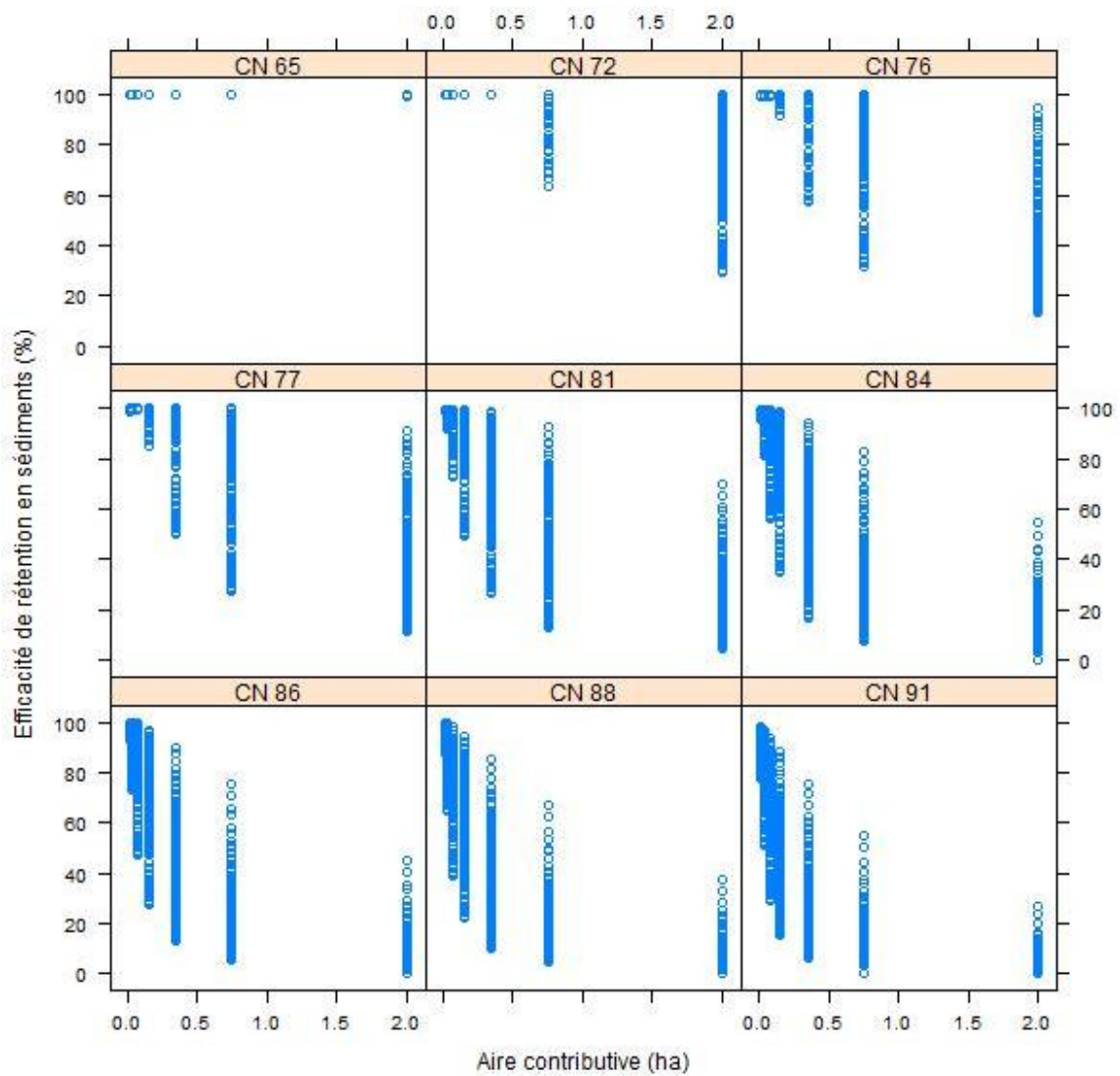


Figure11 : Relation entre l'efficacité de rétention en sédiments et la taille de l'aire contributive pour les différents Curve Number. Les ronds bleus représentent les simulations pour différentes pentes, concentration en sédiment et longueurs de bandes.

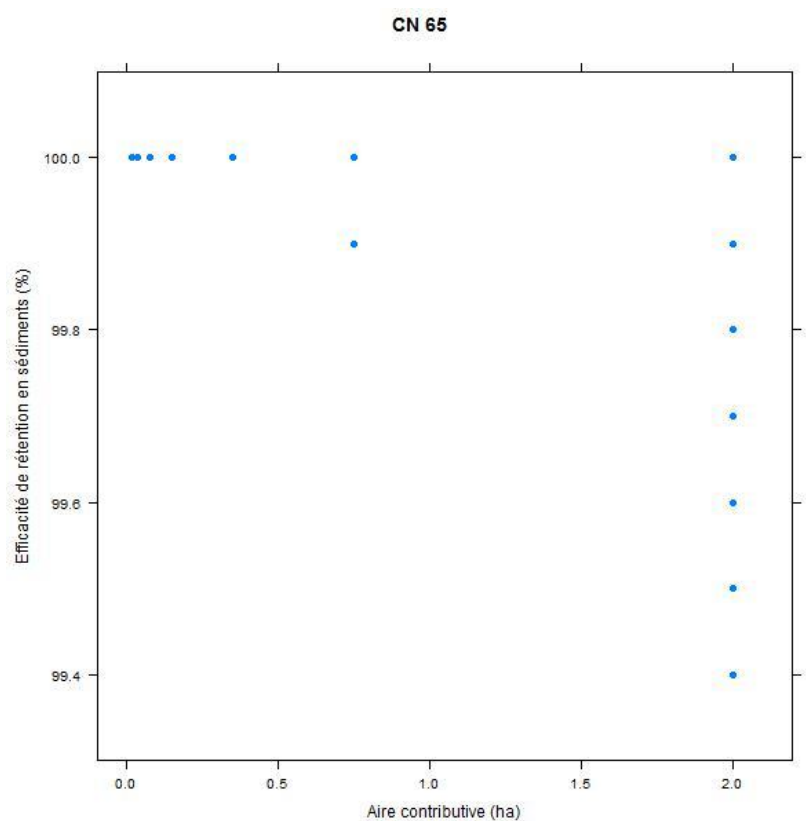


Figure 12 : Rétention en sédiments selon la taille de l'aire contributive pour un Curve Number de 65 (= céréale sur sol de groupe hydrologique A).

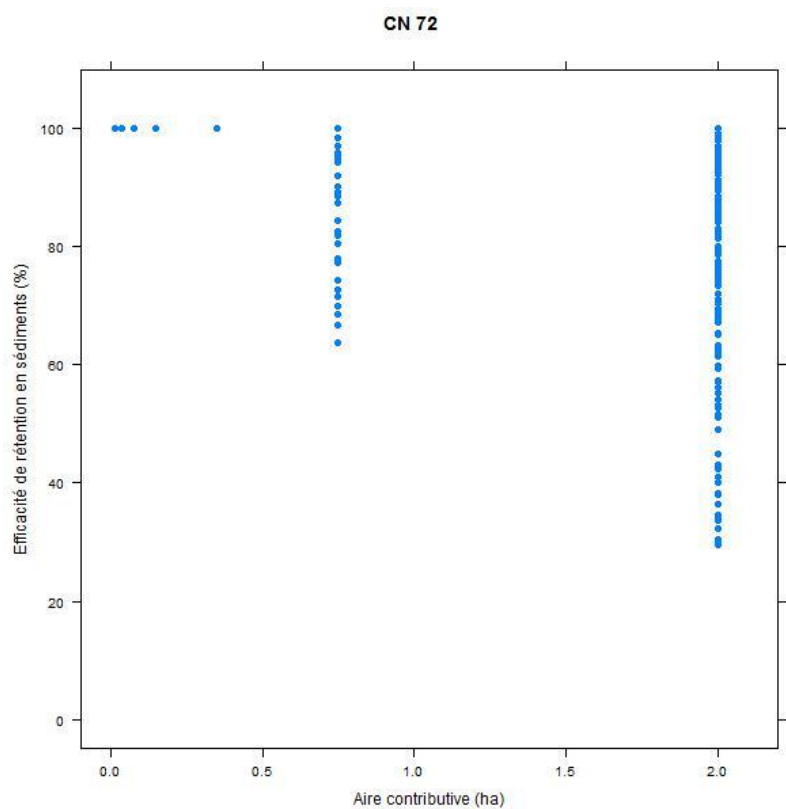


Figure 13: Rétention en sédiments selon la taille de l'aire contributive pour un Curve Number de 72 (=culture sarclée sur sol de groupe hydrologique A).

Dans un premier temps, il a donc été décidé de tester le modèle proposé dans la convention ELIPSOL (Equation 1) pour les données relatives à un Curve Number donné. Ce test a été effectué sur les données relatives au CN 84. Cependant, plutôt que de définir un modèle pour chaque classe de concentration en sédiments entrant dans la bande, le paramètre a été défini de manière à obtenir un modèle unique quel que soit la concentration en sédiments entrant. Pour ce faire, le paramètre a été dans un premier temps calculé pour chacune des concentrations, puis la relation entre ce paramètre et la concentration en sédiments a été définie (Figure 14).

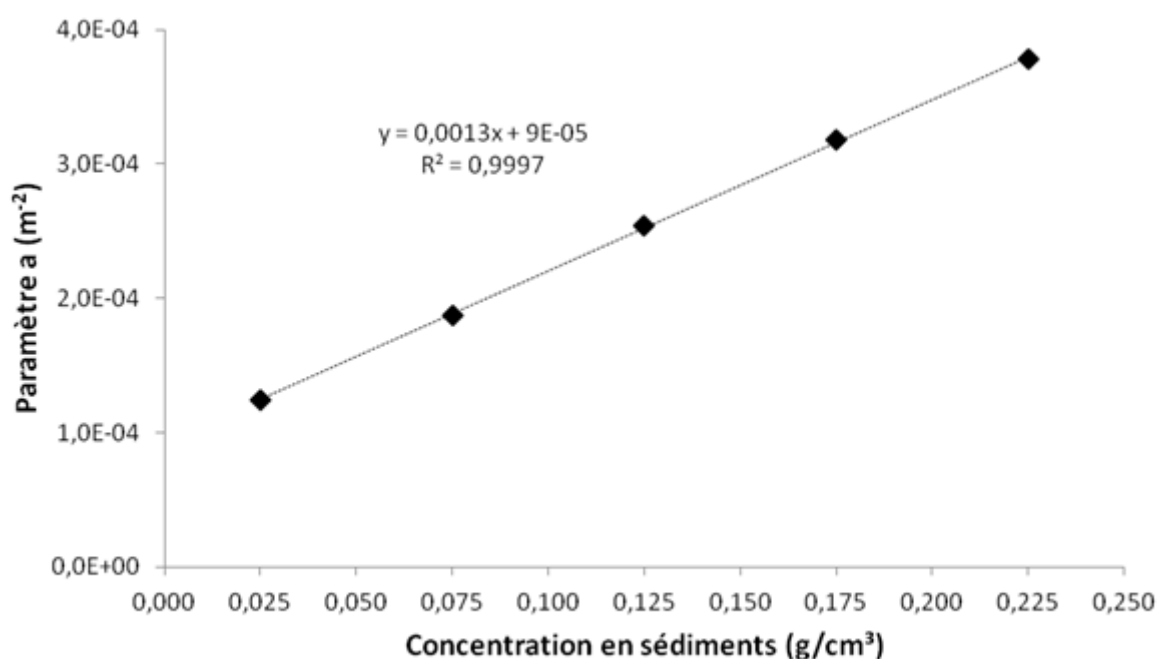


Figure14 : Relation entre le paramètre de l'équation 1 et la concentration en sédiments pour les données d'efficacité de rétention en sédiments simulées par VFSmod pour un CN = 84.

L'équation 1 peut dès lors être reformulée de la manière suivante :

$$RS = \frac{1}{(1 + (0.0013 * Sed + 0.00009) * AC)} \quad \text{Équation 2}$$

avec

RS = Efficacité de rétention en sédiments de 0 à 1 [g g⁻¹]

AC = Aire contributive [m²]

Sed = Concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée [g cm⁻³]

Si l'on compare les résultats issus de ce métamodèle avec les résultats issus du modèle VFSmod, on obtient une relation avec un R² relativement satisfaisant (0.91) mais avec une dispersion fortement marquée et une erreur type élevée (11.1 %) (Figure 15). Il convient donc d'affiner cette relation, en introduisant une autre variable. La matrice de corrélation des variables a été établie afin de déterminer la variable supplémentaire susceptible d'apporter le plus d'informations (Tableau 6). Celle-ci révèle que la rétention en sédiments (RS) est fortement corrélée avec la longueur de thalweg (LT). Cependant, cette variable est également corrélée avec l'aire contributive (AC ; Figure 7) et n'apporte donc pas d'information nouvelle.

Parmi les deux possibilités restantes, à savoir la pente (P) et la longueur de bande enherbée (LBE), celle qui est la plus fortement corrélée avec la rétention en sédiments est la longueur de bande enherbée.

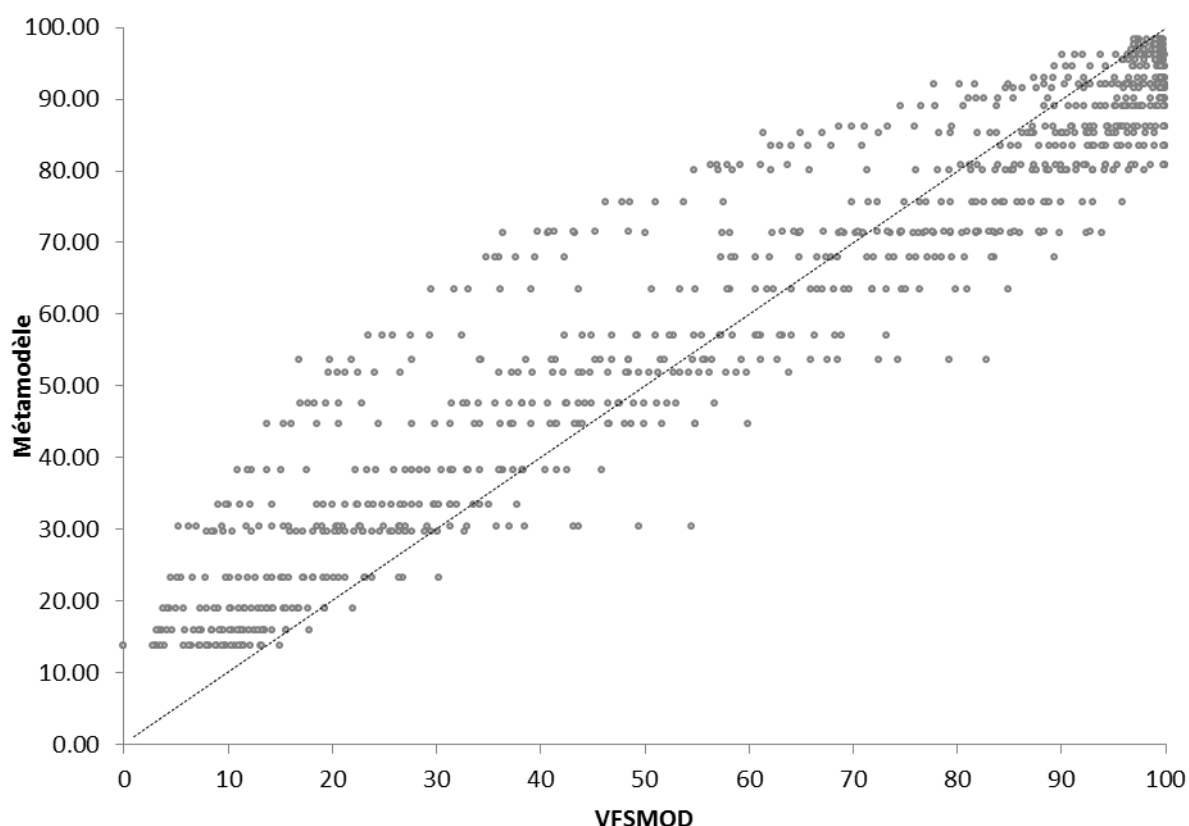


Figure 15 : Relation entre les valeurs d'efficacité de rétention en sédiments issues du modèle VFSmod et celles issues du métamodèle reposant sur l'aire contributive et la concentration en sédiments (equation2) pour les différents scénarii relatifs au Curve Number 84.

Tableau 6 : Matrice de corrélation des variables (AC = Aire contributive, LT = Longueur de Thalweg, p = Pente, LBE = Longueur de bande enherbée, Sed = Concentration en sédiments, RS = Rétention en sédiments).

Variables	AC [ha]	LT [m]	p [m m ⁻¹]	LBE [m]	Sed [g cm ⁻³]	RS [g g ⁻¹]
AC [ha]	1.000	0.859	0.000	0.000	0.000	-0.830
LT [m]	0.859	1.000	0.000	0.000	0.000	-0.926
p [m m ⁻¹]	0.000	0.000	1.000	0.000	0.000	-0.085
LBE [m]	0.000	0.000	0.000	1.000	0.000	0.223
Sed [g.cm ⁻³]	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	-0.171
RS [g g ⁻¹]	-0.830	-0.926	-0.085	0.223	-0.171	1.000

Le métamodèle intégrant l'information sur la longueur de bande enherbée peut s'établir sous la forme de l'Equation 1 avec la relation entre le paramètre a et la concentration en sédiments fonction de la longueur de bande enherbée (Equation 3)

$$a = b * Sed + c \quad \text{Équation 3}$$

avec

$$b = f(\text{LBE})$$

$$c = f(\text{LBE})$$

Sed = Concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée [g.cm^{-3}]

LBE = Longueur de bande enherbée [m]

La Figure 16 montre que quelle que soit la longueur de bande enherbée, la relation entre le paramètre a et la concentration en sédiments est une relation linéaire. Il est donc possible d'exprimer la pente et l'ordonnée à l'origine de cette relation en fonction de la longueur de bande enherbée.

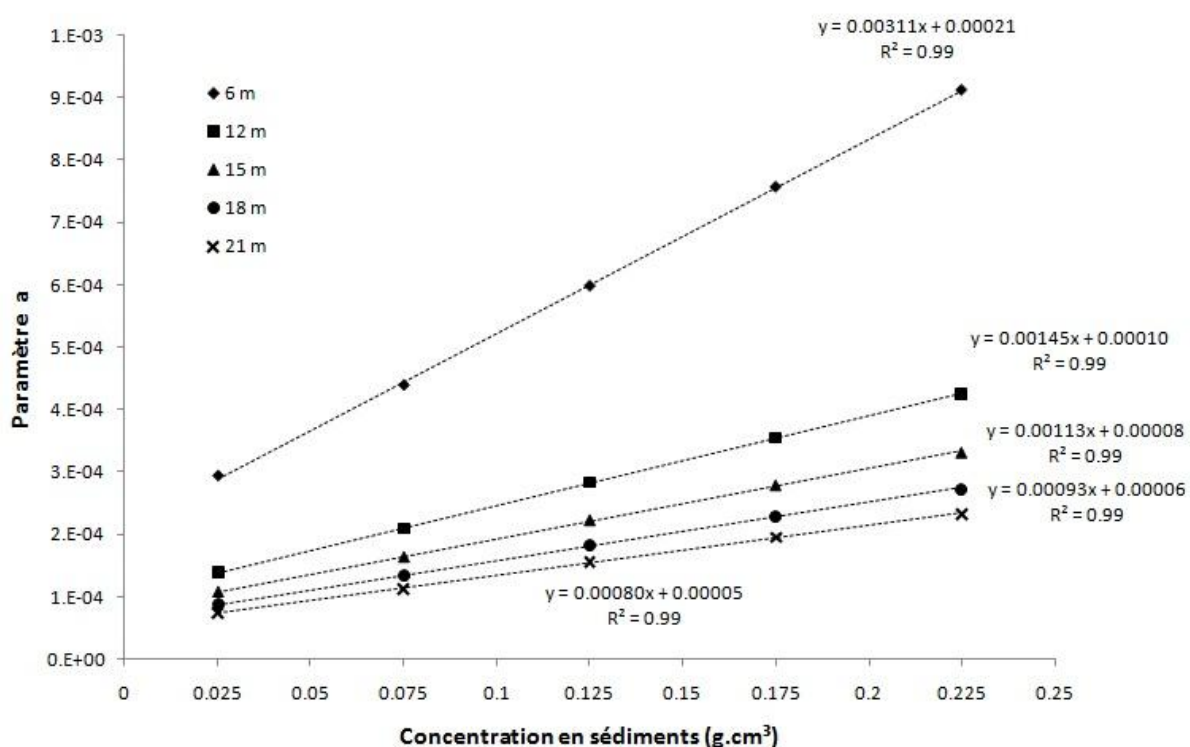


Figure 16 : Relations entre le paramètre a de l'équation 1 et la concentration en sédiments selon la longueur de bande enherbée pour les données d'efficacité de rétention en sédiments simulées par VF5mod pour un CN = 84.

La Figure 17 et la Figure 18 montrent que des fonctions puissances permettent d'obtenir une excellente corrélation entre ces différents paramètres. Le nouveau métamodèle prend donc la forme de l'équation 4. Il est à noter que ceci est valable pour un CN de 84. Les Equations pour les autres valeurs de CN sont fournies en annexe (Annexes 4 à 8).

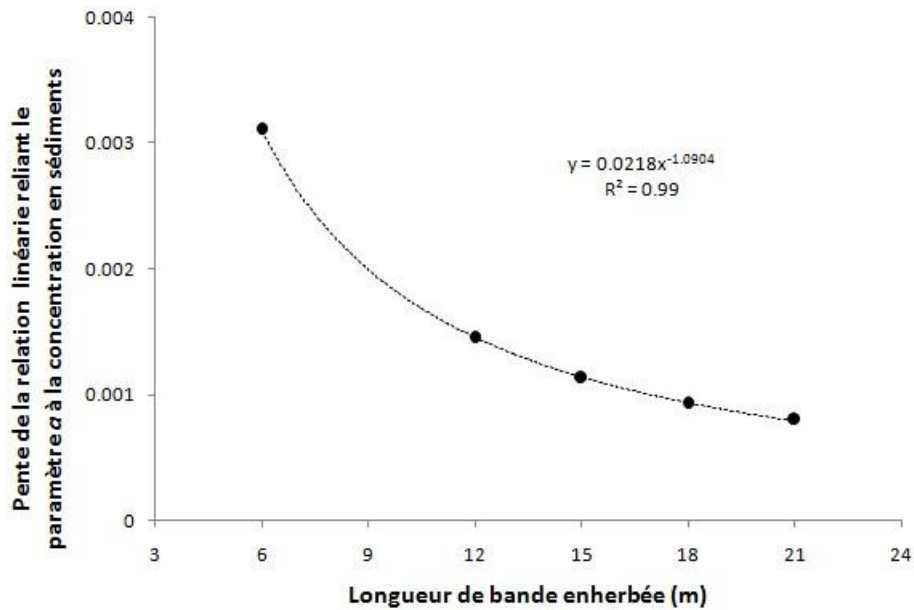


Figure 17 : Relation entre la longueur de bande enherbée et la pente de la relation linéaire reliant le paramètre α de l'équation 1 à la concentration en sédiments pour les données d'efficacité de rétention en sédiments simulées par VFSMOD pour un CN = 84.

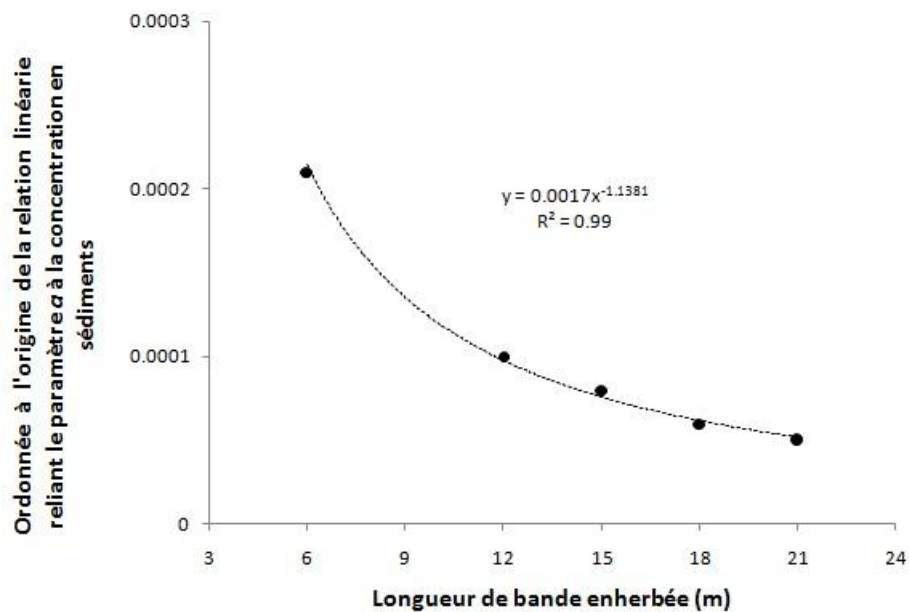


Figure 18: Relation entre la longueur de bande enherbée et l'ordonnée à l'origine de la relation linéaire reliant le paramètre α de l'équation 1 à la concentration en sédiments pour les données d'efficacité de rétention en sédiments simulées par VFSMOD pour un CN = 84

$$RS = \frac{1}{(1 + ((0.0218 * LBE - 1.0904) * C_s + 0.0017 * LBE - 1.1381) * AC)}$$

Équation 4

La Figure 19 montre que ce métamodèle induit une nette diminution de la dispersion des résidus. L'erreur standard est quasiment divisée par 2 (6.8%) par rapport au métamodèle précédent. Le R^2 est également meilleur (0.98). Cependant, la dispersion des résidus ne semble pas tout à fait aléatoire car ils se situent majoritairement à gauche de la droite 1:1 pour les valeurs les plus à gauche du nuage de points et à droite pour les valeurs dans la partie droite du nuage de points.

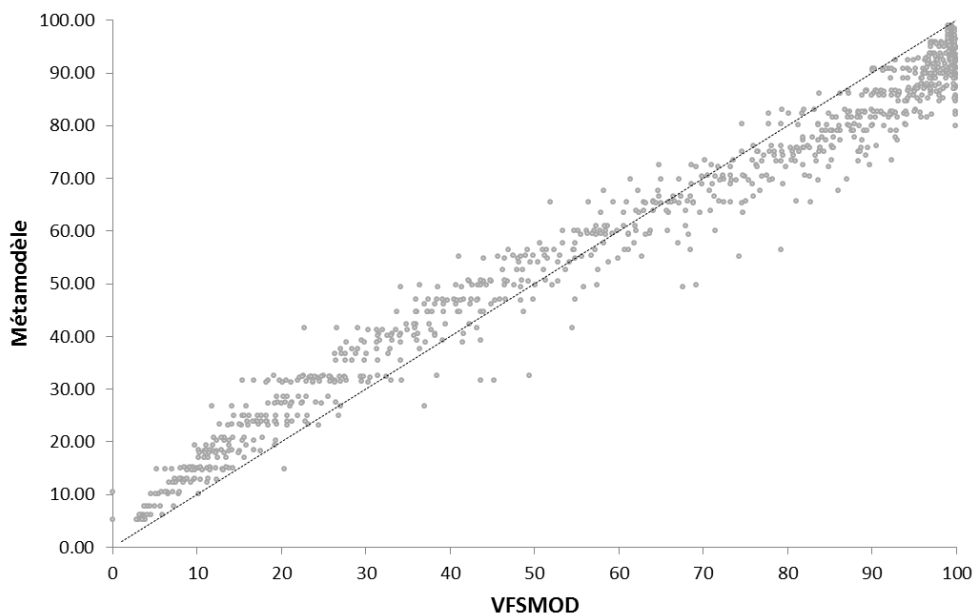


Figure 19 : Relation entre les valeurs d'efficacité de rétention en sédiments issues du modèle VFSmod et celles issues du métamodèle reposant sur l'aire contributive, la concentration en sédiments et la longueur de bande enherbée (equation3) pour les différents scénarii relatifs au Curve Number 84. La droite est la droite 1:1.

Une analyse de la variance appliquée aux simulations effectuées via le modèle VFSMOD révèle qu'il existe des différences significatives concernant l'efficacité de rétention en sédiments en fonction de la longueur de bande enherbée. En effet, les bandes de 6 m ainsi que celles de 12 m se distinguent de l'ensemble des autres longueurs de bande, celles de 15 m sont significativement différentes des bandes de 21 m tandis que les bandes de 18 m et de 21 m ne fournissent pas de résultats significativement différents. Ceci met en évidence la nécessité de mettre au point un outil d'aide à la décision pour le dimensionnement des bandes enherbées tant pour les propositions d'aménagement formulées par la cellule expertise GISER que pour les propositions formulées par les conseillers MAE. Il convient néanmoins de rappeler ici les limites d'utilisation de ces métamodèles. Tout d'abord le jeu de données de calibration est limité à un seul site, en Région Limoneuse, pour des largeurs de bandes de 5 et 10 m et des longueurs de parcelles de 100 m. De plus, les métamodèles ne prennent pas en compte les variations dans la granulométrie des sédiments lorsqu'on passe d'un site à un autre, et donc a fortiori lorsqu'on passe d'un type de sol à un autre.

2. Mise au point d'un outil d'aide à la décision pour le dimensionnement des bandes enherbées

2.1. Objectif poursuivi

Le problème du dimensionnement d'une bande enherbée se pose régulièrement aux membres de la cellule d'expertise GISER lors des propositions de plans d'aménagement sur les bassins versants à risque d'érosion. Les experts MAE sont également confrontés à ce problème lors de la remise des avis techniques. Il a donc été jugé utile de mettre au point un outil d'aide à la décision pour le dimensionnement des bandes enherbées afin d'aider les experts dans leur démarche. Cet outil s'appuie sur les métamodèles issus de simulations via le modèle VFSmod (Chapitre 1). Il permet de déterminer l'efficacité de rétention en sédiments sur base de variables explicatives simples.

2.2. Conception de l'outil d'aide au dimensionnement des bandes enherbées

L'outil d'aide au dimensionnement des bandes enherbées doit permettre à l'utilisateur de déterminer l'efficacité de rétention en sédiments pour une largeur de bande enherbée qu'il aura choisi et pour des situations d'occupation du sol, de type de sol et de topographie données. Afin de faciliter son utilisation, l'ensemble des informations à entrer dans l'outil doit pouvoir être facilement déterminé par l'opérateur et doit être la plus simple possible.

L'outil mis au point est articulé autour de deux calculs. Le premier est le calcul de la concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée et le second est le calcul de l'efficacité de rétention. Ces calculs sont effectués sur base d'une pluie de projet avec une période de retour de 5 ans et d'une durée de 2h30, à savoir une pluie de 29 mm avec un pic d'intensité de 17.4 mm en 30 mn. Il s'agit donc d'un événement orageux important mais qui ne présente pas un caractère exceptionnel, l'objectif étant de déterminer l'efficacité des bandes enherbées dans des conditions que l'on rencontre suffisamment souvent et qui sont relativement « érosives » (Cordonnier et Bielders, 2008). Par essence, les bandes enherbées ne sont pas conçues pour lutter contre le ruissellement boueux produit par des événements extrêmes.

2.2.1. Détermination de la concentration en sédiment entrant

Pour pouvoir déterminer l'efficacité de rétention en sédiments, il est nécessaire de calculer la concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée. Celle-ci résulte d'une quantité de terre érodée transportée par le volume d'eau qui ruisselle (Equation 5).

$$[Sed] = \frac{Y}{Q}$$

Equation 5

avec

[Sed] = Concentration en sédiments [g.cm⁻³]

Y = Masse de terre érodée [t]

Q = Volume d'eau ruisselé [m³]

La masse de terre érodée entrant dans la bande enherbée (Y, Equation 5) est déterminée sur base de l'équation universelle de perte en sol modifiée (MUSLE ; Williams et Berndt, 1977). Cette équation permet, pour un événement pluvieux donné, de déterminer un rendement en sédiments ⁴(Equation 6).

$$Y = 11.8 * (Q * q_p)^{0.56} * K * LS * C * P$$
Equation 6

avec

Y = rendement en sédiments [t]

Q = volume d'eau total ruisselé [m³]

q_p = débit de pointe [m³/s]

K = érodibilité du sol [t.h.mm⁻¹.MJ⁻¹]

LS = facteur topographique [-]

C = facteur cultural -

P = facteur lié aux mesures anti-érosives [-]

Le volume d'eau ruisselé Q, qui entre à la fois en compte pour déterminer la concentration en sédiments et le rendement en sédiments, est calculé sur base de la méthode SCS du Curve Number (Chow, 1964). Cette méthode permet de déterminer sur base du type d'occupation du sol, du groupe hydrologique du sol et de la pente, une lame d'eau ruisselée pour une pluie donnée (Equation 7). Une fois multipliée par la surface de ruissellement, on obtient le volume qui ruisselle (Equation 8).

$$Q = H * AC$$
Equation 7

avec

H = lame d'eau ruisselée [m]

AC = aire contributive [m²]

$$H = \frac{(Pl - 0.2 * s)^2}{Pl + 0.8 * s}$$
Equation 8

avec

Pl = hauteur de précipitation [mm]

⁴Rendement en sédiments : masse de sédiments qui atteint l'exutoire d'un bassin versant (aire contributive)

s = rétention potentielle [mm] défini par l'Equation 9

$$s = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) * 25.4 \quad \text{Equation 9}$$

Le Curve Number (CN ; Equation 9) est attribué sur base des tables de Chow (1964) en considérant également le groupe hydrologique du sol, fourni par la carte des classes d'infiltrabilité des sols ERRUISSOL (Demarcin et al., 2011) dérivée de la carte numérique des sols de Wallonie (Annexes 1 à 3). Cependant, les tables de Chow étant conçues pour des pentes de 5 %, le CN doit être adapté en fonction de la pente via l'Equation 10 (CN_{mod}).

$$CN_{mod} = \frac{1}{3} * (CN3 - CN) * (1 - 2e^{(-13.86 * p)}) + CN \quad \text{Equation 10}$$

avec

p = pente [$m.m^{-1}$]

CN3 défini par l'Equation 11.

$$CN3 = \frac{23 * CN}{10 + 0.13 * CN} \quad \text{Equation 11}$$

Le débit de pointe (q_p) pour le calcul du rendement en sédiments est défini par l'Equation 12.

$$q_p = \frac{2Q}{T_{cs}} \quad \text{Equation 12}$$

avec

T_{cs} = temps de concentration en heure du versant défini selon la méthode SWRRB (Williams et al., 1985) (Equation 13).

$$T_{cs} = \frac{(\lambda * n)^{0.6}}{18 * p^{0.2}} \quad \text{Equation 13}$$

avec

λ = longueur de pente [m] ;

n = coefficient de Manning fixé à 0.035 pour les terres arables;

Le facteur d'érodibilité du sol K utilisé dans la MUSLE est extrait de la carte établie dans le cadre du projet ERRUISSOL (Demarcin et al., 2009). Le facteur LS est le produit des Equations 14 (Wischmeier et Smith, 1978) et 15 (Nearing, 1997) nécessitant les Equations 16 et 17

$$L = \left(\frac{\lambda}{22.13} \right)^m \quad \text{Equation 14}$$

$$S = -1.5 + \frac{17}{1 + e^{(2.3 - 6.1 \sin \beta)}} \quad \text{Equation 15}$$

Avec

$$m = \frac{F}{1 + F} \quad \text{Equation 16}$$

$$F = \frac{\sin \beta / 0.0896}{3 * (\sin \beta)^{0.8} + 0.56} \quad \text{Equation 17}$$

β = pente [rad]

Les Equations 13 à 15 supposent que les écoulements sont unidirectionnels (pas de convergence de l'écoulement), et que l'amont de la bande enherbée est caractérisé par une pente de longueur λ et de gradient uniforme p . La pente de la bande enherbée sera supposée identique à celle de la parcelle amont.

Le facteur C est déterminé sur base des résultats de la convention GISER 2009-2011 (Bielders et al., 2011). Il est donc défini pour 8 cultures, à savoir le lin (0.68), la pomme de terre (0.64), le maïs (0.64), la betterave (0.45), l'épeautre (0.45), le froment (0.43), le colza (0.38) et l'escourgeon (0.35). Pour finir, on considère qu'il n'y a pas de mesures anti-érosives en amont de la bande enherbée et donc que $P = 1$.

2.2.2. Détermination de l'efficacité de rétention en sédiments

L'efficacité de rétention en sédiments est déterminée via des métamodèles dérivés des résultats obtenus par le modèle VFSmod (Munoz-Carpena, 1999) pour 7560 simulations. Ces simulations couvrent les gammes de valeurs des facteurs entrant dans le modèle VFSmod pour la Wallonie (voir Chapitre 1). Chacun des métamodèles est spécifique à une combinaison d'occupation du sol et de groupe hydrologique du sol, c'est-à-dire à un Curve Number. Les efficacités de rétention sont déterminées par le modèle pour des longueurs de bande de 10 m perpendiculaires au sens d'écoulement. Les types d'occupation du sol sont au nombre de deux (cultures sarclées ou céréales) et les groupes hydrologiques sont A, B ou C. Les combinaisons en relation avec le groupe hydrologique D n'ont pas été prises en compte en raison de la faible superficie en SAU (0.01%) que représente ce groupe. A priori, 6 métamodèles auraient dû être générés. Cependant, pour un Curve Number de 65, c'est-à-dire une céréale sur sol de groupe hydrologique A, peu ou pas de ruissellement est produit pour la pluie de projet utilisée lors des simulations (29 mm en 2h30 avec une période intense de 17.4 mm en 30 minutes). L'outil d'aide à la décision pour ce type de situation considère qu'il n'est pas utile d'installer une bande enherbée dans ce cas de figure. Les 5 métamodèles intervenant dans le calcul de l'efficacité de rétention en sédiments sont décrits en annexe (Annexes 4 à 8).

2.3. Présentation de l'interface de l'outil d'aide au dimensionnement des bandes enherbées

L'outil d'aide au dimensionnement des bandes enherbées se présente sous forme d'un tableur Excel avec 4 cadres distincts (Figure 20). Le premier, intitulé « Données parcelles », permet à l'utilisateur d'encoder les informations relatives à la parcelle en amont de laquelle la bande doit être installée. Le second cadre est relatif à la largeur de la bande à tester. Le troisième reprend les résultats intermédiaires, c'est-à-dire la quantité de terre érodée en amont de la bande et la concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée. Pour finir, le quatrième cadre indique les informations relatives à l'efficacité de la bande enherbée en pourcentage mais également en tonnes de terre retenue ou non par la bande enherbée. Il est à noter qu'il est possible de simuler simultanément trois scénarios différents.

En dessous des cadres, un message rappelle les conditions d'implantation d'une bande enherbée nécessaire à son bon fonctionnement. En effet, une bande enherbée n'est pas un aménagement idoine en cas d'érosion concentrée ou pour gérer des quantités de terre importante. Pour vérifier qu'il ne se trouve pas dans ce type de situations, l'utilisateur est invité à consulter la couche des axes de concentration ERRUISSOL (Demarcin et al., 2009) ainsi que la couche des données d'érosion potentielle parcellaire. Cette couche définit pour chaque parcelle un niveau de risque d'érosion lié aux quantités de terre mises en jeu. Ces couches cartographiques sont disponibles sur l'Observatoire de l'Espace rural (OER, <http://sigdga02.intra.mrw.wallonie.be/oer/default.aspx>, Couches graphiques > Grande échelle > Sol et thématiques dérivées > Axes de concentration / Erosion potentielle parcellaire 2009).

GISER_Dimensionnement_BE.xlsx - Microsoft Excel								
Accueil Insertion Mise en page Formules Données Révision Affichage								
N64								
	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								
36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								

		Scénario 1	Scénario 2	Scénario 3
Données parcelle	Culture	Betterave	Betterave	Betterave
	Groupe hydrologique du sol	B	B	B
	Erodibilité du sol (t.h.MJ ⁻¹ .mm ⁻¹)	0.049	0.049	0.049
	Longueur de la pente (m) ^a	250	250	250
	Pente (%) ^b	5	5	5
Largeur de la bande enherbée à tester (m)		6	15	21
Résultats intermédiaires	Quantité de terre érodée (kg/10m) ^c	101	101	101
	Concentration en sédiments (g/L)	15.2	15.2	15.2
Efficacité de la bande enherbée	Efficacité de rétention (%)	75	89	92
	Quantité de terre retenue (kg/10m) ^d	77	91	94
	Quantité de terre non retenue (kg/10m) ^d	25	11	8

Attention
 Une bande enherbée n'est recommandée qu'en cas d'érosion diffuse.
 Elle ne peut en aucun cas répondre à un problème d'érosion concentrée de type coulée de boue ou pour gérer des quantités de terre trop importantes.
 C'est pourquoi une bande enherbée ne convient pas :
 1) si la bande à placer recoupe un axe de concentration (voir la couche ERRUISSOL correspondante)
 2) si la parcelle concernée est reprise comme parcelle à risque d'érosion "Très élevé" ou "Extrême" (voir la couche d'érosion potentielle parcellaire)

Figure 20 : Interface de l'outil d'aide au dimensionnement (PARTIE 1)

2.3.1. Cadre « Données parcelle »

L'utilisateur doit encoder via ce cadre 6 informations : la culture, le groupe hydrologique du sol, l'érodibilité du sol, la longueur de la parcelle, la pente de la parcelle et la largeur de la parcelle.

✓ Culture

La culture à encoder est à choisir parmi une liste déroulante de 8 cultures (lin, pomme de terre, maïs, betterave, épeautre, froment, escourgeon, colza). Lorsqu'il clique sur cette case, l'utilisateur voit apparaître un message indiquant que la culture à choisir est celle qui, dans la rotation pratiquée par l'agriculteur, est la plus problématique en termes d'érosion, sachant que les cultures sont classées de la plus à la moins problématique.

✓ Groupe hydrologique du sol

Pour choisir le groupe hydrologique du sol, l'utilisateur doit au préalable localiser sa parcelle sur l'Observatoire de l'Espace rural (OER, <http://sigdga02.intra.mrw.wallonie.be/oer/default.aspx>) puis suivre le chemin suivant : Couches graphiques > Grande échelle > Sol et thématiques dérivées > Groupe hydrologique du sol. Le groupe hydrologique à indiquer correspond au groupe majoritaire sur la parcelle. Seul 3 groupes peuvent être encodés via une liste déroulante (A, B et C). Si la parcelle se situe majoritairement sur des sols du groupe hydrologique D, il convient alors d'indiquer le groupe C. Si la parcelle est reprise en NC (non cartographié), alors le groupe hydrologique doit être extrapolé à partir des informations disponibles les plus proches.

✓ Erodibilité du sol

L'érodibilité du sol peut-être extraite de la carte d'érodibilité du sol sur l'OER (Couches graphiques > Grande échelle > Sol et thématiques dérivées > Erodibilité du sol). Il convient ensuite de sélectionner, parmi la liste déroulante, la valeur majoritaire sur la parcelle. Si la parcelle n'est pas cartographiée, alors la valeur doit être extrapolée sur base des valeurs les plus proches.

✓ Pente et longueur de la pente

Ces informations peuvent être extraites de l'OER ou sur le terrain. L'outil d'aide au dimensionnement présente pour différentes situations les longueurs de pente qu'il convient d'indiquer (Figure 21). L'encodage se fait de façon libre, c'est-à-dire sans liste déroulante. Cependant, deux notes stipulent que la pente ne peut excéder 20% et la longueur de pente 430 m. En effet, les métamodèles ne sont pas conçus pour calculer des efficacités de rétention en sédiments au-delà de ces valeurs.

2.3.2. Cadre « Largeur de la bande enherbée à tester »

Ce cadre permet de sélectionner la largeur de bande à tester pour la situation fixée au cadre « Données parcelle ». Une liste déroulante permet de choisir parmi les largeurs suivantes : 6, 12, 15, 18 ou 21 m. L'utilisateur peut donc, une fois la situation parcellaire déterminée, comparer l'efficacité des différentes largeurs de bandes en les sélectionnant successivement. De même, pour une largeur de bande fixée, l'utilisateur peut réduire la longueur de la parcelle et

constater l'impact sur la quantité de terre érodée et sur l'efficacité de rétention de la bande enherbée.

2.3.3. Cadre « Résultats intermédiaires »

L'objectif de ce cadre est de permettre à l'utilisateur de prendre connaissance des quantités de terre et des concentrations en sédiments mises en jeu pour la pluie de projet. La quantité de terre érodée est exprimée en kilogrammes et la concentration en sédiments en g L^{-1} . Les résultats intermédiaires sont calculés sur base d'une aire contributive définie par la longueur de la pente sur une largeur de 10 m.

2.3.4. Cadre « Efficacité de la bande enherbée »

L'efficacité de rétention est formulée en pourcent mais également en kilogrammes de terre retenue dans la bande enherbée. La formulation de l'efficacité de rétention sous la forme d'une quantité doit permettre à l'utilisateur d'apprécier d'une manière plus concrète la pertinence de la mise en place de la bande enherbée en prenant en compte les quantités de terre qui entrent en jeu. En effet, lorsque les quantités de terre mises en jeu sont faibles, l'utilisateur doit se poser la question de la pertinence d'investir dans une bande enherbée, même si l'efficacité sera souvent proche de 100% dans ces cas-là.

Lorsque la situation étudiée n'entraîne pas ou peu de ruissellement et/ou de pertes en sol, alors l'efficacité de rétention renvoie le message « Pas de bande » et les quantités de terre retenue ou non renvoient la valeur 0. Dans ce cas, la mise en place d'une bande enherbée n'est pas utile d'un point de vue anti-érosif.

Les efficacités calculées correspondent à l'efficacité d'un tronçon de 10 m de bande, perpendiculaire à l'écoulement. Dans le cas des conformations de parcelle (1) et (2) telles que présentées à la Figure 21, la longueur de la pente étant la même partout, l'efficacité de rétention résultante correspond à l'efficacité sur l'ensemble de la bande. Dans le cas des conformations (3) et (4), l'efficacité de rétention est calculée pour la zone en rouge, c'est-à-dire la situation la plus critique.

Bien que l'outil soit conçu pour évaluer l'efficacité de bandes enherbées, il peut aussi être utilisé pour déterminer les longueurs de pentes maximales admissibles pour garantir un niveau d'efficacité donné. Dans ce cas, on procède par essais-erreurs, en modifiant la longueur de pente λ jusqu'à obtenir l'efficacité désirée.

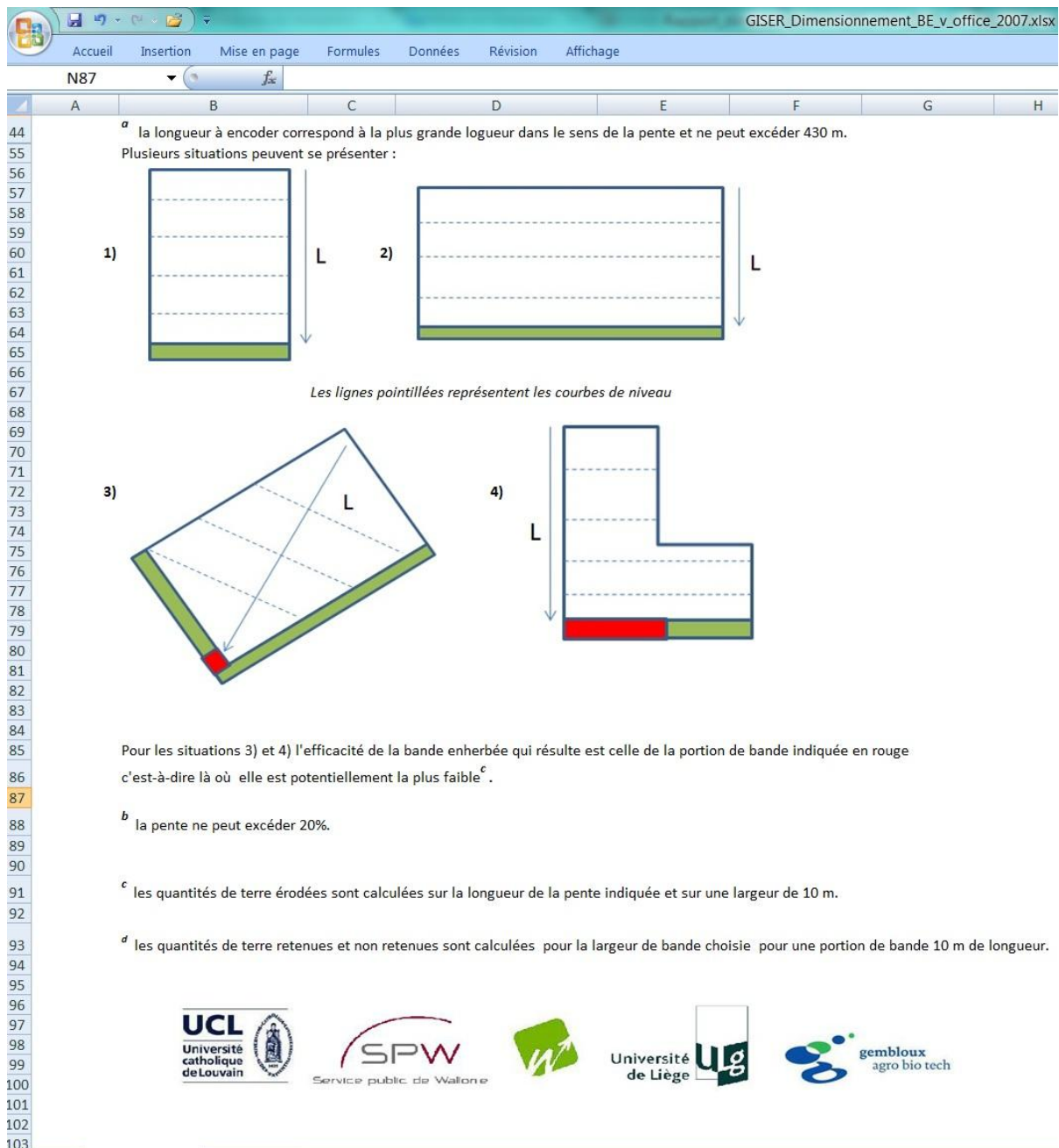


Figure 21: Interface de l'outil d'aide au dimensionnement (PARTIE 2)

2.4. Test de l'outil

L'outil d'aide au dimensionnement des bandes enherbées a été transmis à l'équipe de terrain de la cellule GISER afin d'être testé. Les conseillers MAE localisés à l'UCL ont également reçu l'outil. L'objectif est d'obtenir un « feedback » visant l'amélioration de l'outil ou la résolution d'éventuels problèmes de fonctionnement avant une diffusion plus large. Le manuel d'utilisation de l'outil est fourni à l'Annexe 9.

3. Détermination de l'efficacité anti-érosive des bandes enherbées en place en Wallonie

3.1. Objectif poursuivi

En 2011, près de 12000 tournières enherbées étaient recensées en Wallonie. Bien que ces éléments ne soient pas nécessairement mis en place dans une perspective de lutte contre l'érosion, elles peuvent selon leur disposition dans le paysage contribuer à piéger les sédiments produits en amont. L'objectif est donc d'évaluer la contribution de l'ensemble de ces bandes, qu'elles aient une vocation anti-érosive ou non, sur la rétention en sédiments. Ce travail avait été initié lors de la convention GISER 2009-2011 et une méthodologie avait été mise au point pour les Régions Limoneuse et Sablo-Limoneuse sur base des données parcellaires du SIGEC 2009 (Biielders et al., 2011). Cette méthodologie a été adaptée afin d'être appliquée à l'ensemble du territoire wallon sur base du parcellaire du SIGEC 2011.

3.2. Méthodologie

3.2.1. Rappel de la méthodologie GISER 2009-2011

La méthodologie pour déterminer l'efficacité des bandes enherbées en place en Wallonie a été développée lors de la convention GISER 2009-2011 (Biielders et al., 2011) et dans les chapitres 1 et 2 de ce document. Un rappel de la méthodologie est présenté ici. Pour plus d'informations, nous renvoyons au rapport final de la convention GISER 2009-2011 (Biielders et al., 2011) et aux chapitres 1 et 2 de ce rapport.

La méthodologie repose sur deux aspects, à savoir d'une part la détermination d'une quantité de ruissellement et d'une concentration en sédiments provenant de la parcelle contigüe à chaque bande enherbée, et d'autre part la détermination de l'efficacité de rétention en sédiment de chacune des bandes enherbées. Les quantités de sédiments produits avaient été déterminées sur base de l'équation universelle de perte en sol (RUSLE, Renard et al., 1997), en considérant les parcelles comme hydrologiquement isolées et en tenant compte des éventuels phénomènes de redéposition au sein de la parcelle sur base du calcul de la capacité de transport telle que définie par Van Rompaey et al. (2001) pour la Région Limoneuse (voir le rapport sur la Détermination des parcelles à risque d'érosion hydrique, Chapitre 3.3, Equation 12). Il est à noter qu'une valeur unique du facteur cultural C de RUSLE avait été utilisée, quelles que soient l'occupation effective du sol et la région agricole. La concentration en sédiments parvenant à la bande enherbée est calculée comme étant le rapport entre la quantité de sédiments entrant dans la bande et le volume d'eau ruisselé entrant. Ce volume d'eau ruisselé était déterminé à partir de la fonction de production de ruissellement selon la méthode du « Curve Number » (CN) du Soil Conservation Service (Chow, 1964). Il dépend de l'occupation du sol, du groupe hydrologique du sol et d'une pluie de projet de 29 mm (période de retour de 5 ans). Cette pluie correspond à celle utilisée par Cordonnier et Biielders (2008) lors la calibration du modèle VFSmod et permettant la détermination de l'efficacité des bandes enherbées. Il est à noter qu'une valeur unique de Curve Number avait été utilisée, quels que soient l'occupation du sol et le groupe hydrologique du sol.

Les relations de Cordonnier et Bielders (2008), dérivées de VFSmod, entre d'une part l'efficacité de rétention en sédiments pour des bandes de 12 m et d'autre part la concentration en sédiments entrants et l'aire contributive, avait été implémentées dans un SIG et ont permis de déterminer pour chacun des pixels de bande enherbée une efficacité de rétention en sédiments. L'efficacité globale d'une bande enherbée était ensuite calculée comme le rapport entre la masse totale en sédiments sortant de la bande et la masse totale en sédiments entrant.

3.2.2. Application et adaptation de la méthodologie GISER 2009-2011 à l'échelle de la Wallonie

La méthodologie présentée ci-dessus a fait l'objet des modifications suivantes :

- ✓ Les quantités de sédiments érodés, utilisées pour calculer les concentrations en sédiments, tiennent compte de l'occupation du sol moyenne de chacune des régions agricoles. La valeur du facteur cultural (facteur C de l'équation RUSLE, Renard et al., 1997) est, pour chaque région agricole, la valeur médiane des facteurs culturaux des successions culturales hors prairies établies lors de la convention GISER 2009-2011 (Bielders et al., 2011). A chacune de ces valeurs, et par conséquent à chaque région, peut donc-être associée une rotation type (Tableau 7 et Figure 22).
- ✓ Les volumes de ruissellement calculés à partir de la méthode du Curve Number (CN) du SCS pour établir les concentrations en sédiments tiennent également compte des spécificités au niveau de l'occupation du sol de chacune des régions agricoles et du type de sol. Pour chaque pixel de tournière enherbée, un CN médian de l'aire contributive est calculé sur base des cultures intervenant dans les rotations médianes et de la carte des groupes hydrologiques de sol (Figure 23). Cela permet de déterminer un volume de ruissellement moyen, fonction de la rotation (Figure 24).
- ✓ Les efficacités de rétention en sédiments sont déterminées à partir de l'un des 6 métamodèles mis au point pour le dimensionnement des bandes enherbées (Chapitre 1, Annexes 4 à 8) et non plus à partir des relations de Cordonnier et Bielders (2008). Ces métamodèles prennent en compte la concentration en sédiments déterminée sur base des masses de sédiment produits et des volumes de ruissellement (Figure 25), le type de culture en amont de la bande, le type de sol ainsi que l'aire contributive et la largeur de la bande enherbée (Figure 26). Le parcellaire du SIGEC ne fournissant pas d'informations sur la largeur des tournières enherbées, une largeur de 12 m a été assignée par défaut à chacune des tournières de Wallonie. Pour un pixel donné de bande enherbée, le Curve Number moyen de l'aire contributive est utilisé pour sélectionner le métamodèle d'efficacité de rétention en sédiments à appliquer. Il est à noter que les métamodèles ne sont valables que pour des aires contributives inférieures ou égales à 3 ha et des concentrations en sédiments inférieures ou égales à 225 g/l. Au-delà de cette taille d'aire contributive, il s'agit d'écoulements concentrés pour lesquels les modèles utilisés ne peuvent déterminer l'efficacité de rétention en sédiments. Pour ce type d'écoulement, les bandes enherbées sont généralement inefficaces.

Tout comme lors de la convention précédente, l'efficacité globale d'une bande enherbée est définie en comparant la masse totale en sédiments sortant par rapport à la masse totale en

sédiments entrant. Cette approche contient toutefois certaines limites car l'équation de la capacité de transport voir le rapport sur la Détermination des parcelles à risque d'érosion hydrique, Chapitre 3.3, Equation 12) fait intervenir un coefficient de capacité de transport initialement calibré pour la Région Limoneuse est qui est appliqué ici à l'ensemble de la Wallonie. De plus, les métamodèles sont issus d'un jeu de données unique, situé en Région Limoneuse (Nukerke), et dont les résultats sont extrapolés à la Wallonie.

Tableau 7 : Valeurs médianes du facteur cultural des rotations de chaque région agricole utilisées pour la détermination des pertes en sol

Région agricole	Valeur du facteur cultural	Succession culturale type
Ardenne	0.43	Escourgeon-Froment-Maïs
Campine Hennuyère	0.46	Froment- Betterave-Lin
Condroz	0.40	Froment-Froment-Colza
Fagne	0.47	Froment-Epeautre-Maïs
Famenne	0.46	Froment-Froment-Maïs
Haute Ardenne	0.55	Maïs-Maïs-Maïs
Région Herbagère	0.55	Maïs-Maïs-Maïs
Région Jurassique	0.50	Froment-Maïs-Pomme de terre
Région Limoneuse	0.44	Froment-Betterave-Pomme de terre
Région Sablo-Limoneuse	0.44	Froment-Betterave-Pomme de terre

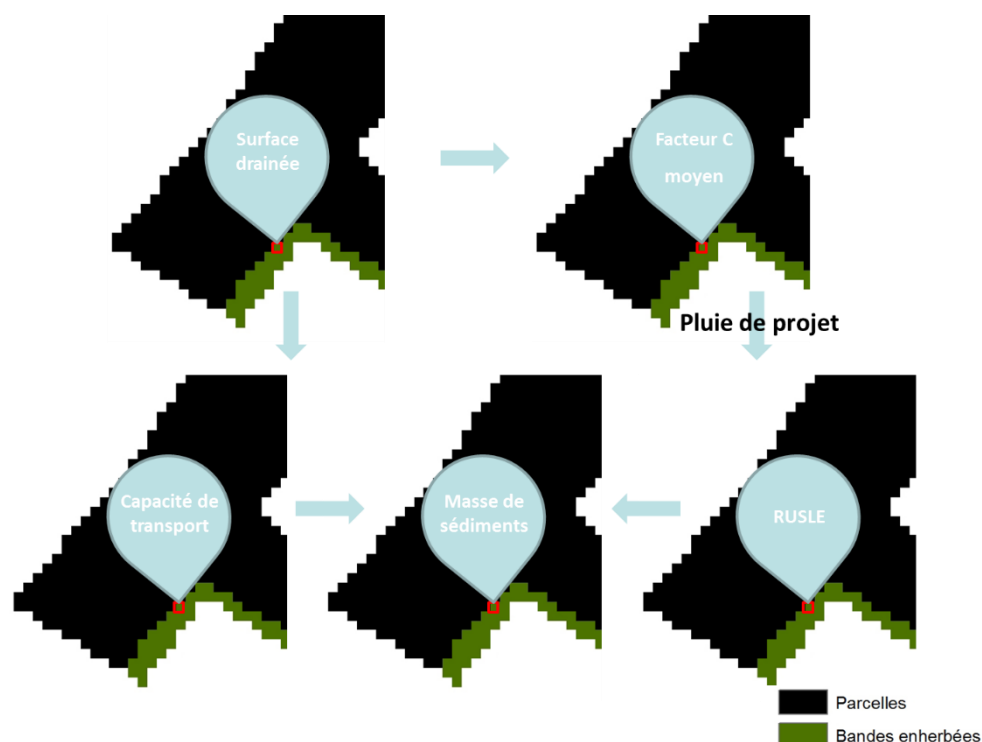


Figure 22 : Méthodologie de calcul de la masse de sédiments entrant dans une bande enherbée. A Chaque pixel de bande enherbée correspond une surface drainée pour laquelle est déterminée, par région agricole, un facteur cultural médian (facteur C). Ce facteur C, combiné à la pluie de projet, la nature du sol et à la topographie de la parcelle permet de déterminer les pertes en sol dans chaque pixel de la surface drainée via le modèle RUSLE, afin

d'aboutir à une masse en sédiments qui parvient au pixel de bande enherbée, délimité ici en rouge. Les pertes en sol sont plafonnées à la capacité de transport au sein de la surface drainée le long du parcours des sédiments.

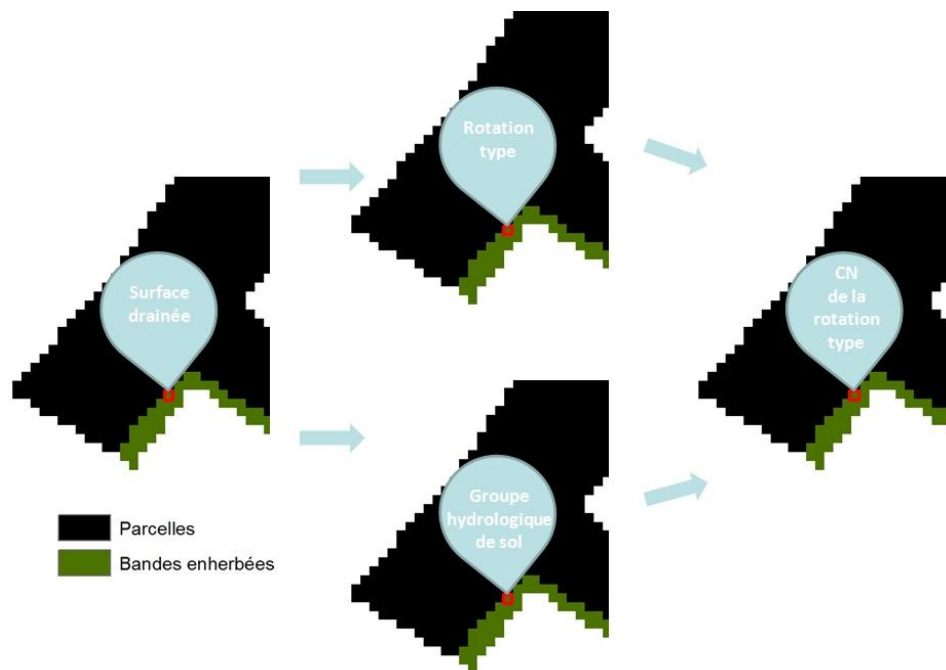


Figure 23 : détermination du Curve Number moyen pour la surface drainée par un pixel donné de bande enherbée (ici en rouge) sur base des cultures de la rotation médiane fonction de la région agricole et du groupe hydrologique de sol.

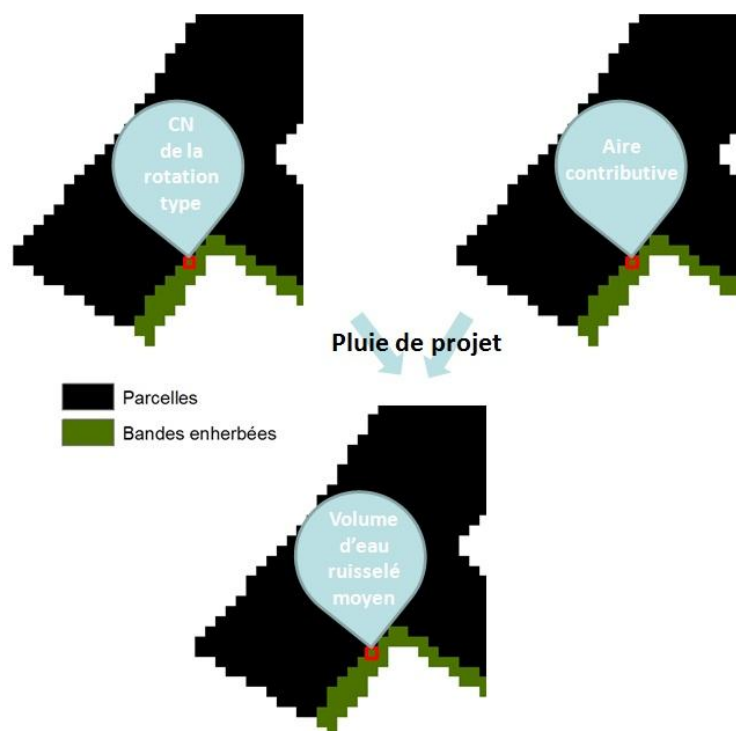


Figure 24 : Calcul du volume de ruissellement parvenant au pixel de bande enherbée délimité en rouge sur base de la méthode SCS du Curve Number (Chow, 1964).

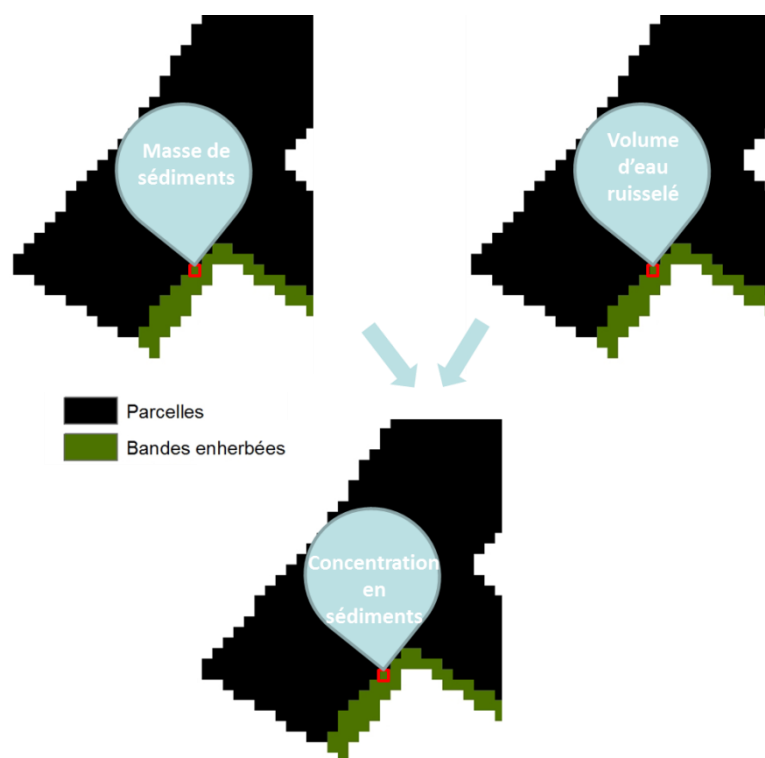


Figure 25 : La concentration en sédiments parvenant au pixel de bande enherbée délimité en rouge est définie comme le rapport entre la masse de sédiments entrant (Figure 22) et le volume de ruissellement entrant (Figure 24).

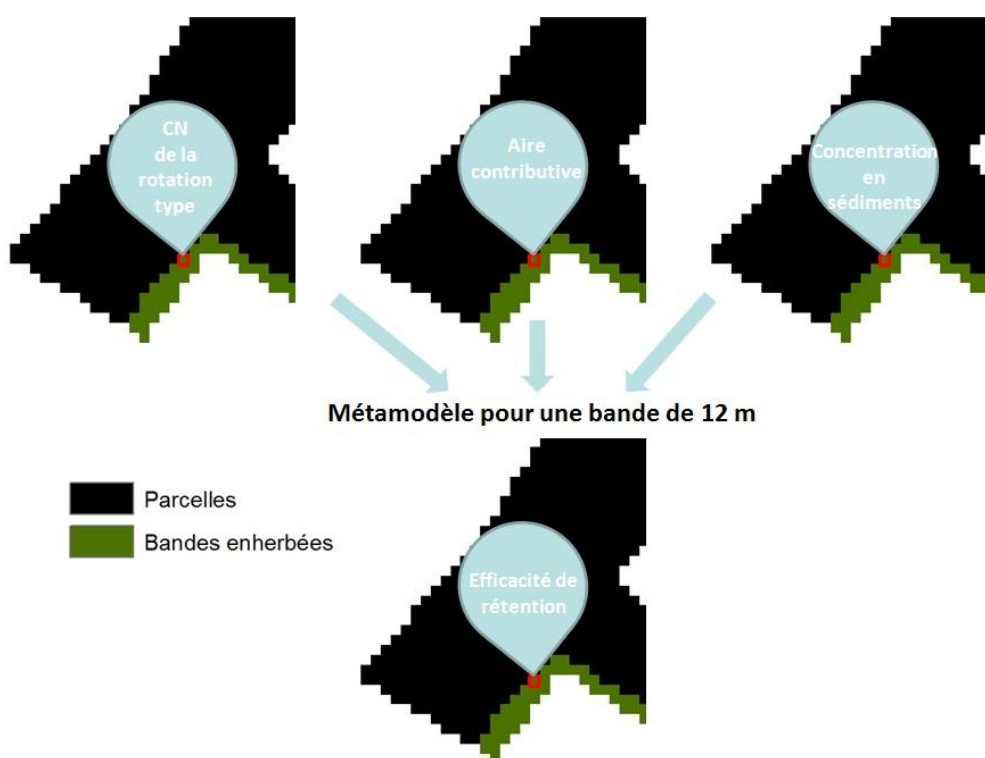


Figure 26 : Détermination de l'efficacité de rétention en sédiments du pixel de bande enherbée délimité en rouge sur base de l'un des 6 métamodèles définis voir Chapitre 1.3 et Annexes 4 à 8. Ces métamodèles sont fonction du Curve Number médian, de la valeur de l'aire contributive et de la concentration en sédiments de la surface drainée.

3.3. Résultats

Les calculs effectués pour déterminer l'efficacité de rétention en sédiments des bandes enherbées actuellement en place en Wallonie ont concernés 11 790 bandes. Parmi celles-ci, 1048 (9%) ne reçoivent aucun flux de sédiments car elles sont situées en amont de parcelles et n'ont donc aucune fonction anti-érosive pour la parcelle en question. Pour 62% des tournières enherbées actuellement en place, soit 7355, et pour la pluie de projet définie, l'efficacité globale ne peut être déterminée car au moins un pixel reçoit une concentration en sédiments supérieure à 225 g/L, c'est-à-dire en dehors des limites de validité des métamodèles. Parmi celles-ci 30 % sont traversées par des axes de concentration d'au moins 1 ha (calculs effectués pour des parcelles hydrologiquement isolées) qui induisent des écoulements concentrés avec des charges en sédiments importantes. 15% des bandes dont un pixel reçoit au moins 225g/L de sédiments drainent toutefois des surfaces faibles (0.1 ha au maximum par pixel de bande enherbée). L'explication est liée au fait que pour ces bandes le volume de ruissellement entrant calculé par la méthode SCS du Curve Number est faible car les surfaces drainées sont peu ruisselantes du fait des propriétés hydrologiques du sol, ce dont ne tient pas compte la RUSLE lors du calcul de la masse de sédiments. On obtient donc des masses de sédiments probablement surestimées par rapport au volume de ruissellement ce qui conduit à des concentrations importantes. L'application de la MUSLE (Williams et Berndt, 1977) permettant de calculer des rendements en sédiments sur base du volume de ruissellement défini par la méthode du SCS pourrait dans ces cas fournir des concentrations plus adaptées.

Pour 3387 (29 %) bandes, l'efficacité de rétention en sédiments peut être calculée et est en moyenne de 82 % ($\pm 22\%$). La Figure 27 montre la fréquence cumulée de l'efficacité de ces bandes. Plus de la moitié d'entre elles présente une efficacité de près de 90 % et seules 10% présentent une efficacité de moins de 50%. La quantité moyenne de terre entrante dans ces bandes pour la pluie de projet est de 2.4 ± 4.6 t. Un peu plus de 25 % de ces bandes traitent des masses de sédiments de moins de 0.25 tonnes, 50 % moins de 0.8 tonnes et 25 % reçoivent plus de 2.5 t (Figure 28). La figure 29 montre la répartition géographique des bandes enherbées et leur efficacité.

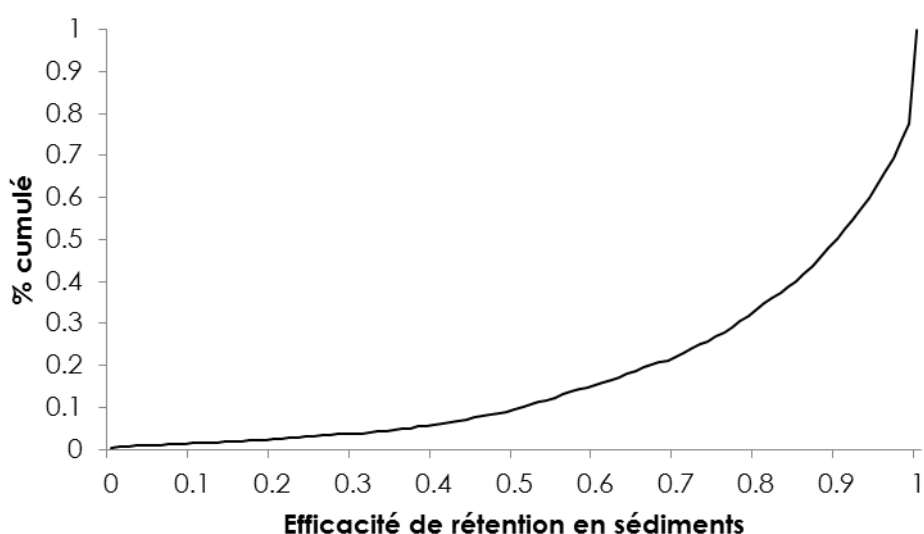


Figure 27 : Fréquence cumulée de l'efficacité de rétention en sédiments des bandes enherbées présentant un intérêt pour la lutte contre l'érosion en Wallonie (n = 3387, soit 29% des bandes enherbées wallonnes).

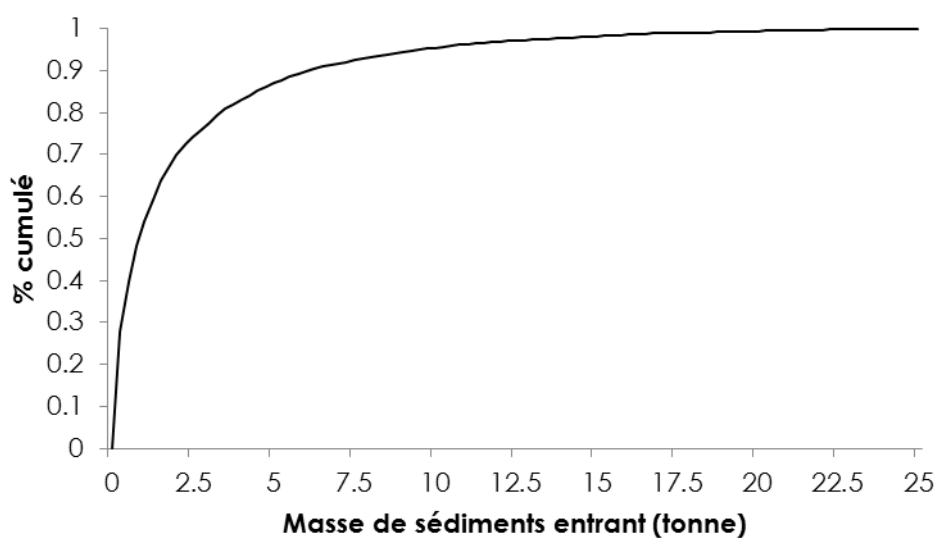


Figure 28 : Fréquence cumulée des masses en sédiments (tonne) entrant dans les bandes enherbées présentant un intérêt pour la lutte contre l'érosion en Wallonie (n = 3387, soit 29% des bandes enherbées wallonnes).

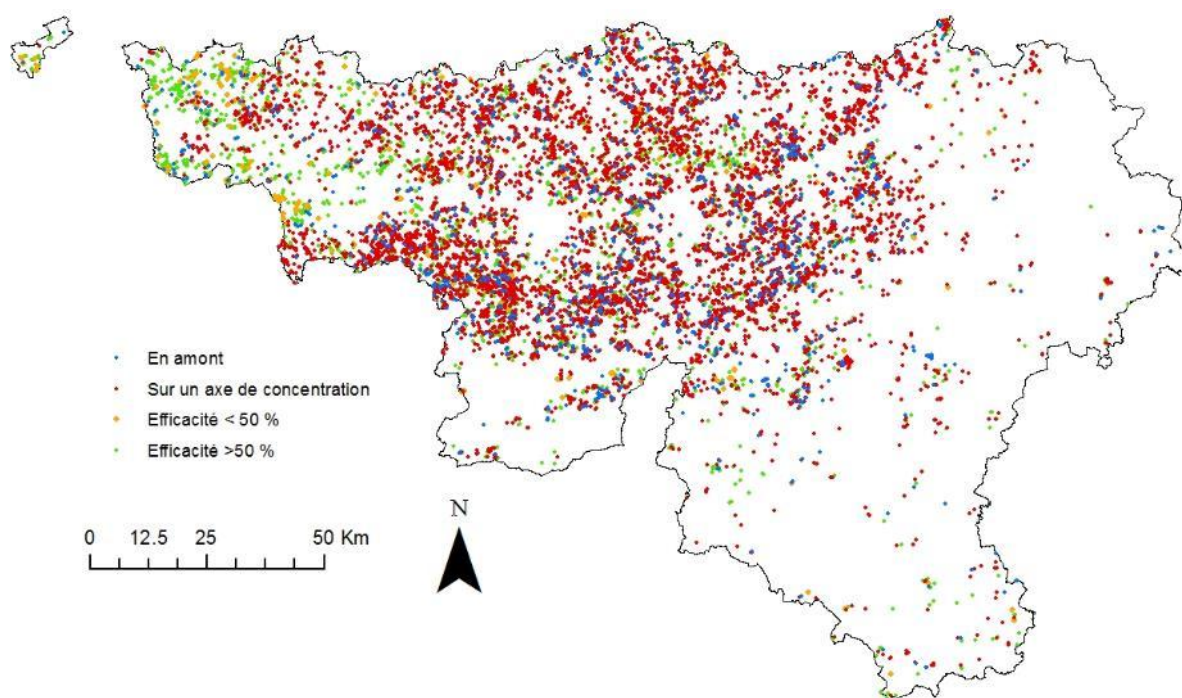


Figure 29 : Cartographie des bandes enherbées (BE) selon leur efficacité de rétention en sédiments. Chaque BE est représenté sous forme d'un point. En bleu les BE situées en amont de parcelle et qui ne reçoivent pas de sédiments, en rouge les BE traversées par un axe de concentration du ruissellement, en orange les BE avec une efficacité < 50%, et en vert les BE avec une efficacité > 50%.

Conclusions

Les métamodèles mis au point à partir du modèle VFSmod ont permis de mettre au point un outil d'aide à la décision pour le dimensionnement de bandes enherbées. Cet outil est amené à évoluer selon les avancées futures qui seront effectuées dans le cadre de la convention GISER en termes de modélisation de l'érosion et de l'efficacité des bandes enherbées.

Les métamodèles ont également permis d'évaluer l'efficacité des bandes enherbées en place en Wallonie. La méthodologie mise au point dans la convention GISER 2009-2011 (Biielders et al., 2011) a été adaptée pour tenir compte des spécificités de l'occupation du sol de chacune des régions agricoles. Ce paramètre intervient dans la détermination de la concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée (masse de sédiments et volume de ruissellement) et dans le choix du métamodèle à appliquer. Les résultats montrent que, pour la pluie de projet définie (29 mm avec une période intense de 17.4 mm en 30 minutes), 62 % des bandes déclarées en tournière enherbée en 2011 présentent au moins un pixel avec une concentration en sédiments en dehors du domaine de validité des métamodèles (> 225 g/L). Cela est dû en partie à des écoulements concentrés avec une charge en sédiments importantes. Toutefois, pour certaines surfaces peu ruisselantes, les concentrations en sédiments sont probablement surestimées et pourraient être mieux définies en appliquant l'équation universelle de perte en sol modifiée (MUSLE). Finalement pour 29% des tournières enherbées analysées, l'efficacité de rétention en sédiment moyenne est de $82 \pm 22\%$. Seulement 10 % de ces bandes présentent une efficacité de moins de 50%. En moyenne les quantités de terre entrant dans ces bandes sont de 2.4 ± 4.6 t. 50 % d'entre elles reçoivent des quantités inférieures à 0.8 t et 25 % des quantités de plus de 2.5 t.

Bibliographie

Biielders, C., Degré, A., Colard, F., Cordonnier, H., Destain, M.-F., Feltz, N., Maignard, A., 2011. *Convention d'intérêt général - Gestion Intégrée Sol Erosion Ruissellement (GISER)*. Université catholique de Louvain – Gembloux Agro-BioTech – Direction Générale de l'Agriculture.

Chow, V.T., 1964. *Handbook of applied hydrology. A compendium of water-resources technology*. New York: McGraw Hill.

Cordonnier, H., Biielders, C., 2007. *Appui à la mise en œuvre des mesures agri-environnementales dans le cadre de la lutte contre le ruissellement et l'érosion des terres agricoles en région wallonne*. Convention ALURE. Université catholique de Louvain – Direction Générale de l'Agriculture.

Cordonnier, H., Biielders, C., 2008. *Etat des Lieux de la Protection des Sols*. Convention ELIPSOL. Université catholique de Louvain – Direction Générale de l'Agriculture.

Demarcin, P., Degré, A., Smoos, A., Dautrebande, S., 2009. *Projet ERRUISSOL, Cartographie numérique des zones à risque de ruissellement et d'érosion des sols en Région Wallonne*, Rapport final de convention DGO3-FUSAGx, Unité d'hydrologie et hydraulique agricole, Faculté universitaire des sciences agronomiques de Gembloux, Gembloux.

Demarcin, P., Sohier, C., Mokadem, A.I., Dautrebande, S., Degré, A., 2011. *Essai de cartographie des classes d'infiltrabilité des sols de Wallonie*. Biotechnologie, Agronomie, Société, environnement 15(1), 119-128.

Maignard, A., Biielders, C., 2009. *Réduire le ruissellement et l'érosion en culture de pommes de terre*. Rapport d'essais. Projet PROSENSOLS. Université catholique de Louvain.

Muñoz-Carpena, R., Parsons, J.E., Gilliam, J.W., 1999. *Modeling overland flow and sediment transport in vegetative filter strips: model development and application*. Journal of Hydrology. 214(1-4), 111-129.

Nearing, M.A., 1997. *A single, continuous function for slope steepness influence on soil loss*. Soil Science Society of America Journal, 61(3), 917-919.

Piñeros Garcet, J. D., Ordonez, A., Roosen, J., Vanclooster, M., 2006. *Metamodelling: Theory, concepts and application to nitrate leaching modelling*. Ecological Modelling, 193(3), 629-644.

Renard, K. G., Foster G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K., Yoder D. C., 1997. *Predicting soil erosion by water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*, Agricultural Handbook 703, Washington D. C.

Steege, A., Govers, G., Nachtergaele, J., Takken, I., Beuselinck, L., & Poesen, J., 2000. *Sediment export by water from an agricultural catchment in the Loam Belt of central Belgium*. Geomorphology, 33(1-2), 25-36. doi:10.1016/S0169-555X(99)00108-7

Van Rompaey, A., Verstraeten, G., Van Oost, K., Govers, G., Poesen, J., 2001. *Modelling mean annual sediment yield using a distributed approach*. Earth Surface Processes and Landforms, 26, pp. 1221-1236.

Williams, J.R., Nicks, A.D., Arnold, J.G., 1985. Simulator for Water Resources in Rural Basins. *Journal of Hydraulic Engineering*. 111 (6), 970-986.

Williams, J.R., Berndt, H.D., 1977. *Sediment yield prediction based on watershed hydrology*. Transactions of the ASAE, 1100-1104.

Wischmeier, W.H., Smith D., 1978. *Predicting rainfall erosion losses, a guide to conservation planning*, Agriculture Handbook 537, Washington D. C.

Contact :

Cellule GISER
c/o SPW-DGO3-DDR
Av. Prince de Liège 7
5100 Jambes
081 336 471
arnaud.dewez@giser.be

Annexes

Annexe 1 : Curve Number pour les zones agricoles, 1^{ère} partie (Chow, 1964)

covertype	Cover description treatment ^{2/}		hydrologic condition ^{3/}				-- CN for hydrologic soil group --			
							A	B	C	D
Fallow	Bare Soil	---					77	86	91	94
	Crop residue cover (CR)	Poor					76	85	90	93
		Good					74	83	88	90
Row crops	Straight row (SR)	Poor					72	81	88	91
		Good					67	78	85	89
	SR + CR	Poor					71	80	87	90
		Good					64	75	82	85
	Contoured (C)	Poor					70	79	84	88
		Good					65	75	82	86
	C + CR	Poor					69	78	83	87
		Good					64	74	81	85
	Contoured & terraced (C & T)	Poor					66	74	80	82
		Good					62	71	78	81
Small grain	SR	Poor					65	76	84	88
		Good					63	75	83	87
	SR + CR	Poor					64	75	83	86
		Good					60	72	80	84
	C	Poor					63	74	82	85
		Good					61	73	81	84
	C + CR	Poor					62	73	81	84
		Good					60	72	80	83
	C & T	Poor					61	72	79	82
		Good					59	70	78	81
Close-seeded or broadcast legumes or rotation meadow	SR	Poor					66	77	85	89
		Good					58	72	81	85
	C	Poor					64	75	83	85
		Good					55	69	78	83
	C & T	Poor					63	73	80	83
		Good					51	67	76	80

See footnotes at end of table.

Annexe 2 : Curve Number pour les zones agricoles, 2^{ème} partie (Chow, 1964)

cover type	Cover description treatment ^{2/}	hydrologic condition ^{3/}	-- CN for hydrologic soil group --			
			A	B	C	D
Pasture, grassland, or range- continuous forage for grazing ^{4/}		Poor	68	79	86	80
		Fair	49	60	79	84
		Good	30	61	74	80
Meadow-continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay		Good	30	58	71	78
Brush-brush-forbs-grass mixture with brush the major element ^{5/}		Poor	48	67	77	83
		Fair	35	56	70	77
		Good	30 ^{6/}	48	65	73
Woods-grass combination (orchard or tree farm) ^{7/}		Poor	57	73	82	86
		Fair	43	65	76	82
		Good	32	58	72	79
Woods ^{8/}		Poor	45	66	77	83
		Fair	36	60	73	79
		Good	30	55	70	77
Farmstead--buildings, lanes, driveways, and surrounding lots		---	59	74	82	86
Roads (including right-of-way):						
Dirt		---	72	82	87	89
Gravel		---	76	85	89	91

1/ Average runoff condition, and $I_a = 0.2s$.

2/ Crop residue cover applies only if residue is on at least 5 percent of the surface throughout the year.

3/ Hydrologic condition is based on combinations of factors that affect infiltration and runoff, including (a) density and canopy of vegetative areas, (b) amount of year-round cover, (c) amount of grass or close-seeded legumes, (d) percent of residue cover on the land surface (good $\geq 20\%$), and (e) degree of surface toughness.

Poor: Factors impair infiltration and tend to increase runoff.

Good: Factors encourage average and better than average infiltration and tend to decrease runoff.

For conservation tillage poor hydrologic condition, 5 to 20 percent of the surface is covered with residue (less than 750 pounds per acre for row crops or 300 pounds per acre for small grain).

For conservation tillage good hydrologic condition, more than 20 percent of the surface is covered with residue (greater than 750 pounds per acre for row crops or 300 pounds per acre for small grain).

4/ Poor: < 50% ground cover or heavily grazed with no mulch.

Fair: 50 to 75% ground cover and not heavily grazed.

Good: > 75% ground cover and lightly or only occasionally grazed.

5/ Poor: < 50% ground cover.

Fair: 50 to 75% ground cover.

Good: > 75% ground cover.

6/ If actual curve number is less than 30, use CN = 30 for runoff computation.

7/ CNs shown were computed for areas with 50 percent woods and 50 percent grass (pasture) cover. Other combinations of conditions may be computed from the CNs for woods and pasture.

8/ Poor: Forest litter, small trees, and brush are destroyed by heavy grazing or regular burning.

Fair: Woods are grazed, but not burned, and some forest litter covers the soil.

Good: Woods are protected from grazing, and litter and brush adequately cover the soil.

Annexe 3 : Curve Number pour les zones urbaines (Chow, 1964)

Cover description cover type and hydrologic condition	Average percent impervious area ^{2/}	-- CN for hydrologic soil group -- A B C D			
Fully developed urban areas (vegetation established)					
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.) ^{3/}					
Poor condition (grass cover < 50%)		68	79	86	89
Fair condition (grass cover 50% to 75%)		49	60	79	84
Good condition (grass cover > 75%)		39	61	74	80
Impervious areas:					
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Streets and roads:					
Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Paved; open ditches (including right-of-way)		83	89	92	93
Gravel (including right-of-way)		76	85	89	91
Dirt (including right-of-way)		72	82	87	89
Western desert urban areas:					
Natural desert landscaping (pervious areas only) ^{4/}		63	77	85	88
Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-inch sand or gravel mulch and basin borders)		96	96	96	96
Urban districts:					
Commercial and business	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Residential districts by average lot size:					
1/8 acre or less (town houses)	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
2 acres	12	46	65	77	82
Developing urban areas					
Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation)		77	86	91	94

1/ Average runoff condition, and $I_a = 0.2S$.

2/ The average percent impervious area shown was used to develop the composite CNs. Other assumptions are as follows: impervious areas are directly connected to the drainage system, impervious areas have a CN of 98, and pervious areas are considered equivalent to open space in good hydrologic condition.

3/ CNs shown are equivalent to those of pasture. Composite CNs may be computed for other combinations of open space type.

4/ Composite CNs for natural desert landscaping should be computed using figures 9-3 or 9-4 based on the impervious area percentage (CN=98) and the pervious area CN. The pervious area CNs are assumed equivalent to desert shrub in poor hydrologic condition.

Annexe 4 : Métamodèle de l'efficacité de rétention en sédiments d'une bande enherbée pour un Curve Number de 72

Pour un CN de 72 et pour des aires contributives inférieures à 0.35 ha, peu ou pas de ruissellement est généré par la pluie de projet. Dans ce cas, la mise en place d'une bande enherbée n'est pas utile d'un point de vue anti-érosif. Pour des aires contributives ≥ 0.35 ha, le métamodèle appliqué pour déterminer l'efficacité de rétention en sédiments est le suivant :

$$RS = 122.95672 - 31.20223AC - 1.46068BE - 68.40725Sed + 1.91093AC * BE - 75.14091AC * Sed + 6.79565BE * Sed$$

$$AC \geq 0.35 \text{ ha}$$

avec

RS = Efficacité de rétention en sédiments de 0 à 1 [t.t⁻¹]

AC = Aire contributive [m²]

Sed = Concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée [g/cm³]

BE = Longueur de bande enherbée [m]

La Figure 29 montre la relation entre les valeurs de rétention en sédiments issues du modèle VFSmod et celles issues du métamodèle. L'erreur standard est de 3.8% et le R² de 0.88.

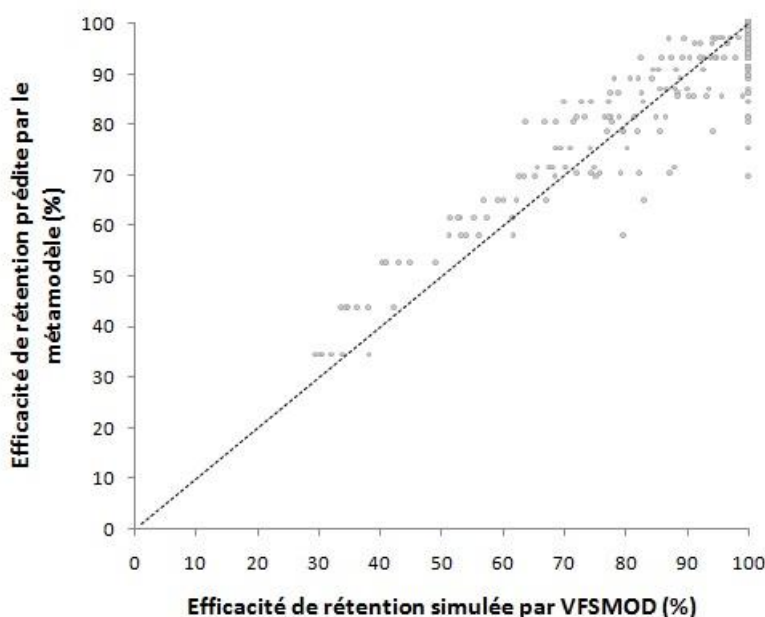


Figure 29 : Relation entre les valeurs de rétention en sédiments issues du modèle VFSmod et celles issues du métamodèle pour des aires contributives supérieures à 0.35 ha et un Curve Number de 72.

Annexe 5 : Métamodèle de l'efficacité de rétention en sédiments d'une bande enherbée pour un Curve Number de 76

Pour un CN de 76 et pour des aires contributives inférieures à 0.15 ha, peu ou pas de ruissellement est généré par la pluie de projet. Dans ce cas, la mise en place d'une bande enherbée n'est pas utile d'un point de vue anti-érosif. Pour des aires contributives > 0.15 ha, le métamodèle appliqué pour déterminer l'efficacité de rétention en sédiments est le suivant :

$$RS = \frac{1}{1 + \left((-0.000000292BE^3 + 0.0000124^2 - 0.000129BE - 0.000395) * Sed^2 + (0.009BE^{-1.21}) * Sed + (0.0004e^{-0.16BE}) * Sed \right) * AC}$$

AC > 0.15 ha

avec

RS = Efficacité de rétention en sédiments de 0 à 1 [t.t⁻¹]

AC = Aire contributive [m²]

Sed = Concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée [g/cm³]

BE = Longueur de bande enherbée [m]

La Figure 30 montre la relation entre les valeurs de rétention en sédiments issues du modèle VFSmod et celles issues du métamodèle. L'erreur standard est de 7.4% et le R² de 0.99.

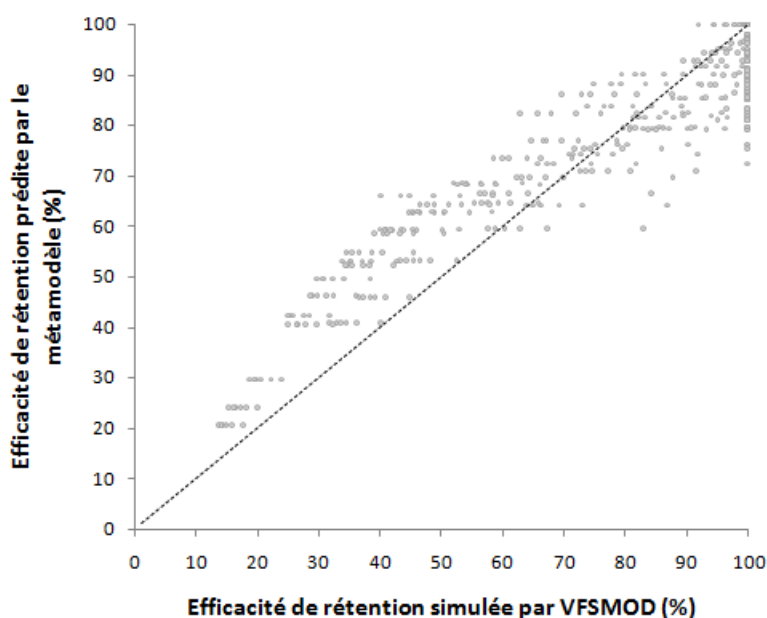


Figure 30 : Relation entre les valeurs de rétention en sédiments issues du modèle VFSmod et celles issues du métamodèle pour des aires contributives supérieures à 0.15 ha et un Curve Number de 76.

Annexe 6 : Métamodèle de l'efficacité de rétention en sédiments d'une bande enherbée pour un Curve Number de 81

Pour un CN de 81 et pour des aires contributives inférieures à 0.015 ha, peu ou pas de ruissellement est généré par la pluie de projet. Dans ce cas, la mise en place d'une bande enherbée n'est pas utile d'un point de vue anti-érosif. Pour des aires contributives > 0.015 ha, le métamodèle appliqué pour déterminer l'efficacité de rétention en sédiments est le suivant :

$$RS = \frac{1}{1 + \left((0.015 BE^{-1.14}) * Sed + 0.000755 BE^{-1.08} \right) * AC}$$

AC > 0.015 ha

avec

RS = Efficacité de rétention en sédiments de 0 à 1 [t.t⁻¹]

AC = Aire contributive [m²]

Sed = Concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée [g/cm³]

BE = Longueur de bande enherbée [m]

La Figure 31 montre la relation entre les valeurs de rétention en sédiments issues du modèle VFSmod et celles issues du métamodèle. L'erreur standard est de 7.1% et le R² de 0.95.

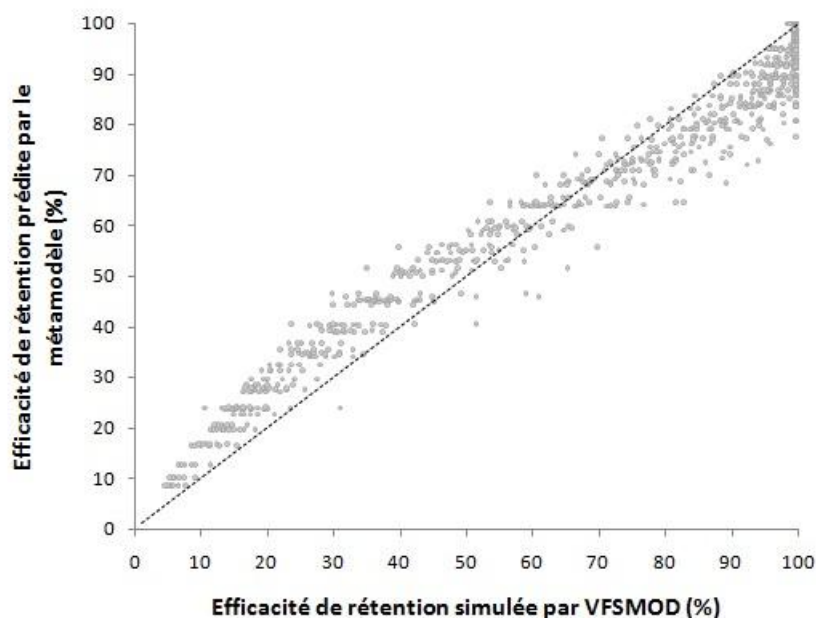


Figure 31 : Relation entre les valeurs de rétention en sédiments issues du modèle VFSmod et celles issues du métamodèle pour des aires contributives supérieures à 0.015 ha et un Curve Number de 81.

Annexe 7 : Métamodèle de l'efficacité de rétention en sédiments d'une bande enherbée pour un Curve Number de 84

Le métamodèle appliqué pour déterminer l'efficacité de rétention en sédiments pour un CN de 84 est le suivant :

$$RS = \frac{1}{1 + \left((0.02184BE^{-1.09}) * Sed + 0.00165BE^{-1.14} \right) * AC}$$

avec

RS = Efficacité de rétention en sédiments de 0 à 1 [t.t⁻¹]

AC = Aire contributive [m²]

Sed = Concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée [g/cm³]

BE = Longueur de bande enherbée [m]

La Figure 32 montre la relation entre les valeurs de rétention en sédiments issues du modèle VFSmod et celles issues du métamodèle. L'erreur standard est de 6.8% et le R² de 0.98.

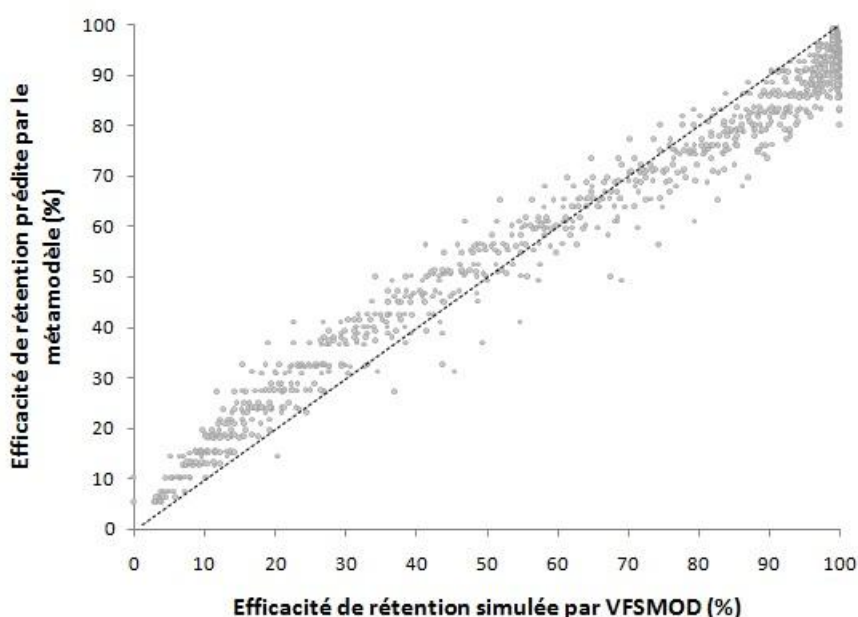


Figure 32 : Relation entre les valeurs de rétention en sédiments issues du modèle VFSmod et celles issues du métamodèle pour un Curve Number de 84.

Annexe 8 : Métamodèle de l'efficacité de rétention en sédiments d'une bande enherbée pour un Curve Number de 88

Le métamodèle appliqué pour déterminer l'efficacité de rétention en sédiments pour un CN de 88 est le suivant :

$$RS = \frac{1}{1 + \left((0.03434 BE^{-1.06}) * Sed + 0.00315 BE^{-1.07} \right) * AC}$$

avec

RS = Efficacité de rétention en sédiments de 0 à 1 [t.t⁻¹]

AC = Aire contributive [m²]

Sed = Concentration en sédiments entrant dans la bande enherbée [g/cm³]

BE = Longueur de bande enherbée [m]

La Figure 33 montre la relation entre les valeurs de rétention en sédiments issues du modèle VFSmod et celles issues du métamodèle. L'erreur standard est de 6.2% et le R² de 0.97.

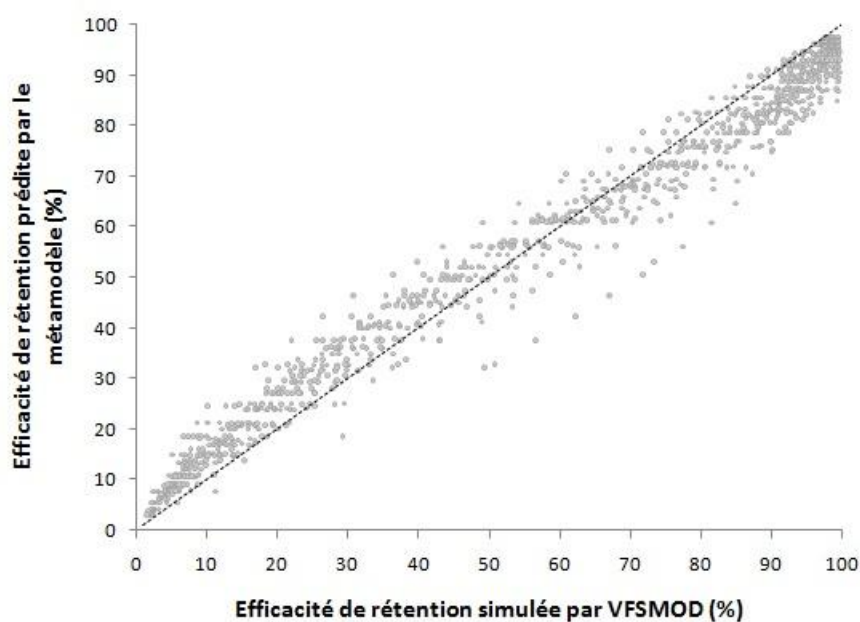


Figure 33 : Relation entre les valeurs de rétention en sédiments issues du modèle VFSmod et celles issues du métamodèle pour un Curve Number de 88.

Annexe 9 : Manuel d'utilisation de l'outil d'aide au dimensionnement des bandes enherbées

[illegible]

Figure 34 : Interface de l'outil d'aide au dimensionnement (PARTIE 1)

Pour une utilisation correcte de l'outil d'aide au dimensionnement (Figure 34 et Figure 35), il convient de suivre la démarche présentée ci-dessous. Les différentes couches cartographiques sont consultables sur l'Observatoire de l'Espace rural (OER, <http://sigdga02.intra.mrw.wallonie.be/oer/default.aspx>)

- 1) Vérifier que la bande enherbée ne recoupe pas un axe de concentration sur base de la couche des axes de concentration ERRUISSOL (Couches graphiques > Grande échelle > Sol et thématiques dérivées > Axes de concentration).
- 2) Vérifier que la parcelle n'est pas reprise en classe de risque 'Très élevée' ou Extrême' par la couche d'érosion potentielle parcellaire (Couches graphiques > Grande échelle > Sol et thématiques dérivées > Erosion potentielle parcellaire 2009).
- 3) Si les conditions (1) et (2) sont remplies, alors une bande enherbée peut être installée sinon un aménagement alternatif doit être envisagé
- 4) Choisir parmi les 8 cultures proposées dans le menu déroulant celle qui dans la rotation est la plus défavorable en termes d'érosion. Les cultures sont classées de la plus défavorable à la moins défavorable.
- 5) Choisir dans le menu déroulant le groupe hydrologique de sol : A, B ou C (Couches graphiques > Grande échelle > Sol et thématiques dérivées > Groupe hydrologique du sol). Si la couche cartographique indique D alors indiquer C. Si la couche cartographique renseigne NC (Non Cartographié), alors il convient d'extrapoler la valeur à partir des valeurs les plus proches.
- 6) Choisir dans le menu déroulant l'érodibilité du sol sur base de la couche d'érodibilité du sol ERRUISSOL (Couches graphiques > Grande échelle > Sol et thématiques dérivées > Erodibilité du sol). La valeur à indiquer est la valeur majoritaire sur la parcelle. Si la parcelle n'est pas cartographiée, alors il convient d'extrapoler la valeur d'érodibilité sur base des valeurs les plus proches.

- 7) Encoder la longueur de la pente. Celle-ci ne doit pas excéder 430 m, sinon un message « Erreur » est renvoyé dans la case correspondant à l'efficacité de rétention exprimée en pourcent. La longueur à encoder dépend de la conformation de la parcelle (voir Figure 35).
- 8) Encoder la valeur de la pente. Celle-ci ne doit pas excéder 20%, sinon un message « Erreur » est renvoyé dans la case correspondant à l'efficacité de rétention exprimée en pourcent.
- 9) Choisir dans le menu déroulant la largeur de la bande enherbée à tester (6, 12, 15 18 ou 21 m).
- 10) L'outil fournit des résultats intermédiaires concernant la quantité de terre érodée et la concentration en sédiments sur la longueur de la pente encodée et pour une portion de bande enherbée de 10 m de long perpendiculairement au sens d'écoulement.
- 11) L'efficacité de la bande est exprimée en pourcent de terre retenue ainsi qu'en kilogramme de terre retenue pour la longueur de la pente encodée et pour un tronçon de bande enherbée de 10 m, perpendiculairement au sens d'écoulement. Pour les conformations de parcelle (1) et (2) présentées à la Figure 35, il s'agit de l'efficacité sur l'ensemble de la bande puisque la longueur de la pente est la même partout. Pour les situations (3) et (4), il s'agit de l'efficacité correspondant à la zone en rouge, c'est-à-dire la situation la plus critique.

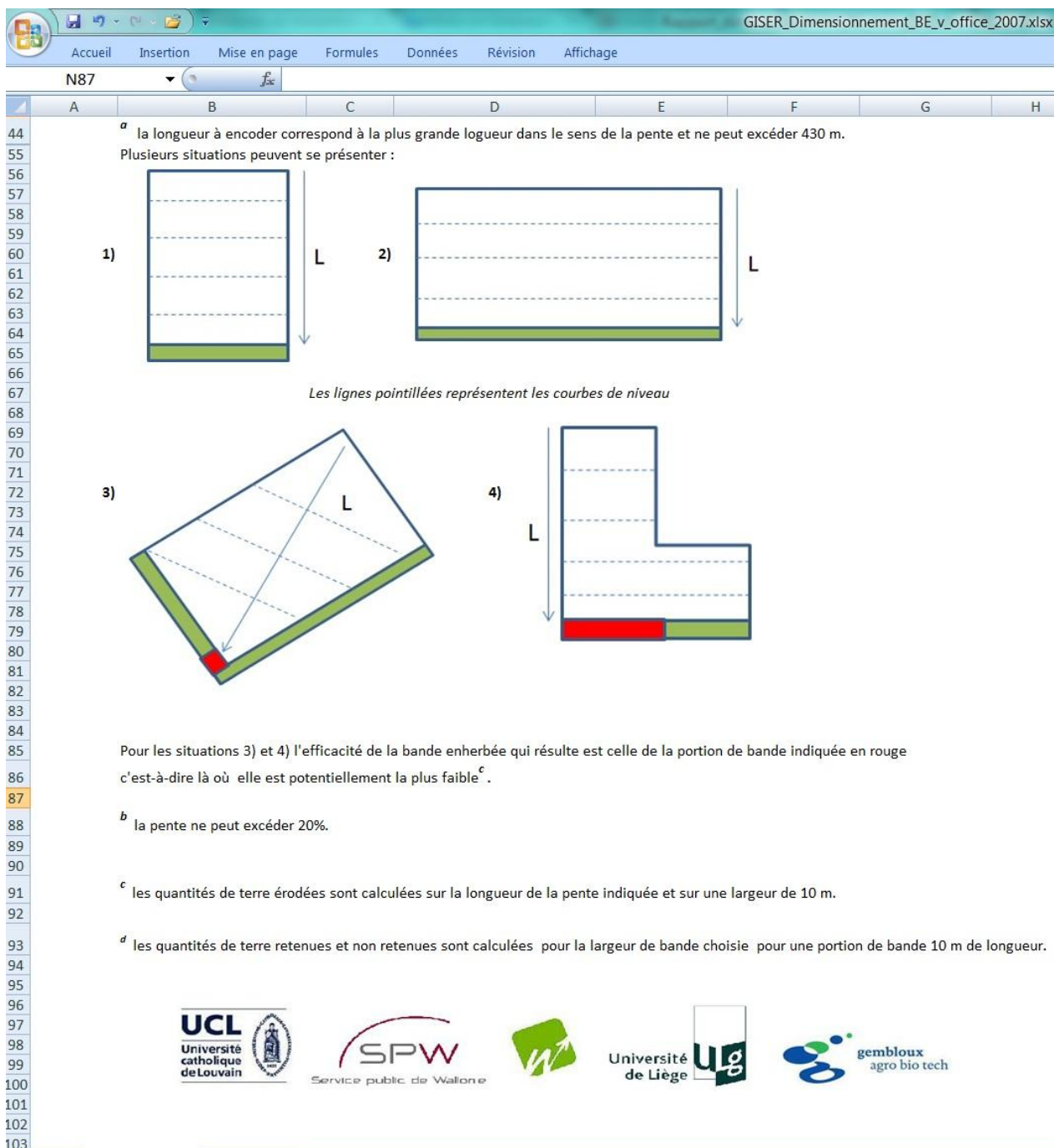


Figure 35 : Interface de l'outil d'aide au dimensionnement (PARTIE 2)